

## Betriebstechnische Weiterentwicklung für eine umweltschonende, wasser- und energiesparende Beregnung

HEINZ SOURELL

Institut für Betriebstechnik

### 1 Problemstellung

#### 1.1 Aus globaler Sicht

Die Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen ist eine der effektivsten Maßnahmen zur Sicherung der Erträge. Das gilt in besonderem Maße für die semi-ariden und ariden Klimagebiete. Nach Angaben der FAO (1995) werden weltweit ca. 250 Mio. ha bewässert, das sind 17,2 % der insgesamt landwirtschaftlich genutzten Fläche (arable land and land under permanent crops) in der Welt. Auf dieser Fläche werden heute 40 % der globalen Nahrungsmittelproduktion erzeugt. Wolff rechnete 1995 mit einer Nahrungsmittelproduktion von 36 % auf der Bewässerungsfläche. Beide Angaben unterstreichen die Bedeutung der Bewässerung. Eine „richtige“ Zahl wird es wohl nicht geben, weil sich die Verhältnisse ständig weiterentwickeln.

Jedenfalls wird die Nahrungsmittelerzeugung auf der Bewässerungsfläche weiter steigen müssen, wenn es gelingen soll, eine hinreichende Nahrungsmittelversorgung weltweit zu gewährleisten. Denn die globalen Probleme der Menschheit sind z. B.:

- **Bevölkerungswachstum**  
Wie ernähren wir im nächsten Jahrtausend fast neun Milliarden Menschen? Heute leben auf der Erde ca. 5,7 Mrd. Menschen. Der Welternährungsgipfel 1996 in Rom hatte „Nahrung für alle“ zum Motto (BML, 1996). Seit Jahrzehnten gibt es das ungelöste Problem der Welternährungskrise, und eine Lösung ist nicht abzusehen.
- **Bodennutzung**  
Der weltweite Verlust fruchtbaren Ackerbodens (Erosion, Versalzung u. a.) stellt bei wachsender Weltbevölkerung zunehmend die Sicherheit der globalen Nahrungsmittelversorgung in Frage. Die im Weltdurchschnitt verfügbare Ackerfläche betrug 1993 pro Kopf 0,24 ha, in den Entwicklungsländern hingegen lag sie nur noch bei 0,16 ha. Damit ist für viele Menschen die

Deckung des durchschnittlichen Mindestbedarfs an Pflanzenenergie unterschritten. Die Folge ist Hunger (Fischer Weltalmanach 1997, S. 1131).

- **Energieerzeugung und -verbrauch**  
Erzeugung und Verbrauch von Energie hängen zwar mit dem Wachstum der Weltbevölkerung zusammen, sind aber in erster Linie konjunkturabhängig. Neben konjunkturellen Einflüssen traten Einsparungsbemühungen in den Industrieländern und der Kapitalmangel der Entwicklungsländer ein, wodurch stärkere Verbrauchssteigerungen verhindert wurden. Der Verbrauch erhöht sich derzeit jährlich um rd. 1 % und liegt damit wesentlich unter dem globalen Wirtschaftswachstum sowie unter der weltweiten Bevölkerungszunahme (Fischer Weltalmanach 1997, S. 1052). Dennoch muß mit Energieressourcen sehr sparsam umgegangen und vor allem neue Wege der regenerativen Energienutzung beschritten werden.
- **Trinkwasserverfügbarkeit**  
Ausmaß und Auswirkungen des zunehmend menschlichen Einflusses auf den Wasserkreislauf und die Wasserreserven sind regional sehr unterschiedlich. Die direkte jährliche Wassernutzung zur Bewässerung, für den industriellen und privaten bzw. öffentlichen Verbrauch wurde 1990 auf 4.430 km<sup>3</sup> geschätzt (Abbildung 1). Sie liegt damit etwa achtmal höher als zu Beginn des Jahrhunderts.

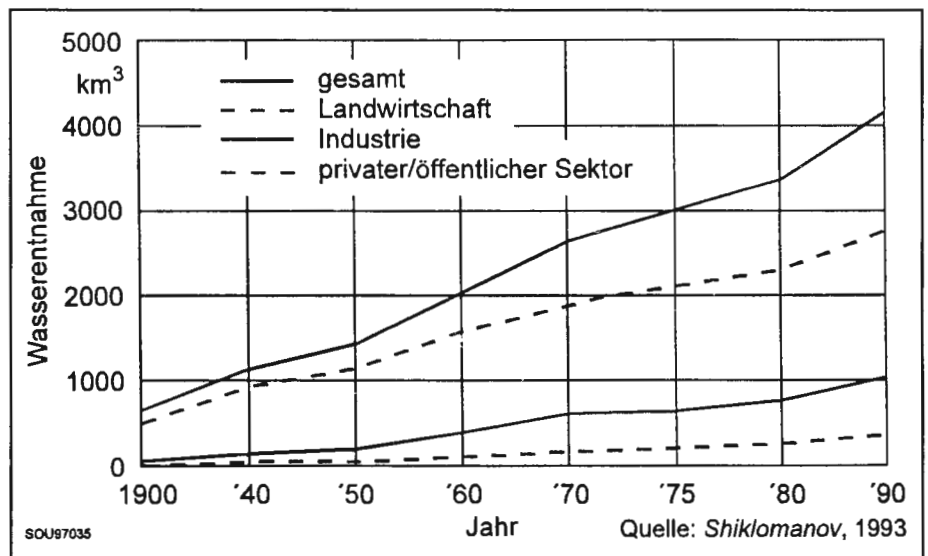


Abbildung 1: Entwicklung der globalen Wasserentnahme durch menschliche Aktivitäten 1900-1990

Weltweit ist die Landwirtschaft ist mit ca. 65 % an der Wasserentnahme ein „Großverbraucher“. Mit der intensiven Nutzung der Wasserressourcen zeigt sich in immer mehr Regionen der Erde ein sinkender Grundwasserspiegel (Fischer Weltatmanach 1997, S. 1145):

- In Israel wurde das Grundwasser an der Küste so stark gefördert, daß salziges Meerwasser nachfloß.
- In Peking wurde das Wasser in den 50er Jahren aus einer Tiefe von 5 m gepumpt, heute kommt es aus 50 m Tiefe. In weiten Teilen Nordchinas soll der Grundwasserstand jährlich um 1 m fallen.
- in Nordwesten Indiens sank bei 90 % der untersuchten Brunnen der Grundwasserspiegel um mehr als 9 m.
- Im Süden des kalifornischen Central Valley hat sich der Grundwasserspiegel um bis zu 8 m abgesenkt.

Nicht nur im Ausland, sondern auch im insgesamt wasserreichen Deutschland gibt es Regionen mit einem angespannten Wasserhaushalt. So kommt es im südlichen Frankfurter Raum (im Hessischen Ried) immer wieder im Sommer zur Übernutzung des Grundwassers. Auch aus dem Uelzener Becken (Niedersachsen) ist eine intensive Grundwassernutzung bekannt (Fischer Weltatmanach 1997, S. 1146).

Neben dem Grundwasser wird auch teilweise das Oberflächenwasser übernutzt. Krasse Beispiele sind vom Aralsee in Kasachstan oder Mono Lake in Kalifornien bekannt. Gründe des hohen Wasserverbrauchs und somit Ausweitung der Regionen mit Wasserknappheit sind das Bevölkerungswachstum und die damit einhergehende Verstädterung sowie die Zunahme wasserintensiven wirtschaftlicher Aktivitäten. Dazu gehört auch der Bewässerungslandbau.

Um den globalen Problemen der Menschheit Rechnung zu tragen, muß in erster Linie die Welternährungslage verbessert werden. Die Bundesregierung sagt dazu, „daß die Agrarproduktion bis zum Jahre 2010, also in 13 Jahren, um 60 % gesteigert werden muß, soll der wachsende Bedarf befriedigt werden. Deshalb muß die landwirtschaftliche

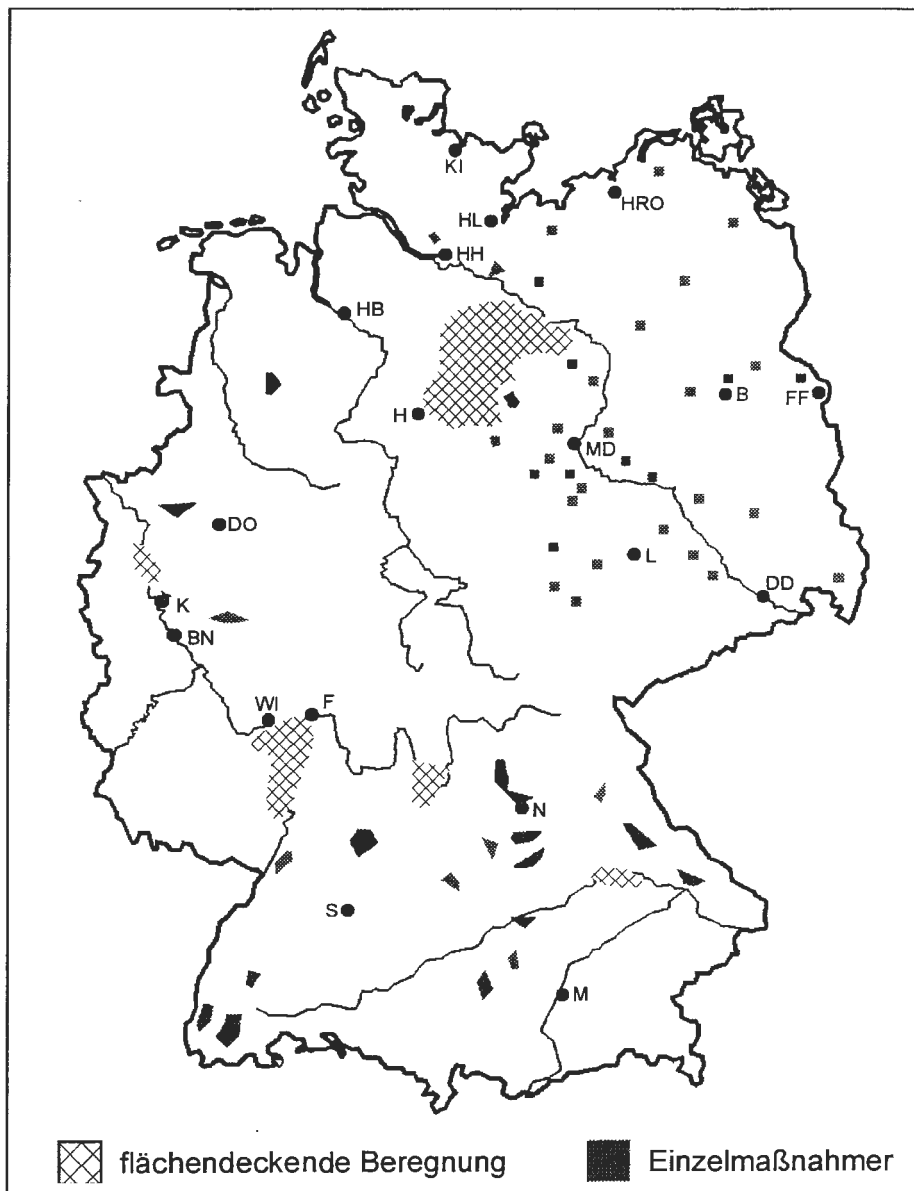


Abbildung 2: Verteilung der Beregnungsflächen in Deutschland (Stand: 1997, eigene Darstellung)

Erzeugung vor allem durch Ertragssteigerungen auf der vorhandenen Fläche bei nachhaltiger und standortgerechter Nutzung der verfügbaren Boden- und Wasserressourcen sowie mit ökonomisch und ökologisch vertretbarem Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln und Bewässerung erhöht werden“ (BML, 1996). Scholz (1997) schreibt zugespitzt: „...wenn dies nicht geschieht, gehen die globale Armut und der Hunger auf Reisen.“

### 1.2 Aus bewässerungstechnischer Sicht

Die bisher beschriebene Problematik führt zu der Forderung, daß mit jedem aufgewendeten Millimeter Wasser eine größere Menge landwirtschaftlicher Produkte erzeugt wird (Verbesserung der Effizienz der Wassernutzung). Ein Weg zur Erhöhung der Effizienz ist im techni-

schen Fortschritt zu sehen, nämlich den Einsatz von Bewässerungsverfahren zu verbessern.

Im Verlauf der Entwicklung der Beregnungstechnik wurde eine Vielzahl von Lösungen geschaffen, die das Ziel verfolgten, den Beregnungsablauf technisch, organisatorisch und ökonomisch zu verbessern. Im Vordergrund der Arbeiten in den hochentwickelten Industriestaaten stand bis ca. 1970, den Arbeitszeitbedarf zu senken und gleichzeitig das Ausmaß von schwerer körperlicher Arbeit bzw. unzumutbarer Arbeitsbedingungen einzuschränken. Dies wurde in der Regel durch den erhöhten Einsatz von Kapital für moderne Beregnungsanlagen erreicht. Mit der Einführung der Beregnungsmaschine wurde ab ca. 1975 der entscheidende Durchbruch in Mitteleuropa erreicht, sodaß rd. 80 % an Arbeitszeit gegenüber der Rohrberegnung eingespart werden konnten und die Handarbeit durch ein technisiertes Beregnungsverfahren ersetzt wurde (S o u r e 11, 1991).

Der mit der Mechanisierung verbundene höhere Kapitaleinsatz zwingt dazu, die für die Produktion benötigten Betriebsmittel noch effizienter als bisher einzusetzen. Übertragen auf das Betriebsmittel „Beregnung“, können vor allem über einen effizienteren Einsatz von Wasser und Energie Betriebskosten gesenkt und wertvolle Ressourcen eingespart werden (S o u r e 11, 1991).

Es ist das Anliegen betriebstechnischer Forschung, Wege für eine verfahrensbedingte Verringerung des Energie- und Wassereinsatzes bei der Beregnung landwirtschaftlicher Kulturen zu analysieren, weiterzuentwickeln und zu erproben. Es gilt, nach neuen Möglichkeiten zu suchen, um den Wasser- und Energieeinsatz bei der Feldberegnung so effizient wie möglich zu gestalten. Dazu wird zunächst eine Analyse vorhandener Bewässerungstechnik durchgeführt. Anschließend werden der Entwicklungs- und Forschungsbedarf abgeleitet und Schlußfolgerungen für das eigene Forschungsprogramm gezogen.

## 2 Stand der Forschung zur Beregnungstechnik

### 2.1 Beregnungsflächen

Die Beregnung wird heute in Deutschland auf ca. 531.000 ha eingesetzt, das entspricht einem Anteil von ca. 3 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche (LF). Die größte Beregnungsfläche liegt in Nordostniedersachsen mit 233.500 ha oder 8,6 % LF. Die weitere Verteilung der Beregnungsflächen in Deutschland ist in Abbil-

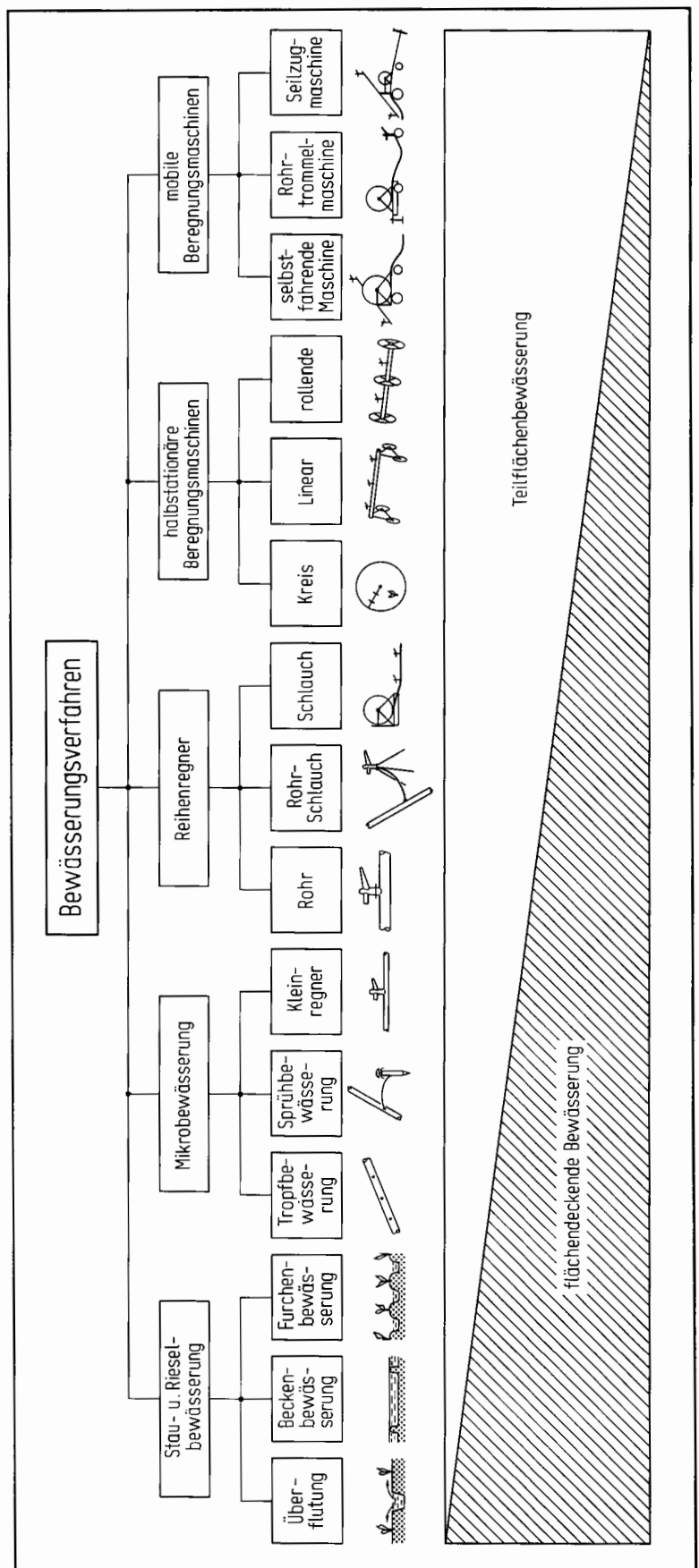


Abbildung 3: Verfahren der Feldbewässerung (S o u r e 11, 1991)

ung 2 dargestellt. Größere Beregnungsgebiete sind noch das Hessische Ried, die Vorderpfalz, das Niederrheingebiet und Gebiete um Würzburg und Regensburg (Roth et al., 1995).

Wurden bis 1989 allein in den östlichen Bundesländern 510.000 ha beregnet, sind es dort heute nur noch 131.000 ha. Ungeklärte und zögerliche Regelung der Eigentumsfragen führten zum Stillstand der Technik, die nach fünf oder sieben Jahren Stillstandszeit nicht mehr in Betrieb genommen werden konnte, weil sie nicht mehr zu gebrauchen ist. Inwieweit sich der „alte“ Zustand der Beregnungsfläche in Ostdeutschland wieder herstellen läßt, hängt von mehreren politischen und unternehmerischen Entscheidungen ab, die hier nicht Gegenstand der Diskussion sind.

## 2.2 Beregnungsverfahren

Für die Beregnung stehen verschiedene Bewässerungsverfahren zur Verfügung. Die Verfahren der Wasserverteilung lassen sich in fünf Gruppen unterteilen (Abbildung 3). Flächendeckend eingesetzte Bewässerungsverfahren sind vor allem in Intensivkulturen und unter ariden bzw. semi-ariden, mobil versetzbare Beregnungsverfahren dagegen vor allem in landwirtschaftlichen Kulturen unter humiden Klimabedingungen üblich.

Die Forschungsarbeiten zur Bewässerungstechnik zielen im großen und ganzen auf eine verbesserte Technik ab, die hilft, eine gezielte umweltverträgliche Wasserverteilung unter wettbewerbsfähigen Bedingungen zu erreichen.

Forschungsarbeiten im Bereich der Wassergewinnung, Wasserbereitstellung und Wasserzuleitung werden in diesem Beitrag nicht diskutiert. Auch die Auswirkungen des Wassers auf den Pflanzenertrag (Water use efficiency in kg/mm) werden hier nicht behandelt.

Arbeiten zur Bewässerungstechnik lassen sich übersichtlich nach der Einteilung der Bewässerungsverfahren (Abbildung 3) strukturieren:

### 2.2.1 Oberflächenbewässerung

Bei den Oberflächenverfahren erfolgt die Wasserverteilung drucklos durch Aufleiten des Bewässerungswassers auf die Feldoberfläche. In Abhängigkeit von der Kulturart, dem Gefälle und der Mechanisierungsstufe wird die Gleichförmigkeit der Wasserverteilung meist durch das Anlegen von Furchen (Furchenrieselung) oder durch Dämme (Beckenbewässerung und Landstreifenbewässerung) unterstützt. Trotz einiger Bestrebungen zur Mechanisierung oder gar Automatisierung (Haise und Kruse, 1969; Fischbach und Somerhalder, 1971) sind diese Methoden durch hohen Arbeitszeitbedarf (Sourell et al., 1992) und mangelnde Möglichkeiten für eine präzise Einsatzsteuerung gekennzeichnet (Achtlich, 1980).

Hinsichtlich der Wasserverluste sind je nach Management und Einsatzsteuerung große Schwankungen möglich. Neuere Techniken (gated pipes) und verbesserte Managementmethoden in der Oberflächenbewässerung zeigen jedoch, daß das Potential für eine verbesserte Wasserausnutzung noch nicht ausgeschöpft ist (Hübener, 1988; Kemptler et al., 1987). Aufgrund ihres geringen Kapital- und Energiebedarfs stellt die Oberflächenbewässerung auch heute noch das in der Welt am meisten verbreitete Bewässerungsverfahren dar. In der Bundesrepublik ist es fast bedeutungslos geworden (Sourell, 1991).

Mit der Oberflächenbewässerung hat sich eine Vielzahl von Wissenschaftlern und Organisationen befaßt. Dieses Bewässerungsverfahren dürfte am häufigsten untersucht worden sein. Gründe dafür sind in der Tradition und weltweiten Verbreitung zu sehen. Große Organisationen, wie das International Irrigation Management Institute (IIMI) in Colombo/Sri Lanka oder das International Rice Research Institute (IRRI) in Manila/Philippinen arbeiten kontinuierlich an verschiedenen Fragen der Oberflächenbewässerung. Auch die Food and Agriculture Organization (FAO) in Rom fördert und veröffentlicht aktuelle Arbeiten zur Oberflächenbewässerung (Wolter und Kandiah, 1996; Finney, 1996; Broer und Leibrock, 1993).

### 2.2.2 Mikrobewässerung

In der Literatur und im heutigen Sprachgebrauch sind die Begriffe Bewässerung, Micro-Sprinkler, Micro-Jets und Drip-Irrigation wenig abgegrenzt und werden häufig mißverständlich benutzt. Nach DIN 19655 wird Mikrobewässerung (Micro-Irrigation) als Oberbegriff für die Verfahren der Tropfbewässerung (Drip-Irrigation), Sprühbewässerung (Micro-Jets) und der Kleinregner (Micro-Sprinkler) verstanden. Tabelle 1 enthält einige charakteristische Kenndaten dieser Verfahren.

Bei der Tropfbewässerung (Drip-Irrigation) wird mit geringem Betriebsdruck und geringem Wasservolumen unter Berücksichtigung pflanzen- und bodenspezifischer Faktoren hinsichtlich der Wasser- und Nährstoffversorgung der Kulturen ein hoher Wirkungsgrad erreicht. Durch gezielte Anfeuchtung des durchwurzelten Bodens bei großen Pflanzenabständen nimmt die tatsächlich bewässerte Fläche ab. Zu einer Tropfbewässerungsanlage gehören Kopfeinheit (Steuerung), Filter sowie Haupt- und Verteilerleitungen. Die Tropfleitungen werden mit eingebauten oder aufgesetzten Tropfern hergestellt, welche porös, düsenartig oder mikrokanalartig ausgebildet sind.

**Tabelle 1:** Kenndaten der Mikrobewässerung (DIN 19655)

Verfahren	Durchfluß [l/h]	Druck [bar]	benetzte Fläche [m <sup>2</sup> ]
Tropfbewässerung	1 bis 4	0,2 bis 1,0	punktförmig
Sprühbewässerung	10 bis 160	über 1,0	0,75 bis 12,0
Kleinregner	über 150	1,0	12,0 bis 75,0



Abbildung 4: Tropfbewässerungsanlage im Kartoffelfeld

**Abbildung 4** zeigt den Aufbau einer Tropfbewässerungsanlage im Kartoffelfeld.

Die Sprühbewässerung (Micro-Jets) setzt sich aus denselben Anlagenteilen zusammen wie die Tropfbewässerung. Die Sprühdüsen sind entweder direkt auf den Verteilerleitungen aufgesteckt oder mit diesen über dünne Schläuche verbunden. Abweichend von der Tropfbewässerung wird - trotz annähernd gleichen Düsendrucks - das Wasser bei den Sprühdüsen nicht tropfenweise, sondern in Einzelstrahlen oder als Wasserschleier verteilt. Dadurch ergeben sich höherer Durchfluß und flächige Wasserverteilung. Es können auch Sektoren eines Kreises beregnet werden. Die Verstopfungsfahr ist geringer als bei der Tropfbewässerung. **Abbildung 5** zeigt eine Sprühbewässerungsanlage bei der Zitrusbewässerung. Es wird nur die Baumscheibe beregnet.

Die Kleinregner (Micro-Sprinkler) sind direkt an der Rohrleitung angeschlossen, seltener über Verbindungsschläuche mit dieser verbunden. Als Regner werden überwiegend Drehstrahlregner verwendet. Von den Schwachregnern der Feldberegung unterscheiden sich die Kleinregner durch geringeren Durchfluß und geringere Wurfweite, bedingt durch die Konzeption für niedrige Betriebsdrücke. **Abbildung 6** zeigt den Kleinregnerereinsatz im Gartenbereich.

Die Kleinregner (Micro-Sprinkler) sind direkt an der Rohrleitung angeschlossen, seltener über Verbindungsschläuche mit dieser verbunden. Als Regner werden überwiegend Drehstrahlregner verwendet. Von den Schwachregnern der Feldberegung unterscheiden sich die Kleinregner durch geringeren Durchfluß und geringere Wurfweite, bedingt durch die Konzeption für niedrige Betriebsdrücke. **Abbildung 6** zeigt den Kleinregnerereinsatz im Gartenbereich.

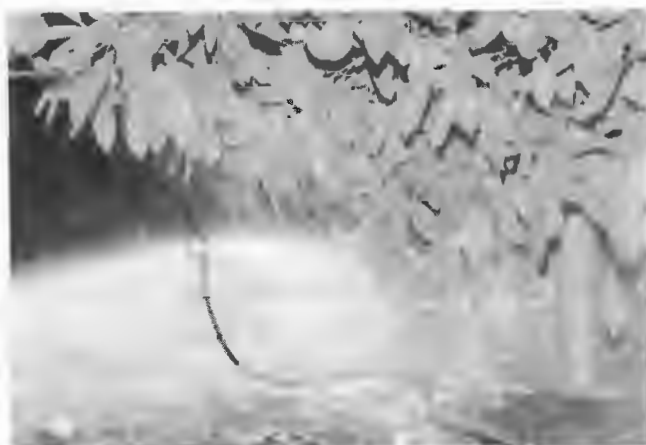


Abbildung 5: Sprühbewässerungsanlage in Zitrus

Die Tropfbewässerung hat von diesen Verfahren die weiteste Verbreitung erreicht und wird mit ca. 1,8 Mio. ha LF weltweit eingesetzt (Bucks, 1995). Dagegen sind die Sprühberegung und die Kleinregner relativ neu für den landwirtschaftlichen Einsatz und dürften nur für Dauerkulturen in ariden und semi-ariden Klimagebieten Bedeutung erlangen. Deshalb wird hier auf eine detaillierte Beschreibung verzichtet.

Bezüglich der Verbreitung und Anwendung der Tropfbewässerung in Deutschland kann nach Bucks (1995) von einer Bewässerungsfläche von etwa 1.850 ha ausgegangen werden. Sie verteilt sich wie folgt auf

- |                                      |             |
|--------------------------------------|-------------|
| • Obstbau mit Beerenobst             | 50 bis 60 % |
| • Gemüsebau unter Glas               | 15 bis 20 % |
| • Weinbau mit Rebschulen             | ca. 5 %     |
| • Baumschulen                        | ca. 15 %    |
| • Zierpflanzen in Gewächshausanlagen | 5 bis 10 %  |

Die ersten Erfahrungen mit der Anwendung der Tropfbewässerung kommen im mitteleuropäischen Raum aus dem Gartenbau. Über den erfolgreichen Einsatz wurde an mehreren Stellen berichtet (Bäcker, 1977; Balzhäuser, 1980; Mackroth, 1977; Steinberg, 1977; Supersberg, 1976; Wolff, 1974). Die Angaben beziehen sich dabei hauptsächlich auf den Obstbau und den Unterglasanbau. Ergebnisse über die Anwendung der Tropfbewässerung in landwirtschaftlichen Reihenkulturen unter gemäßigten Klimabedingungen sind bei Rossegger et al. (1981) dargestellt.

Hauptbestandteile einer Tropfbewässerungsanlage sind die Steuer- und Regeleinheit, die Hydrant- und Verteilerleitung sowie die Tropfleitungen mit den Tropfelementen. Die Steuer- und Regeleinheit reduziert den eventuell zu hohen Druck in der Zuleitung, regelt den Volumendurchfluß, dosiert die notwendige Düngergabe und reinigt das Wasser von Bestandteilen, die die Tropfelemente verstopfen könnten (Keller und Karmeli, 1975; Goldberg et al., 1976; Moser und Sinn, 1980).

Durch Tropfrohren und Tropfelemente wird mit geringem Wasserdruck (< 2 bar) und niedriger Beregnungsintensität



Abbildung 6: Kleinregnerereinsatz im Gartenbereich

(1...4 mm/h) das Wasser möglichst direkt der Pflanze zugeleitet, wodurch Wasserverluste weitgehend vermieden und erhebliche Energieeinsparungen möglich werden. Die exakte Wasserzuteilung konnte mit einer gezielten und häufigeren Düngergabe über das Bewässerungswasser verknüpft werden (Rosegger et al., 1981).

Ein guter Überblick der Forschung im Bereich der Tropfbewässerung innerhalb der letzten 20 Jahre findet sich bei Phene (1995). Zur systematischen Einordnung der zahlreichen Forschungsarbeiten gliedert er in vier Themenschwerpunkte: Anlagenkonzeptionierung, Wassermanagement, Düngereinspeisung und Computer-Simulation.

Einen Indikator für die Gewichtung der Forschung im Bereich der Tropfbewässerung stellt die Anzahl der Veröffentlichungen zu unterschiedlichen Themenbereichen in der Drip-Irrigation Bibliography (Soppe, 1995) des Water Management Research Laboratory in Fresno (Kalifornien) dar. Rund 50 % der 913 erfaßten Publikationen befassen sich mit den Forschungsschwerpunkten „Pflanzenreaktion“, „Düngereinspeisung“ sowie „Bewässerungsmanagement“.

Über das technische Betriebsverhalten von Tropferelementen liegen deutlich weniger Untersuchungen vor, wobei sich hier wiederum ein Großteil der Arbeiten mit dem Einfluß von Druckschwankungen auf die Gleichmäßigkeit der Wasserausbringung auf dem Feld befaßt. Als richtungweisend sind hierbei die Publikationen von Howell und Hiler (1974), Nakayama, Bucks und Clemens (1979), Braud und Soom (1981) sowie Solomon (1985) zu betrachten. Aus dem deutschen Sprachraum ist die Arbeit von Rosegger et al. (1981) zu nennen.

Gemessen an der Bedeutung der Problematik sowie der Gesamtzahl an Publikationen zur Tropfbewässerung als Gesamtanlage, befassen sich nur wenige Untersuchungen mit dem Betriebsverhalten der Tropferelemente per se. Hierzu zählt maßgeblich die Grundlagenforschung, welche in den 70er Jahren an der Universität Hohenheim durchgeführt wurde. Moser und Sinn (1978) untersuchten den Einfluß von Druck, Temperatur und Schwebstoffbeimengungen auf das Durchflußverhalten der damals üblichen Tropferelemente. Vergleichbare Untersuchungen erfolgten in den USA hauptsächlich durch Bucks und Myers (1973) und Braits et al. (1981). Auf der Grundlage dieser Arbeiten wurde ein Prüfstand für Tropferelemente unter der Bezeichnung ISO 9260 (1991) formuliert, wonach das Durchflußvolumen an 25 Tropfstellen bei einem Eingangsdruck von 1 bar gemessen wird. Darüber hinaus wird der Einfluß unterschiedlicher Drücke an vier Tropfstellen ermittelt. Für die Untersuchung werden fabrikneue Prüflinge eingesetzt.

Ein weiterer Hinweis zum hohen Stand der Technik und somit letztendlich Hinweise auf Ergebnisse der Forschung ist die Anzahl der Normen. Im Bereich der Mikrobewässerung und hier wiederum speziell für die Tropfbewässerung ist eine Vielzahl von nationalen und internationalen Normen entstanden, die für die in Abbildung 7 angegebenen Teilbereiche gelten.

Über Micro-Sprinkler oder Micro-Jets liegen vergleichsweise wenige Arbeiten vor. Forschungsgruppen befaßten sich überwiegend mit spezifischen Fragestellungen, ohne das Gesamtverfahren zu bewerten:

- Nishigama et al. (1993) konzentrieren sich auf die hydraulische Analyse der Druckverteilung in Mikro-

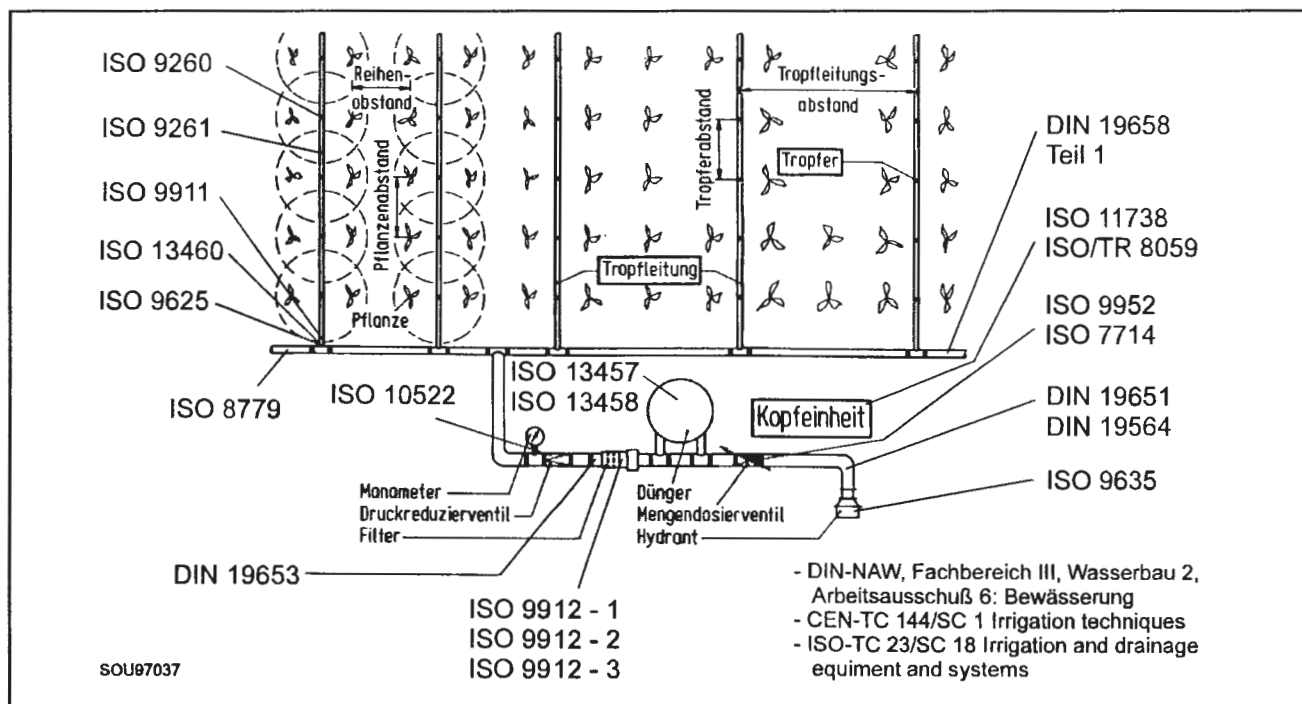


Abbildung 7: Normen im Bereich der Mikrobewässerung

bewässerungsanlagen mit dem Ziel einer gleichmäßigeren *fertigation* und *chemigation*.

- **H a n et al. (1994)** haben ein mathematisches Modell zur Bestimmung der Wasserverteilung unter Windeinfluß entwickelt. Die untersuchten Düsen reichen von 2,38 bis 6,35 mm und sind somit dem Micro-Sprinkler-Bereich zuzuordnen. Hervorgehoben wird die 3-D-Darstellung der Wasserverteilung durch das Modell.
- **B o m a n (1989)** hat mehrere *spinner and spray emitters* auf deren Wasserverteilung und Durchfluß hin untersucht. Die beweglichen *spinner* zeigten eine bessere Wasserverteilung als die *spray emitter*. **B o m a n** weist auf die Notwendigkeit von Laborversuchen hin, weil die dort erzielten Ergebnisse die Planung, Installation und den Betrieb im Feld vereinfachen. Weitere notwendige Untersuchungen sieht er in der Wasserverteilung für spezifische Bodenarten, weil sich das Wasser noch auf und in dem Boden verteilt.
- In einer weiteren Arbeit untersucht **B o m a n (1981)** den Durchfluß von Micro-Sprinklern in Abhängigkeit von der Länge und dem Durchmesser der Zuleitung. Die Ergebnisse sind für die Planung und Installation von Micro-Sprinkler-Anlagen im Feld von Interesse.
- **K e n n e t h** und **D e B o e r (1987)** befassen sich mit der Wasserverteilung von Niederdruckregnern im Feld und zeigen sehr deutlich die Unterschiede der Wasserverteilung in Abhängigkeit von der Aufstellungshöhe der Meßbecher auf.
- **C h a y a** und **H i l l s (1991)** untersuchten an mehreren Micro-Sprinklern die gebildeten Tropfengrößen und die Abdrift unter Windeinfluß. Die Abdrift kann durch eine richtige Auswahl von Druck, Düsendurchmesser und Art der Micro-Sprinkler minimiert werden. Bei zunehmender Düsenweite und konstantem Druck nimmt die Tropfengröße ab.
- **J o h n et al. (1988)** beschreiben einen neuen Einsatzbereich für Micro-Sprinkler, indem sie diese zur Frostschutzberegnung im Obstbau einsetzen. Das Rohrnetz herkömmlicher Drehstrahlregner kann genutzt werden. Die Micro-Sprinkler wurden zusätzlich im pulsierenden Betrieb eingesetzt. Insgesamt konnte der Wasserbedarf für die Frostschutzberegnung um bis zu 50 % reduziert werden.
- Deutschsprachige Literatur liegt zu diesem Thema kaum vor. **W o l f f (1987)** hat den Entwicklungsstand der Mikrobewässerung allgemein beschrieben. Der Autor erwähnt einfache und kostengünstige Durchflußregulatoren, um einen gleichmäßigen Durchfluß und eine gleichmäßige Wasserverteilung zu gewährleisten.

Diese kurze Literaturübersicht zeigt sehr deutlich, daß sich die Autoren intensiv mit verschiedenen Fragestellungen der Mikrobewässerung befaßt haben. Die Stichworte der Arbeiten wie hydraulische Analyse, mathematische Modelle zur Wasserverteilung, Durchflußbestimmung, Wasserverteilung in Abhängigkeit von der Meßbecherhöhe, Tropfengrößenanalyse oder Einsatz zum Frostschutz zeigen

aber auch, daß bislang eine technische, arbeitswirtschaftliche und monetäre Bewertung des Gesamtverfahrens fehlt. Einen zusammenfassenden Überblick der Arbeiten im Bereich der Mikrobewässerung gab **P h e n e (1995)** anlässlich des 5. International Micro-Irrigation Congress in Orlando/Florida.

### 2.2.3 Reihenregner

Bei den Reihenregnerverfahren werden in der Regel an eine Hauptleitung ein oder mehrere Regnerleitungen angeschlossen. Je nach Verfahrensablauf werden entweder mehrere Regner direkt auf der Regnerleitung angekoppelt oder mit Seitenschläuchen mit der Regnerleitung verbunden. Die Reihenregnerverfahren arbeiten mit Mittelstark- oder Schwachregnern und erfordern bei einer Beregnungsintensität von 7...20 mm/h einen Wasserdruck von etwa 5 bar am Hydranten. **Abbildung 8** zeigt eine Schlauchanlage im Einsatz auf Grünland.



**Abbildung 8:** Schlauchberegnungsanlage zur Grünlandberegnung

In der Praxis überwiegt die Rohrberegnung, die flächendeckend verlegt insbesondere für die Frostschutzberegnung geeignet ist, andererseits aber einen außerordentlich hohen Arbeitszeitbedarf für den Auf- und Abbau bzw. das Umsetzen erfordert. Um diesen Aufwand zu mindern, sind verschiedene Weiterentwicklungen bekannt, wie längs versetzbare Rohrberegnung, Rohr-Schlauchberegnung oder Schlauchberegnung (**H o r n i g, 1957; K l a t t, 1958; I s r a e l s e n** und **H a n s e n, 1962; S c h l ü n s e n, 1970; S c h o l z, 1965; S o u r e l l, 1978**).

Umfangreiche Arbeiten hat **K o l l m a n n (1991)** mit Reihenregnerverfahren in Marokko durchgeführt. Schwerpunkt war die Bestimmung der Effektivität und Gleichförmigkeit der Wasserverteilung. Neuere Untersuchungen beziehen sich auf die technische Verbesserung der Wasserverteilung (**M a y n e, 1993**) und auf die Möglichkeit der Wassereinsparung bei der Frostschutzberegnung mittels Intervallberegnung (**S o u r e l l, 1993**).

## 2.2.4 Halbstationäre Beregnungsmaschinen

Hierunter werden Techniken verstanden, die zwar im Betrieb beweglich sind, jedoch nicht ohne größere Umbaumaßnahmen von einem Schlag zum nächsten umgesetzt werden können. Die bekanntesten stationären Beregnungsverfahren sind die rollende Rohrberegnung, die Linear- und die Kreisberegnungsmaschine (Abbildung 9). Der Einsatz dieser Verfahren setzt eine Landbewirtschaftung mit Schlaggrößen ab 40 ha und möglichst einheitlicher Fruchtart mit häufigem Beregnungseinsatz voraus. Deshalb werden diese Verfahren in Deutschland kaum eingesetzt.

Die Wasserverteilung erfolgt über Regner oder Düsen bei einem Betriebsdruck von 2 bis 4 bar. Der Einsatz von Niederdruckdüsen wird heute bevorzugt, weil eine gleichmäßigere Wasserverteilung bei gleichzeitiger Reduzierung des Betriebsdrucks erreicht wird.

Die Konstruktion dieser Anlagen nach dem Baukastenprinzip läßt sich unterschiedlichen Flächengrößen gut anpassen. Die durchschnittlichen Aufbaulängen betragen bei

- rollender Rohrberegnung                    300 m
- Linear-Beregnungsmaschinen            800 m
- Kreisberegnungsmaschinen            400 m (Radius)

Die Hauptbestandteile der drei Anlagentypen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Zentrale Antriebs- und Steuereinheit für die Vor- oder Rückfahrt und Geschwindigkeitsauswahl,
- Fahrelemente und
- Wasserzuleitungsrohr (gleichzeitig Bestandteil der Konstruktion).

Herstellerspezifische Unterschiede liegen in der Antriebsart (elektrisch, hydraulisch), der Steuerung, den Abmessungen, der Ausrüstung für die Wasserverteilung usw..

Nach heutigem Stand der Technik ist besonders mit den Kreisberegnungsmaschinen ein vollautomatisierter Beregnungseinsatz möglich. Dem Landwirt obliegen dabei nur noch Steuer- und Überwachungsfunktionen (Valmount, 1993).

Forschungsarbeiten liegen in einem sehr weiten Themenbereich für die halbstationären Beregnungsmaschinen vor:

- Lyle und Bordovsky (1986a, 1986b, 1988 und 1991) haben die Mehrfachnutzung von halbstationären Beregnungsmaschinen weiterentwickelt. Sie befaßten sich mit der technischen Realisierung der Flüssigdüngung, der Saat von Reihenkulturen mit der erweiterten Technik einer Linear-Beregnungsmaschine und der Einführung eines neuen Wasserverteilungssystems „Low Energy Precision Application (LEPA) Irrigation System“, das sie zur genauen Wasser- und Düngerverteilung entwickelt haben.
- Fangmeier, Vlotman und Eftekhazadeh (1990) untersuchten die Gleichmäßigkeit der Wasserverteilung des LEPA-Systems beim Einsatz von Kreis- und Linear-Beregnungsmaschinen.
- Hanson, Schwankel und Fulton (1988) interessierte die Gleichmäßigkeit des infiltrierten Wassers im Boden, wenn es durch LEPA-Düsen und Linear-Beregnungsmaschinen verteilt wird.
- Hills, Gu, Rumsey und Wallender (1988) untersuchten die Gleichmäßigkeit der Wasserverteilung in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit einer Linear-Beregnungsmaschine.

Das Grundanliegen all dieser Arbeiten ist die noch effizientere Wassernutzung.

Bei einer weiteren Ausdehnung der Bewässerungsflächen werden die halbstationären Beregnungsverfahren an Bedeutung zunehmen. Es liegen keine Zahlen über die weltweiten Flächenanteile mit Kreis- und Linear-Beregnungsmaschinen vor. Aber es dürfte schon heute das am weitesten verbreitete technische Beregnungsverfahren sein.

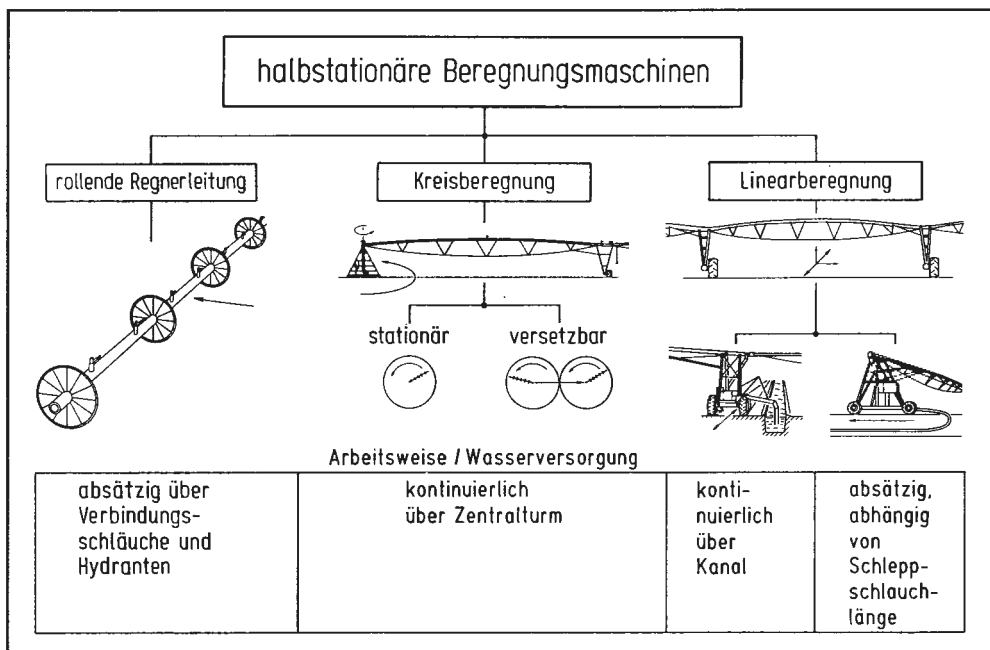


Abbildung 9: Halbstationäre Beregnungsmaschinen



## 2.2.5 Mobile Beregnungsmaschinen

Die Entwicklung trommelbarer Kunststoffrohre (Polyethylen, PE) ermöglichte ab ca. 1970 eine Weiterentwicklung in der Beregnungstechnik, die zu den Beregnungsmaschinen mit Regnereinzug oder Maschinenvorschub führte. Mobile Beregnungsmaschinen sind unter den unterschiedlichsten Betriebsbedingungen einsetzbar, was zu ihrer starken Verbreitung beigetragen hat.

Die Mehrzahl der Beregnungsmaschinen ist mit Starkregnern bei einer Beregnungsintensität von 21 bis 40 mm/h ausgerüstet. Zur vollen Nutzung der möglichen Wurfweite, vor allem aber für eine gute Strahlauflösung ist ein Wasserdruck am Hydranten ab etwa 7 bis 8 bar (Regner 4 bis 5 bar) erforderlich.

Neben Beregnungsmaschinen mittlerer Bauart (Rohraußendurchmesser 75 bis 90 mm, Rohrlängen bis 300 m) für eine Einsatzfläche von 15 bis 30 ha werden heute große Beregnungsmaschinen bis 500 m Rohrlänge für Beregnungsflächen von 40 bis 60 ha und spezielle kleine Beregnungsmaschinen mit 50 mm Rohraußendurchmesser für Einsatzbereiche von 5 bis 10 ha angeboten (Abbildung 10) (Sourell, 1991).

Je nach Fabrikat lassen sich für Trommelaufbau und Verfahrensablauf drei Grundkonzeptionen für Beregnungsmaschinen mit Regnereinzug unterscheiden:

1. **Rechtwinklige Anordnung der Rohrtrommel zur Fahrgestellachse:**  
Bei dieser Konstruktion ist das Auslegen des PE-Rohres, indem die Beregnungsmaschine durch den Bestand gefahren wird, nicht möglich.
2. **Parallele Anordnung der Rohrtrommel zur Fahrgestellachse:**  
Der Vorteil besteht darin, daß das PE-Rohr nach dem Verankern des Regnerwagens ausgelegt werden kann.
3. **Schwenkbare Rohrtrommelanordnung auf dem Grundrahmen:**  
Bei gegenüberliegenden Feldstücken muß zum Ausziehen der Regnerleitung nur die Rohrtrommel um 180° gedreht werden.

Im Gegensatz zu Beregnungsmaschinen mit Regnereinzug wird beim Ver-

fahren mit Maschinenvorschub die Beregnungsmaschine mit aufgebautem Starkregner oder mehreren Schwachregnern auf Auslegergestellen an dem zuvor am gegenüberliegenden Feldrand verankerten PE-Rohr geführt. Der Antrieb der Maschinen kann hydrodynamisch oder hydrostatisch

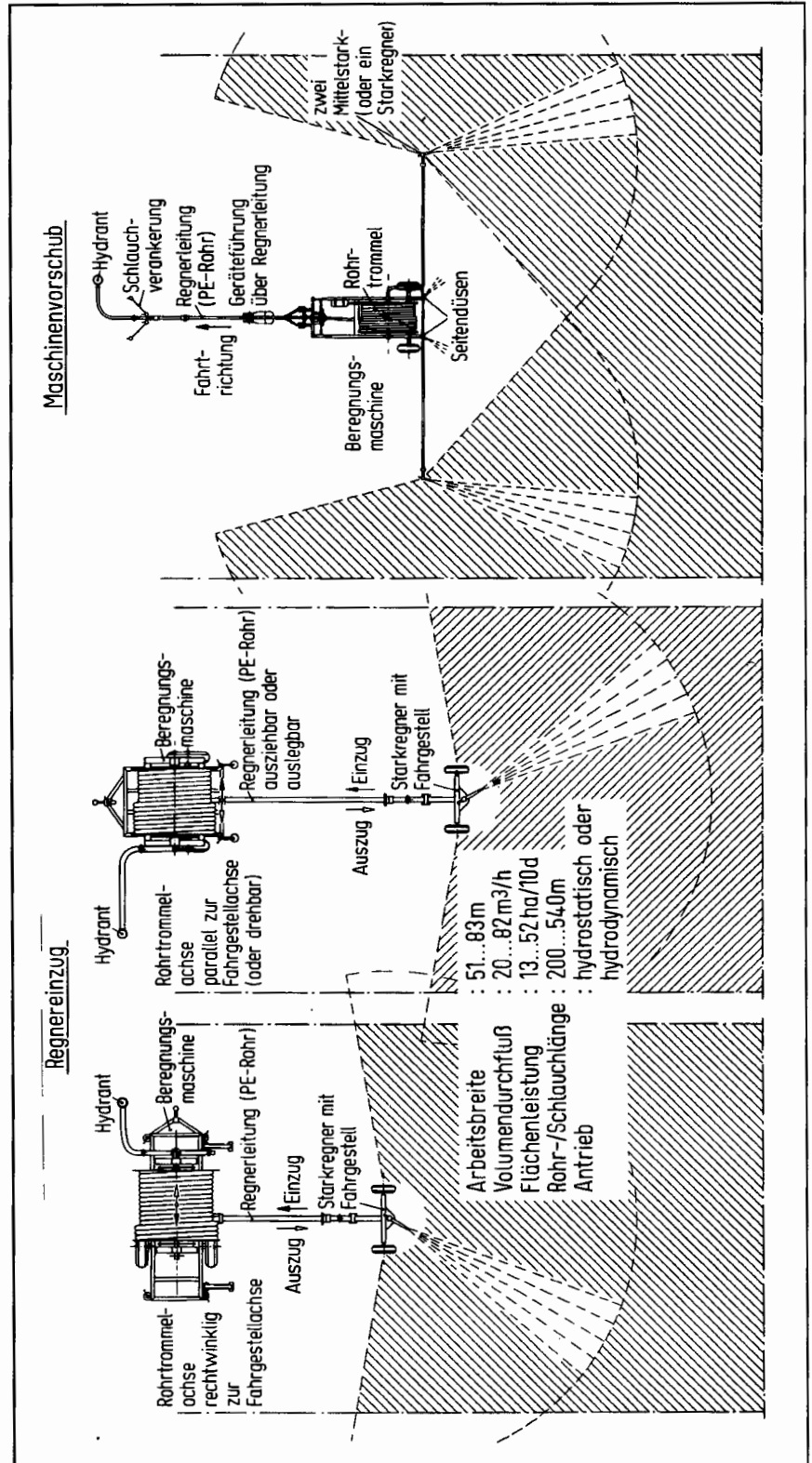


Abbildung 10: Schema und Verfahrensablauf verschiedener mobiler Beregnungsmaschinenbauarten

erfolgen. Entweder wird die Rohrtrommel direkt angetrieben oder aber über das Fahrwerk, wobei sich die Beregnungsmaschine dann selbständig am PE-Rohr führt.

Eigene Forschungsarbeiten der letzten Jahre befaßten sich mit folgenden Themen:

- Die Bestimmung der Wasserverluste beim Einsatz des Großflächenregners in Verbindung mit mobilen Beregnungsmaschinen (Hartmann, 1992).
- Bestimmung und Weiterentwicklung von Kenndaten des Düsenwagens unter Einsatzbedingungen in Marokko (Azougagh, 1994).
- Evaluierung von Möglichkeiten zum Einsatz wasser- und energiesparender Beregnungstechniken für ganze Regionen, z. B. Hessisches Ried (Sourell und Thörmann, 1992).

Neben solchen betriebstechnisch ausgerichteten Arbeiten wird zunehmend der Kostendruck zum entscheidenden Faktor beim Betriebsmitteleinsatz. Deshalb befassen sich Arbeiten von Sourell mit der Kostensenkung bei der Feldberegnung (z. B. Sourell, 1993; Thörmann und Sourell, 1995, Thörmann und Sourell, 1997).

## 2.3 Beregnungsmanagement

### 2.3.1 Beregnungssteuerung

Zu einer umweltschonenden Weiterentwicklung des Beregnungseinsatzes gehört eine gezielte Einsatzsteuerung. Im Bereich des Bewässerungsmanagements war in den letzten 30 Jahren keine praxisrelevante Lösung verfügbar, die sich durchgesetzt hat. In der Forschung werden zwei Wege verfolgt:

1. Methoden und Verfahren zur Bodenfeuchtemessung (z. B. Bodenwassergehalt, -spannung oder elektrische Leitfähigkeit) (Schmitz und Sourell, 1997).
2. Bestimmung des Wasserbedarfs aus Klimadaten und Berechnung von z. B. klimatischer Wasserbilanz (Löpmeier, 1994).

Letztere wird heute in der Praxis angewendet. An Weiterentwicklungen einer verbesserten Bodenfeuchtemessung wird im Institut für Betriebstechnik gearbeitet. Einen Vergleich bekannter Bodenfeuchtemeßverfahren mit einem Ausblick auf neuere Verfahren ziehen Schmitz und Sommer (1996).

### 2.3.2 Datenbankverbindung

Neben den bisher zitierten Forschungsarbeiten besteht seit einigen Jahren eine „World Wide Web Database on Irrigation and Hydrology Software - IRRISOFT“ (Stein, 1996). Der IRRISOFT-Server ist zu erreichen mit [http://fserv.wiz.uni-kassel.de/kww/irrisoft/irrisoft\\_i.html](http://fserv.wiz.uni-kassel.de/kww/irrisoft/irrisoft_i.html).

Das aktuelle Angebot umfaßt die Literaturrecherchen,

Software-Informationen (Programme) und auch Diskussionsforen. Dieser fast universelle Informationsweg ist bei der Darlegung des Forschungsstandes nicht mehr wegzudenken. Eine Fortschreibung des Forschungsstandes ohne Internet-Kommunikation wird in Zukunft kaum oder nur unvollständig möglich sein.

## 3 Forschungsbedarf

Der Forschungsbedarf im Arbeitsgebiet „Bewässerung“ wird vor dem Hintergrund der allgemeinen Problematik der Wassernutzung, der sich ständig ändernden Rahmenbedingungen sowie des Entscheidungshilfebedarfs gesehen. Die Rahmenbedingungen werden wie folgt eingeschätzt:

- Die berechnete Fläche nimmt ständig sowohl in Deutschland als auch weltweit zu.
- Große Flächenanteile werden in Deutschland aus der Produktion genommen (z. B. Wasserschutzgebiete, Flächenstilllegung). In anderen Ländern können Böden wegen Versalzung nicht mehr genutzt werden. Beregnungsflächen müssen deshalb mit exakt arbeitenden Beregnungsverfahren bei geringem Wasser- und Energieaufwand genutzt werden.
- Die sich ständig erweiternde Produktpalette (Verzehrgewohnheiten bei Gemüse, Anbau nachwachsender Rohstoffe) bedarf einer kontinuierlichen Anpassung der Produktionstechnik - also auch der Beregnungstechnik.
- Die Forderung nach einer umweltschonenden und ressourcensparenden Bewässerung verlangt eine schnelle Weiterentwicklung der Bewässerungstechnik, insbesondere auch für Osteuropa und die ariden/semi-ariden Länder.

Hinzu kommen spezielle Faktoren, die die Entwicklung der Bewässerung beeinflussen werden:

1. Verknappung der Ressourcen Wasser, Energie und Boden sowie zunehmende Konkurrenz um das begrenzte Wasserangebot.
2. Sensiblere außerlandwirtschaftliche Gesellschaft, die auf eine höhere Umweltverträglichkeit des Beregnungsmaschineneinsatzes achtet.
3. Verteuerung der Arbeit und Verkürzung der Arbeitszeit.
4. Steigende Kosten und Auswirkungen auf die Wettbewerbsfähigkeit.
5. Steigender Bedarf an qualitativ hochwertigen Nahrungsmitteln.
6. Zunehmender Wunsch nach Arbeitserleichterung.
7. Zunehmende Bedeutung der Verantwortung für eine umwelt- und ressourcenschonende Agrarproduktion in Deutschland wie auch in Osteuropa und der Dritten Welt.

Zur Sicherung einer nachhaltigen, umweltschonenden Erzeugung von Nahrungsmitteln, Futtermitteln und pflanzlichen Rohstoffen befaßt sich betriebstechnische For-

sung mit kostensparenden und umweltschonenden Produktionsverfahren. Und dies auch vor dem Hintergrund des Trends der Zunahme von Bewässerungsflächen. In den wichtigsten Produktionsgebieten Deutschlands, und erst recht weltweit, stellt die Beregnung nicht nur eine Ertrags-sicherungsmaßnahme dar, sondern ist Existenzgrundlage.

Aus diesen Überlegungen heraus läßt sich folgender Forschungsbedarf formulieren:

1. Weiterentwicklung von Lösungen zur Verbesserung von Einsatzsteuerung und Wasserverteilung bei der Bewässerung, und zwar nicht nur unter dem Aspekt der Optimierung der Wasserversorgung von Kulturpflanzen, sondern auch zum Zwecke einer sparsamen, ökologisch vertretbaren Nutzung des Wasserdargebots sowie zur Vermeidung bzw. Reduzierung von Stoffein- und -austrägen.
2. Beurteilung der grundlegenden Eignung und Zuordnung vorhandener Bewässerungsverfahren am gegebenen Standort nach betriebstechnischen Methoden (technische, arbeitswirtschaftliche und monetäre Bewertung).
3. Weiterentwicklung einer umweltschonenden, wasser- und energiesparenden Beregnungstechnik.
4. Wiederverwendung von Wasser aus Kläranlagen zur Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen (Kreislaufwirtschaft).

Die derzeitigen Diskussionen und Überlegungen zeigen deutlich, daß Problemlösungen auf den geschilderten Gebieten zunehmend in Praxis, Verwaltung und Wissenschaft verlangt werden (Scheibe, 1997; Sourell und Thörmann, 1992; Lehr, 1992; Wolff, 1996). Es stellt sich jedoch die Frage, ob nicht im Zuge der häufig im Vordergrund stehenden Umweltdiskussion andere wesentliche Forschungsthemen übersehen wurden bzw. werden. Die organisatorischen, arbeitswissenschaftlichen und ökonomischen Themen sind für die Analyse von Zukunftsaufgaben von grundlegender Bedeutung. Betriebstechnische Forschung sieht Möglichkeiten und Wege, auch den Einsatz der Beregnung entsprechend zu bewerten.

Aus diesen Forschungsaufgaben im Bereich der Bewässerung ist zu erkennen, daß dem Landwirt und der Administration in einer sich politisch und ökologisch rasant verändernden Welt wissenschaftlich abgesicherte Ergebnisse über neue Technologien als Entscheidungshilfe an die Hand gegeben werden müssen. Dabei sind die genannten Forschungsziele in gleichem Maße für die Länder Osteuropas und der Dritten Welt relevant. Problemlösungen sind auch dort zugänglich zu machen.

#### 4 Aufgaben für betriebstechnische Untersuchungen

Ziel der Pflanzenproduktion ist die Erzeugung qualitativ hochwertiger Produkte in ausreichender Menge. Im Rahmen der Pflanzenproduktion ist der Faktoreinsatz in der Landwirtschaft nach ökonomischen und ökologischen Zielen auszurichten. Der Betriebsmitteleinsatz ist technisch

und ökonomisch zu optimieren, und schädliche Stoffein- oder -austräge sind zu reduzieren.

Daraus werden folgende betriebstechnische Forschungsarbeiten für einen mittelfristigen Zeitraum formuliert:

1. Analyse, Bewertung und Zuordnung von Bewässerungsverfahren für verschiedene Standorte und Betriebsbedingungen, z. B.
  - a) arbeitswirtschaftliche Analyse und Optimierung der Bewässerungsverfahren.
  - b) vergleichende Verfahrenskostenanalyse der Bewässerungsverfahren.
  - c) Normung von Beregnungsverfahren und -geräten.
2. Weiterentwicklung von Bewässerungstechniken für kleine und mittlere Betriebe:
  - a) Beurteilung der Lärmemission von Pumpaggregaten und Möglichkeiten der Lärmreduzierung.
  - b) Analyse der Gefahrenpotentiale beim Einsatz von Beregnungsanlagen unter Stromleitungen und Aufstellung/Bestimmung von Mindestabständen.
  - c) Zugkraftmessungen an PE-Rohren (Regnerleitung) mit Dimensionen über 400 m Länge und 110 mm Außendurchmesser zur Bestimmung der Standsicherheit der Beregnungsmaschine, der Zugkraft am Schlepper und zur Auslegung von Turbine und Getriebe.
  - d) Aufbau eines Versuchsfeldes zum Einsatz der Unterflurtropfbewässerung. Ziel ist eine noch effizientere Wassernutzung im Gegensatz zur oberirdischen Verlegung und eine optimalere Pflanzenwasserversorgung.
3. Weiterentwicklung von bewässerungstechnischen Großgeräten:
  - a) Weiterentwicklung und Einsatz der mobilen Tropfbewässerung auf Pilotbetrieben in Verbindung mit halbstationären Beregnungsmaschinen.
  - b) Ermittlung und Analyse der Beregnungsintensität bei halbstationären Beregnungsmaschinen und Möglichkeiten der Beeinflussung.
  - c) Bewertung halbstationärer Beregnungsmaschinenteknik beim Einsatz auf Flächen mit konservierender Bodenbearbeitung und Direktsaat mit speziellem Blick auf Beregnungsintensität und Infiltrationsrate.
  - d) Untersuchung und Weiterentwicklung von halbstationären Beregnungsmaschinen zur Abwassererregung. Aus ökologischer Sicht muß an vielen Standorten der Wiederverwendungsgedanke von Wasser - speziell in der Landwirtschaft - stärker in den Mittelpunkt gestellt werden.
4. Entwicklung neuer Meßmethoden des Bodenwasser-gehaltes:
  - a) Entwicklung praxismethodischer Methoden zur Bestimmung des optimalen Beregnungszeitpunktes.
  - b) Entwicklung neuer Verfahren zur Bodenfeuchtemessung.

Die genannten Themen können nicht isoliert von der Arbeitsgruppe „Beregnungstechnik“ bearbeitet werden, son-

dem in vielen Fällen ist eine Zusammenarbeit mit anderem Arbeitsgruppen, z. B. Institut für Pflanzenbau der FAL oder der Agrarmeteorologischen Forschungsstelle des Deutschen Wetterdienstes, notwendig.

Gerade auf dem Arbeitsgebiet „Bewässerung“ besteht eine Vielzahl internationaler Kontakte, die im Aufenthalt von Gastwissenschaftlern, internationalen Projekten und der Mitgliedschaft in nationalen und internationalen Einrichtungen zum Ausdruck kommen.

### Zusammenfassung

Die Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen ist eine der effektivsten Maßnahmen zur Sicherung der Erträge. Weltweit ist die Landwirtschaft der größte Wassernutzer. Ausmaß und Auswirkungen des menschlichen Einflusses auf den Wasserkreislauf und die Wasserreserven sind regional sehr unterschiedlich. Nicht nur im Ausland, sondern auch im Bundesgebiet gibt es Regionen mit einem angespannten Wasserhaushalt. Es ist das Anliegen betriebstechnischer Forschung, Wege für eine verfahrensbedingte Verringerung des Energie- und Wassereinsatzes bei der Beregnung landwirtschaftlicher Kulturen zu analysieren, weiterzuentwickeln und zu erproben.

Die verschiedenen Bewässerungsverfahren sind sehr unterschiedlich in ihrer Energie- und Wassernutzung zu bewerten. Der abgeleitete Forschungsbedarf bezieht sich auf die Eignung verschiedener Bewässerungsverfahren für Klein- oder Großbetriebe, auf das Beregnungsmanagement sowie die betriebstechnische Aufgabe der Analyse, Bewertung und Zuordnung der Bewässerungsverfahren für unterschiedliche Standorte.

### The development of an ecofriendly irrigation technique

Irrigation of agricultural crops is one of the most effective measures for yield stability. On a world wide scale agriculture is the largest fresh water consumer. Extent and effect of human influences on water resources and circulation differ very much between the regions. Not only in foreign countries but also in Germany there are regions with a tight water balance. It is the concern of production engineering research to analyse, develop and evaluate ways for lowering the water and energy consumption of agricultural irrigation.

The various irrigation methods differ very much in their water and energy consumption. The derived need for research applies to the suitability of different irrigation methods for small and large farms, to irrigation management, and to the production engineering task of analysing, evaluation, and assignment of irrigation methods for different locations.

### Literatur

- Achtnich, W. (1980): Bewässerungslandbau. - Verlag Ulmer, Stuttgart.
- Azougagh, M. (1994): Modification and evaluation of a traveling boom irrigator for sugar cane in Morocco. - Dissertation, Universität Hassan II, Rabat/Marokko.
- Bäcker, G. (1977): Die Tropfbewässerung im Weinbau. - Wein und Rebe 30, S. 341-345.
- Balzhäuser, H. (1980): Tropfbewässerung im Weinbau. - KTBL-Schrift 246, Darmstadt.
- BML (1996): Das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten informiert. - Drucksache 717-40/96 vom 9.11.1996: Weltwirtschaftsgipfel 1996 - Standpunkte der Bundesregierung.
- Boman, B. J. (1981): Micro tubing effects of micro-sprinkler discharge rates. - Transactions of the ASAE Vol. 34 (1), S. 106-112.
- Boman, B. J. (1989): Distribution patterns of micro-irrigation spinner and spray emitters. - Applied Engineering in Agriculture 5 (1), S. 50-56.
- Bralts, V. F, I. Wu und H. M. Gitlin (1981): Manufacturing variation and drip irrigation uniformity. - Transactions of the ASAE, S. 113-119.
- Braud, H. J. und A. M. Soom (1981): Trickle irrigation lateral design on sloping fields. - Transactions of the ASAE 24 (4), S. 941-944, 950.
- Brouer, I. und E. R. Leibroek (1993): Water conservation practices in surface irrigation. - ICID-Bulletin Vol. 42 (1), S. 1-10.
- Bucks, D. A. (1995): Historical developments in micro-irrigation. - Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Micro-Irrigation Congress, Orlando/Florida (USA).
- Bucks, D. A. und L. E. Myers (1973): Trickle irrigation - application uniformity - from simple emitters. - Transactions of the ASAE, S. 1108-1111.
- Chaya, L. A. und D. J. Hills (1991): Droplet size and drift potential from microsprayer irrigation emitters. - Transactions of the ASAE 34 (6), S. 2454-2469.
- DIN 4047, Teil 6 (1989): Landwirtschaftlicher Wasserbau - Begriffe, Bewässerung.
- DIN 19655: Bewässerung - Grundlagen, Planung und Verfahren.
- Fangmeier, D. D., W. F. Vlotman und S. Eftekharzadeh (1990): Uniformity of LEPA irrigation systems with furrow drops. - Transactions of the ASAE, Vol. 33 (6), S. 1907-1912.
- FAO (1995): Food and Agriculture Organization of the United Nations. - FAO-Yearbook-Production Vol. 49.
- Finney, C. (1996): The benefits of land levelling on irrigation schemes in Turkey and Sindh Province, Pakistan. - ICID Journal Vol. 45 (1), S. 21-38.
- Fischbach, P. E. und B. R. Somerhalder (1971): Efficiencies of an automated surface irrigation systems with and without a runoff re-use system. - Transactions of the ASAE Vol. 14 (4), S. 717-719.

- Fischer Weltatmanach 1997. Fischer Taschenbuchverlag, - Frankfurt/M.
- Goldberg, P., B. Gornat und D. Riman (1976): - Drip Irrigation, Israel.
- Haise, H. R. und E. G. Kruse (1969): Automation of surface irrigation systems. - ASCE Journal of the Irrigation and Drainage Division 95 (IR4), S. 503-518.
- Han, S., R. R. Evans und M. W. Kroeger (1994): Sprinkler distribution patterns in windy conditions. - Transactions of the ASAE 37 (5), S. 1481-1489.
- Hanson, B. R., L. Schwankel und A. Fulton (1988): Uniformity of infiltrated water under low energy precision application (LEPA) irrigation systems. - Transactions of the ASAE Vol. 31 (5), S. 1463-1468.
- Hartmann, H. (1992): Untersuchungen zu den Wasserverlusten beim Einsatz des Großflächenregners mit mobilen Berechnungsmaschinen. - Dissertation, TU München. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 133.
- Hills, D. J., Y. Gu, J. W. Rumsey und W. W. Wallender (1988): Lateral move water application uniformity relative to machine speed. - Transactions of the ASAE Vol. 31 (2), S. 527-530.
- Hornig, H. M. (1957): Die Entwicklung neuer Berechnungstechniken und deren arbeitswirtschaftliche Analyse. - Mitt. aus dem Leichtweiß-Institut Nr. 1, Braunschweig.
- Howell, T. A. und E. A. Hiler (1974): Designing trickle irrigation laterals for uniformity. - Journal of Irrigation & Drainage Div. ASCE 100 (IR4), S. 443-454.
- Hübener, R. (1988): Verbesserte Methoden der Wasser- verteilung im Bewässerungslandbau. - Der Tropenlandwirt 89, S. 143-163.
- ISO 9260 (1991): Agricultural irrigation equipment; Emitters - specification and test methods.
- Israelsen, O. W. und V. E. Hansen (1962): Irrigation Principles and Practices. - John Wiley & Sons, 3. Aufl., New York, London.
- John, P. P., Carran, J. Woodhead, P. Hamer und G. Hutchinson (1988): Minisprinkler-based frost protection: a cost-competitive water-saving alternative. - Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Micro-Irrigation Congress, Albury/Wondong (Australia) 1, Paper 2 C-11-2.
- Keller, J. und D. Karmeli (1975): Trickle Irrigation Design. - Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, Glendora/Kalifornien (USA).
- Kempler, W. D., T. J. Trout und D. C. Kincaid (1987): Cablegation: Automated supply for surface irrigation. - In: Advances in Irrigation Vol. 4, Daniel Hillel Academic Press Inc.
- Kenneth, W. S. und D. W. De Boer (1987): Distribution patterns for reduced pressure sprinkler. - ASAE-Paper 87-2017, St. Joseph/Michigan (USA).
- Klatt, F. (1958): Technik und Anwendung der Feld- berechnung. - VEB-Verlag Technik, 2. Aufl., Berlin.
- Kollmann, G. (1991): Die Effektivität und Uniformität einer Berechnung. - Mitteilungen aus dem Leichtweiß-Institut für Wasserbau der TU Braunschweig 112. Dissertation, Selbstverlag.
- Lehr, H. (1992): Konkurrenz um das Wasser im Bal- lungsgebiet Rhein-Main und Auswirkungen auf die Bereg- nung. - Zeitschrift für Bewässerungswirtschaft 27 (2), S. 158-167.
- Löpmeier, F.-J. (1994): Berechnung der Bodenfeuchte und Verdunstung mittels agrarmeteorologischer Modelle. - Zeitschrift für Bewässerungswirtschaft 29 (2), S. 157-167.
- Lyle, W. M. und J. P. Bordovsky (1986a): Multifunction irrigation system development. - Trans- actions of the ASAE 29 (2), S. 512-516.
- Lyle, W. M. und J. P. Bordovsky (1986b): Chemical application with the multifunction LEPA system. - Trans- actions of the ASAE 29 (6), S. 1699-1706.
- Lyle, W. M. und J. P. Bordovsky (1988): Irrigation system for precise water and chemical application. - U.S. Patent Nr. 4.763.836.
- Lyle, W. M. und J. P. Bordovsky (1991): Planting row crops with moving irrigation systems. - Transactions of the ASAE 34 (6), S. 2404-2412.
- Mackroth, K. (1977): Die Bewässerung von Gewächs- hauspflanzen. - In: Gärtner Börse und Gartenwelt, S. 808- 811.
- Mayne, A. (1993): Berechnungstechnik, Wasservertei- lung und Ertragsbildung. - Gemüse 29 (2), S. 70-73.
- Mohan, S. und N. Arumugam (1997): Expert system applications in irrigation management: an overview. - Com- puters and Electronics in Agriculture 17 (3), S. 263-280.
- Moser, E. und H. Sinn (1978): Strömungstechnische Untersuchungen zur Berechnung von Tropfbewässerungs- anlagen. - Grundlagen der Landtechnik 28 (1), S. 18-25.
- Moser, E. und H. Sinn (1980): Strömungstechnische Untersuchungen an Tropf- und Mikrojet-Bewässerungs- systemen. - Agrartechnische Berichte 12, Institut für Agrar- technik und Landesanstalt für landwirtschaftliches Ma- schinen- und Bauwesen, Universität Hohenheim, Stuttgart.
- Nakayama, F. S., D. A. Bucks und A. J. Clem- mens (1979): Assessing trickle application uniformity. - Transactions of the ASAE 22 (3), S. 816-821.
- Nishigama, S., H. Kawano, T. Yano und P. Wu (1993): Design of micro-irrigation using unsteady flow approach. - ASAE/CSAE-Meeting, Paper No. 932129, Spokane/Washington D.C. (USA).
- Phene, C. J. (1995): Research trends in micro-irrigation. - Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Micro-Irrigation Con- gress, Orlando/Florida (USA), S. 6-24.
- Rosegger, S., H. Schön, M. Dambroth, H. Sourell, A. Bramm und E. Siegert (1981): Weiter- entwicklung und Bewertung wasser- und energiesparender Bewässerungsverfahren, insbesondere durch den Einsatz der Tropfbewässerung. - DLG-Abschlußbericht Ro 338/3.
- Roth, D., Th. Eggers, F. Sesselberg und M. Albrecht (1995): Analyse des Bundesfachverbandes Feldberechnung (BFVF) zum Stand der Berechnung in Deutschland. - Zeitschrift für Bewässerungswirtschaft 30 (2), S. 113-120.
- Scheibe, D. (1997): Betriebswirtschaftliche Aspekte unterschiedlicher Berechnungsmethoden unter Einbezie-

- hung von Einsparmöglichkeiten von Grundwasser. - Grundwasser-Workshop des Nieders. Landesamtes für Ökologie, Hildesheim, 1. Aufl., S. 31-32.
- Schlünsen, D. (1970): Neuzeitliche Techniken, Verfahren und Tendenzen der Beregnung nach dem Stand der Forschung. - Praxis der Beregnungswirtschaft 7/8. S. 1-12.
- Schmitz, M. und C. Sommer (1996): Bodenfeuchtemessung. - Gemüse 32 (4), S. XI-XIII.
- Schmitz, M. und H. Sourell (1997): Kein Meßverfahren arbeitet optimal. - Hannoversche Land- und Forstwirtschaftliche Zeitung 150 (10), S. 40-43.
- Scholz, P. (1965): Entwicklung und Erprobung eines mechanisierten Beregnungsverfahrens unter Verwendung von Kunststoffrohren. - Dissertation Gießen.
- Scholz, H. (1997): Die Ernährung der Menschen auf der Erde sichern. - Berichte über Landwirtschaft 75, S. 1-11.
- Solomon, K. H. (1985): Global uniformity of trickle irrigation systems. - Transactions of the ASAE 28 (4), S. 1151-1158.
- Soppe, R. (1995): Drip Irrigation Bibliography. - Internet WWW-Page of Water Management research Laboratory, Fresno/Kalifornien (USA).
- Sourell, H. (1978): Ein neues Reihenregnerverfahren: Schlauchberegnung. - Landtechnik (3), S. 117-122.
- Sourell, H. (1991): Verringerung des Wasser- und Energieaufwandes bei mobilen Beregnungsmaschinen. - Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 121, S. 133.
- Sourell, H. (1993): Kostensenkung bei der Feldeberegnung. - Zeitschrift für Bewässerungswirtschaft 28 (2), S. 126-139.
- Sourell, H. und H. H. Thörmann (1992): Studie über Möglichkeiten der Wasser- und Energieeinsparung sowie deren Einführung im Hessischen Ried und Rodgau. - Bericht Nr. 213 des Instituts für Betriebstechnik der FAL Braunschweig, 129 S.
- Sourell, H., H. H. Thörmann und W. Schäfer (1992): Arbeitszeitbedarfsermittlung der Furchenbewässerung. - Bericht Nr. 208 des Instituts für Betriebstechnik der FAL Braunschweig.
- Steinberg, B. (1977): Erste Erfahrungen mit der Tropfbewässerung im Weinbau. - Der Deutsche Weinbau 18, S. 724-726.
- Supersberg, H. (1976): Bewässerung - eine Möglichkeit. - In: Der Winzer (3).
- Thörmann, H.-H. und H. Sourell (1995): Vergleich der Beregnungsverfahren. - Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt 185 (17), S. 23.
- Thörmann, H.-H. und H. Sourell (1997): Große Flächen sind Voraussetzung. - Hannoversche Land- und Forstwirtschaftliche Zeitung 150 (10), S. 36-39.
- Valmount Industries Inc. (1993): Monitor and control pivots from home of office with C:A:M:S Base Station. - Valley Magazine Vol. 7 (1), S. 5.
- Wolff, P. (1974): Tröpfchenbewässerung weltweit im Vormarsch. - Der Erwerbsgärtner 28 (39), S. 1483-1484.
- Wolff, P. (1982): Mikrodüsenberegnung - eine Alternative zur Tropfbewässerung. - In: Wasser und Boden 8, S. 361-363.
- Wolff, P. (1987): On the development status of micro-irrigation. Zum Entwicklungsstand der Mikrobewässerung. - Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Symposium on Mechanization and Energy in Agriculture, Izmir/Turkey, S. 261-274.
- Wolff, P. (1995): Die Zukunft wird nicht wie die Vergangenheit sein: Fragen zur künftigen Entwicklung der ländlichen Räume in den Tropen. - Arbeiten und Berichte Nr. 37 der Universität GH Kassel, Fachbereich 11, Witzenhausen.
- Wolff, P. (1996): Zur Nachhaltigkeit der Wassernutzung - eine kritische Betrachtung unter besonderer Berücksichtigung des Wasserbedarfs der Landwirtschaft. - Zeitschrift für Bewässerungswirtschaft 31 (2), S. 129-154.
- Wolter, H. W. und A. Kandiah (1996): Harnessing water to feed a hungry world. - 16<sup>th</sup> Congress on Irrigation and Drainage (ICID), Transactions Vol. 1H, Keynote Address, Cairo.
- Verfasser: Sourell, Heinz, Dr. rer. hort., Institut für Betriebstechnik der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL), Leiter: Dir. u. Prof. PD Dr.-Ing. Claus Sommer.