

Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 75 (1977)

Heft: 1: Sonderheft zum Weiterbildungskurs "Herkömmliche und neue Methoden der Feldbewässerung : Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung"

Artikel: Die physiologischen Gegebenheiten des Wasserhaushaltes der Kulturpflanzen im Hinblick auf den Bewässerungsfeldbau

Autor: Heim, G.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-228740>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 03.05.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

den-Wasser verständlich zu machen oder in Erinnerung zu bringen. Von dort her sind die Bemessungsgrundlagen für die Bewässerung abzuleiten. Diese ist ja immer nur Teil einer umfassenden Lösung, was voraussetzt, komplexe Ziele zu erkennen und diese dann in interdisziplinärer Arbeit anzusteuern.

Die Veranstalter haben sich – nicht zuletzt aus Zeitgründen – darauf beschränkt, über die drei zurzeit wichtigsten Verfahren – die sogenannte Oberflächenbewässerung, die künstliche Feldberegnung und die Tropfenbewässerung – berichten und Kostenfragen dazu erörtern zu lassen.

Die physiologischen Gegebenheiten des Wasserhaushaltes der Kulturpflanzen im Hinblick auf den Bewässerungsfeldbau

G. Heim

1. Einleitung

Das Verständnis für die Zusammenhänge zwischen den Bedürfnissen der Kulturpflanzen und den Pflegemassnahmen setzt die Kenntnis der klimatologischen Faktoren der Anbaugebiete voraus. Dabei interessieren im Hinblick auf den Wasserhaushalt besonders die tropischen und subtropischen Klimazonen, weil dort im Gegensatz zu den gemässigten Zonen der jahreszeitlich wechselnde Sonnenstand eine periodische Folge von Regen- und Dürrezeiten bewirkt. Da es sich bei den Niederschlägen in den Tropen und Subtropen um zenitale Regen handelt, treten im engern Äquatorialgebiet zwei Hauptregenzeiten um die Zeit der Äquinoktien auf, die durch zwei trockenere Jahreszeiten getrennt sind. In dieser äquatorialen Zone zwischen Äquator und 10° nördlicher beziehungsweise südlicher Breite liegen die drei Vegetationsgürtel des feuchten immergrünen Waldes, des laubwerfenden Feuchtwaldes und der Feuchtsavanne.

Mit zunehmender Entfernung vom Äquator rücken die beiden Zenitstände der Sonne und somit auch die Regenzeiten zeitlich näher zusammen, bis sie an den Wendekreisen sich zu einer Regenzeit pro Jahr vereinen, der eine lange Dürrezeit folgt. Gleichzeitig nimmt die absolute Menge der Niederschläge auf etwa 100 mm an den Wendekreisen ab. Diese tropische Sommerregenzzone zwischen 10° Breite und den Wendekreisen wird ebenfalls in drei Vegetationsgürtel eingeteilt, nämlich in die Trockensavanne, die Dornstrauchsavanne und die Halbwüste.

Nördlich beziehungsweise südlich an die Wendekreise schliesst sich die subtropische Trockenzone an. Sie umfasst einen Gürtel zwischen 23½° und 35° Breite. Hier sind die Jahresniederschläge sehr gering oder sie fehlen ganz. Im Sinne eines naturgeographischen Landschaftsgürtels spricht man hier von Wüsten. Ohne künstliche Bewässerung kann hier pflanzliche Vegetation

nur noch in Senken angetroffen oder dort angebaut werden, wo Grundwasservorräte für eine genügende Bodenfeuchtigkeit sorgen.

2. Die Gesetzmässigkeiten des Wasserhaushaltes der Pflanzen

Bei dieser vorgängigen Betrachtung der Klimazonen wurde klar, dass sich in den Gebieten der tropischen Sommerregenzzone und der subtropischen Trockenzone die Tatsache einer mangelnden Wasserversorgung beziehungsweise einer ungleichen jahreszeitlichen Verteilung der Niederschläge einerseits und die hohen Temperaturen sowie die starke, fast ganzjährige Sonnenbestrahlung im Hinblick auf eine intensive pflanzenbauliche Nutzung als negative beziehungsweise positive Faktoren gegenüberstehen. In pflanzenphysiologischer Denkweise ausgedrückt bedeutet dies, dass ein im Überschuss vorhandenes Energieangebot in Form von Lichtstrahlen wegen eines gleichzeitigen Mangels an Wasser nicht ausgenutzt werden kann. Im Bestreben, die Seite des Minimumfaktors zu verbessern, drängt es sich auf, sich mit den Gesetzmässigkeiten des pflanzlichen Wasserhaushaltes näher zu befassen.

2.1 Die Bedeutung des Wassers für die Pflanze

Das Wasser ist wohl der wichtigste Lebens- und Wachstumsfaktor der Pflanzen. Es bildet in der Zelle das Lösungsmittel für den grössten Teil der am Stoffwechsel beteiligten Substanzen. Es stellt zusammen mit Kohlendioxyd nicht nur die Ausgangsbasis der pflanzlichen Photosynthese dar, sondern beteiligt sich auch als Reaktionspartner an ihren Umsetzungen und nimmt an zahlreichen anderen Stoffwechselreaktionen teil. Im weiteren bewirkt es als Quellungswasser der Zellkolloide den Turgor der Pflanzen. Der grösste Teil des Wassers dient aber als Transpirationswasser der Stoffaufnahme sowie dem internen Stofftransport und wird als Wasserdampf wieder abgegeben.

Der totale Wasserbedarf einer Pflanze im Verlauf der Vegetationsperiode ist sehr hoch; man pflegt ihn landwirtschaftlich durch eine Verhältniszahl, den sogenannten Transpirationsquotienten zu definieren.

Man versteht unter diesem Begriff die Anzahl Kilogramm Wasser, die von der entsprechenden Pflanze pro Kilogramm produziertes Erntetrockengewicht während der ganzen Vegetationszeit verbraucht wurde.

Dieser Transpirationsquotient kann in weiten Grenzen schwanken und beträgt nach K. Schmalfluss für verschiedene Kulturpflanzen, je nach Standortklima und

Sorte, 300–800 kg Wasser je Kilogramm produzierte Trockensubstanz. Bei der Annahme eines durchschnittlichen Wertes von 500 kg Wasser pro kg produzierte Trockenmasse würden für die Erzeugung einer Zuckerrübenenernte von 40 Tonnen pro Hektar, d. h. 10 Tonnen Trockenmasse eine Wassermenge von 5000 Tonnen Wasser benötigt werden. Das entspricht einer Niederschlagsmenge von 500 mm. Normalerweise fallen in unserem gemässigten Klima kaum 500 mm Niederschlag während der Zuckerrübensaison; die Kultur ist daher auf die Vorräte an Bodenwasser aus den Winterniederschlägen angewiesen.

2.2 Die Wasseraufnahme

Die Wasseraufnahme kann grundsätzlich über die gesamte Pflanzenoberfläche geschehen. Dieses Prinzip gilt vor allem für die niederen Pflanzen, während die höheren Pflanzen, zu denen praktisch alle unsere Kulturpflanzen gehören, das Wasser durch ihr Wurzelsystem aus dem Boden aufnehmen. Der Boden ist daher als Speicherraum und Vermittler des Wassers zu betrachten.

Die eigentlichen wasseraufnehmenden Organe sind die Wurzelhaare, die ihrer Umgebung mit Hilfe osmotischer Kräfte Wasser und darin gelöste Nährstoffe entziehen und über die Wurzeln an die grünen Pflanzenteile liefern. Diese ihrerseits geben einen grossen Teil des aufgenommenen Wassers als Transpirationswasser wieder an die Atmosphäre ab.

Für die Kräfte, die bei der Wasseraufnahme, dem Wassertransport und der Wasserabgabe wirksam sind, hat H. Walter den Begriff Hydratur eingeführt. Er ist als spezifischer Wasserzustand zu verstehen, d. h. als Mass für den thermodynamischen Zustand wasserhaltiger Körper und wird gleichsam als relativer Wasserdampfdruck definiert. Die Hydratur der verschiedenen Systeme, in denen die Pflanze steht oder die sie selbst bildet, d. h. Boden, Zellwand, Zellsaft und Atmosphäre, wird, auf das entsprechende System übertragen, als Bodensaugkraft, osmotischer Druck oder relative Luftfeuchtigkeit ausgedrückt. Die relativen Differenzen und zusätzlicher Arbeitsaufwand sind im wesentlichen für die Aufnahme und den Transport von Wasser und Nährstoffen bzw. die Abgabe von Wasser massgebend. Je nach Art der trennenden Membranen spricht man von Diffusion, wenn eine permeable Membran zwei Lösungen unterschiedlicher Konzentration trennt. Der Durchgang erfolgt in Richtung des Konzentrationsausgleiches. Bei einer behinderten Diffusion ist das Passieren einer gelösten Substanz und eines Lösungsmittels durch die Grösse der Membranporen und die Dicke der Membrane selbst begrenzt. Eine erleichterte Diffusion liegt dann vor, wenn einzelne Substanzen selektiv und rasch durch eine Membrane transportiert werden, indem sie möglicherweise für die Dauer des Durchganges eine reversible Bindung an spezifische Trägersubstanzen eingehen. Bei semi-permeablen Membranen schliesslich wandert nur noch Wasser und kaum noch gelöste Substanz durch die Membran in Richtung der konzentrierten Lösung. In diesem Falle spricht man vom Vorgang der Osmose. Während die gelösten Nährstoffe und Spurenelemente nach den vorher erwähnten Prinzipien der Diffusion und Permeabilität in die Pflanzen aufgenommen werden,

erfolgt die Wasseraufnahme auf dem letztgenannten Wege der Osmose.

2.3 Die Rolle des Bodenwassers

Die konzentrierte Lösung des Zellsaftes übt auf Grund des Konzentrationsgefälles einen Sog auf die Wassermoleküle jenseits der Membran auf, d. h. sie weist eine Saugspannung auf, ausgedrückt in Druckeinheiten, z. B. atm. Es leuchtet aber ein, dass eine Wasseraufnahme nur möglich ist, solange die Saugspannung in den Wurzelhaarzellen grösser als die Bodensaugkraft ist. Diese Saugkraft bewegt sich zwischen 5 und 10 Atmosphären und ist bei normaler Wasserversorgung des Bodens einige Atmosphären grösser als die Bodensaugkraft, so dass sie in den meisten Fällen für eine genügende Aufnahme von Haftwasser ausreicht.

Beim Haftwasser handelt es sich um Wasser, welches in Kapillaren zwischen den Bodenteilchen festgehalten wird, im Gegensatz zum Senkwasser, welches verhältnismässig rasch zum Grundwasserspiegel absinkt und deshalb nur noch ausnahmsweise durch besondere tiefwurzelnnde Pflanzen zur Wasserversorgung direkt benutzt werden kann.

Das spezifische Fassungsvermögen eines Bodens an Haftwasser, d. h. seine Wasserkapazität ist daher für den Nutzeffekt einer Bewässerungsanlage ein wichtiger Faktor, weil möglichst wenig des mit Kraftaufwand aus dem Grundwasser gehobenen Wassers gleich wieder dorthin abfliessen soll. Die Wasserkapazität wird u. a. durch die Porengrösse und den Gehalt an organischen Substanzen positiv beeinflusst. Praktische Massnahmen zur Schaffung einer möglichst günstigen Wasserversorgung der Kulturpflanzen sollen daher auf die Erhöhung des Anteils des Kapillarwassers am Gesamtwasser abzielen. Dies kann durch die Schaffung und Erhaltung der Krümelstruktur geschehen. Eine solche Krümelstruktur begünstigt gleichzeitig auch die lebensnotwendige Versorgung der Wurzeln mit Luftsauerstoff. Auf Grund dieser beiden Anforderungen wurde erfahrungsgemäss festgestellt, dass die Pflanze sich bei einer Wassersättigung des Bodens von etwa 60–80 % der vollen Kapazität am besten entwickelt.

Bei einer allmählichen Erschöpfung des Vorrats an Haftwasser im Boden infolge Austrocknung wird die Bodensaugkraft infolge zunehmender Konzentration der im Boden vorhandenen Ionen grösser als die Saugspannung in den Wurzelhaarzellen. Damit hört die Wasseraufnahme auf. Obwohl im Falle einer solchen Störung der Wasserversorgung die Pflanzen durch Schliessung der Spaltöffnungen die Wasserabgabe unterdrücken, können sie trotz verdunstungsverhindernden Einrichtungen, wie diffusions-feindlichen Cuticula, die Wasserabgabe durch die Oberfläche von Blättern und Sprossen nicht verhindern, und es kommt zu Welkeerscheinungen. Das Pflanzenwachstum wird aber nicht nur durch einen Mangel an verfügbarem Bodenwasser, sondern auch durch einen übermässigen Wassergehalt gehemmt. Abb. 1 stellt den schematisierten Verlauf der Wachstumskurve dar, wobei der Wassergehalt des Bodens beim Welkepunkt nicht einem allgemeingültigen Zahlenwert entspricht, sondern von der Textur des Bodens abhängt. In einem leichten Sandboden wird der Welkepunkt erst bei einem viel niedrigeren relativen Wassergehalt

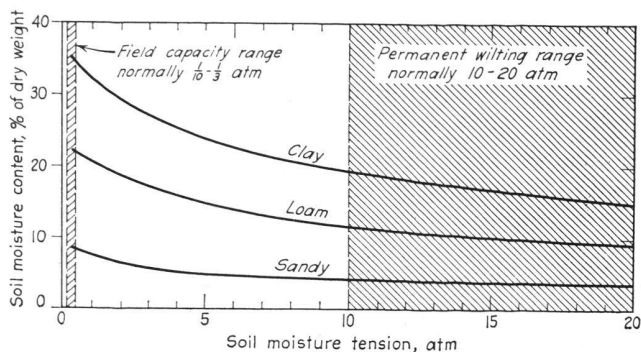


Abb. 1 Pflanzenwachstum in Abhängigkeit von der Bodenfeuchtigkeit. Aus: Israelsen, O. W. and Hansen, V. E.: Irrigation Principles and Practices. John Wiley and Sons, Inc., New York 1967, p. 267.

erreicht als bei einem schweren Tonboden, der das Wasser ungleich viel stärker festhält, und deshalb eine grosse Bodensaugkraft entwickelt.

Der andere Extremwert, ausserhalb welchem das Pflanzenwachstum nach null strebt, wird durch die Feldkapazität des Bodens gebildet, d. h. das Anfüllen aller Bodenporen mit Wasser. Die hemmende Wirkung wird in diesem Falle durch eine Störung der Wurzelfunktionen infolge Verdrängung der Bodenluft durch Wasser bewirkt. Der Praktiker kennt die Wachstumshemmungen, die an den Kulturen während und nach zeitweiligen Überschwemmungen entstehen. Sie können nur durch intensive Bodenbearbeitungsmassnahmen nach Abtrocknung des Bodens wieder behoben werden.

Abb. 2 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Wassergehalt verschiedener Bodentypen einerseits und der Feldkapazität und dem Welkepunkt andererseits.

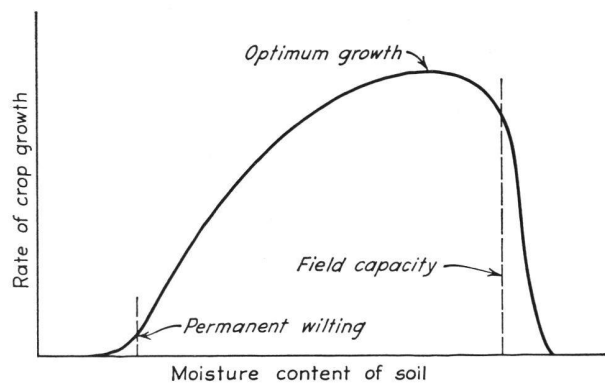


Abb. 2 Zusammenhang zwischen Bodensaugkraft und Wassergehalt bei verschiedenen Bodentypen. Aus: Israelsen, O. W. and Hansen, V. E.: Irrigation Principles and Practices. John Wiley and Sons, Inc., New York 1967, p. 158.

Die Feldkapazität, die einer Bodensaugkraft von $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{3}$ atm entspricht, wird in einem Tonboden (unter 0,002 mm Korngrösse) bei 35 % Wassergehalt, in einem Lehmboden (0,002–0,05 mm Korngrösse) bei 22 % und in einem Sandboden (0,05–1,0 mm Korngrösse) schon bei 9 % Wassergehalt erreicht. Die Bedingungen für das Entstehen von Welkeerscheinungen sind in Tonböden schon bei 20 %, in Lehmböden bei etwa 12 % und in Sandböden erst bei etwa 4 % Wassergehalt des Bodens erfüllt.

Wir haben schon oben erwähnt, dass die besten Entwicklungsbedingungen bei 60–80 % der Feldkapazität liegen. Im Interesse einer optimalen pflanzlichen Produktion ist es für den Bewässerungslandwirt sehr wichtig, den Wassergehalt des Bodens zu kennen, um Zeitpunkt und Menge der Wassergabe festzusetzen. Zur Messung des in der durchwurzelten Bodenzone vorhandenen Wasservorrates stehen im wesentlichen die folgenden Methoden zur Verfügung:

- Gravimetrische Methode, d. h. Bestimmung des Gewichtsverlustes einer Bodenprobe bei der Trocknung mit Wärme,
- Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit als Funktion des Wassergehaltes,
- Messung der Abbremsungsrate von schnellen Neutronen durch den Wassergehalt des Bodens,
- Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit beziehungsweise des elektrischen Widerstandes,
- Bestimmung der Bodensaugkraft in Abhängigkeit vom Wassergehalt mit dem Tensiometer.

Die beiden letztgenannten Methoden können nach Erstellung von Eichkurven unter den lokalen Bedingungen auf kontinuierliche Messung eingestellt und zur selbständigen Steuerung moderner automatischer Bewässerungsanlagen, z. B. der Träufelbewässerung, verwendet werden.

3. Der Wasserbedarf der Kulturpflanzen

3.1 Der Begriff Evapotranspiration

Die Wassermenge, die für den erfolgreichen Anbau einer bestimmten Kultur nötig ist, wird als Wasserbedarf (consumptive use) bezeichnet. Er setzt sich zusammen aus der Wassermenge, die durch die grünen Pflanzenteile abgegeben wird (Transpiration), wie auch diejenige, die von der nassen beziehungsweise feuchten Bodenoberfläche verdunstet wird (Evaporation). Streng genommen gehört auch die Wassermenge dazu, die die Pflanze zum Aufbau der Gewebe braucht. Dieser Anteil beträgt aber nur 1 % der Transpirationsmenge. Für den praktischen Gebrauch wird mit der Evapotranspirationsmenge gearbeitet. Auf besonders durchlässigen Böden muss aber gegebenenfalls derjenige Anteil an Wasser dazugezählt werden, der aus dem Bereich der Wurzelzone in den Untergrund versickert und für die Pflanze unzugänglich wird.

Allfällige Wasserverluste, die bei der Herleitung von Bewässerungswasser bis zum Feld oder auf die Bodenoberfläche auftreten, werden bei der Berechnung der Wirksamkeit des Zufuhrsystems einer Bewässerungsanlage berücksichtigt.

Auf Grund der Ausführungen ergibt sich, dass der totale Wasserbedarf, ausgedrückt in mm Wassertiefe pro Saison, abhängig ist von der Art der Kultur, den Klimafaktoren des Standortes während der Anbauzeit und von der Bodenart.

3.2 Der Wasserbedarf der einzelnen Kulturpflanzen und seine Abhängigkeit vom Vegetationsstadium

Der zahlenmässig ausgedrückte Wasserbedarf einzelner Kulturpflanzen ergibt sich aus Tabelle 1, wobei die Auswirkungen der eingangs erwähnten Bedingungen, wie

Tabelle 1

Wasserbedarf einiger Kulturpflanzen unter subtropischen und tropischen Verhältnissen

Zone und Kultur	Bodenart	Gesamt-Wassergabe mm	Max. Regenhöhe je Gabe mm	Spitzen-Wasser- verbrauch / Tag mm	Umlaufzeit Tage
SUBTROPEN					
Baumwolle	mittel	550–600	60–80	10–12	10–12
	schwer	500–550	80–90	12–14	14–16
Erdnüsse	leicht	550–600	50	10–11	5–7
	mittel	500–550	60	11–12	9–12
Luzerne*	leicht	800–1400	70–80	14	5–8
	mittel	700–1200	75–80	14–15	8–10
	schwer	500–900	75–100	16	14–16
Mais	leicht	450–500	50	9–10	5–7
	mittel	400–450	60–70	10–11	7–12
	schwer	350–400	70	12–14	12–14
Orangen*	leicht	600–1200	60	12–13	6–8
	mittel	600–1100	70–80	12–14	9–12
	schwer	400–800	80–100	14	14–21
Tabak	leicht	300–400	40	7–9	6–8
	mittel	300–350	40–45	8–10	12–14
	schwer	275–300	50	9–10	14
Wintergetreide	leicht	200–300	35	6–7	8
	mittel	150–250	35–40	7–8	12
	schwer	150–200	40	8	14–21
TROPEN					
Ananas	leicht	450–550	40	8–9	6–9
	mittel	400–500	50	9–10	9–12
Bananen	leicht	500–600	50	8–9	7–9
	mittel	450–550	60	9–10	10–14
Erdnüsse**	leicht	300–350	40	7–8	6–8
Kaffee	mittel	250–300	50–60	6–7	14–21
	schwer	250–300	60	7	21–30
Kakao	mittel	350–400	60–80	7–8	14–16
	schwer	300–350	60–80	8–9	16–24
Zuckerrohr	mittel	600–800	60	8–10	14
	schwer	500–700	70–80	10–12	14–21

* in extremen Trockengebieten

** mit Vorrat an Bodenfeuchtigkeit (Savanne, Anbau im Anschluss an die Regenzeit)

Abgeändert nach: van Beveren, J.: Beregnung in tropischen und subtropischen Gebieten.

Mannesmannregner-Broschüre: «Künstliche Beregnung in aller Welt», Mannesmannregner GmbH, 1955.

Klima- und Bodenfaktoren, deutlich werden. Allgemein ist der Wasserbedarf auf leichten Böden wegen des erhöhten Anteils der Evaporation höher als auf schweren Böden. Demgegenüber können auf leichten Böden wegen des schlechteren Wasserhaltungsvermögens nur kleinere Maximalgaben verabreicht werden als auf schweren Böden und entsprechend wird die Umlaufzeit kürzer. Die Höhe des Wasserbedarfes der Kulturpflanzen pro Zeiteinheit variiert innerhalb gewisser Grenzen von Kulturpflanze zu Kulturpflanze. Sie wird ausgedrückt in mm pro Tag, wobei dem Spitzenbedarf pro Tag eine besondere Bedeutung zukommt, weil bei der

Einrichtung einer Bewässerung der Zuleiter so dimensioniert werden muss, dass diese Wassermenge pro Zeiteinheit zugeführt werden kann. 1 mm Wassergabe entspricht 10 m³ Wasser pro ha.

Selbstverständlich verändert sich der Bedarf pro Tag im Laufe der Vegetationszeit von der Saat bis zur Ernte ganz wesentlich. Abb. 3 gibt eine schematisierte Darstellung des täglichen Wasserbedarfs im Verlaufe der Lebensdauer der Kulturpflanzen. Zurzeit der Saat entfällt der ganze Bedarf auf die Evaporation, da die Transpiration gleich null ist, aber schon beim Quellvorgang und bei der Keimung wird Bodenwasser aufge-

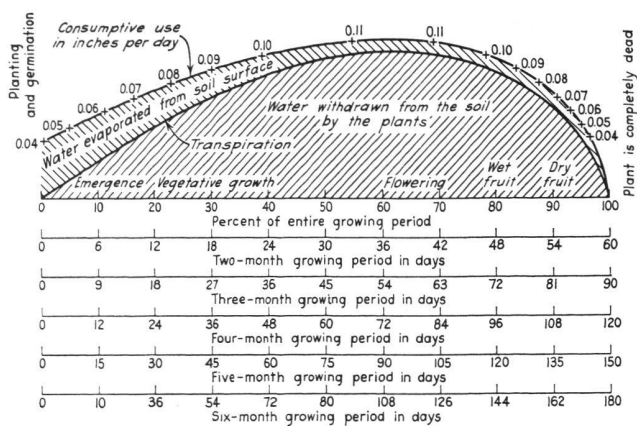


Abb. 3 Veränderung des täglichen Wasserbedarfs im Verlaufe der Vegetationsperiode. Aus: Israelsen, O. W. and Hansen, V. E.: Irrigation Principles and Practices. John Wiley and Sons, Inc., New York 1976, p. 284.

nommen. Der Wasserverbrauch steigt im Verlaufe des vegetativen Wachstums stetig an und erreicht während der Blütezeit das Maximum. Er sinkt während der Fruchtbildung wieder ab und erreicht den Wert null beim Absterben der Pflanze im Falle von einjährigen Kulturen.

Nicht alle Kulturen durchlaufen von Saat zur Ernte den ganzen Zyklus, da der Erntezeitpunkt je nach Erntegut festgesetzt wird.

Im Laufe der vegetativen Entwicklung werden geerntet: Salat, Luzerne, Spargeln, Zuckerrohr, während der Blütezeit z. B. Schnittblumen und Blumenkohl, im Feuchtfruchtstadium Tomaten, Zuckermais, Kaffee, Bananen, Melonen, Zitrusfrüchte und schliesslich im Trockenfruchtstadium Weizen, Reis, Körnermais, Sojabohnen und Baumwolle. Entsprechend der Lage des Erntezeitpunktes verschiebt sich der Schwerpunkt des Wasserbedarfes innerhalb der Lebensdauer der einzelnen Kulturpflanzenarten. Der Entwicklungsstand der Kultur bestimmt im übrigen nicht nur die Höhe, sondern auch die Häufigkeit der Bewässerungsgaben. Während des vegetativen Wachstums oder während der Blütezeit sollten nur 25 % bis höchstens 50 % des zur Verfügung stehenden Wassers zwischen zwei Bewässerungsgaben aufgebraucht werden. Im Trockenfruchtstadium darf dieser Anteil 75 % betragen. Es ist sogar möglich, durch kurzfristigen oder totalen Wasserentzug vor der Ernte eine gleichmässige Reife zu erzwingen, was mit der gleichzeitigen Befahrbarmachung des Bodens eine notwendige Bedingung für den Einsatz von Maschinen bei der Ernte darstellt.

Jede Kulturpflanze stellt im übrigen sehr artspezifische Anforderungen an die Wasserversorgung.

Die Nassreiskultur stellt die höchsten Ansprüche an die Kontinuirlichkeit der Wasserversorgung; erst etwa 2 Wochen vor der Ernte wird der Überstau beendet, damit der Bestand gleichmässig abreifen kann.

Ebenfalls auf eine kontinuierliche Feuchtigkeit ist der Mais angewiesen. Er besitzt nämlich nur eine wenig ausgeprägte Trockenheitsresistenz, d. h. die Maispflanze kann sich bei Wassermangel nur durch Einrollen der Blätter schützen. Insbesondere muss die Wasserversorgung während des Blühvorganges gesichert sein, da er

auch bei eintretendem Wassermangel nicht gestoppt werden kann, sondern unbedingt fortgesetzt werden muss. Das dafür benötigte Wasser wird dabei dem umgebenden Gewebe entzogen, was in extremen Fällen zum Austrocknen der ganzen Pflanze führen kann.

Demgegenüber kann *Sorghum* bei vorübergehendem Wassermangel das Wachstum und die Entwicklung zeitweise vollständig einstellen, was die ausgeprägte Trockenheitsresistenz dieser Pflanze erklärt.

Beim Zuckerrohr liegt der hohe Wasserbedarf in der Anfangs- und Hauptwachstumsperiode; in den letzten 2–3 Monaten vor der Ernte wird das Wasser zur Erleichterung der Ernte abgestellt.

Dioscorea hat eine Vegetationsdauer von 9–11 Monaten, wobei eine kontinuierliche, gute Wasserversorgung zwischen der 14. und 20. Vegetationswoche eine Voraussetzung für den guten Ertrag bildet.

In den verschiedenen Anbaugebieten wird daher je nach der Länge der zu erwartenden Regenzeit als Pflanzzeit der Beginn der Regenzeit oder ein Termin von 2–3 Monaten vor Beginn der Regenzeit gewählt, um während der kritischen Periode genügend Niederschlag zu haben.

Rizinus sollte die 800–1000 mm Niederschlag während der ersten 5–6 Monate der Vegetationszeit erhalten. Später soll eine warme, trockene Periode zur Förderung der Ausreife folgen. Das indische Monsunklima und das Feuchtsavannengebiet Brasiliens eignen sich daher besonders für den Anbau dieser Kultur.

Bei dem sehr genügsamen *Olivenbaum* mit nur 200 mm Wasserbedarf wurde festgestellt, dass genügend Feuchtigkeit in einer kritischen Zeit von 1 Monat vor der Ernte für den Ertrag entscheidend ist.

Besonders empfindlich auf die Verteilung der Niederschläge ist die *Baumwolle*. Die Hauptmenge des Wasserbedarfes sollte als Vorratsfeuchtigkeit vorhanden sein und während der ersten Monate nach der Keimung zur Verfügung stehen. Später benötigt die Baumwolle für die Blüten- und Samenbildung eine mässige Trockenheit und viel Sonne zur Erzielung von quantitativ und vor allem qualitativ guten Erträgen. Langstaplige Spitzenqualitäten werden daher nur in den regenfreien Gebieten von Ägypten, Sudan und Peru im 100prozentigen Bewässerungsfeldbau erzeugt.

Die *Kaffeepflanze* stellt an die zeitliche Aufeinanderfolge von Regenzeiten und Trockenperioden ganz bestimmte Anforderungen. Während der Regenzeit herrscht die vegetative Entwicklung vor und gegen Ende derselben findet die Differenzierung der Blütenknospen statt. Für das eigentliche Aufblühen sind aber wieder Niederschläge notwendig. Interessanterweise hat eine Bodenbewässerung nicht die gleiche Wirkung wie ein Regen oder eine Beregnung.

Die *Tabakpflanze* hat während der ersten 4–6 Wochen nach dem Auspflanzen, d. h. solange sie sich im Rosettenstadium befindet, nur einen bescheidenen Wasserbedarf. In der Zeit des Hauptwachstums der Blätter bis zur Ernte muss aber eine ausgeglichene Wasserversorgung von 100–200 mm pro Monat gewährleistet sein, um Quantität und Qualität der Ernte zu sichern. Auch nur vorübergehende Trockenperioden führen zur Bildung von kleinen und dicken Blättern und zu erhöhtem

Nikotingehalt, was sich negativ auf Menge und Verarbeitbarkeit des Ernteguts auswirkt.

Zitrus benötigt eine Minimalmenge von 120 mm Niederschlägen, die möglichst gleichmässig verteilt sein sollten, da diese Kulturpflanze gegen vorübergehende Trockenheiten sehr empfindlich ist und mit Blattwurf reagiert. Zitrus wäre daher eine Pflanze des Tropengürtels. Nun ist es aber so, dass der Farbwechsel der Früchte bei der Reife von Grün nach Gelb bzw. Orange erst nach einer Reihe von kühlen Nächten sich vollzieht, in denen die Temperatur unter 17 °C abgesunken ist. Aus diesem Grunde liegen die Qualitätsanbaugebiete alle in den Subtropen, wo aber wegen der ungleichmässigen jahreszeitlichen Verteilung der Niederschläge mit Bewässerung nachgeholfen werden muss.

3.3 Die Deckung des Wasserbedarfs

Die naheliegendste Versorgung der Kulturpflanzen mit Wasser geschieht aus Niederschlägen in verschiedenster Form, zur Hauptsache als Regen. Man spricht von Regenfeldbau, wo landwirtschaftliche Kulturen zu Erwerbszwecken angebaut werden, die ihren Wasserbedarf aus Niederschlägen decken. Diese Niederschläge müssen:

- mengenmässig ausreichend sein, um die Evapotranspirationsmenge der Kultur zu ersetzen,
- häufig genug stattfinden, um Trockenperioden zu verhindern,
- nicht zu intensiv sein, damit das Wasser im durchwurzelten Bodenprofil aufgenommen werden kann.

In bezug auf den letztgenannten Punkt versteht sich von selbst, dass sowohl der Teil des Regenwassers, der oberflächlich abläuft oder derjenige Teil, der durch das Profil ins Grundwasser perkoliert, nicht wirksam sein kann. Dort, wo die Regenfälle eine landwirtschaftliche Nutzung eben noch erlauben, spricht man von «dry farming». Bei diesem Nutzungssystem wird die zur Verfügung stehende Niederschlagsmenge durch entsprechende wasserkonservierende Bodenbearbeitungsmassnahmen, eine geschickte Auswahl von Kulturart, Sorte und Pflanztermin maximal ausgenützt.

Wenn entweder die Menge an Niederschlagswasser nicht ausreicht oder die Verteilung extrem ungünstig ist, muss Wasser mit geeigneten Mitteln nach entsprechendem Zeitplan zugeführt werden. Bei diesem Bewässerungsfeldbau kann entweder praktisch alles benötigte Wasser zugeführt werden, oder es kann sich darum handeln, durch geeignete Verkehungen und unter Anwendung der verschiedenen Bewässerungstechniken das Wasserangebot zeitlich oder mengenmässig auszudehnen oder regelmässig auftretende Trockenzeiten zu überbrücken.

Es ist durchaus denkbar, dass der gleiche Standort für die eine Kultur im Regenfeldbau genutzt werden kann, während für eine anspruchsvollere Kultur am gleichen Standort nur der Bewässerungsfeldbau genügt. Man muss sich aber bei einer Umstellung darüber klar sein, dass die Errichtung eines Bewässerungssystems in einem bisherigen «dry farming» eine grundlegende Veränderung darstellt, deren Wirtschaftlichkeit nur durch gleichzeitig vorgenommene Umstellungen in bezug auf Bodenbearbeitung, Wechsel der Kultur oder wenigstens der Varietät, ausreichende Düngung und Pflanzenschutzmassnahmen sichergestellt werden kann.

4. Der Problemkreis der Bodenversalzung

4.1 Entstehung und Auswirkungen

Die Erscheinung der Bodenversalzung beruht entweder auf einer Anreicherung löslicher Salze im Bodenwasser mit entsprechend überhöhtem osmotischem Druck oder auf einer Sättigung der Bodenteilchen durch Alkationen mit nachteiligem Effekt auf die Bodenstruktur und den pH-Wert, oder schliesslich auf dem Vorhandensein von einzelnen Elementen, die eine phytotoxische Wirkung ausüben, zum Beispiel Bor. Eine primäre Quelle der Bodenversalzung ist das Vorhandensein löslicher Salze im Boden und Grundwasser als Verwitterungsprodukte der Gesteine. Im Zuge des Gesteinsabbaus kommt es zur Freisetzung der Kationen Calcium, Magnesium, Natrium, Kalium und der Anionen Chlorid, Sulfat, Carbonat, Bicarbonat. Diese Ionen können sich in den Oberflächengewässern, dem Bodenwasser und dem Grundwasser anreichern. Im Rahmen des globalen Wasserkreislaufs haben sie im Meer zur bekannten Salzkonzentration der Ozeane geführt.

Eine sekundäre Quelle der Bodenversalzung kann im Ansteigen des Grundwasserspiegels als ungünstige Folge mehrjähriger Bewässerungswirtschaft mit Flusswasser beruhen. Dadurch kommt es zu einer Beeinflussung des Bodenwassers der Wurzelzone durch einen möglichen Salzgehalt des Grundwassers.

Im übrigen können tieferliegende Bewässerungsgebiete durch salzhaltiges Grundwasser gefährdet werden, das durch Dränwasser aus höher gelegenen Bewässerungsgebieten gespiesen wird und in dem sich daher im Laufe der Zeit der Salzgehalt erhöht. Auch ist im allgemeinen stromabwärts mit einer Erhöhung des Salzgehaltes des Flusswassers infolge Zufluss von Drän- und Rückflusswasser aus oberliegenden Bewässerungsanlagen zu rechnen. Vor der Errichtung einer Bewässerungsanlage ist daher die Bestimmung des Salzgehaltes des zur Verfügung stehenden Oberflächenwassers und des Grundwassers unumgänglich, auch wenn letzteres nicht zur Bewässerung beigezogen wird.

Die Beurteilung der Qualität des Bewässerungswassers geschieht normalerweise nach drei Kriterien, nämlich dem Gesamtsalzgehalt, dem Verhältnis der Natriumionen gegenüber anderen Kationen, im wesentlichen zu Magnesium und Calcium, und schliesslich nach dem Gehalt an Bor.

Die toxische Wirkung des Salzgehaltes im Bodenwasser beruht einerseits auf einer Störung der osmotischen Wachstumsbedingungen und andererseits auf spezifischer Giftwirkung einzelner Ionen bei Akkumulation im Pflanzengewebe. In diesem Sinne wirkt sich vor allem das Bor aus. Ernährungsphysiologisch nachteilig können sich höhere Konzentrationen von Bicarbonat-Anionen in der Bodenlösung auswirken, da sie eine verminderte Verfügbarkeit des Eisens verursachen, was zur Eisenmangel-Chlorose führen kann.

4.2 Unterschiede in der Salztoleranz der Pflanzen

Die verschiedenen Pflanzen zeigen eine unterschiedliche Salztoleranz, die weitgehend auf physiologischen und anatomischen Besonderheiten beruht. Besonders salztolerant sind die Halophyten, welche an die hohen Salzgehalte der Meeresküsten, Salzsteppen und Salzwüsten angepasst sind, indem sie hohe osmotische Drucke in

ihrer Gewebeflüssigkeit entwickeln können und ein gegenüber einer Natriumanreicherung im Zellsaft unempfindliches Protoplasma besitzen (Chenopodiaceen, Caryophyllaceen, Plumbaginaceen und Crucifereen).

Unter den landwirtschaftlichen Kulturpflanzen erweist sich die Dattelpalme als höchst salzresistent; sie erträgt einen Salzgehalt von 15 g pro Liter im Bewässerungs- oder Grundwasser. Unter den Getreidearten ist es die Gerste, die am ehesten auf salzhaltigen Böden bei geeigneter Sortenauswahl noch einen lohnenden Ertrag abwirft, wo andere Getreidearten nicht mehr gedeihen. Verhältnismässig salzresistent sind ebenfalls Raps, Baumwolle und Zuckerrüben, wobei allerdings bei letzteren während der Keimung eine vorübergehende Empfindlichkeit besteht. Die wichtigste tropische Bewässerungskultur, der Reis, erträgt höchstens 150 mg Salz/l im Bewässerungswasser. Sehr empfindlich besonders auf Chlorionen im Bewässerungswasser ist im weiteren Tabak: Gehalte von über 40 mg Cl im Liter Bewässerungswasser führen zu Qualitätseinbußen.

Bei Fruchtbäumen und bei Reben kann die Salzverträglichkeit durch geeignete Auswahl der Unterlage gesteuert werden, da hier wesentliche Unterschiede bestehen. Bei Zitrus weisen die Bitterorange und die Mandarine relativ hohe Resistenz gegen Versalzung auf: diese beiden Arten werden daher in salzgefährdeten Anbaubieten als Unterlagen verwendet.

5. Bodennutzungspläne im tropischen und subtropischen Bewässerungsfeldbau

Bei der Auswahl der in einer bestimmten Gegend anzubauenden Kulturpflanzen hat sich der Landwirt nach den Anforderungen zu richten, die die Pflanzen an den Standort stellen. Eine wichtige Anforderung ist diejenige an die Temperatur, vor allem in bezug auf die Schwellenwerte für die Keimung und Ausreifung; dann besonders im Hinblick auf Extremwerte, d. h. Frostfreiheit für entsprechend empfindliche Kulturen. Spezifische Anforderungen bestehen aber auch an die Höhenlage, Luftfeuchtigkeit, Dauer der täglichen Sonnenbestrahlung im Falle von obligaten Lang- oder Kurztagspflanzen; im weiteren kommen Anforderungen an die Bodenqualität und selbstverständlich an die Höhe und Verteilung der Niederschläge.

So haben sich in den gemässigten Klimazonen im Laufe der Jahre unter dem Zwang der klimatischen Bedingungen, der Bodenqualität und wirtschaftlicher Überlegungen genau angepasste Fruchtfolgen entwickelt, die das Nutzungssystem über einen längeren Zeitraum festlegen. Wo dies möglich ist, werden im Interesse einer Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und zur Verhinderung des Überhandnehmens von Unkräutern oder Schädlingen bestimmte Fruchtfolgen in regelmässiger Wiederholung eingehalten. In der Ackerbauzone der Schweiz folgen sich Hackfrüchte, Getreide und Kunstwiesen, während daneben in den klimatisch bevorzugten oder benachteiligten Gebieten Dauerkulturen wie Obst, Reben oder Dauergrasland im Sinne einer standortgerechten Produktion anzutreffen sind. Die Wintermonate mit der ausgesprochenen Vegetationspause stellen dabei eine ausgeprägte, regelmässige Unterbrechung dar.

Auch in den Tropen und Subtropen gibt es unter bestimmten Bedingungen empfehlenswerte Fruchtfolgen, um über Jahre hinaus die Fruchtbarkeit des Standortes zu erhalten. Hier erlauben aber die herrschenden Temperaturverhältnisse praktisch eine ganzjährige Vegetationszeit, wobei dem Faktor Wasser viel mehr Gewicht in bezug auf die Auswahl der anzubauenden Kulturpflanzen zukommen. Dabei spielt nicht nur die total zur Verfügung stehende Wassermenge, sondern auch in vermehrter Masse die jahreszeitliche Verteilung des Anfalls eine Rolle. Beides schlägt sich nieder in der Wahl eines Anbauprogramms (cropping pattern), bestehend aus zwei oder mehreren Kulturen im Verlaufe eines Jahres, wobei der Festlegung der Saat- und Erntetermine eine besondere Bedeutung zukommt.

Auf dem indischen Subkontinent, das heisst in Indien und Pakistan werden zwei Anbauperioden auseinandergehalten und als solche bezeichnet. Die Wintersaison heisst Rabi und dauert von Mitte Oktober bis Ende März. In dieser Zeit werden Weizen, Gerste, Erbsen, Tabak und Futterpflanzen angebaut. In die Sommersaison, Kharif genannt, welche von anfangs April bis Mitte Oktober dauert, fällt der Anbau von Reis, Mais, Sorghum, Kleinhirsen, Sesam und Rizinus. Die Hauptmenge der Niederschläge fällt in die Sommersaison, stellenweise sogar sehr einseitig verteilt. Wo aber genügend Reserven übrig bleiben und über Bewässerungssysteme zugeführt werden können, besteht die Möglichkeit, je eine der genannten Kulturen auf dem gleichen Land hintereinander anzubauen. Zwei sehr wichtige Kulturen im indischen Subkontinent, nämlich Zuckerrohr und Baumwolle sind auf Grund ihrer Wärmebedürftigkeit beides Kharif oder Sommerkulturen. Sie haben gleichzeitig so lange Vegetationszeiten, dass eine zusätzliche Nutzung der Landfläche mit einer Rabikultur nicht möglich ist. Immerhin wird gelegentlich in Baumwolle eine Zwiebelkultur in den ersten Monaten auf den Kämmen der Bewässerungsfurchen gezogen, die geerntet werden kann, bevor die Baumwolle die Reihen schliesst und den Boden beschattet. Eine andere Art des derartigen zeitweisen Zwischenfruchtbaus mit Baumwolle wird durch Einsäen von Klee oder Erbsen gegen Ende der Baumwollsaison praktiziert.

In Süd-Brasilien und Ost-Paraguay werden in der kühlen Jahreszeit von März bis August Weizen und im dortigen Sommer vom September bis Februar Sojabohnen angebaut. Dies ist insofern eine glückliche Kombination, als die gleichen Maschinen für Feldbestellung und Ernte in beiden Kulturen einsetzbar sind.

Im Irak, in der Ebene des Euphrat und Tigris wechseln Weizen oder Gerste als Winterkulturen mit Mais als Sommerkultur ab. Eine andere Kombination unter diesen Bedingungen sind Kartoffeln oder Kohlgemüse im Winter und Sojabohnen im Sommer.

In Persien werden in Gegenden mit ganzjähriger Wasserversorgung aus Hangwasserströmen mittelst Kanäle drei Kulturen auf dem gleichen Feld geerntet, nämlich Wintergetreide im April, Melonen im September und Rüben oder Rettich im November.

Die Wasserreiskultur stellt in bezug auf Fruchtwechsel einen Spezialfall dar, da die Reisböden wegen der intensiven Bearbeitung unter Wasser in einen strukturlosen Brei übergeführt werden, der nach dem Abtrocknen

kaum für das Anpflanzen einer Nachfolgekultur geeignet ist.

In der äquatorialen Zone mit ganzjährig verteilten hohen Niederschlägen wird daher meist eine zweite kürzere Reiskultur angebaut. Wo das Wasser dazu nicht ausreicht, werden bestenfalls Leguminosen, wie Linsen, Bohnen oder Erbsen, angesät oder die abgeernteten Felder werden als Weideland für die Haustiere genutzt.

Literatur

- von Blanckenburg, P. et al.: Handbuch der Landwirtschaft und Ernährung in den Entwicklungsländern, Band 2. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart 1971.
- Bohrer, L. J.: Surface Irrigation. FAO Rome 1974.
- Israelsen, O. W. and Hansen, V. E.: Irrigation Principles and Practices. John Wiley and Sons Inc., New York 1967.
- Mohr, H.: Lehrbuch der Pflanzenphysiologie. Springer Verlag, Berlin 1971.

- Richter, G.: Stoffwechselfysiologie der Pflanzen. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1976.
- Rovelle, R. et al.: Report on Land and Water Development in the Indus Plain. Washington 1964, White House Publication.
- Schmalfuss, K.: Pflanzenernährung und Bodenkunde. S. Hirzel Verlag, Leipzig 1963.
- Walter, H.: Grundlagen des Pflanzenlebens. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart 1950.
- Walter, H. und Flohn, H.: Die Vegetation der Erde in öko-physiologischer Betrachtung, Band I. Gustav Fischer Verlag, Jena 1973.
- Yaron, B., Danfors, E. and Vaadia, Y.: Arid Zone Irrigation, Ecological Studies, Volume 5. Springer Verlag, Berlin 1973.
- Zimmerman, J. D.: Irrigation. John Wiley and Sons Inc., New York 1966.

Adresse des Verfassers:

Dr. Gerold Heim, dipl. Ing. agr. ETH, Lehrbeauftragter der ETHZ, c/o CIBA-GEIGY AG, 4002 Basel

Vom Wasserbedarf der Pflanze zum Bewässerungsplan

H. Grubinger

Im Rahmen eines wasserwirtschaftlichen Mehrzweckprojektes, das in der Regel mit einer Integralmelioration für einen grösseren ländlichen Raum verknüpft ist, hat der Ingenieur immer wieder auch ein Bewässerungsprojekt zu entwerfen. Dies bedeutet als erste Phase, für vorgegebene Fruchtfolgen bzw. Anbauprogramme und Perimeter unter Beachtung von Klima und Hydrologie, Topographie und Boden den Wasserbedarf der Kulturen zu ermitteln. In einer weiteren Phase ist der erforderliche Zulauf am jeweiligen Feldeingang und schliesslich, unter Berücksichtigung der verschiedenartigen Wasserverluste, die bereitzustellende Gesamtmenge bzw. Entnahmemenge aus dem natürlichen Dargebot zu bestimmen.

Erfahrungsgemäss verlaufen Wasserbedarf und -angebot weder zeitlich noch hinsichtlich der Mengen kongruent, auch sind meist noch andere Ansprüche an die natürlichen Wasservorkommen zu berücksichtigen. Alles in allem sind somit vielfältige Einflussgrössen gegeben und Randbedingungen zu beachten; dementsprechend sind – auch unter dem Gesichtspunkt wassersparender Lösungen – Varianten und Alternativen zu studieren. Mit Erfolg wird man in diesen Fällen die Methoden des Operation Research einsetzen können (Abb. 1).

Modelle, Genauigkeitsanforderungen

Geht man von einem vereinfachten *Funktionsschema* eines integralen Entwicklungsprojektes aus, ist sofort erkennbar, dass dieses zumindest drei Modelle umfasst: ein landwirtschaftliches, ein hydrologisches und ein technisch-ökonomisches Modell. Im vorliegenden Beitrag

geht es darum, die wesentlichen Einflussgrössen und Schritte der Berechnung zu erkennen und so den Weg von den pflanzenphysiologischen Grundlagen bis zum Bewässerungsplan und zu den bereitzustellenden Wassermengen je Turnus verfolgen zu können. Damit ist ein Ausgangspunkt für die Wahl der technischen Verfahren der Bewässerung und die angepasste Betriebsweise gegeben. Wir benützen dazu ein vereinfachtes *Flussdiagramm* (Abb. 2).

Die eingangs umschriebene Aufgabe wird in der Regel vorerst in einer Studie, später in einem generellen und schliesslich in Detailprojekten bearbeitet. Bekanntlich sind in weiten Teilen der Welt die hydrologisch-klimatologischen Daten ungenügend. Es ist daher notwendig, die ersten Planungsschritte dem anzupassen; das bedeutet z. B. die Evapotranspiration (ET) vorerst nur als Saisonsumme bzw. als Monatswerte zu ermitteln, wobei man sich auf eine Mittelwertstatistik beschränken muss, die ihrerseits mit beträchtlichen Schwankungen von $\pm 10\%$ behaftet ist. Primault weist in einer Diskussionsbemerkung mit Recht auf die Problematik solchen Vorgehens hin: «Dans les pays sub-tropicaux, quelques rares années présentent de très fortes précipitations et alternent avec des séries plus ou moins longues de sec absolu. Par conséquent, seule une analyse fréquentielle peut nous apporter des indications suffisantes.» Durch Einführung von Lokalfaktoren (1) auf Grund von, wenn auch kurzen, Beobachtungsreihen zwischen erster Studie und Projekt sowie durch Vergleich mit analogen Verhältnissen muss versucht werden, Extremwerte und deren Frequenz abzuleiten. Der Projektant, zu einer Aussage gezwungen, muss sich der Vertrauensgrenzen seiner Daten und damit des hydrologischen Modells jederzeit bewusst sein.

Elemente und Gang der Berechnung

1. Herrschender Klimatyp und Phänologie (Entwicklungsphasen) der einzelnen Kulturen sowie die landwirt-