

1 Einleitung

Die Produktion qualitativ hochwertiger und gesundheitlich unbedenklicher Lebensmittel ist eine gesellschaftliche Forderung, mit der sich Landwirte zunehmend auseinander setzen müssen. Die sich aus diesen Anforderungen ergebenden Herausforderungen für die Produktion von Lebensmittelgetreide werden in Hinblick auf das innovative Verfahren der selektiven Getreideernte in dieser Arbeit untersucht und diskutiert. Das Verfahren der selektiven oder qualitätsdifferenzierten Getreideernte besteht darin, Partien unterschiedlicher Qualität bereits während des Mähdruschs zu trennen und diese Partientrennung bei Transport, Umschlag und Lagerung fortzuführen. Eine selektive Getreideernte erfordert - neben dem Einsatz geeigneter Sensoren - zunächst bauliche Veränderungen am Mähdrescher. Dazu ist die Konstruktion einer Weiche zur Aufteilung des Gutstroms in zunächst zwei Fraktionen definierter Qualität sowie die Trennung des Korntanks notwendig. Untersuchungen aus dem In- und Ausland zur Online-Messung des Rohproteingehaltes von Getreide während des Mähdruschs haben gezeigt, dass Lage und Verteilung einzelner Qualitätseigenschaften innerhalb eines Schlages mit Hilfe von qualitätsdifferenzierten Ertragskarten dokumentiert werden können. Der geeignete Ansatz dieser gegebenen Standort- und Bestandesheterogenität zu entsprechen, ist das Verfahren der qualitätsdifferenzierten Getreideernte. Bedingung und Grundlage dieses Verfahrens ist die Möglichkeit, mittels Nahinfrarot-Spektroskopie Qualitätsparameter von Druschfrüchten wie beisin Echtzeit während des Mähdruschs zu erfassen. Die Möglichkeit der Online-Messung des Proteingehaltes in Verbindung mit einer eigenschaftsdifferenzierten Trennung des Gutstroms während des Mähdruschs wird in einigen Publikationen diskutiert. Bisher sind die verfahrenstechnischen Grundlagen der qualitätsdifferenzierten Getreideernte jedoch nicht formuliert worden. Die Anforderungen, die aus verfahrenstechnischer Sicht an die notwendigen Veränderungen des Mähdreschers gestellt werden, sollen in dieser Arbeit benannt und evaluiert werden.

2 Ziele und Aufgaben

Grundsätzlich ist ein Instrumentarium zu entwickeln, das auf gegebene Qualitätsunterschiede von Getreide innerhalb eines Ackerschlages eingehen kann. Mit der statistischen und geostatistischen Auswertung von Datenmaterial zur Online-Erfassung von qualitätsbestimmenden Inhaltsstoffen von Weizen- und Gerstenbeständen wird die Hypothese formuliert, dass die selektive Getreideernte verfahrenstechnisch umgesetzt werden kann.

Es soll geprüft werden, ob eine eigenschaftsdifferenzierte Ernte mit der in den Beispielschlägen gegebenen Variabilität umgesetzt werden kann und inwiefern sich aus den Ergebnissen Algorithmen ableiten lassen, welche die Steuerung der Gutstromtrennung im Prüfstand zur selektiven Getreideernte realisieren. Anhand der Datenauswertung soll disku-

tiert werden, ob die für die selektive Getreideernte erforderliche Bestandesvariabilität gegeben ist und inwieweit diese Ergebnisse mit Angaben aus der Literatur übereinstimmen. Die Nutzung der Fernerkundung zur Bestimmung von Inhaltsstoffen und die Möglichkeiten der Modellierung von Ertragskarten sind zu diskutieren. Es sind Anforderungen an die Sensortechnik sowie Vorschläge zur Ansteuerung der Weiche zu formulieren, die sich aus der vorhergehenden Datenanalyse ergeben. Die Definition von standardisierten Parametern dient in der Folge dazu, Signale für die „Online-Aktorik“ bereitzustellen. Die Grundlagen für das Verfahren der selektiven Getreideernte werden also aus der Beschreibung und Analyse der Bestandesheterogenität abgeleitet. Das Verfahren wird dabei in Zusammenhang mit den Umweltfaktoren Standort, Topographie und Witterung betrachtet. Das Datenmaterial wurde von Herrn Prof. Dr. Yves Reckleben, Fachhochschule Kiel, zur Verfügung gestellt. Die Datenerfassung erfolgte im Rahmen des BMBF-Projektes „Innovative Echtzeitsensorik zur Bestimmung und Regelung der Produktqualität von Getreide während des Mähdruschs“ am Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik (ILV) der Christian-Albrechts-Universität Kiel in den Jahren 2000 – 2005 auf Flächen in Schleswig-Holstein.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der deskriptiv-statistischen Analyse der Proteingehalte der Getreidebestände zeigen, dass anhand des Variationskoeffizienten eine erste Einschätzung der Bestandesheterogenität vorgenommen werden kann. Im Fall des Qualitätsparameters Rohproteingehalt ist es jedoch so, dass im Gegensatz zur Auswertung quantitativer Ertragsdaten die jeweiligen Grenzwerte zur Qualitätseinstufung des Getreides beachtet werden müssen. Weitere statistische Kennzahlen zur Beschreibung des Qualitätsparameters Proteingehalt geben Aufschluss über die Heterogenität des Bestandes. Für die Betrachtung der Bestandesheterogenität sind im Besonderen die Extremwerte von Interesse. So deutet eine ausgeprägte Reichweite der Messwerte auf signifikante Schwankungen der Proteingehalte hin. Um aber aussagekräftige Schlüsse auf deren Häufigkeit zu ziehen, ist es zusätzlich notwendig, die entsprechenden Histogramme in die Analyse einzubeziehen.

Mit Hilfe geostatistischer Analyseverfahren sind Kennzahlen zur gegebenen Bestandesheterogenität generiert worden, aus denen Konsequenzen für teilflächenspezifische Maßnahmen abgeleitet worden sind. Die Semivarianz lässt Rückschlüsse auf die Eignung des Bestandes für die eigenschaftsdifferenzierte Ernte aufgrund der gegebenen Bestandesvariabilität zu. Diese Kenngrößen werden als Kriterien für die Eignung des Schlags und jeweiligen Anbaujahres für die teilflächenspezifische Getreideernte herangezogen. Maßgeblich für die Beschreibung der Bestandesheterogenität ist demzufolge zum einen die Ausprägung der Semivarianz, zum anderen gibt die Reichweite die Länge der kleinsten Teilflächen an. Es hat sich gezeigt, dass zur umfassenden Analyse der in Getreidebeständen gegebenen Variabilität

qualitätsbestimmender Inhaltsstoffe eine Kombination statistischer und geostatistischer Analyseverfahren sowie die Visualisierung der Bestandesheterogenität mittels Proteinkarten und fahrspurbasierten Diagrammen notwendig ist. Um aus den Kennzahlen der geostatistischen Analyse eine mögliche Taktfrequenz der Weiche zur Trennung des Gutstromes ableiten zu können, ist ein weiterer Parameter in die Kalkulation mit einzubeziehen. Dieser Umstand wird aus der Kombination der Ergebnisse der Variogrammanalyse mit der fahrspurbasierten Datenauswertung deutlich. Zwar gibt die Reichweite einen ersten Überblick über minimale Teilflächenlängen eines Bestandes, präzise Informationen über die Länge von Proteingehaltsklassen können aber erst dem Verlauf des Rohproteingehaltes innerhalb der Fahrspur entnommen werden.

Die verfahrenstechnischen Anforderungen und Grundlagen der selektiven Getreideernte ergeben sich aus der Datenauswertung und können anhand eines Entscheidungsbaumes veranschaulicht werden. Dieses Modell ist anwendbar, wenn zur Potentialabschätzung der selektiven Getreideernte vorhandenes Datenmaterial ausgewertet werden kann. Das für die Auswahl des Ernteverfahrens entscheidende Kriterium ist die hinreichende Beschreibung und Analyse der Bestandesheterogenität mit deskriptiv-statistischen und geostatistischen Methoden. Ist die Variabilität wertbestimmender Inhaltsstoffe gegeben und entspricht das Erntegut grundsätzlich den fruchtartspezifischen Qualitätsanforderungen der aufnehmenden Hand, fällt die Entscheidung zugunsten des selektiven Ernteverfahrens. Entscheidenden Einfluss auf die Umsetzung des Verfahrens hat die Ausprägung der Qualitätsschwankungen. Eine hohe Amplitude in Verbindung mit einer geringen Frequenz der Bestandesheterogenität stellt das Optimum für die eigenschaftsdifferenzierte Ernte dar.

Zukünftig soll die Echtzeiterfassung von Qualitätsparametern unmittelbar mit der Gutstromtrennung während des Mähdruschs verknüpft werden. Inwieweit dabei Prognosemodelle zur Qualitätsabschätzung von Pflanzenbeständen zum Einsatz kommen, um die grundlegende Eignung des Bestandes zur eigenschaftsdifferenzierten Ernte zu bestimmen, ist zu prüfen.

4 Schlussfolgerungen

Die Eignung der Nahinfrarot-Spektroskopie zur Online-Messung von Inhaltsstoffen während des Mähdruschs ist erwiesen. Die Hypothese, dass die selektive Getreideernte verfahrenstechnisch umsetzbar ist, kann mit der Voraussetzung, dass die Variabilität der Bestände aufgrund der vorhandenen Bodenheterogenität und deren Wechselwirkung mit Topographie und Witterung gegeben ist, bestätigt werden. Für die Steuerung der Gutstromtrennung ist die optimale Voraussetzung eine möglichst geringe Schwankungshäufigkeit des Proteingehalts bei ausreichender Ausprägung der Schwankungsbreite. Die Steuerung der Weiche zur Partientrennung ist mit geeigneter fuzzy-logic basierter Regelungstechnik auszuführen, um das

System stabil zu halten und eine zuverlässige Trennung der verschiedenen Qualitäten zu gewährleisten.

Prinzipiell sollte sich das Potential eines Standorts in Bezug auf den Einsatz selektiver Ernteverfahren aus der vorhandenen Kenntnis des Landwirts über Bodenheterogenität mit Berücksichtigung des Witterungsverlaufs ableiten lassen. Die Aufgabe selektiver Ernteverfahren ist die Partientrennung von Getreide unterschiedlicher Qualität zur Optimierung der qualitätsorientierten Vermarktung für den Erzeuger. Der Rohproteingehalt des Korns ist ein wesentliches Qualitätskriterium, das über die Verwendung von Gerste (*Hordeum vulgare* L.) als Brau- bzw. Futtergerste sowie Weizen (*Triticum aestivum* L.) als Back- bzw. Futterweizen mit dementsprechenden Preisunterschieden entscheidet. Steigende Kosten für Stickstoffdünger und Umweltschutzaufgaben grenzen Optimierungsmaßnahmen zur Erzielung hoher Proteingehalte bei Weizen zunehmend ein. Im Gegensatz dazu kann der Rohproteingehalt von Braugerste, der in einem engen Spektrum von 8,5 % bis maximal 11,5 % liegt, durch Bewirtschaftungsmaßnahmen nur begrenzt beeinflusst werden. Entscheidend ist vielmehr der Einfluss von Sorte sowie den Standort- und Witterungsbedingungen. Dies ist vor allem auf die verhältnismäßig kurze Vegetationsperiode der Sommergerste und der daraus resultierenden sensitiven Reaktion auf limitierende klimatische und standortbedingte Faktoren in kritischen Wachstums- und Entwicklungsphasen zurückzuführen. Während die Verfügbarkeit von Stickstoff im Ökologischen Landbau nach wie vor als limitierender Faktor für die Erzeugung von Qualitätsgetreide gilt und sich eine qualitätsdifferenzierte Ernte deshalb in besonderem Maße anbietet, kann eine Ausweitung des Konzepts der selektiven Getreideernte auf die so genannte konventionelle Bewirtschaftung unter dem Gesichtspunkt der Reduzierung von N-Flächensalden erfolgen. Sämtliche eingesetzten agrotechnischen Maßnahmen sind ausschlaggebend für die Prozessqualität des Anbauverfahrens. Dazu zählen beispielsweise N-Austräge infolge nicht ausreichend angepasster Düngungsstrategien. Zugleich sind Stickstoffausträge ein ökologisches Indiz für die Nachhaltigkeit der ackerbaulichen Nutzung, ebenso wie die Effizienz der Stickstoffdüngung die Bemessungsgrundlage für die wirtschaftliche Bewertung eines Verfahrens ist. Dieser Zusammenhang von Produkt- und Prozessqualität sowie nachhaltiger Bewirtschaftungsweise verdeutlicht die Notwendigkeit angepasster Managementstrategien. Mit der selektiven Getreideernte kann ein Verfahren zur Verfügung gestellt werden, das diesen Ansprüchen gerecht werden kann. Das Potential einer Partientrennung gemäß definierter Qualitätsparameter lässt sich hier aus der Kompensation möglicher Qualitätseinbußen aufgrund einer Verringerung der N-Düngung ableiten.

Die Erzeugung von Qualitätsweizen im Ökologischen Landbau mit Mindestrohproteingehalten in Höhe von 10,0 % ist insbesondere aufgrund der begrenzten Stickstoffverfügbarkeit schwierig. Grundsätzlich wird das Verfahren der selektiven Getreideernte den An-

forderungen des Ökologischen Landbaus in mehreren Aspekten gerecht: die Erfassung georeferenzierter Standort- und Bestandesinformationen als Voraussetzung von Precision Farming und teilflächenspezifischer Beerntung von Ackerschlägen entspricht den Prinzipien des ökologischen Landbaus nach Erhaltung der Diversität des Bodens und der Bestände. Des Weiteren ist im Zuge des Strukturwandels in der Landwirtschaft damit zu rechnen, dass mit zunehmender Flächenausstattung einzelner Betriebe das so genannte lokale Expertenwissen, also die Kenntnis der Standort- und die Bestandesheterogenität, abnimmt. Daraus lässt sich weiteres Potential für qualitätsdifferenzierte Ernteverfahren ableiten.

Das Verfahren der selektiven Getreideernte ist geeignet, im Rahmen eines Qualitätssicherungssystems, welches insbesondere die EU-Richtlinie 178/2002 erfordert, Anwendung zu finden. Die Partientrennung bei Ernte, Transport, Umschlag, Lagerung und Vermarktung ist ein geeignetes Instrument zur lückenlosen Rückverfolgbarkeit und Dokumentation des Produktionsprozesses von Brot- und Brau- und Energiegetreide.