

Genauigkeit der Wasserverteilung bei Rohrberegnung



www.alb-bayern.de/bef16

Bewässerungsforum Bayern, Verfasser:

Dr. Alexander Dümig
Bayerische Landesanstalt für
Weinbau und Gartenbau

Dr. Sebastian Weinheimer
Dienstleistungszentrum Ländlicher
Raum Rheinpfalz

Foren der ALB Bayern e.V.

Die ALB ist neutral und handelt als Mittler und Bindeglied zwischen landwirtschaftlicher Praxis, Forschung, Umwelt, staatlicher Verwaltung, Gewerbe und Industrie.

Arbeitsblätter, Beratungsblätter, Praxisblätter, Infobriefe, Leitfäden und Fachinformationen werden in den Foren der ALB erarbeitet.

Die Foren, denen Fachleute der jeweiligen Sachgebiete angehören, sind Expertenausschüsse zum Informationsaustausch und zur Wissensvermittlung.

Foren der ALB Bayern e.V.:

- ▶ Bau Forum Bayern (BaF),
Leitung: Jochen Simon, LfL-ILT
- ▶ Bewässerungsforum Bayern (BeF)
Leitung: Dr. Martin Müller, ALB
- ▶ Biogas Forum Bayern (BiF),
Leitung: Dr. Martin Müller, ALB
- ▶ Landtechnik Forum (LaF),
Leitung: Dr. Markus Demmel, LfL

Partner



Bayerisches Staatministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten



Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz

Impressum

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

Telefon 08161 / 887-0078

Telefax 08161 / 887-3957

E-Mail info@alb-bayern.de

Internet www.alb-bayern.de

1. Auflage 06/2023

© ALB Alle Rechte vorbehalten

Titelfoto ALB

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einführung	4
2. Begriffsdefinitionen	5
3. Methodik zur Erfassung und Beurteilung der Verteilgenauigkeit.....	7
4. Beispiele aus Versuchen und der Praxis	9
5. Empfehlungen zur Optimierung der Wasserverteilung	13
6. Anhang	15
7. Literaturverzeichnis	17

1. Einführung

Die Rohrberegnung hat zahlreiche Vorteile. Sie ist sehr variabel einsetzbar, bei vielen Kulturen möglich und die Beregnungsdichte ist vergleichsweise gering. Dadurch können auch geringe Wassermengen bei empfindlichen Kulturen und bei Neusaaten oder frischen Anpflanzungen mit geringen Wurzeltiefen ausgebracht werden. Ebenso ist sie aufgrund der großen Beweglichkeit durch Schnellkupplungsrohre vorteilhaft bei kurzen Kultur dauern und schnellen Kulturfolgen. Eine Frostschutzberegnung (z. B. bei Frühkartoffeln) ist auch nur mit Rohrberegnung machbar, da nur sehr kleine Wassermengen ausgebracht werden können. Wenn die Systemkomponenten (z. B. Wasserdruck am Regner, Aufstellverband, Regner-Typ, Düsenweite) aufeinander abgestimmt sind, ist auch die Genauigkeit der Wasserverteilung ausreichend. Auf die näheren Zusammenhänge wird in dem vorliegenden Blatt ausführlich eingegangen. Als Nachteile dieses Bewässerungsverfahrens sind die Windanfälligkeit und hohe Verdunstungsverluste bei hohen Temperaturen zu nennen.

Aus vielerlei Gründen lohnt es sich, Wasser auf Äckern effizient einzusetzen. Dabei können bereits einfache und kostengünstige Maßnahmen für eine gleichmäßige Wasserverteilung sorgen, welche Voraussetzung ist für einen einheitlichen Aufwuchs der Kulturen. Wird das Wasser homogen auf der Fläche verteilt, sind die Bewässerungszeiten und somit auch die Verdunstungsverluste geringer. Der Wasserverbrauch wird verringert und Kosten gesenkt.

Eine gleichmäßige Wasserverteilung erleichtert auch die Standortauswahl für Bodenfeuchtesensoren zur Entscheidung über Bewässerungsgaben (Zeitpunkt, Höhe). Generell ist es wichtig einen möglichst repräsentativen Standort für Sensoren auszuwählen, damit keine Über- oder Unterbewässerung auf Teilflächen stattfindet. In Zeiten des Klimawandels mit steigendem Bewässerungsbedarf bei gleichzeitig sinkendem Wasserdargebot und deshalb erforderlicher

Anpassungen gesetzlicher Regelungen (z. B. Begrenzung der Entnahmemengen) sollten Optimierungsmöglichkeiten für eine noch effizientere Bewässerung genutzt werden.

Ist aber die Verteilgenauigkeit schlecht, werden „nasse“ Standorte mit Sickerwasserbildung und Nitratauswaschung erzeugt, wenn die Feldkapazität des Bodens überschritten wird. Somit entsteht auch eine bewässerungsbedingte Heterogenität der N_{\min} -Gehalte im Oberboden. Daneben gibt es „trockene“ Areale mit Wassermangel und langsamer Umsetzung der Dünger bzw. Nährstoffe. Der dadurch bedingte Stickstoff- und Wassermangel bewirkt, dass Erträge und Qualitäten sinken. Dagegen können die Kosten steigen, da unter Umständen mehr Erntegänge nötig sind.

Ein Beispiel für eine ungleichmäßige Wasserverteilung zeigt Abb. 1. Die Drohnenfotos wurden nach einer Bewässerung aufgenommen und veranschaulichen die unterschiedliche Abtrocknung auf der Fläche. Je weniger Wasser Teilflächen erhielten, desto schneller trocknet der Boden ab und wird heller.

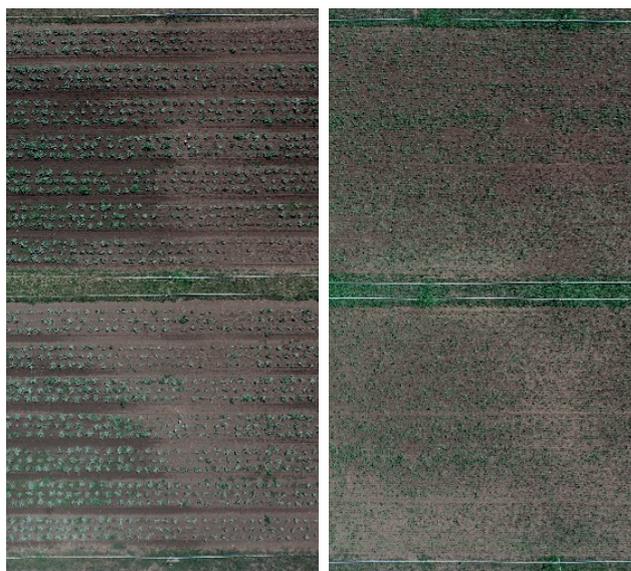


Bild 1 a,b: Drohnenaufnahmen zur ungleichmäßigen Abtrocknung des Bodens nach einer Bewässerung mit schlechter Wasserverteilgenauigkeit, Quelle: A. Dümig

Richten sich die Bewässerungsgaben nach der Kulturentwicklung auf den trockeneren Standorten können zwar negative Folgen durch Wassermangel dort vermieden werden, doch werden unnötig längere Bewässerungszeiten, ein erhöhter Wasserverbrauch und die Gefahr der Nitrat- auswaschung auf den restlichen Flächen in Kauf genommen. Je höher der Zusatzwasserbedarf aufgrund geringer Niederschläge ist, desto stärker sind die oben geschilderten Auswirkungen einer ungleichmäßigen Wasserverteilung.

Die Wasserverteilgenauigkeit der betriebsüblichen Ausbringungstechnik kann einfach und schnell mit normalen Regenmessern selbst bestimmt werden (siehe Kapitel 3). Bereits einfache und kostengünstige Maßnahmen bewirken eine gleichmäßige Wasserverteilung und sorgen dafür, dass die oben geschilderten Probleme nicht auftreten bzw. die Vorteile genutzt werden können. Eine Zusammenfassung von Maßnahmen und Empfehlungen gibt diese Auflistung:

- ▶ Verteilgenauigkeit: 12 m x 12 m > 12 m x 18 m > 18 m x 18 m oder 18 m x 22/24 m oder 12 m x 24 m
- ▶ Dreiecksverband hat nicht zwingend eine bessere Verteilgenauigkeit als der Viereckverband

2. Begriffsdefinitionen

Zum besseren Verständnis und Einordnung der nachfolgenden Schilderungen werden technische und bodenkundliche Begriffe erläutert:

▶ **Aufstellverband**
Beschreibt die räumliche Anordnung und Abstände zwischen Rohrleitungen und Kreisregnern. Es kann zwischen Viereck- und Dreieckverband unterschieden werden. Übliche Aufstellverbände sind 12 m x 12 m, 12 m x 18 m, 18 m x 18 m, 18 m x 24 m. Wobei die erste Zahl den Abstand der Kreisregner auf den Rohrleitungen und die zweite den Abstand zwischen den Rohrleitungen angibt.

- ▶ Wurfweite sollte mindestens so hoch sein wie Kreisregner-Abstände
- ▶ Wasserdruck beeinflusst v. a. bei größeren Aufstellverbänden (z. B. 18 m x 24 m) die Verteilgenauigkeit; ist dieser nicht stabil und sinkt reichen die Wurfweiten nicht mehr aus
- ▶ Messungen unter Praxisbedingungen (auch bei nahezu Windstille) können die Verteilgenauigkeiten von Herstellerangaben (Hallenbedingungen) nicht erreichen (ca. 10 % niedrigere Werte)
- ▶ die generelle Aussage „je niedriger der Wasserdruck, desto besser die Verteilgenauigkeit“ kann nicht bestätigt werden
- ▶ Verwendung von gleichen Regnern mit gleicher Düse im Aufstellverband
- ▶ Sorgfalt bei Aufbau des Verbandes (z. B. Regner senkrecht ausrichten, Abstände zwischen Rohrleitungen auf ganzer Strecke einhalten, auf Leckagen in den Rohrleitungen achten)
- ▶ Herstellerangaben zu Kreisregner sollten beachtet werden. Einige Hersteller geben auch Beregnungsdichten je nach Verband, Wasserdruck etc. an, wonach sich die Bewässerungszeiten richten sollten

▶ **Beregnungsdichte/Bewässerungsintensität**
Ist die auf einer Fläche pro Zeiteinheit aufgebraachte mittlere Beregnungsgabe (mm/h oder l/m²/h) und kann folgendermaßen berechnet werden: Durchflussrate des Kreisregners / (Abstand zwischen Kreisregner auf der Rohrleitung x Abstand zwischen Rohrleitungen)

Beispiel:

Durchflussrate des Kreisregners: 800 l/h.

Aufstellverband: 12 m x 18 m

$800 \text{ l/h} / (12 \text{ m} \times 18 \text{ m}) = 3,7 \text{ l/h/m}^2 = 3,7 \text{ mm/h}$.

▶ Durchflussrate

Bei Kreisregnern abhängig von Wasserdruck und Düsenweite (siehe Herstellerangaben). Die Beregnungsdichte sollte auf die Infiltrationskapazität abgestimmt werden, um z. B. Verschlämung oder Bodenerosion zu verhindern.

▶ Bewässerungsmenge/-höhe

Ist die in einer Gabe oder insgesamt aufgebrauchte Wassermenge auf den Boden ($1 \text{ mm} = 1 \text{ l/m}^2 = 10 \text{ m}^3/\text{ha}$). Um hohe Sickerwassermengen und Nitratverlagerung in größerer Bodentiefe zu vermeiden, ist sie auf die aktuelle Bodenfeuchte und (nutzbare) Feldkapazität des Bodens abzustimmen.

▶ Feldkapazität (FK, Einheit Vol-%)

Ist die Wassermenge, die ein zunächst wassergesättigter natürlich gelagerter Boden gegen die Schwerkraft nach 2 – 3 Tagen noch halten kann. Feldkapazität = nutzbare Feldkapazität + Totwasser. Die Höhe der Feldkapazität ist abhängig von Bodenart, Humusgehalt und Bodengefüge.

▶ Infiltrationsrate

Gibt an, welche Wassermenge pro Zeiteinheit in den Boden eindringen kann (mm/h).

Sie ist von vielen Faktoren abhängig wie z. B. Humusgehalt, Aggregatstabilität, Bodenart, Bodenleben wie Regenwürmer, Lagerungsdichte, Bearbeitungszustand des Bodens, Hangneigung. Die maximale Infiltrationsrate wird als Infiltrationskapazität bezeichnet.

▶ Nutzbare Feldkapazität (nFK, Einheit Vol-%)

Gibt den maximalen Wassergehalt an pflanzenverfügbarem Wasser in Vol.% an. Ein Boden mit einer nFK von zum Beispiel 15 Vol.-% kann pro 10 cm Tiefe 15 mm Wasser zur Verfügung stellen.

▶ Versickerung

Wasser, welches nicht gegen die Schwerkraft vom Boden gehalten werden kann. Versickerung tritt auf, wenn die Feldkapazität des Bodens überschritten wird. Ist dies der Fall, wird Nitrat mit dem Sickerwasser in die Tiefe verlagert. Erfolgt dort keine Aufnahme durch Pflanzen, wird letztlich Nitrat in das Grundwasser ausgewaschen.

▶ Wassersättigung

Ist der maximale Wassergehalt eines Bodens, in

dem alle Poren gesättigt sind.

▶ Wasserverteilung

Bezieht sich auf die Wurfweite des Kreisregners oder Beregnungsfläche von im Aufstellverband aufgestellten Kreisregnern. Bei einer Wasserverteilungskurve ist die Beregnungshöhe über der Wurfweite aufgetragen.

▶ Wurfweite

Gibt in Abhängigkeit von Wasserdruck, Kreisregner-Typ und Düsenweite die maximale Ausbringungsweite an und entspricht den Schnittpunkten der Wasserverteilung zwischen Regnern.

▶ Tropfengröße

Ist abhängig von Wasserdruck, Düsenweite und Kreisregner-Typ. Generell gilt: je höher der Wasserdruck, desto kleiner die Tropfen und desto größer die Windabdrift (Abb. 2). Hier gelten die gleichen Gesetzmäßigkeiten wie bei Pflanzenschutzdüsen.



Bild 2 a,b: Tropfengröße und Grad der Vernebelung bei 4 und 6 bar Wasserdruck, Quelle: A. Dümig

3. Methodik zur Erfassung und Beurteilung der Verteilgenauigkeit

Durchführung

Ist die Genauigkeit der Wasserverteilung je nach eingesetzter Ausbringungstechnik in einem Betrieb unbekannt bzw. deuten ungleichmäßige Kulturentwicklungen auf einen Zusammenhang mit der Bewässerung hin, kann die Verteilgenauigkeit einfach und schnell selbst bestimmt werden. Dies ist für das betriebliche Bewässerungssystem auch nur einmal notwendig. Zur Erfassung der Verteilgenauigkeit bei Rohrberegnung sind in regelmäßigen Abständen Niederschlagsmesser so aufzustellen, dass die Beregnungsdichte für eine repräsentative Fläche effizient wiedergegeben wird. Nach einer Bewässerungszeit von zum Beispiel einer Stunde sind alle Niederschlagsmesser einzeln auszulitern und die Wassermenge zu notieren. Für einen schnellen Überblick stellt man Regenmesser im Abstand von 1 m von Regner zu Regner entlang der Rohrleitung und von Leitung zu Leitung auf. Für eine leichte spätere Zuordnung empfiehlt es sich vorher eine Skizze mit Nummerierung der Niederschlagsmesser anzufertigen (siehe Abb. 1).

Grundsätzliche Anforderungen bei der Erfassung der Verteilgenauigkeit sind in der DIN EN 12484 geregelt. Demgemäß sind die Niederschlagsmesser im Abstand von 0,5 m – 2 m aufzustellen und die max. Windgeschwindigkeit von 0,9 m/s (= 3,2 km/h) darf nicht überschritten werden. Eine Durchführung sollte somit nur ohne Wind erfolgen. Die wichtigsten Anforderungen zur Versuchsdurchführung in einem Praxisbetrieb werden hier genannt. Vorschläge zu bewährten Aufstellungen der Niederschlagsmesser sind in Abb. 3 dargestellt. Je kleiner die Abstände und je mehr Regenmesser, desto genauer das Ergebnis.

Abweichend von 0,5 m (Abb. 1 a, c) bietet sich auch die Aufstellung in 1 m Abstand an (Abb. 1 b). In diesem Falle wird ein repräsentativer Sektor abgedeckt, welcher auf alle anderen Sektoren bzw. den ganzen Acker übertragen werden

kann und die Anzahl der Niederschlagsmesser in einem annehmbaren Umfang hält. Die Abstände sind in der DIN 12484 klar geregelt, für Regner mit einer

- ▶ größeren Wurfweite als 10 m maximal 2 m
- ▶ Wurfweite von 5 – 10 m maximal 1 m
- ▶ Wurfweite unter 5 m maximal 0,5 m

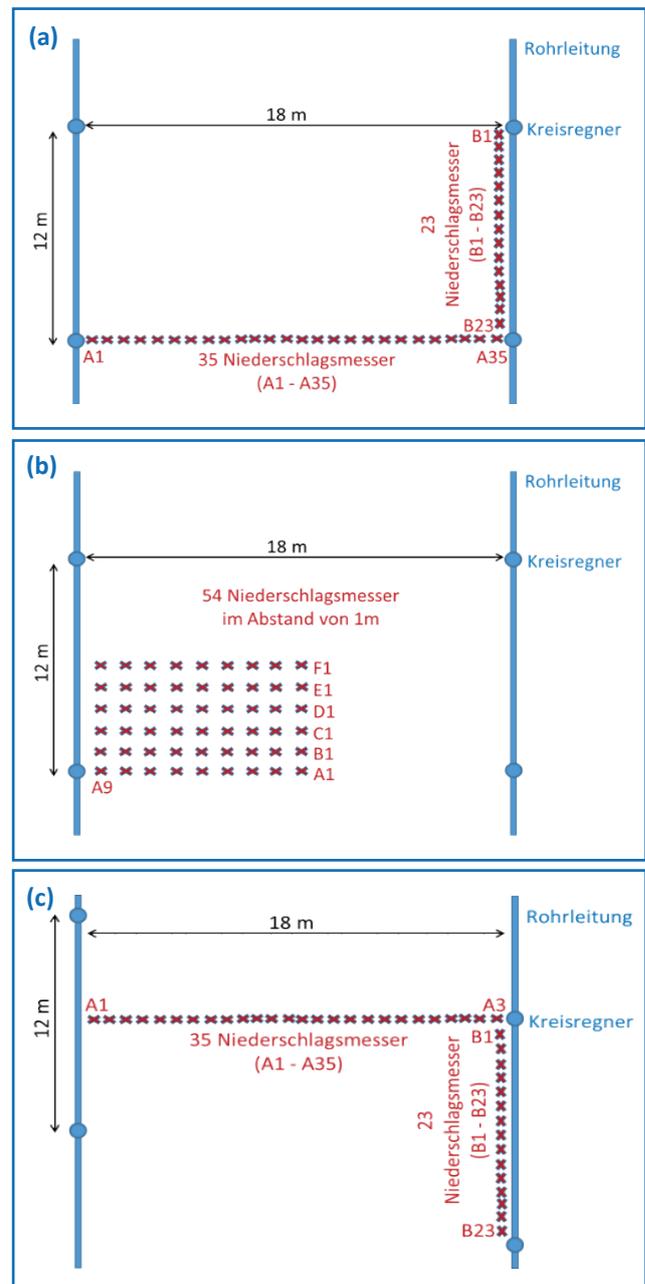


Abb. 1 a-c: Aufbau von Niederschlagsmessern im Viereck- (1 a, b) und Dreieckverband (1 c), Quelle: A. Dümig

Erscheint einem der Aufwand zu hoch können die Regenmesser auch in 2 m Abständen aufgestellt werden. Denn es wäre wichtig sich zumindest einen ersten Eindruck von der Verteilgenauigkeit zu verschaffen. Je nach Ergebnis wären eine Wiederholung mit engeren Abständen zu empfehlen.

Es gibt prinzipielle Unterschiede zwischen der Verteilgenauigkeit erfasst unter Praxisbedingungen und von Herstellerangaben für Kreisregner, da letztere unter kontrollierten Bedingungen in Hallen festgestellt werden.

Im Gegensatz zur Ermittlung der Verteilgenauigkeit in Gebäuden ergeben sich in der Praxis Abweichungen, zum Beispiel aufgrund:

- ▶ keine exakt gleichen Aufstellhöhen der Kreisregner
- ▶ keine exakt senkrechte Ausrichtung der Kreisregner
- ▶ keine 100%-ig exakten Abstände der Rohrleitungen
- ▶ keine 100%-ige Windstille

Auswertung und Interpretation

Neben einer beschreibenden Statistik (Mittelwert, Standardabweichung, Minimum, Maximum) kann die Verteilgenauigkeit (mit Niederschlagsmessern ermittelt) mit verschiedenen Koeffizienten (Christiansen, 1942; CATI Publication, 2003) dargestellt werden. Letztere haben aufgrund der flächenbezogenen Daten eine deutlich höhere Aussagekraft. Die gebräuchlichsten sind der CU-Wert (Christiansen-Uniformity bzw. Gleichmäßigkeitskoeffizient nach Christiansen), der DU-Wert (Distribution Uniformity bzw. Verteilungsgleichmäßigkeit) und der SC-Wert (Schedule Coefficient bzw. Zeitplankoeffizient). Eine ausführliche Beschreibung zur Berechnung der Koeffizienten ist im Anhang.

Der CU-Wert betrachtet nur absolute Werte, wodurch eine Unter- bzw. Überbewässerung gleich dargestellt werden. Dadurch wird keine Aussage getroffen, ob ein besonders kritischer

Bereich besteht. Bei einem Wert von 100 % wird die gesamte Fläche gleichmäßig bewässert. Dieser Wert ist in der Praxis nicht zu erreichen.

PERROT-Regnerbau (1966) gibt folgende Einteilung zur generellen Beurteilung des CU-Wertes an:

- > 87% = exzellent
- > 83% = sehr gut
- > 79% = gut
- > 75% = befriedigend
- > 70% = schlecht

Im Gemüsebau sollte der CU-Wert nach Empfehlungen der DLR Rheinland-Pfalz über 84 % liegen (Hartmann, 1993). PERROT-Regnerbau (1966) und ein Bewässerungsbericht der LWG Bayern (Hagender und Beck, 2014) geben als Anhaltspunkt für Gemüse einen zu erzielenden CU-Wert von über 80 % an.

Der DU-Wert unterscheidet sich vom CU-Wert insofern, dass der Bereich mit zu wenig Niederschlag verstärkt in den Messwert eingeht. Dieser Wert ist pflanzenbaulich aussagekräftiger als der CU-Wert, da die Minimumstellen stärker gewichtet werden. Zu niedrige Werte bedeuten in der Praxis Ertragseinbußen.

Für die Beurteilung des DU-Wertes gilt nach PERROT-Regnerbau (1966):

- > 85% = exzellent
- > 80% = sehr gut
- > 75% = gut
- > 70% = befriedigend
- > 65% = schlecht

Empfehlungen im Gemüsebau zum DU-Wert: DLR Rheinland-Pfalz (Hartmann, 1993): deutlich über 75 %.

PERROT-Regnerbau (1966) sowie Hagender und Beck (2014): > 70 %.

Bei sehr guter Verteilgenauigkeit liefern beide Methoden annähernd gleiche Werte. Bei schlechterer Verteilgenauigkeit sind die DU-Werte geringer als die CU-Werte, d. h. die DU-Werte

haben höhere Ansprüche an die Verteilgenauigkeit.

Der SC-Wert ermittelt die Dauer der Bewässerung, um die trockenste Stelle ausreichend mit Wasser zu versorgen. Anders ausgedrückt, die Fläche muss um den über 1,0 höher liegenden Faktor länger bewässert werden, um auf der am wenigsten bewässerten Teilfläche die geplante Wassermenge zu berechnen. Ebenso beschreibt der SC-Wert, wie stark eine Fläche dadurch im Durchschnitt überbewässert wird. Dabei hat ein natürlicher Landregen einen SC-Faktor von circa 1,1. Zum Beispiel bei einem Wert von 2 erhalten die am besten versorgten Stellen doppelt so viel

Wasser wie die am schlechtesten versorgten Stellen. Oder anders ausgedrückt, es ist die 2-fache Beregnungsdauer nötig, bis die trockensten Stellen die geplante Wassermenge haben.

Auch beim SC-Wert gibt es z. T. unterschiedliche Angaben bezüglich der Beurteilung der Verteilgenauigkeit im Gemüsebau. Zusammenfassend ist folgende Einteilung empfohlen:

- < 1,2 = sehr gut
- 1,2 – 1,3 = gut
- 1,3 – 1,5 = befriedigend
- 1,5 – 1,8 = ausreichend
- > 1,8 = mangelhaft

4. Beispiele aus Versuchen und der Praxis

Ergebnisse zur Wasserverteilung aus anderen Untersuchungen sind rar, insbesondere von Verteilungskoeffizienten. Ebenso stehen von vielen Kreisregnern keine Herstellerangaben zur Verfügung. Deshalb sollen in diesem Kapitel zusammenfassend Beispiele und Ergebnisse aus der Praxis und Versuchen vorgestellt werden. Zum Vergleich werden auch Herstellerangaben von Kreisregnern, ermittelt unter Hallenbedingungen, aufgeführt.

Praxisversuch: Vergleich zwischen betriebsüblicher und optimierter Bewässerung – Bedeutung von Wasserdruck und Aufstellverband

Auf einem Schlag mit Stangensellerie (Bild 3) wurde neben der betriebsüblichen Bewässerung eine optimierte Variante installiert und die Verteilgenauigkeit ausgewertet.

Der Wasserdruck auf diesem Schlag war davon abhängig, wie viele andere Äcker in der Umgebung zur gleichen Zeit bewässert wurden.

Abb. 2 (nächste Seite) weist auf deutliche Unterschiede in der Wasserverteilung zwischen der herkömmlichen und optimierten Bewässerung hin. Dies zeigen sowohl die Ergebnisse der be-



Bild 3 a,b: Versuchsaufbau im Praxisbetrieb (Stangensellerie) mit je über 100 Regenmesser zur Erfassung der Wasserverteilgenauigkeit (oben: praxisübliche und unten optimierte Bewässerung mit Druckregulierer unter Kreisregnern), Quelle: A. Dümig

schreibenden Statistik (Minimum, Maximum, Mittelwert, Standardabweichung, nach 2 Stunden Bewässerung) sowie auch Verteilungskurven der Beregnungsdichten. Letztere veranschaulichen die Bewässerungsmengen nach einer Stunde entlang der Rohrleitung (blaue Linie) und von Regner zu Regner zwischen zwei Rohrleitungen (grüne Linie).

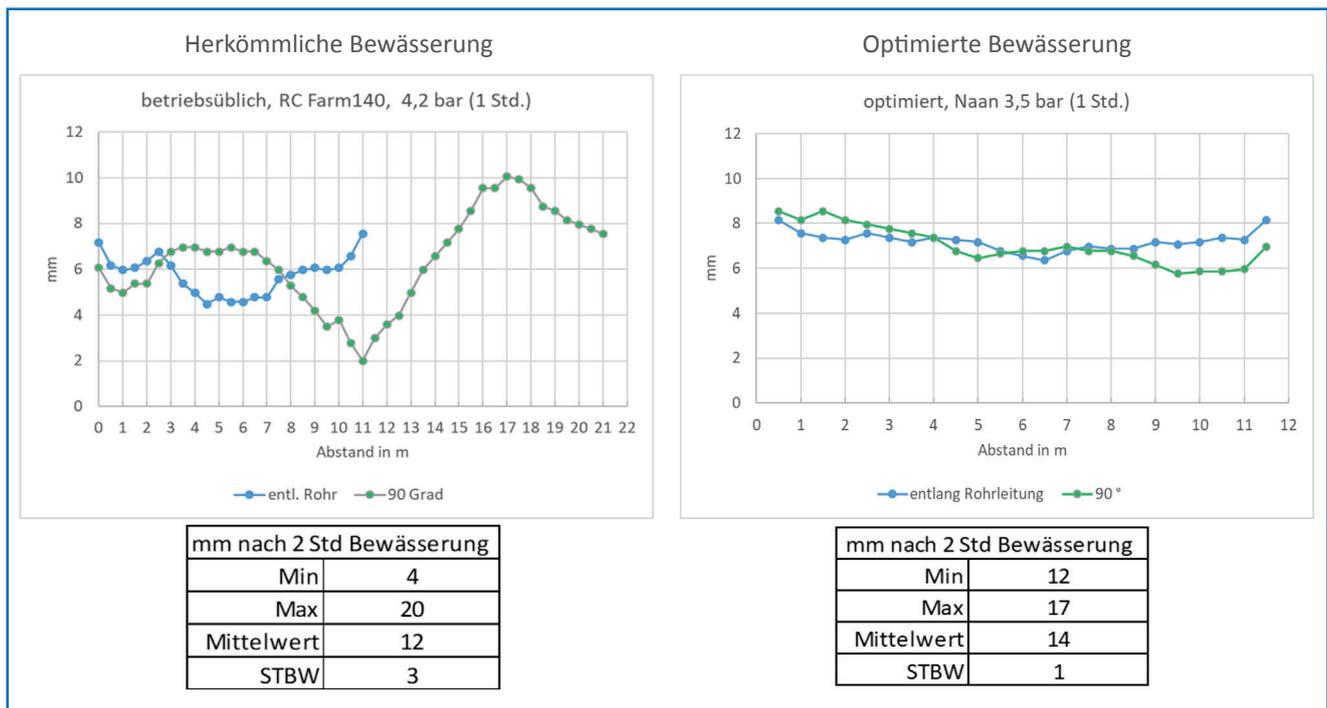


Abb. 2: Berechnungsdichten bei herkömmlicher und optimierter Bewässerung nach 1 Stunde (Diagramme) bzw. 2 Stunden (Tabellen) Bewässerungszeit, Quelle: A. Dümig

Bei Betrachtung der Koeffizienten zur Verteilgenauigkeit zeigt die optimierte Bewässerung ebenso deutlich bessere Werte im Vergleich zur herkömmlichen Bewässerung (Tab. 1).

Der CU-Wert (Gleichmäßigkeitskoeffizient nach Christiansen), DU-Wert (Verteilungsgleichmäßigkeit) und SC-Wert (Zeitplankoeffizient) sind bei der herkömmlichen Bewässerung als befriedigend bis schlecht zu beurteilen. Dagegen liegen die Werte bei der optimierten Variante bei exzellent bis gut. Der SC-Wert von 2 bei der herkömmlichen Bewässerung bedeutet, dass die 2-fache Beregnungsdauer nötig ist, bis die trockenste Stelle die geplante Wassermenge hat.

Tab. 1: Koeffizienten der Verteilgenauigkeit für herkömmliche und optimierte Bewässerung, Quelle: A. Dümig

Koeffizient	flächige Gleichmäßigkeit	
	herkömmlich	optimiert
CU-Wert	77	88
DU-Wert	64	82
SC-Wert 10 %	2	1,3

Oder anders ausgedrückt, die am besten versorgten Stellen erhalten doppelt so viel Wasser wie die am schlechtesten versorgten Stellen.

Abb. 3 (folgende Seite) veranschaulicht nochmals die unterschiedlichen Beregnungsdichten in der Fläche zwischen der herkömmlichen und der optimierten Bewässerung.

Die schlechte Wasserverteilung bei der herkömmlichen Bewässerung ist vor allem durch einen zu geringen und zudem variierenden Wasserdruck bei zu hohem Abstand zwischen den Rohrleitungen bedingt.

Eine praktikable und kostengünstige Lösung bei variierenden Wasserdrücken (z. B. je nach Bewässerungsintensität auf benachbarten Äckern) ist der Einbau von Druckregulierern/-minderern direkt unter den Kreisregnern. Somit wird ein konstanter Wasserdruck sichergestellt, nachdem sich die Auswahl des Aufstellverbandes, Kreisregner und Düsenweite richten sollte.

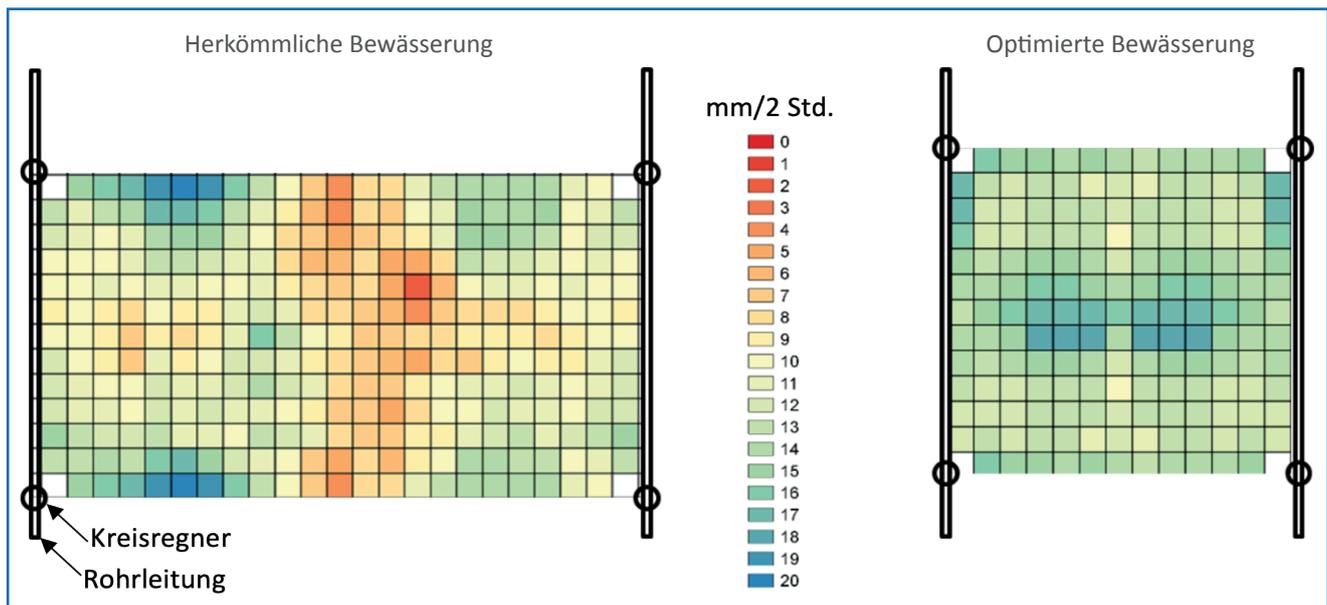


Abb. 3: Berechnungsdichten von herkömmlicher und optimierter Bewässerung nach 2 Stunden Bewässerungszeit, erstellt in QGis, Quelle: P. Noack, HSWT

Ebenso weist der NaanDanJain-Kunststoffregner aufgrund seiner Konstruktion eine gute Verteilgenauigkeit auf und ist vergleichsweise günstig im Vergleich zu Messingregnern. Während der Kulturdauer zeigte der Stangensellerie in Bereichen mit geringerer Berechnungsdichte keine Anzeichen von Wassermangel. Somit wäre bei einer gleichmäßigen Wasserverteilung eine Reduktion der Bewässerungsmengen und somit des Wasserverbrauchs und der Kosten möglich gewesen.

Praxisversuch: Vergleich von drei Kreisregnern im Aufstellverband 12 m x 12 m

Im Viereckverband von 12 m x 12 m wurden drei Kreisregner (Naandanjain 5035 SD, R2000 Windfighter, RC Farm 140) bei 3,5 bar und einer Aufstellhöhe von 0,4 m verglichen (siehe Tab. 2). Die Düsenweite lag bei allen Regnern bei 4 mm (Naan, RC Farm) bzw. 3,6 mm (Windfighter) mit Wurfweiten von 12,5 m – 13 m. Die Ergebnisse der beschreibenden Statistik und Koeffizienten wurden aus 99 Niederschlagsmessern ermittelt.

Tab. 2: Ergebnisse in mm nach 1 Stunde Bewässerung für drei Kreisregner im Aufstellverband 12 x 12 m, Quelle: A. Dümig

	Naan	RC Farm 140	Windfighter
Mittelwert	7	8	5
STBW	1	1	1
Min	5	4	4
Max	10	10	8
CU-Wert	88	88	85
DU-Wert	82	78	77
SC-Wert 10%	1,3	1,5	1,4

Alle drei Kreisregner zeigen eine gute bis exzellente Verteilgenauigkeit bzw. befriedigend beim SC-Wert, wobei der Naan-Kreisregner am besten abschneidet. Der Kreisregner Windfighter hat eine vergleichsweise geringe Beregnungsdichte, wodurch die Bewässerungszeit höher ist.

Zum Vergleich sind nachfolgend Herstellerangaben von Kreisregnern aufgeführt, welche unter Hallenbedingungen ermittelt wurden:

Kreisregner Netafim D-Net 9575:

(Viereckverband, 4 bar, 4 mm Düsenweite, 13 m Wurfweite)

12 m x 12 m: Cu-Wert > 92 %

12 m x 18 m: Cu-Wert 86 – 88 %

18 m x 18 m: Cu-Wert < 86 %

Kreisregner Naan 5035 SD:

(Viereckverband, 4 bar, 4 mm Düsenweite, 13 m Wurfweite)

12 m x 18 m: Cu-Wert 88 – 92 %

(Viereckverband, 4 oder 5 bar, 5 mm Düsenweite, 16 m Wurfweite)

18 m x 18 m: Cu-Wert 88 – 92 %

Im Verband mit größeren Abständen (18 m x 18 m) ist eine größere Düsenweite nötig, um eine gute Verteilgenauigkeit zu erhalten.

Beispiel für eine mangelhafte Wasserverteilung

Im Viereckverband (12 m x 18 m) bei 6 bar Wasserdruck wurden drei verschiedene Regner mit unterschiedlichen Düsenweiten in wahlloser Mischung verwendet (Perrot VYR mit Düsenweite von 4 mm, RC Farm 140 mit Düsenweite von 5 mm, Rainbird 14070 mit Düsenweite von 4.5 mm). Weiterhin wurde nicht auf eine Einhaltung der Abstände der Rohrleitungen geachtet, welche zudem teilweise schief standen. Dementsprechend ist die Verteilgenauigkeit schlecht bis mangelhaft (Tab. 3). Die niedrigen DU-Werte beispielsweise bedeuten Ertragseinbußen. Bei diesen Bedingungen (verschiedene Abstände und Schiefstand der Rohrleitungen) zeigen auch die Naan-Kreisregner 5035 SD (Düsenweite: 4

mm) keine zufriedenstellenden Ergebnisse.

Tab. 3: Ergebnisse in mm nach 1 Stunde Bewässerung und Verteilungskoeffizienten (116 Niederschlagsmesser), Quelle: A. Dümig

	Naan	RC-Farm 140, Perrot, Rainbird
Mittelwert	6	6
STBW	11,5	2,2
Min	3	1
Max	9	14
CU-Wert	80	70
DU-Wert	69	49
SC-Wert 10%	1,6	3,1

Ergebnisse der Verteilgenauigkeit ermittelt unter Hallenbedingungen

Nachfolgende Werte entstammen von der DLR Rheinpfalz (Hartmann, 1993) gemessen an der Universität Davis/Kalifornien und stellen nur eine Auswahl dar. Die CU- und DU-Werte dieser Untersuchung liegen im Vergleich mit Praxisbedingungen um jeweils ca. 10 % höher. Die Ergebnisse sollen die Zusammenhänge zwischen Kreisregner-Typ, Düsenweite, Aufstellverband und Wasserdruck veranschaulichen.

- Vergleich eines Kreisregners bei verschiedenen Aufstellverbänden

Bei diesem Vergleich (Tab. 4) schnitt der Perrot ZS 30 im Verband 12 m x 18 m bei 4 bar und 4.5 mm Düsenweite exzellent und besser ab als größere Abstände zwischen Kreisregnern und/oder Rohrleitungen.

Tab. 4: Verteilgenauigkeit von Perrot ZS 30 (4 bar, 4.5 mm Düse, Viereckverband)), Quelle: Hartmann, 1993

Verband	CU-Wert	DU-Wert
12 m x 18 m	91	86
18 m x 18 m	86	76
18 m x 24 m	75	61

► Vergleich eines Kreisregners bei verschiedenen Wasserdrücken und Aufstellverband
Der Kreisregner Rainbird 14070 zeigte bei diesen Tests unter den gegebenen Bedingungen durchwachsene Ergebnisse. Auch hier ist die Verteilgenauigkeit im Aufstellverband 12 m x 18 m besser als bei 18 m x 18 m. Ein höherer Druck (6 bar) und größere Düsenweite (6 mm) würden in diesem Fall die Verteilgenauigkeit verbessern.

Tab. 5: Verteilgenauigkeit von Rainbird 14070 (4.5 mm Düse, Viereckverband), Quelle: Hartmann, 1993

Wasserdruck	CU-Wert		DU-Wert	
	4 bar	5,5 bar	4 bar	5,5 bar
12 m x 18 m	79	83	64	68
18 m x 18 m	77	78	63	72

► Vergleich eines Kreisregners bei unterschiedlichen Düsenweiten und Verband
Beim Kreisregner Wieler 1470 bei 4 bar Wasserdruck im Viereckverband ist eine Düsenweite von 6 mm für eine exzellente bis gute Wasserverteilung zu wählen. Der Aufstellverband spielte in diesem Falle eine untergeordnete Rolle.

Tab. 6: Verteilgenauigkeit von Wieler 1470 (4 bar, Viereckverband), Quelle: Hartmann, 1993

Düsenweite	CU-Wert		DU-Wert	
	6 mm	5,2 mm	6 mm	5,2 mm
12 m x 18 m	90	78	82	64
18 m x 18 m	85	74	79	55
18 m x 24 m	88	71	81	57

5. Empfehlungen zur Optimierung der Wasserverteilung

Hinsichtlich der Verteilgenauigkeit bei Überkopfbergnung ist es insbesondere von Bedeutung, die einzelnen Faktoren der Bewässerungstechnik (Abb. 4) aufeinander abzustimmen (Art der Kreisregner, Düsenweite, Aufstellverband, Wasserdruck, Aufstellhöhe). Es gibt nicht das eine perfekte System. Änderungen einzelner Faktoren haben Einfluss auf Wurfweite, Tropfendurchmesser, Beregnungsdichte, Wasserverbrauch und schließlich Wasserverteilgenauigkeit.

Der Wasserdruck bestimmt maßgeblich die Wurfweite. Ist dieser unbekannt, sollte der Wasserdruck an den Regnern gemessen werden. Dies geht schnell und einfach mit einem Manometer mit entsprechendem Aufsatz für die Messung in der Düse (Bild 4).

Bei variablem Wasserdruck sollten Druckregler direkt unter die Kreisregner eingebaut werden. Damit wird ein konstanter Wasserdruck sichergestellt, nach dem sich die Auswahl des Aufstellverbandes, Düsenweite etc. richten sollte. Der Einbau eines Druckreglers in die Rohrleitung ist insbesondere bei langen Äckern und entsprechend langen Rohrleitungen, problematisch.



Abb. 4: Einflussfaktoren auf die Genauigkeit der Wasserverteilung, Quelle: A. Dümig



Bild 4: Manometer zur Messung des Wasserdrucks bei Kreisregnern, Quelle: A. Dümig

Aufgrund des Reibungsverlustes in der Rohrleitung sinkt der Wasserdruck und damit die Wurfweite gegen Ende der Leitung.

Den Zusammenhang zwischen der Wurfweite der Kreisregner und dem Aufstellverband mit Auswirkungen auf Intensität der Überlappungen der Beregnungskreise und somit auf Beregnungsdichten und Wasserverteilung veranschaulicht Abb. 5. Im Verband von 12 m x 12 m bei einer Wurfweite von 12 m findet auf der überwiegenden Fläche eine 3 oder 4 fache Überlappung statt. Nur ein kleiner Anteil wird von zwei Kreisregnern erfasst.

Abb. 5 weist darauf hin, wie die Rohrleitungen auf einem Schlag zu platzieren sind. Häufig liegt die erste Rohrleitung am seitlichen Ackerrand erst im Abstand der Wurfweite. Dies bedingt sowohl am linken wie rechten Ackerrand nur ein- oder zweifache Überlappungen und dementsprechend geringe Beregnungsdichten. Um dies zu vermeiden, sollte die erste Rohrleitung direkt am Ackerrand gelegt und Teilkreis- bzw. Sektorenregner (180° bzw. 90° beim ersten und letzten Kreisregner) eingesetzt werden.

Abschließend soll das generelle Vorgehen zur Auswahl der Beregnungstechnik erläutert werden:

1. Aufstellverband festlegen und in Abhängigkeit von Verband und Wasserdruck die Kreisregner und Düsenweite auswählen (siehe Herstellerangaben), oder
2. Auswahl des Kreisregners an dem der Verband und Düsenweite angepasst wird, und
3. Kontrolle des Wasserdrucks an den Kreisregnern. Wenn der tatsächliche Wasserdruck nicht die benötigte Wurfweite der Kreisregner ermöglicht, sollten Düsenweite und/oder Aufstellverband angepasst werden

Folgende Varianten zur Ausbringungstechnik bei Rohrberegnung können empfohlen werden (siehe auch Kapitel 4):

Aufstellverband 12 m x 12 m mit Wasserdruck von 3,5 – 4 bar an den Kreisregnern oder Aufstellverband 12 m x 18 m mit Wasserdruck an den Regnern von 5 – 6 bar. Für gewünschte Wurfweiten von 12 – 13 m bzw. 15 – 16 m sind

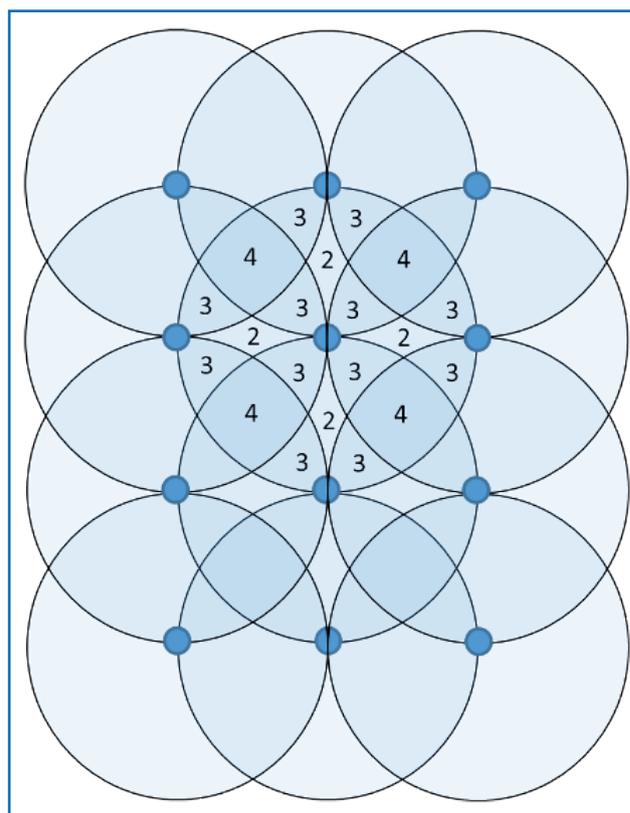


Abb. 5: Schema der Überlappungen der Beregnungskreise im Aufstellverband 12 m x 12 m bei einer Wurfweite von 12 m. Die Zahlen geben die Anzahl der Überlappungen wieder, Quelle: A. Dümig

Kreisregner und Düsenweite nach Herstellerangaben auszuwählen. Der Verband 12 m x 12 m mit Druckregulierer hat eine exzellente Wasserverteilung und den Vorteil unabhängig von möglicherweise wechselnden Wasserdrücken zu sein. Nachteile sind der höhere Aufwand für Auf- und Abbau sowie höhere Kosten, da ca. 30 % mehr Laufmeter an Rohrleitungen und Kreisregner benötigt werden.

Bereits einfache Maßnahmen (z. B. Sorgfalt bei Aufbau der Rohrberegnung, Verwendung von gleichen Kreisregnern und Düsenweiten im Verband) können für eine gleichmäßigere Wasserverteilung sorgen. Auch der anstehende Wasserdruck an den Kreisregnern lässt sich einfach ermitteln. Eine Anpassung von z. B. Aufstellverband und Düsenweite, falls nötig, würde sich positiv auf Erträge, Qualitäten, N-Düngeeffizienz, Wasserverbrauch und Kosten auswirken.

6. Anhang

Im Anhang erfolgt eine ausführliche Beschreibung zur Berechnung von Koeffizienten (Christiansen, 1942; CATI Publication, 2003), welche die Wasserverteilgenauigkeit mit hoher Aussagekraft darstellen können. Die gebräuchlichsten sind der CU-Wert (Christiansen-Uniformity bzw. Gleichmäßigkeitskoeffizient nach Christiansen), DU-Wert (Distribution Uniformity bzw. Verteilungsgleichmäßigkeit) und SC-Wert (Schedule Coefficient bzw. Zeitplankoeffizient).

Der CU-Wert vergleicht die durchschnittliche Abweichung vom Mittelwert mit dem Mittelwert selbst. Hierbei werden Minimum- und Maximalwerte gleich gewichtet. Da nur absolute Werte betrachtet werden, wird eine Unter- bzw. Überbewässerung gleich dargestellt. Dadurch wird keine Aussage getroffen, ob ein besonders kritischer Bereich besteht. Bei einem Wert von 100 % wird die gesamte Fläche gleichmäßig bewässert. Dieser Wert ist in der Praxis nicht zu erreichen.

Formel zur Berechnung:

$CU = 100 \% * [1 - (\text{durchschnittliche Abweichung vom Mittelwert} / \text{Mittelwert})]$

In einem Tabellenkalkulationsprogramm berechnet man als ersten Schritt den Mittelwert aus den Einzelmessungen (ausgeliterte Niederschlagsmesser in mm). Dann ist die Abweichung (Differenz) zwischen jedem Einzelwert und dem Mittelwert als Betrag zu berechnen, und die Summe aller Abweichungen zu bilden. Aus dieser wird die durchschnittliche Abweichung kalkuliert (Teilung durch Anzahl der Niederschlagsmesser) und in obige Formel eingesetzt.

Beispiel zur Berechnung des CU-Wertes

- ▶ Einzelwerte der Niederschlagsmesser in mm: 5,0 / 4,0 / 3,0 / 2,0 / 4,0
- ▶ Mittelwert der Einzelwerte in mm: $(5+4+3+2+4)/5=3,6$
- ▶ Abweichung der einzelnen Einzelwerte vom Mittelwert: 1,4 / 0,4 / 0,6 / 1,6 / 0,4

- ▶ Anzahl Niederschlagsmesser: 5
- ▶ Summe aller Abweichungen: $(1,4+0,4+0,6+1,6+0,4)=4,4$
- ▶ Durchschnittliche Abweichung: $4,4:5=0,9$
- ▶ $CU = 100 \% * [1 - (0,9 / 3,6)] = 75$

Um den berechneten CU-Wert bezüglich der Verteilgenauigkeit beurteilen zu können, gibt PERROT-Regnerbau (1966) folgende Einteilung an:

- > 87% = exzellent
- > 83% = sehr gut
- > 79% = gut
- > 75% = befriedigend
- > 70% = schlecht

Im Gemüsebau sollte der CU-Wert mindestens größer 80 % sein (Hartmann, 1993; PERROT-Regnerbau, 1966; Hagender und Beck, 2014).

Der DU-Wert unterscheidet sich vom CU-Wert insofern, dass der Bereich mit zu wenig Niederschlag verstärkt in den Messwert eingeht. Zur Berechnung wird der Durchschnitt von 1/4 der Messwerte mit dem geringsten Niederschlag durch den gesamten Mittelwert geteilt.

Formel zur Berechnung:

$DU = (\text{Durchschnitt von } 1/4 \text{ der Messwerte mit dem geringsten Niederschlag} / \text{Durchschnitt aller Messwerte}) * 100$

- ▶ Nach Höhe sortierte Einzelwerte der Niederschlagsmesser in mm: 1,0 / 2,0 / 3,0 / 4,0 / 4,0 / 5,0 / 5,0 / 6,0
- ▶ Anzahl Niederschlagsmesser: 8
- ▶ Berechneter Mittelwert: 3,8
- ▶ 1/4 der Messerte (Anzahl): $8*0,25=2$
- ▶ Durchschnitt von 1/4 der Werte mit geringstem Niederschlag: $(1+2)/2=1,5$
- ▶ $DU = (1,5 / 3,8) * 100 = 39$

Für die Beurteilung des DU-Wertes gilt nach PERROT-Regnerbau (1966):

- > 85% = exzellent
- > 80% = sehr gut
- > 75% = gut
- > 70% = befriedigend
- > 65% = schlecht

Empfehlungen im Gemüsebau zum DU-Wert:

- ▶ DLR Rheinland-Pfalz (Hartmann, 1993): deutlich über 75 %.
- ▶ PERROT-Regnerbau (1966) sowie Hagender und Beck (2014): > 70 %.

Bei sehr guter Verteilgenauigkeit liefern beide Methoden annähernd gleiche Werte. Bei schlechterer Verteilgenauigkeit sind die DU-Werte geringer als die CU-Werte, d.h. die DU-Werte haben höhere Ansprüche an die Verteilgenauigkeit.

Der SC-Wert ermittelt die Dauer der Bewässerung, um die trockenste Stelle ausreichend mit Wasser zu versorgen. Anders ausgedrückt, die Fläche muss um den über 1,0 höher liegenden Faktor länger bewässert werden, um auf der am wenigsten bewässerten Teilfläche die geplante Wassermenge zu berechnen. Ebenso beschreibt der SC-Wert, wie stark eine Fläche dadurch im Durchschnitt überbewässert wird. Dabei hat ein natürlicher Landregen einen SC-Faktor von circa 1,1. Zum Beispiel bei einem Wert von 2 erhalten die am besten versorgten Stellen doppelt so viel

Wasser wie die am schlechtesten versorgten Stellen. Oder anders ausgedrückt, es ist die 2-fache Beregnungsdauer nötig, bis die trockensten Stellen die geplante Wassermenge hat.

Formel zur Berechnung:

$SC = \text{Mittelwert} / \text{Mittelwert der 2 oder 5 oder 10 \% \text{ geringsten Messwerte}}$

Beispiel zur Berechnung des SC-Wertes

- ▶ Einzelwerte der Niederschlagsmesser in mm, sortiert nach Höhe:
1,0 / 2,0 / 2,0 / 2,0 / 3,0 / 4,0 / 4,0 / 5,0 / 5,0 / 6,0
- ▶ Anzahl der Niederschlagsmesser: 10
- ▶ Berechneter Mittelwert 3,4
- ▶ 10
- ▶ 10% der Messwerte (Anzahl): 1
- ▶ Durchschnittl von 10% der Messwerte mit geringstem Niederschlag: 1,0

$SC = 3,4 / 1,0 = 3,4$

Auch beim SC-Wert gibt es z. T. unterschiedliche Angaben bezüglich der Beurteilung der Verteilgenauigkeit im Gemüsebau. Zusammenfassend ist folgende Einteilung empfohlen:

- < 1,2 = sehr gut
- 1,2 – 1,3 = gut
- 1,3 – 1,5 = befriedigend
- 1,5 – 1,8 = ausreichend
- > 1,8 = mangelhaft

7. Literaturverzeichnis

- ▶ Weinheimer, S. (2010): Vor- und Nachteile unterschiedlicher Bewässerungssysteme. Vortrag. DLR Rheinpfalz.
- ▶ CATI Publication (2003): Sprinkler Profile and Coverage Evaluation. Center for Irrigation Technology, California State University, Fresno. Nr. 991003.
- ▶ Christiansen, J. E. (1942): Irrigation by Sprinkling. California Agricultural Experiment Station, Bulletin 670.
- ▶ Hageneder, F. M., Beck, M. (2014): Abschlussbericht „Projekt Optimierung der Bewässerung für den Freilandgemüseanbau“.
- ▶ <https://www.lwg.bayern.de/gartenbau/gemuesebau/066681/index.php>
- ▶ <https://www.hswt.de/forschung/wissenstransfer/2014/dezember-2014/gemuesebau.html>
- ▶ Hartmann, B. (1993): Tagungsberichte vom 12. Pfälzer Gemüsebautag: Pfälzer Gemüsebau effektiv und umweltschonend bewässern. Neustadter Hefte, Heft 61, S. 43-52.
- ▶ PERROT-Regnerbau (1966): Handbuch der Beregnungstechnik: Erläuterungen zur Verteilgenauigkeit bei Verbandsaufstellungen von Regnern, Calw.



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