

Teilflächenspezifische N-Düngung nach datenbankgestützten Entscheidungsregeln

Martin Schneider, Georg Weigert, Peter Wagner

Institut für Agrarökonomie
Universität Halle
06099 Halle/Saale
martin.schneider@landw.uni-halle.de
georg.weigert@wzw.tum.de
peter.wagner@landw.uni-halle.de

Abstract: Es wird ein Feldversuch vorgestellt, bei dem vier unterschiedliche Stickstoffdüngesysteme miteinander verglichen wurden. Der Schwerpunkt liegt auf der Vorstellung einer Methode, zu der mit Hilfe von neuronalen Netzen aus Datenbankinformationen Entscheidungsregeln abgeleitet werden. Unter ökonomischen Gesichtspunkten erreicht diese Düngemethode das beste Ergebnis.

1 Einleitung

Entscheidungsregeln bilden die Grundlage für die Steuerung landwirtschaftlicher Maßnahmen. Mit Hilfe dieser Regeln wird die Frage beantwortet, welche Handlungsalternativen unter bestimmten Bedingungen ausgewählt werden. Während bei schlageinheitlicher Feldbewirtschaftung pro Bewirtschaftungsmaßnahme jeweils eine Entscheidung für das gesamte Feld getroffen wird, müssen bei teilflächenbezogener Bewirtschaftung die Entscheidungsregeln zu jeder Teilfläche erneut angewendet werden. Oftmals wird bei der schlageinheitlichen Entscheidungsfindung langjährige Erfahrung zum Standort herangezogen. Das Ertragspotenzial eines Feldes kann aus vergangenen Ernteergebnissen bestimmt werden und unter Einbezug des bisherigen Witterungsverlaufes kann abgeschätzt werden, welcher Handlungsbedarf besteht. Anders sieht es bei der Unterteilung der Schläge in Teilflächen aus. Mit steigender Anzahl solcher Unterteilungen und zunehmender Informationsdichte zu jeder einzelnen Teilfläche, sinkt die Übersichtlichkeit und damit die Möglichkeit, die richtige Handlungsalternative intuitiv auszuwählen. Andererseits kann der Bedarf an Teilflächen hoch sein, um auf die natürliche Variabilität eines Schlages richtig eingehen zu können. Es werden also möglichst automatisiert gewonnene Entscheidungsregeln benötigt, die auf Grundlage von kleinräumigen Unterschieden eine Handlungsempfehlung vorgeben können. Weigert [We05] entwickelte eine Methode zur Ableitung von Entscheidungsregeln für die teilflächenspezifische Stickstoffdüngung aus unterschiedlichen Standortinformationen. Die Grundlage dafür stellt eine Datenbank dar, worin verschiedene Informationen zu Teilflächen eines Stand-

ortes zusammengetragen wurden. Daraus werden mit Hilfe von Ertragsprognosemodellen und unter der Annahme von gewinnmaximalen Stickstoffmengen, Entscheidungsregeln für vergleichbare Standorte abgeleitet. Diese Regeln wurden in einem Feldversuch angewendet und mit anderen Düngesystemen verglichen. Die Ergebnisse sollen im Folgenden vorgestellt werden.

2 Versuchsdurchführung

2.1 Versuchsdesign

Der Versuch fand auf einem 63 ha großen Schlag der Domäne Görzig, dem Lehr- und Versuchsgut der MLU Halle, etwa 25 km nördlich von Halle, statt. Die durchschnittliche Bodenwertzahl beträgt 73. Mit 475 mm Jahresniederschlag liegt der Standort im Regenschatten des Harzes. Die vier unterschiedlichen N-Düngungssysteme „betriebsüblich“, „Depotdüngung“, „Yara-N-Sensor®“ und „neuronales Netz“ wurden durchgeführt.

2.2 Entscheidungsregeln des Versuchsgliedes „neuronales Netz“

In einer Datenbank standen auf Teilflächenbasis (20x20 Meter) Informationen zur scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit (EM38), zu historischen Erträgen, historischen Bestandessituationen und Düngemengen zur Verfügung. Diese Daten wurden auf einem benachbarten Schlag in vorangegangenen Jahren gesammelt und auf dieses Raster räumlich interpoliert. Die Verwendung des neuronalen Netzes ist im Folgenden dargestellt.

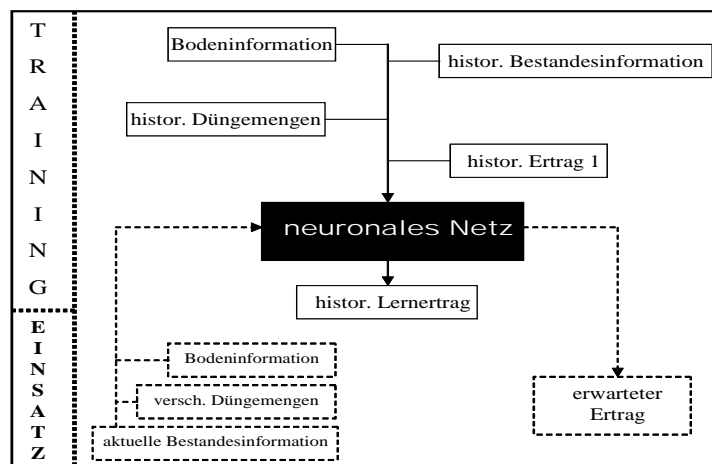


Abbildung 1: Training und Anwendung eines neuronalen Netzes

Zu jeder der drei Stickstoffgaben wurde ein neuronales Netz trainiert. Dabei lernt das Netz, welcher Output (in diesem Fall: historischer Lernertrag) durch welchen Input (hier: Boden- und historische Bestandes-, Ertrags- und Düngemengen) ausgelöst wird.

Nach Abschluss des Trainings werden die Parameter der zu bewirtschaftenden Teilfläche auf das Netz angewendet. Dazu gehen die tatsächlichen Informationen zu Boden und historischen Erträgen, wie auch aktuelle Bestandesparameter ein. Unter der Annahme einer Düngermenge zur jeweiligen Gabe wird vom neuronalen Netz der erwartete Ertrag dieser Teilfläche prognostiziert. Wird nun die Düngemenge in allen technisch möglichen Höhen variiert, so können die Aufwand-Ertragsbeziehungen ermittelt werden. Darüber lässt sich nach dem Marginalprinzip die gewinnmaximale Düngermenge ermitteln. Unter der Annahme dieser gewinnmaximalen Düngermenge können aus dem neuronalen Netz Entscheidungsregeln für die Teilflächen eines Standortes gewonnen werden. Zur ersten Stickstoffgabe 2005 gingen Informationen zum Boden in Form von EM38 Daten sowie Informationen zum Ertrag 2003 ein. Zur zweiten und dritten Gabe gingen jeweils zusätzlich Messungen zur aktuellen Bestandessituation der Teilflächen mit ein. Dazu wurde der REIP (Red Edge Inflexion Point) als Parameter genutzt. Zur Berechnung dieses Indices sind Messungen der Reflektion des Bestandes in verschiedenen Wellenlängen notwendig. Durch den Einbezug eines solchen aktuellen Bestandesparameters fließen Informationen zum bisherigen Vegetationsverlauf und damit auch zur Witterung indirekt mit ein. Abbildung 2 zeigt die vereinfachte Entscheidungsregel der ersten N-Gabe.

IF Ertrag03 <= 7,18	AND Ertrag03 <= 5,26	THEN 60 [kg N/ha]
IF Ertrag03 > 5,26	AND Em38 <= 29,31	THEN 50 [kg N/ha]
	AND Em38 > 29,31	THEN 60 [kg N/ha]
IF Ertrag03 > 7,18	AND Ertrag03 <= 8,86	THEN 40 [kg N/ha]
	AND Ertrag03 > 8,86	THEN 30 [kg N/ha]

Abbildung 2: Entscheidungsregel der ersten Stickstoffapplikation (vereinfacht)

2.3 weitere Düngungsverfahren

Die *homogene Düngungsvariante* wurde vom Pflanzenbauleiter der Domäne geplant. In die Entscheidungen flossen langjährige Erfahrungen zum Standort mit der Winterweizenproduktion ein, sowie die Ergebnisse der N_{\min} Untersuchungen zu Vegetationsbeginn. Es wurde auf ein Ertragsziel von 80 dt/ha gedüngt. Eine weitere Düngungsvariante wurde mit dem *Yara®-N-Sensor* durchgeführt. Dieser optische Sensor ermittelt den Stickstoffbedarf der Pflanzen und steuert online den Düngerstreuer. Der Einsatz erfolgte ab der 2. Düngergabe, zuvor wurde einheitlich gedüngt. Als vierte Düngungsvariante wurde eine *Depotinjektionsdüngung* nach dem CULTAN (Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition) angewendet. Bei diesem Verfahren wird der gesamte Stickstoff in einer Gabe zu Vegetationsbeginn den Pflanzen im Wurzelbereich verabreicht [So03]. Dazu wurde nach dem Mapping Ansatz aus den Informationen von historischen Ertragskarten eine Applikationskarte erstellt.

3 Ergebnisse und Auswertung

Trotz des niedrigsten Düngenniveaus im Vergleich zu den anderen Versuchsgliedern von durchschnittlich 148 kg N/ha erreicht die Methode des neuronalen Netzes den höchsten

Naturalertrag (siehe Tabelle 1). Der Proteingehalt bleibt hinter den Ergebnissen der anderen Düngevarianten zurück. Auffällig ist zur ersten Stickstoffgabe das „inverse Mapping“ des neuronalen Netzes. Die Bestandteile der Entscheidungsregel für diese Gabe sind historische Ertrags- und Leitfähigkeitsdaten. Auf den Teilflächen des Feldes, wo im Jahr 2003 hohe Erträge kartiert wurden, empfahl das neuronale Netz eine im Vergleich zu den anderen Düngemethoden reduzierte erste Stickstoffgabe. Umgekehrt wurde an den Stellen im Feld mehr gedüngt, wo 2003 weniger geerntet wurde.

	„Betrieb“	„Sensor“	„Injektor“	„Netz“
Stickstoffgabe (kg/ha)	175	182	190	148
Ertrag (dt/ha)	70,4	73,4	72,1	76,8
Proteingehalt (RP in TS, %)	14,3	14,9	15,4	12,9
NKL* (€/ha)	606	633	615	647
NDKL** (€/ha)	591	613	585	628
<small>* stickstoffkostenfreie Leistung, berechnet unter Berücksichtigung des Proteingehaltes, Annahme: Verkauf ab Feld ** stickstoff- und stickstoffdüngungskostenfreie Leistung, berechnet nach KTBL „Betriebsplanung Landwirtschaft 2004/05“, Arbeitsgang Düngerstreuen ab Feldrand, Düngerzufuhr Hof-Feld; Yara®-Sensoreinsatz zu Versuchsglied „Sensor“ und „Netz“, Annahme: Einsatz auf jährlich 1300 ha, AfA 5 Jahre, Zinssatz 8% p.a.</small>				

Tabelle 1: Ergebnisse des Feldversuches

Zum Vergleich der unterschiedlichen Düngeysteme muss die um die Kosten der Stickstoffdüngung reduzierte Leistung herangezogen werden. Es wurde zugrunde gelegt, dass der Einsatz auf jährlich 1.300 ha Fläche erfolgt. Die Vollkosten für die drei bzw. eine Düngeüberfahrt, sowie der Einsatz eines Sensors zu den Düngemethoden „Sensor“ und „Netz“ wurden einbezogen. Trotz monetärer Bewertung des niedrigeren Proteingehaltes, ist die Methode „Netz“ weiterhin im Vorteil. Die Differenz von 15 €/ha zur Düngemethode „Sensor“ kann als Entlohnung der einbezogenen und verarbeiteten Informationen zu den Teilflächen verstanden werden. Unter den Bedingungen dieses Feldversuches, erweist sich eine einmalige Stickstoffdüngung zu Beginn der Vegetationsperiode als ökonomisch nicht sinnvoll.

4 Schlussfolgerung

Durch die Nutzung von neuronalen Netzen scheint es möglich zu sein, aus Datenbankbeständen gewinnmaximierende Entscheidungsregeln extrahieren zu können. Es hat sich gezeigt, dass diejenige Düngemethode die größten ökonomischen Vorteile aufzuweisen hat, deren Entscheidung die meiste Information zugrunde liegt. Weiterhin wird zu überprüfen sein, in wieweit das diskutierte Ergebnis in Feldversuchen wiederholbar ist.

Literaturverzeichnis

- [So03] Sommer, K.: Grundlagen des „CULTAN“-Verfahrens, IN: Kücke, M. (Hrsg.): Anbauverfahren mit N-Injektion (CULTAN) – Ergebnisse, Perspektiven, Erfahrungen. FAL Sonderheft 25, 2003.
- [We05] Weigert, G.: Data Mining und Wissensentdeckung im Precision Farming – Entwicklung von ökonomisch optimierten Entscheidungsregeln zur kleinräumigen Stickstoff Ausbringung. Dissertation, TU München, 2005 (im Druck).