

Verbesserte Methoden der Wasserverteilung im Bewässerungslandbau

Improved Water Application in Irrigated Agriculture

von Rolf Hübener*

1 Einleitung

Unter einem Bewässerungssystem werden alle zum Betrieb der Bewässerung erforderlichen Anlagenteile sowohl für die Wasserbereitstellung als auch für die Wasserverteilung verstanden; zu einem Bewässerungsverfahren hingegen rechnen nur die für die Wasserverteilung auf dem Feld benötigten Systemkomponenten. Entscheidend für den Erfolg im Bewässerungslandbau ist nicht so sehr die Erfassung und Zuleitung des Wassers, sondern dessen gleichmäßige Verteilung auf der zu bewässernden Fläche.

Im Verlauf der langen Geschichte des Bewässerungslandbaus war man ständig bestrebt die Bewässerungstechnik zu verbessern, doch erst in jüngster Zeit erfahren technische und methodische Komponenten eine geradezu rasante Weiterentwicklung. Dies gilt auch für die verschiedenen Organe der Wasserverteilung wie z.B. Schleusen, Ventile, Regner, Sprühdüsen und Tropfer. Als typische Kernelemente von Bewässerungsverfahren verdienen sie eine gesonderte Betrachtung, zumal hier erzielte Fortschritte heute entscheidend zur Betriebskostensenkung im Bewässerungslandbau beizutragen vermögen. So erscheint es angeraten, den aktuellen Entwicklungsstand einmal aufzuzeigen, wie er sich im internationalen Vergleich darstellt. Seine Beurteilung erfolgt unter Berücksichtigung wichtiger bewässerungstechnischer Kriterien wie Gleichmäßigkeit der Wasserverteilung, Intensität der Wasserausbringung, Druckbedarf und Möglichkeit zur Automation, die alle direkt oder indirekt die Wirtschaftlichkeit von Bewässerungsverfahren mitbestimmen.

* Dipl.-Ing. Rolf Hübener, Fachgebiet Kulturtechnik und Wasserwirtschaft, Fachbereich Internationale Agrarwirtschaft, Gesamthochschule Kassel, Steinstraße 19, D-3430 Witzenhausen 1, Bundesrepublik Deutschland

Im Zeitalter der rapide knapper werdenden Ressourcen sind technische Neuerungen jedoch nicht mehr ausschließlich an ihren unmittelbaren, ökonomischen Vorteilen zu messen, sondern müssen auch im Hinblick auf eine optimale Nutzung dieser Ressourcen beurteilt werden. Die Landwirtschaft benötigt weltweit für Bewässerungszwecke rund 80% des Wassers, welches der Mensch insgesamt verbraucht (BISWAS, 1981). Diese Tatsache gewinnt an Bedeutung, wenn man bedenkt, daß auf ca. 95% der Weltbewässerungsfläche traditionelle Verfahren der Oberflächenbewässerung eingesetzt werden, die einen durchschnittlichen Wirkungsgrad von nur ca. 40% aufweisen. Schon eine zehnprozentige Verbesserung der landwirtschaftlichen Wassernutzung würde Einsparungen in einer Größenordnung ermöglichen, die dem weltweiten Verbrauch an Trink- und Brauchwasser in privaten Haushaltungen entspricht (FRAMJI, 1984). Daher sollen hier die im Bereich der Wasseraufleitung erzielten Fortschritte auch hinsichtlich des Wirkungsgrads der Wassernutzung bewertet werden.

Folgende Gliederung der Bewässerungsverfahren hat sich als zweckmäßig erwiesen:

- Oberflächenbewässerung
- Unterflurbewässerung
- Mikrobewässerung
- Beregnung.

Auf die Verfahren der Unterflurbewässerung soll hier nicht näher eingegangen werden, da sie nur regional von Bedeutung sind. Sofern Kapillarität des Bodens, hoher Grundwasserstand oder undurchlässige Bodenhorizonte es erlauben, lassen sich mit diesen Verfahren überwiegend tiefwurzelnde Pflanzen in ebenem Gelände bewässern.

2 Oberflächenbewässerung

Schon die Vielzahl heute praktizierter Verfahren der Oberflächenbewässerung läßt erkennen, mit welchen Mitteln man seit alters her versucht, den unterschiedlichen Rahmenbedingungen bei der Verteilung des Wassers gerecht zu werden. Bedeutende Neuerungen sind hauptsächlich in anwendungstechnischer Hinsicht entstanden. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, daß der Weiterentwicklung der materialintensiven Oberflächenbewässerung von Seiten der Industrie wenig Interesse entgegengebracht wird; die größten Fortschritte beruhen meist auf universitärer Forschung und haben durch die Initiative von Praktikern Eingang in den Bewässerungslandbau gefunden.

Die einfachsten Formen der manuellen Überführung des Wassers vom Zuleiter auf die zu bewässernden Flächen erfordern nach wie vor das Aufgraben bzw. Überfluten des Zuleiters, das Öffnen und Schließen von Schleusen oder Schiebern sowie das Befüllen großer oder kleiner Heberrohre, auch Siphons genannt. Beim Einsatz von Verfahren wie z.B. dem Flächenüberstau, der Becken- oder Landstreifenbewässerung leitet man

das Wasser gewöhnlich mit einem maximalen, aber nicht erodierenden Volumenstrom auf, der in der Praxis selten $150 \text{ m}^3/\text{h}$ je Meter Arbeitsbreite überschreitet. Selbst wenn im Einlaufbereich eine ausreichende Anzahl Strömungstörer installiert ist, darf die Zuflußgeschwindigkeit dabei auf keinen Fall größer als 1 m/s sein, da sonst Erosionsschäden nicht mehr zu vermeiden sind. Dies gilt es auch beim Einsatz großer, beweglicher Heberrohre mit bis zu 150 mm Durchmesser zu beachten. Die vor allem in der Furchenbewässerung gebräuchlichen kleinen Siphons und die sog. „gated pipes“ (Abb. 1 und 2) gewährleisten geringere, für den jeweiligen Einsatz aber besser abstimmbare Volumenströme von max. $15 \text{ m}^3/\text{h}$ bei Strömungsgeschwindigkeiten bis max. $0,2 \text{ m/s}$.

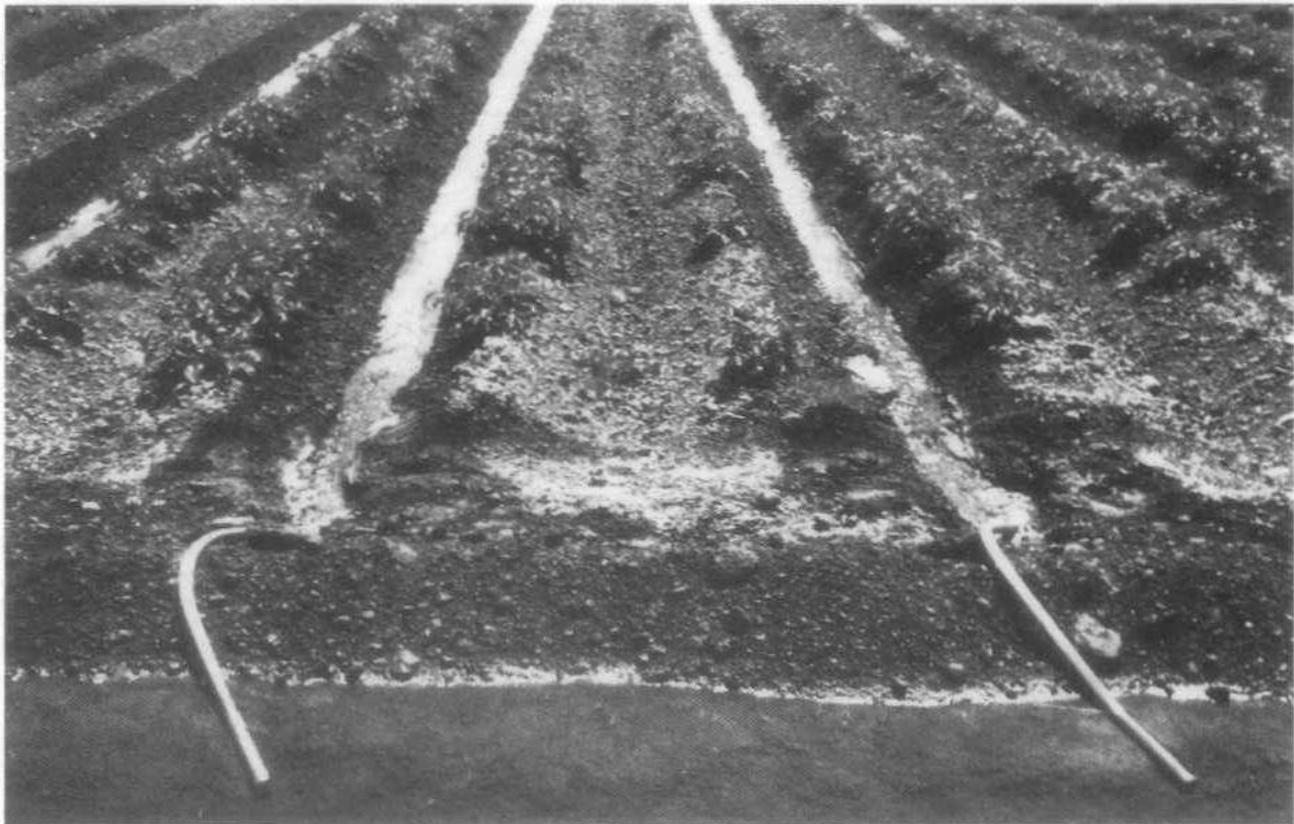


Abb. 1: Furchenbewässerung mit Siphons (Foto: AAVIM)

Von den punkt- oder linienförmigen Aufleitungsstellen aus verteilt sich das Wasser dann der Schwerkraft folgend über die gesamte Fläche, wobei die Gleichmäßigkeit der Wasserverteilung und der Wassernutzungsgrad zunächst von der Güte der Flächenvorbereitung abhängen. Die Computer-Simulation mit bodenphysikalischen Parametern und die Laser-Technologie haben in letzter Zeit entscheidend dazu beigetragen, daß schon in der Planungs- und Vorbereitungsphase von Oberflächenbewässerungssystemen die Grundlagen für eine erheblich verbesserte Wassernutzung und Gleichmäßigkeit der Wasserverteilung geschaffen werden können. In der Praxis sind mittlerweile – entsprechendes Management vorausgesetzt – Wirkungsgrade von 90% er-

reichbar, die z.B. in den USA viele Betriebe auch aus wirtschaftlichen Erwägungen veranlassen, von der Beregnung zur Oberflächenbewässerung überzugehen, vor allem, wenn für letztere entsprechende Flächen schon früher einmal hergerichtet wurden (KRUSE et al., 1981).



Abb. 2: Furchenbewässerung mit „gated pipes“ (Foto: Irrifrance)

Auch die Einführung völlig neuer Aufleitungsmethoden hat viele Verbesserungen bewirkt. So wird seit längerem der sogenannte „cut back flow“, ein verzögert verminderter Wasserzufluß, empfohlen; sein Einsatz im praktischen Bewässerungslandbau ist heute jedoch nicht mehr ausschließlich auf Verfahren der Furchenbewässerung beschränkt. Wie gewohnt beginnt eine Wassergabe mit der Einleitung maximaler nicht erodierender Volumenströme, die nach einer gewissen Zeit aber reduziert werden. Man erreicht so eine gleichmäßigere Wasseraufnahme des Bodens, da die Kontaktzeiten zwischen Boden und zu- bzw. abfließendem Wasser über die gesamte Länge der Furchen einheitlicher sind. Für eine eingehende Beschreibung der hydraulischen Grundlagen und der dynamischen Prozesse wird auf JENSEN (1981) verwiesen.

Da die technische Ausführung der Wasseraufleitungsorgane in der Oberflächenbewässerung nicht direkt für die Güte der Wasserverteilung bzw. für den Wirkungsgrad verantwortlich ist und sich somit in konstruktiver Hinsicht keine Verbesserungen an den Siphons, „gated pipes“, Ventilen, Wehren usw. mehr erzielen ließen, konzentrierte sich die Forschung auf die Automation dieser im praktischen Einsatz so be-

währten Hilfsmittel. Heute sind es vor allem hydraulisch, pneumatisch oder elektrisch – z.T. über Solarenergie – betriebene und mit Zeituhren gesteuerte Schleusen und Ventile (Abb. 3 und 4), welche die Aufleitung des Wassers aus offenen oder geschlossenen Zuleitern selbsttätig ausführen können.

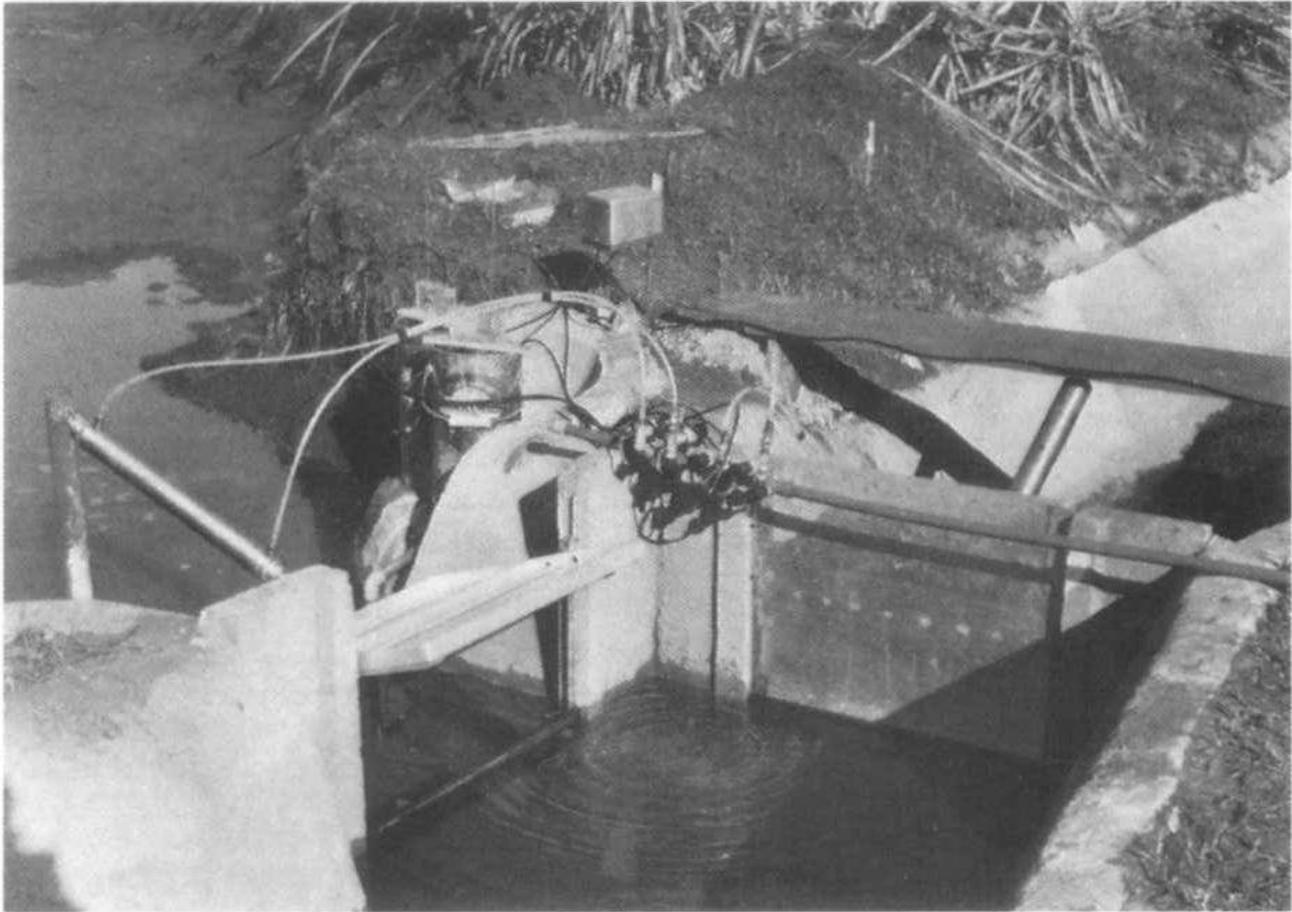


Abb. 3: Wehr und Schleuse, automatisch gesteuert (Foto: USDA)

Dabei bot sich die oben beschriebene Methode des „cut back flow“ besonders für eine Automation an. Eine exakte Drosselung des Zuflusses auf mechanischem Wege wäre jedoch nur mit hohem Materialaufwand möglich gewesen, und so zog man es vor, den unverminderten Volumenstrom in zeitlich gesteuerten Takten entsprechend zu bemessen. Man verringert also nicht die Zuflußrate und die Höhe einer kompletten Wassergabe, sondern nur die aktuelle Zuflußzeit und -menge. Im amerikanischen Sprachgebrauch hat sich hierfür die Bezeichnung „surge flow“ eingebürgert, denn die Wasseraufleitung erfolgt in Form kleiner Flutwellen. Unter Feldbedingungen lassen sich auf diese Weise höhere Wirkungsgrade und eine noch gleichmäßigere Wasserverteilung als mit der konventionellen „cut back flow“ Methode erzielen, so daß man inzwischen auch die Ausbringung von Düng- und Pflanzenschutzmitteln im Wasser von Oberflächenbewässerungsverfahren für möglich hält (GOLDHAMER et al., 1987).



Abb. 4: Automatisches „surge flow“ Ventil mit Solarantrieb (Foto: P&R Surge Systems)

Zur Reduzierung der Anzahl automatischer Ventile (Abb. 4) wird die „surge flow“ Methode in der Furchenbewässerung überwiegend in Verbindung mit „gated pipes“ eingesetzt; jeweils ein automatisches Ventil im Zuleiter versorgt ein mehrere Meter breites Teilstück über entsprechend lange separate Rohrabschnitte.

Auf der Grundlage des „gated pipe“ sind in jüngster Zeit auch neue Wege in der Bewässerungstechnik beschritten worden. Das wohl ungewöhnlichste Verfahren der Wasserausbringung, das sog. LEPA-Konzept, greift überwiegend auf Elemente aus der Beregnungstechnik zurück und wird daher weiter unten beschrieben. Eine andere Entwicklung, die vom Prinzip her schon mit offenen Zuleitern erprobt wurde, sieht in „gated pipes“ einen beweglichen Stopfen vor, der, von einem Kabel gehalten, sich langsam mit dem Wasserstrom automatisch von der Einspeisungsstelle fortbewegt (Abb. 5), so daß die in der Nähe des Stopfens gelegenen Auslaßöffnungen das Wasser nach dem Prinzip des „cut back flow“ bemessen; dieses Verfahren trägt die Bezeichnung „cablegation“ (WORSTELL et al., 1982). Es kann leider nicht ermittelt werden, inwieweit diese Technik schon Eingang in die Bewässerungspraxis gefunden hat.

Die Verteuerung der Arbeitskraft ließ auch nach anderen Lösungen zur Automation von Oberflächenbewässerungsverfahren suchen. Nachdem schon Mitte der 60er Jahre

amerikanische Landwirte für gerade Kanalabschnitte geeignete selbstfahrende oder mit Seilzug betätigte stationäre Stauschütze entwickelt hatten (STEPHAN, 1978), konstruierte man in den USA und Südafrika wiederholt Geräte, die den Vorschub von Siphons automatisieren. Über ihre Verbreitung können jedoch keine verlässlichen Angaben gemacht werden. Grundsätzlich läßt sich heute in der Oberflächenbewässerung mit moderner und gleichzeitig relativ kostengünstiger Technik der Arbeitszeitbedarf für die Wasserverteilung enorm reduzieren – teilweise auf ein Zwanzigstel des üblichen Wertes.

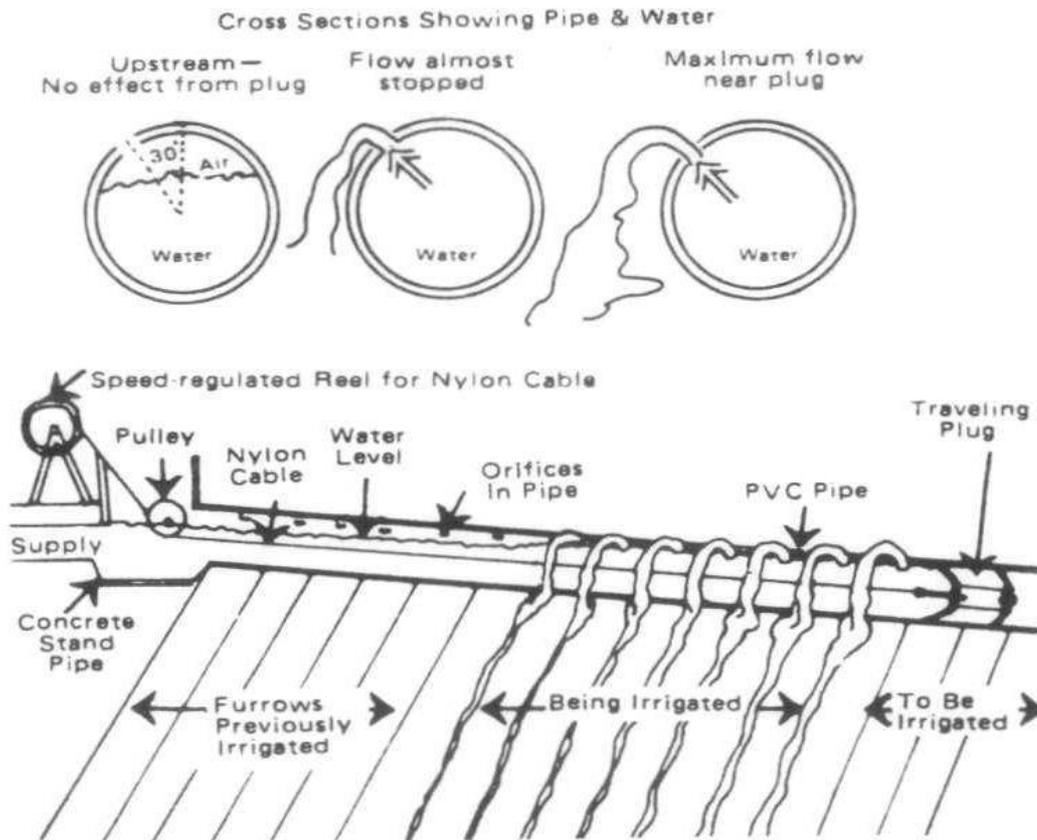


Abb. 5: Schema der sog. „cablegation“ (aus WORSTELL et al., 1982)

Ernste Probleme beim Einsatz der Oberflächenbewässerung aber entstehen immer wieder in vielen Teilen der Welt wegen des noch viel zu geringen Anwendungsumfanges oben beschriebener moderner Technik, der daraus resultierenden geringen Wirkungsgrade und der verfahrensbedingt hohen Wassergaben. Eine Untersuchung aus den USA belegt, daß selbst dort über einen Zeitraum von 21 Jahren (1963–1984) trotz Einführung zahlreicher neuer Techniken keine verbesserten Wirkungsgrade der Wassernutzung erzielt wurden; Ursache hierfür sei der immer noch zu geringe finanzielle Anreiz Wasser sparsam einzusetzen (THOMPSON, 1988). Der übermäßige Eintrag von teilweise sehr salzhaltigem Wasser führt häufig zur Vernässung der Ackerflächen bzw. zur Bodenversalzung, so daß sich der bei der Oberflächenbewässerung

ohnehin eingeschränkte Landnutzungsgrad und die Rahmenbedingungen für eine rationelle Feldwirtschaft zunehmend verschlechtern, bis u.U. der Anbau von Kulturpflanzen ganz zum Erliegen kommt. Nach SHARMA (1986) ging bisher in Indien – vielleicht sogar weltweit – auf diese Weise genausoviel Bewässerungsfläche aus der Produktion wie neue erschlossen wurde. Auch die Fehleinschätzung der für die traditionelle Oberflächenbewässerung unbedingt erforderlichen Anzahl, Kompetenz und Organisation von Arbeitskräften machte in jüngster Vergangenheit kostspielige Investitionen in wasserwirtschaftliche Bauwerke und Meliorationsmaßnahmen von Ackerflächen schneller wertlos als es jemals in der Geschichte des Bewässerungslandbaus vorgekommen ist.

Als ein erst in letzter Zeit knapper und vor allem teurer werdendes Betriebsmittel ist die Energie zu bezeichnen. Preissteigerungen für Kraftstoffe und Elektrizität betreffen mittlerweile auch landwirtschaftliche Verbraucher und beeinflussen zunehmend die Weiterentwicklung der Landtechnik. Unter ariden Bedingungen ist der Energieeinsatz für die Bewässerung mindestens ebenso groß wie für alle übrigen Betriebsabläufe in der modernen Pflanzenproduktion zusammen. Ersterer kann aber auch auf das Zehnfache ansteigen, wenn anstatt oberflächennaher Wasservorkommen tiefe Brunnen die Wasserversorgung sicherstellen müssen (LARSON und FANGMEIER, 1978). In allen Fällen haben sämtliche Verfahren der Oberflächenbewässerung absolut einen sehr geringen Energiebedarf, der bei steigenden Energiepreisen ihre relative Vorzüglichkeit gegenüber anderen Bewässerungsverfahren entscheidend fördert! Nur unter ungünstigen Bedingungen der Wasserbereitstellung und gleichzeitig niedrigen Energiepreisen erscheint dieser Vorteil weniger ausgeprägt.

3 Mikrobewässerung

Die Tatsache, daß eine Verbreitung der herkömmlichen Bewässerungsverfahren wie Überstau und Rieselung zunächst durch topographische und bodenphysikalische Rahmenbedingungen begrenzt wird, führte schon im vorigen Jahrhundert zur Entwicklung anderer Verfahren der Wasserausbringung. Auch höhere Ansprüche vieler Kulturpflanzen an die Wasserversorgung und der geringe Wirkungsgrad der Oberflächenbewässerung ließen nach neuen technischen Lösungen für die Wasserverteilung Ausschau halten. So kann die Mikrobewässerung als eine Weiterentwicklung der Unterflurbewässerung angesehen werden. Schon im Jahre 1869 experimentierte man mit Dränrohren aus gebranntem Ton, doch blieb die Anwendung lange Zeit auf Gewächshäuser begrenzt. Erst durch die Einführung der Kunststoff-Technologie gelang es um 1964 in Israel und Australien, über die Mikrobewässerung auch landwirtschaftliche Kulturen oberirdisch in großem Maßstab und mit geringsten Wassermengen zu versorgen, wobei Versickerungs- und Verdunstungsverluste auf ein Minimum reduziert sind.

Unter dem Begriff „Mikrobewässerung“ werden heute Bewässerungsverfahren zu-

sammengefaßt, deren technische Elemente zur Wasserverteilung Wasseraustrittsöffnungen mit einem Durchmesser von meist kleiner als 1,5 mm aufweisen bei einem Durchfluß bis zu 15 l/h (WOLFF, 1978). Hierzu rechnen die sog. Tropfer und die Sprühnebeldüsen, deren Betrieb einen Druck von mindestens 1,0 bar erfordert. Eine Ausnahme machen die sog. „bubbler“, deren verstellbare Öffnungen fast druckfrei bis zu 400 l/h spenden; im Gegensatz zur Tropfbewässerung verursachen sie jedoch Applikationsraten, die häufig größer sind als die Infiltrationsrate des jeweiligen Bodens. Das Prinzip der Druckkompensation in den Organen der Wasserverteilung bewirkt bei der Tropfbewässerung eine äußerst gleichmäßige Wasserverteilung; dies hat eine Ausbringung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln im Bewässerungswasser erst ermöglicht; die Wirkung des Düngers läßt sich hierdurch um bis zu 100% steigern (HOWELL et al., 1981). Die kontinuierliche Verabreichung kleinster Wassermengen (Abb. 6) hat einen positiven Einfluß auf die Wachstumsbedingungen und die Bodenstruktur; auch in sandigen Böden mit geringer Speicherfeuchte oder bei Verwendung stark salzhaltigen Wassers wird ständig ein für Pflanze und Boden optimales Bodenfeuchte-Regime aufrechterhalten. Im Gegensatz dazu schafft die Sprühnebelbewässerung eine für viele Jungpflanzen ideale, hohe Luftfeuchte bzw. sorgt für einen Abkühlungseffekt, der gerade bei heißem Wetter die Atmungsverluste der Pflanzen entscheidend verringern kann. Die landwirtschaftliche Anwendung der Sprühnebelbewässerung bleibt jedoch auf wenige Ausnahmen beschränkt.



Abb. 6: Wasserabgabe eines Tropfelements (Foto: Hardie Irrigation)

Die anfänglich in die Tropfbewässerung gesetzten hohen Erwartungen bzgl. einer Senkung des Arbeitszeitbedarfs und der Produktionskosten haben sich bis heute im Bewässerungslandbau jedoch nur teilweise erfüllt. In Folge mangelnder Aufbereitung des Wassers regelmäßig auftretende Verstopfungen der Tropfelemente, die speziell im Unterflurbetrieb schwer zu erkennen sind, können erst mit erheblichem Arbeitsaufwand beseitigt werden. Die immer schneller voranschreitende Entwicklung neuer Tropfelemente hat bisher noch keine vollständige Lösung des Problems bewirkt, obwohl es heute über 300 verschiedene Arten von Tropfern gibt, die sich alle in der Ausführung der Druckkompensation und Selbstreinigung unterscheiden! In der Mikrobewässerung findet daher zunehmend das Prinzip des „bubblers“ Anwendung, das bislang aber hinsichtlich der Dosiergenauigkeit noch nicht befriedigen konnte. Ursache hierfür ist der äußerst niedrige Betriebsdruck, der in der Praxis unvermeidbaren, relativ hohen Schwankungen unterliegt und somit zu erheblichen Änderungen im Volumenstrom führen kann.

Da Mikrobewässerungssysteme ortsfeste Anlagen darstellen, sind erhebliche Investitionen notwendig. Durch weitgehende Standardisierung und Fertigung in hohen Stückzahlen ist es zwar gelungen, den Preis dieser Produkte in Grenzen zu halten, doch zählt die Mikrobewässerung immer noch zu den kostenintensivsten Bewässerungsverfahren. Deshalb lohnt ihr Einsatz bisher nur dort, wo Wasser knapp bzw. teuer ist, und wo wertvolle Marktfrüchte oder Kulturen mit sehr geringer Pflanzdichte zu bewässern sind (CASWELL et al., 1984). Zur Begrenzung der Betriebskosten kann neben dem geringen Wasser- und Energieverbrauch auch die Nutzung sämtlicher Möglichkeiten der Automation beitragen, die daher im Bereich der Mikrobewässerung am weitesten fortgeschritten ist. Ein effizienter Gebrauch von Tensiometern, Klimastationen, Datenübertragungssystemen und computerunterstützter Steuerung verlangt jedoch viel agronomisches und technisches Wissen.

So werden auch andere Wege eingeschlagen, um den jährlichen Kostenaufwand zu verringern. Speziell in Reihenkulturen findet für die Wasserverteilung Plastikmaterial Anwendung, das den Charakter von Wegwerfware hat und sich im Boden mehr oder weniger langsam zersetzt. Weiterhin schreitet die Mechanisierung des Auf-, Um- und Abbaus von Tropfbewässerungsleitungen voran und fördert die Bestrebungen, teilortsfeste Anlagen mit einer größeren Flächenleistung zu schaffen. Damit wären jedoch die oben beschriebenen Vorteile des automatischen und kontinuierlichen Betriebs nicht mehr voll wirksam. Als extremes Beispiel für die Weiterentwicklung der Mikrobewässerung gelten die zunächst nur für Forschungszwecke entworfenen, sog. mobilen Tropfbewässerungsverfahren (siehe unten), die eigentlich als „mobile Mikrobewässerungsverfahren“ bezeichnet werden sollten, da die Volumenströme je Einheit Arbeitsbreite eher denen der sog. „bubblers“ entsprechen. Ob sie sich jedoch in der Praxis des Bewässerungslandbaus durchsetzen können, muß man vorerst noch abwarten.

Auf einem völlig anderen, bisher nur in der Beregnung versuchsweise eingeführten Prinzip der Wasserausbringung beruht die sogenannte Impulsschwall-Mikrobewässerung; ihre Erprobung unter Praxisbedingungen ist noch nicht abgeschlossen, so daß eine detaillierte Beschreibung zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen wird.

4 Beregnung

Die Beregnung stellt eine dem natürlichen Regen nachempfundene Form der Wasserausbringung dar. Der in einem geschlossenen Rohrleitungsnetz durch Pumpen aufgebaute Druck verleiht dem durch Austrittsöffnungen entweichenden Wasserstrahl die notwendige Beschleunigung zur Überwindung einer größeren Distanz. Die natürlich oder künstlich erwirkte Auflösung des Strahls bedingt, daß Wassertropfen unterschiedlichsten Durchmessers in einem mehr oder weniger großen Umkreis um die Wasseraustrittsöffnung zu Boden fallen (Abb. 7).

Die Anfänge der Beregnungstechnik lassen sich bis in die Zeit kurz vor 1900 zurückverfolgen. Einfache, mit einer oder mehreren Reihen kleinster Bohrungen versehene Stahlrohre wurden zur Beregnung an ein unter Druck stehendes Zuleiternetz angeschlossen. Als erste echte Organe der Wasserverteilung dienten dann zunächst feststehende Düsen, die erst ab 1924 durch die Entwicklung des Drehstrahlregners allmählich verdrängt wurden. Seitdem hat das Prinzip des Drehstrahlregners in unzähligen Variationen Eingang in die Beregnungspraxis gefunden und gilt bis heute als die typische Form der Wasserverteilung.

Sehr früh schon wurde die Kapazität der Drehstrahlregner erhöht. Volumenströme und Wurfweiten dieser sog. Großflächenregner (Abb. 7) weisen heute Werte bis zu 150 m³/h bzw. 150 m auf. Ein extremes Beispiel ist die kürzlich erst in der UdSSR entwickelte Regenkanone des Typs „DDS-1000 Neptun-III“, mit der Volumenströme und Wurfweiten bis zu 3.600 m³/h (!) bzw. 300 m erzielt werden (MOKSIAKOV, 1982). Allerdings erfordern größere Volumenströme einen entsprechend höheren Betriebsdruck, damit eine befriedigende Strahlauflösung noch gewährleistet ist.

Die meisten technischen Neuerungen in der Beregnungstechnik entstanden zu Zeiten niedriger Preise für Energieträger und in Regionen mit einem ausreichenden Energieangebot; folglich war bis vor kurzem der Energiebedarf zum Betrieb von Beregnungsanlagen von untergeordneter Bedeutung. Erst seit dem „Ölschock“ in den 70er Jahren werden Bewässerungsverfahren auch zunehmend im Hinblick auf ihren Energiebedarf bewertet, was besonders an den Organen der Wasserverteilung zu einigen Modifikationen führte. Noch spürbarer als eine optimale Dimensionierung aller Rohrleitungen trägt eine direkte Absenkung des Anlagenbetriebsdrucks unter Verwendung speziell dafür konzipierter Organe der Wasserausbringung zur Begrenzung des Energieeinsatzes bei. Den damit verbundenen zusätzlichen Investitionskosten bzw. jährlichen Festkosten stehen bei dem heutigen Energiepreisniveau wesentlich

größere Einsparungen an variablen Betriebskosten gegenüber, so daß umgerüstete moderne Beregnungsverfahren die Rentabilität des Beregnungseinsatzes in den letzten Jahren erheblich steigern konnten. In den USA waren deshalb schon 1984 auf rund 30% der Beregnungsflächen Niederdrucksysteme installiert (SHEARER, 1984).



Abb. 7: Wasserverteilung mit einem großen Drehstrahlregner (Foto: Hug)

Gerade moderne Beregnungsverfahren bieten vielfältige Möglichkeiten, die Wasserausbringung optimal zu gestalten. Dabei können verschiedene technische Lösungen – z.T. gleichzeitig auf einer Anlage – zur Anwendung kommen, die von der klassischen Form des Drehstrahlregners bis zu von Mikro- und Oberflächenbewässerung entlehnter Technologie reichen. Besonders selbstfahrende Beregnungsverfahren haben daher eher den Charakter mobiler Zuleiter, denn an ihren Rohranschlüssen können mittelbar oder unmittelbar die unterschiedlichsten Systeme der Wasserausbringung als eigentliches Kernstück der Anlage montiert sein.

Zunächst war man bestrebt, die Hochdruck-Großflächenregner mit Hilfe neuartig gestalteter Strahlrohröffnungen (Abb. 8b) auch bei Drücken unter 4.0 bar einzusetzen. Diese Versuche wurden aber wegen eines weiteren Absinkens der für diese Verfahren ohnehin ungünstigen Gleichmäßigkeit der Wasserverteilung eingestellt. Die schlechte Strahlauflösung bedingte auch eine Zunahme der Größe und kinetischen Energie der Wassertropfen; die damit einhergehende negative Wirkung der Beregnung auf den Boden beschreibt ausführlich WOLFF (1985).

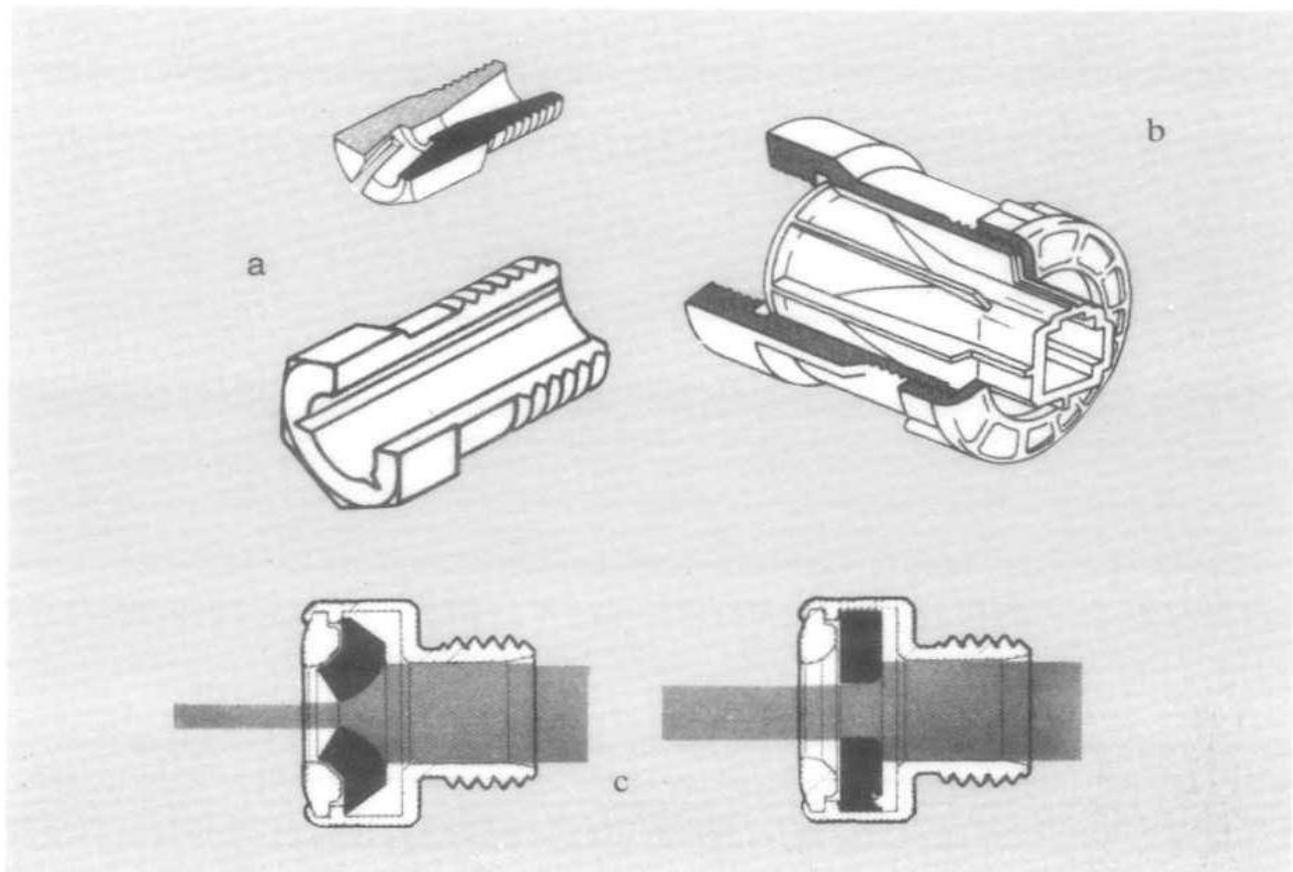


Abb. 8: Modifizierte Düseneinsätze für Drehstrahlregner

Erfolgreicher hingegen waren Bestrebungen, die bewährten und mit 3–3,5 bar betriebenen Drehstrahlregner kleiner und mittlerer Größe entsprechend umzugestalten; ihr Volumendurchfluß beträgt meist 0,5–5,0 m³/h bei Wurfweiten von 25–35 m. Seit einigen Jahren sind Düseneinsätze für diese Regner erhältlich, die bei einem Druck von nur 2–2,5 bar und einer Wurfweite von ca. 20–25 m noch eine befriedigende Gleichmäßigkeit der Wasserverteilung und eine relativ geringe Tropfengröße gewährleisten. Ihre Gestaltung beruht auf dem Prinzip, den austretenden Wasserstrahl ohne zu großen Verlust an Wurfweite so aufzubrechen, daß auch bei niedrigem Betriebsdruck ein möglichst geringer Anteil großer Tropfen erzeugt wird (Abb. 8a). Dieses Konzept läßt sich jedoch aufgrund physikalischer Gesetzmäßigkeiten nur in sehr begrenztem Umfang umsetzen.

Sofern Drehstrahlregner bei starken Winden noch eine ausreichend gleichmäßige Wasserverteilung gewährleisten sollen, kann schon seit Jahren auf Modelle mit kleinem Strahlanstiegswinkel zurückgegriffen werden.

Andere, neu entwickelte Regnerdüsen vermögen die häufig in Beregnungssystemen auftretenden Druckschwankungen auf einfache und kostengünstige Weise zu kom-

pensieren. Ein flexibler Einsatz sorgt über einen weiten Druckbereich durch Verengen oder Erweitern der Düsenaustrittsöffnung für relativ gleichmäßige Volumenströme (Abb. 8c). Von Vorteil ist dabei, daß im Gegensatz zu gewöhnlichen Druckminderern keine Druckverluste im Regelungsorgan auftreten. Diese energiesparenden Entwicklungen können jedoch die unerwünschte Bildung großer Regentropfen und in der Folge die Verschlammung der Bodenoberfläche noch nicht völlig unterbinden.

Große Sprühdüsen mit Pralltellern (Abb. 9) erzeugen wesentlich feinere Regentropfen auch bei erheblich verminderten Betriebsdrücken von 0,7–1,4 bar und haben deshalb erst die praktische Anwendung von modernen Konzepten der Energieeinsparung bei Beregnungsanlagen ermöglicht! In den meisten Fällen werden Vollkreisdüsen mit einer Wurfweite von 5–7 m eingesetzt; für die Beregnung von zur Vernässung neigenden Böden greift man in Verbindung mit mobilen Anlagen z. T. auf Halbkreisdüsen zurück. Die Größe der Tropfen kann durch Auswahl entsprechend geformter Prallteller an den Düsen ideal dem Klima und den Bodenbedingungen angepaßt werden. Vor allem die Zerstörung der Krümelstruktur auf der Bodenoberfläche läßt sich durch Abstimmen von Betriebsdruck und Pralltellertyp gezielt unter den jeweils kritischen Grenzwerten halten. Eine hohe Gleichmäßigkeit der Wasserverteilung gewährleisten ca. 45 verschiedene Düsengrößen in Abstufungen $\frac{1}{128}$ ", die für Volumenströme zwischen 0,1 m³/h und 7,0 m³/h ausgelegt sind. Zahlreiche Untersuchungen ermöglichten die Festlegung jeweils optimaler Düsenabstände unter verschiedenen Betriebsbedingungen, so daß moderne Beregnungsanlagen mit Pralltellerdüsen auch bei niedrigem Betriebsdruck eine sehr gleichmäßige Wasserverteilung von mindestens CU = 90% aufweisen (JAMES und BLAIR, 1984; KINCAID et al., 1986).

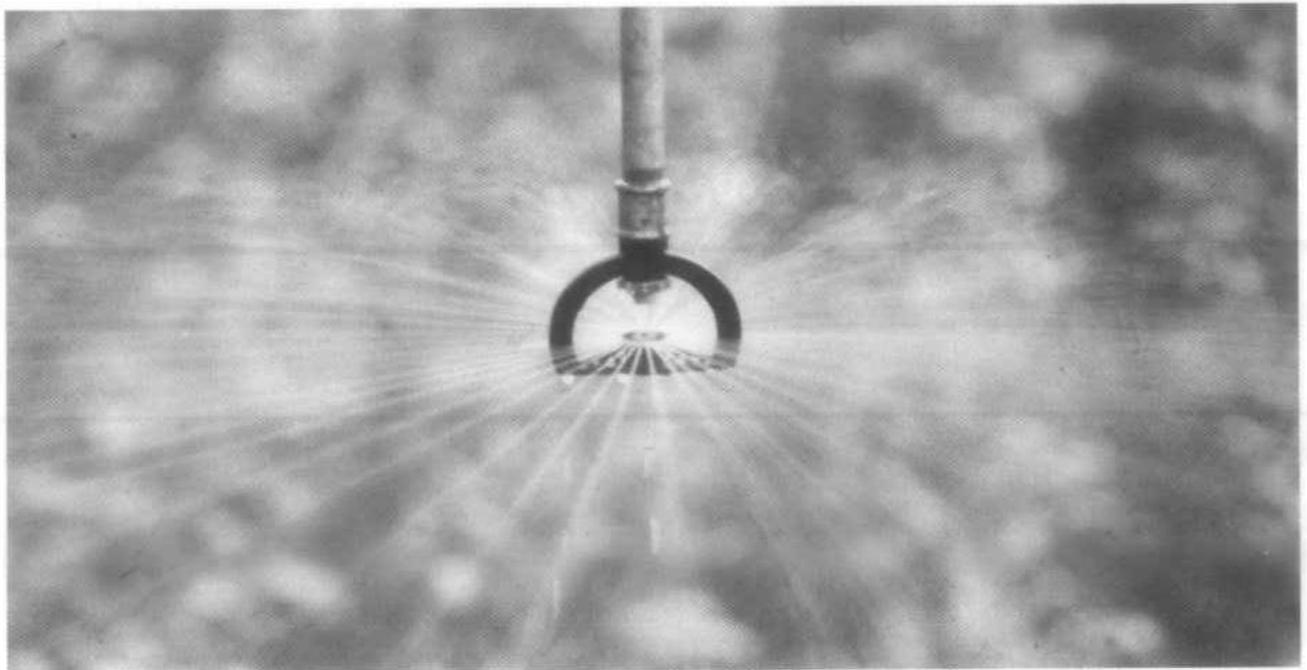


Abb. 9: Wasserverteilung mit einer Pralltellerdüse (Foto: Hübener)

Im Vergleich zu anderen Verfahren der Bewässerung treten bei der Beregnung zusätzliche Wasserverluste auf noch bevor das Wasser den Boden erreicht. Nach FROST und SCHWALEN (1955) sind bei heißer (35°C) und trockener (20% RF) Witterung und mäßigen Winden (3 m/s) für die herkömmlichen, weit verbreiteten Drehstrahlregner diese Verluste mit 15–20% anzusetzen. Trotz wesentlich feinerer Tropfen liegen die für Sprühdüsen in o.a. Witterung ermittelten Verdunstungsverluste weit unter 10% (KINCAID et al., 1986), vor allem, wenn die Sprühdüsen sich in geringer Höhe über dem Pflanzenbestand befinden.

Mit Einführung der Sprühdüsen wurde man jedoch auf ein bis dahin relativ unbedeutendes Problem der Beregnung aufmerksam. Im Gegensatz zur Oberflächenbewässerung, bei der eine vorbereitete Bodenoberfläche die Weiterleitung des mit großem Volumenstrom zugeführten Wassers übernimmt, erfolgt die Wasserverteilung bei der Beregnung ausschließlich von stationären oder mobilen punktförmigen Quellen aus mit relativ geringen Intensitäten, um besonders in hügeligem Gelände keine ungleichmäßige Wasserverteilung oder gar Erosion durch oberflächlich fließendes Wasser entstehen zu lassen. Eine reduzierte Wurfweite, wie z. B. beim Einsatz von Sprühdüsen, hat jedoch bei sonst gleicher Dimensionierung und Kapazität der Anlage eine stark erhöhte Beregnungsdichte zur Folge, da der von einer Düse bemessene Volumenstrom auf einer kleineren Fläche infiltrieren muß. Besonders bei selbstfahrenden Beregnungsverfahren wie der Kreisberegnung kann es daher zu Problemen kommen, denn die Beregnungsintensität an der Peripherie des Kreises überschreitet häufig die Infiltrationsrate des Bodens. Über die Problematik hoher Beregnungsintensitäten berichtet ausführlich WOLFF (1985).

Aus diesem Grund entwickelte man speziell für moderne Beregnungsverfahren sog. Quertraversen (Abb. 10), die bis zu 7 Sprühdüsen aufnehmen und die Tiefe der Regenfront bis auf 25 m steigern können. Bezüglich der Gleichmäßigkeit der Wasserverteilung werden Werte von $CU = 96\%$ erreicht (HILLS et al., 1988), womit diese Form der Wasserausbringung zu den besten derzeit auf dem Markt befindlichen Systemen der Wasserverteilung überhaupt zu rechnen ist. Wegen des geringen Energiebedarfs und der gesteigerten Flächenleistung lassen sich mit Quertraversen in vielen Fällen die Betriebskosten am effektivsten reduzieren.

Für den in dieser Zeitschrift vorgestellten sog. „Düsenwagen“ (SOURELL, 1984) konnte das Problem hoher Beregnungsdichten unter Aufrechterhaltung einer wirtschaftlich angemessenen Flächenleistung des Gerätes nicht gelöst werden. Die im Gegensatz zu vielen modernen Beregnungsverfahren geringe Stabilität der Trägerkonstruktion erlaubt keine Steuerung der Tiefe der Regenfront unter Beibehaltung des niedrigen Betriebsdrucks. Aus dieser Sicht heraus ist das Entwicklungspotential des „Düsenwagens“ als äußerst gering einzuschätzen.



Abb. 10: Wasserverteilung mit Quertraversen (Foto: Valmont)

Einen anderen Weg zur Begrenzung von Energieverbrauch, Verdunstungsverlusten und oberflächlichem Wasserabfluß beim Einsatz moderner Beregnungsverfahren beschreitet seit Ende der 70er Jahre ein Forscherteam in Texas, USA (LYLE und BORDOVSKY, 1981). Das Konzept trägt die Bezeichnung „low energy precision application (LEPA)“ und bedeutet soviel wie „energiesparende, exakte Wasserausbringung“. Anstatt es über Prallteller zu verteilen, wird das Wasser zwar weiterhin von oben beschriebenen Sprühdüsen bei ca. 0,3–0,8 bar Druck bemessen, jedoch leiten es nachrüstbare Schlaucheinsätze direkt in 10–20 cm über dem Boden schwebende Verteilorgane (Abb. 11a); von dort rieselt das Wasser in durch kleine Querdämme abgesperrte Furchen (Abb. 11b). Die aus den 30er Jahren stammende Technik der „Mikro-Bassins“ verhindert, daß aufgrund der extrem hohen Aufleitungsintensitäten entlang der Furchen oberflächlicher Wasserabfluß entsteht. Hierdurch ist es möglich geworden, einem Boden, der durch eine konstante Infiltrationsrate von z.B. nur 2,5 mm/h gekennzeichnet ist, Wasser mit einer Intensität von 100 mm/h über die Beregnung zuzuführen (MCDONALD, 1980). Als maximal zulässiges Gefälle in Furchenrichtung werden 5% angegeben (LYLE, 1988). Spezielle Geräte formen bei Fahrgeschwindigkeiten bis 10km/h die Furchendämme, die im Verlauf einer Vegetationsperiode aufgrund von Erosion und Pflegearbeiten einige Male zu erneuern sind.

Mit Ausnahme des etwas höheren Betriebsdrucks bzw. geringeren Volumenstroms entspricht die Art der Wasserausbringung hier eher der oben beschriebenen moder-

nen Furchenbewässerung mit sog. „gated pipes“ als einer Beregnung im üblichen Sinne. Da die Pflanzen nicht benetzt werden, kann man auch stärker salzhaltiges Wasser verwenden, womit diese wassersparende Ausbringungstechnik Möglichkeiten eröffnet, die Vorteile der Oberflächenbewässerung mit denen der Beregnung – genannt sei vor allem die sehr gleichmäßige und verlustarme Wasserverteilung – zu vereinen, besonders dort, wo Verfahren der Oberflächenbewässerung nicht anwendbar sind wie z. B. auf sehr leichten Böden oder in hügeligem Gelände!

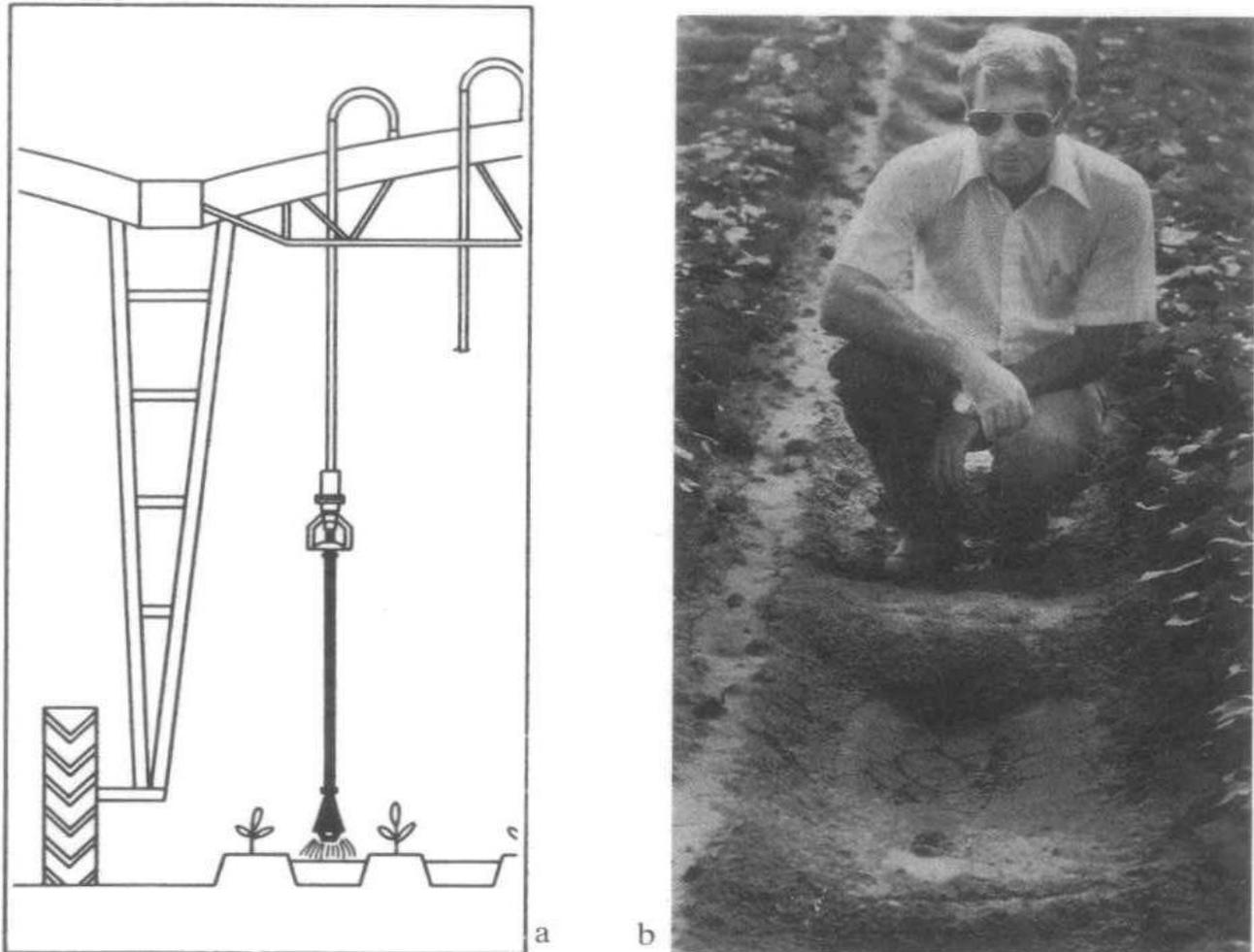


Abb. 11: Wasserausbringung mit dem LEPA-System (Fotos: Nelson/Irrigation Age)

Da der Erfolg des „LEPA“-Verfahrens eine regelmäßige Bodenbearbeitung zur Wiederherstellung der Mikro-Bassins erfordert, versucht man in den USA seit Anfang der 80er Jahre, mit Hilfe verringerter Applikationsraten auf Furchendämme wieder zu verzichten. Hierbei werden oben erwähnte Schlaucheinsätze zu Schlepplleitungen verlängert und mit mehreren Austrittsöffnungen versehen. Dabei greift man auf Elemente aus der Mikrobewässerung zurück, woraus sich auch die Bezeichnung „Traveling Trickle Irrigation System (TRIS)“ herleitet, die mit „mobiles Tropfbewässerungsverfahren“ zu übersetzen wäre (siehe oben).

Trotz der Vorteile einer verlustarmen, energiesparenden, gleichmäßigen und bodennahen Wasserausbringung unter Verzicht auf zusätzliche Bodenbearbeitungsmaßnahmen stehen der breiten Anwendung des „TIS“-Verfahrens noch einige ungelöste Probleme entgegen. Die Schleppleitungen können erhebliche Schäden an auflaufenden Jungpflanzen verursachen oder sich in älteren Pflanzen verfangen. Darüber hinaus ist noch nicht geklärt, inwieweit die durch die gefüllten Schleppleitungen verursachten Zugkräfte quer zur Tragwerkkonstruktion die Stabilität der gesamten Anlage beeinflussen.

So haben sich in der Praxis des Bewässerungslandbaus die oben beschriebenen Düsen – vor allem in Verbindung mit Quertraversen – als bisher beste Wasserverteilungssysteme erwiesen, die allerdings nur auf selbstfahrenden Beregnungsanlagen zum Einsatz kommen. Mit ihnen sind auch Salzauswaschungen möglich, so daß hierfür auf andere, zusätzliche Verfahren der Wasseraufleitung verzichtet werden kann.

Für bestimmte Spezialbereiche der Beregnung hat man einige Organe der Wasserverteilung direkt automatisiert, indem zumeist vor- oder nachgelagerte elektromagnetische Ventile entsprechend geschaltet werden. Die Auslösung des Schaltvorgangs erfolgt positions- oder zeitabhängig und bedingt ein vollständiges Öffnen oder Schließen des Leitungsquerschnitts. Solche Lösungen finden in der landwirtschaftlichen Beregnung häufig Anwendung bei der Steuerung der Eckenzusatzberegnung von Kreisberegnungsanlagen.

Die Vorteile einer Automation in der Beregnungstechnik machen sich jedoch überwiegend im Bereich der Vereinfachung des Vorschubs solcher Anlagenteile bemerkbar, die sonst mühsam von Hand über die Bewässerungsflächen transportiert werden mußten (HÜBENER, 1988). Der diesbezüglich bisher wirksam gewordene technische Fortschritt in der Bewässerungstechnik läßt auch in Zukunft weitere bahnbrechende Entwicklungen erwarten.

5 Zusammenfassung

Im Bewässerungslandbau der Tropen und Subtropen sind in den letzten Jahren bemerkenswerte technische und methodische Fortschritte erzielt worden, welche auch die wichtigsten Komponenten eines Bewässerungsverfahrens – nämlich die für die Wasserverteilung verantwortlichen Anlagenteile wie Schleusen, Ventile, Regner, Sprühdüsen, Tropfer etc. – betreffen.

In der energie-extensiven Oberflächenbewässerung gebräuchliche Hilfsmittel für die direkte Wasseraufleitung hat man teilweise automatisiert, wodurch sich der für diese Verfahren charakteristische hohe Arbeitszeitbedarf und in der Folge die Betriebskosten erheblich reduzieren ließen. Als fortschrittlichste Methode der Wasseraufleitung ist das „surge flow“-Konzept anzusehen, welches zusätzlich die Gleichmäßigkeit der Wasserverteilung verbessert.

Gemeinsam ist der Oberflächenbewässerung und der Beregnung mittlerweile das Aufleiten maximaler, nicht erodierender Volumenströme. Erstere erfordert dieses aus Gründen der gleichmäßigen Wasserverteilung, bei letzterer erhöht sich auf diese Weise die Flächenleistung und somit auch die Wirtschaftlichkeit des Beregnungseinsatzes. Hingegen benötigen alle in der Beregnung eingesetzten Wasserausbringungsorgane im Vergleich zu anderen Bewässerungsverfahren die höchsten Betriebsdrücke. Da dies die Rentabilität entscheidend beeinträchtigen kann, lag es nahe, die für die Wasserverteilung verantwortlichen Anlagenteile entsprechend zu modifizieren, um sie auch bei niedrigem Druck zu betreiben.

Als wohl bedeutsamste Neuerung in diesem Bereich sind die sog. Prallteller-Düsen zu bezeichnen, die auch bei niedrigem Druck eine sehr gleichmäßige und verlustarme Wasserverteilung ermöglichen. Ihr Einsatz führte anfänglich zu hohen Beregnungsdichten und verringerte die Kapazität moderner Beregnungsanlagen; erst durch Einführung von mit Düsen bestückten Quertraversen konnten diese Probleme erfolgreich überwunden werden.

Noch geringere Betriebsdrücke, aber wesentlich höhere Aufleitungsintensitäten zeichnen das sog. LEPA-Verfahren aus. Um es erfolgreich zu betreiben, empfiehlt sich das Anlegen kleiner Mikro-Bassins auf den Bewässerungsflächen. Dieses Verfahren kann in Zukunft eine weitere Steigerung der Flächenleistung von Beregnungsanlagen bewirken.

Die ebenfalls energie-extensive Mikrobewässerung hat für den Anbau landwirtschaftlicher Feldkulturen vor allem aus Kostengründen nicht die Bedeutung wie die beiden vorgenannten Bewässerungsverfahren. Das Prinzip der Wasserausbringung ermöglicht jedoch ein Höchstmaß an Wirkungsgrad des Wassereinsatzes.

Summary

During the last years remarkable advances have been achieved in irrigated agriculture of arid zones regarding the development and application of key irrigation hardware – i. e. weirs, valves, sprinklers, spray nozzles, drippers etc.

Today common energy-efficient implements of surface irrigation systems very often have been automated, which reduces the high labour requirements and running costs usually associated with surface irrigation. The „surge flow“ concept is regarded as the most advanced method of water application in surface irrigation because it highly improves the distribution uniformity, too.

In both surface and sprinkler irrigation meanwhile water is applied at maximum non-erosive stream sizes. With gravity flow systems this often helps to improve the uniformity of water distribution, whereas sprinkler irrigation systems can cover a greater area of land and therefore operate at less costs.

However – all types of sprinklers require the highest operating pressures compared to other irrigation systems. Since this might impair the overall profitability, a variety of modifications was developed concerning the low pressure operation of common, proven sprinkler hardware. Most notably are the low pressure spray heads with spray plate, which help to conserve energy and water while increasing the application uniformity. Because of high application rates they reduced system capacities in the beginning, but the advent of spray booms helped to overcome these problems.

Even lower operating pressures are possible with the so-called LEPA concept, which has extremely high application rates though. So far it can only be used successfully in conjunction with microbasin land preparation. In future this concept could further improve irrigation system capacities.

Microirrigation, while being energy-efficient too, is not of that much importance to irrigated agricultural as the above mentioned irrigation systems, mainly because of cost reasons. Nevertheless, in most cases its unique method of water distribution can provide an unmatched efficiency of water use.

Literatur

1. BISWAS, A. K., 1981: Role of agriculture and irrigation in employment generation. *ICID Bulletin*, **30** (1), 46-51
2. CASWELL, M. F.; D. ZILBERMAN; G. E. GOLDMAN, 1984: Economic implications of drip irrigation. *Calif. Agric.*, **38** (7), 13-14
3. FRAMJI, K. K., 1984: Second N. D. Gulhati memorial lecture for international cooperation in irrigation. *ICID Bulletin*, **33** (2), 4-58
4. FROST, K. P.; H. SCHWALEN, 1955: Sprinkler evaporation losses. *Agr. Engrg.*, **36** (8), 526-528
5. GOLDHAMER, D. A.; M. H. ALEMI; R. C. PHENE, 1987: Surge vs. continuous flow irrigation. *Calif. Agric.*, **41** (9), 29-32
6. HILLS, D. J.; Y. GU; J. W. RUMSEY; W. W. WALLENDER, 1988: Lateral move water application uniformity relative to machine speed. *Trans. ASAE*, **31** (2), 527-530
7. HOWELL, T. A.; D. A. BUCKS; J. L. CHESNESS, 1981: Advances in trickle irrigation. In: *Irrigation – Challenges of the 80's*, Hrsg. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, 69-89
8. HÜBENER, R., 1988: Entwicklungstendenzen der Berechnungstechnik im internationalen Vergleich. *Z. f. Bewässerungswirtschaft* **23** (2), (im Druck)
9. JAMES, L. G.; S. K. BLAIR, 1984: Performance of low pressure center pivot systems. *Trans. ASAE*, **27**, 1753-1757
10. JENSEN, M. E., 1981: Design and operation of farm irrigation systems. *ASAE Monograph*, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph
11. KINCAID, D. C.; M. NABIL; J. R. BUSCH, 1986: Spray losses and uniformity with low pressure center pivots. American Society of Agricultural Engineers, Summer Meeting, San Luis Obispo, Paper No. 86-2091

12. KRUSE, E. G.; D. D. FANGMEIER; A. S. HUMPHREYS; H. L. MANGES, 1981: Advances in surface irrigation. In: Irrigation – Challenges of the 80's, Hrsg. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, 60-68
13. LARSON, D. L.; D. D. FANGMEIER, 1987: Energy in irrigated crop production. Trans. ASAE, **21**, 1075-1080
14. LYLE, W. M., 1988: LEPA offers water and energy savings. Irrigation News, **7 (3)**, 5
15. LYLE, W. M.; J. P. BORDOVSKY, 1981: Low energy precision application (LEPA) irrigation system. Trans. ASAE, **24**, 1241-1245
16. McDONALD, D., 1980: Integrated system puts water in place, holds it there at less costs. Irrigation Age, **15 (2)**, 68
17. MOKSJAKOV, B. F., 1982: Prüfergebnisse der Weitstrahl-Regenmaschine „DDS-1000 Neptun III“ (russ.). Traktory i Sel'chozmas., o. Jg. (7), 19-20
18. SHARMA, S., 1986: Are large schemes worth the cost? World Water, **9 (8)**, 16-17
19. SHEARER, M. N., 1984: The pros and cons of low pressure sprinklers. Irrigation Association Annual Technical Conference, Silver Spring, Proceedings 35-43
20. SOURELL, H., 1984: Technischer Entwicklungsstand der Feldberegnung in der BRD. Der Tropenlandwirt, **85**, 29-41
21. STEPHAN, R., 1978: Der Bewässerungsfeldbau im San Luis Valley, Colorado. Z. f. Bewässerungswirtschaft, Sonderheft 5
22. THOMPSON, S. A., 1988: Patterns and trends in irrigation efficiency. Water Resources Bulletin, **24 (1)**, 57-63
23. WOLFF, P., 1978: Bewässerungstechnik in der Evolution. Z. f. Bewässerungswirtschaft, **13 (1)**, 3-20
24. WOLFF, P., 1985: Zum Einsatz von neuen Wasserverteilungssystemen – eine Betrachtung aus bodenkundlich/kulturtechnischer Sicht. Z. f. Bewässerungswirtschaft, **20 (1)**, 3-14
25. WORSTELL, R. V.; W. D. KEMPER; D. C. KINCAID, 1982: Automated cable control irrigation system. Irrigation Association, Annual Technical Conference, Portland, Proceedings, 242-254