



AUFGABEN ZUR REGENWASSERBEWIRTSCHAFTUNG

1	FLÄCHENVERSICKERUNG: FLÄCHENBEDARF A_S [M^2]	2
2	MULDEN-VERSICKERUNG	4
2.1	Flächenbedarf	4
2.2	Muldentiefe h [m]	4
2.3	Bemessung-Muldenversickerung	5
2.3.1	1. Muldenfläche A_S und – Tiefe h_M	6
3	MULDEN-RIGOLEN-VERSICKERUNG SKRIPT S. 81	8
3.1	Bemessung	9
3.1.1	Bemessung unter Verwendung Reinholdscher Regendaten	9
3.1.2	A1 Mulden-Rigolenlänge L_R	10



1 FLÄCHENVERSICKERUNG: FLÄCHENBEDARF AS [M²]

Problemstellung

Auf dem Betriebsgelände eines neu zu planenden Superpermarktes soll möglichst viel Regenwasser in der Fläche versickert werden.

Datenerhebung

Die Summe der Flächen wurde zu $A_E = A_{\text{red}} = 2000 \text{ m}^2$ ermittelt.

Der anstehende Boden hat eine Durchlässigkeit von $k_f = 1 \cdot 10^{-4} \text{ [m/s]}$

Aus einer örtlichen Regenspendenlinie wurde der Bemessungsregen von $r_{15(0,2)} = 159 \text{ [l/sxha]}$ zugrunde gelegt.

Aufgabe

Unter der Voraussetzung das die Fläche nicht befestigt wird (auch keine Rasengitterstein etc.) soll die erforderliche Versickerungsfläche A_s für 2 Varianten ermittelt werden:

A-Variante: Die Fläche wird nicht als Verkehrsfläche genutzt

B-Variante: Die Fläche wird als Verkehrsfläche genutzt



Berechnung - ausführlich:

a) Zielgröße der Bemessung

Zielgröße der Bemessung ist der Flächenbedarf A_s [m²]

$$A_s = A_{\text{red}} [\text{m}^2] / [(10^7 * k_f [\text{m/s}]) / (2 * r_{T(n)} [\text{l/s*ha}]) - 1]$$

A-Variante: Versickerungsfläche **nicht** als Verkehrsfläche genutzt

$$A_s = 2000 [\text{m}^2] / [(10^7 * 10^{-4} [\text{m/s}]) / (2 * 159) - 1] = 933 \text{ m}^2$$

B-Variante: Versickerungsfläche als Parkplatz genutzt. Es ist mit einer mäßigen Verdichtung des Bodens zu rechnen, der mit einer Abminderung des k_f -Wertes um 25 % Rechnung getragen wird.

$$k_f = 10^{-4} * 0,75 = 7,5 * 10^{-5}$$

$$A_s = 2000 [\text{m}^2] / [(10^7 * 7,5 * 10^{-5} [\text{m/s}]) / (2 * 159) - 1] = 1472 \text{ m}^2$$

b) *Ergebnis A-Variante:*

Das auf die zu entwässernde Betriebsfläche von $A_{\text{red}} = 2000$ [m²] fallende Niederschlagswasser kann auf einer Fläche von $A_s = 933$ m² versickert werden – also auf etwa der Hälfte von A_{red} .

c) *Ergebnis B-Variante:*

Wird die Betriebsfläche als Pakplatz genutzt, so kann das Niederschlagswasser wegen der Bodenverdichtung durch die Fahrzeuge, weniger gut versickern. Die Fläche auf der versickert wird muss daher von $A_s = 933$ m² auf rd. $A_s = 1500$ m² vergrößert werden.



2 MULDEN-VERSICKERUNG

- Versickerungsmulden = flache, meist mit Gras bewachsene Bodenvertiefungen
- Regenwasser kann kurzzeitig zwischengespeichert werden

Hinweis PG:

- Aufrechterhaltung der Infiltrationsleistung durch bepflanzen mit amphibischen Repositions-pflanzen (z.B. Binsen und Seggenarten) - wird in arbeitsblättern oft nicht erwähnt !!

2.1 Flächenbedarf

- Flächenbedarf je nach Muldentiefe h [m] und Bodendurchlässigkeit k_f [m/s] rd. **5-20%** der angeschlossenen Entwässerungs- bzw. Abflußwirksamen Fläche A_{red} .
- Die Flächenbelastung im Bereich $A_{red} / A_s = 5:1$ bis $10:1$.
- Geforderte Mindestdurchlässigkeit (Boden) nach Arbeitsblatt A138 k_f [m/s] = 5×10^{-6} m/s.

Nach A138 bemessene Mulden zeigen, daß auch bei Durchlässigkeitsbeiwerten k_f [m/s] = 10^{-6} gute Betriebsergebnisse erzielt werden. Damit können folgende Richtwerte festgehalten werden:

$$A_s = 10 \% \text{ bis } 20\% \text{ von } A_{red}$$

$$A_{red} : A_s = 5:1 \text{ bis } 10:1$$

2.2 Muldentiefe h [m]

- Je nach Bodendurchlässigkeit k_f [m/s] ist eine Muldentiefe von **10 - 40 cm** anzustreben.
- Entleerungsdauer sollte 1-2 Tagen nicht überschreiten.

Folgen einer zu langen Einstaudauer:

- Gefahr für Kleinkinder
- Rasenmonokultue als Muldenbegrünung wird geschädigt (amphibische Pflanzen wählen !)
- Verschlickung und Selbstabdichtung der Oberfläche

Günstige Mulden-Geometrie und Konstruktion:

- Möglichst große, horizontale Sohlflächen und Böschungsneigungen von **1:2** bis **1:5**.
- Bei geeignetem Gelände kaskadenförmige Anordnung sinnvoll.
- Zuleitungen möglichst oberirdisch, um geringe Muldentiefen und gute Wartung zu erzielen.
- Abflüsse ebenerdiger Flächen sollten linienhaft längs der Flächenkante, ggf. mit Hilfe einer Verteilerrinne eingeleitet werden. Damit können folgende Richtwerte festgehalten werden:

$$\text{Muldentiefe } h_M = 10 - 40 \text{ cm}$$

$$\text{Böschungsneigung } 1:n = 1:2 \text{ bis } 1:5$$



2.3 Bemessung-Muldenversickerung

a) Annahme der Muldenfläche: $A_s \text{ [m}^2\text{]} = 0,1 \text{ bis } 0,2 \times A_{\text{red}}$ 10 – 20 % von A_{red}

b) Bemessungsregendauer T [min] für Muldenversickerung Regen

$$T \text{ [min]} = \sqrt{\frac{3,85 \times 10^{-5} \times (A_{\text{red}} + A_s) \times r_{15(1)}}{A_s \times \frac{kf}{2}}} - 9 \quad (9)$$

c) Berechnung des erf. Speichervolumens $V_s \text{ [m}^3\text{]}$ n. Gl.

$$V_s \text{ [m}^3\text{]} = 2,57 \times 10^{-4} \times (A_{\text{red}} + A_s) \times r_{15(1)} \times \frac{T}{T+9} - A_s \times T \times 60 \times \frac{kf}{2} \quad \text{Regen} \quad (10)$$

d) Berechnung der erf. Muldentiefe $t_M \text{ [m]}$

$$h_M \text{ [m]} = \frac{V_s \text{ [m}^3\text{]}}{A_s \text{ [m}^2\text{]}} \quad \text{Regen} \quad (11)$$

e) Kontrolle: $h_M \text{ [m]} = 10 \text{ bis max. } 40 \text{ cm}$

If $h_M \text{ [m]} < 10 \text{ cm}$ then $\Rightarrow A_s$ verkleinern !

If $h_M \text{ [m]} > 40 \text{ cm}$ then $\Rightarrow A_s$ vergrößern !



2.3.1 1. Muldenfläche A_S und – Tiefe h_M

Problemstellung

Aus einem Teil eines Siedlungsgebietes soll der Regenabfluss der Wohnhausdächer in einer gemeinsamen Mulde versickert werden.

Datenerhebung

Die Dächer sind steil und bestehen aus Ziegel.

Die Summe der vertikal projizierten Dachflächen wurde zu

$A_E = 2500 \text{ m}^2$ ermittelt.

Der anstehende Boden hat eine Durchlässigkeit von

$k_f = 1 \cdot 10^{-4} \text{ [m/s]}$

Es soll ein Rheinholdscher Basisregen von

$r_{15(1)} = 100 \text{ [l/sxha]}$

zugrunde gelegt werden.

Aufgabe

Ermitteln sie die erforderliche Fläche und Tiefe der Mulde



Berechnung-Muldenversickerung

a) Ablusswirksamer Flächenteil A_{red} des Einzugsgebietes A_E

$$A_{red} [m^2] = A_E [m^2] * \psi_i [-]$$

ψ_i (Psi-i) aus Skript- (S. 36) oder Literatur-Tabelle für Abflussbeiwerte (Wendehorst o.ä.):

➤ Ziegeldach, steil: $\psi_i = 0,8$ (im Skript 0,95 ist zu hoch !)

$$A_{red} [m^2] = 2500 [m^2] * 0,8 [-] = \underline{2000 \text{ m}^2}$$

b) Wahl der Muldenfläche A_s [m²]: Sinnvoll: 10% - 20% von A_{red}

$$A_s [m^2] = 10 \% \text{ von } A_{red} = \underline{200 \text{ m}^2}$$

c) Bemessungsregendauer T [min] für MuldenVersickerung

$$T [\text{min}] = \sqrt{\frac{3,85 \times 10^{-5} \times (A_{red} + A_s) \times r_{15(1)}}{A_s \times \frac{kf}{2}}} - 9 = \underline{20,10 \text{ min}}$$

d) Berechnung des erf. Speichervolumens V_s [m³] n. Gl.

$$V_s [m^3] = 2,57 \times 10^{-4} \times (A_{red} + A_s) \times r_{15(1)} \times \frac{T}{T+9} - A_s \times T \times 60 \times \frac{kf}{2}$$

$$V_s [m^3] = \underline{26,99 \text{ m}^3} \quad \text{gewählt: } 6\text{m} \times 5\text{m} = \underline{30 \text{ m}^3}$$

e) Berechnung der erf. Muldentiefe h_M [m]

$$h_M [m] = \frac{V_s [m^3]}{A_s [m^2]} = \frac{30 [m^3]}{200 [m^2]} = \underline{0,15 \text{ m}}$$

Kontrolle: $h_M [m] = 10$ bis max. 40 cm $h_M [m] < 10 \text{ cm} \Rightarrow A_s$ verkleinern
 $h_M [m] > 40 \text{ cm} \Rightarrow A_s$ vergrößern !



3 MULDEN-RIGOLEN-VERSICKERUNG SKRIPT S. 81

Mulden-Rigolen-Elemente kombinieren die Reinigungsleistung der Mulde mit der Speicherfähigkeit der Rigole !

- + Bei geringer Bodendurchlässigkeit und geringer Flächenverfügbarkeit Kombination von Sickermulden mit unterirdischen Speicher-Rigolen sinnvoll.
- **Mulden-Rigolen-Element** = begrünte Sickermulde (erster Speicherraum) mit darunter liegender Rigole als zweitem Speicherraum.
- Regenwasser möglichst oberirdisch in die Versickerungsmulde leiten, wo es zwischengespeichert wird und durch den ca. 30 cm mächtigen Oberboden in die Rigole perkoliert.

Um lange **Einstauzeiten** und **Flächenbedarf** für die Mulde gering zu halten, soll der Boden zwischen Mulde und Rigole eine Durchlässigkeit von $kf > 1 \times 10^{-5} \text{ [m/s]}$ besitzen.

Speichervolumen: Das nutzbare Porenvolumen (ca. 25 - 35 %) der meist mit Kies gefüllten Rigole stellt ein weiteres unterirdisches Speichervolumen dar.

Aus der Rigole sickert das Wasser allmählich gemäß der geringen Durchlässigkeit des anstehenden Bodens in den Untergrund (Grundwasseranreicherung).

Durch ein Sickerrohr in der Rigole kann **nicht versickerndes Wasser einem Drosselschacht zugeführt** und von dort sehr stark verzögert abgeleitet werden.

Staut die Mulde voll ein, so findet ein Überlauf zunächst in die noch teilgefüllte Rigole oder bei deren Vollfüllung in das Ableitungssystem statt. Drossel- und Überlaufwasser können entweder in ein kleines Regenwassernetz oder direkt in nahegelegende Gewässer geleitet werden.



3.1 Bemessung

- k_f -Wert größer als 10^{-6} [m/s]
- Rigolenlänge und Querschnitt sind voneinander abhängig.
- Füllung mit Grobkies, z. B. Körnung 16/32 oder zugelassene Kunststoff-Fertigrigolelemente
- Alle anderen maßgebenden Parameter siehe Kap. Muldenversickerung
- Zielgröße der Bemessung ist die Länge der Rigole

3.1.1 Bemessung unter Verwendung Reinholdscher Regendaten

Rigolenlänge[m]

$$L \text{ [m]} = \frac{2,57 \times 10^{-4} \times A_{\text{red}} \times r_{15(1)} \times \frac{T}{T+9}}{b \times h \times s + (b + \frac{h}{2}) \times T \times 60 \times \frac{k_f}{2}}$$

<u>mit:</u>	A_{red} [m ²]	= angeschl. befestigte Fläche = abflußwirksame Fläche = A_E [m ²] * ψ_i [-] (mit A_E = Einzugsgebiet [m ²])
	$r_{15(1)}$ [l/sxha]	= Basisregenspende nach Reinhold
	k_f [m/s]	= Durchlässigkeitsbeiwert
	b [m]	= Rigolen-Sohlbreite
	h [m]	= nutzbare Rigolen-Höhe
	S_k [-]	= Speicherkoeffizient = Porenanteil der Kiesfüllung
	T [min]	= Dauer des Bemessungsregens ~ Einstaudauer Mulde

$$T \text{ [min]} = \sqrt{\frac{9 \times b \times h \times s_k}{(b + \frac{h}{2}) \times 60 \times \frac{k_f}{2}}}$$



3.1.2 A1 Mulden-Rigolenlänge L_R

Problemstellung

Aus einem Teil eines Siedlungsgebietes soll der Regenabfluss der Dächer gemeinsam versickert werden. Der AG wünscht, dass die Versickerung auf möglichst kleinem Raum realisiert wird. Dazu könnte ein etwa 1 Meter breiter Grenzstreifen zwischen den Grundstücken genutzt werden.

Datenerhebung

Es handelt sich um Ziegelgedeckte Steildächer.

Die Summe der Dachflächen wurde zu $A_E = 2500 \text{ m}^2$ ermittelt.

Der anstehende Boden hat eine Durchlässigkeit von $k_f = 1 \cdot 10^{-4} \text{ [m/s]}$

Es soll ein Rheinholdscher Basisregen von $r_{15(1)} = 100 \text{ [l/sxha]}$ zugrunde gelegt werden.

Aufgabe

Es ist eine sinnvolle Versickerungsart vorzuschlagen und zu bemessen. Soweit möglich sind dem AG überschlägliche Kosten für die Bauausführung zu nennen.



Berechnung - Kurzfassung

Gegeben:

$A_{\text{red}} [\text{m}^2]$	=	2000
$r_{15(1)} [1/\text{s} \times \text{ha}]$	=	100
$k_f [\text{m}/\text{s}]$	=	10^{-4}
$B [\text{m}]$	=	1
$H [\text{m}]$	=	1,5
$s_k [-]$	=	0,35

a) Dauer des Bemessungsregens

$$T [\text{min}] = \sqrt{\frac{9 \times 1,0 \times 1,5 \times 0,35}{(1,0 + \frac{1,5}{2}) \times 60 \times \frac{10^{-4}}{2}}} = 30 [\text{min}]$$

b) Länge der Versickerungsanlage

$$L [\text{m}] = \frac{2,57 \times 10^{-4} \times A_{\text{red}} \times r_{15(1)} \times \frac{T}{T+9}}{b \times h \times s + (b + \frac{h}{2}) \times T \times 60 \times \frac{k_f}{2}} = 57,90 \text{ m}$$

Gewählt: **L = 58,00 m**



Berechnung-Rigole - ausführlich:

a) Wahl der Versickerungsart

Flächen- oder Muldenversickerung als einfachste Varianten der Versickerung werden wohl an der begrenzten Flächenverfügbarkeit scheitern.

Daher wird ein **Mulden-Rigolenelement** vorgeschlagen: Bei geringerem Flächenbedarf kann die Reinigungsleistung der Mulde mit der Speicherfähigkeit der Rigole kombinieren.

b) Ablusswirksamer Flächenteil A_{red} des Einzugsgebietes A_E

$$A_{red} [m^2] = A_E [m^2] * \psi_i [-]$$

ψ_i (Psi-i) aus Skript- (S. 36) oder Literatur-Tabelle für Abflussbeiwerte (Wendehorst o.ä.):

➤ Ziegeldach, steil: $\psi_i = 0,8$ (im Skript 0,95 ist zu hoch !)

$$A_{red} [m^2] = 2500 [m^2] * 0,8 [-] = \underline{2000 m^2}$$

c) Wahl der Rigolenabmessung und –füllmaterial für eine erste Berechnung

- **Füllsubstrat:** gew.: . GrobKies 18/36 mit nutzbare Porenvolumen **sk ca. 35 %**.
- **Länge:** wird mit einer gewählten Breite und Tiefe berechnet
- **Breite:** Richtwert für wirtschaftliche Wahl: $b = 0,8 - 1,6 m$
- Hier Zwangsbreite (Grenzstreifen) vorgegeben: $b_{max} = 1,0 m$
- **Tiefe:** Richtwert für wirtschaftliche Wahl: $h = 0,8 - 1,8 m$ **Gew.: $h = 1,5 m$**

d) Bemessungsregendauer T [min] für RigolenVersickerung

$$T [min] = \sqrt{\frac{9 \times 1,0 \times 1,5 \times 0,35}{(1,0 + \frac{1,5}{2}) \times 60 \times \frac{10^{-4}}{2}}} = 30 [min]$$

e) Länge der RigolenVersickerung

$$L [m] = \frac{2,57 \times 10^{-4} \times A_{red} \times r_{15(1)} \times \frac{T}{T+9}}{b \times h \times s + (b + \frac{h}{2}) \times T \times 60 \times \frac{k_f}{2}} = 57,90 m \quad \underline{\text{Gewählt:}} \quad L = 58,00 m$$

f) Zusammenstellung der maßgebenden Rigolendaten

- **Rigole-Länge:** $L = 58,00 m$
- **Rigolen-Breite:** $b = 1,0 m$
- **Rigolen-Tiefe:** $h = 1,5 m$
- **Füllmaterial:** Kies 18/36; $sk = 35 \%$.