

Vorwort und Einführung in das Thema

Vorwort zur zweiten Auflage

In den vergangenen vier Jahren hat die Digitalisierung große Fortschritte gemacht. Bestehende Technologien sind besser geworden – oder deutlich günstiger. Treiber sind dabei andere Industrien (Automotive, Medizin, Militär), aber die Landwirtschaft kann davon profitieren.

Im Bereich der Satellitenortung (GNSS) bestehen erste Ansätze, Empfänger in Form von Software direkt auf Endgeräten zu installieren. So können Kosten gespart und vorhandene Rechenleistung genutzt werden. Gleichzeitig ermöglicht dieser Ansatz durch Lizenzierung, dass derselbe virtuelle Empfänger auf mehreren Endgeräten genutzt werden kann, wenn auch nicht gleichzeitig. Das Aktivieren und Deaktivieren der Funktion auf verschiedenen Geräten spart auf jeden Fall viel Zeit beim Transport von Messgeräten von einem Ort zum anderen.

Neue Anbieter haben in den vergangenen Jahren hochgenaue und gleichzeitig extrem preiswerte Geräte auf den Markt gebracht. Die Preise für RTK-Empfänger sind so auf weniger als 10 % des Ausgangspreises gesunken. Dies eröffnet weitere Anwendungsfelder, in denen der Einsatz von GNSS bisher nicht wirtschaftlich war.

Gleichzeitig werden neue Formen für die Übertragung von Korrekturdaten etabliert. Die Versorgung des ländlichen Raums mit flächendeckendem Mobilfunkempfang wird wohl noch sehr lange dauern oder nicht stattfinden – weil es sich nicht lohnt. Dies schränkt den Einsatz von GNSS in der Landwirtschaft weiterhin ein. Dafür werden Korrekturdaten neuerdings prototypisch mittels digitalem Rundfunk übertragen, der über eine wesentlich bessere Abdeckung verfügt. Wenn sich diese Technologie durchsetzt, wäre der Landwirtschaft in Deutschland sehr geholfen.

Auch bei der Nahinfrarotspektroskopie treten neue Anbieter am Markt auf, die kostengünstigere, wenn auch weniger präzise und weniger hochaufgelöste Geräte anbieten, was – wie bei den GNSS-Empfängern – viele neue Anwendungsfelder eröffnet. In der Landwirtschaft sind die Anforderungen an die Genauigkeit oft geringer als in anderen Bereichen (Lebensmittel, Medizintechnik), was Hoffnung gibt, dass die neuen Sensorgenerationen dazu beitragen können, Landwirte zu entlasten, Kosten zu senken und vor allem zum Schutz der belebten und unbelebten Umwelt beizutragen.

Die Entwicklungen in der Fernerkundung weisen ebenfalls eine erhebliche Dynamik auf. Die Sentinel-Mission der ESA (European Space Agency) wird kontinuierlich weiter ausgebaut. Parallel werden neue Satellitensysteme von anderen Institutionen (z. B. EnMAP, DLR) entwickelt und in Betrieb genommen. Zudem engagieren sich vermehrt private Firmen im Bereich der Fernerkundung, die zwar kostenpflichtig, jedoch in sehr hochwertiger Qualität Daten erfassen und bereitstellen.

Auch bekannte Technologie erleben in der Landwirtschaft eine Wiederbelebung. Der Einsatz von Röntgentechnik in der Landwirtschaft wurde bereits in den 1970er-Jahren erforscht. Aufgrund der Risikobewertung ist diese Technologie aus dem Fokus geraten. Mit der rasanten Entwicklung entstehen jedoch heute und vielleicht auch in Zukunft neue Anwendungsfelder für die Detektion von Fremdkörpern oder die Ertragsfassung.

Bei der zweiten Auflage dieses Buchs haben viele Co-Autoren mitgewirkt, weil das Thema so breit ist, dass es eine Person nicht en détail überblicken kann. Die Themenbereiche Fernerkundung und CAN-Bus werden in der vorliegenden Auflage durch Experten neu und ausführlicher beleuchtet. Die Digitalisierung in der Tierhaltung, die Röntgentechnik und Cyber Security wurden neu aufgenommen und integriert. Für die Mithilfe und die gute Zusammenarbeit bei der Fertigstellung der zweiten Auflage möchte ich mich bei allen Co-Autoren herzlich bedanken.

Mein Dank gilt natürlich und unverändert allen, die im Vorwort zur ersten Auflage genannt sind. Die zweite Auflage möchte ich im Besonderen meinem Vater widmen, der am 15.09.2022 verstorben ist. Ich habe von ihm mehr gelernt, als ich weiß.

Mit der zweiten Auflage steht für Studierende und Interessierte ein verbessertes Lehrbuch zum Precision Farming bereit. Es bleibt unvollständig, kann und soll jedoch die Grundlage dafür bilden, dass der Erwerb von Wissen über diesen Themenbereich einfacher wird. Mittlerweile fehlt es weniger an innovativen Technologien, sondern mehr an Menschen, die damit umgehen können und wollen.

Eichstätt, im Oktober 2023

Patrick Ole Noack

Vorwort zur ersten Auflage

Die Informationstechnologie hat sich in den vergangenen Jahren rasant entwickelt und dringt immer tiefer in alle Wirtschafts- und Lebensbereiche ein. Sie prägt unser Arbeits- und Privatleben zunehmend. Daraus ergeben sich Chancen und Risiken.

Mobiltelefone und die dazugehörigen Apps sind für viele aus dem Alltag nicht mehr wegzudenken. In vielen Wirtschaftsbereichen werden unter der Bezeichnung Industrie 4.0 alle Bereiche der Produktion und des Ressourcenmanagements verknüpft, teilweise sogar firmenübergreifend über die gesamte Lieferkette.

Autonome Fahrzeuge, Personen- und Lastkraftwagen werden bald auch auf deutschen Straßen unterwegs sein. Sensoren ermöglichen bereits heute eine weitgehend automatische Regelung der Geschwindigkeit und der Bewegungsrichtung (Lenken).

In weiteren Ausbausritten wird die Kommunikation der Fahrzeuge untereinander (Car2Car) und der Datenaustausch zwischen Fahrzeugen und der Infrastruktur (Car2X) entwickelt und getestet: Dann weiß das Fahrzeug, wann die Ampel grün oder rot wird.

Auch die Landwirtschaft bleibt von dieser Entwicklung nicht unberührt. In diesem Zusammenhang werden oft die Begriffe *Precision Farming*, *Smart Farming*, *Digital Far-*

ming und *Landwirtschaft 4.0* dazu verwendet, um den zunehmenden Einsatz von Fahrer- und Entscheidungsunterstützungssystemen sowie die Teilautomatisierung von Prozessen zu beschreiben.

Entscheidend für den Einzug der Elektronik in die Landwirtschaft war einerseits die Entwicklung von Standards für die Vernetzung von Steuergeräten durch die Firma Bosch (CAN, ab 1983). Aus dem CAN-Standard hat sich zunächst die DIN 9684 und danach die ISO 11783 entwickelt – ein Standard für die herstellerunabhängige Kommunikation zwischen Steuergeräten auf Traktoren und Anbaugeräten. In der ISO 11783 werden außerdem die herstellerunabhängige Bedienung (Virtuelles Terminal) und der Datenaustausch zwischen Fahrzeug und Büro geregelt.

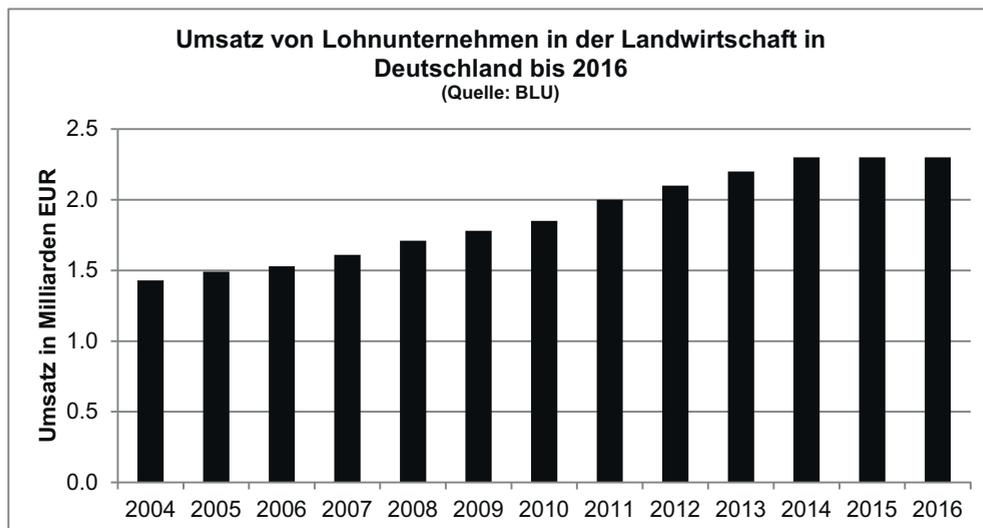
Andererseits stellen Satellitenortungssysteme wie GPS und GLONASS, die seit den 1970er-Jahren entwickelt werden, einen entscheidenden Ausgangspunkt für die Entwicklung von Precision Farming dar: Mit ihnen können Uhrzeit, Position sowie Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit zum Teil hochgenau ermittelt werden. Sie können somit für die Dokumentation, für die teilflächenspezifische Steuerung sowie für das Lenken von Fahrzeugen eingesetzt werden.

Hinzu kommt die zunehmende Vernetzung über Systemgrenzen hinweg. WLAN, Mobilfunk und Internet sind ebenfalls international standardisiert und stellen die Grundlage für die drahtlose Übertragung von Daten und Sprache über weite Entfernungen dar. Mit diesen Technologien können Menschen mit Menschen, Menschen mit Maschinen oder Maschinen mit Maschinen (M2M, IoT) Daten austauschen.

Precision Farming hat seinen Ursprung in den späten 1980er-Jahren. Damals wurden erstmals Mähdrescher mit Ertragerfassungssystemen ausgestattet. Aus den mittels Satellitenortung (GPS) ermittelten Positionen und den zugehörigen Erträgen wurden Ertragskarten erstellt. Somit konnte erstmals in Kartenform dargestellt werden, was vorher bereits aus Erfahrung bekannt war: Die Höhe des Ertrags weist innerhalb eines Schlags teilweise erhebliche Unterschiede auf.

In den 1950er-Jahren erfolgte eine Anpassung an die Ertragsunterschiede, weitgehend basierend auf Erfahrung. Viele Betriebe verfügten damals noch über betriebseigene Erntemaschinen, sodass die Fahrer der Maschine während der Ernte aufgrund von Beobachtungen Zonen mit hohen und niedrigen Erträgen verorten konnten: Das Auge wurde als Ertrags- und Positionssensor eingesetzt und das Gehirn fungierte als Speichermedium. Bei allen nachfolgenden Arbeiten (Bodenbearbeitung, Aussaat, Düngung, Pflanzenschutz) wurden die Unterschiede auf Basis der gespeicherten Erfahrung intuitiv oder bewusst berücksichtigt.

In den 1970er-Jahren setzte ein Trend hin zu immer größeren Traktoren, Erntemaschinen und Anbaugeräten ein, sodass eine Eigenmechanisierung für viele landwirtschaftliche Betriebe nicht mehr wirtschaftlich darstellbar war. Die Anzahl der Arbeitsschritte, die an externe Dienstleister (Lohnunternehmer) vergeben wurde, stieg an. Der Umsatz von Lohnunternehmen hatte alleine zwischen 2004 und 2016 um 37 % zugenommen (siehe nachfolgende Abbildung).



Umsatz von deutschen Lohnunternehmen (2004 – 2016) (Quelle: Bundesverband Lohnunternehmen (BLU))

Die immer größeren Maschinen konnten vor allem in kleinstrukturierten Gebieten nur im überbetrieblichen Einsatz effizient eingesetzt werden. Das betraf nicht nur, aber vor allem den Mähdresch. Damit ging eine wichtige Information verloren: die Kenntnis über die Ertragsunterschiede auf den Schlägen.

Gleichzeitig ist seit Jahren ein Strukturwandel in der Landwirtschaft zu beobachten. Die Anzahl der Betriebe mit einer Betriebsfläche von weniger als 50 ha hat zwischen 1995 und 2016 um 50 % abgenommen. Die Anzahl der Betriebe mit mehr als 100 ha stieg in dieser Zeit um mehr als 100 %.

Die Anzahl der Betriebe geht zurück, da aufgrund sinkender oder gleichbleibender Marktpreise und steigender Kosten die Bewirtschaftung von kleinen Betrieben immer weniger attraktiv wird. In der Folge werden die Flächen kleinerer Betriebe verpachtet oder veräußert. Die Ertragsunterschiede auf den Flächen sind den neuen Bewirtschaftern in der Regel nicht aus der Erfahrung bekannt.

Betriebsgröße	1995	2016
Betriebe < 50 ha	311.454	155.651
Betriebe > 100 ha	12.114	27.497

Landwirtschaftliche Betriebe nach Größenklassen (Quelle: <https://www.bmel-statistik.de/landwirtschaft/tabellen-zur-landwirtschaft/#c6985>)

Sowohl die Zunahme externer Dienstleistungen als auch der Strukturwandel haben dazu beigetragen, dass die Anpassung der Bewirtschaftung auf Basis von Erfahrung rückläufig ist. Mithilfe der neuen Technologien kann die Erfahrung jedoch durch Daten und Informationen ersetzt werden. Aus diesem Grund werden Precision Farming oder Smart Farming auch als informationsgestützte Landwirtschaft bezeichnet.

Nach der Erstellung der ersten Ertragskarten kam die Idee auf, die Daten für die teilflächenspezifische Bewirtschaftung (z. B. Düngung) zu nutzen. Bei der Umsetzung traten jedoch verschiedene Probleme auf. Einerseits war die pflanzenbauliche Fragestellung, ob dort, wo wenig wächst, mehr oder weniger gedüngt werden soll, nicht spontan zweifelsfrei zu klären. Andererseits war die Umsetzung der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung mit erheblichen Problemen verbunden. Die Technik war wenig ausgereift und kompliziert zu bedienen.

Die technischen Hürden und die offenen pflanzenbaulichen Fragestellungen führten dazu, dass nur eine sehr geringe Anzahl von Betrieben in den 1990er-Jahren die Möglichkeiten der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung genutzt haben. Die Umsetzung war aufwendig, die erforderlichen Investitionen in Terminals und GPS-Empfänger hoch und der Nutzen fraglich.

Um das Jahr 2000 wurden die ersten Parallelführungssysteme angeboten. Sie zeigten auf einem LED-Lichtbalken an, wie weit der Fahrer von einer zuvor gesetzten Fahrspur entfernt ist. Die Systeme sollten den Fahrer beim Abfahren der Fahrspuren unterstützen und so Überlappungen und Fehlstellen bei der Bearbeitung reduzieren. Die Genauigkeit lag in einem Bereich von 50 cm bis 1 m. Wenige Jahre später folgte die logische Weiterentwicklung: Die ersten automatischen Lenksysteme griffen in die Lenkhydraulik ein und steuerten Traktoren und Erntemaschinen automatisch. Parallelführungs- und Lenksysteme haben sich in den letzten Jahren weltweit in großen, mittleren und auch kleinen Betrieben durchgesetzt, weil sie unabhängig von Ertrag, Fruchtart und Boden in jedem Fall zu einer Effizienzsteigerung und einem Komfortgewinn führen.

Der Einsatz von Satellitenortungssystemen in Fahrzeugen ist in der Landwirtschaft inzwischen relativ weitverbreitet. Sie werden hauptsächlich für das automatische Lenken eingesetzt, stellen jedoch auch Positionen für die teilflächenspezifische Ansteuerung bereit. Gleichzeitig ist die Ansteuerung von Geräten durch die fortgeschrittene Standardisierung und die größere Verbreitung weit fortgeschritten und ausgereift.

Somit steht der Umsetzung der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung aus technischer Sicht nur noch wenig im Weg. Nachdem auch bei den pflanzenbaulichen Fragestellungen erhebliche Fortschritte erzielt wurden, ist abzusehen, dass die Optimierung der Bewirtschaftung auf Basis von Daten und Informationen vermehrt Einzug halten wird. Dies gilt insbesondere deshalb, weil der gesellschaftliche Druck hin zu einer ressourcenschonenden Bewirtschaftung ständig zunimmt.

Bezüglich der Versorgung mit Daten und Informationen spielen vor allem verschiedene Initiativen der EU eine zentrale Rolle. Die INSPIRE-Richtlinie regelt die Bereitstellung von öffentlichen Geodateninfrastrukturen. Im Rahmen von INSPIRE werden für die Pflanzenproduktion bedeutende Informationen wie geologische Karten und Karten der Reichsbodenschätzung zentral und kostenlos zur Verfügung gestellt. Die Sentinel-Satellitenmission im Rahmen des Copernicus-Programms der EU sorgt dafür, dass hochwertige Satellitenaufnahmen ebenfalls zentral und kostenfrei durch Landwirte, Lohnunternehmen und Dienstleister abgerufen und ausgewertet werden können.

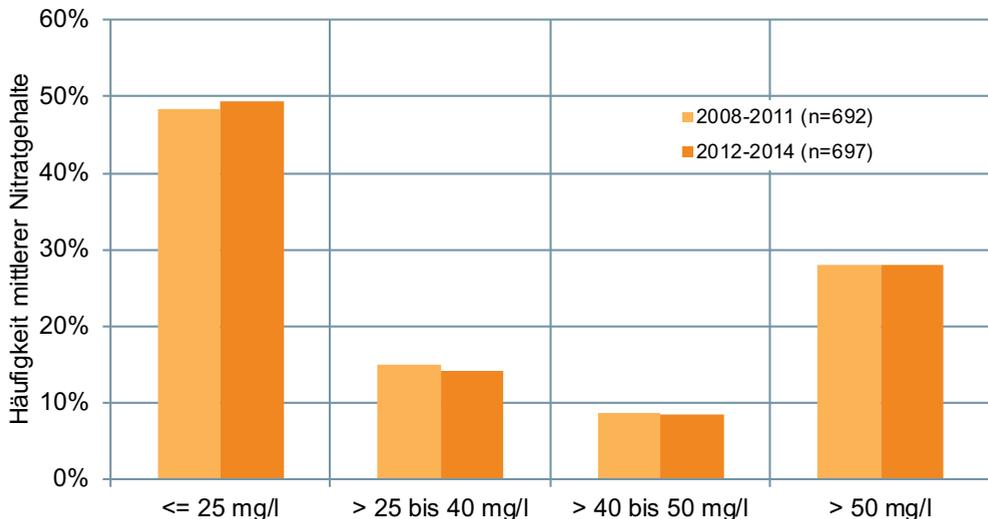
Der Einsatz von Elektronik und Software in der Landwirtschaft kann eine Hilfe sein, wenn es darum geht, Kosten einzusparen, Gewinne zu steigern, Landwirte zu entlasten und die negativen Auswirkungen auf die Umwelt auf ein Mindestmaß zu reduzieren.

Digitale Technologien sind allerdings kein Allheilmittel: Ob die Werkzeuge, die Precision Farming zur Verfügung stellt, unter den gegebenen Betriebs- und Produktionsbedingungen geeignet und wirtschaftlich sind, lässt sich nicht pauschal beantworten. Hier fehlt es noch an Erfahrungen mit den neuen Methoden und Technologien. Auch nach der Einführung der mineralischen Düngung, dem chemischen Pflanzenschutz und dieselbetriebener Zugmaschinen (Traktor) herrschte zunächst Verunsicherung über den richtigen Einsatz und den Nutzen.

Die Optimierung der ökonomischen Situation einzelner Betriebe ist jedoch nur ein Baustein. Die Landwirtschaft steht als Ganzes vor großen Herausforderungen. Als Lieferant für Nahrungsmittel, Futtermittel, Energie und Rohstoffe ist sie ein Wirtschaftszweig von grundlegender Bedeutung. Diese Bedeutung nimmt aufgrund der wachsenden Weltbevölkerung ständig zu. Bei gleichbleibender bzw. abnehmender Flächennutzung muss eine ständig steigende Menge von Nahrungsmitteln erzeugt werden. Die Produktion von Energiepflanzen nimmt im Rahmen der fortschreitenden Umstellung auf erneuerbare Energien ebenfalls überproportional zu. Die Digitalisierung kann einen Beitrag dazu leisten, die Erzeugung von Nahrungsmitteln auf dem begrenzenden Faktor Fläche zu optimieren.

Gleichzeitig ist die Landwirtschaft bei der Schonung der natürlichen Ressourcen gefordert. Als Beispiel sei hier die Nitratbelastung des Grundwassers genannt. Das Bundesumweltamt hat ermittelt, dass sich die Situation hinsichtlich der Nitratgehalte im Grundwasser im landwirtschaftlichen Nutzungsumfeld in den vergangenen Jahren nicht verbessert hat (siehe nachfolgende Abbildung). Die Anzahl der Messstellen, die einen Nitratgehalt von mehr als 50 mg/l Nitrat und damit den gesetzlichen Grenzwert überschreiten, hat sich in den letzten Jahren bei 28 % stabilisiert.

Entwicklung der mittleren Nitratgehalte im neuen EU-Nitratmessnetz

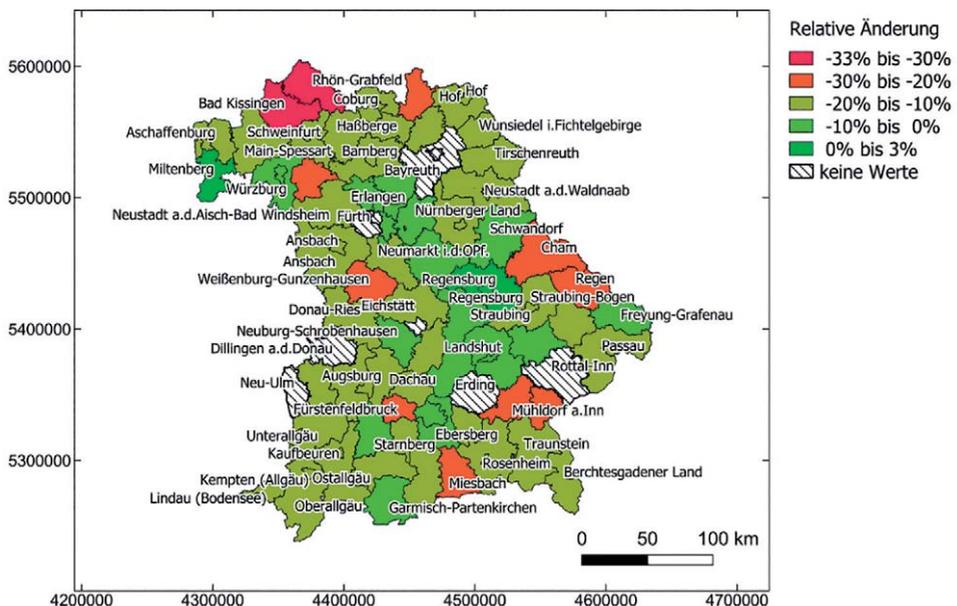


Entwicklung der mittleren Nitratgehalte im EU-Nitratmessnetz (Quelle: Umweltbundesamt 2016 nach Angaben der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser)

Die aktuelle Novellierung der Düngeverordnung zielt darauf ab, die mutmaßliche Quelle der Nitrate, die mineralische und organische Stickstoffdüngung, so neu zu reglementieren, dass die Nitratgehalte im Grundwasser zurückgehen. Dies ist für Landwirte jedoch mit potenziellen Ertragseinbußen verbunden, da Stickstoff ein limitierender Faktor hinsichtlich des Pflanzenwachstums ist. Die Verteilung des durch die gesetzlichen Rahmenbedingungen limitierten Einsatzes von Stickstoff auf verschiedene Felder oder sogar innerhalb von Feldern kann mit digitalen Methoden optimiert werden. Auch hier kann Precision Farming einen Beitrag leisten, der über die Gewinnmaximierung eines Einzelunternehmens hinausgeht.

Der Klimawandel stellt eine weitere Herausforderung für die Landwirtschaft dar. Die dabei stattfindenden Prozesse sind schleichend und werden erst bei einer langfristigen Betrachtung sichtbar. In der nachfolgenden Abbildung sind die Änderungen der Niederschläge in den bayerischen Landkreisen im Monat April im Vergleich der Zeiträume 1961 bis 1990 und 1981 bis 2010 dargestellt. Die Wasserzufuhr ist zu dieser Jahreszeit für die Versorgung der Kulturpflanzen besonders kritisch.

Relativer Änderung der Niederschläge im Monat April im Vergleich der Zeiträume 1961 bis 1990 und 1981 bis 2010 im Bundesland Bayern



Relative Niederschlagsänderung im April in den Landkreisen Bayerns (1961 bis 1990 vs. 1981 bis 2010)
(Datenquelle: Deutscher Wetterdienst)

In den meisten Landkreisen ist ein Rückgang der Niederschläge zu beobachten, in einzelnen Fällen hat der Niederschlag jedoch auch zugenommen. Durch die Nutzung von Geoinformationssystemen (GIS) für die Aufbereitung der Daten in Kartenform wird klar, dass die Änderung des Klimas regional und vor allem kleinräumig starke Unter-

schiede aufweist. In einigen Landkreisen sind die Niederschläge um mehr als 30 % zurückgegangen.

Mit digitalen Methoden können die Effekte des Klimawandels analysiert und visualisiert werden. Digitale Werkzeuge sind auch geeignet, um Maßnahmen zur Eindämmung negativer Einflüsse des Klimawandels auf die Pflanzenproduktion zu unterstützen.

Falls durch den Rückgang der Niederschläge der Einsatz von Bewässerungssystemen nötig wird, können Bewässerungsmodelle, Fernerkundungsdaten und Bodenfeuchtesensoren für die Bestimmung der optimalen Bewässerungsmengen genutzt werden. Dies führt einerseits zu einer effizienten Nutzung der knappen Ressource Wasser und reduziert gleichzeitig Kosten für dessen Förderung und die Auswaschung von Nährstoffen durch Überbewässerung.

Im Bereich der Züchtung wird an der Entwicklung von Sorten gearbeitet, die besser mit dem Rückgang der Niederschläge umgehen können (Trockenstresstoleranz). Die Genotypisierung (Decodierung des Erbmaterials) von Kulturpflanzen ist weit fortgeschritten. Bei der Züchtung ist entscheidend, wie ein Genotyp auf unterschiedliche Umweltbedingungen (z. B. Trockenheit) reagiert.

Die fortlaufende Untersuchung von Pflanzeigenschaften (Bonitur) während der Entwicklung (Höhe, Anzahl Triebe, Krankheiten, ...) wird als Phänotypisierung bezeichnet. Entscheidend für den Züchtungserfolg ist, dass die Merkmale dabei möglichst häufig und reproduzierbar erfasst werden. Für die Steigerung der Effizienz und der Genauigkeit werden in diesem Bereich deshalb vermehrt Sensoren und autonome Flugsysteme (UAS) eingesetzt. Insofern sind Precision-Farming-Methoden nicht nur für ackerbauliche Anwendungen geeignet, sondern können auch bei der Bewässerungssteuerung und bei der Züchtung neuer Sorten die Effizienz der landwirtschaftlichen Produktion steigern.

Um die Chancen und Risiken der digitalen Methoden einschätzen zu können, muss man sie zunächst verstehen. Deshalb wendet sich dieses Buch an Studierende und Mitarbeiter von Unternehmen, die in der Landwirtschaft, der Landtechnik sowie im vor- und nachgelagerten Bereich beschäftigt sind. Es gibt einen Überblick über die Funktionsweise von Sensoren, Aktoren, Systemen für die Steuerung und Regelung sowie den Datenaustausch und stellt dar, wie diese in der Landwirtschaft als Komplettlösungen zusammenspielen.

An dieser Stelle gilt mein Dank allen, die mich bei der Arbeit an diesem Buch unmittelbar und mittelbar unterstützt haben: meinen Eltern, meiner Familie, meinen Doktorvätern Prof. Dr. Hermann Auernhammer und Prof. Dr. Urs Schmidhalter, Dr. Markus Demmel, Thomas Muhr und meinen Kollegen Peter Breunig und Bernhard Bauer.

Eichstätt, im September 2018

Patrick Ole Noack