

# Voraussetzungen für eine sensorgesteuerte teilflächenspezifische N-Düngung

Franz-Xaver Maidl

Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme  
Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan  
Alte Akademie 12  
85350 Freising-Weihenstephan  
maidl@wzw.tum.de

**Abstract:** In mehrjährigen Untersuchungen wurden Reflexionsmessungen an verschiedenen landwirtschaftlichen Kulturpflanzen mit dem Ziel der Erarbeitung der Voraussetzungen eines Systems für eine teilflächenspezifische Stickstoffdüngung durchgeführt. Der Beitrag behandelt die Punkte: a) Eignung verschiedener Vegetationsindices zur Abbildung der Stickstoffaufnahme und deren Stabilität gegenüber Umwelteffekten, b) Anforderungen und Ableitung von Mess- und Applikationsalgorithmen, c) Entwicklung von Düngealgorithmen für die Bemessung der teilflächenspezifischen N-Düngung, dargestellt am Beispiel von Winterweizen.

## 1. Einleitung und Problemstellung

Aufgrund von natürlichen Bodenheterogenitäten innerhalb der Schläge kommt es zu mehr oder weniger großen Ertragsunterschieden einzelner Teilflächen mit entsprechenden Abweichungen im Nährstoffentzug. Eine flächeneinheitliche Düngung führt auf derartigen Flächen zu entsprechenden Nährstoffüber- bzw. -unterbilanzen. Sowohl hohe Nährstoffüber- wie auch Nährstoffunterbilanzen sind ökonomisch und ökologisch als nachteilig zu bewerten. Nur durch eine entsprechende teilflächenspezifische N-Düngung lassen sich diese Probleme vermeiden.

Prinzipiell lassen sich drei verschiedene Verfahren der Teilschlagdüngung unterscheiden, der mapping-Ansatz, der online-Ansatz und der Ansatz online mit mapoverlay. In der Literatur wie auch in der Praxis werden vor allem sensorgestützte Ansätze (online, online mit mapoverlay) diskutiert bzw. eingesetzt. Gegenüber den Sensorsystemen wird jedoch in jüngster Zeit vermehrt Kritik geübt, da der große Mehrwert häufig ausbleibe, so einige Aussagen (Ru11, Ga11).

## 2. Material und Methoden

In mehrjährigen Parzellenversuchen zu Winterweizen verschiedener Sorten und N-Düngungsstufen wurden in der Regel zu sechs verschiedenen Terminen während der Vegetationsperiode Reflexionsmessungen mit einem 2-Kanal-Spektrometer, Messbereich 350 – 1000 nm und einer Auflösung von 2,1 nm, durchgeführt. Aus diesen Reflexionsmessungen wurden zahlreiche in der Literatur bekannte Vegetationsindices (HWP, NDVI, IRR, IRG, IRI, SAVI, SR) berechnet. Diese Vegetationsindices wurden korreliert mit gleichzeitig erhobenen Biomassewerten und deren N-Aufnahme.

Ferner wurden auf Standorten unterschiedlicher Ertragsfähigkeit Düngungsversuche zu Winterweizen verschiedener Qualitätsstufen durchgeführt. Auch in diesen Versuchen wurde die Biomassebildung und die N-Aufnahme zu mehreren Terminen während der Vegetationsperiode bestimmt, um optimale Stickstoffversorgungswerte ableiten zu können.

## 3. Ergebnisse

### 3.1 Anforderung an Vegetationsindices

An einen Vegetationsindex sind folgende Anforderungen zu stellen: Abbildung der Messgröße (N-Aufnahme), Sortenunabhängigkeit des Messwertes, Stabilität gegenüber Umwelteffekten, großer Messbereich.

Regressionsrechnungen verschiedener Vegetationsindices zur Stickstoffaufnahme ergaben bei allen Indices hohe Bestimmtheitsmaße. Die Bestimmtheitsmaße erfuhren mit zunehmendem Bodenbedeckungsgrad stets eine starke Zunahme.

Die Blattfärbung der Sorten und deren Blattstellung zeigte zum Teil erheblichen Einfluss auf die Ausprägung einzelner Vegetationsindices (Tab. 1). Besonders groß war der Sorteneffekt beim Index IRR, während beim HWP der Effekt sehr gering ausgeprägt war.

Sorte	Vegetationsindices						
	HWP	NDVI	IRR	IRG	IRI 1	IRI 2	SAVI
Cortez	100,0 <sup>a</sup>	103,7 <sup>b</sup>	135,9 <sup>b</sup>	115,7 <sup>b</sup>	98,5 <sup>a</sup>	105,9 <sup>b</sup>	106,3 <sup>a</sup>
Flair	100,0 <sup>a</sup>	101,2 <sup>ab</sup>	99,3 <sup>a</sup>	100,0 <sup>a</sup>	100,0 <sup>a</sup>	102,2 <sup>ab</sup>	102,1 <sup>a</sup>
Orestis	99,9 <sup>a</sup>	103,7 <sup>ab</sup>	114,5 <sup>a</sup>	102,9 <sup>a</sup>	99,3 <sup>a</sup>	101,1 <sup>ab</sup>	104,2 <sup>a</sup>
Pegassos	99,9 <sup>a</sup>	102,5 <sup>ab</sup>	107,6 <sup>a</sup>	95,7 <sup>a</sup>	98,5 <sup>a</sup>	101,6 <sup>ab</sup>	103,2 <sup>a</sup>
Xanthos	100,0 <sup>a</sup>	100,0 <sup>a</sup>	100,0 <sup>a</sup>	100,0 <sup>a</sup>	100,0 <sup>a</sup>	100,0 <sup>a</sup>	100,0 <sup>a</sup>

Tab. 1: Bedeutung des Sortenhabitus von Winterweizen auf die Ausprägung verschiedener Vegetationsindices (Relativwerte, unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede)

Auch die Tageszeit und der Einstrahlwinkel der Sonne hatte zum Teil erhebliche Effekte auf die Werte verschiedener Vegetationsindices. Der Effekt war besonders groß bei Vegetationsindices mit Wellenlängen im Rotbereich.

Die Stickstoffaufnahme der Pflanzen wurde von allen Vegetationsindices im Bereich niedriger Nährstoffgehalte gut abgebildet. Im Bereich optimaler Nährstoffgehalte zeigten sich jedoch häufig ausgeprägte Sättigungseffekte, so dass eine Unterscheidung zwischen optimaler und suboptimaler N-Versorgung nicht möglich war. Nur wenige Vegetationsindices zeigten im Bereich optimaler N-Versorgung eine ausreichend gute Differenzierung.

### 3.2 Messalgorithmen

Mit zunehmender Pflanzengröße sinkt der Beitrag der unteren Blätter zur Gesamtreflexion. Aus diesem Grunde war bei allen Vegetationsindices eine starke Abhängigkeit vom EC-Stadium erkennbar. Soll aus dem Reflexionswert auf die N-Aufnahme geschlossen werden, so sind entsprechend differenzierte Schätzgleichungen (Messalgorithmen) für die verschiedenen EC-Stadien zu entwickeln, um den Schätzfehler zu minimieren (Abb. 1).

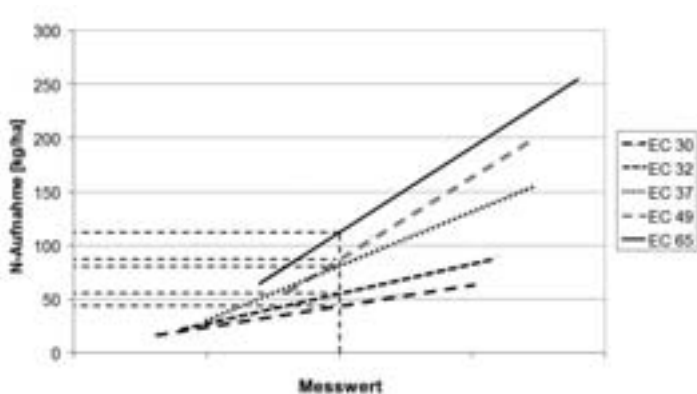


Abb. 1: Stadienabhängigkeit des Sensorwertes bei Winterweizen

### 3.2 Düngelgorithmen

Die auf verschiedenen Standorten durchgeführten Untersuchungen zur optimalen Stickstoffaufnahme zeigten, dass in Abhängigkeit des Ertragspotentials des Standorts ganz charakteristische optimale N-Aufnahmewerte zu den verschiedenen Entwicklungsstadien anzustreben sind. In frühen Entwicklungsstadien war der Effekt des standortspezifischen Ertragspotentials hinsichtlich der notwendigen N-Aufnahme gering, mit zunehmendem EC-Stadium kam es jedoch zu deutlichen Differenzierungen. Je höher das Ertragspoten-

tial desto höher die optimale N-Aufnahme. Neben dem anzustrebenden Ertrag erwies sich auch der anzustrebende Proteingehalt im Korn (Backqualität) als sehr bedeutend in Hinblick auf die optimalen N-Aufnahmewerte zu den jeweiligen EC-Stadien.

Aus der Kenntnis der optimalen N-Aufnahmewerte zum jeweiligen EC-Stadium und der Messung der aktuellen N-Aufnahme mit einem geeigneten Sensor lässt sich der Düngbedarf nach folgender Gleichung ermitteln:

$$\text{N-Düngerbedarf} = ((\text{optimale N-Aufnahme} - \text{aktuelle N-Aufnahme}) + \text{N-Aufnahme zum nächsten Düngetermin}) \times \text{Verwertungsfaktor}$$

Die Kombination der Ableitung des Düngbedarfes aus Sensordaten (N-Aufnahme der Pflanze) und Bodendaten (Ertragspotential) bezeichnet man als Verfahren online mit mapoverlay. In zweijährigen auf mehreren Standorten durchgeführten Streifenversuchen verschiedener Düngesysteme (online, online mit mapoverlay, mapping einheitlich) zeigte sich eindeutig die Überlegenheit eines Düngesystems online mit mapoverlay und der mit den hier entwickelten Mess- und Applikationsalgorithmen. Der online-Ansatz (Düngung nach Sensor) führte auf ertragsschwachen Teilbereichen stets zu hohen N-Überbilanzen, während in ertragsstarken Teilbereichen entsprechende Unterbilanzen festzustellen waren. Die Kombination aus Sensordaten und Bodendaten (online mit mapoverlay) führte auf allen Ertragsbereichen der Schläge zu einheitlichen N-Bilanzen.

## Literaturverzeichnis

- [Ru11] Rutt, K: Precision Farming braucht einen Neuanfang. DLG-Mitt. 9/2011.
- [Ga11] Gandorfer, M: Der Mehrwert ist oft knapp. DLG-Mitt 9/2011.
- [SM11] Strenner, M., Maidl F. X.: The Effect of Wavelength and Mathematical Formula on the Result of Measurement with Different Vegetation Indices. Intern. Symp. Sensing in Agriculture. Haifa 2011.
- [Sc04] Schächtl, J.: Sensorgestützte Bonitur von Aufwuchs und Stickstoffversorgung bei Weizen- und Kartoffelbeständen. Diss. Weihenstephan 2004.
- [Li03] Liebler, J.: Feldspektroskopische Messungen zur Ermittlung des Stickstoffstatus von Winterweizen und Mais auf heterogenen Schlägen. Diss. Weihenstephan 2003.