

Hydraulische Untersuchungen an Mikro-Jet-Bewässerungselementen

Von Helmut Sinn, Stuttgart-Hohenheim*)

Professor Dr.-Ing. Eberhard Moser zum 60. Geburtstag

DK 631.347:532.5

Die ökologischen und ökonomischen Diskussionen über die Ressourcen Wasser und fossile Energieträger zwingen auch zu einem Überdenken der derzeit üblichen Bewässerungsverfahren.

Mit der Tropf- und der Mikro-Jet-Bewässerung stehen zwei Verfahren zur Verfügung, die einen sparsamen Umgang mit Wasser und Energie erlauben.

Gezielte, auf den Boden und die Nutzpflanzen abgestimmte Wassergaben, niedrige Betriebsdrücke und geringe Strömungsgeschwindigkeiten in den Zuleitungen und Verteilorganen sind die systembedingten Ursachen für die Vorteile dieser Verfahren.

Im vorliegenden Beitrag sollen die Mikro-Jet-Bewässerung vorgestellt und die wichtigsten strömungstechnischen Untersuchungsergebnisse aufgezeigt werden.

1. Einleitung

Mit der Mikro-Jet-Bewässerung ist neben der Tropfbewässerung ein weiteres Verfahren für die lokal gezielte Bewässerung entwickelt worden, das zusätzliche Wassergaben den Nutzpflanzen kostengünstiger, effizienter und mit geringerem Energieaufwand zuführt als bisher übliche Bewässerungs- und Beregnungsverfahren. Dies trifft vor allem für die Dauerkulturen des Obst- und Weinbaus mit relativ weiten Reihenabständen zu [1].

Durch die Art der Wasserausbringung bzw. -verteilung wird bei diesem Verfahren eine im Vergleich mit der Tropfbewässerung größere Bodenoberfläche bewässert und ein größeres Bodenvolumen durchfeuchtet, was sich vor allem auf die Ausbildung des Wurzelbereichs und die Pflanzenstabilität günstig auswirkt. Auch werden Salzanreicherungen im gesamten Wurzelbereich vermieden, bei der Düngieranwendung wird die Nährstoffzufuhr in der gesamten Wurzelzone verbessert und bei der Herbizidanwendung deren Wirkung gesteigert. Zudem benötigt man bei einer vergleichbaren Anlage weniger Mikro-Jet-Elemente sowie geringeren Wartungs- und Überwachungsaufwand.

Als Nachteile hingegen sind aufzuführen: die zwangsläufig durch die Applikationsart bedingten Wasserverluste in Form von Verdunstung oder Abdrift, die größeren Leitungsquerschnitte der Verteilungen — gleiche Leitungslängen und Druckverluste wie bei der Tropfbewässerung vorausgesetzt —, der verstärkt auftretende Unkrautwuchs einschließlich des damit verbundenen zusätzlichen Wasserbedarfs und, soweit Laubwände vorhanden sind, deren mangelhafte Durchdringung.

*) Dipl.-Ing. H. Sinn ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachgebiet Verfahrenstechnik für Intensivkulturen (Leiter: Prof. Dr.-Ing. E. Moser) des Instituts für Agrartechnik der Universität Hohenheim.

2. Aufbau und Bauarten

Mikro-Jet-Bewässerungsanlagen bestehen wie die Tropfbewässerungsanlagen aus Pumpstation, Steuer- und Regeleinrichtung sowie Haupt- und Verteilungen, die hier Mikro-Jet-Elemente anstelle der Tropfelemente tragen, Bild 1, [2].

Die Steuer- und Regeleinrichtung dient der Reinigung des von der Pumpstation gelieferten Wassers, der Druckreduzierung und -regelung, der Steuerung bzw. Regelung der Durchflußmenge sowie der Dosierung und Beimischung von Handelsdünger. Die Steuerung der Wassergaben kann über Bodenfeuchte- oder Verdunstungsmeßwertgeber vorgenommen werden.

Die Mikro-Jet-Elemente sind entweder direkt auf die Verteilungen aufgesteckt oder mit diesen über dünne Schläuche verbunden.

Anders als bei der Tropfbewässerung wird das Bewässerungswasser, trotz fast gleicher Druckbereiche von 0,5–5 bar, nicht tropfenweise, sondern in Einzelstrahlen oder als Wasserschleier flächig appliziert. Größere Volumenströme und Düsenöffnungen erhöhen die Funktionssicherheit, reduzieren die Verstopfungsgefahr und lassen Feinfilter mit einer Maschenweite von 0,15 mm zu.

Die Bauarten von Mikro-Jet-Elementen lassen sich funktionell auf die beiden Grundformen Standregner und Drehstrahlregner zurückführen. In Bild 2 sind einige Varianten von Bauarten systematisch zusammengestellt. Prinzipiell bestehen Mikro-Jet-Elemente aus einer Basis- und einer Kopfeinheit. Die Basiseinheit bestimmt dabei die Menge und die Kopfeinheit die Art der Wasserverteilung. Durch unterschiedlich große Düsenöffnungen bzw. Fließquerschnitte in den Basiseinheiten lassen sich je nach Betriebsdruck Volumenströme im Bereich von 13–245 l/h erzielen. Konstante, druckunabhängige Volumenströme werden bei einigen Bauarten in der Basiseinheit durch eine elastische Verformung von Membranen und eine damit verbundene Änderung der Fließquerschnitte erreicht, Bild 2 Bauart Nr. 5 und 6.

Bei Standregnern trifft der Wasserstrahl nach dem Durchströmen der Basiseinheit auf kegelförmige Prallflächen im Innern der Kopfeinheit oder auf gekrümmte steckbare Leitkörper, die als feststehende Kopfeinheit ausgeführt sind. Je nach Ausbildung, Anordnung und Anzahl der Austrittsöffnungen in der Kopfeinheit bzw. je nach Steckrichtung der Leitkörper wird das Bewässerungswasser in Form von 9 bis 16 Einzelstrahlen (Nr. 1 und 2) oder als Wasserschleier halbkreis- oder kreisförmig bzw. in Sektoren mit einer Winkelsumme von 40° bzw. 280° verteilt (Nr. 3, 4 und 5).

Bei Drehstrahlregnern (Nr. 6 und 7) ist entweder die gesamte Kopfeinheit oder nur ein Teil als Rotationskörper ausgeführt. Durch gekrümmte Führungsnuten oder durch Leitvorrichtungen vor den Austrittsöffnungen der Kopfeinheit wird der Rotationskörper von dem aus der Basiseinheit austretenden Wasserstrahl in Drehung versetzt. Dabei wird das Bewässerungswasser in zwei oder sechs Einzelstrahlen spiralförmig über einen Bereich von 360° verteilt.

Bei höhengleichem Abwurf- und Applikationsort lassen sich je nach Bauart, Betriebsdruck und Volumenstrom Wurfweiten im Bereich 0,8–4,7 m erzielen.

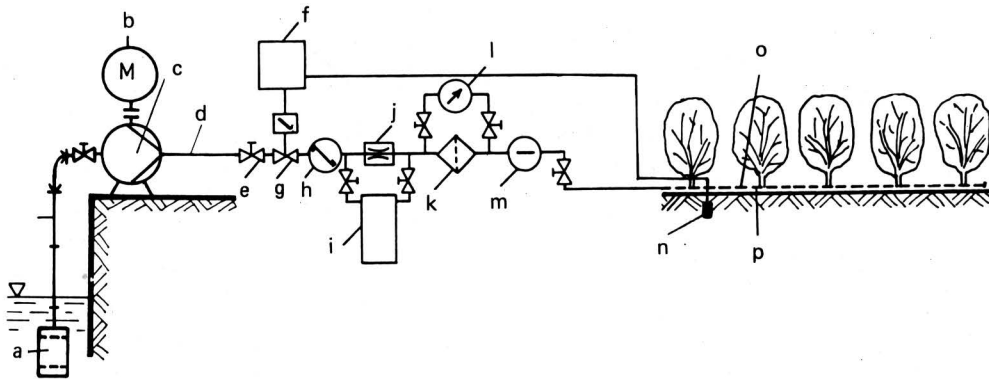


Bild 1. Aufbau einer Mikro-Jet-Bewässerungsanlage.

- a Saugkorb
- b Motor
- c Pumpe
- d Hauptleitung
- e Schieber (Absperrventil, Mengenregelventil)
- f Steuergerät
- g Magnetventil
- h Druckminderer
- i Düngermischgerät
- j Drosselventil
- k Filter
- l Manometer
- m Wasserzähler
- n Feuchtefühler
- o Verteilleitung
- p Mikro-Jet

Mikro-Jet-Elemente	Standregner				Drehstrahlregner				
	1		2		3	4	5	6	7
Kenndaten	Nr.							Firmenbezeichn.	
	B 180°		B 360°		D 40°	B 2 280°	Mamtaz 7700	Mamtiron 8811	X 360°
Spritzbild	Einzelstrahlen		Wasserschleier			Einzelstrahlen			
Druck p (bar)	0,5 - 2,5		0,5 - 2,5		0,5 - 2,5	0,5 - 2,5	>1,0	>1,0	0,5 - 3,0
Druckausgleich	nein		nein		nein	nein	ja	ja	nein
Volumenstrom * V̇ (l/h)	13,3 - 219,0		13,6 - 219,0		13,1 - 219,0	13,7 - 219,0	40 - 120	40 - 120	114 - 245
Wurfweite a (m)	0,9 - 4,4		0,8 - 3,4		1,5 - 4,7	0,9 - 3,4	0,9 - 2,4	1,7 - 3,5	1,1 - 2,1
Form	d (mm)		d (mm)		d (mm)	d (mm)	—	d (mm)	d (mm)
	A (mm²)		A (mm²)		A (mm²)	A (mm²)	—	A (mm²)	A (mm²)
	A ₀ (mm²)		A ₀ (mm²)		A ₀ (mm²)	A ₀ (mm²)	—	A ₀ (mm²)	A ₀ (mm²)
Austrittsöffnungen	9		12		2	2	1	2	6
Ausfluß-Druck m (V̇ = c · p ^m)	0,529		0,520		0,533	0,532	0,01-0,19	0,03-0,12	0,432
Abstand (m)	var.		var.		var.	var.	var.	var.	var.
Konstruktion	Kopf- und Basiseinheit komplett austauschbar					Kopfeinheit austauschbar			

* Wassertemperatur $\vartheta = 13 \pm 1^\circ\text{C}$

Bild 2. Zusammenstellung der technischen Kenndaten für verschiedene Bauarten von Mikro-Jet-Elementen.

3. Versuchsergebnisse

3.1 Volumenstrom in Abhängigkeit vom Druck

Für die untersuchten Mikro-Jet-Elemente ist in Bild 3 und 4 der Volumenstrom als Funktion des Druckes in doppelt-logarithmischem Maßstab dargestellt. Das unterschiedliche Ausflußverhalten ist auf die bauartbedingt unterschiedlichen Strömungsverhältnisse in den Mikro-Jet-Elementen zurückzuführen. Aus einer allgemeinen, strömungstechnischen Darstellung des Volumenstromes \dot{V} in Abhängigkeit vom Druck p

$$\dot{V} \sim p^m$$

mit m als charakteristischem Exponenten für ein Mikro-Jet-Element lassen sich folgende Tendenzen ableiten: Da bei Mikro-Jet-Elementen turbulente Strömungsverhältnisse vorherrschen, liegt der Exponent m bei etwa 0,5, bzw. strebt im Falle der Druckunabhängigkeit gegen 0.

Die Art und Form der Strahl- bzw. Wasserschleierausbildung sowie die Anzahl, Form und Größe der Austrittsöffnungen in der Kopfeinheit der Mikro-Jet-Elemente in Bild 3 haben — gleiche Druckverhältnisse und Düsenöffnungen vorausgesetzt — strömungstechnisch bedingt unterschiedliche Umlenk- und Druckverluste in der Kopfeinheit und damit Unterschiede in den Volumenströmen zur Folge.

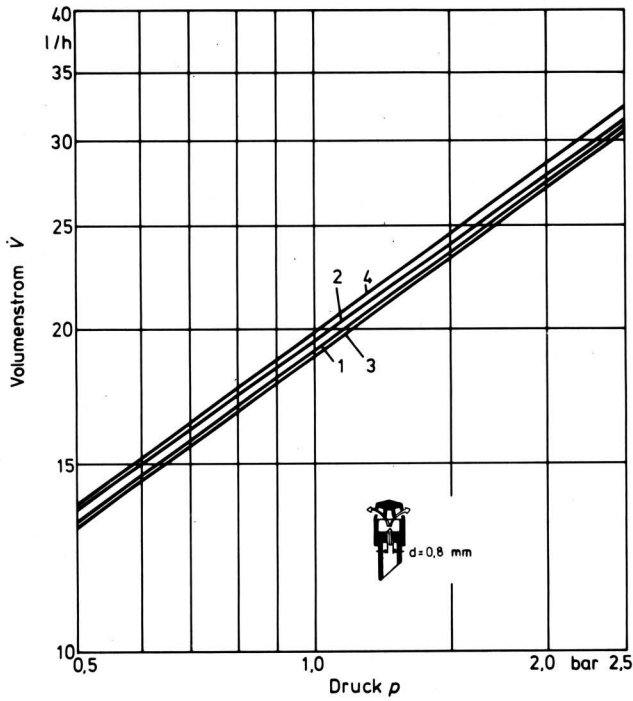


Bild 3. Volumenstrom als Funktion des Druckes für Mikro-Jet-Elemente; Standregner ohne Druckausgleich, Numerierung entsprechend Bild 2.

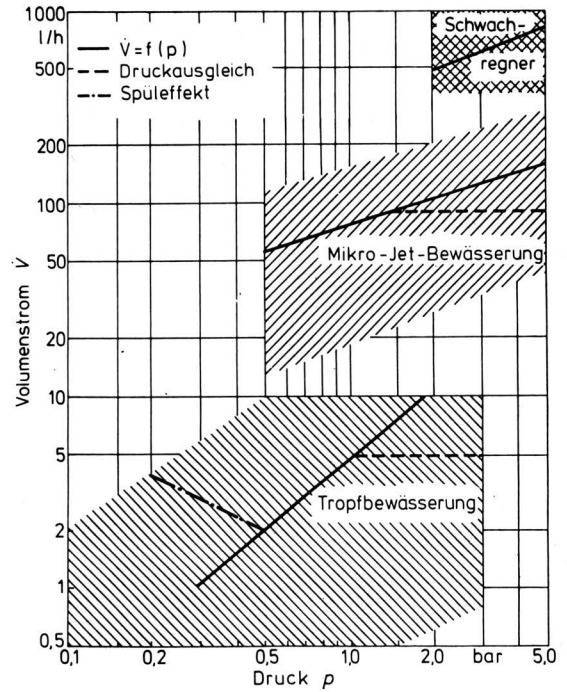


Bild 5. Einsatzbereiche von Bewässerungsverfahren mit lokal begrenzter Applikation im Druck-Volumenstrom-Diagramm.

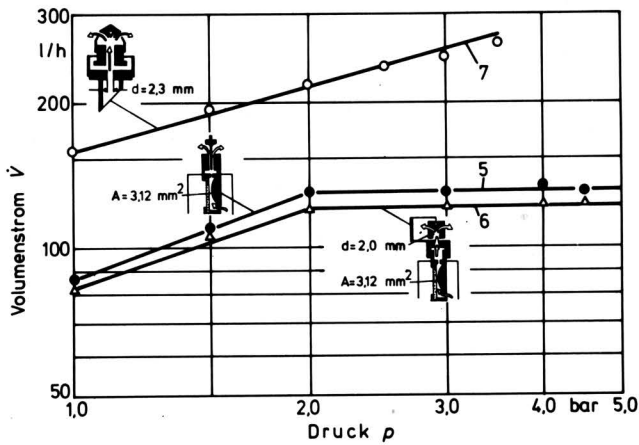


Bild 4. Volumenstrom als Funktion des Druckes für Mikro-Jet-Elemente verschiedener Bauart.

- 5 Standregner mit Druckausgleich
- 6 Drehstrahlregner mit Druckausgleich
- 7 Drehstrahlregner ohne Druckausgleich

Der Unterschied zwischen den Volumenströmen der beiden druckunabhängigen Regner (Standregner Nr. 5 und Drehstrahlregner Nr. 6) in Bild 4 ist vor allem dem Druckverlust in der zusätzlichen Düse des Drehstrahlregners zuzuschreiben; die Unterschiede gegenüber dem Drehstrahlregner Nr. 7 sind konstruktiver und hydraulischer Natur.

Hinsichtlich des Einsatzbereichs und des strömungstechnischen Verhaltens schließen die Mikro-Jet-Elemente die Lücke zwischen Tropfbewässerung und Beregnung mit Schwachregnern, Bild 5.

3.2 Einfluß der Fertigungsgenauigkeit

Die Streuung des Volumenstromes infolge fertigungstechnischer, geometrischer Abweichungen der untersuchten Mikro-Jet-Elemente ist in Bild 6 bei einem Betriebsdruck von 2 bar dargestellt. In den meisten Fällen liegen die Abweichungen vom Mittelwert bei etwa $\pm 5\%$, wobei aber auch Abweichungen um nur $\pm 1\%$ nicht auszuschließen sind.

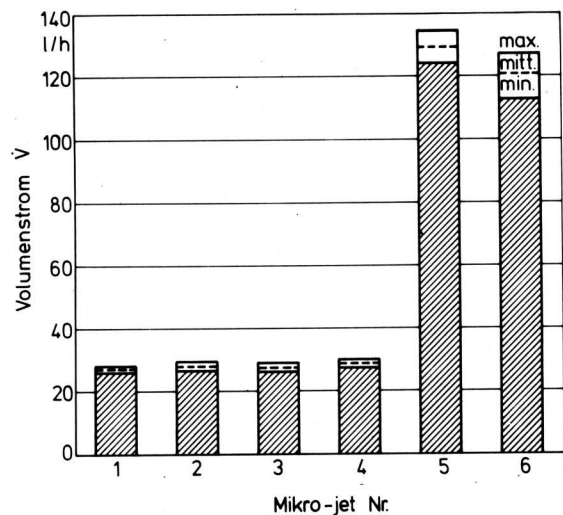


Bild 6. Streuung des Volumenstroms (Mittelwert, Maximal- und Minimalwert) bei Mikro-Jet-Elementen verschiedener Bauarten für $p = 2,0$ bar.

3.3 Wasserverteilung bei der Mikro-Jet-Bewässerung

Um den Einfluß konstruktiv unterschiedlicher Kopfeinheiten, des Druckes und der Lage der Mikro-Jet-Elemente zur Bewässerungsfläche auf die Wasserverteilung beurteilen zu können, wurden mit Standregnern Laboruntersuchungen angestellt.

Wie sich die Anzahl und Größe der Austrittsöffnungen in den Kopfeinheiten auf die Wasserverteilung, die örtlichen Regenhöhen und die Wurfweiten bei einem Druck von 1 bar, einer Wasserspende von 13,5 l und bei höhengleichem Abwurf- und Applikationsort auswirkt, zeigt Bild 7.

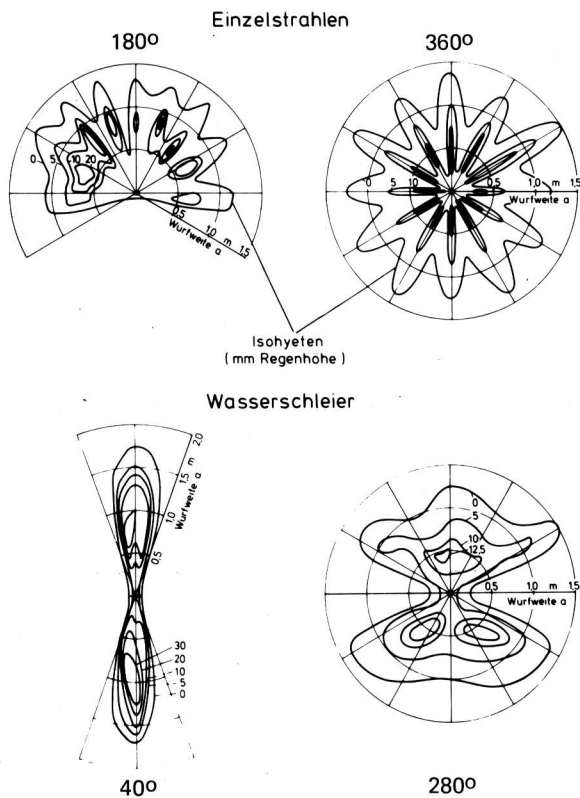


Bild 7. Wasserverteilung auf der Bodenfläche, dargestellt als Linien gleicher örtlicher Regenhöhe (Isohyeten), für Mikro-Jet-Elemente verschiedener Bauart; Druck $p = 1$ bar, Regenspende $V = 13,5$ l, Abwurfhöhe = Applikationshöhe.

Da je nach Ausbildung der Kopfeinheit das Wasser in Sektoren bzw. halbkreis- oder kreisförmig verteilt wird, werden sich entsprechend den dadurch bedingten unterschiedlichen Bewässerungsflächen auch unterschiedliche örtliche Regenhöhen ergeben. Bei Mikro-Jet-Elementen mit der flächenmäßig am engsten begrenzten Wasserausbreitung erreicht die örtliche Regenhöhe – dargestellt durch die Linien gleicher Regenhöhen (Isohyeten) – die höchsten und beim Element mit der größten Bewässerungsfläche die niedrigsten Werte. Das wirkt sich auch auf die Gleichmäßigkeit der Wasserverteilung in der Fläche aus. Mit zunehmender Bewässerungsfläche vergrößern sich die Abstände zwischen den einzelnen Isohyeten und die Verteilung über die Fläche wird gleichmäßiger. Neben der Größe der Bewässerungsfläche beeinflusst auch die Art der Wasserverteilung, ob in Form von Einzelstrahlen oder als Wasserschleier, die örtliche Regenhöhe. Während bei Einzelstrahlen die Isohyeten überwiegend strahlenförmig engbegrenzte Flächen beschreiben, umfassen sie bei Wasserschleiern relativ einheitliche große Bereiche der gesamten Bewässerungsfläche. Unterschiedliche Wurfweiten lassen sich hauptsächlich auf die Größe und Anzahl der Austrittsöffnungen in den Kopfeinheiten zurückführen.

Wegen der sehr großen Austrittsöffnungen und der damit verbundenen niedrigen Wasseraustrittsgeschwindigkeiten bzw. der dadurch bedingten Art der Ausbreitung in Wasserschleiern sind mit dem Mikro-Jet-Element 280° die geringsten Wurfweiten zu erreichen. Etwas größere Wurfweiten sind mit dem Mikro-Jet-Element 360° zu erzielen, da hier, aufgrund der Größe und Anzahl der Austrittsöffnungen bzw. der Summe aller Austrittsquerschnitte, das Wasser in Einzelstrahlen mit etwas höherer Geschwindigkeit aus der Kopfeinheit austritt. Die kleinsten Austrittsquerschnitte und damit die größte Wasseraustrittsgeschwindigkeit weist das Mikro-Jet-Element 40° auf. Damit läßt sich hier die größte Wurfweite erklären. Dem am nächsten sollte aufgrund der zahlen- und flächenmäßig nächst größeren Austrittsöffnung das Mikro-Jet-Element 180° kommen. Wie Bild 7 aber zeigt, unterbleibt bei einem Druck von 1 bar hier häufig eine eindeutig strahlenförmige Wasserausbreitung, da sich benachbarte Strahlen ständig tangieren. Dies führt teilweise zur Wasserausbreitung in Form eines Wasserschleiers. Die Folge sind geringere Wurfweiten, sehr unterschiedliche örtliche Regenhöhen und eine sehr uneinheitliche Wasserverteilung. Wie Untersuchungen gezeigt haben, können diese Nachteile durch Drücke über 2 bar ausgeglichen werden, bei denen ein Berühren benachbarter Strahlen nicht mehr zu erwarten ist.

Bekanntlich nimmt durch eine Druckerhöhung der Volumenstrom und damit die Wasseraustrittsgeschwindigkeit an den Öffnungen der Kopfeinheit zu. Gleichzeitig wird sich dadurch aber auch das Tropfengrößenspektrum der Einzelstrahlen bzw. der Wasserschleier ändern und zu niedrigeren Werten verschieben. Dies wirkt sich unterschiedlich auf die Wurfweite, Regenhöhe und Wasserverteilung aus, Bild 8. Die druckbedingten Zusammenhänge zwischen zunehmender Austrittsgeschwindigkeit und abnehmendem Tropfengrößenspektrum können dabei je nach den gegebenen Verhältnissen zu einer Steigerung, zu einem Konstantbleiben oder zu einer Minderung der Wurfweite führen.

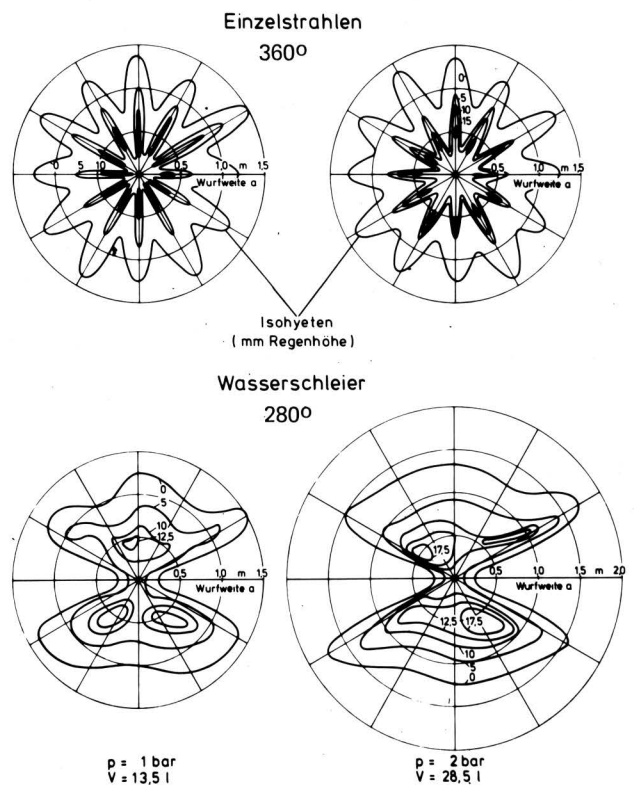


Bild 8. Wasserverteilung auf der Bodenfläche, dargestellt als Linien gleicher örtlicher Regenhöhe (Isohyeten), für zwei verschiedene Mikro-Jet-Elemente bei zwei verschiedenen Drücken; $p_1 = 1$ bar, $V_1 = 13,5$ l; $p_2 = 2$ bar, $V_2 = 28,5$ l.

Aufgrund der größeren Volumenströme muß die Regenhöhe bei den beiden Mikro-Jet-Elementen 360° und 280° (Nr. 2 und Nr. 4 in Bild 2) zwangsläufig zunehmen. Da wegen der, insgesamt gesehen, kleineren Tropfen sich die Einzelstrahlen bzw. Wasserschleier in Fallrichtung gleichmäßiger und einheitlicher auflösen, ist mit einer besseren Verteilung des Wassers auf der Fläche bei beiden Bauarten zu rechnen.

Bei Änderung der geometrischen Verhältnisse, z.B. bei Höhenunterschieden zwischen Abwurf- und Applikationsort, bei Einsatz dieses Bewässerungsverfahrens in hängigem Gelände, bei Betrieb mit hängenden statt stehenden Mikro-Jet-Elementen oder bei Betrieb mit zur Applikationsfläche geneigten Mikro-Jet-Elementen infolge von verdrehten oder schräggestellten Verteilleitungen, muß mit anderen Verhältnissen bei der Verteilung des Wassers gerechnet werden.

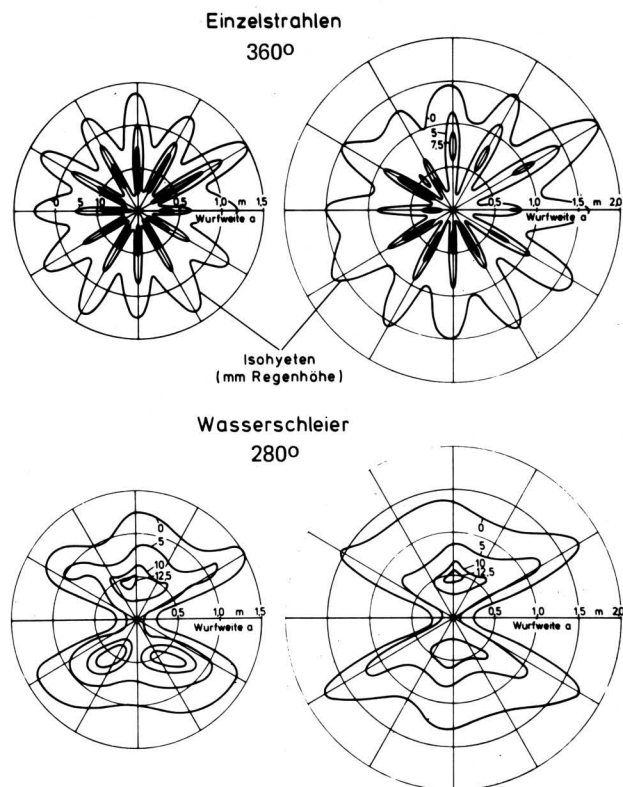


Bild 9. Wasserverteilung auf der Bodenfläche, dargestellt als Linien gleicher örtlicher Regenhöhe (Isohyeten), für zwei verschiedene Mikro-Jet-Elemente bei zwei verschiedenen Höhen des Abwurfortes; $h_1 = 0$ m, $h_2 = 0,5$ m, $p = 1$ bar, $V = 13,5$ l.

Bild 9 zeigt dies für die Wasserausbreitung in Einzelstrahlen und als Wasserschleier mit stehenden Mikro-Jet-Elementen in zwei unterschiedlichen Höhen. In beiden Fällen vergrößern sich bei höherem Abwurfort die Wurfweiten aufgrund längerer Flugphasen. Die dadurch bedingten größeren Bewässerungsflächen führen zu geringeren örtlichen Regenhöhen und geänderter Wasserverteilung auf der Fläche. Unregelmäßigkeiten im Niederschlagsbild werden dabei bei Einzelstrahlen noch verstärkt, im Falle von Wasserschleiern aber ausgeglichen.

Arbeitet der Regner senkrecht nach unten hängend, so verringert sich wegen der flacheren Flugbahnen und wegen der kürzeren Flugphase die Wurfweite und damit die Bewässerungsfläche. Infolgedessen nimmt die örtliche Regenhöhe zu und die Wasserverteilung auf der Fläche wird ungleichmäßiger.

Alle anderen Lageunterschiede haben gleiche oder ähnliche Auswirkungen zur Folge, nämlich einseitige oder auf begrenzte Bereiche beschränkte Überhöhungen bzw. Abnahmen der Niederschlagsmengen und dadurch zwangsläufig bedingt ein asymmetrisches Niederschlagsbild.

4. Zusammenfassung

Die Mikro-Jet-Bewässerung ist neben der Tropfbewässerung eine weitere Alternative für eine optimale Wassernutzung und eine energiesparende Wasserverteilung. Gegenüber Einzelregnerverfahren (Beregnungsmaschine mit Starkregner) kann der Wasserverbrauch bei diesem Verfahren um bis zu 50 % reduziert und die notwendige Energie bis auf 30 % gesenkt werden.

Wie bei der Tropfbewässerung wird bei der Mikro-Jet-Bewässerung das Wasser nicht flächendeckend, sondern flächenmäßig begrenzt, also lokalisiert, verteilt. Die experimentellen, strömungstechnischen Untersuchungen im Labor haben ergeben, daß ein Großteil der Mikro-Jet-Bewässerungselemente durchaus in der Lage ist, den in der Anwendung auftretenden schwierigen hydraulischen Anforderungen und Bedingungen gerecht zu werden. Geringere Anfälligkeit gegenüber Verstopfen erfordert meist weniger aufwendige Filteranlagen. Ob höhere Verdunstungsverluste auftreten, muß durch Untersuchungen im Freiland geprüft und quantifiziert werden. Gleiches gilt auch für die bewässerungstechnischen Komplexe Boden, Klima und Pflanze.

Schrifttum

- [1] *Wolff, P.*: Mikrodüsenberegnung — eine Alternative zur Tropfbewässerung? Wasser und Boden Bd. 34 (1982) Nr. 8, S. 361/63.
- [2] *Moser, E. u. H. Sinn*: Strömungstechnische Untersuchungen zur Berechnung von Tropfbewässerungsanlagen. Grndl. Landtechnik Bd. 28 (1978) Nr. 1, S. 18/25.