

Tropfbewässerung – Erfahrungen und Möglichkeiten

Drip/trickle irrigation-experiences and possibilities

von Peter Wolff *

1 Einführung

Vor knapp 25 Jahren begann der Siegeszug eines neuartigen Bewässerungsverfahrens, der Tropfbewässerung. Dieses neue Bewässerungsverfahren wurde von der Bewässerungspraxis weltweit mit großem Interesse von den Bewässerungslandwirten in Wassermangelgebieten mit z.T. sehr großen Erwartungen, aufgenommen. Der Zeitpunkt der Einführung der Topfbewässerung fiel in eine Zeit, in der sich die Menschheit zunehmend bewußt wurde, daß die natürlichen Ressourcen, insbesondere Wasser und Energie, immer knapper und immer teurer werden und daß es an der Zeit ist, mit diesen Ressourcen haushälterisch umzugehen. Die Tropfbewässerung versprach von allen bis dahin bekannten Bewässerungsverfahren, mit den Ressourcen Wasser, Energie und auch der Arbeit am sparsamsten umzugehen. Sie stieß damit auf ein außergewöhnliches Interesse in Wissenschaft und Praxis.

Heute, ein Vierteljahrhundert nach der weltweiten Einführung der Tropfbewässerung in der Freilandbewässerung, erscheint eine zusammenfassende Bewertung der bisherigen Erfahrungen mit der Tropfbewässerung möglich. Dabei ist sich der Verfasser darüber im klaren, daß angesichts der vielfältigen und z.T. sehr unterschiedlichen Erfahrungen, die unter den verschiedensten natürlichen und wirtschaftlichen Standortverhältnissen mit diesem Bewässerungsverfahren in den vergangenen fünfundzwanzig Jahren gesammelt wurden, eine auf wenige Seiten begrenzte Bilanz Stückwerk bleiben muß. Und doch erscheint eine solche, zwangsläufig stark verallgemeinernde Bilanz angebracht und notwendig, um die Stärken und Schwächen dieses Bewässerungsverfahrens aufzuzeigen, die Möglichkeiten und Grenzen seines Einsatzes zu verdeutlichen und Anregungen für eine positive Weiterentwicklung zu geben.

* Prof. Dr. Peter Wolff, Fachgebiet Kulturtechnik und Wasserwirtschaft am Fachbereich Internationale Agrarwirtschaft der Gesamthochschule Kassel (Universität).
Anschrift: Steinstraße 19, 3430 Witzenhausen 1, Bundesrepublik Deutschland

2 Konzeption der Tropfbewässerung

Die Grundidee der Tropfbewässerung ist die optimale Gestaltung des Bodenfeuchtehaushaltes, indem Teilen der durchwurzelten Bodenschicht in sehr kurzen, dem Wasserbedarf der Pflanzen angepaßten Zeitabständen, Wasser zugeführt wird. Es soll damit erreicht werden, daß die Pflanzen stets ausreichend Feuchtigkeit im Wurzelbereich vorfinden und nie unter Wassermangel leiden.

Im Gegensatz zu den herkömmlichen Bewässerungsverfahren wird bei der Tropfbewässerung das Wasser stets in kleinen Mengen (1 – 10 l/h) an den Boden abgegeben, und zwar wird angestrebt, nie mehr Wasser dem Boden zuzuführen, als dieser in unmittelbarer Nähe des Tropfers aufnehmen und in seinen Poren weiterleiten und speichern kann. Überbewässerungen – bei anderen Bewässerungsverfahren meist die Regel – und die daraus resultierenden Wasserverluste durch oberirdischen Abfluß und Versickerung in tiefere, nicht durchwurzelte Bodenschichten sind bei sinnvoller Anwendung dieses modernen Bewässerungsverfahrens ausgeschlossen bzw. bleiben auf ein Minimum beschränkt. Auch wird durch die direkte Heranführung des Bewässerungswassers an die Pflanzen die unproduktive Verdunstung stark eingeschränkt. Bewässerungswirkungsgrade von 95% sind mit diesem Verfahren leicht erzielbar.

3 Technik der Tropfbewässerung

Will man, der Grundidee der Tropfbewässerung entsprechend, stets einen optimalen Bodenfeuchtezustand für die Pflanzen herstellen und erhalten, so muß man zwangsläufig laufend das von den Pflanzen verbrauchte Wasser ergänzen, sofern dies nicht durch den natürlichen Niederschlag erfolgt. Diese laufende, in kurzen Zeitabständen (2 – 4 Tage) vorzunehmende künstliche Wasserzufuhr ist arbeitswirtschaftlich nur zu leisten, wenn man über ein permanentes Bewässerungssystem verfügt, mit dem die laufende Ergänzung der verbrauchten Bodenfeuchte möglichst verlustlos erfolgen kann; d.h., eine Bewässerungsanlage, die nur einen sehr geringen Arbeitsaufwand für Inbetriebnahme und während des Betriebes erfordert. Solche permanenten Bewässerungssysteme sind durchaus nichts Neues in der Bewässerungspraxis. Wegen der hohen Investitionskosten blieb ihre Anwendung bisher auf wenige Sonderfälle beschränkt. Erst mit der Möglichkeit der Verwendung preiswerter Kunststoffe und der Entwicklung der Tropfbewässerung wurde der großflächige Einsatz solcher Anlagen wirtschaftlich möglich.

Bei der Tropfbewässerung handelt es sich um ein Bewässerungsverfahren, bei dem die Wasserverteilung auf der zu bewässernden Fläche mit Hilfe eines mehr oder weniger eng verlegten Systems von Kunststoffrohren erfolgt (siehe Abb. 1). Die parallel, entlang der Pflanzenreihen, verlegten Kunststoffrohre sind in bestimmten Abständen, je nach Boden und Kulturpflanzenart, mit Tropfern (Wasseraustrittsöffnungen) bestückt. Diese Tropfer haben die Aufgabe, das in der Tropfleitung unter Druck stehende Bewässerungswasser „tropfenweise“, d.h. in geringen Mengen pro Zeiteinheit,

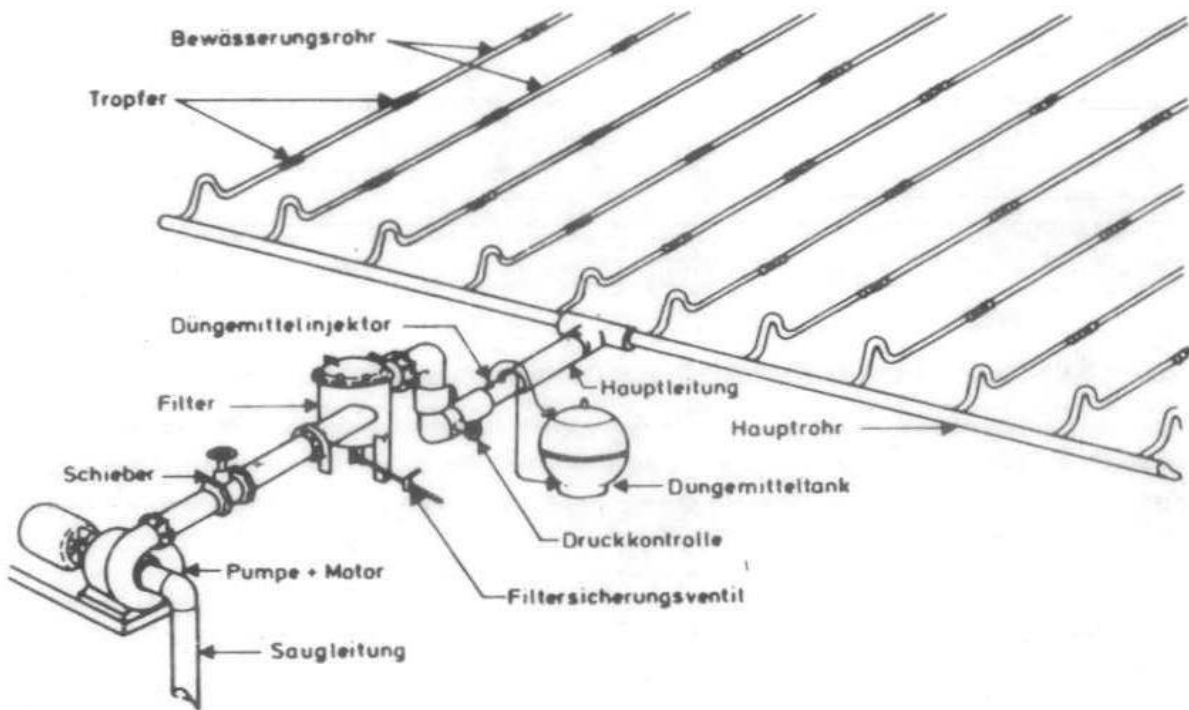


Abb. 1: Typische Anordnung einer Tropfbewässerungsanlage

an den Boden abzugeben. Es wird dabei somit nicht die gesamte Bodenoberfläche einer Bewässerungsfläche, sondern im Umfeld der einzelnen Tropfer nur eine begrenzte Bodenfläche befeuchtet. Man spricht daher bei der Tropfbewässerung auch von einer lokalisierten Bewässerung oder von einem Mikrobewässerungsverfahren.

Der Tropfer ist das Herz einer jeden Tropfbewässerungsanlage. Von jedem einzelnen Tropfer und dessen Funktionsfähigkeit ist die Gleichmäßigkeit der Wassergabe entlang einer Tropfleitung und innerhalb eines Tropfbewässerungssystems abhängig. Die Tropfer sollten vor allem den nachfolgenden Anforderungen genügen:

- die Wasserabgaberate des Tropfers muß klein, gleichmäßig und konstant sein;
- der Durchflußquerschnitt muß so groß sein, daß Verstopfungen auf ein Minimum beschränkt bleiben;
- der Tropfer muß billig sein und eine große Stabilität gegenüber mechanischen Beanspruchungen aufweisen.

Die heute auf dem Markt befindlichen Tropfer oder Tropfelemente lassen sich nach Anordnung des Tropfelements und nach der Art der Druckreduzierung unterscheiden (Abb. 2).

Die Erfahrungen, die mit der Tropfbewässerung in den vergangenen 25 Jahren gesammelt wurden, haben gezeigt, daß bedingt durch die Anordnung des Tropfelements auf der Tropfleitung, nicht alle Verfahren für jeden Einsatzbereich geeignet sind. Zwischengesetzte und aufgesetzte Tropfelemente werden überwiegend für die Bewässerung von Dauerkulturen (z.B. Citrus, Reben usw.) eingesetzt. Im Gegensatz zum zwischengesetzten Tropfelement lassen sich die aufgesetzten Tropfelemente leicht aus

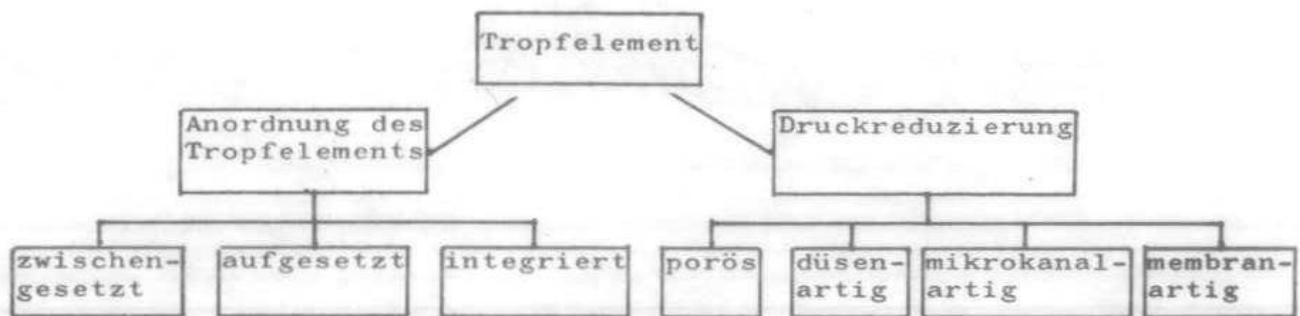


Abb. 2: Einteilung der Verfahren der Tropfbewässerung nach Anordnung des Tropfelements und Druckreduzierung (nach SOURELL u. BRAMM, 1980)

wechseln, und bei einigen Fabrikaten ist auch eine manuelle oder selbsttätige Spülung zur Beseitigung von Verstopfungen möglich; wobei die manuelle Spülung aus arbeitswirtschaftlichen Gründen meist wenig sinnvoll erscheint, weil das Aufsuchen jedes einzelnen Tropfelementes zu zeitaufwendig ist. Für einjährige Kulturen werden Verfahren mit integrierten Tropfern bevorzugt, weil sie für die Auf- und Abbauarbeiten leicht zu Rohrbunden getrommelt werden können und damit eine gewisse Mechanisierung der Verlegearbeiten möglich ist. Ein weiterer Vorteil des integrierten Tropfers im Verhältnis zum aufgesetzten Tropfer ist es, daß er nicht so stark externen Beschädigungen ausgesetzt ist.

Hinsichtlich der Druckreduzierung haben Tropfer bzw. Verfahren bevorzugt Anwendung gefunden, bei denen die Druckreduzierung mikrokanalartig erfolgt. Dies vor allem, weil Mikrokanaltropfer die weitaus größten Durchflußquerschnitte zulassen und damit meist einer geringeren Verstopfungsgefahr unterliegen. Durch besondere konstruktive Gestaltung des Mikrokanals wurde dieser Effekt im Verlauf des letzten Jahrzehnts noch verbessert (z.B. spiralförmige Anordnung des Mikrokanals um das Tropfrohr oder labyrinthförmige Ausbildung des Mikrokanals).

Dem Tropfer wird das Bewässerungswasser über die Tropfleitungen und die verschiedenen Zuleitungen zugeleitet, Letztere werden, im Gegensatz zu den Tropfleitungen, meist unterirdisch verlegt, um bei den verschiedenen Feldarbeiten Störungen und Behinderungen auf ein Minimum zu beschränken. Bei Dauerkulturen kann eine teilweise unterirdische Verlegung der Tropfrohre sinnvoll sein. Eine entsprechende Verfahrensweise hat sich z.B. im Süden Portugals bewährt. Hier werden die Tropfrohre unterirdisch verlegt. Lediglich jeweils unter dem zu bewässernden Obstbaum wird das Tropfrohr zur Bodenoberfläche geführt, verläuft dann für 2–3 m oberirdisch, um dann bis zum nächsten Baum unterirdisch weiterzuverlaufen. Die Tropfer sind jeweils auf dem oberirdisch verlaufenden Teil des Tropfrohres angebracht.

Weitaus verbreiteter ist in der Praxis jedoch die vollständig oberirdische Verlegung der Tropfrohre, weil diese Verlegungsart am einfachsten und sichersten die notwendige Kontrolle der Tropfer ermöglicht. Nur in Ausnahmefällen wird die vollständige unterirdische Verlegung der Tropfrohre und Tropfer praktiziert.

Aus Kostengründen, aber auch aus Gründen einer in der Regel leichteren Handhabung bei der Verlegung, besteht das gesamte Rohrnetz einer Tropfbewässerungsan-

lage meist aus Kunststoffrohren. Für die Zuleitungen wird in der Regel PVC oder PE und für die Tropfrohre PE-Rohrmaterial verwendet. Da im Rohrnetz der Tropfbewässerungsanlagen wesentlich geringere Drücke auftreten als z.B. bei Beregnungsanlagen, sind hier auch nicht unbedingt sehr starkwandige Rohre erforderlich. Sie müssen jedoch über die erforderliche hydraulische Belastungsfähigkeit verfügen, in der Regel bis zu Betriebsdrücken von 4 – 6 bar.

Im einzelnen sind an das Rohrmaterial von Tropfbewässerungsanlagen in der Regel folgende Anforderungen zu stellen:

- Lebensdauer von 100.000 Stunden unter Feldbedingungen (Witterungsstabilität, Zeitstandfestigkeit);
- hydraulische Belastungsfähigkeit bis 4 – 6 bar Betriebsdruck;
- durchschnittliche Betriebstemperatur von 50 °C (Wärmestandfestigkeit);
- ausreichende Schlagzähigkeit;
- ausreichende Elastizität, um z.B. in die Wand eingeklemmte Auslaßvorrichtungen festzuhalten;
- ausreichende Flexibilität;
- einheitliche Färbung und Dichte des Kunststoffes, damit z.B. kein Licht eintreten kann und dadurch Algenvermehrung verhindert wird;
- Widerstandsfähigkeit gegen ultra-violette Strahlen (UV-Stabilität);
- niedriger Preis;
- Korrosionsbeständigkeit (Chemikalien).

Ein noch nicht gelöstes Problem stellt die externe Beschädigung der Tropfrohre durch Tiere (z.B. Ratten) dar. Es wäre wohl angebracht, in obigen Anforderungskatalog die Resistenz der Tropfer gegenüber Tierfraß mit aufzunehmen.

Die eingesetzten Tropfrohre haben in der Regel einen Innendurchmesser von 12 – 32 mm.

Ein weiterer Bestandteil einer jeden Tropfbewässerungsanlage ist die Kopfeinheit, auch Steuer- oder Wartungseinheit genannt. Die Kopfeinheit besteht im Regelfall aus der Pumpe, die das Wasser aus dem jeweiligen Wasservorkommen entnimmt und mit einem gewissen Druck in das System einspeist. Vor Einspeisung in das Rohrnetz muß das Wasser jedoch einen Filter durchlaufen, da die Funktionsfähigkeit der Tropfer – die meist nur einen Durchflußquerschnitt von 0,5 bis 1,5 mm aufweisen – nur gewährleistet werden kann, wenn alle Schmutzstoffe von ihnen ferngehalten werden, die zu Verstopfungen führen könnten. In der Praxis sind die Siebfeinfilter und die Kies-Sandfilter die weitaus verbreitetsten Filterarten. Aufgrund der einfachen Bauweise und leichten Handhabung verdienen u.a. die Lamellenfilter und Wirbelkammerabscheider besondere Beachtung. Wobei sich die Wirbelkammerabscheider besonders bei der Entfernung von Sand bewährt haben, der z.B. mit dem Grundwasser aus Brunnen gefördert werden kann. Bei der Nutzung von Oberflächenwasser aus stehenden Gewässern hat sich der in Australien entwickelte selbstreinigende Siebfilter, der saugseitig installiert wird, gut bewährt (Abb. 3).

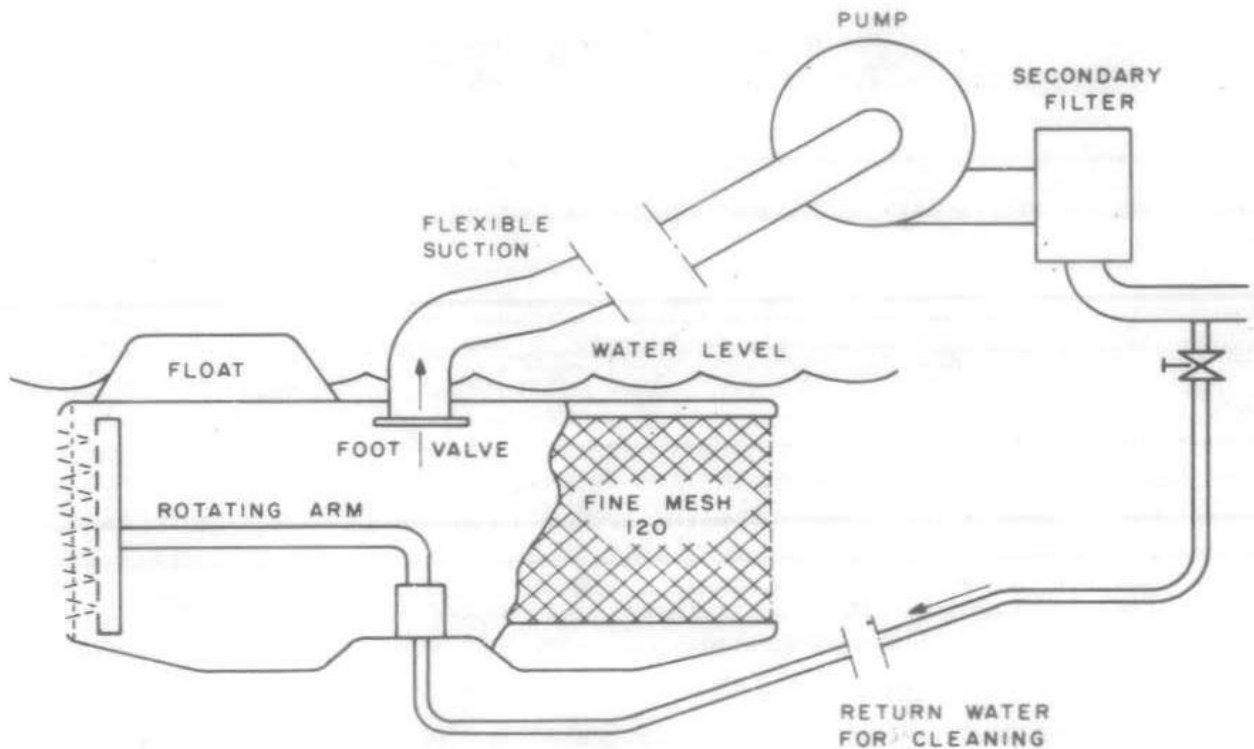


Abb. 3: Saugseitig zu installierender selbstreinigender Siebfilter (VERMEIREN u. JOBLING, 1980)

Bei den Siebfiltern werden bevorzugt Filtergewebe mit einer lichten Maschenweite von 0,08 bis 0,15 mm (100 – 200 mesh) verwendet. Eine extreme Feinfiltration erscheint nicht sinnvoll, weil ganz offensichtlich ein Großteil der Partikel kleiner als 90 Mikrometer erst zu einem Verstopfungsproblem aufgrund mikrobiologischer Flockungsvorgänge innerhalb der Tropfrohrleitungen werden. Nach GERAD (Zit. in 2) kommt es selbst bei einer extremen Feinfiltration, bei der alle Partikel zurückgehalten werden, die größer als 5 Mikrometer sind, noch zu Verstopfungsproblemen. Die durch mikrobiologische Vorgänge in den Tropfrohren ausgelöste Flockung ist nicht durch Feinfiltration sondern nur durch eine Behandlung mit Chemikalien zu verhindern bzw. zu beseitigen.

Dort, wo chemische Wasserinhaltsstoffe oder belebte Schwebstoffe (Bakterien, Algen, Protozoen und Pilzfäden) zu Verstopfungsproblemen führen, hat sich eine besondere Behandlung des Wassers als notwendig erwiesen (WOLFF, 1977). Im Bereich Kopfeinheit sind daher gegebenenfalls entsprechende Einrichtungen vorzusehen.

BUCKS et al. (Zit. in DASBERG u. BRESLER, 1985) haben Kriterien zur Beurteilung von Bewässerungswasser im Hinblick auf dessen Eignung für die Tropfbewässerung aufgestellt (Tab. 1).

Ferner gehören zur Kopfeinheit Druckkontroll- und Druckregulierungseinrichtungen, Schieber und, wo erwünscht, eine Vorrichtung zum Einspeisen von Minerallösungen und sonstigen Chemikalien. Das Angebot an entsprechenden Geräten ist äußerst groß. Oft stehen die Kosten dieser Geräte in keinem Verhältnis zum Nutzen.

Tab. 1: Kriterien für die Beurteilung der Eignung von Bewässerungswasser für die Tropfbewässerung

Parameter	Einheit		Verstopfungsgefahr			
			gering	mäßig	groß	
Schwebstoffe	mg/l	<	50	50 - 100	>	100
pH		<	7,0	7,0 - 8,0	>	8,0
gelöste Stoffe	mg/l	<	500	500 - 2000	>	2000
Mangan	mg/l	<	0,1	0,1 - 1,5	>	1,5
Eisen	mg/l	<	0,1	0,1 - 1,5	>	1,5
Schwefelwasserstoff	mg/l	<	0,5	0,5 - 2,0	>	2,0
Anzahl der Bakterien je ml		<	10000	10000 - 50000	>	50000

Quelle: BUCKS et al., 1982 (Zit in DASBERG und BRESLER, 1985)

Eine generelle Beurteilung dieser Geräte etc. ist kaum möglich, da die Verhältnisse, die den Einsatz eines Gerätes sinnvoll oder unsinnig erscheinen lassen, von Standort zu Standort stark wechseln.

Zu fordern ist für das gesamte Tropfbewässerungssystem und dessen Einzelteile, speziell aber für die Kopfeinheit, eine äußerst große Betriebssicherheit, da insbesondere bei der Tropfbewässerung ein Betriebsausfall oder selbst mehrere kleinere Betriebsunterbrechungen zu starken Beeinträchtigungen der Wasserversorgung der Kulturpflanzen führen.

Ein kritischer Bereich bei vielen Tropfbewässerungssystemen sind die Fittings, d.h. die Verbindungs-, Anschluß-, Übergangsstücke etc. . Viele der angebotenen Fittings sind noch immer nicht den rauen Bedingungen des praktischen Bewässerungsbetriebes gewachsen. Die Erfahrung lehrt, daß man bei den Fittings nicht sparen sollte. Billige Fittings führen oft zu Störungen und verursachen erhöhte Betriebskosten.

4 Einsatzbedingungen der Tropfbewässerung

Die Tropfbewässerung wurde anfänglich in England, Dänemark, Neuseeland, Deutschland und den USA für Bewässerung von Unterglaskulturen entwickelt und hat hier weltweit in den letzten Jahrzehnten eine große Verbreitung gefunden. Die Anwendung im Freiland setzte Anfang der 60-iger Jahre in Australien und Israel ein. Nach ersten Erfolgsmeldungen aus diesen beiden Ländern fand sie sehr schnell eine weltweite Verbreitung, wobei ihre Einsatzmöglichkeiten teilweise überschätzt und ihre Einsatzprobleme unterschätzt wurden.

Der Verfasser hat in Australien, Kalifornien, Texas, England, Tunesien, Israel, Portugal und Deutschland die Einsatzbedingungen für Tropfbewässerungsanlagen durch

persönliche Anschauung kennengelernt und in der Literatur, sowie durch persönliche Kontakte die Entwicklung in anderen Ländern verfolgt. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse lassen die Schlußfolgerung zu, daß die Tropfbewässerung heute mehr oder weniger erfolgreich dort eingesetzt wird, wo

- ein begrenztes Wasserdargebot und/oder hohe Wasserpreise zu einer sparsamen Verwendung des Bewässerungswassers zwingen;
- hohe Lohnkosten Arbeitszeiteinsparungen notwendig machen, dies insbesondere im Hinblick auf den Abbau besonders lohnintensiver Überstunden;
- ein Bedürfnis nach Arbeitserleichterung vorliegt;
- die Kulturpflanzen zur Erzielung der geforderten Qualität und Quantität der Ernteprodukte einer gleichmäßigen, kontrollierbaren Wasserversorgung bedürfen;
- die Bodenverhältnisse (geringe nutzbare Speicherfeuchte) und hohe Evapotranspirationswerte sehr kurze Bewässerungsintervalle erzwingen;
- ein hoher Salzgehalt des Bewässerungswassers besondere Anforderungen an die Bewässerungstechnik und das Bewässerungsmanagement stellt;
- steigende Energiekosten Einsparungen an Energie erforderlich machen;
- Hanglage, Windeinflüsse u.a. den Einsatz anderer Bewässerungsverfahren weniger effizient erscheinen lassen;
- der Marktwert der zu erzeugenden pflanzlichen Produkte und der damit erzielbare Gewinn relativ hohe Investitionen zuläßt.

Es ist zu beobachten, daß der Einsatz der Tropfbewässerung nur dort wirtschaftlich erfolgreich ist, wo mehrere der oben aufgeführten Gründe für deren Einsatz sprechen. Wobei insbesondere der Marktwert der zu erzeugenden pflanzlichen Produkte und der damit erzielbare Gewinn von entscheidender Bedeutung ist.

Ihr bevorzugtes Einsatzgebiet hat die Tropfbewässerung in Dauerkulturen gefunden, sofern relativ weite Tropfrohrabstände möglich sind, und damit die Investitionskosten in einer vertretbaren Relation zu den Investitionskosten anderer Bewässerungsverfahren stehen. In dichtwachsenden Reihenkulturen (z.B. Gemüse) konnte sie aus diesen Gründen, von Spezialkulturen unter besonderen Standortverhältnissen abgesehen, bisher keine größere Verbreitung finden. Dies trifft ganz besonders auch für einjährige, dichtwachsende Reihenkulturen in humiden bis semihumiden Klimabereichen zu. Verallgemeinernd kann man heute sagen, daß die Tropfbewässerung im Regelfall nicht mehr wirtschaftlich sinnvoll zum Einsatz kommen kann, wenn Tropfrohrabstände kleiner als 2 m notwendig sind. Relativ enge Tropfrohrabstände sind beispielsweise in der Gemüsebewässerung notwendig, weil ansonsten mit der Entfernung vom Tropfrohr eine zu große Qualitätseinbuße bei dem Ernteprodukt auftritt. Aber auch bei Baumkulturen, z.B. Citrus, können relativ enge Tropfrohrabstände notwendig werden, wenn der jeweilige Boden nur eine begrenzte horizontale kapillare Wasserausbreitung ermöglicht (z.B. Sandboden). Die Erfahrungen, die mit der Tropfbewässerung gemacht wurden, haben gezeigt, daß gerade bei Citrus optimale Erträge nur erzielt werden können, wenn günstige Bodenfeuchteverhältnisse in den obersten Bodenschichten, und zwar in dem überwiegenden Teil des durchwurzelbaren Bodenraumes

dieses oberflächennahen Bereichs, vorliegen. Um dies zu erreichen, sind bei leichteren Böden u.U. zwei Tropfrohrleitungen pro Baumreihe notwendig, wodurch die Investitionskosten in vielen Fällen auf ein kaum vertretbares Maß ansteigen.

Dem Einsatz in einjährigen Reihenkulturen steht nicht nur der relativ hohe Arbeitsaufwand in Zusammenhang mit der Verlegung und dem Entfernen der Tropfrohrleitungen aus den Pflanzenbeständen sowie die durch die Tropfrohrleitungen bedingten Bewirtschaftungsverhältnisse entgegen, es geht dabei auch um die Bewältigung und Lagerung der Unmengen an Tropfrohrleitungen außerhalb der Bewässerungsperiode. Bei Tropfrohrabständen von 2 m sind immerhin mindestens 5 km Rohr pro ha zu bewältigen, bei einem Abstand von 1,5 m schon fast 7 km pro ha. Inwieweit die Bemühungen, die Tropfbewässerung z.B. im Baumwollanbau einzuführen, wie dies seit einigen Jahren in Israel und Arizona versucht wird, erfolgreich sein werden, bleibt abzuwarten. In der Zuckerrohrbewässerung kann dies unter speziellen Standortverhältnissen, z.B. auf Hawaii, durchaus als gelungen angesehen werden.

Ein besonderes Einsatzgebiet hat die Tropfbewässerung im Landschaftsbau der Trokengebiete, vor allem bei der Bewässerung von Ziersträuchern etc., gefunden. Die Bewässerung von Rasenflächen mittels Tropfbewässerung durch unterirdische Verlegung der Tropfrohrleitungen blieb bisher jedoch auf Sonderfälle begrenzt. Hier sind die Kosten für solche Anlagen besonders hoch, weil sehr enge Tropfrohrabstände nötig und sehr hohe Anforderungen an die Filtration des Wassers zu stellen sind.

5 Probleme der Tropfbewässerung

Die ersten 25 Jahre der Anwendung der Tropfbewässerung im Freiland haben deutlich werden lassen, daß die Tropfbewässerung als ein relativ junges, noch in der Entwicklung befindliches Bewässerungsverfahren, durchaus kein problemloses Verfahren ist. Zwar gibt es hier z.T. erhebliche Unterschiede zwischen den einzelnen Tropfbewässerungssystemen bzw. den verschiedenen Fabrikaten, auch haben sich einige Hersteller z.T. sehr erfolgreich bemüht, die aufgetretenen Probleme zu lösen, insgesamt bestehen aber die systembedingten Probleme in mehr oder minder ausgeprägter Form nach wie vor. Zu den Hauptproblemen, die sich in dem letzten Jahrzehnt herauskristallisiert haben, zählen:

- Verstopfung der Tropfelemente infolge chemischer, organischer und mechanischer Ablagerungen;
- Steuerungsprobleme, -d.h. Unsicherheit über optimalen Einsatzzeitpunkt, Tropfhäufigkeit, Höhe der Einzelgabe in Abhängigkeit von Klima, Boden und Kulturart u.a.m.;
- Behinderung der herkömmlichen Pflege- und Erntearbeiten durch die oberirdisch verlegten Tropfrohrleitungen;
- Arbeitszeiteinsparungen sind oft geringer als zunächst erwartet, insbesondere bei einjährigen Kulturen und wenn eine relativ häufige individuelle Kontrolle des Tropfelementes notwendig ist;

- unzureichende flächenmäßige Befeuchtung des Wurzelbereichs durch ein Tropfelement, insbesondere bei leichteren Böden. Dies bedingt z.B. eine unverhältnismäßig große Zahl von Tropfern und Metern Tropfrohrleitung pro Baum und damit hohe Investitionskosten;
- hohe Anforderungen an die fachliche Qualität und das Engagement des Bedienungspersonals, und zwar steht dies in Abhängigkeit zum Grad der Automatisierung und nimmt mit diesem in der Regel zu;
- hohe Empfindlichkeit gegenüber externen Beschädigungen;
- Empfindlichkeit in Bezug auf Fraßschäden durch Tiere (Ratten, Kaninchen, Coyoten etc.) an den Kunststoffrohren;
- unbefriedigende Qualität des Tropfbewässerungsmaterials (Fittings, Tropfer, Rohrmaterial etc.);
- unzureichende Funktionssicherheit des Tropfbewässerungsmaterials (z.B. selbsttätig spülende Tropfer, Spülventile etc.);
- relativ hohe Materialkosten.

Weitaus mehr als durch die oben aufgezeigten Probleme wird die Funktionsfähigkeit einer Tropfbewässerungsanlage durch das Bedienungspersonal bestimmt. Die Erfahrung hat gezeigt, daß es kein Tropfbewässerungssystem gibt, das unter allen Standortbedingungen völlig problemlos und ohne ständige Aufsicht arbeitet. Auch bei diesem Bewässerungsverfahren ist gut geschultes Bedienungspersonal unabdingbare Voraussetzung für die Funktionsfähigkeit der Anlagen. Nur zu leicht können durch Bedienungsfehler, wie die Erfahrungen immer wieder gezeigt haben, die Vorteile dieses Bewässerungsverfahrens aufgehoben und u.U. sogar in das Gegenteil verkehrt werden. Selbst ein noch so hoher Grad an Automatisierung vermag die manuelle Kontrolle und Wartung der Tropfbewässerungsanlagen nicht zu ersetzen. Die anfänglich für möglich gehaltene drastische Einsparung an Arbeitszeit ist in der Bewässerungspraxis nur in einem bescheidenen Umfang realisiert worden. Allerdings hat das Verfahren zu erheblichen Arbeitserleichterungen geführt, da schwere körperliche Arbeit bei der Tropfbewässerung entfällt.

Die Erfahrungen haben darüber hinaus gezeigt, daß ein gutes Management einer Tropfbewässerungsanlage nicht erst mit der Installation oder gar mit der Inbetriebnahme beginnt, sondern schon bei der Planung der Anlage. Bei der Tropfbewässerung kann nicht, wie anfänglich angenommen, mit standartisierten Entwürfen gearbeitet werden. Es bedarf hier ganz besonders einer Analyse der jeweiligen Standort- und Managementverhältnisse und darauf aufbauend einer sehr sorgfältigen Planung. Wenn die Tropfbewässerung in dem ersten Vierteljahrhundert ihrer Existenz ab und an in Mißkredit geraten ist, dann ist dies in den meisten Fällen auf eine ungenügende Berücksichtigung der Standort- und Managementverhältnisse sowie auf eine unzureichende Planung der Anlage zurückzuführen. Oft wurden dabei die Möglichkeiten und Grenzen, die diesem Verfahren innewohnen, über- bzw. unterschätzt. Auch die Tropfbewässerung vermag keine Wunder zu vollbringen und z.B. aus unproduktiven, marginalen Standorten solche höchster Produktivität zu machen.

Bei der Bewässerung extrem leichter, sehr durchlässiger Böden, wie auch bei sehr schweren Böden, hat es in der Bewässerungspraxis immer wieder Probleme mit der Tropfbewässerung im Hinblick auf eine hinreichende Befeuchtung des Wurzelbereichs der zu bewässernden Pflanzen gegeben. Um unter solchen Verhältnissen doch zu einer hinreichenden Bodenbefeuchtung zu kommen, muß die Anzahl der Tropfelemente und/oder ein engerer Tropfrohrabstand gewählt werden, was zwangsläufig zu einer erheblichen Erhöhung der Investitionskosten je Flächeneinheit führt. Diese Schwierigkeiten lassen sich mit der Niederdruckmikrodüsenberegnung oder mit der Mikrobergnung überwinden (WOLFF, 1982). Aufgrund der verfahrensspezifischen Probleme, der erhöhten Empfindlichkeit gegenüber externen Beschädigungen und Störungen, sowie der z.T. höheren Kosten stellen diese beiden Mikrobewässerungsverfahren bisher noch keine allgemein brauchbare Alternative zur Tropfbewässerung dar.

6 Erfolge der Tropfbewässerung

Die Tropfbewässerung hat, trotz all der Probleme, die ihr noch anhaften, eine Reihe recht beachtlicher Erfolge aufzuweisen und sich damit weltweit einen festen Platz in der Bewässerungswirtschaft erobert. Zu den unbestrittenen Erfolgen gehört ohne Zweifel die hohe Effizienz der Wassernutzung, die insbesondere dort besonders deutlich wurde, wo Wasser knapp und teuer war und die Anwendung anderer Verfahren hohe Wasserverluste aufwies. Wassereinsparungen von 30 – 50% sind hier keine Seltenheit. In Kalifornien wurden bei der Bewässerung von Avocados im Hügelland von San Diego gegenüber der Beregnung in einem sechsjährigen Versuchszeitraum sogar Wassereinsparungen von 65 – 75% erzielt. Weniger deutlich ist die günstige Effizienz der Wassernutzung allerdings dort, wo die bis zur Einführung der Tropfbewässerung angewandten Verfahren schon eine hohe Effizienz der Wassernutzung aufwiesen. Wassereinsparungen in der Größenordnung von 20 – 25% sind selbst unter solchen Verhältnissen noch realisierbar, ein gutes Management der Anlagen vorausgesetzt.

Hinsichtlich der Wassereinsparungen durch Tropfbewässerung konnte allerdings bisher wissenschaftlich exakt nicht nachgewiesen werden, was in Veröffentlichungen immer wieder behauptet wird, daß die Pflanzen bei Tropfbewässerung mit weniger Wasser auskommen, d.h. einen geringeren Wasserbrauch haben. Unter Berücksichtigung der bis heute bekannten Beziehungen zwischen Boden, Wasser, Pflanze und Sproßumwelt kann davon ausgegangen werden, daß dies auch nicht der Fall ist. Der geringere Wasserbedarf bei der Tropfbewässerung ist nicht auf einen geringeren Wasserverbrauch sondern einzig und allein auf eine Einschränkung der Wasserverluste zurückzuführen.

Die drastische Einschränkung der Wasserverluste und der geringere Druckbedarf gegenüber der Beregnung führten zu beachtlichen Energieeinsparungen und damit zu einer deutlichen Senkung der Betriebskosten. Angesichts der ständig steigenden Energiekosten ist dies ein besonderer Vorteil der Tropfbewässerung.

Einsparungen sind schließlich auch bei der Düngung möglich geworden, wenn diese über das Tropfbewässerungssystem erfolgt. Die exakte Platzierung und termingerechte Anwendung in gelöster Form, insbesondere der Stickstoffdünger, ergibt einen günstigen Ausnutzungsgrad und eine günstige Wirkung der Mineraldünger. Erfahrungen haben gezeigt, daß die Anwendung der Tropfbewässerung ohne gleichzeitige Mineraldüngung im Vergleich zur Bewässerung mittels Furchenbewässerung zu Ertragseinbußen führen kann. Dies wird darauf zurückgeführt, daß durch die starke Wurzelentwicklung in dem begrenzten Bodenvolumen im Umfeld des Tropfers vor allem der Stickstoffvorrat u.U. schnell erschöpft ist und die Pflanze unter Tropfbewässerung somit Mangel leidet. Hieraus wird die Notwendigkeit der Kombination Tropfbewässerung und Mineraldüngung deutlich. Es ist allerdings darauf zu achten, daß die eingesetzten Mineraldünger wasserlöslich sind und nicht zu Verstopfungen führen.

Die mit der Tropfbewässerung möglich gewordene optimale Gestaltung des Bodenfeuchtehaushaltes hat bei vielen der bewässerten Kulturen zu einer Qualitätsverbesserung der Ernteprodukte und bei einigen Kulturen auch zu Ertragssteigerungen geführt. Dies immer im Vergleich zu anderen Bewässerungsverfahren.

Die Möglichkeit, mit der Tropfbewässerung den Bodenfeuchtehaushalt optimal zu gestalten, erlaubt zugleich, auch das osmotische Potential auf einem günstigen Niveau zu halten. Durch die Wasserzufuhr in kurzen Zeitabständen und die dadurch bedingte Aufrechterhaltung eines hohen Bodenfeuchtegehaltes bleibt in der Bodenlösung stets ein hoher Verdünnungsgrad erhalten, und es kommt nicht zu einem periodischen Anstieg der Salzkonzentration, wie dies bei Anwendung aller anderen Bewässerungsverfahren unumgänglich ist.

Als weiterer Vorteil der Tropfbewässerung gegenüber anderen Bewässerungsverfahren, wie sie in den letzten beiden Jahrzehnten durch die Bewässerungspraxis bestätigt wurden, sind zu nennen: keine Verschlammung und Verkrustung der Bodenoberfläche; trockene Reihenzwischenräume und dadurch Erleichterung der Pflege- und Erntearbeiten; weniger Unkraut in den Reihenzwischenräumen, vor allem in Trockengebieten; Einsatzmöglichkeiten unter extremen Standortverhältnissen, ganz besonders im Rahmen des Landschaftsbaues u.a.

Im operationellen Bereich bietet die Tropfbewässerung gegenüber allen anderen Bewässerungsverfahren den Vorteil, daß mit ihr praktisch ein 24-stündiger Bewässerungsbetrieb möglich ist. Hinzu kommt die Windunabhängigkeit als ein wesentlicher Vorteil gegenüber der Windempfindlichkeit aller Beregnungsverfahren. Schließlich führen der geringere Druckbedarf und die geringen Applikationsraten pro Zeiteinheit zu Einsparungen bei den Investitions- und Betriebskosten, wenn man einen Vergleich mit der Beregnung anstellt. Hinsichtlich der Investitionskosten trifft dies allerdings nur zu, wenn relativ weite Tropfrohrabstände möglich sind.

Die ursprünglich als Vorteil der Tropfbewässerung herausgestellte Möglichkeit der Verwendung salzhaltigen Bewässerungswassers hat sich in der Praxis durchaus bestä-

tigt. Es muß dabei jedoch beachtet werden, daß auch bei der Tropfbewässerung ein dem Salzgehalt des Bewässerungswassers entsprechender Auswaschungsbedarf (leaching requirement) vorliegt. In Kalifornien rechnet man mit einem zusätzlichen Wasserbedarf von etwa 20% der Bewässerungsmenge, um eine ausreichende Kontrolle des Bodensalzhaushaltes zu gewährleisten. Ein weiteres Problem stellt die Salzanreicherung an der Bodenoberfläche und im Bereich der Bodenfeuchtefront dar. Diese Salze, die sich in der niederschlagsfreien Bewässerungsperiode dort ansammeln, werden bei Auftreten natürlicher Niederschläge gelöst und u.U. in den Wurzelraum der tropfbewässerten Pflanzen verfrachtet und können dort zu erheblichen Schäden führen. Um dieser Gefahr zu begegnen, wird in der Praxis auch bei einsetzendem Niederschlag die Bewässerung fortgesetzt, um so einem übermäßigen Anstieg der Salzkonzentration weltweit einen festen Platz in der Bewässerungswirtschaft erobert. Wirtschaftlich erfolgreich wurde sie bisher nur dort eingesetzt, wo Einsatzbedingungen vorlagen, die die Vorteile dieses Verfahrens voll zum Tragen brachten. Die wichtigsten dieser Einsatzbedingungen wurden aufgelistet.

Die Tropfbewässerung ist nach wie vor mit einer Reihe von Problemen behaftet. Die Auflistung dieser Probleme zeigt, daß an erster Stelle dieser Probleme noch immer die Verstopfungsgefahr steht.

Abgesehen davon, daß die Entwicklung der Tropfbewässerung den Entwicklungsprozeß der gesamten Bewässerungstechnologie einschließlich der damit zusammenhängenden ackerbaulichen und pflanzenbaulichen Fragen, positiv beeinflusst hat, kann sie eine Reihe recht beachtlicher Erfolge aufweisen. Hier sind neben den Möglichkeiten einer optimaleren Gestaltung des Bodenfeuchtehaushaltes vor allem die erzielbaren Wasser- und Energieeinsparungen zu nennen. Weitere Vorteile werden aufgezeigt.

Als Alternative zur Tropfbewässerung wurde im letzten Jahrzehnt die Niederdruckmikrodüsenberegnung und die Mikrodrehstrahlberegnung entwickelt. Bedingt durch ihre verfahrensspezifischen Probleme sind sie bisher nur unter speziellen Standortbedingungen als Alternative zur Tropfbewässerung anzusehen.

Der Einsatz von Folientropfschläuchen bei Bewässerung dichtwachsender einjähriger Kulturen wird großflächig erprobt. Ob er, wie auch der Einsatz von Tropfbewässerungsmaschinen, einmal größere Bedeutung erlangen wird, muß mit einem großen Fragezeichen versehen werden.

Summary

During its first 25 years of existence drip/trickle irrigation has grown up, reaching a remarkable place among the more sophisticated irrigation technologies around the world. Experience has shown that drip/trickle irrigation can nowadays be used with reasonable hope of success when certain conditions prevail. The most important of these conditions are listed in this paper.

The first 25 years of use of drip/trickle irrigation in the field have shown clearly that this is a relatively recent irrigation procedure that is still in the development stage and therefore it is not without problems. Although the differences between the individual drip/trickle irrigation procedures and the hardware used are sometimes considerable, and although the manufactures have tried, in some cases very successfully, to solve the problems, it is a fact that difficulties still continue to exist. Among the most important ones are still blockages in the drippers due to chemical, organic and mechanical deposits. The main reason for the worldwide interest in drip/trickle irrigation is the increasing scarcity and growing cost of natural resources, in particular water and energy. As a general rule, the drip/trickle irrigation procedures go a long way towards meeting the desire for a highly efficient low-energy system for the distribution of irrigation water; this is because with drip/trickle irrigation one can achieve much better distribution of the water than is normally possible with conventional irrigation methods and also, at the same time, it makes efficient use of energy.

As an alternative to drip/trickle irrigation other micro irrigation systems have been developed, the most important ones being microjet and micro-sprinkler irrigation. Both methods having some advantage over drip/trickle irrigation under special site conditions only.

At the end of the paper aspects of future developments in micro irrigation are briefly discussed, especially in respect to mobile drip/trickle irrigation systems.

Literaturverzeichnis

1. American Society of Agricultural Engineers, 1985: Drip/Trickle Irrigation in Action. Proc. of the Third International Drip/Trickle Irrigation Congress. Selbstverlag ASAE, St. Joseph
2. BLACK, J.D.F., 1976: Trickle Irrigation – A review. – Horticultural Abstracts Vol. 46 (No. 1 u. 2), 1 – 7, 69 – 74
3. DASBERG, S.; BRESLER, E., 1985: Drip Irrigation Manual. Publication No. 9. International Irrigation Information Center, Bet Dagan
4. SOURELL, H.; BRAMM, A., 1980: Ergebnisse aus Feldversuchen zur Bewässerung von Körner- und Silomais unter besonderer Berücksichtigung der Tropfbewässerung. Zeitschrift für Bewässerungswirtschaft 15 (H. 2), 145 – 164
5. VERMEIREN, I.; JOBLING, G.A., 1980: Localized irrigation – design, installation, operation, evaluation. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 36. Selbstverlag FAO, Rom
6. WOLFF, P., 1977: Wasserbeschaffenheit und –aufbereitung bei Einsatz von Tropfbewässerungsverfahren. Zeitschrift für Bewässerungswirtschaft 12 (H. 1), 69 – 87
7. WOLFF, P., 1982: Zwei Jahrzehnte Tropfbewässerung – Versuch einer Zwischenbilanz. Zeitschrift für Bewässerungswirtschaft 17 (H. 1), 3 – 16