

# Steigerung der N-Effizienz durch den Einsatz Künstlicher Neuronaler Netze und Support-Vector-Machines zur kleinräumig differenzierten Stickstoffdüngung im Winterweizen

Benjamin. Burges, Peter Wagner

Professur für Landwirtschaftliche Betriebslehre  
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg  
06099 Halle/Saale  
benjamin.burges@landw.uni-halle.de

**Abstract:** Die Anforderungen an die moderne Landwirtschaft bedingen einen effizienten Ressourceneinsatz, auch bei der N-Düngung. Ökonomisch optimierte Entscheidungsregeln wurden mit Künstlichen Neuronalen Netzen (KNN) und Support-Vector-Machines (SVM) erzeugt und in der Anwendung mit einer betriebseinheitlichen Variante verglichen. Es zeigte sich, dass Einsparpotentiale von bis zu 69 kg N/ha möglich sind (KNN), diese aber unter geostatistischer Beurteilung mit einer signifikanten Ertragsminderung einhergehen. Das SVM-Modell appliziert, bei gleichem Ertrag wie in der betriebseinheitlichen Variante, 20 kg N/ha weniger. Die Stickstoffeffizienz steigt um 10% auf 17.5 kg N/t Ertrag (SVM) bzw. um 30% auf 13.7 kg N/t Ertrag (KNN) im Vergleich zur betriebsüblichen Variante (19.5 kg N/t Ertrag).

## 1 Einleitung

In den letzten Jahren haben sich die ökologischen und ökonomischen Anforderungen an die landwirtschaftliche Produktion kontinuierlich vergrößert. Gleichzeitig sind die technischen Möglichkeiten in der Landwirtschaft stetig gewachsen. Es können kostengünstig und hochaufgelöst georeferenzierte Daten über die Schlagbeschaffenheit oder Ertragspotentiale aufgenommen werden. Die tatsächliche Nutzung dieser Daten, zur Verbesserung der Produktion, entwickelt sich jedoch nicht im gleichen Tempo. Automatisierte Methoden zur Verwertung des gesammelten Datenbestandes (Data Mining) bieten einen großen Vorteil im Hinblick auf den großen Umfang solcher Datensammlungen. Weigert [We06] erzeugte mit künstlichen neuronalen Netzen (KNN) Entscheidungsregeln zur Ertragsvorhersage aus Heterogenitätsindikatoren zur ökonomischen Optimierung der Stickstoffdüngung in der Winterweizen-Produktion. Im Ergebnis der Jahre 2005-2011 ermöglichte seine Arbeit, bei gleichem Ertrag, durch kleinräumig angepasste N-Düngung eine um ca. 20 % gesteigerte Stickstoffeffizienz und einen monetären Vorteil von ca. 25 EUR/ha im Vergleich zur betriebsüblichen Variante.

Ziel dieser Untersuchung ist es, die ökonomische Vorteilhaftigkeit einer teilflächenspezifischen N-Düngung, basierend auf Entscheidungsregeln aus SVM und KNN, herauszustellen. Gleichzeitig soll die Steigerung der N-Effizienz gegenüber der betriebseinheitlichen N-Düngung betrachtet werden.

## 2 Material und Methoden

Dem Methodischen Konzept liegen drei Teilschritte zu Grunde: [1] Erzeugung eines Trainingsdatensatzes für die selbstlernenden Algorithmen aus empirisch erhobenen Daten (Heterogenitätsmerkmale) und der Zielgröße. [2] Training der selbstlernenden Algorithmen zur Schätzung einer Produktionsfunktion mit dem Ziel einer exakten Zielgrößenprognose. [3] Anwendung der Algorithmen zur Prognose der Zielgröße zu den jeweiligen Applikationsterminen und Bestimmung eines Optimums anhand der N-kostenfreien Leistung (NFL).

Zur Abbildung der möglichen Merkmalskombinationen und deren Wirkung auf den Ertrag, wurden 36 Parzellen mit variierenden Stickstoffdüngestufen (0-270 kg N/ha über drei Gaben) als Feldversuch angelegt. Diese Stickstoffgaben bilden zusammen mit den historischen Erträgen, der scheinbaren elektr. Bodenleitfähigkeit ( $EC_a$ ) und den Spektralreflexionen (REIP zu  $EC_{32}$  und  $EC_{49}$ ) die Heterogenitätsmerkmale des Schlags. Der nach der Ernte dieses Steigerungsversuches georeferenzierte Ertrag geht entsprechend als Zielgröße in den Trainingsdatensatz ein. Alle Heterogenitätsmerkmale wurden über Nearest-Neighbour auf die zuvor bereinigten und feuchtekorrigierten Ertragsmesspunkte bezogen, um vollständige georeferenzierte Datensätze zu erhalten. Überschritt der Abstand dabei einen Schwellenwert (3 m) wurde der entsprechende Datensatz ignoriert.

Der erzeugte Trainingsdatensatz wurde genutzt um mit der Data-Mining Software IBM Modeler 15 (IBM) je drei KNN-Modelle und drei SVM-Modelle zu erzeugen. Die verwendeten Prädiktoren in den Prognosemodellen basierten auf den bis zum Zeitpunkt des geplanten Einsatzes verfügbaren Werten. Während zur ersten Düngung nur  $EC_a$ , historische Erträge und die 1. N-Gabe als Prädiktor verwendet wurden, kamen für die Modelle zur zweiten Düngung noch die 2. Gabe sowie der REIP32 als Prädiktor hinzu (resp. REIP49 und 3. N-Gabe zur dritten Düngung).

In der Anwendung schätzten die Modelle aus den gemessenen, georeferenzierten Schlaginformationen für jeden Punkt im Feld den zu erwartenden Ertrag. Diese Schätzung wird für jede räumliche Einheit im Feld mit einer Vielzahl von Stickstoffmengen (0 - 100 kg N/ha) wiederholt und das Optimum als Sollwert ausgewählt. Als Kriterium dieses Optimums diente die maximale NFL, errechnet aus Düngemittelpreis und erwartetem Weizenpreis zur Ernte [Lf13]. Für das Jahr 2013 wurde 1.11 EUR/kg N sowie 234.20 EUR/t Winterweizen angenommen.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

Die Auswertung der Blockanlage mit dem Ertrag als Prüfglied zeigt für alle Varianten ein ähnliches Ertragsniveau ohne signifikante Ertragsunterschiede. Die Anwendung der Data Mining Modelle (KNN und SVM) zeigt im Vergleich zur betriebseinheitlichen Düngung jedoch einen um 69 bzw. 20 kg N /ha deutlich reduzierten Stickstoffeinsatz auf der Versuchsfläche (Tabelle). Das Vergleichsnetz von Weigert [We06] liegt mit einer Ersparnis von 54 kg N/ha im Mittelfeld. Die ökonomische Bewertung der Varianten zeigt für das KNN einen monetären Vorteil von 64 EUR/ha (resp. 28 EUR/ha bei SVM) im Vergleich zur betriebseinheitlichen Variante (Abbildung 1). Die Stickstoffeffizienz verbesserte sich in der Folge um 10% (SVM) und 34% (KNN).

Tabelle 1: Ergebnis der Varianzanalyse mit Least Mean Squares (Estimates) in t/ha

Least Squares Means						
Effect	VARIANTE	Estimate	STD Error	DF	t Value	Pr >  t
VARIANTE	KNN	10.1392	0.3456	12	29.34	<.0001
VARIANTE	SVM	10.2391	0.3456	12	29.63	<.0001
VARIANTE	Betrieb	10.2014	0.3456	12	29.52	<.0001
VARIANTE	KNN [We06]	9.645	0.3456	12	27.91	<.0001
VARIANTE	SUM_N [kg/ha]	NFL [EUR/ha]	NFL Differenz	N-Effizienz [kg/t]	N-Differenz[kg/ha]	
KNN	130	1539.73	-64.28	12.81	69	
SVM	179	1503.18	-27.72	17.48	20	
Betrieb	199	1475.46	0.00	19.50	0	
KNN [We06]	145	1441.42	34.04	15.04	54	

Diese Ergebnisse berücksichtigen jedoch keine räumlichen Abhängigkeiten auf dem Schlag. In einem weiteren Schritt wurden daher räumliche Effekte über eine geostatistische Auswertung einbezogen. Es zeigt sich eine signifikante Ertragsdepression (0.6 t/ha) der Variante KNN gegenüber Betrieb und SVM (Tabelle). Eine Begutachtung der EC<sub>a</sub> je Variante zeigt für das KNN den höchsten mittleren Leitfähigkeitswert. Dies ist möglicherweise der Grund für die deutliche Anpassung des Ertrags unter Berücksichtigung räumlicher Effekte auf dem Schlag. In der Folge weist lediglich die Variante SVM einen monetären Vorteil von 13 EUR/ha gegenüber der Variante Betrieb auf. Die Stickstoffeffizienz von KNN (SVM) erhöht sich um 30% (10%) im Vergleich zur betriebseinheitlichen Variante.

Tabelle 2: Ergebnis der geostatistischen Auswertung Least Mean Squares (Estimates) in t/ha

Least Squares Means							
Effect	VARIANTE	Estimate	STD Error	DF	t Value	Pr >  t	
VARIANTE	KNN	9.5134	0.2457	60.6	38.73	<.0001	
VARIANTE	SVM	10.166	0.1962	49.5	51.81	<.0001	
VARIANTE	Betrieb	10.2198	0.2223	63.9	45.98	<.0001	
VARIANTE	KNN [We06]	9.6533	0.238	57.7	40.56	<.0001	
Differences of Least Squares Means							
Effect	VARIANTE	VARIANTE	Estimate	STD Error	DF	t Value	Pr >  t
VARIANTE	KNN	SVM	-0.6525	0.2954	79.2	-2.21	0.0301
VARIANTE	KNN	Betrieb	-0.7064	0.2156	196	-3.28	0.0012
VARIANTE	KNN	KNN [We06]	-0.1399	0.3127	76.5	-0.45	0.6559
VARIANTE	SVM	Betrieb	-0.05382	0.262	94.2	-0.21	0.8377
VARIANTE	SVM	KNN [We06]	0.5127	0.2653	83	1.93	0.0567
VARIANTE	Betrieb	KNN [We06]	0.5665	0.2927	89.4	1.94	0.0561

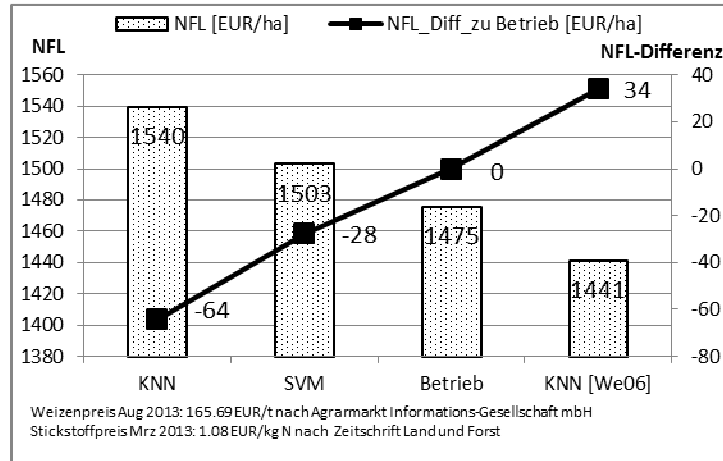


Abbildung 1: Ergebnisse der NFL und Vergleich zur betriebseinheitlichen Variante [EUR/ha]

Die Schwierigkeit der ökonomischen Bewertung besteht darin, dass tatsächlich applizierte Stickstoffmengen mit um räumliche Trends und Autokorrelation bereinigten Ertragswerten (statt tatsächlich geernteter Erträge) in Relation gesetzt werden. Daraus ergeben sich Ungenauigkeiten in der Bewertung, die eine eindeutige Aussage über die Ökonomie der Data Mining Modelle erschweren. Es muss deshalb darauf hingewiesen werden, dass sich unter Berücksichtigung von räumlichen Effekten aus dem zu Grunde liegenden Datensatz keine signifikanten ökonomischen Vorteile ableiten lassen.

Die Ergebnisse zeigen dennoch das Potential des Data Mining zur kleinräumigen Stickstoffdüngung im Winterweizen. So zeigt sich, dass der Stickstoffeinsatz sowohl mit KNN als auch SVM erheblich reduziert werden konnte. Dies ging jedoch, im Falle des KNN, mit einer signifikanten Ertragsdepression einher. Betrachtet man jedoch die Stickstoffeffizienz, so konnte diese sowohl durch den Einsatz von KNN als auch SVM deutlich erhöht werden. Aufbauend auf diesen Ergebnissen sollen weitere Versuche zeigen, ob mit einer Erweiterung der Prädiktoren um bspw. Witterungsparameter, Relief oder geoelektrische Bodeneigenschaften mehrerer Tiefenstufen, eine Verbesserung der Prognosegüte und folglich eine weitere Effizienzsteigerung bei KNN und SVM möglich ist.

## Literaturverzeichnis

- [Lf13] Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Weizenpreisprognose Jan. 2013. <https://stelmf.bayern.de/idb/winterweizen.html>, 11.03.2013
- [We06] Weigert, G.: Data Mining und Wissensentdeckung im Precision Farming – Entwicklung von ökonomisch optimierten Entscheidungsregeln zur kleinräumigen Stickstoffausbringung. Dissertation, TU München, 2006.