

Bemessung von Versickerungsanlagen

Übung 'Bemessung von Versickerungsanlagen nach ATV-A138'

zur Vorlesungsreihe 'Abwasserentsorgung I'

Prof. Krebs, Institut für Siedlungs- und Industriewasserwirtschaft, TU Dresden

Kommentare und Rückfragen an Thilo Koegst (thilo.koegst@tu-dresden.de)

Version vom 9. Dezember 2008

Berechnungshinweise

¹Die Anwendung des DWA-A 138 gilt unter folgenden Bedingungen:

- Das Einzugsgebiet A_E hat eine Fläche von maximal 200 ha oder die Fließzeit bis zum Becken beträgt maximal 15 Minuten.
- Die gewählte bzw. zulässige Überschreitungshäufigkeit des Speichervolumens beträgt $n \geq 0,1 a^{-1}$ bzw. $T_n \leq 10 a$.
- Die spezifische Versickerungsrate bezogen auf A_u ist $q_s \geq 2 l/(s \cdot ha)$.

Für die **Berechnung der Zuflüsse** zu Versickerungsanlagen ergibt sich der Rechenwert A_U für die angeschlossene undurchlässige Fläche aus der Einzugsgebietsfläche mal des Abflussbeiwertes.

$$A_u = \Psi_m \cdot A_E \quad (1)$$

Der Zufluss zur Versickerungsanlage Q_{zu} in m^3/s mit A_u der undurchlässigen Fläche in m^2 ergibt sich zu:

$$Q_{zu} = 10^{-7} \cdot r_{D(n)} \cdot A_u \quad (2)$$

Bei der Berechnung der Versickerungsrate wird als hydraulische Grundlage für die Versickerungsrechnung das Gesetz von DARCY herangezogen.

$$v_f = k_f \cdot I_{hy} \quad (3)$$

¹DWA (2005, Kap. 3.2.3 Bemessungsgrundsätze)

Der Durchlässigkeitsbeiwert eines nicht wassergesättigten Bodens ist geringer als der eines wassergesättigten Bodens. Vereinfacht wird der Durchlässigkeitsbeiwert für einen ungesättigten Zustand $k_{f,u}$ folgendermaßen vereinfacht:

$$k_{f,u} = k_f/2 \quad (4)$$

Daraus folgt $v_{f,u} = k_{f,u} \cdot I_{hy}$.

Arten von Versickerungsanlagen

Anlagen zur Versickerung von Niederschlagsabflüssen lassen sich nach folgenden Kriterien unterscheiden: dezentral oder zentral, Speicherfähigkeit, Flächenbedarf, hydraulische Beschickung. Einen Überblick zu möglichen Versickerungsanlagen und deren Einsatzmöglichkeiten zeigt Abbildung 1. Weitere Hinweise auch siehe Hosang and Bischof (1998, S. 49 ff).

Flächenversickerung

Die Flächenversickerung erfolgt i. d. R. durch bewachsenen Boden auf Rasenflächen oder unbefestigten Randstreifen von undurchlässigen oder teildurchlässigen Terrassen-, Hof- und Verkehrsflächen. Die Flächenversickerung kommt der natürlichen Versickerung am nächsten. Die benötigte Versickerungsfläche A_S ergibt sich aus folgender Gleichung:

$$(A_u - A_s) \cdot r_{D(n)} \cdot 10^{-7} = A_S \cdot \frac{k_f}{2} \quad (5)$$

unter der Voraussetzung, dass $k_f \geq 2 \cdot r_{D(n)} \cdot 10^{-7}$.

Muldenversickerung

Versickerungsmulden (Bild 2) sollten so bemessen werden, dass sie nur kurzzeitig unter Einstau stehen. Ein Dauerstau ist in jedem Falle zu vermeiden, weil dadurch die Gefahr der Verschlickung und Verdichtung der Oberfläche beträchtlich erhöht wird. In diesem Zusammenhang hat sich bewährt, die Einstauhöhe auf 30 cm zu begrenzen. Sohlebenen

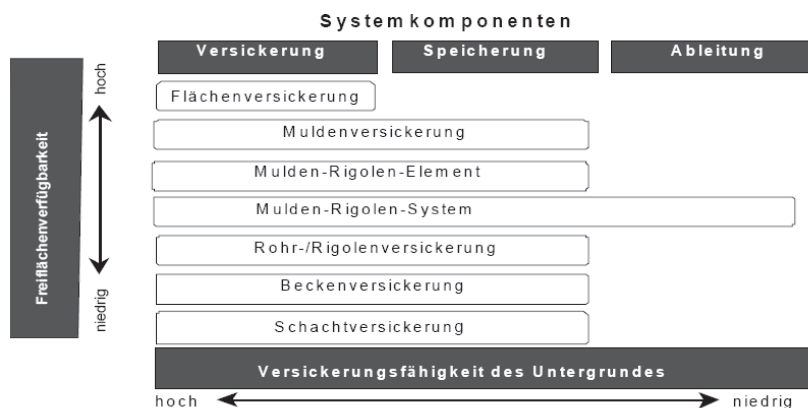


Abbildung 1: Einsatzmöglichkeiten von Versickerungsanlagen, DWA (2005)

und Sohllinien der Mulden sollten horizontal liegend hergestellt und unterhalten werden, um eine möglichst gleichmäßige Verteilung des zu versickernden Wassers zu erreichen. Große oder lange Mulden sind insbesondere bei vorhandenem Geländegefälle durch Bodenschwellen zu unterbrechen.

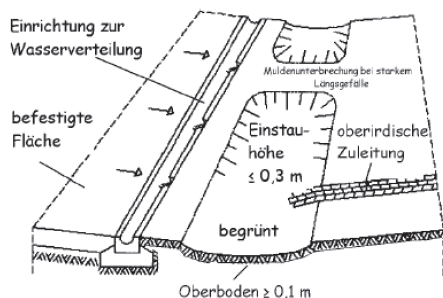


Abbildung 2: Versickerungsmulde, DWA (2005)
 Bei Versickerungsanlagen mit geringen Einstauhöhen wird das hydraulische Gefälle nur wenig von 1 verschieden sein. Als Näherung kann deshalb $I_{hy} = 1$ gesetzt werden. Somit ergibt sich die Versickerungsrate Q_S i.d.R. zu:

$$Q_S = v_{f,u} \cdot A_S = \frac{k_f}{2} \cdot A_S \quad (6)$$

Die Versickerungsfläche A_S ergibt sich in Abhängigkeit des Einstauwasserstandes. Vereinfacht kann jedoch auch die Horizontalprojektion der Wasserspiegeloberfläche zugrunde gelegt werden. Die erforderliche Versickerungsfläche A_S für eine Muldenversickerung ist vorzugeben. Je

nach Durchlässigkeit des Bodens sind folgende Größenordnungen für A_S ein erster Anhalt: Mittel-/Feinsand $A_S = 0,1 \cdot A_u$, für schluffige Sande, sandigen Schluff, Schluff $A_S = 0,2 \cdot A_u$. Zur Ermittlung des erforderlichen Speichervolumens sind die Zufluss- und Abflussvolumina über eine Kontinuitätsbeziehung miteinander verknüpft:

$$V = V_M = (Q_{zu} - Q_S) \cdot D \cdot 60 \cdot f_Z \cdot f_A \quad (7)$$

Die maßgebende Dauer des Bemessungsregens D ist nicht generell angebar, sondern muss i.d.R. schrittweise berechnet werden.

Mulden-Rigolen-Element

Die Einsatzmöglichkeit von Einzelanlagen wie z. B. einer Mulde zur Versickerung von Niederschlagsabflüssen endet spätestens bei einer Durchlässigkeit des Untergrundes von $k_f \leq 5 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$. Diese Anwendungsgrenze kann erweitert werden, wenn die geringe Versickerungsrate durch ein vergrößertes Speichervolumen ausgeglichen wird.

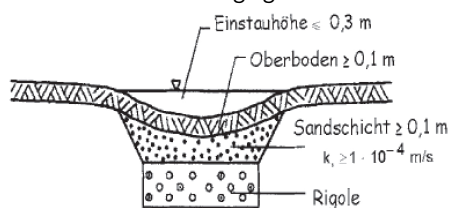


Abbildung 3: Mulden Rigolen Element, DWA (2005)

Erfolgt kein Nachweis im Rahmen einer Langzeitsimulation, so sind für die Bemessung von nicht vernetzten Mulden-Rigolen-Elementen drei Schritte erforderlich:

1. Für die Bemessung der Mulde ergibt sich das erforderliche Muldenvolumen V_M durch Anwendung der Gl. 7. Üblicherweise wird eine Regenhäufigkeit von $n = 0,2 a^{-1}$ zugrunde gelegt. Wird hiervon abgewichen und eine größere Häufigkeit gewählt, ist ein Muldenüberlauf in die Rigole vorzusehen.
2. Das erforderliche Volumen für die Rigole ergibt sich aus einer einfachen Volumenbilanz $V_R = V_{MRE} - V_M$. Das Muldenvolumen V_M ist im 1. Schritt ermittelt worden. Darüber hinaus muss V_{MRE} bekannt sein. Hierfür wird die Speichergleichung für Rigolen (Gl. 10) herangezogen, wobei die Muldenfläche als zusätzlich angeschlossene Ab-

flussfläche zu beachten ist. Wenn auch noch ein mittlerer Drosselabfluss aus der Rigole berücksichtigt werden soll, ergibt sich die Speichergleichung 11. Nach Umformen der Volumenbilanz erhält man für die Länge der Rigole I_R die Gleichung 12. Gleichung 12 wird anschließend für verschiedene Dauerstufen angewendet und somit die maximale Rigolenlänge ermittelt.

3. Im letzten Schritt sind die Abmessungen der Mulde auf die Abmessungen der Rigole abzustimmen. Dabei ergeben sich i. d. R. Freiheitsgrade für die Wahl der Muldenbreite b_M und der Einstauhöhe z_M in der Mulde (Gleichung 8). Nachzuweisen ist auch, dass die vorhandene Muldenfläche nicht größer ist als die angenommene Muldenfläche.

$$b_M = \frac{V_M}{I_R \cdot z_M} \text{ oder } z_M = \frac{V_M}{I_R \cdot b_M} \quad (8)$$

$$S_{RR} = \frac{S_R}{b_R \cdot h_R} \left[b_R \cdot h_R + \frac{\pi \cdot d^2}{4} \left(\frac{1}{S_R} - 1 \right) \right] \text{ gilt nur wenn } d = d_i \approx d_a \quad (9)$$

$$V_R = \left[A_u \cdot 10^{-7} \cdot r_{D(n)} - \left(b_R + \frac{h_R}{2} \right) \cdot I_R \cdot \frac{k_f}{2} \right] \cdot D \cdot 60 \cdot f_Z \quad (10)$$

$$V_{MR} = \left[(A_u + A_{S,M}) \cdot 10^{-7} \cdot r_{D(n)} - \left(b_R + \frac{h}{2} \right) \cdot I_{MR} \cdot \frac{k_f}{2} - Q_{Dr} \right] \cdot D \cdot 60 \cdot f_Z \quad (11)$$

$$I_R = \frac{(A_u + A_{S,M}) \cdot 10^{-7} \cdot r_{D(n)} - Q_{Dr} - \frac{V_M}{D \cdot 60 \cdot f_Z}}{\frac{b_R \cdot h_R \cdot S_{RR}}{D \cdot 60 \cdot f_Z} + \left(b_R + \frac{h}{2} \right) \cdot \frac{k_f}{2}} \quad (12)$$

Aufgabenstellung

1. Von einer Gewerbehalle sollen die Dachabflüsse **flächenhaft versickert** werden. Die Dachfläche beträgt $200 m^2$, der Abflussbeiwert beträgt 0,95. Ermitteln Sie die benötigte Versickerungsfläche A_S . Der für die Versickerung vorgesehene Fläche hat einen k_f -Wert von $2 \cdot 10^{-4} m/s$. Als Regendauer sollen $10 min$, sowie eine Häufigkeit von $0,2 a^{-1}$ angesetzt werden, bei einer gegebenen Intensität² von $r_{15(1)} = 100 l/(s \cdot ha)$.

- Ermitteln Sie die Versickerungsfläche A_S .

²Umrechnung nach Reinhold $r_{D(n)} = r_{15,1} \frac{38}{D+9} (z^{1/4} - 0,369)$

2. Die Dachabflüsse einer $4000 m^2$ großen Gewerbehalle sollen **in einer Mulde versickert** werden. Das Hallendach ist extensiv begrünt ($\Psi = 0,5$). Beim Untergrund handelt es sich um Mittel- bis Feinsande mit $k_f = 1 \cdot 10^{-4} m/s$. Die Mulde soll eine 10 cm starke Oberbodenschicht erhalten. Dadurch verringert sich die Durchlässigkeit auf $k_f = 5 \cdot 10^{-5} m/s$ (r, D, n aus Aufgabe 1; $f_Z = 1,2$; $A_S = A : u \cdot 0,1$).

- Ermitteln Sie die Versickerungsfläche A_S und das benötigte Speichervolumen V_M .

- Berechnen Sie die Einstauhöhe z_M für den Bemessungsfall.
- Weisen Sie nach, ob die erforderliche Entleerungszeit der Mulde unter 24 h liegt.

3. Die Regenabflüsse eines Gründaches ($A_u = 2000 \text{ m}^2$) sollen in einem **Mulden-Rigolen-Element** versickert werden. Das Mulden-Rigolen-Element soll dabei über einen Überlauf und einen Drosselabfluss verfügen. Die k_f -Werte der geplanten Mulde sowie der Rigole betragen $5 \cdot 10^{-5}$ und $5 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$. Die Versickerungsfläche A_S der Mulde ist mit $0,05 \cdot A_u$ angesetzt. Auf Grund des vorgesehenen Überlaufes ist die Mulde für eine Häufigkeit mit $n = 1$ zu bemessen, für die Rigole gilt $n = 0,2$. Der Drosselabfluss ist mit $q_{Dr} = 5 \text{ l/(s} \cdot \text{ha}_u)$ vorgesehen. Für die Rigole gelten weiterhin folgende Parameter $b_R = 1,5 \text{ m}$, $h_R = 1 \text{ m}$, Speicherkonstante Rigolenfüllung $s_R = 0,35$. Für die Rigole wird ein Kunststoffrohr DN200 verwendet ($r_{15(1)}$) aus Aufgabe 1 verwenden, $f_Z = 1,2$).

- Ermitteln Sie V_M , S_{RR} , I_R .
- Ermitteln Sie die Muldenbreite b_M und die Einstauhöhe z_M .
- Überprüfen Sie die Muldenfläche $A_{S,M}$ und die Entleerungszeit t_E .

Lösung

- $A_S = \frac{A_u \cdot r_{10(0,2)} \cdot 10^{-7}}{\left(\frac{k_f}{2} - r_{10(0,2)} \cdot 10^{-7}\right)} \approx 83 \text{ m}^2$
- Verwendung der Gleichung 7, durch variieren von D erhält man ein Maximum für V_M . V_M gewählt $\approx 42 \text{ m}^3$ (bei 32 Minuten).
Einstauhöhe $z_M = 21 \text{ cm}$.
Entleerungszeit $t_E = 2,3 \text{ h}$
- $V_M \approx 23 \text{ m}^3$, $S_{RR} = 0,36$, $I_R \approx 54$ (bei 80 Minuten)
 $b_M = 1,5 \text{ m}$ (gewählt), $z_M = 0,28 \text{ m}$
 $A_{S,M,vorhanden} = 84 \text{ m}^2 < 100$; Entleerungszeit $t_E = 3,1 \text{ h}$

Symbolverzeichnis

Römische Symbole

A_E	Einzugsgebietsfläche [m^2]
A_u	Rechenwert undurchlässige Fläche [m^2]
f_A	Abminderungsfaktor nach DWA-A 117 [–]
f_Z	Zuschlagfaktor nach DWA-A 117 [–]
I_{hy}	Hydraulisches Gefälle [m/m]
I_R	Rigolenlänge [m]
k_f	Durchlässigkeitsbeiwert der gesättigten Zone [m/s]
n	Häufigkeit [$1/a$]
q_s	spezifische Versickerungsrate [$\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{ha})$]
Q_{zu}	Zufluss zur Versickerungsanlage [m^3/s]
$r_{D(n)}$	Regenspende der Dauer D und der Häufigkeit n [$\text{l}/(\text{s} \cdot \text{ha})$]
s_{RR}	Speicherkoeffizient der (Rohr-)Rigole [–]
v_s	Filtergeschwindigkeit der gesättigten Zone [m/s]
z	Jährlichkeit oder Wiederkehrzeit, auch T_n [a]

Griechische Symbole

Ψ_m	mittlerer Abflussbeiwert [–]
----------	------------------------------

Literatur

- DWA (2005). Arbeitsblatt DWA-A 138 Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser. Technical report, DWA.
- W. Hosang and W. Bischof (1998). *Abwassertechnik*. Teubner.