

Weiterbildungskurse 2010



www.brunnenmeister.ch

GRUNDWASSERFASSUNGEN **Bau – Betrieb und Unterhalt – Werterhaltung - Sanierung**

Raeto M. Conrad
Dipl. Bau.-Ing. ETH/SIA, Geologe CHGEOL
Konsulent für Wasser und Boden
Bannstrasse 7
8158 Regensberg

rm.conrad@bluewin.ch

Veranstaltungsort:



1. EINFÜHRUNG

1.1. Die Bedeutung der Grundwassergewinnung für die Trinkwasserversorgung

Die Versorgung der Wohnbevölkerung der Schweiz mit Trinkwasser basiert vorwiegend auf kommunalen und regionalen Wasserversorgungsbetrieben, welche in der Regel als Anstalten des öffentlichen Rechts auftreten, oder durch eine besondere Art von Privatisierung aus diesen hervorgegangen sind. Die Öffentlichkeit bleibt weiterhin grossmehrheitlich im Besitz dieser Institutionen..

Für die Trinkwassergewinnung werden in unserem Land genutzt:

- Oberflächengewässer:
Bäche, Flüsse und Seen
- Unterirdisch zirkulierendes Wasser:
Quellen und Grundwasser

Das Referat „Grundwasserfassungen“ befasst sich ausschliesslich mit den festen Einrichtungen zur Gewinnung jenes als Grundwasser bezeichneten unterirdischen Wassers, welches durch besondere Bauwerke erschlossen, und durch Pumpen- oder Heber-Anlagen gefördert werden muss. Es ist dabei zu beachten, dass die Übergänge zwischen Quell- und Grundwasser manchmal fliessend sind, und dass auch tiefliegende Quellhorizonte durch Fassungen erschlossen werden können, welche jenen für die übliche Fassung von Grundwasser sehr ähnlich sind.

Die Gesetzgebung und die darauf basierenden Vorschriften, Richtlinien und Wegleitungen machen denn auch keinen Unterschied zwischen Quell- und Grundwasser. Sinngemäss gelten deshalb die nachfolgenden Angaben auch für Quellen, so weit sie dafür anwendbar sind.

In der Schweiz versorgen sich mehrere Tausend Gemeinden und Gemeinde-Zweckverbände aus Quell- und Grundwasserfassungen. Die grossen Verbraucher im Mittelland basieren hauptsächlich auf Grundwasserfassungen unterschiedlichen Alters und unterschiedlicher Bauart, sehr oft erstellt in der Wachstumseuphorie der Sechzigerjahre des letzten Jahrhunderts, und deshalb auch schon etwas angejährt. Auch jene Grossverbraucher, welche vorwiegend Oberflächengewässer nutzen (so z.B. die Stadt Zürich) fassen möglichst grosse Mengen Grundwasser, welches weniger Aufwand für die Aufbereitung verursacht.

Ohne sich lange bei statistischen Angaben aufzuhalten, kann festgehalten werden, dass mehr als die Hälfte der Bevölkerung unseres Landes ihr Trinkwasser ganz oder teilweise aus Grundwasserfassungen bezieht, und somit dem Bau, dem Betrieb und der Werterhaltung der Gewinnungsanlagen eine hohe volkswirtschaftliche Bedeutung zukommt.

1.2. Überblick über den Brunnenbau

1.2.1. Allgemeines

Wer immer sich ernsthaft mit der Planung, dem Bau und Betrieb von Grundwasserfassungen befasst, kennt die Brunnen als in der Regel recht dauerhafte Bauwerke, welche aber einer sorgfältigen und umsichtigen Behandlung bedürfen, um diesen Ruf gerecht zu werden. Nachlässigkeit und mangelnde Sorgfalt gefährden das Funktionieren der öffentlichen Versorgung in einem Bereich, wo es in aller Regel keine rasche Reparatur von Funktionskollapsen oder auch nur von gravierenden Störungen gibt.

Manche Versorgungsbetriebe, vor allem in ländlichen Gebieten, tun sich schwer mit der Frage, was sie mit ihren Brunnen alles anstellen sollen oder dürfen. Dass unter solchen Umständen bei der Erstellung neuer Fassungen weniger an die Aufgaben des späteren Unterhalts, und kaum je an die Werterhaltung in die Jahre gekommener Fassungsbauwerke gedacht wird, ist nicht verwunderlich. Viele Fassungsbetreiber legen im Umgang mit den ihnen anvertrauten Brunnen eine erstaunliche Sorglosigkeit an den Tag, wie sie beim Verteilnetz nie in Frage käme.

Die Entwicklung des Brunnenbaus in den letzten hundertfünfzig Jahren war untrennbar mit dem jeweiligen Stand der Bohrtechnik, und diese wiederum eng mit dem Bergbau verbunden. Mit Weiterentwicklung der Rohstoffprospektion (v.a. Erdöl und Erdgas) kam man teilweise von den klassischen Schacht- und Bohrmethoden weg zur modernen Tiefbohrtechnik mit starrem Gestänge (Rotary-Bohrtechnik). Bereits am Ende des 19. Jahrhunderts waren mit Ausnahme der Antriebstechnik praktisch alle Elemente der heute noch aktuellen Methoden zur Erstellung von Fassungen in jedem Grundwasserleiter verfügbar.

Der *traditionelle Brunnenbau* wird somit heute noch weitgehend von den Randbedingungen beherrscht, wie sie schon im frühen Maschinenzeitalter Geltung hatten. Da und dort stehen noch Brunnen aus dieser Zeit im Betrieb; in einem späteren Kapitel wird separat auf Werterhaltungsprobleme bei älteren Fassungen eingegangen.

1.2.2. Vertikale Fassungen im Locker- und Festgestein .

Der *Schachtbrunnen* als älteste Brunnenform im Lockergestein entwickelte sich aus den primitiven Scharrbrunnen der Vorzeit in Gegenden mit oberflächennahen Grundwasservorkommen. Die Wandung eines Schachtbrunnens besteht in der Regel aus Mauerwerk, bei neueren Fassungen aus Beton, Stahlbeton oder Fertigteilringen aus armiertem Beton; sie kleidet die ausgehobene Grube bis knapp unter die Grundwasseroberfläche aus. Der Wassereintritt in den Schacht erfolgt meist über die Sohle, gelegentlich auch über seitliche Öffnungen in der Schachtwandung.

Schachtbrunnen mit erheblicher Eintauchtiefe können nur als Senkschacht, als vertikaler Pressrohrvortrieb oder dann im Caisson-Verfahren (Druckluftgründung) erstellt werden. Die zwei erstgenannten Verfahren eignen sich nur für gut abbaubares Lockergestein.

Bohrbrunnen werden mittels einer eigentlichen Bohrung hergestellt, also durch maschinellen Abtrag des Gesteins an der Bohrlochsohle. Die Bohrung wird bis in die grundwasserführende Schicht bzw. in das zu bewirtschaftende Grundwasserstockwerk abgeteuft und anschliessend mit Brunnenrohren zum Förderbrunnen ausgebaut. Im Bereich der wasserführenden Schichten besteht der Ausbau aus Filterrohren, die mit einer an den Untergrund angepassten Filterkiesschüttung umgeben werden. Bis zur Geländeoberfläche werden Vollwandrohre aufgesetzt, wobei durchteufte wasserstauende Schichten abgedichtet werden. An der Oberfläche schliesst den Bohrbrunnen in der Regel ein begehbares Schachtbauwerk ab.

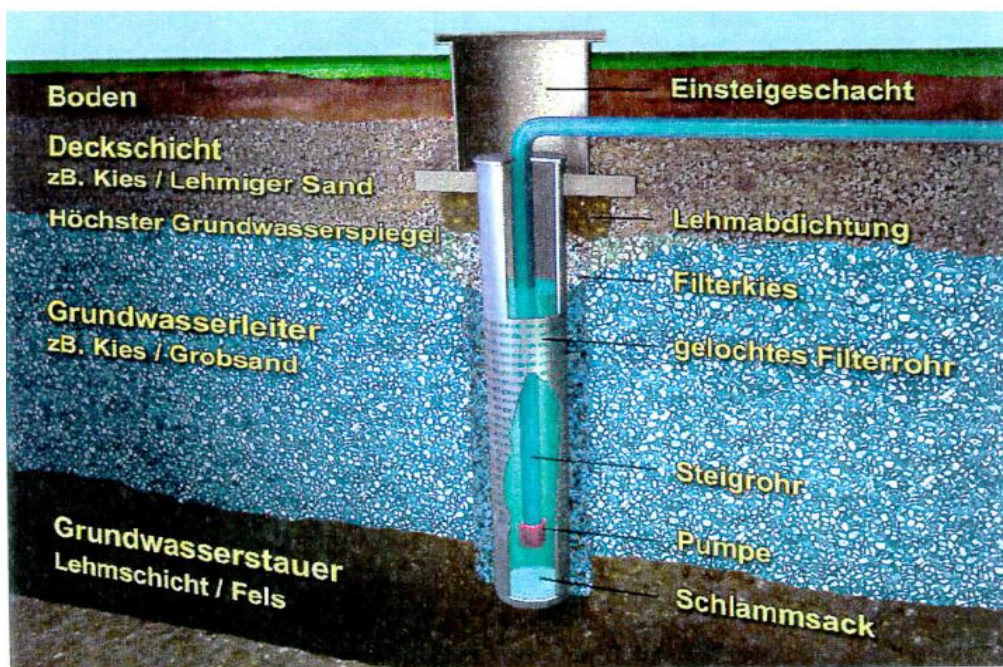


Abb.1: Vertikalbrunnen

Der Bohrbrunnen ist der häufigste Typ Grundwasserfassung; er wird weltweit von Wasserwerken aller Grössen als Mehr- oder Einzelbrunnenanlage betrieben.

Zur Herstellung von Brunnen im Lockergestein und im Fels stehen verschiedene Bohrverfahren zur Verfügung.

In oberflächennahen Lockergesteins-Grundwasserleitern wurden (und werden) Vertikalbrunnen vorzugsweise im Schutz einer Hilfsverrohrung mit Greifer oder Stossbüchsen (pennsylvanisches Bohrverfahren mit Schlagwerk) niedergebracht. Die Hilfsverrohrungen sind heute in der Regel doppelwandige Bohrrohre mit patentierten Bolzen-(Schnell-) Verbindungen, wie sie für Pfahlbohrgeräte entwickelt worden sind. Bei einigermaßen günstigen Untergrundverhältnissen können so Standard-Vertikalbrunnen in verrohrter Ausführung mit Filterdurchmessern von 500 – 1000 mm bis gegen 100m Tiefe erstellt werden.

Dieses Brunnenbauverfahren unter Anwendung verschiedener Bohrwerkzeuge am Seil und mit eventueller Rohrteleskopierung mag etwas altmodisch erscheinen, vor allem, wenn man Vergleiche mit der Leistungsfähigkeit moderner Gross-Bohrgeräte mit Kraftdrehköpfen, Mitnehmerstangen und hydraulischem Pulldown anstellt, wie sie zur Erstellung von grosskalibrigen Bohrpfählen entwickelt worden sind. Schwere Drehbohrgeräte werden deshalb heute ebenfalls zur Erstellung von verrohrten Brunnenbohrungen eingesetzt, und dies bei richtiger Vorgehensweise mit Erfolg.

Allerdings ist zu beachten, dass zwischen Pfahl- und Brunnenbohrung bohrtechnisch ein erheblicher Unterschied besteht. Der Pfahlbohrer ist gehalten, ein zylinderförmiges Stück Untergrund auszustanzen und den Hohlraum satt mit Beton zu verfüllen. Er wird also die Bohrröhre gegenüber dem Bohrwerkzeug vortreiben, soweit dies die Bodenverhältnisse zulassen. Der Brunnenbohrer dagegen erzeugt beim Abteufen bewusst einen dosierten Grundbruch an der Bohrlochsohle, um den späteren Wasserzutritt zu erleichtern. Deshalb wird er mit dem Werkzeug vorbohren, und die Verrohrung nachtreiben. Wenn diese unterschiedlichen Anforderungen Beachtung finden, können mit allen geeigneten Bohrgeräten leistungsfähige Brunnen im Lockergestein erstellt werden.

Als Alternative zur verrohrten Bohrung werden auch im Lockergestein grosskalibrige Brunnen mit flüssigkeitsgestützten, unverrohrten Bohrungen abgeteuft. Als Stützflüssigkeit wurden ursprünglich Bentonite, heute vorzugsweise biologisch abbaubare Substanzen mit gleichwertigen thixotropen Eigenschaften verwendet. Unter Flüssigkeitsstützung im Lockergestein erstellte Brunnen müssen sorgfältig entsandet und entwickelt werden, um den unvermeidlichen Filterkuchen (cake) an der Bohrlochwand zuverlässig zu entfernen.

Das Abteufen der flüssigkeitsgestützten Bohrung kann mittels verschiedener Bohrmethoden erfolgen, so vorwiegend durch Saugbohrung oder durch Rotarybohrung mit Direkt- oder Umkehrspülung am starren Gestänge. Diese Verfahren sind ebenso beim Bohren im Festgestein gebräuchlich, wobei mit mehrstufigen Rollenmeisseln beachtliche Durchmesser (>2 m) zu erzielen sind. Rotarybohrungen werden vor allem für tiefe (Brunnen-)Bohrungen angewendet. Im *Festgestein* sind Brunnen von 1000 m Tiefe und mehr in vielen Ländern Standard. Die Bohrausrüstung und die Bohrvorgänge entsprechen bei tiefen Bohrungen weitgehend denen der Erdölexploration.

1.2.3. Mehrbrunnenanlagen

Die Zusammenfassung mehrerer Vertikalbrunnen zu Brunnengruppen oder -reihen bietet aus der Sicht des Brunnenbauers in der Regel keine besonderen bau- oder bohrtechnischen Probleme.

Insoweit die gegenseitige Beeinflussung der Absenkspiegel toleriert wird, ist auch die Frage des zweckmässigen Brunnenabstandes irrelevant.

Mehrbrunnenanlagen wurden bis in die jüngste Zeit vorwiegend mit Hebersystemen betrieben. Auch heute noch wird dieses kostengünstige, im Betrieb aber nicht immer unproblematische Fördersystem von manchen Fassungsbetreibern bevorzugt. In

grösseren Anlagen werden aber die Einzelfassungen mehr und mehr individuell mit Pumpen ausgerüstet.

1.2.4 Grossfilterbrunnenanlagen

Eine interessante Lösung zur Fassung grösserer Wassermengen in flachen Lockergesteinsaquiferen ist der um 1960 in Österreich entwickelte Grossfilterbrunnen System *Ingerle*.

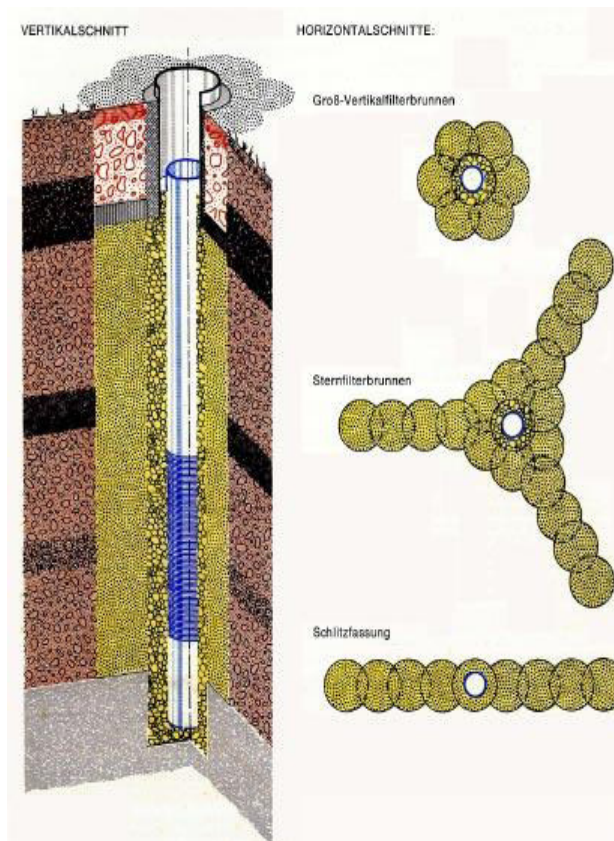


Abb. 2: Systemskizze Grossfilterbrunnen nach Ingerle

Bei diesem Fassungssystem werden eine Anzahl Bohrungen kreis-, ellipsen- oder sternförmig oder auch in Linie so aneinandergereiht und mit Filterkies verfüllt, dass jeweils die neue Bohrung in den bereits erstellten „Nachbar-Kiespfahl“ überschneidet. Im so hergestellten Filterkieskörper wird dann erst der definitive Fassungsbrunnen abgeteuft und mit Filterrohr versehen.

In geeigneten Bodenverhältnissen ergibt die starke Vergrößerung des Zutrittsquerschnitts eine Brunnenkapazität, welche derjenigen eines Horizontalbrunnens am gleichen Standort durchaus vergleichbar ist. Dies steht teilweise im Widerspruch zur klassischen Berechnungsweise, wonach der Brunnendurchmesser die Entnahmemenge bei gleicher Absenkung nur wenig beeinflusst. Die Praxis kommt da zu etwas anderen Resultaten.

1.2.5. Horizontalfilterbrunnenanlagen

Horizontalfilterbrunnen sind Fassungsanlagen, welche für die Entnahme grosser Wassermengen aus Lockergesteins-Grundwasserleitern entwickelt worden sind. Das Grundwasser wird aus mehreren, von einem zentralen Schacht sternförmig ausgehenden horizontalen Fassungssträngen entnommen. Es tritt dabei unter dem natürlichen hydrostatischen Druck in den zentralen Fassungsschacht ein.

Der Bau eines Horizontalbrunnens beginnt mit der Erstellung des Zentralschachtes, in der Regel eines offenen Senkschachtes (Senkbrunnens) in Stahlbeton, mit konischem, stahlblechbewehrtem Schneidfuss. Zur Verringerung der Mantelreibung beim Absenken wird ein Ringraum von wenigen Zentimetern Stärke zwischen Aussenwand und anstehendem Material mit einer sog. thixotropen Schachtschmierung (Bentonitschlämme) verfüllt. Auf diese Weise können im Lockergestein Schächte bis gegen 100 m Tiefe erstellt werden; allerdings sind Schächte von mehr als 50 m Tiefe selten.

Beim konventionellen Horizontalbrunnenbau werden die Schachtringe in einer Gleitschalung laufend auf den im Absenkvorgang befindlichen Schachtkörper aufbetoniert. Diese Erstellungsweise ist mit einem hohen Zeit- und Materialaufwand verbunden (Wartezeit auf das Abbinden der neu betonierten Ringe einerseits, hohes erforderliches Schachtgewicht andererseits).

Ein Ortsbeton-Senkschacht ist ein recht schwierig zu beherrschendes Bauwerk. Ein Abweichen von der Vertikalen lässt sich fast nur durch einseitiges Abgraben am Schachtfuss korrigieren, oft verbunden mit dem Aufbringen von Horizontalkräften am Schachtkopf. Blocklagen oder verkittete Schichten können die Erstellung eines Senkschachtes überhaupt in Frage stellen, wenn die Hindernisse unter der Schachtschneide nicht durch Taucher beseitigt werden können. Beim Durchteufen bindiger Schichten können auch sogenannte Schachtklemmer auftreten, welche oft nur mittels aufwendiger Belastungseinrichtungen behoben werden können.

Seit Jahrzehnten haben sich die Brunnenbauer deshalb um eine Optimierung des Schachtbaus für Horizontalbrunnen bemüht; bereits um 1960 wurden wenig erfolgreiche Versuche mit der Verwendung von an Ort fabrizierten Schachtringen angestellt. In jüngerer Zeit werden dagegen immer öfter Spezialbetonrohre im Sinne eines vertikalen Pressvortriebs hydraulisch vorgetrieben. Diese Methode ist zwar mit einem recht hohen Installationsaufwand verbunden, erlaubt aber eine erhebliche Bauzeitverkürzung, und Schwierigkeiten beim Absenkvorgang lassen sich besser meistern.

Vom fertig gestellten und mit einer dichten Unterwasser-Betonsohle versehenen Zentralschacht aus werden horizontale Fassungsstränge hydraulisch in den Grundwasserleiter vorgetrieben.

Als erster hat der amerikanische Ingenieur *Leo Ranney* 1934 in London einen Horizontalbrunnen in der vorstehend geschilderten Art erstellt, um einen Grundwasserleiter mit geringer Mächtigkeit zu nutzen. Schon früher hatte er das System in Nordamerika zur besseren Ausbeutung ölführender Sandschichten angewendet. Beim *Ranney-Verfahren* werden geschlitzte starkwandige Bohrohre

direkt als Filterstrang in den Grundwasserleiter vorgetrieben. Durch die Entsandung wird aus dem anstehenden Grundwasserleiter eine Stüttschicht als Filterpackung entwickelt. Das System, welches wegen der erforderlichen Wandstärke der Vortriebsrohre nur grosse Schlitzze oder dann geringe Eintrittsquerschnitte erlaubt, hat in Europa nie richtig Fuss gefasst, ist aber in den USA auch heute noch gebräuchlich.

In den Vierzigerjahren des letzten Jahrhunderts hat dann der Schweizer Ingenieur *Dr. Hans Fehlmann* den Horizontalbrunnen weiter entwickelt. Beim *Fehlmann-Verfahren* werden starkwandige Bohrröhre in den Grundwasserleiter eingespült. Nach dem Einbau von handelsüblichen Filterrohren in die Bohrröhre und nach Rückzug derselben wird die Kiesummantelung analog zum Ranney-Verfahren durch Intensiventsandung aus dem Korngerüst des Grundwasserleiters entwickelt. In der Schweiz sind seither gegen 200 Horizontalbrunnen erstellt worden, mit wenigen Ausnahmen nach dem *Fehlmann-Verfahren*. Die häufig recht grobkörnigen Schotter der Alpenrandtäler erlauben den erfolgreichen Einsatz dieses relativ einfachen Verfahrens ohne Kiesummantelung.

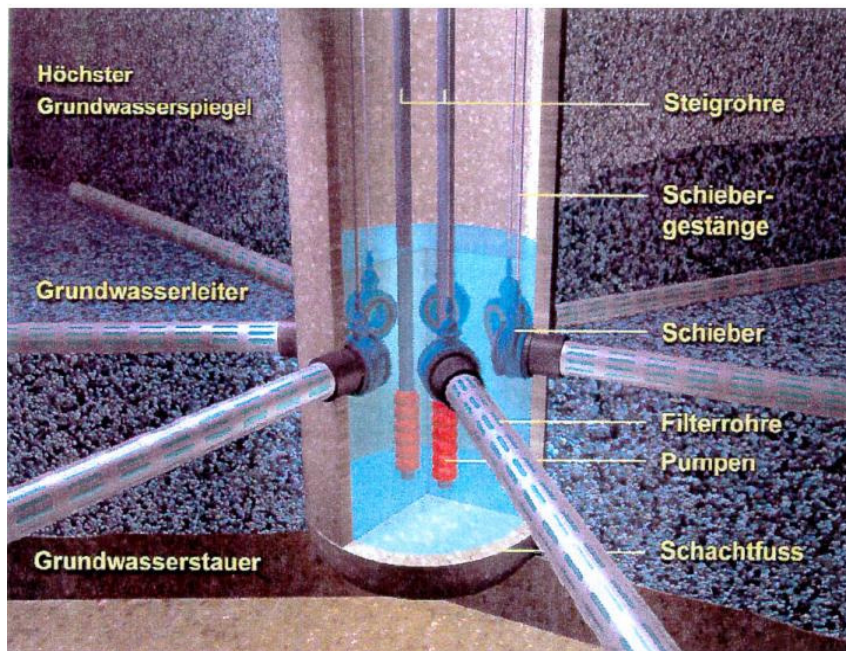


Abb. 3: Horizontalfilterbrunnen

Eine Verfeinerung und, bezogen auf feinkörnige Böden auch eine Verbesserung bildet das Kiesmantel-Verfahren, welches ab ca. 1953 in Deutschland von der Firma *Preussag* auf den Markt gebracht wurde. Bei *Preussag*-Verfahren wird das Filterrohr nach dem Vortrieb der Bohrröhre wie beim Bohrbrunnen mit einer auf den Grundwasserleiter abgestimmten Kiesschüttung umgeben.

Für den Kiesmantelbrunnen ist seit kurzem ausserdem ein *WHD* genanntes, unter Patentschutz stehendes Drehbohrverfahren mit Antrieb durch Wasserhydraulik auf den Markt gekommen, welches das Durchörtern hartgelagerter und/oder grobkörniger Schichten erlaubt, und auch im Festgestein eingesetzt werden kann.

Horizontalfilterbrunnen werden heute auch unter Anwendung moderner Bohrverfahren mit Richtungssteuerung (sog. HDD-Bohrverfahren) erstellt. Dieses Bohrverfahren wurde in den USA vor allem für den grabenlosen Leitungsbau und für den Dükerbau entwickelt und kann auch für die Erstellung von horizontal bzw. flach verlaufenden Fassungssträngen angewendet werden. Die Möglichkeit der Erstellung langer Fassungsstränge erlaubt eine gezielte Nutzung gering mächtiger wasserführender Schichten.

Horizontalfilterbrunnen stellen gegenüber Mehrbrunnenanlagen aus Bohrbrunnen sehr oft eine betrieblich, technisch und wirtschaftlich interessante Lösung dar.

1.2.6. Ausbau und Ausrüstung der Grundwasserfassungen

Die Wahl der richtigen Filterrohre und der passenden Kiesschüttung ist entscheidend für die Langzeitwirkung einer Grundwasserfassung. Diesbezüglich war in den letzten 100 Jahren ein weiter Weg zu gehen, welcher vor allem von der Haltbarkeit bzw. der Korrosionsfestigkeit der Filterrohre bestimmt wurde. Zur Filterrohrproblematik älterer Brunnen siehe auch Kap. 3.3.

Überblick über die gebräuchlichen Materialien

- Kupfer
- Eisen- oder Stahlblech, rohschwarz, verzinkt oder kunststoffbeschichtet
- Gusseisen/Stahlguss
- Edelstahl
- Holz (mit Melaninharz vergütetes Pressholz)
- Steinzeug
- Beton
- Asbestzement (Eternit), und Ersatzmaterial (Faserzement)
- Gewebe mit Stützrohren
- Hartgummi
- Kunststoffe (PVC, HDPE, Polypropylen, Polystyrol)
- Glasfaserverstärkte Kunstharze

Überblick über die gebräuchlichen Bauformen

- Schlitzlochung längs und quer (gefräste oder gestanzte Schlitze in verschiedenen Rohrmaterialien)
- Schlitzbrückenlochung (in Metallrohren)
- Hochleistungs-Schlitzbrückenlochung (in Metallrohren)
- Jalousielochung (in Metallrohren)
- Wickeldrahtfilter (vor allem aus Edelstahl, neuerdings auch aus Kunststoff)
- Lamellen- und Scheibenfilter (aus Edelstahl oder Kunststoff, ähnlicher Aufbau wie Filterkerzen)
- Filter aus ringförmigen Kunststoff-Elementen (Polystyrol-Spritzguss)
- Filter aus ringförmigen Gusseisenelementen
- Filter aus Betonringen mit Längs- oder Querschlitzen
- Obo-Filter (spiralförmig angeordnete Filtersegmente aus Pressholz)
- Kombinationen unterschiedlicher Bauformen, z.B. Wickeldraht auf grobgelochtem Stützrohr

Überblick über die gebräuchlichen Rohrverbindungen

- Laschenverbindung
- Flanschenverbindung
- Bördelverbindung
- Schraubverbindung
- Klammerverbindungen
- Verbindung mit zugfesten Steckmuffen

Filterkörper

Die im Brunnenbau zu verwendenden Filterkiese sind in den meisten Ländern genormt; die deutsche Norm DIN 4924 wird auch in vielen anderen Ländern verwendet. Über die Schüttkornbestimmungen in Relation zur Granulometrie des Untergrundes besteht umfangreiche Literatur und ein ausführliches DVGW-Merkblatt (W 113). Die Schüttung muss mit großer Sorgfalt erfolgen; eine Entmischung des Schüttgutes muss möglichst vermieden werden. In jüngster Zeit werden anstelle von Filterkies gelegentlich Filterschüttungen aus Glaskugeln in einheitlicher oder abgestufter Körnung verwendet.

Die unrichtige Wahl der Filter-Schlitzweite oder des Filterkieses kann nicht einfach durch Umwickeln der Filterrohre mit einer Tresse ungeschehen gemacht werden. Genau dieses war aber über längere Zeit durchaus gebräuchlich. So konnten Rohre mit zu großen Schlitzweiten doch noch eingesetzt werden, und Filterkies in bestgeeigneter Abstufung war auch nicht immer zur Hand. Die Verwendung von Tressen und Geweben kann aber nur als Notlösung in Frage kommen. Die Gefahr des Zusetzens durch Ocker, Sinter oder durch Versandung ist zu groß, und die Brunnenregenerierung kann erschwert oder gar verunmöglicht werden.

In schwierigen Untergrundverhältnissen (z.B. bei sog. Ausfallkörnung) kann es vorkommen, dass die erforderliche Abstufung des Filterkörpers nur durch doppelte

Schüttung, d. h. durch Einbringen unterschiedlich granulierter Filterkiese in konzentrischer Hohlzylinderform erreicht werden kann.

Mehrfachschüttungen können mit Gewebekörben oder mittels Trennröhrn eingebracht werden und sind in jedem Fall sehr aufwändig. Heute wird meist versucht, ohne Mehrfachschtüttung auszukommen, was angesichts der zur Verfügung stehenden hohen Qualität der Filterrohre und der Filterkiese in der Regel auch gelingt.

Die Probleme mit Mehrfachschtüttungen haben die Filterrohrhersteller bewogen, Filterrohre mit bereits aufgeklebtem Kiesbelag anzubieten. Vor dem Hintergrund späterer Werterhaltungsmaßnahmen ist dieser Filteraufbau allerdings wenig empfehlenswert.

Abdichtungen

Die Abdichtung der Brunnen gegen unerwünschte Einflüsse im oberflächennahen Bereich erfolgt am besten durch in der Bohrung verbleibende Sperrrohre, welche durch Zementation und Tonhinterfüllung gegen die Bohraureole abgedichtet werden.

Neben vorfabrizierten Dichtungsmassen, welche für den Kontakt mit Trinkwasser zugelassen sein müssen, werden für Abdichtungen der Sperrrohre wie auch für Zwischendichtungen heute Tonkugeln bzw. hydraulische Dichtmaterialien verwendet. Abdichtungen, welche mit Injektions- oder Verpressgestänge eingebracht werden, bestehen meist aus Mischungen von Tonmehl und Zement, allenfalls unter Beigabe geeigneter Filler.

1.2.7. Brunnenentwicklung und Pumpversuche

Brunnenentwicklung

Die Brunnenentwicklung, oft auch „Entsandung“ genannt, ist ein ausgesprochen wichtiger Teil des Brunnenbaus. Leider beschränkt man sich gerade bei Vertikalbrunnen oftmals auf das Klarpumpen, d. h. auf einen Kurzpumpversuch, welcher nach dem Verschwinden der Wassertrübung eingestellt wird.

Eine einfache Lösung zur Entwicklung eines Brunnens bildet der Einsatz von Entsandungskolben, welche am Seil im Filterrohr auf und ab bewegt werden, und durch Unterdruck Feinmaterial aus der umgebenden Formation fördern.

Eine Alternative dazu ist das Entwickeln einzelner abgepackter Bereiche der Filterstrecke durch Einsatz von Unterwasser- oder Mammutpumpen. Die Pumpmenge sollte dabei etwa das Fünffache des rechnerischen Anteils des Filterabschnitts an der Gesamtmenge betragen.

Daneben werden vermehrt und mit Erfolg moderne Regeneriertechniken (siehe Kapitel 5.5.2 und 5.5.5) zur effizienten Brunnenentwicklung eingesetzt. Besonders mit der neuen Technik der Hochleistungsentsandung mit SDKK® sind sehr gute Resultate zu erzielen.

Es ist verständlich, dass manche Beteiligte Bedenken haben, durch gewalttätige Entwicklung den gerade eben fertig gestellten Brunnen zu beschädigen. Ganz

besonders gilt dies dort, wo beispielsweise aus ökonomischen Gründen relativ knappe Wandstärken (vor allem bei Edelstahl) gewählt worden sind.

Im Horizontalbrunnenbau erfolgt die Entwicklung strangweise. Besonders bei den Verfahren ohne Kiesmantel (Fehlmann, Ranney) dient die Intensiventsandung nicht nur der Brunnenentwicklung, sondern überhaupt dem Aufbau des Filterkorngerüsts um das Filterrohr, und ist somit wesentlicher Bestandteil des Verfahrens selbst. Dass dazu nur die besten Verfahren gut genug sind, versteht sich.

Die Erfahrung zeigt, dass durch Intensiventwicklung der Absenkbetrag in den Brunnen deutlich vermindert werden, und somit eine signifikante Verbesserung der spezifischen Ergiebigkeit erreicht werden kann, was ja wohl ein Hauptanliegen des Brunnenbaus sein muss.

Pumpversuche

Pumpversuche in ihren verschiedenen Aufgabenstellungen sind Gegenstand umfangreicher Fachveröffentlichungen. Nachfolgend sollen lediglich einige Überlegungen zu den Abnahme-Pumpversuchen angebracht werden.

Die Abnahme (Kollaudation) eines Brunnens erfolgt in der Regel anhand eines Pumpversuchs, welcher bis zum Beharrungszustand bei einer bestimmten, in der Regel vorgegebenen Wassermenge durchgeführt wird. Die Maximalmenge soll dabei stufenweise angefahren werden. Sie sollte in der Regel deutlich über der zugelassenen Konzessionsmenge liegen. Der Kollaudations-Pumpversuch bildet eine sehr wichtige Basis für alle späteren Überlegungen zu Brunnenalterung, Werterhaltung, Regenerierungs- und Sanierungsbedarf; er muss deshalb zwingend als Belastungsprobe ausgelegt werden.

Im DVGW-Regelwerk sind die stufenweise durchzuführenden Betriebstests definiert; der Nachweis der Sandfreiheit soll bei 1,5-facher Nennleistung erfolgen.

2. FEHLER UND MÄNGEL IN PLANUNG UND AUSFÜHRUNG

Bereits ein kurzer Überblick über die mannigfachen Fehler, welche bei der Planung und beim Bau von Brunnen begangen werden (können), zeigt deutlich, dass solche „Geburtsfehler“ die Werterhaltung von Fassungen in der Regel viel deutlicher prägen, als noch so unprofessionelles Vorgehen im Betrieb und Unterhalt.

2.1 Ursachen

„Geburtsfehler“ beim Brunnenbau sind im Wesentlichen auf Mängel in den Vorgaben, in der Planung oder in der Ausführung zurückzuführen.

Vorgaben

Die Bauherren (mit oder ohne Berater) haben manchmal Vorstellungen, welche sich nicht oder nur unter Bedenken realisieren lassen. Manche Auftraggeber sind sich

auch der Bedeutung ihrer Fassungen gar nicht bewusst und stellen keine genügenden Mittel für deren Realisierung zur Verfügung.

Die meisten schlechten Randbedingungen sind auf Vorgaben der Bauherren bzw. deren Berater zurückzuführen.

Planung

Ingenieure und Planer mit mangelhafter Qualifikation können unzweckmässig bis fehlerhaft planen, oder auch die gebotene Sorgfalt nicht wahren. Häufig ist dies auf mangelnde Erfahrung, und daraus folgend auf Nichterkennen der Knackpunkte zurückzuführen, seltener auf schiere Nachlässigkeit.

Die meisten Verstösse gegen die Regeln des Brunnenbaus werden von Ingenieuren und Planern begangen.

Ausführung

Qualifizierte Brunnenbauunternehmen arbeiten in der Regel so gut, wie es die Planung vorgibt. Natürlich kommen auch Verstösse gegen die Regeln des Brunnenbaus vor. Diese werden oft erst ermöglicht durch zu nachsichtige Führung durch die Bauleitung. Ausserdem kommt immer wieder unrichtiges Verhalten bei unerwarteten Ereignissen vor, seltener Nachlässigkeit und Bequemlichkeit.

Die meisten Verstösse gegen die Sorgfaltspflicht begehen die ausführenden Unternehmen.

2.2 Konkrete Verstösse gegen die Regeln des Brunnenbaus Ursachen

Einzelnen oder kumuliert werden von Bauherren, Beratern, Planern und Brunnenbauunternehmern folgende Fehler begangen:

- Wahl ungünstiger Fassungsstandorte
- Unzweckmässige Systemwahl
- Wahl ungeeigneter Erstellungsverfahren
- Unrichtige Wahl von Ausrüstungen
- Falsche Materialwahl
- Nichtberücksichtigung hydraulischer Anforderungen (Absenkung, Eintrittsverluste, Granulometrie und Durchlässigkeit des Grundwasserleiters)
- Unrichtiges Verhalten bei Vortriebsproblemen (Schächte und/oder Bohrungen)
- Fehlende oder unrichtige Risikobeurteilung (artesische Verhältnisse, Absenkverhalten, Entwicklungsfähigkeit)
- Ungenügende Brunnenentwicklung

Ein Lichtblick: Manche Brunnen funktionieren zur Zufriedenheit der Betreiber, auch wenn ihr Standort nicht optimal, die Dimensionierung unzweckmässig, die Ausrüstung mangelhaft, die Materialwahl zweifelhaft und/oder die Entwicklung unvollständig war.

2.3 Prävention

Durch Beachtung einiger Regeln zum richtigen Vorgehen lassen sich die meisten „Geburtsfehler“ vermeiden. Die Prävention muss aber alle Beteiligten umfassen, also den Bauherrn, seine Berater und seine Beauftragten auf allen Stufen.

Der Bauherr muss genügende Mittel bereitstellen und seine Beauftragten mit grösster Sorgfalt auswählen.

Die Berater sorgen für eine ausreichende Abklärung der für eine zuverlässige Dimensionierung erforderlichen Grundlagen.

Die Planer und Ingenieure setzen kompetente Fachleute ein, beurteilen sorgfältig alle denkbaren Risiken und Störfallszenarien; sie führen sorgfältige Ausschreibungen mit klaren Vergabekriterien und ohne Abgebotsrunden durch.

Die Unternehmer wählen ihre Ausrüstung so, dass alle denkbaren Schwierigkeiten des Untergrundes überwunden werden können; sie setzen erfahrenes Brunnenbaupersonal ein, welches alle fassungsrelevanten Probleme rechtzeitig erkennt und meldet.

Man sollte wohl meinen, diesen Pflichtenkatalog durch einen Hinweis auf ISO 9000 oder andere Qualitätsmanagement-Systeme ersetzen zu können. Immer mehr Berater, Planer, Ingenieure und Unternehmer sind schliesslich einschlägig zertifiziert. Wie die eindrucksvoll präsentierten Zertifikate allerdings umgesetzt werden, steht da und dort auf einem anderen Blatt.

3. BESONDERHEITEN ÄLTERER BRUNNEN

3.1. Vertikalbrunnen

Wo die Wasserwerke über ältere Vertikalbrunnen im Lockergestein verfügen, weisen diese trotz grossen Anfangs-Bohrdurchmessers oft einen eher bescheidenen Filterdurchmesser auf. Angesichts der Probleme mit dem Rohrvortrieb musste früher stets mit Teleskopierung (Einsatz von Hilfsverrohrungen kleineren Kalibers) gerechnet werden, und da wäre es unvorsichtig gewesen, das Filterrohr nur wenig kleiner als das Bohrrohr zu halten. Alte Vertikalbrunnen können somit Kiesschüttungen von beachtlicher Mächtigkeit aufweisen, was gerade für Regenerationsvorhaben nicht ohne Bedeutung ist.

Ältere Brunnen weisen auch manchmal Filterkolonnen mit abgesetzten Durchmessern auf, und dies nicht nur im ungesättigten Bereich, in welchem früher meistens ein Schacht erstellt wurde. Das Steckenbleiben der Bohrrohre hatte oft eine nicht geplante Teleskopierung zur Folge. In solchen Fällen wurde die Strecke geringeren Durchmessers mit einem Filterrohr in verlorenem Einbau bestückt, das Teleskoprohr gezogen und nur der obere Teil mit der ursprünglich geplanten Filterdimension ausgerüstet. Derartige behelfsmässige Übergänge bilden Schwachstellen, auch wenn der Einbau auf einer gewissen Länge doppelt geführt

wurde. Professionell einwandfreie Versiegelungen der offenen Fuge sind jedenfalls bei älteren Brunnen eher selten.

3.2. Horizontalfilterbrunnen

Sehr alte Horizontalfilterbrunnen (vor 1955) sind häufig mit Schächten versehen, welche unter Druckluft im Caissonverfahren (Druckluftgründung) erstellt worden sind. Solche Schächte weisen in der Regel eine Zwischendecke aus Beton auf (oberer Abschluss der Druckkammer).

Das Caissonverfahren war für Gründungen im Wasser während Jahrzehnten die einzige wirklich effiziente Methode. Einmal war die Schachtschmierung mit thixotroper Flüssigkeit (*Methode Lorenz*) noch kaum gebräuchlich. Das Absenken von Senkschächten wurde also durch die Mantelreibung sehr erschwert. Ausserdem gab es zu dieser Zeit noch keine starken oder gar mit hydraulischer Kraft arbeitenden Greifer. Der Aushub an der Schachtschneide musste also weitgehend von Hand erfolgen.

Manchmal trifft man ältere Horizontalbrunnen mit undichter Sohle an, was das Leerpumpen des Schachtes verunmöglicht. Die Herstellung dichter, kraftschlüssiger Unterwasserbeton-Sohlen ist ebenfalls eine technische Errungenschaft der Jahrzehnte nach 1950. In manchen Brunnen können ausserdem nach jahrzehntelangem Betrieb ohne Schieberregulierung die Schieber nicht mehr geschlossen werden, was ebenfalls das Lenzen des Schachtes verunmöglicht. .

Als besondere Modifikation wurden bei *Fehlmann* bis etwa 1960 gelegentlich überlange Stränge (bis 80 m) in teleskopierter Vortriebsweise erstellt. Ähnlich wie beim Vertikalbrunnen sind die Übergänge beim Kaliberwechsel kaum abgedichtet; in sandigen Böden können solche offenen Fugen vor allem bei Veränderungen des Pumpregimes einige Schwierigkeiten bereiten. Auch *Preussag*-Brunnen mit sehr langen Strängen sind zumindest in den Schwemmlandebenen Norddeutschlands nicht unbekannt.

Schliesslich hat es gerade im Horizontalbrunnenbau allerhand Sonderformen gegeben, sei es als Verbesserung, sei es zur Umgehung von Patenten; da und dort steht so ein Brunnenexot auch heute noch im Betrieb.

3.3. Filterrohrproblematik

Vertikalbrunnen mit einem Alter von 50-100 Jahren und mehr können an sich noch durchaus funktionsfähig sein; will man aber einer Leistungsminderung wegen Brunnenalterung beikommen, ist es sehr wichtig, sich eingehend mit den seinerzeit verwendeten Filterrohren und den zur ihrer Herstellung verwendeten Materialien zu befassen. Dies gilt ebenso für ältere Horizontalfilterbrunnen, für welche seinerzeit auch kaum andere Filtertypen verfügbar waren.

In einer Zeit, wo man noch keine dauerhafte Feuerverzinkung und keine für Trinkwasser geeigneten Kunststoffe kannte, und Edelstahl unerschwinglich war, hat

man sich mit Holz, Steinzeug, Geweben, Gusseisen, Kupferblech und etwas später auch Beton beholfen.

Aus heutiger brunnenbautechnischer Sicht waren Kupferrohre die beste Lösung; den Aufwand dafür mochten Betreiber aber meist nur beim ohnehin schon teuren Horizontalbrunnen in Kauf nehmen. Dies mit einigem Erfolg: In der Schweiz und in Deutschland stehen mehrere Horizontalbrunnen aus den Vierziger- und Fünfzigerjahren mit Kupferfiltern heute noch in Betrieb, und ihre Filterstränge sind keineswegs altersschwach.

Filterrohre aus Steinzeug, geeigneten Hölzern und Beton für die Ausrüstung von Vertikalbrunnen waren wohl korrosionsfest, hatten aber sonst einige Nachteile (Gewicht, mühsamer Einbau) und konnten materialbedingt nur mit relativ grossen Schlitzweiten (2-3 cm bei Betonrohren) versehen werden, was den an sich schon grossen Bohrdurchmesser zur Aufnahme einer doppelten Schüttung noch weiter vergrösserte. Verschiedene Filterkonstruktionen aus gusseisernen Ringen haben sich da und dort bis heute erstaunlich gut gehalten, wiesen aber bezüglich Bohrdurchmesser, Schlitzweite und Einbau ähnliche Probleme auf.

Dass den ersten Filterrohren aus Kunststoff keine überaus grosse Lebensdauer beschieden war, ist wohl verständlich, und von den frühen Zinkbelägen ist bei Zustandsanalysen häufig nichts mehr zu sehen. Die ab den Sechzigerjahren häufig verwendete Kunststoffbeschichtung war zwar ein wichtiger Schritt zu korrosionsgeschütztem Filtermaterial, nur weisen diese Rohre oft Einbauschäden und noch mehr Schäden aus dem Ein- und Ausbau der Betriebspumpen auf, wodurch natürlich der teure Korrosionsschutz illusorisch wird.

Ab Mitte der Siebzigerjahre wurden vermehrt Edelstahlrohre verbaut, sowohl in Schlitzbrücken- wie auch in Wickeldrahtkonstruktion. Auch die Kunststoffrohre haben sich seit dieser Zeit in der Regel gut gehalten.

Dass man in der Vergangenheit bei nicht immer fachgerechten Regenerierungs- oder Sanierungsmassnahmen gerade an den Filterkolonnen manchmal mehr Schaden angerichtet als Nutzen erzielt hat, ergänzt das Bild einer Entwicklung, die erst in jüngster Zeit zu einer einwandfreien Ausrüstung von Grundwasserfassungen geführt hat.

4. BETRIEB UND UNTERHALT

4.1. Brunnenschonende Betriebsweise

Jeder Fachmann, welcher sich mit Grundwasserfassungen beschäftigt, wird der Behauptung zustimmen, ein „sanfter“ Brunnenbetrieb ohne grössere Ausschläge sei das Beste, was man für die Lebenserwartung einer Fassung tun könne. Man kennt das „sanfte Entnahmeregime“ vom Betrieb der meisten Quellen; es ist mitverantwortlich für jahrzehntelanges Funktionieren ohne sichtbare Alterung oder Leistungsabnahme.

Die Betriebsweise der meisten Grundwasserbrunnen orientiert sich dagegen an Vorgaben und Bedürfnissen, welche den Ansprüchen eines sanften Entnahmeregimes kaum Rechnung tragen. Der Wasserbedarf ist nach Tages- und Jahreszeit unterschiedlich, was eine unregelmässige Entnahmemenge zur Folge hat; und dies ganz besonders bei knapper Behälterkapazität. Die meist sehr unterschiedlichen Stromkosten für Tag- und Nachtbetrieb führen deshalb zu einer Konzentration des Pumpbetriebs auf Perioden günstiger Stromtarife. Hinzu kommt, dass Pumpaggregate nur in einem engen Betriebsbereich mit gutem Wirkungsgrad arbeiten.

Die Brunnenbetreiber schonen also im Normalbetrieb, wo immer möglich, ihren Geldbeutel hinsichtlich Energiekosten und Behälterkapazität, und ebenso ihre Pumpen hinsichtlich Wirkungsgrad - ihre Brunnen schonen sie dagegen nicht. Diese werden vielmehr rücksichtslos ausgebeutet.

Der intermittierende Pumpbetrieb stellt eine ausgesprochen hohe Belastung eines Brunnens dar, für welche dieser weder gebaut noch abgenommen wurde. Die Wasserentnahme aus dem Untergrund verläuft in drei Phasen:

- Phase 1: Leerung des Bauwerks
- Phase 2: Absenkung des Wasserspiegels in der Formation
- Phase 3: Stationäre Entnahme

Besonders die Phase 2 hat sehr unterschiedliche Beanspruchungen des Fassungsbauewerks zur Folge, ist also der Lebenserwartung desselben in weit höherem Masse abträglich als die stationäre Phase 3.

Es erstaunt immer wieder, mit welcher Naivität Brunnenabnahmen aufgrund eines einstufigen Pumpversuchs von relativ kurzer Dauer durchgeführt werden; niemand denkt offenbar daran, dass der Brunnen im Betrieb in aller Regel einem sehr viel brutaleren Entnahmeregime unterworfen wird.

Natürlich wäre es illusorisch, zum Schutz der Brunnen generell den „sanften“ stationären Brunnenbetrieb fordern zu wollen. Die Betreiber sollten sich aber bewusst sein, dass sie ihre Brunnen im intermittierenden Betrieb sehr stark belasten. In Fällen, wo ein sanfter Betrieb auch aus anderen Gründen angezeigt wäre, z.B. bei Begrenzung der Entnahmemenge aus Qualitäts- und Sicherheitsgründen, sollten die Ansprüche bezüglich Kosten und Wirkungsgrad auf ihre Stichhaltigkeit im Vergleich zum Werterhaltungsanspruch der Fassungen geprüft werden.

4.2. Fachmännischer Unterhalt

Fast überall in Mitteleuropa werden die Einrichtungen der Wasserversorgung sorgfältig gewartet. Dies gilt vor allem für Pumpen, Leitungen, Armaturen, Steuerungen, Reservoirs und Behälter aller Art. Weit weniger intensiv kümmern sich aber viele Wasserversorgungen um die Fassungen selbst, vor allem wenn deren Betrieb seit Jahrzehnten störungsfrei verläuft. Wer das Qualitätssicherungs-Handbuch einer beliebig gewählten Wasserversorgung durchsieht, wird fast immer detaillierte Vorschriften bezüglich sämtlicher Unterhaltserfordernisse vorfinden, - aber

sehr häufig findet er keine Angaben zu den Fassungen. Für alle Anlagen wird da der Unterhalt mit akribischer Genauigkeit vorgegeben; mit Bezug auf die Grundwasserfassungen reicht es oftmals gerade noch zu Weisungen für die periodische Instandstellung der oberirdischen Pumpstation und den Heckenschnitt in der Schutzzone 1. Der Brunnen gibt seit 30 Jahren genug Wasser, was soll's?

Dabei ist es sehr wichtig, Grundwasserbrunnen periodisch zu prüfen, auch wenn keine offensichtlichen Anzeichen für eine Kapazitätsminderung vorliegen. Meistens lässt sich aus dem üblichen intermittierenden Betrieb heraus gar nicht mit Sicherheit aussagen, ob die Brunnenkapazität zurückgegangen ist oder nicht. Das Befahren eines Brunnens mit einer Fernsehkamera etwa alle fünf Jahre, möglichst gleichzeitig mit dem periodischen Pumpenunterhalt, ist mit Sicherheit kein Luxus; und die Durchführung eines mehrtägigen Pumpversuchs mit konstanter Pumpmenge gehört auch dazu. Dieser Versuch erlaubt den Vergleich mit den seinerzeitigen Ergiebigkeitstests nach Fertigstellung des Brunnens, und hilft mit, rechtzeitig Leistungsabfall festzustellen. Und mit diesen Massnahmen kann in einem Störfall dokumentiert werden, bis zu welchem Zeitpunkt noch alles in Ordnung war. Dass dies im Hinblick auf die Planung und Durchführung von Regenerierungs- oder Sanierungsmassnahmen von Bedeutung sein kann, liegt auf der Hand. Kommt hinzu, dass der Ausfall einer Fassung meistens nicht einfach durch eine geschickt angesetzte Sofortmassnahme ungeschehen zu machen ist; es lohnt sich auch aus dieser Sicht, Sorge zu den Fassungen zu tragen.

5. WERTERHALTUNG

5.1. Grundsätzliches zur Werterhaltungsproblematik

Walterhaltung ist heute als Prinzip kaum mehr gesellschaftsfähig. Defekte Dinge des täglichen Gebrauchs werden in der Regel ausgetauscht und kaum mehr in Stand gesetzt. Ausnahmen werden fast nur noch dort gemacht, wo der Ersatz technisch schwierig und/oder sehr aufwändig ist. Auch administrativ mühsame Wiederbeschaffungsvorgänge (schwierige Aufsichtsbehörden, komplexe Bewilligungsabläufe) fördern Werterhaltungs-Überlegungen.

Ein typisches Beispiel dafür ist der Brunnenbau: Die meist hohen Erstellungskosten, die technisch nicht einfache Realisierung, langwierige Bewilligungs- und Schutzverfahren haben zur Folge, dass die Betreiber alles daran setzen, ihre Anlagen lange nutzen zu können. Sie wissen nur häufig nicht recht, was sie dazu vorkehren können und müssen. Und nur selten wird daran gedacht, schon in der Planungsphase eine lange Nutzungsdauer sicherzustellen.

Wollte man Brunnenbauwerken eine „Persönlichkeit“ zumessen, könnte man im Zusammenhang mit der Werterhaltung als Ziel etwa „hohes Alter bei guter Gesundheit und geringem Leistungsabfall“ formulieren. Spinnt man diese Überlegungen aus dem Gesundheitswesen weiter, wären zur Erreichung dieses Ziels die nachfolgend angeführten Voraussetzungen ausschlaggebend:

Gesunde Grundkonstitution (... keine „Geburtsfehler“ ...), und Frühkorrekturen bei festgestellten Fehlern.

Angemessene Betriebsweise (... nicht überanstrengen ...)

Fachmännischer Unterhalt (gute „medizinische“ Betreuung, periodischer „Checkup“)

Werterhaltungssysteme („medizinische“ Massnahmen)

5.2. Brunnenalterung

Gemäss Merkblatt W130 des DVGW (in der Schweiz fehlen einschlägige Vorschriften) werden als „Brunnenalterung“ alle Vorgänge bezeichnet, welche für den Leistungsabfall einer Fassung zuständig sind.

Die Brunnenalterung kann sich zeigen durch:

- Verockerung (chemisch oder biologisch)
- Versandung
- Korrosion
- Verschleimung
- Versinterung
- Aluminiumfällung

Alle genannten Erscheinungen können die Brunnenleistung negativ beeinflussen. In der Schweiz tritt die Brunnenalterung vorwiegend als Verockerung, Versandung und als Folge von Korrosion des Filtermaterials in Erscheinung.

5.3. Zustandsanalysen

Um einen störungsfreien und wirtschaftlichen Brunnenbetrieb zu gewährleisten, und um eventuelle Schadstellen am Brunnen zu erkennen, sind Zustandsanalysen unerlässlich. Diese umfassen neben der Auswertung der physikalischen, chemischen und bakteriologischen Betriebsdaten auch TV-Befahrungen und Brunnentests, manchmal auch geophysikalische Messungen, biochemische Untersuchungen und mineralogische Abklärungen.

TV-Befahrungen

Erste Brunnen-TV-Systeme wurden bereits vor mehr als 50 Jahren eingesetzt. Heute sind moderne Kamerasysteme für die Befahrung aller Arten von Vertikal- und Horizontalfilterbrunnen verfügbar. Auch grosse Brunnendurchmesser können ausreichend gut belichtet werden. Einsatztiefen von rund 500 m sind mit axialen und radialen Aufnahmen möglich; mittels Zoomtechnik können Schadstellen oder Ablagerungen im Brunnen klar erfasst werden. Für die Befahrung der Stränge von Horizontalfilterbrunnen werden Geräte mit Fahrwagen eingesetzt.

Für spezielle Anforderungen kommen mobile Kleinkamerasysteme zur Anwendung. Für das Einführen solcher Kameras ist bereits eine 2“–3“ grosse Öffnung im Brunnenkopfdeckel ausreichend. Ein Ausbau der Betriebspumpen ist beim Einsatz dieser Geräte in der Regel nicht erforderlich.

Häufig wird für das Brunnenfernsehen der Einsatz von Kanalfernsehkameras empfohlen, welche in der Regel ebenso gut ausgerüstet sind wie Brunnen-TV-Kameras. Grundsätzlich bestehen allerdings Vorbehalte gegenüber Geräten, welche sonst im Abwasser eingesetzt werden, auch wenn es heute Desinfektionsmittel gibt, welche bei rigoroser Beachtung aller Vorsichtsmassnahmen den Wechsel von Abwasser zu Trinkwasser vom Standpunkt der Trinkwasserhygiene als vertretbar erscheinen lassen.

Allerdings ist zu berücksichtigen, dass Kanalfernsehgeräte in der Regel nicht für Einsätze in Wassertiefen über 10 m ausgelegt sind, was bei Brunnenbefahrungen häufig nicht den Anforderungen entspricht. Auch fehlt bei Brunnen-Befahrungen durch Kanal-TV-Equipen der besondere Knowhow für die Interpretation schwieriger brunnenbaufachlicher Zusammenhänge, wie er gerade in Altbrunnen oft hilfreich ist.

Brunnentest

Durch den Brunnentest (Kurzpumpversuch mit Mengen- und Absenkmessung) lässt sich die momentane hydraulische Leistungsfähigkeit des Brunnens feststellen und mit dem Neubau-Zustand, bzw. mit früheren Messungen vergleichen.

Geophysikalische Untersuchungen

In Kombination mit der TV-Befahrung kommen bei Bedarf geophysikalische Abklärungen zur Anwendung. So kann beispielsweise mittels Flowmeter-Messungen das Leistungsverhalten der verschiedenen Filterbereiche eines Brunnens erfasst werden.

Biologische Aktivierungs- und Reaktionstests

Diese Abklärungen ergeben Aufschluss über die bakterielle Aktivität im Brunnen und sind ein probates Hilfsmittel für die Interpretation der Brunnenalterung.

Mineralogische und geochemische Analysen

Zur Ursachenklärung der Brunnenalterung von Trinkwasserbrunnen können schliesslich auch mineralogische und geochemische Verfahren eingesetzt werden. Daraus können Rückschlüsse auf die Regenerierbarkeit des Brunnens bzw. Prognosen auf die Erfolgsaussicht einer Regenerierung abgeleitet werden.

5.4. Werterhaltungsplanung

Im Rahmen der Brunnen-Werterhaltung werden technische Massnahmen getroffen, durch welche die Auswirkungen der Brunnenalterung begrenzt oder sogar rückgängig gemacht werden. Ausserdem sollen störende Einflüsse von aussen erfasst und möglichst behoben werden. Dabei ist vielfach die Rede von „Sanierung“, auch wenn diese Bezeichnung keineswegs immer den üblichen Vorstellungen entspricht.

Für *bestehende* Fassungen können mit Hilfe eines Soll-Ist-Vergleichs eigentliche Ertüchtigungs- und Aufwertungsprogramme zur Werterhaltung und/oder zur Wertsteigerung definiert werden. Solche Programme sind hierzulande auch unter der Bezeichnung *RETROFIT* bekannt; auf der Alpensüdseite werden sie „*aggiornamento*“ genannt.

Bei der Planung *neuer Fassungen* ist zu berücksichtigen, dass deren Betreiber eine beträchtliche Lebensdauer erwarten. Es empfiehlt sich deshalb, im Verlauf der Planung eine Schwachstellenanalyse hinsichtlich Lebensdauer der einzelnen Elemente einer Fassung durchzuführen, und planerische Mängel durch entsprechende Massnahmen auszumerzen.

Als Beispiel diene die Erfahrung, dass manche Betreiber ihre Sparsamkeit ausgerechnet bei der Wahl des Filtermaterials oder des Filtertyps beweisen wollen, und damit eine Schwachstelle hinsichtlich Wirksamkeit und/oder Lebensdauer der Fassung schaffen.

Im Horizontalbrunnenbau geht es besonders darum, die aufwändigen Bauwerke so zu gestalten, dass spätere Massnahmen zur Werterhaltung nicht behindert werden. Dies betrifft die bauliche Gestaltung der Bauwerke am Brunnenkopf, die Anordnung von Pumpen, Leitungen und Steuerungseinrichtungen, und nicht zuletzt den Einbau von Reserve-Schachtdurchführungen.

Bauliche Massnahmen zum Schutz der Fassungen können ebenfalls Gegenstand der Werterhaltungsplanung bilden. Es kann sich dabei um die Anordnung von hydraulischen Barrieren (Entnahme- oder Infiltrationssysteme) im Umfeld handeln, oder auch um integrierte Massnahmen zum Kontaminationsschutz.

Je besser eine Fassung für spätere Massnahmen der Werterhaltung vorbereitet wird, desto eher bleiben die kostspieligen Anlagen zur Grundwassernutzung über lange Zeit funktionsfähig. Die Mitwirkung von Brunnenbau-Fachleuten lohnt sich bei der Werterhaltungsplanung für neue und bestehende Fassungen.

5.5. Konkrete Massnahmen zur Werterhaltung

5.5.1 Mechanische Reinigung

Bürsten

Das mechanische Verfahren „Bürsten“ dient zur Lösung von gering verfestigten Ablagerungen an der Rohrwand und in den Filterschlitzten. Das Bürsten ist eine Vorreinigungsstufe und kann praktisch in allen Brunnenarten und Ausbaumaterialien eingesetzt werden. Das Ablösen der Ablagerungen erfolgt durch Auf- und Abbewegung und/oder Rotieren von Rundbürsten; Borstenart und –material richten sich nach dem Brunnenausbaumaterial.

Wasserhochdrucktechnik

Die verschiedenen Wasserhochdruckverfahren bilden eine Alternative zur üblichen mechanischen Innenreinigung unter Verwendung von Bürsten. Mit Hochdruckverfahren werden geringe bis mittelmässig verfestigte Ablagerungen von der Brunnenrohrwand und den Filterschlitzten hydromechanisch gelöst.

Die meisten Verfahren basieren auf einem rotierenden Düsenkopf, aus dem bei gleichzeitiger Auf- und/oder Abbewegung ein Wasserstrahl auf die Rohrwand gerichtet wird. Der Wasserdruck sowie die Düsenausrichtung und der Düsenvortrieb

sind je nach Servicefirma unterschiedlich; sie richten sich vor allem nach dem Ausbaumaterial der Brunnen.

5.5.2 Hydromechanische Regenerierung

Die heute eingesetzten hydromechanischen Brunnenregenerierungsverfahren lassen sich grundsätzlich in zwei Gruppen gliedern:

- Verfahren, bei denen mechanische oder strömungsmechanische Kräfte kontinuierlich auf die Umgebung einwirken (z.B. Bürsten, Intensiventnahme, Hoch- und Niederdruckdüsensysteme).
- Verfahren, bei denen mechanische oder strömungsmechanische Kräfte nicht kontinuierlich, sondern als Impuls auf die Umgebung einwirken. Zur Gruppe der „Impulsverfahren“ gehören verschiedene, meist patentrechtlich geschützte Verfahren.

Niederdruckwasserspülung

Niederdruckwasserspülung wird vor allem zur effizienten Regenerierung von Brunnen mit den Ausbaumaterialien Steinzeug und obo (Pressholz), und im Übrigen immer dann eingesetzt, wo Hochdruckverfahren nicht angezeigt oder nicht ratsam sind.

Wasserhochdrucktechnik

Mit Hochdruckverfahren verschiedener Provenienzen werden geringe bis mittel verfestigte Ablagerungen von der Brunnenrohrwand und den Filterschlitzten hydromechanisch gelöst. Die Wasserhochdrucktechnik eignet sich grundsätzlich für alle Vertikal- und Horizontalfilterbrunnen.

Die Regenerierung mittels Hochdrucktechnik entspricht im Wesentlichen dem bereits unter Kapitel 5.5.1 beschriebenen Vorgehen. Die verschiedenen Servicefirmen haben ihre Hochdrucktechnik aber teilweise weiter verfeinert und damit beachtliche Regenerationsergebnisse erreicht.

Impulsverfahren

Seit Beginn der fünfziger Jahre werden Impulsverfahren in der seismischen Erkundung sowie in der Erdölförderung zur Bohrlochintensivierung eingesetzt. In der Folge wurden verschiedene Verfahren zur Anwendung bei der Brunnenregenerierung weiter entwickelt.

Das Wirkungsprinzip der verschiedenen, teilweise patentrechtlich geschützten Impulsverfahren besteht darin, dass durch eine schlagartige Expansion eines hochkomprimierten Gases oder einer Flüssigkeit Impulse erzeugt werden. Mittels eines in den Brunnen eingeführten Impulsgenerators, der während der Bearbeitung im Filterbereich bewegt werden kann, werden zeitlich geringfügig versetzte Druckimpulse ausgelöst. Durch spezielle Vorrichtungen können gelöste Ablagerungen während der Anwendung abgepumpt werden. Die Anwendungsmöglichkeiten reichen von Locker- und Festgesteins-Vertikalbrunnen bis zum Horizontalfilterbrunnen.

Sprengschocken®

Bei den Berliner Wasserbetrieben wurden ab ca. 1990 erstmals Versuche mit Explosivstoffen zur Regenerierung von Brunnen durchgeführt; auf Grund der Erfolge wurde das Sprengschocken® zur Serienreife weiterentwickelt und patentrechtlich geschützt. Die Methode eignet sich vor allem für die Entfernung von hartnäckigen Ablagerungen bis hin zum „Knacken“ alter, vererzter Brunnenbeläge. Sie wird auch mit guter Aussicht auf Erfolg bei der Inlinersanierung (siehe 5.5.6) zur Aufwältigung der Altfilter eingesetzt.

Die Sprengungen erfolgen mittels einer zentrisch in der Filterstrecke angeordneten gestreckten (Linien-)Ladung aus Knallzündschnur (Sprengschnur), in der Regel durchgeführt in Etappen mit steigender Ladungsstärke. Für Sprengungen mit starken Ladungen ist die Verwendung eines stabilen Einschub-Filters unabdingbar.

Charakteristisch für die Wirkungsweise des Sprengschockens® sind

- der durch die Detonation hervorgerufene, über die gesamte Filterlänge gleichzeitig verlaufende, elastische Primärimpuls, der zu einer hydromechanischen Lösung von Inkrustationen führt.
- die anschliessenden Sekundäripulse (Gasblasenszyklus durch Umsetzung des Sprengstoffes), der die gelösten Ablagerungen entfernt.

5.5.3 Chemische Regenerierung

Die Brunnen-service-Anbieter verfügen über eine breite Palette von chemischen Verfahren zur Brunnenregenerierung; diese werden hin und wieder auch in der Schweiz angewendet, meist in Kombination mit hydromechanischen Verfahren.

Es empfiehlt sich, rechtzeitig vor einem Einsatz von chemischen Regeneriermitteln die zuständige Bewilligungsinstanz (Kantonales Umweltamt) zu kontaktieren, da der Einsatz von Chemie in Trinkwasserfassungen nicht in allen Kantonen gern gesehen wird. Dazu ist allerdings festzuhalten, dass einschlägig zertifizierte Servicefirmen heute aus der breiten Palette anorganischer und organischer Regeneriermittel eine den spezifischen Anforderungen entsprechende Auswahl treffen, und auch Gewähr für die restlose Entfernung der Regenerate und die Vermeidung von Sekundärverkeimungen bieten.

5.5.4 Brunnenregenerierung mittels Ultraschall

Der Regenerierung mittels Ultraschall wurde vor etwa 10 Jahren eine grosse Zukunft prophezeit; das Verfahren hat jedoch bis dato zumindest in der Schweiz den Durchbruch nicht geschafft. Offenbar entspricht die Wirkung besonders bei grösserer Wassertiefe nicht immer den Anforderungen an eine effiziente Regenerierung, obwohl die Reinigungswirkung von Ultraschall-Geräten an sich unbestritten ist.

5.5.5 Intensiventnahme und Hochleistungsentsandung

Aus dem früher praktizierten Abpumpen der gelösten Ablagerungen haben sich mit der Zeit mehrere Methoden zur Intensiventsandung entwickelt, welche im Wesentlichen auf dem schon seit langem bekannten Einsatz von Manschetten bzw. Doppelpackern zur Eingrenzung des Entnahmebereichs im Filterrohr beruhen. Die Intensiventnahme mit Manschettenkammern wird häufig mit dem Einsatz von Impulsverfahren kombiniert.

Seit einigen Jahren ist unter der Bezeichnung SDKK® (symmetrische Doppelkolbenkammer) eine sehr leistungsfähige deutsche Weiterentwicklung auf dem Markt, bei welcher die Kammergrösse und die Sandaustragung mittels EDV-gestützter Modellierung exakt an die Zusammensetzung der durchörterten Schichten und der dieser entsprechenden Kiesschüttung angepasst wird. Diese Hochleistungsentsandung in Verbindung mit einem leistungsfähigen Impulsverfahren erlaubt nicht nur die Reinigung der Filterschlitz und der Kiesschüttung, sondern sie entwickelt auch die sogenannte Bohraureole, die an die Bohrlochwand angrenzende nähere Umgebung im Grundwasserleiter. Die sorgfältig dosierte Austragung von Feinanteil aus diesem Bereich hat in aller Regel eine nachhaltige Wirkung auf Sandfreiheit und Brunnenleistung zur Folge.

Derartige Verfahrenskombinationen werden in jüngster Zeit vermehrt auch für die effiziente Entwicklung/Entsandung neu erstellter Fassungen verwendet.

5.5.6 Inlinersanierung

Der gerade bei sehr alten Brunnen häufig auftretende Fall, dass nicht nur Ablagerungen, sondern auch gravierende Schäden aller Art an den Filterkolonnen festgestellt werden, hat oft zur Folge, dass eine effiziente Regenerierung wegen der Gefahr eines Brunnenkollapses nicht in Frage kommt. Sofern solche Brunnen nicht aufgegeben (und rückgebaut) werden sollen, kommt hier die Inlinersanierung zum Zug.

Dabei wird eine Einschubverrohrung eingebaut, verkiest und der so geschützte Brunnen einer eingehenden Regenerierung unterzogen. Hierzulande hat es sich in den letzten 10 Jahren mehrfach in Vertikal- und Horizontalfilterbrunnen bewährt, einen verstärkten Inliner in Wickeldraht-Konstruktion aus Edelstahl einzubauen, den Altfilter durch Sprengschocken® aufzureissen und anschliessend den Brunnen mittels Intensiventnahme wieder auf einen Leistungsstand zu bringen, welcher der seinerzeitigen Abnahmeleistung nahe kommt.

5.5.7 Aufbohren und Neuverfilterung

Ein Altbrunnen kann in bestimmten Fällen auch durch Aufbohren und Einsetzen einer neuen Filterkolonne mit entsprechender Entsandung/Entwicklung saniert werden. Dieses Vorgehen kann allerdings viel teuer zu stehen kommen, als ein Neubau neben dem Altbrunnen. Nur ist es oft der Fall, dass ein Brunnenneubau wegen geänderten Vorschriften gar nicht bewilligungsfähig ist, eine Sanierung des Altbrunnens aber dennoch möglich ist, weil diese Massnahme nicht im gleichen Mass bewilligungspflichtig ist.

Das Aufbohren eines maroden Altbrunnens hat natürlich seine Tücken. Überbohren mit einem grösseren Rohrkaliber ist auf grössere Tiefen nur selten erfolgreich; das Ziehen des Altfilters ist auch nicht einfach, und das Zerbohren des Altfilters hat höchstens bei Filterrohren aus Kunststoff, Pressholz (obo) und Steinzeug eine Chance. Altfilter aus Einzelelementen (Guss- oder Betonfilter) können nicht gezogen werden.

5.5.8 Betriebliche Massnahmen zur Vermeidung störender Einflüsse

Die Werterhaltung von Grundwasserfassungen kann in bestimmten Fällen durch betriebliche Massnahmen eindeutig gefördert werden.

Zur schonenden Betriebsweise wird auf Kapitel 4.1 verwiesen. Es versteht sich, dass der dort angesprochene, vorwiegend kommerziell begründete intermittierende Betrieb dann problematisch wird, wenn sich störende Einflüsse auf den Brunnen durch den „Sägezahneffekt“ in der Absenkkurve bemerkbar machen. So kann der gleiche Brunnen an einem Fluss- oder Seeufer bei kontinuierlichem, „sanftem“ Brunnenbetrieb einen tolerierbaren Anteil an Uferfiltrat fassen, im Hochleistungsbetrieb dagegen in wenigen Nachtstunden eine Mischwasserqualität liefern, welche den Vorschriften für Trinkwasser kaum mehr entspricht.

In solchen Fällen kann der Fassung im Sinne der Werterhaltung bezüglich Qualität und Quantität ein Betriebsregime zugemessen werden, welches die zulässige Absenkung im Brunnen in Relation zur Spiegellage des Oberflächengewässers stellt.

5.5.9 Bauliche Massnahmen zum Schutz von Fassungen und Grundwasser

Hydraulische Abschirmungen von Fassungen mittels Entnahme- oder Versickerungsanlagen können aus folgendem Anlass angebracht sein:

- Schutz vor hohen Zutrittsraten an Uferfiltrat
- Verbesserung der Schutzzonenwirkung
- Schutz vor möglichen Kontaminationsträgern, wie z.B. Verkehrsachsen
- Schutz vor Freisetzungen aus Deponien und Altlasten

Als bauliche Massnahmen anzusehen sind auch In-situ-Verfahren zur Elimination störender Inhaltsstoffe im Umfeld einer Fassung, wie z.B. das Vyredox[®]-Verfahren, und ebenfalls die Elimination von Versuchs- und/oder Beobachtungsbrunnen in Fassungsnähe. Letztere können störende Anomalien in der Anströmung der Fassung bewirken, welche den benötigten Schutzgrad herabsetzen. Derartige Messstellen müssen nach allen Regeln des Brunnenbaus mit grosser Sorgfalt rückgebaut werden. Ein simples Verschiessen mit einem dichten Deckel und allenfalls eine Betonplombe zur Versiegelung reicht nach gängiger Erfahrung nicht aus.

6. RÜCKBAU

Wenn eine Grundwasserfassung aufgegeben werden muss, ist ein technisch einwandfreier Rückbau erforderlich. Die häufig praktizierte „Stilllegung“ durch Ausserbetriebnahme reicht da nicht aus, und erlaubt es auch nicht die Schutzzonen ausser Kraft zu setzen. Da die Filterohre meist nicht mehr gezogen werden können, kommt man oft nicht um das Überbohren der obersten Brunnenstrecke herum, es sei denn, man hätte beim Bau der Fassung eine zuverlässig abgedichtete Anker-Rohrtour gesetzt. In jedem Fall muss dafür gesorgt werden, dass die Wegsamkeiten zwischen Filterkolonne und Bohrloch zuverlässig abgedichtet (verpresst) werden, wozu oft eine Perforation der Vollrohre erforderlich ist.

Dass der Rückbaubereich zum Abschluss zuverlässig versiegelt wird, versteht sich.

RC 22.02.2010