

# Zur landwirtschaftlichen Nutzung der Datenfusion Probleme und Lösungsansätze

Josef Heinskill<sup>1</sup>, Wolfgang Koch<sup>1</sup>, Viktor Krozer<sup>2</sup>, Marek Schikora<sup>1</sup>, Adam Schikora<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Fraunhofer-Institut für Kommunikation  
Informationsverarbeitung und Ergonomie  
Fraunhoferstraße 20  
53343 Wachtberg

{Josef.Heinskill,Wolfgang.Koch,Marek.Schikora}@fkie.fraunhofer.de

<sup>2</sup> Johann Wolfgang Goethe-Universität  
Max-von-Laue-Straße 1  
60438 Frankfurt am Main  
krozer@physik.uni-frankfurt.de

<sup>3</sup> Institute of Phytopathology and Applied Zoology  
IFZ  
Justus Liebig University Giessen,  
Heinrich-Buff-Ring 26-32  
35392 Giessen  
adam.schikora@agrار.uni-giessen.de

**Abstract:** Die Landwirtschaft nutzt bereits eine Vielzahl von Sensoren zur Optimierung des Pflanzenanbaus und der Tierzucht. Das durch die technisch gewonnenen Daten vertiefte Verständnis der zugrundeliegenden Phänomene hat bereits zur Verbesserung bestimmter Prozessabläufe und Ertragssteigerungen geführt. Wie sich zeigt, lässt sich das Potential der Sensoren noch weitaus besser nutzen, wenn heterogene Sensordaten und Kontextinformationen durch leistungsfähige Algorithmen miteinander verknüpft, „fusioniert“ werden. Dadurch werden Fehleinschätzungen deutlich verringert, aber auch die zugrundeliegenden Zusammenhänge besser erkannt und situationsgerechte Entscheidungen ermöglicht.

## 1 Einleitung

Der technische Fortschritt hat sich auf die Landwirtschaft (Tier- und Pflanzenzucht) in den letzten Jahrzehnten erheblich ausgewirkt. Moderne Anlagen sind teilweise mit Sensoren ausgerüstet, die dem Landwirt kurzfristig Informationen für den Anbau von Zuchtpflanzen bzw. die Aufzucht von Tieren zur Verfügung stellen. Häufig werden einzelne Parameter ausgewertet und dienen als Entscheidungsgrundlage für weitere Prozesse. Die Erfahrung zeigt, dass durch die Kombination mehrerer Parameter durch Datenfusion

weitere wichtige Informationen ermittelt werden können. Die erforderlichen Algorithmen bzw. Softwaretools stehen jedoch häufig nicht bzw. in einem begrenztem Umfang zur Verfügung.

Der Beitrag diskutiert ausgewählte Beispiele und Aspekte im Hinblick auf die zu verwendenden Sensoren, Sensorplattformen, Datenbanksysteme und Fusionsarchitekturen.

## **2 Zum landwirtschaftlichen Sensoreinsatz**

### **2.1 Beispiele im Hinblick auf Tierprodukte**

Tierzucht und Tierhaltung sind wesentliche Standbeine der deutschen Landwirtschaft. Die Art der Tierzucht beeinflusst das Tierwohl bzw. -gesundheit sowie die Qualität der Produkte (z.B. Fleisch, Milch). Die Züchter können in der Regel nicht alle relevanten Einflussparameter gleichzeitig im Auge haben. Zum Teil können sie jedoch durch geeignete mobile bzw. stationäre Sensoren erfasst und automatisch ausgewertet werden.

- So werden z.B. durch den Einsatz von Halsbändern bereits im frühen Stadium Informationen zur Gesundheit der Kuh erfasst. Das Wiederkauverhalten und Bewegungsaktivitäten stellen ein Hilfsmittel zur Beobachtung der Tiergesundheit und Brunstphasen dar. Ein verändertes Wiederkauverhalten kann Hinweise auf mögliche Erkrankungen liefern.
- Durch den Einsatz von Sensoren in Ställen können kurzfristig Hinweise auf mögliche gesundheitliche Gefahren liefern. Schweine reagieren sehr empfindlich auf Temperaturschwankungen, die zu klimabedingten Erkrankungen, sogar zum Tod, führen können. Treten Unregelmäßigkeiten bzw. Störungen auf, kann der Züchter mittels SMS oder eMail sofort informiert werden.
- Nach der Schlachtung erfolgt eine Tierschau, bei der mögliche Krankheiten oder auffällige Qualitätsabweichungen erfasst werden. Treten Krankheiten bzw. wesentliche Veränderungen in der Fleischqualität auf, liegen häufig nicht alle relevanten Informationen / Daten zur Beurteilung der Herkunft der Krankheiten vor. Der Zugang zu den Daten ist nicht immer möglich bzw. wird erschwert z.B. aus Datenschutzgründen. Datenfusion kann hier Abhilfe schaffen
- Tiertransporte gewinnen zunehmend Bedeutung. Dabei wirken zahlreiche Faktoren auf Gesundheit und Wohlbefinden der Tiere ein. Klimatische Belastungen (Temperatur, Feuchtigkeit, Lüftung) sowie Transportdauer/-zeitpunkt und Beschleunigung / Fahrweise können beeinträchtigend wirken, aber sensoruell erfasst werden. Die Belastung der Tiere führt häufig zu einer Änderung der Herzfrequenz und der Körpertemperatur, welche zusätzlich durch Kontaktsensoren ermittelt und ausgewertet werden können.

## 2.2 Konkretes im Hinblick auf Pflanzenzucht

Exemplarisch werden Ansätze auf drei Ebenen diskutiert: 1. Interaktion zwischen Pflanzen und deren Krankheitserreger am Beispiel humaner Pathogene (auch für andere Bakteriosen valide). 2. Resistenzsteigerung durch symbiontische Bakterien und deren Moleküle. 3. Analyse der Antworten auf Umweltbedingungen.

Salmonella und E. coli Bakterien verursachen unterschiedlichste Krankheiten beim Menschen. Die Spanne reicht von Enteritis bis zu Typhus. Des Weiteren sind sie verantwortlich für Salmonellose, welches die bedeutendste ernährungsbedingte Krankheit mit ca. 1,5 Milliarden Infektionen jährlich weltweit ist. Aktuelle Studien belegen, dass Salmonella-Infektionen auch häufig durch infiziertes Gemüse und Obst stattfinden [Br06]. Das Wachstum dieser Bakterien in mehreren Pflanzenarten wurde ebenfalls belegt [JWG05]. Aktuelle Forschungen untersuchen das Abwehrverhalten von Pflanzen gegenüber solchen Erregern. Das Ziel ist die Zucht von resistenten Pflanzen, so dass ernährungsbedingte Infektionen minimiert werden.

*Symptomanalyse zur schnellen, nicht destruktiven Erkennung resistenter Pflanzen*

### Infektion mit Salmonella

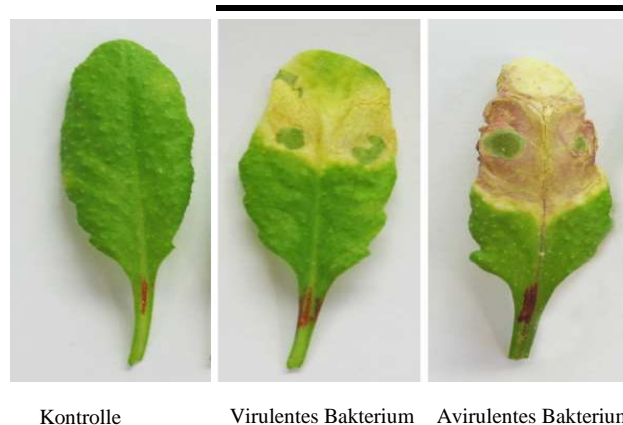


Abbildung 1: Antwort der Pflanzen auf Infektion mit Salmonella

Eine resistente bzw. eine mit einem avirulentem Bakterium infizierte Pflanze, ist in der Lage, Abwehrmechanismen zu aktivieren (Zelltod, hypersensitive Response). Die Sensordatenfusion unterstützt die Erkennung solcher Pflanzen, indem sie große Mengen an Bilddaten objektiv evaluiert und in Verbindung zum genotypischen Hintergrund der Pflanze oder zur Virulenz des Pathogenes bringt. Derartige Analysen ermöglichen, die Faktoren zu identifizieren, die für eine Infektion notwendig sind. Ein entwickelter, voll-automatischer Algorithmus kann aus Bildern der Pflanzenblätter auf den Krankheitszustand schließen [Sc12]. Dabei wird für jedes Blatt eine Aussage über den Befall getroffen. Das Ablaufdiagramm des Algorithmus ist in Abbildung 2 dargestellt.

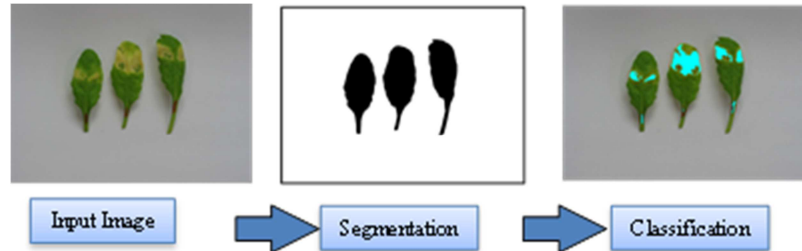


Abbildung 2: Ablaufdiagramm zur Segmentation und Klassifikation der Pflanzenblätter.

Zunächst müssen die Blätter einer Pflanze als solche erkannt werden. Hierzu wurde ein Bildsegmentierungsansatz verwendet, der den Vordergrund (Blattregion) vom Hintergrund trennt und ein durch die Bildverarbeitung zu optimierendes Funktional aufgestellt. Sein Minimum entspricht der gewünschten Segmentierung. Es setzt sich aus einem Daten- und einem Glattheitsterm zusammen:

$$E(u) = \int_{\Omega} (f(\mathbf{x}, v) - f(\mathbf{x}, \beta))u(\mathbf{x})d\mathbf{x} + \lambda \int_{\Omega} |\nabla u(\mathbf{x})|d\mathbf{x}$$

Hierbei ist  $u: \Omega \rightarrow [0, 1]$  ein binäres Bild. Die Funktion  $f(\mathbf{x})$  bewertet die Ähnlichkeit eines Pixels  $\mathbf{x}$  zum Vordergrundmodell  $v$  bzw. zum Hintergrundmodell  $\beta$ . Der Glattheitsterm wird mit einem Faktor  $\lambda$  gewichtet. Dieses Funktional ist konvex, so dass unabhängig von der Initialisierung die optimale Segmentierung gefunden wird.

Bei einer gegebenen Segmentierung werden die Vordergrundpixel klassifiziert in die Klassen: *Gesund*, *Befallen*, *Hintergrund*. Letztere bezeichnet Pixel, die eventuell falsch segmentiert wurden. Die Klassifizierung wird durch eine Support Vector Machine (SVM) durchgeführt, wobei als Merkmale die Farbinformationen benutzt werden. Hierzu wird jedes Pixel in den I1I2I3 Farbraum konvertiert. Dabei wird der RGB-Würfel so gedreht, dass die Helligkeitsachse der I1-Achse im neuen Farbraum entspricht. Die Farbinformation ist nun hauptsächlich in den Achsen I2 und I3 zu finden, siehe Abbildung 3.

Dieses Verfahren wurde auf über 500 Bilder angewendet, welche auch biologisch untersucht wurden. Es konnte gezeigt werden, dass die optische Klassifizierung mit den Ergebnissen einer aufwendigen Laboruntersuchung übereinstimmt. Des Weiteren sind die erzielten Ergebnisse objektiv, so dass sie für eine wissenschaftliche Analyse verwendbar sind. Beispielergebnisse finden sich in der Abbildung 4.

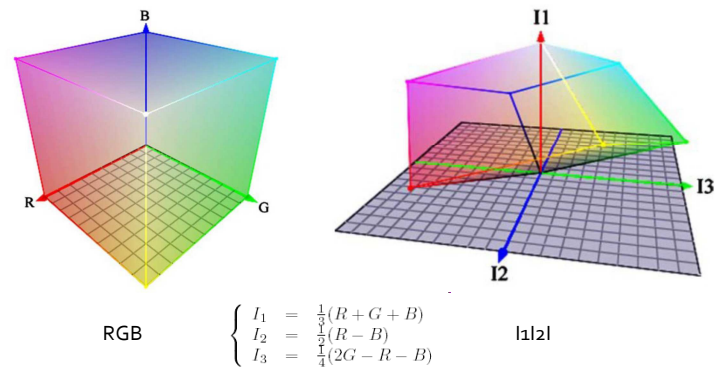


Abbildung 3: Transformation RGB -> I1I2I3.

Dieser Ansatz lässt sich beliebig auf andere Pflanzenarten übertragen. Auch eine Analyse größerer Flächen im Gegensatz zu einzelnen Pflanzen ist möglich. Die Erweiterung auf andere Spektralbereiche würde das Klassifizierungsergebnis weiter verbessern.

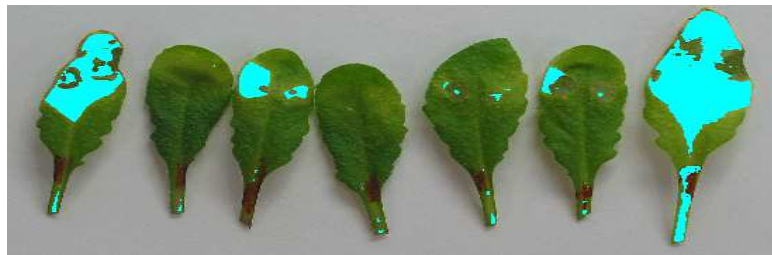


Abbildung 4: Klassifizierungsergebnis. Kranke Bereiche sind türkis markiert.

In Böden und auf Pflanzen lebende Bakterien sind nicht nur schädliche Erreger, sondern tragen in hohem Maße zur Pflanzengesundheit bei. Bestimmte bakterielle Moleküle, die so genannten *Quorum Sensing* (QS) Moleküle, werden von Pflanzen wahrgenommen. Sie stimulieren die Pflanzen zu Abwehrmechanismen bzw. Wachstumsförderung (Abbildung 5). Die Produktion der QS-Moleküle ist deshalb eine wichtige agronomische Eigenschaft. Derartige Bakterien können ev. als Pflanzenschutzmittel verwendet werden.

Nachweis von QS Molekülen durch automatische Auswertung von Biosensor-Daten

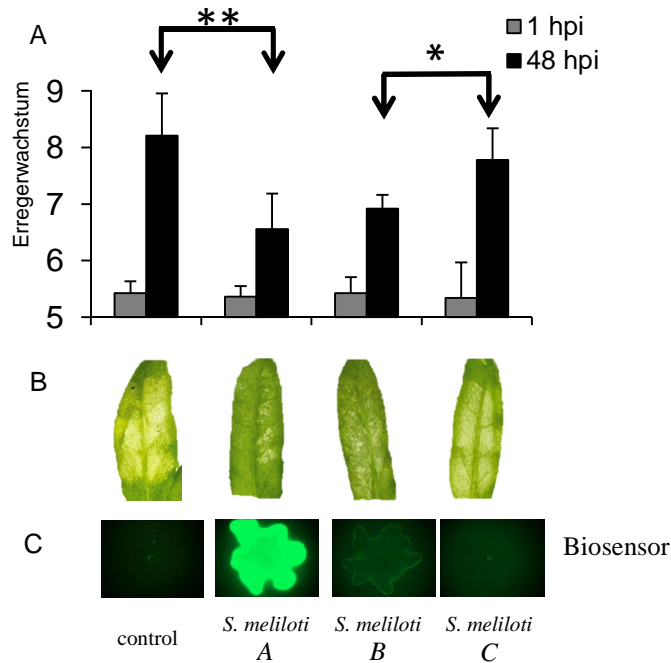


Abb 5: Resistenz gegenüber einem Erreger (A), Krankheitssymptome bei Wirtspflanze (B), Produktion von QS Molekülen (C). Die Menge der QS Moleküle ist mit Fluoreszenz direkt korreliert.

Die Menge der QS-Moleküle lässt sich mit speziellen Markerstämmen (Biosensoren) nachweisen und automatisch auswerten (Abbildung 6). Derartige Screening-Methoden helfen nicht nur, Bakterienstämme mit hohem Produktionslevel zu bestimmen, sondern auch Wachstumsbedingungen zu identifizieren, in denen das System: Bakterium – QS-Molekül – Pflanze, optimale Ergebnisse liefert.

Die Fluoreszenzbilder müssen aufgrund der großen Datenmenge automatisch ausgewertet werden. Der verwendete Algorithmus analysiert den Grünanteil der Bilder [Za13]. Da es sich um standardisierte Aufnahmen handelt, kann die Anzahl „grüner“ Pixel als Indiz verwendet werden. Dazu wird das Eingabebild segmentiert. Wie zuvor wird ein Model des Vorder- und Hintergrunds gebildet. Aus der Größe des Vordergrunds lässt sich die relative Produktion der QS-Moleküle ableiten. Mit Hilfe dieser Technologie können diejenigen Bakterien identifiziert werden, welche eine optimale QS-Molekül-Produktion erlauben. Dieses kann zur Entwicklung von natürlichen Pflanzenschutzmitteln führen.

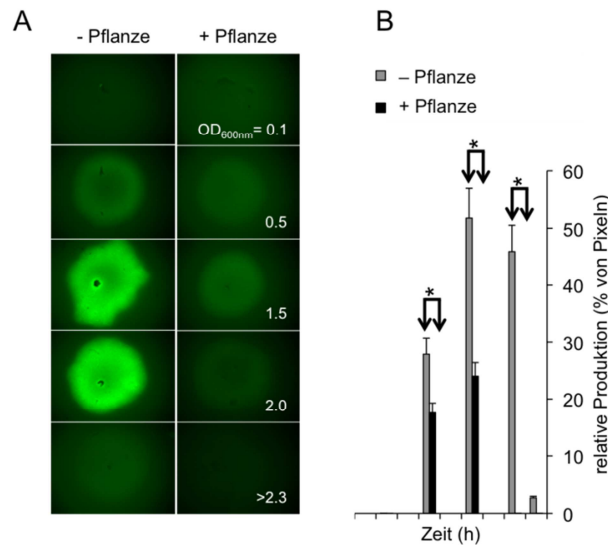


Abbildung 6: Produktion von QS Molekülen (grüne Fluoreszenz) durch symbiontische Bakterien in einer Co-Kultivierung mit Pflanzen, Nachweis durch Biosensoren (A), ermittelt in Image Analysis (B).

Die Änderungen klimatischer Bedingungen oder kurzfristige Wetterschwankungen fordern von Pflanzen eine ständige Anpassung. Die Bewältigung der Folgen der schädlichen Einflüsse extremer Temperaturen, versalzter Böden, osmotischem oder oxidativem Stress, erfolgt durch bestimmte Genexpression und DNS-Reparaturen. Die Effizienz solcher Mechanismen und der Einfluss von Umweltfaktoren beeinflusst maßgeblich das Wachstumspotenzial einer Pflanze an einem bestimmten Standort.

#### *Auszählung der SHR-Ereignisse zur Visualisierung der DNS-Reparaturmechanismen*

Die SHR (Somatische Homologe Rekombination) ist ein DNS-Reparaturmechanismus, der die Schäden an der DNS durch UV Strahlung, oxidativen Stress etc. behebt. Mit Hilfe speziell vorbereiteter transgener Pflanzen kann die Reparatur eines Gens, welches ein bestimmtes Enzym kodiert, visualisiert werden. Die erfolgreiche DNS-Reparatur ermöglicht eine blaue Färbung, die durch die Aktivität des Enzyms entsteht. Diese Methode ermöglicht es, die Antwort der Pflanzen zu untersuchen und die Resistenz gegenüber bestimmten Faktoren zu ermitteln. Dazu unterstützt eine automatische Auswertung die Identifikation von erfolgreich reparierten Bereichen [Pe09]. Bisher musste diese Identifikation per Hand durch einen Benutzer stattfinden. Der entwickelte Algorithmus kann diese Bereiche selbständig in den Bildern finden (Abbildung 7).

Der Algorithmus transformiert zunächst die Bilder in den HSV-Farbraum und klassifiziert anschließend in den einzelnen Farbkanälen und bildet einen Mehrheitsentscheid. Dies geschieht pixelweise. Zusammenhängende Pixel werden gruppiert und anschließend entspricht die Anzahl der Gruppen der Anzahl der reparierten Bereiche.

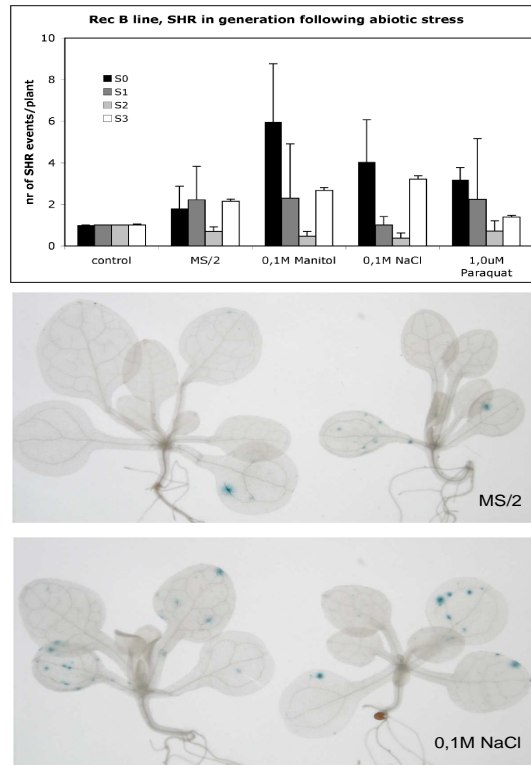


Abbildung 7: Die Häufigkeit der SHR in Pflanzen, die verschiedenen abiotischen Stressfaktoren ausgesetzt wurden (A). B, C präsentieren exemplarisch Pflanzen, die in (A) ausgezählt wurden.

Eine Optimierung landwirtschaftlicher Erträge kann durch Präzisionslandwirtschaft sichergestellt werden. Hierzu benötigt der Landwirt u.a. exakte ortsbezogene und aktuelle Daten des gesamten Bodenaufbaus. Diese Daten bilden die Entscheidungsgrundlage für optimale Düngung, Bewässerung und Aussaatdichte. Unterschiedliche mobile Messverfahren wie z.B. laserinduzierte Fluoreszenz, Spektrometer, Leitfähigkeitsmessungen, bzw. der Einsatz von ionenselektiven Elektroden (pH-Wert) sind in der Lage, Informationen bzgl. der Bodenbeschaffenheit zu liefern. Mit Hilfe von laserinduzierter Fluoreszenz wird die Menge an erforderlichem stickstoffhaltigem Dünger ermittelt und unmittelbar aufgetragen. Die bisher erfassten Daten reichen jedoch in der Regel nicht für eine exakte Festlegung der Menge an aufzubringendem Düngemittel und ggf. weitere Behandlung der Pflanzen aus. Nicht berücksichtigt werden z.B. Parameter wie Trieb- und Ährendichte, Wachstumsstadium, Pflanzenkrankheiten, Klima und Wetterdaten. Bei der Auswertung der Daten besteht z.Z. Forschungs- und Entwicklungsbedarf.



## **3 Landwirtschaftliche Produktionsbedingungen**

### **3.1 Berücksichtigung des Umweltschutzes**

Der Umweltschutz spielt eine wichtige Rolle in landwirtschaftlichen Produktionsbetrieben. Die genaue Kenntnis der Bodenbeschaffenheit und des Pflanzenzustandes (z.B. Nährstoffmangel, Trockenheit, Krankheitsbefall) stellen wesentliche Informationsquellen für die weitere Behandlung des Bodens bzw. der Pflanzen durch den Landwirt dar. Hiervon abhängig ist die auszubringende Menge an Düngemittel / Gülle und ggf. Pflanzenschutzmitteln. Fehlen diese Informationen bzw. sind sie nicht ausreichend bekannt, besteht die Gefahr einer Überdüngung bzw. die Anwendung zu hoher Menge an Pflanzenschutzmitteln, die zu einer unnötigen Belastung der Böden, der Gewässer führen sowie unnötigen Kosten verursachen.

### **3.2 Erfassung von Umweltparametern**

Für die Messung von Umweltparametern wie z.B. Boden- /Lufttemperatur, Feuchtigkeit, Regenwasser, Stickstoffgehalt in Pflanzen und Methan, Ammoniak stehen geeignete Sensoren zur Verfügung. Besonderes Zukunftspotential haben sogenannte Quarz-Mikro-Waagen, mit denen im offenen System der Nachweis chemischer und biologischer Agentien vergleichsweise zu überschaubaren Kosten möglich sein kann. Häufig werden einzelne Parameter dezentral ausgewertet; eine Verknüpfung mit weiteren Daten erfolgt häufig nur in einem begrenzten Umfang. Ein nachhaltiger Umweltschutz kann nur durch die Kenntnis der einzelnen Einflussparameter sowie die gegenseitige Beeinflussung der Parameter untereinander gewährleistet werden.

## **4 Aspekte der sensorischen Datenerfassung**

Im Bereich der Tier- und Pflanzenzucht werden eine Vielzahl unterschiedlicher sensorischer Daten erfasst. Abhängig vom jeweiligen Einsatzbereich werden unterschiedliche Sensortypen verwendet, die nachfolgend ohne Anspruch auf Vollständigkeit diskutiert werden. Landwirtschaftliche Anwendungen erfordern einerseits neuartige Sensorentwicklungen im pflanzlichen und Veterinärbereich, andererseits kann häufig auch auf bereits bewährte Sensortechnologie zurückgegriffen werden, die gegebenenfalls für die besonderen Erfordernisse der jeweiligen landwirtschaftlichen Anwendung angepasst werden muss.

### **4.1 Bilderfassende Sensoren**

Eine wichtige Klasse von Sensoren mit Anwendungspotential in der Landwirtschaft sind bilderfassende Sensoren. Wie das oben diskutierte Beispiel zeigt, spielen unter ihnen konventionelle Kameras sowie Video- oder Infrarot/Wärmebildsensoren eine wichtige Rolle. Sie ermöglichen grundsätzlich Beobachtungen der Tiere und damit die Erkennung

eventuell anomalen Verhaltens. Die Herausforderungen liegen hier nicht in der Sensorentwicklung selbst, obwohl der Sensoreinsatz in der Landwirtschaft erhebliche Anforderungen an die Robustheit der Sensoren stellt. Entscheidend sind vielmehr Algorithmen der Multiobjekterkennung und der Multiobjektverfolgung. Sie bilden die Voraussetzung dafür, abweichendes Verhalten zu erkennen. Zur Einschätzung dessen, was als normal zu gelten hat, ist ein intensiver Austausch mit Veterinärmedizinern zwingend erforderlich. Ihre Expertise ist in geeignete Modelle umzusetzen, auf deren Grundlage sequenzielle Entscheidungsalgorithmen aufsetzen können.

Videobasierte Verfahren eignen sich aber auch für die quantitative Erfassung von Tier- und Pflanzenbeständen und darauf fußenden statistischen Auswertungen. In diesem Zusammenhang ist die Nutzung mobiler Trägerplattformen in Betracht zu ziehen, die großflächige Erfassungen ermöglichen.

#### **4.2 mm-Wellen und THz-Sensorik**

Ein großes Potential besitzen neuartige Millimeterwellen- und Terahertz-Sensoren, die empfindlich auf Wasser reagieren. Sensorsysteme in diesem Frequenzbereich erlauben eine Bildgebung mit hoher örtlicher und spektraler Auflösung. Eine wichtige Forderung an neuartige Sensorik besteht darin, einerseits die Qualität der landwirtschaftlichen Produkte zu erhöhen bei gleichzeitiger Schonung der Ressourcen und Wohlbefinden der Tiere und Pflanzen.

Im Bereich der pflanzlichen Anwendungen ist der Einsatz der Millimeterwellen- und Terahertz-Technologien nur dort sinnvoll, wo ein erhebliches Sparpotential an Ressourcen oder eine erhebliche Steigerung der Qualität zu erwarten ist, wobei der Augenmerk auf hochwertigen Nutzpflanzen und deren Saat gelegt wird. Eine typische Anwendung besteht darin, den Wassergehalt in der Pflanze zu überwachen und gezielte optimale Bewässerung der Pflanzen oder des Saatguts einzustellen. Ein Beispiel hierfür stellt der Weinanbau dar. Die Qualität der Trauben ist für die anschließende Qualität des Weines von überragender Bedeutung. Eine kontinuierliche Überwachung des Wasser- und Glukose/Fruktose-Gehalts in den Trauben ist nur mit spektral-aufgelösten Bildgebungssystemen möglich, wenn auf eine Pflückung und Einzeluntersuchung verzichtet werden soll. Gezielte Bewässerung kann eine Minderung der Bewässerung um 80% bewirken ohne Einbußen in der Qualität des Weines. Zusätzlich kann die Qualität gesteigert werden und damit größere Anteile an qualitativ hochwertigen Weinen am Weltmarkt erzielt werden. Ein entscheidender Vorteil der vorgeschlagenen Technologien ist die berührungslose spektral- und orts aufgelöste Bildgebung.

Wie bereits erwähnt, besitzen Tiergesundheit und Tierwohlbefinden eine hohe Priorität in der landwirtschaftlichen Tierhaltung, wobei das Tierwohlbefinden einen besonderen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Tierhaltung und die Akzeptanz der Agrarwirtschaft in der Gesellschaft aufweist. Die Vitalfunktionen, z.B. Atmung und Herzrate, stellen einen sensiblen Indikator für das Wohlbefinden der Tiere dar.

Eine Möglichkeit, die Vitalfunktionen berührungslos und für die Tiere gefahrlos zu erfassen, besteht in der Anwendung von Radarsystemen im Dauerstrichbetrieb. Durch

Atmung und Herzrate kommt es zu Doppler-Modulationen, welche für die Bestimmung der Vitalparameter ausgewertet werden können. Wünschenswert wäre eine Technologie, um die Extraktion der Vitalfunktionen zu automatisieren. Hierfür müssen Auswertungsverfahren entwickelt werden, die beispielsweise zwischen Dopplersignaturen unterscheiden, welche von den Vitalfunktionen des Tieres herrühren, und solchen, die aufgrund von unkontrollierten Bewegungen des Tieres oder aus der Umgebung stammen. Außerdem muss für die Praxis untersucht werden, an welchen Örtlichkeiten im Stall die Messung der Vitalfunktionen am besten durchgeführt werden kann und wie die Radarsysteme hardwareseitig gestaltet werden müssen.

#### **4.3 Parameter-erfassende Sensoren**

In Ergänzung zu den soeben genannten Sensoren besitzen auch Parameter-erfassende Sensoren in landwirtschaftlichen Anwendungen erhebliche Bedeutung.

- Eine wesentliche Erfassungsgröße ist die Temperatur. Sie bezieht sich zunächst auf die Innen- und Außentemperatur der jeweiligen Umgebung. Wichtig kann es aber auch sein, Oberflächentemperaturen zu erfassen, etwa der Haut von Tieren oder der Bodenoberfläche. Eine Reihe von Anwendungen erfordern die Messung der Temperatur in Objekten, etwa im Boden, der Temperatur von Wassereinlagerungen oder der Temperatur im Körperinneren, etwa im Magen einer Kuh. Hinzu kommen Messungen der Feuchtigkeit der Luft- und Boden Umgebung, sowie in Objekten (Boden, Pflanzen).
- Auf die Messung von Parametern der Vitalfunktionen, wie Herzfrequenz und ihre Variabilität hinsichtlich Stress, Verhaltens- oder Umweltveränderungen wurde bereits eingegangen. Für die Erhebung derartiger Daten stehen natürlich auch eher konventionelle Sensoren zur Verfügung, die für medizinische Anwendungen oder für den Sport entwickelt wurden. Da bereits ein Massenmarkt existiert, ist hier von preiswerten Sensoren auszugehen.
- Zur Erfassung kinematischer Parameter bieten sich neben Kameraüberwachung auch Pedometer an, die zur Einschätzung der Aktivität von Kühen bereits genutzt werden. Absolute Ortsbewegungen sind wegen der unvermeidlichen Sensordrift kaum möglich, dennoch haben sie ihren Wert als attributive Sensoren, deren Ergebnisse entsprechend modelliert und mit den inneren Zustandsgrößen der zu überwachenden Objekte in Verbindung gebracht werden müssen. Auch Chemosensoren, die im offenen System Gase wie Methan oder Ammoniak erfassen sind in diesem Sinne als Attributsensoren zu betrachten. Kinematische Attribute liefern aber auch RFID- und GPS-Sensoren. Beschleunigungssensoren können über kinematische Daten hinaus auch Hinweise auf Stressbelastungen geben, etwa beim Tiertransport. Stress-Attribute liefern aber auch Audiosensoren.
- Eher konventionelle Sensoren wie Waagen ermöglichen die Messung von Gewichtsveränderungen bei Tieren, ihre Futter- oder Wasseraufnahme sowie die Erfassung von Ernteerträgen. Diese Messgrößen können nichtsdestoweniger von erheblicher Bedeutung sein.

- Spektrometrische Sensoren erlauben zum Beispiel, den Gehalt an Chlorophyll zu bestimmen, Vegetationsüberwachung, die Feststellung und Abschätzung von Ölverschmutzung, Qualitätskontrolle, Unterstützung bei Sortiervorgängen (Fließband), Bestimmung von Schadstoffen wie z.B. Pestizide, Dioxin, Arzneimittel in der Milch.

## 5 Landwirtschaftliches Potential der Datenbanktechnologie

Für die Erfassung und Auswertung von Sensordaten stehen heute Algorithmen zur Verfügung, die im Bereich der militärischen Überwachung ihren Ursprung haben. Zur Entscheidungsunterstützung in landwirtschaftlichen Anwendungen werden jedoch neben Sensordaten weitere Informationen oder Kontextdaten benötigt. Diese werden teilweise in umfassenden Datenbanken zur Verfügung gestellt. Eine Kombination der Daten verschiedener Datenbanken scheitert in der Regel an den unterschiedlichen Datenformaten bzw. nicht vorhandener geeigneter Softwaretools. Das Vorliegen von Daten bedeutet jedoch nicht zwangsläufig die Möglichkeit eines Zugriffs auf alle Daten. Ursachen hierfür sind z.B.:

- Datenschutz
- ungeeignetes Datenformat
- Schutz von Know-how-Vorteilen
- vorhandene Mängel sollen nicht publik werden.

Datenbanken stellen nicht nur zur Auswertung von online anfallenden und sonstigen Daten (Kontextinformationen) zur Entscheidungsfindung wie z.B. Optimierung der Düngung, wertvolle Hilfsmittel dar, sondern sie können ebenfalls zur Verfolgung unterschiedlicher Parameter über einen längeren Zeitraum dienen. Zusammenhänge können häufig nur durch die Analyse und Kombination unterschiedlicher Parameter über einen längeren Zeitraum hinreichend genau erfasst werden. Aus diesen Ergebnissen resultieren möglicherweise veränderte Anbau- oder Zucht-Bedingungen, welche der Züchter zur Optimierung seiner Prozesse verwenden kann. Liegt ausreichend Datenmaterial vor, kann bei Auftreten von Krankheiten oder anderen Schäden das vorhandene Datenmaterial Hinweise auf die Ursache bzw. Anomalien liefern. Zu diesem Zweck müssen jedoch geeignete Auswertetools / Algorithmen zur Verfügung stehen. In diesem Bereich gibt es jedoch noch erheblichen Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

Sensordaten werden heute überwiegend in Datenbanken gespeichert, ausgewertet und mit Geoinformationssystemen verarbeitet. Zur Erfassung, Bearbeitung, Organisation, Analyse räumlicher Daten werden vermehrt Geoinformationssysteme eingesetzt. Durch den Einsatz von GPS-Receiver in Kombination mit z.B. Smartphonegeräten und Softwaretools können bestimmte Tätigkeiten mit Landmaschinen dokumentiert und mit weiteren Softwaretools ausgewertet werden.

Umfangreiche Datenbanken bzgl. Anbauflächen, Boden- und Hydrogeologische Karten stehen in digitaler Form zur Verfügung.

- Anbauflächen
  - ZIT - Zentrale InVeKoS-Datenbank (InVeKoS - Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem)
  - CORINE - Coordination of Information on the Environment
- Boden und Hydrogeologische Karten
  - HWSD - Harmonized World Soil Database
  - DSMW - Digital Soil Map of the World
  - BGR - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe

Landwirte können in Regel nur in einem begrenzten Umfang diese Daten bzw. Informationen sinnvoll zur Optimierung ihrer Prozesse verwerten. Erst durch die Kombination mit Sensordaten oder sonstiger Information des Landwirtes können konkrete Entscheidungshilfen zur Verfügung gestellt werden. Entsprechende Softwaretools werden in einem begrenzten Umfang angeboten. Hierbei werden häufig nur eine begrenzte Anzahl Parameter berücksichtigt.

## **6 Landwirtschaftlich relevante Sensorplattformen**

In Abhängigkeit der sensoruell zu erfassenden Parameter werden heterogene Sensortypen auf unterschiedlichen Plattformen installiert.

### **6.1 Unmanned aerial vehicle (UAV)**

Der Einsatz von Kameras, Spektrometern, Radar etc. in UAV's ermöglicht eine flächendeckende Untersuchung von landwirtschaftlichen Flächen aus der Luft. Einsatzmöglichkeiten von UAV's in der Landwirtschaft sind:

- Bestandesführung (teilflächenbezogene Biomassenbestimmung)
- Schadensermittlung und -quantifizierung
- Erfassung Unkrautbesatz
- Wild- und Mäuseschäden

UAV's bieten die Möglichkeit, innerhalb kurzer Zeit größere Flächen zu untersuchen und Hinweise über Schäden bzw. relevante Veränderungen im Pflanzenbewuchs aufzudecken. Die Lösung der zurzeit dem Einsatz entgegenstehenden luftfahrtrechtlichen Probleme ist in absehbarer Zeit zu erwarten.

### **6.2 Landwirtschaftliche Maschinen**

Landwirtschaftliche Maschinen werden zunehmend mit Sensoren ausgerüstet. So erfolgt beispielsweise die Messung des Chlorophyllgehaltes in Pflanzen (Hinweis auf Nährstoffmangel) im vorderen Bereich der Landmaschine. Die Daten werden sofort ausgewertet und die Menge an aufzubringendem Düngemittel wird errechnet und automatisch an den sich im hinteren Bereich der Maschine befindlichen Düngestreuer weitergeleitet.

Mittels GPS können unterschiedliche Sensordaten eindeutig bestimmten Flächen zugeordnet, dokumentiert und zu einem späteren Zeitpunkt ausgewertet werden. So können beispielsweise die Ergebnisse der Bodenanalyse, Nährstoffgehalt, Menge an aufgebrauchten Pflanzenschutzmitteln den Ernteergebnissen zugeordnet werden. Liegen Daten über einen längeren Zeitraum vor, können möglicherweise weitere bisher nicht bekannte Zusammenhänge ermittelt werden. Die für die Auswertung dieser Daten erforderlichen Algorithmen liegen nur im begrenzten Umfang vor. Wie sich zeigt, ist der bisherige Nutzen vor allem aufgrund fehlender Daten und ihrer adäquaten Fusion geringer als erwartet.

## **7 Aspekte der Sensordatenfusion**

### **7.1 Fusionsarchitekturen**

Die Daten einzelner Sensoren werden dezentral bzw. zentral erfasst und ausgewertet. Die Übertragung der Daten an dezentrale bzw. zentrale Auswerteeinheit erfolgt, abhängig von den Umgebungsparametern, über Kabel bzw. Funk. Für eine optimale Datenfusion ist es jedoch erforderlich, dass alle zu fusionierenden Daten in geeigneten Formaten, zentral und zeitnah vorliegen. Durch den Einsatz unterschiedlicher Sensoren bzw. Messverfahren und das Vorliegen von Kontextinformationen in verschiedenen externen Datenbanken, auf welche keine Zugriffsrechte bzw.-möglichkeiten bestehen, sind heute häufig die Voraussetzungen für eine umfassende Datenfusion nicht sichergestellt.

Für den Entscheidungsträger ist es jedoch wichtig, dass die erforderlichen Ergebnisse vor Ort in einer leicht handhabbaren Form zur Verfügung stehen und der Endnutzer die Möglichkeit hat, Korrekturen vorzunehmen. Die Ergebnisse sollen bevorzugt auf mobilen Geräten (Smartphone, Tablet, ...) oder PCs zur Verfügung gestellt werden.

### **7.2 Spezifische Aspekte der landwirtschaftlichen Nutzung**

Die Auswertung *einzelner* Sensordaten liefern wichtige Hinweise für die Tier- und Pflanzenzucht, können jedoch bei nicht ausreichenden Daten bzw. Informationen zu Fehlinterpretationen führen. Für die Entscheidungsfindung ist es jedoch in bestimmten Situationen erforderlich, dass die Daten der unterschiedlichen Sensoren und Kontextinformationen miteinander fusioniert werden. Dies erfolgt heute nur in relativ wenigen Fällen. Eine sinnvolle Datenfusion kommt ebenfalls nur zustande, wenn die Experten aus unterschiedlichen Fachbereichen an der Auswertung und Entwicklung der Algorithmen [Ko14] und Softwaretools mitwirken.

In Krisensituationen wie z.B. bei Auftreten von Krankheiten ist es erforderlich, dass nationale und ggf. internationale Experten an der Entscheidungsfindung beteiligt sind. Die Prozesse und Abläufe und erforderlichen Daten incl. Auswertungen müssen vor dem Eintreffen einer Krise soweit wie möglich festgelegt sein.

In einzelnen Bereichen der Agrar – und Ernährungswirtschaft werden vereinzelt Daten zur Optimierung von Prozessen fusioniert. Im Bereich der Bundeswehr wird das Thema

Datenfusion [Ko14] und Anomalieerkennung [SK12] seit vielen Jahren erfolgreich eingesetzt.

Die in diesen Bereichen entwickelten Verfahren könnten ebenfalls nach entsprechender Anpassung in Agrar- und Ernährungsbereich übertragen werden. Für den Anwender ist es wichtig, dass ihm ein einfach zu bedienendes Tool zur Verfügung gestellt wird, bei dem er selbst eingreifen kann. Durch den verstärkten Einsatz des bisher vorhandenen Know-hows in den unterschiedlichen Bereichen auf dem Gebiet der Datenfusion könnten den Anwendern weitere Entscheidungsunterstützungstools zur Verfügung gestellt werden. Dies gilt sowohl für den Landwirt als auch für Personen, die z.B. im Katastrophenschutz tätig sind.

Voraussetzungen für Datenfusion:

1. Landwirtschaftliche Geräte bzw. Anlagen verstärkt mit geeigneten Sensoren ausrüsten bzw. geeignete Sensoren entwickeln
2. Speicherung relevanter Daten (z.B. Maschinen, verwendete Produkte incl. Spezifikationen, Analysendaten) in Datenbanken
3. Ausreichend Kontextinformationen zur Verfügung stellen
4. Einheitliches Datenformat für die Datenausgabe (national und international)
5. Interdisziplinäre Zusammenarbeit verstärken
6. Verstärkter Einsatz von GPS-Systemen incl. Dokumentation
7. Interaktiver Datenaustausch bzw. –zusammenführung zwischen internen und externen Systemen automatisieren bzw. verbessern
8. Nationaler und internationaler Datenaustausch verbessern bzw. regeln

Auf Grundlage dieser Daten und Informationen werden u.a. die Voraussetzungen geschaffen für:

- Anomalieerkennung
- Verknüpfung relevanter Daten und Informationen (Datenfusion)
- Entwicklung anwenderfreundlicher Softwaretools entwickeln, mit der Möglichkeit Korrekturen im System durch den Benutzer vorzunehmen.

Fazit: Nutzen wir die vorhandenen Möglichkeiten der modernen Sensortechnologie in Verbindung mit den mathematischen Verfahren der Sensordaten- und Informationsfusion, um aus bereits bestehenden Datenbeständen und zeitnah gewonnenen neuen Daten wertvolle Erkenntnisse für die Tier- und Pflanzenzucht zugewinnen und somit die globale Ernährung der Bevölkerung langfristig sicherzustellen.

## Literaturverzeichnis

- [Ko14] Koch, W.: Tracking and Sensor Data Fusion: Methodological Framework and Selected Applications (Mathematical Engineering) Springer-Verlag 2014, 253 p.
- [SK12] Schikora, M.; Koch, W. et al., Image classification approach to analyze the suppression of plant immunity by the human pathogen Salmonella Typhimurium. BMC Journal of Bioinformatics 13 (2012), 1, 171 ff.
- [SK10] Schikora, M.; Koch, W. et al., Multi-target multi-sensor localization and tracking using passive antenna and optical sensors on UAVs, SPIE Security+Defence, Toulouse, France, September 2010.
- [WK09] Wieneke, M.; Koch, W.; Combined Person Tracking and classification in a network of chemical sensors, International Journal of Critical Infrastructure Protection vol. 2, (2009), 51-67.
- [SK12] Schüller, G.; Koch, W. et al., Detecting Anomalies in Sensor Signals Using Database Technology, Chapter 5 in L. Mihaylova et al. (Editors): "Advances in Intelligent Signal Processing and Data Mining: Theory and Applications", Springer-Verlag, 2012.
- [Br06] Brandl, MT.: Fitness of Human Enteric Pathogens on Plants and Implications for Food Safety Annual Review of Phytopathology 44: 367–392, 2006
- [JWG05] Jablasone, J., Warriner K, Griffiths M: Interactions of Escherichia coli O157:H7, Salmonella typhimurium and Listeria monocytogenes plants cultivated in a gnotobiotic system. International Journal of Food Microbiology 99: 7–18, 2005
- [Pe09] Pecinka A, Rosa M, Schikora A, Berlinger M, Hirt H, Luschnig C, Mittelsten Scheid O.: Transgenerational stress memory is not a general response in Arabidopsis. PLoS One. 2009;4(4):e5202. doi: 10.1371/journal.pone.0005202. Epub 2009 Apr 21.
- [Sc12] Schikora, M.; Neupane, B.; Madhogaria, S., Koch, W.; Cremers, D.; Hirt, H.; Kogel, K.-H.; Schikora, A.; An image classification approach to analyze the suppression of plant immunity by the human pathogen Salmonella Ty-phimurium. BMC Bioinformatics, vol. 13:171, July 2012
- [Za13] Zarkani, A.A.; Stein, E.; Röhrich, C.R.; Schikora, M.; Evgenieva-Hackenberg, E.; De-genkolb, T.; Vilcinskas, A.; Klug, G.; Kogel, K.-H.; Schikora, A.; Homoserine Lactones Influence the Reaction of Plants to Rhizobia. International Journal of Molecular Sciences, vol. 14, 17122-17146, 2013