

Bewässerungslandwirtschaft heute – Möglichkeiten und Grenzen



**Seminar Wasserwirtschaft WS 02/03
Anne Grudzinski**

Inhalt

1	Einführung	4
2	Verbreitung der Bewässerungslandwirtschaft.....	5
2.1	<i>Weltweite Verbreitung.....</i>	5
2.2	<i>Verbreitung in Deutschland.....</i>	5
3	Methoden der Bewässerungslandwirtschaft	6
3.1	<i>Oberflächenbewässerung</i>	6
3.1.1	Beckenbewässerung (Stauverfahren)	6
3.1.2	Furchenbewässerung (Stauverfahren)	7
3.1.3	Rieselfverfahren.....	8
3.2	<i>Unterflurbewässerung.....</i>	8
3.2.1	Unterflurbewässerung durch Anheben des Grundwasserspiegels	8
3.2.2	Unterflurbewässerung durch Rohre.....	9
3.3	<i>Tropfbewässerung.....</i>	9
3.3.1	Oberirdische Tropfbewässerung	9
3.3.2	Unterirdische Tropfbewässerung	9
3.4	<i>Beregnung.....</i>	10
3.4.1	Ortsfeste Anlagen	10
3.4.2	Teilortsfeste Anlagen.....	10
3.4.3	Vollbewegliche Anlagen.....	11
3.5	<i>Vergleich der Verfahren.....</i>	11
4	„Grenzen“	12
5	„Möglichkeiten“	12
5.1	<i>Bedarfsberechnung</i>	12
5.1.1	Klima	12
5.1.2	Boden.....	14
5.2	<i>Meerwasserentsalzung</i>	16
5.3	<i>Brauchwassereinsatz.....</i>	16
6	Literaturverzeichnis.....	17

1 Einführung

Weltweit werden ca. 16% (250 Mio ha) der Ackerfläche bewässert. Das mag auf den ersten Blick nicht viel erscheinen, aber auf diesen 16% der Fläche erfolgen 40% der Welt-Agrarproduktion und 80% des Welt-Wasserverbrauchs werden für diese Flächen verwendet. (PAYER, 2001)

In vielen Teilen der Erde wäre ohne Bewässerung keine Landwirtschaft möglich, in anderen wird sie zur Optimierung der Erträge eingesetzt. Da aber lediglich 0,6% des Wassers auf der Erde als nutzbares Süßwasser vorkommen (Grund- und Oberflächenwasser) und diese 0,6% regional extrem ungleich verteilt sind, kommt es zu großen Nutzungskonflikten zwischen Landwirtschaft, Haushalten und Industrie. Über eine Milliarde Menschen haben keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser, der Wasserverbrauch der Metropolen steigt mit wachsender Größe und in vielen Ländern überschreitet die Grundwasserentnahme bereits die Grundwassererneuerung. Bei der Bewässerungslandwirtschaft ist also in besonderem Maße darauf zu achten, dass sparsam mit der knappen Ressource Wasser umgegangen wird. (BMZ, 2001)

2 Verbreitung der Bewässerungslandwirtschaft

2.1 Weltweite Verbreitung

Der Großteil der Bewässerungsflächen liegt mit 70% in Asien, aber auch im Nahen Osten und in Nordamerika und in Südeuropa wird ein großer Teil der landwirtschaftlichen Fläche bewässert.

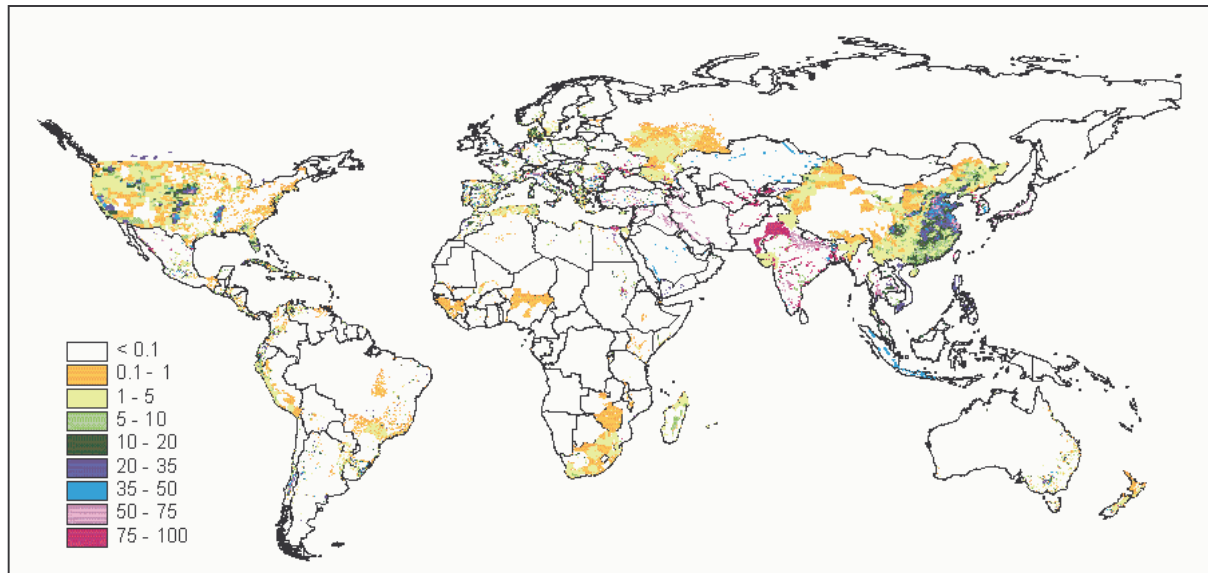


Abb.1: Bewässerte Flächen weltweit in % der landwirtschaftlichen Fläche (nach SIEBERT, 2002)

2.2 Verbreitung in Deutschland

In Deutschland werden ca. 4% der landwirtschaftlichen Fläche bewässert. Dies sind vor allem die Lößböden der Hildesheimer- und Magdeburger Börde, sowie die Weinanbaugebiete in Hessen und Rheinland-Pfalz:

Bundesland	Bewässerte Fläche
Bayern	1,05%
Baden-Württemberg	1,37%
Brandenburg	1,54%
Hessen	5,72%
Mecklenburg-Vorpommern	0,95%
Niedersachsen	8,60%
Nordrhein-Westfalen	2,24%
Rheinland-Pfalz	3,63%
Saarland	0,23%
Sachsen	2,96%
Sachsen-Anhalt	5,02%
Schleswig-Holstein	0,52%
Thüringen	1,90%

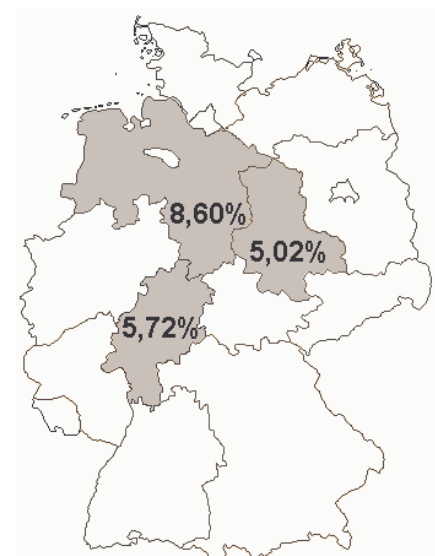


Abb.2: Bewässerte Flächen in Deutschland in % der landwirtschaftlichen Fläche (nach ROTH, 1995)

3 Methoden der Bewässerungslandwirtschaft

[nach WITHERS 1978 und ACHTNICH 1980]

Die Methoden in der Bewässerungslandwirtschaft sind sehr vielfältig. Einige sind im Einsatz, seit Menschen Ackerbau betreiben, andere sind im Zeitalter der Technik hinzugekommen. Nach Art der Wasseraufbringung unterscheidet man vier Bewässerungsverfahren: Oberflächenbewässerung, Unterflurbewässerung, Tropfbewässerung und Beregnung.

3.1 Oberflächenbewässerung

Bei der Oberflächenbewässerung wird Wasser auf der Bodenoberfläche oder in Furchen aufgestaut (Stauverfahren) oder über die Bodenoberfläche ablaufen gelassen (Rieselfverfahren), was zu einer gleichmäßigen Durchfeuchtung des gesamten Bodens führt. Die Oberflächenbewässerung wird seit Jahrtausenden angewendet und hat auch heute noch große Bedeutung da sie ein kostengünstiges Verfahren darstellt, das ohne aufwendige technische Anlagen zu betreiben ist.

3.1.1 Beckenbewässerung (Stauverfahren)

Bei der Beckenbewässerung werden einzelne Becken durch Erdwälle voneinander abgetrennt und mit Wasser angefüllt. Die Beckenbewässerung eignet sich für Felder mit geringem Gefälle ($< 0,1\%$) und schlechter bis mäßiger gesättigter Wasserleitfähigkeit ($< 1\text{cm/h}$). Überschreitet das Gefälle $0,1\%$ müssen Terrassen angelegt werden, um die Beckenbewässerung anwenden zu können:

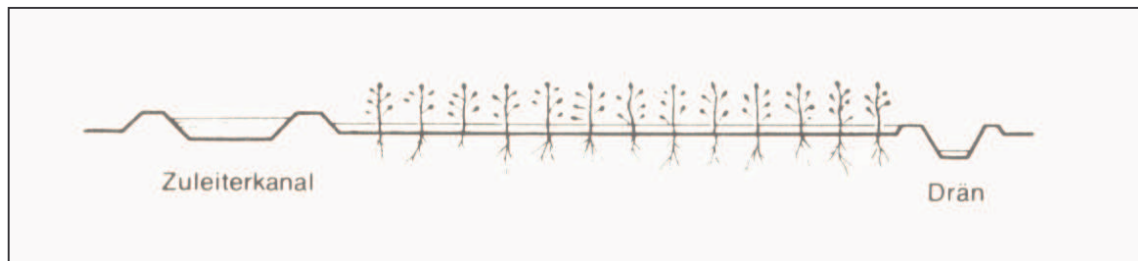


Abb.3: **Beckenbewässerung** (nach WITHERS 1978, S.38)

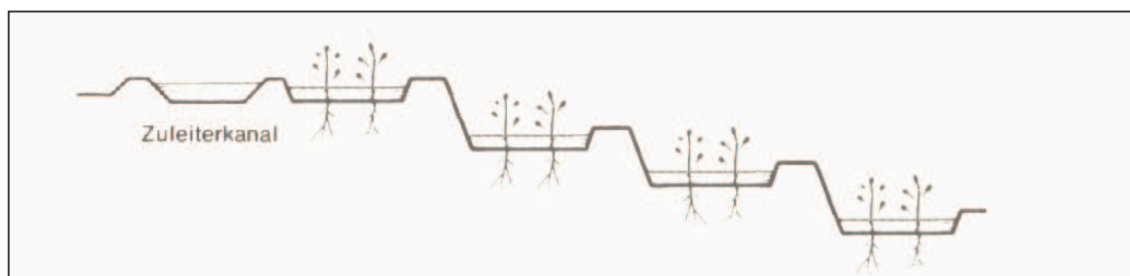


Abb.4: **Terrassenbewässerung** (nach WITHERS 1978, S.38)

Überschreitet die gesättigte Wasserleitfähigkeit 1cm/h ist der Einsatz der Beckenbewässerung nicht sinnvoll, da extreme Versickerungsverluste entstehen. Das Hauptproblem der Beckenbewässerung liegt allerdings nicht in den Versickerungsverlusten, sondern in den hohen Verdunstungsverlusten, da während der gesamten Vegetationsperiode eine offene Wasserfläche vorhanden ist, von der Wasser

verdunstet, so dass die Wassernutzungseffizienz bei der Beckenbewässerung nur bei 40-50% liegt. Ein weiteres Problem des dauerhaften Flächenüberstaus sind die reduzierenden Bedingungen, die sich durch Sauerstoffausschluss im Boden bilden. Dieses kann dazu führen, dass organisches Material von den Bakterien in Methan (CH_4) umgewandelt wird, das ausgast und zum „Treibhauseffekt“ beiträgt.

3.1.2 Furchenbewässerung (Stauverfahren)

Bei der Furchenbewässerung wird nicht die gesamte Fläche, sondern nur eine Furche zwischen den in Reihen gesäten Pflanzen mit Wasser übertaut. Dieses hat den Vorteil, dass die freie Wasseroberfläche kleiner wird und somit auch etwas weniger Wasser verdunstet. Auch die Durchlüftung des Bodens ist besser, so dass weniger Methan ausgast. Für die Furchenbewässerung wird, wie bei der Beckenbewässerung, ein ebenes Gelände und eine geringe gesättigte Wasserleitfähigkeit benötigt. Die gesättigte Wasserleitfähigkeit ist auch bei der Wahl des Furchenabstandes zu berücksichtigen: ist die horizontale Wasserleitfähigkeit (resultierend aus Gravitations- und Kapillarkräften) größer als die vertikale Wasserleitfähigkeit (ist, desto weiter können die Furchen voneinander entfernt sein.

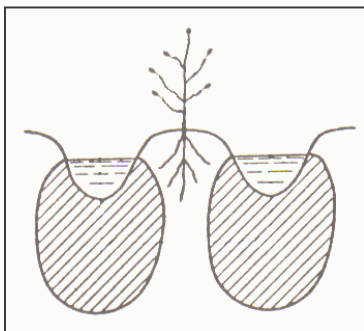


Abb.5: **Durchfeuchtung der Wurzelzone bei hoher Wasserleitfähigkeit eines leichten Bodens**
(nach ACHTNICH 1980, S.333)

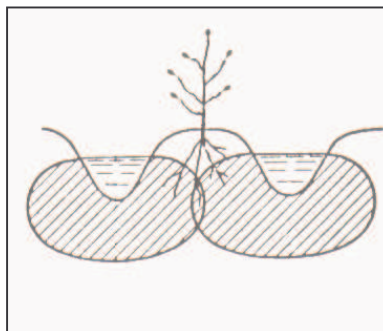


Abb.6: **Durchfeuchtung der Wurzelzone bei geringer Wasserleitfähigkeit eines schweren Bodens**
(nach ACHTNICH 1980, S.333)

Bei der Furchenbewässerung tritt zusätzlich das Problem der Versalzung auf, da das Wasser aus den Furchen nicht nur in den Wurzelraum versickert, sondern auch kapillar in den Dämmen aufsteigt und so gelöste Salze an die Bodenoberfläche transportiert die dort ausfallen und sich anlagern:

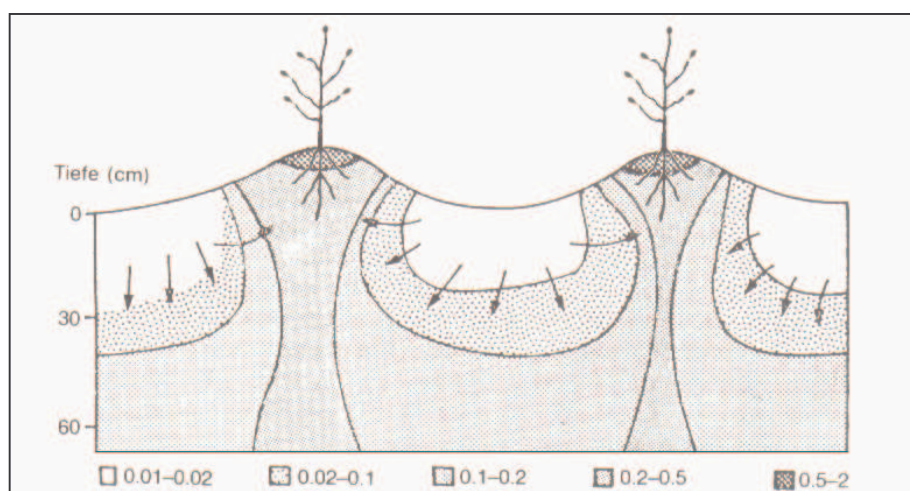


Abb.7: **Salzgehalt in verschiedenen Bodenzonen in %** (nach ACHTNICH 1980, S.333)

3.1.3 Rieselfverfahren

Bei der Berieselung werden die Becken oder Furchen nicht dauerhaft überstaut, sondern es wird Wasser entlang eines Gefälles über die Fläche laufen gelassen. Deshalb kommen für dieses Verfahren nur Flächen mit einem Gefälle $>0,1\%$ in Frage. Der Arbeitsaufwand wird durch das wiederholte überrieseln erhöht, die Verdunstungs- und Versickerungsverluste werden aber verringert, da das Wasser nicht dauerhaft auf der Fläche steht und genauer dosiert werden kann. Auch für dieses Verfahren muss die gesättigte Wasserleitfähigkeit des Bodens gering bis mäßig sein. Bei der Beckenberieselung muss darauf geachtet werden, dass auf der Seite, auf der das Wasser zugeleitet wird ein Streifen ohne Gefälle vorhanden ist, damit sich das Wasser erst auf die Breite des Beckens verteilen kann, ehe es entlang des Gefälles abfließt.

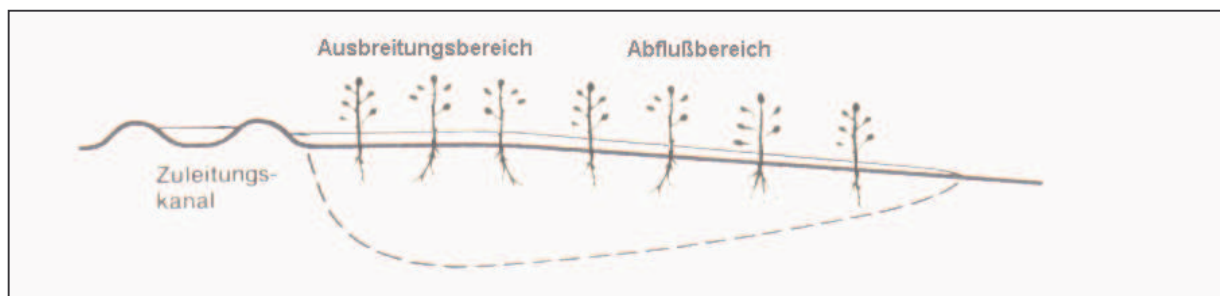


Abb.8: Rieselfbewässerung (nach WITHERS, 1978, S.31)

3.2 Unterflurbewässerung

Bei der Unterflurbewässerung wird Wasser unterirdisch eingeleitet, um eine Verdunstung an der Bodenoberfläche zu verhindern. Die Unterflurbewässerung erfolgt entweder durch Grundwasseranhebung mittels tiefer Gräben oder durch ein Rohrsystem. Voraussetzung ist ein gut durchlässiger Oberboden auf einem schlecht durchlässigen Unterboden.

3.2.1 Unterflurbewässerung durch Anheben des Grundwasserspiegels

Über die Gräben wird der Grundwasserspiegel künstlich angehoben und hoch gehalten, so dass Wasser aus dem Untergrund kapillar in den Wurzelraum aufsteigen kann:

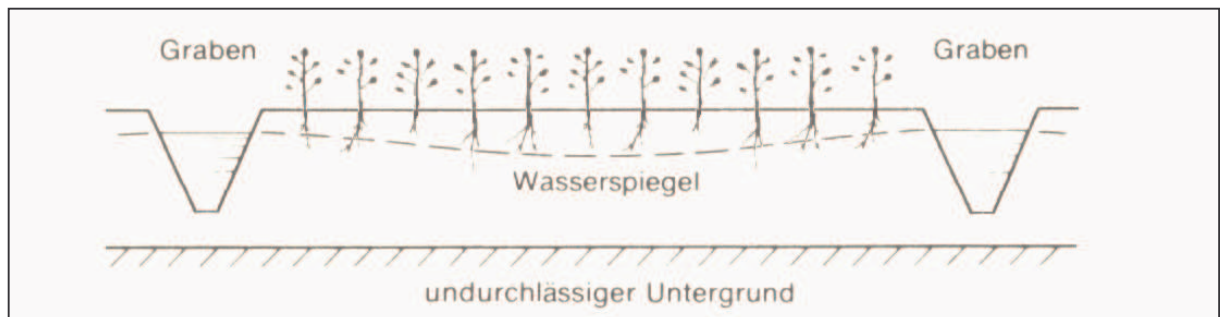


Abb.9: Unterflurbewässerung durch Anheben des Grundwasserspiegels (nach WITHERS, 1978, S.39)

Dadurch dass das Wasser nicht von oben versickert, sondern von unten aufsteigt, können zwar Verdunstungsverluste vermieden werden, es kann aber auch sehr leicht zur Versalzung des Oberbodens kommen, da mit dem aufsteigenden Wasser auch immer gelöste Salze nach oben transportiert werden, die sich im Wurzelraum ablagern.

3.2.2 Unterflurbewässerung durch Rohre

Die Installation eines Rohrsystems ist im Vergleich zur Grundwasseranhebung sehr aufwendig und teuer, ermöglicht aber eine genauere Dosierung des Wassers sowie die Einspeisung von Nährstoffen. Wichtig ist, dass die Rohre gut gegen Versandung geschützt sind und so tief liegen, dass die Bodenbearbeitung nicht behindert wird.

3.3 Tropfbewässerung

Bei der Tropfbewässerung werden Schläuche ober- oder unterirdisch im Bestand verlegt und an jeder Pflanze ein Tropfer installiert. Das führt dazu, dass immer nur der direkte Wurzelraum einer Pflanze befeuchtet wird und kein Wasser aus dem übrigen Boden versickern oder verdunsten kann. Es führt aber auch dazu, dass das System nur auf einzeln stehende Kulturen und wegen des hohen Arbeitsaufwandes auch hauptsächlich an Dauerkulturen (z.B. Wein-, Oliven- oder Obstbau) angewendet werden kann. Die Tropfbewässerung ist das Verfahren mit der höchsten Wassernutzungseffizienz (80-90%) und den geringsten schädlichen Nebeneffekten (keine Versalzung, keine Methanausgasung, keine Verschlammung). Positiv ist auch die Möglichkeit der Einspeisung von Nährstoffen sowie ein reduziertes Unkrautwachstum, da das Wasser nur den Kulturpflanzen zur Verfügung steht.

3.3.1 Oberirdische Tropfbewässerung

Eine Tropfbewässerungsanlage gliedert sich immer in die drei Bereiche Steuereinheit, Tropferleitung und Tropfer. Die Steuereinheit kann von Hand oder automatisch über ein Tensiometer im Bestand gesteuert werden. Die Tropferleitungen liegen bei der oberirdischen Tropfbewässerung auf der Bodenoberfläche. Die Tropfer können sehr verschieden sein, häufig werden der Langwegkanal oder aufsteckbare Tropfer verwendet.

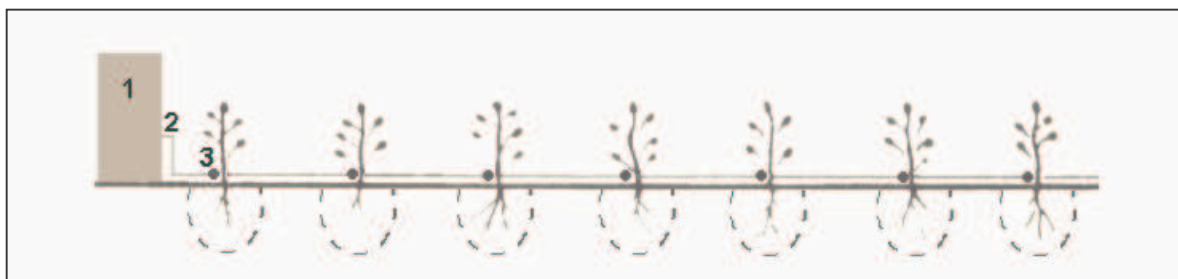


Abb.10: Oberirdische Tropfbewässerungsanlage (1 = Steuereinheit, 2 = Tropferleitung, 3 = Tropfer)

3.3.2 Unterirdische Tropfbewässerung

Bei der Unterirdischen Tropfbewässerung werden die Tropferleitungen nicht auf der Bodenoberfläche, sondern unterirdisch verlegt. Die Installation ist dadurch aufwendiger und die Leitungen können bei Bedarf nicht so flexibel verschoben werden.

3.4 Beregnung

Die Beregnung ist das einzige Verfahren, beim dem das Wasser nicht direkt auf oder in den Boden gebracht wird, sondern über dem Bestand verregnet wird. Dieses führt durch hohe Verdunstungs- und Interzeptionsverluste zu einer relativ geringen Wassernutzungseffizienz von 60-70%. Neben der Bewässerung werden Beregnungsanlagen auch zur Frostschutzberegnung und zur Aufbringung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln verwendet. Je nach Bauart unterscheidet man ortsfeste-, teilortsfeste- und vollbewegliche Anlagen.

3.4.1 Ortsfeste Anlagen

Bei den ortsfesten Anlagen sind sowohl das Pumpwerk, als auch die Zufuhr- und Regnerleitungen fest installiert. Häufig sind die Zuleitungsrohre unterirdisch verlegt. Diese Art der Beregnung eignet sich nur für Dauerkulturen wie den Obstbau, da ein Verlegen der Rohre mit hohem Aufwand verbunden ist.

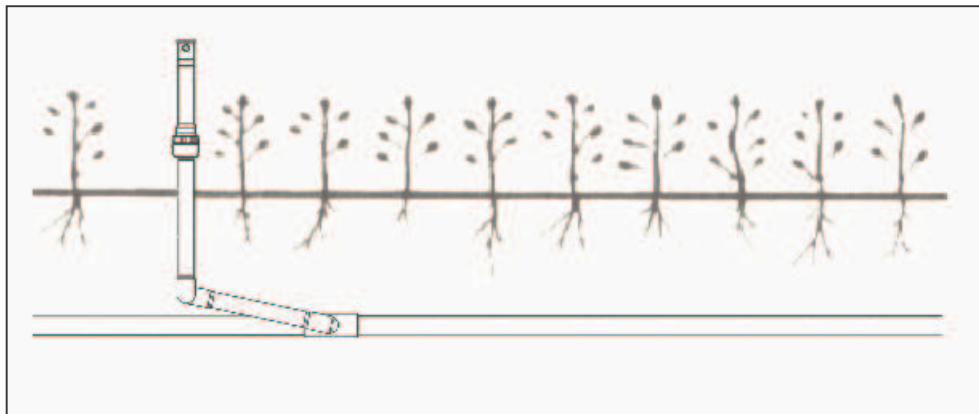


Abb.11: Ortsfeste Beregnungsanlage (nach AFCEE, 1998)

3.4.2 Teilortsfeste Anlagen

Bei den teilortsfesten Anlagen sind Pumpwerk und Zufuhrleitungen fest installiert, die Regnerleitungen lassen sich aber flexibel im Bestand bewegen. Hierzu zählen auch Verfahren wie die Kreisberegnung oder Systeme, bei denen ein Regnerwagen an Seilen oder ein Regnerschlitten am Wasserschlauch durch den Bestand gezogen werden.

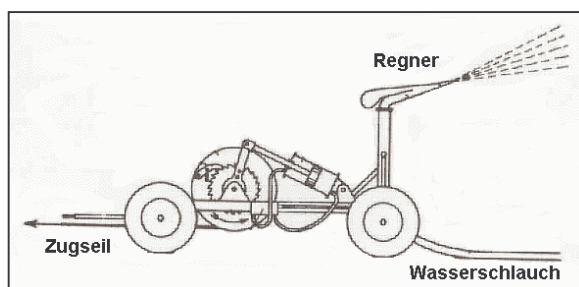


Abb.12: Regnerwagen (nach ACHTNICH, 1980)

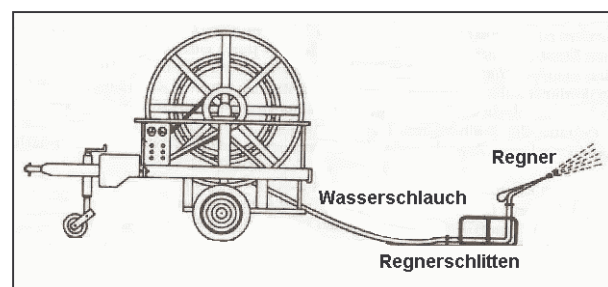


Abb.13: Regnerschlitten (nach ACHTNICH, 1980)

3.4.3 Vollbewegliche Anlagen

Bei den Vollbeweglichen Anlagen sind auch das Pumpwerk und die Zufuhrleitungen flexibel einsetzbar.

3.5 Vergleich der Verfahren

	Oberflächenbewässerung	Unterflurbewässerung	Beregnung	Tropfbewässerung
Verdunstungsverluste	hoch	gering	hoch	gering
Versickerungsverluste	mittel	hoch	gering	gering
Wassernutzungseffizienz	40-50%		60-70%	80-90%
Versalzungsgefahr	gering	hoch	hoch	gering
Verschlämmungsgefahr	mittel	gering	hoch	mittel
Methanausgasung	ja	nein	nein	nein
Installationskosten	gering	gering bis mittel	hoch	hoch
Geeignete Böden	schwere Böden, kein Gefälle	leitfähiger Oberboden auf undurchlässigem Untergrund, kein Gefälle	alle Böden, kein bis leichtes Gefälle	alle Böden, jedes Gefälle
Mögliche Kulturarten	Stauwasser-tolerante Arten, z.B. Reis	Alle	Alle	hauptsächlich Dauerkulturen z.B. Wein, Oliven, Obst aber auch Gemüseanbau

Abb14: Vergleich der Bewässerungsverfahren

4 „Grenzen“

Technisch sind die Bewässerungssysteme weit entwickelt und es gibt Systeme die eine genau gesteuerte, sparsame Bewässerung ermöglichen. Technisch ist also vieles möglich. Häufig sind allerdings nicht die finanziellen Mittel und auch nicht das technische Wissen vorhanden, solche Systeme einzusetzen. Eine weitaus größere Rolle als begrenzender Faktor spielt aber in allen Bereichen der Bewässerungswirtschaft die Knappheit der Ressource Wasser. Von den 1.384.120.000 km³ Wasser die es auf der Erde gibt, sind lediglich 0,6% für die Bewässerungswirtschaft verfügbares Süßwasser. Der Rest ist Salzwasser (97%) oder als Eis (2%) an den Polen fixiert.


Salzwasser	97,38%
 Süßwasser	2,01% Eis
	0,58% Grundwasser/Bodenwasser
	0,02% Seen/Flüsse
	0,01% Atmosphäre

Abb.15: Wasservorkommen der Erde (nach SCHOENIGER, 2002)

5 „Möglichkeiten“

Eine gute Möglichkeit Wasser zu sparen ist der Einsatz von Bewässerungssystemen mit hoher Wassernutzungseffizienz wie der Tropfbewässerung. Da diese Technik aber nicht in allen Bereichen einsetzbar ist und die Installation nicht immer finanziert werden kann, sollen hier einige alternative Möglichkeiten zur Wassereinsparung genannt werden.

5.1 Bedarfsberechnung

Bei allen Verfahren, bei denen nicht dauerhaft Wasser auf den Flächen steht, sind Wassereinsparungen möglich, indem wirklich nur so viel Wasser auf die Flächen aufgebracht wird, wie die Pflanzen (nach Abzug der Verdunstungs- und Versickerungsverluste und Addition des Niederschlags) benötigen. Für eine genaue Berechnung sind also Kenntnisse über Klima und Boden nötig.

5.1.1 Klima (nach SCHOENIGER, 2002)

5.1.1.1 Niederschlag

Um den Bewässerungsbedarf zu berechnen, muss bekannt sein, wie viel Wasser den Pflanzen über natürlichen Niederschlag zur Verfügung steht. Niederschlagsmessung kann entweder über die Messung vor Ort erfolgen (z.B. mit einem Hellmann-Niederschlagsmessgerät) oder es können Daten von verschiedenen Organisationen abgerufen werden. (z.B. DWD, Deutscher Wetterdienst, www.dwd.de).

5.1.1.2 Verdunstung

Nicht alles Wasser das über Niederschläge (oder Bewässerung) zugeführt wird, steht der Pflanze zur Verfügung. Ein Teil wird auch vom umliegenden Boden verdunstet. Diese Verdunstung aus dem Boden nennt man *Evaporation*. Auch die Pflanze selber verdunstet Wasser, wobei man von *Transpiration* spricht. Die Summe aus Evaporation und Transpiration ist die so genannte *Evapotranspiration*. Neben der Evapotranspiration verdunstet auch Wasser über *Interzeption* (direkte Verdunstung von der Vegetationsoberfläche).

Bei der Evapotranspiration ist es wichtig, zwischen aktueller Evapotranspiration (ET_a) und potentieller Evapotranspiration (ET_p). Die ET_a beschreibt die Evapotranspiration bei aktuellem Wasserangebot und aktueller Vegetation, die ET_p beschreibt die Evapotranspiration bei optimalem Wasserangebot und genau definierter Vegetation (kurz geschnittenes Raygras). Für die Bewässerung ist also die ET_a entscheidend, da je nach Kulturart eine andere Evapotranspiration zu erwarten ist.

Die Messung der Verdunstung erfolgt am einfachsten über einen mit Wasser gefüllten Behälter (Class-A-Pan). Die Ergebnisse dieses Verfahrens beziehen sich aber immer auf die Verdunstung von der freien Wasseroberfläche und sind so nur aussagekräftig, wenn es sich um Stauverfahren handelt. Bei allen Verfahren, wo Wasser in den Boden eingebracht wird, muss mit einem Lysimeter gemessen werden.

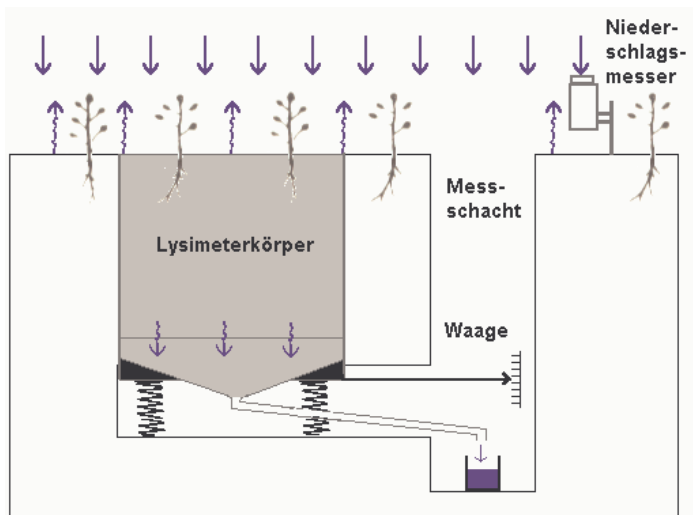


Abb.16: Lysimeter (nach SCHOENIGER, 2002)

Bei der Lysimetermessung wird versucht, einen Bodenblock möglichst störungsfrei auf eine im Boden versenkte Waage zu stellen und mit einem Abfluss zu versehen. So kann über die Messung von Niederschlag, Sickerwasser und Bodenwasser die Verdunstung bestimmt werden.

Außerdem kann die Verdunstung über verschiedene, je nach Standort modifizierte Formeln berechnet werden, z.B. Formel nach Penman-Monteith oder eine Modifikation nach Haude in die ein spezieller Küstenfaktor einfließt.

5.1.2 Boden (nach SCHEFFER, 1998 und SCHROEDER, 1992)

Auch der Boden spielt bei der Berechnung der Bewässerungsmenge eine Rolle. Je nachdem, welche Körnung und welches Gefüge der Boden hat, kann mehr oder weniger Wasser versickern. Auch die Menge an Wasser, die der Boden speichern und wieder an die Pflanzen abgeben kann ist je nach Bodenart verschieden.

5.1.2.1 Körnung

Mit Körnung bezeichnet man die Größenverteilung der Bodenpartikel. Man unterscheidet Grobboden (Kies, Steine) und Feinboden. Der Feinboden (der für den Wasserhaushalt des Bodens entscheidend ist) untergliedert sich in *Sand* ($>63\mu\text{m}$), *Schluff* ($63-2\mu\text{m}$) und *Ton* ($<2\mu\text{m}$). Das Wasser wird an diesen Bodenpartikeln als Adsorptionswasser und Kapillarwasser gebunden.

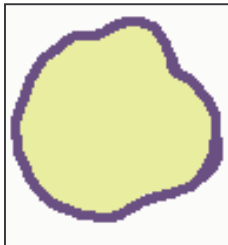


Abb.17: Adsorptionswasser



Abb.18: Kapillarwasser

Je feiner die Körnung des Bodens ist, desto größer ist auch seine Oberfläche und desto mehr Wasser kann gebunden werden. Dieses an den Bodenpartikeln gebundene Wasser wird *Haftwasser* genannt.

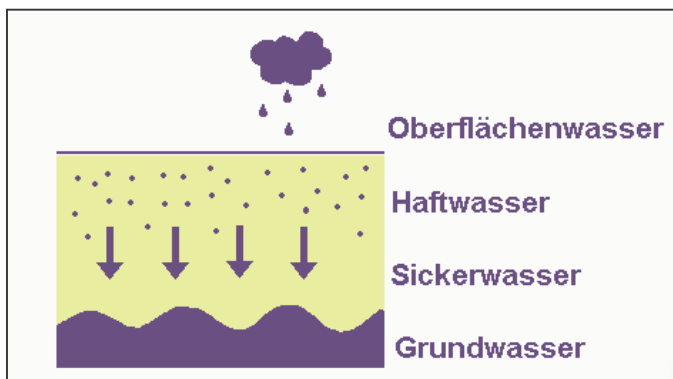


Abb.19: Einteilung des Bodenwassers

Das *Haftwasser* stellt die maximale Wassermenge dar, die ein Boden speichern kann, man nennt dies auch *Feldkapazität (FK)*. Je feiner also die Bodenstruktur ist, desto höher ist seine Feldkapazität (Ton $>$ Schluff $>$ Sand). Wird die Feldkapazität überschritten, versickert das zusätzliche Wasser.

5.1.2.2 Feldkapazität

Das Haftwasser ist also das Wasser, das im Boden vorhanden ist und von den Pflanzen aufgenommen werden kann. Ein Teil des Haftwassers ist aber so stark an den Boden gebunden (es liegt eine hohe Wasserspannung vor), dass die Pflanzen es ihm nicht entziehen können. Man nennt diesen Teil des Haftwassers *Totwasser*. Das *Sickerwasser* bewegt sich unterschiedlich schnell (erst schnell in den groben Bodenporen, dann langsam in den feinen Bodenporen), so dass der langsam bewegliche Teil des Sickerwassers auch für die Pflanzen zur Verfügung steht.

Das pflanzenverfügbare Wasser, auch *nutzbare Feldkapazität (NFK)* genannt, setzt sich also zusammen aus dem Haftwasser (abzüglich des Totwassers) und dem langsam beweglichen Sickerwasser. Dieses ist auch in der so genannten pF-Kurve dargestellt.

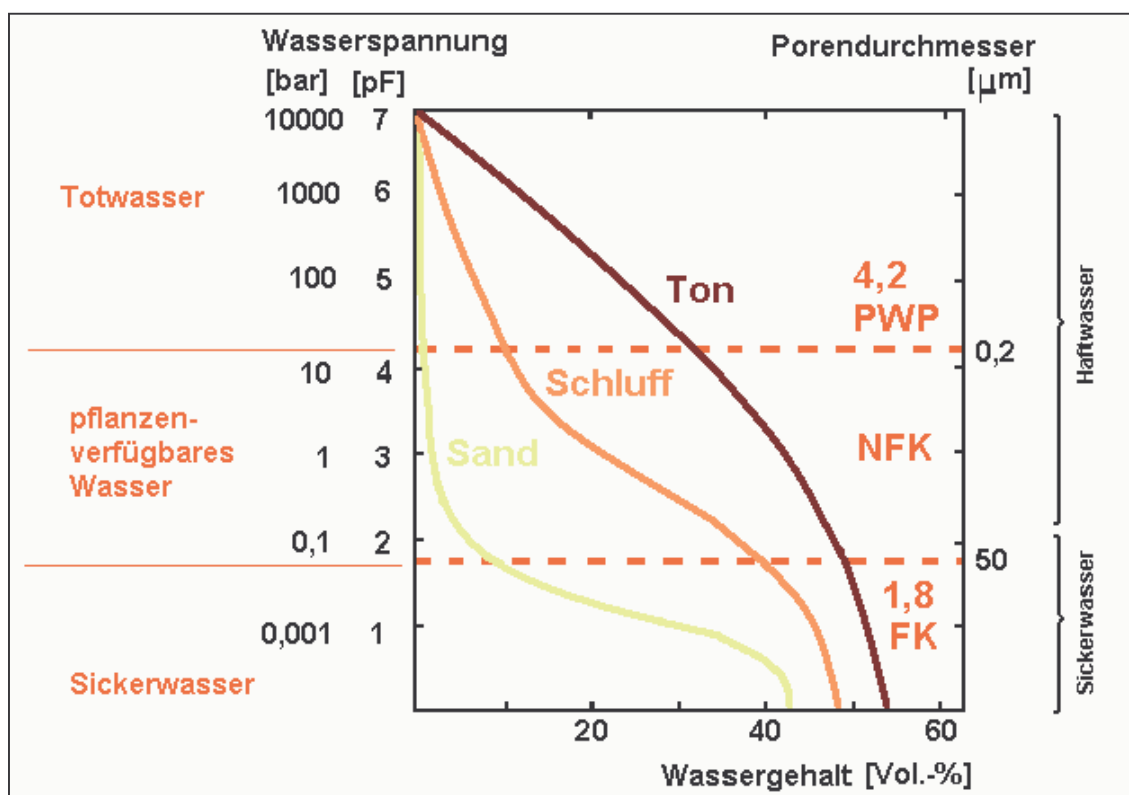


Abb.20: pF-Kurve (PWP = permanenter Welkepunkt, NFK = Nutzbare Feldkapazität, FK = Feldkapazität) (nach SCHROEDER, 1992)

Aus der pF-Kurve ergibt sich, dass der Ton trotz hoher Feldkapazität eine geringere nutzbare Feldkapazität hat, da beim Ton auch der Anteil an Totwasser höher ist. Für das pflanzenverfügbare Wasser ergibt sich also: Schluff > Ton > Sand.

5.2 Meerwasserentsalzung

Eine Möglichkeit um auf Grundwassernutzung für Bewässerung zu verzichten ist die Entsalzung von Meerwasser. Da die Verfahren sehr aufwendig sind und viel Energie verbrauchen, werden sie aber noch wenig angewendet. Besonders Energieaufwendig ist die Entsalzung über *Destillation*. Weniger Energieaufwendig ist die Entsalzung über *Umkehrosmose*, bei der über Druckeinwirkung der Prozess der Osmose umgekehrt wird. Das Wasser fließt also nicht in die Lösung mit der höheren Salzkonzentration sondern wird durch Druckeinwirkung aus dieser verdrängt.

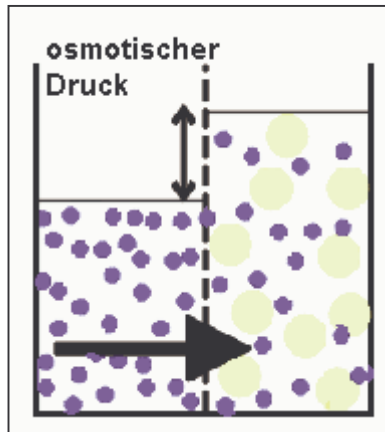


Abb.21: **Osmose** (nach AQUATEC)
(rechte Kammer Salzwasser,
linke Kammer Süßwasser)

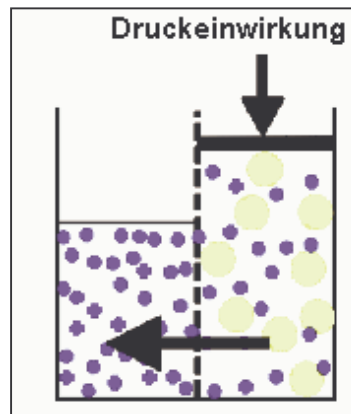


Abb.22: **Umkehrosmose** (nach AQUATEC)
(rechte Kammer Salzwasser,
linke Kammer Süßwasser)

5.3 Brauchwassereinsatz

Bei Brauchwasser handelt es sich um vorbehandeltes Abwasser, das aber noch mit Nährstoffen angereichert ist. Besonders in Kleinkläranlagen fällt viel dieses vorgeklärten Wassers an, da dort keine Anlagen zur chemischen Reinigung des Abwassers zur Verfügung stehen. In den Kläranlagen wird Abwasser zuerst *mechanisch* gereinigt, das heißt es wird Sand abgesetzt und Schwebstoffe und Fette werden abgefischt. Dann erfolgt eine *biologische* Reinigung, bei der Bakterien die organischen Stoffe des Abwassers abbauen. Nach diesem Reinigungsschritt ist das Wasser also reich an mineralisierten Nährstoffen (hauptsächlich Stickstoff). Diese werden in Kläranlagen während der *chemischen* Reinigung unter anaeroben Bedingungen zu elementarem Stickstoff reduziert. Da die chemischen Verfahren sehr aufwendig sind, werden sie in Kleinkläranlagen nicht angewendet. Das vorgereinigte Wasser wird bei Kleinkläranlagen in Gewässer eingeleitet oder verrieselt. Diese Verrieselung kann auch auf landwirtschaftlichen Flächen erfolgen, allerdings sollte das Wasser nicht verregnet werden sondern besser direkt auf den Boden aufgebracht werden, um eine Verschmutzung der Pflanzen mit eventuellen Abwasserrückständen zu vermeiden.

6 Literaturverzeichnis

ACHTNICH, W.: Bewässerungslandbau
Ulmer, Stuttgart, 1. Auflage 1980, ISBN 3-8001-2124-7

AFCEE (The Air Force Center for Environmental Excellence)
<http://www.afcee.brooks.af.mil/dc/dcd/land/lbg/s12Irrigation/index.html>

AQUATEC, Ingenieurbüro Heinemann
<http://www.aquatec-ger.com/deutsch/frames.htm>

BMZ (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung)
Wasser – Antworten auf die globale Krise (Nr. 114)

PAYER, A.: Einführung in die Entwicklungsländerstudien
Online-Skript der HBI Stuttgart, <http://www.payer.de/entwicklung/entw02.htm>

SCHEFFER, F. / SCHACHTSCHABEL, P.: Lehrbuch der Bodenkunde
Enke, Stuttgart, 14. Auflage 1998, ISBN 3-432-84774-2

SCHOENIGER, M. / DIETRICH, J.: Hydrologie
Online-Skript der TU Braunschweig, http://www.hydroskript.de/html/_index.html

SCHROEDER, D.: Bodenkunde in Stichworten
Hirt, Berlin/Stuttgart, 5. Auflage 1992, ISBN 3-443-03103-X

WITHERS, B. / VIPOND, S. / LECHER, K.: Bewässerung
Parey, Berlin/Hamburg, 1. Auflage 1978, ISBN 3-489-71510-1