



Bewässerungstechnik in der Landwirtschaft

Oberflächenbewässerung

Wolfram Spreer

30.04.2026

Wasserverlust unterschiedlicher Bewässerungsmethoden

Oberflächenbewässerung



Beregnung

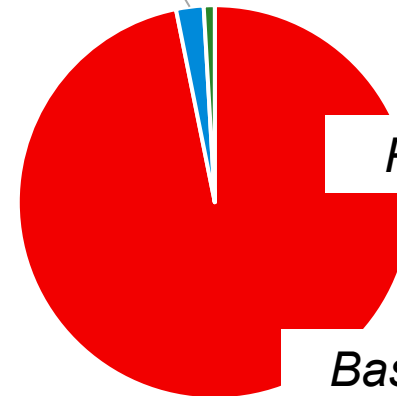


Mikrobewässerung



India

2% 1%



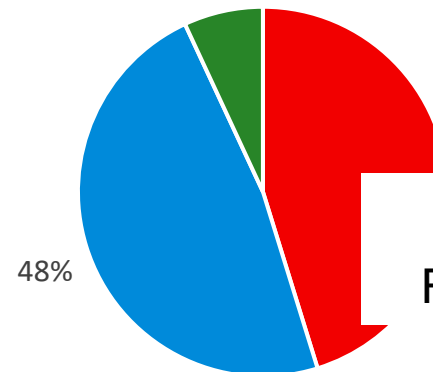
Paddy Nassreis

Basin irrigation, border irrigation

Beckenbewässerung

USA

7%



45%

Furrow irrigation

Furchenbewässerung

■ Surface ■ Sprinkler ■ Localized

Zuleitung: Kanäle



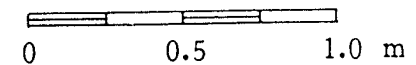
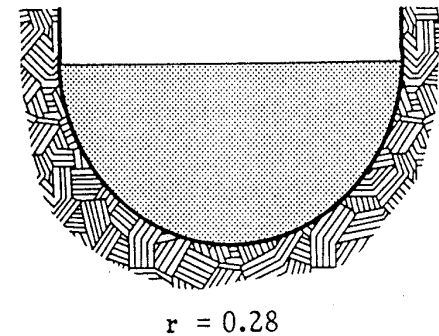
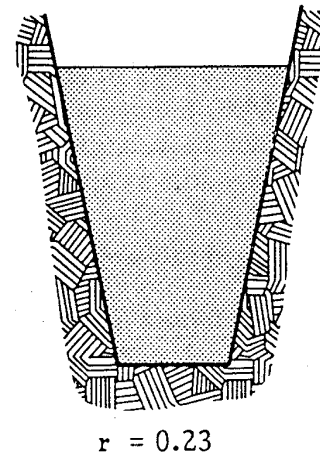
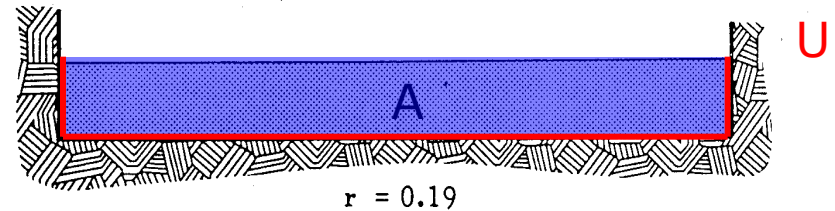
Zuleitung: Kanäle

$$r = \frac{A}{U}$$

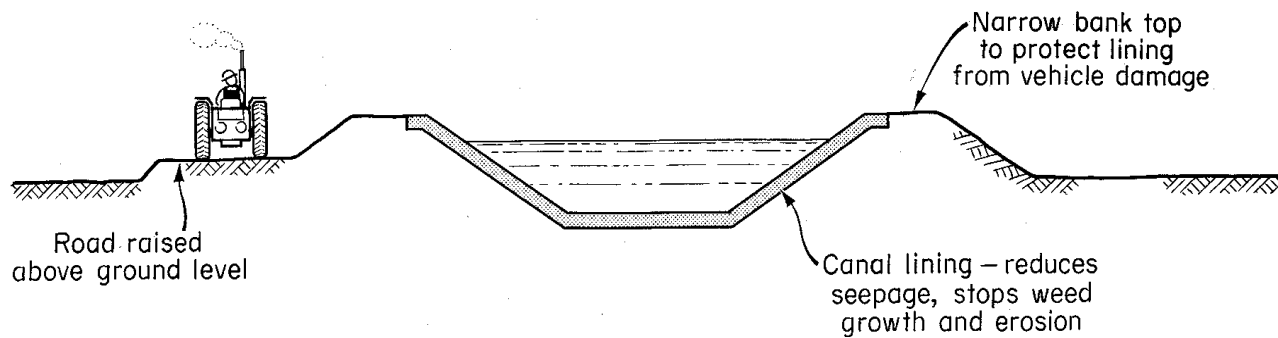
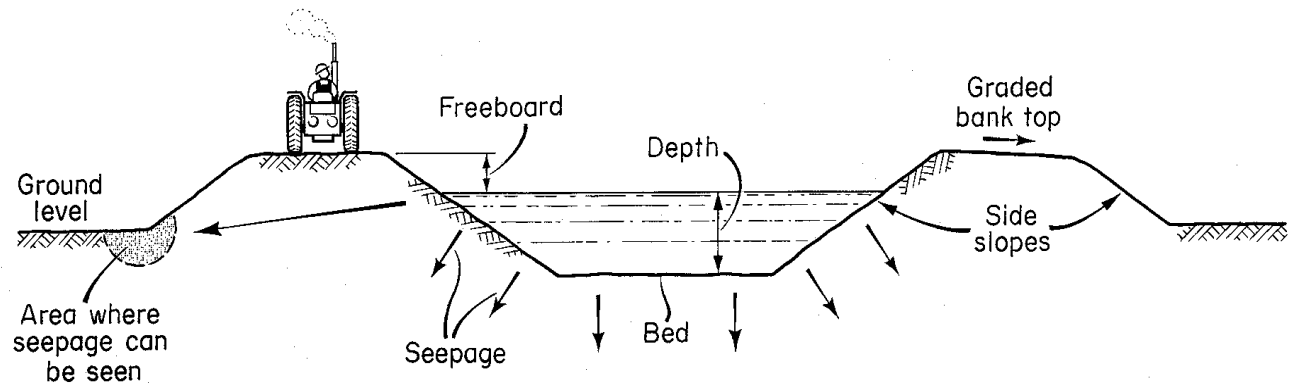
r = hydraulischer Radius

A = Fließquerschnitt

U = Benetzter Umfang



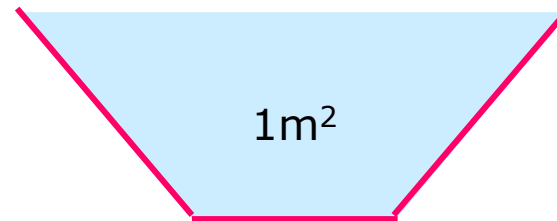
Zuleitung: Kanäle



Zuleitung: Kanäle

Soil class	Leaching, s , (m/d)	
	min	max
Clay	0.070	0.100
Loamy clay	0.150	0.230
Sandy clay	0.450	0.550
Sand	0.550	0.750
Cobbles	0.750	0.900

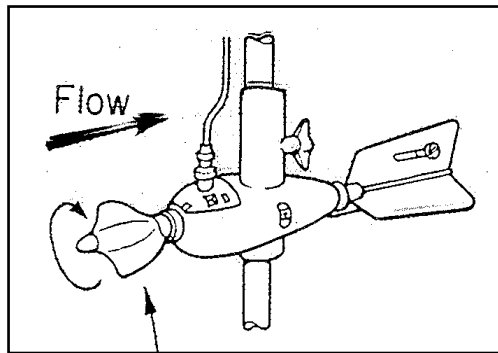
Länge l : 1.00 km
Benetzter Umfang U : 2.70 m
Versickerung s : 0.20 m/d



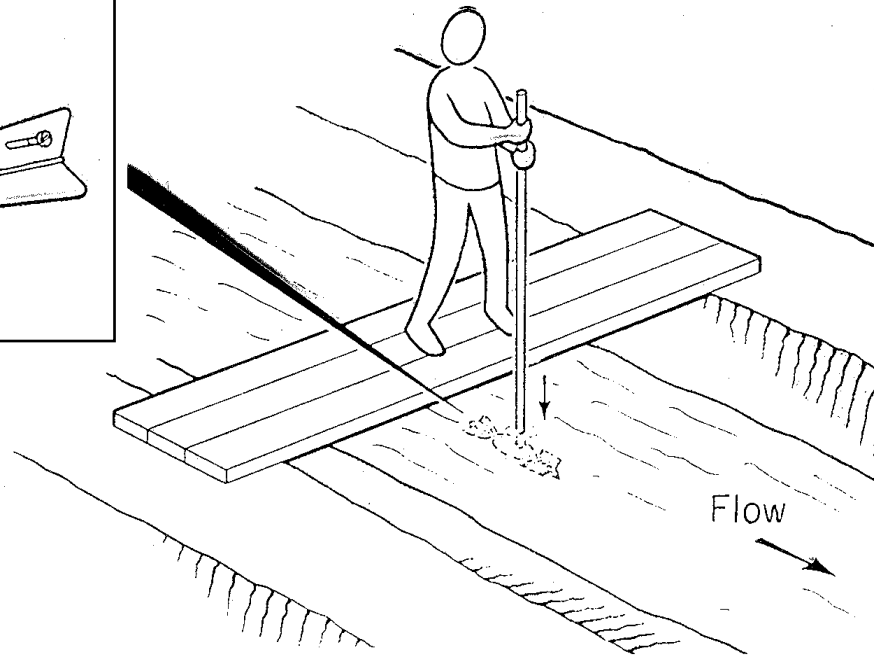
$$L_s = U \cdot l \cdot s$$

→ $L_s = 2,7 \cdot 1000 \cdot 0,2 = 540 m^3 / d$

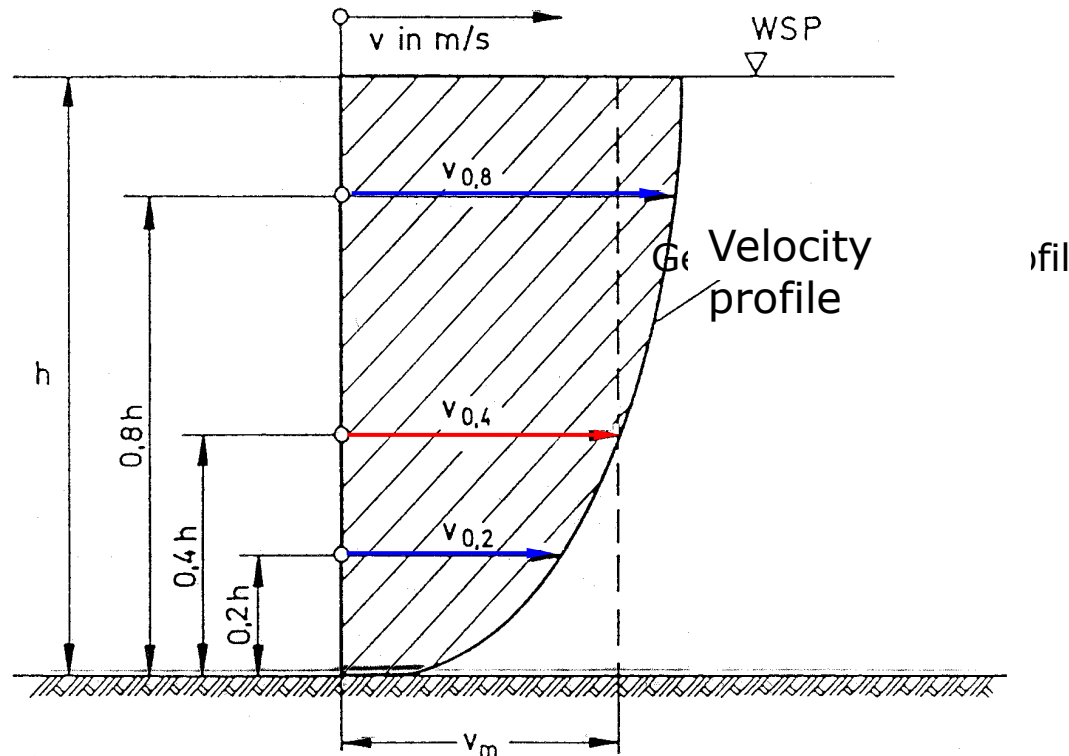
Zuleitung: Kanäle



Propellor rotates
to measure
water velocity



Zuleitung: Kanäle

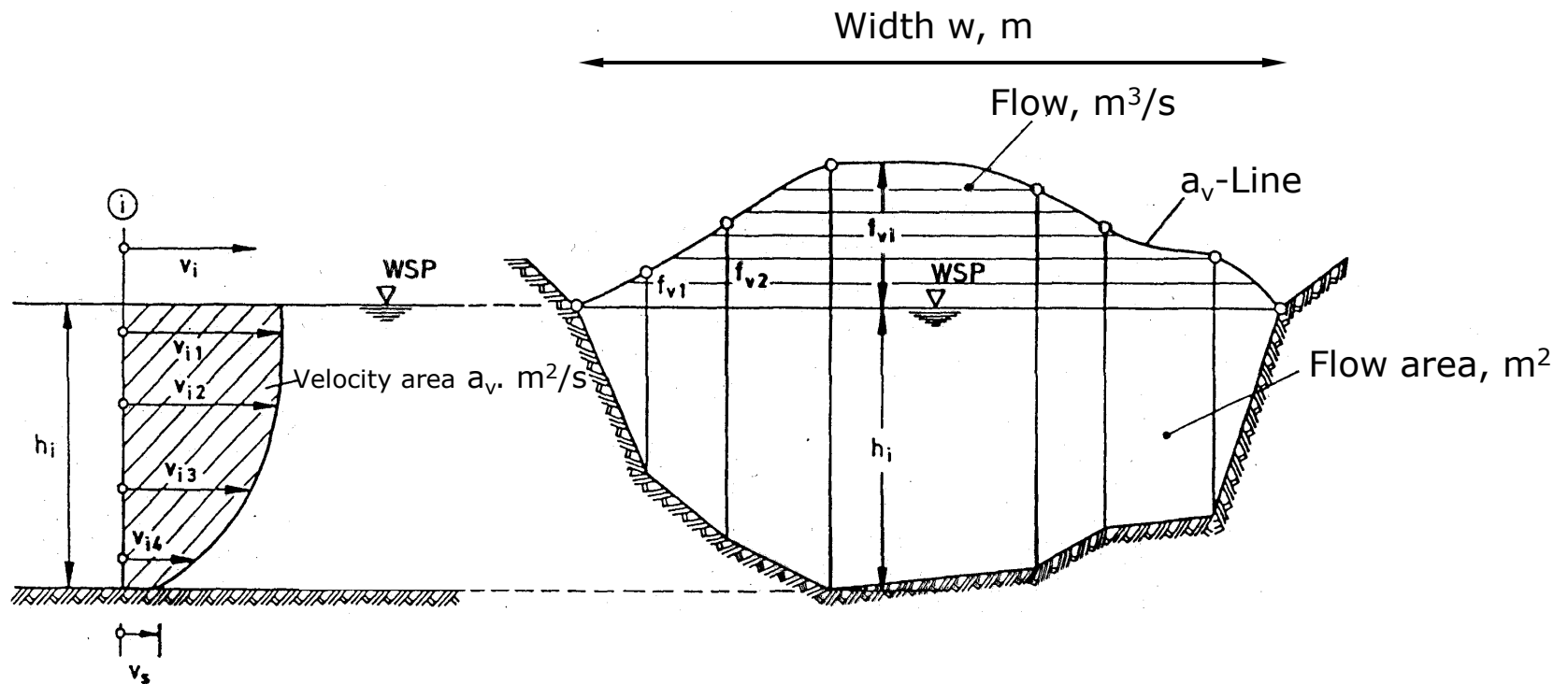


$$v_m = \frac{v_{0.2} + v_{0.8}}{2}$$

or

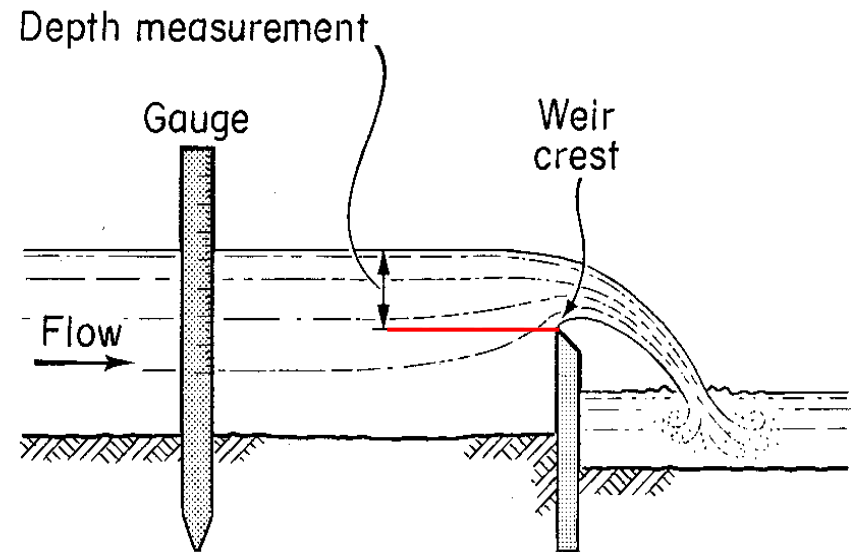
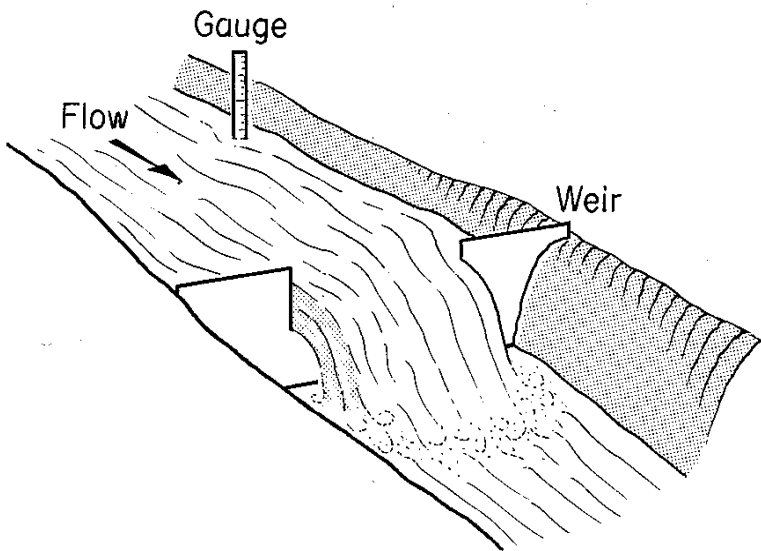
$$v_m = v_{0.4}$$

Zuleitung: Kanäle



$$a_v = \int v dh \quad Q = \int a_v dw$$

Zuleitung: Kanäle



Zuleitung: Kanäle



Parshall-Gerinne

Zuleitung: Kanäle



Zuleitung: Kanäle

Manning's Formel für die Fließgeschwindigkeit (v):

$$v = \frac{k}{n} \left(\frac{A}{U} \right)^{\frac{2}{3}} * I^{\frac{1}{2}} \longrightarrow r = \frac{A}{U} \longrightarrow v = \frac{r^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}}}{n}$$

v = Fließgeschwindigkeit (m/h),
 k = Umrechnungsfaktor (SI = 1),
 A = Fließquerschnitt (m²),
 r = hydraulischer Radius (m)

n = Rauheitsbeiwert (m^{1/3}/s),
 I = Gefälle (m/m),
 U = benetzter Umfang (m),

<https://www.lmnoeng.com/manning.php>

Zuleitung: Kanäle

Manning's Formel für die Fließgeschwindigkeit (v):

$$\frac{r^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}}}{n} = v \quad \longrightarrow \quad v = \frac{Q}{A} \quad \longrightarrow \quad \frac{r^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}}}{n} = \frac{Q}{A}$$

v = Fließgeschwindigkeit (m/h),
 k = Umrechnungsfaktor (SI = 1),
 A = Fließquerschnitt (m²),
 r = hydraulischer Radius (m)

n = Rauheitsbeiwert (m^{1/3}/s),
 I = Gefälle (m/m),
 U = benetzter Umfang (m),

Drainage

Zur Berechnung des Gefälles (I)

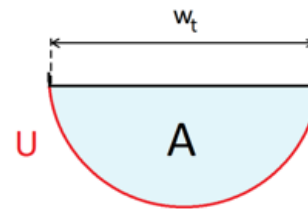
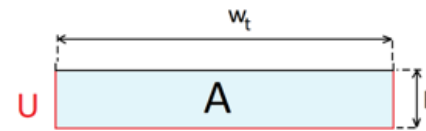
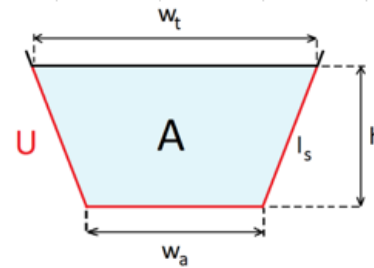
$$\frac{r^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}}}{n} = \frac{Q}{A} \quad \longrightarrow \quad I = \left(\frac{n \cdot Q}{r^{2/3} \cdot A} \right)^2$$

v = Fließgeschwindigkeit (m/h),
 k = Umrechnungsfaktor (SI = 1),
 A = Fließquerschnitt (m²),
 r = hydraulischer Radius (m)

n = Rauheitsbeiwert (m^{1/3}/s),
 I = Gefälle (m/m),
 U = benetzter Umfang (m),

Drainage

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Channel dimensions (trapeze)									
2	Top width	w_t	2.00 m							
3	Bottom width	w_a	1.00 m							
4	Depth	h	1.00 m							
5	Side wall length	l_s	1.12 m							
6	hydraulic radius	r	0.46 m							
7	flow area	A	1.50 m ²							
8	wetted perimeter	U	3.24 m							
9										
10	Channel dimensions (rectangular)									
11	Top width	w_t	1.50 m							
12	Depth	h	1.00 m							
13	hydraulic radius	r	0.43 m							
14	flow area	A	1.50 m ²							
15	wetted perimeter	U	3.50 m							
16										
17										
18	Channel dimensions (round)									
19	Top width		2.00 m							
20	depth (1/2 width)		1.00 m							
21	hydraulic radius	r	0.50 m							
22	flow area	A	1.57 m ²							
23	wetted perimeter	U	3.14 m							
24										
25										
26		r	A	U	w					
27	Trapeze canal (defined dimensions)	0.46	1.50	3.24	2.00					
28	Rectangular canal (defined dimensions)	0.43	1.50	3.50	1.50					
29	Round canal (defined dimensions)	0.50	1.57	3.14	2.00					
30										



Drainage



Verunreinigungen verringern die Fließgeschwindigkeit (= Kapazität)

Häufiges Problem bei der oberflächlichen Drainage

Drainage



Drainage



AutoSave Off 2022 Channel calculation - drainage exercise Search (Alt+Q)

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Developer Help FMath

Clipboard Font Alignment Number Styles Cells

E23

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Calculation parameters					Select the channel properties		data source				
2	hydraulic radius	r	0.59	m		Kind of Channel	Lined_Channels		select			
3	flow area	A	2.50	m ²		General properties	Concrete		select			
4	wetted perimeter											
5	slope											
6	flow velocity											
7	Roughness coefficient											
8	Leaching											
9	Flow											
10	Canal width											
11	Water balance (inflow = +; outflow = -)											
12	Total water on the field											
13	Total water inflow (rain)											
14	Total infiltration (irrigation)											
15	Total ET											
16	Total drainage requirement											
17	Drainage capacity											
18												
19	Total volume drained											
20	Water not drained											
21	Water table after drainage											
22	Water table rise (irrigation)											
23												
24	Drainage canal discharge											
25	Seepage											
26	Evaporation in the canal											
27												
28	No drainage											
29	Water volume under no drainage											
30	Water table											
31												
32												
33												
34												
35												
36												
37												
38												
39	https://www.lmnoeng.com/manning.php											
40												

drainage_system shape_channel material_channel

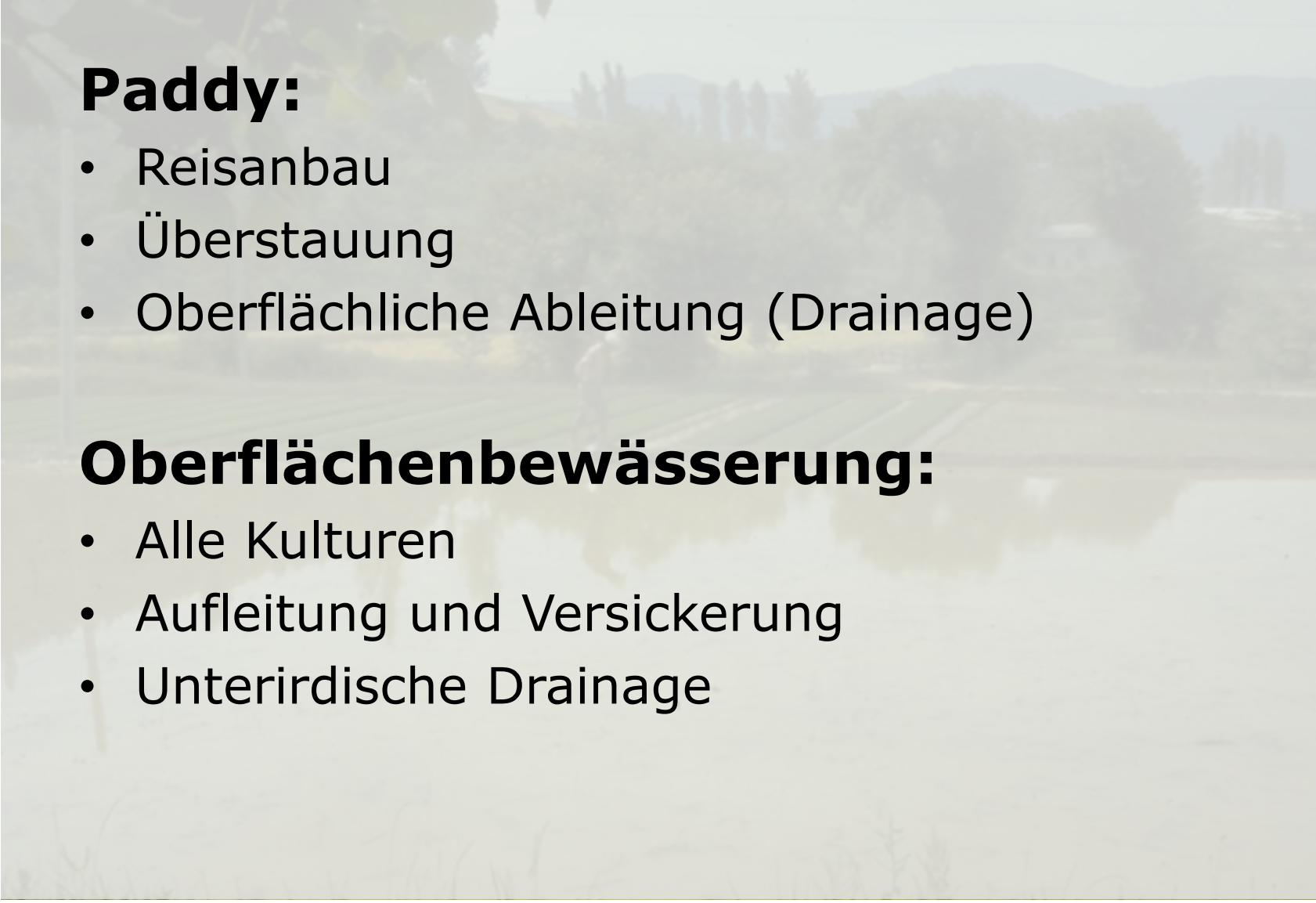
Ready Accessibility: Investigate

Szenario zur Eingabe:

Eine Paddyfläche von einer Gesamtgröße von 50 ha wird durch ein Netzwerk von Kanälen entwässert, das in einen gemeinsamen Drainagekanal mündet, welcher, nachdem er das nahegelegene Dorf durchquert, in einen Fluss mündet, welcher in 5 km Entfernung, einen Meter unterhalb der Felder fließt.

Die Fläche sei mit 120 mm überstaut. Die Dämme um die Felder seien 150 mm hoch.

- a. Wie groß muss der Hauptdrainagekanal sein, damit die gesamte Fläche innerhalb von 24 Stunden entwässert werden kann?
- b. Wie ändert sich der Abfluss, wenn der Drainagekanal über längere Zeit nicht gereinigt wird?
- c. Was bedeutet das, wenn in einem Monsunregen 100 mm Regen fallen?



Paddy:

- Reisanbau
- Überstauung
- Oberflächliche Ableitung (Drainage)

Oberflächenbewässerung:

- Alle Kulturen
- Aufleitung und Versickerung
- Unterirdische Drainage

Grundbodenbearbeitung

- Scheibenegge (disc plough)
- Nicht wendend
- Lockerung der Verkrustung
- Auflaufen von Beikräutern



Indiamart.com



Fluten der Felder

- Auflaufen von Unkraut
- Durchfeuchtung des Felds



Paddy-Reisanbau

„puddling“

- Gitterräder am „Iron Buffalo“
- Starrer Rechen im Anbau
- Durchmischung des Pflanzhorizonts
- Mechanische Unkrautbekämpfung







Paddy-Reisanbau



„Puddling“ mit Rotorfräse, Zapfwellenantrieb

Paddy-Reisanbau



Zweistufiges puddling: 1. Vorbereitung, einebnen

Paddy-Reisanbau



Zweistufiges puddling: 2. Durchmischung



Zweistufiges puddling: 2. Durchmischung

Paddy-Reisanbau



„Nach dem „Puddling“

Anzucht von Pflanzgut

- Pflanzgut wird mit hoher Dichte auf kleinen Parzellen angesät
- 3 -4 Woche nach der Keimung ist das Pflanzgut bereit zum Verpflanzen



Paddy-Reisanbau







2010 / 2 / 18





2010/ 2/18



2010 / 2 / 18

Paddy-Reisanbau



Verpflanzen von Hand

- Büschel mit Saatgut werden auf dem Feld verteilt
- Einzelpflanzen werden in die Puddlingsohle gedrückt
- Hoher Arbeitsaufwand
- Spezialisierte Arbeiter

Parachute transplanting - Verpflanzen im „Fallschirmverfahren“



Paddy-Reisanbau

Mechanisiertes Verpflanzen

- Verschiedene Grade der Mechanisierung / Automatisierung
- Kleine Maschinen für Paddy-Felder







Traditioneller Reisanbau

Paddy Reisanbau auf Terrassen

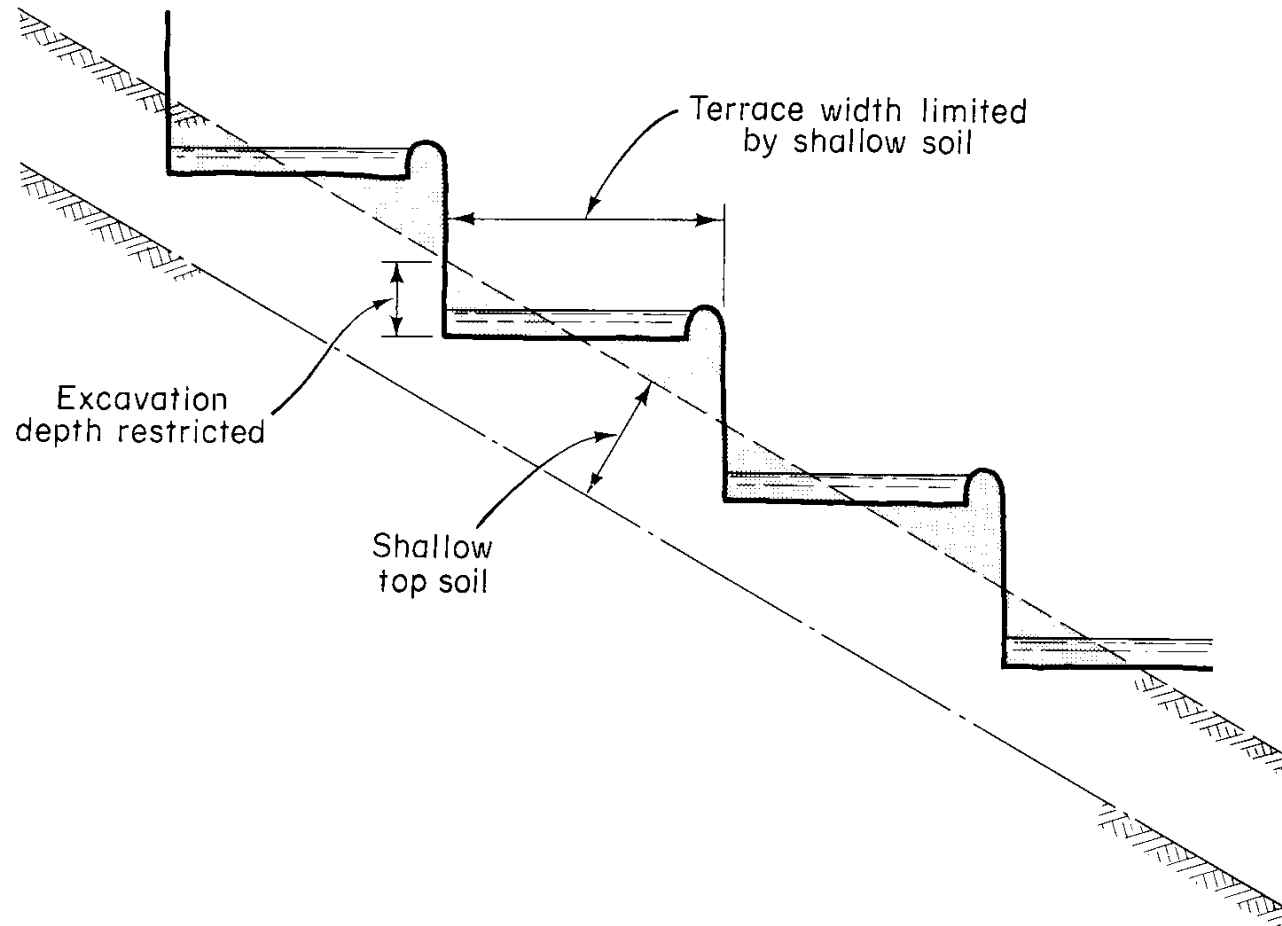








Terrassen



Paddy Reisanbau auf Terrassen

- Geringer Grad der Mechanisierung
- Hoher Arbeitsaufwand
- Hoher Subsistenzanteil
- Prägt das Landschaftsbild der Kulturlandschaft

Bilder: J. Röttgen



Hochlandreis

- Traditionelle Sorten: trockenresistent, niedriges Ertragspotenzial, Lager bei hoher Düngung
- Berglagen, Erosion
- Niedriger Grad der Mechanisierung, Ressourcenknappheit
- Hauptsächlich für die Subsistenz
- Oft durch ethnische Minderheiten und marginalisierte Gruppen produziert

Nicht bewässert

“Aerobic Rice” = Trockenreis;

Sorten mit hohem Ertragspotenzial bei guter Versorgung mit Wasser und Nährstoffen

- Anbau auf fruchtbaren Böden in Tallagen
- Moderne Produktionstechniken
- Marktorientiert

Beregnung / Tropfbewässerung

Beckenbewässerung



Beckenbewässerung

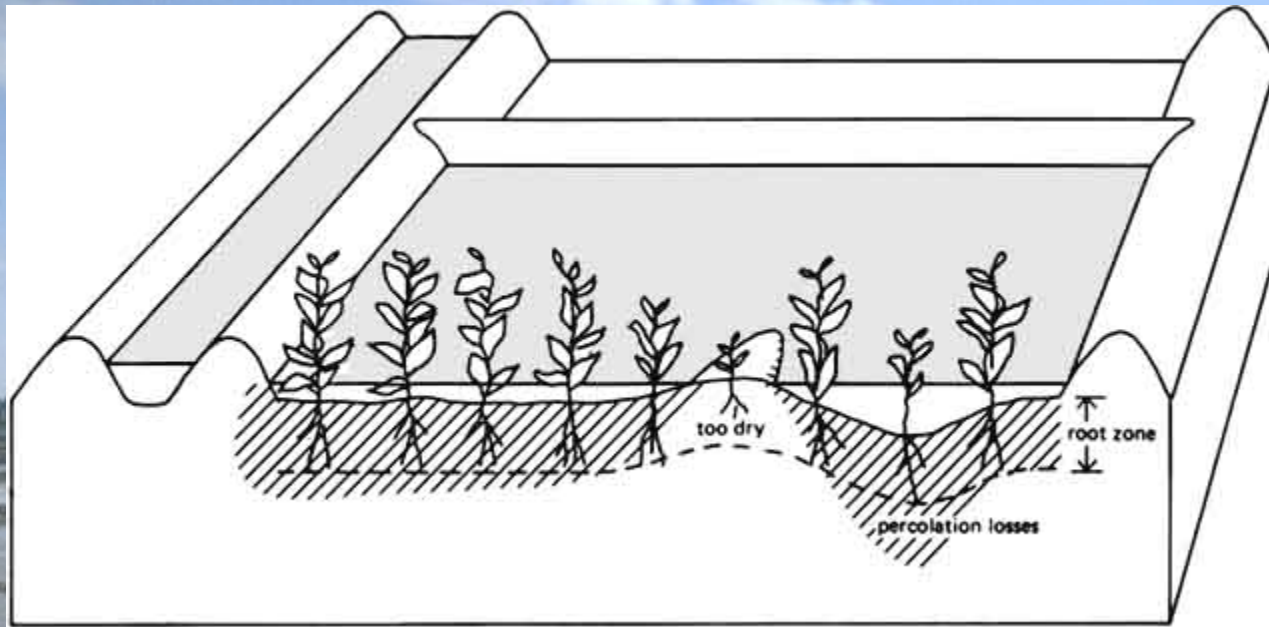


Stausegel

Beckenbewässerung

















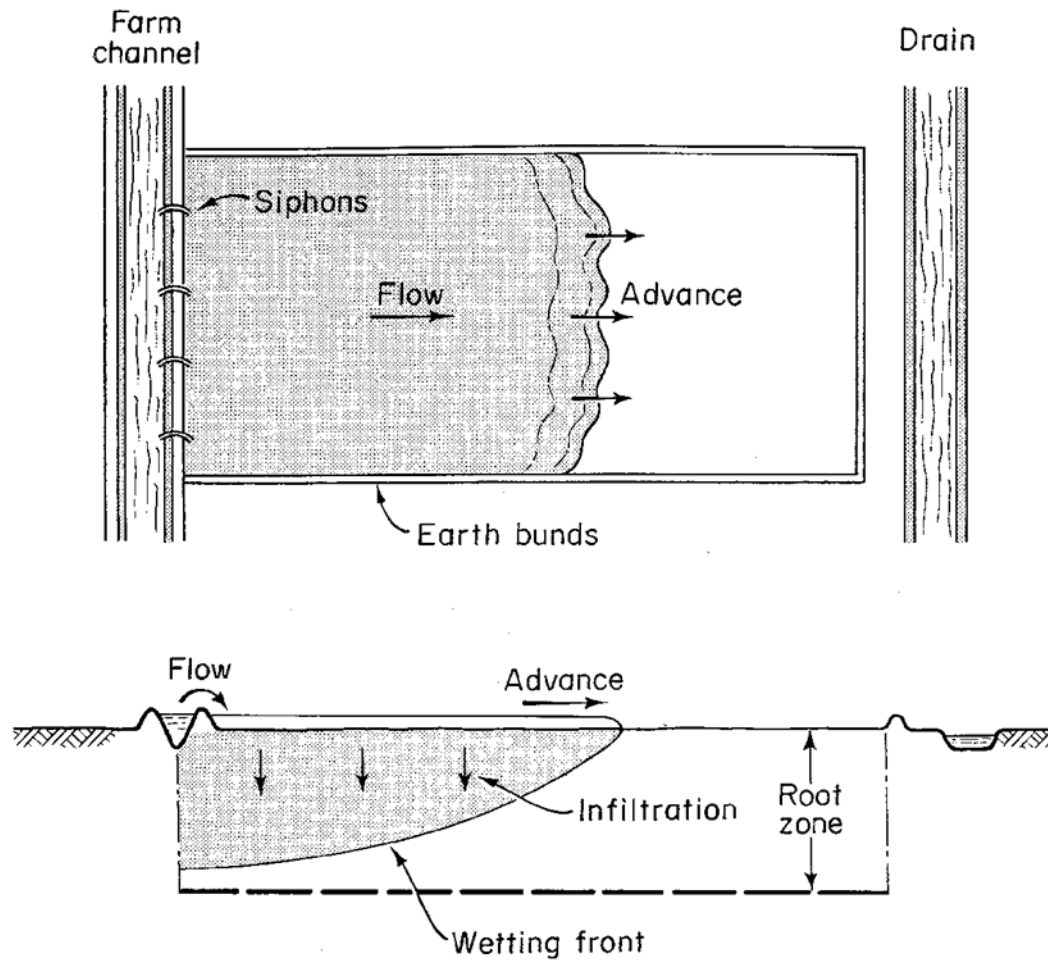






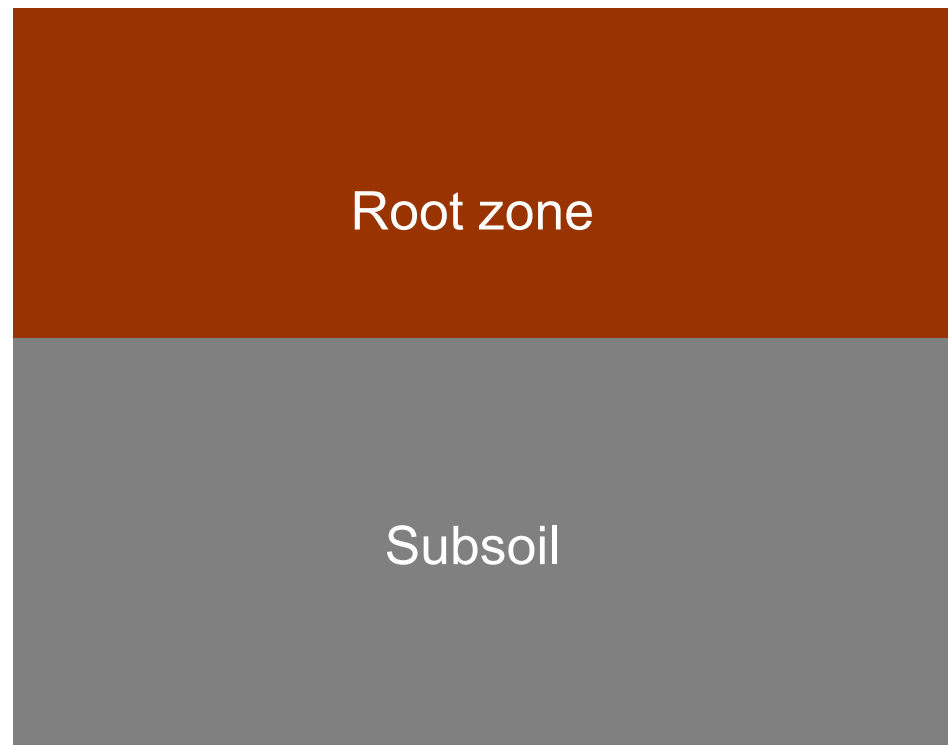


Beckenbewässerung - Aufleitung

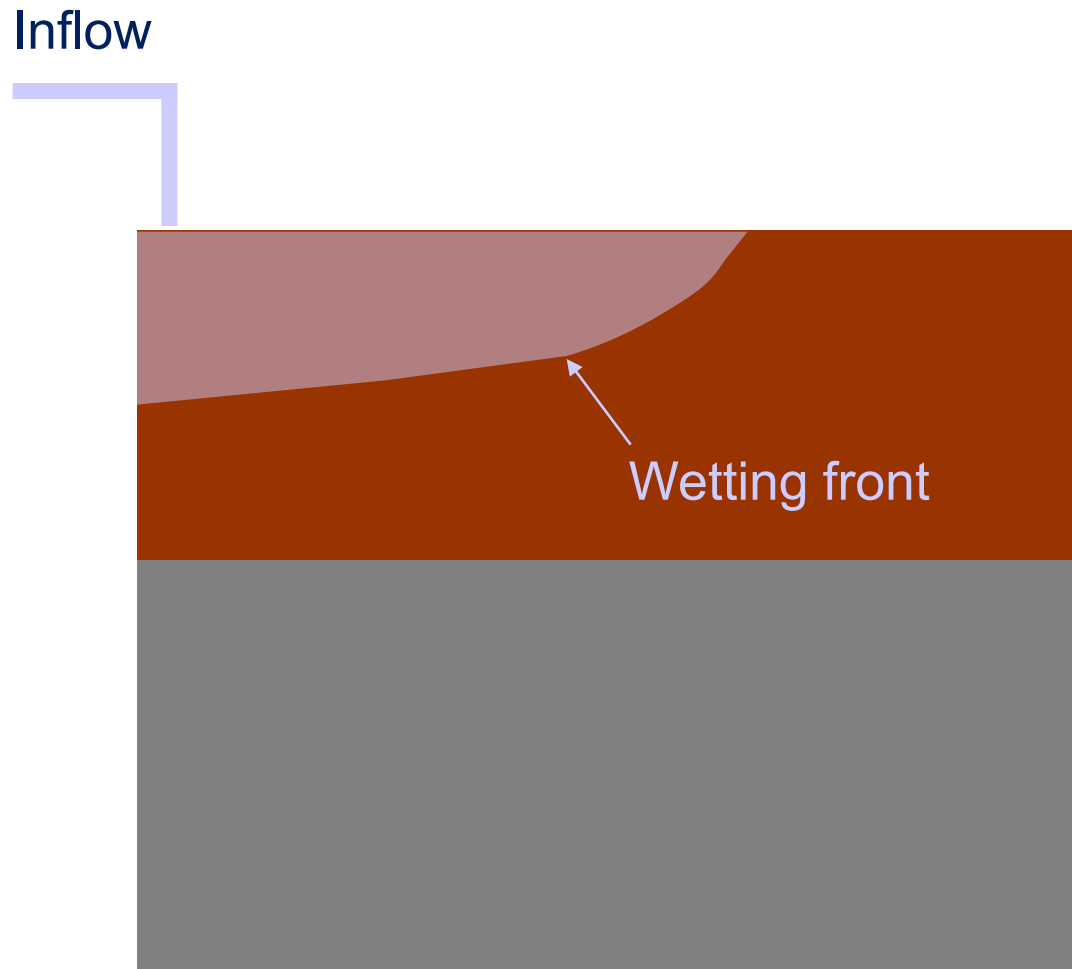


Kay, 1989

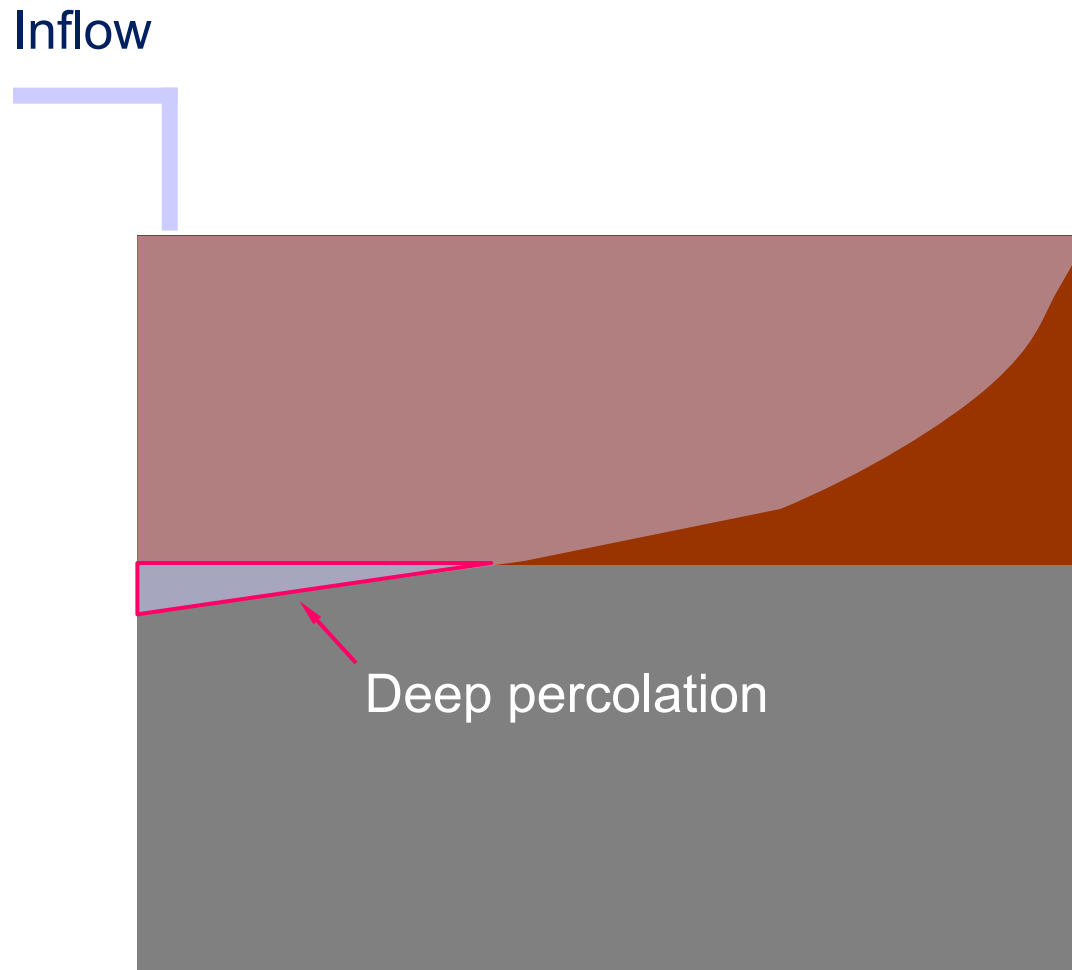
Wasserbewegung bei Beckenbewässerung



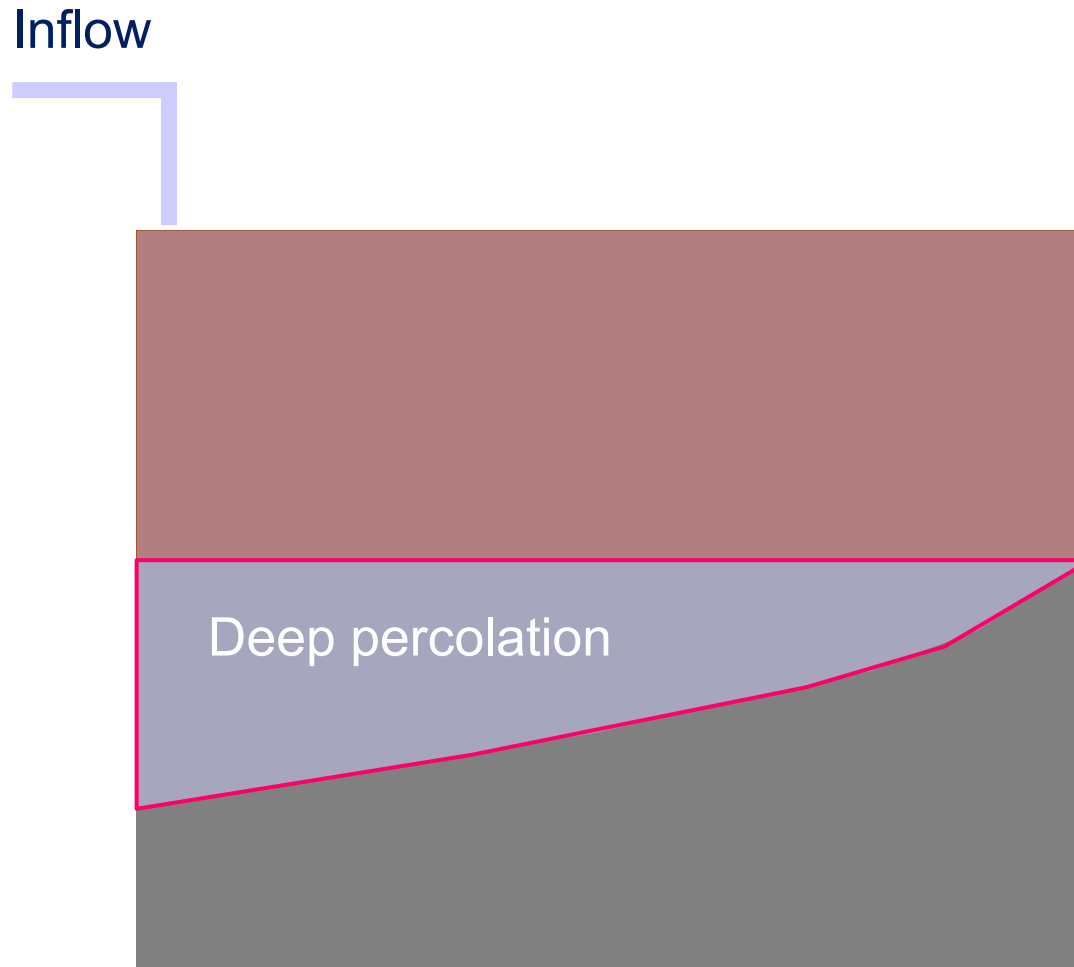
Wasserbewegung bei Beckenbewässerung



Wasserbewegung bei Beckenbewässerung



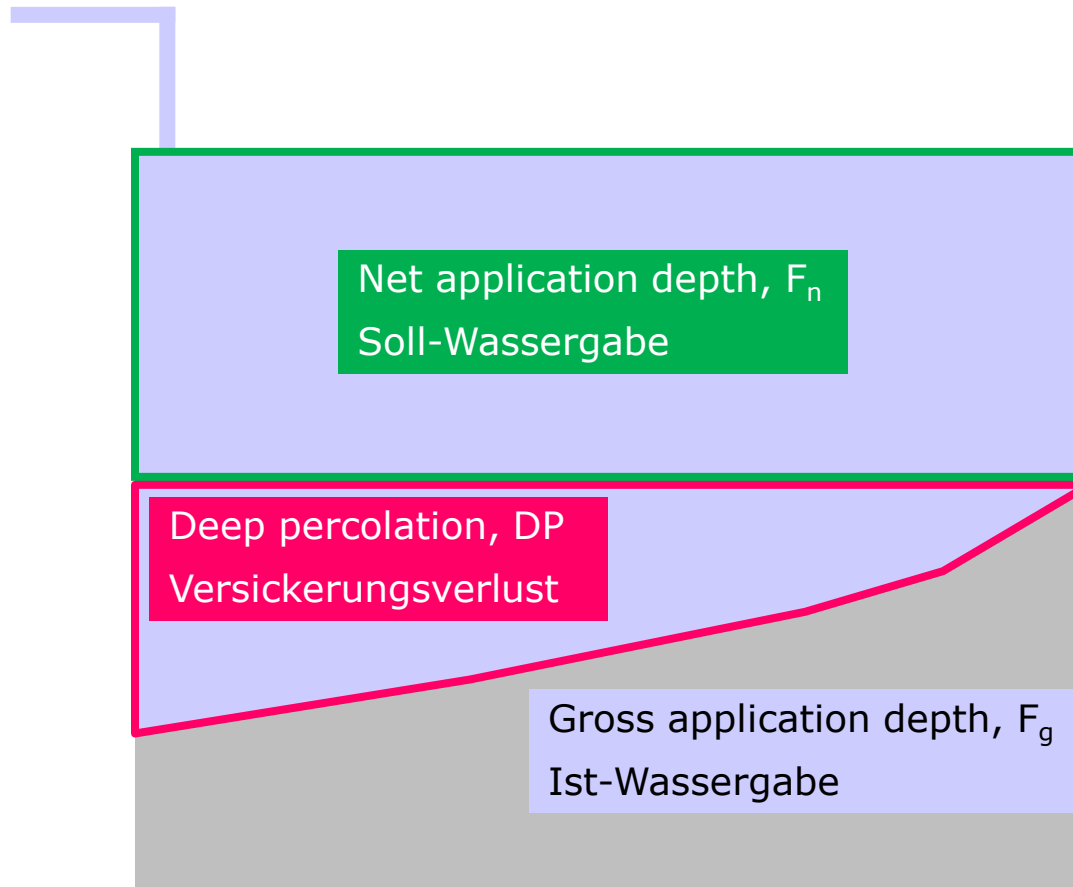
Wasserbewegung bei Beckenbewässerung



Beckenbewässerung

Intake rate

Zuflussrate, Q_u



Beckenbewässerung

- Net application depth, F_n [mm]

- Soll-Wassergabe

- Wassermenge, die pro Bewässerungszyklus aufgeleitet werden muss, um den Pflanzenwasserbedarf (CWR) genau zu decken.

- Versickerungsverluste (DP) sind hierbei nicht berücksichtigt.

- Gross application depth, F_g [mm]

- Ist-Wassergabe

- Wassermenge, die aufgeleitet werden muss, um an jeder Stelle des Feldes die Soll-Wassergabe zu erreichen. Neben dem Pflanzenwasserbedarf werden hier auch die Versickerungsverluste berücksichtigt.

- Deep percolation, DP [mm]

- Versickerungsverlust

- Wassermenge, die ungenutzt im Unterboden versickert.

$$F_g = F_n + DP$$

USDA- Terminologie

Beckenbewässerung

- **Application efficiency, AE [%]**
Aufleitungs-Wirkungsgrad
Verhältnis von Soll- und Ist-Wassergabe.

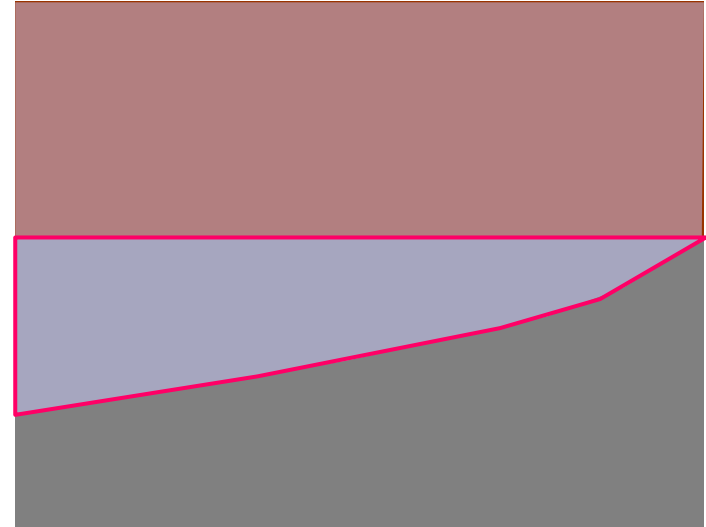
$$AE = f \left\{ \begin{array}{l} \text{Infiltrationsrate} \\ \text{Beckenlänge} \\ \text{Zuflussrate} \\ \text{Bewässerungshöhe} \end{array} \right.$$

$$AE = \frac{F_n}{F_g} \cdot 100$$

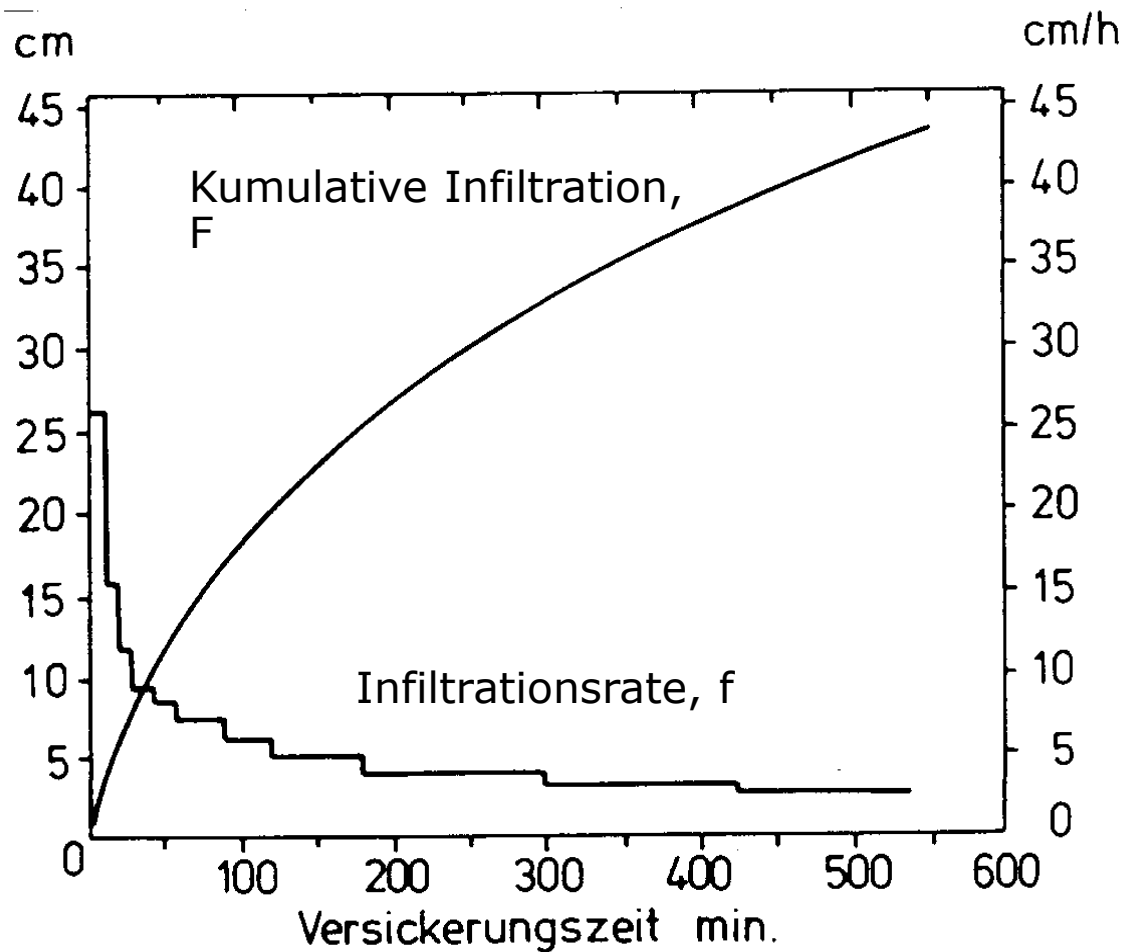
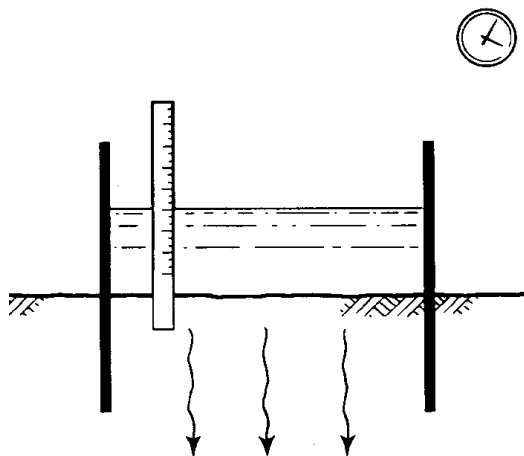
$$AE = \frac{F_g - DP}{F_g} \cdot 100$$

$$AE = \frac{F_n}{F_n + DP} \cdot 100$$

USDA- Terminologie



Beckenbewässerung



Oberflächenbewässerung

- Infiltration rate, f [mm/h]

- Infiltrationsrate

Wassermenge, die pro Zeiteinheit in einen Boden infiltriert. Nach Kostiakov:

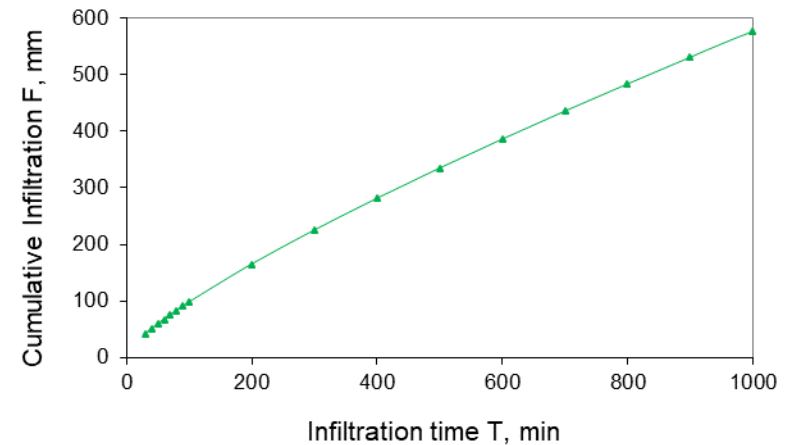
$$f = k \cdot T^{-\alpha}$$

- Cumulative intake, F [mm]

- Kumulative Infiltration

Aufsummierung der infiltrierten Wassermenge

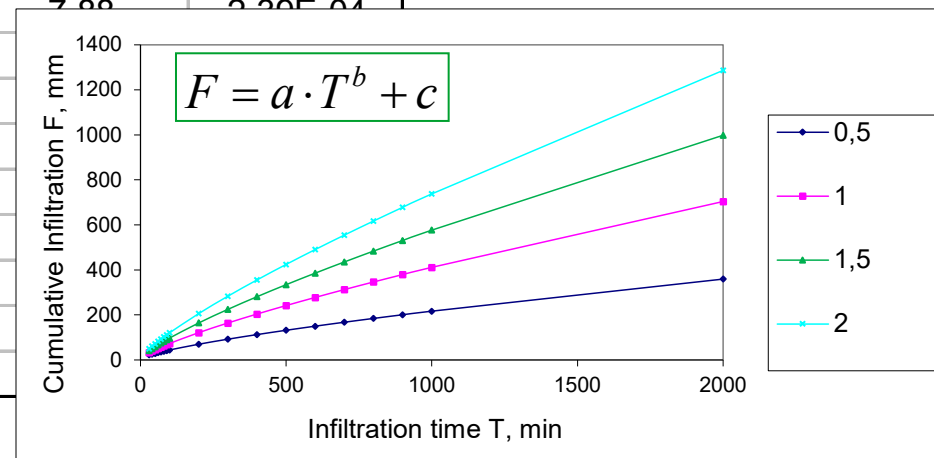
$$F = \int_0^T f dT$$
$$F = a \cdot T^b + c$$



Koeffizienten a , b , und c sind abhängig von der Bodenart

Oberflächenbewässerung

Infiltrations- Gruppe	Koeffizienten				
	a	b	c	f	g
0,05	0,533	0,618	7	7,16	1,09E-04
0,10	0,620	0,661	7	7,25	1,25E-04
0,15	0,711	0,683	7	7,34	1,41E-04
0,20	0,777	0,699	7	7,43	1,58E-04
0,25	0,853	0,711	7	7,52	1,74E-04
0,30	0,925	0,720	7	7,61	1,90E-04
0,35	0,996	0,729	7	7,70	2,07E-04
0,40	1,064	0,736	7	7,79	2,23E-04
0,45	1,130	0,742	7	7,88	2,38E-04
0,50	1,196	0,748	7		
0,60	1,321	0,757	7		
0,70	1,443	0,766	7		
0,80	1,560	0,773	7		
0,90	1,674	0,779	7		
1,00	1,786	0,785	7		
1,50	2,284	0,799	7		
2,00	2,753	0,808	7		



Oberflächenbewässerung

■ Intake family Infiltrationsgruppe

Je nach Bodenart erfolgt eine Zuordnung zu Gruppen mit unterschiedlichem Infiltrationsverhalten. Die Zuordnung erfolgt nach Feldtests. Die Infiltrationsgruppen werden mit Zahlen gekennzeichnet

0,05 schwer durchlässig

2,0 leicht durchlässig

Für jede Gruppe stehen Koeffizienten a, b...g zur Verfügung, welche für die Berechnung der Bewässerungsanlage maßgeblich sind.

Beckenbewässerung

- Inflow rate, Q_u [m²/s]

- Zuflussrate

Wassermenge, die pro Zeiteinheit in ein Becken aufgeleitet wird und zwar linienförmig über die gesamte Beckenbreite.

$$\left[\frac{m^3}{s \cdot m} = \frac{m^2}{s} \right]$$

- Inflow time, T_g [min]

- Zuflussdauer

Zeit, die benötigt wird, um die Ist-Wassergabe F_g aufzuleiten

- Opportunity time, T_n [min]

- Soll-Infiltrationsdauer

Zeit, die ein Boden benötigt, um die Soll-Wassergabe F_n aufzunehmen.
Die Berechnung erfolgt durch Umstellung der Gleichung für die kumulative Infiltration

$$T_n = b \sqrt{\frac{F_n - c}{a}}$$

Beckenbewässerung

- Distance from upper end, x [m]

Laufstrecke

Aktuelle Position der Wasserfront zwischen Beckenanfang 0 und Beckenende L

$$0 \leq x \leq L$$

- Advance time, Tt [min]

Laufzeit

Zeit, welche die Wasserfront benötigt, um eine Entfernung x vom Beckenanfang zu erreichen

$$T_t = \frac{x}{f} \cdot e^{\beta} \quad \text{mit} \quad \beta = \frac{g \cdot x}{Q_n \cdot \sqrt{S}}$$

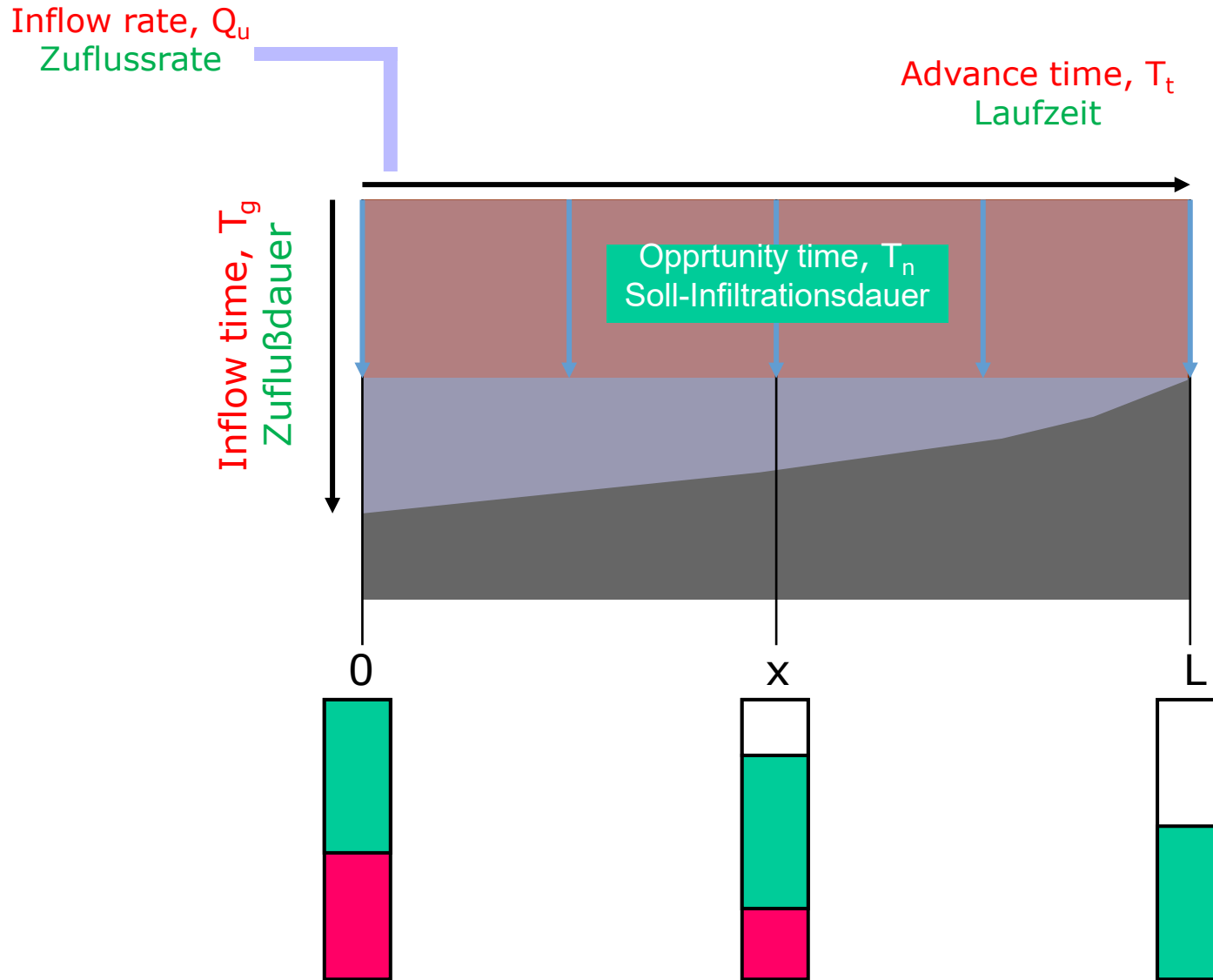
- Slope, S [-]

Hydraulischer Gradient

Gefälle, das durch den Anstieg des Wasserspiegels d am Beckenanfang entsteht und Wasser zum Fließen bringt

$$S = \frac{d}{L}$$

Beckenbewässerung



Beckenbewässerung

- Maximum depth of flow, d [mm]

Wasserspiegel

Wasserspiegel, der am Beckenanfang erreicht wird. Dieser muss um 25% unterhalb der Dammkrone bleiben und sollte generell 150 mm nicht überschreiten.

- Manning's coefficient, n [-]

Rauigkeitsbeiwert

Kennzeichnet die Rauigkeit der Bodenoberfläche. Es besteht ein Zusammenhang mit der Infiltrationsgruppe:

Gruppe	n
0,65	0,25
0,70	0,20
0,80	0,15
0,90	0,10

Beckenbewässerung

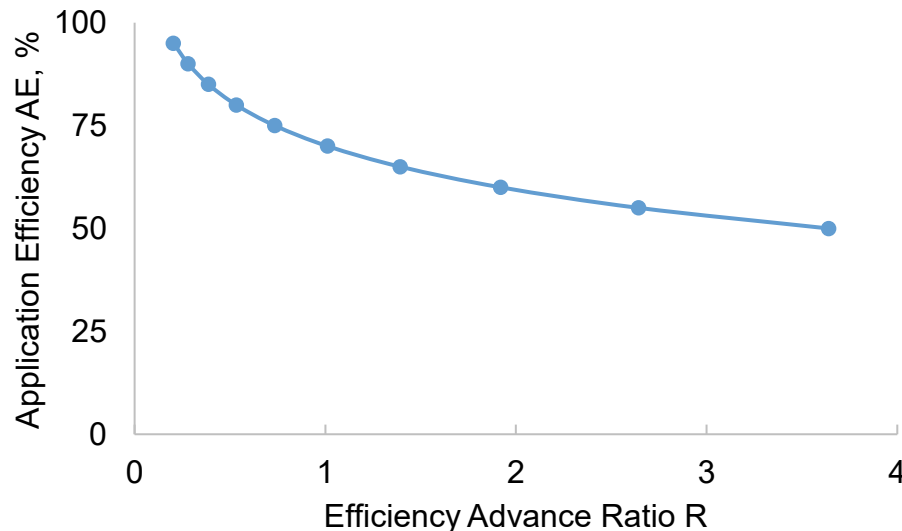
■ Efficiency advance ratio, R [-]

Laufzeitverhältnis

Verhältnis zwischen Laufzeit (Advance time) T_t und Soll-Infiltrationsdauer (Opportunity time) T_n .

Je größer R , d.h. der Anteil der Laufzeit ist, um so geringer ist der Wirkungsgrad AE .

$$R = \frac{T_t}{T_n}$$

















Furrow Irrigation

- Gated pipe





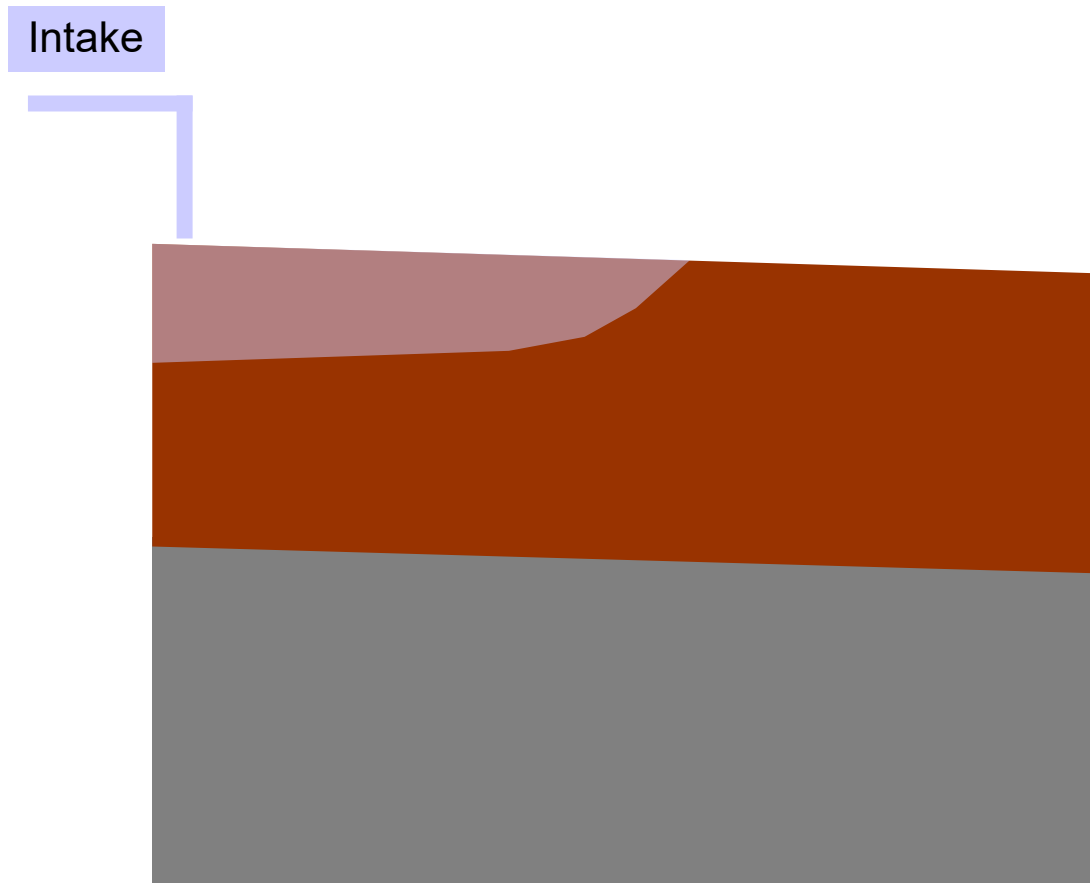
Furrow Irrigation

■ Gated pipe

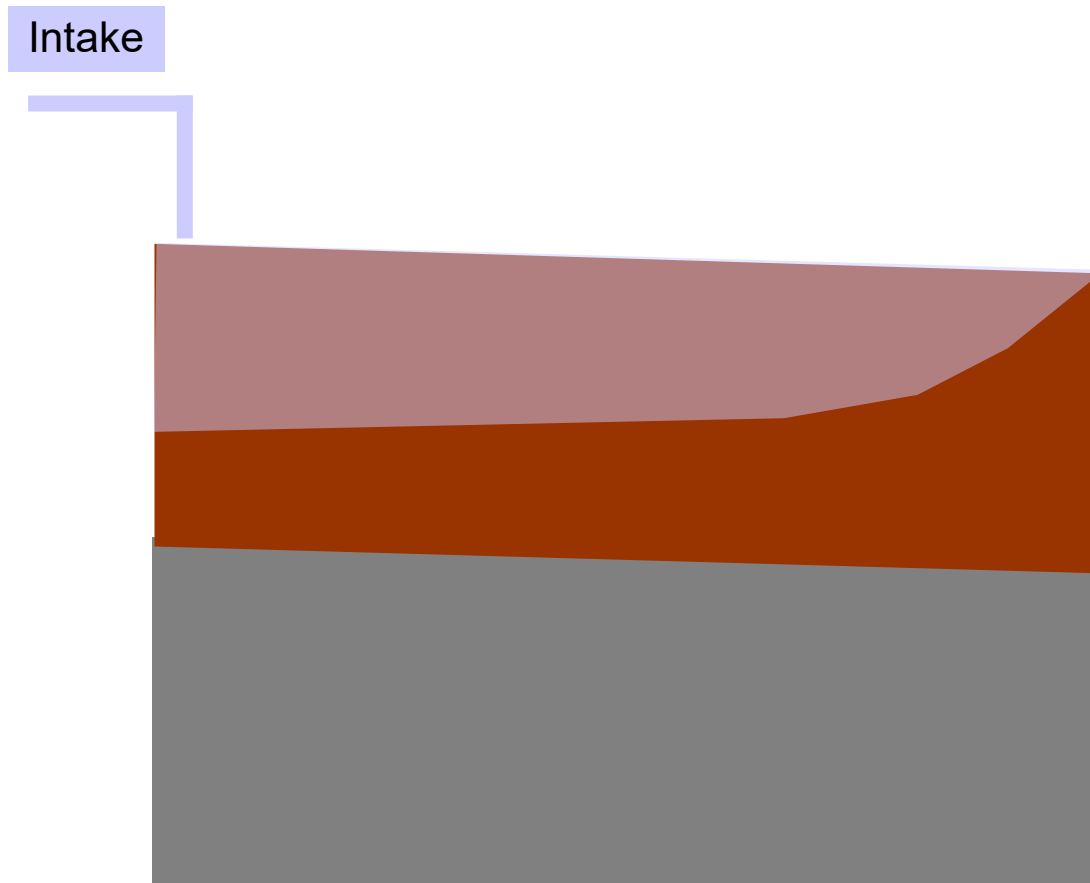


USDA, 2001

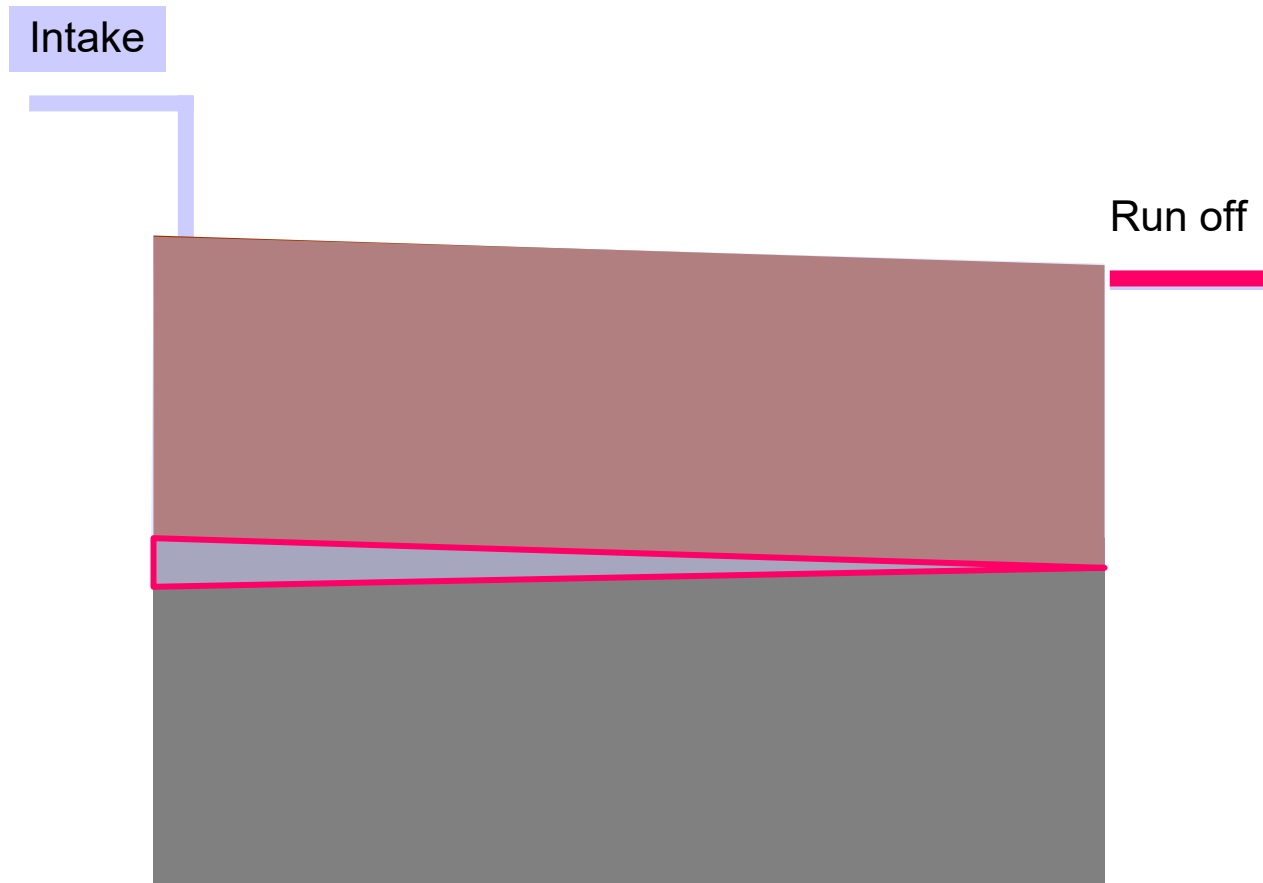
Furrow Irrigation



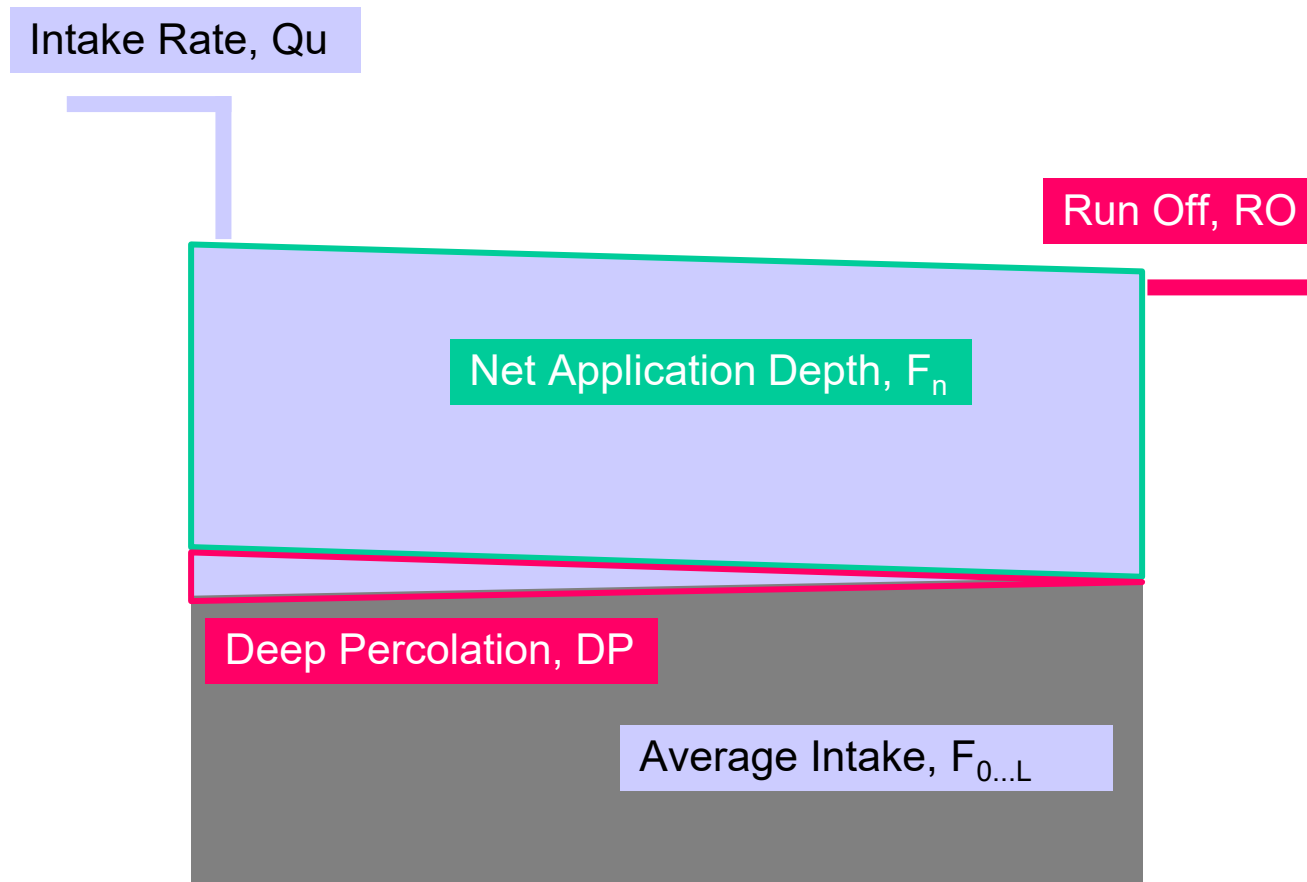
Furrow Irrigation



Furrow Irrigation



Furrow Irrigation



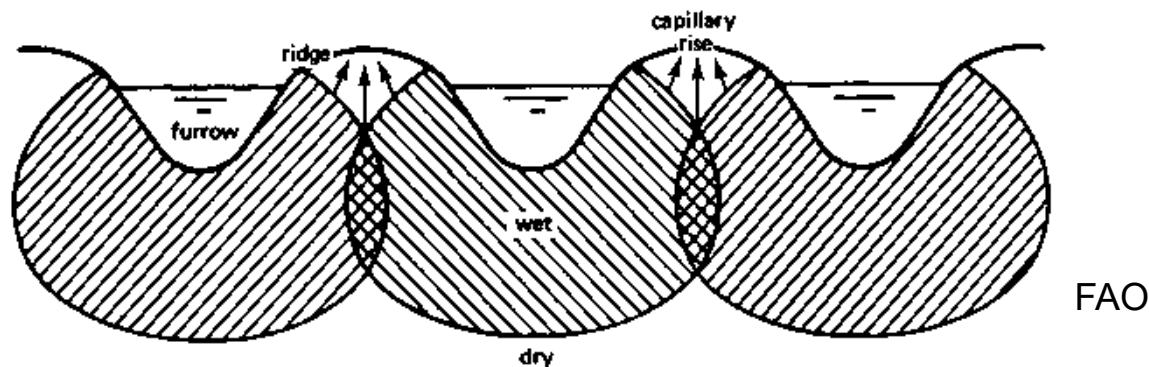
Furrow Irrigation

- **Furrow Spacing, W [m]**

Spacing from furrow centre to furrow centre.

- **Wetted Perimeter, P [m]**

Soil perimeter in contact with water. Is limited to furrow spacing according to USDA theory: IF $P > W$, THEN $P = W$



Furrow Irrigation

- Inflow Rate, Q_u [l/s]

Amount of water fed into a furrow per time unit.

- Slope, S [-]

Slope of the furrows in m height per m length.

Decreasing values are computed positively.

The slope is assumed constant throughout the furrow.

Irregularities are neglected.

Furrow Irrigation

- **Runoff, RO [mm]**

Amount of water that runs off at the end of the furrow.

- **Average Intake, $F_{0...L}$ [mm]**

Sum of the actual water intake.

$$F_{0...L} = F_g - RO$$

Furrow Irrigation

- Application Efficiency, AE [%]

Ratio of net and gross water application

$$AE = \frac{F_n}{F_g} \cdot 100 = \frac{F_g - RO - DP}{F_g} \cdot 100 = \frac{F_{0...L} - DP}{F_g} \cdot 100$$

- Application Efficiency when RO will be used, $AE_{RO\ use}$ [%]

$$AE_{RO\ use} = \frac{F_n}{F_n + DP} \cdot 100 = \frac{F_n}{F_{0...L}} \cdot 100$$