

Smartphone-basierte Bildverarbeitung zur Erfassung der Querverteilungsgenauigkeit von Zentrifugaldüngerstreuern

Wolfram Strothmann, Karsten Morisse, Arno Ruckelshausen

Hochschule Osnabrück, Fakultät für Ingenieurwissenschaften und Informatik,
Albrechtstraße 30, 49076 Osnabrück
Email: w.strothmann@hs-osnabrueck.de, k.morisse@hs-osnabrueck.de,
a.ruckelshausen@hs-osnabrueck.de

Zusammenfassung: Die Querverteilungsgenauigkeit von Zentrifugaldüngerstreuern ist eine für die landwirtschaftliche Praxis enorm wichtige Größe. Gleichzeitig ist sie auf dem Acker nur sehr schwer zu messen und damit in der Praxis kaum zu kontrollieren. Die hier skizzierte Methode stellt eine einfache und schnelle Möglichkeit dar, die Querverteilung durch Analyse von Fotos des auf dem Acker verteilten Düngers abzuschätzen. Dabei liefert der selbst-überwachte Algorithmus dem Anwender nicht nur die Abschätzung sondern auch einen Indikator für die Zuverlässigkeit derselben. Praxisversuche bei günstigen Lichtverhältnissen ergaben schon mit der einfachen Kamerahardware handelsüblicher Smartphones zufriedenstellende Ergebnisse. Hohe Erkennungsraten bei schwankenden Lichtverhältnissen bislang jedoch noch nicht stets gewährleistet werden können.

Deskriptoren: Düngerverteilung; Smartphone; Bildverarbeitung

Abstract: *The quality of fertilizer spreader' lateral distribution is a very important figure in practical agriculture. However, it is hard to measure in practice and therefore difficult to control. The method described here offers a quick and simple possibility to estimate the lateral distribution analyzing photos of the broad casted fertilizer on the field. Hereby the self-monitored algorithm displays the user not only the estimation but also indicates likely week results. Field tests under convenient lightning produced sufficient results using just the low-cost cameras of ordinary smartphones. However, high detection rates at altering conditions cannot yet be guaranteed.*

Keywords: *Fertilizer distribution; Smartphone; Image processing*

1 Problematik der Querverteilung

Ca. 1/3 der variablen Kosten der Produktion werden im Ackerbau durch die Düngung verursacht. Trotzdem ist die Düngerausbringung ein Arbeitsgang, der in der Praxis kaum überwacht wird und auch überwacht werden kann (MARQUERING & JOHANNES 2002 S. 12). Es gibt zwar Ansätze, die Streuer mit Messeinrichtungen für die Querverteilung auszustatten, z. B. die Aufnahme der Streuachse mittels akustischer Impulsnehmer oder Klopfensensoren (SULKY-BUREL, MARQUERING & JOHANNES 2002 S. 47) oder das

durch die Fa. Amazone vorgestellte Kamerasystem Argus (AMAZONEN-WERKE H. DREYER GMBH & CO. KG), bislang haben diese noch nicht in der Praxis durchsetzen können.

Die gängige Methode, bei der Dünger zunächst auf einer Testfläche über die Wurfweite des Streuers mit Düngerschalen aufgefangen wird und anschließend die Düngermengen der einzelnen Schalen in Teströhrchen eingefüllt und die Füllhöhen verglichen werden, ist relativ umständlich und findet daher in der Praxis m. E. viel zu selten statt. Häufig wird der Streuer daher nur anhand von Tabellenwerten vor Arbeitsbeginn entsprechend der Arbeitsbreite und der Düngersorte eingestellt. Anschließend wird der Dünger ohne weitere Kontrolle auf dem Feld ausgebracht. Zufällige Störgrößen, wie Wind, Luftfeuchtigkeit, Schwankungen der Düngerqualität etc., bleiben hierbei unberücksichtigt, was in Fällen ungünstiger Randbedingungen immer wieder zu sehr ungleichmäßiger Verteilung mit den entsprechenden Folgen starker Mindererträge und Lagergetreide führt.

2 Ansatz der Düngererkennungs-App

Aus dieser praktischen Problemstellung heraus ist die Idee entstanden, ob eine Abschätzung der Querverteilung, die für den Anwender einfacher und schneller ist als die Erfassung mit Düngerschalen, auch mit Hilfe Smartphone-basierter Bildverarbeitungstechnologien möglich ist. Nun ist hierbei zu beachten, dass wie in **Bild 1** skizziert, bei der Ausbringung von Dünger auf einer einzelnen Pflegespur auf dem Acker zunächst i. d. R. eine Dreiecksverteilung ausgebracht wird. Erst dadurch, dass bei der Ausbringung von Dünger auf den Pflegespuren neben der betrachteten identische Verteilungen ausgebracht werden (gestrichelte Linien in **Bild 1**), entsteht eine gleichmäßige Gesamtverteilung.

Nun ist der Ansatz des vorgestellten Verfahrens, dass der Anwender in jeder der Drillspuren über die gesamte Wurfweite des Streuers ein einzelnes Foto mit seinem Smartphone schießt. Durch die Anwahl der Drillspur wird das Foto hierbei durch den Anwender implizit innerhalb der Wurfweite der Dreiecksverteilung positioniert. Die Fotos werden anschließend auf dem Smartphone automatisch ausgewertet, die Düngermengen in den Drillspuren abgeschätzt und die Gesamtverteilung aus den Daten für die Dreiecksverteilung einer Pflegespur extrapoliert.

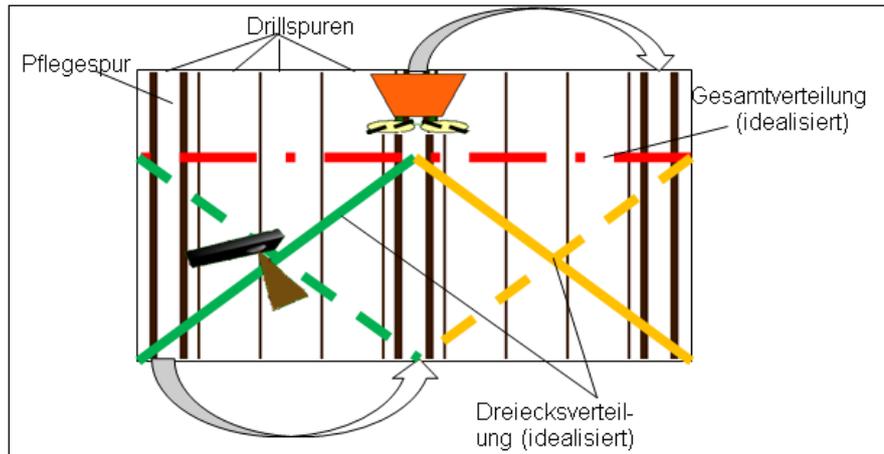


Bild 1: Dreiecksverteilung

Dabei wird ausdrücklich kein System avisiert, mit welchem die Querverteilung hochgenau gemessen werden kann. *Kurpujuweit* und *Zimmermann* kommen übereinstimmend zu der Einschätzung, dass Schwankungen der Düngermenge von 10% bis 15% nur zu Ertragseinbußen bis zu 0,5% bis 0,6% führen. Entscheidender ist, dass Schwankungen von über 30% oder gar über 50% sicher vermieden werden, denn hier sind Einbußen zwischen 6% und 14% zu erwarten. Noch kritischer wird es, wenn diese Düngefehler auch noch Lagergetreide verursachen. Dann gehen die Ertragsverluste schnell über 30% und die Druschkosten erhöhen sich erheblich (KURPUJUWEIT & HERMANN 2011, S. 25, STAMM 2006, S. 4). Daher ist das Ziel dieser Entwicklung kein System zur exakten Messung sondern eines, mit dem sich die Querverteilung mit Schwankungsbreiten in der Größenordnung von 10% abschätzen lässt.

3 Bildverarbeitung zur Kornerkennung

Um in den mit Hilfe des Smartphones aufgenommenen Bildern Düngerkörner zu erkennen, werden diese zunächst mittels eines linearen Autokontrasts normalisiert und auf diese eine Kantenerkennung mit Hilfe des Algorithmus von Canny durchgeführt, um so ein Binärbild zu generieren. Von den dann im Binärbild erkannten Konturen können viele aufgrund einfacher Plausibilitätsüberprüfungen vor der eigentlichen Klassifikation direkt ausgeschlossen werden; beispielsweise kommen Konturen, welche nicht geschlossen sind, nicht als potentielle Düngerkörner in Frage.

Allerdings können nicht alle nun erkannten Objekte aufgrund derart einfach in Düngerkörner und Fremdobjekte unterteilt werden. Deshalb wurde für die Klassifikation durch manuelles Labeling der erkannten Objekte in Bildern eine umfangreiche Datengrundlage geschaffen. **Bild 2** zeigt ein beispielhaftes Histogramm als Ergebnis des manuellen Labelings. Hier ist die relative Häufigkeit von Düngerkörnern ('true') und Fremdobjekten ('false') über ihrer jeweiligen Kompaktheit aufgetragen.

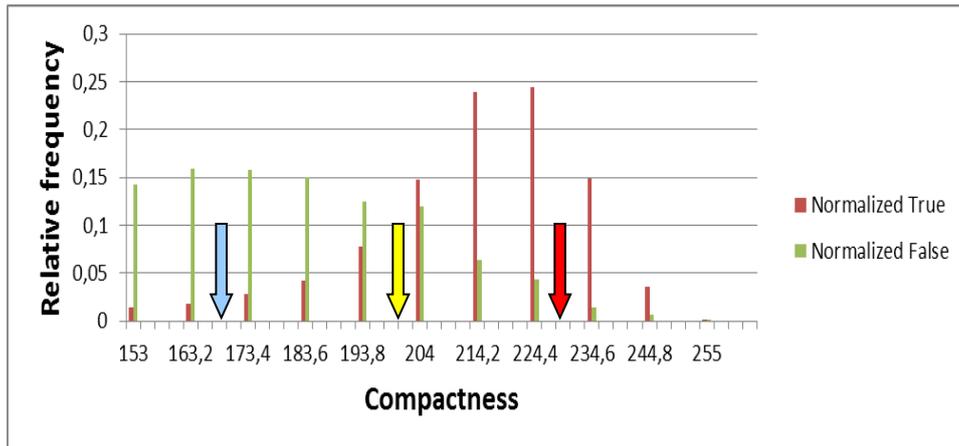


Bild 2: Beispielhaftes Histogramm als Ergebnis des manuellen Labelings

Aus dem Histogramm wird deutlich, dass eine Unterscheidung zwischen Körnern und Fremdobjekten durch Schwellwertsetzung anhand der Kompaktheit nicht möglich ist. Dies galt auch für weitere betrachtete Parameter (z. B. Dichte, Mittelwerte und Varianzen der Farbwerte der Objekte).

Allerdings lassen sich doch aus den Histogrammen bedingte Wahrscheinlichkeiten ermitteln. Liegt beispielsweise die Kompaktheit eines unbekanntes Objektes im Bereich des blauen Pfeils, so ist für dieses Objekt die Wahrscheinlichkeit, unter der Bedingung seiner Kompaktheit ein Korn zu sein, relativ gering. Liegt die Kompaktheit im Bereich des roten Pfeils so ist sie relativ hoch, liegt die Kompaktheit im Bereich des gelben Pfeils, so ist diese bedingte Wahrscheinlichkeit nahe 50%.

Auf diese Weise werden im Rahmen der Klassifizierung für jedes Objekt die bedingten Wahrscheinlichkeiten jeweils unter der Bedingung eines einzelnen Parameterwertes ermittelt. Diese bedingten Wahrscheinlichkeiten werden dann mittels eines binären Bayes-Filters (THRUN *et al.* 2005) fusioniert.

Als Zwischenergebnis stehen nun für alle erkannten Objekte eines Bildes Ihre jeweiligen Wahrscheinlichkeiten Körner zu sein unter Beachtung der Werte aller betrachteten Parameter. Dieses Zwischenergebnis kann nun in zweierlei Hinsicht genutzt werden. Zum einen kann mit Hilfe dieser Wahrscheinlichkeit eine Klassifikation der Objekte in Körner und Fremdobjekte stattfinden. Zum anderen beinhalten diese Wahrscheinlichkeiten implizit auch eine Information darüber, wie zuverlässig die Klassifikation bei dem jeweiligen Objekt ist. Bei Wahrscheinlichkeiten nahe 0 oder 1 ist die Klassifikation zuverlässig möglich, liegt sie nahe 0,5, so ist sie von eher unsicher. Die Unsicherheiten der einzelnen Objekte werden dann pro Bild gemittelt, um aus dem Bild nicht nur die Düngermenge sondern auch ein Qualitätsparameter für die Zuverlässigkeit der Ermittlung derselben zu extrahieren.

4 Implementierung als App

Bei der entwickelten App handelt es sich um eine App für das Smartphone-Betriebssystem Android. Das skizzierte Verfahren der Bildverarbeitung wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit unter Nutzung der Bildverarbeitungsbibliothek OpenCV in der Sprache C++ implementiert. Um die Bildverarbeitungslogik hierbei aus der mit Java entwickelten GUI der Android-App aufrufen zu können, wurde ein Java-Native-Interface generiert.

Auf diese Weise wird zum einen eine Trennung zwischen den Plattform-spezifischen Aspekten (GUI, Kameraansteuerung, Thread-Management) und Anwendungs-spezifischen Aspekten (Bildverarbeitung, Positionsverwaltung der Bilder innerhalb der Drillspuren) gewährleistet. Zum anderen wird der Aufwand für eine mögliche Portierung der Software auf andere Plattformen (z. B. iOS) verringert, da hier nur die in Java gehaltenen Plattform-spezifischen Codebestandteile reimplementiert werden müssten; die Bildverarbeitungsfunktionalitäten einschließlich OpenCV, welches auch bereits für iOS portiert wurde, könnten aber wieder verwendet werden.

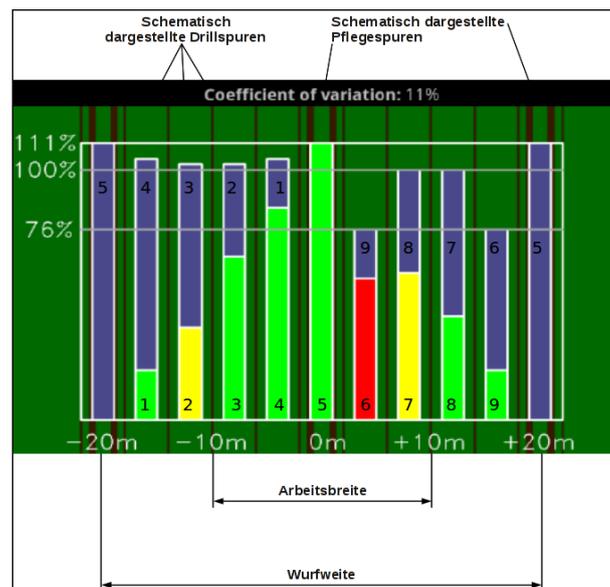


Bild 3: Ergebnisdarstellung

Schließlich erhält der Anwender eine Ergebnisausgabe, wie Sie in **Bild 3** gezeigt ist. Jede der grünen, gelben und roten Säulen entspricht nun dem Auswertungsergebnis des in der jeweiligen Drillspur geschossenen Fotos. Um nun allerdings die Querverteilung bewerten und den Variationskoeffizienten berechnen zu können, muss noch das Dreiecksstreubild beachtet werden. Um die Gesamtverteilung aus der Dreiecksverteilung einer Spur zu extrapolieren, muss auf bspw. auf die grüne Säule Nummer 1 noch die Höhe der grünen Säule Nummer 4 in Abbildung addiert werden. Das Gleiche gilt für 2 und 3, 6 und 9 usw. Die Querverteilung, welche schlussendlich durch

das Überfahren aller drei Pflegespuren ausgebracht werden würde, entspricht dann den Gesamthöhen der blauen Balken.

Außerdem erhält der Anwender, auch noch eine Information darüber, wie verlässlich das entstandene Ergebnis ist. Die hell-grüne Farbe der unteren Balken bedeutet, dass die Unsicherheit bei der Klassifizierung in allen Bildern relativ niedrig lag. Anders sieht es bei den gelben und roten Balken aus. Hier war die Klassifizierung nur geringer bzw. sehr geringer Sicherheit möglich. Bei einzelnen Ausreißern kann dies auch daran liegen, dass das Bild hier verwackelt ist. In diesem Fall kann das Foto dort wiederholt aufgenommen werden. In jedem Fall muss dieses Ergebnis aber mit Vorsicht bewertet werden.

5 Labortests

Das Gesamtsystem wurde sowohl im Labor als auch auf dem Feld getestet. Um das Gesamtsystem nach seiner Implementierung unabhängig von der Bereitstellung von Düngerstreuer und Acker im Labor testen zu können, wurden Tests mit weißen Testobjekten auf verschiedenen Hintergründen durchgeführt. Hierbei wurde eine ideale Dreiecksverteilung simuliert.

Hier ließ sich das vorhergesagte Ergebnis mit geringfügigen Schwankungen stabil reproduzieren. In **Bild 4** ist ein Screenshot zu sehen, der die entsprechend ermittelte Verteilung auf dem Smartphone darstellt.

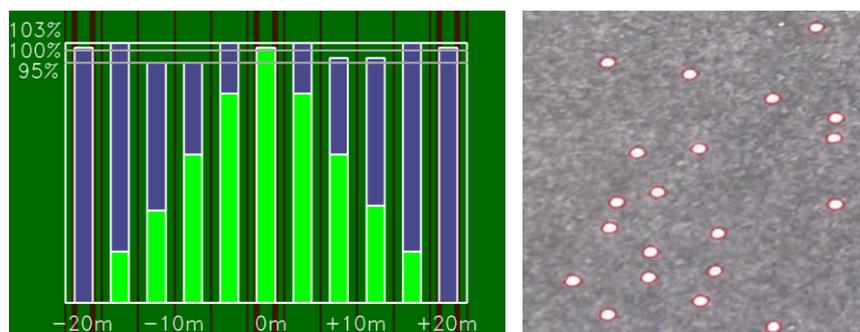


Bild 4: Ermittelte Verteilung im Labortest und markierte Objekte

Im rechten Teil von **Bild 5** ist ein weiteres Bild aus einem Wiederholungsversuch mit der gleichen Szenerie gezeigt, in dem nicht alle Objekte optimal erkannt wurden, da das Bild verwackelt wurde. Auch dieses Bild zeigt allerdings den sehr positiven Verlauf dieses Versuches. Denn es ist das Bild an Position 6 (erste Position rechts neben der Mitte in **Bild 5** links) der in der folgenden Darstellung gezeigten, mit der Zielhardware aufgenommenen Verteilung.

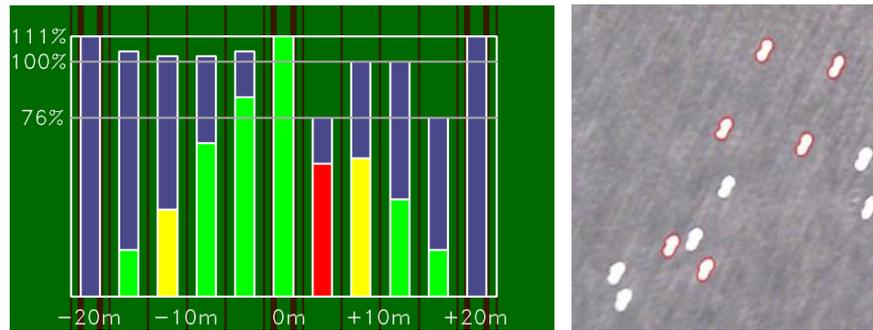


Bild 5: Ermittelte Verteilung bei verwackelten Bildern

Das verwackelte Bild hat hier zu Problemen und Mehrdeutigkeiten bei der Objektklassifizierung geführt, was die ermittelte Unsicherheit erhöht hat und der Algorithmus hat die entsprechende Säule aus sich heraus rot markiert. Somit zeigte sich auch die Funktionstüchtigkeit der Selbstüberwachung des Algorithmus in diesem Test.

6 Feldtests

Nach Durchführung von Labortests auch unter Praxisbedingungen auf dem Feld getestet. Bei diesen Tests wurde Dünger mit einem Zentrifugaldüngerstreuer auf dem Acker ausgebracht, mit Düngerschalen aufgefangen und die Inhalte der Schalen ausgewogen. Weiterhin wurde die Düngerkennungs-App getestet, indem an den Stellen neben den Düngerschalen Fotos aufgenommen wurden und diese automatisch ausgewertet wurden. Das Auswertungsergebnis konnte dann mit den Ergebnissen der Schalenwiegung vergleichen werden.

Diese Tests führten vielfach zu durchwachsenen Ergebnissen. **Bild 6** zeigt im linken Teil zeigt ein Beispiel für ein Bild aus diesen Versuchen, mit den Objekten, die der Algorithmus als Düngerkörner angesehen hat, rot oder blau markiert. Es ist zu erkennen, dass deutlich zu viele Fremdobjekte markiert wurden. Das Problem, welches hier vorlag ist, dass der Boden hier frisch nach der Saat noch nicht abgereget war. Außerdem war der Boden an der Oberfläche ausgetrocknet und wirkt daher hier – zudem bei vollem Sonnenlicht fotografiert – nicht mehr schwarz oder braun, sondern eher hellgrau, sodass hier weder die geometrischen Merkmale noch die Farbwerte signifikante Größen zur Unterscheidung von Düngerkörnern und Fremdobjekten sind. Hieraus ergibt sich die Schwierigkeit den Algorithmus unter diesen Bedingungen einzusetzen.

Daher hat die in diesem Versuch ermittelte, in **Bild 6** gezeigte Verteilung auch keinerlei Gemeinsamkeiten mit der aufgenommenen Verteilung. Positiv ist allerdings hervorzuheben, dass die Balken größtenteils rot eingefärbt sind, dem Bildverarbeitungsalgorithmus diese Probleme also auch intern deutlich geworden sind.

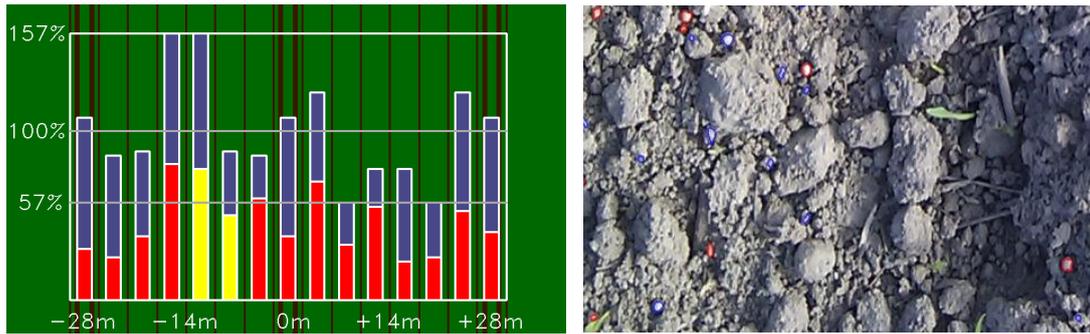


Bild 6: Ausgabe des Algorithmus beim ersten Feldtest und Beispielbild

In einem weiteren Versuche wurden Düngerkörner auf einer abgeregneten Fläche mit Winterrapas erfasst. Ein beispielhaftes Foto aus diesen Versuchen ist im rechten Teil von **Bild 8** zu sehen. In **Bild 7** ist die mit Schalen ermittelte Referenzverteilung gezeigt.

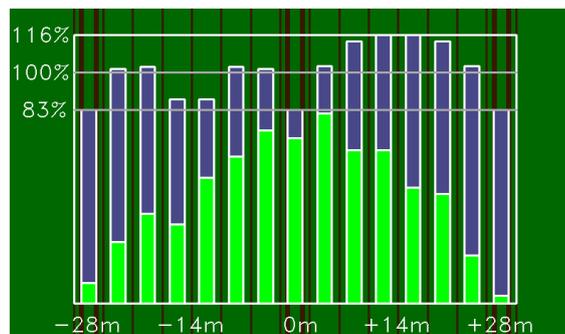


Bild 7: Mit Schalen ermittelte Referenzverteilung

Im Rahmen dieses Versuches konnte ein dieser Verteilung näher kommendes Ergebnis erzielt werden. Diese Verteilung, die im Idealfall der in **Bild 7** entsprochen hätte, ist in **Bild 8** zu sehen.

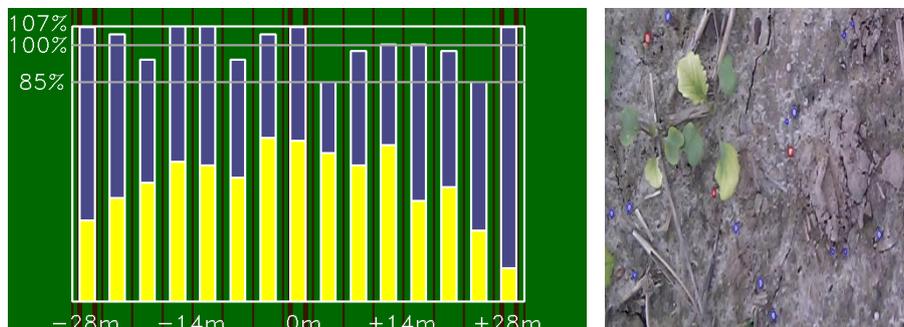


Bild 8: Mit Hilfe der Bildverarbeitung ermittelte Verteilung

Die mittlere Abweichung der Höhen der Säulen auf Basis der Bildverarbeitung im Vergleich zu denen auf Basis der Wiegunen lag hier bei 16,7%.

7 Ausblick

Es wird deutlich, dass die Bildverarbeitung zur Kornerkennung zwar prinzipiell funktioniert für einen praktischen Einsatz noch zu instabil ist. Es sind hier weitere Maßnahmen erforderlich, um eine höhere Robustheit auch unter ungünstigen Bedingungen zu erreichen. Ein möglicher Ansatz hierfür wäre, in der GUI eine Möglichkeit vorzusehen, Objekte zu markieren oder Markierungen zu löschen. Auf diese Weise könnte der Anwender bei schwachen Ergebnissen einige Körner markieren, und diese Markierungen bei einem erneuten Bildauswertungslauf beachtet werden, um so das Ergebnis iterativ zu verbessern.

Literaturverzeichnis:

- AMAZONEN-WERKE H. DREYER GMBH & Co. KG:** Agritechnica-Medaillen von 1997 bis 2007, Amazone Homepage, abgerufen von: <http://www.amazone.de/1176.asp>, 25.09.2011
- MARQUERING, JOHANNES (2002):** Die Auswirkungen unterschiedlicher Stoffeigenschaften bei der Ausbringung von Mischdüngern mit Zentrifugaldüngerstreuern, Hohenheim: Dissertation; Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft im VDI
- KURPJUWEIT, HERMANN (2011):** Anforderungen und Grenzen einer leistungsfähigen Mineraldüngerapplikation, in: VDI-MEG: Tagung Landtechnik für Profis. Effiziente Technik für Düngung und Pflanzenschutz, Düsseldorf: VDI Verlag GmbH, S. 25-30
- STAMM (2006):** Streufehler bei Seitenwind, DLZ-Sonderdruck, DLZ Agrarmagazin.10., abgerufen von: http://www.effizientduengen.de/download/fach_streufehler_seitenwind.pdf, 15.09.2011
- SULKY-BUREL:** System Justax, Sulky Burel Homepage, abgerufen von: <http://www.sulky-burel.com/technique.aspx?justax>, 26.07.2011
- THRUN S., BURGARD W., FOX D. (2005):** Probabilistic Robotics, Cambridge, Massachusetts, London: The MIT Press