

**Sensoren.Modelle.Erntetechnik**  
**Kolloquium zur Verabschiedung von**  
**Dr. Ehlert**

**27. Mai 2014**  
**Potsdam**

---

Bornimer Agrartechnische Berichte  
Heft 85

Potsdam-Bornim 2014

**Herausgeber:**

Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V.  
Max-Eyth-Allee 100  
14469 Potsdam-Bornim

☎ (0331)-5699-0  
Fax.: (0331)-5699-849  
E-mail: [atb@atb-potsdam.de](mailto:atb@atb-potsdam.de)  
Internet: <http://www.atb-potsdam.de>

November 2014

**Typografische Gestaltung:**

Franziska Gleiniger, Jana Neitzel

Herausgegeben vom Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB) mit Förderung durch den Bund (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft BMEL), das Land Brandenburg (Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur MWFK).

Für den Inhalt der Beiträge zeichnen die Autoren verantwortlich.

Eine Weiterveröffentlichung von Teilen ist unter Quellenangabe und mit Zustimmung des Leibniz-Instituts für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. möglich.

ISSN 0947-7314

© Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V., 2014

## Inhaltsverzeichnis

<b>Programm</b>	3
<b>Precision Farming – gestern, heute, morgen</b> Hermann Auernhammer	5
<b>Einzug der IT in die Landwirtschaft: Auswirkungen auf die Landtechnik</b> Josef Horstmann	15
<b>Vegetationserkennung für landwirtschaftliche Anwendungen mithilfe einer Ein-Chip-Kamera</b> Jörn Selbeck, Volker Dworak, Matthias Hoffmann, Karl-Heinz Dammer	27
<b>Sensorgestützte Bodenkartierung – Bodensensoren für die Landwirtschaft</b> Robin Gebbers, Michael Schirrmann, Eckart Kramer	39
<b>Sensorgesteuerte Applikation von Pflanzenschutzmitteln</b> Karl-Heinz Dammer	51
<b>Robotik in der Landwirtschaft – Das Projekt MARS</b> Henning Jürgen Meyer	59
<b>Präzisions-Obstbau: Berührungslose Sensoren und drahtlose Datenübertragung</b> Manuela Zude	67
<b>Neue Erntemaschine für Kamillenblüten</b> Thomas Hoffmann, Katharina Beier, Detlef Ehlert	71
<b>Erzeugung von Hackschnitzeln mit kostengünstiger Technologie</b> Ralf Pecenka, Hannes Lenz, Detlef Ehlert	81
<b>Vier Jahrzehnte für die Agrartechnik</b> <b>Laudatio für Dr.-Ing. Detlef Ehlert zum Dienstende im ATB</b> Jürgen Hahn	89
<b>Schlusswort</b> Detlef Ehlert	93



## Programm

### „Sensoren.Modelle.Erntetechnik. Forschen für einen ressourceneffizienten Pflanzenbau“

#### Kolloquium anlässlich der Verabschiedung von Dr. Ehlert in den Ruhestand 27. Mai 2014, 9:30 Uhr, ATB

Moderation:  
Prof. Dr.-Ing. Eckart Kramer,  
Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswalde, HNEE

9:30 **Begrüßung**  
Prof. Dr. Reiner Brunsch, ATB

#### **Precision Agriculture – ressourceneffiziente Landwirtschaft**

9:40 **Precision Agriculture – gestern, heute, morgen**  
Prof. em. Dr. Dr. habil. Hermann Auernhammer, ehem. TUM

10:10 **PA – aus Sicht der Industrie**  
Dr. Eberhard Nacke, Fa. CLAAS, Harsewinkel

10:30 **Einzug der IT in die Landwirtschaft – Auswirkungen auf die Landtechnik**  
Dr. Josef Horstmann, Fa. KRONE, Spelle

11:20 **Sensorsysteme – Aktuelle Ansätze**  
Dr.-Ing. Jörn Selbeck und Dr.-Ing. Volker Dworak, ATB

11:40 **Sensorgestützte Bodenkartierung**  
Dr. Robin Gebbers und Dr. Michael Schirrmann, ATB  
Prof. Dr.-Ing. Eckart Kramer, HNEE

12:00 **Sensorgesteuerte Applikation von Pflanzenschutzmitteln**  
PD Dr. habil. Karl-Heinz Dammer, ATB

12:20 **Robotik in der Landwirtschaft – Das Projekt Mars**  
Prof. Dr.-Ing. Henning J. Meyer, TU Berlin

12:40 **Precision Fruticulture**  
Prof. Dr. Manuela Zude und Dr. Robin Gebbers, ATB

#### **Erntetechnik**

14:00 **Neue Erntemaschine für Kamillenblüten**  
Dr.-Ing. Thomas Hoffmann und Dr.-Ing. Detlef Ehlert, ATB

14:20 **Erzeugung von Holzhackschnitzeln mit kostengünstiger Technologie**  
Dr.-Ing. Ralf Pecenka und Dr.-Ing. Detlef Ehlert, ATB

14:40 **Ein kurzer Blick in den Rückspiegel**  
Prof. em. Dr.-Ing. Jürgen Hahn, ehem. HU Berlin

15:10 **Dank und Schlusswort**  
Dr.-Ing. Detlef Ehlert, ATB



## Precision Farming – gestern, heute, morgen

Hermann Auernhammer

*Ehem. Technische Universität München, Fachgebiet Technik im Pflanzenbau, Am Staudengarten 2, 85354 Freising-Weißenstephan*

*E-Mail: hermann.auernhammer@wzw.tum.de*

Wie jeder andere Berufszweig haben auch Landwirte immer versucht, ihre Arbeit so präzise wie möglich zu erledigen. Gleichzeitig wurden auch immer Wünsche geäußert, die Präzision weiter zu erhöhen, sei es durch verbesserte oder neue Technik, durch mehr oder neue Informationen oder durch andere Hilfsmittel. Bemerkenswert sind in diesem Zusammenhang zwei Veröffentlichungen, die schon sehr früh das als Wunsch/Vision darstellten, was heute allgemein unter „Precision Farming“ oder ins Deutsche übertragen „Präzisionslandwirtschaft“ verstanden wird.

So findet sich im Osnabrücker Intelligenzblatt (MÖSER 1770) folgende Wunschvorstellung: *„Da wir bald eine neue Charte von hiesigem Hochstifte erhalten werden: So wäre zu wünschen, daß auch eine dergleichen, worauf nach gehöriger Vergrößerung überall die Beschaffenheit des Bodens angezeigt wäre, verfertigt würde; es könnte solches bloß durch Farben geschehen und zugleich in den Farben wiederum der Unterschied angebracht werden, daß z. E. der beste Weidegrund durch Dunkelgrün, der mittlere durch etwas helleres und der schlechteste durch noch helleres angezeigt würde. In der Erfassung; wodurch ... , würde durch eine Schattierung von Rot, Gelb, Blau oder Schwarz angezeigt, ob Mergel-, Sand- oder Moorgrund anzutreffen wäre; ... Man könnte auch auf jeden Fleck durch Nummern die Tiefe einer Lage oder deren Abstand von einer gewissen angenommenen Linie, wie auf Seekarten, bemerken. ... Außer dieser Charte müßten wir noch eine andere haben, worauf die ganze Fläche, so wie sie sich in 6, 7 oder 8 Schuh tief unter der Erde befände verzeichnet würde, so daß, wenn man erstere Charte auf die andere legte, man sogleich sehen könnte, wie es in vorgedachter Tiefe beschaffen wäre. Man würde solches durch Erdbohrer bald untersuchen und geometrisch auftragen können“.*

Und eines Tages so versprach Liebig (BROCK 1999) etwa um 1850: *„Werde der Landwirt in der Lage sein, bei der Ernte den genauen Ertrag seiner Felder festzustellen, wie der Buchhalter einer gut geführten Fabrik; durch einfache Kalkulation könne er dann Substanzen, die er jedem Feld ersetzen muß, exakt bestimmen, auch mengenmäßig, um die Fruchtbarkeit wiederherzustellen (85).“*

Zusammengefasst wird dabei mehr lokale (differenzierte) Information gewünscht und es wird erwartet, dass sich damit rein rechnerisch eine „nährstoffneutrale Pflanzenproduktion“ realisieren ließe.

## Precision Farming „gestern“

Aus mehr technischer Sicht zeigte sich die Präzision im Pflanzenbau wunderschön in der Sätechnik der 30er Jahre des letzten Jahrhunderts, denn bei der Saat wird der Grundstein für die zu erzielende Ernte gelegt. Exakte Spurführung über differenzierte technische Lösungen am Vorderwagen sollten es ermöglichen, tatsächlich Spur in Spur zu legen. Dem Gespannführer oblag dabei die Realisierung der exakten Zuglinie, der Lenkperson die Spurhaltung und der Überwachungsperson die Kontrolle der exakten Saatgutablage – drei Personen, um beste, gleichmäßige Säqualität oder anders ausgedrückt „höchste Präzision“ zu erreichen.

Folgerichtig wurden dann im Zuckerrübenbau die bei der Saat gelegten Spuren mit Hackmaschinen identischer Spurweite genutzt, um schon vor dem Auflaufen der Rüben mit einer „Blindhacke“ das Unkraut zwischen den Reihen zu beseitigen und Bodenverkrustungen zu lockern. Wiederum war höchste Präzision beim Lenken gefordert, denn Lenkfehler führten zum Totalverlust aller Rübenreihen innerhalb der Hackmaschine, waren von Jedermann zu sehen und mussten durch Handarbeit und Nachpflanzung beseitigt werden.

Allgemein führte der Übergang zum Traktor mit Anhänge- und Anbaugeräten und i.d.R. Einmannarbeit zu einer „reduzierten Präzision“, wenngleich in Sonderlösungen wie der „SCHMOTZER Kombi“ mit mittig und beidseitig angeordneten Lenkmöglichkeiten oder beim „LANZ Alldog“ mit zusätzlich integrierter Knicklenkung der Gespannstufe vergleichbare Genauigkeiten erreichbar waren.

Allerdings eröffneten nun bei der Saat angelegte Fahrgassen – seit Mitte der 80er Jahre gute fachliche Praxis - erstmals ein sicheres Anschlussfahren bei der Pflege durch Düngerstreuer und Feldspritzen mit einem Vielfachen der Sämaschinenarbeitsbreite in Systemen mit 12, 15, 18 oder 24 m Abstand. Praxismessungen verdeutlichten jedoch, dass dabei generell durch Hangneigungen und auch aus psychologischen Gründen (Fahrfehler werden sichtbar) Überlappungen bei den Applikationsgeräten mit etwa 3 % auftraten und dadurch die sog. „Streifenkrankheiten“ durch Überdüngung und Doppelapplikationsmengen verursacht wurden.

Zugleich wurde durch den ersten Einsatz der Elektronik die Agrartechnik „intelligent“. Vielfältige Entwicklungen (**Tabelle 1**) prägten die drei letzten Jahrzehnte des vorigen Jahrhunderts. Besonders hervorzuheben sind der erste elektronische Spritzcomputer in Verbindung mit dem Radsensor im nicht angetriebenen Vorderrad für eine schlupffreie, absolut flächenäquivalente Ausbringmengenregelung und der erste Verlustmonitor für Mähdrescher zur laufenden visuellen Ausdrusch- und Reinigungskontrolle in der Kabine.

Es folgte der universelle Agrarcomputer für die Überwachung, Steuerung und Regelung von Applikationsgeräten und der Verlustkontrolle im Mähdrescher. Neben der vereinfachten Bedienung mit einheitlicher Nutzeroberfläche ermöglichte nun die  $\pm$ -Schaltung erstmals eine teilflächenspezifische Dosiermengensteuerung in Verbindung mit den

mittlerweile üblichen Fahrgassen. Zugleich wurde die Datenübertragung per Chipkarte in den Hof-PC realisiert und damit eine zuverlässige und einfache automatisierte Prozessdatenerfassung und Dokumentation geschaffen. Dass diese Technik in sehr großen Stückzahlen Eingang in die Landwirtschaft gefunden hat und auch heute noch genutzt wird, bezeugt deren großartige Leistung und Betriebssicherheit.

Neben vielen anderen wichtigen Elektronikentwicklungen sind herausragend die erste vollständige Verfügbarkeit des GPS-Navstar-Systems und die Vollendung der LBS-Norm für eine herstellerunabhängige elektronische Kommunikation zwischen Traktor, Gerät und Betriebsführung zu nennen. Sie legten und garantierten den Grundstein für alle heute anzutreffenden Systeme des Precision Farming.

**Tabelle 1:** Bedeutende Elektronikentwicklungen für das Precision Farming gestern (Entwicklungsmeilensteine sind dunkel unterlegt)

Typ	Jahr	Technik	Entwickler
Spezialanwendungen	1978	Elektronischer Spritzcomputer DOSITRON	HOLDER
	1978	Monitore bei Feldspritzen	MULLER-Elektronik
	1978	Elektronische Hubwerksregelung	BOSCH
	1980	Körnerverlustmonitore am MD	Dickey John
Universelle Agrarelektronik	1983	Mobiler Agrarcomputer mit BUS-Technologie MAC	Biotronic
	1985	Universeller Agrarcomputer UNI-CONTROL	MULLER-Elektronik
	1986	Elektronische Schlepper-Monitore	LH-Elektronik
	1987	Chipkarte zur Datenübertragung	MULLER-Elektronik
	1987	Antriebsstrangmanagement	FENDT, MF
	1988	Anti-Schlupf-Regelung im Traktor	BOSCH
	1990	GPS und Ertragsmesssensor im Mähdrescher zur lokalen Ertragsermittlung	Uni Kiel, TUM- Weihenstephan
Teilflächentechnik	1993	LBS-Prototypen für Verteilarbeiten aus dem Forschungs- und Entwicklungsvorhaben	MULLER-Elektronik, Biotronic, LH-Elektronik
	1993	Lokale Ertragsermittlung in Futtererntemaschinen (Feldhäcksler, Rundballenpresse)	TUM- Weihenstephan
	1995	Teilflächenspezifische Düngung	FAL, TUM- Weihenstephan, ATB
	1995	GPS-NAVSTAR vollständig verfügbar (FOC 17.066.1995)	DOD (USA)
	1997	Zweisorten-Düngerstreuer	
	1997	Sensorgesteuerte N-Düngung	Uni Kiel, Norsk-Hydro + Amazone
	1997	Elektronisch gesteuerte stufenlose Getriebe	FEND T, CLAAS: STEYR; ZF
	1998	LBS ist Norm	LAV (DIN)
	1999	Autonomes Fahrzeugführungssystem AgroNav	Geo Tec

## Precision Farming „heute“

Precision Farming „heute“ ist Stand der Technik, wenngleich die aktuelle Nutzung noch mit z.T. erheblichen Mängeln, offenen Fragen und Herausforderungen belastet ist.

Allen voran ist die Erntetechnik zu nennen. Im Beispiel des Mähdreschers (**Tabelle 2**) erfassen Ertragsmesssensoren im Reinkornelevator zusammen mit Feuchtesensoren und in Verbindung mit GNSS sowie der realen Schnittbreite hochgenau die Ertragsituation im Feld. Kartierungssoftware als Systembestandteil übernimmt die Dokumentation im PC und die Visualisierung entsprechend der Filterdefinitionen des Anwenders. Allerdings verfolgen die Hersteller ihre eigenständigen Lösungen. Dadurch wird die Nutzung der gewonnenen Daten beim Einsatz von Maschinen unterschiedlicher Hersteller auf dem gleichen Feld oder von Jahr zu Jahr sehr erschwert. Weiterführende Ertragsanalysen im Hinblick auf längerfristige lokale Ertragsunterschiede oder N-Bilanzierungen werden nahezu unmöglich.

**Tabelle 2:** Precision Farming „heute“, Beispiel „Ertragsmessung im Mähdrescher“

PF	Technik	Kennzeichen	Bewertung
Ertragsmessung (Bsp. MD)	Impuls	Alle Ertragssensoren im Reinkornelevator vor dem Korntank Messgenauigkeit mit etwa $\pm 3\%$ für Ertragskartierung ausreichend mit größeren Messfehlern bei abrupten Durchflussänderungen (Feldanfang, Feldende, Unterbrechung)	<b>Liebig'sche Vision ist Realität geworden</b> Ertragsvariabilität wird dokumentier- und visualisierbar <i>Aber:</i>
	Masse	Proprietäre Konditionierung der Sensordaten in proprietäre Ausgabeformate	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Wenig sinnvolle Visualisierung in fixen Ertragsklassen!</i></li> <li>• <i>Keine handlungsbezogene Ertragsdifferenzierung!</i></li> </ul>
	Lichtschanke	Kartierungssoftware ist Systembestandteil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Keine standardisierte Datenaufbereitung!</i></li> <li>• <i>Fehlende N-Bilanzierung aus Zuführung : Entzug!</i></li> </ul>

Aus dem Gesamtbereich der organischen und mineralischen Düngung hat Precision Farming nahezu ausnahmslos die N-Düngung als zentrale ertragsbildende Maßnahme erfasst (**Tabelle 3**).

**Tabelle 3:** Precision Farming „heute“, Beispiel „N-Düngung“

PF	Technik	Kennzeichen	Bewertung
Applikationstechnik N-Düngung	Mech. Widerstand	Bestandsdichte auf kleiner Messfläche	<b>Mehr als 1.000 NIR-Systeme im Einsatz</b> (bei min. 400 ha/a > 400.000 ha Nutzfläche > 1 Mio. Düngefläche) Einsatzstrategie überwiegend „Aufdüngung mit präzise arbeitenden Wurfstreuern“ <i>Aber:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Integration lokaler Bodendaten und historischer Wachstumsabhängigkeiten?</i></li> <li>• <i>ISOBUS-Anbindung ?</i></li> <li>• <i>Umweltleistung (Belohnung, Strafe)?</i></li> </ul>
	NIR	Bestandsoberfläche (indirekt Bestandsdichte) auf größerer Messfläche	
	Laserfluoreszenz	Pflanzenzahl und Pflanzenzustand (mit Bestandshöhe → Biomasse) <i>Investitionsbedarf von der Praxis nicht akzeptiert!</i>	

Mit Hilfe von drei unterschiedlichen Sensorsystemen wird versucht, die aktuelle lokale Bestandssituation zu erfassen und über autarke elektronische Regeleinheiten eine punktgenaue Applikation zu gewährleisten. NIR-Sensoren in sog. Online-Systemen haben sich als Standardlösung für größere Betriebe oder im überbetrieblichen Maschineneinsatz (ÜMV) herausgebildet. Neben der üblichen „Aufdüngungsstrategie“ wird zunehmend die Integration lokaler Informationen in Form des „Map-Matching“ und der „Sensor Fusion“ realisiert, wenngleich gesellschaftlich gewollte Umweltleistungen/Umweltsünden politisch (noch) nicht die entsprechende Berücksichtigung finden.

Demgegenüber ist chemischer Pflanzenschutz gleichzusetzen mit elektronischer Regelung für eine hochpräzise Ausbringmengen dosierung mit Teilbreitenschaltung zur automatischen Anpassung an gegebene Feldgeometrien (**Tabelle 4**).

**Tabelle 4:** Precision Farming „heute“, Beispiel „Chemischer Pflanzenschutz“

PF	Technik	Kennzeichen	Bewertung
Applikationstechnik Pflanzenschutz	angebaut	Elektronik ist Grundbestandteil der Pflanzenschutztechnik mit Ausbringmengenregelung, Teilbreitenschaltung, Restmengenmanagement Trend zu angehängten (mit Nachlaufsteuerung) und selbstfahrenden Feldspritzen Bedienung über ISOBUS UT	<b>Höchste Präzision bei der Applikation</b> <i>Aber:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>(Fast) Keine Integration von echtzeitbezogenen Bestandsinformationen!</i></li> <li>• <i>Weiterhin alleinige „Flächenapplikation“!</i></li> <li>• <i>Pflanzenschutz ist (noch) Bekämpfung und nicht Regulierung (z.B. Unkraut!)!</i></li> </ul> <b>→ Die Zeitbombe tickt!</b>
	gezogen		
	selbstfahrend		

Doch gerade in diesem Anwendungsfeld fehlen lokale Informationen und geeignete Sensoren, um aus der heute noch üblichen „Bekämpfung“ hin zu einer „Regulierung“ zu gelangen.

Ähnlich der sensorgestützten N-Düngung mit Umsetzung bekannter und vertrauter Maßnahmen erfahren die Spurführungssysteme eine nahezu explosivartige Nutzung in der Landtechnik (**Tabelle 5**).

**Tabelle 5:** Precision Farming „heute“, Beispiel „Spurführungssysteme“

PF	Technik	Kennzeichen	Bewertung
Spurführungssysteme	Leitlinienabastung	Autarke Systeme in der selbstfahrenden Erntetechnik	<p><b>Präzision und Aufwandreduzierung</b></p> <p>Leistungsoptimierung durch geregelte Arbeitsbreitenanpassung</p> <p>Witterungsunabhängigkeit</p> <p>Komfort für die Bedienperson</p> <p><i>Aber:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Auf die selbstfahrende Einheiten (Traktor oder Erntemaschine)! beschränkt</i></li> <li>• <i>ISOBUS-Integration?</i></li> <li>• <i>TIM-Integration?</i></li> </ul>
	GNSS	Satellitengestützte Systeme in drei Anwendungsformen mit unterschiedlicher Verbesserung über Korrekturdaten	

Nach Wunsch und/oder betrieblicher Anforderung wird dadurch ein zuvor nicht gekannter Komfort bei absoluter Präzision erreicht, welcher zudem in kürzester Zeit den Break-Even-Point erreicht.

Letztlich aber ist jede Form des Precision Farming Nutzung intelligenter Technik in Verbindung mit Daten und daraus generierten Informationen. Prozessdatenerfassung ist somit zum Einen ein Abfallprodukt der Sensorik und zum Anderen eine Grundforderung im Precision Farming (**Tabelle 6**).

**Tabelle 6:** Precision Farming „heute“, Beispiel „Prozessdatenerfassung“

PF	Technik	Kennzeichen	Bewertung
Prozessdatenerfassung	Universelle Nutzung	Auf Maschinen und Geräte mit Elektronikausrüstung beschränkt	<p><b>Prozess wird transparent</b></p> <p>Zweifelsfreie Dokumentation mit GNSS durch Ort und Zeit</p> <p>Allmähliche ISOBUS Akzeptanz</p> <p><i>Aber:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Erforderliche Sensorik?</i></li> <li>• <i>Personenzuordnung?</i></li> <li>• <i>Non-Elektronik Gerätezuordnung?</i></li> <li>• <i>Datenhoheit?</i></li> <li>• <i>Datendistribution?</i></li> </ul>
	Integrierte Technik	Proprietäre Daten Proprietäre Formate Unterschiedliche Übertragungsmedien Herstellerspezifische Datenhaltung und Datenauswertung	

Doch gerade hier zeigen sich gravierende Mängel und Lücken, welche zukünftig nur über schon verfügbare oder noch zu entwickelnde Standards zu schließen sein werden.

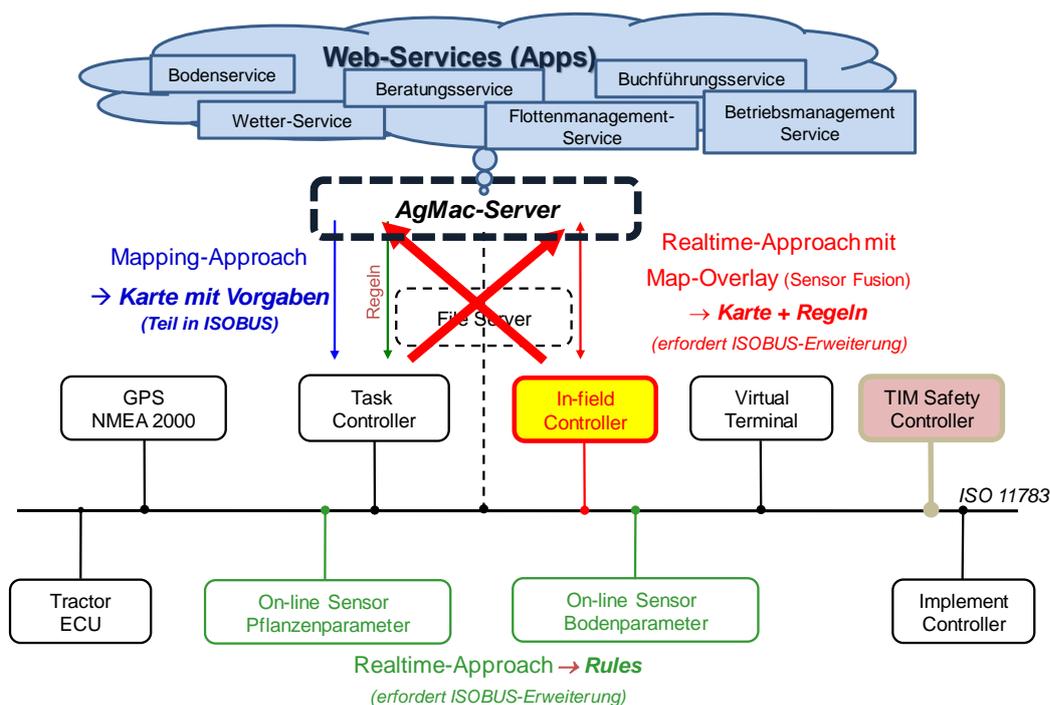
## Precision Farming „morgen“

Abseits der selbstfahrenden Technik wird in der Vielzahl der landwirtschaftlichen Arbeiten der Traktor in Verbindung mit geeigneten Geräten auch in absehbarer Zukunft die Basismechanisierung darstellen. Zur schon 1987 gestarteten Normung der elektronischen Kommunikation zwischen Traktor, Gerät und Betriebsführung über LBS (DIN, AUERNHAMMER 1993) und später ISOBUS (ISO) wird es demzufolge keine Alternative geben. Allerdings muss die Kommunikationsnorm den neuen Anforderungen angepasst und ständig erweitert werden (**Abbildung 1**).

In erster Linie sind die erforderlichen Erweiterungen für die heute schon verfügbare Online-Sensorik zu realisieren, um morgen vor Ort in Verbindung mit verfügbaren Karten und historischen Informationen im „Sensor Fusion“ die pflanzenbaulich optimierte und zugleich umweltfreundlichste Gerätesteuerung zu garantieren.

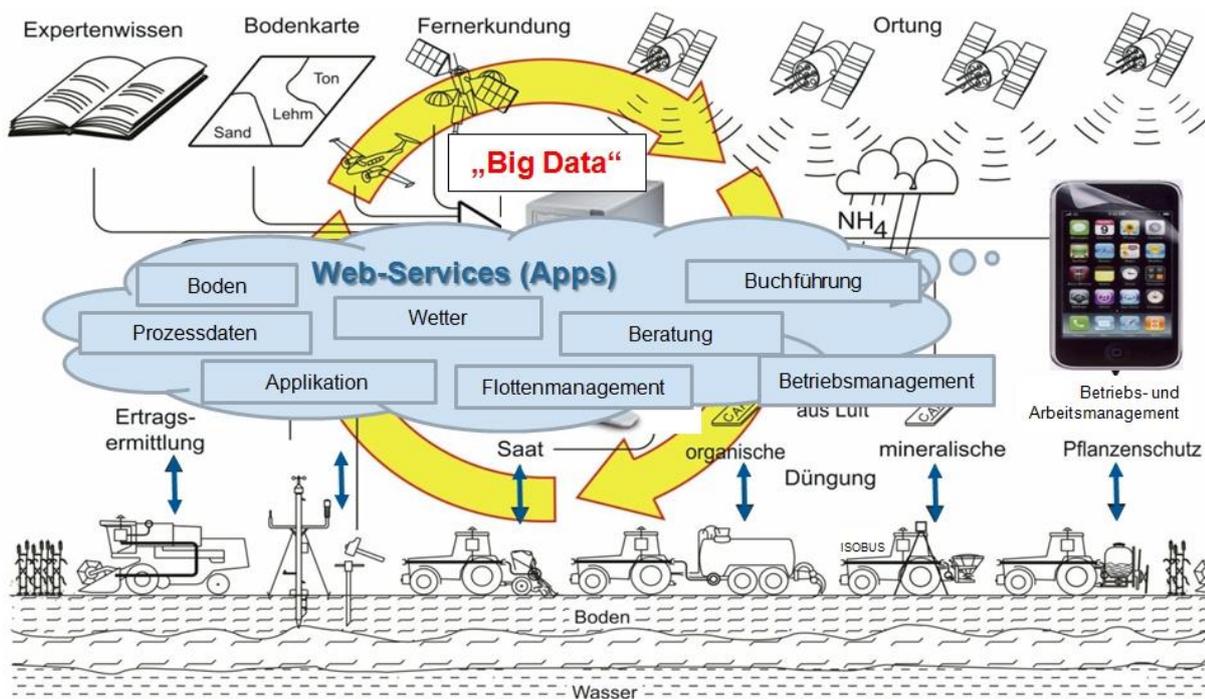
Dann sind die noch proprietären Systeme des „Tractor Implement Managements (TIM)“ über einen „TIM-Safety Controller“ als verbindlicher Standard für alle beteiligten Traktor- und Gerätehersteller zu öffnen, um so den Maschinen/Geräten eine interne Prozessoptimierung zu gewährleisten.

Und schließlich ist der schon vor über 25 Jahren in LBS angedachte File-Server zu einem echten Systemserver (**Agricultural Machinery Server (AgMacServer)**) zu erweitern, welcher in den selbstfahrenden – später auch autonomen – Maschinen und somit auch in den Traktor-Gerätekombinationen das gesamte Daten- und Informationsmanagement mit höchster Sicherheit leisten kann.



**Abbildung 1:** ISOBUS-Erweiterungen für das Precision Farming von morgen

Über diese Erweiterungen im ISOBUS sind dann auch außerbetriebliche Datenspeicherungs- und Informationsquellen über die „Cloud“ nutzbar, wodurch sich Precision Farming von heute zum „Precision Cloud Farming“ von morgen weiterentwickeln wird (**Abbildung 2**).



**Abbildung 2:** Precision Farming mit der Kommunikationstechnologie von morgen

## Schlussfolgerungen

Präzision war immer ein Ziel in der Landwirtschaft. Folgerichtig setzte diese bei der Saat an, denn dabei wird der Grundstein für die angestrebte und erzielbare Ernte gelegt.

Elektronik ist zum festen Bestandteil der Landtechnik in der Innen- und Außenwirtschaft geworden.

Die Jahre 1995 (FOC von GPS) und 1998 (LBS wird Norm) sind die Geburtsstunden des Precision Farming von heute und morgen.

Während die Bedeutung der GNSS weltweit anerkannt wird, verzögerte sich durch die traktordominanten Fullliner (Longliner) die systemübergreifende ISOBUS-Nutzung und ISOBUS-Erweiterung.

Für die hochinnovativen europäischen mittelständischen Landtechnikhersteller wird die Weiterentwicklung des ISOBUS als Seele des Precision Farming von morgen zur Überlebensfrage werden, wobei eine sichere und unabhängige Datenhaltung in der Cloud gewährleistet werden muss.

Zum Precision Farming wird es auch morgen keine Alternative geben, denn Präzision war ist und wird das Ziel jeglichen landwirtschaftlichen Handelns bleiben – gleichgültig ob konventionell oder organisch.

## Literaturverzeichnis

**AUERNHAMMER H. (1993):** Geschichte des LBS. In: Landwirtschaftliches BUS-System LBS (Mobile Agricultural BUS-System-LBS), Münster-Hiltrup, Landwirtschaftsverlag GmbH, Arbeitspapier 196: 190-199

**BROCK H. (1999):** Justus von Liebig. Braunschweig, Vieweg Verlagsgesellschaft, 148

**DIN 9684 TEIL 2-5:** Landmaschinen und Traktoren - Schnittstellen zur Signalübertragung. Berlin

**ISO 11783:** Tractors and machinery for agriculture and forestry - Serial control and communication data network. Geneva

**KÜHNE G., MEYER E. (1930):** Leitfaden der Landmaschinenkunde

**MÖSER J. (1770):** Nützliche Beilage zum Osnabrücker Intelligenzblatt. Osnabrück, 26. Mai 1770



# **Einzug der IT in die Landwirtschaft: Auswirkungen auf die Landtechnik**

Josef Horstmann

*Maschinenfabrik Bernard Krone GmbH, Heinrich-Krone-Straße 10, 48480 Spelle*



## **Einzug der IT in die Landwirtschaft:** **Auswirkungen auf die Landtechnik**

**Dr.-Ing. Josef Horstmann  
Maschinenfabrik Bernard Krone**

 **KRONE** Verabschiedung Dr. Ehlert 27.5.2014

Dr. Josef Horstmann 

## Megatrends in der Landtechnik

- **Steigende Komplexität durch weltweit unterschiedliche Anforderungen**
- **Weitere Industrialisierung der Landwirtschaft**
- **Weiter zunehmende Qualitätsanforderungen**
- **Steigende Leistung**
- **Kürzere Erntefenster, Ernte nur noch zum optimalen Zeitpunkt**
- **Höhere Verfügbarkeit der Maschinen erforderlich**
- **Wissensvernetzung/Datenerfassung/Datenmanagement**
- **Prozessorientiertes Handeln**

## Antworten aus der Landtechnik

- **Programmdiversifizierung**
- **Detailoptimierungen**
- **Programmerweiterungen**
- **Vernetzung der Maschinen**
- **Kommunikation/Digitale Ernteprozesse**
- **„Datenmanagement“**

## Programmdiversifizierung am Beispiel der Rundballenpressen

### Vier Baureihen parallel:

- Krone Bellima: Eco – Version
- Krone Fortima: Medium – Version
- Krone Comprima: Profi - Version
- Krone Ultima: Profi NonStop



Bellima



Fortima



Comprima



Ultima

 Verabschiedung Dr. Ehlert 27.5.2014

Dr. Josef Horstmann 

## Detailentwicklungen am Beispiel der Messerschleifeinrichtung

- Schnellschleifeinrichtung für Ladewagen
- 23 Messer pro Schleifgang
- Schleifdauer: max. 10 Minuten



 Verabschiedung Dr. Ehlert 27.5.2014

Dr. Josef Horstmann 

## Programmerweiterung am Beispiel des Häckselwagens TX



### 2 Typen: 46/56 cbm

- Abgesenkter Laderaum vorne
- Knickdeichsel
- Patentierter Rahmen, weniger Eigengewicht

 Verabschiedung Dr. Ehlert 27.5.2014

Dr. Josef Horstmann

## Komplexe Landtechnik: Beispiele

### Traktor-Geräte-Kombinationen (TGK)



 Verabschiedung Dr. Ehlert 27.5.2014

Dr. Josef Horstmann

## Organisation Competence Center ISOBUS CCI e.V.

### Gründungsmitglieder



### Mitglieder

Oct. 16, 2009 **POTTINGER**

July 28, 2009 **ANEDO**

Sept. 24, 2009 **ECKELMANN**

May 15, 2009 **Jetter**

Aug. 20, 2009 **BERGMANN**

Aug. 1, 2012 **PEETERS** **PECON**

Sept. 1, 2012 **MANTIS ULV®**

Jan. 1, 2013 **RT**

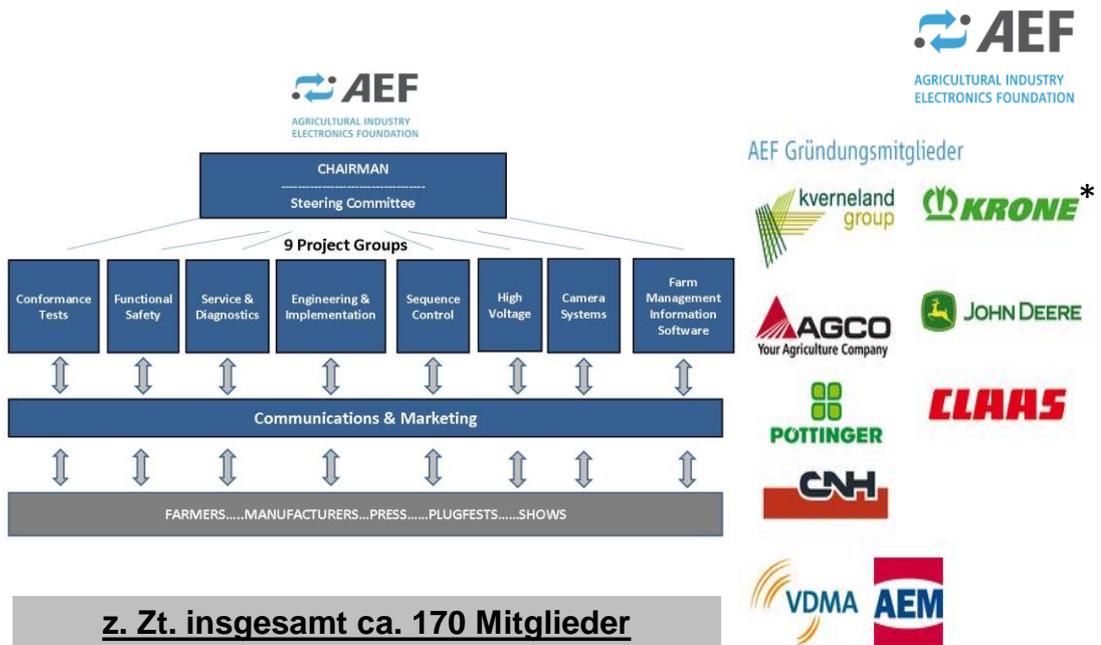
June 1, 2013 **ROPA** Die Extraklasse.

Jan. 1, 2012 **BEDNAR** FARM MACHINERY

**KRONE** Verabschiedung Dr. Ehlert 27.5.2014

Dr. Josef Horstmann

## AEF (Agricultural Industry Electronics Foundation)



\* stellvertretend für alle Gründungsmitglieder des CCI

## TIM (Tractor Implement Management)

### Wie funktioniert TIM?

- Traktor und Anbaugeräte kommunizieren via ISOBUS
- Anbaugerät wird über traktoreigenes Bedienterminal gesteuert
- Anbaugerät sendet seine Wünsche an den Traktor
- Folgende Funktionen werden automatisiert:
  - Lenkung
  - Fahrgeschwindigkeitsregelung
  - Hubwerk
  - Zapfwelle
  - Hydraulik-Ventile und Funktionen
  - (Elektrische Energien)



**KRONE**

Verabschiedung Dr. Ehlert 27.5.2014



Dr. Josef Horstmann

## Bedienung einer Rundballenpresse ohne TIM

Fahrer muss auf den Traktor einwirken  
(bis zu 40 mal pro Stunde):

Traktor anfahren/anhalt  
Heckklappe öffnen/schließen



Informationen werden dem Fahrer bereitgestellt:

- Ballengröße/-Festigkeit
- Bindung startet
- Ballen fertig



Bedienung durch den Fahrer



**KRONE**

Verabschiedung Dr. Ehlert 27.5.2014

Dr. Josef Horstmann

## Bedienung einer Rundballenpresse mit TIM



### Direkte Kommunikation :

- Traktor automatisch anhalten
  - Netz zuführen
  - Heckklappe öffnen / schließen
  - Freigabesignal für Neustart
- 
- (kein autom. Anfahren!)



 Verabschiedung Dr. Ehlert 27.5.2014

Dr. Josef Horstmann 

## Verknüpfung von Lenksystemen, Section Control, RTK und TIM

### Technik kombiniert:

- Traktor mit Lenksystem und Section Control
- RTK – Signal vorhanden
- Schlepper – Gerät mit TIM

### ➤ Ergebnis:

- ❖ automatische positionsabhängige Bedienung
- ❖ Modularer Selbstfahrer



 Verabschiedung Dr. Ehlert 27.5.2014

Dr. Josef Horstmann 

## Digitaler Ernteprozess (Beispiel Maisernte)



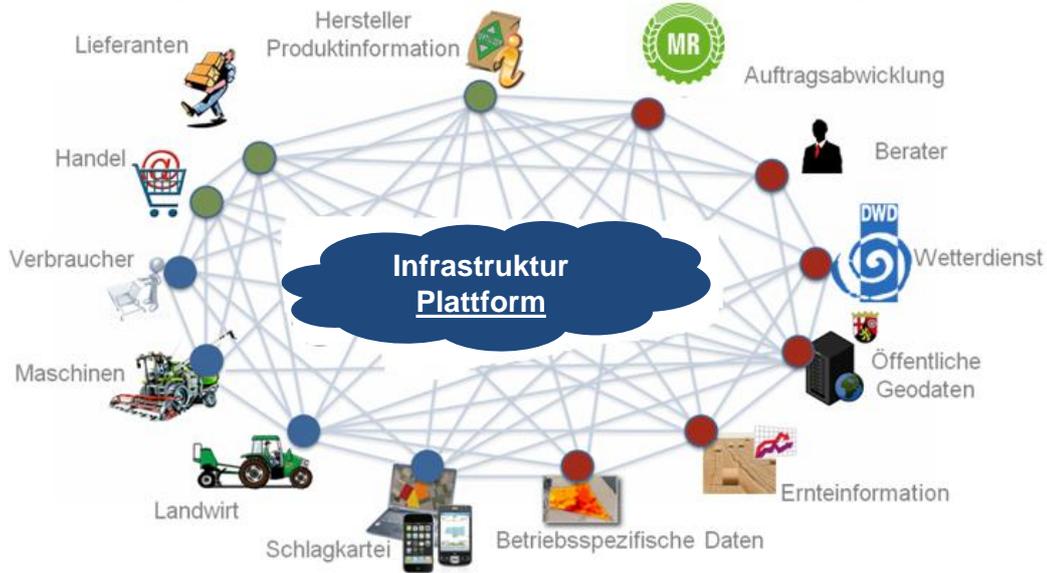
## iPad meets Landtechnik

- ISOBUS – Verknüpfung mit mobilen Endgeräten
- Maschinendaten - Management auf iPad's
- Maschinenbedienung über iPad noch offen



## Datenmanagement in der Landwirtschaft

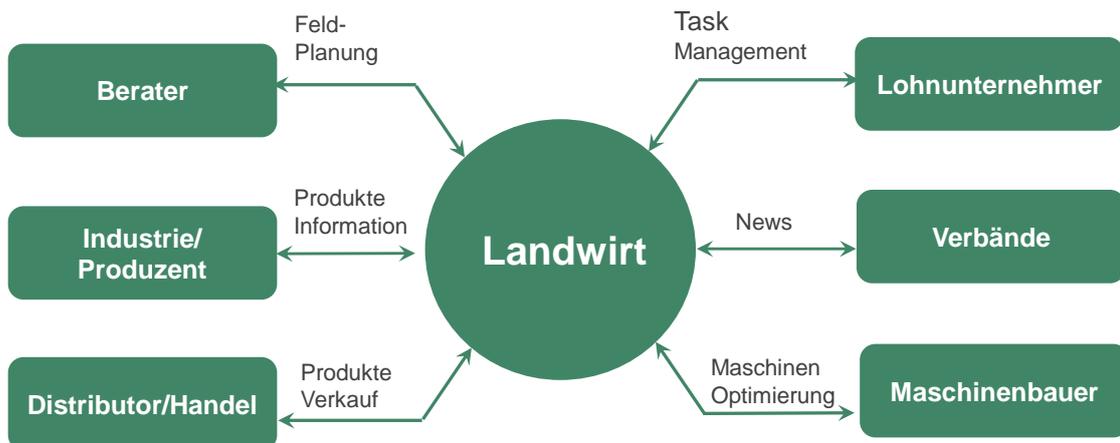
- Herstellerunabhängige Ermittlung von Daten (Zeit, Auftrag, Maschine...)
- Erhebung standortbezogener Daten (Position, Sensordaten, etc...)
- Einbindung aller Prozessteilnehmer (s. Graphik)
- mobiler Zugriff über verschiedenartige handelsübliche Endgeräte



**KRONE** Verabschiedung Dr. Ehlert 27.5.2014

Dr. Josef Horstmann

## Netzwerk für die Landwirtschaft

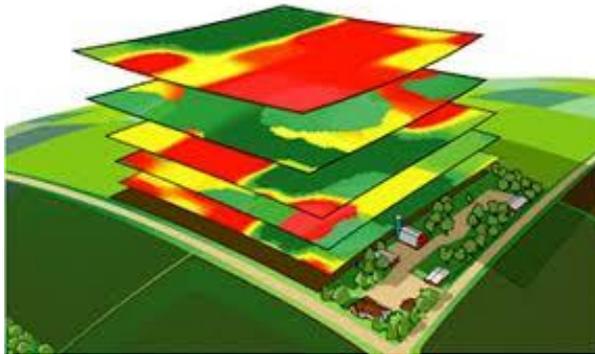


**Das Netzwerk für die richtigen Entscheide zum Erfolg, Tag für Tag!**

**KRONE** Verabschiedung Dr. Ehlert 27.5.2014

Dr. Josef Horstmann

# Datenbasis für Agronomisches Wissen

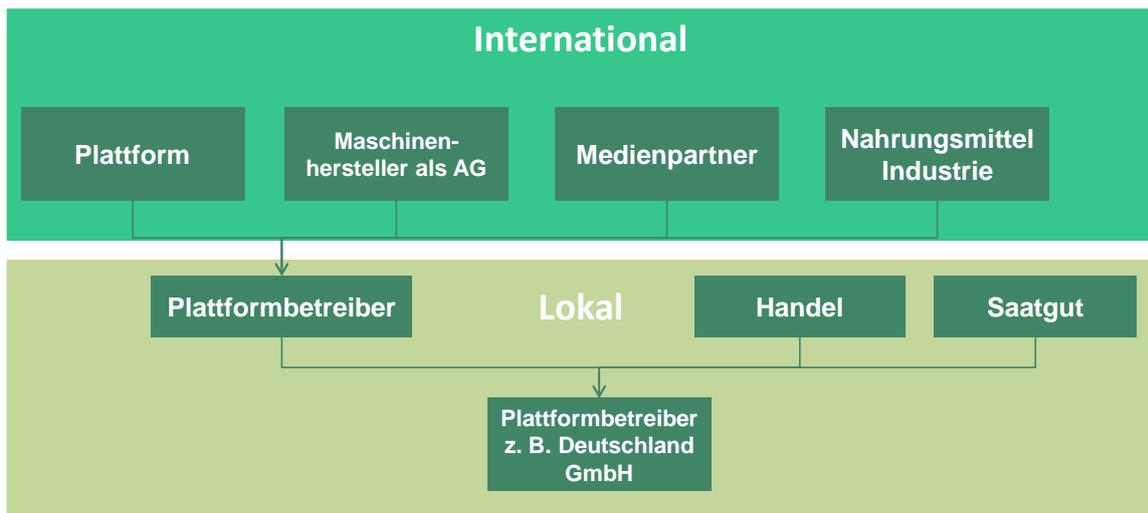


## Beispiele

- Bodendaten  HSR HOCHSCHULE FÜR TECHNIK RAPPERSWIL
- Wasserkarten  HSR HOCHSCHULE FÜR TECHNIK RAPPERSWIL
- Topographie  HSR HOCHSCHULE FÜR TECHNIK RAPPERSWIL
- Wetterdaten  meteoblue weather close to you
- Wachstumsmodelle  isip
- Krankheitsmodelle  isip PROPLANT agroscope
- Orthophotos  ETH senseFly

Die wichtigsten Daten und die besten Partner on board!

# Mögliche Struktur einer Plattform



Möglichkeit internationaler und nationaler Partnerschaften sowie Gleichgewichtung der Industrien

## Fazit

- > Leistung
  - > Effizienz
    - > Komfort
      - > weniger Wartung
        - > Automatikfunktionen
          - > Datenmanagement

für

Alle Selbstfahrer...  
...alle modularen Selbstfahrer  
... und alle landwirtschaftlichen Prozesse

 Verabschiedung Dr. Ehlert 27.5.2014

Dr. Josef Horstmann 

**H. Dr. Ehlert alles erdenklich Gute in  
seinem wohlverdienten Ruhestand!**



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

 Verabschiedung Dr. Ehlert 27.5.2014

Dr. Josef Horstmann 



# Vegetationserkennung für landwirtschaftliche Anwendungen mithilfe einer Ein-Chip-Kamera

Jörn Selbeck, Volker Dworak, Matthias Hoffmann, Karl-Heinz Dammer

Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e. V., Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam  
E-Mail: jselbeck@atb-potsdam.de

**Zusammenfassung:** Durch die Anwendung von Kameras bei der Prozesskontrolle in der Präzisionslandwirtschaft können Dünger, Pestizide, Maschinenzeit und Treibstoff eingespart werden. Trotz der hohen Forschungsaktivitäten auf diesem Gebiet verhindern hohe Preise für geeignete Kamerasysteme die Anwendung in allen Bereichen der Landwirtschaft. Intelligente und kostengünstige Kameras, die für landwirtschaftliche Anwendungen angepasst werden, können diesen Nachteil überwinden. Der normalisierte differenzierte Vegetationsindex (NDVI) ist ein Algorithmus in der Bildanalyse zur Trennung von Pflanze und Boden (Hintergrund) und wird in der hier vorgestellten Untersuchung bei einer kostengünstigen Ein-Chip-Kamera implementiert und angepasst.

**Deskriptoren:** Intelligente Kamera, NDVI, Bildverarbeitung, Pflanzensensor, eingebettetes System

**Abstract:** *The application of (smart) cameras for process control as an element of precision farming saves fertilizer, pesticides, machine time and fuel. Although research activities have increased in this topic, high camera prices reflect low adaptation to applications in all fields of agriculture. Smart and low-cost cameras adapted to agricultural applications can overcome this drawback. the normalized difference vegetation index (NDVI) is an applicable algorithm to discriminate between plant and soil information (background). In this study, the advantage of a smart one-chip camera design with an adapted algorithm for NDVI image performance is demonstrated in terms of low cost and simplified design.*

**Keywords:** *smart camera, NDVI, image processing, plant sensor, embedded system*

## Einleitung

Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der Präzisionslandwirtschaft konzentrieren sich auf die Reduzierung von Kohlendioxid, Umweltbelastungen und Kosten, indem der Betriebsmitteleinsatz optimiert wird. Um die Effizienz in der Landwirtschaft zu erhöhen, werden verschiedene Informationen oder Datenbanken gebündelt (TELLAECHE *et al.* 2008, DAMMER *et al.* 2009, LÜCK *et al.* 2009). Pflanzenanzahl, Bedeckungsgrad oder Biomasse sind typische Informationen, die mithilfe von Sensoren ermittelt werden kön-

nen (SELBECK *et al.* 2010). Die Informationen können direkt auf der landwirtschaftlichen Maschine verarbeitet werden und beispielsweise eine Feldspritze steuern (DAMMER & WARTENBERG 2007). Der Bedeckungsgrad kann anhand von NDVI-Bildern auf dem Schlag lokalisiert werden (DAMMER *et al.* 2009). Der NDVI wird benutzt, um Bildpunkte mit chlorophyllaktivem Pflanzenmaterial von Bildpunkten mit abgestorbenem Pflanzenmaterial und Boden zu unterscheiden. Die Unterscheidung erfolgt dabei mit zwei Wellenlängenbereichen: im roten (620 bis 660 nm) und im nahen Infrarot (NIR, > 780 nm). Hierbei wird der unterschiedliche Reflexionsgrad der aktiven Pflanze im Vergleich zu ihrer Umgebung (Boden) ausgenutzt. Die Pflanze absorbiert überwiegend den roten Anteil und reflektiert den NIR-Anteil im Gegensatz zum Boden und zum inaktiven Pflanzengewebe (TUCKER 1979, WANG & CHEN 2006). Hochwertige Pflanzen- oder NDVI-Kameras verwenden mindestens zwei CCD-Chips (z. B. DuncanTech MS2100 oder MS3100, Redlake Inc., San Diego, CA, USA). Die Justierung der Chips macht die Kameras allerdings auch so teuer, dass sie nur in der Forschung eingesetzt werden. Im Gegensatz dazu ist bei der Ein-Chip-Kamera, wie sie hier vorgestellt wird, keine Justierung erforderlich. Stattdessen benötigt sie einen Doppelbandpassfilter für das rote und das NIR-Band. RABATEL *et al.* (2008) zeigen die prinzipielle Möglichkeit, Standardkameras mit austauschbaren Filtern für Rot und NIR zu nutzen. Typischerweise besitzen Kamerasysteme Regelkreise für die Belichtungszeit und den Weißabgleich. Durch den Filterwechsel funktionieren diese Regelkreise nicht mehr korrekt, was zu Überbelichtung und Fehlinterpretationen führt (RITCHIE *et al.* 2008). Daher muss auch in die Kamerakontrolle eingegriffen werden und der NDVI-Algorithmus modifiziert werden.

Die hier vorgestellte Ein-Chip-Kamera aus dem Niedrigpreissegment (USB uEye LE Kamera, type UI-1226LE, von Imaging Development Systems GmbH, Obersulm, Germany, ca. 230 €) dient als Basis für ein neues NDVI-Kamerasystem im Vergleich zur 3-Chip-Kamera DuncanTech MS2100. Die Nachteile des Standard-NDVI-Algorithmus für die Ein-Chip-Kamera werden diskutiert und Lösungen in Form von erweiterten NDVI-Algorithmen werden demonstriert. Ziel ist es, eine kostengünstige Feldkamera mit geeigneten Algorithmen auszustatten, die mit typischen Beleuchtungssituationen auf dem Schlag zurechtkommt, ohne dass der Schwellenwert nachgeführt werden muss.

## Material und Methoden

Im Folgenden wird kurz die Verwendung des NDVI in einer Multispektral-Kamera (15 000 €) gezeigt, die für wissenschaftliche Zwecke eingesetzt wird. Des Weiteren wird detaillierter auf die Änderungen des NDVI-Algorithmus eingegangen, die für den Einsatz bei einer Ein-Chip-Kamera erforderlich sind. Anstelle des NIR-Cut-Off-Filters einer Ein-Chip-Kamera, der standardmäßig den NIR-Wellenlängenbereich > 650 nm blockt, wurden zwei verschiedene Filter benutzt: ein Low-Pass-Filter mit einer Kantenwellenlänge von 645 nm (RG645, Schott AG, Mainz, Deutschland) und ein Doppelbandpassfilter, der speziell für dieses Projekt angefertigt wurde (ET620\_60bp\_780\_900bp von Chroma

Technology GmbH, Olching, Deutschland). Der Low-Pass-Filter lässt Wellenlängen > 645 nm (geringere Energie) passieren und stoppt Wellenlängen < 645 nm (höhere Energie). Der Doppelbandpassfilter besitzt zwei spezifische Bänder mit 620–660 nm und 780–900 nm, in denen Licht mit diesen Wellenlängen den Filter passieren können; alle anderen Wellenlängen werden gesperrt. Diese Änderungen am Ein-Chip-Setup erlaubt nun die Detektion des NIR-Bereichs und blendet den blauen und grünen Bereich aus. Reflexion/Absorption für nicht aktive Pflanzen oder Boden aus.

## NDVI

Mittels des NDVI lassen sich chlorophyllaktive Pflanzen vom Boden und von totem Pflanzenmaterial unterscheiden. Dies ist mit dem Grünkanal einer RGB-Kamera nicht zu erreichen. Der NDVI nutzt hierbei die große Absorption im roten Wellenlängenband und die große Reflexion im NIR-Bereich chlorophyllaktiver Pflanzen gegenüber der annähernd identischen Reflexion/Absorption für nicht aktive Pflanzen oder Boden aus Gleichung 1:

$$NDVI = \frac{NIR-R}{NIR+R} \quad (\text{Gl. 1})$$

Gleichung 1 kann in einer Multispektralkamera direkt auf die Bilder des Rot-Kanals und NIR-Kanals angewendet werden. Mithilfe eines geeigneten Schwellenwerts kann das NDVI-Bild binarisiert werden, wobei im optimalen Fall chlorophyllaktive Pflanzen als weiße Pixel (Wert = 1) und alle anderen Pixel als schwarze Pixel (Wert = 0) dargestellt werden. Hieraus kann dann beispielweise der Bedeckungsgrad berechnet werden.

## Ein-Chip-Pflanzenkamera

Für das Design der Ein-Chip-Kamera, welche unter Feldbedingungen arbeiten soll, sind die ungünstigsten Bedingungen anzunehmen. Die entwickelten Algorithmen müssen auf den verwendeten RGB-Kamerachip abgestimmt werden, wobei der Weg der Umsetzung bis hin zum Digitalbild einige Hürden enthält (LEBOURGEOIS *et al.* 2008).

## Spektrale Antwort einer RGB-Ein-Chip-Kamera

In der Studie wird eine Ein-Chip-Kamera der Firma IDS mit dem Aptina-Chip MT9V032STC-CMOS-Bildsensor mit 752 H × 480 V Pixel (Aptina Imaging Corporation, San Jose, CA, USA) genutzt. Diese Kamera hat aufgrund ihres Bildsensors den Vorteil, dass nach der Entfernung des NIR-Cut-Off-Filters alle Pixel (rot, grün, blau; **Abbildung 1**) im NIR-Bereich empfindlich sind (**Abbildung 2**) und Informationen aus diesem Wellenlängenbereich detektieren können (DWORAK *et al.* 2013).

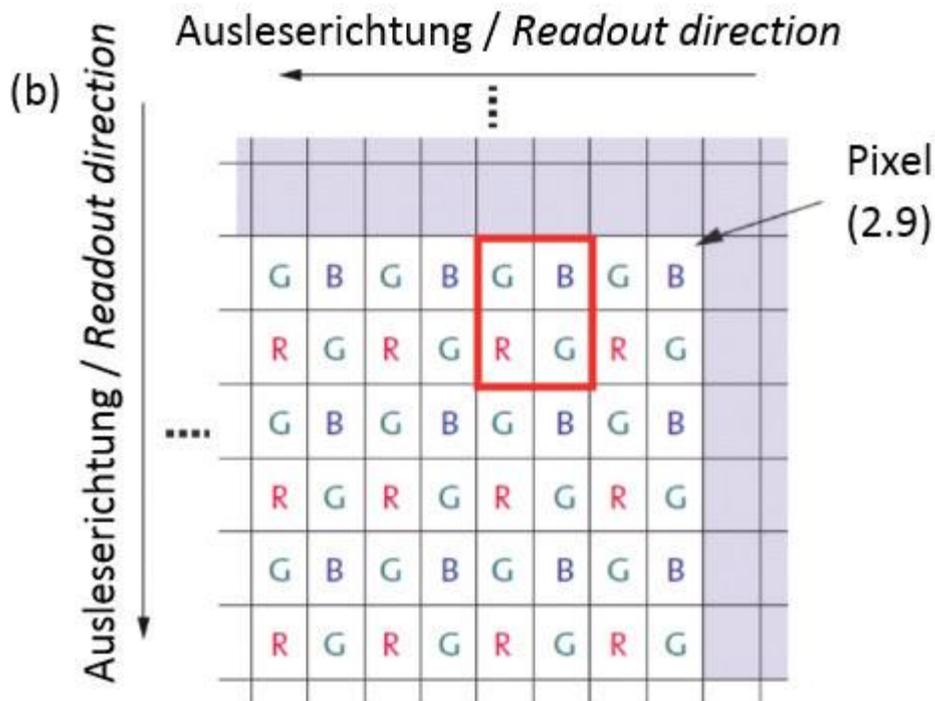


Abbildung 1: Anordnung der Farbpixel gemäß Bayer-Muster (Quelle: Aptina Datenblatt)

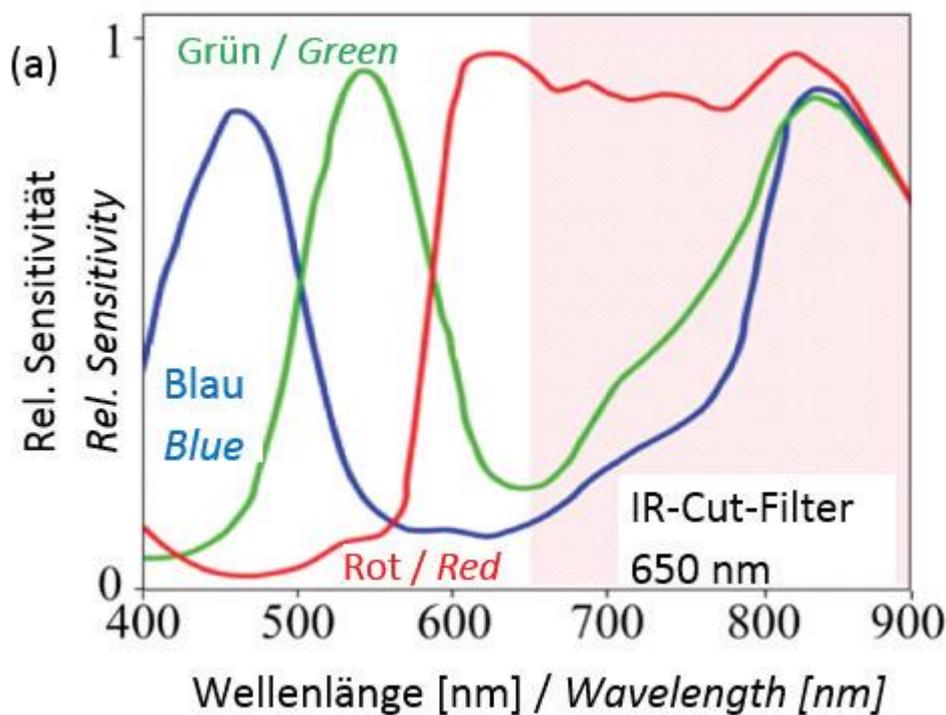
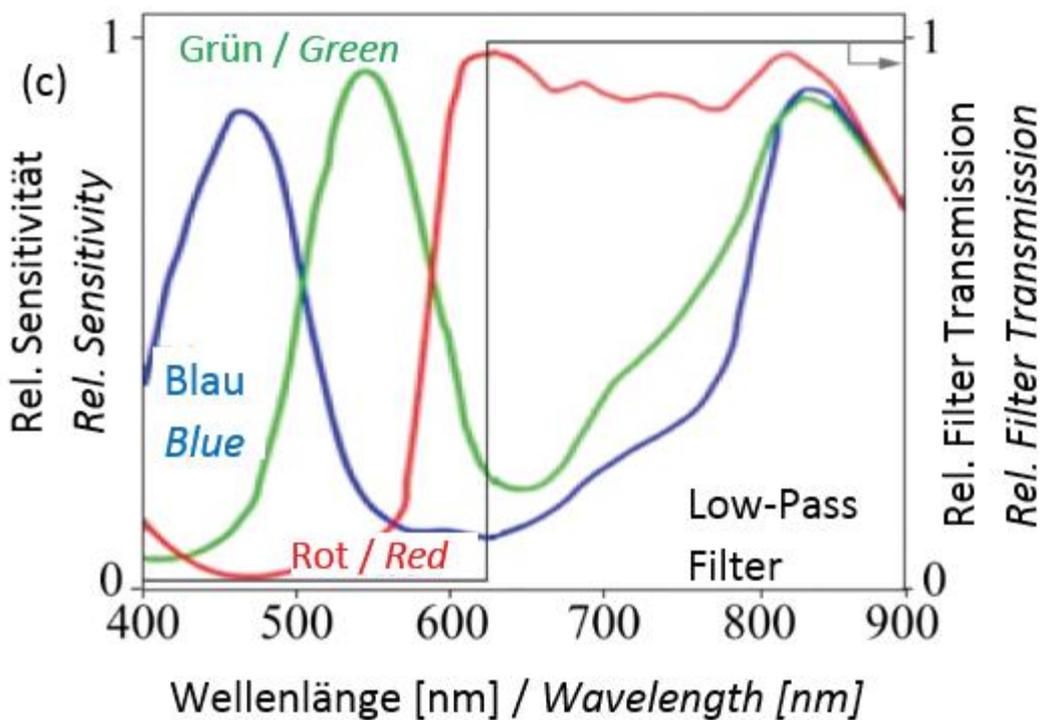


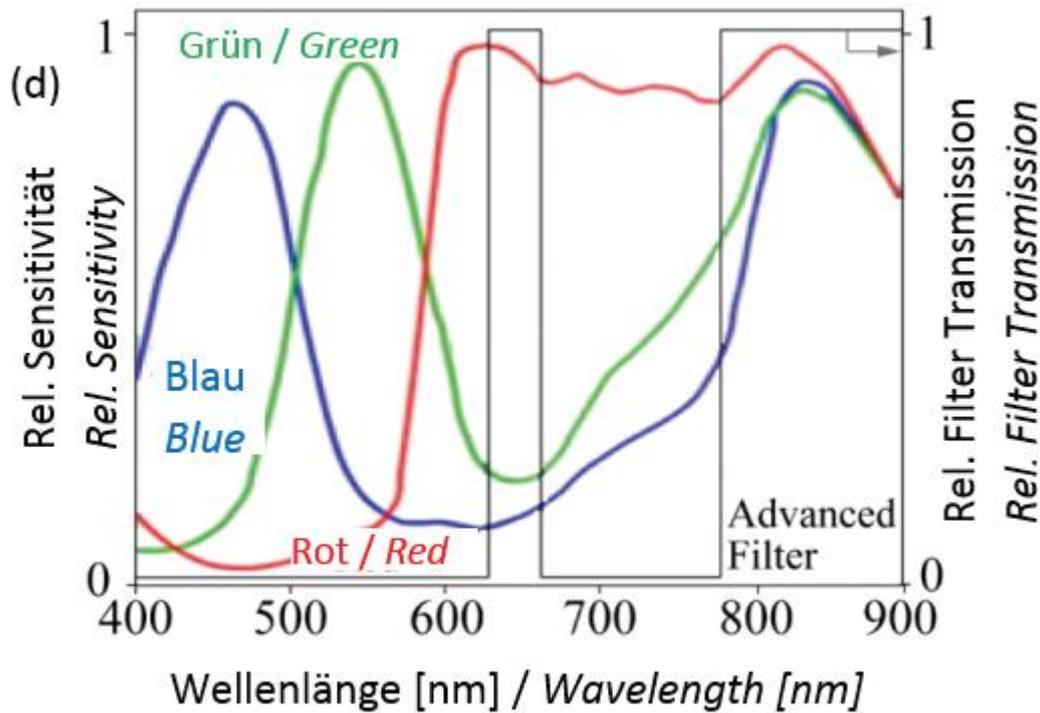
Abbildung 2: Spektrale Antwort des CMOS-Kamerachips MT9V032STC (IDS Datenblatt)

Anstelle des NIR-Cut-Off-Filters kann nun ein Low-Pass-Filter installiert werden. Dieser blendet wie oben beschrieben den blauen und grünen Bereich aus (**Abbildung 3**), so dass neue Informationen generiert werden, die mit den ehemaligen RGB-Pixeln detek-

tiert werden können. Der ehemalige R-Kanal enthält nun rote und NIR-Informationen (R+NIR), die Kanäle Blau und Grün enthalten nur NIR-Informationen. Um eine bessere Separation zwischen Rot und NIR zu erreichen, ist der Low-Pass-Filter durch einen Doppelbandpassfilter ersetzt worden (**Abbildung 4**). Durch diesen Filter wird der Übergangsbereich zwischen Rot und NIR ausgeblendet, wodurch der Wellenlängenbereich mit den darin enthaltenen Informationen, die die Pixel repräsentieren, geschärft wird. Die Kamera kann nun als NDVI-Kamera verwendet werden. **Abbildung 5** zeigt ein Falschfarben-NDVI-Bild mit der typischen Rot/Weiß-Färbung. Die Rotfärbung entsteht durch die Empfindlichkeit des Rot-Kanals im roten und NIR-Bereich (**Abbildung 4**). Die Weißfärbung entsteht durch die Empfindlichkeit aller drei Kanäle im NIR-Bereich. Da die Pflanzen das NIR-Licht besonders stark reflektieren, erscheinen sie im Bild weiß.

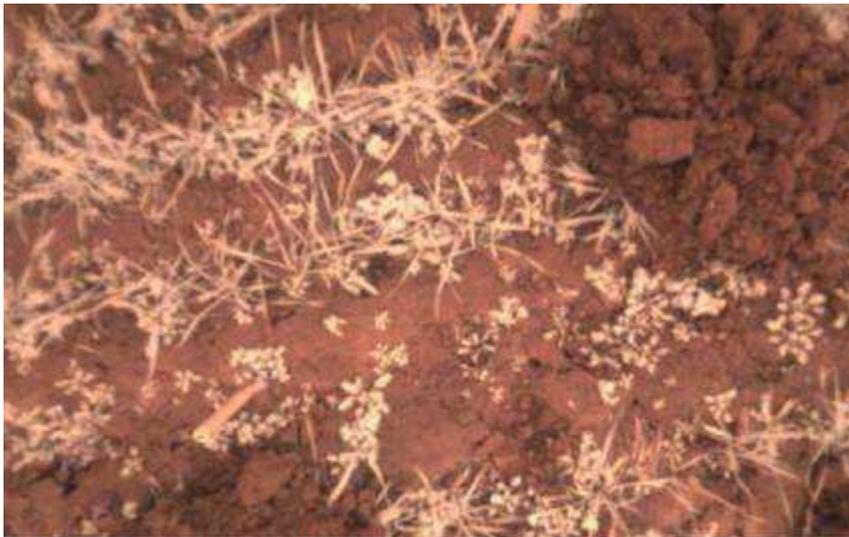


**Abbildung 3:** Aufbau zur Nutzung von Rot- und NIR-Informationen mittels eines idealen Low-Pass-Filters



**Abbildung 4:** Aufbau zur Nutzung von Rot- und NIR-Informationen mittels eines idealen Doppelbandpassfilters

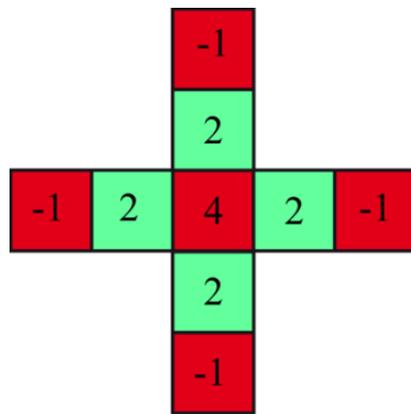
Das Bild in **Abbildung 5** ist unter Streulichtbedingungen, d. h. mit homogener Ausleuchtung, gemacht worden. Bilder bei direkter Sonneneinstrahlung und die damit verbundene Problematik werden im Folgenden diskutiert.



**Abbildung 5:** Falschfarbenbild der modifizierten Kamera, Unkraut in Winterweizen (Foto: J. Selbeck, V. Dworak, M. Hoffmann)

## Demosaikierung oder Debayering

Gemäß dem Bayer-Muster (**Abbildung 1**) kann jedes Pixel einer Ein-Chip-Kamera nur einen Farbbereich detektieren. Das Interpolationsverfahren, das die beiden fehlenden Farbbereiche für das physisch vorhandene Pixel berechnet, wird als Demosaikierung bezeichnet. Aus der Vielzahl von Interpolationsalgorithmen soll hier der von MALVAR *et al.* (2004) gezeigt werden (**Abbildung 6**). Diese Algorithmen basieren alle auf einer Szenenannahme, die ein Bild derart interpolieren, dass es für das menschliche Auge der Realität nahe kommt. Das in **Abbildung 6** gezeigte Demosaikierungsbeispiel zeigt, dass verschiedene Farbkkanäle zur Interpolation herangezogen werden. Dies eliminiert allerdings die Information, die in den Kanälen der NDVI-Kamera enthalten ist. Wenn ein Pixelversatz akzeptabel ist, kann das rot umrandete Quadrupel in **Abbildung 1** als ein NDVI-Pixel zusammengefasst werden und der NDVI-Algorithmus kann an diese Kamera angepasst werden.



**Abbildung 6:** Demosaikierungsbeispiel mit Koeffizienten nach MALVAR *et al.* 2004

## Adaptierter NDVI für eine Ein-Chip-Kamera

Aufgrund des veränderten Informationsgehalts der Kanäle einer Ein-Chip-Kamera muss der NDVI-Algorithmus adaptiert werden. Wie oben bereits erwähnt enthält der R-Kanal der Ein-Chip-Kamera rote und NIR-Informationen, während der G-Kanal und der B-Kanal nur die NIR-Informationen enthalten; somit verändert sich der Algorithmus nach Gleichung 2:

$$NDVI = \frac{NIR-R}{NIR+R} \quad \rightarrow \quad NDVI_{CMOS} = \frac{(B+G)-R}{R} \quad (\text{Gl. 2})$$

Da der verwendete Bildsensor im Bereich um 850 nm für alle drei Farbkkanäle nahezu identische Empfindlichkeiten zeigt, ist auf eine individuelle Verstärkungsanpassung je Kanal verzichtet worden.

## Verstärkungskontrolle

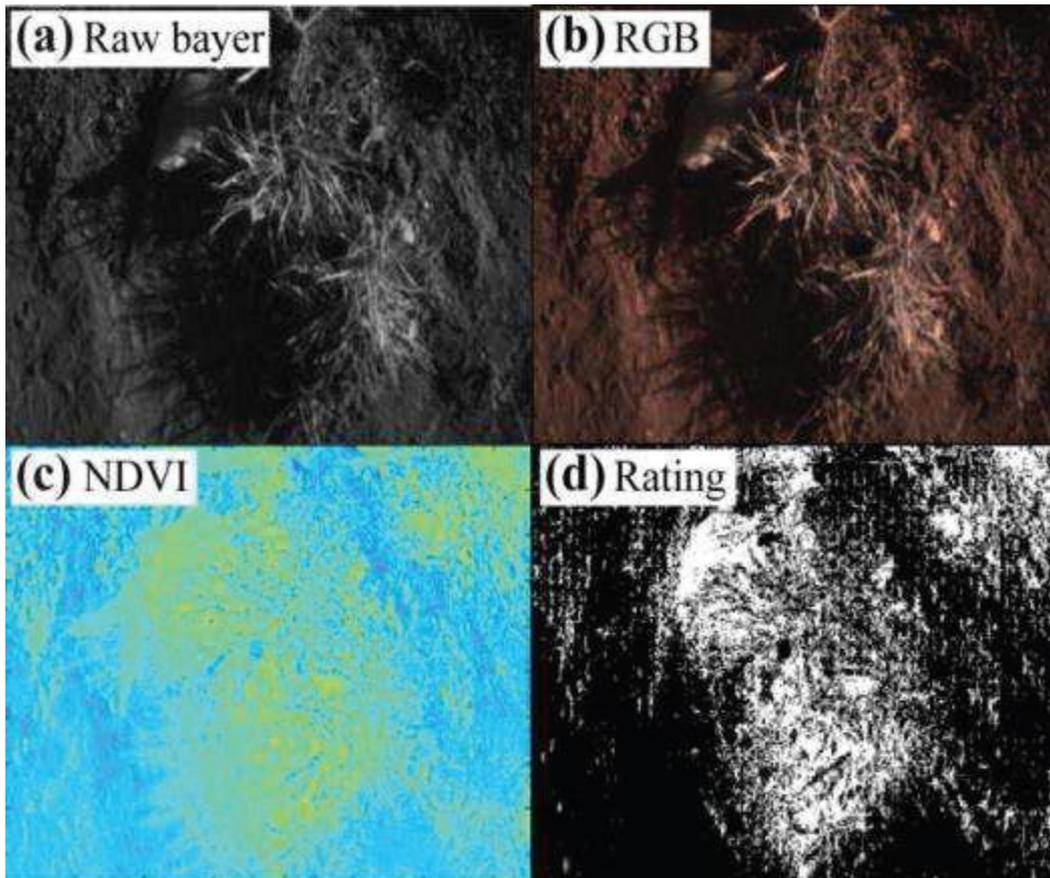
Für eine korrekte Berechnung des NDVI ist es unerlässlich, dass keine Bildpunkte in Sättigung (übersteuert) sind. Bei Standard-RGB-Kameras wird der Grünkanal für die Belichtungsregelung genutzt. Da bei der Ein-Chip-Kamera jedoch der Rot-Kanal aufgrund der Addition von rotem und NIR-Bereich am ehesten in Sättigung geht, ist ein eigener automatischer Verstärkungskontrollalgorithmus entwickelt worden. Einige Kamerasensoren liefern direkt ein Histogramm der Intensitätsverteilung der Pixel, bei anderen muss es mithilfe einer zusätzlichen Software generiert werden. Wenn es im Histogramm bei höchster Intensität Pixel gibt, muss die Verstärkung herabgesetzt werden. Andererseits kann die Verstärkung heraufgesetzt werden, wenn in der höchsten und in der zweithöchsten Intensität keine Pixel vorhanden sind. Die Verstärkung startet mit einer mittleren Einstellung und wird entsprechend des Histogramms um die Hälfte der Verstärkung erhöht oder erniedrigt, so wie es beispielsweise bei einem Analog-zu-Digital Konverter mit sukzessivem Approximationsregister geschieht. Eine implementierte Hysterese sorgt für die nötige Stabilität der Verstärkung, damit diese nicht um einen Wert schwingt. Die Kamera ist über einen USB-2.0-Port mit einem PC verbunden. Die Kontrolle der Verstärkung und der Bildrate erfolgt mit der Software MatLab (The Mathworks, Natick, Massachusetts, USA).

## Messbedingungen

Wie oben angedeutet sind Messungen bei einer homogenen Bewölkung, die reines Streulicht produziert, am besten, da sich keine harten Schlagschatten ausbilden. Dagegen sind strahlender Sonnenschein mit hartem Schlagschatten schwierige Bedingungen für den NDVI-Algorithmus, da der dynamische Bereich deutlich größer sein muss, um eine Quantifizierung zu berechnen. Des Weiteren ändert sich auch das Verhältnis zwischen Rot- und NIR-Anteil, da die Streuung der beiden Wellenlängenbereiche in der Atmosphäre und bei bewölktem Himmel unterschiedlich stark ist. Die Änderung geht mit der vierten Potenz der Wellenlänge ein. Ebenfalls ist das Transmissionsverhalten des Lichts bei beiden Wellenlängenbereichen an Blättern gegenläufig zu den Streueigenschaften in der Atmosphäre. Betrachtet man den NDVI, kann es daher sein, dass Bodenflächen im Schatten heller erscheinen als im Sonnenlicht.

## Ergebnisse und Diskussion

Es konnte bereits gezeigt werden, dass die Ein-Chip-Kamera unter idealen Bedingungen gut arbeitet (**Abbildung 5**). Das Problem mit direktem Sonnenlicht wird in **Abbildung 7** verdeutlicht: das Rohdatenbild (a), das Falschfarbenbild nach der Umrechnung (b), das nach Gleichung 2 berechnete NDVI-Bild (c) und das Binärbild (d).



**Abbildung 7:** Rohdatenbild von Gras mit abgefallenen Baumblättern (a), Falschfarbenbild (b), NDVI-Bild in Falschfarben (blau = 0, rot = 256) (c), Binärbild unter direktem Sonnenlichteinfall (d) (Foto: J. Selbeck, V. Dworak, M. Hoffmann)

Da beim binarisierten Bild im Schattenbereich fast kein Kontrast zwischen Pflanze und Boden zu sehen ist, enthält dieses Binärbild einen großen Anteil an falsch klassifizierten Pixeln. Dies bedeutet, dass der NDVI-Algorithmus erweitert werden muss, damit auch diese Lichtverhältnisse abgedeckt werden können. Anhand der Minimum- und Maximumwerte der Pixelintensitäten können Rückschlüsse auf den dynamischen Bereich und die Lichtverhältnisse gezogen werden. Folgende Probleme müssen gelöst werden, um eine brauchbare Ein-Chip-Kamera für den Einsatz als Pflanzenkamera zu erhalten:

- Der NDVICMOS ist aufgrund der Empfindlichkeit des R-Kanals für rote und NIR-Wellenlängen anfälliger für überbelichtete Pixel.
- Der Schwellenwert für die Binarisierung schwankt für Bereiche im direkten Sonnenlicht gegenüber Bereichen im Schatten.
- Selbst unter Streulicht ist der Schwellenwert nicht einfach zu bestimmen, da sich die Werte für Boden und Pflanze überlappen.
- Ein erweiterter Algorithmus sollte einfach gehalten werden, damit dieser auch in eingebetteten Systemen implementierbar ist.

## Bereichserweiterter NDVI

Die meisten eingebetteten Systeme haben deutlich weniger Rechenleistung als ein PC. Daher muss bei der Implementierung des NDVI darauf geachtet werden, dass andere wichtige Berechnungen wie die automatische Verstärkungsanpassung ebenfalls in das System integriert werden. Aufgrund der hohen NIR-Reflexion bei Pflanzen, kann als erster Schritt die Gleichung durch eine Multiplikation mit dem NIR-Wert erweitert werden:

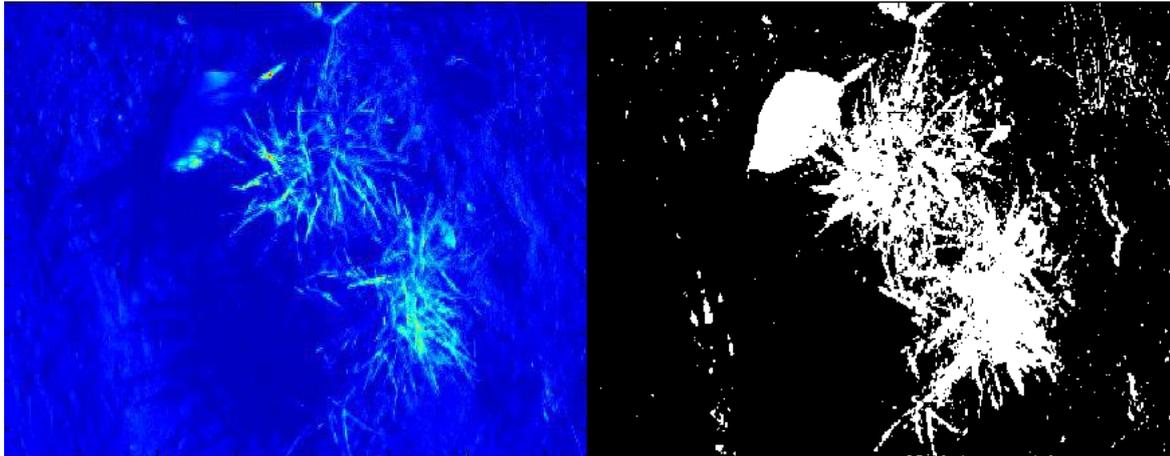
$$NDVI_{CMOS} = \frac{(B+G)-R}{R} * \frac{B+G}{2} \quad (\text{Gl. 3})$$

Hierdurch wird der Kontrast zwischen Pflanze und Boden erhöht, da die Intensität von Pixeln, die den Boden repräsentieren, reduziert wird. Eine Missklassifizierung (**Abbildung 7**) wird mit Gleichung 3 nahezu vollständig eliminiert. Die Löschung von Einzelpixeln und ein 5x5-Gauß-Filter erhöhen die Klassifizierungssicherheit. Dieser Algorithmus kann problemlos in einem eingebetteten System untergebracht werden. Dieses Gesamtsystem ist für den Einsatz auf Feldspritzen – auch teilbreitenspezifisch – einsetzbar, nicht zuletzt auch aufgrund des geringen Preises. Die Informationen können ebenfalls für die Maskierung genutzt werden, um weitere Analysen von Form und Kontur durchzuführen oder um die NDVI-Information quantitativ auszuwerten. Bei direktem Sonnenlicht ändern sich vor allem der dynamische Bereich, den die Kamera abdecken muss, und – wie bereits beschrieben – die Verhältnisse der Intensitäten. Dabei kann nicht mit einem fixen, auf das Sonnenlicht abgestimmten Schwellenwert operiert werden, weil Schattenregionen dann durchweg unterrepräsentiert sind. Daher ist ein nicht-linearer Verstärkungsfaktor in die Gleichung einbezogen worden:

$$reNDVI_{CMOS} = \frac{(B+G)-R}{R} * \frac{B+G}{2} * f(x) \quad \begin{array}{l} f(x) = 1; 0,2 < x < 1,0 \\ f(x) = 3 - 10 * x; 0,1 < x < 0,2 \\ f(x) = 2; 0,0 < x < 0,1 \end{array} \quad (\text{Gl. 4})$$

Dieser bereichserweiterte (range extended) NDVI löst diese Aufgabe, indem die im Schatten liegenden Bereiche verstärkt werden. Die Werte für die Funktion  $f(x)$  in Gleichung 4 sind durch Auswertung verschiedener normalisierter Bilder unter verschiedenen Beleuchtungsverhältnissen experimentell ermittelt worden.

Die Kombination des erweiterten NDVI mit der nichtlinearen Verstärkungsfunktion löst das Problem für die hohe Dynamik in den Bilddaten. Die Erweiterung des NIR-Werts (Gleichung 3) erhöht den Kontrast von Pflanze und Boden im Schattenbereich, wie das Blatt oben links in **Abbildung 8**, welches teils direkt beleuchtet, teils im Schatten liegt, zeigt. Die Verstärkungsfunktion des bereichserweiterten NDVI wichtet die Pixel mit niedriger Intensität, sodass die Pflanzen weiterhin mit einem einfachen Schwellenwert vom Boden unterschieden werden können. **Abbildung 8** (b) zeigt eine annähernd ideale Kontur des Blattes nach der Anwendung des  $reNDVI_{CMOS}$ .



**Abbildung 8:** Angewandter  $reNDVI_{CMOS}$  in Falschfarbendarstellung (blau = 0, rot = 256) (a), binarisiertes Bild nach der Glättung mit einem 5x5-Gauß-Filter (b) (Foto: J. Selbeck, V. Dworak, M. Hoffmann)

## Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen die Einsatzfähigkeit der günstigen Ein-Chip-Pflanzenkamera mit einer neuen Filteranordnung. Der kundenspezifische Doppelbandpassfilter schärft die Trennung von rotem und NIR-Bereich. Durch die Nutzung der Rohdaten in Form des Bayer-Musters, ohne Umrechnung in ein klassisches RGB-Bild wird verhindert, dass sich die Bilddaten um den Faktor 3 vergrößern, was bei eingebetteten Systemen mit begrenztem Speicher und begrenzter Leistung essenziell sein kann. Da die automatische Belichtungssteuerung neu implementiert werden musste, war eine umfassende Kontrolle des Kamerachips respektive der Kamera unabdingbar. Der bekannte NDVI kann allerdings nicht ohne Weiteres in der Ein-Chip-Kamera angewendet werden, ohne dass bekannte und neue Probleme für die Feldanwendung auftreten. Der hier vorgestellte erweiterte NDVI verbessert die Trennung von Pflanze und Boden unter homogenen Lichtbedingungen. Um unter nicht homogenen Lichtverhältnissen ebenfalls gute Ergebnisse zu erzielen, ist der bereichserweiterte NDVI entwickelt worden. Hier können die Bereiche, die im Schlagschatten liegen, in Pflanze und Boden separiert werden. In Bezug auf die eingebetteten Systeme sind die Erweiterungen der NDVI-Gleichung ohne großen Rechenaufwand umzusetzen und zu bewältigen.

Die nächsten Schritte sind die Implementierung eines automatischen Schwellenwerts für eine autonome Pflanzenkamera, die somit keine Kalibrierung benötigt. Außerdem könnte durch die Erhöhung der Pixelzahl oder eine Kamera mit „High-Dynamic-Range“-Fähigkeit und/oder geringerem Pixelrauschen eine weitere Steigerung der Trennschärfe zwischen Pflanze und Boden und die laterale Auflösung des NDVI erreicht werden. Dies wird sich allerdings direkt auf den Kaufpreis der Kamera auswirken und daher nur für Einzelkameras sinnvoll sein – im Gegensatz zu der Ein-Chip-Kamera, die aufgrund ihres geringen Preises beispielsweise für die teilbreitenspezifische Steuerung von Feldspritzen genutzt werden könnte.

## Literaturverzeichnis

- DAMMER K. H., WARTENBERG G. (2007):** Sensor-based weed detection and application of variable herbicide rates in real time. *Crop Protection* 26: 270–277
- DAMMER K., THOELE H., VOLK T., HAU B. (2009):** Variable-rate fungicide spraying in real time by combining a plant cover sensor and a decision support system. *Precision Agriculture* 10(5): 431–442
- DWORAK V., SELBECK J., DAMMER K.-H., HOFFMANN M., ZAREZADEH A. A., BOBDA C. (2013):** Strategy for the Development of a Smart NDVI Camera System for Outdoor Plant Detection and Agricultural Embedded Systems. *Sensors* 13: 1523–1538
- LEBOURGEOIS V., BEGUE A., LABBE S., MALLAVAN B., PREVOT L., ROUX B. (2008):** Can commercial digital cameras be used as multispectral sensors? A crop monitoring test. *Sensors* 8: 7300–7322
- LÜCK E., GEBBERS R., RUEHLMANN J., SPANGENBERG U. (2009):** Electrical conductivity mapping for precision farming. *Near Surface Geophysics* 7(1): 15–25
- MALVAR H. S., HE L., CUTLER R. (2004):** High-Quality Linear Interpolation for Demosaicing of Bayer-Patterned Color Images. *Proceedings of the ICASSP International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Montreal, QC, Canada, 17–21 May 2004, vol. 3: iii – 485-8*
- RABATEL G., GORRETTA N., LABBÉ S. (2011):** Getting NDVI Spectral Bands from A Single Standard RGB Digital Camera: A Methodological Approach. *Proceedings of CAEPIA'11 the 14th International Conference on Advances in Artificial Intelligence, Spanish Association for Artificial Intelligence, La Laguna, Spain, 7–11 November 2011, 333–342*
- RITCHIE G., SULLIVAN D., PERRY C., HOOK J., BEDNARZ C. (2008):** Preparation of a low-cost digital camera system for remote sensing. *Applied Engineering in Agriculture* 24(6): 885–894
- SELBECK J., DWORAK V., EHLERT D. (2010):** Testing a vehicle-based scanning LiDAR sensor for crop detection. *Canadian Journal of Remote Sensing* 36: 24–35
- TELLAECHE A., BURGOSARTIZU X. P., PAJARES G., RIBEIRO A., FERNANDEZ-QUINTANILLA U. (2008):** A new vision-based approach to differential spraying in precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* 60(2): 144–155
- TUCKER C. J. (1979):** Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing Environment* 8(2): 127–150
- WANG J., CHEN G. (2006):** Vegetation index and biomass estimation for grassland (In Chinese). *Journal of Yunnan Agricultural University* 21(3): 372–375

Notabene:

Nachdruck mit freundlicher Genehmigung der Zeitschrift Landtechnik. Der Beitrag wurde in der Landtechnik 69(3), S. 114–119, veröffentlicht.

# Sensorgestützte Bodenkartierung – Bodensensoren für die Landwirtschaft

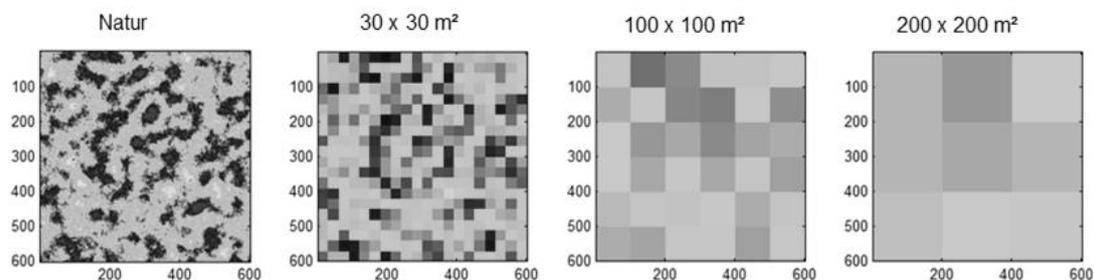
Robin Gebbers<sup>1</sup>, Michael Schirrmann<sup>1</sup>, Eckart Kramer<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e. V., Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam

<sup>2</sup> Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswald, Lehrstuhl Prozessmanagement und Technologien im Ökolandbau, Schicklerstraße 5, 16225 Eberswalde  
E-Mail: rgebbers@atb-potsdam.de

## Einleitung

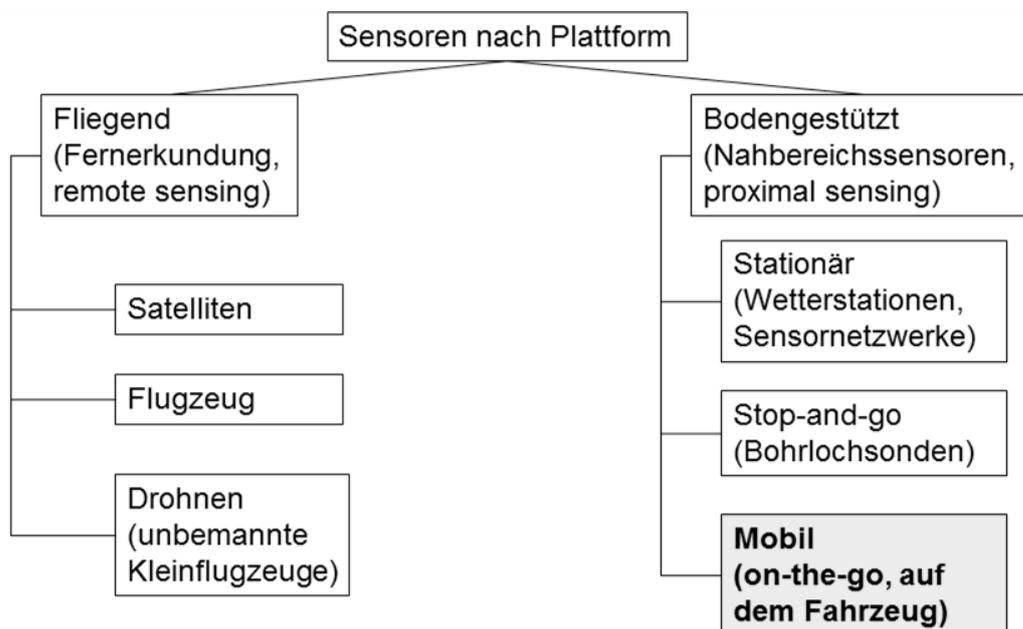
In der Landwirtschaft werden Bodeninformationen unter anderem für die Bodenbearbeitung, Düngung, Pflanzenschutz und Bewässerung benötigt. Zu den landwirtschaftlich relevanten Bodeneigenschaften gehören Körnung und Mineralbestand, organische Bodensubstanz, Ionenaustausch, Bodenreaktion (pH), Redoxpotenzial (pe), Bodenwasser (Menge, Verfügbarkeit, Durchlässigkeit), Bodenluft, Bodenwärme, Bodennährstoffe (Menge und Verfügbarkeit von N, P, K, Mg u. a.), Durchwurzelbarkeit (Lagerungsdichte) sowie Bodenbiologie (Nützlinge, Schädlinge, Stoffumsatz). Bodeneigenschaften variieren oftmals deutlich in Raum und Zeit. Mithilfe von Techniken der Präzisionslandwirtschaft (Precision Agriculture) ist es möglich, Bewirtschaftungsmaßnahmen innerhalb eines Schlates kleinräumig zu differenzieren. Voraussetzung dafür ist eine räumlich hochauflösende Erfassung der Bodeneigenschaften. Dies ist mit den traditionellen Bodenuntersuchungsmethoden, die auf Beprobung und Laboranalyse beruhen, zu einem zeitlich und monetär akzeptablen Aufwand nicht möglich. Beispielsweise sind auf Böden der Jungmoränenlandschaft Beprobungsabstände von weniger als 30 m nötig, um Bodenkarten von hinreichender Genauigkeit zu erstellen (**Abbildung 1**). Eine so hohe Dichte von Bodenuntersuchungen pro Flächeneinheit ist nur durch den Einsatz von Sensoren möglich, die kostengünstig und zeitnah Daten liefern.



**Abbildung 1:** Wirkung einer Verringerung des Beprobungsabstandes auf die Genauigkeit der Bodenkartierung

An Sensoren zur effizienten Bodenkartierung wird bereits seit vielen Jahren geforscht. Lange Zeit galt das Hauptinteresse optischen bildgebenden Sensoren (multi- und hy-

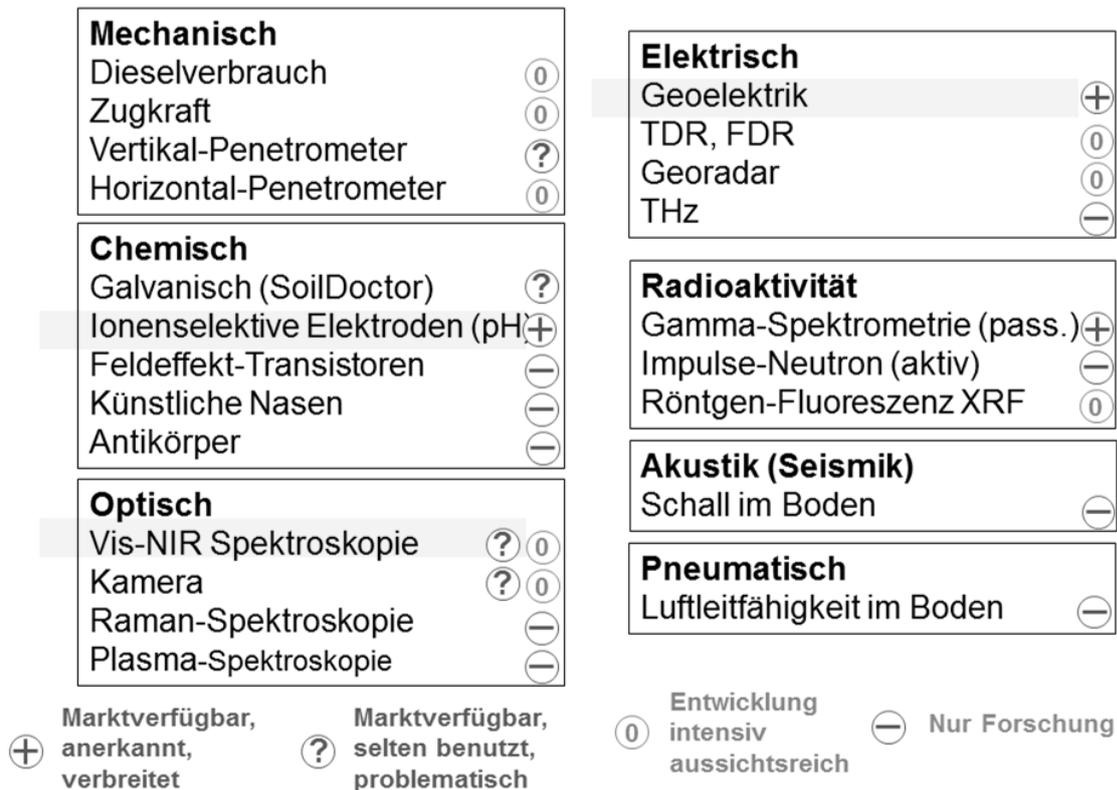
perspektive Kameras) auf fliegenden Plattformen (Satelliten, Flugzeuge) (**Abbildung 2**). Stationäre Sensoren (z. B. Tensio- und Thermometer) konnten bislang keine flächendeckenden Daten liefern. Im Zuge der Entwicklung von energieeffizienten Übertragungsmöglichkeiten und kostengünstigerer Sensoren ist jedoch eine bessere Flächenabdeckung durch Sensornetzwerke möglich. Die entscheidenden, praxisrelevanten Fortschritte in der hochauflösenden Bodenkartierung für die Präzisionslandwirtschaft wurden erst durch die Einführung fahrzeuggetragener, kontinuierlich messender, mobiler Sensoren erzielt. Der weitere Text bezieht sich daher nur auf diesen Typ von sogenannten „on-the-go“ oder „Nahbereichs-Sensoren“. VISCARRA ROSSEL *et al.* (2010) definieren Proximal Soil Sensing als „Entwicklung und Anwendung von bodengebundenen Sensoren, die am Boden (maximal 2 m darüber) oder im Boden arbeiten.“



**Abbildung 2:** Einteilung von Bodensensoren nach Plattform

Der populärste Sensortyp beruht auf elektromagnetischer Induktion (EMI). Dabei erzeugt das Magnetfeld einer Sendespule je nach Eigenschaft des Bodens unterschiedliche sekundäre Magnetfelder, die von einer Empfängerspule aufgezeichnet und im Gerät die scheinbare elektrische Leitfähigkeit ( $ECa$  in  $mS \cdot m^{-1}$ ) umgerechnet werden. EMI-Geräte sind kompakt und leicht. Sie werden an ein Fahrzeug angehängt und die Messwerte werden während der Überfahrt zusammen mit den Positionen aus einem Satellitennavigationssystem (GNSS) aufgezeichnet. Gegenüber der EMI ist die galvanisch gekoppelte Widerstandsmessung (GGW) in Vierpunkt-Anordnung das ältere Verfahren. Es wird jedoch in der Landwirtschaft etwas seltener angewendet, da die Geräte größer und schwerer sind als EMI-Instrumente. Ein Überblick über verschiedene geoelektrische Verfahren ist GEBBERS *et al.* 2009 zu entnehmen. Aktuell werden zahlreiche weitere Messmethoden auf ihre Nutzbarkeit zur Bodenkartierung untersucht (**Abbildung 3**). Einige stammen ebenfalls aus der Geophysik (Georadar, Gamma-

Spektrometrie, Seismik, Impuls-Neutron) andere aus der chemischen Prozessanalytik (ionenselektive Elektroden, Feldeffekt-Transistoren, künstliche Nasen, Raman- und Plasma-Spektroskopie) oder aus der Landtechnik (Zugkraft, Vertikal-Penetrometer, Kraftstoffverbrauch). Einen Einblick in den Stand der Forschung gibt der Tagungsband des Dritten Weltweiten Workshops zur Nahbereichs Bodensensorik, der in Zusammenarbeit vom ATB, Universität Potsdam (Dr. E. Lück) und IGZ (Dr. J. Rühlmann) organisiert wurde (GEBBERS *et al.* 2013).

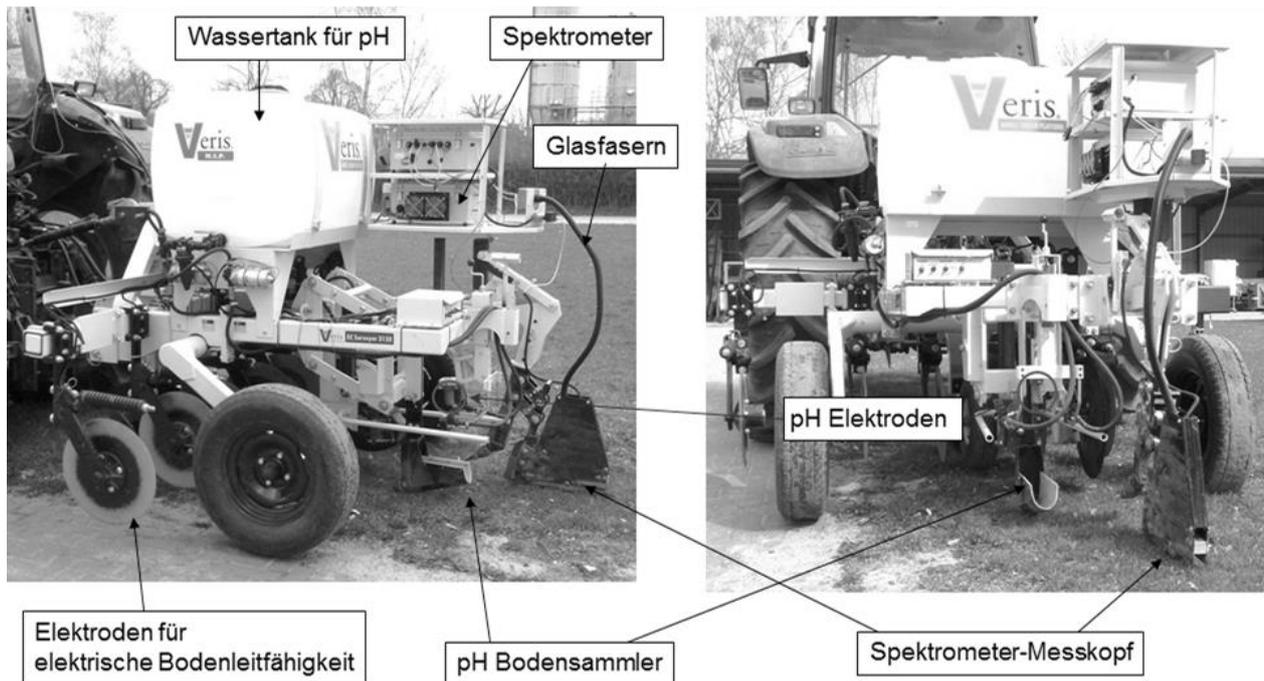


**Abbildung 3:** Aktuelle Messprinzipien und Entwicklungsstand entsprechender Bodensensorsysteme

## Bodenkartierung mit einer Multi-Sensor-Plattform

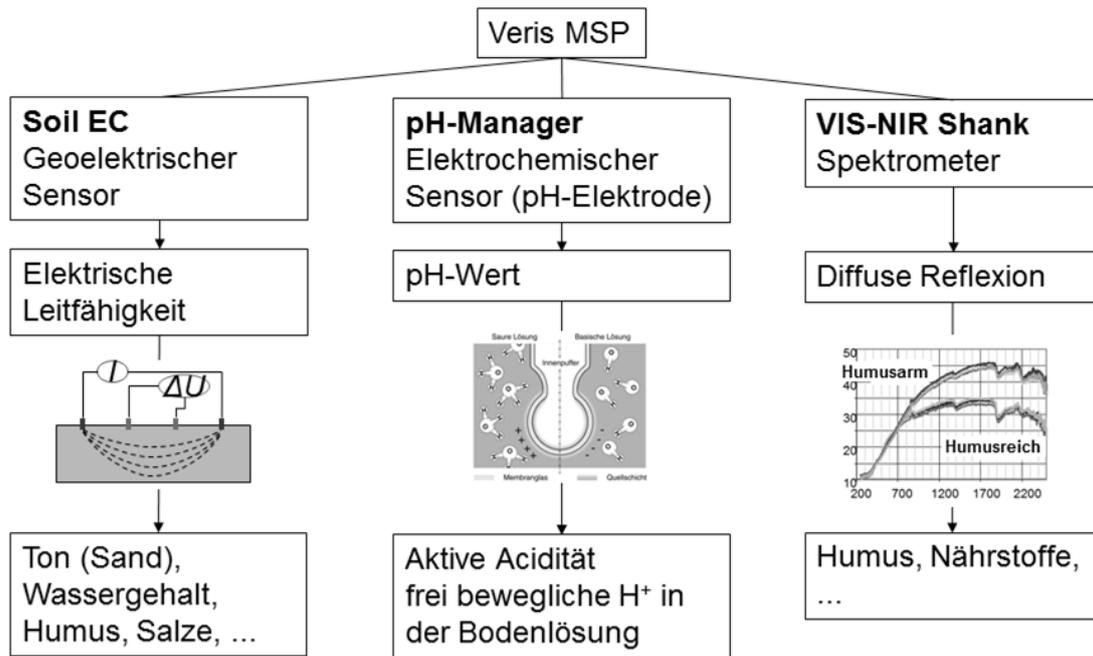
Unter den neueren Verfahren kommen ionenselektive Elektroden (speziell pH-Potentiometrie) und die diffuse Reflektionsspektrometrie im sichtbaren und nahinfraroten Bereich (VNIR) in kommerziellen Bodensensoren zum Einsatz. Unter anderem bietet die Firma Veris Technologies (Salinas, KS, USA) entsprechende Sensormodule an.

In Kooperation zwischen der Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswalde und dem ATB wurde aus Veris-Modulen ein Sensorsystem entwickelt, welches gleichzeitig die scheinbare elektrische Leitfähigkeit des Bodens, pH-Werte und VNIR-Spektren erfassen kann (**Abbildung 4** und **Abbildung 5**).



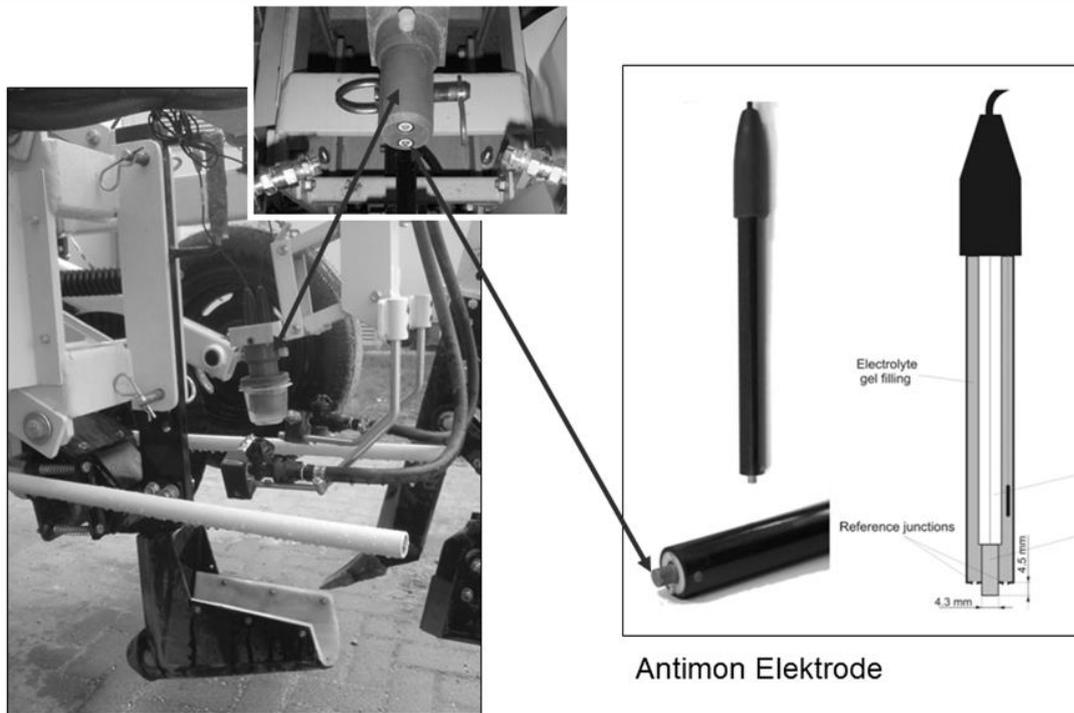
**Abbildung 4:** Multi-Sensor-Plattform. Gemeinsame Entwicklung der Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswalde (HNEE) und dem ATB unter Nutzung von Modulen der Firma Veris Technologies

Mit Hilfe der ECa sind Schlüsse insbesondere auf die Textur und den Wassergehalt möglich. Wobei die Messung auch durch Humusgehalt, Lagerungsdichte, Salzgehalt und Temperatur beeinflusst werden können, sodass die ECa ein vergleichsweise unspezifischer Indikator für produktionsrelevante Bodeneigenschaften ist. Die pH-Potentiometrie liefert dagegen sehr spezifische Informationen über den Anteil frei beweglicher Protonen in der Bodenlösung. Der pH-Wert ist ein pflanzenbaulicher Schlüsselfaktor, da er die Verfügbarkeit von Nähr- und Schadstoffen beeinflusst. VNIR-Spektren enthalten eine Vielzahl komplexer Informationen. Mittels chemometrischer Verfahren ist es möglich, Kalibriermodelle zur Schätzung des Humusgehaltes und einer Reihe von Nährstoffen zu erstellen.



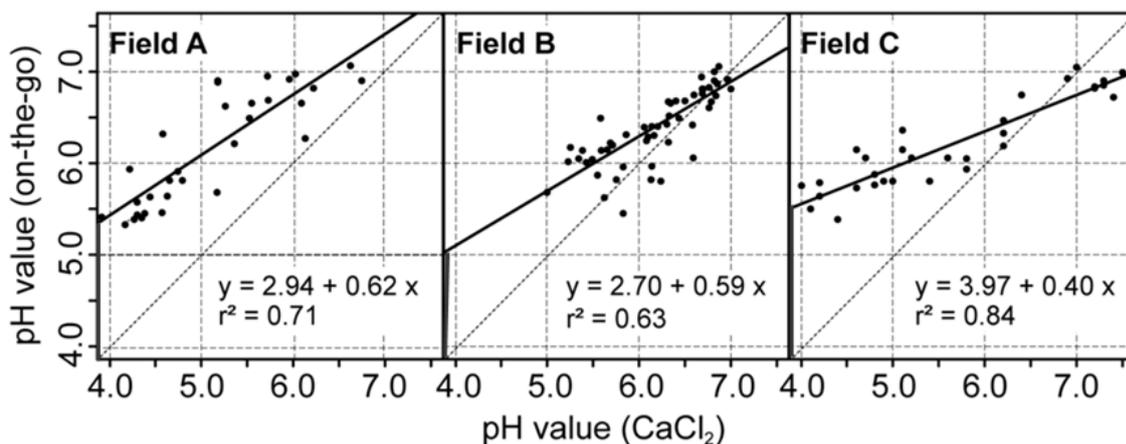
**Abbildung 5:** Sensor-Module, Messprinzipien und Zielgrößen der mobilen Sensorplattform

Die pH-Messung im Veris-Modul basiert auf Antimon-Elektroden (**Abbildung 6**). Sie sind wesentlich robuster als die üblicherweise im Labor verwendeten Glaselektroden. Antimon-Elektroden können direkt mit dem Boden in Kontakt gebracht werden, ohne mechanisch Schaden zu nehmen. Dadurch entfällt eine aufwändige, stöempfindliche Aufbereitung der Proben (Extraktion, Filterung) und es sind Messungen innerhalb von wenigen Sekunden möglich. Im Veris-Modul wird ein Probensammler hydraulisch auf und ab bewegt. In der unteren Position befindet er sich im Boden und nimmt während der Fahrt über seine ringförmige Öffnung Material auf, welches in der oberen Position mit den Elektroden in Kontakt gebracht wird. Die Messung dauert maximal 20 Sekunden bzw. so lang, bis die Messwerte stabil sind. Während der Probenehmer wieder nach unten fährt, erfolgt eine Reinigung der Elektroden durch mitgeführtes Wasser.



**Abbildung 6:** Aufbau des Veris-pH-Messmoduls

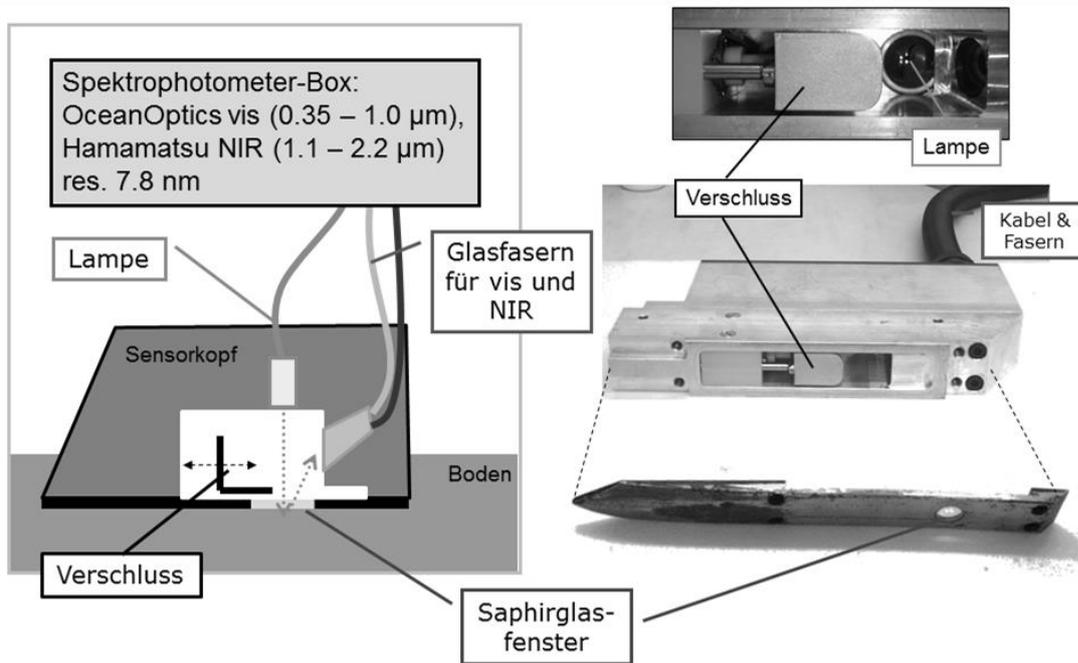
Die Messwerte der Antimon-Elektroden weisen eine enge lineare Beziehung zu Vergleichsdaten aus Messungen nach der Standardmethode auf (Glas-Elektrode, nach 30 min Extraktion in  $\text{CaCl}_2$ ). Allerdings können sich diese Beziehungen von Feld zu Feld unterscheiden, sodass eine spezifische Kalibrierung notwendig ist (**Abbildung 7**). SCHIRRMANN *et al.* 2011 liefern weitere Informationen zum Einsatz des pH-Sensors.



**Abbildung 7:** Beziehung zwischen pH-Messungen mit den Antimon-Elektroden (mobil, feldfrischer Boden) und Glas-Elektroden (Labor,  $\text{CaCl}_2$ -Extrakt, 30 min) (SCHIRRMANN *et al.* 2011)

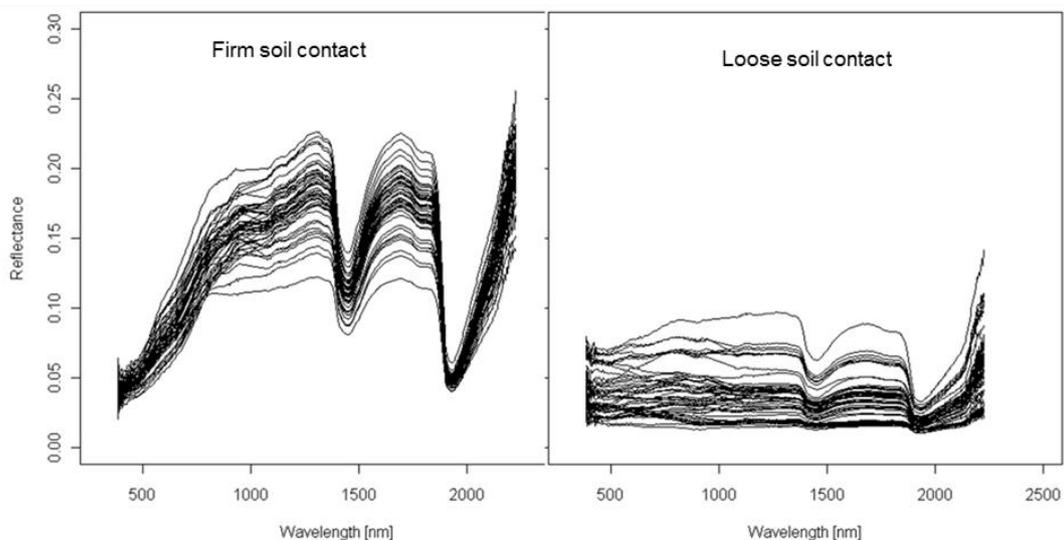
Der Aufbau des Spektrometer-Moduls ist **Abbildung 8** zu entnehmen. Auf der Unterseite des permanent im Boden geführten Sensorkopfes befindet sich eine Verschleißplatte mit einem Saphir-Fenster. Durch das Fenster wird der Boden beleuchtet. Die reflektierte

Strahlung wird über zwei Glasfasern aufgenommen und jeweils an ein Spektrometer für den sichtbaren Bereich ( $0,35 - 1,0 \mu\text{m}$ ) sowie den nah-infraroten Bereich ( $1,1 - 2,2 \mu\text{m}$ ) weitergeleitet.



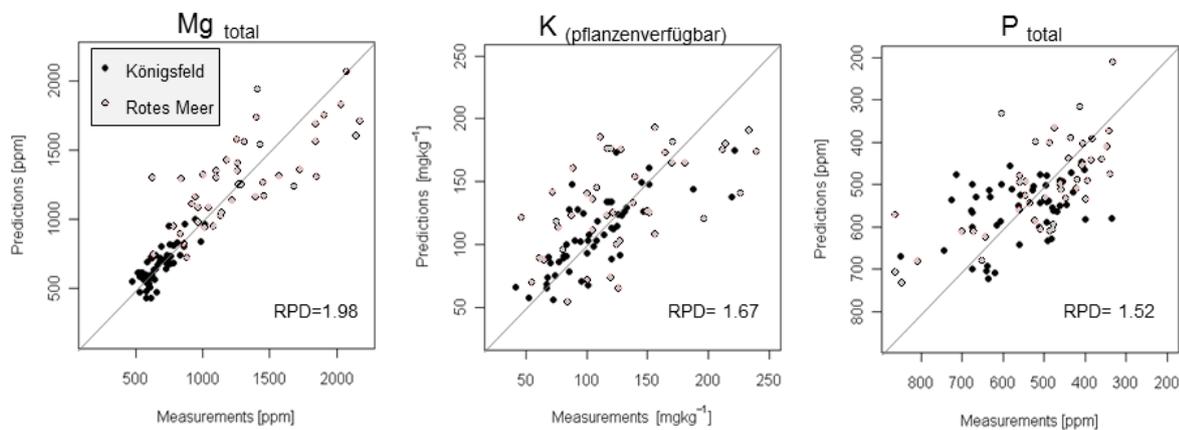
**Abbildung 8:** Aufbau des Veris-Spektrometer-Moduls

Die Qualität der Bodenspektren hängt sehr wesentlich von einem guten Kontakt zwischen Saphir-Glas und Boden ab (**Abbildung 9**). Vor einer weiteren Verwendung müssen die Spektren daher auf ihre Qualität geprüft und ggf. gefiltert werden. Da jeweils ein VNIR-Spektrum pro Sekunde aufgezeichnet wird, ist das Löschen von Spektren meist ohne große Verluste in der Informationsdichte möglich.



**Abbildung 9:** Bodenspektren unterschiedlicher Qualität. Links bei gutem Bodenkontakt, rechts bei schlechtem Bodenkontakt (SCHIRRMANN, KRAMER & GEBBERS 2011)

Mittels dem in der Chemometrie oft genutzten Verfahren der Partial Least Squares Regression (PLSR) ist es möglich, anhand von Referenzproben Kalibrierfunktionen zu erstellen, mit denen aus den Spektren auf die organische Substanz und verschiedene Nährstoffe geschlossen werden kann. Auch für die Kalibrierung ist es notwendig, feldspezifisch vorzugehen. D. h. es müssen Referenzproben von jedem Feld gesammelt, im Labor mit den Standardmethoden analysiert und dann mit den jeweiligen Spektren korreliert werden. Die Ergebnisse solcher Kalibrierungen werden beispielhaft in **Abbildung 10** gezeigt. Die Bodenproben stammen beide aus Brandenburg, und zwar aus der Uckermark (Rotes Meer) und vom Versuchsfeld des ATB in Potsdam (Königsfeld). Für Magnesium konnte ein sehr enger Zusammenhang mit hoher Vorhersagegenauigkeit (RPD) gefunden werden. Für Kalium und Phosphor sind die Vorhersagegenauigkeiten als gut zu bewerten.

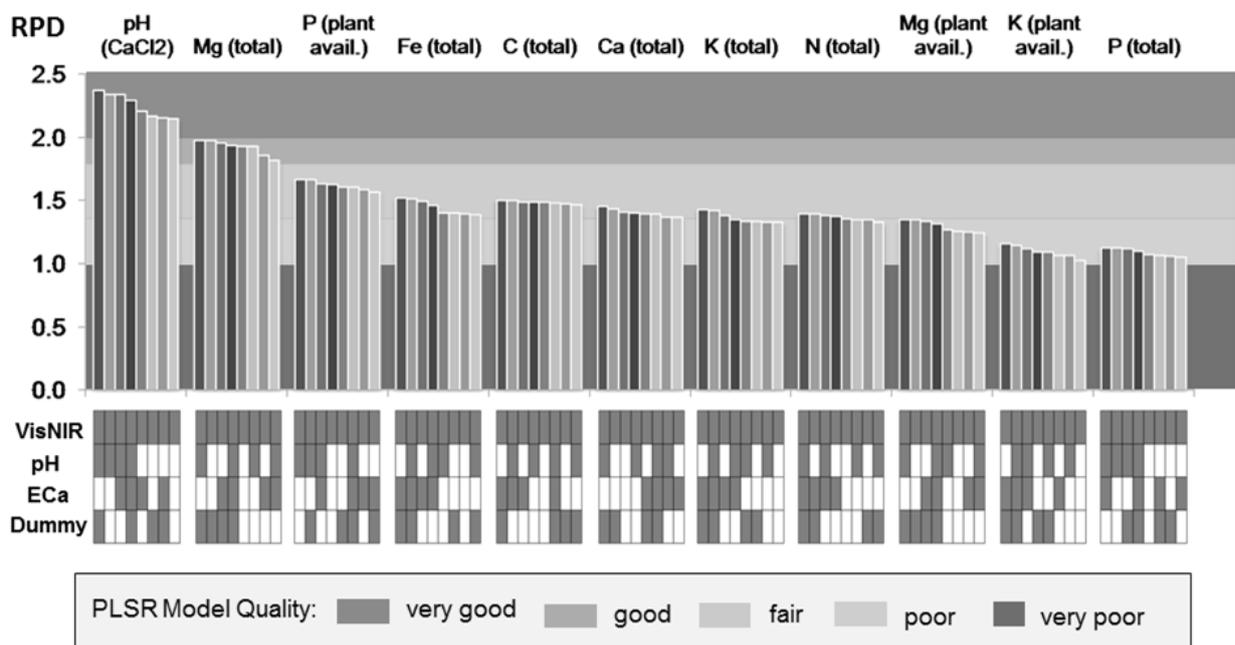


**Abbildung 10:** Vorhersagegenauigkeit von verschiedenen Nährstoffen mittels VNIR-Spektrometrie und Partial Least Squares Regression (RPD: ratio of prediction to deviation)

In weiteren Untersuchungen wurde der Nutzen der Sensorkombination für die Vorhersage verschiedener Bodenparameter bewertet. Die Kartierungen erfolgten auf drei benachbarten Schlägen in Wilmersdorf (Uckermark, Brandenburg). Es wurden 11 Bodenparameter betrachtet. Entsprechende Referenzuntersuchungen erfolgten an 216 Proben mittels der Standard-Labormethoden. Anhand dieser Referenzdaten wurden Kalibriermodelle mittels PLSR erstellt. Dabei wurden verschiedene Sensorkombinationen sowie schlagübergreifende bzw. schlagspezifische Kalibrierungen geprüft. Als Bewertungskriterium wurde das Verhältnis von Vorhersage zu Abweichung genutzt (RPD, ratio of prediction to deviation; VISCARRA ROSSEL *et al.* 2006). **Abbildung 11** fasst die Ergebnisse zusammen. Sie zeigt, dass die Vorhersagegüte für den pH-Wert am höchsten und für den Gesamt-P-Gehalt am geringsten ist. Dazwischen gruppieren sich 9 weitere Bodenparameter, wobei insbesondere die noch akzeptable Vorhersagen von pflanzenverfügbarem P bemerkenswert ist, da Phosphat ein sehr wichtiger Nährstoff ist, für den zudem eine Verteuerung aufgrund deutlich abnehmender Rohstoffvorkommen erwartet wird. Die unterschiedlichen Sensorkombinationen haben vergleichsweise geringe Aus-

wirkungen auf die Vorhersagegenauigkeit. Keineswegs führt die Kombination aller Sensoren zu den besten Ergebnissen.

Auch gibt es keine bestimmten Kombinationen, die durchweg bessere Ergebnisse liefern. Bereits durch den alleinigen Einsatz des VNIR-Spektrometers sind für die meisten der betrachteten Bodenparameter akzeptable bis sehr gute Vorhersage-Ergebnisse zu erzielen. Allerdings ist eine Kombination eines Spektrometers mit einem anderen Sensor immer besser als eine alleinige VNIR-Messung. Durchgängig – für 10 der 11 untersuchten Bodenparameter – zeigt sich die schlagspezifische Kalibrierung der schlagübergreifenden Kalibrierung überlegen. Weitere Ergebnisse sind SCHIRRMANN, GEBBERS & KRAMER (2013) zu entnehmen.



**Abbildung 11:** Qualität von Kalibriermodellen für Boden-pH und Nährstoffe in Abhängigkeit von der Sensorkombination (RPD: ratio of prediction to deviation, Dummy: Indikator für schlagübergreifende und schlag-spezifische Kalibrierung) (SCHIRRMANN, KRAMER & GEBBERS 2011)

## Diskussion

Nachdem über viele Jahre geo-elektrische Messverfahren die sensorgestützte Bodenkartierung dominiert haben, stehen nun neue Sensoren zur Verfügung, welche eine unmittelbarere Erfassung pflanzenbaulich relevanter Bodenparameter erlauben. Insbesondere die pH-Kartierung funktioniert bereits recht zuverlässig und liefert, im Gegensatz zur ECa, einen direkt für die Düngung verwertbaren Parameter. Die VNIR-Spektrometrie eröffnet die Möglichkeit, eine Vielzahl von Bodenparametern gleichzeitig zu schätzen. Allerdings ist die Messmethode vergleichsweise stör anfällig. Weiterhin muss von einem hohen Kalibrieraufwand ausgegangen werden, da in VNIR-Spektren nur wenige der interessierenden Bodenparameter direkt abgebildet werden. Während Vis-Spektrometer (400 bis 900 nm) bereits für weniger als 2.000 € angeboten werden, sind Spektrometer, die den nahen bis mittleren infraroten Bereich abdecken, wesentlich

teurer. Die langwelligeren Regionen, insbesondere im kurzwelligen und mittleren Infrarot (1,1 – 7  $\mu\text{m}$ ), sind jedoch besonders interessant, da hier Spektralbänder definierten chemischen Verbindungen eindeutig zugeordnet werden können. Die mobile Bodenspektroskopie kann durch neue technische Lösungen und Kalibrierverfahren verbessert werden. Darüber hinaus wird es jedoch sinnvoll sein, unterschiedliche Sensoren zu kombinieren, um einerseits möglichst viele Parameter gleichzeitig zu erfassen und andererseits Schwächen einzelner Sensoren auszugleichen. Anforderungen und Probleme der modernen, sensorbasierten Bodenkartierung sind in **Tabelle 1** zusammengefasst.

**Tabelle 1:** Anforderungen und Probleme der sensorgestützten Bodenkartierung für die Landwirtschaft

Anforderung	Problem
Flächendeckende Messung	Befahrbarkeit, Beobachtungsfläche, -volumen, (Zeit-)Aufwand
Schnell (On-line), am besten zusammen mit Applikation	Genauigkeit, Nachbearbeitung, Interpretation
Kostengünstig	Genauigkeit
Pflanzenbaulich relevante (interpretierbare) Parameter	Indirekte Messmethoden
Einfach zu bedienen	Anzahl der Bodenparameter, Genauigkeit
Viele Parameter gleichzeitig	Sensorfusion ist anspruchsvoll
Daten $\neq$ Information	Dateninterpretation

## Literaturverzeichnis

**GEBBERS R., LÜCK E., DABAS M., DOMSCH H. (2009):** Comparison of instruments for geoelectrical soil mapping at the field scale. *Near Surface Geophysics* 7(3): 179-190

**GEBBERS R., LÜCK E., RÜHLMANN J. (2013):** 3rd global workshop on proximal soil sensing. Proceedings, Potsdam, Germany, 26-29 May 2013, *Bornimer Agrartechnische Berichte* 82

**SCHIRRMANN M., GEBBERS R., KRAMER E. (2013):** Performance of automated near infrared reflectance spectrometry for continuous in-situ mapping of soil fertility at field scale. *Vadose Zone Journal* 12(3): 1-7

**SCHIRRMANN M., GEBBERS R., KRAMER E., SEIDEL J. (2011):** Soil pH mapping with an on-the-go sensor. *Sensors* 2011(1): 573-598

- SCHIRRMANN M., KRAMER E., GEBBERS, R. (2011):** Evaluation of a soil sensor fusion for mapping macronutrients and soil pH. Second Global Workshop on Proximal Soil Sensing. Montreal, Kanada: 48-51
- VISCARRA ROSSEL R. A., MCGLYNN R. N., MCBRATNEY A. B. (2006):** Determining the composition of mineral-organic mixes using UV-vis-NIR diffuse reflectance spectroscopy. Geoderma 137: 70-82
- VISCARRA ROSSEL R. A., MCBRATNEY A. B., MINASNY B. (2010):** Proximal soil sensing. Preface. Springer, Dordrecht, The Netherlands



# Sensorgesteuerte Applikation von Pflanzenschutzmitteln

Karl-Heinz Dammer

*Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e. V., Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam  
E-Mail: kdammer@atb-potsdam.de*

## Einleitung

Schaderreger und Unkräuter treten in landwirtschaftlichen Kulturen zum Zeitpunkt einer sinnvollen chemischen Kontrollmaßnahme in der Regel nesterweise auf. Die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln durch den Landwirt erfolgt jedoch meist flächeneinheitlich mit einer konstanten Applikationsmenge. Das bedeutet aus ökonomischer, ökologischer und energetischer Sicht einen nicht optimalen Einsatz von Betriebsmitteln im Produktionsprozess pflanzlicher Güter. Eine Lösung dieses Problems in der Praxis macht es notwendig, Heterogenität im Schaderreger- und Unkrautauftreten innerhalb eines Feldes bei der Durchführung von Pflanzenschutzmaßnahmen mit einzubeziehen. Für die Pflanzenschutzforschung müssen raum-zeitliche Prozesse des Schaderregerauftretens (Dispersionsdynamik) innerhalb eines Feldes zukünftig mehr betrachtet werden, um dem integrierten Pflanzenschutz gerecht zu werden und chemische Maßnahmen auf ein notwendiges Maß zu beschränken.

Die Einbeziehung von Heterogenitäten bedeutet, das Schaderreger- und Unkrautauftreten im Applikationsprozess von Pflanzenschutzmitteln mit einzubeziehen, was eine sensorgestützte Erfassung von Schaderregern und Unkräutern erfordert. Auf Grund der schnellen Ausbreitung insbesondere von pilzlichen und tierischen Schaderregern ist in der Praxis die Anwendung von online oder Echtzeittechnologien unbedingt erforderlich. Die Erfassung und Applikation müssen in einen Arbeitsgang erfolgen. Die Sensorwerte dienen dann als Sollwertvorgabe in einem Steueralgorithmus zur Istwertanpassung (Applikationsmenge) an der Feldspritze. In Feldbereichen mit geringerem Schaderreger- und Unkrautauftreten wird die Applikationsmenge reduziert. Bei der am ATB entwickelten Applikationstechnologie erfolgt eine lineare Anpassung der Applikationsmenge zwischen Minimal- und Maximalwert des Sensorwertes.

## Sensorgesteuerte Herbizidapplikation

Die erste Sensorentwicklung am ATB für die Unkrauterfassung war ein optoelektronischer Sensor. In Zusammenarbeit mit den Firmen Symacon Barleben, Müller-Elektronik Salzkotten und BBG/Amazone Leipzig wurde die sensorgestützte Steuerung einer handelsüblichen Feldspritze entwickelt. In Vergleich zu einer flächeneinheitlichen Applikation wurden in einem mehrjährigen Praxistest Mitteleinsparungen von durchschnittlich

rund 20 % ohne Ertragseinbußen und ohne stärkeres Unkrautatreten erreicht (DAMMER & WARTENBERG 2007).

Die Entwicklung einer Applikationstechnologie auf Basis einer Multispektralkamera ermöglichte es, die Parameter Anzahl Unkräuter pro Flächeneinheit und Unkrautdeckungsgrad direkt während der Überfahrt zu ermitteln. Praxisversuche mit dieser kamerabasierten Technologie (**Abbildung 1**) ergaben Mitteleinsparungen von 20 % in Wintergerste und 16 bzw. 20 % in Feldmöhren (DAMMER *et al.* 2012a, 2014).



**Abbildung 1:** Sensorgestützte Herbizidapplikation in Wintergerste

Der Kamerasensor erfasst funktionsbedingt die Verunkrautung in der Fahrgasse bzw. zwischen den Kulturpflanzenreihen. Daher wird die Applikationsmenge nur bis 50 % bei konstanter Mittelkonzentration im Spritzentank reduziert. Im Gegensatz zu „An-/Austechnologien“ der Feldspritze bleiben beim ATB-Verfahren keine Feldbereiche unbehandelt, wo es in Folge zur Samenausbreitung nicht bekämpfter Unkräuter kommt.

### **Sensorgestützte Fungizidapplikation**

Zurzeit sind keine Technologien marktverfügbar, die Pflanzenkrankheiten während der Überfahrt mit praxisüblichen Geschwindigkeiten erfassen. Daher wurde am ATB ein Applikationsverfahren entwickelt, was die örtliche Pflanzenoberfläche bzw. -biomasse als Sollwertvorgabe nutzt. Bei der Fungizidspritzung muss die Benetzung der Pflanzenoberfläche und das Erreichen einer bestimmten Mittelkonzentration im Pflanzenkörper

gewährleistet werden. Der erste am ATB bis zur Marktverfügbarkeit entwickelte mechanische Sensor war das CROP-Meter, mit dem in langjährigen Praxisversuchen durchschnittliche Mitteleinsparungen von 22 % ohne Ertragsverlust und ohne stärkeres Krankheitsauftreten erreicht wurden (DAMMER & EHLERT 2006). Die Kombination dieses Sensors mit einer Applikationskarte erbrachte Mitteleinsparungen von sogar 33 % (DAMMER *et al.* 2009).

Zurzeit wird am ATB eine Applikationstechnologie entwickelt, die den Kulturpflanzendeckungsgrad als Sollwertvorgabe für die Pflanzenschutzspritze nutzt. Dieser Parameter wird mit Hilfe der oben genannten Multispektralkamera ermittelt. Ein erster Praxistest ist im Jahr 2014 in Winterweizen erfolgt (**Abbildung 2**). Neben Forschungsaktivitäten zur Phytophthoraabekämpfung in Kartoffeln koordiniert das ATB zurzeit das BLE geförderte Forschungsprojekt zur sensorgestützten Fungizidanwendung in Getreide „FungiPrecise“ (Förderkennzeichen 2814704511), in dem die Firmen ProPlant Münster und Agricon Jahna beteiligt sind.



**Abbildung 2:** Sensorgestützte Fungizidapplikation in Winterweizen innerhalb des BLE-Forschungsprojektes „FungiPrecise“ (Förderkennzeichen 2814704511).

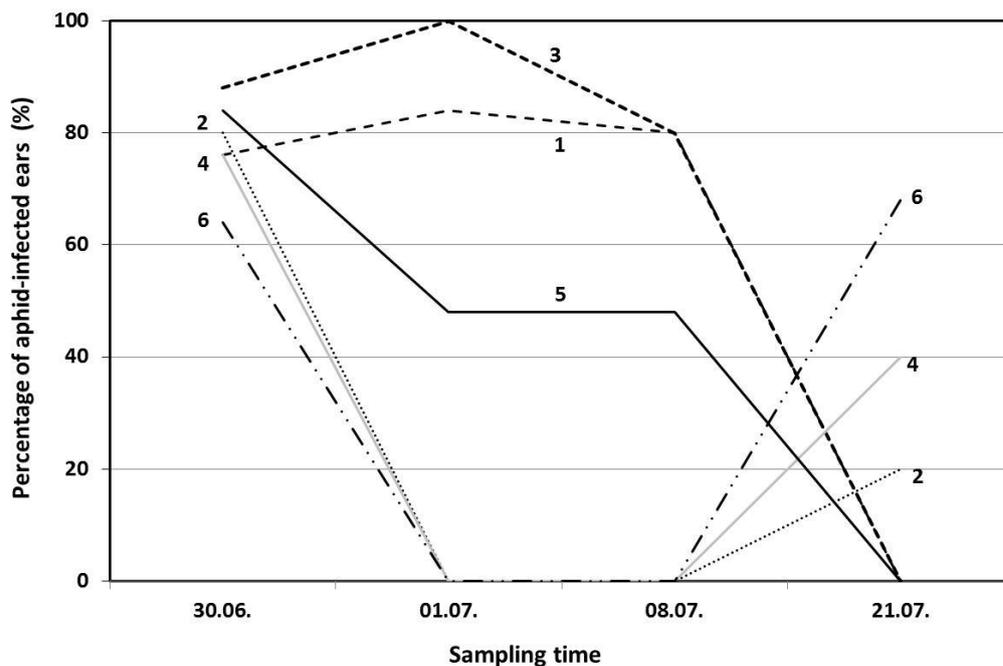
### **Sensorgestützte Insektizidapplikation – Agroökosystemforschung**

Eine dem Schaderregerauftreten angepasste Insektizidapplikation kann Agroökosysteme weniger stören als eine flächeneinheitliche Applikation. Detektionstechnologien für Insekten sind zurzeit jedoch nicht marktverfügbar.

Blattläuse können in Jahren des Massenauftretens erhebliche Schäden in Getreide verursachen. Eine Insektizidspritzung ist daher gegebenenfalls erforderlich. Eine vollständige Vernichtung der Blattläuse hat aber auch das Verschwinden der Nützlinge im jeweiligen Feld, wie des Marienkäfers, zur Folge. Es spielt dabei keine Rolle, ob dabei nützlingsschonende Insektizide angewendet werden oder nicht.

Die Abreife in wachstumsheterogenen Feldbereichen ist unterschiedlich. Wachstums- und damit ertragsschwache Bereiche werden bis zu einem Monat eher reif. Sie müssen daher nicht solange vor einem Blattlausbefall geschützt werden. Sie sind früher unattraktiv für Blattläuse als ertragsreichere Bereiche. Die Schadwirkung der Blattläuse ist daher in heterogenen Beständen unterschiedlich. In einem funktionierenden Agroökosystem innerhalb eines Feldes sollten Gegenspieler der Schadinsekten geschützt werden.

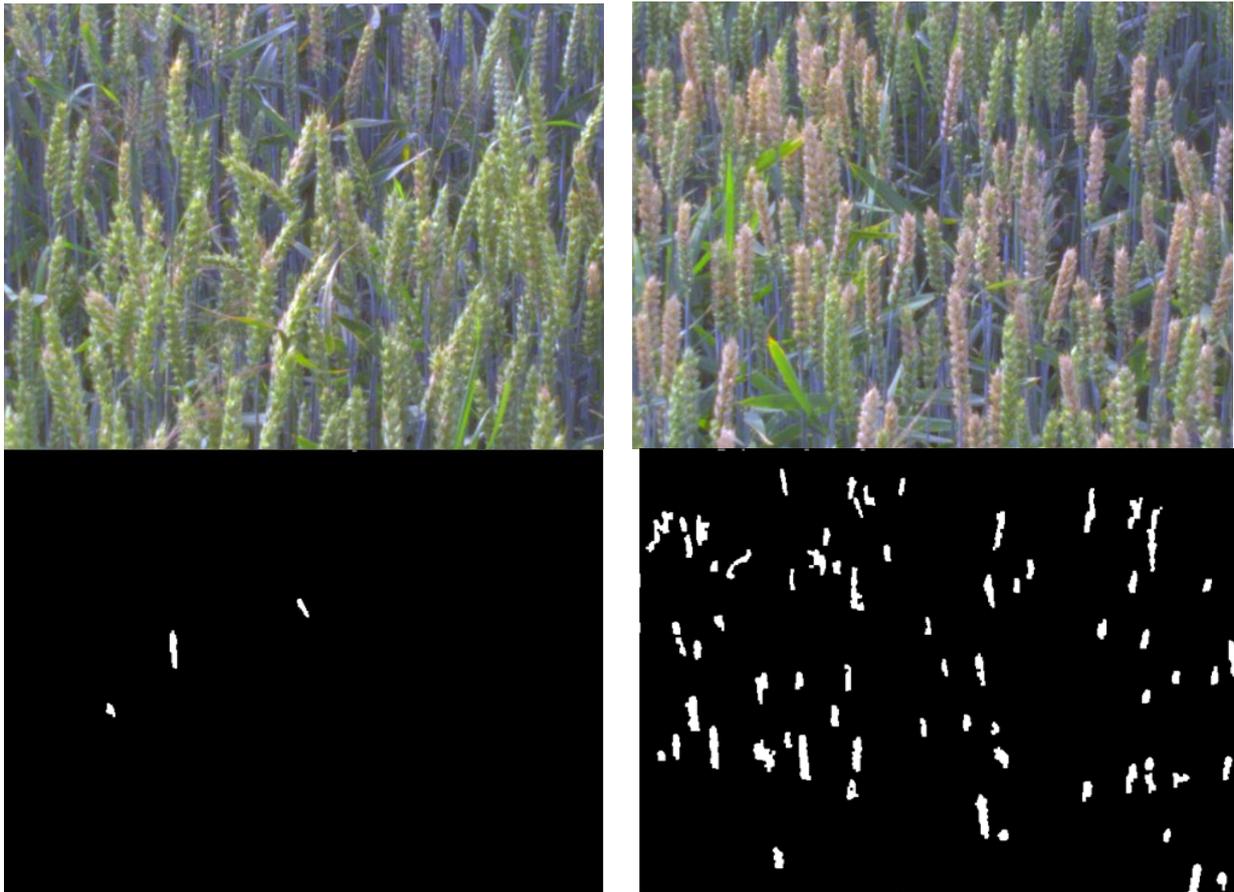
Mit Hilfe des mechanischen CROP-Meter-Sensors erfolgte während der Milchreife eine der Pflanzenoberfläche bzw. Biomasse angepasste Insektizidapplikation (DAMMER & ADAMEK 2012b). In schwachwüchsigen eher abreifenden Feldbereichen wurde die Applikationsmenge reduziert. Das hatte das Überleben der Blattläuse in diesen Bereichen zur Folge. Starkwüchsige Bereiche mit der vollen Applikationsmenge waren 1 Tag nach der Applikation blattlausfrei (**Abbildung 3**). Durch den schnellen Reifeprozess waren 1 Woche nach Applikation dann jedoch die schwachwüchsigen Bereiche blattlausfrei (2, 4, 6). Diese wanderten zu den noch grünen starkwüchsigen Bereichen (1, 3, 5). Nach Erstbesiedlung der schwachwüchsigen Feldbereiche mit Marienkäfern folgten diese den Blattläusen in die noch grünen Feldbereiche. Dort wurde dadurch eine erneute Massenvermehrung und demzufolge eine zweite Insektizid-Applikation verhindert.



**Abbildung 3:** Prozentualer Anteil mit Blattläusen befallener Winterweizenähren (N=25) an 6 Stichprobenpunkten und 4 Boniturzeitpunkten

## Detektion von Pflanzenkrankheiten

Wie bereits oben erwähnt, ist zurzeit unter Feldbedingungen eine Detektion von Pflanzenkrankheiten in einem frühen Stadium während der Überfahrt nicht möglich. Erreichen die Symptome jedoch eine bestimmte Größe und besteht ein genügender Kontrast im Pflanzenbestand, ist eine Detektion möglich. Mit Hilfe der Multispektralkamera gelang eine Erkennung der Symptome der Partiellen Taubährigkeit (*Fusarium ssp.*) in unterschiedlich anfälligen Winterweizensorten (**Abbildung 4**).



**Abbildung 4:** Farbbilder (oben) einer schwach (rechts) und einer stark anfälligen (links) Winterweizensorte sowie die dazugehörigen Binärbilder der Multispektralkamera (unten).

Es konnte eine Korrelation des Sensorwertes mit den manuellen Bonituren gefunden werden (DAMMER *et al.* 2011). Werden die Sensorwerte zusammen mit der GPS-Position aufgezeichnet, kann eine Befallskarte erstellt werden. Mit Hilfe dieser Karte könnte zukünftig beispielsweise mit Hilfe eines Mähdreschers mit zwei Abbunkerbehältern stark und schwach befallene Feldbereiche getrennt geerntet werden.

## Detektion von Unkrautarten

Die Beifußblättrige Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia* L.) ist eine aus Amerika stammende Unkrautart, die sich in Europa immer mehr ausbreitet. Diese bildet zur Blüte

enorme Mengen Pollen, was zu Allergien beim Menschen führen kann. Um der Ausbreitung entgegenzuwirken, sind Nester bzw. Einzelpflanzen aufzufinden und zu vernichten. Ein kameragestütztes automatisiertes Monitoring setzt spektrale Unterschiede zu anderen Pflanzenarten voraus. Unter Laborbedingungen erfolgten hochauflösende Bildaufnahmen mit einem Hyperspektralscanner (**Abbildung 5**) von Ambrosie und Gemeinem Beifuß, mit der die Pflanze auf Ruderalflächen vergesellschaftet ist. Beide Pflanzenarten sind schwer zu unterscheiden. Die Ambrosie konnte anhand der Stiele im sichtbaren (DAMMER *et al.* 2012c) als auch im nicht sichtbaren nahen Infrarotbereich (DAMMER *et al.* 2012d) des Lichtes erkannt werden.



**Abbildung 5:** Hyperspektralscanner (links) und Versuchsaufbau (rechts)

## Literaturverzeichnis

- DAMMER K.-H., EHLERT D. (2006):** Variable-rate fungicide spraying in cereals using a plant cover sensor. *Precision Agriculture* 7:137-148
- DAMMER K.-H., WARTENBERG G. (2007):** Real-time site specific weed management with variable herbicide rates. *Crop Protection* 26: 270-277
- DAMMER K. H., THÖLE H., VOLK T., HAU B. (2009):** Variable-rate fungicide spraying in real time by combining a plant cover sensor and a decision support system. *Precision Agriculture* 10: 431-442
- DAMMER K.-H., MÖLLER B., RODEMANN B., HEPPNER D. (2011):** Detection of head blight (*Fusarium* spp.) in winter wheat by color and multispectral image analyses. *Crop Protection* 30: 420-428
- DAMMER K.-H., BÖTTGER H., WARTENBERG G., ROSENAU R. (2012a):** Echtzeitregelung der Applikationsmenge bei der Herbizidanwendung mit Hilfe eines Kamerasensors. *Julius-Kühn-Archiv* 434: 191-198

- DAMMER K.-H., ADAMEK R. (2012b):** Sensor-based Insecticide spraying to control cereal aphids and preserve lady beetles. *Agronomy Journal* 104: 1694-1701
- DAMMER K.-H., INTRESS J., BEUCHE H., SELBECK J., DWORAK V. (2012c):** Discrimination of *Ambrosia artemisiifolia* L. and *Artemisia vulgaris* L. by hyperspectral image analysis during the growing season. *Weed Research* 53: 146-156
- DAMMER K.-H., INTRESS J., BEUCHE H., SELBECK J., DWORAK V. (2012d):** Hyperspektrale Bildanalyse zur Detektion von Beifußblättriger Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*). In: CLASEN M., KERSEBAUM K. C., MEYER-AURICH A., THEUVSEN B. (Hrsg.), *Massendatenmanagement in der Agrar- und Ernährungswirtschaft*, Bonn, Köllen Druck und Verlag: 59-62
- DAMMER K.-H., BÖTTGER H., WARTENBERG G., WEINHOLD F. (2014):** Teilflächenspezifisches Herbizidsplitting in Feldmöhren entsprechend sensorbasierter Erfassung der verunkrautung. *Julius-Kühn-Archiv* 443: 404-411



# Robotik in der Landwirtschaft – Das Projekt MARS

Henning Jürgen Meyer

*Technische Universität Berlin, Fachgebiet Konstruktion von Maschinensystemen, Straße des  
17. Juni 144, 10623 Berlin  
E-Mail: henning.meyer@tu-berlin.de*

**Zusammenfassung:** Die Mechanisierung der Landwirtschaft hat in den letzten Jahrzehnten enorme Fortschritte erfahren. Ein Trend ist die Automatisierung von Arbeitsprozessen mit Hilfe von Robotern. Im folgenden Beitrag wird auf diesen Trend näher eingegangen. Weiterhin wird beschrieben, wie die Robotik in der Landwirtschaft in die universitäre Lehre der Technischen Universität Berlin gemeinsam mit dem Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim integriert wird.

## 1 Robotik für die Mechanisierung der Landwirtschaft

Zentrale Aufgabe der Landwirtschaft ist es, ausreichend Nahrungsmittel für die Ernährung von Menschen und Nutztieren zu produzieren. Seit der frühen Steinzeit, als die Menschen begannen sesshaft zu werden, gezielt Pflanzen züchteten und Tiere hielten, wurden Geräte und Maschinen entwickelt, um die anfallenden Arbeiten erledigen zu können. Man denke an Hacken zum Bearbeiten des Bodens oder Scheren und Messer zum Scheren von Schafen. Die eigentliche Mechanisierung begann aber erst im 19. Jahrhundert, als mit Dampfmaschinen auch größere Geräte angetrieben werden konnten, z. B. Dampfpflüge. Einen besonderen Sprung machte die Mechanisierung im letzten Jahrhundert, als der Landwirtschaft immer weniger Arbeitskräfte zur Verfügung standen, leistungsfähige, preiswerte Antriebstechnologien zur Verfügung standen und auch neue Produktionsverfahren eingeführt worden sind.

Die grundsätzlichen Aufgaben der Mechanisierung der Landwirtschaft sind u. a. nach SCHÖN *et al.* (1998):

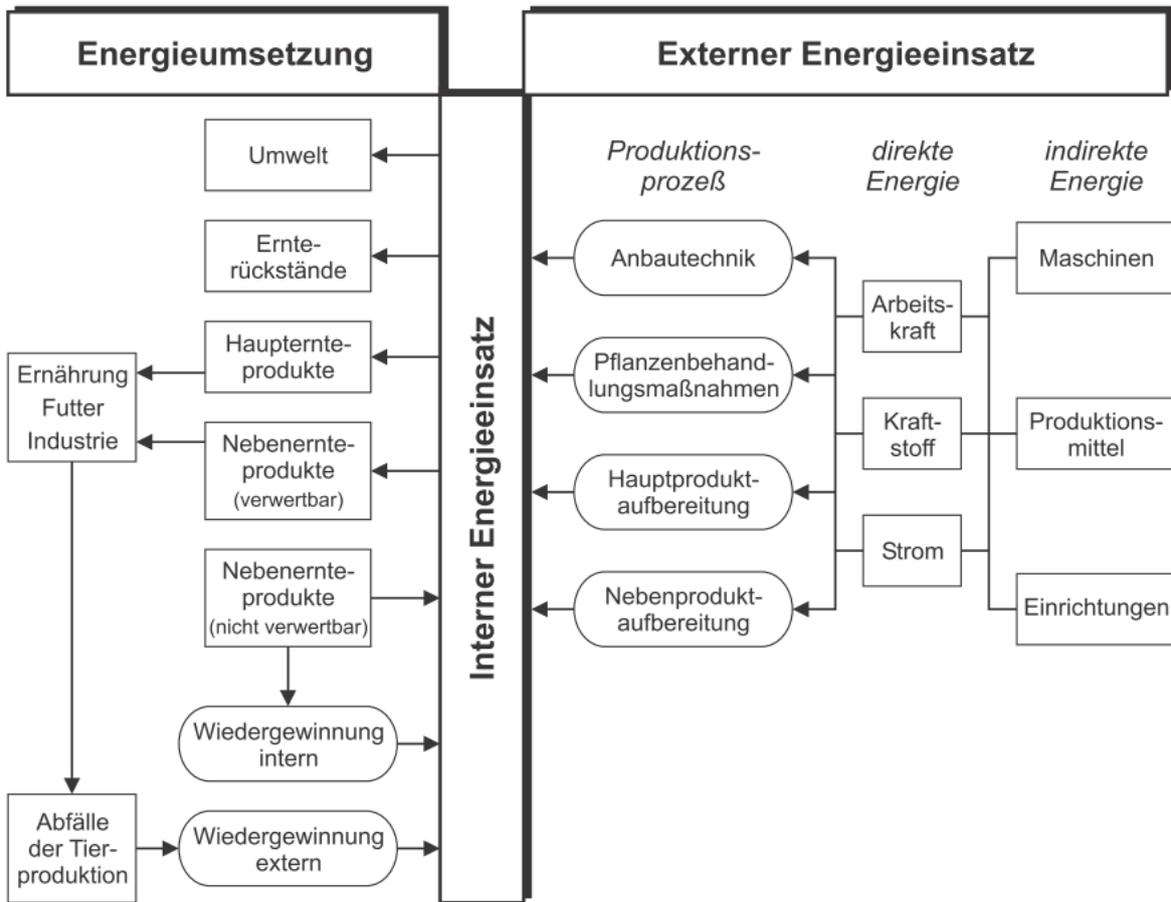
- Produktionsverbesserung
- Steigerung der Erträge der pflanzlichen und tierischen Produktion
- Reduzierung der Verluste
- Sicherstellung der Produktqualität
- Verbesserung der Arbeitsproduktivität
- Reduzierung der Arbeitszeit
- Rationalisierung der Arbeitsverfahren
- Verbesserung der Arbeitsbedingungen für Menschen

Diese Ziele führen zu einer gesteigerten Produktivität und einem verbesserten Einsatz der Produktionsmittel. Somit gelten für die Landwirtschaft die gleichen Grundlagen und Randbedingungen wie für die industrielle Produktion anderer Güter, wie PKW und Haushaltswaren. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass die Landwirtschaft sehr stark von äußeren, nicht beeinflussbaren Randbedingungen abhängig ist, wie Wetter, Bodenverhältnissen usw. Aus diesem Grund dürfen ökologische Ziele nicht außer Acht gelassen werden:

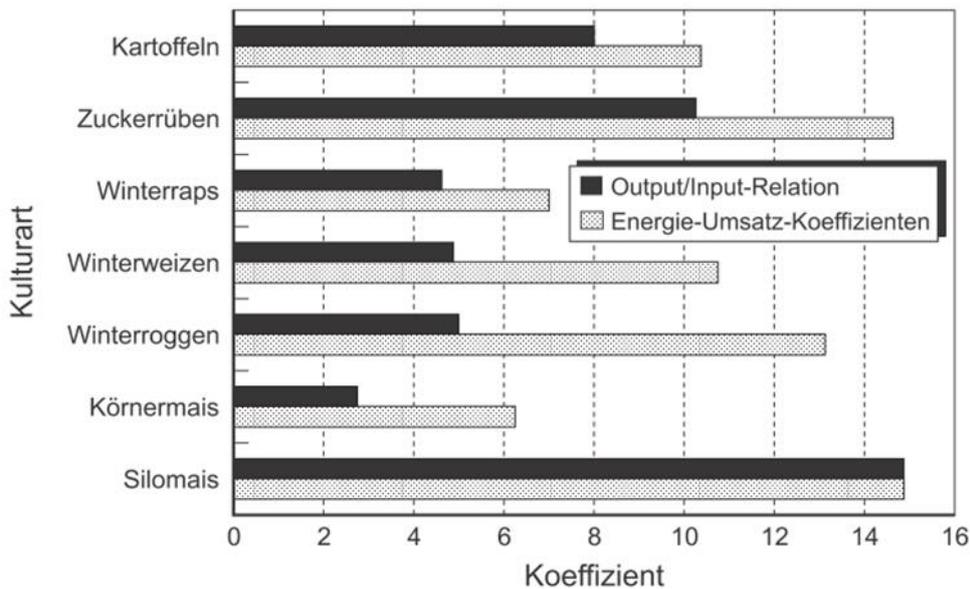
- Verbesserung der Ökologie
- Reduzierung der Umweltbelastungen
- Schonung der Böden
- Verringerung des Energiebedarfs
- Erschließung und Nutzung alternativer Rohstoffe und Energien
- Wiederverwendung von Roh- und Energiestoffen
- Anwendung tiergerechter Haltungsformen
- Verbesserung der Ergonomie

**Abbildung 1** zeigt ein Modell des Energieeinsatzes und der Energieumsetzung für die Pflanzenproduktion von DIEPENBROCK *et al.* (1995). In diesem Modell wird zwischen einem internen und externen Energieeinsatz unterschieden. Der externe Energieeinsatz beinhaltet den Input an direkten und indirekten Energieformen für die verschiedenen Produktionsprozesse, die Anbautechniken usw. Der interne Energieeinsatz entspricht der Sonnenenergie, die in die Formen Umweltenergie, Energieinhalt der Ernterückstände und Haupternteprodukte usw. umgesetzt wird. Eine interne Energiewiedergewinnung stellen die nicht verwertbaren Nebenernteprodukte dar. Ein Beispiel für eine externe Wiedergewinnung sind Abfälle aus der Tierproduktion.

In **Abbildung 2** sind beispielhaft der Energie-Umsatz-Koeffizient und die Output/Input-Relationen für verschiedene Kulturarten dargestellt. Der Energie-Umsatz-Koeffizient beschreibt nach DIEPENBROCK *et al.* den Quotienten aus dem Energieertrag der gesamten oberirdischen Biomasse und dem Energieaufwand an fossiler Energie (DIEPENBROCK *et al.* 1995). Die Output/Input-Relation beschreibt das Verhältnis von dem Energieertrag des Haupternteproduktes zu fossilem Energieaufwand. Aus dieser Graphik geht hervor, dass die Landwirtschaft mehr Energie erzeugt, als sie an fossiler Energie verbraucht. Weitere Steigerungen der Energieeffizienz und der Prozesseffizienz sind trotz der positiven Output/Input-Relation notwendig. Weiterhin gilt es den Menschen von anstrengenden und z. T. gesundheitsgefährdenden Arbeiten zu entlasten.



**Abbildung 1:** Modell der Energieumsetzung in der Pflanzenproduktion nach DIEPENBROCK 1995



**Abbildung 2:** Energie-Umsatz-Koeffizienten und Output/Input-Relationen verschiedener Kulturarten nach DIEPENBROCK 1995

Ein wirkungsvoller Ansatz ist die Robotik. Laut dem Duden versteht man unter einem Roboter einen „Automat, der ferngesteuert oder nach Sensorsignalen bzw. einprogrammierten Befehlsfolgen anstelle eines Menschen bestimmte mechanische Tätigkeiten verrichtet“ (DUDEN 2012). In der Landwirtschaft befindet sich der Robotereinsatz erst am Anfang. Mittlerweile werden verstärkt Melkroboter eingesetzt. Im Pflanzenbau gibt es ebenfalls entsprechende Systeme. Im weitesten Sinne können automatisch fahrende und geregelte Erntemaschinen wie Mähdrescher auch als Roboter verstanden werden.

## **2 Entwicklungstendenzen**

Die oben skizzierte Situation definiert die Entwicklungsaufgaben für die moderne und zukünftige Landtechnik. Diese sind:

- Leistungsfähigere Maschinen
- Steigerung der Energieeffizienz
- energiesparende und umweltschonende Arbeitsverfahren der Maschinen
- zunehmende Automatisierung von Prozessen in Maschinen
- Nutzung umweltschonender Energiequellen, wie Wasser, Wind- und Solarenergie
- angepasste Maschinen und Technologien
- Entlastung der Menschen von z. T. gesundheitsgefährdenden Arbeiten

Generell ist festzustellen, dass es gilt, die vorhandenen Ressourcen effektiver und umweltschonender einzusetzen. Hieraus resultiert wiederum die Forderung, dass die Technologien flexibler sein müssen, um besser an die jeweiligen Randbedingungen angepasst werden zu können.

## **3 Projekt Mobile Arbeitsrobotersysteme an der Technischen Universität Berlin**

Die oben genannten und sich ändernden Anforderungen an die Entwicklung der zukunftsfähigen Landtechnik verlangen auch einen Wandel der Kompetenzen und Fähigkeiten der Menschen in der Produktentwicklung, was sich selbstverständlich auch auf die Lehre an den Hochschulen auswirkt. Die heutigen Ziele der Hochschullehre können folgendermaßen charakterisiert werden, wie sie beispielhaft für den Studiengang Informationstechnik im Maschinenwesen der TU Berlin genannt werden (ITM-09):

- Erkennen, Beurteilen technischer Zusammenhänge bei der Weiterentwicklung der Konstruktion, Produktion und Prozesstechnik unter Anwendung der Informationstechnik
- Die Befähigung zum Einbringen informationstechnischer Methoden und Verfahren in technische Anwendungen

- Das Erkennen und Beurteilen von Einflüssen auf Technik und Umwelt
- Das Nachvollziehen und Beeinflussen des schnellen technologischen Wandels in Forschung und Anwendung
- Selbständiges, eigenverantwortliches Arbeiten

Um diesen Zielen gerecht zu werden, wurde an der Technischen Universität Berlin gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration IZM Applikationszentrum „Smart System Integration“ und dem Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e. V. das Modul Mobile Arbeitsrobotersysteme – MARS entwickelt. 2009 wurde dieses Projekt mit dem Ziel gestartet, den Studierenden ein Lehrprojekt anzubieten, in dem die Grundkenntnisse über die Arbeitsrobotik vermittelt und angewendet werden. Die Ziele sind im Einzelnen:

- Kenntnisse:
  - o über mobile Arbeitsmaschinen und mobile Roboter
  - o über Agrartechnik und im Gartenbau
  - o über Sensorik, Aktorik und Regelungstechnik
  - o über Methoden des Projektmanagements
- Fertigkeiten:
  - o Systemorientiertes Problemlösen, da die gestellte Aufgabenstellung, die Arbeitsumgebung des mobilen Arbeitsroboters und die jeweilige agrartechnische Anwendung besonders berücksichtigt werden müssen
  - o Anwendung der Methoden des Projektmanagements und der Konstruktionsmethodik bei der Entwicklung
  - o Bau eines Roboters
- Kompetenzen:
  - o Befähigung zur Lösung von komplexen Entwicklungsaufgaben in einem interdisziplinären Team
  - o Befähigung zur Beurteilung technischer Erzeugnisse unter Berücksichtigung ökologischer, ökonomischer, technischer und sozialer Aspekte
  - o handwerkliche Kompetenzen beim Bau des mobilen Roboters

Dieses Projekt wird jährlich angeboten und von 10 bis 20 Studierenden genutzt. Besonders gut angenommen werden die Praxisorientierung und die praktischen Elemente sowie das Experimentieren in kleinen Gruppen. Diese sind in der universitären Lehre keine Selbstverständlichkeit. Auf der anderen Seite besteht hierin aber auch eine gewisse Herausforderung für die Studierenden. Sie können in diesem Modul zu verschiedenen Themengebieten der Robotik und Mechatronik ihr Wissen vertiefen, z. B. die Automatisierung der Einzelkornablage oder der Navigation (**Abbildung 3**).



**Abbildung 3:** Erster Roboter für die Einzelkornsaat in 2009

#### 4 Blick in die Zukunft

Auch zukünftig werden das ATB und die TU Berlin auf diesem Gebiet gemeinsam zusammenarbeiten. Gegenwärtig läuft das gemeinsame Berufungsverfahren Agromechatronik - Sensorbasierte Prozessführung in der Landwirtschaft. Diese Professur ist in der Fakultät V Verkehrs- und Maschinensysteme verortet und soll folgende Gebiete abdecken:

- Sensorsysteme zur Erfassung biologischer und technischer Prozessparameter
- Sensorintegration in komplexen Arbeitsmaschinen und landwirtschaftlichen Informationsmodellen
- technologische Einordnung in die Produktionsverfahren, die teilflächenspezifische Bestandsführung unter Berücksichtigung lokaler Boden- und Pflanzenparameter
- Sensorintegration in Automatisierungssysteme von Landmaschinen

Gemeinsam stellen sich somit das ATB und die TU Berlin den Herausforderungen für eine zukunftsfähige Landtechnikentwicklung und die Ausbildung junger Menschen, die die Technologien entwickeln.

## Literaturverzeichnis

- DIEPENBROCK W., PELZER B., RADTKE J. (1995):** KTBL Arbeitspapier 211: Energiebilanz im Ackerbaubetrieb. Hrsg. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. Münster-Hiltrup, Landwirtschaftsverlag
- DUDEN (2012):** Duden | Roboter | Rechtschreibung, Bedeutung, Definition, Synonyme. URL <http://www.duden.de/rechtschreibung/Roboter> - abgerufen am 2014-05-26
- ITM-09:** Neufassung der Studienordnung für den Bachelorstudiengang Informationstechnik im Maschinenwesen - ComputationalEngineering Sciences an der Technischen Universität Berlin. 29. Dezember 2009. Amtliches Mitteilungsblatt der Technischen Universität Berlin Nr. 19/2010 (63. Jahrgang), 15. November 2010
- SCHÖN H., AUERNHAMMER H., BAUER R., BOXBERGER J., DEMMEL M., ESTLER M., GRONAUER A., HAIN B., MEYER J., PIRKELMANN H., STREHLER A., WIDMANN B. (1998):** Die Landwirtschaft: Lehrbuch für Landwirtschaftsschulen. Band 3. Landtechnik, Bauwesen: Verfahrenstechnik - Arbeit - Gebäude - Umwelt. 9. Auflage. München [u. a.], BLV Verlagsgesellschaft



## Präzisions-Obstbau: Berührungslose Sensoren und drahtlose Datenübertragung

Manuela Zude

*Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e. V., Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam  
E-Mail: mzude@atb-potsdam.de*

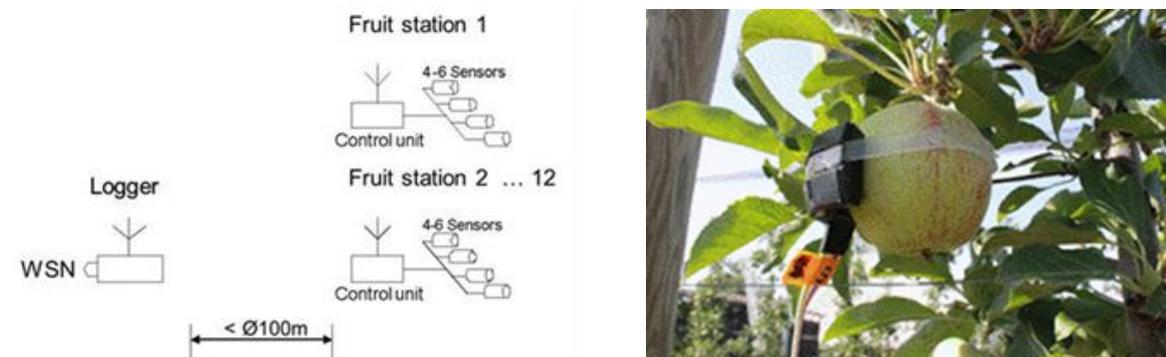
**Deskriptoren:** autonome Plattform, elektrische Leitfähigkeit, Entscheidungsunterstützungs-System, Fruchtqualität, Frucht-Sensoren, Managementzonen, Pflaume, Photonentransport, Präzisions-Obstbau, räumliche Analyse, bildgebende Rückstreuung, Zitrusfrüchte

Der Obstproduzent benötigt bereits heute Informationen aus der Obstanlage zur Entscheidungsunterstützung bei wechselnden Wetterverhältnissen, beispielsweise in der Bewässerungssteuerung. Die Herausforderungen an den Produzenten steigen derzeit aufgrund stark variabler Wachstumsfaktoren bedingt durch den Klimawandel und steigenden Ansprüchen an die Fruchtqualität durch die Verbraucher und die weiterverarbeitende Industrie. Eine nachhaltige Obstproduktion soll erreicht werden.

Präzisions-Obstbau zielt auf zonenspezifische Produktionsmaßnahmen ab, die den ökologischen Fußabdruck der Lebensmittelproduktion durch verbesserte Ressourceneffizienz verkleinern soll. Der Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien hat große Potenziale, dieses Problem zu lösen. Vor allem neue Entwicklungen im automatisierten Pflanzenmonitoring und räumliche Bewertungsinstrumente können hier die notwendigen Daten liefern.

Das transnationale europäische Projekt 3D-MOSAIC (koordiniert vom Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e. V., ATB, Potsdam, <http://www2.atb-potsdam.de/3d-mosaic>) verfolgte einen horizontalen Ansatz, der das Wissen von elf Arbeitsgruppen unterschiedlicher Disziplinen sowie deren Infrastruktur zusammenbrachte, um das Konzept für einen präzisen Obstbau zu entwickeln. Mit Hilfe von geo-elektrischer Tomographie entstanden 3D-Informationen vom Boden einer Versuchsobstanlage. Für das automatisierte Pflanzenmonitoring wurde eine autonome Plattform (Universität Hohenheim, Stuttgart) angepasst, um verschiedene bildgebende Systeme auf der Plattform zu integrieren und zu steuern (Züricher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Schweiz). Als weitere nicht-invasive Sensoren wurden LiDAR sowie thermale- und hyperspektrale Systeme (ATB, Potsdam) auf der Plattform betrieben, um Daten über die Baumkronen jedes einzelnen Baums in zwei Modelanlagen (Türkei und Deutschland) zu erhalten. Die Entwicklung von automatisierten Fruchtsensoren (**Abbildung 1**) verbunden mit einem drahtlosen Sensornetzwerk (ANASTASSIU *et al.* 2012, VOUGIOUKAS

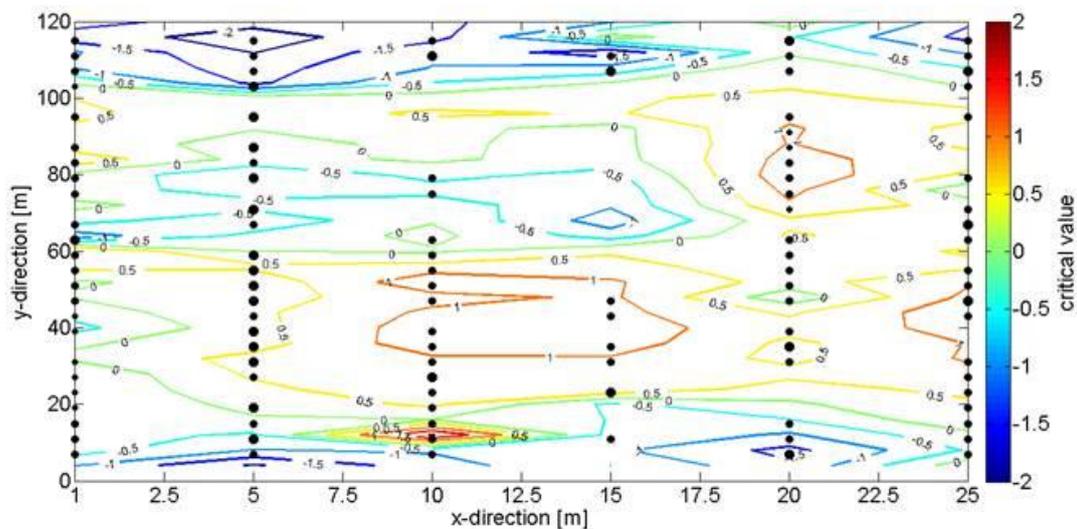
et al. 2014) wurden mittels räumlicher (LORENTE et al. 2012, MOLLAZADE et al. 2013) und zeitaufgelöster Spektroskopie (SEIFERT et al. 2014b) bewältigt (ATB und Politecnico di Milano, Italien).



**Abbildung 1:** Schema des Fruchtsensors (a) und des Sensorkopfs (b)

In den Feldversuchen in 3D-MOSAIC, die im Mittelmeerraum an *Citrus paradisi* (Grapefruit) und im gemäßigten Klima an *Prunus domestica* (Pflaume) durchgeführt wurden, konnten räumliche Muster der Ertragsparameter anhand manueller Schätzung der Blüten und des Entwicklungsstands der Früchte sowie anhand instrumentellen Bestimmung des Blattflächenverhältnis und der Anzahl der Früchte charakterisiert werden. Der Bewässerungsbedarf wurde durch den *Crop Water Stress Index*, CWSI, ermittelt. Die zahlreichen Datensätze, die in GIS strukturiert sind, wurden anhand eines räumlichen Entscheidungsunterstützungssystems ausgewertet (Agricultural Research Organisation, Israel). Schwerpunkte innerhalb der Plantage wurden anhand der globalen und lokalen Korrelation benachbarter Einzelbäume gefunden, wobei die Hot-Spot-Analyse nach Getis-Ord genutzt wurde.

Ähnlich den Ergebnissen aus dem Präzisionsackerbau korrelierte die elektrische Leitfähigkeit des Bodens mit den Ertragsparametern. Innerhalb der zwei Projektjahre von 3D-MOSAIC war es möglich, eine bessere Sicht auf den Präzisions-Obstbau zu erlangen, indem wir uns in einer interdisziplinären Arbeitsgruppe aus Technikern und Pflanzenphysiologen zu spezifischen Zielen einbrachten und voneinander lernten. Die Diskussionen der Entwickler von Robotern zur Sensorintegration und Navigation; Sensorentwicklern zu Fragen der Sensorrobustheit im Feldeinsatz; hin zur Einbindung von physiologisch basierten Methoden für die Bewässerungssteuerung bis zur räumlichen Hot-Spot-Analyse (**Abbildung 2**) der Ertragsparameter hat das Konzept des Präzisions-Obstbaus bestätigt und die kommenden Fragestellungen aufgezeigt.



**Abbildung 2:** Isolinie der  $G^*$ -Punkte (kritischer Wert) ermittelt durch Getis-Ord Hot-Spot-Analyse unter Berücksichtigung der elektrischen Bodenleitfähigkeit und dem Crop Water Stress Index – ermittelt aus den Thermalbildern der Baumkronen.

Der verwendete Hot-Spot-Ansatz für die baumweise Datenauswertung in Kombination mit modernen Fruchtsensoren (SEIFERT *et al.* 2014a; SEIFERT *et al.* 2014b) wird in dem Projekt USER-PA weitergehend untersucht. Die neue Forschergruppe wird die Ergebnisse der konzeptionellen Arbeit nutzen, um in einer Demonstration, geplant in England 2015, die Machbarkeit unter Feldbedingungen zu zeigen. Die Projektergebnisse nutzen der ökonomisch und sozial notwendigen Automatisierung landwirtschaftlicher Prozesse und unterstützen einen ressourcen-effizienten Präzisions-Obstbau.

Wir gehen davon aus, dass die neuen technologischen Möglichkeiten des Präzisions-Obstbaus erhebliche Auswirkungen auf das Anlagenmanagement haben werden (ZUDE *et al.* 2012). Eine Stimme der Obstproduzenten sagte bereits: „Landwirtschaft mit Sensoren ist so viel einfacher“.

## Literaturverzeichnis

- ANASTASSIU H. T., VOUGIOUKAS S., FRONIMOS T., REGEN C., PETROU L., ZUDE M., KÄTHNER J. (2014):** A Computational Model for Path Loss in Wireless Sensor Networks in Orchard Environments. *Sensors* 14: 5118-5135
- LORENTE D., ZUDE M., REGEN C., PALOUC L., GÓMEZ-SANCHIS J., BLASCO J. (2013):** Early decay detection in citrus fruit using laser-light backscattering imaging. *Postharvest Biology and Technology* 86: 424-430
- MOLLAZADE K., OMID M., AKHLAGHIAN T., REZAEI Y., MOHTASEBI K. S., ZUDE M. (2013):** Analysis of texture-based features for predicting mechanical properties of horticultural products by laser light backscattering imaging. *Computers and Electronics in Agriculture* 98: 34-45
- SEIFERT B., PFLANZ M., ZUDE M. (2014a):** Spectral shift as advanced index for fruit chlorophyll breakdown. *Food and Bioprocess Technology*, doi:10.1007/s11947-013-1218-1

- SEIFERT B., ZUDE-SASSE M., SPINELLI L., TORRICELLI A. (2014b):** Optical properties of developing pip and stone fruit reveal underlying structural changes. *Physiologia Plantarum*, doi:10.1111/ppl.12232
- VOUGIOUKAS S., ANASTASSIU H. T., REGEN C., ZUDE M. (2012):** Influence of foliage on radio path losses (PLs) for wireless sensor network (WSN) planning in orchards. *Biosystems Engineering* 114: 454-465
- ZUDE M., PEETERS A., SELBECK J., KÄTHNER J., GEBBERS R., BEN-GAL A., HETZRONI A., JAEGER-HANSEN C., GRIEPENTROG H. W., PFORTE F., ROZZI P., TORRICELLI A., SPINELLI L., ÜNLÜ M., KANBER R. (2012):** Methoden für die präzise obstbauliche Produktion / Advances in precise fruit production. *Landtechnik / Agricultural Engineering* 67(5): 338–341

# Neue Erntemaschine für Kamillenblüten

Thomas Hoffmann, Katharina Beier, Detlef Ehlert

Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e. V., Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam  
E-Mail: thoffmann@atb-potsdam.de

## Kurzfassung

Mit etwa 1.000 ha Kamilleanbau in Deutschland werden 15 % des inländischen Bedarfs abgedeckt. Eine Steigerung des Kamilleanbaus wäre möglich, nur stehen für interessierte Landwirte keine Erntemaschinen zur Verfügung.

Ziel des Forschungsprojektes war es, ein Funktionsmuster einer neuen Erntemaschine für Kamillenblüten zu entwickeln und im Praxiseinsatz zu testen.

Zum Pflücken der Blüten wurde eine Pflücktrommel mit passiven Pflückkämmen entwickelt. Die geernteten Blüten werden vom Pflückvorsatz mit Hilfe eines Förderbandes in den Bunker der selbstfahrenden Erntemaschine gefördert. Die Basismaschine ist eine Entwicklung der Firma MDW Mährescherwerke GmbH Singwitz.

Die Praxisversuche haben gezeigt, dass die verfahrenstechnischen Ziele hinsichtlich Pflückqualität, Verluste und Flächenleistung prinzipiell erreicht werden.

## 1 Einleitung

Gegenwärtig wird weltweit auf einer Fläche von ca. 20.000 ha Kamille für die pharmazeutische Industrie angebaut; wovon ca. 1.000 ha auf die Bundesrepublik Deutschland entfallen (EHLERT & BRABANDT 2011). Der Anbau von Kamille wirkt sich positiv auf die Biodiversität im ländlichen Raum aus und bietet für Landwirtschaftsbetriebe eine zusätzliche Einnahmequelle.

Mit einem Anbauumfang von ca. 1.000 ha in Deutschland werden nur etwa 15 % des Kamillenblütenbedarfs von Deutschland abgedeckt (ANONYM 2006, S. 359). Daraus ergibt sich ein beträchtliches Steigerungspotential.

Während die Kamillenblüten in Niedriglohnländern von Hand mit Hilfe eines speziellen Kamms geerntet werden, wurden in anderen Ländern Möglichkeiten für eine mechanisierte Ernte erarbeitet. So sind Lösungen oder Entwicklungsbestrebungen aus Jugoslawien (MARTINOV *et al.* 1992, ZIMMER & MÜLLER 2004), Slowakei (BRABANDT & EHLERT 2011), Argentinien (BRABANDT & EHLERT 2011) und Belgien (VANGHEYTE 2008) bekannt.

In den Bundesländern Sachsen und Thüringen werden zur Zeit die Pflückmaschinen KEM Linz III eingesetzt. Linz III nutzt als Basismaschinen den Häcksler E280 aus der Produktion der ehemaligen DDR vom "Kombinat Fortschritt Landmaschinen" (RÜLICHE

1978, HEROLD *et al.* 1989) (**Abbildung 1**). Die Produktion der noch heute im Einsatz befindlichen 16 Maschinen begann im Jahr 1974, so dass die ältesten Maschinen ein Alter von 35 Jahren aufweisen.

In den Jahren 1989 bis 1992 wurden vom Institut für Landtechnik in Gießen in Zusammenarbeit mit dem KTBL in Darmstadt und der hessischen Erzeugergemeinschaft AGRIMED eine Pflückmaschine der Fa. Hege Saatzuchtmaschinen Hohebuch in Waldenburg geprüft und weiterentwickelt (MOHR & HECHT 1995). Eine Markteinführung fand nicht statt.



**Abbildung 1:** Erntemaschine für Kamillenblütenernte „Linz III“ aus der Produktion der ehemaligen DDR

Somit kann festgestellt werden, dass eine Ausweitung des Kamilleanbaus in Deutschland möglich und wünschenswert ist, für interessierte Landwirte aber gegenwärtig keine käuflich erwerbende Erntemaschine für Kamillenblüten zur Verfügung steht.

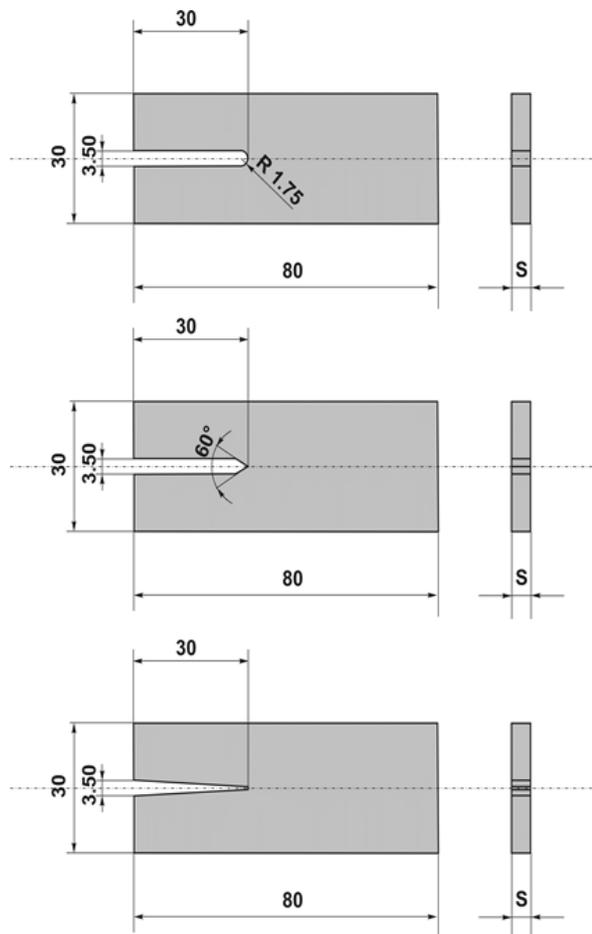
Das Forschungsprojekt hatte zum Ziel, ein Funktionsmuster einer neuen Erntemaschine für Kamillenblüten zu entwickeln, das sich durch eine hohe Pflückqualität, geringe Verluste und einer Flächenleistung von mindestens 1 ha je Stunde auszeichnet.

## 2 Vorgehen bei der technischen Entwicklung

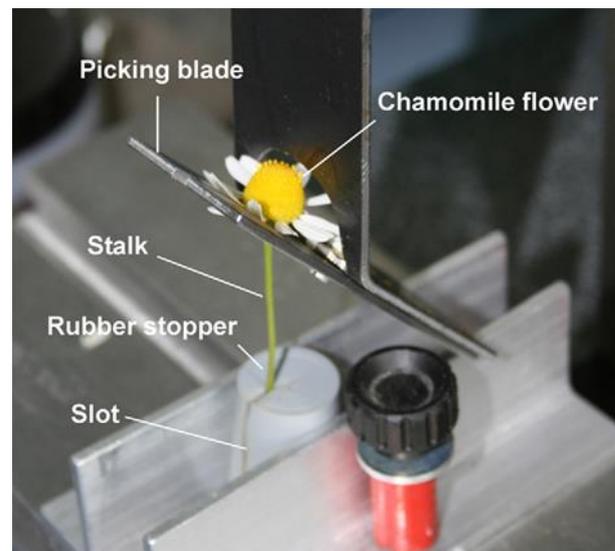
Zunächst galt es, bestehende Konzepte zum Ernten von Kamillenblüten zu analysieren. Dafür wurden bereits vorhandene wissenschaftliche Erkenntnisse, Patentschriften und Lösungsansätze genutzt, die einen Beitrag für eine verbesserte Kamillenblütenerntetechnik leisten könnten. Basierend auf dem zukünftigen Bedarf (Menge und Qualität) und dem angestrebten Marktanteil an Kamillenblüten wurden die an eine Erntemaschine zu stellenden Anforderungen präzisiert und eine Vorzugslösung für das Pflückprinzip erarbeitet.

Parallel dazu wurden Grundlagenuntersuchungen zum Abrissverhalten von Kamillenblüten durchgeführt. Etwa 900 Stängel mit Kamillenblüten wurden in eine Materialprüfmaschine eingespannt (**Abbildung 2**) und mit Hilfe von drei unterschiedlich geformten Pflückkämmen (**Abbildung 3**) abgerissen. Gemessen wurden die Abreißkraft, die Dehnung bis zum Abriss sowie die Länge des am Blütenkopf verbleibenden Stängelrestes.

Anhand der Vorarbeiten wurde ein Konzept für eine selbstfahrende Erntemaschine für Kamillenblüten erstellt. Die Konstruktion und Fertigung der Basismaschine übernahm MDW Mähdrescherwerke GmbH Singwitz (MDW). Das Funktionsmuster für den Pflückvorsatz wurde vom ATB entwickelt und gebaut.



**Abbildung 2:** Varianten der Kammausführung zum Abreißen von Kamillenblüten (EHLERT *et al.* 2011)



**Abbildung 3:** Kamillenblüte im Materialprüfstand beim Zugversuch (EHLERT *et al.* 2011)

Die Kamillenblütenerntemaschine (KBEM) mit Pflückvorsatz wurde in drei Ernteperioden in Thüringen bei Betrieben getestet, die Kamille anbauen. Beim Praxistest wurden Erntemaschinen vom Typ Linz III parallel eingesetzt, so dass eine vergleichende Bewertung möglich wurde. Die Bewertung erfolge anhand der Kriterien:

- Erntemenge, Verluste; Spritzverluste, Restblüten
- Abpflückgrad

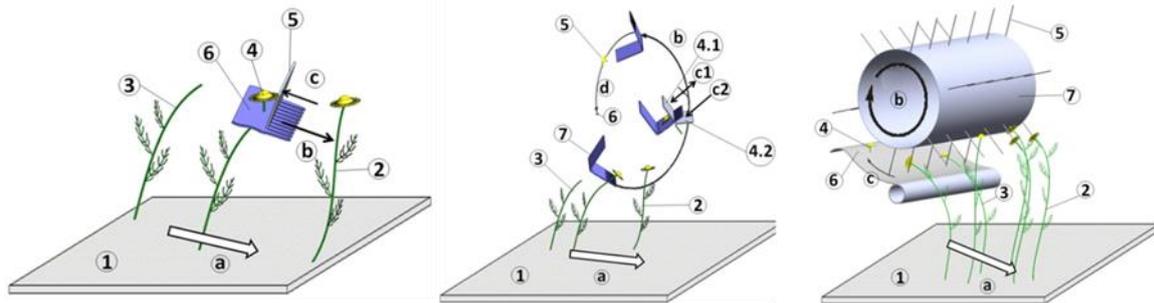
- Anteile an Blüten, Blätter, Stängel, Knospen, Grus, Fremdbesatz
- Anteile an Blüten mit Stängellängen  $\leq 1$  cm,  $\leq 3$  cm,  $\leq 5$  cm und  $> 5$  cm
- Flächenleistung

Für den vergleichenden Praxiseinsatz wurden auf Kamillefeldern gleichlange, nebeneinanderliegende Parzellen abgesteckt. Die Parzellen wurden mit der Linz III oder der KBEM beerntet, wobei darauf geachtet wurde, dass die Maschinen gleichschnell fahren.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1 Technische Entwicklung der Erntemaschine

Der gegenwärtige Stand der Kamillenerntetechnik kann durch die beiden Grundprinzipien "Pflückkamm" und "Pflückrotor" charakterisiert werden (**Abbildung 4**), wobei geradlinig bewegte Pflückkämme mit zusätzlicher Stängeleinkürzung, rotierende Pflückkämme mit innerer und äußerer Gutabgabe sowie rotierende Stiftentrommeln vorherrschen (BRABANDT & EHLERT 2011, MARTINOV *et al.* 2007). In Auswertung des Ist-Standes wurde das Pflücken mit rotierendem Pflückkamm (**Abbildung 4**, Mitte) als Vorzugslösung für die eigene Entwicklung ausgewählt.



**Abbildung 4:** Bewegter Pflückkamm (links), rotierender Pflückkamm (Mitte) und rotierende Stiftentrommel (rechts) zum Abpflücken von Kamillenblüten (BRABANDT & EHLERT 2011)

Bei den Voruntersuchungen zum Abreißverhalten der Blüten zeigte sich, dass die Abreißkraft je nach Kammform 300 cN bis 400 cN beträgt, wobei morphologische Unterschiede im Stängelaufbau zu hohen Variationskoeffizienten zwischen 25 % und 39 % führten. Zusätzlich zeigte sich, dass nur 50 % der Stängel unmittelbar hinter dem Blütenkopf abreißen (EHLERT *et al.* 2011). Damit wiesen die Hälfte aller Blüten Stängelreste auf, die eine besser vergütete Verwertung als Arzneimittelrohstoff ausschließen. Daraus ergab sich die Forderung, den Pflückvorsatz mit einer Baugruppe zur Stängeleinkürzung auszustatten.

Die Erntemaschine und der Pflückvorsatz wurden in Abhängigkeit von den Testergebnissen mehrfach modifiziert. Die Version der Erntemaschine KBEM'12 (**Abbildung 5**) war gekennzeichnet durch:

- Pflücken mit rotierenden Pflückkämmen
- Pflückkämme sind als Doppelkamm ausgebildet mit Scherbewegung zum Abschneiden der Stängelenden am Blütenkopf
- Abgabe der Blüten in das Innere der Pflücktrommel
- Pneumatische Förderung des Erntegutes in den Bunker
- zweigeteilte Pflücktrommel



**Abbildung 5:** Kamillenblütenerntemaschine KBME'12 mit geteilter Pflücktrommel

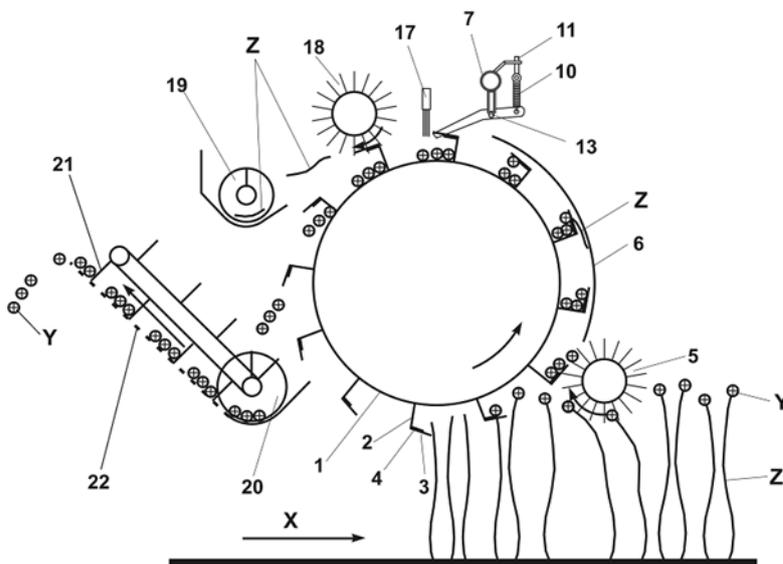
Die überarbeitete Maschine KBEM'13 besaß folgende Merkmale (**Abbildung 6**):

- Pflücken mit rotierenden Pflückkämmen
- Pflücken mit passiven Einzelkämmen
- Einkürzen der Stängel durch Abstreifereinheit
- Abgabe der Blüten in eine Trogschnecke hinter der Pflücktrommel
- mechanische Förderung des Gutes
- einteilige, durchgehende Pflücktrommel



**Abbildung 6:** Kamillenblütenerntemaschine KBME'13 ab 2013 mit einteiliger Pflücktrommel

Der Pflückvorsatz in der Version ab 2013 (**Abbildung 7**) besitzt eine geschlossene durchgehende Trommel (1). Auf der Trommel sitzen 12 Kammleisten (2) mit Pflückkämmen (3). Die Pflücktrommel rotiert mit 30 bis 50 1/min und streift die Kamillenblüten von den Pflanzen ab. Die Blüten werden hinter der Trommel in den Blütenschneckenförderer (20) abgelegt und mit Hilfe eines Paddelelevators (22) in den Bunker der Erntemaschine gefördert.



**Abbildung 7:** Prinzipdarstellung des Pflückvorsatzes ab 2013

Oberhalb der Pflücktrommel befindet sich die Baugruppe zum Einkürzen der Stängelenden (7, 10, 11, 13). Sind die Pflückkämme (3) in der oberen Position, dann streifen Scherfinger (13) durch die Spalten im Pflückkamm und scheren die durch den Kamm reichenden Stängelenden ab. Die erforderliche Kraft wird durch Zugfedern (10) aufgebracht.

### 3.2 Erprobung der Erntemaschine im Feldeinsatz

Im Vergleich der neuen Erntemaschine mit der Linz III zeigte sich, dass die neue KBEM'13 im Mittelwert mit 79 % einen etwas höheren Abflückgrad erreichte als die Linz III mit 75 %. Daraus kann abgeleitet werden, dass das Pflückprinzip mit der Pflücktrommel und den passiven Einzelkämmen funktioniert.

Beide Erntemaschinen erreichten unter günstigen Umständen eine Flächenleistung 1 ha/h in der Hauptzeit.

**Tabelle 1:** Blütenanzahl vor und nach der Pflücke und Abpflückgrad der KBEM'13 beim Ernteeinsatz am 24.05.2013 in Liga/Sachsen

Parzelle	Gesamtblüten vorher (Anz./m <sup>2</sup> )	Blütenanzahl nachher (Anz./m <sup>2</sup> )	Abpflückgrad (%)
1	1041	319	69
2	744	264	64
3	888	251	72
4	756	149	80
5	701	164	77
6	866	121	86
Mittelwert	833	212	75

Anhand der Spritzverluste kann eingeschätzt werden, wie viele der Blüten aus dem Pflückvorsatz wieder herausgeflogen oder an Übergabestellen von den Förderbändern gefallen sind. Bei der Vergleichsmessung am 24.05.2013 (**Tabelle 2**) erzielte KBEM'13 nur 7,41 % Spritzverluste gegenüber 9,97 % von der Linz III.

**Tabelle 2:** Spritzverluste der KBEM'13 und Linz III bei 5 km/h am 24.5.2013 in Liga/Sachsen

Maschine	Gesamtblüten vorher (Anz./m <sup>2</sup> )	Anzahl Spritzverluste (Anz./m <sup>2</sup> )	Spritzverluste (%)	Spritzverluste (g <sub>90 % TM</sub> /m <sup>2</sup> )
KBEM	783	60	7,7	1,32
KBEM	575	40	7,0	0,93
Mittelwert	804	50	7,41	1,12
Linz III	1067	103	9,6	2,39
Linz III	731	77	10,5	1,85
Mittelwert	963	90	9,97	2,12

Anhand des Abflückgrades und der Spritzverluste am 24.05.2013 zeigt sich, dass die KBEM'13 gleichgute Resultate erzielt wie die Linz III. Bei der Bewertung der Ergebnisse muss aber berücksichtigt werden, dass die Einzelwerte der Pflückergebnisse große Variationen aufweisen. Die Pflanzenbestände unterscheiden sich innerhalb weniger Meter deutlich in Höhe, Dichte und Mächtigkeit des Pflanzenbestandes. Die Fahrer reagieren in unterschiedlicher Weise auf die sich ändernden Bedingungen und nehmen so Einfluss auf das Pflückergebnis. Im Interesse statistisch abgesicherter Versuchsergebnisse wären deutlich mehr Wiederholungen bei den einzelnen Kriterien erforderlich, was aber aufgrund der begrenzten Arbeitskapazität nicht realisierbar war.

#### 4 Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend kann eingeschätzt werden, dass die Pflückergebnisse der neuen Erntemaschine KBEM'13 unter günstigen Umständen den Projektzielen entsprechen und mit denen der Linz III vergleichbar sind. Aufgrund der ausgeprägten Inhomogenität der Kamillenbestände und der subjektiven Einflussnahme der Fahrer auf die Maschinensteuerung liefern die Bewertungsergebnisse Orientierungswerte. Sie sind nicht in jedem Fall statistisch abgesichert.

Die Praxiseinsätze der KBEM'13 haben gezeigt, dass Pflücken und Fördern prinzipiell funktioniert. Darüber hinaus offenbarte eine genaue Analyse der Funktionsweise einzelner Baugruppen Potentiale zur weiteren Optimierung, die nach einer konstruktiven Überarbeitung der Erntemaschine in der Saison 2014 wirksam werden sollen:

- Verbesserung der Schereinrichtung zum Einkürzen der Stängel
- Einbau zusätzlicher Druckbegrenzungseinheiten zur Fremdkörperabsicherung
- Neugestaltung der Zuführwalze zur Reduzierung der Spritzverluste
- Bunkerbefüllung über Siebschnecken zur Vorreinigung des Erntegutes

## Literaturverzeichnis

- ANONYM (2006):** Marktanalyse Nachwachsende Rohstoffe, Fachagentur Nachwachsender Rohstoffe e. V.
- BRABANDT H., EHLERT D. (2011):** Chamomile harvesters: A review. *Industrial Crops and Products* 34: 818-824
- EHLERT D., ADAMEK R., GIEBEL A., HORN H. J. (2011):** Influence of comb parameters on picking properties for chamomile flowers (*Matricaria recutita*). *Industrial Crops and Products* 33: 242-247
- HEROLD M., PANK F., MENZEL E., KALTOFEN H., LOOGK E., RUST H. (1989):** Verfahrenstechnische Entwicklungen zum Anbau von *Chamomilla recutitia* L. (Rauschert) und *Calendula officinalis* L. für die Gewinnung von Blütendrogen. *Drogenreport* 2 (2): 43-62
- MARTINOV M., TESIC M., MÜLLER J. (1992):** Erntemaschine für Kamille. *Landtechnik* 10: 505-507
- MARTINOV M., KONSTANTINOVIC M. (2007):** Harvesting. In: ÖZEKIN, S., MARTINOV, M. (Hrsg.), *Medicinal and Aromatic Crops- Harvesting, Drying and Processing*, New York, Haworth Food & Agricultural Products Press: 27-84
- MOHR T., HECHT H. (1995):** Entwicklung einer Pflückmaschine. *Zeitschrift für Arznei- und Gewürzpflanzen*, 1. Jahrgang, Sonderheft Dezember: 68-77
- RÜLICHE A. (1978):** Gutachten Nr. 353: Kamillenpflückmaschine Linz III. Zentrale Prüfstelle für Landtechnik Potsdam-Bornim
- VANGEYTE J., BARO J., RIJCKAERT J., VANDEN HAUTTE K., D'HAESE W., SONCK B. (2008):** Study, design and development of a low-budget prototype harvesting machine for Roman Chamomile. In: *International Conference on Agricultural Engineering, Greece*, ohne Seite
- ZIMMER, S., MÜLLER J. (2004):** Gülzower Fachgespräche, Band 22: "Erntetechnologie von Arznei- und Gewürzpflanzen": 100



# Erzeugung von Hackschnitzeln mit kostengünstiger Technologie

Ralf Pecenka, Hannes Lenz, Detlef Ehlert

Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e. V., Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam

E-Mail: rpecenka@atb-potsdam.de

## Einleitung und Problemstellung

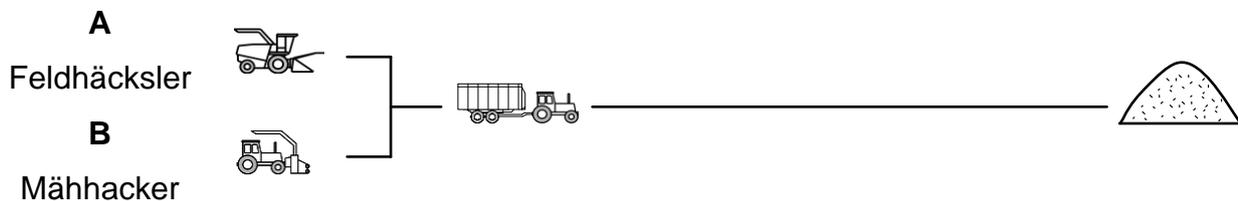
Auf landwirtschaftlichen Nutzflächen angelegte Gehölze bieten die Möglichkeit, Biomasse nachhaltig zu produzieren und gleichzeitig die Einkommenssituation in der Landwirtschaft zu verbessern. Unter europäischen Bedingungen besitzen schnell wachsende Baumarten wie Pappeln, Weiden und Robinien in Form von Kurzumtriebsplantagen (KUP) oder Agroforstsystem ein erhebliches Potential für die Produktion von pflanzlicher Biomasse. Das auf diesen Flächen produzierte Agrarholz wird vorzugsweise für die Erzeugung von Wärme in hofeigenen Anlagen eingesetzt oder als Energieträger an regionale Heizkraftwerke vermarktet. Bisher wurden in Europa ca. 40.000 ha Kurzumtriebsplantagen angelegt, davon ca. 4.700 ha in Deutschland (EHLERT & PECENKA 2013). Für eine nicht nur aus ökologischen Gründen wünschenswerte Erweiterung der Anbaufläche müssen gegenwärtig verschiedene verfahrenstechnische und strukturelle Hemmnisse überwunden werden müssen. Es wurde ermittelt, dass in Abhängigkeit von den Biomasseerträgen, der Bewirtschaftung und der Wahl der Erntetechnik 35-60% der Gesamtkosten der Biomasseproduktion in KUP allein auf die Ernte entfallen (SCHOLZ *et al.* 2008). Um die maschinelle Ernte von Kurzumtriebsplantagen effizienter zu gestalten, gab es in den vergangenen 30 Jahren zahlreiche Lösungsansätze, von denen allerdings nur wenige Praxisreife erlangt haben. Da die Verfügbarkeit praxistauglicher Erntemaschinen eine Grundvoraussetzung für die Ausweitung des Energieholzanbaus darstellt, liegt hier ein Schwerpunkt der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten der Arbeitsgruppe Biofestbrennstoffe am ATB.

## Stand der Technik praxiserprobter Ernteverfahren für KUP

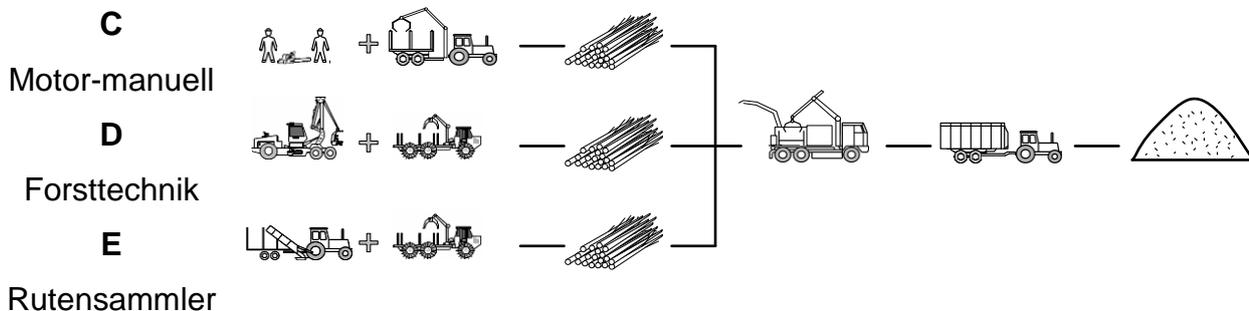
Ernteverfahren werden üblicherweise nach dem Mechanisierungsgrad, der Kopplung der Teilarbeitsschritte, den vorgegebenen Sortimenten oder nach der Rotationslänge systematisiert (SCHOLZ *et al.* 2008). Ausgehend von der Kopplung der Teilarbeitsschritte lassen sich die praxiserprobten Ernteverfahren grundlegend in einstufige und zweistufige Verfahrenslinien unterteilen (**Abbildung 1**). Größte Verbreitung haben bisher einstufige Ernteverfahren auf der Basis modifizierter Feldhäcksler bei kurzen Ernteintervallen von max. 4 Jahren gefunden (**Abbildung 1**, Linie A). Da hier die Bäume in einem Arbeitsgang gefällt, gehackt und verladen werden, ist diese Verfahrenslinie mit den geringsten Kosten verbunden. Für die Ernte von Weiden und von 1- bis 3-jährigen Pap-

peln mit einem Schnittdurchmesser von max. 15 cm werden für Einzel- und Doppelreihen vorgesehene Schneidwerke angeboten, die an konventionelle Feldhäcksler angebaut werden können (**Abbildung 2**). Diese leistungsfähigen, aber teuren und schweren Kombinationen sind in der Regel erst ab Ernteflächen von ca. 300 ha pro Jahr ausgelastet. Anbaumähacker stellen eine leichtere und preiswertere Alternative zu Feldhäckslerlösungen dar (SCHOLZ *et al.* 2009, EHLERT & PECENKA 2013) (**Abbildung 1**, Linie B). Diese für den Front- bzw. Heckanbau an Traktoren vorgesehenen Geräte sind für den 1-reihigen und teilweise auch 2-reihigen Anbau von Weiden und Pappeln bis zu einem Schnittdurchmesser von ca. 15 cm geeignet, also für Ernteintervalle von 1 bis 6 Jahren (**Abbildung 3**). Anbau-Mähacker sind überwiegend dafür konzipiert sehr grobes Hackgut zu produzieren, was zwar in kleinen und mittleren Feuerungsanlagen Probleme bereiten kann, jedoch für die Langzeitlagerung von Vorteil sein kann.

### Einstufige Ernteverfahren



### Zweistufige Ernteverfahren



**Abbildung 1:** Praxiserprobte Verfahren zur Ernte von Hackschnitzeln aus KUP



**Abbildung 2:** Feldhäcksler mit Gehölzschneidwerk bei der Pappelernte (New Holland FR9060)



**Abbildung 3:** Anbau-Mähacker für Schlepper mit Rückwärtsfahreinrichtung bei der Pappelernnte (JENZ, GMHT 140)

Zweistufige Ernteverfahren basieren vorwiegend auf Forsttechnik oder auf einem Rutenensammler (Spezialmaschine Stemster, Fa. Nordic Biomass). Bei den Stammholzlinien (Ernteintervall 5 – 20 Jahre) kommen vorzugsweise konventionelle motormanuelle oder mechanisierte Verfahren aus dem Forstsektor zur Anwendung (**Abbildung 1**, Linien C und D). Hierbei gehen allerdings die Vorteile der reihenweisen Begründung der Feldholzflächen verloren. Eine Betrachtung des Gesamtverfahrens macht zudem deutlich, dass durch die zeitliche Entkopplung der Arbeitsschritte Fällen (Schneiden), Transportieren (Rücken) und Verladen (oder ggf. Hacken) ein hoher logistischer Aufwand notwendig ist, so dass die motormanuellen Verfahren nur für kleine Flächen und die mechanisierten Verfahren nur für die Ernte von preislich höherwertigem, vorzugsweise stofflich verarbeitetem Holz bei längeren Umtriebszeiten wirtschaftlich sind (BURGER 2010, SPINELLI *et al.* 2008).

Die Rutenlinien (Ernteintervall 1 bis 8 Jahre) sind in Deutschland vor allem aus der Ernte von Weiden bekannt. Bei kurzen Ernteintervallen werden die Baumtriebe (Schnitt-Ø < 8 cm) mit sogenannten Mäh-sammlern geschnitten, gesammelt und am Feldrand abgelegt (**Abbildung 1** Linie E und **Abbildung 4**).



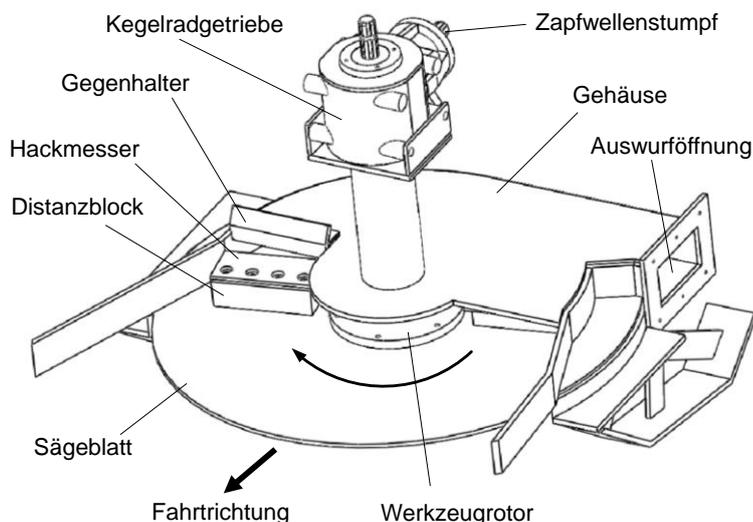
**Abbildung 4:** Traktorgezogener Mäh-sammler zur Rutenernte (Stemster, Fa. Nordic Biomass)

Die Praxiserfahrungen mit unterschiedlichen Erntesystemen der vergangenen Jahre haben gezeigt, dass verschiedene leistungsfähige Ernteverfahren entwickelt werden konnten. Die Bereitstellungskosten des Endprodukts Hackschnitzel und damit die Konkurrenzfähigkeit dieses Produktionssystems im Vergleich zu anderen möglichen Optionen in der Landwirtschaft hängen jedoch wesentlich von der Gestaltung der gesamten Verfahrenslinie Ernte-Transport-Lagerung und der regionalen Verfügbarkeit hierauf abgestimmter Erntemaschinen ab.

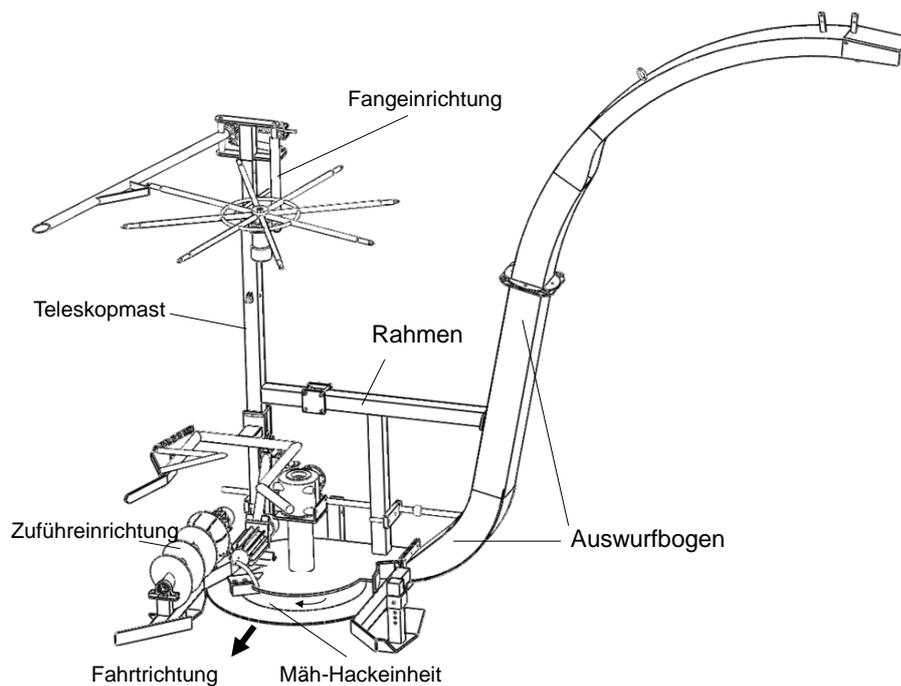
Daher wurde am ATB ein neuartiger Anbau-Mähhackler entwickelt, der die aktuellen Forderungen nach verbesserter regionaler Verfügbarkeit kostengünstiger Erntetechnik und optimaler Abstimmung der Hackguteigenschaften auf die Anforderungen einer verlustarmen Lagerung berücksichtigt.

### Entwicklung eines Anbau-Mähhackers für Standardtraktoren

Auf der Grundlage der langjährigen Erfahrungen am ATB mit Schneckenhackern für die Ernte von Grobhackgut wurde ein neuartiges Prinzip für die Hackguternte entwickelt und in Kooperation mit der Fa. JENZ in einem Prototypen realisiert (**Abbildung 5** und **6**). Der Hacker zeichnet sich durch einen besonders einfachen Aufbau aus, da die Hackmesser direkt auf das Sägeblatt montiert wurden - der Hackprozess wurde somit unmittelbar mit dem Fällprozess kombiniert (PATENTANMELDUNG EP11187723). Das sonst erforderliche Umdrücken der Bäume für die Zuführung zum Hackorgan entfällt, was wesentlich zur Schonung der Wurzelstöcke beiträgt. Für die sichere vertikale Zufuhr der vom Stock getrennten Bäume wurde eine spezielle Halte/Fang- und Zuführeinrichtung entwickelt (**Abbildung 5** und **6**). Die Hacklänge wird durch die Höhe der Distanzblöcke bestimmt und lässt sich mit geringem Aufwand entsprechend der Abnehmeranforderungen einstellen (EHLERT & PECENKA 2013).



**Abbildung 5:** Aufbau der Mäh-Hack-Einheit des ATB-Anbau-Mähhackers



**Abbildung 6:** Aufbau des ATB-Anbau-Mähhackers

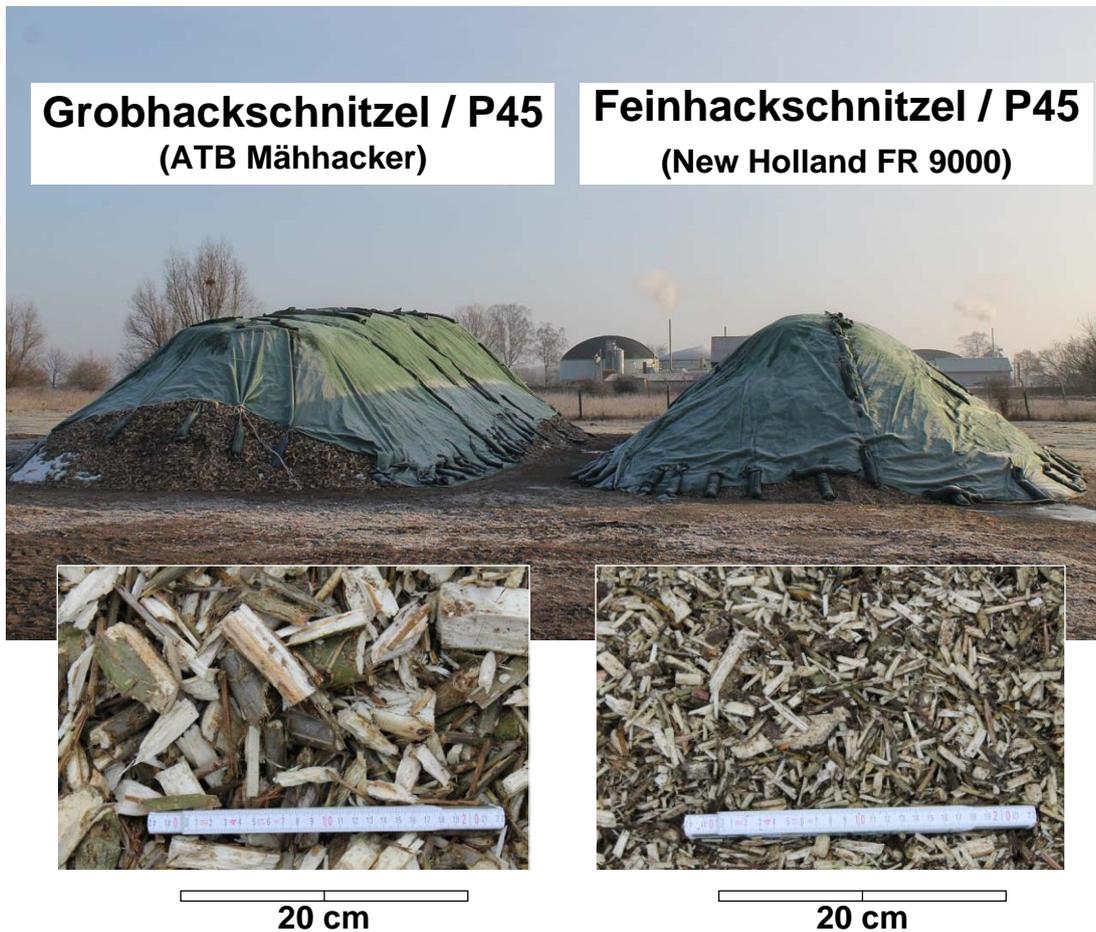


**Abbildung 7:** ATB-Mähhackers als Anbaugerät für Standard-Traktoren im Ernteeinsatz 2013

## Ernte- und Lagerversuche

Unter Berücksichtigung der Abnehmeranforderungen an die maximalen Abmessungen von Hackschnitzeln wurde für die Ernte- und Lagerversuche eine Hacklänge von 75 mm gewählt. Für den Vergleich des Lagerverhaltens der erzeugten Grobhackschnitzel im Praxismaßstab wurden gleichzeitig Feinhackschnitzel mit einem kommerziell verfügbaren Feldhäcksler mit KUP-Erntevorsatz erzeugt (New Holland FR9060/KUP130), **Abbildung 2**. Im Jahr 2013 wurden jeweils 500 m<sup>3</sup> Pappelhackschnitzel geerntet und als vliesabgedeckte Freihaufen eingelagert (**Abbildung 8**). Alle Lagervarianten wurden mit Temperaturloggern und Bilanzbeuteln versehen, die zur Analyse von Trocknungsver-

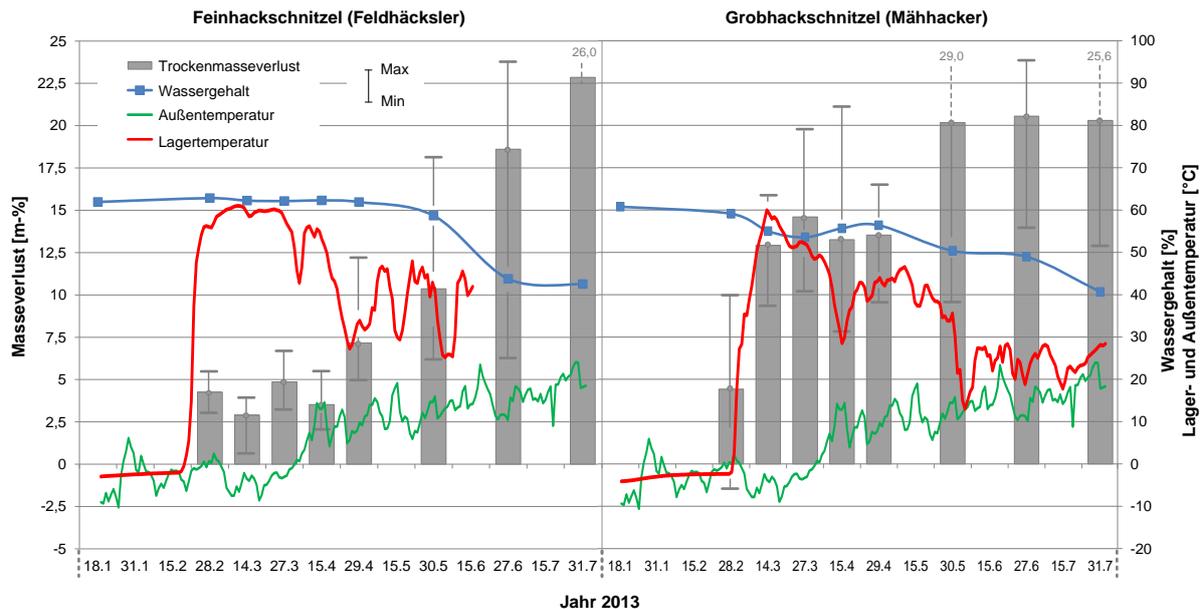
lauf, Lagerverlust und Schimmelpilzbefall anfangs alle 2 Wochen und mit zunehmender Lagerdauer alle 4 Wochen ausgewertet wurden (PECENKA *et al.* 2014).



**Abbildung 8:** Lagerversuch im vliesabgedeckten Freihaufen (Jahr 2013)

## Ergebnisse

Die erwarteten lagertechnischen Vorteile der Grobhackschnitzel (Hacklänge 75 mm) im Vergleich zu Feinhackschnitzeln konnten im Praxismaßstab für das Lagerjahr 2013 nicht eindeutig nachgewiesen werden (**Abbildung 9**). Die Ergebnisse legen die Vermutung nahe, dass die hier erzielte grobere Porenstruktur des Haufwerks zwar eine intensivere Durchlüftung des Lagerhaufens ermöglicht, dies aber in dem realisierten Maßstab lediglich zu verbesserten Bedingungen für den mikrobiellen/chemischen Abbau, nicht aber zu einer beschleunigten natürlichen Trocknung bei reduzierten Trockenmasseverlusten führt. Im Jahr 2014 angelegte noch nicht abgeschlossene Versuche mit identischem Versuchsaufbau zeigen dagegen ein deutlich verbessertes Trocknungsverhalten der Grobhackschnitzel in den ersten 5 Lagermonaten. Diese Ergebnisse müssen nach Abschluss der Lagerperiode im Oktober 2014 detailliert ausgewertet und insbesondere unter Berücksichtigung der jährlich wechselnden Witterungsbedingungen mit den Ergebnissen des Jahres 2013 vergleichend analysiert werden.



**Abbildung 9:** Lagerung von vliesabgedeckten Fein- und Grobhackschnitzeln (Jahr 2013)

Hinsichtlich der Ernteleistung, Zuverlässigkeit und Flexibilität hat sich der vom ATB entwickelte und im Praxiseinsatz untersuchte Prototyp bei der Ernte von insgesamt 50 ha KUP (überwiegend Pappel, 2 bis 5-jährige Bestände) in den Jahren 2013 und 2014 bewährt. In den Versuchen konnte eine durchschnittliche Flächenleistung von 0,42 ha/h (GAZ) bei Ernteleistungen von 10 – 12  $t_{\text{atro}}/\text{h}$  realisiert werden.

## Schlussfolgerungen und Ausblick

Marktpreise für gelagerte Hackschnitzel unterliegen starken regionalen Schwankungen. Legt man einen Hackschnitzelpreis von 60 €/t<sub>atro</sub> zu Grunde, so können sowohl mit einstufigen als auch zweistufigen Ernteverfahren attraktive Erlöse mit Hackschnitzeln aus KUP auf landwirtschaftlichen Flächen generiert werden. Wesentlichen Einfluss auf die Wahl des Ernteverfahrens haben sowohl die regionale Verfügbarkeit von Erntemaschinen als auch die Lage und der Zuschnitt der Anbauflächen. Feldhäcksler stellen eine sehr leistungsfähige Lösung für große Anbauflächen dar. Anbau-Mäh Hacker ermöglichen ähnlich niedrige Hackschnitzelkosten wie Feldhäcksler-basierte Lösungen, wesentliche Vorteile dieser Erntelösung können in der besseren regionalen Verfügbarkeit und gesteigerter Flexibilität gesehen werden. Darüber hinaus bietet die einfache Einstellbarkeit der Hackschnitzellänge am neu entwickelten Anbau-Mäh Hacker die Möglichkeit, die Hackschnitzelqualität individuell an die Abnehmeranforderungen anzupassen und Lagerverluste zu reduzieren.

## Literaturverzeichnis

- BURGER F. J. (2010):** Bewirtschaftung und Ökobilanzierung von Kurzumtriebsplantagen. Dissertation. Lehrstuhl für Holzkunde und Holztechnik, Technische Universität München
- EHLERT D., PECENKA R. (2013):** Harvesters for short rotation coppice: current status and new solutions. *International Journal of Forest Engineering* 24(3): 170-182
- EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG EP11187723:** Mäh-Hackvorrichtung zur Ernte großwüchsiger Pflanzen. Anmelder: Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V.
- PECENKA R., LENZ H., IDLER C., DARIES W., EHLERT D. (2014):** Development of bio-physical properties during storage of poplar chips from 15 ha test fields. *Biomass & Bioenergy* 65: 13-19
- SCHOLZ V., BOELKE B., BURGER F., HOFMANN M., HOHM C., LORBACHER F. R. (2008):** Produktion von Pappeln und Weiden auf landwirtschaftlichen Flächen. KTBL-Heft 79, Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft
- SCHOLZ V., ECKEL H., HARTMANN S. (2009):** Verfahren und Kosten der Energieholzproduktion auf landwirtschaftlichen Flächen. *KTBL-Schrift* 476: 67-80
- SPINELLI R., HARTSOUGH B. R., POTTLE S. J. (2008):** On-site veneer production in short-rotation hybrid poplar plantations. *Forest Products Journal* 58(9): 66-71

## Vier Jahrzehnte für die Agrartechnik

### Laudatio für Dr.-Ing. Detlef Ehlert zum Dienstende im ATB

Jürgen Hahn

*Ehem. Humboldt- Universität zu Berlin, Lebenswissenschaftliche Fakultät, Albrecht Daniel Thaler-Institut für Agrar- und Gartenbauwissenschaft, Unter den Linden 6, 10099 Berlin  
E-Mail: j.hahn@agrار.hu-berlin.de*

Die Vita von Detlef Ehlert hat eigentlich nur drei Stationen:

- Geboren und aufgewachsen in der Ostprignitz.
- Studium der Landtechnik und Promotion in Rostock.
- 39 Berufsjahre in Bornim.

Für eine Biografie oder gar Laudatio eher unspannend, oder?

Der dänische Philosoph Sören Kierkegaard (1813 - 1855) wusste dazu:

„Verstehen kann man das Leben nur rückwärts.  
Leben muss man es indes vorwärts.“

Was gibt uns der Rückspiegel über den Menschen und Wissenschaftler Detlef Ehlert preis – über „... sein Wirken als Wissenschaftler, Erfinder und Führungskraft“, wie es in der Laudatio der VDI/MEG-Gesellschaft für Agrartechnik anlässlich der Ehrung mit der Max-Eyth-Gedenkmünze im Jahre 2011 hieß?

Ganze 22 Jahre leitete Dr. Ehlert die Abteilung „Technik im Pflanzenbau“ des ATB. Vorgänger oder Ratgeber gab es da eigentlich nicht, denn das Arbeitsgebiet war in der Phase des Forschungszentrums für Mechanisierung der Landwirtschaft zuvor im Betriebsteil Schlieben beheimatet. Forschung rund um die „Flaggschiffe der Agrartechnik“, also Traktoren, Mähdrescher, Feldhäcksler erschienen ihm als Schwerpunkte weniger aussichtsreich. Die Übermacht der Entwicklungsabteilungen in Marktoberdorf und Mannheim, in Harsewinkel und Spelle hatte sich in den Neunzigern in Bornim rasch herumgesprochen. Neue Themen wie Precision Farming und Sensortechnik erforderten aber neue Strategien. Wie eignet man sich strategisches Arbeiten an, wenn man sich zuvor zwei Jahrzehnte lang bei solider Entwicklungsarbeit in der zweiten Reihe wohl gefühlt hat? ... Learning by doing war die Devise. Und Ehlert lernte schnell, war beharrlich, wie es die Prignitzer nun mal sind und hatte kluge, loyale Mitarbeiter.

In Ehlerts Curriculum Vitae heißt es über diese Zeit lakonisch:

- Massestrommessung und Ertragskartierung mit Feldhäckslern,
- Massestrommessung zur Ertragskartierung auf Kartoffelerntemaschinen,
- Entwicklung und Einsatz von Sensoren zur Online-Messung von Bestandsparameter (*Crop-Meter*, *Laser-Abstandssensoren*, *Laserscanner*),
- Teilflächenspezifische Applikation von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln,
- Entwicklung eines Bandmähwerks,
- Entwicklung von Erntemaschinen für Linsen, Kurzumtriebsplantagen und Kamillenblüten.

Dabei ließ er keinen Zweifel, dass er sich für die Entwicklungs- und Konstruktions-Themen mehr begeistern konnte, als für Verfahrensbetrachtungen. „Mehr Eisen und weniger Prozess“ könnte man das Motto nennen – und man findet dafür zutreffende Gründe in der Vita. Zu den übergreifenden Systemen wusste er Bescheid, überließ die entsprechenden Forschungssegmente aber gern seinen bestens ausgewiesenen Mitarbeitern. Bei allen Konstruktionsthemen aber blieb Ehlert bedingungslos erste und letzte Instanz. Mit einer ausgeprägten Neigung zur reifen Einfachheit der Lösungen. Nicht selten berief er sich dabei auf den großen Leonardo aus Vinci, der schon vor 500 Jahren die „Einfachheit ist die höchste Stufe der Vollendung“ rühmte.

In Autorenschaft und entscheidender Mitwirkung stehen für Dr. Ehlert 20 Patente, Schutzrechte und Lizenzen sowie rund 200 Veröffentlichungen zu Buche. Darüber hinaus hat er sich als Hochschullehrer an verschiedenen Orten verdient gemacht und mehrere Promotionen und weitere Graduierungsarbeiten erfolgreich betreut.

Der Ehrungstext zur Max-Eyth-Gedenkmünze beschreibt in seinen Auszügen sehr gut, was diese Wirkungsphase Ehlerts charakterisierte:

*„Immer wieder lieferte er Beweise, dass sich die wissenschaftliche Analyse grundlegender Zusammenhänge mit der Entwicklung praktikabler Maschinen vereinen lässt, und steht so als personifiziertes Beispiel für erfolgreiche „anwendungsorientierte Grundlagenforschung“ in der Agrartechnik. Stets verstand es Dr. Ehlert, den klassischen Maschinenbau mit Elementen aus dem Bereich Sensortechnik/Elektronik zu kombinieren und so viel beachtete Lösungen für die landwirtschaftliche Praxis zu erarbeiten.*

*Ganz besonders verdient machte sich Dr.-Ing. Ehlert in seiner Funktion als langjähriger Vorsitzender des Programmausschusses der VDI-MEG-Landtechnik-Tagung. In seiner Amtszeit wurde nicht nur ein effektives System zur Bewertung und Auswahl der Tagungsbeiträge entwickelt, sondern diese für die Branche so wichtige Konferenz internationalisiert. Nunmehr hat die Tagung eine internationale Sichtbarkeit, die der Rolle der deutschen Agrartechnik auf dem Weltmarkt gerecht wird. Unter dem Engagement von Herrn Ehlert hat sich die Tagung Land-*

*technik zum wichtigsten internationalen Treffpunkt zwischen Wissenschaft und landtechnischer Industrie entwickelt.“*

Aus Korrektheit und Bescheidenheit würde Dr. Ehlert an dieser Stelle die großen Einflüsse des vorherigen Vorsitzenden des Programmausschusses, Prof. Auernhammer, auf die Internationalisierung der Konferenz „Landtechnik“ betonen. Seine persönlichen Verdienste werden damit aber um nichts geschmälert.

So ganz folgerichtig war dieses erfolgreiche Wirken Ehlerts als wissenschaftliche Führungspersönlichkeit in der Bornimer Nachwendezeit vielleicht gar nicht. Warum trauten die Entscheidungsträger in der Gründungsphase des ATB dem relativ jungen wissenschaftlichen Mitarbeiter aus der Abteilung Schüttguttechnik die notwendige Gestaltungs- und Führungsfähigkeit als Leiter der wichtigen Abteilung „Technik im Pflanzenbau“ eigentlich zu?

Dazu trug sicher bei, dass Ehlert im Forschungszentrum für Mechanisierung Schlieben/Bornim und dann am daraus hervorgegangenen Institut für Agrar- und Umwelttechnik als zuverlässiger, geradliniger und zielstrebigem Mitarbeiter bekannt war. Er hatte sich weder politisch vereinnahmen lassen noch parteilich gebunden, sondern eher „Kante gezeigt“ und dafür sicher auch auf den einen oder anderen Karrieresprung verzichtet. Um Posten gerissen hatte er sich ohnehin nicht.

Auf der Habenseite gab es aber eine lange Liste von Forschungsthemen, darunter:

- Befüllung von Hochsiloplanzen,
- Abscheiden ferromagnetischer Fremdkörper aus Halmfutter und Silagen,
- Entnahme von Silagen aus Horizontalsilos,
- Futterumschlag in Milchviehanlagen,
- Beschickung und Entnahme von Raufutter in Bergeräumen,
- Untersuchungen zum Kompostieren pflanzlicher Materialien,
- Technik für die Landschaftspflege.

Allerdings waren in der „zweiten Reihe“ bislang solche Kompetenzen wie Entscheidungs- und Risikobereitschaft, Team- und Führungsfähigkeit eher weniger gefordert, was nun an der Spitze einer ganzen Abteilung aber tagtäglich verlangt wurde. Ehlert stellte sich diesen Herausforderungen, das Team zog mit – und den Rest besorgte der gute Geist der Abteilung, das ausgleichende Element im Vorzimmer: Ilona Brion, die bedarfsweise auch einmal Brücken baute zwischen dem Kopf und den Gliedern der Abteilung.

Nach Bornim war Detlef Ehlert im Januar 1975 gekommen und gerade 26 Jahre alt, als er zum Thema „Zerkleinern von Hackfrüchten durch Schneiden und Reißen“ zum

Dr.-Ing. promoviert wurde. Eher als in der Industrie erwartete er in Potsdam-Bornim den richtigen Platz, um seine Ideen und sich selbst zu verwirklichen.

Rostock verdankte er viel. Immerhin hatte man ihm dort trotz mäßiger Abiturnoten zunächst das anspruchsvolle Ingenieurstudium und dann die Promotion zugetraut. Beides hatte er mit Bravour bewältigt, war über sich selbst hinausgewachsen und hatte sich für Höheres empfohlen.

Bislang alles soweit richtig gemacht, muss er sich als Zwischenfazit gesagt haben, denn er hatte das anwendungsbezogene Landtechnikstudium mit Promotion einem doch eher theorielastigen Studium der „Angewandten Mechanik“ vorgezogen, für das er bereits in Magdeburg nach bestandener Aufnahmeprüfung vorimmatrikuliert war.

Über die Schulzeit gibt Detlef Ehlert nur ungern Auskunft. Nicht dass ihm das Lernen besonders schwer gefallen war, aber die Landtechnik lag dem Prignitzer Bauernsohn doch näher, der schon mit 10 Jahren den 15 PS – IHC Mc Cormick - Deering F12 über die elterlichen Felder und die Dorfstraße von Rosenwinkel steuerte. War die Handarbeit auf dem Feld und im Stall anstrengend und langweilig – mit der Technik ging es wesentlich leichter und schneller.

Wenn also schon Abitur, dann doch parallel eine handfeste Facharbeiterausbildung zum Dreher, sagte er sich. Und tat es. Er lernte die Metallbearbeitung „von der Feile auf“, was dem späteren Konstrukteur sicher sehr zustatten kam.

„*Verstehen kann man ein Leben nur rückwärts*“ hatte der Laudator eingangs Sören Kierkegaard zitiert. Dies findet man offenbar auch bei der Vita von Dr. Detlef Ehlert bestätigt. Es hätte ja so oder so laufen können. Oder ganz anders. Aber wie es denn wirklich gelaufen ist, so war es gut, will man meinen.

Der Lebensmittelpunkt liegt für Dr. Ehlert nach einer erfolgreichen Laufbahn als Wissenschaftler, Erfinder und Führungskraft, als eine der prägenden Persönlichkeiten der deutschen Agrartechnik, längst in Potsdam. Immer wieder kommt er aber in seinen Geburtsort Rosenwinkel zurück (heute Gemeinde Heiligengrabe). Einen Wald hat er dort noch – und eine Menge Erinnerungen an die Eltern, an die Zeit auf dem Bauernhof, an das Jagen und Angeln.

Freunde kennen ihn nur unter dem Spitznamen „Wildschütz“.

Maxime: Ziel aufnehmen – Abdrücken – Treffen.

Auch für den Ruhestand nicht das schlechteste Motto!

## Schlusswort

Detlef Ehlert

*Ehem. Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e. V., Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam*

*E-Mail: dehlert@atb-potsdam.de*

Bezug nehmend auf die Laudatio von Prof. Jürgen Hahn, die nur drei Stationen im Verlauf meines beruflichen Werdegangs ausweist und daher ihn auf den ersten Blick als wenig aufregend erscheinen lässt, möchte ich einige zusätzliche Dinge aufführen. Da wären zum einen die breit gefächerten landtechnischen Forschungsthemen mit denen ich mich seit dem Forschungsstudium an der Universität Rostock befasst habe. Und da gab es ein einschneidendes gesellschaftspolitisches Ereignis: "Die Wende". Ich wage zu behaupten, dass die in den neuen Bundesländern damit eingetretenen Veränderungen mindestens drei unterschiedlichen Arbeitsstellen in einem Berufsleben entsprochen haben.

An dieser Stelle möchte ich im Rahmen dieses kurzen Rückblicks nicht unerwähnt lassen, dass es zum Glück in der deutschen Agrartechnik in der aufregenden Zeit der Wende "Brückenbaupioniere" gegeben hat, die durch ihr starkes persönliches Engagement ein Zusammenwachsen - dessen, was zusammengehört - bewirkt haben. Persönlichkeiten wie Prof. A. Stroppel, Prof. H. Schön und der Gründungsdirektor des ATB, Dr.-Ing. G. Welschof, aus den Altbundesländern sowie Prof. G. Otto, Prof. M. Müller und Prof. G. Michaelis aus den neuen Bundesländern gehören zweifelsfrei zu diesen Pionieren der ersten Stunde.

Wenn man eine Tätigkeit mit Leitungsaufgaben antritt, dann wird wohl ein jeder Zielvorstellungen haben, die er unbedingt umsetzen will. Neben fachlichen Erfolgen sind dies auch ein gutes Abteilungsklima. Ich erinnere mich, als ich vor mehr als zweiundzwanzig Jahren sinngemäß zu meinen Mitarbeitern sagte: "Es wird in unserer Zusammenarbeit nicht nur Sonnenschein, sondern auch Sturm und Regen geben. Allerdings sollte dieses schlechte Wetter einen möglichst geringen Anteil einnehmen." Heute kann ich sagen, dass das gute Wetter bis auf geringe Ausnahmen dominiert hat.

Der Gründungsdirektor des ATB, Dr. Welschof, machte in der Startphase uns Abteilungsleitern klar, dass die Steuern einer Kleinstadt benötigt werden, um das ATB finanzieren zu können. Das daraus erwachsene Pflichtgefühl, entsprechende Forschungsleistungen zu erbringen, konnte mit diesem Vergleich wirkungsvoll implementiert werden. Doch wie misst man Forschungsleistungen? Sind das angeworbene Drittmittel, wissenschaftliche Veröffentlichungen oder eingereichte Patentschriften? Ich persönlich bin der Meinung, dass wirkliche Gradmesser erbrachter Forschungsleistungen erst häu-

fig zitierte wissenschaftliche Veröffentlichungen, erteilte und genutzte Patente sowie in die Praxis überführte technische Lösungen sind.

Die in der Abteilung Technik im Pflanzenbau erbrachten Forschungsleistungen sind nicht das Ergebnis der Arbeit der einzelnen Wissenschaftler, sondern eines Forschungsteams, das in Aufgabenteilung erfolgreich zusammenarbeitet. Wenn z. B. bei einer referierten Veröffentlichung die Namen eines oder mehrerer Wissenschaftler als Autoren stehen, so ist sie das Ergebnis des effektiven Zusammenwirkens von technischen und wissenschaftlichen Mitarbeitern. Aus der Sicht des Wissenschaftlers möchte ich für meine Forschungsarbeiten besonders die Kollegen Rolf Adamek, Harald Kohn und Michael Heisig hier nennen, die häufig maßgebliche Anteile an der Erstellung von Veröffentlichungen und Berichten hatten. Auch darf in diesem Zusammenhang die Werkstatt mit den Kollegen Uwe Frank und Axel Anlauff nicht vergessen werden. Ohne die hervorragende Arbeit dieser Kollegen wäre der Bau von Forschungsmustern als Basis experimenteller Forschungsarbeiten nicht möglich gewesen.

Auch darf die Arbeit des Sekretariats einer Abteilung nicht unterschätzt werden. Hier laufen viele Fäden zusammen. Für viele Jahre arbeitete Frau I. Brion an dieser Schaltstelle, wofür ich an dieser Stelle herzlich danken möchte.

Es ist mir ein Bedürfnis, nicht nur auf die gute Zusammenarbeit innerhalb der Abteilung Technik im Pflanzenbau zu verweisen, sondern an konkreten Beispielen zu belegen, dass auch über Abteilungsgrenzen hinweg das Fortführen und Lösen von Forschungsaufgaben im Mittelpunkt der Arbeit am ATB stand und noch steht. Da ist zum einen der Anbau-Mähacker für Kurzumtriebsplantagen (KUP) zu nennen. Dr. V. Scholz aus der Abteilung Technik der Aufbereitung, Lagerung und Konservierung forderte bereits Mitte des vergangenen Jahrzehnts eine kostengünstige effizientere Erntetechnik für KUP, die in enger Zusammenarbeit mit der Abteilung Technik im Pflanzenbau entwickelt werden sollte. Erste Schritte zur Entwicklung eines neuen Prinzips wurden im Jahre 2010 in der Abteilung Technik im Pflanzenbau unternommen, die bereits in der Erntekampagne 2011/12 zu einem funktionsfähigen Forschungsmuster führten. Wie Dr. R. Pecenka in seinem Beitrag berichtete, konzentrierten sich nach erfolgreicher Entwicklung des Funktionsprinzips die Arbeiten in der Abteilung Technik der Aufbereitung, Lagerung und Konservierung auf das Untersuchen der Lagerungseigenschaften der mit dem Anbau-Mähacker hergestellten Grobhackschnitzel.

Eine ähnlich gute Zusammenarbeit zwischen beiden Abteilungen lässt sich bei der Entwicklung der Erntemaschine für Kamillenblüten gemeinsam mit Dr. Th. Hoffmann nachweisen.

Ich denke, es ist eine allgemein anerkannte Tatsache, dass Feierlichkeiten wie diese Verabschiedung wichtige Beiträge zu einem positiven Institutsklima leisten, andererseits erfordern sie auch entsprechende organisatorische Aufwendungen. Hier gab es viele unterstützende Gedanken und auch zupackende Hände aus dem gesamten Institut,

insbesondere durch Frau H. Foltan von der Öffentlichkeitsarbeit sowie seitens der Verwaltung, die ich hier nicht unerwähnt lassen möchte.

Mein besonderer Dank geht an unsere Teamassistentin Frau F. Gleiniger, die mit Akribie die organisatorischen Fäden in der Hand hielt und ich denke auch zukünftig in der gesamten Abteilung behalten wird.

Ein weiterer Name sollte an dieser Stelle unbedingt genannt werden, nämlich der von Frau A. Gabbert. Auch sie brachte sich maßgeblich in die Vorbereitung und Durchführung der Abschiedsfeierlichkeiten ein. Ein für mich persönlich noch viel bedeutender Anlass besteht allerdings darin, dass wir seit mehr als 15 Jahren in einer engen Lebensgemeinschaft zusammen leben. Diese gab mir viel Rückhalt und Unterstützung auch in schwierigen Phasen, wie sie manchmal im Leben vorkommen. Ich hoffe, dass dieses gemeinsame Leben und Erleben noch möglichst viele Jahre andauert.

Wenn ich auf die zahlreichen Geschenke und Glückwünsche blicke, dann bekomme ich fast Probleme, sie alle zuzuordnen. Ich verspreche, daran zielstrebig zu arbeiten. Vielen Dank dafür und für die gelungenen Kulturbeiträge von "Emma und Luise" sowie die gesanglichen Darbietungen.

Das Kolloquium anlässlich meiner Verabschiedung stand unter dem Motto "Sensoren. Modelle. Erntetechnik. Forschen für einen ressourceneffizienten Pflanzenbau". Es vermittelte übergeordnete Aspekte zu Precision Agriculture (PA). Prof. H. Auernhammer betrachtete PA aus der Sicht der agrartechnischen Forschung, Dr. E. Nacke und Dr. J. Horstmann aus der Sicht der Landmaschinenindustrie. Die Beiträge aus dem Hause ATB gaben einen Einblick in die aktuellen Forschungsansätze auf dem Gebiet der Sensorentwicklung und des -einsatzes. Abschließend widmete sich das Kolloquium der Entwicklung von Erntetechnik für Kamillenblüten und der Herstellung und Lagerung von Holzhackschnitzeln. Ich danke dem Moderator Prof. E. Kramer sowie allen Referenten sehr herzlich für ihre interessanten und hervorragend vorgetragenen Beiträge, die die Grundlage für die Erstellung dieses Heftes in der Schriftenreihe "Bornimer Agrartechnische Berichte" bildeten.

In seiner auf gründlichen Recherchen beruhenden Laudatio würdigte Prof. J. Hahn meine mehr als vierzigjährige Tätigkeit in der agrartechnischen Forschung, für die ich ihm hiermit herzlich danken möchte.

Ich bedanke mich bei den zahlreichen Kolleginnen und Kollegen am Standort Bornim und der gesamten agrartechnischen Gemeinschaft, mit denen ich in den zurückliegenden vier Jahrzehnten in angenehmer Atmosphäre zusammenarbeiten durfte.

Um es abschließend auf den Punkt zu bringen, möchte ich an dieser Stelle folgende Aussage machen:

Sollte mich jemand fragen, ob ich den richtigen Berufsweg gewählt habe und welches Fachgebiet ich aus heutiger Sicht favorisieren würde, so müsste ich über eine Antwort nicht lange nachdenken; sie wäre: "Landtechnik".



## In der Reihe Bornimer Agrartechnische Berichte

sind bisher erschienen:

Heft 1	Technik und Verfahren der Landschaftspflege	1992
Heft 2	Beiträge zur Lagerung und Verarbeitung pflanzenbaulicher Produkte	1993
Heft 3	Technik und Verfahren in der Tierhaltung	1993
Heft 4	Technik und Verfahren der Landschaftspflege und für die Verwendung der anfallenden Materialien	1994
Heft 5	Verfahrenstechnik der Aufbereitung, Lagerung und Qualitätserhaltung pflanzlicher Produkte	1994
Heft 6	Biokonversion nachwachsender Rohstoffe und Verfahren für Reststoffbehandlung	1994
Heft 7	Preußische Versuchs- und Forschungsanstalt für Landarbeit und Schlepperprüffeld in Bornim 1927 bis 1945	1995
Heft 8	Qualitätssicherung und Direktvermarktung	1996
Heft 9	Konservierende Bodenbearbeitung auf Sandböden	1996
Heft 10	Anwendung wärme- und strömungstechnischer Grundlagen in der Landwirtschaft	1996
Heft 11	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 1996	1996
Heft 12	Aufbereitung und Verwertung organischer Reststoffe im ländlichen Raum	1996
Heft 13	Wege zur Verbesserung der Kartoffelqualität durch Verminderung der mechanischen Beanspruchung	1997
Heft 14	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 1997	1997
Heft 15	Technische und ökonomische Aspekte der Nutztierhaltung in großen Beständen	1997
Heft 16	11. Arbeitswissenschaftliches Seminar	1997
Heft 17	Nachwachsende Rohstoffe im Land Brandenburg Stand Aktivitäten und Perspektiven einer zukunftsfähigen und umweltgerechten Entwicklung	1998
Heft 18	Qualität von Agrarprodukten	1998
Heft 19	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 1998	1998
Heft 20	Beiträge zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung	1998
Heft 21	Landnutzung im Spiegel der Technikbewertung – Methoden Indikatoren, Fallbeispiele	1998

Heft 22	Kriterien der Nachhaltigkeit in der Verfahrensentwicklung für die Nutztierhaltung	1999
Heft 23	Situation und Trends in der Landtechnik / Erneuerbare Energien in der Landwirtschaft	1999
Heft 24	Institut für Landtechnik der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin 1951 bis 1965	1999
Heft 25	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 1999 / 2000	2000
Heft 26	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 2001	2001
Heft 27	Approaching Agricultural technology and Economic Development of Central and Eastern Europe	2001
Heft 28	6 <sup>th</sup> International Symposium on Fruit, Nut, and Vegetable Production Engineering	2001
Heft 29	Measurement Systems for Animal Data and their Importance for Herd Management on Dairy Cow Farms	2002
Heft 30	Produktion, Verarbeitung und Anwendung von Naturfasern	2002
Heft 31	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 2002	2002
Heft 32	Biogas und Energielandwirtschaft - Potenzial, Nutzung, Grünes Gas <sup>TM</sup> , Ökologie und Ökonomie	2003
Heft 33	Sozioökonomische Aspekte zu Perspektiven des Offenlandmanagements	2003
Heft 34	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 2003	2003
Heft 35	Energieholzproduktion in der Landwirtschaft Potenzial, Anbau, Technologie, Ökologie und Ökonomie	2004
Heft 36	High-Tech Innovationen für Verfahrensketten der Agrarproduktion. Statusseminar 2003	2004
Heft 37	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 2004	2004
Heft 38	Die Landmaschinenprüfung in der DDR 1951-1991 und ihre Vorgeschichte	2004
Heft 39	Energieverlust und Schimmelpilzentwicklung bei der Lagerung von Feldholz-Hackgut	2005
Heft 40	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 2005	2005
Heft 41	Demonstration der Langzeitwirkung bedarfsorientierter Fungizidbehandlung mit dem CROP-Meter	2005
Heft 42	Biochemicals and Energy from Sustainable Utilization of herbaceous Biomass (BESUB)	2005

Heft 43	Ozontes Waschwasser zur Qualitätssicherung leichtverderblicher Produkte - Entwicklung einer <i>Fuzzy-Logic</i> -Steuerung des Waschprozesses	2005
Heft 44	Messsystem zur Bewertung des Unkrautvorkommens	2005
Heft 45	Anwendung der Thermographie zur Optimierung der Belüftungssteuerung bei der Lagerhaltung landwirtschaftlicher Produkte	2005
Heft 46	Membranbioreaktor zur Aufbereitung von Schlachthofabwässern Prozesssteuerung von Biogasanlagen mit Kofermentation	2005
Heft 47	Verschleißeinfluss auf das Förderverhalten von Drehkolbenpumpen	2005
Heft 48	Qualitätserhaltung und Qualitätssicherung von Bioobst und Biogemüse in der Nachernte	2005
Heft 49	Miniaturisiertes Datenerfassungs-System zum Implantieren in Früchte und zur Messung ihrer mechanischen Belastung durch Ernte- und Nachernteverfahren	2005
Heft 50	Prozesskontrolle der Qualität von frischem Obst und Gemüse mit Hilfe eines Multigas-Sensors	2005
Heft 51	Entwicklung eines Echtzeitsensors für die Stärkebestimmung bei Kartoffeln als funktionaler Bestandteil eines optoelektronischen Verleseautomaten	2005
Heft 52	Optimierte Steuerung von Getreide-Schachttrocknern	2005
Heft 53	Möglichkeiten und Grenzen der energetischen Nutzung von Rizinusöl	2005
Heft 54	Non-Destructive Methods for Detecting Health-Promoting Compounds COST Action 924 Working Group Meeting	2005
Heft 55	4 <sup>th</sup> IFAC / CIGR Workshop Control Applications in Post - Harvest and Processing Technology (CAPPT 2006) 26th - 29th March 2006, Potsdam, GERMANY	2006
Heft 56	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 2006	2006
Heft 57	Kontrolle der Frische in der Nacherntekette von Ökogemüse	2006
Heft 58	Entwicklung eines innovativen Dekontaminationsverfahrens als Technologieantwort auf zukünftiges Qualitätsmanagement im Nacherntebereich	2006
Heft 59	Experimental Studies and Mathematical Modelling of Solar Drying System for Production of High Quality Dried Tomato	2007
Heft 60	13. Workshop Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft & 4. Workshop Precision Farming	2007

Heft 61	Energiepflanzen im Aufwind Wissenschaftliche Ergebnisse und praktische Erfahrungen zur Produktion von Biogaspflanzen und Feldholz	2007
Heft 62	14. Workshop Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft	2008
Heft 63	Experten-Workshop Lagerung von Holzhackschnitzeln	2008
Heft 64	Postharvest unlimited 2008	2008
Heft 65	Vom Agrarrohstoff zu neuen Produkten – Verfahrens- technische Forschung im Nacherntebereich	2009
Heft 66	16. Arbeitswissenschaftliches Kolloquium des VDI-MEG Arbeitskreises Arbeitswissenschaften im Landbau	2009
Heft 67	Monitoring der methanbildenden Mikroflora in Praxis- Biogasanlagen im ländlichen Raum: Analyse des Ist- Zustandes und Entwicklung eines quantitativen Nachweis- systems	2009
Heft 68	Wieviel Biogas steckt in Pflanzen? Abschluss- Symposium des "Biogas-Crops-Network" (BCN) 7. Mai 2009 Potsdam	2009
Heft 69	Image Analysis for Agricultural Products and Processes 27 to 28. Aug. 2009 Potsdam	2009
Heft 70	5th International Technical Symposium on Food Processing, Monitoring Technology in Bioprocesses and Food Quality Management 31. Aug. to 02. Sept. 2009 Potsdam	2009
Heft 71	Einsatz von Biogas in PEM-Brennstoffzellen	2009
Heft 72	Teilflächenspezifische Grunddüngung	2009
Heft 73	16. Workshop Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft 04. Mai 2010 Braunschweig	2010
Heft 74	Erschließung von Nachhaltigkeitspotenzialen durch Nutzung innovativer Sensortechnologien <i>-Prozesskette Getreide-</i>	2010
Heft 75	Erschließung von Nachhaltigkeitspotenzialen durch Nutzung innovativer Sensortechnologien <i>-Prozesskette pflanzliche Frischeprodukte-</i>	2010
Heft 76	International Workshop The future of the quarter individual milking 14. – 15. September 2010 Potsdam	2010
Heft 77	A flow cytometric approach to monitor the effects of gentle preservation techniques in the postharvest chain	2011
Heft 78	17. und 18. Workshop Computer-Bildanalyse in der Land- wirtschaft 05. Mai 2011 Stuttgart und 09. Mai 2012 Osnabrück	2012

Heft 79	2. Öffentliches Symposium des „BCN“ BiogasPOTENZIALE Erkennen, Erforschen, Erwirtschaften	2012
Heft 80	Mechanisms of Bacillus spore germination and inactivation during high pressure processing	2013
Heft 81	19. Workshop Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft 2. Workshop Unbemannte autonom fliegende Systeme in der Landwirtschaft 06. – 07. Mai 2013 Berlin	2013
Heft 82	3rd Global Workshop on Proximal Soil Sensing	2013
Heft 83	19. Arbeitswissenschaftliches Kolloquium des VDI-MEG Arbeitskreises Arbeitswissenschaften im Landbau 11. – 12. März 2014 Dresden	2014
Heft 84	Prozessmikrobiologie in landwirtschaftlichen Biogasanlagen Schlussbericht zum Forschungsverbund BIOGAS-BIOCOENOSIS	2014
Heft 85	Sensoren.Modelle.Erntetechnik Kolloquium zur Verabschiedung von Dr. Ehlert 27. Mai 2014 Potsdam	2014

Interessenten wenden sich an:

Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V.  
Max-Eyth-Allee 100  
14469 Potsdam

Tel.: (0331) 5699-820  
Fax.: (0331) 5699-849  
E-Mail: [atb@atb-potsdam.de](mailto:atb@atb-potsdam.de)

Schutzgebühr: 13,- €