

**Werkstandard**

**VVB Wasser-  
versorgung und  
Abwasser-  
behandlung**

**Wasserversorgung  
Grundwasseranreicherung  
Technologie und Bemessung  
von Sandbecken  
– Richtlinie –**

**W A B  
0009  
Blatt 1**

Verbindlich ab 1. Oktober 1970

**Inhaltsverzeichnis**

|  | Seite |
|--|-------|
| 0. Symbole   | 2     |
| 1. Einsatzbedingungen der Grundwasseranreicherung<br>und Vorentscheidung über ihre Anwendung           | 3     |
| 2. Erarbeitung einer Grobkonzeption zur Grundwasseranreicherung  | 4     |
| 2.1. Allgemeines   | 4     |
| 2.2. Der zu wählende Beckenquerschnitt   | 5     |
| 2.3. Festlegung der Anzahl, Größe und Lage<br>der Infiltrationsbecken                                  | 5     |
| 2.4. Art und Lage der Fassungsanlagen  | 6     |
| 2.5. Geohydraulische Berechnung  | 6     |
| 3. Bemessung   | 6     |
| 3.1. Geohydrologische Erkundung  | 6     |
| 3.2. Geohydraulische Berechnung  | 7     |
| 3.3. Filtersand  | 7     |
| 3.4. Betriebszeit – Beckengrundfläche, Sickergeschwindigkeit,<br>Vorreinigung                          | 8     |
| 3.5. Qualitätsverbesserung – Abstand der Infiltrationsbecken<br>von der Fassung, Sickergeschwindigkeit | 8     |
| 3.5.1. Reduzierung der organischen Substanz  | 8     |
| 3.5.2. Vergleichmäßigung von Stoßbelastungen   | 9     |
| 3.5.3. Steuerung der Stickstoffeliminierung  | 9     |
| 4. Ermittlung von Kenngrößen   | 10    |
| 4.1. Labortest – Betriebszeit  | 10    |
| 4.2. Laborfiltertest – Güte  | 17    |
| Anlage 1 Vergleichmäßigung von Konzentrationsstößen<br>abbauresistenter Schadstoffe auf dem Fließweg   | 18    |

**Bestätigt: 25. August 1970**

**Generaldirektor  
VVB Wasserversorgung  
und Abwasserbehandlung**

**Bearbeiter:  
VVB Wasserversorgung und Abwasserbehandlung, WTZ**

## 0. Verwendete Symbole

|                   |   |  |  |
|-------------------|---|--|--|
| a                 | — | [m]  | Brunnenabstand in einer Brunnenreihe   |
| B                 | — | [m]  | Breite der Sickerfläche der Infiltrationsbecken  |
| C                 | — | [mg/l]                                       | abgeminderte Konzentrationsspitze in den Fassungen   |
| C <sub>0</sub>    | — | [mg/l]                                       | Konzentrationsstoß im Rohwasser  |
| d <sub>10</sub>   | — | [mm]   | Korn bei 10 % der Sieblinie  |
| d <sub>W</sub>    | — | [mm]   | Wirksamer Korndurchmesser  |
| F <sub>L</sub>    | — | [m <sup>2</sup> ]                            | Fläche des Grundwasserleiters<br>im wassergesättigten Bodenhorizont  |
| F <sub>N</sub>    | — | [m <sup>2</sup> ]                            | Fläche der Nichtleiter im wassergesättigten<br>Bodenhorizont (Lehmlinsen)  |
| H                 | — | [m]  | Vertikale Sickerstrecke von der Sohle der Infiltrations-<br>becken bis zur gesättigten, vorwiegend horizontal<br>orientierten Sickerströmung zu den seitlich des Infil-<br>trationsbeckens liegenden Fassungen |
| h                 | — | [m]  | Höhe der Filtersandschicht   |
| h <sub>0</sub>    | — | [m]  | Wasserstand über dem Grundwassertauer<br>in der Achse der Fassungsanlage   |
| h <sub>s</sub>    | — | [m]  | Mittlere Höhe der wassergesättigten Zone<br>des Grundwasserleiters   |
| h <sub>sR</sub>   | — | [m]  | Rechnerische mittlere wassergesättigte Zone<br>$(h_{sR} = h_s \left( \frac{F_L}{F_L + F_N} \right) )$  |
| h <sub>V</sub>    | — | [cm]   | Höhe der verschmutzten Filtersandschicht   |
| (K)               | — | $\left[ \frac{1}{d} \right]$                 | Konstante – Membranfilterversuch   |
| k <sub>10°C</sub> | — | [m/s]  | Durchlässigkeitsbeiwert bei 10 °C Wassertemperatur   |
| k <sub>F</sub>    | — | [m/s]  | Durchlässigkeitsbeiwert im Filterkies der Brunnen  |
| k <sub>h</sub>    | — | [m/s]  | Durchlässigkeit in horizontaler Richtung   |
| k <sub>v</sub>    | — | [m/s]  | Durchlässigkeit in vertikaler Richtung   |
| L                 | — | [m]  | Mittlerer Abstand zwischen Infiltrationsbecken und<br>Fassungsanlage bzw. bei Laborversuchen der<br>Fließweg   |
| L <sub>0</sub>    | — | [m]  | Ordinatenabschnitt   |
| l <sub>0</sub>    | — | [m]  | Filterausbau der Fassungsanlage  |
| M                 | — | [m]  | Mächtigkeit des Wasserleiters  |
| M <sub>D</sub>    | — | [m]  | Mächtigkeit der undurchlässigen Deckschicht  |
| O                 | — | $\frac{1}{\text{mm}}$                        | Spezifische Oberfläche des Bodens [2]  |
| PV <sub>R</sub>   | — | [mg/l]                                       | Kaliumpermanganatverbrauch des Reinwassers   |
| PV <sub>0</sub>   | — | [mg/l]                                       | Kaliumpermanganatverbrauch des Rohwassers  |
| q                 | — | $\frac{\text{m}^3}{\text{d} \cdot \text{m}}$ | Infiltrationsmenge pro Tag und Meter-Beckenlänge   |
| r <sub>F</sub>    | — | [m]  | Halbmesser des Filterrohres  |
| r <sub>0</sub>    | — | [m]  | Wirksamer Brunnenhalbmesser  |
| r <sub>0'</sub>   | — | [m]  | Wirksamer Dränhalbmesser   |
| T                 | — | [m]  | Tiefe der unter dem Wasserleiter befindlichen<br>undurchlässigen Schicht von Geländeroberkante   |
| t <sub>0</sub>    | — | [d]  | Zeitdauer bis zum Eintreffen der Konzentrationsspitze<br>in der Wasserfassung  |

|                    |   |                              |  |
|--------------------|---|------------------------------|--|
| t                  | — | [m]                          | Lage des Dräns über der undurchlässigen Sohle  |
| t <sub>B</sub>     | — | [d]                          | Betriebszeit (Regenerierintervall)   |
| t <sub>J</sub>     | — | [d]                          | Versuchsdauer während der Invasionszeit — Kleinstfilter                                    |
| t <sub>J/K</sub>   | — | [d]                          | Zeitdauer bis zum Beginn der Kolmation (Ende der Invasion) — Kleinstfilterversuch          |
| t <sub>K</sub>     | — | [d]                          | Versuchsdauer vom Beginn der Kolmation an — Membranfilterversuch                           |
| t <sub>Ko</sub>    | — | [d]                          | Dauer des Konzentrationsstoßes im Rohwasser  |
| t <sub>soll</sub>  | — | [d]                          | Zeitdauer vom Beginn der Kolmation bis zur Erreichung des Wertes v <sub>soll</sub>         |
| U                  | — |                              | Ungleichförmigkeitsgrad $\frac{d_{60} \%}{d_{10} \%}$                                      |
| v                  | — | [m/s]                        | Filtergeschwindigkeit auf dem Fließweg L   |
| v <sub>IR</sub>    | — | [m/d]                        | Filtergeschwindigkeit bezogen auf das Stromröhrenmodell $v_{IR} = v_l \frac{B}{h_{sR}}$    |
| v <sub>l</sub>     | — | [m/d]                        | Sickergeschwindigkeit (Filtergeschwindigkeit) der Infiltrationsbecken                      |
| v <sub>krit.</sub> | — | [cm/s]                       | Kritische Fließgeschwindigkeit für den laminaren Bereich                                   |
| v <sub>oJ</sub>    | — | [m/d]                        | Anfangssickergeschwindigkeit bei J = 1 (v <sub>oJ</sub> = k <sub>v</sub> ) — Kleinstfilter |
| v <sub>oK</sub>    | — | [m/d]                        | Sickergeschwindigkeit zum Zeitpunkt des Beginns der Kolmation                              |
| v <sub>soll</sub>  | — | [m/d]                        | Gewünschte Konstante Sickerleistung, bezogen auf die gesamte Beckenfläche                  |
| v <sub>p</sub>     | — | [m/d]                        | Porengeschwindigkeit ( $v_p = \frac{v}{n}$ ; n-Porenanteil)                                |
| λ                  | — | $\left[ \frac{1}{d} \right]$ | Empirische Konstante — Kleinstfilter (Betriebszeit)  |
| λ <sub>g</sub>     | — | [mg/l]                       | Reaktionskonstante   |

## 1. Einsatzbedingungen der Grundwasseranreicherung und Vorentscheidung über ihre Anwendung

Der Einsatz der Grundwasseranreicherung (nachfolgend GWA genannt) ist dann näher zu prüfen, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

a) Keine Möglichkeit der vollständigen Wasserbedarfsdeckung aus dem Untergrund.

Gründe hierfür können sein:

- Mangel an Grundwasser
- Nachlassen der Leistung von Uferfiltratfassungen auf Grund zunehmender Flußbettverschmutzung
- Verseuchung des Grundwassers durch Inhaltsstoffe, die nicht sicher oder wirtschaftlich durch ein chemisch-physikalisches Wasseraufbereitungsverfahren entfernt werden können.

b) Das örtlich quantitativ ausreichend vorhandene Oberflächenwasser ist u. a. bakteriologisch stärker verschmutzt und entspricht der Gewässergüteklasse 2–4. Das Verhältnis BSB<sub>5</sub>/CSV ist > 0, d. h. extrem toxisches Verhalten liegt nicht vor.

c) Es liegen wasserdurchlässige Lockergesteine ( $k_{10^{\circ}C} > 1 \cdot 10^{-5}$  m/s bevorzugt  $> 5 \cdot 10^{-4}$  m/s) mit Schichtdicken  $> 1$  m vor, wobei sich über den Lockergesteinen keine oder nur geringmächtige bindige Deckschichten ( $< 4$  m) befinden.

Die Grundwasseranreicherung mit nachgeschalteter Wasseraufbereitung ist im Regelfall wirtschaftlicher und betriebssicherer als eine Fernwasserversorgung oder eine Wasseraufbereitung auf physikalisch-chemischer Basis.

**Vorentscheid**

Die Bedingung a) stellt die Veranlassung der Bearbeitung dar und ist damit naturgemäß bekannt.

Die Bedingung b) kann im Regelfall anhand der hydrologischen Übersichtskarte der DDR überprüft werden.

Die Bedingung c) ist bis auf Sonderfälle aus vorhandenen Bohrprofilen, Baugrubenaufschlüssen, Kiesgruben u. ä. ebenfalls überprüfbar.

Der mit vorgenannten Überprüfungsmethoden erreichbare Aussagewert ist für die zu treffende Entscheidung über die Weiterführung der Erkundungsuntersuchungen ausreichend.

**2. Erarbeitung einer Grobkonzeption zur GWA**

**2.1. Allgemeines**

Die kosten- und zeitaufwendigen geohydrologischen Erkundungsuntersuchungen erfordern ihre Reduzierung auf das unbedingt erforderliche Minimum. Die Aufstellung der Grobkonzeption stützt sich deshalb auf vorgegebene, grobe Eckzahlen, die es zulassen, daß mit

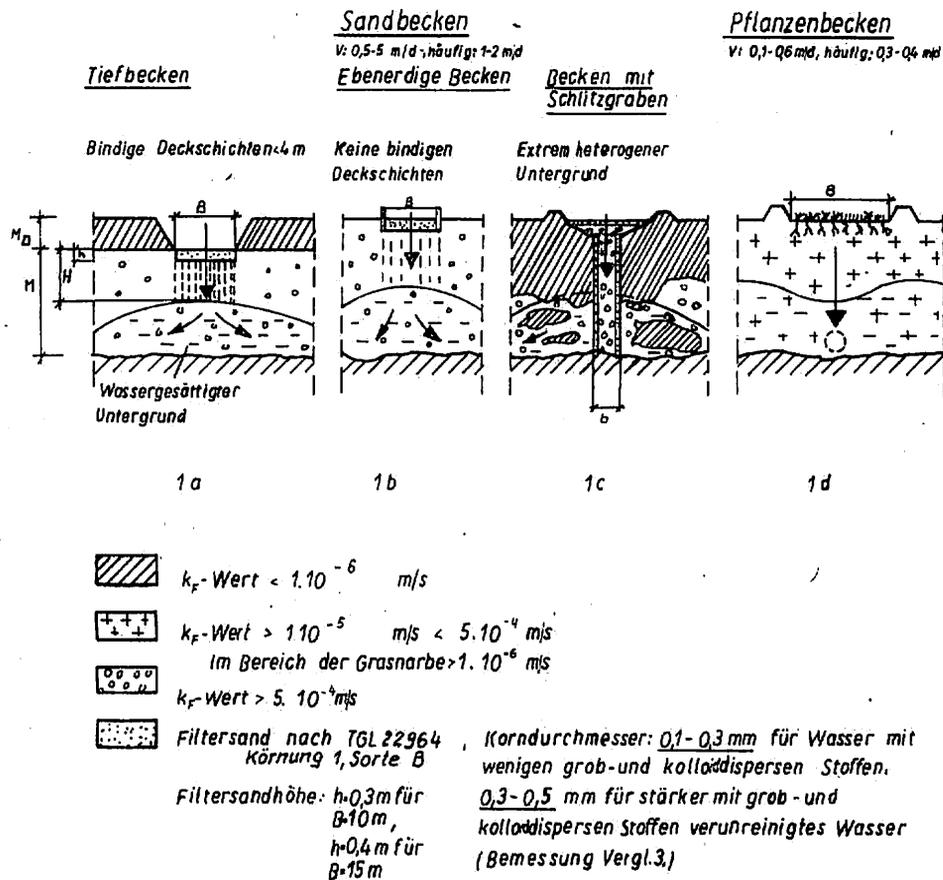


Abbildung 1: Ausbildung des Beckenquerschnittes in Abhängigkeit der geohydrologischen Verhältnisse

ebenfalls nur grob bekannten oder geschätzten geohydrologischen Grundwerten gearbeitet wird. Erst nach Aufstellung der Grobkonzeption werden, falls erforderlich, Testbohrungen und Schurfe niedergebracht.

Die Veränderung der Wassergüte zur Trinkwasserqualität erfolgt vorrangig durch die Infiltration mit nachgeschalteter Feinreinigung. Typische Elemente der Feinreinigung bei schwer abbaubarem, stark verunreinigtem Rohwasser sind: Intensivbelüftung, Filtration, Chlor- und Chlordioxidanlage und in Sonderfällen die Ozon- und (oder) Aktivkohlebehandlung, evtl. auch eine Kontaktfiltration. Eine Vorbehandlung ist bei Wahl eines intensiven Regenerierverfahrens für die Infiltrationsbecken (Brücke mit hydraulischer Sandaufnahme, vgl. WAB 0009 Blatt 2) nicht erforderlich, anderenfalls können, je nach Beschaffenheit des Vorfluters, Absetzbecken oder Flockungsreaktoren zur Verminderung der grob- und kolloiddispersen Wasserinhaltsstoffe empfohlen werden.

Für Rohwasser der Güteklasse 2...3 reduziert sich die Feinreinigung auf Intensivbelüftung und Sicherheitschlorung, sofern nicht durch Grundwasserzuflüsse oder die Bodenpassage störende Inhaltsstoffe zugeführt werden (Fe, Mn,  $\text{NH}_3$  usw.). Die Zone — H — der vertikalen Sickerstrecke ist im Regelfall so groß wie möglich ( $> 1 \text{ m}$ ) zu wählen (Belüftungszone, Speicherreserve, Sicherheit gegenüber der geohydraulischen Berechnung).

## 2.2. Beckenquerschnitt

Es sind ausnahmslos offene Sand- oder Pflanzenbecken (Bild 1) anzuwenden. Sandbecken können unter den in Bild 1 dargestellten Bedingungen generell angewandt werden. Unter der Voraussetzung schwebstoffarmen bzw. die Pflanzenentwicklung fördernden Rohwassers und geringer Durchlässigkeit des Untergrundes (Bild 1 d) sind Pflanzenbecken (WAB 0009, Blatt 2) wirtschaftlicher als Sandbecken.

## 2.3. Festlegung der Anzahl, Größe und Lage der Infiltrationsbecken

Die Beckenzahl ist mit Rücksicht auf die Regenerierung  $\geq 2$  zu wählen.

Zur Vereinfachung der Schreibweise wird nachfolgend eingeführt:

$>\approx$  größer ungefähr;  $<\approx$  kleiner ungefähr.

Die gesamte Beckengrundfläche wird für eine Sickergeschwindigkeit —  $v_{\text{soll}}$  — bemessen, die zwischen  $\approx 0,5 \text{ m/d}$  und  $5,0 \text{ m/d}$  anzunehmen ist. Der obere Grenzwert kann bei sehr guter bis mittlerer Rohwasserbeschaffenheit (Gewässergüteklasse I—III) dann eingesetzt werden, wenn die Untergrundverhältnisse von vornherein erkennen lassen, daß diese hohe spezifische Sickerleistung möglich ist. Bei  $k_{10^\circ\text{C}} >\approx 1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$  und  $M >\approx 10 \text{ m}$  liegen hierfür günstige Voraussetzungen vor. Der untere Grenzwert kann bei extrem verschmutztem Rohwasser der Güteklasse 4 oder geringer Durchlässigkeit und (oder) Mächtigkeit des Wasserleiters eingesetzt werden ( $k_{10^\circ\text{C}} <\approx 1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ ,  $M <\approx 3 \text{ m}$ ).

Die Beckenbreite sollte  $<\approx 2 \text{ M}$  gewählt werden. Exaktere Festlegungen, zu B sind im Zusammenhang mit dem zu wählenden Regenerierverfahren [4] [5] für die verschmutzenden Sickerflächen zu treffen. Für Versickerungsleistungen  $>\approx 5000 \text{ m}^3/\text{d}$  und Regenerierintervalle  $<\approx 6$  Monate ist das Regenerierverfahren mit hydraulischer Sandaufnahme (gleisgebundener Brücke, siehe WAB 0009, Blatt 4) wirtschaftlicher als die Regenerierung unter Benutzung von Planiertrauben.

Für ersteres sind, bedingt durch die Gerätekonstruktion, Beckenbreiten für 10 m und 15 m Schienenmittenabstand erforderlich. Eine Parallelanordnung der Sickerflächen ist technisch unproblematisch und führt zu Beckenbreiten von etwa 20 m und 30 m (2 Sickerflächen parallel innerhalb eines Beckens). Auch für Anlagen  $<\approx 5000 \text{ m}^3/\text{d}$  ist die hydraulische Sandaufnahme unter folgenden Bedingungen vorteilhafter als das Planiertraubenverfahren:

1. Eine starke Verschmutzung des Rohwassers bedingt Regenerierintervalle von  $< 6$  Monaten.
2. Eine stationäre Sandwaschanlage ist nicht vorhanden oder nicht realisierbar.
3. Das Abfahren und Verkippen des verschmutzten Sandes sowie der Ersatz des Sandes ist (objektgebunden) zu aufwendig.

Der Einsatz von Planiertrauben ist an keine Vorzugsmaße für B gebunden.

Die **Beckenlänge** kann beliebig gewählt werden, sollte jedoch im Regelfall etwa 200 m nicht überschreiten. Maßgebend für die Länge sind gegebenenfalls Rohwasser- und Schlammwasserkanäle mit einseitigem Zu- und Ablauf.

Die **Lage** der Becken ist landseitig längs bestehender Uferfiltratfassungen in Reihenanordnung sinnvoll. Unter Beachtung der für B gegebenen Anhaltspunkte ist auch eine Parallelanordnung denkbar. Bei ausgedehnten Grundwasserleiter können mehrere parallellaufende Infiltrationsbecken und Fassungsanlagen zweckmäßig sein.

## 2.4. Art und Lage der Fassungsanlagen

Es können Sickerleitungen oder vertikale Bohrbrunnen beidseitig oder auch einseitig der Infiltrationsbecken zur Anwendung kommen. Beidseitige Fassungsanlagen sind dann von Vorteil, wenn eine sehr geringe Absenkung gewünscht wird (Speicherreserve) bzw. wenn die Längsentwicklung der Infiltrationsbecken durch bestimmte Umstände eingeschränkt ist.

Bei gut durchlässigem Wasserleiter ( $k_{10^\circ\text{C}} > 1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ ) und stark verunreinigtem Oberflächenwasser ist der Abstand  $- L -$  zwischen Infiltrationsbecken und Fassungsanlagen größer als bei entgegengesetzten Verhältnissen zu wählen. Die Schwankungsbreite von L liegt zwischen 10 und 500 m, vorzugsweise zwischen 50 und 150 m.

Die Fassungsanlagen sind im Interesse der Speicherbewirtschaftung des Untergrundes so auszubilden, daß eine sehr geringe Wasserstandshöhe  $- h_o -$  an der Ffassungsanlage möglich ist. Die günstigen Verhältnisse bei Dränleitungen können bei tiefliegendem Wasserleiter auch durch Bohrbrunnen, die nur im untersten Bereich des Wasserleiters Filterrohre erhalten, erreicht werden. Für die Länge des Filterrohres  $- l_o -$  ist bei zur Versinterung oder Verockerung neigenden Wässern die Begrenzung der Geschwindigkeit  $- v -$  am Filterrohrmantel auf den laminaren Bereich maßgebend. Annähernd gilt:

$$v \leq v_{\text{krit.}} = \frac{0,37}{k_{10^\circ\text{C}}^{0,1}} \quad \text{Gl. 2.4.-1}$$

$$\text{hier gilt: } v \text{ [cm/s]} \\ k_{10^\circ\text{C}} \text{ [cm/s]}$$

wobei für  $k_{10^\circ\text{C}}$  die Durchlässigkeit der am Filterrohr anliegenden Filterkiesschicht einzusetzen ist. Sind von vornherein keine Ausscheidungen zu erwarten bzw. entsprechende Vorkehrungen zu deren Unterbindung getroffen, dann kann die Eintrittsgeschwindigkeit höher als oben angegeben gewählt werden.

## 2.5. Geohydraulische Berechnung

Mit den zunächst frei gewählten bzw. geschätzten Werten: B, L,  $v_{\text{soll}}$ ,  $k_h$ ,  $k_v$ ,  $h_o$ , H, h sowie den für die Ffassungsanlage angenommenen Abmessungen und Brunnenabständen  $a$ ,  $k_F$ ,  $l_o$ ,  $r_F$ ,  $r_o$ ,  $r'_o$ , t wird zur Kontrolle der Wert  $l_o$  ermittelt. Man bedient sich hierzu in komplizierten Fällen der Analogiemodelluntersuchung [1].

Die Abweichung der Rechnung vom gewünschten Wert  $l_o$  läßt die Tendenz der Korrektur erkennen. Im Regelfall wird man L verändern.

Die somit grob bekannte Zuordnung aller Anlagen der GWA bildet die Grundlage für die abschließende Festlegung der Technologie und die Durchführung der Bemessung.

## 3. Bemessung

### 3.1. Geohydrologische Erkundung

#### Zielsetzung

Ermittlung von  $M_D$ , M,  $k_v$  und  $k_h$  im Bereich zwischen Infiltrationsbecken und Ffassung. Ferner interessieren Grundwasser- und Uferfiltrat nach Qualität und Quantität, Eisen- und Manganablagerungen im Grundwasserleiter, Bodenproben (je 2 kg) aus typischen Bodenhorizonten und die Festlegung der Schutzzone.

**Maßnahmen:****a) Schurfe**

Je Becken 3 Schurfe bis 2 m Tiefe in den geplanten Beckenachsen. Falls  $M_D > 2$  m — sind die Schurfe durch Tastbohrungen zu ersetzen.

Mittels der Schurfe wird die Aushubtiefe der Becken festgelegt ( $M_D + h$ ), ferner wird das Bodenprofil betr. schwer durchlässiger Horizonte visuell geprüft (Eisenbänder, Tonbänder etc.). Liegen ausgeprägte Bänder vor, dann ist vor Ort mittels Sickerzylinder grob die Durchlässigkeit der Bänder zu bestimmen.

Die Ermittlung des  $k_h$ -Wertes erfolgt aus der Sieblinie nach dem Verfahren von BEYER [2]. Der  $k_v$ -Wert ergibt sich bei fluvialen Sanden und Kiesen zu  $\approx 0,5 k_h$ . Außerhalb der Anwendungsgrenzen des Verfahrens nach [2] mit

$$U : 1 - 20$$

$$d_{10} : 0,6 - 0,06 \text{ mm}$$

sind von gestört entnommenen Proben nach der in [3] angegebenen Versuchsmethode Laborfilterversuche zur Bestimmung von  $k_v$  durchzuführen.

**b) Tastbohrungen**

Je nach Längenausdehnung der Beckenreihen sind 3 bis 5 Querprofile zwischen Beckenachse und Achse der Fassungen zu erkunden. Je Profil sind 3 bis 5 Tastbohrungen (Trockenbohrverfahren) erforderlich. Die Tastbohrungen werden grundsätzlich zu Gütepegeln NW 150 TGL 92-011 ausgebaut. Eine Erhöhung der Anzahl der Bohrungen ist nur bei extrem heterogenem Untergrund verantwortbar. Abgesehen von der Angabe des Grundwasserstandes ist von jeder typischen Schicht eine Bodenprobe von 2 kg zur Bestimmung des  $k_h$ -Wertes aus der Kornverteilungskurve und für weitere Untersuchungen zu bergen.

Pumpversuche zur Bestimmung von  $k_h$  sind in einigen geeigneten Bohrungen vorzunehmen. Erkennbare Eisen- und Manganablagerungen sind gesondert sicherzustellen und chemisch zu analysieren. Ihre Anzahl und Beschaffenheit erlauben zweckmäßige Absenkungshorizonte sowie die zu erwartende Zunahme des Fe- und Mn-Gehaltes einzuschätzen.

**c) Fremdwasser**

Der Zustrom von Grundwasser evtl. auch Uferfiltrat zu den Fassungen der GWA ist nur exakt zu quantifizieren wenn ein relativ umfangreiches geohydrologisches Gutachten erstellt wird.

Der hiermit verbundene finanzielle und zeitliche Aufwand lohnt erst, wenn der Fremdwasseranteil schätzungsweise  $> \approx 25\%$  des durch Infiltration zu gewinnenden Anteils beträgt. Die Qualität ist unter allen Umständen als Grundlage der Einschätzung der zu erwartenden Mischwassergüte zu bestimmen.

**3.2. Geohydraulische Berechnung**

Diese erfolgt analog 2.5. schrittweise unter Veränderung von — L — gegebenenfalls auch anderer Parameter.

Zu ermitteln ist ferner die mittlere Filtergeschwindigkeit — v —.

**3.3. Filtersand (vgl. Bild 1)**

Die optimale Sandkorngröße für den Regelfall der Infiltration natürlicher, nicht oder wenig vorgereinigter Wässer beträgt:

$$0,3 - 0,5 \text{ mm} \quad (d_w \approx 0,4 \text{ mm})$$

Bei Vorklassierung durch intensive Vorreinigung oder Vorhandensein vorwiegend toniger, disperser Bestandteile im Rohwasser beträgt die Korngröße:

$$0,1 - 0,3 \text{ mm} \quad (d_w \approx 0,2 \text{ mm})$$

Der Kleinstfilterversuch nach 3.4. ist zur Bestätigung der getroffenen Auswahl heranzuziehen.

### 3.4. Betriebszeit – Beckengrundfläche, Sickergeschwindigkeit, Vorreinigung

Unter **Betriebszeit** wird der Zeitraum vom Infiltrationsbeginn mit der vorgesehenen Sollmenge bis zum Beginn der Beckenregenerierung verstanden. Diese erfolgt, wenn die Sollmenge aufgrund zunehmender Kolmation nicht mehr versickert werden kann bzw. wenn die bei partiellem Überstau gewünschte Belüftung in der vertikalen Sickerstrecke – H – aufgrund der Erreichung vollständigen Überstaues ausbleibt.

Wird zur Régenerierung das Verfahren mit hydraulischer Sandaufnahme vorgesehen, dann sind kurze Betriebszeiten zulässig. Mit Rücksicht auf evtl. Reparaturzeiten und dem Winterbetrieb sollte eine Betriebszeit  $> \approx 20$  Tage angestrebt werden. Die Betriebszeit berechnet sich näherungsweise zu:

$$t_B = \frac{v_{0J} \int_{t_J=0}^{t_J=t_{J/K}} \frac{e^{-\lambda t_J}}{\lambda} dt_J + \frac{v_{0K}}{(K)} \int_{t_K=0}^{t_K=t_{soll}} \frac{2}{1 + (K) t_K} dt_K}{v_{soll}} \quad \text{Gl. 3.4.-1}$$

Die hier enthaltenen Parameter werden durch den in 4.1. erläuterten Labortest (Kleinstfilter, Membranfilter) bestimmt. 4.1. enthält ferner Angaben zur Versuchsauswertung und der Methodik zur Ermittlung der Verschmutzungstiefe des Filtersandes. Ergibt sich eine Betriebszeit  $> \approx 20$  Tage und eine Verschmutzungstiefe  $< 4$  cm, dann können der Sand sowie die vorgegebene Sickergeschwindigkeit beibehalten werden.

Wenn trotz der Sandgröße 0,3 bis 0,5 mm und annähernd 4 cm Verschmutzungstiefe die Betriebszeit zu kurz wird, dann sollte die **Sickergeschwindigkeit**  $v_{soll}$  herabgesetzt werden. Das bedeutet eine Vergrößerung der **Beckengrundfläche**. Die geringste Änderung für die geohydraulische Berechnung ist bei Vergrößerung von B gegeben. Die Vorreinigung des Rohwassers als eine weitere Möglichkeit der Leistungssteigerung sollte erst als letzter Ausweg besprochen werden.

### 3.5. Qualitätsverbesserung – Abstand der Infiltrationsbecken von der Fassung, Sickergeschwindigkeit

Die ausgezeichnete Bakterieneliminierung der GWA garantiert im Regelfall an der Fassung Trinkwasserqualität. Somit ist die Reduzierung der organischen Substanz, gemessen am PV, das z. Z. maßgebende Kriterium für die Qualitätsverbesserung. Weiterhin besteht die Möglichkeit einer gesteuerten Stickstoffeliminierung, auch der Ausgleich von Schmutzstoffspitzen des Zulaufes bei der Bodenpassage ist von Bedeutung und erfaßbar.

#### 3.5.1. Reduzierung der organischen Substanz

Grundsätzlich ist im Sommerhalbjahr vor und während der Versickerung eine möglichst intensive Sauerstoffanreicherung zur Beschleunigung des aeroben Abbaues vorzusehen (Zulauf des Wassers über Überlaufschwelle, partielle Versickerung).

Der PV-Abbau über den Fließweg erfolgt nach einer logarithmischen Funktion, deren Konstanten durch den in 4.2. erläuterten Kleinstfiltertest bestimmt werden. Der Filtertest wird mit der aus der geohydraulischen Berechnung bekannten mittleren Filtergeschwindigkeit – v – bei Zimmertemperatur (20 °C) durchgeführt.

An einem Beispiel in 4.2. wird die rechnerische Korrektur des End-PV nach der Fließstrecke L aufgrund der im Winter verminderten Temperatur sowie der erhöhten Filtergeschwindigkeit im Bereich der Fließstrecke H gezeigt. Wird der gewünschte PV – in der Fassung ( $PV < 12 \text{ mg/l}$ ) nicht erreicht, dann sollte zunächst durch eine differenzierte Analyse der organischen Inhaltsstoffe geklärt werden, ob ein  $PV < 12 \text{ mg/l}$  im Reinwasser überhaupt gefordert werden muß. Ist das dennoch der Fall, dann wird analog dem in 4.2. gebrachten Beispiel die erforderliche Verlängerung der Fließstrecke – L – und Herabsetzung der Filtergeschwindigkeit – v – berechnet. Damit verlängert sich automatisch die Betriebszeit, eine Überrechnung der neuen geohydraulischen Verhältnisse ist notwendig. Da jetzt Fließlänge und Geschwindigkeit durch die Gütebedingungen vorgegeben werden, ist die Veränderung von H und  $l_0$  angebracht. Falls die erforderlichen Änderungen unzumutbar erscheinen, sind die Möglichkeiten einer intensivierten Nachbehandlung zu prüfen.

### 3.5.2. Vergleichmäßigung von Stoßbelastungen abbauresistenter Schadstoffe auf dem Fließweg

Für den ständigen Betrieb als auch die Projektierung einer Infiltrationsanlage ist es notwendig zu wissen, mit welcher Konzentration und Zeitverschiebung abbauresistente Schadstoffe, die beispielsweise durch einen Havariefall als Schmutzstoß den Vorfluter verunreinigen, in den Fassungen einer Grundwasseranreicherungsanlage eintreffen, wenn ohne Unterbrechung infiltriert worden ist.

Die Sicherheitsvorkehrungen einer Aufbereitungsanlage steigen im Aufwand dann erheblich, wenn die Störgröße (plötzliche Rohwasserverschlechterung) unvermittelt die Anlage erreichen kann. Die Bodenpassage dagegen führt zu einem bedeutenden Konzentrationsausgleich. Unter der Annahme, daß es sich im Störfall um einen Güteparameter handelt, der weder adsorptiv noch biologisch zurückgehalten wird, vermindert sich die Konzentration in den Fassungsanlagen auf:

$$C = C_0 \cdot 11 \frac{(t_{K_0} \cdot v_{IR})^{0,95}}{L} \quad \text{Gl. 3.5.2.-1}$$

Die Zeitdauer bis zum Eintreffen der Spitze mit C in der Fassung beträgt:

$$t_a = 0,9 \left( \frac{L}{v_p} + \frac{t_{K_0}}{2} \right) \quad \text{Gl. 3.5.2.-2}$$

Die Anwendung für die Praxis wird in Anlage 1 gezeigt.

### 3.5.3. Steuerung der Stickstoffeliminierung

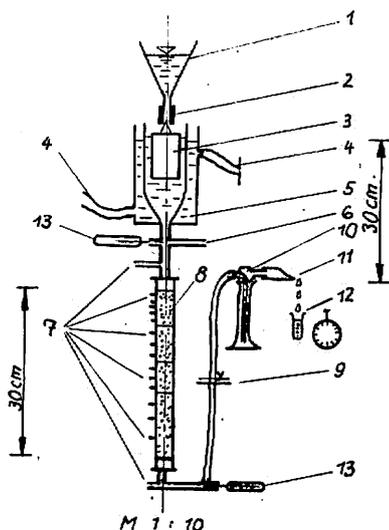
Die Güteanforderungen an Trinkwasser verlangen eine Begrenzung der Stickstoffkomponenten wie folgt:

$$\begin{aligned} \text{NO}_3 &< 40 \text{ mg/l} \\ \text{NO}_2 &< 0,2 \text{ mg/l} \\ \text{NH}_4 &< 0,1 \text{ mg/l.} \end{aligned}$$

Das wirtschaftlich schwer entfernbare  $\text{NO}_3$  reduziert sich durch Stickstoffabgasung ohne eine Erhöhung der weiteren Stickstoffkomponenten bei der Grundwasseranreicherung dann, wenn optimale Verhältnisse für eine mikrobielle Nitratproduktion vorliegen.

Die Steuerung der Nitratreduktion ist durch Zudosierung von Zuckerrübenmelasselösung in das Rohwasser möglich. Bei einer Zugabe von 2 mg Melasse pro 1 mg  $\text{NO}_3$  ist mit einer vollständigen Nitratreduzierung zu rechnen.

Spezielle Ausführungen zu den Problemen der Melassezugabe sind im WAB Blatt 4 enthalten.



Pos.:

- 1 Fülltrichter-Rohwasserzugabe
- 2 Vakuumschlauch als Ventilsitz (plangeschliffen)
- 3 Schwimmer (Nivellierung des Vordrucks)
- 4 Kühlwasserzu- und Ablauf (Leitungswasser -10 C)
- 5 Kühlbehälter
- 6 Probenentnahmeslitzen des Zulaufs
- 7 Abgänge zu Piezometerharle
- 8 Kleinstfilter - 30 cm
- 9 Auslaufreglung
- 10 Probenentnahme des Auslaufs
- 11 Angepitzter Schlauch zur besseren Tropfenbildung
- 12 Mensur - volumetrische Mengenbestimmung
- 13 Temperaturkontrolle in Zu- und Auslauf

Pos. 9 und 10 entfallen beim Versuchsaufbau zur Ermittlung der Betriebszeit

Abbildung 2: Einfachster Aufbau einer Kleinstfilteranlage

## 4. Ermittlung von Kenngrößen

### 4.1. Labortest – Betriebszeit

#### Allgemeines

Zur Bestimmung der Betriebszeit —  $t_B$  — und der Verschmutzungstiefe —  $h_V$  — sind folgende Größen empirisch zu ermitteln:

$$v_{oJ}, \lambda, t_{J/K}, h_V, v_{oK}, (K), t_{soil}$$

Die hierzu notwendigen Laborversuche werden mit den im Bild 2 bis 4 dargestellten Versuchsanlagen durchgeführt. Ein kompletter Satz dieser Anlagen steht im WTZ der VVB WAB zur Verfügung.

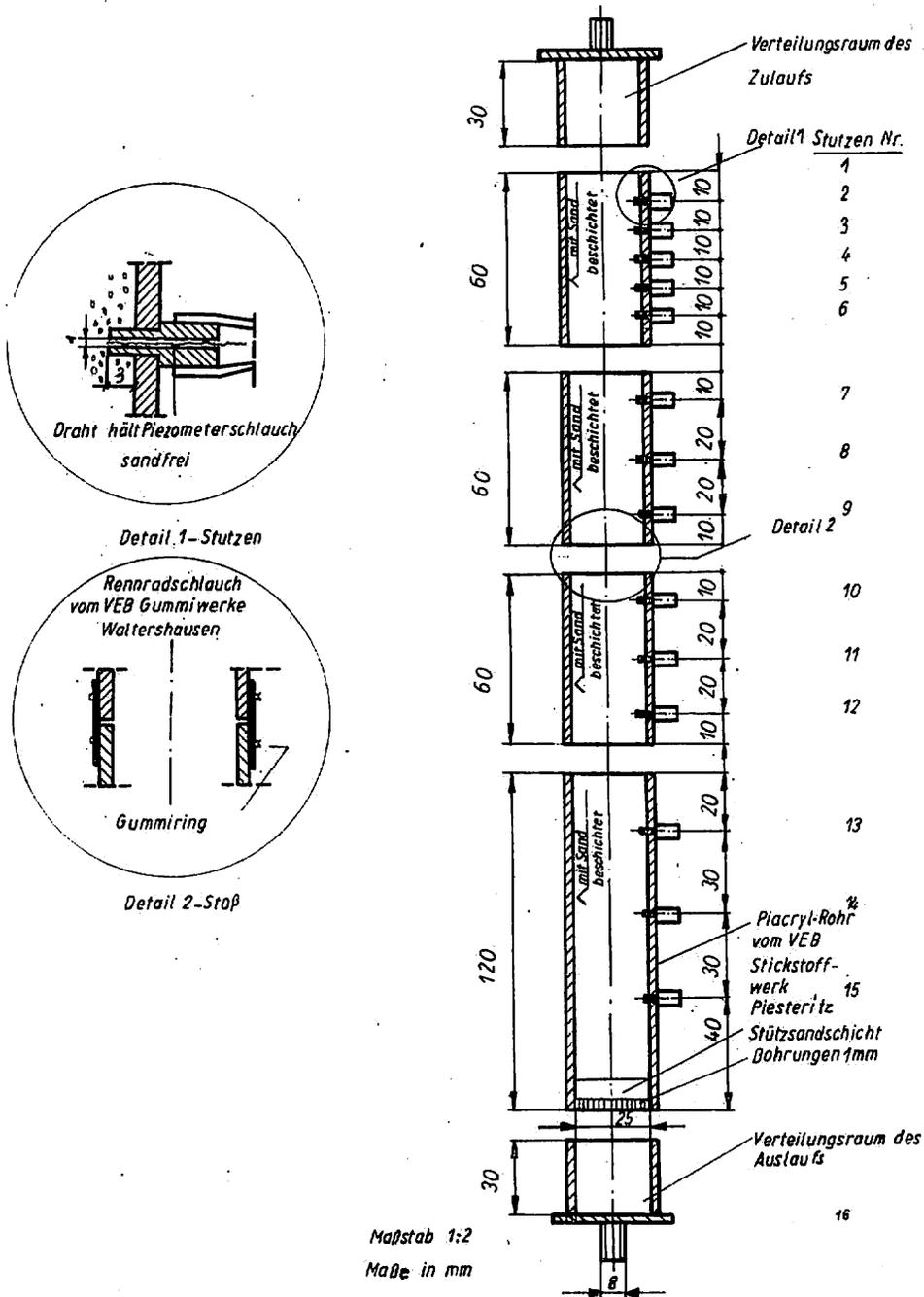


Abbildung 3: Einzelteile eines Kleinstfilters

Die Größe der Versuchsanlage erlaubt pro Tag und Filter mit weniger als 5 Liter Untersuchungsrohwasser auszukommen. Das Rohwasser kann entweder kontinuierlich aus einem Zuleitungssystem entnommen werden (Nach Bild 2 ist das Zuleitungssystem bei Pos. 2 der Zeichnung einzubinden) oder es wird dem Vorfluter chargenweise, möglichst einmal täglich entnommen. Im letztgenannten Fall ist das Rohwasser aus dem Entnahmegefäß dem Fülltrichter nach Bild 1 täglich mehrfach zuzugeben. Die im Entnahmegefäß möglicherweise sedimentierten, grobdispersen Stoffe werden vorher aufgeschüttelt. Die Versuche werden in Laborräumen, also bei Zimmertemperatur durchgeführt. Die vorgesehene Wasserkühlung mit

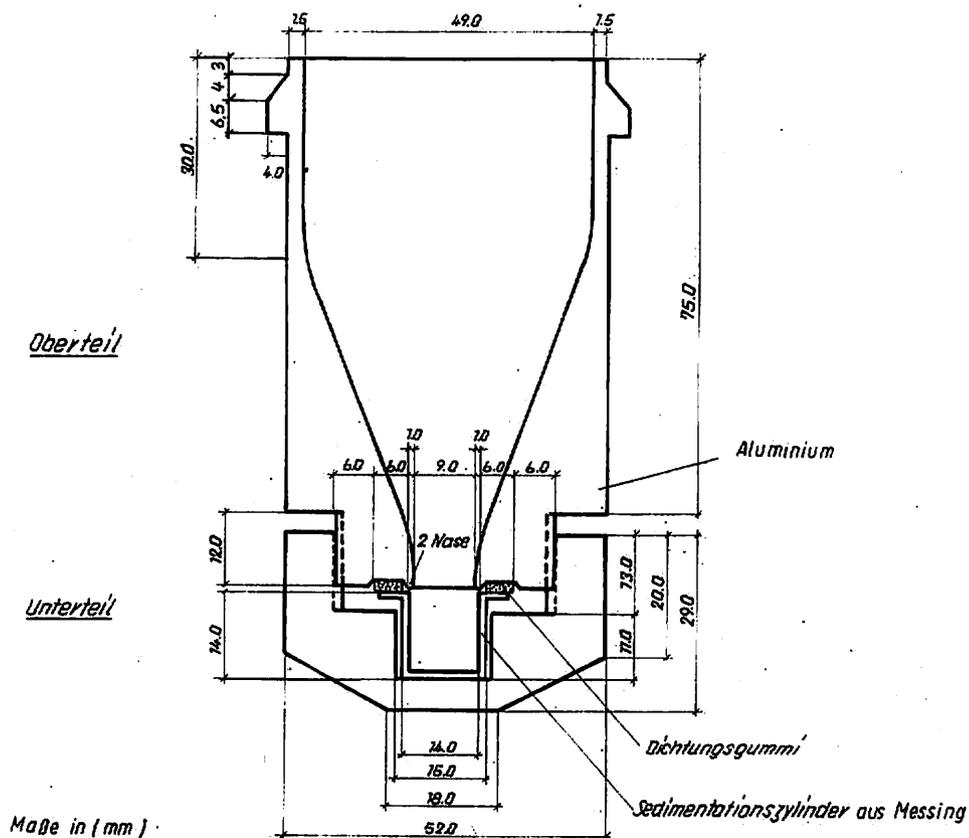


Abbildung 4: Modifizierter Zentrifugenbecher

Leitungswasser von etwa 10 °C verhindert störende Gasausscheidungen im nachgeschalteten Filter. Für grob orientierende Versuche sind extreme Vereinfachungen der Versuche möglich (siehe hierzu Schlussbemerkungen zum Abschnitt 4.1.).

#### Ermittlung von $v_{0j}$ , $\lambda$ , $t_{1/K}$ , $hV$

a) Aufbau einer Versuchsanlage nach Bild 2 und 3 ohne Position 9 und 10.

Der Filtersand wird unter Beachtung der in 3.3. genannten Gesichtspunkte ausgewählt und in das mit Wasser angefüllte Filterrohr eingebracht. Damit werden von vornherein störende Luft einschüsse im Korgerüst vermieden. Die in Pos. 7 nach Bild 2 anzuschließenden Piezometerschläuche (durchsichtiges Material) werden so mit der Piezometerharfe verbunden, daß die in der Höhe nacheinander folgenden von 1 bis 15 durchnummerierten Stützen dort nebeneinander erscheinen.

Die Höhenlage der Piezometerrohre befindet sich zwischen Pos. 3 und 11 nach Bild 2. Die Verbindungsschläuche sind zur Vermeidung störender Luftblasen möglichst ohne Zwischenhochpunkte zu verlegen.

Die Piezometerharfe ist vor einer mit Millimeterpapier bespannten, horizontal ausgerichteten Wand angebracht; die Differenzen zwischen den Menisken der Piezometerrohre zeigen den

Druckverlust auf der Fließstrecke zwischen den entsprechenden Stutzen an und sind direkt ablesbar.

b) Betrieb der Versuchsanlage

Der Versuch wird im 3-Schichtbetrieb durchgehend gefahren, die Dauer eines Versuches liegt zwischen 3 bis 5 Tagen. Zur Erhöhung der Aussagesicherheit ist mindestens ein Parallelversuch zu fahren oder eine Versuchswiederholung vorzunehmen.

c) Registrierung der Versuchsergebnisse

**Tabellenkopf**

| $t_j$<br>[d] | $v_j$<br>[m/d] | Temperatur     |                 |                    | Differenz der<br>Menisken an der<br>Piezometerharfe |     |     |       | Grobdisperse<br>Stoffe<br>[mg/l] | Bemerkungen |
|--------------|----------------|----------------|-----------------|--------------------|---|-----|-----|-------|----------------------------------|-------------|
|              |                | Zulauf<br>[°C] | Auslauf<br>[°C] | Mittelwert<br>[°C] | [mm]  |     |     |       |                                  |             |
|              |                |                |                 |                    | Stutzennummern                                      |     |     |       |                                  |             |
|              |                |                |                 |                    | 1-2   | 2-3 | ... | 14-15 |                                  |             |
| 1/24         |                |                |                 |                    |   |     |     |       |                                  |             |
| 2/24         |                |                |                 |                    |   |     |     |       |                                  |             |

Eine Ablesung der Werte erfolgt am Anfang des Versuches aller Stunden, später aller 2 Stunden.

Die Bestimmung der Filtergeschwindigkeit am ungedrosselten Auslauf m. H. von Stoppuhr und Mensur ergibt zur Zeit  $t_j = 0$  also am Versuchsbeginn den Wert  $v_{0j}$ . Die Bestimmung der grobdispersen Stoffe erfolgt mindestens viermal während der gesamten Versuchsdauer. Im Pos. 6 nach Bild 2 wird die entsprechende Wasserprobe vorsichtig — über den Zeitraum von 1 Minute verteilt — entnommen. Die Bestimmung der Menge an grobdispersen Stoffen erfolgt mittels modifizierter Zentrifugenbecher nach Bild 4.

|   |                    |
|---|--------------------|
| Probenvolumen   | 75 cm <sup>3</sup> |
| Umdrehung pro Minute  | 5500               |
| Zeitdauer der Zentrifugation                                    | 25 min             |
| Austrocknen der im Messingzylinder verbleibenden Rohwassermenge | 2 h bei 105 °C     |

Das hier skizzierte Bestimmungsverfahren wird in [4] ausführlich behandelt. Als Ersatzverfahren kann die Bestimmung der grobdispersen Stoffe durch Filtration über Membranfilter (MF 50) empfohlen werden. Diese müssen jedoch aufgrund des vorhandenen Auswaschverlustes mit 2 Liter destilliertem Wasser vorgewaschen sein. Nach 2 h Trocknung bei 105 °C und Abkühlung im Exsikkator ist ihr Ausgangsgewicht zu bestimmen.

**Auswertung der Versuchsergebnisse**

Die Filtergeschwindigkeit  $v_j$  wird auf semilogarithmischen Papier über die Zeit  $t_j$  aufgetragen. Als Zeitachse wird die Abszisse mit linearer Teilung gewählt. Das in Bild 5 enthaltene Beispiel zeigt, daß auf semilogarithmischem Papier die Filtergeschwindigkeit über der Zeit zunächst linear abnimmt.

Die empirische Konstante  $\lambda$  berechnet sich aus Tangens  $\alpha$  des Neigungswinkels und dem gewählten Maßstab wie folgt:

$$\lambda = 2,3 \cdot \frac{1x}{1y} \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

$$\text{Für Bild 5 gilt: } \lambda = 2,3 \cdot \frac{30}{40} \cdot 0,9 = 1,55$$

$t_{j/k}$

Die Zeitdauer  $t_{j/k}$  kann aus Bild 5 sofort am Knickpunkt der  $v_j \cdot t_j$ -Kurve abgelesen werden. Der Knickpunkt kennzeichnet den Übergang der durch die Invasion bestimmten Geschwindigkeitsabnahme gegenüber der durch die Kalmation bestimmten Geschwindigkeitsabnahme, und damit  $v_{0k}$ .

$v_{0K}$  Falls noch im linearen Bereich der Kurve die gewünschte Sollsickerleistung ( $v_{soll}$  vorgegeben nach 2,3) erreicht wird, berechnet sich die Betriebszeit zu:

$$t_B = \frac{v_{0j} \left| \frac{e^{-\lambda t_j}}{\lambda} \right|_{t_j = t_{j, \text{soll}}} - \left| \frac{e^{-\lambda t_j}}{\lambda} \right|_{t_j = 0}}{v_{\text{soll}}}$$

Unter  $t_{j, \text{soll}}$  ist die Zeitdauer zu verstehen, die vom Versuchsbeginn bis zur Erreichung des Wertes  $v_{\text{soll}}$  vergangen ist. Im Regelfall wird  $v_{\text{soll}}$  jedoch erst im Bereich der  $v_K-t_K$ -Kurve erreicht und erfordert auch die Bestimmung dieses Kurvenabschnittes (vgl. weiter unten).

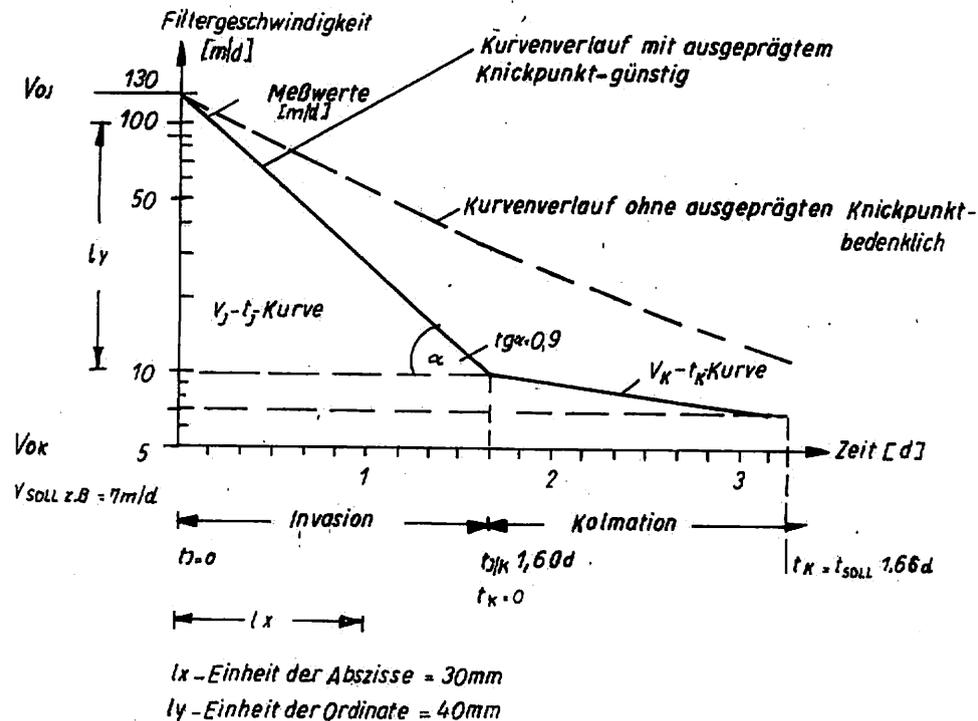


Abbildung 5: Abnahme der Filtergeschwindigkeit mit der Zeit

$h_V$  Die Höhe der verschmutzten Filtersandschicht wird am durchsichtigen Filterrohr sowie durch Abheben der obersten Filtersandschichten nach Abschluß des jeweiligen Versuches visuell bestimmt.

Eine unzulässig hohe Schmutzeindringstufe ( $> 4$  cm) ist von vornherein dann anzunehmen, wenn die  $v_j \cdot t_j$ -Kurve nach Bild 5 ohne Knickpunkt verläuft. Visuell ist in derartigen Fällen die Verschmutzungshöhe nicht mehr eindeutig bestimmbar. Der Nachweis über die Höhe der Verschmutzung ist durch die Berechnung der  $k_v$ -Werte über die Filterbettiefe für 4 Versuchszeitpunkte (Anfang, Ende, erstes und zweites Drittel) zu führen. Die  $k_v$ -Werte berechnen sich aus den Piezometerwasserständen und der zugehörigen Filtergeschwindigkeit.

Beispiel:  $k_{v1-2}$  [m/s] =  $\frac{v \text{ [m/s]} \cdot l_{1-2} \text{ [mm]}}{\Delta p_{1-2} \text{ [mm]}}$

- Es bedeuten:  $k_{v1-2}$  [m/s] — Vertikaler Durchlässigkeitsbeiwert im Filterabschnitt zwischen Stützen 1 und Stützen 2
- $l_{1-2}$  [mm] — Abstand zwischen beiden Stützen (Filtersandschicht)
- $\Delta p_{1-2}$  [mm] — Vertikaler Abstand der Menisken der Piezometer beider Stützen (Druckverlust)
- $v$  [m/s] — Filtergeschwindigkeit zum Zeitpunkt der Betrachtung

Die Auftragung der  $k_v$ -Werte sind anschließend in einem Koordinatensystem über der als Abszisse zu wählenden Filterbettiefe für alle 4 Versuchszeitpunkte vorgenommen. Annähernd horizontaler Kurvenverlauf der  $k_v$ -Werte zeigt unverschmutzte Filterbereiche an.

Liegen nach Bild 6 typische Kurvenscharen für eine fortlaufende Tiefereindringung der Schmutzstoffe vor, dann war der Sand für die entsprechenden Rohwasserhältnisse zu grob, eine Versuchswiederholung mit feinerer Körnung muß erfolgen.

Werden bei der Versuchsdurchführung Temperaturunterschiede von  $> \approx 1^\circ\text{C}$  zwischen Filterzulauf und -ablauf festgestellt, dann sind die  $k_v$ -Werte vor ihrer Auftragung in Bild 6 auf eine einheitliche Temperatur von  $10^\circ\text{C}$  zu beziehen.

$$k_{v\ 10^\circ\text{C}} = k_{vt} \cdot \frac{\eta\ t}{\eta\ 10^\circ\text{C}}$$

$\eta$  = dynamische Zähigkeit für Wasser

#### Ermittlung von (K), $t_{\text{sol}}$

Die Bestimmung vorgenannter Parameter ist dann erforderlich, wenn die Sickerleistung  $v_{\text{sol}}$  erst im zweiten Kurvenabschnitt nach Bild 4 erreicht wird. (K) und  $t_{\text{sol}}$  lassen sich mit dem Kleinstfilterversuch aufgrund der durch die längere Versuchsdauer und geringe Sickerleistung bedingten Meßwertstreuungen nur ungenau ermitteln, es wird sich deshalb des in Bild 6 angegebenen Membranfilterversuches bedient.

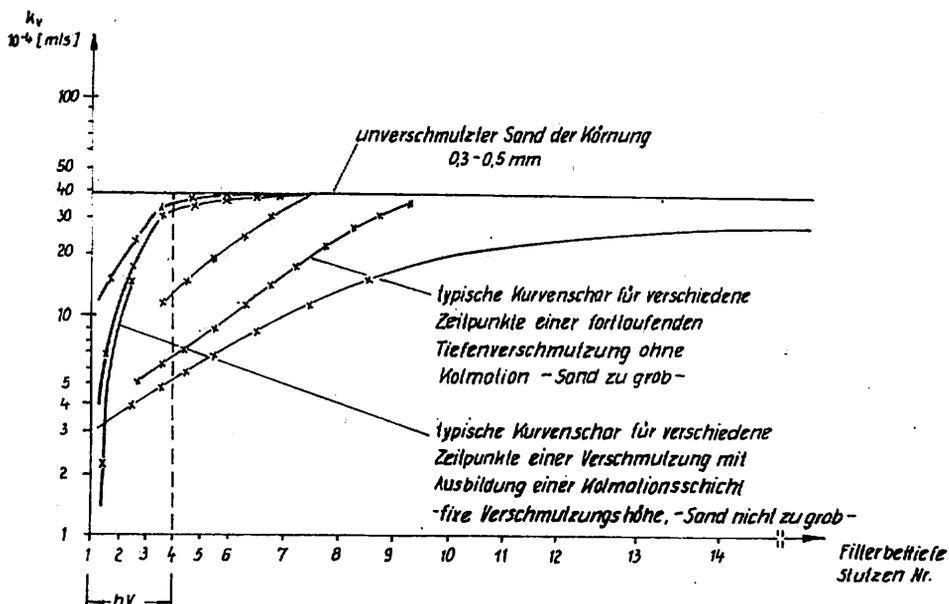


Abbildung 6: Beispielsweise Darstellung der Bestimmung der hydraulisch wirksamen Verschmutzungshöhe durch Auftragung der  $k_v$ -Werte

#### a) Aufbau der Versuchsanlage

Bild 7 stellt den Versuchsaufbau dar. Als Membranfilter hat sich Tressengewebe aus Phosphorbronze mit  $60\ \mu\text{m}$  vom VEB Metallweberei Neustadt (Orla) bewährt. Das Filter kann nach Gebrauch ausgewaschen werden und liefert auch bei häufiger Benutzung stets die gleiche Anfangsdurchlässigkeit. Der Filterstein im Membranfiltergerät muß bei den Versuchen entfernt werden, das Filterblättchen wird am Metallsitz mit Duosan leicht angeklebt.

#### b) Betrieb der Versuchsanlage

An Untersuchungswasser werden 10 bis 20 Liter benötigt, die stets umgerührt dem Imhofftrichter zugegossen werden. Es handelt sich um das gleiche Wasser, das für die Kleinstfilterversuche verwendet wird, die Versuche werden bei 25 cm Druckgefälle und Zimmertemperatur durchgeführt.

#### c) Registrierung der Versuchsergebnisse

Tabellenkopf

| Filtergeschwindigkeit | Versuchszeit | Temperatur           |
|-----------------------|--------------|----------------------|
| [cm/s]                | [s]          | [ $^\circ\text{C}$ ] |
|                       |              |                      |

Die Filtergeschwindigkeit wird mittels Messur, Stoppuhr und bekannter Filterfläche in möglichst kleinen Zeitintervallen (100 sec.) bestimmt.

Die Auftragung der Ergebnisse analog Bild 8 läßt erkennen, wann der Membranfilter durch fortschreitende Verschmutzung eine Kolmationsschicht entstehen läßt (Punkt A).

Rührwerk

Imhofftrichter

Thermometer  
Vakuumschlauch als Sitz für  
den Verschußkegel des  
Schwimmers

Schwimmer

Filter aus Phosphorbronze  
am Sitz eingeklebt.

Mensur

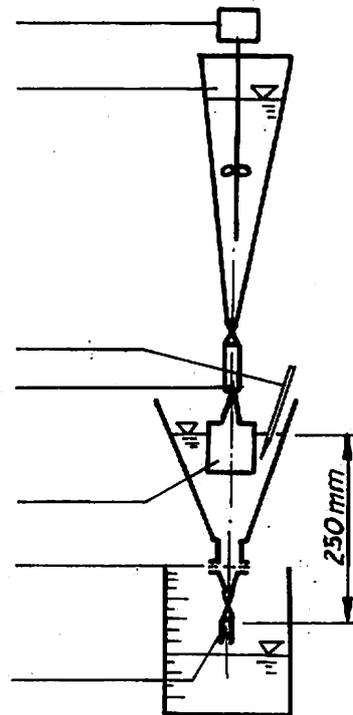


Abbildung 7: Membranfilterversuch zur Bestimmung von  $(K)$  und  $t_{k\text{ soll}}$

#### d) Auswertung der Versuchsergebnisse

In zwei beliebigen, weit voneinander entfernt liegenden Punkten A und B der im Kolmationsbereich liegenden Geschwindigkeits-Zeit-Kurve (vgl. Bild 8) werden die zugehörigen Filtergeschwindigkeiten  $v_A$  und  $v_B$  und der zeitliche Abstand  $t_{A-B}$  dieser Punkte bestimmt. Hieraus ermittelt sich  $(K)$ .

$$(K) \quad (K) = \frac{\left(\frac{v_A}{v_B}\right)^2 - 1}{t_{A-B}} \quad \left[\frac{1}{d}\right]$$

und

$$t_{\text{soll}} \quad t_{\text{soll}} = \frac{\left(\frac{v_{0K}}{v_{\text{soll}}}\right)^2 - 1}{(K)} \quad [d]$$

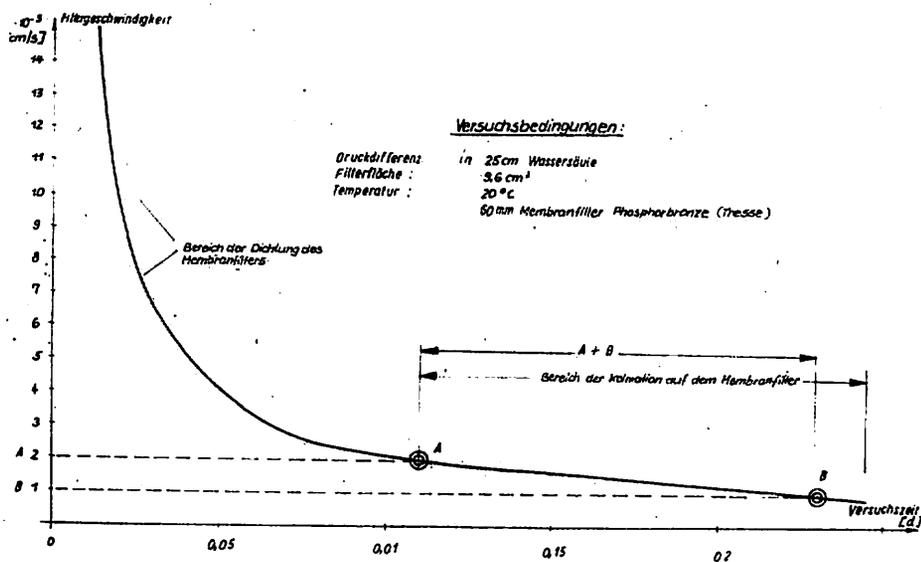


Abbildung 8: Membranfilterversuch zur Bestimmung von (K)

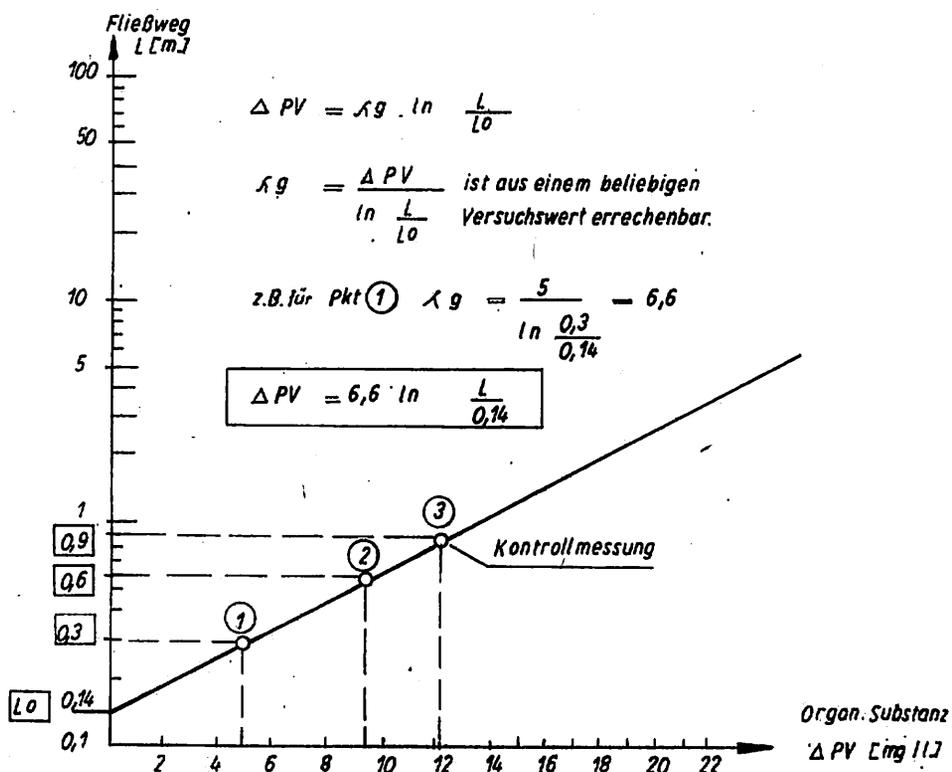


Abbildung 9: Reduzierung der organischen Substanz über den Fließweg

**Schlußbetrachtung**

Mit vorstehenden Versuchen sind alle zur Berechnung der Betriebszeit nach Gleichung 3.4.—1 erforderlichen Parameter gefunden.

Das hier angegebene Verfahren stellt nach [4] bereits eine Vereinfachung dar. Von Vorteil ist, daß es neben der Ermittlung der Betriebszeit noch eindeutig die Eignung des Sandes

bezüglich der Verschmutzungshöhe erkennen läßt. Für groborientierende Test- oder Wiederholungsversuche kann der vorstehend dargelegte Auswertungsaufwand, sofern Klarheit über die ungefähre Höhe der Verschmutzung besteht, extrem abgekürzt werden. Beim Filterversuch nach Bild 2 wird der Auslauf solange aufgefangen, bis  $v_{soll}$  im Auslauf erreicht ist. Der Quotient von aufgefangenem Volumen und  $v_{soll}$  multipliziert mit der Filterfläche ergibt die Betriebszeit.

#### Korrekturen der errechneten Betriebszeit

**Temperatur:** Die aus praktischen Gründen bei Zimmertemperatur durchgeführten Versuche ( $\approx 20^\circ\text{C}$ ) ergeben für das Sommerhalbjahr zutreffende Betriebszeiten. Die Verkürzung im Winterhalbjahr erfolgt linear zum Verhältnis der dynamischen Zähigkeiten bei den unterschiedlichen Temperaturen.

#### Gehalt an grobdispersen Stoffen:

Bekanntlich ist der Gehalt an grobdispersen Stoffen im Rohwasser selten konstant. Soll die Betriebszeit für eine andere Konzentration berechnet werden, so gilt:

Die Betriebszeit ändert sich umgekehrt proportional zum Konzentrationsverhältnis.

#### Art der grobdispersen Stoffe

Ändert sich die Art der grobdispersen Stoffe erheblich (Hochwasser, Niedrigwasser), dann sind gesonderte Versuche erforderlich. Im Regelfall liegt allerdings der zeitliche Schwerpunkt der Anreicherung für die jeweilige Anlage fest, die Art der grobdispersen Stoffe ist damit auch enger gefaßt, der Zeitpunkt der Versuche hat diesem Umstand Rechnung zu tragen.

## 4.2. Laborfiltertest – Güte

#### Aufbau der Versuchsanlage:

Es wird die in Bild 2 dargestellte Kleinstfilteranlage benutzt (einschl. Pos. 9 und 10).

Es werden 3 Kleinstfilter mit den Filterlängen 30 cm, 60 cm und 90 cm parallel betrieben. Das mögliche Druckgefälle soll für alle Filter mit 1 beibehalten werden, die Überstauhöhen entsprechen folglich den Filterlängen. Das Filtermaterial wird unter Wasser eingebaut und besteht aus dem Grundwasserleiter. Korngrößen  $> 5$  mm werden ausgesiebt.

#### Betrieb:

Der Betrieb erfolgt wie in 4.1. für die Ermittlung der Betriebszeit beschrieben.

Zusätzlich muß durch Auslaufregelung (Pos. 9 nach Bild 2) die Filtergeschwindigkeit konstant auf die für den Untergrund berechnete Filtergeschwindigkeit –  $v$  – eingestellt werden.

Bestimmt wird täglich zwei- bis dreimal der PV, mindestens sechsmal pro Versuch. Eine Vollanalyse vom Zu- und Ablauf ist bei Versuchsende zu nehmen. Die PV-Bestimmung beginnt nach einer Einarbeitungszeit von 2 Tagen.

#### Registrierung der Versuchsergebnisse:

##### Tabellenkopf

| v<br>[m/d] | Zulauf<br>[°C] | Temperatur      |                    | PV [mg/l] |         | Bemerkungen |
|------------|----------------|-----------------|--------------------|-----------|---------|-------------|
|            |                | Auslauf<br>[°C] | Mittelwert<br>[°C] | Zulauf    | Auslauf |             |
|            |                |                 |                    |           |         |             |

Die Kontrolle von  $v$  ist bei manueller Regelung stündlich erforderlich.

**Auswertung:**

Die Reduzierung des PV wird für jeden Filter als Mittelwert aus allen mind. 6 Untersuchungen gemäß Bild 9 auf semilogarithmisches Papier aufgetragen. Mit den Werten für 0,3 und 0,6 m Fließweg wird die Gerade gezeichnet, der Mittelwert von 0,9 m (Kontrollwert) muß ebenfalls auf dieser Geraden liegen. Die Bestimmung der Abbaufunktion wird in Bild 9 gezeigt, sie ist bis  $\geq 0,3$  m gültig. Im Bereich von 0 bis 0,3 m treten aufgrund der besonderen Bedingungen der Filteroberfläche Abweichungen von der über den Fließweg logarithmischen Abbaufunktion auf.

Der Reinwasser  $PV_R$  beträgt:

$$PV_R = PV_0 - \underbrace{\lambda g \cdot \ln \cdot \frac{L}{L_0}}_{\Delta PV}$$

**Korrekturen:**

**Temperatur:** Interessiert der  $\Delta PV$  für andere Temperaturen als die Versuchstemperatur, so gilt:

$$\Delta PV (T + 10^\circ C) = 1,8 \cdot \Delta PV (T)$$

**Filtergeschwindigkeit**

Im Bereich der lotrechten, nicht rückgestauten Versickerung (Belüftungszone) liegen wesentlich größere Filtergeschwindigkeiten als im Bereich der horizontal orientierten, gesättigten Grundwasserströmung vor.

Der Abbau des PV muß bei nennenswerten vertikalen Sickerstrecken abschnittsweise berechnet werden.

Näherungsweise gilt:

$$PV_1 = \Delta PV \cdot \left( \frac{v}{v_1} \right)^{2,5}$$

$\frac{v}{v_1}$  Geschwindigkeitsverhältnis der horizontalen Strecke zur lotrechten Strecke mit erhöhter Geschwindigkeit

**Korngröße:**

Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß die Versuche mit dem Kornmaterial des Grundwasserleiters zu fahren sind. Die Einschätzung der Abbauleistung bei veränderter Korngröße ist dann grob möglich, wenn keine nennenswerten qualitativen Unterschiede des Bodens (Lehm) vorliegen. Näherungsweise gilt, daß der Einfluß der Änderung von  $d_w$  umgekehrt proportional zur Fließlängenänderung ist.

Das heißt beispielsweise, daß bei Verringerung von  $d_w$  um eine Zehnerpotenz die gleiche Verbesserung der Abbauleistung erzielt wird wie bei einer Fließwegverlängerung um eine Zehnerpotenz.

Wurde die Abbauleistung  $\Delta PV$  bei der Korngröße  $d_w$  mit der spezifischen Oberfläche

$O = \frac{6}{d_w}$  bestimmt, dann ergibt sich für die Korngröße  $d_{w1}$  mit  $O_1$  die Abbauleistung  $\Delta PV_1$

$$\Delta PV_1 = \Delta PV \cdot \frac{\ln O_1}{\ln O}$$

**Anlage 1****Vergleichmäßigung von Konzentrationsstößen abbauresistenter Schadstoffe auf dem Fließweg****Beispiel:**

**Gegeben:** Querprofil nach Bild 1 Anlage 1 und damit: L, B,  $h_s$ . Ferner: q,  $t_{K0}$ ,  $C_0$

**Gesucht:** C,  $t_a$

Die Berechnung der abgeminderten Konzentrationsspitze — C — in der Fassung nach Gleichung 3.5.2.—1 gilt für eine Stromröhre im homogenen Lockergestein mit gleichbleibender

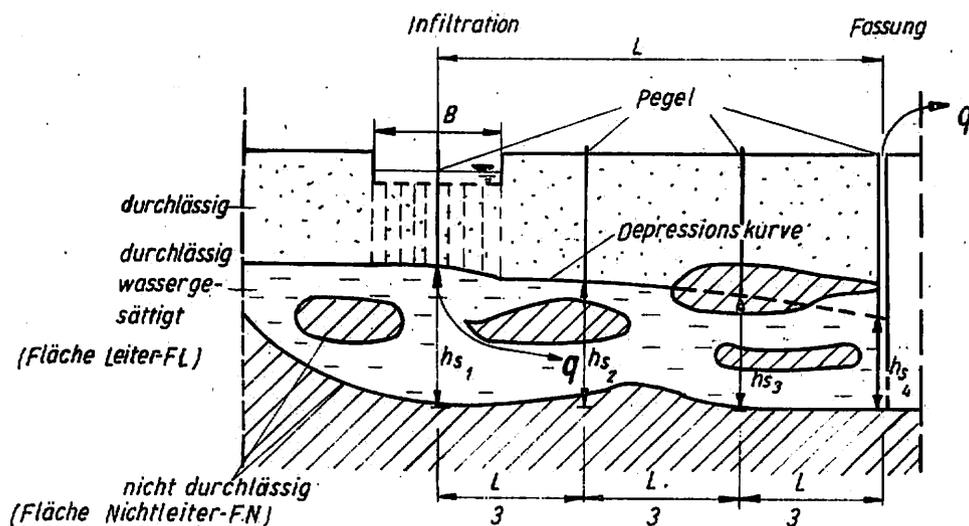


Abbildung 1 – Anlage 1: Beispielsweiser Fließweg infiltrierten Rohwassers zur Fassung

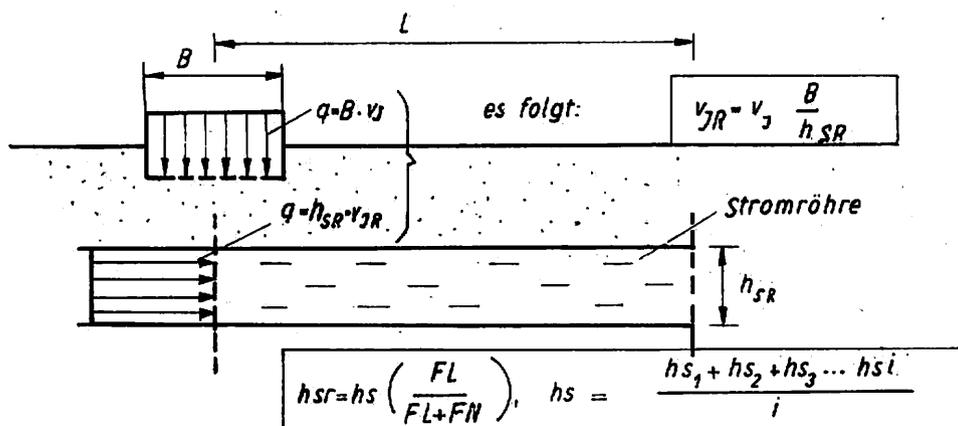


Abbildung 2 – Anlage 1: Vereinfachte Darstellung von Abbildung 1 – Anlage 1

Fließgeschwindigkeit über den Fließweg. Die notwendige Transformierung der in Bild 1 – Anlage 1 angenommenen Verhältnisse auf das Stromröhrenmodell stellt das Bild 2 – Anlage 1 dar.

Folgende vereinfachende Annahmen wurden hierbei zur Festlegung von  $v_{JR}$ ,  $L$ ,  $C_o$ ,  $t_{Ko}$  getroffen:

$v_{JR}$ :

Die dem Stromröhrenmodell entsprechende Filtergeschwindigkeit gilt für eine mittlere Höhe der wassergesättigten Zone  $- h_s$ . Liegen innerhalb der wassergesättigten Zone Tonlinsen vor, dann ist  $h_s$  auf  $h_{SR}$  zu reduzieren. In der Praxis erlauben die Aufschlußbohrungen den Anteil der nicht durchströmten Fläche innerhalb der wassergesättigten Zone grob einzuschätzen. Im vorliegenden Beispiel wurden die Tonlinsen mit etwa 50 Prozent Flächenanteil eingeschätzt und in Bild 2 – Anlage 1 bei der Festlegung von  $h_{SR}$  in Abzug gebracht.

$L$ :

Unabhängig von der Art der Fassung wird der Fließweg als Projektion auf eine horizontale Linie (vgl. Bild 1 Anlage 1) angenommen. Die Vernachlässigung des vertikalen Fließweges, der Hinterströmung der Fassung sowie größerer horizontaler Abweichungen bei Bohrbrunnenfassung gegenüber einer Dränleitung, stellen Sicherheiten dar.

$C_0$ ,  $t_{K_0}$ :

Die Gleichung 3.5.2.1. geht davon aus, daß der Konzentrationsstoß  $C_0$  über die Zeitdauer  $t_{K_0}$  konstant bleibt. Der tatsächliche Verlauf des Konzentrationsstoßes wird im Regelfall einer asymmetrischen Glockenkurve ähneln, da bereits im Vorfluter eine bestimmte Vergleichmäßigung stattfindet. Ein weiterer Konzentrationsausgleich ist bei vorhandenem Absetzbecken gegeben. Die Berechnung der ausgleichenden Wirkung im Überstau der Infiltrationsbecken bei einseitigem Zulauf kann nach [5] durchgeführt werden.

In der Praxis allerdings wird aufgrund mangelnder Analysendichte der Kurvenverlauf eines interessierenden Konzentrationsstoßes im Vorfluter kaum bekannt sein. Häufig ist die Maximalkonzentration anhand einiger Analysenwerte nur grob einzuschätzen, auch  $t_{K_0}$  muß teilweise eingeschätzt werden. Fehlen exakte Anhaltspunkte, dann wird empfohlen, aus Sicherheitsgründen mit Gleichung 3.5.2.1. zu rechnen, also so, als ob die eingeschätzte Konzentration über die Dauer der Stoßbelastung konstant bliebe.

Zur Berechnung von  $t_0$  kann, falls der Porenanteil —  $n$  — nicht bekannt ist, für  $n \approx 0,3$  gesetzt werden.

## Hinweise

Blatt 2 Technologie und Bemessung der Pflanzenbecken

Blatt 3 Konstruktion der Infiltrationsbecken

Blatt 4 Betriebshinweise

WAPRO 1.34. Blatt 2 „Wasseraufbereitung; Physikalische Entsäuerung und Belüftung, offene Belüftungsverfahren“

WAPRO 1.35. „Filtertechnik“

WAPRO 1.04. Blatt 2 „Chloranlagen; Technologie und Betrieb“

WAPRO 1.23. Blatt 8 „Prinzipien für die Chemikalienaufbereitung in der Wasserversorgung; Aktivkohleanlagen“.

[1] L. Luckner, O. Peukert, H. Löffler;

Beitrag zur Berechnung des durch Sickergräben, Brunnenreihen oder Dränleitungen gewinnbaren Infiltrats aus Oberflächenwässern  
WWT, 5, 1969

[2] W. Beyer

Beitrag zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Kiesen und Sanden aus der Kornverteilungskurve  
WWT, 6, 1964

[3] W. Beyer:

Beitrag zur Ermittlung maßgebender Grundwasserfließgeschwindigkeiten  
Diss. TU Dresden, Inst. f. Boden- und Wasserwirtschaft, 1964

[4] H. Löffler:

Grundwasseranreicherung (Vorreinigung, Infiltration, Regenerierung)  
Forschungsbericht, WTZ oder VVB WAB, 1968

[5] H. Löffler:

Technologie und Wassergüteverbesserung bei der Grundwasseranreicherung  
WWT, 10, 1967