

# Automatische Lenksysteme und Bodensensoren als Werkzeuge der digitalen Pflanzenproduktion

## Tools for Digital Plant Production: Automatic Steering Systems and Soil Sensors

Patrick Ole Noack

Smart Farming ist die Tochter des Precision Farming, die Begriffe sind also verwandt, wenn nicht sogar gleichzusetzen. Ganz generell umfassen beide Begriffe Verfahren, bei denen digitale Technologien für die Optimierung der landwirtschaftlichen Produktion eingesetzt werden. In der Innenwirtschaft und der tierischen Erzeugung sind diese Verfahren und Methoden ebenso weit verbreitet wie in der pflanzlichen Erzeugung. Im Gegensatz zur tierischen Erzeugung hat der Raumbezug in der Pflanzenproduktion eine herausragende Bedeutung. Dies spiegelt sich in der weit verbreiteten Nutzung von Geoinformationssystemen (GIS) und Satellitenpositionierungssystemen (GNSS) wider. Das Wachstum von Pflanzen wird unabhängig von Bewirtschaftungsmaßnahmen (Düngung und Pflanzenschutz) wesentlich durch den Boden und das Wetter bzw. das Klima beeinflusst. Böden weisen eine teilweise sehr kleinräumige Variabilität auf, die bei der Bewirtschaftung berücksichtigt werden kann. Fast alle pflanzenbauliche Maßnahmen (Bodenbearbeitung, Aussaat, Düngung, Pflanzenschutz) können auf die Bodengegebenheiten so angepasst werden, dass sich die Intensität im Vergleich zu einer einheitlichen Bewirtschaftung einem ökologischen und ökonomischen Optimum annähert. Dazu müssen die Bodenunterschiede allerdings bekannt sein. Flächenhafte Erhebungen zur Bodengüte werden bereits seit mehr als 100 Jahren als sogenannte Bodenschätzung erhoben. Der Maßstab der Erhebung erlaubt in den meisten Fällen allerdings mit zu geringer Auflösung Rückschluss auf pflanzenbauliche relevante Bodeneigenschaften. Vor diesem Hintergrund werden in den vergangenen Jahren vermehrt Bodensensoren eingesetzt, die eine indirekte Messung von ertragsbestimmenden Bodeneigenschaften erlauben. Die Mehrzahl der Sensoren ist dabei mobil und wird von Fahrzeugen gezogen oder an Fahrzeugen angebracht eingesetzt. Die georeferenzierte Erfassung der Messwerte erfolgt immer mittels GNSS. Viel weiter verbreitet sind GNSS-Systeme aufgrund ihrer Verwendung in automatischen Lenksystemen. Diese haben sich in den vergangenen zehn Jahren trotz hoher Kosten sogar auf den mittelgroßen und kleinen Betrieben Süddeutschlands durchgesetzt. Sie dienen dem Halten der Spur des Fahrzeugs bei der Feldarbeit mit einer Genauigkeit von bis zu 2,5 cm. Zentraler Vorteil der Systeme ist die Vermeidung von Überlappungen und Fehlstellen bei fast allen Arbeitsgängen in der Pflanzenproduktion und eine damit einhergehende Einsparung von Arbeitszeit und Betriebsmitteln. Nicht zuletzt werden die Fahrer der Maschinen durch das automatische Lenken erheblich entlastet und können ihre eigentliche Aufgabe, die Überwachung der Anbaugeräte, wesentlich besser wahrnehmen.

**Schlüsselwörter:** Smart Farming, Precision Farming, GNSS, GIS, Automatisierung, Bodensensoren

*Smart Farming and Precision Farming are closely related or even synonymous describing digital methods for optimizing agricultural processes. They are applied in both animal and plant production. In plant production the spatial context plays a vital role and thus Geographic Information Systems (GIS) and Global*

*Navigation Satellite Systems (GNSS) are key technologies when it comes to the application of digital tools in agricultural processes on fields. Besides farming operations plant growth is mainly driven by differences in weather and climate on the one hand and soil properties on the other hand. Soil properties may change on a very small scale and can be taken into account by varying input aiming at ecological or economical optimization during almost all farming operations. However, small scale information on soil properties have not been available until recently. The variation of soil quality can be mapped by indirectly measuring physical properties with the help of mostly mobile sensor systems. Mapping always involves the application of GNSS for positioning. GNSS sensors are much more common as part of automatic steering systems that help to keep tractors on track with an accuracy of up to 2,5 cm. They reduce overlaps and gaps during all operations thus reducing costs of inputs and working time in the field. Last but not least the systems relieve the driver from steering and let him pay more attention for appropriately monitoring and adapting the settings of implements.*

**Keywords:** Smart Farming, Precision Farming, GNSS, GIS, automation, soil sensors

## 1 EINLEITUNG

Digitale Pflanzenproduktion ist ein Aspekt eines Methodenbaukastens, der als Precision Farming oder Smart Farming bezeichnet wird. Sie haben das gemeinsame Ziel, mit digitalen Werkzeugen die landwirtschaftliche Produktion effizienter zu gestalten. Die Effizienz der Pflanzenproduktion kann dabei auf die Einsparung von Kosten und Arbeitszeit, die Steigerung des Naturalertrags bei gleichbleibendem Faktoreinsatz oder die Verringerung des Austrags von Betriebsmitteln (Dünger, Pflanzenschutzmittel) in Nicht-Ziel-Kompartimente (vor allem Gewässer, Grundwasser) bezogen werden.

Kernbausteine sind dabei verschiedene Technologien, die auch in vielen anderen Bereichen eingesetzt werden. Von zentraler Bedeutung bei der digitalen Pflanzenproduktion ist die Fähigkeit der automatischen Positionsbestimmung, die es einerseits erlaubt, Daten mit Raumbezug zu erheben (Kartierung) und es andererseits ermöglicht, Prozesse positionsbezogen zu steuern. Zu diesem Zweck werden seit den 1990er-Jahren globale Satellitenpositionierungssysteme (GNSS: Global Navigation Satellite Systems) in der Landwirtschaft eingesetzt. Die erste Anwendung fanden die Systeme bei der lokalen Ertragserfassung in Mähdreschern. Hierbei werden aus dem Massenstrom des Ernteguts im Mähdrescher und den Positionsdaten von GNSS-Sensoren lokale Erträge ermittelt und gespeichert. Diese können im Nachgang in Geoinformationssystemen (GIS) zu Ertragskarten verarbeitet werden und erlauben dann eine Einschätzung über Ertragsunterschiede innerhalb eines Felds. Erst mit der Ertragskartierung wurde deutlich, dass eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung sinnvoll und notwendig ist. Somit gehören auch GIS zu den Kerntechnologien der digitalen Pflanzenproduktion.

Teilflächenspezifische Bewirtschaftung bedeutet, dass Aussaat, Düngung und Pflanzenschutz auf einem Schlag nicht einheitlich erfolgen, sondern auf Teilflächen an die Ertragsfähigkeit des Bodens angepasst werden. Für die Beurteilung der Ertragsfähigkeit können einerseits Ertragsdaten und andererseits Daten anderer Sensoren zur Anwendung kommen. Überirdisch bieten sich hierzu entweder an landwirtschaftlichen Fahrzeugen angebrachte Sensoren („Stickstoff-Sensor“) oder Fernerkundungssensoren (an UAV, Flugzeug,

Satellit) an. Gemeinsam ist allen Systemen, dass die Reflexion elektromagnetischer Strahlung von Pflanzen im sichtbaren Bereich und meist auch nahen Infrarot-Bereich für die Beurteilung des Pflanzenbestands und damit als Maß für die Güte des Standorts genutzt werden. Eine ebenfalls indirekte Messung der Bodengüte ermöglichen Bodensensoren, die die geoelektrische bzw. geomagnetische Leitfähigkeit messen und so Rückschlüsse auf die Wasserhaltefähigkeit und die Bodenart erlauben. Somit sind Pflanzen- und Bodensensoren ein weiterer relevanter Kernbaustein beim Einsatz digitaler Technologien in der Pflanzenproduktion.

Für eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung müssen sogenannte Sollwertkarten – auch Applikationskarten genannt – erstellt werden. Diese werden in der Regel in einem GIS aus den oben genannten Datenquellen abgeleitet und enthalten dann Sollwerte für Teilflächen eines Schlags. Die Sollwerte beziehen sich auf die Ausbringungsmengen von Saatgut, Dünger oder Pflanzenschutzmitteln. Die Sollwertkarte wird auf ein Terminal im Schlepper geladen und die Sollwerte positionsabhängig (GNSS) an das Anbaugerät übertragen. Hierbei kommen meist standardisierte CAN-Protokolle zum Einsatz. Aus diesem Grund ist der CAN-Bus mit der herstellerunabhängigen Norm ISO 11783 ein weiterer wichtiger Baustein für die Digitalisierung im Pflanzenbau.

Die Kerntechnologien der digitalen Landwirtschaft sind somit die Satellitenpositionierung (GNSS), GIS, Pflanzen- und Bodensensoren und die CAN-Bus-Technologie.

## 2 LENKSYSTEME UND TEILBREITENSCHALTUNG

Lenksysteme und Teilbreitenschaltungen unterscheiden sich von anderen Anwendungen in der digitalen Pflanzenproduktion dadurch, dass keine Abhängigkeit von Fruchtart und Böden besteht und die Vorteile unabhängig von pflanzenbaulichen Parametern sind. Sie sind somit universell in fast allen Kulturen des Ackerbaus, im Grünland, im Feldgemüsebau sowie beim Anbau von Sonderkulturen (Wein, Obst, Spargel) einsetzbar.

## 2.1 Lenksysteme

Automatische Lenksysteme kamen erstmals in reihenabhängigen Feldhäckslern für die Ernte von Mais zum Einsatz. Hier wird die Auslenkung von Tastern am Erntevorsatz erfasst, die seitliche Abweichung von der Maisreihe ermittelt und in Lenkbewegungen umgesetzt /Diekhans 1997/. Dabei erfolgt die Ermittlung der Spurabweichung relativ. Ähnliche Systeme werden heute vor allem im Bereich von Sonderkulturen verwendet. Dabei kommen alternativ zu mechanischen Tastern Farbkameras, 3D-Stereokameras oder Ultraschallsensoren zum Einsatz, die ebenfalls den relativen Abstand zur Kultur oder zu Strukturen (z.B. Kartoffeldämme) ermitteln und die Lenkrichtung des Fahrzeugs automatisch so regeln, dass ein Sollabstand eingehalten wird und das Fahrzeug sich parallel neben oder entlang einer Pflanzenreihe bewegt /Schwarz & Fischer 2011/.

In den späten 1990er-Jahren wurden erstmals GNSS-gestützte Systeme für die Parallelführung verwendet /Buick & White 1999/. Diese nutzen im Gegensatz zu den oben beschriebenen Systemen die absolute Position des Fahrzeugs. Die Regelung der Lenkung erfolgte dabei anfänglich noch durch den Fahrer, dem auf einem Lichtbalken die Spurabweichung bzw. die für das Einhalten der Sollfahrspur erforderliche Lenkrichtung angezeigt wurde. Die Parallelführung als Navigationssystem wurde bald darauf in eine automatische Lenkung überführt. Der Eingriff in die Lenkung erfolgte über nachgerüstete Hydraulikventile. Mit Zusatzsensoren erfassen die Systeme den Lenkwinkel und die Neigung des Fahrzeugs. Eine Steuerung (Navigationsrechner) nutzt die Daten der Lenkwinkel- und Neigungssensoren, um einen Solllenkwinkel für die Minimierung der Spurabweichung zu ermitteln und diesen einzustellen (Abb. 1). Die Abweichung von der Fahrspur bezieht sich dabei auf die ungelenkte Achse, sodass die GNSS-basiert ermittelte Position ähnlich wie bei der Teilbreitenschaltung (s. Abschnitt 2.2) um den Versatz zwischen Antenne und der ungelenkten Achse korrigiert werden muss. Die GNSS-Sensoren müssen für eine ausreichende Genauigkeit (Spurfehler < 30 cm) mit differenziellen Korrekturen (z. B. SAPOS) versorgt werden. Heute werden dabei überwiegend RTK-Korrekturdaten genutzt, die mittels Mobilfunk übertragen werden.

Die Kosten für die benötigten Komponenten und die Installation waren zunächst sehr hoch, sodass der Einsatz nur auf wenigen landwirtschaftlichen Betrieben wirtschaftlich war. Mittlerweile sind die Kosten für automatische Lenksysteme erheblich gesunken, weil viele der benötigten Komponenten bereits im Werk eingebaut werden, die Kosten für GNSS-Technologie gesunken sind und SAPOS-Korrekturdaten für die Landwirtschaft in den meisten Bundesländern kostenlos bereitgestellt werden /Bergtold et al. 2009/, /Gandorfer et al. 2017/.

Mit automatischen Lenksystemen können Felder wesentlich effizienter bewirtschaftet werden. Bei der Bodenbearbeitung, der Aussaat, beim Pflanzenschutz und bei der

Düngung können durch die hohe Genauigkeit Überlappungen und Fehlstellen vermieden werden. Dies führt zu einer Einsparung von Arbeitszeit, Kraftstoff und Betriebsmitteln (Pflanzenschutzmittel und Dünger) und reduziert eine ertragsmindernde Über- bzw. Underdosierung. Als Faustzahl können Einsparungen in der Größenordnung von 5 % bis 10 % der Verfahrenskosten angenommen werden /Frank et al. 2008/, /Holpp 2006/.

Darüber hinaus bieten die Systeme den Vorteil, dass auch dann gearbeitet werden kann, wenn die Sichtbedingungen schlecht sind (Dunkelheit, Staubentwicklung), sodass die engen Zeitfenster für die Durchführung der Maßnahmen voll ausgenutzt werden. Nicht zuletzt entlasten die Systeme den Fahrer, der so die Anbaugeräte (z. B. Sämaschine) besser überwachen und einstellen kann. Fehlfunktionen und Schäden werden dadurch erheblich reduziert.

Nicht zuletzt werden durch den Einsatz automatischer Lenksysteme neue Anbauverfahren möglich. Das Controlled Traffic Farming beruht darauf, dass Fahrspuren im Feld einmal angelegt und dann von allen Fahrzeugen über mehrere Jahre hinweg genutzt werden /Demmel et al. 2012/. Dies ist nur dann möglich, wenn ein System die Fahrzeuge mittels absoluter und hochgenauer Positionierung (RTK-GNSS) lenkt. Die Vorteile des Controlled Traffic Farming sind die deutliche Reduktion der Bodenverdichtung zwischen den Fahrspuren und die Rückverfestigung der Fahrspuren selbst, durch die auch bei nassem Boden eine gute Befahrbarkeit gewährleistet ist. Beim Strip-Till-Verfahren /Röseler et al. 2010/ werden alle Bearbeitungsschritte von der Bodenbearbeitung über Aussaat und Düngung auf ein schmales Band um die Pflanzenreihen reduziert. Die Bereiche zwischen den Reihen bleiben unberührt. Auch hier ist das hochgenaue automatische Lenken der Fahrzeuge eine zentrale Voraussetzung.

Die GNSS-gestützte Lenkung ist auch die Grundlage dafür, dass Fahrzeuge oder Maschinen ohne Fahrer Feldarbeiten im Rahmen der Pflanzenproduktion verrichten. Ein erster Schritt in diese Richtung ist das Konzept der elektronischen Deichsel, bei dem ein oder mehrere Fahrzeuge ohne Fahrer einem Fahrzeug mit Fahrer in

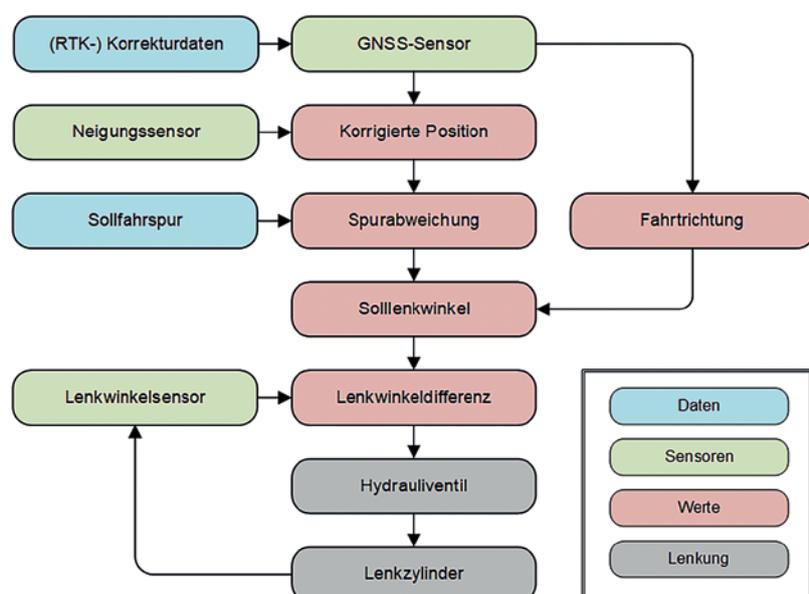


Abb. 1 | Sensoren und Datenfluss eines automatischen Lenksystems /eigene Darstellung/



Abb. 2 | NEXAT-System /NEXAT GmbH/

definiertem Abstand seitlich versetzt folgen /Jahnke et al. 2014/. Beim nächsten Entwicklungsschritt, den autonomen Fahrzeugen, werden aktuell verschiedene Konzepte verfolgt. Einerseits werden klassische Landmaschinen mit Kabinen so ausgerüstet, dass sie optional ohne Fahrer im Feld eingesetzt werden können. Gleichzeitig werden vollkommen neue Fahrzeugkonzepte entwickelt, bei denen der Eingriff durch einen Fahrer auf der Maschine nicht mehr vorgesehen ist. Diese Ansätze unterscheiden sich vor allem hinsichtlich der Größe: Einerseits sollen sehr viele kleine Fahrzeuge in Form von intelligenten Schwärmen die Feldarbeit übernehmen, andererseits werden Fahrzeuge entwickelt, die in ihrer Größe die aktuell eingesetzten Landmaschinen noch übertreffen.

Ein Beispiel ist das NEXAT-System (Abb. 2), das beim DLG Innovation Award 2022 mit einer Goldmedaille ausgezeichnet wurde /NEXAT 2022/. Es handelt sich um ein Wechselträgerfahrzeug, das für alle landwirtschaftlichen Arbeitsgänge von der Aussaat bis zur Ernte genutzt werden kann. Es wird in Längskonfiguration auf der Straße transportiert und kann quer mit einer Arbeitsbreite von bis zu 24 m im Feld eingesetzt werden. Die bei der Bearbeitung überrollte Fläche und die Bodenverdichtung soll somit auf weniger als 5 % der bewirtschafteten Fläche reduziert werden.

Bereits im Jahr 2017 wurde der Feldroboter Xaver (Abb. 3) der Firma Fendt vorgestellt und mit einer DLG Silbermedaille ausgezeichnet /Fendt 2022/. Er wird in der Regel als Schwarm aus mehreren Fahrzeugen eingesetzt, der mit einem Transportfahrzeug zum Feld gebracht wird. Die Fahrzeuge navigieren auf Basis von GNSS-Sensoren und sind über eine Cloudanwendung so vernetzt, dass eine kollaborative Zusammenarbeit möglich ist. Die Vorteile des Schwarmkonzepts sind vor allem im geringeren Schaden zu sehen, den einzelne Fahrzeuge bei Fehlfunktion verursachen können. Zudem ist die Erledigung eines Arbeitsgangs durch den Ausfall

eines einzelnen Feldroboters weniger gefährdet als bei autonomen Fahrzeugen, die die Feldarbeit alleine erledigen (z. B. NEXAT).

Die größte Herausforderung beim Einsatz autonomer Systeme besteht aktuell noch immer in den unklaren rechtlichen Rahmenbedingungen und der Frage der Haftung für Schäden, die beim Einsatz der Systeme entstehen können. Den automatischen Lenksystemen und den neuen Ansätzen zur Agrarrobotik ist gemein, dass sie bei vielen verschiedenen Maßnahmen und in unterschiedlichsten Kulturen unabhängig von Fruchtart und Boden zu einer Einsparung von Betriebsmitteln und Arbeitszeit führen und so dazu beitragen, den aktuellen Herausforderungen der Landwirtschaft entgegenzuwirken (Reduktion des Einsatzes von Agrarchemikalien, Arbeitskräftemangel, Kostendruck).



Abb. 3 | Fendt-Roboter Xaver für die Aussaat /Fendt GmbH/

## 2.2 Teilbreitenschaltung

Automatische Teilbreitenschaltungen sind ebenso wie Lenksysteme von der Witterung, dem Boden und der Fruchtart unabhängig und können bei unterschiedlichen Maßnahmen und mit verschiedenen Anbaugeräten verwendet werden, um Überlappungen und Fehlstellen zu vermeiden. Im Gegensatz zu Lenksystemen steuern sie das Anbaugerät und nicht den Traktor und regeln dabei Prozesse quer zur Fahrtrichtung (Abb. 4).

Landwirtschaftliche Anbaugeräte sind meist in unterschiedliche Teilbreiten aufgeteilt, die verschiedene Applikationselemente wie Säschare oder Düsen zusammenfassen. Im speziellen Fall kann eine Teilbreite auch aus einem einzelnen Applikationselement oder der kompletten Arbeitsbreite der Maschine bestehen. Beim Überfahren des Felds treten vor allem am Feldrand (Vorgewende) immer wieder Situationen auf, bei denen sich einzelne Teilbreiten in einem Bereich befinden, der bereits behandelt wurde. In diesem Fall müssen die entsprechenden Teilbreiten ausgeschaltet werden. Dies erfolgte früher manuell. Mit zunehmenden Arbeitsbreiten (Pflanzenschutzspritzen bis 48 m) werden die Teilbreiten durch den Fahrer oft erheblich zu früh oder zu spät (de)aktiviert, sodass Teile des Felds doppelt oder gar nicht behandelt werden.

Automatische Teilbreitenschaltungssysteme zeichnen die bereits behandelte Fläche auf Basis von GNSS-Daten auf. Parallel wird für jede Teilbreite laufend überprüft, ob sie sich in einem Teil des Felds befindet, der bereits behandelt wurde. In diesem Fall wird die Teilbreite deaktiviert, sonst aktiviert. Die Besonderheit einer Teilbreitenschaltung besteht darin, dass die Positionen der zu schaltenden Teilbreiten aus den Messwerten des GNSS-Sensors berechnet werden müssen. Eingang finden hierbei die Fahrtrichtung und die aktuelle Position. Als Fahrtrichtung dienen dabei meist die Werte aus VTG-Nachrichten, die Positionen werden den GGA-Nachrichten entnommen. Beide Nachrichten werden in der Regel über eine serielle Schnittstelle gemäß dem NMEA-0183-Standard übertragen /NMEA 1983/. Für die Berechnung des Vektors zwischen GNSS-Antenne und Teilbreite müssen verschiedene Abstände in und quer zur Fahrtrichtung des Fahrzeugs bekannt sein und berücksichtigt werden (Abb. 4). Die Abstände sind in der ISO 11783, Teil 10 /ISO 11783-10 2015/ definiert, sodass sie im Falle einer CAN-basierten Steuerung der Teilbreiten in einem einheitlichen und herstellerunabhängigen Format übermittelt werden können.

Insbesondere bei der Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln führt der Einsatz solcher Systeme vor allem auf kleinen und unförmigen Feldstücken zu einer erheblichen Reduktion von Überlappungen und Fehlstellen /Luck et al. 2010/. Bei der Aussaat wird das Überlappen von Saatzeilen im Feld mit dem quer verlaufenden Saatzeilen am Rand des Felds (Vorgewende) vermieden. Dies führt nicht nur zu einer Einsparung von Saatgut, sondern erleichtert bei bestimmten Kulturen auch den späteren Erntevorgang (z. B. Zuckerrüben).

Nicht zuletzt können die Systeme auch dazu genutzt werden, um an zuvor definierten Positionen offene Stellen für die Ansiedlung von Vögeln zu hinterlassen („Lerchenfenster“). Auch das automatische Ausschalten von Teilbreiten oder der ganzen Maschine beim Einfahren in sogenannte Nicht-Zielflächen kann mit solchen Systemen

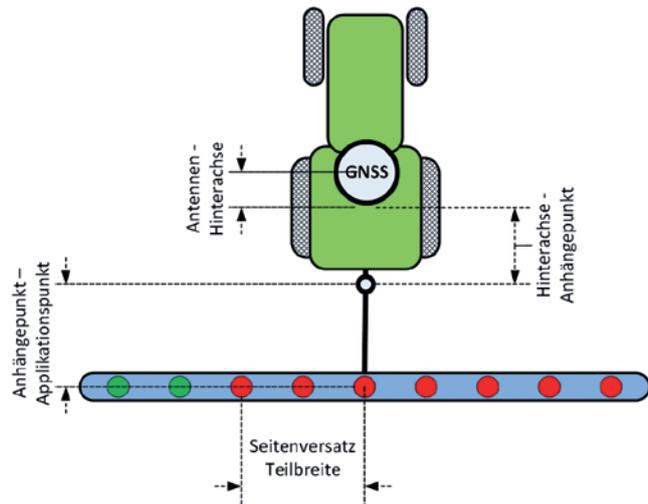


Abb. 4 | Aufbau einer GNSS-gesteuerten Teilbreitenschaltung /eigene Darstellung/

umgesetzt werden. Nicht-Zielflächen sind Bereiche des Felds, die aufgrund ihres Abstands zu Gewässern, Feldgehölzen und anderen Landschaftselementen nicht mit Pflanzenschutzmitteln behandelt werden dürfen.

So vielseitig eingesetzt tragen die Systeme nicht nur zu einer ökonomischen Optimierung aus Sicht der Landwirte, sondern auch zum Umwelt- und Naturschutz sowie der Einhaltung von gesetzlichen Auflagen bei.



TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG  
GEORG SIMON OHM

### Innovation braucht Vielfalt

Als Professor\*in an der TH Nürnberg haben Sie ein einzigartiges berufliches Umfeld. Als große Hochschule bieten wir Ihnen viele Möglichkeiten, Ihre Tätigkeit flexibel zu gestalten. Ihre innovativen Ideen in Lehre und Forschung und Ihre Mitwirkung in strategischen Projekten prägen das Profil unserer Hochschule mit.

Bei uns agieren Sie vernetzt in kollegialen Teams. Sie arbeiten mit Studierenden in innovativen Lehr- und Lernformaten und begleiten aktiv ihre Persönlichkeitsentwicklung. Sie bringen Ihre Kompetenz in interessante und gesellschaftlich relevante Vorhaben ein. Sie sind hochschulweit und international interdisziplinär vernetzt. Der Transfer Ihrer Erkenntnisse in die Praxis schafft einen Mehrwert für die Menschen – so gestalten Sie den technologischen und gesellschaftlichen Wandel aktiv mit.

An der Fakultät Bauingenieurwesen ist zum Sommersemester 2023 oder später eine Professur der BesGr W2 für das Lehr- und Forschungsgebiet

### Digitale Methoden und Geomatik im Bauwesen

zu besetzen.

#### Interessiert?

Weitere Einzelheiten zur Stellenausschreibung entnehmen Sie bitte der Website der TH Nürnberg unter <https://karriere.service.th-nuernberg.de/oqz59>.

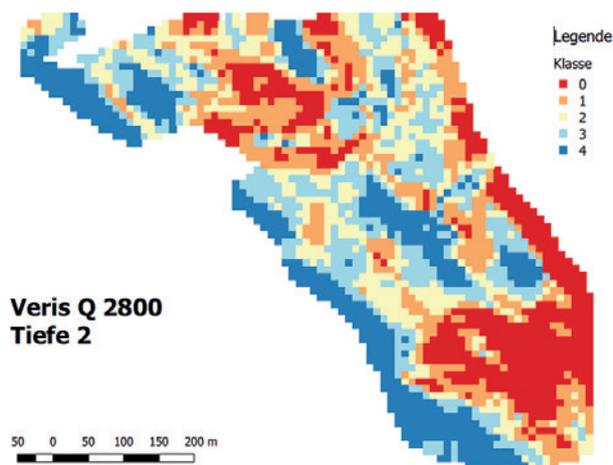
Bitte nutzen Sie ausschließlich unser Online-Bewerbungsportal. Wir freuen uns auf Ihre aussagekräftige Bewerbung bis zum 12. Juli 2022.

Bei Fragen zur Professur steht Ihnen gerne Prof. Dr. Alexander Weideler (Tel. 0911 5880-1133) zur Verfügung.

Werden Sie Professor\*in an der TH Nürnberg und erfahren Sie mehr zu unseren Angeboten und zum Berufungsverfahren unter den FAQ.

[www.th-nuernberg.de](http://www.th-nuernberg.de)





**Abb. 5** | Karte der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit, Messsystem Veris Q2800, scheinbare elektrische Leitfähigkeit in 0 bis 90 cm, nach Quantilen klassifiziert; rot = niedrig, blau = hoch /eigene Darstellung/

### 3 BODENSENSOREN

Neben dem Klima und dem Wetter haben der Boden und seine chemischen und physikalischen Eigenschaften einen großen Einfluss auf die Ertragsfähigkeit. Die Körnung (Bodenart) beeinflusst das Infiltrationsvermögen, die Wasserhaltefähigkeit und die Fähigkeit, Nährstoffe zu speichern. Der Gehalt an Humus und die chemische Zusammensetzung des Bodens hat Auswirkungen auf die Fähigkeit, die Pflanzen mit Nährstoffen zu versorgen.

Die Bodeneigenschaften variieren nicht nur regional, sondern teilweise sehr kleinräumig innerhalb eines Schlags. Aus diesem Grund spielt die Erfassung der Bodenheterogenität bei der digitalen Pflanzenproduktion eine entscheidende Rolle. Satellitenaufnahmen, Flugzeug- und UAV-gestützte erhobene Bildaufnahmen im sichtbaren und nahen Infrarot-Bereich des Lichts (Fernerkundung) sind als indirekte Messung von Bodeneigenschaften nutzbar, da sowohl Wuchshöhe als auch Vitalität stark vom Boden abhängen. Sie werden jedoch gleichzeitig auch von anderen Faktoren (Düngung, Pflanzenkrankheiten) beeinflusst.

Bodensensoren sind ebenso wenig wie die Fernerkundung imstande, die Bodenart oder chemische Eigenschaften des Bodens direkt zu messen. Sie bestimmen die scheinbare elektrische Leitfähigkeit des Bodens direkt oder indirekt durch die Änderung eines induzierten Magnetfelds. Die scheinbare elektrische Leitfähigkeit steigt mit zunehmendem Wassergehalt des Bodens. Unterschiedliche Messwerte innerhalb eines Felds lassen somit einen Rückschluss die die Verteilung der Bodenarten zu, da diese eine unterschiedliche Wasserhaltefähigkeit haben (Sand: gering, Ton: hoch). Die relative Verteilung bleibt bei insgesamt niedrigem und hohem Wassergehalt des Bodens über weite Bereiche stabil, sodass die Ergebnisse einer einmaligen Messung über mehrere Jahre genutzt werden können. Die scheinbare Leitfähigkeit steigt auch mit zunehmender Verdichtung des Bodens und zunehmenden Salzgehalt im Bodenwasser /Heil & Schmidhalter 2019/, /Gebbers et al. 2009/.

Neben den geoelektrischen Verfahren werden vereinzelt auch Systeme eingesetzt, die die Gammastrahlung des Bodens erfassen. Diese beruht auf dem Zerfall natürlicher radioaktiver Elemente im

Boden, der einen Zusammenhang zur Bodenart und zum Nährstoffgehalt aufweist. Die Messwerte des Sensors müssen schlagweise durch die Analyse von Bodenproben kalibriert werden /Adamchuck et al. 2021/.

Alle oben genannten Bodensensoren werden an einem Fahrzeug angebaut oder gezogen in Kombination mit einem GNSS-Empfänger für die Kartierung eingesetzt. Aus den aufgezeichneten Daten wird im Nachgang durch Interpolation eine flächendeckende Karte erzeugt. Die räumliche Auflösung der Datenaufzeichnung (Messwertdichte) orientiert sich dabei an der Anwendung. Die Karten stellen zunächst nur relative Bodenunterschiede innerhalb eines Felds dar. Die räumliche Variation der Messwerte der elektrischen Leitfähigkeit, der bisher überwiegend erfassten Messgröße, ist zeitlich stabil, variiert jedoch in der absoluten Höhe in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte. Aus diesem Grund bietet es sich an, die Werte zu normalisieren und zu klassifizieren. In *Abb. 5* ist eine normalisierte und nach Quantilen (20%-Schritte) klassifizierte Karte dargestellt.

Sensoren, die die scheinbare elektrische Leitfähigkeit messen, werden seit mehreren Jahrzehnten für die qualitative Erfassung von Bodenunterschieden in der Landwirtschaft eingesetzt. Die Daten wurden dabei lange Zeit vornehmlich dazu verwendet, um Zonen mit ähnlicher Leitfähigkeit auszuweisen und diese Zonierung als Grundlage für das Ziehen von Bodenproben zu verwenden. Mit diesem Vorgehen werden im Gegensatz zur Beprobung in einem gleichförmigen Raster auch kleinräumige Unterschiede berücksichtigt.

Vor dem Hintergrund des Klimawandels sind zunehmend längere Trockenperioden im Frühjahr zu verzeichnen. Diese wirken sich dann auf die Ertragsfähigkeit aus, wenn die Böden eine geringe Wasserhaltefähigkeit (nutzbare Feldkapazität), also eine geringe scheinbare elektrische Leitfähigkeit aufweisen. Die Leitfähigkeitskarten können so beim Anbau von Mais dafür verwendet werden, um die Aussaatdichte in Abhängigkeit von der elektrischen Leitfähigkeit zu variieren und die Konkurrenz zwischen den Pflanzen an Stellen mit geringer Wasserhaltefähigkeit zu vermindern. Die Umrechnung von Leitfähigkeit in Aussaatstärke muss dabei schlagindividuell in Zusammenarbeit mit Beratern und den Betriebsleitern festgelegt werden, eine allgemeingültige Transferfunktion existiert nicht.

Nicht zuletzt existieren Ansätze, die Bewässerung auf Basis der elektrischen Leitfähigkeit zu optimieren /Fortes 2015/. Bei diesem Ansatz kann gleichzeitig die optimale Wasserversorgung sichergestellt, eine wachstumsschädliche Überbewässerung und die Auswaschung von Nährstoffen aus dem Wurzelraum vermieden werden.

### ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Landwirtschaft steht wie andere Zweige des produzierenden Gewerbes unter zunehmendem Druck, die Kosten und negative Auswirkungen auf die Umwelt zu reduzieren. Gleichzeitig besteht ein erheblicher Mangel an qualifizierten Arbeitskräften und die Auswirkungen des Klimawandels müssen bei der pflanzlichen Erzeugung zunehmend berücksichtigt werden.

Durch die Automatisierung mit Lenksystemen, Agrarrobotern und Teilbreitenschaltungen können Feldarbeiten wesentlich schneller und effektiver erledigt werden. Es wird weniger Arbeitskraft benötigt

und der Ressourceneinsatz (Dünger, Saatgut und Pflanzenschutzmittel) kann durch die Vermeidung von Überlappungen oder Fehlstellen reduziert werden.

Bodensensoren sind dann hilfreich, wenn die Wachstumsbedingungen innerhalb eines Felds stark variieren. Mithilfe der Sensormesswerte können qualitative Unterschiede ermittelt, in Kartenform dargestellt und als Grundlage für eine an den Standort angepasste Bewirtschaftung dienen, die Aussaat, Düngung und Pflanzenschutz in Abhängigkeit der Ertragsfähigkeit variiert. Dabei wird die Intensität reduziert, wenn die natürliche Ertragsfähigkeit der Böden erreicht ist.

## LITERATUR

**Adamchuk, V. I. et al. (2021):** Soil Sensing. In: Kerry, R.; Escolà, A. (Eds.): Sensing Approaches for Precision Agriculture. Progress in Precision Agriculture. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-78431-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-78431-7_4).

**Bergtold, J. S.; Raper, R. L.; Schwab, E. B. (2009):** The economic benefit of improving the proximity of tillage and planting operations in cotton production with automatic steering. In: Applied Engineering in Agriculture 25(2009)2, 133–143.

**Buick, R.; White, E. (1999):** Comparing GPS Guidance With Foam Marker Guidance. In: Robert, P. C.; Rust, R. H.; Larson, W. E. (Eds.): Proceedings of the Fourth International Conference on Precision Agriculture. <https://doi.org/10.2134/1999.precisionagproc4.c6b>.

**Demmel, M.; Brandhuber, R.; Kirchmeier, H.; Mueller, M.; Marx, M. (2012):** Controlled traffic farming in Germany – technical and organisational realisation and first results. In: CIGR/AgEng Conference, 6–10.

**Diekhans, N. (1997):** Elektrohydraulisches Lenksystem für Fahrzeuge (European Patent Office Nr. EP0856453B1).

**Fendt (2022):** Projekt Xaver: Forschung im Bereich Agrarrobotik. <https://www.fendt.com/de/xaver> (15.04.2022).

**Fortes, R.; Millán, S.; Prieto, M. H. et al. (2015):** A methodology based on apparent electrical conductivity and guided soil samples to improve irrigation zoning. In: Precision Agriculture 16(2015), 441–454. <https://doi.org/10.1007/s11119-015-9388-7>.

**Frank, H.; Gandorfer, M.; Noack, P. O. (2008):** Ökonomische Bewertung von Parallelfahrssystemen. Unternehmens-IT: Führungsinstrument oder Verwaltungsbürde? Referate der 28. GIL-Jahrestagung.

**Gandorfer, M.; Schleicher, S.; Noack, P. O. (2017):** LDBV bietet kostenloses RTK-Korrektursignal an – Preiswerter lenken lassen. In: Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt (2017)43, 38 ff.

**Gebbers, R.; Lück, E.; Dabas, M.; Domsch, H. (2009):** Comparison of Instruments for Geoelectrical Soil Mapping at the Field Scale. In: Near Surface Geophysics 7(2009), 179–190. [10.3997/1873-0604.2009011](https://doi.org/10.3997/1873-0604.2009011).

**Heil, K.; Schmidhalter, U. (2019):** Theory and Guidelines for the Application of the Geophysical Sensor EM38. In: Sensors 19(2019), 4293. <https://doi.org/10.3390/s19194293>.

**Holpp, M. (2006):** Parallelfahrssystem für Traktoren – Technik und Wirtschaftlichkeit. ART-Berichte, Ausgabe 659. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon.

**ISO 11783-10 (2015):** Tractors and machinery for agriculture and forestry – Serial control and communications data network, Part10: Task controller and management information system. International Organization for Standardization.

**Jahnke, B.; Noack, P. O.; Happich, G.; Fromlign, N.; Muhr, T. (2014):** Environment mapping enabling safety and usability of an electronic tow bar. In: Proceedings of 2<sup>nd</sup> International RHEA Conference Madrid, Vol. 2014.

**Ji, W.; Adamchuk, V.; Chen, S.; Su, A.; Ismail, A.; Gan, Q.; Shi, Z.; Biswas, A. (2019):** Simultaneous measurement of multiple soil properties through proximal sensor data fusion: A case study. In: Geoderma 341(2019), 111–128.

**Luck, J. D.; Zandonadi, R. S.; Luck, B. D.; Shearer, S. A. (2010):** Reducing pesticide over-application with map-based automatic boom section control on agricultural sprayers. In: Transactions of the ASABE 53(2010)3, 685–690.

**NEXAT (2022):** <https://www.nexat.de> (15.04.2022).

**NMEA (1983):** NMEA 0183 Interface Standard, National Marine Electronics Association.

**Röseler, M.; Graeff, S.; Hermann, W.; Claupein, W. (2010):** Strip-Till-Verfahren in Zuckerrüben und Mais. Precision Agriculture Reloaded – Informationsgestützte Landwirtschaft.

**Schwarz, H.-P.; Fischer, C. (2011):** Automatische Lenksysteme für den Weinbauschepper. In: Landtechnik 66(2011)1, 14–17. <https://doi.org/10.1515/lt.2011.342>.

## Prof. Dr. agr. Patrick Ole Noack

HOCHSCHULE WEIHENSTEPHAN-TRIEDSDORF  
FAKULTÄT LANDWIRTSCHAFT,  
LEBENSMITTEL UND ERNÄHRUNG

Markgrafenstraße 16 | 91746 Weidenbach  
[patrick.noack@hswt.de](mailto:patrick.noack@hswt.de)

