

Zur Bewertung der Flächenverteilung von Saatgut *On Assessing Seed Distribution over Area*

Hans-Werner Griepentrog

The Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen

Kurzfassung: Die Ablagequalität von Sämaschinen beeinflusst den Feldaufgang und die Pflanzenentwicklung und damit auch den Flächenertrag. Zur Bewertung der Ablagequalität ist neben der Tiefenablage die horizontale Flächenverteilung zu berücksichtigen. Eine Optimierung der Pflanzenabstände erhöht Feldaufgang und Ertrag, indem Konkurrenzeffekte um die Wachstumsfaktoren Licht, Wasser und Nährstoffe minimiert werden. Die Flächenverteilung von Saatgut ist abhängig von der Längsverteilungsqualität der Sämaschine, vom Reihenabstand und von der Aussaatmenge als nichttechnischem Parameter. Diese drei Parameter bestimmen die Qualität der Flächenverteilung und damit die für jede Pflanze zur Verfügung stehende Standfläche bzw. den Entwicklungsraum. Es wird ein Verfahren zur Darstellung und Bewertung von Flächenverteilungen beschrieben, das über eine Polygonzerlegung Einzelstandflächen definiert und die Parameter Längsverteilung, Reihenabstand und Aussaatmenge berücksichtigt. Ergebnisse von Flächenverteilungen für Raps, Weizen und Mais werden gezeigt.

Deskriptoren: Sätechnik, Flächenverteilung, Arbeitsqualität

Abstract: The placing quality of seeders influences field emergence, plant development and hence also the crop yield. To assess placing quality, not only the seeding depth, but also the horizontal distribution over the area must be taken into consideration. Optimising plant distances increases field emergence and yield, whereby the competition effects for growth factors, light, water and nutrients, are minimised. The seed distribution over the area depends on the quality of longitudinal distribution and on row width, but also on seed rate, as a non-technical parameter. These three parameters determine the quality of horizontal seed distribution and hence the available single area for plant growth and development. A method for presentation and assessment of area distribution is described, that defines the single plant area via polygon reduction and takes into consideration the longitudinal distribution, row width and seed rate parameters. Horizontal seed distributions for rape, wheat and maize are assessed and presented.

Keywords: Sowing technique, distribution over the area, work quality

1 Einleitung

Die Flächenverteilung von Saatgut stellt eine grundlegende, produktionstechnische Maßnahme dar, mit der direkt in Prozesse der Ertragsbildung eingegriffen wird [1]. Drillmaschinen legen die Körner nicht in gleichen Abständen in der Saatreihe ab: Die Verteilung in der Reihe unterliegt nicht einer Normalverteilung, sondern sie entspricht meist einer Exponentialverteilung [2, 3, 4]. Je nach Maschinen- oder Saatguttyp können die Abweichungen von dieser Exponentialverteilung jedoch auch beträchtlich sein [4].

Bei Einzelkornsämaschinen ergibt sich für die Kornabstände eine Zusammensetzung aus mehreren Normalverteilungen, da Zellenbelegung und Feldaufgang immer

zu Leer- und Fehlstellen führen und sich dadurch Abstände als Vielfaches des eingestellten Abstandes ergeben [5]. Es resultiert daraus eine mehrgipfelige Normalverteilung.

Kennzahlen zur Beschreibung der Längsverteilungsqualität gelten heute indirekt auch als Maßstab zur Bewertung der Flächenverteilung. Nachteilig bei einem solchen Vorgehen ist das Ausschließen der anderen relevanten Parameter wie Reihenabstand und Aussaatmenge. Trotzdem werden diese Kennzahlen zur Bewertung der Arbeitsqualität von Sämaschinen herangezogen, obwohl ein direkter vergleichender Gebrauch nur bei gleichen Aussaatmengen und Reihenabständen korrekt bzw. sinnvoll ist. Eine allgemeine Kennzahl, die direkt

die Gleichmäßigkeit einer Flächenverteilung in einer absoluten Skala kennzeichnet, fehlt bisher.

Bei der Aussaat ist es durch Verringern des Reihenabstandes möglich, den relativen Feldaufgang zu erhöhen, da hierdurch die Abstände in der Reihe vergrößert und die Keimbehinderungen der einzelnen Körner reduziert werden. Durch geringere Reihenabstände wird in der Regel auch die Flächenverteilung verbessert. Aufgrund dieses Effektes wird ein möglichst geringer Reihenabstand angestrebt.

Die Aussaatmenge als nicht-technischer Parameter beeinflusst die Flächenverteilung, da beispielsweise bei gleichem Reihenabstand durch Erhöhen der Aussaatmenge der mittlere Abstand in der Reihe verringert wird, was gleichzeitig eine schlechtere Flächenverteilung ergibt.

Die Querverteilung hat ebenfalls direkten Einfluß auf die Güte der Flächenverteilung. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, daß bei störungsfreiem Betrieb der Sämaschine eine gleichmäßige Querverteilung gegeben ist. Die Querverteilung soll im folgenden nicht näher betrachtet werden, da sie als Parameter üblicherweise nicht bewußt variiert wird. Demgegenüber können Parameter wie die Güte der Längsverteilung, der Reihenabstand und die Aussaatmenge verändert werden, um eine bestimmte Anbaustrategie zu verfolgen.

Eine Methode zur Beschreibung der Qualität von Flächenverteilungen sollte in der Lage sein, die standflächenspezifischen Gegebenheiten zu berücksichtigen, indem die Parameter Längsverteilung, Reihenabstand und Aussaatmenge einbezogen werden.

Kennzahlen, die nur einen mittleren Abstand zu einem Nachbarn kennzeichnen, sind zur Beschreibung von Flächenverteilungen nur begrenzt geeignet, da sie die standflächenspezifischen Gegebenheiten nicht erfassen, wenig anschaulich sind und sich als Grundlage für weitergehende statistische Analysen oder Modellbildungen nicht eignen [2, 6]. Diese Kennzahlen gelten jedoch als erster Ansatz zur Beschreibung von Flächenverteilungen, obwohl sie keine wirklichen zweidimensionalen Eigenschaften aufweisen.

2 Polygonzerlegung

2.1 Bestimmung von Polygonen

Um eine Beschreibung und Bewertung der Konkurrenzsituation in einem Pflanzenbestand zu ermöglichen, muß auf die spezifischen Standflächen eingegangen werden. Die Standfläche wird von allen in der Nähe einer Referenzpflanze stehenden Nachbarpflanzen begrenzt. Sie wird im Bestand ausnahmslos von mehreren Pflanzen gebildet. Nur den Abstand zu der nächsten - d.h. zu der Nachbarpflanze mit dem geringsten Abstand - zu berücksichtigen, erfaßt nicht ausreichend die Standflächensituation in einem Pflanzenbestand, da sowohl die Pflanzenwurzeln als auch die Pflanze selbst auch bei nicht mittlerer Position in der Standfläche in den freien Raum hineinwachsen kann.

Diese Einzelstandflächen weisen in guter Annäherung die Form eines Vielecks oder Polygons auf. Standflächenbedingte Konkurrenzsituationen in Pflanzenbeständen werden in der Pflanzenökologie bereits mit Polygonmodellen beschrieben [7, 8]. Eine Übertragung dieses methodischen Ansatzes auf Probleme der Bestandesetablierung in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion liegt deshalb nahe.

Für die Berechnung der Polygonflächen ist entscheidend, welche Pflanzen in der Nähe einer Referenzpflanze als Nachbarn anzusehen und für die Bildung des Polygons bzw. der Standfläche relevant sind. Hierfür eignen sich die Delaunay-Triangulation und die Voronoi- oder Thiessen-Polygonzerlegung [9].

Infolge der Delaunay-Triangulation sind drei Punkte als Nachbarn anzusehen, deren gemeinsam gebildeter Kreis keinen weiteren Punkt einschließt. Nach Voronoi gelten die Punkte als Nachbarn, deren Polygone infolge der Polygonzerlegung eine gemeinsame Seitenkante aufweisen. Beide Verfahren sind beispielhaft für 16 Punkte in Bild 1 dargestellt.

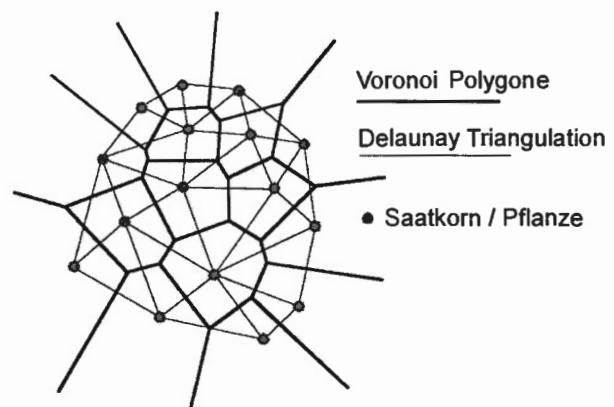


Bild 1: Polygonzerlegung nach Voronoi und Delaunay Triangulation

Fig. 1: Voronoi polygon segmentation and Delaunay triangulation

Deutlich erkennbar ist, daß beide Methoden dieselben Punkte als Nachbarn ermitteln. Der Unterschied liegt jedoch in dem sich für gleiche Punktverteilungen ergebenden geometrischen Muster.

Für die zu beschreibende standflächenbedingte Konkurrenz zwischen Pflanzen ist die Polygonzerlegung von größerer Bedeutung, weil Polygone in Größe und Form den realen Standflächen am ähnlichsten sind. Beide Verfahren sind jedoch zur Lösung des Problems, wer für wen als standflächenbegrenzender Nachbar gilt, geeignet.

Die Methode der Polygonzerlegung ist unabhängig von der Saatmethode. Sie kann auf Reihen-, Band- oder Breitsaaten angewendet werden, wenn die Lagekoordinaten der Saatkörner bzw. Pflanzen bekannt sind. Auch Kornabstandsmessungen im Rahmen von Untersuchungen an Sämaschinen können als Grundlage zur Berechnung von Polygonverteilungen herangezogen werden. Dies erfolgte vornehmlich in dieser Untersuchung.

Die beschriebene Methode zur Darstellung von Standflächen bietet die Möglichkeit, die erzeugten Daten numerisch auszuwerten und als Ausgangssituation für weitere Modellbildungen anzusehen. Sie weist insbesondere den Vorteil auf, sehr anschaulich zu sein und erleichtert damit eine pflanzenbauliche Interpretation. Fortführende und auf diesem Verfahren aufbauende Untersuchungen erfolgten bereits und gingen der Frage über den Einfluß der Qualität der Flächenverteilung auf den Ertrag nach [10, 11, 12].

2.2 Polygoneigenschaften

Für die Standfläche einer Pflanze die mit einem Polygon beschrieben wird, sind insgesamt drei Eigenschaften von besonderem Interesse: Die Größe und die Form der Fläche, aber auch die Position der Pflanze im Polygon, die sogenannte Exzentrizität.

Inwieweit die einzelne Pflanze die zur Verfügung stehende Standfläche nutzen kann, hängt sehr stark von deren Kompensationsvermögen ab. Hier reagieren die Kulturpflanzen sehr unterschiedlich [1]. Beispielsweise kann sich Raps, aber auch Getreide wesentlich besser an ungünstige Standflächenverhältnisse anpassen als Mais. Grund hierfür ist die unterschiedliche Fähigkeit der Pflanzen sich zu verzweigen bzw. zu bestocken.

2.2.1 Polygongröße

Für Feldaufgang und Entwicklung der Pflanzen ist die Größe der zur Verfügung stehenden Fläche als bedeu-

tendster Parameter zu nennen. Gleiche Aussaatmengen bewirken die selbe mittlere Polygongröße. Statistische Auswertungen zeigen jedoch, daß die Streuung bzw. Verteilung der Polygongröße abhängig von der Güte der Längsverteilung und Größe des Reihenabstandes der Sätechnik ist [10, 11, 12]. Untersuchungen belegen außerdem, daß die Polygongröße und deren Verteilung Einfluß auf die Pflanzenentwicklung und damit auch auf den Ertrag hat [8].

2.2.2 Polygonform

Gleiche Polygongrößen können sich in der Form der Standfläche unterscheiden [13]. Die Form einer Standfläche kann ebenfalls die Pflanzenentwicklung beeinflussen. Die ideale Standfläche einer Pflanze hat die Form eines Kreises. Kreisförmige Standflächen treten in einem realen Pflanzenbestand jedoch nicht auf. Betrachtet man die bestmögliche Saatgut- und Pflanzenverteilung, so stellt sich bei der Gleichstandsart im Quadratverband für die Einzelpflanze als Standfläche ein Quadrat und im Dreieckverband ein regelmäßiges Sechseck oder Hexagon ein, siehe Bild 2.

Da ein Hexagon für einen realen, bestehenden Bestand die ideal mögliche Standfläche darstellt und einer kreisförmigen Standfläche sehr nahe kommt, soll das Verhältnis der Umfänge von idealer hexagonaler zu realer polygonaler Standfläche gebildet werden, um als Kennzahl zur Beschreibung der Abweichung von der idealen Standfläche zu gelten.

Nach einer erfolgten Polygonzerlegung kann aus den Daten für Polygonfläche und -umfang ein mittleres Verhältnis berechnet werden, das im folgenden als Formfaktor \bar{R}_U bezeichnet wird.

$$\bar{R}_U = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{U_{ideal,i}}{U_{real,i}}$$

U_{ideal} : Umfang ideal (Hexagon)

U_{real} : Umfang real (Polygon)

mit $U_{ideal} = 3,7224 \cdot \sqrt{A_i}$

A_i : Polygonflächengröße

2.2.3 Exzentrizität

Für die Exzentrizität - die Position der Pflanze im Polygon - konnte bisher noch keine Kennzahl gefunden werden. Sie ist jedoch für die Pflanzenentwicklung weniger bedeutend als die Standflächengröße und -form.

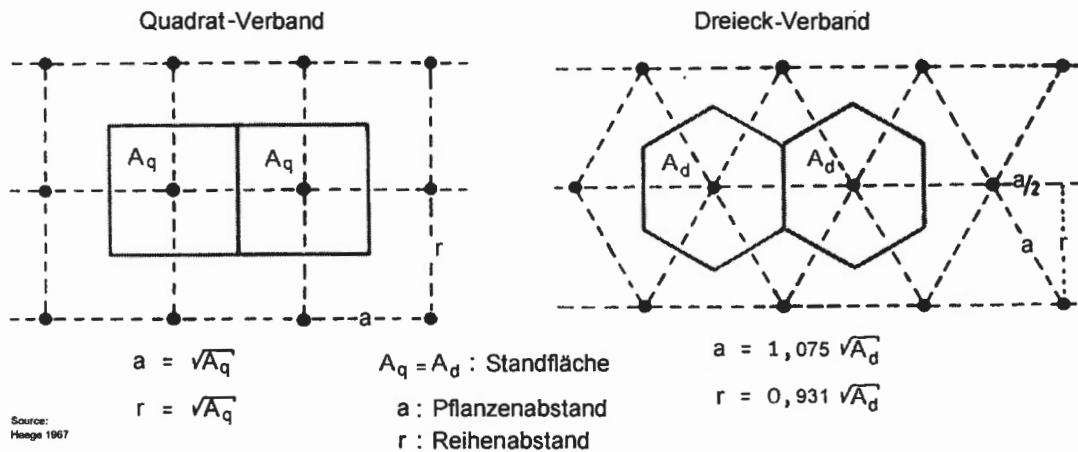


Bild 2: Standflächen von Einzelpflanzen bei Gleichstandsamt im Quadrat- und Dreieckverband, nach [2] geändert
 Fig. 2: Single plant spaces for equidistant sowing in square and triangular patterns, modified from [2]

2.3 Datenverarbeitung

Mit den Datensätzen der Punktkoordinaten der Saatkörner oder Pflanzen kann eine Polygonzerlegung über Computerprogramme durchgeführt werden [14, 15, 16]. Heute verfügbare Software zur Bearbeitung von Aufgaben im Rahmen von Precision Farming - sogenannte geografische Informations-Systeme (GIS) - sind in der Lage auch mathematische Prozeduren für solche Anwendungen zur Verfügung zu stellen. Modular aufgebaute Programme lassen sich für spezifische Probleme konfigurieren und sind auch auf üblichen Bürocomputern lauffähig.

Datengrundlage für die Flächenkoordinaten der Saatkörner sind Kornabstandsmessungen aus Untersuchungen an Drillmaschinen [4] und aus Maschinenprüfungen der DLG-Prüfstelle für Landmaschinen [17].

Die Untersuchungen wurden mit Daten aus Kornabstandsmessungen der Früchte Raps, Weizen und Mais durchgeführt. Die Parameter sind in **Tabelle 1** dargestellt. Gemessen wurde jeweils an einem Scharauslauf verschiedener Sämaschinen. Zur Erzeugung zweidimensionaler Verteilungen wurden die Daten der Kornabstände einer Reihe in Abschnitte geteilt und mit einem be-

stimmten Reihenabstand aneinandergelagt. Dabei war der Reihenabstand konstant, da von der Linientreue der relevanten Pflanzen auch auf dem Feld ausgegangen werden kann.

Aus Platzgründen werden im Ergebnisteil nur die Ergebnisse für die mittleren Saatmengen angeführt.

3 Ergebnisse

Drei Beispiele einer Polygonzerlegung für Raps sind in **Bild 3** dargestellt. Angegeben ist der Variationskoeffizient (VK), der die Gleichmäßigkeit der Längsverteilung beschreibt. Der VK-Wert von 58 % stellt dabei eine sehr gute bzw. sehr präzise Längsverteilung dar, was eine sehr deutliche Auswirkung auf die Gleichmäßigkeit der Flächenverteilung hat, erkennbar an den gleichmäßigen Polygonflächen bzw. Einzelstandflächen. Das mittlere Verteilungsmuster mit einem VK von 101 % stellt die Arbeitsqualität einer konventionellen und üblichen Sätechnik mit guter mechanischer oder pneumatischer Arbeitsweise dar, während das untere Bild (VK=150 %) von einer schlecht arbeitenden Sämaschine stammt und sehr ungleichmäßige Einzelstandflächen hervorbringt.

Tabelle 1: Varianten der Versuchsparameter

Table 1: Variants of trial parameters

	Raps	Weizen	Mais
Saatmenge [1/m ²]	40, 60, 80	240, 300, 360	9, 11, 13
Reihenabstand [cm]	6, 12, 18	6, 12, 18	35, 55, 75
Qualität der Längsverteilung	50, 100, 150 VK* [%]	50, 100, 150 VK* [%]	17, 27, 36 s** [mm]

*: Variationskoeffizient, **: Standardabweichung

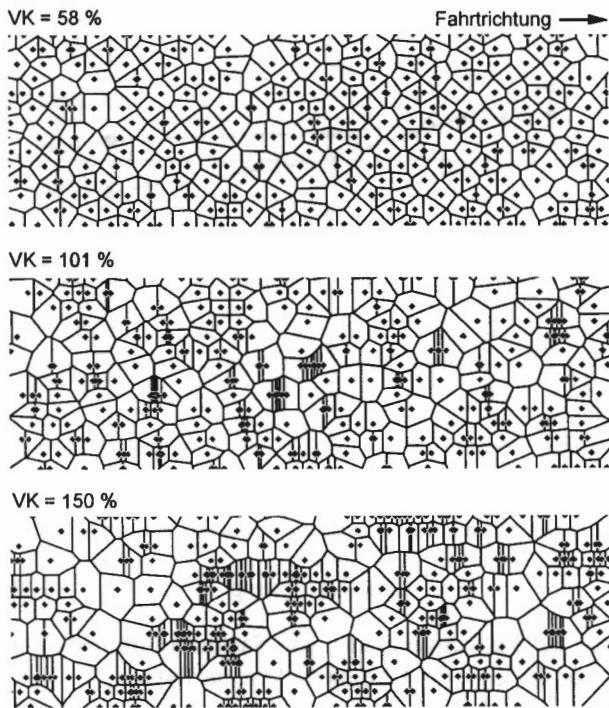


Bild 3: Flächenverteilung von Rapssaatgut für drei Längsverteilungsqualitäten (VK) mit 10 cm Reihenabstand und einer Aussaatmenge von 60 Samen/m²

Fig. 3: Distribution over the area for three longitudinal distributions (cv) with 10 cm row width and seeding rate of 60 seeds/m²

Bei der Rapsaussaat weist die Gleichmäßigkeit der Kornabstände mit heutiger Bestelltechnik einen VK von 100 bis 120 % aus. Diese Ergebnisse werden im Rahmen von Landmaschinenprüfungen als gute Arbeitsqualität bewertet [19]. Ein VK von 150 % bedeutet jedoch eine sehr schlechte Aussaatqualität, was sich durch deutliche Körnerhäufungen und größere Lücken in der Reihe bemerkbar macht [3, 4]. Ideale und sehr gleichmäßige Flächenverteilungen lassen sich nur mit einer Gleichstandsaat erreichen. Die Gleichstandsaat kann mit Pflanzen im Rechteck- oder Dreieckverband entstehen. Solche idealen und sehr gleichmäßigen Korn- oder Pflanzenabstände erreichen einen VK - der für die Längsverteilungsgüte steht - von kleiner als 5 %. Der Wert des Formfaktors für die gleichmäßige Aussaat im Dreieckverband beträgt 1 und im Quadratverband 0,931. Für

nichtsynchronisierte Säaggregate und Gleichstandsaat würden sich Standflächen ergeben, die zwischen einem Dreieck- und Quadratverband wechseln und einen mittleren Formfaktor zwischen 0,931 und 1 aufweisen.

In Bild 4 ist ein Beispiel einer Polygonzerlegung angeführt. Deutlich erkennbar sind die unterschiedlichen Standflächengrößen, -formen und die Position der Saatkörner im Polygon.

Der Formfaktor als Gütekennzahl der Flächenverteilung ist beispielhaft in Bild 5 für Raps mit einer Aussaatmenge von 60 Körnern/m² in Abhängigkeit von der Güte der Längsverteilung und des Reihenabstandes dargestellt. Das gesamte Niveau der sich ergebenden Qualität der Flächenverteilung ist relativ hoch (Formfaktor > 0,7). Dieses ist darauf zurückzuführen, daß für eine Saattiefe von 60 Körnern/m² und einem mittleren Reihenabstand von 12 cm sich bereits ein günstiges Verhältnis von mittlerem Kornabstand in der Reihe zum Reihenabstand ergibt.

Das Verringern des Reihenabstandes und das Verbessern der Längsverteilung bewirkt eine gleichmäßigere Flächenverteilung. Ein geringerer Reihenabstand verbessert jedoch nicht immer die Flächenverteilung: Mit einer Einzelkornsaat (VK=50 %) kann mit 6 cm auch ein optimaler Reihenabstand von 12 cm unterschritten werden, was eine Verschlechterung der Flächenverteilung bedeutet. Der Formfaktor erreicht ein Maximum von 0,94 bei 12 cm und VK=50 %.

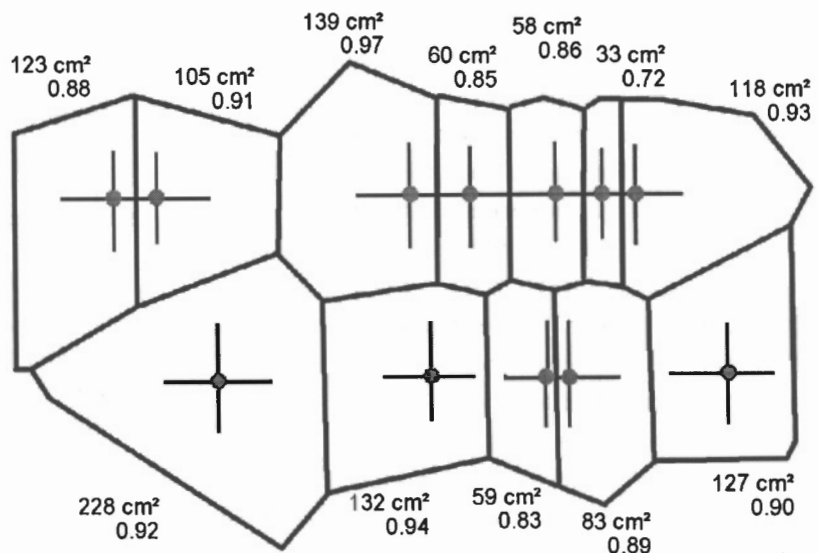


Bild 4: Beispiel einer Polygonzerlegung für Raps mit Angabe der Polygongröße und des Formfaktors

Fig. 4: Example of polygon segmentation for rape with specification of polygon size and shape ratio

Ein Standardwert einer heute üblichen Sätechnik liegt bei 0,85 für den Formfaktor mit 12 cm Reihenabstand und VK=100 % für die Qualität der Längsverteilung.

Infolge des Trends zu größeren Reihenabständen bei konservierenden Bestellverfahren wird beispielsweise durch Vergrößern der Reihenabstände von 12 auf 18 cm die Güte der Flächenverteilung verringert. Es kann mit der beschriebenen Methode nun bestimmt werden, wie stark die Qualität der Längsverteilung verbessert werden muß, um wieder zu einer üblichen Flächenverteilung wie mit 12 cm zurückzugelangen. Dazu wird der Schnittpunkt des Formfaktors von 0,85 mit dem Reihenabstand von 18 cm bestimmt und auf die X-Achse bezogen. Die Längsverteilung muß auf einen VK von 65 % verbessert werden, um auf die ursprüngliche Güte von 12 cm Reihenabstand zu gelangen.

In Bild 6 ist der Formfaktor als Gütekennzahl der Flächenverteilung für Weizen mit einer Aussaatmenge von 300 Körnern/m² in Abhängigkeit von der Güte der Längsverteilung und des Reihenabstandes dargestellt.

Im Vergleich zur Flächenverteilung von Raps fällt auf, daß für Weizen mit einem üblichen Reihenabstand von 12 cm und üblicher Längsverteilungsgüte von VK=100 % der Formfaktor mit 0,66 deutlich unter dem vergleichbaren Wert von Raps liegt. Das liegt hauptsächlich darin begründet, daß mit einer Saatmenge von 300 Körnern/m² sich ein ungünstigeres Verhältnis von Reihenabstand zu mittlerem Abstand in der Reihe ergibt.

Deutlich erkennbar ist ebenfalls, daß die Variation des Reihenabstandes einen größeren Effekt auf die Flächenverteilung hat als die Qualität der Längsverteilung. Dieses wird auch dadurch deutlich, daß es bei größeren Reihenabständen, wie z. B. 18 cm, durch eine Verbesserung der Längsverteilung nicht mehr möglich ist, die gleiche Güte der Flächenverteilung wie mit 12 cm Reihenabstand zu erreichen.

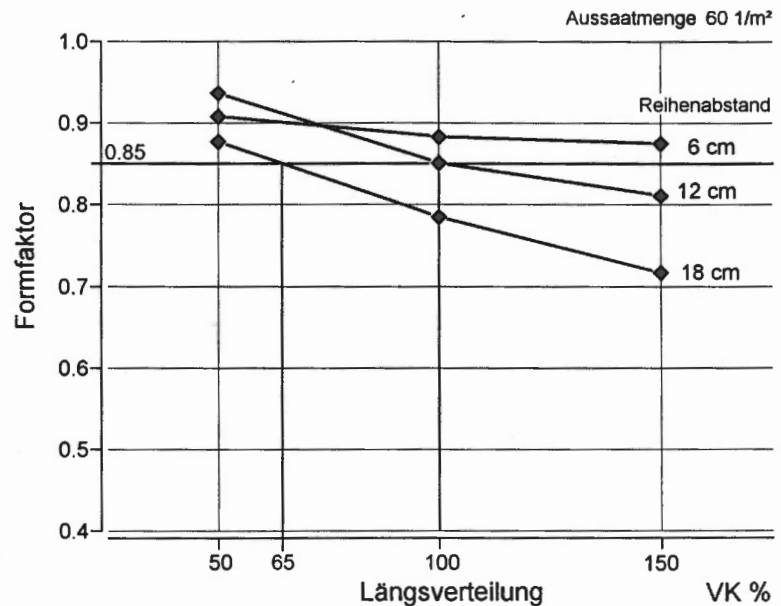


Bild 5: Qualität der Flächenverteilung von Saatgut (Formfaktor) in Abhängigkeit von der Güte der Längsverteilung für Raps

Fig. 5: Quality of seed distribution over the area (shape ratio) versus quality of longitudinal distribution for rape

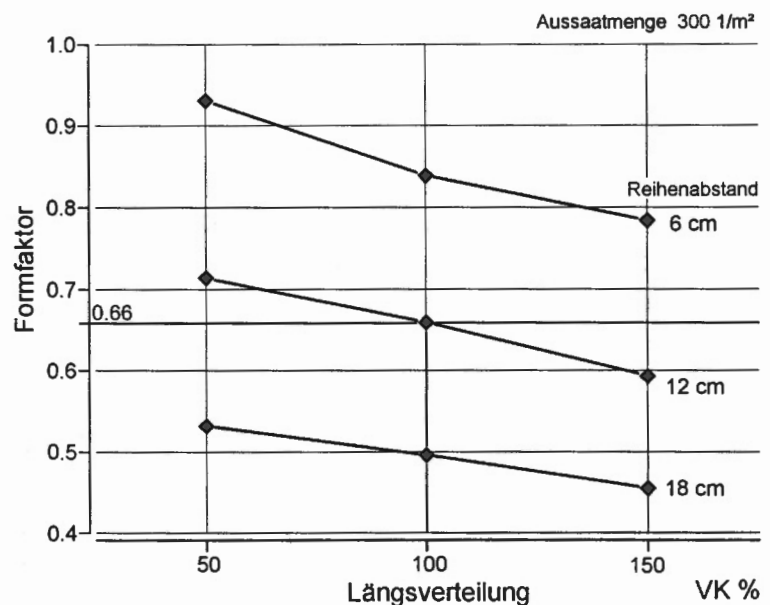


Bild 6: Qualität der Flächenverteilung von Saatgut (Formfaktor) in Abhängigkeit von der Güte der Längsverteilung für Weizen

Fig. 6: Quality of seed distribution over the area (shape ratio) versus quality of longitudinal distribution for wheat

Beim Anbau von Mais ist heute hauptsächlich aufgrund des Ernteverfahrens immer noch der relativ hohe Reihenabstand von 75 cm üblich, obwohl auch reihenunabhängige Ernteverfahren verfügbar sind. Mit diesem Reihenabstand und einer Aussaatmenge von 11 Körnern/m² ergibt sich eine Flächenverteilung mit einem Formfaktor von 0,64, siehe Bild 7.

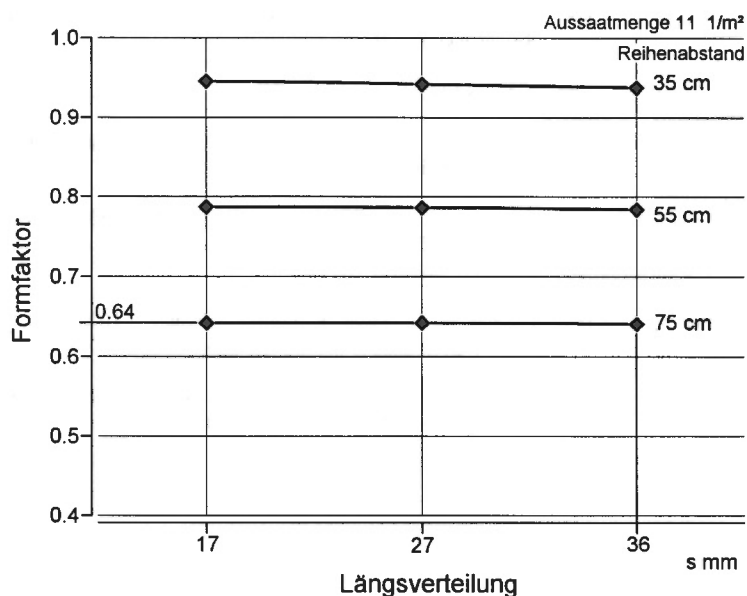


Bild 7: Qualität der Flächenverteilung von Saatgut (Formfaktor) in Abhängigkeit von der Güte der Längsverteilung für Mais

Fig. 7: Quality of seed distribution over the area (shape ratio) versus quality of longitudinal distribution for maize

Dies bedeutet, daß für das Standardsäverfahren für Mais eine ähnlich ungünstige Verteilungsgüte wie bei Weizen (0,66) erreicht wird.

Aus Feldversuchen ist bekannt, daß mit niedrigeren Reihenabständen bei Mais der Ertrag zum Teil erheblich gesteigert werden kann [18]. Dies liegt hauptsächlich daran, daß die Standflächenverhältnisse sich wesentlich verbessern und die Maispflanzen aufgrund ihrer relativ geringen Kompensationsfähigkeit bessere Entwicklungsmöglichkeiten haben. Aus Bild 7 kann dieses nachvollzogen werden, da die Verringerung des Reihenabstandes von 75 cm auf 55 cm oder sogar 35 cm eine wesentlich gleichmäßigere Flächenverteilung bewirkt: Der Formfaktor erreicht hier einen Wert von 0,78 und 0,94.

Ein interessantes weiteres Ergebnis ist, daß die Qualität der Längsverteilung auf die Flächenverteilung im betrachteten Bereich keinen Einfluß hat. Die Längsverteilungsqualität ist in Bild 7 mit der Standardabweichung s dargestellt, wobei ein Wert von 17 mm von Landmaschinenprüfstellen als eine sehr gute Ablagegenauigkeit betrachtet wird und ein Wert von 36 mm als eine sehr schlechte [19].

4 Zusammenfassung

Die Tiefenablage und die Flächenverteilung beeinflussen sowohl den Feldaufgang als auch den Ertrag von landwirtschaftlichen Nutzpflanzen. Die Qualität der Flächenverteilung von Saatgut oder Pflanzen konnte bisher

nicht erfaßt werden. Zur Beschreibung der Verteilungsgüte wurde deshalb nur die Qualität der Längsverteilung herangezogen, was jedoch nur bei gleichem Reihenabstand und gleicher Aussaatmenge sinnvoll ist. Ein allgemeiner Parameter zur Bewertung von Flächenverteilungen fehlte bisher.

Eine Einzelstandflächenanalyse basierend auf Polygonzerlegungen kann Parameter zur Bewertung der Flächenverteilung liefern. Einzelstandflächen berechnet aus Polygonzerlegungen können verglichen mit einer idealen hexagonalen Standfläche einen sogenannten Formfaktor bilden, der allgemein als Parameter zur Beschreibung der Qualität von Flächenverteilungen gelten kann. Es werden dabei alle relevanten Parameter wie Reihenabstand, Längsverteilung und Aussaatmenge einbezogen.

Säverfahren mit Ablagetechniken, die unterschiedliche Reihenabstände aufweisen, können somit auch bei verschiedenen Aussaatmengen hinsichtlich ihrer Güte der Flächenverteilung verglichen und bewertet werden.

Polygonzerlegungen können darüber hinaus als Grundlage für Modellbildungen genutzt werden, beispielsweise zur Beschreibung standflächenspezifischer Konkurrenzeffekte.

5 Literatur

- [1] Geisler, G. (1983): Ertragsphysiologie von Kulturarten des gemäßigten Klimas. Parey Verlag, Berlin/Hamburg
- [2] Heege, H. J. (1967): Die Gleichstand-, Drill- und Breitsaat des Getreides unter besonderer Berücksichtigung der flächemäßigen Kornverteilung. Habilitation, Universität Bonn
- [3] Griepentrog, H.-W. (1991): Zur Bewertung von Längsverteilungen bei Drillmaschinen. Landtechnik 46, H. 11, S. 550-551
- [4] Griepentrog, H.-W. (1994): Saatgutzuteilung von Raps. Forschungsbericht Agrartechnik Nr. 247, Dissertation, Universität Kiel
- [5] Griepentrog, H.-W. (1992): Bewertung von Längsverteilungen bei Einzelkornsämaschinen. Landtechnik 47, H. 3, S. 123-125
- [6] Clark, P.J.; Evans, F.C. (1954): Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations. Journal of Ecology 35, H. 4, S. 445-453
- [7] Mead, R. (1966): A relationship between individual plant and yield. Annals of Botany 30, S. 301-309
- [8] Mithen, R.; Harper, J.; Weiner, J. (1984): Growth and mortality of individual plants as a function of 'available area'. Oecologia 62, S. 57-60

- [9] Green, P.J.; Sibson, R. (1978): Computing dirichlet tessellations in the plane. *Computer Journal* 21, H. 2, S. 168-173
- [10] Griepentrog, H.-W. (1995): Längsverteilung von Sämaschinen und ihre Wirkung auf Standfläche und Ertrag bei Raps. *Agrartechnische Forschung* 1, H. 2, S. 129-136
- [11] Hühn, M. (1999): Theoretical results on the effects of nonregular spatial patterns of plants on yield per area. *Journal of Agronomy and Crop Science* 182 (1) pp. 1-7
- [12] Hühn, M. (1999): Experimental results on the effects of nonregular spatial patterns of plants on yield per area. *Journal of Agronomy and Crop Science* 182 (2) pp. 89-98
- [13] Griepentrog, H.-W. (1998): Seed distribution over the area. Paper No. 98-A-059, AgEng 98, Oslo
- [14] N.N.: Geographic Resources Analysis Support System, GRASS Research Group, Baylor University, Waco, Texas
- [15] N.N.: MATLAB. The Math Works Inc, Natick, MA USA
- [16] Waupotitsch, R. (1992): NCSA MinMaxer. National center for supercomputing applications, Champaign, Illinois
- [17] N.N.: Daten aus Sämaschinenprüfungen. Prüfstelle für Landmaschinen, Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft e.V. (DLG), Frankfurt und Groß-Umstadt
- [18] Schmitt, K.-O.; Fisch, R. (1992): Silomais – Höhere Erträge durch engeren Reihenabstand. *top agrar*, Heft 4, S. 70-71
- [19] N.N.: Prüfrahm Einzelkornsämaschinen. Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft e.V. (DLG), Frankfurt a.M.