

# **Quantifizierung der Effekte von Boden, Unkraut und Herbizid auf den Ertrag von Winterweizen, Wintergerste und Mais mit einem gemischtem linearen Modell als Grundlage für ein Expertensystem für Precision Farming Anwendungen**

Christoph Gutjahr<sup>1</sup>, Hans Peter Piepho<sup>2</sup>, Roland Gerhards<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Phytomedizin, Fachgebiet Herbologie, Universität Hohenheim, Otto-Sander-Straße 5, 70593 Stuttgart, cgutjahr@uni-hohenheim.de

<sup>2</sup>Institut für Pflanzenbau und Grünland, Fachgebiet Bioinformatik, Universität Hohenheim, Fruwirthstraße 23, 70593 Stuttgart

**Abstract:** Gegenstand der vorliegenden Arbeit war, Entscheidungsregeln für eine teilflächenspezifische Herbizidapplikation zu entwickeln. In den hier dargestellten Versuchen wurde anhand eines gemischt linearen Modells mit anisotropher räumlicher Korrelationsstruktur ermittelt, in welchem Umfang Bodenvariabilität, Unkrautverteilung und Herbizidapplikation einen Einfluss auf den Ertrag von Wintergerste, Weizen und Mais hatten. Diese Erkenntnisse sollen neben Unkraut-Konkurrenz-Modellen und Herbizid-Dosis-Wirkungs-Modellen bei der Entwicklung eines Expertensystems zur teilflächenspezifischen Herbizidapplikation miteinbezogen werden.

## **2 Material und Methoden**

### **2.1 Versuchsanlage**

In den im On Farm Research Design durchgeführten Feldversuchen wurden die Ertragseffekte von Unkräutern, Ungräsern und verschiedener Herbizide bestimmt. Um eine hohe Anzahl der verschiedenen möglichen Kombinationen aus Unkraut- oder Ungrasbesatz (viel, wenig) und Herbizidapplikation (ja, nein) zu erhalten, ist man bei der Durchführung dieser Feldversuche auf eine große Heterogenität der Unkrautverteilung angewiesen. Eine Randomisation gewährleistet, dass alle möglichen Kombinationen in ausreichender Zahl vorkommen. Bei einem klassischen Feldversuch mit einer randomisierten Blockanlage ist man bestrebt, natürliche Heterogenität so gut es geht zu vermeiden. Beim Precision Experimental Design [Gu08] wird diese Heterogenität der Fläche bewusst genutzt und ermöglicht so Versuche mit vielgliedriger Versuchfragestellungen die in klassischen Feldversuchen in dieser Form nicht möglich wären. Gerade wenn es darum geht, Entscheidungsvorschriften für eine Precision Farming Anwendung zu entwickeln, muss bekannt sein, wie sich verschiedene Maßnahmen in Abhängigkeit der an der Teilfläche vorliegenden natürlichen Eigenschaften auf den Ertrag auswirken. In diesem Versuch wurden die Faktoren

Heterogenität der Unkraut- und Ungrasverteilung mit verschiedenen Herbizidapplikationsvarianten kombiniert.

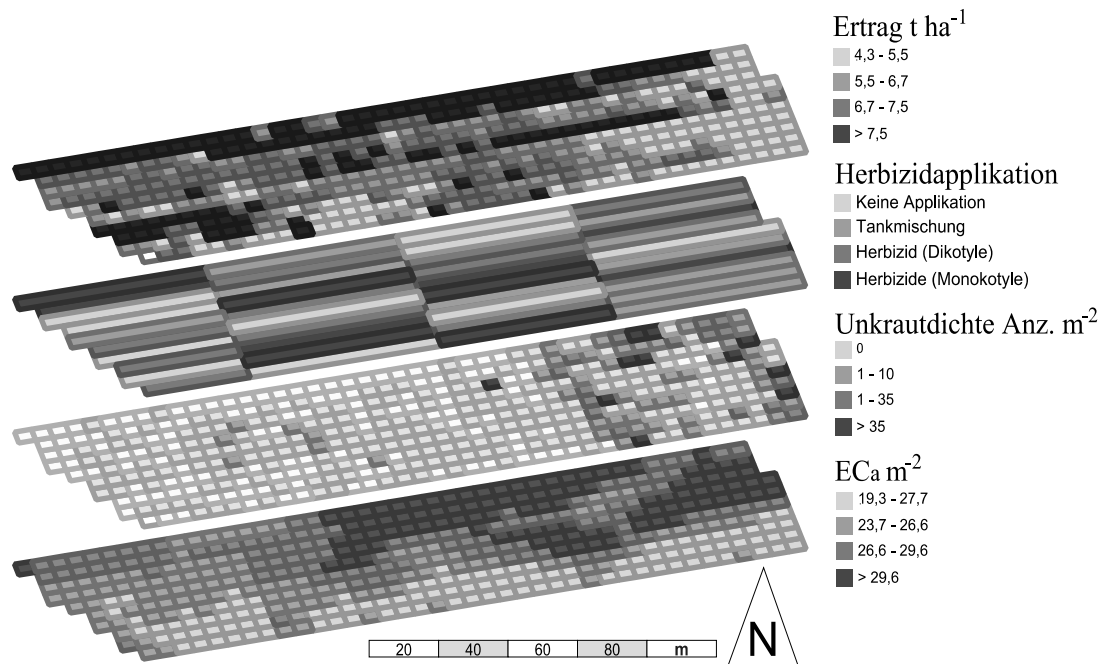


Abbildung 1: Verschnittenen Karten mit der Information über die ECa Werte des Bodens [ECa m<sup>-2</sup>], Unkrautdichte [Anz. Pfl. m<sup>-2</sup>], Herbizidapplikation und den Kornenertrag [t ha<sup>-1</sup>].

In anderen Versuchsfragestellungen wäre es zum Beispiel ebenso möglich, die Bodeneigenschaften oder die Vitalität und Dichte des Kulturpflanzenbestandes als natürliche Heterogenität mit verschiedenen Bodenbearbeitungsverfahren oder Düngungsvarianten zu kombinieren. Die Versuche wurden in den Jahren 2007 und 2008 in Mais und Winterweizen durchgeführt. Die Anlage der Versuche erfolgte in einem Precision Experimental Design (Abb.1).

### 2.3 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde mit dem unten dargestellten gemischt linearen Modell mit anisotroper räumlicher Korrelationsstruktur in PROC MIXED (SAS 9.1) durchgeführt. Der Ertrag ( $y$ ) ist dabei die Zielvariable, Bodengüte ( $z$ ) und Unkrautbesatz ( $k$ ) sind Covariablen und die Herbizidapplikation ( $\omega$ ) (ja/nein) ist der Versuchsfaktor [Ri08].

$$y_{ij} = \mu + \sum_{k=1}^{K=3} \omega_{ijk} \tau_k + \sum_{k=1}^{K=3} [\omega_{ijk} \beta_{1k} + (1 - \omega_{ijk}) \beta_{0k}] x_{ijk} + \lambda z_{ij} + e_{ij}$$

### 3. Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der statistischen Auswertung mit dem gemischt linearen Modell mit anisotropher räumlicher Korrelationsstruktur der Versuchsjahre 2007 und 2008 sind in der Tabelle 1 abgebildet. Die Werte zeigen jeweils die Ertragswirkung [t ha<sup>-1</sup>] einer einzelnen Unkraut- und Ungraspflanze m<sup>-2</sup>, der Herbizidapplikation sowie die Ertragswirkung von 1,0 ECa m<sup>2</sup>. Die fehlenden Werte konnten auf Grund mangelnder Heterogenität der Unkrautverteilung (Wintergerste und Mais 2008) nicht ermittelt werden. Für den Maisversuch 2008 lagen keine EM 38 Werte vor. Entsprechend den Ergebnissen der Reichsbodenschätzung kann innerhalb dieses Schrages von einheitlichen Bodengüten ausgegangen werden. In beiden Versuchen bestand zwischen den EM-38 Werten und dem Kornertrag eine negative Korrelation. Die Ertragseffekte der verschiedenen Herbizide wurden an Teilflächen mit keinem oder nur sehr geringem Unkraut bzw. Ungrasbesatz ermittelt. Die Werte lagen hier zwischen -0,155 t ha<sup>-1</sup> (Wintergerste 2008) und -0,713 t ha<sup>-1</sup> (Winterweizen 2007). Je nach Unkraut- bzw. Ungrasart lagen deren Ertragseffekte zwischen -0,005 (Ungras in Wintergerste 2008) und -0,047 [t ha<sup>-1</sup> Pflanze m<sup>-2</sup>].

Tabelle 1: Ermittelte Ertragseffekte der Unkräuter und Ungräser [t Pflanze<sup>-1</sup>] sowie der Herbizidapplikation und den EM 38-Werten [t ha<sup>-1</sup>].

Kultur- pflanze	Ertragseffekt [t ha <sup>-1</sup> Pflanze m <sup>-2</sup> ]		Ertragseffekt [t ha <sup>-1</sup> ]		EM 38 [ECa m <sup>-2</sup> ]
	Unkräuter	Ungräser	Herbizid gegen Unkräuter	Herbizid gegen Ungräser	
<b>Wintergerste (2008)</b>	-	-0,005	-0,157	-0,155	-0,095
<b>Mais (2008)</b>	-0,028	-0,047	-	-0,341	-
<b>Weizen (2007)</b>	-0,009	-0,023	-0,203	-0,713	-0,156

Nicht alle Ergebnisse konnten statistisch abgesichert werden

Abbildung 2 zeigt eine Möglichkeit, wie das Ergebnis eines Precision Experimental Designs für die Erstellung von Entscheidungsregeln für die teilflächenspezifische Herbizidapplikation verwendet werden kann. Dargestellt ist der Nutzen der Herbizidapplikation [€ ha<sup>-1</sup>] in Abhängigkeit vom Ungrasbesatz in Mais. Die zugrunde liegende Funktion wurde mit dem gemischt linearen Model ermittelt. Sie beschreibt wie in diesem Versuch der Ungrasbesatz (*Echinochloa-crus-galli*) den Maisertrag beeinflusst hat. Die Funktion berücksichtigt ebenfalls die Ertragswirkung des Herbizides, was in diesem Fall bei geringer Ungrasdichte zunächst zu einem negativen

Nutzen der Herbizidapplikation führt. Der Schnittpunkt der Funktion mit der X-Achse beschreibt die biologische Schadschwelle, bei der die Konkurrenzwirkung des Ungrases dieselbe Ertragswirkung hat wie die Herbizidapplikation. In diesem Fall liegt die biologische Schadschwelle bei ca. 14 Ungräsern  $\text{m}^{-2}$ . Bei Herbizid- und Applikationskosten von 25 €  $\text{ha}^{-1}$  wurde die ökonomische Schadschwelle bei einer Ungrasdichte von ca. 17 Ungräsern  $\text{m}^{-2}$  erreicht. Hier war der Erlösverlust durch die Ungraskonkurrenz genauso hoch wie die Summe aus Bekämpfungskosten und der monetären Wirkung der Herbizidapplikation. Aus ökonomischer und ökologischer Sicht wäre es also sinnvoll, die Effekte des Bodens und des Herbizids in die Entscheidung über eine teilschlagspezifische Unkrautbekämpfung mit einzubeziehen. Das hier dargestellte Modell berücksichtigt die Konkurrenzeffekte durch das Unkraut, nicht jedoch die langfristigen Auswirkungen einer Restverunkrautung in den folgenden Jahren. Diese sollte mit Hilfe populationsdynamischer Modelle ebenfalls berücksichtigt werden. Grundsätzlich können die Ergebnisse von Feldversuchen im Precision Experimental Design bei der Erstellung von Expertensystemen für Precision Farming Anwendungen jedoch einen wesentlichen Beitrag leisten.

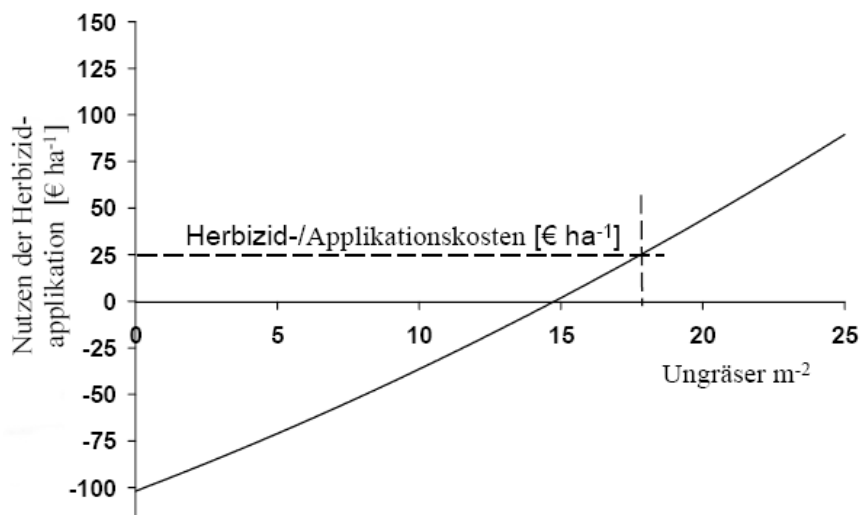


Abbildung 2: Nutzen der Herbizidapplikation [€  $\text{ha}^{-1}$ ] in Abhängigkeit von der Ungrasdichte (*Echinochloa-crus-galli*) in Mais. Es wurde ein Maispreis von 200 €  $\text{t}^{-1}$  angenommen.

## Literaturverzeichnis

- [Ri08] Ritter, C., Dicke, D., Weis, M., Oebel, H., Piepho, H.P., Büchse, A., Gerhards, R., 2008: An on-farm research approach to quantify yield variability and to derive decision rules for site-specific weed management. *Precision Agriculture* 9, 133-146.
- [Gu08] Gutjahr, C., Weis, M., Sökefeld M., Ritter, C., Möhring, J., Büchse, A., Piepho, H.P., Gerhards, R., 2008: Erarbeitung von Entscheidungsalgorithmen für die teilflächenspezifische Unkrautbekämpfung. *Journal of Plant Diseases and Protection* Special Issue XXI, 143-148.