

# **bbr**

Fachmagazin für Brunnen- und Leitungsbau

Sonderdruck aus bbr Fachmagazin für Brunnen- und Leitungsbau,  
Ausgabe 5/1999

## Horizontale Brunnen mit Kiesschüttung in den USA und Mexiko

Bau von Horizontalbrunnen mit künstlicher  
Kiesummantelung in geringmächtigen  
Aquiferbodenschichten mit feinem  
Kornaufbau

Gerhard Hüper



**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

Innerhalb der verschiedenen Wasserfassungsarten nimmt der Kiesschüttungsbrunnen, insbesondere in lockeren Bodenschichten, eine besondere Stellung ein. Diese Brunnenkonstruktion wurde in den Jahren nach 1945 zu einem hohen technischen Stand entwickelt. Aufgrund der überragenden Vorteile der Grundwasserfilterung durch speziellen Sand oder Kies aus Quarz und der sehr guten Erfahrungen damit bei Vertikalbrunnen, wurde auch für den Horizontalbrunnen (HFB) ein Verfahren entwickelt, durch das es möglich wurde, horizontale Brunnenbohrungen mit Filterrohren und einer **eingespülten Kiesummantelung** auszubauen.

Dieses Verfahren erfordert eine sehr sorgfältige Durchführung und große Erfahrung, da alle Arbeitsschritte gegen den hydrostatischen Druck des Grundwassers ausgeführt werden müssen. Außerdem sind spezielle Geräte erforderlich.

Dies sind Gründe dafür, daß dieses Verfahren in den USA zur Zeit noch von keinem Brunnenbauunternehmen ausgeführt werden kann.

Es besteht ein großer Bedarf an Brunnenanlagen in geringmächtigen Aquiferböden mit relativ feinem Kornaufbau, für die sich der Bau von horizontalen Kiesmantelbrunnen anbietet. Im folgenden Beitrag wird über Bauvorhaben in Perth Amboy, Independence, Cape Girardeau und Salina Cruz (Mexiko) berichtet.

### 1. Horizontale Kiesschüttungsbrunnen

Um die Besonderheit der im folgenden beschriebenen Bauvorhaben in Übersee verständlich zu machen, soll zunächst auf die **Bedeutung der Kiesschüttung** im Brunnenbau allgemein eingegangen und die Vor- und Nachteile in Erinnerung gebracht werden. Dabei wird darauf hingewiesen, daß hier über den Brunnenbau in lockeren Bodenformationen, insbesondere in Sandschichten, gesprochen wird.

Kiesfilter haben sich in großem Maße durchsetzen können, so daß sie heute mit Abstand die am häufigsten gebauten Konstruktionen darstellen. Somit ist es eigentlich müßig, über seine Vorteile zu sprechen. Trotzdem wird es für den Planer und späteren

Betreiber von großen Wassergewinnungsanlagen notwendig sein, sich mit dem Thema der Filterkonstruktion, dem Aufbau des eigentlichen Fassungselementes, auseinanderzusetzen.

Die Brunnenfilterkonstruktion hat zwei elementare Aufgaben, die sich allerdings gegenseitig einschränken:

- Grundwasser aus dem Gebirge möglichst ohne große Strömungsverluste in das Filterrohr zu leiten
- die Körnung des Bodens nach endgültiger Fertigstellung des Brunnens zurückzuhalten, d. h. die technische Sandfreiheit des Wassers zu gewährleisten.

Diese beiden Forderungen werden von den verschiedenen Brunnenfilterkonstruktionen auf unterschiedliche Weise erfüllt.

Bei einer Wertung dieser Zusammenhänge muß man sich die Strömungsverhältnisse bei einer Wasserfassung aus dem Untergrund vor Augen führen: So fließt beispielsweise eine Wassermenge von 300 m<sup>3</sup>/h bei mittlerer Bodendurchlässigkeit in unbeeinflusstem Zustand des Aquifers mit einer Abstandsgeschwindigkeit von unter 1 m/d durch einen Aquiferquerschnitt von 50 000 bis 60 000 m<sup>2</sup> (angenommen: natürliches Gefälle 0,3%).

Bei der Gewinnung durch einen Brunnen tritt diese gleiche Menge dann bei sach- und fachgerechter Dimensionierung der Brunnenanlage mit einer Geschwindigkeit von 0,5 bis 1 mm/sec in die Brunnenmantelfläche ein.

Es tritt also eine Beschleunigung um das nahezu 500fache ein. Es muß also zwangsläufig ein größeres Gefälle zum Brunnen und dafür eine entsprechend große Absenkung erzeugt werden.

Selbst wenn die Erhöhung der Geschwindigkeit, die an der Peripherie der Brunnenkonstruktion am größten ist, bei günstigen Verhältnissen, beispielsweise bei größerem natürlichem Gefälle, nur das 100fache ausmacht, so ist verständlich, welche Bedeutung die Brunnenkonstruktion am Übergang zum natürlichen Gebirge, d. h. an der Brunnenmantelfläche, hat.

Der Brunnenbauer wird also immer bestrebt sein, erstens eine möglichst große Brunnenmantelfläche zu erreichen und zweitens diese Brunnenmantelfläche so durchlässig wie möglich zu bauen.

Durch intensive Unterkornentnahme (insbesondere durch partielles Entsandern) nach dem Ausbau der Bohrung zu einem

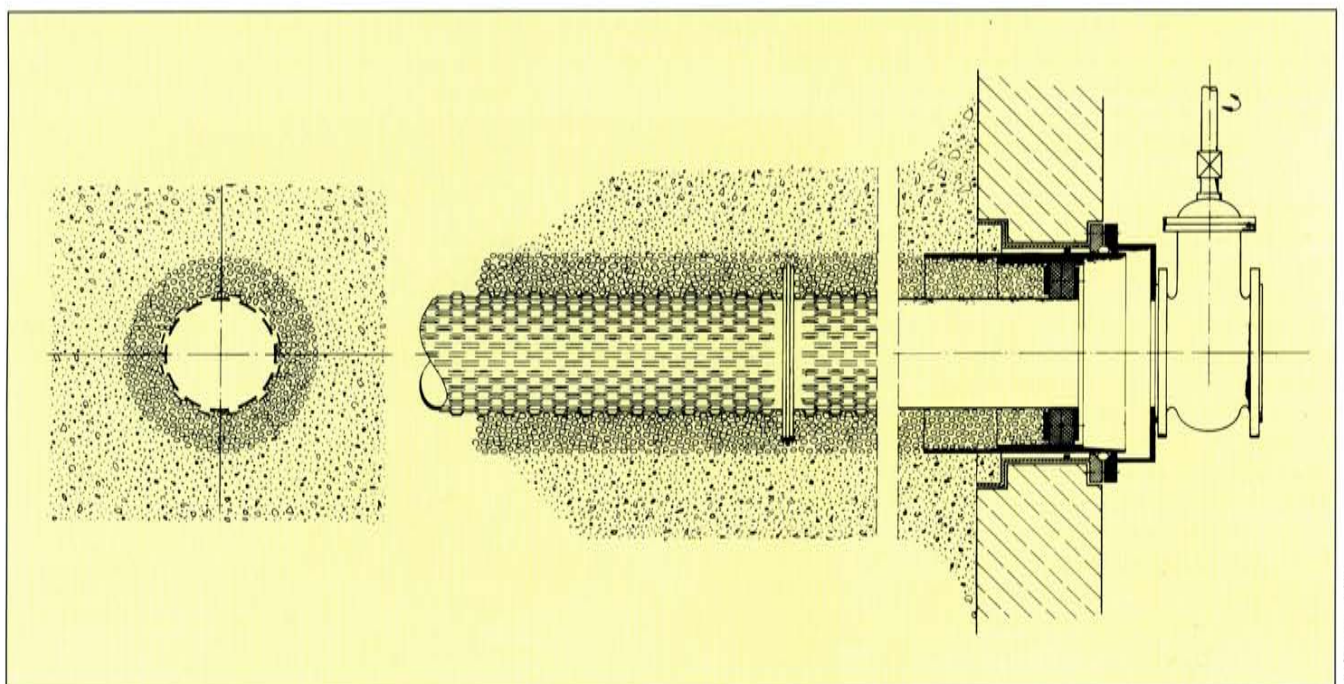


Bild 1: Horizontaler Brunnenstrang mit Kiesummantelung (Ausschnitt)



Foto: Teich

Vortriebseinrichtung im Brunnenschacht

Brunnen ist es möglich, in der Umgebung der Bohrung die Porenwege zu vergrößern und damit die Absenkung in vertretbaren Grenzen zu halten.

Bei annähernd gleichkörnigen, uniformen Bodenschichten kann die Entsandung der Brunnenperipherie nur in ganz geringem Maße erreicht werden, so daß die Vergrößerung des Bohrungsdurchmessers und das Einbringen von Filterkies oder Filtersand die einzige Möglichkeit bleibt, der Forderung nach möglichst guter Durchlässigkeit am Brunnenrand gerecht zu werden.

Wenn trotzdem in den letzten 50 bis 60 Jahren auch in gemischtkörnigem Aquifer fast ausschließlich der Kiesmantelbrunnen gebaut wurde, so ist der Grund dafür die Erfahrung, daß die Kiesschüttung aus gleichförmigem Korn immer noch eine bessere Durchlässigkeit hat als das natürliche Gebirge, selbst wenn durch intensive Entsandung der Unterkornanteil entzogen ist.

Im Horizontalbrunnenbau liegen die Dinge etwas anders:

Erstens ist das Vortreiben von Bohrungen mit relativ großem Durchmesser im Verhältnis zu Vertikalbohrungen aufwendiger, und zweitens ist es aufgrund der horizontalen Lage schwierig, den Filterkies in den Ringraum zwischen Filterrohr und Bohrrohr einzubringen.

Aus diesen Gründen konnte man in den ersten Jahren nach der Erfindung durch RANNEY und FEHLMANN Horizontalbrunnen

nur ohne Kiesfilterung bauen. Diese wurden demzufolge auch nur in lockeren Bodenschichten mit ungleichförmigem Korn und einem Mindestanteil an Kies gebaut.

Erst durch die Erfindung des horizontalen Kiesmantelbrunnens wurde es möglich, auch in sandigem Aquifer gebohrte horizontale Fassungen erfolgreich herzustellen. Dieses Verfahren, nach Ablauf der Patentzeit unter dem international registrierten Namen »PREUS-SAG-Horizontal-Kiesmantelbrunnen®« bekannt, hat sich seit den 50er Jahren sehr gut bewährt, wurde ständig weiterentwickelt und gilt in Europa als Marktführer (Bild 1).

## 2. Horizontalbrunnen in den USA

In den USA hat die Grundwassergewinnung und damit auch der Bau von Kiesschüttungsbrunnen lange Zeit nicht den Stellenwert wie in Europa gehabt. Der Anteil von Oberflächenwasser an der Wasserversorgung war relativ hoch.

In den letzten 15 Jahren ist man allerdings dazu übergegangen, vermehrt auch Grundwasser für die Versorgung zu nutzen. Damit ist natürlich der Bedarf an Brunnen, insbesondere auch an horizontalen Fassungen, gestiegen.

Neben Vertikalbrunnen werden überwiegend Ranney- und Fehlmann-Brunnen gebaut.

Die Fachleute haben sich inzwischen ausführlich mit den Möglichkeiten der Wasserge-

winnung aus feinkörnigem Aquifer beschäftigt und wollen dafür sowohl die Vorteile einer möglichst genau abgestimmten Kiesfilterung als auch die des Horizontalbrunnens nutzen. Es bietet sich also dafür der oben genannte horizontale Kiesmantelbrunnen an.

Eine Reihe von Hydrogeologen, die auf dem Gebiet der Brunnenplanung überstaatlich tätig sind, planen die Brunnen mit überdimensionierter Länge, und sie verwirklichen dabei die Erkenntnis, daß sich eine großzügige Bemessung von Brunnenanlagen durch die längere Lebensdauer immer auszahlt.

Die bekannte Beziehung für die Grenzgeschwindigkeit nach SICHARDT

$$v = \frac{\sqrt{k_f}}{15}$$

wird zunächst grundsätzlich auf 50 % reduziert

$$\text{also: } v = \frac{\sqrt{k_f}}{30}$$

In Abhängigkeit von der Brunnenkonstruktion und der Anfälligkeit der Brunnen gegen Alterung (im wesentlichen durch Verockerung) wird die zulässige Geschwindigkeit nochmals um 20 bis 50 % reduziert.

Dies führt zwangsläufig bei der Planung zu großen Brunnenmantelflächen und somit zur Wahl eines Horizontalbrunnens mit großem Durchmesser und Kiesummantelung.

Bei den im folgenden beschriebenen Brunnenanlagen haben sich Bauherr und Planer nach längeren Informationsgesprächen in allen Fällen für einen Horizontalbrunnen mit einem großen Bohrdurchmesser von 470 mm, ausgebaut mit Filterrohren im Durchmesser 250 mm bzw. 300 mm Durchmesser entschieden.

Da in Übersee bisher keine Brunnenbauunternehmen über Erfahrungen mit dieser

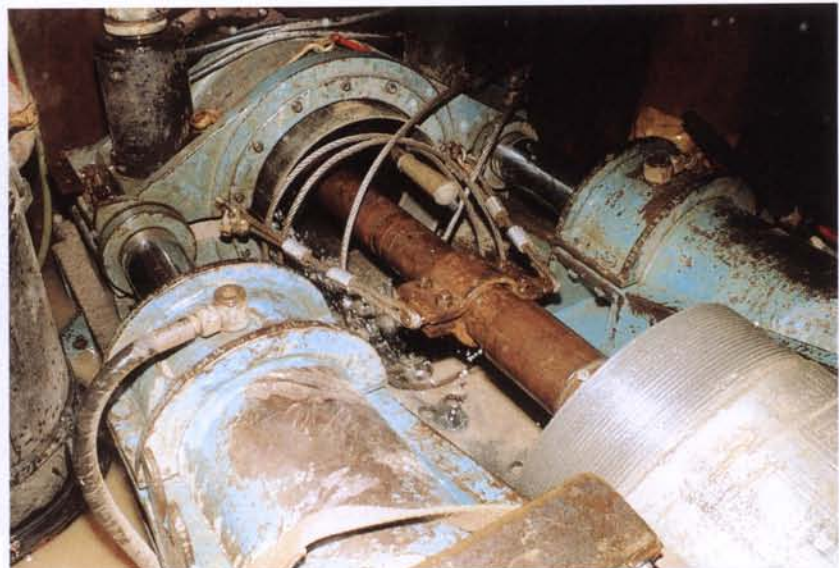


Foto: Teich

Nachsetzen eines Bohrrohres



Verlängerte Rohrtour

(Foto: Teich)

Brunnenkonstruktion verfügen, ist eine Kooperation zwischen der Preussag und einem amerikanischen Partner entstanden.

wert. So können nur Spezialisten aus Deutschland beschäftigt werden, die als Aufsichtsperson und zur Einweisung fungieren. Dies bedeutet, daß also grundsätzlich mit einer amerikanisch-deutschen Bohrmannschaft gearbeitet werden muß.

Die Aufenthaltsgenehmigung ohne Unterbrechung wird nur für 6 Monate erteilt.

Die Zollkosten für die speziellen Einbaukonstruktionen liegen im Mittel bei 5 bis 10%; sie verringern die Preiswürdigkeit des Kiesmantelbrunnens nur geringfügig.

## 2.1 Bauvorhaben Perth Amboy

Für die Wasserversorgung der Stadt Perth Amboy (New Jersey) war ein Brunnenfeld im Bereich der Flußablagerungen des South River hydrogeologisch untersucht worden.

Ein parallel zum Fluß in Mittelsand, mehr oder weniger grobsandiger, abfließender Grundwasserstrom sollte so ergiebig wie möglich gefaßt werden.

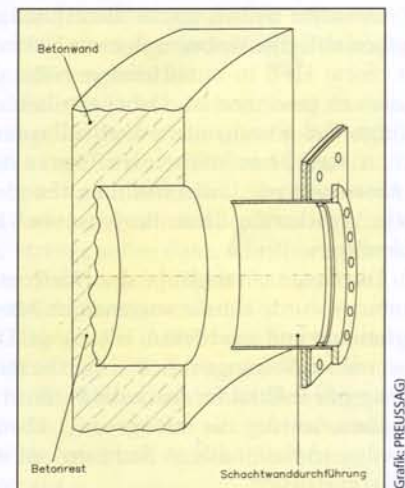
Hydrogeologische Voruntersuchungen und Wasser-

andrangsberechnungen ergaben, daß eine Menge von 600 bis 650 m<sup>3</sup>/h erwartet werden konnte. Für diese Menge wurde der Brunnen zunächst bemessen.

Aus den Vorarbeiten hatte sich ein  $k_f$ -Wert von  $0,3 \times 10^{-3}$  m/sec ergeben. Auf der Grundlage dieser Durchlässigkeitsbeiwerte und für die vorgenannte Menge errechnete sich die erforderliche Brunnenmantelfläche von gerundet 400 m<sup>2</sup>. Diese Fläche wurde dann auf 5 Stränge mit je 61 m Länge aufgeteilt.

Die Auftragung der Siebanalysen aus dem Bohrgut ergab einen Kennkorn-Bereich zwischen 0,5 und 0,8 mm. Es konnte also bis auf wenige Ausnahmen ein Kieskorn von 2 bis 3 mm geschüttet werden (Bild 7).

Trotz intensiver Entsendung der Brunnenstränge zeigte der abschließende Pumpversuch eine Absenkung um etwa 10 m bei einer Förderleistung von 650 m<sup>3</sup>/h.



(Grafik: PREUSSAG)

Bild 5: Nachträgliches Einsetzen einer Schachtwanddurchführung

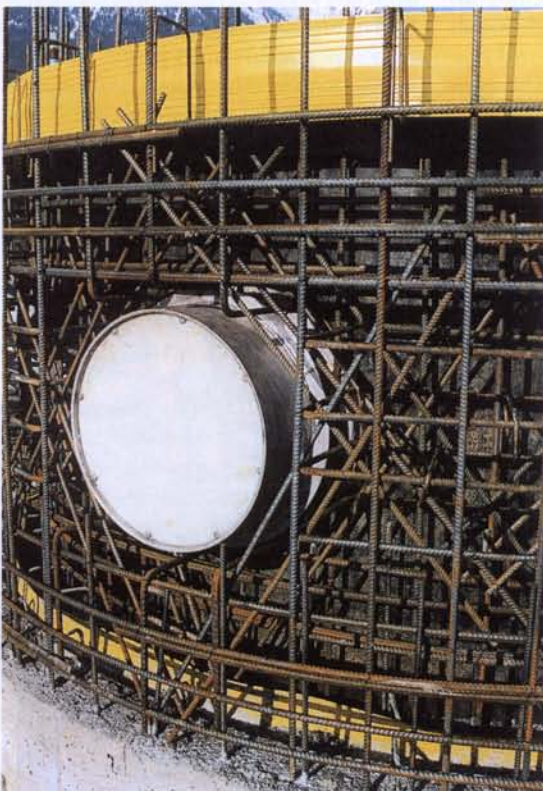
Der Bauherr beschloß daraufhin, durch Anlegen eines kleinen Staudammes in der unmittelbaren Nähe des South Rivers, überstaute Infiltrationsflächen zu schaffen.

Der Brunnen schacht wurde dann in der Ausführung so hoch gezogen, daß er über dem angestauten Grundwasser lag und somit der Standort selbst durch einen Zufahrtsdamm erreichbar ist.

## 2.2 Bauvorhaben Independence (Missouri)

Das Brunnenfeld der Stadt Independence liegt unmittelbar am Missouri im Courtney-Bogen im Hochwasservorland.

Umfangreiche Voruntersuchungen durch den bekannten amerikanischen Hydrologen E.B. WILLIAMS hatten gezeigt, daß bis in eine

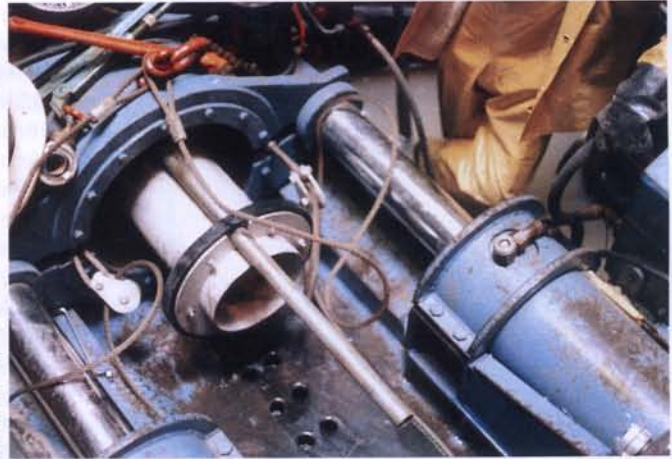


(Foto: Grubo, Himberg)

Bild 4: Vor dem Betonieren eingesetzte Schachtwanddurchführungen



Einbau von Schlitzbrückenfiltern aus Edelstahl



Endabdichtung der Filter

Tiefe von 32 m unter Geländeoberkante (GOK) Sandschichten mit Schluffeinlagerungen vorhanden sind.

Intensive hydrologische Berechnungen ergaben, daß eine Wassermenge von 500 m<sup>3</sup>/h aus einem HFB in unmittelbarer Nähe des Flusses zu gewinnen ist. Dabei war berücksichtigt, daß 6 vorhandene Vertikalbrunnen nicht zu stark beeinflusst wurden. Eine zu starke Absenkung würde die ohnehin vorhandene starke Verockerung dieser Brunnen noch beschleunigen.

Die Gesamtstranglänge des Horizontalbrunnens wurde auf die vorgenannte Menge abgestimmt und ergab 500 m Filterlänge. Diese wurde auf 8 Stränge verteilt. Um eine möglichst große Infiltration durch das Flußufer zu erreichen, wurden die Stränge auf 2 Ebenen verteilt und damit alle in Richtung auf den Fluß vorgetrieben.

Während des Herstellens und Abteufens des Schachtes mit relativ großem Durchmesser, 4,3 m, mußten die Arbeiten durch das Eintreten von Hochwasser zweimal unterbrochen werden. Aufgrund der Einstellung der Arbeiten und durch die wechselnden Grundwasser- und Hochwasserstände, wurde die thixotrope Gleitschicht zwischen Gebirge und Schachtaußenwand zerstört. Als Folge davon war es immer schwieriger, die Schachtröhre tiefer in den Untergrund abzusenken, bis die Abteufarbeiten schließlich abgebrochen werden mußten, ohne daß die geplante Endtiefe erreicht wurde.

Infolgedessen lagen die Durchdringungspunkte, die sog. Schachtwanddurchführungen, welche vorher einbetoniert waren, höher als geplant. Damit hätten die horizontalen Bohrungen in nicht ausbauwürdigen Bodenschichten gelegen (Bild 4).

Um den Brunnen schacht nicht aufgeben zu müssen, entschloß man sich daraufhin, die geologischen Aufschlüsse nochmals auszu-

werten, um geeignete, höherliegende Bodenschichten zu bestimmen.

In Höhe dieses Wasserhorizontes wurden dann neue Schachtwanddurchführungen eingearbeitet.

Dieses nachträgliche Durchrötern der Schachtwand gestaltete sich im allgemeinen dann schwierig, wenn außerhalb des Schachtes ein relativ großer Wasserdruck ansteht.

Zunächst wird mit einem Durchmesser von etwa 600 mm eine Kernbohrung bis fast durch die Schachtwand hindurch ausgeführt (siehe Bild 5). Nach dem Brechen des Betonkerns entsteht ein Sackloch, das die Bohrung nach außen zum wasserführenden Gebirge ausreichend verschließt. In diese Betonbohrung wird dann eine spezielle Schachtwand-

durchführung aus Edelstahl eingesetzt. Dafür ist das eigentliche Durchführungsrohr auf eine gebogene Abdichtungsplatte geschweißt, die auf der Innenseite des Schachtes durch Dübel befestigt wird und durch Einsatz einer Gummiplatte die Schachtwanddurchführung zum Schachtinnenraum hin abdichtet (Bild 5).

Mit einem kleineren Kernrohr wird dann der Betonrest auf der Außenseite der Schachtwand herausgekernt und der Kern in eine auf der Innenseite montierte Schleuse hineingezogen und nach Setzen einer Abdichtungsscheibe ausgeschleust. Durch diese gleiche Schleuse hindurch wird dann die horizontale Bohrung angesetzt. Nach dem Eindichten der Rohrtour in der eigentlichen Schachtwand-



Bild 7: Kieseinspül-Schleuse

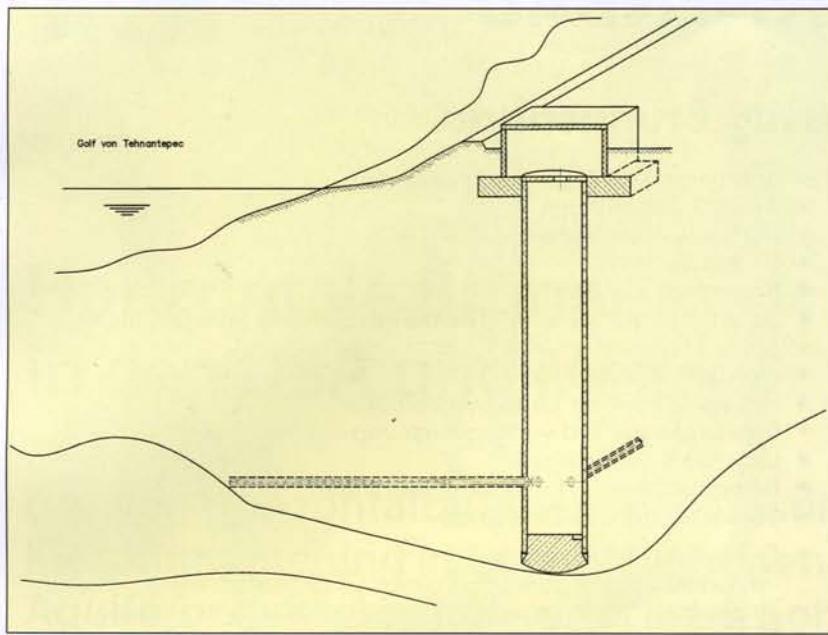


Bild 8: Gewinnung von uferinfiltriertem Meerwasser

durchführung kann danach die Schleuse entfernt werden.

### 2.3 Cape Girardeau (Missouri)

Der hier eingebaute Horizontalbrunnen dient der Wasserversorgung einer großen Industriefirma und ist in unmittelbarer Nähe des Mississippi im Hochwassergebiet gebaut. Aufgrund der Forderung, etwa 700 bis 800 m<sup>3</sup>/h Grundwasser aus kiesigen Grobsandschichten zu gewinnen, war die Herstellung von etwa 300 m GesamtfILTERSTRANGLÄNGE notwendig (400 m<sup>2</sup> Brunnen-Mantelfläche). Für diese Gesamtlänge wurden zunächst 5 Stränge vorgesehen.

Durch die zu erwartenden, unregelmäßig vorhandenen Einlagerungen von sehr feinen Bodenschichten (Feinsand und Schluff) bestand zu Beginn der Bauarbeiten noch keine Klarheit über die günstigste Höhenlage der horizontalen Stränge.

Aus diesem Grund hat man zunächst den Schacht ohne einbetonierte Schachtwanddurchführungen abgesenkt. Die ersten Bohrungen wurden dann in der als günstig vermuteten Tiefenlage vorgetrieben. Aufgrund der Erkenntnisse aus den erbohrten Boden-

schichten wurden dann die übrigen Stränge in ihrer Höhenlage festgelegt. Dazu waren auch hier Kernbohrungen notwendig, in die hinein die Schachtwanddurchführungen eingesetzt wurden.

Die Einzelstranglängen mußten aufgrund der unterschiedlichen Bodenschichtung verschieden lang ausgeführt werden. Beim Antreffen von Schluff- und Tonschichten wurde die Bohrung jeweils abgebrochen und zu einem Teilfilterstrang ausgebaut.

Um die notwendige Gesamt-Brunnenmantelfläche zu erreichen, mußte ein 6. Strang zusätzlich gebohrt werden.

### 2.4 Bauvorhaben Salina Cruz

Für die Versorgung einer Meerwasserentsalzungsanlage mit Rohwasser ist der Bau von mehreren Horizontalbrunnen vorgesehen.

In der Vergangenheit hat sich gezeigt, daß bei derartigen Anlagen die Salzwasserentnahme aus dem offenen Meer problematisch und kostenaufwendig ist, da die Belastung der Entnahmeeinrichtungen und der Filteranlagen durch organische Stoffe (z.B. Algen) sehr groß ist.

Man versucht deshalb, diesen Nachteil dadurch zu umgehen, daß das Rohwasser als uferinfiltriertes Grundwasser über Brun-

nen gewonnen wird. Das setzt allerdings voraus, daß die geologischen Verhältnisse dazu geeignet sind, d.h. ein ausreichend großer Aquifer zwischen dem Meeresufer und den Brunnenstandorten vorhanden ist und das für den Durchsatz erforderliche Gefälle zu den Brunnen geschaffen werden kann (Bild 8).

Meerwasserentsalzungsanlagen sind im allgemeinen nur für große Wassermengen wirtschaftlich zu betreiben. Da außerdem bis zu 30 % mehr Rohwasser benötigt wird als Trinkwasser zu gewinnen ist, sind extrem große Brunnenanlagen erforderlich. Außerdem muß im allgemeinen eine relativ lange Uferstrecke belastet werden.

Dies waren auch für das Bauvorhaben Salina Cruz (Mexiko) die Gründe für eine Entscheidung für Horizontalbrunnen.

Die geologischen Vorarbeiten gestalten sich langwierig, weil nur schwer zu ermitteln ist, in welcher Tiefe und Mächtigkeit ein ausreichend durchlässiger Aquifer vorhanden ist, der die notwendige hydraulische Verbindung zum Meeresgrund hat.

Es ist hier vorgesehen, zunächst einige Stränge in theoretisch günstiger Tiefenlage und Länge herzustellen und einem Einzelpumpstet zu unterziehen. Nach Auswertung der Bodenanalysen und der Einzelergebnisse der Stränge sollen dann schrittweise die weiteren Bohrungen hergestellt, ausgebaut und neuerlich getestet werden.

Die genaue Anzahl der Stränge und die Gesamtlänge aller Fassungen liegt also noch nicht fest. Wahrscheinlich ist diese ungewöhnliche Vorgehensweise weniger aufwendig als das Abteufen von Aufschlußbohrungen vom Meer aus. ☒

### Literaturhinweise

- RANNEY, L. (1938): US Patent Nr. 2, 126, 575, v. 09.08.1938 »METHOD OF AND APPARATUS FOR RECOVERING WATER FROM AND SUPPLYING WATER TO SUBTERRANEAN FORMATIONS«  
 FEHLMANN, H. (1948): Schweizerisches Patent Nr. 255043 v. 15.06.1948 »Verfahren zur Herstellung eines Filterbrunnens«  
 SICHARDT, W. (1928): Das Fassungsvermögen von Bohrbrunnen. - Diss. TH Berlin, 1928  
 WILLIAMS, E. B. (1992): Preliminary Design Report. - Gutachten 11.06.1992