

Längsverteilung von Sämaschinen und ihre Wirkung auf Standfläche und Ertrag bei Raps

Longitudinal Distribution of Sowing Machines and its Effect on Single Plant Area and Yield of Colza

Hans-Werner Griepentrog

Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik, Universität Kiel¹

Kurzfassung: Die Ablagequalität von Sämaschinen beeinflusst den Feldaufgang und die Entwicklung von Pflanzen und damit auch den Flächenertrag. Um den Einfluß der Längsverteilung auf den Flächenertrag darzustellen, wurden Daten der maschinenbedingten Standflächenverhältnisse und des Einzelpflanzenenertrages von Rapspflanzen über eine Modellbildung miteinander verrechnet. Die Standflächen der Einzelpflanzen wurden mittels Polygonzerlegung bestimmt, während die Einzelpflanzenenerträge aus der Pflanzenbauforschung übernommen wurden. Gleichmäßige Längsverteilungen ergaben gleichmäßige Standflächenverteilungen und höhere Flächenenerträge. Der Einfluß des Reihenabstandes nimmt mit zunehmender Gleichmäßigkeit der Längsverteilung ab.

Deskriptoren: Sätechnik, Raps, Längsverteilung, Standflächen, Einzelpflanzenenertrag, Flächenertrag

Abstract: *Seed placement accuracy of sowing machines influences field emergence and crop development and consequently the yield. To show the effect of longitudinal distribution on yield, data of single plant areas and single plant yields were combined by building a model. The single plant areas were calculated by determining polygon tessellations, while data of single plant yields were taken from crop science. Even longitudinal distributions resulted in even distributions of plant areas and higher yields. The influence of row width decreases with higher evenness of longitudinal distribution.*

Keywords: *sowing, colza, longitudinal distribution, single plant area, single plant yield, yield*

1 Einleitung

Die Ablagequalität von Sämaschinen beeinflusst die Bestandesentwicklung von Raps, indem sie - angepaßt an Klima, Boden und Saatzeit - maßgeblich die Keim- und Wachstumsbedingungen prägt. Ein wichtiges Kriterium zur Bewertung der Ablagequalität ist neben der Güte der Tiefenablage die Gleichmäßigkeit der Kornabstände in der Reihe, nämlich die Längsverteilung. Diese hat bei den heute üblichen Reihensaaten einen direkten Einfluß auf die Flächenverteilung der Körner. Während die Wirkung der vertikalen Ablagequalität bisher häufig dargestellt wurde, liegen zur Darstellung des Zusammenhangs

von Längsverteilung und Bestandesentwicklung nur wenig aktuelle Untersuchungen vor [1,2,3,4]. Der folgende Beitrag soll die Qualität der Flächenverteilung von Körnern oder Pflanzen bestimmen und die Einbindung von Ergebnissen aus der pflanzenbaulichen Forschung ermöglichen, um die Wirkung der Längsverteilung auf den Flächenertrag zu untersuchen. Dabei stellt die zu beschreibende Polygonmethode zur Bestimmung der Standflächen von Pflanzen die Schnittstelle zwischen Technik und Pflanzenbau dar. Sie ermöglicht es, Ergebnisse aus landtechnischer und pflanzenbaulicher Forschung miteinander zu verknüpfen.

¹ Der Autor dankt Herrn Dipl.-Inform. Martin Ameskamp vom Institut für Informatik der Universität Kiel für die Unterstützung bei der Durchführung der Polygonberechnungen

2 Material und Methoden

2.1 Aussaat von Raps

Hinsichtlich der Standortbedingungen hängt insbesondere beim Raps der Ertrag von der Größe und Form der für die Einzelpflanzen zur Verfügung stehenden Standflächen ab. Ausschlaggebend für die Standflächenverteilung sind Aussaat und Bestandesetablierung, da infolge des Zusammenwirkens von Sätechnik und sonstigen Rahmenbedingungen über die Qualität der Kornverteilung entschieden wird. Die Pflanzenverteilung auf der Fläche stellt eine grundlegende, produktionstechnische Maßnahme dar, mit der direkt in Prozesse der Ertragsbildung eingegriffen wird [5,6,7]. Die Konstanz der an der Sämaschine eingestellten Saatmenge ist aus pflanzenbaulicher Sicht eine der wichtigsten Anforderungen an Drillmaschinen, da eine an Witterung, Boden und Saattermin angepaßte Aussaatmenge die Grundlage einer optimalen Bestandesentwicklung darstellt. Bei stark wechselnden Bodenverhältnissen wird heute - im Rahmen einer teilflächenspezifischen Bewirtschaftung - auch die Anpassung der Saatmenge an die jeweiligen Bedingungen der Teilflächen des Schlages empfohlen, um wiederum die besten Ausgangsbedingungen für eine bestimmte angestrebte Bestandesdichte zu erreichen [8]. Eine gelungene Saat hat einen grundlegenden und somit stabilisierenden Einfluß auf den Ertrag von Raps.

Eine gleichmäßige Kornverteilung über die Fläche ist die beste Voraussetzung für einen zügigen, gleichmäßigen Feldaufgang und für einen homogenen Bestand mit gleichstark entwickelten Pflanzen. Der Feldaufgang hängt von der Keimfähigkeit und Triebkraft des Saatgutes, den physikalischen Bodenbedingungen, den Witterungsbedingungen und der Gleichmäßigkeit der Ablagetiefe und Flächenverteilung der Körner ab [5,9].

Die besten Bedingungen zum Keimen von Körnern und zur ungestörten Entwicklung von Keimlingen liegen hinsichtlich der minimalen zwischenpflanzlichen Konkurrenz vor, wenn infolge der Aussaat die Abstände zu den Nachbarkörnern möglichst groß sind. Liegen zwei oder sogar mehrere Keimlinge eng zusammen, so behindern sie sich bereits sehr früh bei der Ausbildung ihres Wurzelsystems und konkurrieren um die häufig begrenzt verfügbare Bodenfeuchte. Die Wurzeln können zwar seitlich ausweichen oder in tiefere Bodenschichten vordringen, jedoch erst dann, wenn Pflanzen mit ungestörter Entwicklung diesen Vorteil bereits genutzt haben. Die Aussaat von Winterraps erfolgt relativ flach und fällt zeitlich häufig in eine Trockenphase, so daß es

besonders infolge der Konkurrenz um die Wasserversorgung bei schlecht verteilten Körnern zu einem geringeren Feldaufgang kommt.

Bei der Aussaat ist es durch Verringerung des Reihenabstandes möglich, den relativen Feldaufgang zu erhöhen, da hierdurch die Abstände in der Reihe vergrößert und die Keimbehinderungen der einzelnen Körner reduziert werden. Aufgrund dieses Effektes wird in der Regel ein möglichst geringer Reihenabstand angestrebt. Allgemein gilt, je homogener ein Pflanzenbestand etabliert wird, desto wirksamer läßt er sich durch gezielte Maßnahmen der Bestandesführung ansprechen. Weiterhin läßt sich ein hoher Ertrag nur mit einem weitgehend homogenen Bestand erreichen, der einen gleichmäßigen Blüh- und Abreifeverlauf aufweist. Dadurch werden die besten Voraussetzungen für das Ernten im Mähdrusch und das Erreichen einer hohen Samenqualität geschaffen [5].

2.2 Längsverteilung von Sämaschinen

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 [10,11,12]. Bei Einzelkornsämaschinen sind die Kornabstände normalverteilt, jedoch aufgrund des Einflusses der Zellenbelegung und des Feldaufgangs häufig mehrgipfelig [13,14]. Die Normal- und Exponentialverteilung unterscheiden sich in ihrer Grundcharakteristik wesentlich. Während die Exponentialverteilung asymmetrisch verläuft und kleine Abstände die höchste Wahrscheinlichkeit aufweisen, liegt bei der Normalverteilung eine symmetrische Verteilung mit der höchsten Wahrscheinlichkeit um den Mittelwert vor. Bei der Drillsaat stellt sich in den meisten Fällen eine Exponentialverteilung ein. Sie liegt im Zusammenwirken von Saatgutzuteilung, Särohren bzw. Säleitungen und Säscharen begründet [12]. Besonders sind hier die Einflüsse der Särohre bzw. Säleitungen und der Säschare auf die Verteilung der Kornabstände zu nennen, die bei schubweiser Zuteilung ausgleichend wirken und bei Einzelkorndosierung einen starken stochastischen Effekt aufweisen [12,15].

Als Maßzahl der Gleichmäßigkeit von Kornabständen in der Reihe dient der Variationskoeffizient (VK). Er stellt die relative Streuung dar, die in Prozent des mittleren Abstandes angegeben wird. In Bild 1 ist der Wertebereich des VK für die unterschiedlichen Säverfahren dargestellt. Dabei wurden die Werte des VK verschie-

denen Untersuchungen entnommen [1,3,12,13,14]. Längsverteilungen mit einem VK größer 100 % kennzeichnen Abstandsverteilungen, die hohe Anteile an Häufungen und Lücken aufweisen. Bei einem VK von 100 % entsprechen die Abstände meist einer Exponentialverteilung. Bei allen Abstandsverteilungen mit einem VK kleiner 100 % ist von einer Verbesserung der Flächenverteilung für die Pflanzen auszugehen. Eine Längsverteilungsgüte von deutlich kleiner als 100 % kann heute in der Regel nur mit Einzelkornsämaschinen erreicht werden. Eine Längsverteilung mit exakt gleichbleibenden Kornabständen, die sogenannte Gleichstandsart, läßt sich mit einer Normalverteilung kennzeichnen, die ideal keine oder nur eine sehr geringe Streuung aufweist. Sie entspricht den pflanzenbaulichen Erfordernissen am ehesten, weil hierbei die Konkurrenz im Mittel für alle Pflanzen gleich ist. Eine solche ideale Abstandsverteilung erreichen heute auch Einzelkornsämaschinen nur in Sonderfällen.

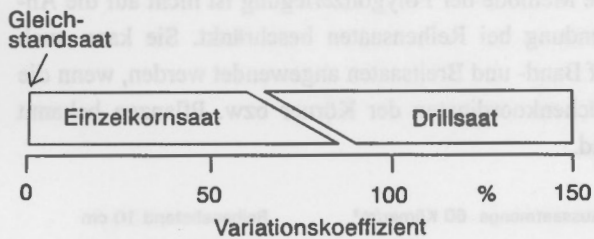


Bild 1: Variationskoeffizient als Kennzahl der Gleichmäßigkeit der Längsverteilung

Fig. 1: Coefficient of variation to determine evenness of longitudinal distribution

Drillsaaten mit einer Exponentialverteilung der Kornabstände sind trotz ihrer mangelnden Gleichmäßigkeit heute Stand der Technik. Untersuchungen an Drillmaschinen zeigen, daß mit unzureichend an das Saatgut angepaßten Zuteilungssystemen wesentlich schlechtere und mit neuartigen Systemen auch bessere Abstandsverteilungen als die Exponentialverteilung erreicht werden können [12,15,16].

2.3 Modellbildung

Mittels Modellbildung soll der Einfluß der Längsverteilung auf die Standflächenverhältnisse und den Flächenenertrag für die Gleichstands-, Einzelkorn- und Drillsaat dargestellt werden. Die Vorteile einer Modellbildung liegen darin, daß bei sonst gleichen Bedingungen gezielt Einzelparameter variiert werden können und daß eine Verknüpfung der rein technischen einparam-

trischen Verteilungsgütern mit Ergebnissen aus pflanzenbaulichen Untersuchungen möglich wird. Die Wirkungsstruktur des Modells soll dabei aus zwei Hauptkomponenten bestehen: den Standflächen und den Erträgen der Einzelpflanzen eines Bestandes (siehe Bild 2). Die Standflächen sollen mit Hilfe gemessener Kornabstände aus Versuchen mit Raps nach [12] bestimmt werden und die standflächenabhängigen Einzelpflanzenenerträge werden aus pflanzenbaulichen Versuchen nach [17,18] übernommen.

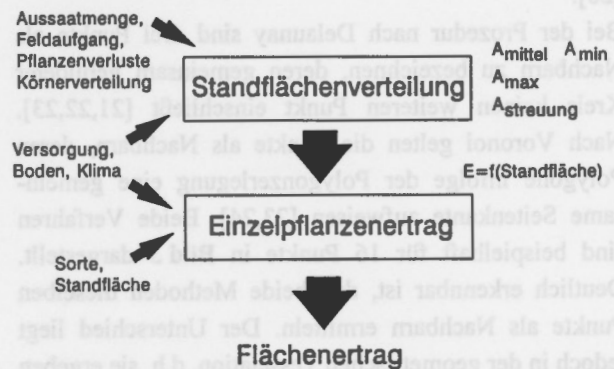


Bild 2: Modellstruktur zur Bestimmung des Flächenenertrags

Fig. 2: Model structure to determine yield

Die Standflächenform ist ebenfalls ein Faktor, der die Entwicklung der Einzelpflanze beeinflusst. Sie ist in das Modell integrierbar, jedoch für die hier betrachteten Bestandesdichten und Reihenabstände von untergeordneter Bedeutung, da das Verhältnis von Standflächenlänge zu -breite hier relativ ausgewogen ist.

Es wird somit also kein umfassendes Bestandesentwicklungsmodell verwendet, sondern insgesamt ein relativ präzises und beschränktes Modell, das nur für den oben genannten Modellzweck zu verwenden ist. Solche Modelle weisen nach [19] hinsichtlich ihres Antwortbereichs eine hohe Gültigkeit auf.

2.3.1 Standflächen

Für die Bestandesentwicklung ist nach dem Auflaufen der Pflanzen die Standfläche bzw. der Standraum von Bedeutung, der von allen in der Nähe einer Referenzpflanze stehenden Nachbarpflanzen begrenzt wird. Die Standfläche wird im Bestand ausnahmslos von mehreren Pflanzen gebildet. Zur Modellbildung der Konkurrenzsituation in einem Bestand müssen deshalb die Standflächen der Einzelpflanzen berücksichtigt werden. Die Standflächen weisen idealisiert die Form eines Vielecks oder Polygons auf. Standflächenbedingte Konkurrenzsituationen werden beispielsweise in der forstwirtschaft-

lichen Ertragskunde mit Polygonmodellen beschrieben [20]. Eine Übertragung dieses methodischen Ansatzes auf Probleme des Pflanzenbaus liegt deshalb nahe und soll hiermit im Folgenden aufgezeigt werden.

Für die Berechnung der Polygonflächen ist grundlegend, welche Pflanzen in der Nähe einer Referenzpflanze als Nachbarn anzusehen und für die Polygonform der Standflächen relevant sind. Lösungen hierzu sind für viele Anwendungen aus verschiedenen Fachgebieten bekannt. Es handelt sich dabei um die Delaunay-Triangulation und die Thiessen- oder Voronoi-Polygonzerlegung [20].

Bei der Prozedur nach Delaunay sind drei Punkte als Nachbarn zu bezeichnen, deren gemeinsam gebildeter Kreis keinen weiteren Punkt einschließt [21,22,23]. Nach Voronoi gelten die Punkte als Nachbarn, deren Polygone infolge der Polygonzerlegung eine gemeinsame Seitenkante aufweisen [23,24]. Beide Verfahren sind beispielhaft für 16 Punkte in Bild 3 dargestellt. Deutlich erkennbar ist, daß beide Methoden dieselben Punkte als Nachbarn ermitteln. Der Unterschied liegt jedoch in der geometrischen Tessellation, d.h. sie ergeben ein voneinander abweichendes zweidimensionales 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 Nachbar gilt, geeignet.

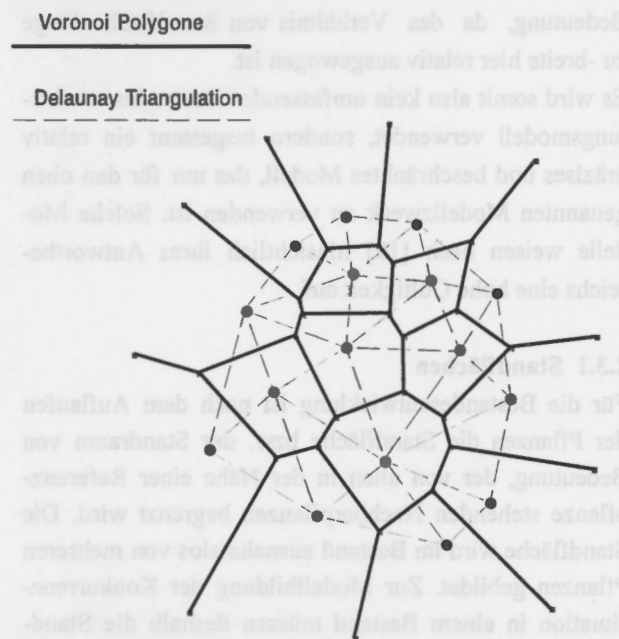


Bild 3: Delaunay-Triangulation und Voronoi-Polygonzerlegung

Fig. 3: Delaunay triangulation and voronoi tessellation

Um die Polygonzerlegung auf eine Flächenverteilung von Körnern oder Pflanzen anwenden zu können, muß jedem Korn oder jeder Pflanze vor den Berechnungen eine Flächenkoordinate zugeordnet werden. Diese Koordinaten, die im Folgenden bei allen Darstellungen zugrunde liegen, wurden mit Meßdaten aus Versuchen mit Raps berechnet [12]. Dabei ergaben sich die x-Koordinaten aus den gemessenen Kornabständen und die y-Koordinaten aus dem Vielfachen des konstanten Reihenabstandes. Mit den Datensätzen der Punktkoordinaten wurde die Polygonzerlegung mittels eines Computerprogramms durchgeführt [25].

Das Ergebnis einer Polygonzerlegung für drei Datensätze ist in Bild 4 dargestellt. Die Datensätze unterscheiden sich in der Längsverteilungsgüte - abzulesen am VK -, so daß die berechneten Polygonflächen aufgrund der unterschiedlichen Qualität der Flächenverteilung der Körner stark voneinander abweichen. Deutlich erkennbar ist, daß die Polygonflächen um so gleichmäßiger sind je gleichmäßiger die Körner in der Reihe verteilt sind.

Die Methode der Polygonzerlegung ist nicht auf die Anwendung bei Reihensaaten beschränkt. Sie kann auch auf Band- und Breitsaaten angewendet werden, wenn die Flächenkoordinaten der Körner bzw. Pflanzen bekannt sind.

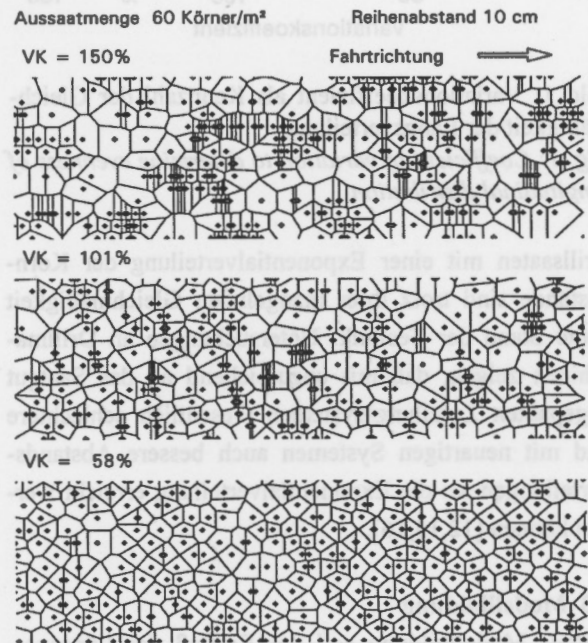


Bild 4: Standflächen einer Polygonzerlegung nach Voronoi für Drillsaaten mit unterschiedlicher Längsverteilungsgüte

Fig. 4: Single plant area of drilled seeds caused by voronoi tessellation with different evenness of longitudinal distribution

Die beschriebene Methode zur Darstellung von Standflächen bietet die Möglichkeit, die erzeugten Flächenstrukturen numerisch auszuwerten und aus pflanzenbaulicher Sicht zu interpretieren.

2.3.2 Einzelpflanzenenertrag

Ziel der produktionstechnischen Maßnahmen ist immer, durch die Sortenwahl eine möglichst hohe Ausnutzung des Ertragspotentials zu erreichen [5]. Die Einzelpflanzen reagieren auf unterschiedliche Flächenangebote sortenspezifisch, so daß für den Flächenenertrag neben Witterungsverlauf und Bestandesführung ein sortenbedingtes Verhalten ausschlaggebend ist.

Für die oben genannte Modellbildung ist neben der Kenntnis der Standflächenverhältnisse zum Erntezeitpunkt die sortenspezifische Abhängigkeit des Einzelpflanzenenertrages von der Standfläche notwendig. Aus systematischen Untersuchungen nach [17,18] zum Einfluß der Bestandesdichte auf das Ertragspotential von Rapspflanzen sollen die Daten übernommen werden, die dichteabhängig den Einzelpflanzenenertrag darstellen. Dabei soll an dieser Stelle auf weitere Ertragskomponenten, wie Schoten pro Pflanze, Samen pro Schote und Tausendkornmasse, nicht weiter eingegangen werden. Aus den genannten Untersuchungen stellt Bild 5 die Funktion des Einzelpflanzenenertrages in Abhängigkeit von der Standfläche dar.

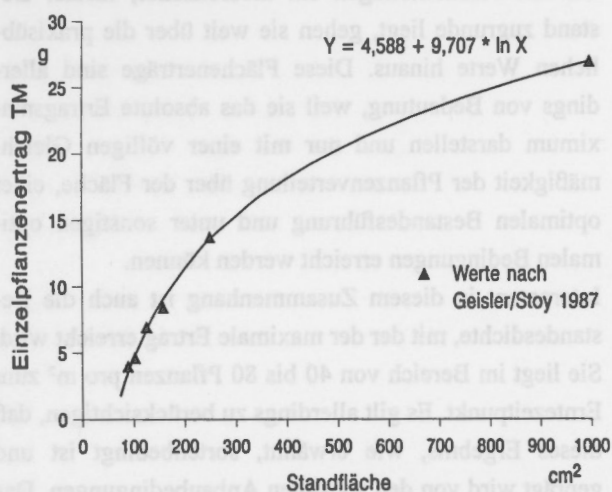


Bild 5: Funktion des Einzelpflanzenenertrages in Abhängigkeit von der Standfläche (TM = Trockenmasse)

Fig. 5: Function of single plant yield versus single plant area (TM = dry matter)

Sowohl der Verlauf als auch das Niveau der Kurve sind geprägt von verschiedenen Parametern, wie Sorte, Boden, Witterungsverlauf u.a.. Deutlich erkennbar ist, daß mit zunehmendem Standflächenangebot im unteren

Bereich ab einer Mindestfläche der Einzelpflanzenenertrag zunächst steil ansteigt und daß im oberen Bereich von 500 bis 1000 cm², das entspricht einer Bestandesdichte von 20 bis 10 Pflanzen/m², der Ertrag nur noch gering ansteigt.

Die Funktion des Einzelpflanzenenertrages entspricht somit einem zu erwartenden Verlauf: Erst ab einer Mindestgröße der Standfläche ist eine Pflanzenentwicklung bis zur Samenproduktion gegeben. Hierin sind Pflanzenverluste sowohl bei der Keimung als auch beim Streckungswachstum enthalten. Weiterhin ist zu erwarten und in Bild 5 in der Tendenz zu erkennen, daß ab einer gewissen Standfläche die Pflanze die Samenproduktion mit zunehmender Standflächengröße nicht weiter steigern kann.

3 Ergebnisse

3.1 Standflächenverteilung

Mit der beschriebenen Methode der Polygonzerlegung ist es möglich, über die Flächenkoordinaten von Körnern bzw. Pflanzen die Einzelstandflächen zu bestimmen. Für die in Bild 4 exemplarisch dargestellte Polygonzerlegung von drei Reihensaaten ist in Bild 6 die Häufigkeitsverteilung der Standflächen dargestellt.

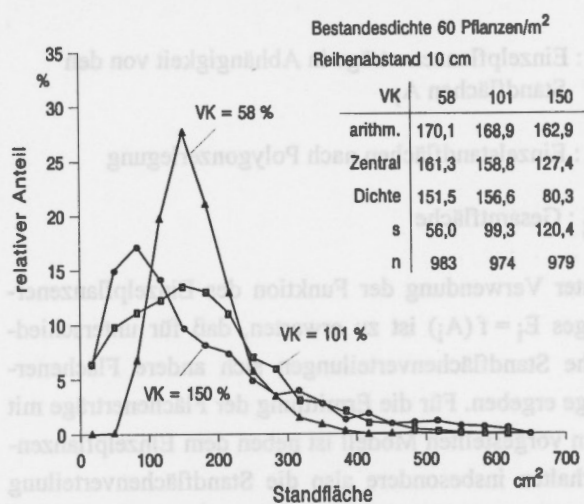


Bild 6: Häufigkeitsverteilung von Standflächen für unterschiedliche Längsverteilungen

Fig. 6: Frequency distribution of single plant areas of different longitudinal distributions

Für die Längsverteilung mit einem VK von 58 %, die nur mit Einzelkornsämaschinen erreicht wird, kann eine Normalverteilung der Standflächen unterstellt werden. Daraus ergibt sich die höchste Gleichmäßigkeit der Polygon- bzw. Standflächen. Die Längsverteilung mit einem VK von 150 % führt demgegenüber zu Standflächen, die in einem weiten Größenbereich schwanken.

Längsverteilungen mit einem VK von 101 %, die dem heutigen Stand der Drilltechnik entsprechen, ergeben ebenfalls weitgehend normalverteilte Standflächen. Im Vergleich zur Verteilung mit einem VK von 58 % erreicht die Standardabweichung als Streuungsmaß der Standflächen hier jedoch fast den doppelten Betrag.

3.2 Flächenertrag

Da der Zusammenhang zwischen Einzelpflanzenenertrag und Standfläche - wie in Bild 5 dargestellt - in Feldversuchen im Rahmen umfangreicher Untersuchungen ermittelt wurde, können anhand der ermittelten Funktion der Einzelpflanzenenerträge für berechnete praxistypische Standflächenverteilungen die Flächenerträge ermittelt werden. Der Flächenertrag E_s berechnet sich nach dem oben beschriebenen Modell wie folgt:

$$E_s = \frac{1}{A_g} \cdot \sum_{i=1}^n E_i \quad (1)$$

mit

$$E_i = 4,588 + 9,707 \cdot \ln(A_i) \quad (2)$$

$$A_g = \sum_{i=1}^n A_i \quad (3)$$

E_i : Einzelpflanzenenerträge in Abhängigkeit von den Standflächen A_i

A_i : Einzelstandflächen nach Polygonzerlegung

A_g : Gesamtfläche

Unter Verwendung der Funktion des Einzelpflanzenenertrages $E_i = f(A_i)$ ist zu erwarten, daß für unterschiedliche Standflächenverteilungen sich andere Flächenerträge ergeben. Für die Ermittlung der Flächenerträge mit dem vorgestellten Modell ist neben dem Einzelpflanzenverhalten insbesondere also die Standflächenverteilung ausschlaggebend. Da die Funktion des Einzelpflanzenenertrages zugrunde liegt, sind die Ergebnisse geprägt vom Sortenverhalten und den sonstigen Bedingungen.

3.2.1 Flächenertrag bei Gleichstandsamt

Soll ein idealer, homogener Bestand etabliert werden, so muß die eingesetzte Sätechnik eine Gleichstandsamt bewirken und die Längsverteilung der Körner in der Reihe einen VK von 0 % aufweisen. Unterstellt man einen solchen idealen, homogenen Bestand, so läßt sich mit der beschriebenen Modellbildung sehr einfach auch

der zugehörige Flächenertrag berechnen. Die in Bild 7 dargestellten Ergebnisse sind entsprechend der folgenden Vorgehensweise ermittelt. Da in diesem speziellen Fall die Standflächenverteilung nur aus einer einzigen Flächengröße besteht, errechnet sich der Flächenertrag aus der Multiplikation der Bestandesdichte mit dem Einzelpflanzenenertrag der zugehörigen Flächengröße.

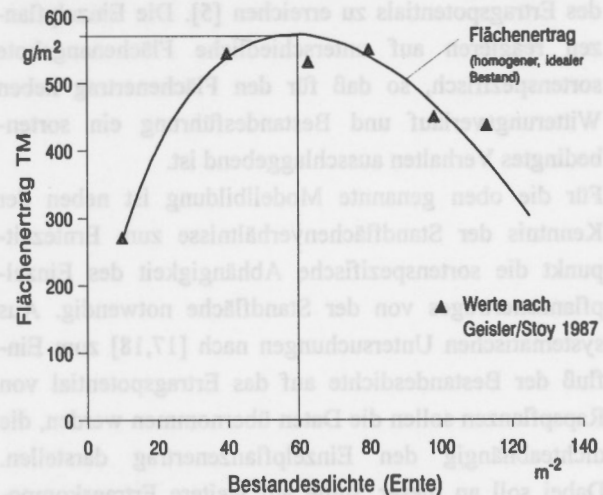


Bild 7: Flächenertrag eines idealen, homogenen Bestandes in Abhängigkeit von der Bestandesdichte

Fig. 7: Yield of an ideal, homogenous plant stand versus plant density

Da den Flächenerträgen ein theoretischer, idealer Bestand zugrunde liegt, gehen sie weit über die praxistüblichen Werte hinaus. Diese Flächenerträge sind allerdings von Bedeutung, weil sie das absolute Ertragsmaximum darstellen und nur mit einer völligen Gleichmäßigkeit der Pflanzenverteilung über der Fläche, einer optimalen Bestandesführung und unter sonstigen optimalen Bedingungen erreicht werden können.

Interessant in diesem Zusammenhang ist auch die Bestandesdichte, mit der der maximale Ertrag erreicht wird. Sie liegt im Bereich von 40 bis 80 Pflanzen pro m² zum Erntezeitpunkt. Es gilt allerdings zu berücksichtigen, daß dieses Ergebnis, wie erwähnt, sortenbedingt ist und geprägt wird von den sonstigen Anbaubedingungen. Das relativ breite Maximum der Ertragsfunktion ist darauf zurückzuführen, daß Rapspflanzen sich durch die Ausbildung ihrer Ertragskomponenten an variierende Standraumverhältnisse gut anpassen können und deshalb ein starkes Kompensationsvermögen aufweisen [5]. Die in Bild 7 dargestellte Funktion des Flächenertrages wird von den Einzelwerten aus den Untersuchungen von [18] bestätigt.

In Bild 8 sind die berechneten Flächenerträge für einen Reihenabstand von 10 cm in Abhängigkeit von der Gleichmäßigkeit der Kornabstände dargestellt, dokumentiert in unterschiedlichen Werten des VK. Dabei stellt der Wert des VK von 100 % den Punkt dar, der heute mit der üblichen Drilltechnik erzielt wird. Er ist gekennzeichnet und gilt als Bezugsgröße für die relativen Erträge.

Der Ertragswert für einen VK von 0 % aus Bild 8 entspricht dem Wert eines idealen, homogenen Bestandes mit einer Bestandesdichte von 60 Pflanzen/m². Der potentielle Mehrertrag der Gleichstandsart, der im Vergleich zur Drillsaat erreichbar ist, liegt bei 11 %. Aus Untersuchungen zur Gleichstandsart mit Getreide, die in [1] zusammengefaßt und dargestellt wurden, ergab sich ein Mehrertrag durch Gleichstandsart gegenüber Drillsaat von 7 bis 15 %.

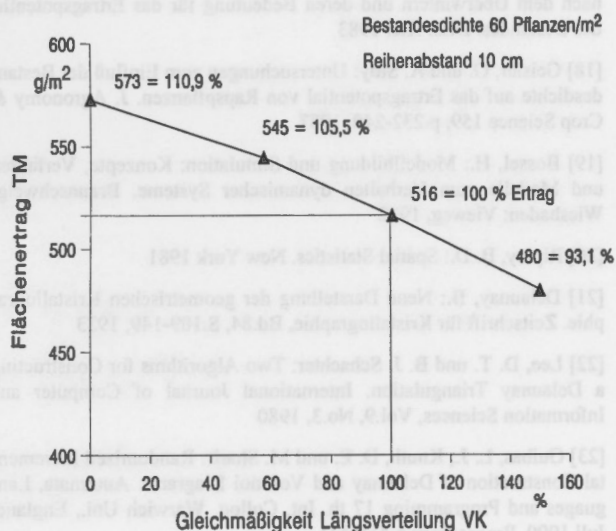


Bild 8: Flächenertrag in Abhängigkeit von der Gleichmäßigkeit der Längsverteilung

Fig. 8: Yield versus evenness of longitudinal distribution

3.2.2 Flächenertrag bei Einzelkorn- und Drillsaat

Die in Bild 8 dargestellten Werte des VK von 58 % entsprechen einer Einzelkornsart, während die Werte 101 % und 150 % für eine normale und schlechte Drillsaat stehen.

Aus den Werten des Flächenertrags ergeben sich demnach Mehrerträge durch Verwendung der Einzelkornstechnik anstelle der Drilltechnik von 6 %. Diese relativen Ertragsunterschiede zwischen Drill- und Einzelkornsart werden von Ergebnissen aus Feldversuchen nach [2,3] bestätigt.

3.2.3 Einfluß des Reihenabstandes

In Bild 9 ist der Einfluß des Reihenabstandes auf den Flächenertrag in Abhängigkeit von der Gleichmäßigkeit der Längsverteilung dargestellt. Aufgetragen ist der relative Flächenertrag, der sich auf Standflächenverteilungen mit einem VK von 100 % und einen Reihenabstand von 10 cm bezieht. Mit zunehmender Gleichmäßigkeit der Längsverteilung - mit abnehmendem VK-Wert - nimmt der Einfluß des Reihenabstandes ab. Nur bei der normalen und schlechten Drillsaat (VK = 100 % und VK > 100 %) hat die Verringerung des Reihenabstandes einen deutlich positiven Einfluß auf den Ertrag.

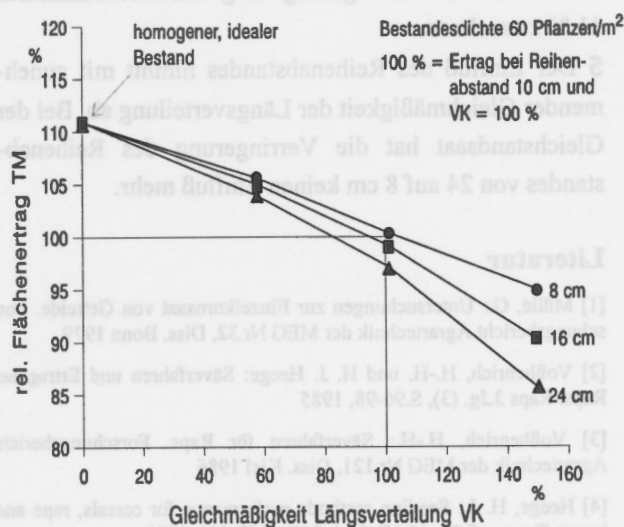


Bild 9: Flächenertrag in Abhängigkeit von der Gleichmäßigkeit der Längsverteilung und des Reihenabstandes
Fig. 9: Yield versus evenness of longitudinal distribution and row width

Für den Bereich des VK unterhalb 100 % gilt, daß bei einer Bestandesdichte von 60 Pflanzen/m² der Reihenabstand im Bereich von 8 bis 24 cm von geringer Bedeutung ist und eine wesentliche Ertragssteigerung nur noch durch eine Verbesserung der Längsverteilung erreicht werden kann. Für die Gleichstandsart hat unter den genannten Bedingungen der Reihenabstand keinen Einfluß.

4 Schlußfolgerungen

1 Die Polygonzerlegung zur Bestimmung von Standflächen eignet sich zur Beschreibung der Standflächenverhältnisse und damit der Konkurrenzsituation zwischen Keimlingen und Pflanzen innerhalb eines Bestandes. Darauf aufbauend können sehr anschaulich pflan-

zenbauliche Interpretationen zum Feldaufgang und zur Bestandesentwicklung erfolgen.

2 Der Zusammenhang zwischen der Qualität der Längsverteilung von Sämaschinen und der Standflächenverteilung von Einzelpflanzen konnte mit der Polygonzerlegung zur Standflächenbeschreibung gezeigt werden.

3 Für einen Rapsbestand, der mit einer Drilltechnik nach heutigem Stand der Technik etabliert werden soll, ergibt sich eine Standflächenverteilung, die aus pflanzenbaulicher Sicht nicht zufriedenstellt: Die Standflächen schwanken über einen breiten Größenbereich.

4 Durch Verbesserung der Gleichmäßigkeit der Längsverteilung ist gegenüber dem heutigen Stand der Drilltechnik mit einer Ertragssteigerung von durchschnittlich 11 % zu rechnen.

5 Der Einfluß des Reihenabstandes nimmt mit zunehmender Gleichmäßigkeit der Längsverteilung ab. Bei der Gleichstandsart hat die Verringerung des Reihenabstandes von 24 auf 8 cm keinen Einfluß mehr.

Literatur

- [1] Mülle, G.: Untersuchungen zur Einzelkornsaat von Getreide. Forschungsbericht Agrartechnik der MEG Nr.32, Diss. Bonn 1979
- [2] Voßhenrich, H.-H. und H. J. Heege: Säverfahren und Ertrag bei Raps. Raps 3.Jg. (3), S.96-98, 1985
- [3] Voßhenrich, H.-H.: Säverfahren für Raps. Forschungsbericht Agrartechnik der MEG Nr.121, Diss. Kiel 1986
- [4] Heege, H. J.: Seeding methods performance for cereals, rape and beans. Trans. of the ASAE, Vol. 36(3):653-661, 1993
- [5] Geisler, G.: Ertragsphysiologie von Kulturarten des gemäßigten Klimas. Berlin/Hamburg, 1983
- [6] Diepenbrock, W. und G. Geisler: Die Ertragsstruktur von Raps Teil I, Ertragsbildungsprozesse. Kali-Briefe 17 (8), S.585-603, 1985
- [7] Geisler, G. und W. Diepenbrock: Die Ertragsstruktur von Raps Teil II, Ertragskomponenten. Kali-Briefe 17 (8), S.605-618, 1985
- [8] Auernhammer, H.: Rechnergestützter Pflanzenbau am Beispiel der umweltorientierten Düngung. In: Ortung und Navigation Landwirtschaftlicher Fahrzeuge. VDI/MEG Kolloquium Agrartechnik, Heft 14, Düsseldorf 1992
- [9] Ehlers, W.: Keimung in Abhängigkeit von bodenphysikalischen Prozessen. Kali-Briefe 15 (4), S.233-248, 1980
- [10] Heege, H. J.: Die Gleichstand-, Drill- und Breitsaat des Getreides unter besonderer Berücksichtigung der flächenmäßigen Kornverteilung. KTL-Berichte über Landtechnik, H.112, Wolfratshausen 1967
- [11] Griepentrog, H.-W.: Zur Bewertung von Längsverteilungen bei Drillmaschinen. Landtechnik, Bd.46, H.11, S.550-551, 1991
- [12] Griepentrog, H.-W.: Saatgutzuteilung von Raps. Forschungsbericht Agrartechnik der MEG Nr.247, Diss. Kiel 1994
- [13] Griepentrog, H.-W.: Bewertung von Längsverteilungen bei Einzelkornsämaschinen. Landtechnik, Bd.47, H.3, S.123-125, 1992
- [14] Kachman, S. D. und J. A. Smith: Alternative measures of accuracy in plant spacing for planters using single seed metering. Trans. of the ASAE, Vol. 38(2):379-387, 1995
- [15] Griepentrog, H.-W. und H. J. Heege: Einzelkorndosierung von Raps in Drillmaschinen. Landtechnik, Bd.50, H.4, S.194-195, 1995
- [16] Griepentrog, H.-W.: Saatgutzuteilung von Raps. Landtechnik, Bd.48, H.1/2, S.48/57-59, 1993
- [17] Stoy, A.: Untersuchungen zur Konkurrenz bei Winterraps vor und nach dem Überwintern und deren Bedeutung für das Ertragspotential des Bestandes. Diss. Kiel 1983
- [18] Geisler, G. und A. Stoy: Untersuchungen zum Einfluß der Bestandesdichte auf das Ertragspotential von Rapspflanzen. J. Agronomy & Crop Science 159, p.232-240, 1987
- [19] Bossel, H.: Modellbildung und Simulation: Konzepte, Verfahren und Modelle zum Verhalten dynamischer Systeme. Braunschweig; Wiesbaden: Vieweg, 1992
- [20] Ripley, B. D.: Spatial Statistics. New York 1981
- [21] Delaunay, B.: Neue Darstellung der geometrischen Kristallographie. Zeitschrift für Kristallographie, Bd.84, S.109-149, 1933
- [22] Lee, D. T. und B. J. Schachter: Two Algorithms for Constructing a Delaunay Triangulation. International Journal of Computer and Information Sciences, Vol.9, No.3, 1980
- [23] Guibas, L. J.; Knuth, D. E. und M. Sharir: Randomized Incremental Construction of Delaunay and Voronoi Diagrams. Automata, Languages and Programming 17 th. Int. Colloq. Warwick Uni., England, Juli 1990, Proceedings p.414-431
- [24] Thiessen, A. H.: Precipitation averages for large areas. Monthly Weather Reviews 39, p.1082-1084, 1911
- [25] Waupotitsch, R.: NCSA MinMaxer. National center for supercomputing applications, Champaign, Illinois 1992