

Werkstandard

August 1986

VEB Kombinat Wassertechnik und Projektierung Wasserwirtschaft	Wassergewinnung Vertikalfilterbrunnen Grundsätze	WAPRO 1.42/01
--	---	--------------------------------

Deskriptoren: Wassergewinnung, **Vertikalfilterbrunnen**
Umfang: 6 Seiten
Verantwortlich: VEB Projektierung Wasserwirtschaft, Betriebsteil Magdeburg
Bestätigt: 13. 8. 1986, VEB Kombinat Wassertechnik und Projektierung Wasserwirtschaft Halle/Saale
Verbindlich ab: 1. 12. 1986

Vorbemerkungen

Die Brunnenbemessung muß so erfolgen, daß eine effektive und funktionssichere Wasserentnahme aus dem Grundwasserleiter gewährleistet wird. Durch das Absenken des Wasserspiegels im Brunnen s_0 steht eine Leistung von $\dot{V} \cdot \gamma \cdot s_0$ [Mpm/s] zum Antrieb des Strömungsvorganges im Grundwasserleiter und im Brunnen zur Verfügung. Sie stellt einen Teil der Förderpumpenleistung dar.

Die Leistung $p = \dot{V} \cdot \gamma \cdot s_0$ wird durch die

- Strömung im Filterrohr (Rohrströmung) und im Brunnenfilter
- Strömung infolge unvollkommenen Brunnenausbaues
- Strömung im Grundwasserleiter unter Berücksichtigung vollkommener äußerer und innerer Berandungen
- Unvollkommenheit oder Kolmation der äußeren Berandung des Strömungsfeldes

aufgezehrt (in Wärme umgesetzt).

Durch richtige konstruktive Gestaltung und Bemessung des Brunnenfilters ist sicherzustellen, daß

- keine Kontakterosion am Filterrohr und zwischen dem Brunnenfilter und den anstehenden natürlichen Erdstoffen
- keine Kolmation des Brunnenfilters
- durch ungünstige Wasserqualität und andere Einflußfaktoren möglichst keine Verockerung oder eine andere Form der schnellen Brunnenalterung

auftritt.

Durch Variantenuntersuchung - einschließlich ökonomischer Bewertung jeder Variante - ist eine optimale Gestaltung der Grundwasserentnehmearbeiten anzustreben.

Die Kosten sind vor allem durch

- wirtschaftliche Konstruktion einschließlich Energiezuführung und Wasserableitung
- Beschränkung der Absenkung s_0 im Brunnen (Förderkosten)
- Beschränkung der Veränderungen der Grundwasserverhältnisse im Entnahmegbiet sowie der wasserwirtschaftlichen, landwirtschaftlichen, forstwirtschaftlichen und landeskulturellen Auswirkungen (Schadenskosten)
- eine möglichst genaue Festlegung der Schutzzonen - Bodennutzungskosten -

günstig beeinflusbar.

1. Verwendete Bezeichnungen

a	[cm^{-2}]	Geohydraulische Zeitkonstante $a = S/T$
A_{50}	[/]	Abstandsverhältnis zweier benachbarter Erdstoffe $d_{50,II}/d_{50,I}$ und/oder D_{50}/d_{50}
B	[m]	Speisungsfaktor (leakage-factor) - siehe Bild 2/3
d	[m]	Korndurchmesser - meist Korndurchmesser des Erdstoffes des Grundwasserleiters
D	[m]	Korndurchmesser des Filterkieses oder -sand
d_x	[m]	Korndurchmesser des Erdstoffes bei x % - Siebdurchgang - der Kornverteilungskurve - z. B. d_{10} bei 10 % Siebdurchgang -
e	[/]	Porosität - e_0 bei lockerster Lagerung -

h	[m]	Höhenlage der freien Grundwasseroberfläche über der fiktiven horizontalen Sohle bei ungespannten Verhältnissen; Höhenlage der Druckhöhenfläche über der Bezugsebene $z = 0$ bei gespannten Verhältnissen
k	[ms^{-1}]	Durchlässigkeitskoeffizient für Wasser
M	[m]	Mächtigkeit des Grundwasserleiters
\dot{V}	[m^3s^{-1}]	Förderstrom des Einzelbrunnens
q	[m^2s^{-1}]	spezifische Wassermenge \dot{V} je 1 m
r	[m]	Zylinderkoordinate
r_{iP}	[m]	Abstand des Punktes P von der Achse des i-ten Brunnens
r_0	[m]	Radius der Brunnenbohrung
S	[/]	Speicherkoeffizient des Grundwasserleiters
s	[m]	Grundwasserabsenkung
s_0	[m]	Absenkung des Brunnenwasserspiegels
T	[m^2s^{-1}]	Profildurchlässigkeit - Transmissibility -
t	[s]	Zeit
U	[/]	Ungleichförmigkeitsgrad d_{60}/d_{10}
v	[m/s]	Filtergeschwindigkeit
w	[m]	Sammelbegriff für w_G , w_B und w_S
w_G	[m]	Maaschenweite des Filtergewebes
w_B	[m]	Brückenhöhe beim Schlitzbrückenfilter
w_S	[m]	Schlitzweite im Filterrohr
x, y, z	[m]	Koordinaten
ϕ	[m^2]	GIRINSKIJ-Potential
ψ		spezifische Potentialdifferenz
ν	[m^2s^{-1}]	kinematische Zähigkeit
i_P	[m]	Abstand des Punktes P von der Achse des imaginären Brunnens i
RGW		Ruhegrundwasserspiegel

mit x bezeichnete Größen sind mathematische Hilfsgrößen.

2. Ermittlung der geohydraulischen Verhältnisse im Entnahmegebiet

2.1. Die Ermittlung der geohydraulischen Verhältnisse im Entnahmegebiet kann durch

- Abschätzung
- analytische Berechnung
- numerische Berechnung
- Analogiemodellversuche

erfolgen. Dabei gilt es, die Strömungsverhältnisse im

- Filterrohr (Rohrströmung)
- Brunnenfilter (von der Innenseite des Filterrohres bis zur Bohrlochwand)
- Grundwasserleiter

vom Brunnen bis zur äußeren Berandung des durchströmten Gebietes unter Berücksichtigung der Strömungsverhältnisse infolge Unvollkommenheit des Brunnens sowie Unvollkommenheit und Karmation der äußeren Berandung zu erfassen.

Ergebnisse dieser Berechnungen sind im allgemeinen Absenkungen an beliebigen Punkten P des durchströmten Gebietes - einschließlich der Brunnenabsenkungen - bei vorgegebenen Brunnenförderleistungen, aus welchen sich gegebenenfalls Differenzenpläne konstruieren lassen, oder Förderleistungen der Brunnen bei vorgegebenen Absenkungsbeträgen.

2.2. Die Wahl des Verfahrens zur Ermittlung der geohydraulischen Verhältnisse im Entnahmegbiet ist zu begründen.

Im allgemeinen sollte die Ermittlung der geohydraulischen Verhältnisse für normale Bedingungen - die natürlichen Verhältnisse entsprechen ohne allzu große Abstraktionen einem Berechnungstyp nach WAPRO 1.42./02 - und nicht zu große Investitionsvorhaben $1.500 \text{ m}^3/\text{d}$ - Vorschlag

$10.000 \text{ m}^3/\text{d}$ - rechnerisch nach den in WAPRO 1.42./02 angegebenen Gleichungen erfolgen. Bei komplizierteren hydrologischen, hydrogeologischen und betriebstechnischen Verhältnissen, die sich nur durch Abstraktionen, deren Folgen unübersehbar sind, mit einem der in WAPRO 1.42./02 angegebenen Berechnungstypen erfassen lassen, oder bei großem Investitionsvolumen - 10.000 bis $20.000 \text{ m}^3/\text{d}$ - sind zusätzliche Analogiemodellversuche oder äquivalente numerische Berechnungen unerlässlich.

2.3. Die analytischen Berechnungen nach den in WAPRO 1.42./02 angegebenen Beziehungen erfolgen für nichtstationäre Strömungsverhältnisse, die für große Zeiten gegebenenfalls in stationäre Verhältnisse übergehen, sowie für rein stationäre Verhältnisse.

Die Entnahmemenge aus jedem Brunnen muß bekannt sein. Die direkte Berücksichtigung einer vorgegebenen Absenkung ist nur für den Einzelbrunnen unter speziellen Randbedingungen - siehe WAPRO 1.42./02 - möglich. Für alle anderen Fälle ist die Berechnung mit vorgegebener Absenkung nur mit den Rechenprogrammen BRUKON oder OPENA möglich. Die Einhaltung vorgegebener Absenkungen muß im allgemeinen durch Variantenberechnung erreicht werden. Die Erfassung einer zeitlichen Änderung der Entnahmemenge ist in Form einer Stufenfunktion möglich.

Als Quelle des geförderten Wassers werden der statische Vorrat - Trichterwasser -, die natürliche Grundwasserneubildung infolge der Versickerung der Niederschläge v_N , die Zusickerung aus benachbarten Schichten, die Infiltration aus natürlichen und künstlichen Oberflächengewässern und Fremdzufüsse berücksichtigt.

Die Grundwasserneubildung v_N wird dabei als örtlich und zeitlich veränderlich, aber durch den Brunnenbetrieb unveränderlich vorausgesetzt. Das gleiche gilt für den unterirdischen Zufluß aus einem Fremdgebiet.

Die Grundwasserströmung wird außerhalb der Störungsstellen - z. B. unvollkommene Brunnen, unvollkommene Speisekonturen - als horizontal-eben (Planfiltration) betrachtet. Der Einfluß der genannten Störungen wird durch örtliche hydraulische Zusatzverluste erfaßt.

2.4. Die analytischen Berechnungen der geohydraulischen Verhältnisse bei gespanntem und ungespanntem Grundwasser im Entnahmegbiet nach den in WAPRO 1.42./02 angegebenen Beziehungen erfordert eine Simplifikation der natürlichen Verhältnisse, die in Form des hydrogeologischen Modells das zusammenfassende Ergebnis des hydrologischen Teiles des Abschlußberichtes sein muß. Insbesondere soll der hydrologische Teil des Abschlußberichtes daher ausweisen:

a) wie die tatsächlichen natürlichen Verhältnisse auf ein in WAPRO 1.42./02 angegebenes geohydraulisches Modellschema durch Idealisierung der geometrischen Berandungen des Strömungsfeldes und der dort herrschenden hydraulischen Bedingungen - unter Berücksichtigung mittlerer und extremer Verhältnisse - zurückzuführen sind;

b) wie der schichtenförmige Aufbau des Grundwasserleiters oder der Grundwasserleiter idealisiert werden kann.

Bei geschichteten Grundwasserleitern mit relativ geringen Unterschieden der k-Werte ($k_1 : k_2 \sim 2$ bis $5 \cdot 10^1$) wird ein fiktiver ungeschichteter Grundwasserleiter ermittelt.

Bei Unterschieden des k-Wertes von $k_1 : k_2 = 5 \cdot 10^1$ bis 10^4 ist die Zusickerung aus benachbarten Schichten zu berücksichtigen und erst bei $k_1 : k_2 > 10^4$ bis 10^5 sind benachbarte Stockwerke zu untersuchen;

c) wie bei gespanntem Grundwasser ein repräsentativer k-Wert und eine repräsentative Mächtigkeit M des Grundwasserleiters für den gesamten Fassungsstandort (Einzelbrunnen oder Brunnen-gruppe) festzulegen ist, wobei besonderes Gewicht dem k-Wert und der Mächtigkeit M in Nähe der Brunnen zuteil wird;

wie bei ungespanntem Grundwasser ein repräsentativer k -Wert und eine repräsentative fiktive horizontale Sohle des Grundwasserleiters für den gesamten Fassungsstandort festzulegen ist, wobei auch hierfür dem k -Wert und der Lage der Sohle des Grundwasserleiters in der Nähe der Brunnen besonderes Gewicht beizumessen ist;

- d) wie für die geohydraulische Zeitkonstante $a = (S/T)$ ein repräsentativer örtlicher und zeitlicher Mittelwert festzulegen ist;

Für S wird dabei der Mittelwert des gesamten von der Fassungsanlage beeinflussten Gebietes verwendet. Den örtlichen Mittelwert für T bestimmt man bei gespanntem Grundwasser aus dem repräsentativen k -Wert und der repräsentativen Mächtigkeit oder bei ungespanntem Grundwasser aus dem repräsentativen k -Wert und der repräsentativen durchflossenen Mächtigkeit, die sich in bezug auf die fiktive horizontale Sohle ergibt - entsprechend b).

Als zeitlicher Mittelwert der geohydraulischen Zeitkonstanten $a = (S/T)$ ist bei ungespanntem Grundwasser für periodisch verlaufende Vorgänge der Wert $a = (S/T)$ einzusetzen, der sich in bezug auf den Wasserstand ergibt, um den der tatsächliche Wasserstand pendelt, und für einsinnig verlaufende Absenkungs- oder Anstiegsprozesse ist dieser zeitliche Mittelwert näherungsweise wie folgt zu ermitteln:

$$a = \frac{1}{3} [2 a_{\text{Ende}} + 1 a_{\text{Anfang}}]$$

Für die Bestimmung der in den Abschnitten a) bis d) genannten Repräsentativwerte sind neben dem geophysikalischen und direkten Erkundungsverfahren indirekte geohydraulische Erkundungsverfahren - Pumpversuche, Auswertung der Isohypsenpläne des ungestörten Zustandes, Auswertung schon betriebener Fassungsanlagen u. ä. - zu nutzen.

2.5. Die Ermittlung der geohydraulischen Verhältnisse im Entnahmegbiet durch Analogiemodellversuche erfordert keine so weitgehende Simplifikation der natürlichen Verhältnisse, wie das bei der analytischen Berechnung der Fall ist. Das hydrogeologische Modell als zusammenfassendes Ergebnis des hydrogeologischen Teiles des Abschlußberichtes muß dabei auf das Modellierungsverfahren zugeschnitten sein, d. h. der hydrogeologische Teil des Abschlußberichtes muß deshalb auch den Vorschlag des zweckmäßigsten geohydraulischen Lösungsverfahrens aufzeigen.

Für die gegenwärtig wichtigsten Modellierungsverfahren ist folgendes charakteristisch:

- a) Bei Versuchen mit elektrisch leitendem Papier lassen sich stationäre gespannte und ungespannte - mit horizontaler Sohle - Grundwasserströmungsverhältnisse optimal untersuchen, wenn sich ein repräsentativer k -Wert und ein repräsentativer M -Wert oder eine repräsentative fiktive Sohle des Grundwasserleiters - entsprechend Abschnitt 2.4. c) - ohne allzu große Abstraktionen festlegen lassen.

Die Vorgabe beliebiger Entnahmemengen aus den Brunnen oder beliebiger Brunnenwasserstände ist leicht möglich.

Die Berandungen des Gebietes können beliebige Form besitzen und der Wasserstand sowie die Zusageicherung können sich entlang der Speisekontur beliebig ändern ([2], [3]).

- b) Bei Widerstands-Netzwerken kann darüber hinaus ein örtlicher Wechsel der Profildurchlässigkeit berücksichtigt und auf die Einführung einer fiktiven horizontalen Sohle verzichtet werden [4].

- c) Mit Widerstands-Kondensatoren-Netzwerken können - falls die elektrischen Widerstände und die Kapazitäten der Kondensatoren als Funktionen des elektrischen Potentials analog zu den Größen $1/T$ und S in Abhängigkeit vom hydraulischen Potential simuliert werden und die Grundwasserneubildung bekannt ist - alle bei der analytischen Bestimmung der Durchströmungswiderstände des Grundwasserleiters getroffenen Näherungen entfallen [4].

Sind die elektrischen Widerstände und Kapazitäten der Kondensatoren dagegen zeitlich konstant und die Grundwasserneubildung v_N unbekannt, so muß man die unter Abschnitt 2.3., Absatz 4, und Abschnitt 2.4. b) getroffenen Approximationen aufrecht erhalten und für den Speicherkoeffizienten S und die durchflossene Mächtigkeit des Grundwasserleiters zeitliche Mittelwerte festlegen (siehe dazu Abschnitt 2.4. c) und d)).

2.6. Bei der Ermittlung der geohydraulischen Verhältnisse im Entnahmegbiet durch numerische Berechnungsverfahren brauchen prinzipiell kaum Näherungen getroffen zu werden. Die Erarbeitung solcher Berechnungsverfahren hat gegenwärtig für wissenschaftliche und technische Untersuchungen große Bedeutung. Der Aufwand ist jedoch hoch [5].

3. Nachweis der Funktionssicherheit des Brunnenfilters

3.1. Der Brunnenfilter besteht aus dem perforierten Filterrohr, das den feststofffreien Raum im Grundwasserleiter schafft, und den Filterstoffen, die den Ringraum zwischen dem Filterrohr und der Bohrlochwand füllen. Die Filterstoffe haben die Aufgabe, eine Kolmation des Brunnenfilters sowie eine Erosion der Erdstoffe des Grundwasserleiters und damit eine Versandung des Brunnens zu verhindern. Als Filterstoffe werden Filtergewebe zur Reduzierung der Öffnungen im Filterrohr und Filterkiese oder -sande verwendet, die vorwiegend in den Ringraum geschüttet, auf das Filterrohr geklebt oder eigenstabil - ohne Filterrohr - zu Einkornfilterrohren verklebt werden.

3.2. Die Bemessung der Öffnungen im Filterrohr oder der Maschenöffnungen des Gewebes ist so vorzunehmen, daß einerseits eine Kontakterosion des unmittelbar anliegenden Erdstoffes ausgeschlossen und andererseits eine Kolmation der Öffnungen durch die aus dem Grundwasserleiter durch Sufosion ausgewaschenen Körner, vermieden wird.

Die Auswahl des Filterkieses oder -sandes oder der geklebten Einkornfilter hat so zu erfolgen, daß einerseits eine Kontakterosion des Erdstoffes, der an diese Filterstoffe angrenzt, ausgeschlossen und andererseits eine innere und äußere Kolmation des Filterkieses oder -sandes oder des Einkornfilters vermieden wird.

Die Bemessung des Brunnenfilters setzt voraus, daß im hydrologischen Teil des Abschlußberichtes für jeden Brunnenstandort die Schichtenfolge genau ausgewiesen und die Kornverteilungskurven der natürlichen Erdstoffe aller auszubauenden Schichten angegeben werden.

3.3. Durch zweckmäßige konstruktive Gestaltung des Brunnenfilters und der übrigen Brunnenbauelemente sind alle Möglichkeiten zu nutzen, einer schnellen Brunnenalterung entgegenzuwirken. Die voraussichtliche Nutzungsdauer des Brunnens ist in Abhängigkeit der Wassergütefaktoren, der konstruktiven Gestaltung des Brunnenfilters, der Anströmverhältnisse, der vorgesehenen Schutzverfahren gegen vorzeitige Brunnenalterung und letztlich möglicher Entnahme- und Betriebseinschränkungen einzuschätzen.

4. Nachweis der effektiven Gestaltung der zu betreibenden Anlage

4.1. Die optimale Gestaltung der Grundwasserentnahme durch Einzelbrunnen oder mehrere Brunnen einer Anlage setzt die Erfassung der technisch-hydraulischen Parameter und ihre ökonomische Bewertung voraus. Alle technisch-hydraulischen Kenngrößen sowie die Parameter zur Kennzeichnung der Wassergüte sind durch Kostenparameter zu belegen. In dieser als ökonomisches Modell bezeichneten Zusammenstellung sind vor allem folgende Kosten zu erfassen:

- Investitionsaufwand der Brunnen, ihrer Ausrüstung, der Wasserförderung und der Energiezuführung
- Betriebskosten
(dazu gehören Energiekosten für die Wasserhebung und -förderung, Unterhaltungskosten, Abschreibung)
- Kosten für eventuelle wasser-, land- und forstwirtschaftliche Schäden, die beim Betreiben der Anlage entstehen
- Kosten für reduzierte Bodennutzung durch die Errichtung von Schutzzonen.

4.2. Eine optimale Gestaltung von Brunnenanlagen ist nur durch eine Variantenuntersuchung möglich, wobei für jede Variante die Investitionen, Energie- und Gesamtbetriebskosten erfaßt werden müssen. Die effektivste Variante wird durch Vergleich sowohl der hydraulischen Wirksamkeit als auch der anfallenden Kosten ermittelt. Dabei sind die frei wählbaren Parameter - Brunnen-durchmesser, geometrische Anordnung der Brunnen, Brunnenzahl, Entnahmemenge aus den einzelnen Brunnen usw. - grob abzustufen, so daß sich das Optimum näherungsweise ergibt, und nachfolgend nötigenfalls weitere Varianten zu untersuchen.

4.3. Ein effektiver Brunnenbetrieb ist nur möglich, wenn ausreichende funktionstüchtige Überwachungseinrichtungen für die Fördermenge der einzelnen Brunnen, die Absenkungen in den Brunnen und die eintretenden Absenkungen im Entnahmegebiet vorgesehen werden.

Hinweise :

Ersatz für WAPRO 1.42./01, Ausgabe 2.71 -/-

Änderungen gegenüber Ausgabe 2.71 -/-: Einarbeitung des SI-Systems, redaktionell überarbeitet.

Dieser Standard wird durch die Studie [1] ergänzt.

Während im Standard die Grundsätze thesenhaft dargelegt werden, wurden in der Studie die dem Standard zugrunde liegenden naturwissenschaftlichen Zusammenhänge kurz erläutert.

Im vorliegenden Standard ist auf folgende Standards Bezug genommen:
TGL 37 523; WAPRO 1.25/01 und /02; WAPRO 1.42/02

[1] Luckner, L.:

Brunnen für Grundwassergewinnungsanlagen, Vertikalfilterbrunnen, Studie zu den Bemessungsgrundlagen
VEB Projektierung Wasserwirtschaft Halle, 1970

[2] Busch, K.-F.; Hackeschmidt, M.; Luckner, L.:

Einführung in die praktische Simulation der Grundwasserbewegung mittels elektrisch leitender Papiere und Elektrolyte
Bergbautechnik 5 (1968) 18

[3] Busch, K.-F.; Hackeschmidt, M.; Luckner, L.:

Lösungsmöglichkeiten stationärer und nichtstationärer Grundwasserströmungsprobleme mittels elektrischer Kontinuummodelle
Bergbautechnik 6 (1968) 18

[4] Busch, K.-F.; Luckner, L.:

Beitrag zur Lösung von Grundwasserströmungsproblemen mit Hilfe hydraulischer und elektrischer Netzwerke
Bergbautechnik 10 (1968) 18

[5] Luckner, L.; Quast, J.; Kaden, St.:

Beitrag zur Lösung von Grundwasserströmungsproblemen durch Analog- und Digitalrechner
Bergbautechnik 1 (1970) 20

Auf diesem Standard basierende Rechenprogramme:

BRUBEM	VEB Projektierung Wasserwirtschaft Halle
BRUKON	VEB Projektierung Wasserwirtschaft Halle
OPENA	TU Dresden, Sektion Wasserwesen
ABS3	VEB Hydrogeologie Nordhausen
PVA1	VEB Hydrogeologie Nordhausen

sowie weitere Rechenprogramme innerhalb der VEB WAB.