

Bei LEHMBÖDEN liegen alle KORNGRÖSSEN relativ gleichmäßig vor. Die Bezeichnung leicht, mittel, schwer bezieht sich auf die Durchdringbarkeit des Bodens, nicht auf sein spezifisches Gewicht.

Unter Bodenstruktur versteht man die Lage der einzelnen Bodenteilchen zueinander.

Durch unsachgemäße Bewässerung kann eine günstige Bodenstruktur erheblich verschlechtert werden, indem einzelne Kornfraktionen ausgeschwämmt, bzw. in den Boden eingeschwämmt werden. Die Erosionsanfälligkeit nimmt zu und die Wasserbewegung im Boden wird vermindert.

Sachgemäße Bodenbearbeitung und Bewässerung verbessern die Bodenstruktur.

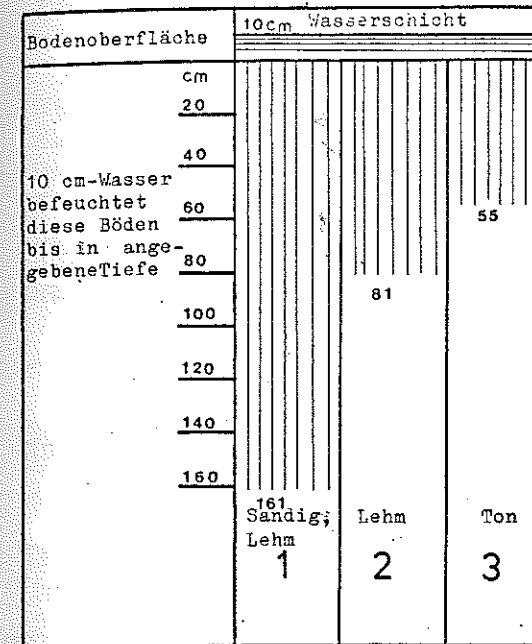
Durch Bodenuntersuchungen während der Bewässerung muß die Entwicklung der Bodenstruktur verfolgt werden.

- Infiltration -

Die Infiltrationsrate ist die Geschwindigkeit, mit der das Wasser in den Boden eindringt.

INFILTRATIONSRATE (mm/h)	
Boden	Infiltrationsrate
Ton	1 - 5
lehmiger Ton	5 - 10
Lehm	10 - 20
sandiger Lehm	20 - 30
Sand	30 - 100

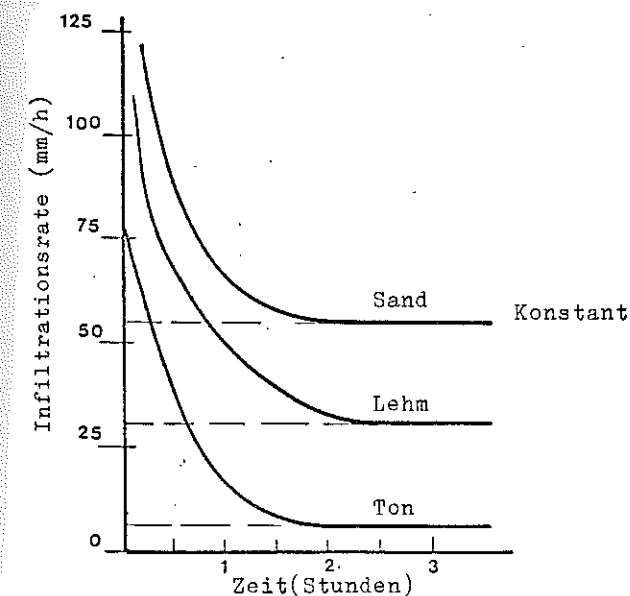
Die Infiltration verläuft bei den verschiedenen Böden sehr unterschiedlich und ist immer vom Wassergehalt des Bodens abhängig.



Eindringtiefe einer 10 cm-Wasserschicht in verschiedene Böden

aus: THORNE/PETERSON, "Irrigated Soils", New York, Toronto, 1954, S.159

Nach einer längeren Befeuchtung, bzw. einem bestimmten Wassergehalt stellt sich ein konstanter Wert ein, auf den im allgemeinen die Zuflußmenge bei Bewässerung abgestimmt wird.



Typischer Infiltrationsverlauf bei verschiedenen Böden

➤ Liegt die Zuflußrate über der Infiltrationsrate, staut sich das Wasser auf dem Feld, oder fließt oberflächlich ab.

Ist die Zuflußrate kleiner als die Infiltrationsrate, sind die Verdunstungsverluste unnötig hoch.

- Salzböden -

Bei jeder Bewässerung ist die GEFÄHRDUNG DES BODENS durch eine Salzanreicherung zu beachten. Geringe Salzmengen sind praktisch in jedem Wasser zu finden.

In ariden Gebieten, wo das Oberflächenwasser einer sehr hohen Verdunstung ausgesetzt ist, werden besonders hohe Salzkonzentrationen festgestellt. Dadurch erhöht sich auch die Salzkonzentration im Grundwasser.

Steht das Grundwasser sehr hoch, dann kann es durch kapillaren Anstieg an die Oberfläche gelangen. Hier setzt die Verdunstung ein; wobei die im Wasser gelösten Salze oder an der Oberfläche zurückbleiben. Bei der Bewässerung treten häufig die gleichen Effekte auf, besonders weil starke Überwässerung zu einem Grundwasseranstieg führen kann.

Die üblichen Salze sind: Natrium, Kalium, Magnesium und Kalzium. Überschüsse an Chloriden und Sulphaten bilden eine weiße Kruste auf der Bodenoberfläche. Diese Böden sind als Weiße-alkali-Böden bekannt.

Natriumkarbonat, manchmal verbunden mit Kaliumkarbonat ergeben Schwarze-alkali-Böden. Die Natriumhydroxide zersetzen die organische Masse und verleihen der Bodenoberfläche eine dunkle Färbung.

Salzhaltige Böden vermindern die Pflanzenproduktion, schwache Salzkonzentrationen erschweren die Wasseraufnahme, höhere Konzentrationen wirken toxisch.

<u>Relative Salztoleranz der Pflanzen</u>		
<u>hohe Toleranz</u>	<u>mittlere Toleranz</u>	<u>niedrige Toleranz</u>
Gerste	Luzerne	Zitronen
Baumwolle	Wassermelone	Klee
Datteln	Feigen	Feldbohnen
Gräser	Weintrauben	Grüne Bohnen
Raps	Mais	Früchte
Spinat	Hafer	
	Oliven	
	Pfeffer	
	Kartoffeln	
	Reis	
	Roggen	
	Sorghum	
	Weizen	
	Gemüse	

Salzhaltige Böden sind nur durch aufwendige Maßnahmen in ackerfähige Böden zu verwandeln (Salzauswaschung, künstliche Entwässerung), die im Rahmen von Kleinbewässerung nicht durchführbar sind.

Wenn einige regenreiche Monate auftreten, ist die Übersalzungsgefahr geringer, weil die abgelagerten Salze in den Untergrund gespült werden. Ansonsten wird eine SALZAUSWASCHUNG vorgenommen, die meist in den Monaten nach der Ernte erfolgt.

- Nährstoffe -

Die mineralische und organische Substanz im Boden enthält eine Reihe von Nährstoffen, die die Pflanze zu ihrem Aufbau benötigt.

Unter natürlichen Bedingungen entzieht die Pflanze während ihres Wachstums diese Nährstoffe dem Boden, bereichert sich durch weitere Nährstoffe aus der Luft und führt sie nach dem Absterben dem Boden wieder zu.

Die intensive Landwirtschaft unter Bewässerung unterbricht diesen Zyklus, da die Blattmasse bei der Ernte entfernt wird, wobei die Nährstoffe dem Boden verloren gehen.

Meist müssen diese Nährstoffe durch Düngung (Stallmist, Mineraldünger) dem Boden wieder zugeführt werden, um seine Fruchtbarkeit zu erhalten.

Wichtige Nährstoffe: Kalium, Phosphor, Stickstoff.

Weiterhin müssen Versauerung und Alkalinität des Bodens beachtet werden.

Alle diese Faktoren sind ohne ein Labor schwierig zu bestimmen, dennoch dürfen sie nicht übersehen werden, insbesondere das Salzproblem.

5. PFLANZEN-WASSERBEDARF

Die Berechnung des Wasserbedarfs der angebauten Pflanzen sowie die Wasserhaltekapazität des Bodens ist wichtig und bestimmt die:

$$\text{Bewässerbare Fläche} = \frac{\text{Wasserdargebot (l/sec)}}{\text{Wasserbedarf (l/sec} \cdot \text{ha)}} \text{ (Hektar)}$$

5.1. Pflanzen und Wasser

Zum Wachstum der Pflanzen sind Boden, Sonne, Luft und Wasser erforderlich. Das Wasser hat folgende Funktionen:

- Indem es die Zellen füllt, hält es die Pflanze aufrecht.
- Die Evaporation von der Blattoberfläche kühlt die Pflanze und verhindert dadurch Überhitzung in heißen Klimaten.
- Durch die Wurzeln trägt es Nährstoffe aus dem Boden in die Pflanze.

▶ Um ein Kilo Pflanzen-Trockenmasse zu erzeugen, sind im Durchschnitt 500 Liter Wasser erforderlich!

- Evapotranspiration -

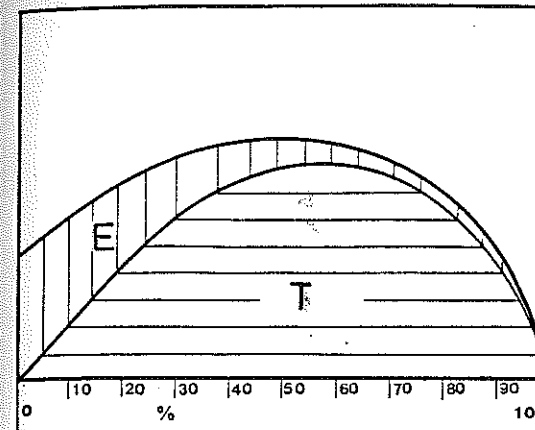
EVAPORATION ist der Prozeß, in dem Wasser in der Form von Dampf von offenen Wasserflächen oder der feuchten Bodenoberfläche in die Atmosphäre übertritt. TRANSPIRATION ist die Verdunstung von der Blattoberfläche (wie oben erwähnt). Die EVAPOTRANSPIRATION (ET/mm) ist die Summe aus:

- Transpiration von den Pflanzen und
- Evaporation vom feuchten Boden und offenen Wasserflächen in Furchen oder anderen tiefgelegenen Stellen.

Die Evapotranspiration ist von den klimatischen Verhältnissen abhängig:

- hohe Evapotranspiration: heiß, trocken, Wind
- niedrige Evapotranspiration: kühl, feucht, wenig Wind

Der Evaporationsanteil ist am größten in der Anfangsphase des Pflanzenwachstums. Mit der Entwicklung der Blätter steigt der Transpirationsanteil an der Evapotranspiration, während der Evaporationsanteil infolge der Beschattung des Bodens sinkt.



EVAPOTRANSPIRATION einer Pflanze während ihres Wachstums
E = Evaporations-Anteil; T = Transpirations-Anteil

Die potentielle Evapotranspiration (pET) ist die Evapotranspiration, die auftritt, wenn das Wasser der Pflanze unbeschränkt zur Verfügung steht. Die Evapotranspiration wird in Wassertiefe angegeben (mm/Tag) und kann aus gegebenen Klimadaten errechnet werden. Sie kann auch direkt gemessen werden.

Ungefähre Werte für die Evapotranspiration:

- ▶ 1 - 3 mm in gemäßigtem Klima
- 5 - 8 mm in den feuchten Tropen
- 10 - 12 mm in sehr aridem Klima

Quelle:/9/

Die Pflanzenevapotranspiration (ETcr) wird aus Multiplikation des Pflanzenfaktors (kc) mit der Bezugs-Evapotranspiration (ETo) erhalten.

- Potentielle Evapotranspiration -

Die Bezugs-Evapotranspiration wird entweder gemessen, z.B. mit einer Verdunstungspfanne, oder mit Hilfe einer Formel ausgerechnet. Wir beschreiben hier die

BLANEY-CRIDDEL-FORMEL

die recht einfach anzuwenden ist.

$$E_{To} = p \cdot \frac{45,7 \cdot t + 814}{100}$$

mit E_{To} = potentielle Evapotranspiration (mm/Monat)

p = mittlerer monatlicher Anteil an den jährlichen Tageslichtstunden (%)

t = mittlere monatliche Temperatur (°C)

Mittlerer monatlicher Anteil an den jährlichen Tageslichtstunden für verschiedene Breitengrade

... in Prozent ...

Breiten-grad	nördl.	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez
südl.	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Juni	
60°	4.5	6.0	7.8	9.6	11.4	12.3	12.0	10.2	8.4	6.6	5.1	3.9	
55°	5.3	6.8	7.8	9.5	10.8	11.6	11.3	9.9	8.4	6.9	5.7	5.1	
50°	5.7	6.9	8.1	9.3	10.2	10.8	10.5	9.6	8.4	7.2	6.0	5.4	
45°	6.2	7.2	8.1	9.0	9.9	10.5	10.2	9.3	8.4	7.5	6.6	6.0	
40°	6.6	7.2	8.2	9.0	9.6	10.2	9.9	9.3	8.4	7.5	6.6	6.3	
35°	6.9	7.5	8.1	8.7	9.3	9.6	9.6	9.0	8.4	7.5	6.9	6.6	
30°	7.2	7.5	8.1	8.7	9.3	9.6	9.6	9.0	8.4	7.8	7.2	6.9	
25°	7.2	7.8	8.1	8.7	9.0	9.3	9.3	8.7	8.4	7.8	7.5	7.2	
20°	7.5	7.8	8.1	8.4	8.7	9.0	9.0	8.7	8.4	7.8	7.5	7.5	
15°	7.8	7.8	8.1	8.4	8.7	8.7	8.7	8.4	8.4	8.1	7.8	7.5	
10°	7.8	8.1	8.1	8.4	8.4	8.7	8.7	8.4	8.4	8.1	7.8	7.8	
5°	8.1	8.1	8.1	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.1	8.1	8.1	
0°	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	

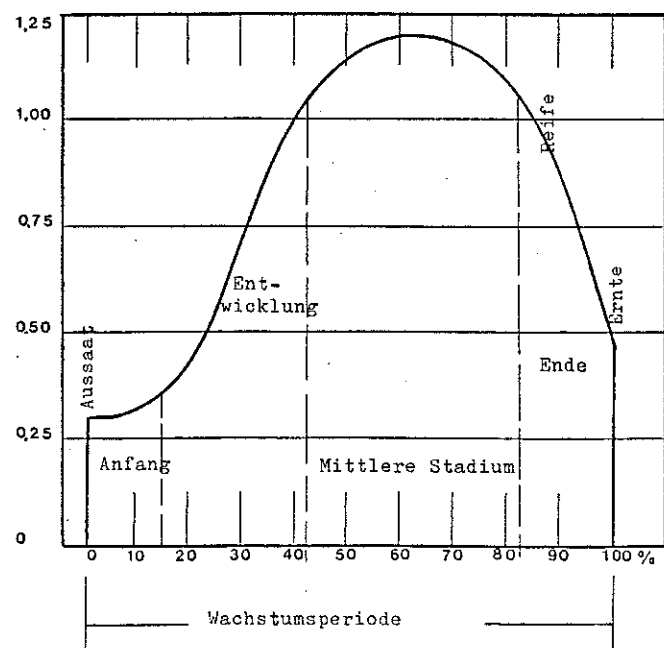
Quelle: /2-24/

- Pflanzenfaktoren -

Um den Pflanzenwasserverbrauch zu erhalten, wird ETo mit dem Pflanzenfaktor kc multipliziert.

$$ETcr = kc \cdot ETo$$

Dies ist die von der Pflanze benötigte Wassermenge. kc verändert sich mit dem Wachstumsstadium und ist für jede Pflanze unterschiedlich (siehe Abbildung und Tabelle).



PFLANZENFAKTOREN (kc) für VERSCHIEDENE PFLANZEN und WACHSTUMSSTADIEN

Pflanze	Relative Luftfeuchtigkeit größer 70 % (humid)		Relativer Luftfeuchtigkeit kleiner 70 % (arid)		Wachstumsdauer (Tage)
	Mittlere Saison	Endstadium	Mittlere Saison	Endstadium	
Weizen, Gerste	1,1	0,25	1,2	0,2	120-165
Grüne Bohnen	0,95	0,85	1,0	0,9	75-90
Mais	1,1	0,55	1,2	0,6	80-110
Hirse	1,05	0,3	1,15	0,25	105-140
Sorghum	1,05	0,5	1,15	0,55	120-130
Baumwolle	1,1	0,65	1,2	0,65	180-195
Tomaten	1,1	0,6	1,2	0,65	135-180
Kohl	1,0	0,85	1,1	0,95	80-95
Blumenkohl	1,0	0,85	1,1	0,95	80-95
Zwiebeln	0,95	0,95	1,0	1,05	150-210
Erbsen	1,0	1,05	1,1	1,15	90-100
Kartoffeln	0,9	1,1	0,95	1,2	105-145

nach Quelle: /2-24/

- Effektiver Niederschlag -

Nicht der gesamte Niederschlag kann von der Pflanze genutzt werden, diesem Umstand muß in der Bestimmung des Bewässerungsbedarfs Rechnung getragen werden. Der gemessene Niederschlag N (mm/Monat) wird auf den effektiven Niederschlag Neff (mm/Monat) reduziert - siehe Tabelle:

Monatlicher Niederschlag (mm)	Effektiver Niederschlag (mm)
25	24
50	48
75	71
100	94
125	110
150	122
175	128
> 200	130

(USBR - Standard)

5.2. Boden und Wasser

- Wasserhaltefähigkeit -

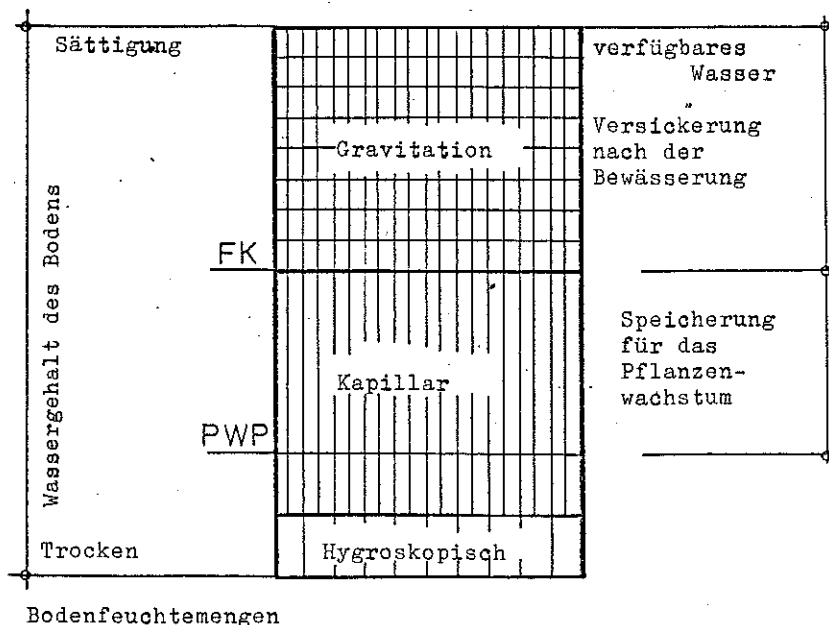
Der Boden kann in seinen Hohlräumen (Poren) für eine gewisse gewisse Zeit Wasser speichern und es damit für die Pflanze verfügbar halten. Diese Wasserspeicherkapazität ist von Boden zu Boden unterschiedlich.

Die maximal speicherbare Wassermenge - die SÄTTIGUNGSGRENZE hängt vom Porenvolumen ab. Sie wird in mm/m ausgedrückt.

In einem (Sand) bis vier (Ton) Tagen versickert das GRAVITATIONSWASSER in das Grundwasser. Nur während dieser Zeit ist es den Pflanzen verfügbar.

Das verbleibende KAPILLARWASSER wird im Boden entgegen der Schwerkraft gehalten. Die nach Versickern des Gravitationswassers im Boden verbleibende Wassermenge wird durch die FELDKAPAZITÄT angegeben (FK; mm/m).

Bei weiter austrocknendem Boden erreicht der Wassergehalt den PERMANENTEN WELKEPUNKT (PWP; mm/m); die Pflanzen beginnen zu welken und vertrocknen. Sie können das verbleibende Wasser nicht mehr entziehen - es ist zu stark an die Bodenpartikel gebunden - und erholen sich auch bei erneuter Wasserzufuhr nicht mehr.



Die Differenz zwischen permanentem Welkepunkt und Feldkapazität wird als die NUTZBARE SPEICHERFEUCHTE (nK) bezeichnet.

$$nK = FK - PWP \text{ (mm/m)}$$

Die Bodenwassergehalte können auch in Volumenprozent angegeben werden.

Bodenart	VERFÜGBARE BODENFEUCHTE VERSCHIEDENER BÖDEN		
	Feuchtigkeitsgehalt in Prozent des Trockengewichtes		Höhe des verfügbaren Wassers pro Tiefeneinheit des Bodens (cm/m)
	Feldkapazität	Permanenter Welkepunkt	
Feinsand.....	3 - 5	1 - 3	2 - 4
Sandiger Lehm.....	5 - 15	3 - 8	4 - 11
Schluff.....	12 - 18	6 - 10	6 - 13
Toniger Schluff.....	15 - 30	7 - 16	10 - 18
Ton.....	25 - 40	12 - 20	16 - 30

Quelle: /1/

Es wird ersichtlich, daß leichte Böden häufige geringe Bewässerungsgaben erfordern, schwere Böden dagegen hohe Gaben in größeren Zeitabständen.

Der vorhandene Bodenwassergehalt kann gemessen werden. Ebenso gut ist jedoch eine einfache Fingerprobe möglich, die aber gewisse Übung erfordert (siehe Anhang D).

- Pflanze, Boden, Wasser -

Das pflanzenverfügbare Bodenwasser sollte nicht vollständig genutzt werden, d.h. das Wasser sollte nicht bis zum Erreichen des permanenten Welkepunktes entzogen werden. Dafür gibt es zwei Gründe:

- mit abnehmendem Wassergehalt wird es für die Pflanze zunehmend schwieriger, das Wasser zu entziehen.
- das meist Wasser wird aus den oberen Bodenschichten entnommen. Es wird nur etwa die Hälfte des Wassers wirklich entzogen.

Die Pflanzen entziehen das Wasser in ihrer Wurzelzone, die von der Art abhängig ist.

WURZELTIEFEN in Metern für volles Wachstum					
Flach		Mittel		Tief	
Bohnen	0,5-0,7	Gerste	1,0-1,5	Alfalfa	1,0-2,0
Broccoli	0,4-0,6	Karotten	0,5-1,0	Baumwolle	1,0-1,7
Kohl	0,4-0,5	Klee	0,6-0,9	Obstgarten	1,0-2,0
Weide	0,4-0,6	Aubergine	0,9-1,2	Mais	1,0-2,0
Salat	0,3-0,5	Getreide (klein)	0,9-1,5	Sorghum	1,0-2,0
Zwiebeln	0,3-0,5	Erbsen	0,6-1,0	Zuckerrohr	1,0-2,0
Kartoffeln	0,4-0,6	Süß- kartoffeln	1,0-1,5		
Reis	0,5-0,7	Pfeffer	0,5-1,0		
Spinat	0,3-0,5	Tomaten	0,7-1,5		
		Wasser- melonen	1,0-1,5		

Quelle: /9/

Die Bewässerung soll die leeren Bodenporen mit Wasser füllen. Sie sollte erfolgen, wenn der Bodenwassergehalt etwa 50 % der nutzbaren Kapazität (nk) beträgt.

Die Bewässerungsgabe sollte gerade so groß sein, daß sie den Boden bis zur Feldkapazität auffüllt.

Die Pflanzen entziehen das Wasser nicht über die gesamte Wurzelzone in der gleichen Weise, die Menge sinkt mit der Tiefe.

WASSERENTZUG in der WURZELZONE	
Wurzelzone	Prozent des entzogenen Wassers
Erstes Viertel	80 %
Zweites Viertel	60 %
Drittes Viertel	40 %
Viertes Viertel	20 %
im Durchschnitt 50 %	

Die Zusammenhänge werden im Beispiel in Abschnitt 5.4. erläutert.

5.3. Bewässerungsbedarf

Der Bewässerungsbedarf (In) eines bestimmten Zeitraumes bestimmt sich aus dem Pflanzenwasserbedarf (ETcr) und dem effektiven Niederschlag (Neff):

$$In = ETcr - Neff \text{ (mm)}$$

Dies ist die Menge Wasser, die zugeführt werden muß, um eine ausreichende Versorgung der Pflanze sicher zu stellen. Auf dem Weg des Wassers vom Feldrand zur Pflanze treten Verluste auf. Dem wird mit dem Wirkungsgrad der Anwendung (Ea) Rechnung getragen (siehe Kapitel 6.4.6.).

Damit beträgt der Feldwasserbedarf (If):

$$If = \frac{ETcr - Neff}{Ea}$$

5.4. BEISPIEL für die Berechnung

Der Ort ist ein Dorf auf 22° nördlicher Breite. Es wird BAUMWOLLE auf den Furchenfeldern und in Poldern angebaut. Das Wasser wird einem Fluß entnommen.

Die gegebenen Klimadaten sind:

- die mittlere Monatstemperatur t (°C)
- der monatliche Niederschlag N (mm)

Zu Berechnung der potentiellen Evapotranspiration (ETo) wird die Formel von BLANEY - CRIDDLE verwendet (siehe S. 25), die Pflanzenverbrauchs-faktoren kc sind der Quelle (2-24) entnommen, siehe auch Seite 27.

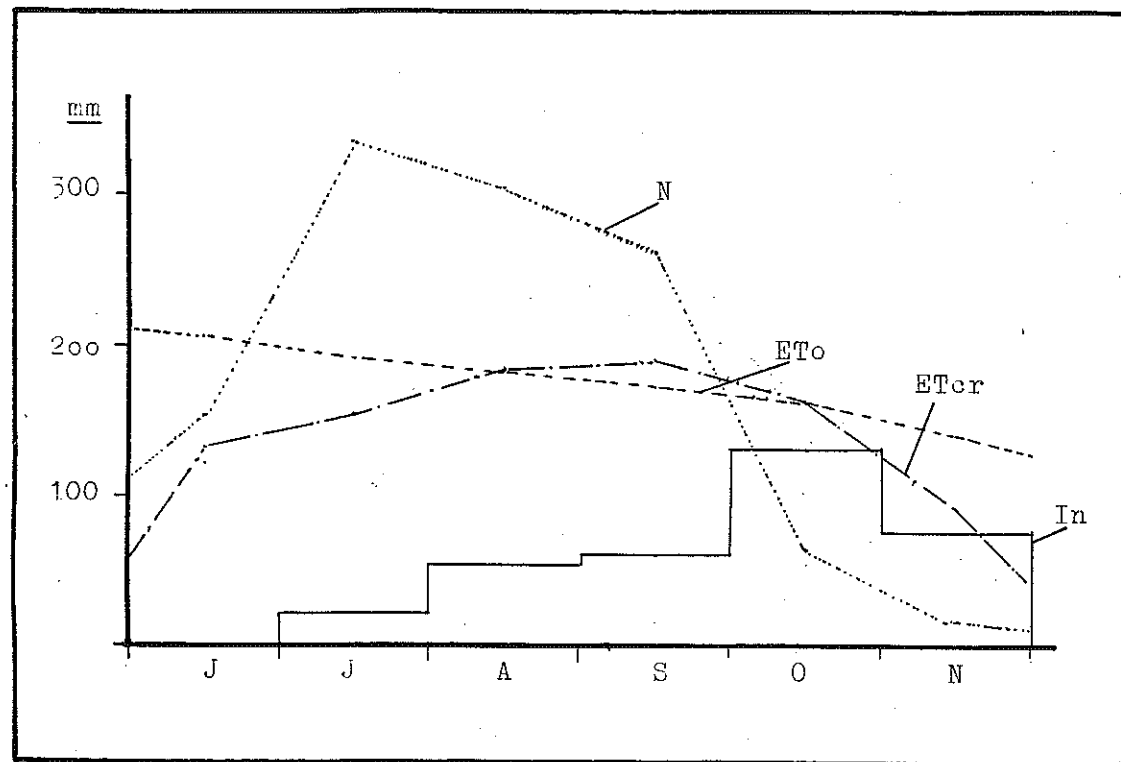
Der Niederschlag N wird nach der Tabelle auf Seite 27 abgemindert zu Neff.

Die Berechnung erfolgt tabellarisch:

Monat	JUNI	JULI	AUGUST	SEPTEMBER	OKTOBER	NOVEMBER
t (°C)	32,1	27,1	26,4	27,0	25,8	21,9
p (%)	9,0	9,3	9,0	8,4	8,1	7,5
ETo (mm)	205	190	181	172	160	136
kc (-)	0,6	0,8	1,05	1,1	1,02	0,65
ETcr (mm)	123	152	183	189	163	88
N (mm)	152	333	304	261	36	15
Neff (mm)	122	130	130	130	33	15
In (mm)	--	22	53	59	130	73

ETcr ist der Pflanzenwasserbedarf (mm/Monat), In = ETcr - Neff ist der Bewässerungsbedarf (mm/Monat).

Das Ergebnis kann graphisch dargestellt werden:



Da im Juni der effektive Niederschlag dem Pflanzenwasserbedarf entspricht, ist keine Bewässerung erforderlich. Die sehr hohen Niederschläge in der Zeit von Juli bis September tragen dazu bei, Salze aus dem Boden auszuwaschen, sodaß kein Auswaschwasser erforderlich ist. Der maximale Bewässerungsbedarf ist im Oktober mit $\max In = 130 \text{ mm}$

Der Gesamtwirkungsgrad wird zu $Eg = 0,3$ angenommen (siehe Seite 58).

Es müssen also im Oktober

$$I = \max In / Eg = 130 / 0,3 = 433 \text{ mm}$$

bereit gestellt werden.

Da 1 mm Bewässerungshöhe $10 \text{ m}^3/\text{ha}$ entsprechen, muß also jeder Hektar mit $433 \cdot 10 = 4.330 \text{ m}^3/\text{ha}$ versorgt werden.

Das Wasserrecht der Entnahme aus dem Fluß beträgt 20 l/sec im Oktober. Wird dieses Wasser vollständig für die Bewässerung genutzt, beträgt die

$$\text{Bewässerbare Fläche} = \frac{0,02 \cdot 31 \cdot 24 \cdot 3600}{4330} = 12,4 \text{ ha}$$

Der vorliegende Boden ist TONIGER LEHM mit 10 - 18 cm verfügbarem Wasser pro Meter, angenommen 15 cm/m. Die Wurzeltiefe von Baumwolle beträgt 1,30 m, womit sich das der PFLANZENVERFÜGBARE WASSER ergibt zu:

$$150 \cdot 1,30 \cdot 0,5 = 98 \text{ mm}$$

Der Bewässerungsbedarf im Oktober liegt bei 130 mm, oder $130 / 31 = 4,2 \text{ mm/Tag}$, aufgerundet 5 mm/Tag.

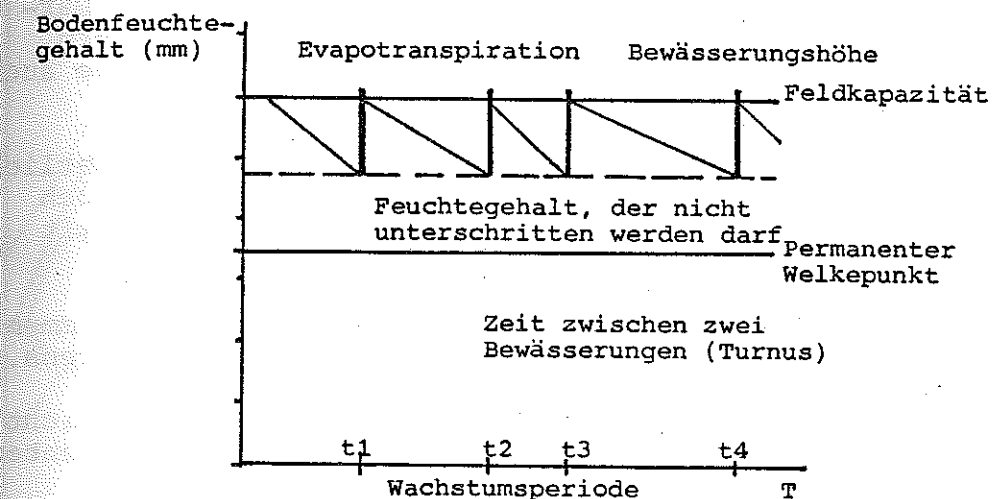
Die Bewässerung soll dann erfolgen, wenn der Feuchtigkeitsgehalt im Boden 50 mm unterhalb der Feldkapazität liegt. Es werden die erreichbaren 98 mm nicht voll ausgenutzt. Dies ermöglicht zum einen optimale Wachstumsbedingungen, zum anderen wird damit ein gewisser Sicherheitsspielraum eingehalten.

Damit beträgt der:

$$\text{Bewässerungsturnus} = 50/5 = 10 \text{ Tage,}$$

nach denen jeweils 50 mm oder $500 \text{ m}^3/\text{ha}$ aufgebracht werden. Diese Menge sollte bei unerwartet hohen Niederschlägen reduziert werden.

Der Vorgang kann graphisch dargestellt werden:



Es wird deutlich, daß wegen geringeren Bewässerungsbedarfes in den andern Monaten der Turnus länger ist.

6. TECHNISCHE AUSLEGUNG EINES BEWÄSSERUNGSSYSTEMS

6.1. Übersicht über ein Bewässerungssystem

Ein Bewässerungssystem kann in technischer Hinsicht in die 3 Elemente:

- Wasserbereitstellung
 - Kanalsystem
 - Bewässerungsmethode
- unterteilt werden.

Für jedes dieser Elemente sind verschiedene Ausführungen möglich, die alle aufeinander abgestimmt sein müssen, um einen optimalen Betrieb zu gewährleisten. Dies muß von Beginn der Planung an bedacht werden.

Die Wasserquelle bestimmt die Wassermenge, die dem System das ganze Jahr über zur Verfügung steht. Ein geringes Dargebot und/oder eine teure Wasserbereitstellung erfordern sparsamen Gebrauch des Wassers und damit möglicherweise auch ein teures Kanalsystem.

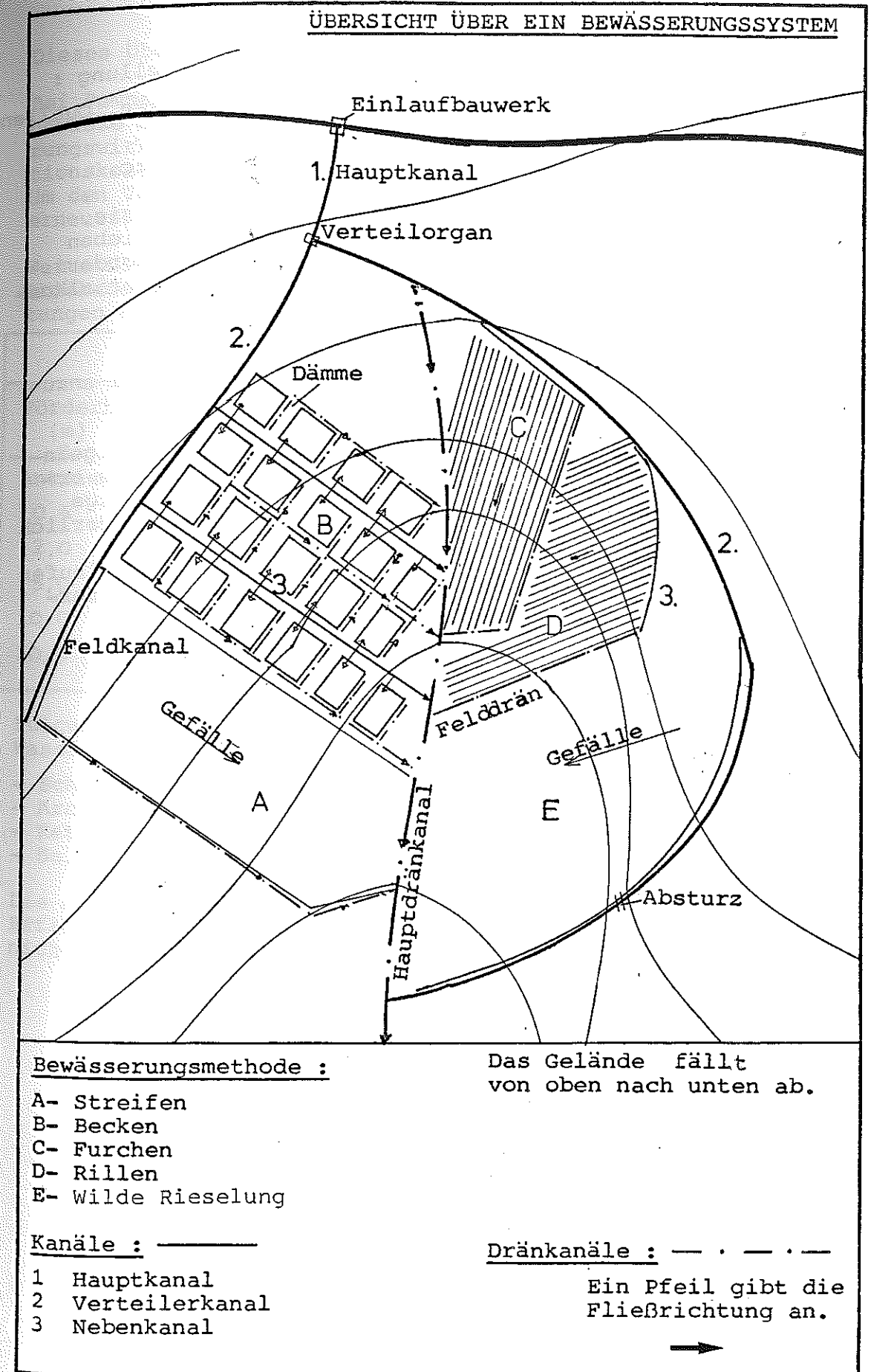
Mit der maximalen Entnahmewassermenge liegt der erforderliche Kanalquerschnitt fest. Die Wasserquelle muß genügend hoch liegen, um den tiefsten Punkt des Bewässerungssystems mit Wasser versorgen zu können.

Wasserquelle (d.h. Dargebot) und Kanalkapazitäten bestimmen möglicherweise auch die Auswahl des Bewässerungsverfahrens.

Die Darstellung auf der folgenden Seite gibt eine Übersicht über ein Bewässerungssystem und seine wichtigsten Elemente. Die Kanäle sind nach ihrer Wichtigkeit benannt:

- der Primär- oder Hauptkanal leitet das Wasser von der Quelle zu den Feldern,
- der Sekundär- oder Verteilerkanal verteilt es,
- der Tertiär- oder Lateralkanal leitet es den Feldern zu.

ÜBERSICHT ÜBER EIN BEWÄSSERUNGSSYSTEM



6.2. Wasserbereitstellung

Es gibt zwei Möglichkeiten für die Wasserbereitstellung :

- Zuleitung durch Schwerkraft von geeigneten Flüssen, Quellen etc.,
- Anheben des Wassers von Flüssen, Seen, Brunnen etc.

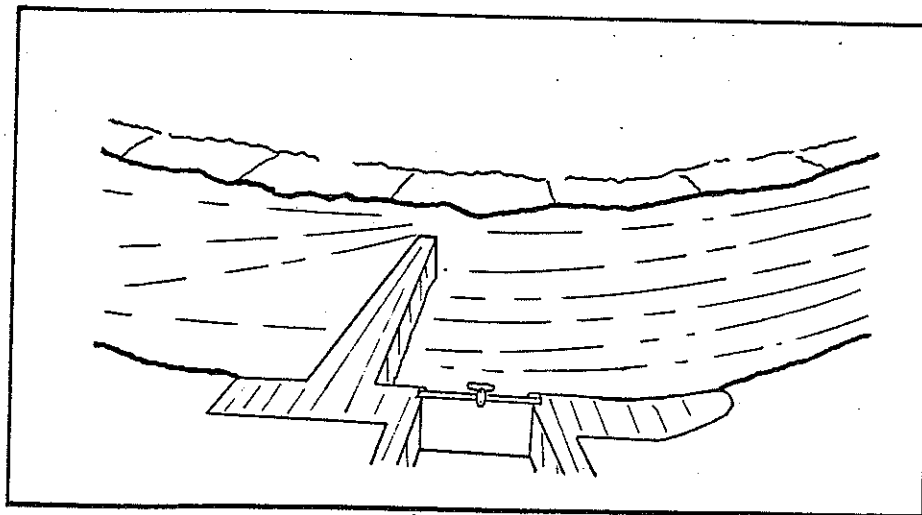
Grundsätzlich sind Schwerkraftsysteme billiger, da sie, einmal errichtet, durch die Schwerkraft alleine betrieben werden und relativ wenig Unterhaltungsmaßnahmen erfordern. Dennoch sind die Investitionskosten infolge der Materialkosten (z.B. Beton) und Arbeitskosten hoch.

Technisch ist ein Einlaufbauwerk erforderlich.

Ein Damm kann erforderlich sein, um den Wasserspiegel anzuheben.

Bei Erstellung des Damms wird der normale Wasserlauf geändert werden müssen, um die Aushebung der Fundamente zu ermöglichen. Ein tiefer Aushub bis auf eine undurchlässige Bodenschicht und ein festes Einlaufbauwerk sind erforderlich zur Sicherung der Anlagen.

Dämme können zu unvorhergesehenen Änderungen des Flüßlaufes führen. Deshalb sind besondere Kenntnisse unbedingt erforderlich.



ENTNAHMEBAUWERK, mit einem unvollständigen Damm, der quer zur Fließrichtung liegt und sowohl durchlässig als auch undurchlässig sein kann.

Da das System für den Maximalbedarf ausgelegt ist, wird die meiste Zeit mehr Wasser als erforderlich, abgeleitet, vorausgesetzt, daß es entnommen werden kann bzw. darf.

Dieses Überschuß Wasser kann für andere Zwecke genutzt werden.

Bei Pumpsystemen kostet jeder gehobene Kubikmeter Wasser eine gewisse Summe. Deshalb ist das Erreichen eines hohen Bewässerungswirkungsgrades sehr wichtig. Dies bedeutet hohe Investitionskosten für das Kanalsystem.

Um den Verbrauch an Diesel oder Strom zu verringern, sollten erneuerbare Energien genutzt werden (s. GATE-Modul S 2/2).

Weiterhin gibt es viele durch Menschen- oder Tierkraft betriebene Pumpen. Ihre theoretisch maximal möglichen Leistungen sind aus der folgenden Tabelle zu ersehen.

MAXIMALE MÖGLICHE FÖRDERMENGE (m ³ /h) (1)				
Förderhöhe (m)	Verlusthöhe			
	0 %		50 %	
	anuelle	ierkraft	anuelle	ierkraft
Antrieb				
0,5	115	540	58	270
2,0	14	135	7	67
5,0	6	54	3	27
10,0	3	27	2	13
20,0	1	13	1	7

Folgende Übersicht zeigt die Leistungsfähigkeit typischer Wasserhebeeinrichtungen auf :

- Schöpfkelle 8 m³/h über 10 m Höhenunterschied,
- Archimedische Förderschraube 15 m³/h über 0,5 - 1,0 m,
- Kettenpumpe 15 m³/h über 5,0 m,
- Seil- und Eimerförderung ca 6-10 m³/h über 10-30 m.

Die Auswahl hängt hauptsächlich ab von örtlich vorhandenen Erfahrungen und Fähigkeiten. Deshalb wird dieser Punkt hier nicht weiter ausgeführt.

(1) Tabelle erhalten von Peter Wolff, Witzhausen.

6.3. Kanäle

Beim Entwurf des Kanalsystems sind folgende Punkte zu bearbeiten :

- Trassierung (6.3.1.)
- Dimensionierung (6.3.2.)
- Durchflußkontrolle (s. Kapitel 7)

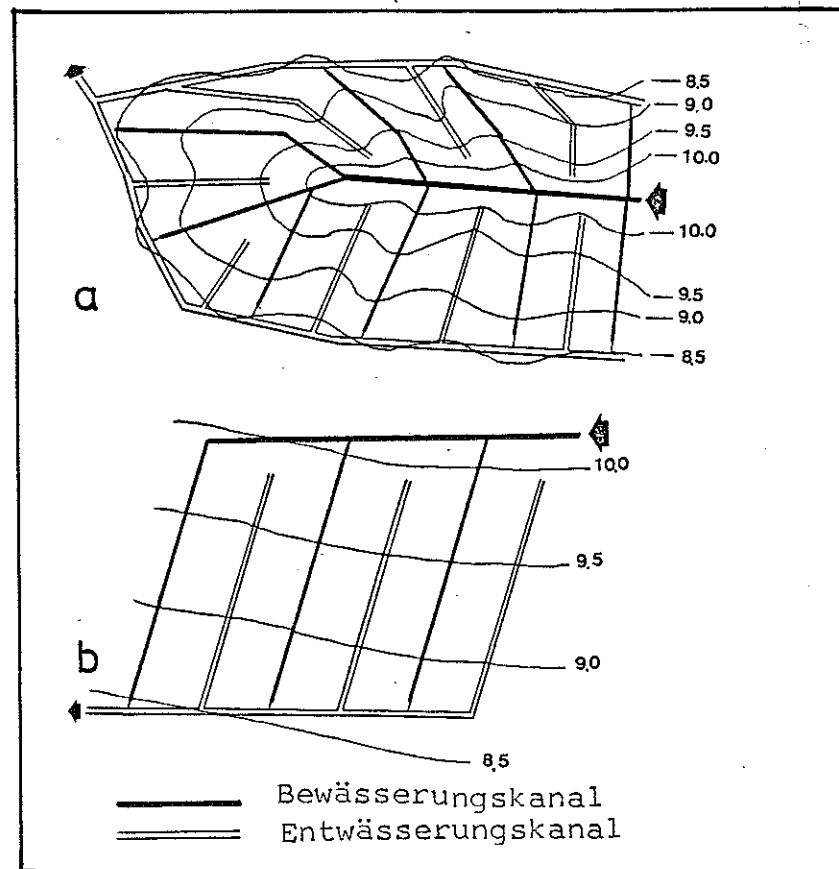
6.3.1. Trassierung

Die Trassierung von Kanälen wird weitgehend durch die Topographie bestimmt. Zwei Fixpunkte ergeben sich durch die Höhe des Entnahmebauwerkes und durch den erforderlichen Wasserstand in den Feldkanälen (ca. 15 cm über Feldniveau). Das Wasser fließt allein unter Einfluß der Schwerkraft zu den Feldern; dabei wird die Höhendifferenz allmählich abgebaut.

Im allgemeinen wird die Trassierung aufgrund des Höhenplanes festgelegt, wobei gleichzeitig die Lage der Entwässerungskanäle berücksichtigt werden muß.

Der Hauptkanal verläuft entlang der Erhebung, der Hauptdrän entlang der Senke.

Die Verteilerkanäle folgen dem natürlichen Gefälle (oder auf leichten Erhebungen) und die Nebenkanäle schließlich verlaufen in Richtung der Höhenlinien.



TRASSIERUNG
VON KANÄLEN

a. ungleichförmiges
Gelände

b. gleichförmiges
Gelände

6.3.2. Dimensionierung

- Bemessungswassermenge -

Als Grundlage für die Dimensionierung der Kanäle können die Erfahrungen aus anderen Bewässerungsprojekten verwendet werden.

In den meisten Fällen muß die maximale Durchflußmenge der Kanäle berechnet werden. Maßgebend ist der maximale monatliche Pflanzenwasserbedarf : $\max I_n$ (mm/Mon.).

Die Umrechnung auf die flächenbezogene Zulaufmenge (q_n) erfolgt durch die Gleichung :

$$q_n = \frac{\max I_n}{259} \quad (l/s \cdot ha)$$

Durch Multiplikation mit der bebauten Fläche ergibt sich der Gesamtwasserbedarf zu

$$q_g = F \times q_n \quad (l/s)$$

Wegen der Verluste auf dem Feld und während der Verteilung erhöht sich die Zulaufmenge je nach Wirkungsgrad.

$$q_z = \frac{q_g}{E_g} \quad (l/s)$$

$$E_g = E_a \times E_d \quad (\text{s. Seite 58})$$

Die errechnete kontinuierliche Wassermenge dient als Grundlage für die Dimensionierung des Hauptkanals.

Bei nicht kontinuierlichem Betrieb erhöht sich jedoch diese Zuleitungsmenge je nach dem Verhältnis zwischen Arbeits- und Ruhezeit.

Bei einer 8-stündigen Arbeitszeit erhöht sich die Zulaufmenge auf die dreifache ($24/8 = 3$) Menge und erfordert entsprechend höhere Kanalquerschnitte.

Die Kapazität der Verteilerkanäle ist abhängig von der angeschlossenen Flächengröße. Diese wird möglichst einheitlich gewählt, um den Bau der Kanäle zu vereinfachen.

Durch einen geeigneten Rotationsplan (s. Kapitel 7.2.) kann erreicht werden, daß nur eine geringe Anzahl der von einem Verteilerkanal versorgten Felder gleichzeitig bewässert werden.

Dadurch können die Kanalkapazitäten gering gehalten werden. Nebenkanäle werden auf den Spitzenbedarf des größten Feldes ausgelegt.

In allen Kanälen wird zusätzlich ein Freibord von 7-15 cm über der maximalen Wasserhöhe vorgesehen. Sie dienen dem Schutz der Kanäle bei unvorhergesehenem starkem Durchfluß.

Die Dimensionen der Kanäle sollten immer etwas größer als erforderlich gewählt werden, um das System flexibel zu gestalten.

6.3.3. Auskleidung der Kanäle

Die Kanäle können zur Reduzierung der Versickerungsverluste mit einem undurchlässigen Material ausgekleidet werden. Neben einer Verringerung des Wirkungsgrades haben die Verluste meist auch schädliche Bodenvernässungen längs der Kanäle zur Folge.

ERDKANÄLE erfordern einen hohen Unterhaltungsaufwand, da sie regelmäßig von Unkraut und Ablagerungen befreit werden müssen. Unkraut verschlechtert die Fließcharakteristiken des Kanals und erhöht die Verluste durch Evapotranspiration.

Aus diesen Gründen scheinen AUSGEKLEIDETE KANÄLE sehr vorteilhaft, sie erfordern jedoch hohe Investitionskosten.

Wegen der geringen Erosionsgefahr sind hohe Geschwindigkeiten zulässig. Dadurch sind kleine, platzsparende Kanäle, die wenig Aushub erfordern, möglich. Sie sind weniger anfällig für eine Verkräutung, so daß der Unterhaltungsaufwand gering ist.

Die Auskleidung der Kanäle auf durchlässigem Boden (Sand) mit örtlichen (undurchlässigen) Materialien wie Ton oder Lehm ist zu befürworten. Einhergehend mit einer regelmäßigen Unterhaltung können erhebliche Wassermengen eingespart werden.

Die Auskleidung mit Erdmaterial verbessert jedoch nicht die hydraulischen Eigenschaften der Kanäle und die Erosionsgefahr wird nur unwesentlich verringert.

Wegen der geringen Kosten werden in Kleinbewässerungsanlagen hauptsächlich Erdkanäle verwendet.

6.3.4. Erdkanäle

Die Kanäle zählen zu den langfristigen Einrichtungen einer Bewässerungsanlage und sollten deshalb mit großer Sorgfalt hergestellt werden.

Erdkanäle erfordern beim Bau weder Maschineneinsatz noch Fremdmaterialien und können, wie zahlreiche Beispiele bestehender Kanalsysteme beweisen, eine hohe Zuverlässigkeit erreichen.

Die Durchflußmenge durch einen Kanal ist abhängig von der Querschnittsfläche und der Fließgeschwindigkeit.

$$Q = F \times V \text{ (m}^3\text{/s)}$$

$$\begin{aligned} Q &= \text{Durchfluß (m}^3\text{/s)} \\ F &= \text{Querschnittsfläche (m}^2\text{)} \\ V &= \text{Geschwindigkeit (m/s)} \end{aligned}$$

Während die Durchflußmenge gegeben ist, sind F und V wählbar und werden auf die speziellen Bedingungen abgestimmt. Erdkanäle werden mit einem trapezförmigen Querschnitt ausgebildet.

Der Böschungswinkel ist durch die Bodenart bestimmt.

RICHTWERTE FÜR MAXIMALE BÖSCHUNGSNEIGUNGEN BEI KANÄLEN

Bodenart	Neigung (horizontal:vertikal)
sandiger weicher Ton	1 : 3
sandiger Ton, schluffiger Lehm	1 : 2
Ton, toniger Lehm	2 : 3
Gestein	1 : 1

Die Querschnittsfläche sollte möglichst klein sein, um den Arbeitsaufwand gering zu halten. Mit der Verminderung der Fläche wächst jedoch die Geschwindigkeit, die durch die Erosionsgefahr begrenzt ist.

ZULÄSSIGE FLIESSGESCHWINDIGKEITEN

Bodenart	Geschwindigkeit (m/s)
Sand	0,5
sandiger Lehm	0,6
Schluff	0,8
Lehm	0,9
Ton	1,2
Kies	1,2

Bei höheren Geschwindigkeiten können Kanalbett und Böschungen erodieren.

Zur Einhaltung der maximal zulässigen Fließgeschwindigkeiten kann es erforderlich werden, ABSTURZBAUWERKE in die Kanäle einzubauen. Diese müssen ausreichend befestigt sein z.B. mit Steinpackungen und Mauerwerk, um eine Aushöhlung hinter den Abstürzen zu vermeiden. Das Absturzbauwerk kann gleichzeitig mit anderen Funktionen kombiniert werden (Wehr, Verteilung).

Die Fließgeschwindigkeit des Wassers ist abhängig von der Kanalrauigkeit, dem hydraulischen Radius und dem Gefälle.

Fließformel von MANNING-STRICKLER:

$$v = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times I^{1/2}$$

- mit v = Fließgeschwindigkeit (m/s)
- R = hydraul. Radius (m)
- I = Sohlgefälle (%)
- n = Rauigkeitsbeiwert

Mit der RAUHIGKEIT eines Kanals nehmen die Wand- und Sohlreibungskräfte zu. Dazu verringert sich die Fließgeschwindigkeit. Die Rauigkeit (n) des Erdmaterials ist in folgender Tabelle angegeben.

RAUHIGKEITSBEIWERTE (n) FÜR VERSCHIEDENE KANALTYPEN	
Kanaltyp	n
Erd-, gerade und gleichmäßig	0,016-0,025
Erd-, kurvig Rauhes Steinbett, Ufer bewachsen	0,025-0,040
Verkrautete Kanäle	0,025-0,035
Beton	0,012-0,018

Der HYDRAULISCHE RADIUS R gibt das Verhältnis zwischen der Querschnittsfläche F und dem benetzten Umfang U an:

$$R = \frac{F}{U}$$

Am benetzten Umfang entstehen Reibkräfte, die die Geschwindigkeit herabsetzen.

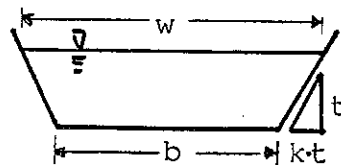
Den günstigsten hydraulischen Radius besitzt das Halbkreisprofil, das in Erdbauweise jedoch nicht herstellbar ist.

BEISPIEL :

b = Sohlbreite

t = Wassertiefe

$k:1$ = Böschungsneigung



Wasserspiegelbreite $w = b + 2 \cdot k \cdot t$

Querschnittsfläche $F = \frac{w+b}{2} \cdot t = b \cdot t + k \cdot t^2$

Benetzter Umfang $U = b + 2 \cdot t \cdot \sqrt{1 + k^2}$

Hydraulischer Radius $R = \frac{b \cdot t + k \cdot t^2}{b + 2 \cdot t \cdot \sqrt{1 + k^2}}$

Hydraulisch optimal ist: $k = 0,58$

- Gefälle -

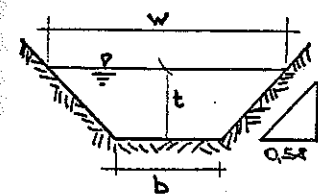
Das Kanalgefälle sollte dem Geländegefälle angepaßt werden. Relativ geringe Gefälleunterschiede führen zu relativ hohen Veränderungen der Geschwindigkeit.

Da der hydraulische Radius und die Kanalrauigkeit in den meisten Fällen unveränderbar sind, kann durch die Wahl des Gefälles - als relativ variabler Faktor - die gewünschte Durchflußgeschwindigkeit erhalten werden.

BEISPIEL für die Formel von MANNING-STRICKLER :

Gegeben :

- Erdkanal $n = 0,025$



$b = 0,15$ m

$t = 0,30$ m

$k = 0,58$

$$w = 0,15 + 2 \cdot 0,58 \cdot 0,30 = 0,50 \text{ m}$$

$$F = 0,15 \cdot 0,30 + 0,58 \cdot 0,30^2 = 0,097 \text{ m}^2$$

$$U = 0,15 + 2 \cdot 0,30 \cdot \sqrt{1 + 0,58^2} = 0,84 \text{ m}$$

$$R = \frac{0,097}{0,84} = 0,115 \text{ m}$$

$$I = 0,15\% \hat{=} 0,0015$$

$$v = \frac{1}{0,025} \cdot (0,115)^{2/3} \cdot \sqrt{0,0015} = 0,37 \text{ m/s}$$

$$\text{Discharge } Q = F \cdot v = 0,097 \cdot 0,37 = 35,9 \text{ l/s}$$

$$I = 0,25\% \hat{=} 0,0025$$

$$v = 0,47 \text{ m/s}$$

$$Q = 45,9 \text{ l/s}$$

6.4 Verfahren der Oberflächenbewässerung

In Kleinbewässerungsanlagen findet allein die Oberflächenbewässerung Anwendung - mit Ausnahme der Beregnung, die eine sehr teure und komplizierte Bewässerungsmethode darstellt und deshalb hier nicht beschrieben wird.

Ein allgemeiner Überblick über die verschiedenen Oberflächenbewässerungsmethoden wird auf den folgenden Seiten gegeben.

Oberflächenbewässerung ist im größten Teil der Erde die einzig bekannte Bewässerungsform und hat eine jahrtausendalte Tradition. Sie ist auch unter dem Namen Schwerkraftbewässerung bekannt, da das Wasser allein unter dem Einfluß der Schwerkraft (d.h. ohne zusätzliche Energie) zum Pflanzenstandort fließt und dort infiltriert (Ausnahme: Wasserhebe-einrichtungen in manchen Gebieten).

Die Bedingungen der Fließbewegung des Wassers (Gefälle, Energiehöhe) und die Infiltrationseigenschaften des Bodens sind die Grundlage der Oberflächenbewässerung. Unter den verschiedenen natürlichen Gegebenheiten haben sich im Laufe der Zeit viele Verfahren entwickelt.

Die Bedingungen, an die das Bewässerungsverfahren angepaßt werden muß, sind:

- Boden: Infiltrationsrate, Durchlässigkeit, Erosionsanfälligkeit
- Topographie: Gleichförmigkeit und Neigung
- Wasser: Zuflußmenge
- Pflanzen: Reihenkulturen, Flächenkulturen

Eine falsche Auswahl der Bewässerungsmethode kann zu nachhaltigen Schäden des Bodens führen (Erosion, Versalzung, Nährstoffauswaschung), und geht immer mit einer hohen Wasserverschwendung einher.

Methode	Bignung und Bedingungen der Anwendung				Bemerkungen
	Fruchtart	Topographie	Wasserezufluß	Boden	
Kleine, rechteckige Becken	Getreide, Reis, Feldfrüchte, Obstbau	Relativ flaches Land; Beckenoberfläche	Kann der Feldgröße angepaßt werden	Geeignet für hohe und geringe Infiltrationsraten nicht für Böden, die verschlammten	Hohe Anlagekosten, hoher Arbeitsaufwand für die Bewässerung, guter Wirkungsgrad
Große, rechteckige Becken	Getreide, Reis, Feldfrüchte	Flachland, Becken müssen planiert werden	Grosser Wasserezufluß erforderlich	Niedrige Infiltrationsrate	Geringe Anlagekosten und weniger Arbeit
Becken in Form der Höhenlinien	Obstbau, Getreide, Reis, Futteranbau	Unregelmäßige Landflächen mit Gefälle weniger als 2 %	Über 30 l/s	Mittelschwere und schwere Böden, jedoch ohne Ribildung beim Austrocknen	Geringe Erdbewegung für das Nivellieren erforderlich, geeignet für Dauereinstau (Reis) und intermittierenden Einstau (Futter)
Terrassenbau	Getreide, Feld- und Futteranbau,	Für Geländeneigung bis zu 20 %	Kleine Zuflussmengen	Boden muß so tiefgründig sein, daß Nivellieren der Terrassen möglich ist	Oberflächendrainage erforderlich Zuviel Wasser führt zu gefährlicher Erosion
Furchenbewässerung in Becken	Gemüse, Mais, Baumwolle u. a., Reihenanbau	Relativ flaches Land	Bis 150 l/s	Fast alle Bodentypen	Ähnlich den kleinen Becken
Rieselbewässerung in schmalen Streifen, bis zu 5 m Breite	Weideland, Getreide, Luzerne, Obst, Wein	Gleichmäßige Geländeneigung weniger als 7 %	mittlere Größe des Wasserezuflusses	Mittelschwere bis schwere Böden	Die Streifen müssen in Richtung des größten Gefälles liegen, genaues Nivellieren quer zur Fließrichtung erforderlich
Breite Streifen bis 30 m	Getreide, Luzerne, Obst	Das Land muß auf ein einheitliches Gefälle von weniger als 5 % gebracht werden	Hoher Zufluss bis 600 l/s	Tiefgründige Böden mittlere bis feine Struktur	Sehr sorgfältige Vorbereitung des Gefälles erforderlich. Wenig Arbeit für Bewässerung. Gut für Maschineneinsatz.
Wilde Rieselung	Weideland, Getreide	Unregelmäßiges Gelände mit Gefälle bis zu 20 %	Kleiner Zufluss bei starker Geländeneigung	Mittlere bis feine, aber stabile Struktur, ohne Ribildung	Wenig Erdbewegung erforderlich. Niedrige Anlagekosten. Für flachgründige Böden geeignet. Hohe Versickerungsverluste möglich
Gerade Furchen	Gemüse, Reihenanbau, Obst, Wein	Gleichmäßige Geländeneigung bis 2 %	Bis 150 l/s	Alle Böden, wenn die Länge der Furchen dem Bodentyp entspricht	Gut geeignet für Fruchtarten, die Überfluten nicht vertragen. Guter Wirkungsgrad möglich. Gut für Mechanisierung
Furchen mit Gefälle entlang den Höhenlinien	Gemüse, Feldfrüchte, Obst, Wein	Hügeliges Land bis 8 % Gefälle	Bis 100 l/s	Mittlere bis feine Struktur, ohne Ribildung	Hoher Arbeitsaufwand für die Bewässerung. Kontrolle der Grab- und Wühltiere erforderlich. Erosionsgefahr, Wasser kann die Furchen durchbrechen
Rillenbewässerung	Dicht gesäte Feldfrüchte, Getreide, Weide,	Gleichmäßige Geländeneigung bis zu 10 %	Bis zu 30 l/s	Am besten geeignet für Böden von mittlerer und feiner Struktur	Hohe Wasserverluste möglich durch Versickerung und Überlaufen. Genaue Dosierung der Zuflußmenge zur Reduzierung der Erosion. Geringe Erdbewegung beim Bau
Zickzackfurchen	Obst, Buschobst, Wein	Das Land muß auf ein einheitliches Gefälle von weniger als 1 % gebracht werden	Weniger als für gerade Furchen	Böden mit geringer Infiltrationsrate	Angewendet, wenn die Fließgeschwindigkeit in den Furchen klein gehalten werden muß wegen langsamer Infiltration

6.4.1 Becken - Bewässerung

Dies ist ihrem Prinzip nach die einfachste aller Methoden. Für die Beckenbewässerung wird das Feld in mehrere Parzellen mit einer ebenen Grundfläche unterteilt. Um jede Parzelle wird eine kleiner Erdwall errichtet, so daß ein Staubecken entsteht, in dem das Wasser kontrolliert werden kann. Das Wasser wird zu der gewünschten Höhe eingestaut und infiltriert in den Boden, Überschüsse fließen ab.

Die REISBEWÄSSERUNG erfolgt meist durch einen kontinuierlichen Wasserzufluß, der die Wasserhöhe im Becken konstant (ca. 10 cm) hält.

Andere KULTURPFLANZEN wie Baumwolle, Getreide, Mais, Erdnüsse, Gemüse oder Futterpflanzen erhalten die Bewässerungsgabe nach diesem System, allerdings in einem festgelegten Turnus. (Vergleiche Kap. 7.2)

Beckenbewässerung ist nicht geeignet für Pflanzen, die auf eine Vernässung der Halme empfindlich reagieren und auf Böden, die beim Austrocknen zu einer starken Krustenbildung neigen. (hoher Ton-Anteil)

Beckenbewässerung erfordert für die zwischenzeitliche Durchlüftung des Bodens ein leistungsfähiges ENTWÄSSERUNGSSYSTEM, das im flachen Land oft nur unter Schwierigkeiten anzulegen ist. Über längere Zeit stehende Wasserflächen begünstigen die Ausbreitung von Moskitos und anderen Krankheitserregern.

-- Flächengröße --

Die Flächengröße einer Parzelle variiert zwischen einem Quadratmeter und mehreren Hektar. Aus Gründen der Arbeitserleichterung beim Bau und Betrieb des Bewässerungssystems ist man bestrebt, die Parzellen möglichst großflächig anzulegen. Abgesehen von der Topographie sind es jedoch die Infiltrationsrate des Bodens (Bodentyp) und die mögliche Zuflußmenge, die die Parzellengröße limitieren. Sie müssen so aufeinander abgestimmt sein, daß

die ganze Parzelle möglichst schnell mit einer gleichmäßigen Wasserschicht einer bestimmten Höhe bedeckt werden kann.

Eine hohe Wasserspende ermöglicht große Parzellen, erhöht jedoch gleichzeitig die Erosionsgefahr. Eine hohe Infiltrationsrate erfordert kleine Parzellen. Bei durchlässigen Sandböden wählt man eine kleine Parzellengröße, da sonst das Wasser schon am Einlauf versickern würde, bevor es das Parzellenende erreicht.

Reisbauern in Asien wühlen die obere Bodenschicht unter dem Wasser auf. Beim Absetzen des Bodens verschlämmen die Feinanteile die Poren und verringern dadurch die Infiltrationsrate.

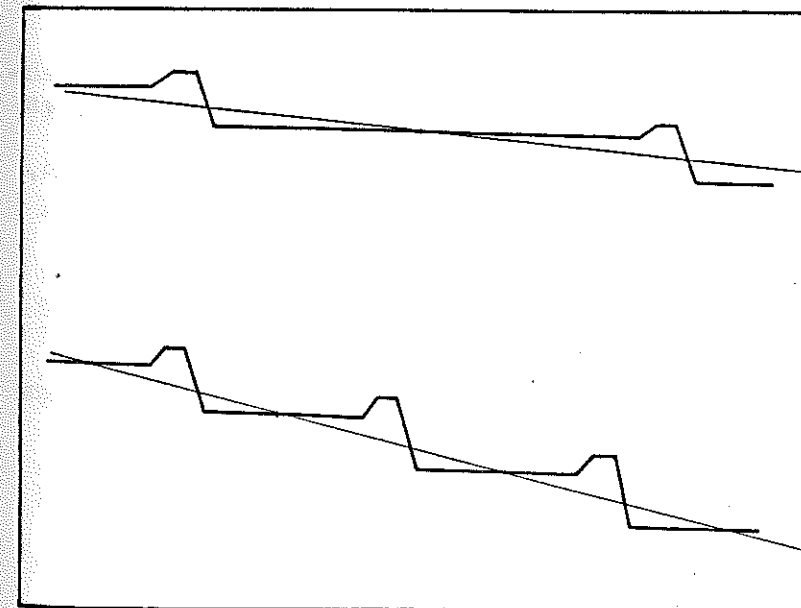
Zufluß (l/s)	GEEIGNETE FLÄCHENGRÖSSE FÜR STAUBECKEN			
	Bodentyp			
	Sand	sandiger Lehm	toniger Lehm	Ton
10	65	200	400	700
20	130	400	800	1400
50	325	1000	2000	3500
100	650	2000	4000	7000

Quelle: /1/

Die FLÄCHENFORM sollte möglichst eng an die Topographie angepaßt werden. Bei gleichmäßig schwach geneigten Gefälle werden die Parzellen in Rechteckform angelegt, um die Trassierung der Kanäle zu erleichtern. Bei steigendem Gefälle nimmt die Feldbreite weiter ab, um eine einfache Einebnung der Felder zu erreichen. Bei starkem Gefälle ergeben sich beträchtliche Höhenunterschiede zwischen den Feldern, so daß die Erdwälle stabil (Steinpackungen) ausgeführt werden müssen. (Terrassenbau)

Geringe Feldbreiten bei steilem Gelände ergeben sich aus zwei Gründen:

- Erleichterung der Erdbewegungsarbeiten, die mit einfachen Geräten durchgeführt werden müssen.
- Die fruchtbare obere Bodenschicht, die besonders am Hang sehr dünn ist, darf nicht abgetragen werden.



a. Schwaches Gefälle

b. Starkes Gefälle

Verschiedene Beckengrößen bei unterschiedlichem Gefälle