

Brunnen mit und ohne Saugstromsteuerung

Wirkung von Saugstromsteuerungen in Brunnen

von Gerd Ehrhardt und Rudolf Pelzer

Sonderdruck aus **bbr** Heft 10/92

EUFOR

EUFOR INTER

S.P.R.L. EUFOR INTER B.V.B.A.
Eupen - Liège - Antwerpen
Head offices
Am Hertogenwald, 7
B-4700 Eupen
Belgium
Tél. +(32) 87-63.23.00
Fax +(32) 87-63.23.01

Brunnen mit und ohne Saugstromsteuerung

Wirkung von Saugstromsteuerungen in Brunnen

Gerd Ehrhardt u. Rudolf Pelzer

Zusammenfassung

Ergänzend zu den Ausführungen in bbr 12/89 werden im vorliegenden Beitrag schwerpunktmäßig Brunnen ohne und mit Saugstromsteuerung miteinander verglichen, und die strömungstechnische Entwicklung der Saugstromsteuerung der sog. zweiten Generation wird beschrieben.

Eine kleine Auswahl aus dem inzwischen beträchtlichen Erfahrungsmaterial zeigt den erfolgreichen Einsatz der Saugstromsteuerungen: praktisch 100%ige Reduktion des Sandaustrages und der zuvor durch feinste Partikel hervorgerufenen Wassertrübung. Diese Beobachtungen zeigen, daß Saugstromsteuerungen der zweiten Generation die lokalen Übergeschwindigkeiten abbauen, also eine stark gleichmäßigende Wirkung haben, und zwar ohne zu filtern. Daher sollten Brunnen bei zu befürchtendem Sandaustrag schon vor dem Hauptpumpversuch mit der Saugstromsteuerung bestückt werden.

Die Strömung im Aquifer bleibt in der Regel von der Saugstromsteuerung unbeeinflusst. Eine Ausnahme können Aquifere bilden, die aus grobem Kies mit großen freien Zwischenräumen und wenig Sandeinlagerungen bestehen und bei-

spielsweise in Spanien vorkommen. Auch bei diesen Aquiferen kann die vergleichmäßige Wirkung der Saugstromsteuerung nur nützlich sein. □

Abstract

Referring to the representation in bbr 12/89 this article is focused on a comparison of wells without SFCD and those equipped with SFCD. Furthermore, the hydrodynamical development of the SFCD of the so-called second generation is described.

A small selection of considerable know-how meanwhile gained in practical use demonstrates the success of the SFCD-application: An almost 100%-reduction of sand-conveying and of water turbidness caused by finest particles. These observations prove that the SFCD of the second generation will diminish too high local flow velocities, i. e. it exerts a strong equalizing effect on the inflowing water without any filtering effect. For this reason new wells – in case sand-conveying is likely to occur – should be equipped with SFCD as a precautionary measure already before starting the main pump test.

Generally the flow within the water-

bearing strata will not be affected by the SFCD. Strata consisting of coarse gravel with large free interspaces and only small embedments of sand, e. g. found in Spain, might be exceptional. However, the flow-equalizing effect of the SFCD can be nothing but useful in these strata as well. □

Die freie Mantelfläche von Filterrohren in Brunnen ist meist so groß, daß ihr Druckverlust vernachlässigbar ist. Dann verbleiben noch zwei für die Beurteilung der Strömungsverhältnisse im Brunnen ohne Saugstromsteuerung wesentliche Druckunterschiede h und H , die sich unter der zunächst idealisierenden Annahme einer rein radial durchströmten Kiesschüttung leicht abschätzen lassen: Der Druckverlust h der Kiesschüttung ist abhängig von deren Dicke und Körnung, und der Druckabfall H im Filterrohr ist abhängig von dessen Länge und Durchmesser.

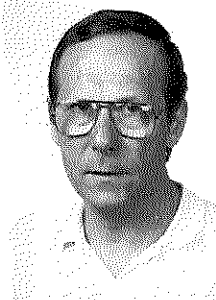
Das so ermittelte Verhältnis H/h kann als erstes Kriterium für die Stärke der sich in der Kiesschüttung einstellenden vertikalen Geschwindigkeitskomponente herangezogen werden.

Die Parameter des in [1] und [2] betrachteten Brunnens führen zu H/h in der Größenordnung von 1, und bei diesem vergleichsweise kleinen Wert entstehen keine nennenswerten Vertikalkomponenten in der Kiesschüttung. Die numerische Lösung [1] liefert nämlich nahezu senkrecht verlaufende Äquipotentiallinien in der Kiesschüttung (vgl. Abb. 29 in [1] bzw. Abb. 6 in [2]). Und da der Geschwindigkeitsvektor senkrecht zu diesen Linien ist, ergibt sich eine nahezu rein radiale Durchströmung der Kiesschüttung. In diesem Fall erübrigt sich der Einbau der Saugstromsteuerung.

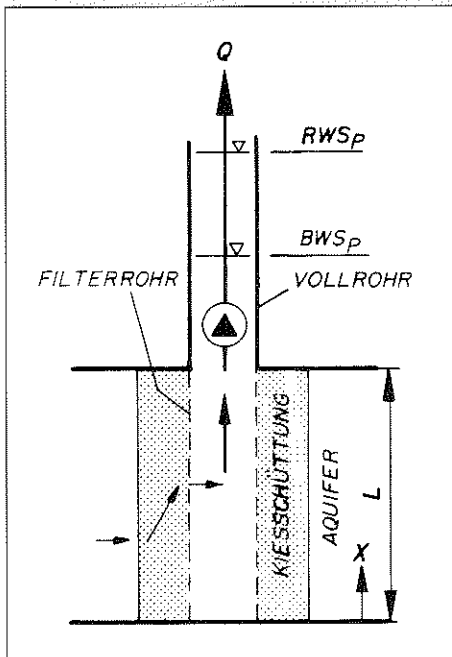
Priv.-Dozent Dr.-Ing.
Gerd Ehrhardt, geb.
1936; 1972 Promotion,
1978 Habilitation.
Seit 1985 freiberuflich
beratender Ingenieur
für Strömungstechnik
sowie Privatdozent
a. d. RWTH Aachen



Dipl.-Ing. Rudolf Pelzer, geb. 1937; Studium: Maschinenbau/Verfahrenstechnik a. d. RWTH Aachen. 1964 – 1981 Dynamit Nobel, Textilmaschinenfabrik Krantz, Vereinigte Glaswerke, Klöckner-Humboldt-Deutz; seit 1981 Kabelwerk Eupen in Forschung und Entwicklung, Sektor Kunststoffrohre



1 Brunnen ohne Saugstromsteuerung



Die Parameter des in [3] betrachteten Brunnen führen dagegen zu H/h in der Größenordnung von 100, und dieser recht große Wert führt nach den Abschätzungen in [3] zu beträchtlichen Vertikalkomponenten in der Kiesschüttung. Für diesen Fall wird eine Saugstromsteuerung angeraten.

In der vorliegenden Arbeit werden Strömungsverhältnisse in Brunnen ohne und mit Saugstromsteuerung qualitativ dargestellt, die Methoden zur Auslegung der Saugstromsteuerung »Eucastream« werden beschrieben. Schließlich wird über praktische Erfahrungen mit diesen Saugstromsteuerungen berichtet.

1 Strömungsverhältnisse in Brunnen

Für die nachfolgenden Betrachtungen wird vereinfachend ein gespannter homogener Aquifer angenommen, der oben und unten von einer undurchlässigen Schicht begrenzt ist. Weiterhin sollen die Höhe der homogenen Kiesschüttung und die Länge L des homogenen perforierten Filterrohres gleich der Mächtigkeit des Aquifers sein, und die Pumpe soll im Vollrohr liegen (vgl. Abb. 1 und 2).

1.1 Ohne Saugstromsteuerung (Abb. 1)

Der Impulsanstieg und die Reibungskraft im Filterrohr bewirken einen Druckabfall in x -Richtung. Daher steigt der radiale

Druckunterschied, der die Teilchen von der Bohrlochwand aus durch die Kiesschüttung und durch den Mantel des Filterrohres hindurch bewegt, von unten ($x = 0$) nach oben ($x = L$) hin an. Somit strömt das Wasser oben schneller durch die Kiesschüttung als unten.

Obwohl alle Teilchen die gleiche Austrittsgeschwindigkeit aus dem Aquifer haben, ist ihre Durchtrittsgeschwindigkeit durch die freie Mantelfläche des Filterrohres hindurch oben größer als unten. Dieses auch von G. Krems [4] genannte ungleichförmige Sammelverhalten führt, wie sich einfach anhand der Kontinuitätsgleichung zeigen läßt [3], zwangsläufig zu einer Vertikalkomponente in der Kiesschüttung.

Die Vertikalkomponente ist bei den nach Abb. 1 vorgegebenen Randbedingungen gleich Null bei $x = 0$ und bei $x = L$, und sie hat nach [3] einen Maximalwert bei $x = (0,5 \text{ bis } 0,6) \cdot L$. Angaben, die quantitativ genauer sind als die Abschätzungen [3], lassen sich durch numerische Lösungen der Strömungsdifferentialgleichungen gewinnen [1].

Die Vertikalkomponente ist nach [3] bei großen Werten des eingangs genannten Verhältnisses H/h beträchtlich größer als die horizontal gerichtete Geschwindigkeit, mit der das Wasser aus dem Aquifer austritt. Zudem wird eine starke Vertikalkomponente als Ursache für den Sandabtrag von der Bohrlochwand angesehen.

Die vorstehenden Betrachtungen werden durch die Ausführungen von C. Truel-

sen [5] gestützt. Er führt die Sandführung von Brunnen auf »unregelmäßige« Zustromverhältnisse zurück und schreibt: »Leider wird die Mantelfläche eines Gewebefilterbrunnens keineswegs gleichmäßig beaufschlagt. Liegt der Saugrohreinlauf oberhalb des Filters, so wird der obere Teil des Filters wesentlich stärker beansprucht als der untere; endet das Saugrohr dagegen im Filtersumpf, so ist es umgekehrt. Einen gleichmäßigen Wasserzufluß auf der ganzen Filterlänge könnte man nur mit einem durch das Filter hindurchgehenden Saugrohr erreichen, das auf der ganzen Filterlänge der Fördermenge angepaßte Löcher hat, die ...« (Fortsetzung des Zitates in Abschnitt 2).

O. Kirschmer [9] hat untersucht, wie kiesbeschichtete Filterrohre das aus einem großen Wasserbecken zutretende Wasser sammeln. Bei 9% freier Mantelfläche eines Filterrohres DN 200 mit Kiesbeschichtung von 80 mm Dicke und 2 bis 3 mm Körnung fand er, daß der Wasserzufluß sich auf den oberen Bereich konzentriert; unterhalb davon strömt kein Wasser mehr ein. Trotz der relativ dicken und feinen Kiesschicht ist die Beaufschlagung dieses Filterrohres demnach sehr ungleichförmig. Die Resultate dieser Messungen dürfen wegen der Randbedingung »großes Wasserbecken« allerdings nur auf Brunnen übertragen werden, die sich in äußerst durchlässigem Aquifer befinden, z. B. grobe Steine mit großen freien Zwischenräumen.

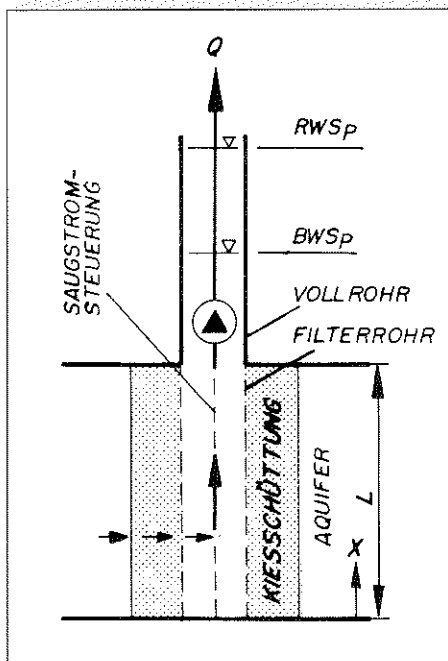
1.2 Mit Saugstromsteuerung (Abb. 2)

In einem Brunnen mit Saugstromsteuerung bewegen sich alle Teilchen von der Bohrlochwand aus durch die Kiesschüttung und das Filterrohr hindurch auf rein horizontalen Bahnen und werden erst innerhalb der Saugstromsteuerung in die vertikale Richtung umgelenkt. Eine Vertikalkomponente in der Kiesschüttung ist also nicht vorhanden.

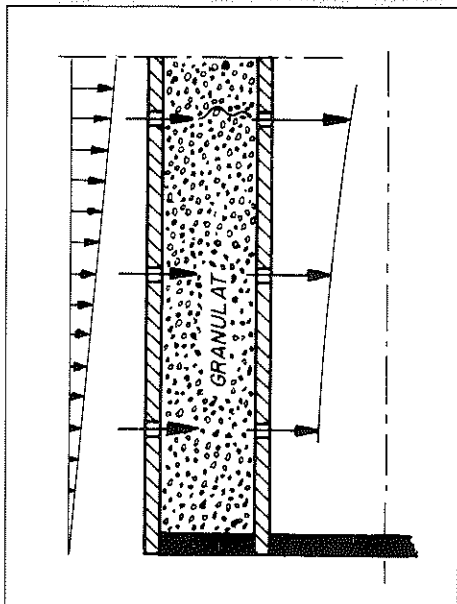
Diese Strömungsform, die sich grundlegend von der eines Brunnen ohne Saugstromsteuerung unterscheidet, wird dadurch erreicht, daß die Saugstromsteuerung im Bereich $0 < x < L$ über jeden Abschnitt Δx den gleichen Volumenstrom ΔQ absaugt. Bei diesem Vorgang gibt es zwar ebenfalls einen Impulsanstieg und eine Reibungskraft; diese Größen bleiben jedoch auf das Innere der Saugstromsteuerung beschränkt und teilen sich weder dem Ringraum zwischen Saugstromsteuerung und Filterrohr noch der Kiesschüttung mit.

Voraussetzung für diese Ausführung ist eine nach dem »Eucastream«-Prinzip ausgelegte Saugstromsteuerung.

2 Brunnen mit Saugstromsteuerung



3 Saugstromsteuerung der ersten Generation



2 Saugstromsteuerungen

Aus physikalischer Sicht bieten sich zwei Prinzipien zur gleichmäßigen Verteilung von ΔQ über L an, nämlich das Prinzip des großen Widerstandes und das Prinzip der angepassten Querschnitte. Entsprechend diesen Prinzipien sind die Saugstromsteuerung der ersten Generation [6] und die der zweiten Generation [7] aufgebaut.

Das Prinzip der angepassten Querschnitte wird von C. Truelsen [5] genannt:

»... Saugrohr erreichen, das auf der ganzen Filterlänge der Fördermenge angepasste Löcher hat, die von oben nach unten in der Zahl oder dem Durchmesser entsprechend zunehmen. Da das aber praktisch kaum durchführbar ist, nimmt man besser die zulässige Wasserzutritts-geschwindigkeit kleiner als die größtmögliche an. Dann wird auch bei teilweise stärkerer Beanspruchung des Filters kein Sand mit in den Brunnen gerissen; ... «

Truelsen's Zweifel an der praktischen Durchführbarkeit waren wohl die Gründe dafür, daß Saugstromsteuerungen erst gegen Ende der 70er Jahre gebaut wurden und daß man zunächst das Prinzip des großen Widerstandes (erste Generation) wählte, um dann erst Mitte der 80er Jahre mit dem Prinzip der angepassten Querschnitte (zweite Generation) fortzufahren.

2.1 Erste Generation (Abb. 3)

Diese Saugstromsteuerungen bestehen aus zwei konzentrischen, am Boden verschlossenen Rohren mit jeweils gleichmäßig perforierten Mantelflächen und einer Granulatfüllung im Ringraum. Sie saugen nur dann gleichmäßig an, wenn die freien Mantelflächen verschwindend klein werden und/oder der Widerstandsbeiwert der Granulatfüllung gegen unendlich strebt. Beide Forderungen sind »untechnisch«.

Technische Ausführungen zeigen nach [3] das in Abb. 4 dargestellte Verhalten der Kurven »Typ Alt«. Ein gleichmäßiges Ansaugen ist also gar nicht gegeben, denn bei $x = 0$ ist die Zuströmung um ca. 50% zu klein, und bei $x = L$ ist sie um ca. 90% zu groß.

Trotzdem haben diese Saugstromsteuerungen teilweise zufriedenstellende Wirkung gezeigt.

Beispiel: Der ursprüngliche Sandausttrag des Neubrunnens V in Weilheim betrug ca. $20 \text{ cm}^3 \text{ Sand/m}^3 \text{ Wasser}$ (nach dem Entsandungspumpen) und wurde nach dem Einbau einer Saugstromsteuerung der ersten Generation im Jahre 1977 auf praktisch Null reduziert. Allerdings verstopfte sie nach etwa 10jährigem Betrieb mit ca. $180 \text{ m}^3/\text{h}$ Förderstrom und implodierte. Ohne ihren Einsatz wären allerdings täglich ca. 80 l Sand ausgetragen worden, und man hätte den Brunnen nach wenigen Tagen bzw. Wochen wegen Einsturzgefahr der Bohrerohrwand stillsetzen müssen.

Die Zahlen zeigen, daß diese Saugstromsteuerung trotz des schlechten Sammelverhaltens eine hinreichende Vergleichmäßigung bewirkt und damit den Sandeintrag in das Filterrohr gravierend vermindert hat. Denn bei Annahme von 80 l Sand/Tag wäre sie wegen ihrer Filterwirkung bereits nach wenigen Stunden und nicht erst nach 10 Jahren verstopft gewesen.

Dem deutlich geminderten Sandausttrag stehen folgende Nachteile der Saugstromsteuerung der ersten Generation gegenüber: Unvollkommene Vergleichmäßigung, Verstopfungs- und Implosionsgefahr, hoher Druckverlust und relativ hohe Anschaffungskosten sowie konstruktionsbedingt ein großes Gewicht.

2.2 Zweite Generation (Abb. 5)

Die Saugstromsteuerung der zweiten Generation besteht lediglich aus einem am Boden verschlossenen Rohr, dessen relative freie Mantelfläche $\beta(x)$ von unten ($x = 0$) nach oben ($x = L$) in dem Maß abnimmt, in dem die Geschwindigkeit $v_f(x)$ in den Querschnitten der freien Mantelflächen von unten nach oben zunimmt (vgl. Abb. 5). Somit ist der je Abschnitt Δx angesaugte Volumenstrom

$$\Delta Q = \beta(x) \cdot v_f(x) \cdot D \cdot \pi \cdot x = \text{konstant},$$

also unabhängig von x . Folglich haben alle Wasserteilchen die gleiche, von x unabhängige und zur Mantelfläche $D \cdot \pi \cdot L$ gerichtete Geschwindigkeit $v = Q/D \cdot \pi \cdot L$.

Die relative freie Mantelfläche $\beta(x)$ läßt sich aus den eindimensionalen Erhaltungsgleichungen für inkompressible Strömung ermitteln. Mit den in Abb. 6 festgelegten Bezeichnungen lauten

□ die Kontinuitätsgleichung

$$dQ = v D \pi dx = v_f \beta D \pi dx = D^2 \frac{\pi}{4} du, \quad (1)$$

□ der Impulssatz

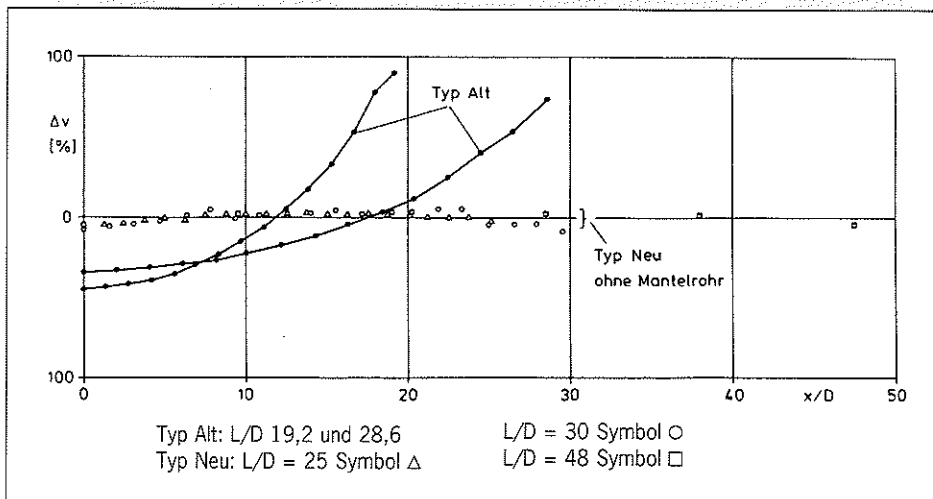
$$dp + \rho g dx + \rho u du + \lambda \frac{dx}{D} \rho \frac{u^2}{2} = 0 \quad (2)$$

□ und der Energiesatz

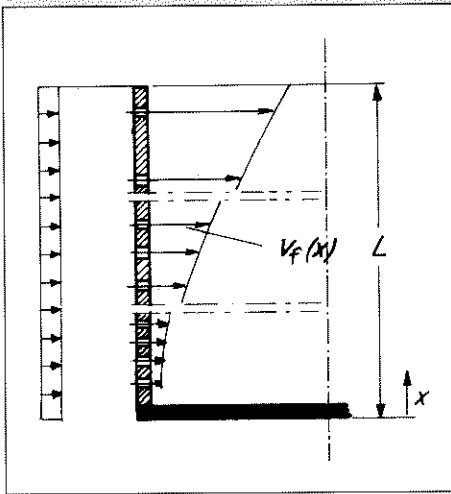
$$p_0 = p + \rho g x + \frac{1}{\phi^2} \cdot \rho \frac{v_f^2}{2} \quad (3)$$

Die relativ freie Mantelfläche läßt sich aus den Gleichungen (1) bis (3) mit der Forderung $v = \text{konst.}$ berechnen, und die Gleichung für $\beta(x)$ enthält als Erfahrungswerte den Reibungsbeiwert λ in der Steuerung und den Geschwindigkeitsbeiwert ϕ der Querschnitte der freien Mantelflächen. Diese Größen wurden zunächst geschätzt, und Versuche an einer nach den Schätz-

4 Abweichung Δv über x/D für Saugstromsteuerung der 1. und 2. Generation (Typen Alt und Neu)



5 Saugstromsteuerung der zweiten Generation



werten gebauten Saugstromsteuerung führten zu genaueren Werten.

Nach einer weiteren Iteration wurde der in Abb. 4 dargestellte Verlauf »Typ Neu« gemessen: Die Abweichungen Δv vom Mittelwert v ist praktisch gleich Null.

Ein anschließend entwickeltes Computerprogramm kompensiert die an sich schon bedeutungslosen Abweichungen Δv der Abb. 4 mit Hilfe einer empirischen Korrekturfunktion und ermöglicht die Fertigung von individuell auf den jeweiligen Brunnen abgestimmten Saugstromsteuerungen der zweiten Generation.

Sie hat folgende Vorteile: Verstopfung praktisch ausgeschlossen, Druckverlust gemindert (meist weniger als 0,1m WS), geringere Anschaffungskosten, geringeres Gewicht und vor allem: nahezu 100%ige Reduktion des Sandaustrages wegen praktisch vollkommen gleichmäßiger Strömung.

3 Praktische Erfahrungen

Praktische Erfahrungen wurden erstmals 1977 gewonnen, und zwar mit einer nach dem Widerstandsprinzip arbeitenden Saugstromsteuerung, sog. erste Generation (siehe Abschnitt 2.1).

Dieses Prinzip wurde trotz etlicher weiterer Erfolge in Anbetracht der nicht über Dauer auszuschließenden Verstopfung nicht weiter verfolgt und ab 1986 vom Prinzip der angepassten Querschnitte (sog. zweite Generation) abgelöst.

Die Daten einiger Anwendungsfälle der Saugstromsteuerung der zweiten Generation sind in Tab. 1 zusammengestellt. Die zu lösenden Aufgaben sind:

- Vermeidung des Sandaustrages
- Vermeidung der Wassertrübung

□ Verzögerung der Verockerung
Die entsprechenden Resultate werden nachfolgend für einige Brunnen beschrieben und erklärt.

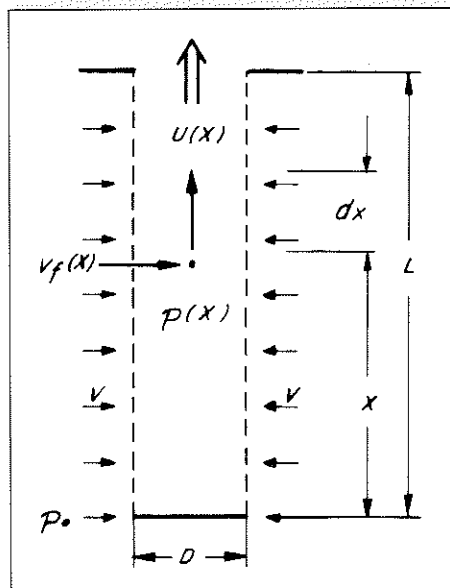
3.1 Vermeidung des Sandaustrages

Abb. 7 zeigt den Ausbauplan des Brunnens Nr. 23 in Tilburg (NL) mit Saugstromsteuerung. Der Aquifer besteht im Bereich des 23,5 m langen Filterrohrs im wesentlichen aus Sand mit relativ dünnen lehmigen Zwischenschichten. Die Kiesschüttung ist mit einem Tonstopfen verschlossen. Der Betriebswasserspiegel liegt weit oberhalb des Tonstopfens.

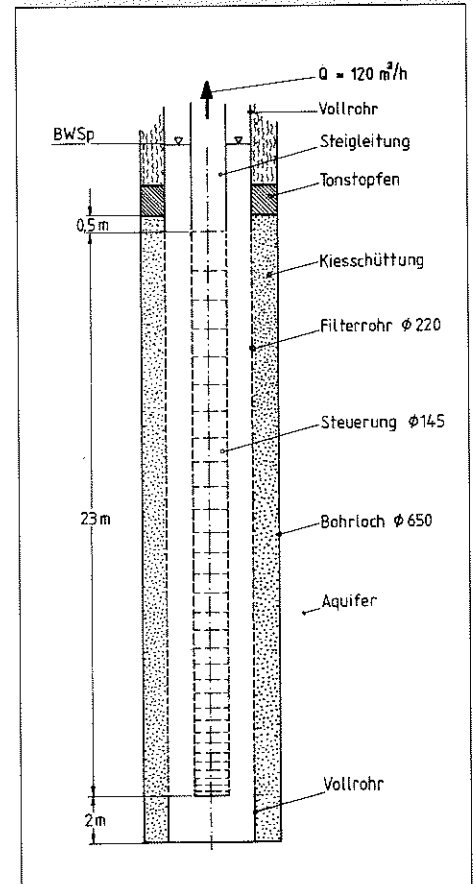
Nach fast sandfreiem mehrjährigem Betrieb stieg die Sandkonzentration unvermittelt auf $c = 20 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ Wasser an. Ursache für diesen plötzlichen Anstieg dürfte ein Nachsacken der Kiesschüttung zu den Bereichen hin gewesen sein, wo über Jahre hinweg Sand von der Bohrlochwand abgelöst wurde. Nach dem Nachsacken ist unterhalb des Tonstopfens ein kiesfreier Raum entstanden, der das ungleichförmige Sammelverhalten des Filterrohrs verstärkt: Die oberen Partien werden noch stärker bevorzugt als vor dem Nachsacken.

Trotz geringer Erfolgserwartungen wurde, wie in Abb. 7 dargestellt, eine 23 m lange Saugstromsteuerung der zweiten Generation eingebaut. Bereits zwei Stunden nach dem Pumpenstart ging die Sandkonzentration auf $0,5 \text{ cm}^3/\text{m}^3$ zurück, und nach 40 Stunden betrug sie nur noch $0,15 \text{ cm}^3/\text{m}^3$, also weniger als 1% des ohne Saugstromsteuerung festgestellten Wertes von $20 \text{ cm}^3/\text{m}^3$.

6 Zur Erläuterung der Bezeichnungen



7 Ausbauplan des Brunnens Nr. 23 in Tilburg (NL) mit Saugstromsteuerung



Dieses günstige Resultat überrascht in Anbetracht des oben genannten kiesfreien Raumes unterhalb des Tonstopfens. Trotz dieser sehr ungünstigen Verhältnisse muß die Saugstromsteuerung die Strömungsspitzen weitgehend abgebaut haben.

Der noch ausgetragene Sand ist sehr fein; er besteht nach der Korngrößenverteilung (Abb. 8) zu 82% aus Körnern von etwa $0,12 \text{ mm } \phi$.

In diesem Zusammenhang wird manchmal die falsche Ansicht vertreten, daß die Saugstromsteuerung den Sandabtrag von der Bohrlochwand nicht stoppt, sondern den Sandaustrag dadurch lediglich verhindert, daß in den Brunnen eingetragener Sand entweder in den Sumpf sinkt oder von der Saugstromsteuerung gefiltert wird.

Beide Begründungen sind unzutreffend: Erstens wäre der Sumpf bereits nach wenigen Stunden mit Sand gefüllt, und zweitens filtert die Saugstromsteuerung der zweiten Generation gar nicht; würde sie filtern, dann wäre sie schnell verstopft.

Die oben genannte Reduktion des Sandaustrages um mehr als 99% beweist also, daß auch der Sandabtrag von der Bohrlochwand praktisch gestoppt ist. Und dies kann nur dann möglich sein, wenn die Strömungsverhältnisse an der Bohrlochwand durch den Einbau der Saugstromsteuerung grundlegend positiv verändert wurden.

1 Technische Daten und Vergleich »ohne/mit« Saugstromsteuerung

Brunnen	Durchmesser (mm)			L m	Q m ³ /h	v _B mm/s	Ergebnisse	
	Bohrloch	Filterrohr	Steuerung				ohne Steuerung	mit Steuerung
Tilburg	650	220	145	23,5 ¹⁾	120	0,64	c ²⁾ = 20	c < 0,15
Weilheim V	1200	600	500 ³⁾	9,2	180	1,4	c = 20	c = 0
Sindel-Langenthal	800	300	200	78,5 ⁴⁾	18	0,05	trüb bei 18 m ³ /h	klar bei 36 m ³ /h
Trendelburg	700	400	250	55 ⁵⁾	80	0,22	trüb	klar

1) Steuerung 23 m lang, s. Abb. 7
 2) Sandgehalt in cm³ Sand/m³ Wasser
 3) Pumpe und Steigleitung innerhalb Steuerung, s. Abb. 9
 4) Steuerung mit vier undurchlässigen Zwischenstücken von insgesamt 38 m Länge, s. Abb. 10
 5) Steuerung mit einem undurchlässigen Zwischenstück von 8 m Länge

Abb. 9 zeigt den Ausbauplan des Brunnen Weilheim V. Die Pumpe und die Steigleitung befinden sich innerhalb der Steuerung.

Hier mußten die Berechnungsgleichungen des Abschnittes 2.2 den veränderten Randbedingungen angepaßt werden, und die berechnete Saugstromsteuerung reduzierte den Sandaustrag von 20 cm³ Sand/m³ Wasser auf praktisch Null bei stationärem Betrieb.

3.2 Vermeidung der Wassertrübung

Die hier betrachtete Wassertrübung hat aus physikalischer Sicht die gleiche Ursache wie der Sandaustrag: Herauslösen von Teilchen aus der Bohrlochwand. Ohne Steuerung wurden entsprechend Tab. 1 Sandteilchen bei Austrittsgeschwindigkeiten des Wassers aus der Bohrlochwand

$$v_B = Q/D_B \pi L \quad (4)$$

zwischen 0,64 und 1,8 mm/s ausgetragen, offenbar infolge der größeren Vertikalgeschwindigkeiten entlang der Bohrlochwand. Die zur Trübung führenden Teilchen sind eindeutig viel feiner als die vorgenannten Sandteilchen. Dementsprechend reichen bereits viel kleinere Geschwindigkeiten v_B = 0,06 bzw. 0,22 mm/s (Tab. 1) aus, um zu einer Trübung zu führen.

Abb. 10 zeigt den Ausbauplan des Brunnen Sindel-Langenthal. Hier liegen auf einer Gesamtstrecke von 78,5 m fünf Aquifere übereinander, und im Bereich der vier dazwischenliegenden, praktisch undurchlässigen Schichten ist das Filterrohr durch Vollrohr ersetzt. Dementsprechend ist die Saugstromsteuerung auch nur in den Bereichen der fünf Filterrohrabschnitte perforiert, und die vier Zwischenstücke sind ebenfalls undurchlässig.

Ein eigens für derartige Fälle entwickeltes Rechenprogramm enthält neben den Gleichungen (1) bis (3) die bekannte Beziehung

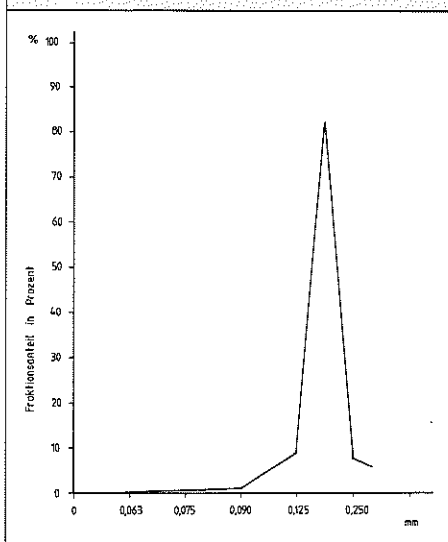
$$dp + \rho g dx + \lambda \frac{dx}{D} \frac{u^2}{2} = 0 \quad (5)$$

worin λ der von der Reynolds-Zahl abhängige Reibungsbeiwert der ausgebildeten Rohrströmung in den undurchlässigen Zwischenstücken ist.

Nach dem Einbau der so ausgelegten Saugstromsteuerung wurde bei Q = 36 m³/h klares Wasser gepumpt. Vor dem Einbau wurde dagegen trübes Wasser bereits bei Q = 18 m³/h, also bei v_B = 0,05 mm/s gefördert.

Ein in gleicher Weise beachtenswertes Resultat wurde am Brunnen Trendelburg 3 erzielt: Vor Einbau der Saugstromsteuerung

8 Brunnen Tilburg, Korngrößenverteilung des geförderten Sandes



in den Brunnen war bei Nennfördermenge Q_N = 80 m³/h das Wasser durch bräunlich-rote Schluffpartikel getrübt; nach Einbau der Saugstromsteuerung wurde unter gleichen Bedingungen klares Wasser gepumpt. Diese Beobachtungen bestätigen die positive vergleichmäßige Wirkung der Saugstromsteuerung auch unter besonders kritischen Umständen.

3.3 Verzögerung der Verockerung

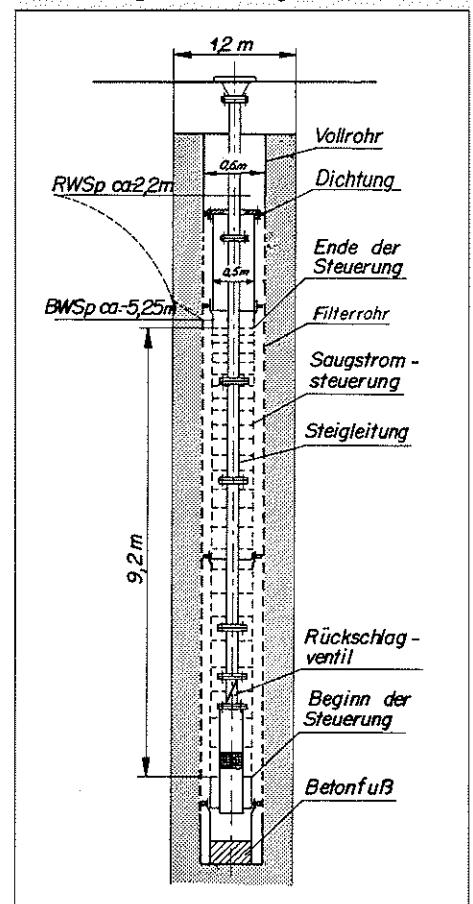
Nach Beobachtungen von G. Krems [4] verockern Brunnen nur bei strömendem Wasser und dann überwiegend in den von der Strömung bevorzugten oberen Bereichen der Kiesschüttung und des Filterrohres. Denn dort ist das Nahrungsangebot für die »eisenfressenden« Bakterien am größten.

Nach starker Verockerung der oberen Bereiche verlagert sich die vom Wasser bevorzugte Strömung nach unten hin mit der Folge, daß auch diese Zone verockert. Und so weiter, bis schließlich der Brunnen soweit verockert ist, daß der zu stark ge-

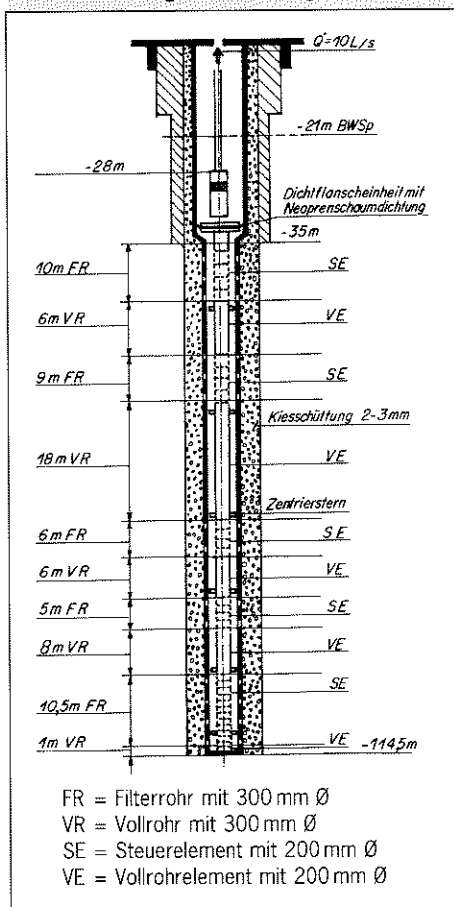
sunkene Betriebswasserspiegel einen weiteren Betrieb verbietet, z. B. Gefahr eines Trockenlaufs der Pumpe. Dann wird eine aufwendige Regenerierung mit mechanischen und/oder chemischen Mitteln erforderlich.

Der von oben nach unten fortschreitende Verockerungsprozeß kann durch den Einbau einer Saugstromsteuerung in einen solchen umgewandelt werden, der verlangsamt in allen Abschnitten gleichmäßig vonstatten geht. Man erwartet, daß hierdurch die zwischen den Regeneratio-

9 Brunnen V der Stadtwerke Weilheim i. O.B. mit Saugstromsteuerung



10 Ausbauplan des Brunnens Sindel-Langenthal mit Saugstromsteuerung



nen liegende Betriebsdauer gesteigert wird. Diesbezügliche Versuche scheinen die Erwartungen zu bestätigen. Nach Abschluß der Versuche soll hierüber berichtet werden.

4 Schlußfolgerungen und Empfehlungen

Die Sandführung hat bekanntlich sehr ernste Folgen. Der geförderte Sand muß herausgefiltert werden, um Versandungen der Wasserleitungen und Verstopfungen der angeschlossenen Geräte zu vermeiden. Auf den Brunnen selbst bezogen, führt Sand zum Pumpenschleiß und vor allem zu progressiver Schädigung der Bohrlochwand und damit des Brunnens.

Sobald sich nämlich dort die ersten Kavernen gebildet haben, kann der Kies nachsacken, und insbesondere dann, wenn die Kiesschüttung von Tonstopfen unterbrochen ist, können kiesfreie Gebiete im Ringraum zwischen Filterrohr und Bohrlochwand entstehen. Diese Zonen werden dann bevorzugt durchströmt, und weiterer Sandabtrag von der Bohrlochwand, der nun die Stützwirkung der Kiesschüttung fehlt, führt zu weiteren Einstürzen.

Dieser Vorgang wird mit den Zahlen des Brunnens Weilheim V (s. Tab. 1) beleuchtet: Bei $Q = 180 \text{ m}^3/\text{h}$ und $c = 20 \text{ cm}^3 \text{ Sand/m}^3 \text{ Wasser}$ (ohne Saugstromsteuerung) beträgt die nach einem Vierteljahr ausgetragene Sandmenge $7,8 \text{ m}^3$ und entspricht gerade dem Volumen der Kiesschüttung.

Nichtbeachtung des Sandaustrages hat des öfteren sogar zu über Tage sichtbaren Einstürzen geführt.

Falls also beim Hauptpumpversuch noch Sand ausgetragen wird, sollte man nicht lange auf Besserung hoffen, sondern sofort die Saugstromsteuerung einbauen. Wenn nämlich erst kiesfreie Gebiete entstanden sind, dann kann deren Bevorzugung durch das zuströmende Wasser eventuell zwar noch mit Hilfe der Steuerung gemindert, nicht aber ganz unterbunden werden.

Ist Sandaustrag bereits bei der Erstellung des Brunnens zu befürchten, dann sollte er schon vor dem Hauptpumpversuch mit einer Saugstromsteuerung bestückt werden. Die damit gewonnene Sicherheit wird den Preis von ca. 2 bis 3% der gesamten Erstellungskosten eines Brunnens sicher rechtfertigen.

Die Saugstromsteuerungen der zweiten Generation werden generell mit einem so kleinen hydraulischen Widerstand (ca. 0,1 mWs) ausgelegt, daß die bisweilen befürchtete Drosselung des Volumenstromes nicht eintritt und daher auch in keinem Verhältnis zu den Vorteilen »klares Wasser« und »gestoppter Sandaustrag« stehen kann.

Voraussetzung ist allerdings, daß die Öffnungen der Steuerung deutlich größer sind als der maximale Korndurchmesser des vor dem Einbau der Steuerung ausgetragenen Sandes. Beispielsweise hat die Steuerung des Brunnens Tilburg 23 eine Schlitzweite von 1 mm bei maximalem Korndurchmesser von ca. 0,25 mm. Der Widerstand dieser Steuerung ist mit 1,1 m WS zwar ungewöhnlich groß (als Folge des engen Filterrohrdurchmessers), aber für den Förderstrom und den Leistungsbedarf der Pumpe unbedeutend.

Danksagung

Die Verfasser danken folgenden Stellen für die freundliche Freigabe von Plänen und Versuchsdaten:

- Tilburgse Waterbedrijven, (NL) Tilburg,
- Stadtwerke Weilheim in Oberbayern,
- Ing. Büro ASAL + Partn., Kaiserslautern,

Ingenieurbüro Sauer, Kassel, Stadt Trendelburg

Literaturhinweise

- [1] H. Michel, Untersuchung des Einflußbereiches reibungsbedingter Veränderungen im Strömungsfeld eines Vertikalfilterbrunnens. Diss. TU München 1989.
- [2] H. Michel & F. Valentin, Numerische Simulation der Strömung im Nahbereich eines Vertikalfilterbrunnens. bbr 12/89, S. 636 - 640.
- [3] B. Albrecht & G. Ehrhardt, Saugstromsteuerungen der zweiten Generation beim Bau und Betrieb von Brunnen. Schriftenreihe WAR 32, Darmstadt 1987.
- [4] G. Krems, Studie über die Brunnenalterung. Bericht im Auftrag des BMI, Unterabt. Wasserwirtschaft, Dez. 1972.
- [5] C. Truelsen, In »Die Wassererschließung«, Herausgeber H. Schneider, Vulkanverlag Essen 1988.
- [6] L. Fink, Verfahren zur Abstellung des Sandeinzuges aus dem Absenkungsbereich des Rohrbrunnens. Offenlegungsschrift 2621581, Deutsches Patentamt 1978.
- [7] R. Pelzer, Verfahren zur sandfreien Entnahme von Wasser aus einem Brunnen sowie eine hierzu geeignete Vorrichtung. EP 0207042, Europäisches Patentamt 15.03.1989.
- [8] W. Salisko & K. Sutter, Untersuchungen zum Ausbau und Betrieb von Tiefbrunnen. bbr 12/1980.
- [9] O. Kirschmer, Durchflußmessungen an Brunnenfilterrohren im Auftrag der Fa. Nold. Veröff. in Nold-Brunnenfilterbuch 1977, S. 112 ff.