

Ausgewählte Bewertungsmethoden zur Charakterisierung der Gleichmäßigkeit der Regenverteilung

Dr. agr. H. Balla, Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg der AdL der DDR

1. Einleitung

Für den Entwurf und die Nutzung von Beregnungssystemen ist die Bestimmung der Ungleichförmigkeit der Regenverteilung, besonders hinsichtlich einer gleichmäßigen Bodenfeuchteverteilung und der Verhinderung von Oberflächenabflüssen, von Bedeutung.

In der Literatur liegen Angaben über die Gleichmäßigkeit der Regenverteilung oft nur als Gleichförmigkeitskoeffizient vor. Quantitative Aussagen über die unter- bzw. überberechneten Flächenanteile sind daraus nicht abzuleiten. Diese sind aber für die Beurteilung der Schadwirkungen durch Oberflächenabfluß oder für Ertragsabschätzungen notwendig. Untersuchungen über die Zusammenhänge zwischen den am häufigsten verwendeten Bewertungsmethoden zur Charakterisierung der Gleichmäßigkeit der Regenverteilung, besonders zwischen Gleichförmigkeitskoeffizienten und den einzelnen über- und unterberechneten Flächenanteilen, sollen Gegenstand des vorliegenden Beitrags sein.

2. Material und Methoden

Einen detaillierten Überblick über die unterschiedlichen Methoden der Beurteilung und

der Darstellung der Gleichmäßigkeit der Regenverteilung geben Mirschel [1] und Gruber [2]. Für die Untersuchungen wurden nur die bekanntesten Bewertungsmethoden aus der Literatur herangezogen. Sie sind wie folgt charakterisiert:

- Der *Uniformitätskoeffizient* (Cu-Wert) nach Christiansen [3] ist international gebräuchlich und wird auch in der Beregnungspraxis vorrangig verwendet. Er wird für die anderen Verfahren als Vergleichsbasis genutzt:

$$Cu = \left(1,0 - \frac{x}{m \cdot n}\right) 100 \% ; \quad (1)$$

x absoluter Wert der Abweichungen der Einzelwerte vom Mittelwert aller Messungen

m Mittelwert aller Messungen
n Anzahl der Einzelwerte.

- Die *relative Standardabweichung der Einzelwerte vom Mittelwert (RSE)* dient zur statistischen Charakterisierung von Normalverteilungen. Sie wird beispielsweise im Pflanzenschutz zur Charakterisierung der Verteilgenauigkeit verwendet:

$$RSE = \frac{S}{\bar{x}} 100 \% ; \quad (2)$$

$$S = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 ;$$

x_i Wert der Einzelmessung
 \bar{x} Mittelwert aller Messungen
n Anzahl der Einzelmessungen
i laufender Index.

- Die Größe der sog. „günstig“ oder *effektiv berechneten Fläche* in bezug zur gesamten Beregnungsfläche. Für diesen Flächenanteil gilt:

$$\bar{H} - a\bar{H} \leq h \leq \bar{H} + a\bar{H}, \quad (0 \leq a \leq 1); \quad (3)$$

\bar{H} mittlere Regenhöhe
h Regenhöhe
a Koeffizient (a = 0,10...0,33).

(In der Literatur wird am häufigsten ein Koeffizient von a = 0,20 verwendet, der im folgenden auch hier benutzt wird.)

- *Flächensummenkurven* geben darüber Auskunft, welche Flächenanteile mit einer bestimmten Regenhöhe bzw. Regenintensität beregnet worden sind.

Zur Quantifizierung der Gleichmäßigkeit der Regenverteilung wurden Untersuchungen am Mittelstrahlregner U64 sowie an Schrägblattdüsen durchgeführt. Die Umrechnung der Einzelbenetzungsflächen in Verbände positionsweise arbeitender Beregnungsanlagen erfolgte für den Regner U64, ausgehend von in Radialsystemen gewonnenen Meßdaten, durch das Rechenprogramm NIRE [4], für die Schrägblattdüsen, deren Daten im Netzgittersystem ermittelt wurden, durch das Rechenprogramm REVE [5]. Zur Umrechnung in Verbände auf kontinuierlich arbeitenden Beregnungsmaschinen wurde das Rechenprogramm NIDU [5] verwendet.

3. Ergebnisse

Die Zusammenhänge zwischen RSE und dem Cu-Wert sind im Bild 1 dargestellt. Dabei wird deutlich, daß sich die positionsweise arbeitenden Beregnungsmaschinen von den kontinuierlich arbeitenden hinsichtlich der Regenverteilung unterscheiden.

Bei gleicher Varianz treten bei letzteren geringe Cu-Werte auf. Innerhalb der Normalverteilung (Cu \geq 70 %) sind diese Differenzen vernachlässigbar. Daraus ist abzuleiten, daß in diesem Bereich sowohl der Cu-Wert als auch RSE die Qualität der Regenverteilung hinreichend genau kennzeichnen. Die im Bild 2 gezeigten Zusammenhänge zwischen dem Cu-Wert und den einzelnen über- bzw. unterberechneten oder effektiv berechneten Flächenanteilen gelten für positionsweise arbeitende Beregnungsmaschinen. Sie sollten vor allem dann genutzt werden, wenn keine vergleichbaren Urdaten vorhanden sind.

Eine wesentlich genauere Charakterisierung der Gleichmäßigkeit der Regenverteilung erfolgt durch Flächensummenkurven. Diese können unter Nutzung der im Rechner gespeicherten Daten bestimmt werden. Flächensummenkurven charakterisieren die Gleichmäßigkeit der Regenverteilung umfassender als Uniformitätskoeffizienten oder Koeffizienten der effektiven Beregnung, da sie die prozentualen Flächenanteile darstellen,

Bild 1. Zusammenhang zwischen dem Uniformitätskoeffizienten nach Christiansen (Cu-Wert) und der relativen Standardabweichung der Einzelwerte vom Mittelwert (RSE) für verschiedene Rechenprogramme zur Umrechnung von Einzelbenetzungsflächen in Verbände;

positionsweise arbeitende Beregnungsmaschinen

a Programm NIRE nach [4],

Cu = 100,42 - 0,8314 RSE,

B = 0,9901

b Programm REVE nach [5],

Cu = 100,83 - 0,8804 RSE,

B = 0,9753

c Programm NIDU nach [6],

Cu = 124,58 - 1,8614 RSE + 0,0103 RSE²,

B = 0,9240

kontinuierlich arbeitende Beregnungsmaschinen

d Programm NIDU nach [5],

Cu = 99,27 - 0,9705 RSE,

B = 0,9761

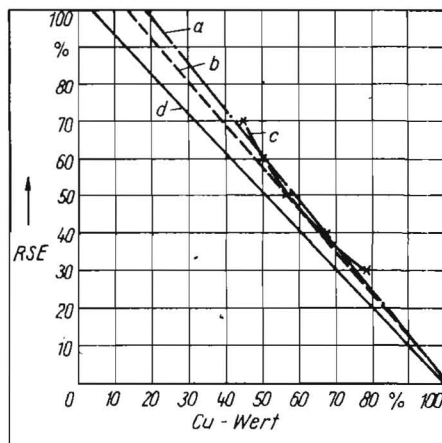


Bild 2. Beziehungen zwischen dem Uniformitätskoeffizienten nach Christiansen (Cu-Wert) und den entsprechend berechneten Flächenanteilen nach dem Rechenprogramm REVE für positionsweise arbeitende Beregnungsmaschinen;

a unberechnet, h = 0

y = 55,418 - 0,758 x (50 \leq y \leq 87,5),

B = 0,8537

b unterberechnet, h < 0,8 \bar{H}

y = 67,873 - 0,630 x (70 \leq y \leq 87,5),

B = 0,7318;

y = 6,804 + 0,221 x (50 \leq y < 70),

B = 0,5123

c günstig beregnet, h = (0,8...1,2) \bar{H}

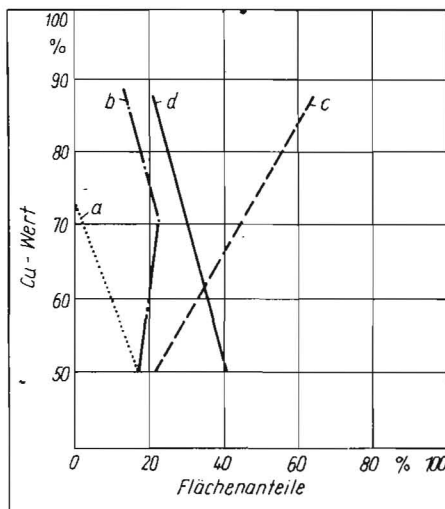
y = 1,15 x - 35,64 (50 \leq y \leq 87,5),

B = 0,9069

d überberechnet, h > 1,2 \bar{H}

y = 66,89 - 0,526 x (50 \leq y \leq 87,5),

B = 0,7228



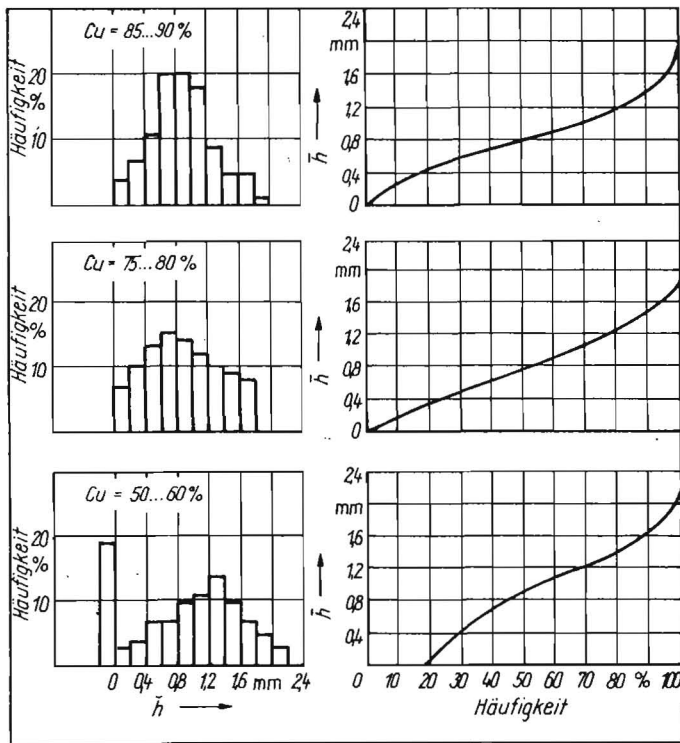


Bild 3 Häufigkeitsverteilung und Flächen-summenkurven in Abhängigkeit von der Gleichmäßigkeit der Regenverteilung

vom Parzellenrand aus erfolgen. Entsprechend der einseitig gerichteten Wurfweite der Schrägblattdüsen wurde ein Rechteckverband mit wechselnder Wurfriechtung ausgewählt. Mit dem Rechenprogramm REVE wurden Digitalgrafiken verschiedener Verbände (Bild 4) sowie die entsprechenden Flächen-summenkurven und Cu-Werte berechnet. Die Ergebnisse nach Bild 5 zeigen, daß Verbände mit einem Vorschub von 11 m zwar die entsprechende Regenintensität, aber nicht die geforderte Gleichmäßigkeit der Regenverteilung realisieren. Dementsprechend wurde ein Verband mit einem Vorschub von 16 m und einem wechselseitigen Düsenabstand von 4 m auf der Rohrleitung ausgewählt. Bei einem Cu-Wert von 83,55% wird damit auf 90% der berechneten Fläche eine Regenintensität < 60 mm/h erreicht.

4. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Der Cu-Wert hat sich zur Beurteilung der Qualität der Regenverteilung von Regnerverbänden international durchgesetzt. Allerdings kann über ihn nicht unmittelbar auf den Mehrertrag geschlossen werden. Voraussetzung dafür ist die Kenntnis der effektiv berechneten, unter- bzw. überberechneten Flächenanteile. Diese Flächenanteile können mit den Rechenprogrammen zur Bestimmung des Cu-Wertes ermittelt werden. Zwischen Cu-Wert, der relativen Standardabweichung der Einzelwerte vom Mittelwert (RSE) und den über- bzw. unterberechneten und effektiv berechneten Flächenanteilen gibt es statistisch gesicherte Zusammenhänge, wobei aber eine Normalverteilung vorausgesetzt werden muß.

Flächensummenkurven charakterisieren die Gleichmäßigkeit der Regenverteilung umfassender als statistische Koeffizienten, da sie die prozentualen Flächenanteile darstellen, die mit einer bestimmten Regenintensität beregnet werden. Sie können unabhängig von der Verteilungsfunktion auch mehrgipflige Verteilungen beschreiben. Zur Charakterisierung der Regenverteilung durch Flächensummenkurven ist eine grafische Darstellung notwendig. Für die Beurteilung und standortgerechte Anpassung von Beregnungssystemen sollten zukünftig neben dem Cu-Wert auch die entsprechenden Flächensummenkurven herangezogen werden.

die mit einer bestimmten Regenintensität beregnet worden sind. Außerdem werden unabhängig von den Verteilungsfunktionen auch mehrgipflige Verteilungen einbezogen (Bild 3). Zur Charakterisierung der Regenverteilung durch Flächensummenkurven ist allerdings eine grafische Darstellung notwendig. Die Beurteilung der Gleichmäßigkeit der Regenverteilung durch Flächensummenkurven

soll an einem praktischen Beispiel erläutert werden:

Zur ununterbrochenen Beregnung von Versuchspartzellen durch Sprühdüsen mit vorgegebenen Abmessungen (Vorschub 11 m und 16 m) sind günstige Verbandsabmessungen zu finden. Dabei sollten auf 90% der zu beregnenden Fläche eine Regenintensität < 60 mm/h sowie ein Cu-Wert $\geq 80\%$ realisiert werden. Die Beregnung soll möglichst

Bild 4. Digitalgrafik für einen Rechteckverband mit wechselnder Wurfriechtung (16 m x 4 m) von Schrägblattdüsen (Düsendurchmesser 6,0 mm, Druck 0,15 MPa)

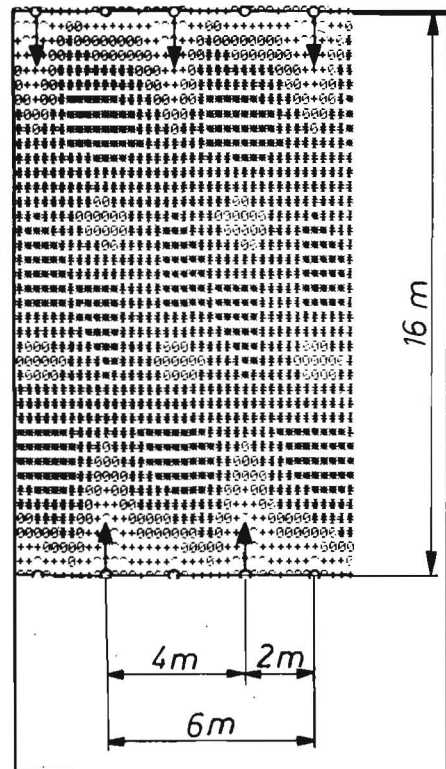
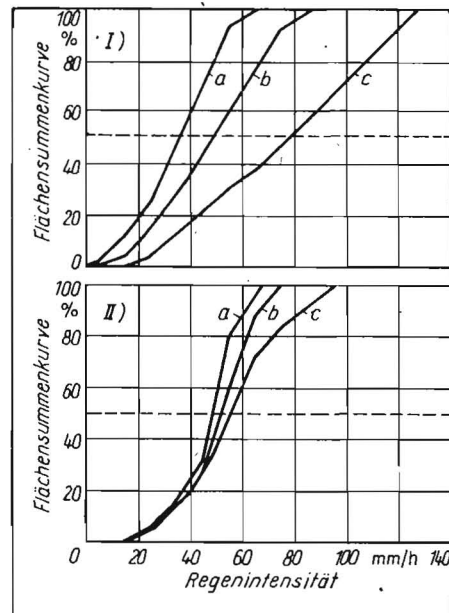


Bild 5. Einschätzung der Qualität der Regenverteilung von Schrägblattdüsen (Düsendurchmesser 6,0 mm, Druck 0,15 MPa) im Rechteckverband mit wechselnder Wurfriechtung durch Flächensummenkurven;

- I) Tiefe 11 m; a) Breite 4 m (Cu = 66,51%), b) Breite 3 m (Cu = 67,54%), c) Breite 2 m (Cu = 65,16%)
- II) Breite 2 m; a) Tiefe 16 m (Cu = 83,55%), b) Tiefe 15 m (Cu = 82,08%), c) Tiefe 14 m (Cu = 77,05%)



Literatur

- [1] Mirschel, W.: Theorie und Modell zur Berechnung der Niederschlagsverteilung von Drehstrahlregnern. AdL der DDR Berlin, Dissertation A 1982.
- [2] Gruber, E.: Zur Gleichmäßigkeit der Niederschlagsverteilung bei der Beregnung von Feldversuchsflächen. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Dissertation A 1984.
- [3] Christiansen, J. E.: Irrigation by sprinkling (Bewässerung durch Beregnung). California Agricultural Experiment Station, Bull. 670 (1942) S. 75-100.
- [4] Weißhaupt, F.: Die Wasserverteilung von Regnern im Verband mit Berechnungsgrundlagen für Bemessungen. AdL der DDR Berlin, Dissertation A 1976.
- [5] Balla, H.: Untersuchungen von Niederdruckdüsen, besonders zum Einsatz auf kontinuierlich arbeitenden Beregnungsmaschinen. AdL der DDR Berlin, Dissertation A 1984.
- [6] Frielinghaus, M.: Zur Bewertung der Gleichmäßigkeit der Niederschlagsverteilung mit Hilfe des Cu-Wertes. agrartechnik, Berlin 37 (1987) 10, S. 467-468. A 5195