

Technik in der Feldbewässerung



www.alb-bayern.de/fgb1

Fachgruppe Bewässerung, Verfasser:

Henning Gödeke
Landwirtschaftskammer
Niedersachsen

Till Belau
Kuratorium für Technik und Bauwesen
in der Landwirtschaft e. V.

Dr. Martin Müller
ALB Bayern e. V.

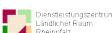
Fachgruppe Bewässerung von ALB, DLG und KTBL

Die Fachgruppe Bewässerung ist Bestandteil eines bundesweiten neutralen Informationsnetzwerks für eine effiziente Bewässerung in der Landwirtschaft und dem Gartenbau. Sie vernetzt wichtige Akteure und wird von ALB, DLG und KTBL gemeinsam organisiert. Fachleute aus Forschung, Beratung, Bildung sowie landwirtschaftlicher und gartenbaulicher Praxis suchen nach den bestmöglichen machbaren Lösungen und

bündeln die Ergebnisse für die Praxis. Ziel ist es, auf fachlich fundierter Grundlage und in ausgewogener Weise die Bewässerung zu optimieren. Es werden Beratungsblätter ausgearbeitet und veröffentlicht. Beratungsblätter sind neutrale, kompakte Fachinformationen zu konkreten Fragestellungen und mit hohem Praxisbezug.

Weiteres unter: www.alb-bayern.de/fgb

Mitglieder der Fachgruppe Bewässerung

	Vorsitzende, zugleich Vorsitzende der DLG-Arbeitsgruppe Bewässerung: Dr. Sandra Kruse
	Arbeitsgemeinschaft Landtechnik u. Landw. Bauwesen in Bayern e.V., Freising: Dr. Martin Müller
	Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, Bamberg: Dr. Alexander Dümig
	Berner Fachhochschule, Zollikofen: Prof. Andreas Keiser
	Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft e.V., Frankfurt am Main: Jonas Trippner
	Dienstleistungszentrum ländlicher Raum Rheinland-Pfalz, Schifferstadt: Dr. Sebastian Weinheimer
	Fachverband Bewässerungslandbau, Teltow: Dr. Veikko Junghans
	Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V., Finsterwalde: Dr. Beate Zimmermann
	Hochschule Geisenheim University, Geisenheim: Jürgen Kleber
	Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Freising: Prof. Michael Beck
	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Darmstadt: Till Belau, Mathias Funk
	Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, Griesheim: Maximilian Sandmann
	Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Augustenberg: Dr. Martine Schraml
	Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Hannover: Ekkehard Fricke, Henning Gödeke, Angela Riedel
	Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Köln: Simon Keutmann
	Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften, Suderburg: Prof. Andreas Teichert

Impressum

Herausgeber	Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e. V. (ALB), Vöttinger Straße 36, 85354 Freising Telefon 08161 / 887-0078, E-Mail info@alb-bayern.de Internet www.alb-bayern.de
1. Auflage	03/2024
© ALB	Alle Rechte vorbehalten
Titelfoto	ALB

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	4
2. Bewässerungstechniken im Überblick	4
3. Mobile Beregnungsmaschine mit Starkregner	6
4. Mobile Beregnungsmaschine mit Düsenwagen	9
5. Kreis- und Linearberegnung	11
6. Rohrberegnung	14
7. Tropfbewässerung	17
8. Zusammenfassung	21
9. Literatur	22

1. Einleitung

Bewässerung ist die Versorgung der Kulturpflanzen durch Zusatzwasser. Sie ergänzt den fehlenden natürlichen Niederschlag und sichert die Ertrags- und Qualitätsbildung des Ernteproduktes. Ohne Zusatzwasser ist ein ressourcenschonender Anbau von qualitativ hochwertigen Produkten in vielen Anbaugebieten nicht machbar. Im Zuge des Klimawandels stellen sich Erzeuger in Regionen, in denen bisher nicht geregnet

werden musste, immer häufiger die Frage, ob es sinnvoll ist, in Bewässerungsanlagen zu investieren. Denn neben der Sicherstellung von Ertrag und Qualität der Ernteprodukte spielt die Bewässerung ebenso für die Nährstoffausnutzung und für die kontinuierliche Marktbelieferung eine wichtige Rolle.

2. Bewässerungstechniken im Überblick

Welche Bewässerungstechnik in den landwirtschaftlichen und gärtnerischen Betrieben zum Einsatz kommt, ist von vielen Faktoren abhängig: von der Betriebsgröße, den Schlaggrößen und -formen, der Topografie, den angebauten Kulturen, der Organisationsform (Verband oder Einzelregner), der arbeitswirtschaftlichen Situation und dem zur Verfügung stehenden Wasserdargebot des Betriebes. Hinsichtlich der Anlagenart können Bewässerungsverfahren in ortsfeste, teilortsfeste und bewegliche Anlagen unterschieden werden.

Bei den ortsfesten Bewässerungsverfahren sind alle Anlagenteile fest installiert und damit flächengebunden. Dies gilt sowohl für die Wasserbereitstellung als auch für die Wasserverteilung. Die Anlagen sind meist kapitalintensiv und werden daher vor allem in Dauerkulturen eingesetzt.

Bei den teilortsfesten Bewässerungsverfahren werden in der Regel Brunnen, Pumpe und Hydrantenleitung zu den einzelnen Feldern fest installiert. Die Wasserverteilung auf dem Feld erfolgt im Anschluss über bewegliche Anlagenteile.

Bei beweglichen Bewässerungsverfahren sind alle Anlagenteile oberirdisch und mobil. Sie werden während der Beregnungsperiode mehrmals auf- und abgebaut.

Die Bewässerungsverfahren lassen sich zudem in unterschiedliche Gruppen aufteilen (Abb. 1). Flächenmäßig besonders bedeutsam sind in Deutschland bisher vor allem mobile Beregnungsmaschinen mit Starkregner in der Landwirtschaft sowie die Rohrberegnung im Feldgemüsebau. Der Einsatz von Düsenwagen, die Kreis- oder Linearberegnung sowie Tropfbewässerung nehmen aber seit mehreren Jahren zu.

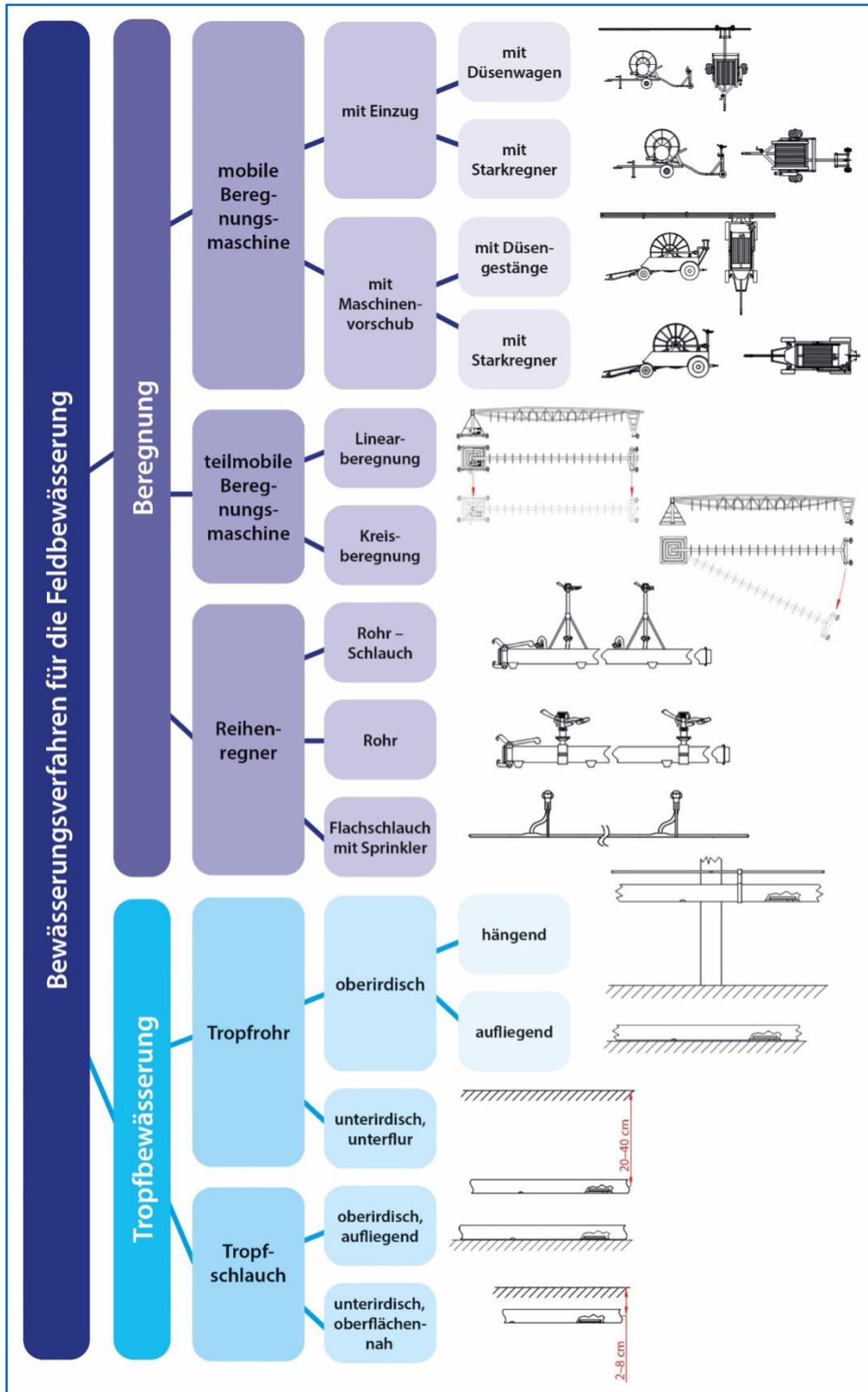


Abb. 1: Systematik der Feldbewässerung (verändert nach Sourell, KTBL-Faustzahlen für die Landwirtschaft 2018), Fachgruppe Bewässerung von ALB, DLG und KTBL

3. Mobile Beregnungsmaschine mit Starkregner

In der Praxis werden bisher zum überwiegenden Teil mobile Beregnungsmaschinen mit Starkregnern („Beregnungskanone“) in unterschiedlichen Größen eingesetzt. Es gibt sie mit Rohrlängen von 200 bis 1.000 m und Rohrdurchmessern bis 140 mm. Die Mehrzahl der mobilen Beregnungsmaschinen ist mit Mittelstark- bis Starkregnern bei einer Beregnungsintensität von 15 bis 20 mm/h oder von 21 bis 40 mm/h ausgestattet. Die durchschnittliche Rohrlänge beträgt 400 bis 600 m. Die nutzbare Arbeitsbreite reicht bis etwa 80 m.

Die Vorteile einer mobilen Beregnungsmaschine sind die hohe Flexibilität im Einsatz und die Eignung für alle Schlaggrößen und -formen. Nachteilig sind Wasserverluste durch unproduktive Verdunstung und schlechte Wasserverteilung bei Wind. Bei Windstille ist die Querverteilung des Wassers jedoch gut. Eine gleichmäßige Längsverteilung ist bei modernen Maschinen durch die automatische Einzugsregelung gegeben. **In der Regel kann diese auch auftretende Druckschwankungen ausgleichen.** Ferner ist eine Aufrüstung mit automatisierter Sektorsteuerung möglich. Die automatisierte Sektorsteuerung ermöglicht hierbei die Anpassung der Beregnung an Feldränder, Einbuchtungen oder sonstigen Hindernissen und ist entweder GPS- oder zeitgesteuert. Durch das System können unnötige Überlappungen oder die Beregnung

von Nichtzielflächen verhindert werden. Einige Hersteller bieten zudem auch ein Flottenmanagement zur Koordination und Steuerung der Beregnungsmaschinen an. Der Energiebedarf für den notwendigen Eingangsdruck in die Maschine ist mit 7 bis 9 bar vergleichsweise hoch (am Regner ca. 4 bis 5 bar).

Der Arbeitszeitbedarf für das Aufstellen und Umsetzen der Maschinen schlägt mit durchschnittlich 45 min zu Buche. Für eine Maschine wird je nach Schlauchquerschnitt, Düsendgröße und Druck eine Wassermenge von 40 bis 80 m³/h benötigt. Unter den momentan vorherrschenden Klimabedingungen mit einer angenommenen Verdunstung in der Hauptwachstumszeit der landwirtschaftlichen Kulturen von durchschnittlich 4 mm/Tag ergibt sich **bei einer Wassergabe von ca. 25 bis 30 mm** ein Beregnungsturnus in Trockenphasen von 6 bis 7 Tagen. Die Flächenleistung einer Beregnungsmaschine beträgt je nach Arbeitsbreite und Schlaglänge etwa 3 bis 5 ha / Tag, sodass ca. 20 bis 35 ha in einem Turnus beregnet werden können.

Der Kapitalbedarf ist im Vergleich zu den anderen Bewässerungsverfahren am geringsten. Die variablen Kosten liegen im Bereich 0,25 bis 0,35 €/m³, je nach Art der Energiebereitstellung und der betrieblichen Situation. Der Pumpenbetrieb mit Diesel ist häufig teurer als mit Strom.

BEREGNUNGSMASCHINE MIT STARKREGNER

- ▶ Hohe Flexibilität: Arbeitsaufwand nur bei Bewässerungsbedarf
- ▶ Mobil einsetzbar
- ▶ Geringe Fixkosten
- ▶ Hohe Einzelgaben realisierbar; kleine Gaben technisch schwer umsetzbar, arbeitsaufwendig und wenig wassereffizient
- ▶ Hoher Energieaufwand
- ▶ Windanfällig
- ▶ Vergleichsweise geringe Wassereffizienz bei ungünstiger Witterung (Wind, hohe Temperaturen)



Bild 1: Regnerwagen einer mobilen Beregnungsmaschine mit Starkregner (Quelle: LWK Niedersachsen)

Arbeitsweise

Mobile Beregnungsmaschinen gibt es als mobile Beregnungsmaschinen mit Einzug (Starkregner oder Düsenwagen) und mobile Beregnungsmaschinen mit Maschinenvorschub als Selbstfahrer (Starkregner oder Düsengestänge).

Bei den Beregnungsmaschinen mit Einzug steht die Beregnungsmaschine am Schlagrand. Das Rohr mit dem Starkregner oder dem Düsenwagen wird über einen hydraulischen Antrieb (i.d.R. Turbine) und eine Schlauchtrommel an der Beregnungsgasse entlang eingezogen. Am freien Ende des Rohres befindet sich ein Regnerwagen mit einem Starkregner (Bild 1) oder einem Düsenwagen. Das PE-Rohr ist in der Transportstellung auf einer Rohrtrommel aufgewickelt. Der Regnerwagen wird, je nach Typ, mit einer Winde und einer Heberampe angehoben oder hinterhergezogen.

Bei der Beregnungsmaschine mit Maschinenvorschub (Selbstfahrer) führt sich die Beregnungsmaschine mit aufgebautem Starkregner, mehreren Schwachregnern/Düsen auf Ausleger-

gestellen oder Düsengestänge (Bild 2) selbstständig entlang des zuvor ausgelegten PE-Rohrs über den Schlag. Diese Technik erlaubt eine kurvige Verlegung des Schlauchs und ist dadurch nicht auf eine einzelne Gasse angewiesen. Das ist besonders günstig bei keilförmigen, unregelmäßigen oder kurzen Schlägen, da sich der Arbeitszeitbedarf durch weniger Umstellungen erheblich verringert. Die Verlegung ist bis zu einer Länge von etwa 1.000 m möglich. Üblich ist die Bestückung mit einem oder bis zu drei an einem Ausleger befestigten Starkregnern.

Neu ist die Möglichkeit, ein Düsengestänge wie bei einem Düsenwagen anzubringen, welches hydraulisch teleskopierbar ist. Dadurch wird die erlaubte Maschinenbreite für Straßenfahrten nicht überschritten. Bei diesem System sind jedoch das vergleichsweise hohe Eigengewicht und die hohen Anschaffungskosten zu berücksichtigen.



Bild 2: Mobile Beregnungsmaschine mit Maschinenvorschub (Quelle: LWK Niedersachsen)

Zur Überwachung der mobilen Beregnungsmaschinen sind zudem GPS-Sender und Drucksensoren mit Anbindung an das Datennetz und eine Steuerung über das Smartphone möglich.

breite von 63 m. Das Zusatzwasser wird von einem Beregnungsverband zum Preis von 0,30 €/m³ bezogen, Darstellung siehe Tab. 1 und Tab. 2 (Seite 9):

Verfahrenskosten

Bewässerung eines 2-ha-Schlages (Entfernung zum Schlag 2 km) mit einer mobilen Beregnungsmaschine (Rohrlänge 500 m, Rohrdurchmesser 110 mm, Volumendurchfluss 60 m³/h) mit Starkregner und einer genutzten Arbeits-

Tab. 1: Arbeitszeitbedarf und Maschinenkosten einer mobilen Beregnungsmaschine mit Starkregner bei vier Zusatzwassergaben von jeweils 25 mm Höhe

Häufigkeit	Arbeitsvorgang	Menge .../ha	Arbeitszeit- bedarf h/ha	Maschinenkosten	
				fix	variabel
				€/ (ha*a)	
4	Beregnungsmaschine mit Einzelregner aufstellen und betreiben 500 m x 110 mm, 40-80 (60) m ³ /h; 67 kW Wasser, Bewässerungsnetz	250 m ³	3,2	138	47
	Summe ohne Zinsen		3,2	138	47
	Zinskosten (3 %, 3 Monate)				0
	Summe		3,2	138	47

Tab. 2: Jahreskosten zur Ausbringung von 100 mm Zusatzwasser einer mobilen Beregnungsmaschine mit Starkregner

Art der Kosten	Kosten
Lohnkosten (Fest-AK + Saison-AK)	76 €/ (ha*a)
Maschinenkosten (fix + variabel)	185 €/ (ha*a)
Zusatzwasser	300 €/ (ha*a)
Summe Kosten	561 €/ (ha*a)

4. Mobile Beregnungsmaschine mit Düsenwagen

Eine Alternative zum klassischen Regnerwagen mit Starkregner an der mobilen Beregnungsmaschine stellt der Düsenwagen dar (Bild 3). Man unterscheidet hierbei zwischen an der mobilen Beregnungsmaschine aufgesattelten Düsenwagen und angehängten Düsenwagen. Beim Düsenwagen sind Arbeitsbreiten von über 70 m möglich; sie sorgen ebenfalls für eine hohe Flächenleistung je Aufstellung. Die Wassereffizienz des Düsenwagens ist höher als bei einem herkömmlichen Starkregner.

Vorteilhaft ist insbesondere die gleichmäßigere und schonendere Wasserverteilung, die über kleine Niederdruckdüsen erfolgt. Zudem ist durch die bodennahe Ausbringung die Windempfindlichkeit geringer. Die niedrigere Energie

der feinen Tropfen beim Aufprall auf Pflanzen und Boden wirkt sich speziell bei empfindlichen Kulturen wie Gemüse oder (Speise-)Kartoffeln positiv aus. Denn feine Tropfen sorgen für ein geringeres Verschlammungsrisiko und spritzen weniger Erde an das Gemüse. Die Technik ist somit aus Vermarktungsgründen für einige Gemüsearten ebenfalls vorteilhaft.

Ein weiterer Vorteil ist der um etwa 2 bar niedrigere Wasserdruck, was einen um etwa 20 % verringerten Energiebedarf ausmacht. Diese Einsparung lässt sich allerdings nur dann realisieren, wenn auch die Leistung der Pumpe bei der Wasserförderung entsprechend geringer ist.



Bild 3: Düsenwagen im Einsatz (Quelle: LWK Niedersachsen)

BEREGNUNGSMASCHINE MIT DÜSENWAGEN

- ▶ Hohe Flexibilität: Arbeitsaufwand nur bei Bewässerungsbedarf
- ▶ Mobil einsetzbar
- ▶ Höhere Fixkosten als eine Beregnungsmaschine mit Starkregner
- ▶ Hohe Niederschlagsdichte begrenzt mögliche Gabenhöhe und erfordert mehr Überfahrten, relevant vor allem auf schweren Böden
- ▶ Geringerer Energieaufwand als bei einer Beregnungsmaschine mit Starkregner
- ▶ Höherer Arbeitszeitaufwand gegenüber der Beregnungsmaschine mit Starkregner
- ▶ Geringere Windanfälligkeit als Starkregner
- ▶ Höhere Wassereffizienz bei ungünstiger Witterung gegenüber dem Starkregner

Das ist in einem Leitungsverband schwierig umzusetzen, wenn dort auch die herkömmliche Technik („Beregnungskanone“) mitläuft, die höhere Drücke benötigt. Eine Lösung wäre hier eine frequenzgeregelte Pumpe, sofern beide Techniken nicht gleichzeitig im Einsatz sind.

Nachteilig beim Düsenwagen ist der erhöhte Arbeitszeitaufwand beim Auf- und Abbau sowie der zusätzliche Kapitalbedarf. Einige Düsenwagen mit großer Arbeitsbreite weisen Transportbreiten von über 3 m auf und sind daher für den Straßenverkehr nur bedingt geeignet. Zudem ist die Niederschlagsdichte im Vergleich zum Starkregner höher.

Die gleichzeitig beregnete Fläche ist beim Düsenwagen geringer, sodass bei gleicher Gabenhöhe das Wasser schneller versickern muss und die Gefahr von Oberflächenabfluss, Verschlammung und Erosion ansteigt. Es ist daher notwendig, die Düsengrößen und Einzugsgeschwindigkeiten an die Standortbedingungen anzupassen.

Arbeitsweise

Die Arbeitsweise des Düsenwagens weist viele Parallelen zum Regnerwagen mit Starkregner auf; er wird in der Regel ebenfalls zunächst an das gegenüberliegende Schlagende ausgezogen. Der Düsenwagen lässt sich auf jeder Seite entweder hydraulisch oder manuell ausklappen. Die Ausleger pendeln für einen horizontalen Ausgleich und sind mit einem Drehkranz am

Fahrgestell aufgebaut, sodass beispielsweise eine Anpassung an keilförmige Felder möglich wird. Für eine Erhöhung der Arbeitsbreite sind Schwachregner am Ende des Auslegers möglich. Hierbei sind jedoch die Schläge auf das Gestänge zu berücksichtigen, die den Verschleiß erhöhen können.

Verfahrenskosten

Bewässerung eines 2-ha-Schlages (Entfernung zum Schlag 2 km) mit einer mobilen Beregnungsmaschine (Rohrlänge 500 m, Rohrdurchmesser 110 mm, Volumendurchfluss 60 m³/h) mit Düsenwagen und einer genutzten Arbeitsbreite von 50 m. Das Zusatzwasser wird von einem Beregnungsverband zum Preis von 0,30 €/m³ bezogen, Darstellung siehe Tab. 3 und Tab. 4 (Seite 11):

Tab. 3: Arbeitszeitbedarf und Maschinenkosten einer mobilen Beregnungsmaschine mit Düsenwagen bei vier Zusatzwassergaben von jeweils 25 mm Höhe

Häufigkeit	Arbeitsvorgang	Menge .../ha	Arbeitszeit- bedarf h/ha	Maschinenkosten	
				fix	variabel
				€/ (ha*a)	
4	Beregnungsmaschine mit Düsenwagen aufstellen und betreiben 50 m; 500 m x 110 mm, 40-80 (60) m ³ /h; 67 kW Wasser, Bewässerungsnetz	250 m ³	3,6	221	70
	Summe ohne Zinsen		3,6	221	70
	Zinskosten (3 %, 3 Monate)				1
	Summe		3,6	221	71

Tab. 4: Jahreskosten zur Ausbringung von 100 mm Zusatzwasser einer mobilen Beregnungsmaschine mit Düsenwagen

Art der Kosten	Kosten
Lohnkosten (Fest-AK + Saison-AK)	106 €/ (ha*a)
Maschinenkosten (fix + variabel)	292 €/ (ha*a)
Zusatzwasser	300 €/ (ha*a)
Summe Kosten	698 €/ (ha*a)

5. Kreis- und Linearberegnung



Bild 4: Kreisberegnung (Quelle: LWK Niedersachsen)



Bild 5: Linearbewässerung im Einsatz (Quelle: LWK Niedersachsen)

Sowohl Kreisberegnung (Pivot-Anlage) (Bild 4) als auch Linearberegnung (Bild 5) zählen zu den teilmobilen Bewässerungsverfahren. Diese Bewässerungsverfahren sind häufig an einen Einsatzort gebunden. Sie sind auf einem Feld aufgebaut und bewegen sich während des Beregnungseinsatzes linear oder im Kreis. Ab einer Schlaggröße von etwa 20 ha ist die Kreisberegnung betriebswirtschaftlich sinnvoll.

Arbeitsweise

Dieses automatische Bewässerungsverfahren mit einem an einem Drehpunkt, dem Zentralturm, rotierenden Gestänge mit Rohrleitung und Düsen benötigt mit etwa 15 bis 30 min/Gabe nur einen sehr geringen Arbeitszeitbedarf. Die Arbeitszeit wird hierbei vor allem zu Kontrollzwecken benötigt, da die Beregnungsmaschine weitgehend automatisch arbeitet. Die einzelnen Fahrtürme werden dabei meistens elektrisch angetrieben, wobei der äußerste Turm die Geschwindigkeit vorgibt und die inneren Fahrtürme über einen Sensor die Abwinkelung erkennen und den Fahrantrieb entsprechend aktivieren. Die Düsengröße nimmt wegen der steigenden Vorschubgeschwindigkeit mit zunehmender Entfernung vom Zentralturm zu, sodass

eine gleichmäßige Wasserverteilung auf der gesamten Arbeitslänge realisiert werden kann. Für eine gute Wassereffizienz sorgt auch die geringe Windempfindlichkeit, weil die Düsen auf einer geringen Höhe über dem Pflanzenbestand geführt werden. Der benötigte Wasserdruck ist mit ca. 3 bar vergleichsweise niedrig. Dadurch ist eine Energieeinsparung im Vergleich zur mobilen Beregnungsmaschine mit Starkregner von rund 50 bis 60 % möglich. Außerdem ist der feine Regen für die Pflanzen und den Boden sehr schonend. Ein weiterer Vorteil ist auch, dass bei der Kreisberegnung kleinere Regengaben möglich sind als bei der Beregnungsmaschine mit Starkregner, wodurch die Pflanzen leichter in einem für sie optimalen Bodenfeuchtebereich gehalten werden können.

Der bekannte Nachteil einer Kreisberegnungsmaschine ist die schlechte Flächenabdeckung bei rechteckig geschnittenen Schlägen. Von einem quadratischen Schlag kann nur ein Anteil von ca. 80 % beregnet werden. Um diesen Anteil zu erhöhen, bieten die Hersteller verschiedene Lösungen zum Eckenausgleich an. So lässt sich beispielsweise über eine Boosterpumpe zur Druckerhöhung und einen Mittelstarkregner am Ende der Maschine nochmals etwa 3 % mehr

KREISBEREGNUNG, LINEARBEREGNUNG

- ▶ Hoher Automatisierungsgrad, geringer Arbeitsaufwand
- ▶ Geringe Windanfälligkeit
- ▶ Hohe Energieeffizienz, vor allem bei Kreisberegnung
- ▶ Einsatzmöglichkeit nur bei arrondierten Flächen ohne Hindernisse ab 20 ha
- ▶ Flächenabdeckung etwa 80 % bei Kreisberegnung, bis 100 % bei Linearberegnung

Fläche beregnen. Bei einer Schlaggröße von 30 ha und einer Abdeckung von 83 % sind hingegen immer noch gut 5 ha unberegnert. Um eine noch bessere Flächenausnutzung zu erreichen, besteht zudem die Möglichkeit, ein schwenkbares Eckenausgleichssystem zu installieren. Diese Zusatzausstattung ist allerdings vergleichsweise teuer. In den Ecken, die der Kreisregner nicht abdeckt, wird der Einsatz der mobilen Beregnungsmaschine nötig. Alternativ ist zu prüfen, ob Maßnahmen zur Extensivierung oder zum Naturschutz für die entsprechenden Randbereiche – ohne Beregnung – möglich und sinnvoll sind.

Ein weiteres Verfahren, welches der Kreisberegnung sehr ähnlich ist, ist die Linearberegnung. Durch kontinuierliche Vorwärtsbewegung der gesamten Maschine können hiermit rechteckige Schläge beregnert werden. Unterschiede zur Kreisberegnung ergeben sich im Wesentlichen im Verfahrensablauf sowie der Wasser- und Energieversorgung. Schlaglängen von 400 bis 1.200 m können hierbei pro Aufstellung bereg-

net werden. Nachteile dieses Verfahrens sind jedoch der höhere Kapital- und Energiebedarf. Durch das notwendige Umkuppeln des Zuleitungsschlauches in bestimmten Abständen ist außerdem ein größerer Arbeitszeitbedarf nötig als bei der vollautomatisch arbeitenden Kreisberegnung. Aus diesen Gründen ist die Linearberegnung in Deutschland kaum verbreitet.

Verfahrenskosten

Bewässerung eines landwirtschaftlichen 33-ha-Schlages (Entfernung zum Schlag 2 km) mit einer stationären Kreisberegnungsmaschine (Radius 300 m + 25 m, Volumendurchfluss 105 m³/h). Das Zusatzwasser wird von einem Beregnungsverband zum Preis von 0,30 €/m³ bezogen, Darstellung siehe Tab. 5 und Tab. 6 (Seite 14):

Tab. 5: Arbeitszeitbedarf und Maschinenkosten einer stationären Kreisberegnungsmaschine bei fünf Zusatzwassergaben von jeweils 20 mm Höhe

Häufigkeit	Arbeitsvorgang	Menge .../ha	Arbeitszeit- bedarf h/ha	Maschinenkosten	
				fix	variabel
				€/ (ha*a)	
5	Kreisberegnung betreiben 300 m Radius Wasser, Bewässerungsnetz	200 m ³	0,02	37	5
	Summe ohne Zinsen		0,1	184	25
	Zinskosten (3 %, 3 Monate)				0
	Summe		0,1	184	25

Tab. 6: Jahreskosten zur Ausbringung von 100 mm Zusatzwasser einer stationären Kreisberegnungsmaschine

Art der Kosten	Kosten
Lohnkosten (Fest-AK + Saison-AK)	3 €/(ha*a)
Maschinenkosten (fix + variabel)	209 €/(ha*a)
Zusatzwasser	300 €/(ha*a)
Summe Kosten	512 €/(ha*a)

Bewässerung eines 33-ha-Schlages (Entfernung zum Schlag 2 km) mit einer stationären Linearberegnungsmaschine (Breite 300 m, Volumen-

durchfluss 90 m³/h). Das Zusatzwasser wird von einem Beregnungsverband zum Preis von 0,30 €/m³ bezogen, Darstellung in Tab. 7 und Tab. 8:

Tab. 7: Arbeitszeitbedarf und Maschinenkosten einer stationären Linearberegnungsmaschine bei fünf Zusatzwassergaben von jeweils 20 mm Höhe

Häufigkeit	Arbeitsvorgang	Menge .../ha	Arbeitszeit- bedarf h/ha	Maschinenkosten	
				fix	variabel
				€/ (ha*a)	
5	Linearberegnung betreiben, inkl Schlauchumlegen Linearberegnungsmaschine, 300 m Wasser, Bewässerungsnetz	200 m ³	0,6	344	27
	Summe ohne Zinsen		0,6	344	27
	Zinskosten (3 %, 3 Monate)				0
	Summe		0,6	344	27

Tab. 8: Jahreskosten zur Ausbringung von 100 mm Zusatzwasser einer stationären Linearberegnungsmaschine

Art der Kosten	Kosten
Lohnkosten (Fest-AK + Saison-AK)	14 €/(ha*a)
Maschinenkosten (fix + variabel)	371 €/(ha*a)
Zusatzwasser	300 €/(ha*a)
Summe Kosten	685 €/(ha*a)

6. Rohrberegnung

Die Rohrberegnung (Bild 6) gehört in die Gruppe der Reihenregnerverfahren; sie wird meist in Form einer oder mehrerer Regnerleitungen an eine Hauptleitung angeschlossen. Leitungen sind verzinkte Bandstahl- oder Aluminiumrohre mit Schnellkupplungen von 70 bzw. 89

mm Durchmesser. Die Verlegelänge kann bis zu 400 m betragen. Neben der Rohrberegnung sind noch die Rohr-Schlauch-Beregnung und seit einiger Zeit auch die Flachschräuche mit Sprinkler (Microsprinkler) bekannt. Die Rohr-Schlauch-Beregnung wird heute kaum mehr angewendet.



Bild 6: Rohrberegnung im Einsatz (Quelle: ALB)

Arbeitsweise

Der Aufstellungsverband richtet sich im Wesentlichen nach dem Rohrdurchmesser der Regnerleitung, deren Länge, dem Wasserdruck an den Regnern, dem eingesetzten Regner sowie nach der verwendeten Düsenweite. Für eine gleichmäßige Wasserverteilung hat sich ein Regnerabstand von 12 m und ein Reihenabstand von 12 bzw. 18 m bewährt. Die Rohrberegnung arbeitet mit Schwachregnern und erreicht eine Beregnungsintensität von 3 bis 10 mm/h bei einem Wasserdruck von etwa 5 bar am Hydranten und ca. 2,5 bar am Regner. Wegen des hohen zeitlichen und körperlichen Aufwandes ist man dazu übergegangen, die Rohrberegnung zu Beginn der Kulturzeit zu verlegen und erst am Ende der Kulturzeit abzubauen. Das ermöglicht bei Bedarf sehr kleine Einzelgaben in kurzen Zeitintervallen – und das zur selben Zeit auf der gesamten Fläche. Der Arbeitszeitbedarf während der Beregnungssaison ist mit ca. 15 min/Gabe anzusetzen. Der Arbeitszeitbedarf von etwa 5 bis 6 h/ha für den Auf- und Abbau ist im Vergleich zur mobilen Beregnungsmaschine jedoch hoch. Sinnvollerweise sollte der Aufbau außerhalb der Arbeitsspitzen im Sommerhalbjahr erfolgen.

Bei frischen Aussaaten oder Anpflanzungen – hier ist entscheidend, dass die obersten Zentimeter des Bodens anhaltend feucht bleiben – ist die Funktionssicherheit des Verfahrens besonders hoch. Deshalb ist die Rohrberegnung im Freilandgemüseanbau nach wie vor weit verbreitet. Auch bei der Frostschuttberegnung gibt es wegen der Verabreichung des Wassers auf der gesamten Fläche zur selben Zeit keine Alternative zur Rohrberegnung.

Ein wesentlicher Nachteil der Rohrberegnung ist allerdings die vergleichsweise wenig gleichmäßige Wasserverteilung. Das geht zu Lasten der Wassernutzungseffizienz. Es gibt jedoch mehrere Stellschrauben, die Verluste zu begrenzen. Microsprinkler haben geringere Regnerabstände als Schwinghebelregner, sind lautlos und ermöglichen eine bessere Verteilgenauigkeit, sind allerdings teurer und arbeitsaufwendiger. Auch bereits einfache Maßnahmen (z. B. Sorgfalt beim Aufbau der Rohrberegnung, Verwendung von gleichen Kreisregnern im Verband) können für eine gleichmäßigere Wasserverteilung sorgen. Eine Kontrolle des Wasserdrucks an den Kreisregnern (mittels Manometer) ist zu empfehlen.

ROHRBEREGNUNG

- ▶ Aufbau und stationärer Einsatz auf ein und demselben Schlag von Saat bzw. Pflanzen bis Ernte
- ▶ Beregnung der gesamten Fläche zur selben Zeit
- ▶ Kleine Einzelgaben möglich, bei Bedarf auch mehrmals täglich
- ▶ Geeignet bei frischen Aussaaten und Anpflanzungen
- ▶ Geeignet für Frostschutzberegnung
- ▶ Mittlerer Düsendruck, Energieaufwand
- ▶ Relativ ungleichmäßige Verteilung
- ▶ Gefahr von Abdrift- und/oder Verdunstungsverlusten bei Wind und/oder hohen Temperaturen

Wenn der tatsächliche Wasserdruck nicht die benötigte Wurfweite der Kreisregner im Verband ermöglicht, sollten Düsenweite und/oder Aufstellverband angepasst werden. Die Wurfweite sollte mindestens so hoch sein wie die Kreisregnerabstände.

Preis von 0,30 €/m³ bezogen, Darstellung siehe Tab. 9 und Tab. 10 (Seite 17):

Verfahrenskosten

Bewässerung eines 2-ha-Schlages (Entfernung zum Schlag 2 km) mit einer Rohrberegnungsanlage (Verband 12 × 18 m, Rohrdurchmesser 70 mm, Einzellagerung der Elemente). Zusatzwasser wird von einem Beregnungsverband zum

Tab. 9: Arbeitszeitbedarf und Maschinenkosten einer stationären Linearberegnungsmaschine bei fünf Zusatzwassergaben von jeweils 20 mm Höhe

Häufigkeit	Arbeitsvorgang	Menge .../ha	Arbeitszeit- bedarf h/ha	Maschinenkosten	
				fix	variabel
				€/ (ha*a)	
1	Rohrberegnung aufbauen Durchmesser 70 mm; 12 x 18 m; Plattformwagen; 67 kW; 2 AK		2,7	340	10
5	Rohrberegnungsanlage kontrollieren, betreiben Pick-up, 120 kW Wasser, Bewässerungsnetz	200 m ³	1,3	0 23	0 11
1	Rohrberegnung abbauen Durchmesser 70 mm; 12 x 18 m; Plattformwagen; 67 kW; 2 AK		2,6	17	8
	Summe ohne Zinsen		6,5	380	29
	Zinskosten (3 %, 3 Monate)				0
	Summe		6,5	380	29

Tab. 10: Jahreskosten zur Ausbringung von 100 mm Zusatzwasser einer Rohrberegnungsanlage

Art der Kosten	Kosten
Lohnkosten (Fest-AK + Saison-AK)	106 €/ (ha*a)
Maschinenkosten (fix + variabel)	409 €/ (ha*a)
Zusatzwasser	300 €/ (ha*a)
Summe Kosten	815 €/ (ha*a)

7. Tropfbewässerung

Mit Tropfbewässerung lassen sich die Wassergaben entlang der Pflanzenreihen gezielt im Hauptwurzelbereich verabreichen. Die Bereiche zwischen den Reihen erhalten kein Wasser. Je größer die Reihenabstände, desto wassersparender ist das Verfahren deshalb gegenüber flächiger Beregnung. In Dauerkulturen wie Hopfen (Reihenabstand etwa 3 m) und Weinbau (Reihenabstand etwa 2 bis 2,5 m) sowie in einjährigen Reihenkulturen wie Einlegegurken (Bild 7) (Reihenabstand 1,5 m) ist das Verfahren heute Standard.

Bei der Tropfbewässerung unterscheidet man zwischen oberirdischer und unterirdischer Bewässerung. Die Unterflurbewässerung ist ortsfest

aufgebaut. Zudem lässt sich zwischen Tropfschläuchen und Tropfrohren unterscheiden. Tropfbewässerungsanlagen bestehen aus einer Kopfeinheit, der Zuleitung und den Tropfschläuchen. Das Wasser gelangt dabei verdunstungsarm und gleichmäßig verteilt an die Pflanzen.

Tropfbewässerung ist im deutschsprachigen Raum bei einjährigen Kulturen und Reihenabständen von weniger als 1 m kaum verbreitet und lohnt bisher nur in Kulturen mit hohem Deckungsbeitrag für Anbauer, mit sehr begrenztem Wasserdargebot. Wenn die Wasserverfügbarkeit oder genehmigte Entnahmemengen nicht für Rohrberegnung oder Starkregner ausreichen, kann Tropfbewässerung eine Alternative sein.



Bild 7: Tropfbewässerung bei Einlegegurken (Quelle: ALB)

Grund für das Einsparpotenzial des Verfahrens sind geringere Verdunstungsverluste und eine exaktere Verteilgenauigkeit der Bewässerungsgaben.

Der Arbeitszeitbedarf während der Bewässerungssaison ist mit ca. 30 bis 60 min/Gabe je nach Materialstärke des Schlauchs anzusetzen, weil Leckagen mit zunehmender Wandstärke weniger werden. Der Arbeitszeitbedarf von etwa 10 bis 12 h/ha für das Installieren und Abbauen ist im Vergleich zur mobilen Beregnungsmaschine jedoch hoch.

Bei den Vorteilen der Tropfbewässerung sind in erster Linie die sehr gleichmäßige Wasserverteilung und die sehr geringen Wasserverluste zu nennen. Zudem bietet der geringe Wasserdruck von weniger als 2 bar ein deutliches Energieeinsparpotenzial. Im Vergleich zu den Techniken mit Überkopfberegnung werden zudem die Blätter der Pflanzenbestände nicht nass, wodurch ein vermindertes Auftreten von bestimmten Blattkrankheiten möglich sein kann. Ein weiterer Vorteil des Systems ist, dass mit der „Fertigation“ auch Düngergaben gezielt in den Wurzelbereich verabreicht werden können.

Da die Wassergaben nur in den Bereichen unter den Tropfstellen vom Boden aufgenommen werden, dringen auch geringe Gaben vergleichsweise tief in den Boden ein. Im Einzelfall hängt die Eindringtiefe vom Schlauchabstand, dem Tropferabstand, der Bodenart sowie der Bewässerungsschwelle ab. Zu hohe, aber auch zu geringe Einzelgaben gehen schnell zu Lasten der Wassereffizienz. Deshalb sind die Ansprüche an das Bewässerungsmanagement bei Tropfbewässerung gegenüber Bewässerungsverfahren, bei denen der Boden flächig von oben nach unten durchnässt wird, vergleichsweise hoch.

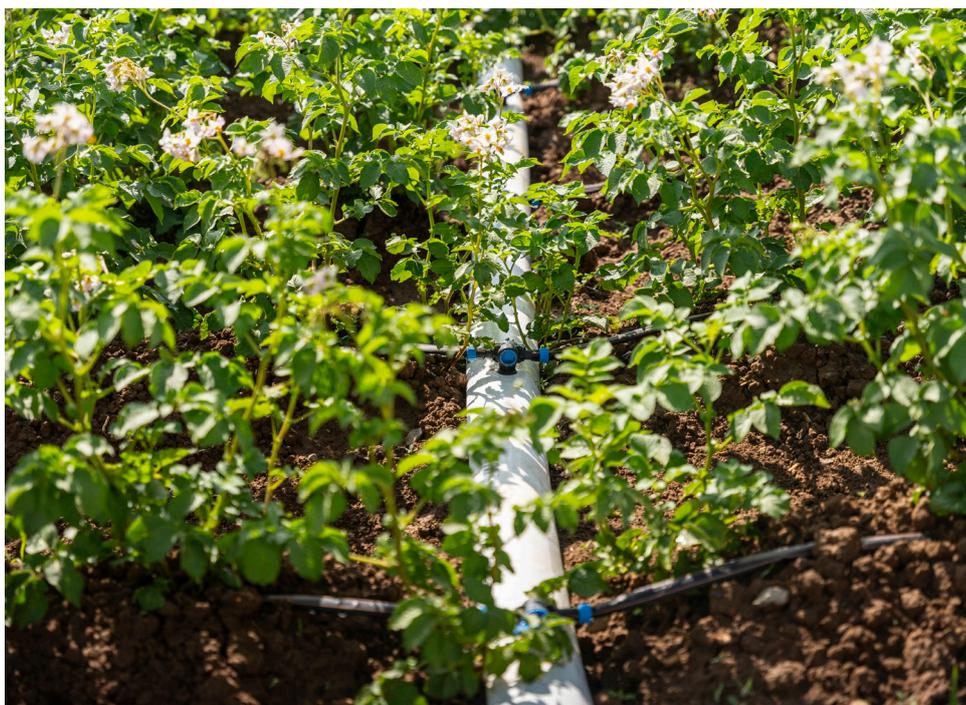


Bild 8: Tropfbewässerung bei Kartoffeln, Dammkronenverfahren (Quelle: ALB)

TROPFBEWÄSSERUNG

- ▶ Standardverfahren in Dauerkulturen mit großen Reihenabständen (Weinbau, Obstbau, Hopfen)
- ▶ Standardverfahren in weiteren Spezialkulturen wie Einlegegurken, Zucchini, Kürbis und Erdbeeren
- ▶ Platzierung der Wassergaben entlang der Pflanzenreihen gezielt im Hauptwurzelbereich
- ▶ Bereiche zwischen den Reihen erhalten kein Wasser
- ▶ Blätter bleiben trocken
- ▶ Witterungsunabhängig, geringer Energieaufwand
- ▶ Hohe Wassereffizienz, sofern durch eine geeignete Schlauchposition die Verabreichung im Hauptwurzelbereich erfolgt
- ▶ Arbeitsaufwendig und sehr teuer bei einjährigen Kulturen und geringen Reihenabständen

Für den erfolgreichen Einsatz einer Tropfbewässerung ist die Planung vor der Beregnungssaison entscheidend. Es gibt einige Fragen, die vorab geklärt werden müssen: So ist beispielsweise nicht jedes Wasser für die Tropfbewässerung geeignet. Eisen- oder Manganhaltiges Wasser wird schnell zum Problem. Kommt es zu Verockerungen, verstopfen die Tropfer und eine gleichmäßige Bewässerung der Fläche ist nicht mehr möglich. Auch stellt sich die Frage nach der Art der Schläuche. Soll der Schlauch beispielsweise über mehrere Jahre verwendet werden, ist besondere Sorgfalt bei der Aufnahme vor der Ernte geboten. Werden dünne einjährige Tropfschläuche verwendet, verringert das zwar die Investitionskosten im ersten Jahr, es muss aber mit jährlichen Materialkosten für neue Schläuche in Höhe von etwa 550 bis 750 €/ha (bei 75 cm Abstand der Schläuche zueinander) gerechnet werden. Dafür vereinfacht sich die Verlegung und die Herausnahme wesentlich, was den Arbeitszeitbedarf deutlich verringert.

Auch die Frage nach der Lage der Tropfschläuche muss vorab geklärt werden. Sandige Böden mit geringer Kapillarität benötigen beispielsweise beim Anbau von Kartoffeln mit 75 cm Reihenabstand für eine gleichmäßige Wasserversorgung auf jedem Damm einen Tropfschlauch (Bild 8). Bei Böden mit höherer Kapillarität reicht möglicherweise auch ein Schlauch in jeder zweiten Kartoffelfurche aus – sofern keine Bewässerung wegen Frühsommertrockenheit erforderlich ist.

Verfahrenskosten

Bewässerung eines 2-ha-Schlages (Entfernung zum Schlag 2 km) (Kultur: z. B. Kartoffeln) mit einer auf der Oberfläche verlegten nicht druckkompensierten Tropfbewässerungsanlage (Tropfrohrabstand 0,75 m). Das Zusatzwasser wird von einem Beregnungsverband zum Preis von 0,30 €/m³ bezogen:

Tab. 11: Arbeitszeitbedarf und Maschinenkosten einer auf der Oberfläche verlegten nicht druckkompensierten Tropfbewässerungsanlage bei 7 Zusatzwassergaben von jeweils 4 mm und 9 Zusatzwassergaben von jeweils 8 mm

Häufigkeit	Arbeitsvorgang	Menge .../ha	Arbeitszeit- bedarf h/ha	Maschinenkosten	
				fix €/ha*a	variabel
1	Tropfbewässerung, Schläuche auslegen, 0,75 m Reihenweite Tropfschläuche; Auslegegerät, 4-reihig, 3 m, 54 kW; 1 + 1 AK		1,3	746	12
1	Kopfstation aufbauen Pick-up, 120 kW		0,9	2	0
1	Zuleitung auslegen, an Kopfstation und Tropfschlauch anschließen, 0,75 m Reihenweite Pick-up, 120 kW		1,9	47	5
7	Tropfschlauch Einschalten, Kontrollieren und Reparieren 0,75 m, 20 m ³ /h Wasser, Bewässerungsnetz	40 m ³	4,9	43	8
9	Tropfschlauch Einschalten, Kontrollieren und Reparieren 0,75 m, 20 m ³ /h Wasser, Bewässerungsnetz	80 m ³	6,3	80	10
1	Tropfschläuche Entwässern und Verbindungen lösen, 0,75 cm Tropfschlauch		0,8		
1	Tropfschläuche und Kopfstation abbauen Tropfschläuche; Aufnahmegerät, 2-reihig, Dreiseitenkippanhänger, 8 t; 45 kW; 2 AK	100 kg	6,6	35	22
	Summe ohne Zinsen		23	953	57
	Zinskosten (3 %, 3 Monate)				0
	Summe		23	953	57

Tab. 12: Jahreskosten zur Ausbringung von 100 mm Zusatzwasser einer auf der Oberfläche verlegten nicht druckkompensierten Tropfbewässerungsanlage

Art der Kosten	Kosten
Lohnkosten (Fest-AK + Saison-AK)	480 €/ (ha*a)
Maschinenkosten (fix + variabel)	1.010 €/ (ha*a)
Zusatzwasser	300 €/ (ha*a)
Summe Kosten	1.790 €/ (ha*a)

8. Zusammenfassung

Alle Verfahren haben ihre Berechtigung. Die Frage nach der richtigen Bewässerungstechnik ist nicht leicht zu beantworten und betriebsindividuell zu prüfen. Die mobile Beregnungsmaschine mit Einzug und Starkregner ist immer noch das flächenmäßig bedeutsamste Bewässerungsverfahren, bekommt jedoch zunehmend Konkurrenz. Sind große hindernisfreie Flächenstrukturen vorhanden, ist die Kreisberegnung oft wirtschaftlicher. Bei kleineren, rechteckigen Schlägen kann der Einsatz des Düsenwagens sinnvoll sein, wenn nicht zu oft umgesetzt werden muss. Die Hersteller arbeiten an technischen Lösungen, um den Düsenwagen anwenderfreundlicher zu machen, sodass die Handhabung beim Umstellen und der Straßentransport erleichtert werden. Mobile Beregnungsmaschinen mit Maschinenvorschub (Selbstfahrmaschinen) können bei Schlägen mit geringer Länge oder unregelmäßiger Form vorteilhaft

sein. Zu beachten sind jedoch die vergleichsweise hohen Anschaffungskosten, gerade bei der Kombination mit Düsengestänge. Die Tropfbewässerung hat große Vorzüge in der Wassereffizienz und dem Energieaufwand, ist aber vergleichsweise teuer, sodass dieses Verfahren vor allem den Spezialkulturen vorbehalten ist und in der Feldbewässerung vorrangig bei Kulturen mit großen Reihenabständen zum Einsatz kommt. Außerdem gewinnt die Technik allmählich in Gebieten mit besonders geringem Wasserdargebot an Bedeutung, sofern die Wirtschaftlichkeit gegeben ist.

Tab. 13: Eignung ausgewählter Bewässerungsverfahren (++ = sehr geeignet bis - = ungeeignet)

Art des Bewässerungsverfahrens		Kleine Schläge	Große Schläge	Kurze unregelmäßige Schläge	Spezialkulturen (Obstbäume, Sträucher)
Mobile Beregnungsmaschine	Starkregner	++	+	+	+
	Düsenwagen	+	+	+	-
	Selbstfahrer	++	+	++	+
Teilmobile Beregnungsmaschinen	Linearregner	-	++	-	-
	Kreisregner	-	++	-	-
Reihenregner	Rohrberegnung	++	-	++	+
Tropfbewässerung	Tropfschlauch	++	+	++	++

Tab. 14: Bewässerungsverfahren im Vergleich

Kriterien	Mobile Beregnungsmaschine		Kreisberegnung / Linearberegnung	Tropfschlauch	Rohrberegnung
	mit Starkregner	mit Düsenwagen			
Druckbedarf / Leistungsbedarf / Energiebedarf Hydrant	sehr hoch 7-9 bar	hoch 5-6 bar	gering 3 bar	sehr gering 1-2 bar	hoch 5 bar
Wassereffizienz/ -verteilgenauigkeit	mittel	gut	gut	sehr gut	mittel
Arbeitsbedarf	ca. 45 min / Aufstellung	ca. 60 min / Aufstellung	ca 15-30 min / Gabe	ca. 10-12 h/ha für Auf- und Abbau und ca. 30-60 min / Gabe	ca. 5-6 h/ha für Auf- und Abbau und ca. 15 min / Gabe
Kosten bei der Aus- bringung von 100 mm Zusatzwasser ohne Wasserbereitstellung	180 - 360 €/(ha*a)	510 - 690 €/(ha*a)	160-310 €/(ha*a) bzw. 320 -450 €/(ha*a)	1.310 - 1.750 € €/(ha*a)	540 - 590 € €/(ha*a)
Besondere Anforderungen	Traktor zum Umsetzen	Traktor zum Umsetzen	Flächengröße (> 20 ha)	Wasserqualität (Fe, Mn ...), Leckagen	hoher zeitlicher und körperlicher Aufwand für Auf- und Abbau
Besondere Vorteile	Flexibilität	Flexibilität, gute Wasser- verteilung	sehr geringer Arbeitsaufwand, gute Wasser- verteilung	witterungs- unabhängig, sehr gute Wasser- verteilung	geringer Arbeitsauf- wand, fürs Bewässern während der Kulturzeit; Wasser- gaben < 5mm möglich

9. Literatur

Fricke, E. (2018): Effiziente Bewässerungstechnik und -steuerung – Stand und Trends. In: Schimelpfennig, S. (Hg.): Bewässerung in der Landwirtschaft, Thünen Working Paper 85, Braunschweig, S. 65–76

Gödeke, H.; Riedel, A. (2022): Verfahrensvergleich Bewässerungstechnik. In: Frerichs, L. (Hg.): Jahrbuch Agrartechnik, Braunschweig, Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, S. 157–166

KTBL (2018): Faustzahlen für die Landwirtschaft. KTBL-Faustzahlen, Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V., 15. Aufl.

KTBL (2013): Freilandbewässerung. Betriebs- und arbeitswirtschaftliche Kalkulationen. KTBL-

Datensammlung, Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V., 1. Aufl.

Michel, R.; Sourell, H. (2014): Bewässerung in der Landwirtschaft. Clenze, Erling Verlag

Müller, M. (2020): Mehr Akzeptanz für Bewässerung. agrarheute 4, S. 108–111

Müller, M.; Hormes E. (2021): Nachhaltig Bewässern. Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt 12, S. 45–48

Müller, M.; Demmel, M.; Kellermann, A.; Ebertseder, F. (2020): Tropfbewässerung zu Kartoffeln – Funktionsprinzip. Beratungsblatt Ausgabe 1 - 12/2020, (Hg.) ALB Bayern e. V., (Stand 13.11.2021)

Vandieken, H.; Müller, M.; Bernhardt, H.; Maussner, H. (2017): Effizienter „Regen machen“ – Optimierungsmöglichkeiten des Bewässerungsmanagements am Praxisbeispiel. Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt 26, S. 26–27

Zitiervorlage: Gödeke, H., Belau, T., Müller, M. (2024): Technik in der Feldbewässerung - Systemvergleich. In: Fachgruppe Bewässerung, Ausgabe 1 - 03/2024, Hrsg. ALB Bayern e.V., www.alb-bayern.de/fgb1, Stand [Abrufdatum]



Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und
Landwirtschaftliches Bauwesen (ALB)
in Bayern e. V.
Vöttinger Straße 36, 85354 Freising

Telefon	08161 / 887-0078
Telefax	08161 / 887-3957
E-Mail	info@alb-bayern.de
Internet	www.alb-bayern.de