

Prof. Dr. Hermann Auernhammer, TU München

Precision Farming - Technische Möglichkeiten im Ackerbau

1. Hinführung

Die Landwirtschaft hat sich in den vergangenen 50 Jahren vollständig gewandelt. Zugtiere und Handarbeit gehören der Vergangenheit an. Die Technik bestimmt heute das tägliche Leben. Doch auch sie ist nicht statisch sondern dynamisch. Mit zunehmender, ja vielfach beängstigender, Geschwindigkeit verändert sie sich. Aus einfachen und kleinen Traktoren sind große universelle Systemfahrzeuge geworden. Sie ermöglichen den gleichzeitigen Anbau mehrerer Maschinen und Geräte in Form selbstfahrender Traktor-Geräteeinheiten. Zug- und Drehleistung stehen in nahezu unbegrenztem Umfange zur Verfügung. Hydraulik ist zur Selbstverständlichkeit geworden.

Und nun findet die Elektronik Eingang in die Landtechnik. Aus der „dummen Mechanik“ werden im Zusammenspiel mit der Hydraulik und der „Elektrik als Steuerhilfe“ intelligente Systeme. Der Fahrantrieb kann nun über Leistungsverzweigung mit hohem Wirkungsgrad stufenlos realisiert werden. Der Motor erhält neue elektronisch gesteuerte Einspritzsysteme. Motor und Getriebe werden in intelligenter Weise verbunden und arbeiten nach wählbaren Zielstrategien in optimierter Form zusammen. Automatikfunktionen vereinfachen die Bedienung und steuern komplette Arbeitsabläufe.

Doch auch außerhalb des Traktors haben sich wesentliche Veränderungen ergeben. Applikationsgeräte verfügen schon seit mehr als 20 Jahren über eigene elektronische Steuer- und Regeleinheiten. Präzise Dosierungen sind zur Selbstverständlichkeit geworden.

Die Ernte wird zunehmend mit selbstfahrenden Maschinen erledigt. Sie stellen in sich geschlossene Systeme dar und haben deshalb große Freiräume

in der Optimierung. Immer mehr Sensoren garantieren höchste Arbeitsqualität bei optimierter Arbeitsleistung und zunehmender Entlastung des Fahrers.

Insofern stehen heute dem Landwirt drei weitgehend voneinander unabhängige Hochleistungstechnologien in „Traktor und Gerät“, „Applikationstechnik“ und in der „Erntetechnik“ für die Landbewirtschaftung zur Verfügung. In der traditionellen Nutzung innerhalb der bestehenden Produktionsverfahren garantieren sie zunehmende Produktivität auf hohem Niveau. Doch gleichzeitig eröffnen sich mit diesen Technologien völlig neue Möglichkeiten der Landbewirtschaftung, wenn über entsprechende Elemente neue Einsatzwege und Einsatzformen gefunden und realisiert werden.

2. GPS und LBS/ISOBUS, die „Verbindenden Elemente“

Einzeln optimierte Technologien benötigen für ihre gemeinsame Nutzung und für die Systemoptimierung verbindende Elemente. Für die Elektronik in der Landwirtschaft sind dies:

2.1 Ortung und Navigation

Mit der Installation von GPS im Weltraum seit Beginn der 70er Jahre steht ab Mitte der 90er Jahre ein weltweit verfügbares Ortungssystem zur kostenfreien Nutzung zur Verfügung.

Die heutigen militärischen Systeme erreichen Grundgenauigkeiten von 10 - 15 m.

GALILEO als rein ziviles System wird diese in den Bereich von 4 - 5 m verbessern.

Differentielle Methoden in GPS, GLONASS und künftig in GALILEO ermöglichen die Zentimetergenauigkeiten. Damit lassen vielfältige Aufgaben in der Landbewirtschaftung realisieren (Abb. 1):

Pionierarbeit eingeleitet und geleistet. Nach 11-jähriger Kleinarbeit wurde das „Landwirtschaftliche BUS-System (LBS)“ als Norm DIN 9684 definiert und veröffentlicht (Abb. 2).

Parallel dazu erfolgte auf Initiative Deutschlands die Schaffung der erforderlichen Gremien für die Normung in der ISO. LBS wurde in die ISO-Normung eingebracht. Der vor dem Abschluss der Normung stehende ISOBUS nach ISO 11783 ist funktionell identisch mit LBS, weshalb Aufrüstungen von LBS in den ISOBUS auf die Software beschränkt bleiben und damit in Zukunft schnell und sicher erfolgen können.

3. Präziser Ackerbau

Moderne Landtechnik mit integrierter Elektronik und in Verbindung mit GPS und LBS ermöglicht die Abkehr von der „uniformen Landbewirtschaftung“ der vergangenen Jahrzehnte. Landbewirtschaftung mit neuer Technologie wird

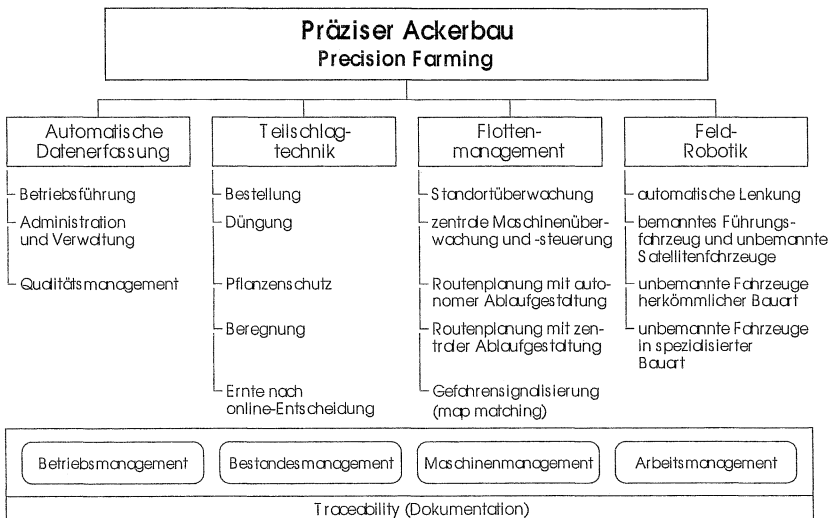


Abbildung 3: Bereiche und Teilbereiche des „Precision Farming“

standortangepasst und präzise, selbst innerhalb von kleinen und kleinsten Teilschläge. Die kleinräumige Bewirtschaftungsweise wird damit auch in Großstrukturen, im überbetrieblichen Maschineneinsatz und in den Fremdarbeitsbetrieben möglich. Elektronik und Kommunikation garantieren die Präzision und ermöglichen damit für „Jedermann“ das „Precision Farming“ in umfassender Form (Abb. 3).

Der einzelne Landwirt wird dabei nur jene Teile realisieren, welche seine Probleme direkt lösen, wo er finanzielle Vorteile erwartet oder wo er durch sich weiter verschärfende Vorschriften und Auflagen zur Nutzung gezwungen wird.

3.1 Automatische Datenerfassung (Dokumentation)

Durch die Vielzahl heute schon verfügbarer und morgen noch zu entwickelnder Sensoren wird über GPS und LBS die automatische Datenerfas-

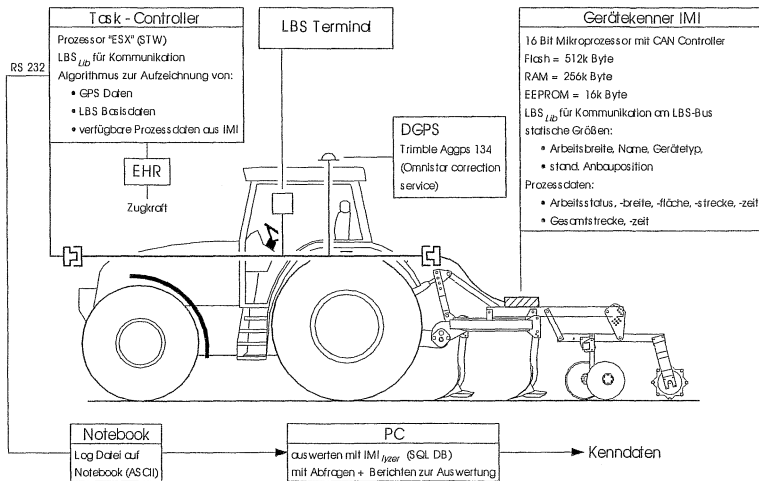


Abbildung 4: Prinzip der automatischen Datenerfassung mit GPS, LBS und IMI in einer Traktor-Gerätekombination

sung nach Ort und Zeit möglich (Abb. 4). Sie kann eine Vielzahl von Aufgaben lösen und damit das Betriebsmanagement auf eine neue Basis stellen.

In der Betriebsführung können

- Arbeitszeiten für die Schlagkartei,
 - Produktionsmittel für Schlagkartei und Buchführung,
 - Prozessdaten für Maschinendatei (Einsatzzeit, Beanspruchung, Auslastung),
 - Aufwandsdaten für das Rechnungswesen im überbetrieblichen Einsatz und
 - Grunddaten für Precision Farming
- gewonnen werden.

Für Administration und Verwaltung wird es möglich,

- Schlagaufmaßung für Flächennachweis und Antragswesen und
 - Maßnahmendokumentation
- durchzuführen.

Völlig neue Möglichkeiten zeichnen sich im Qualitätsmanagement für die

- ISO 9000 Zertifizierung und die
 - georeferenzierte Qualitätsdokumentation (Inhaltsstoffe, Feuchte)
- ab. Dies eröffnet den Einstieg in sogenannte „Gläserne Produktion“, wodurch der Landwirt offensiv den Wünschen der Verbraucher entgegenkommen kann und damit in die Lage versetzt wird, verspieltes Vertrauen wieder zurück zu gewinnen.

3.2 Teilschlagbewirtschaftung

Vielfach wird vereinfachend unter dem Begriff „Precision Farming“ nur die Teilschlagbewirtschaftung verstanden (Abb. 5).

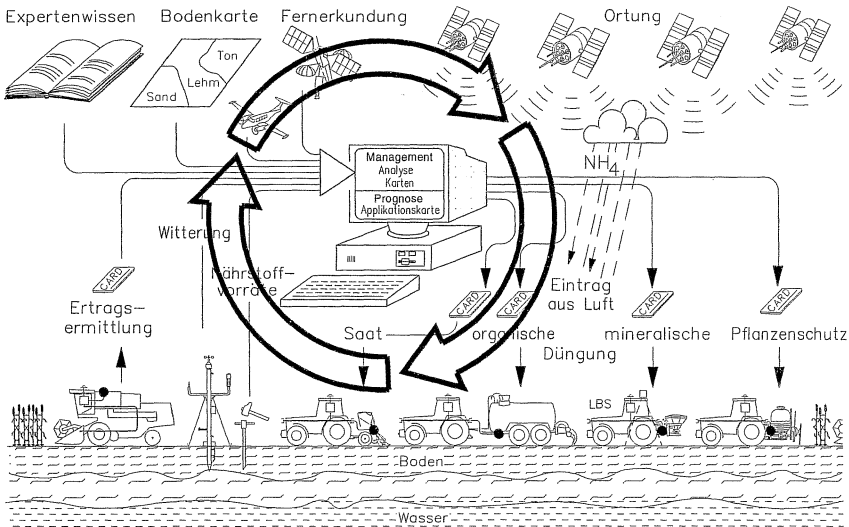


Abbildung 5: Informationskreislauf im teilflächenspezifischen Pflanzenbau

Darin steht üblicherweise die Ertragsermittlung (siehe automatische Datenermittlung) zum Ende der Vegetation am Anfang des Informationskreislaufes. Ihr folgen die Bodenbeprobung und daraus abgeleitet die Prognosen für die erforderlichen Applikationsmaßnahmen im Hinblick auf das definierte Ertragsziel.

Innerhalb dieses Systems wird heute weltweit die Düngung sehr stark in den Vordergrund gerückt, obwohl auch alle anderen Applikationen und auch die teilflächenspezifischen Erntemaßnahmen betrachtet werden müssten. Innerhalb der Vegetation sind dies die teilflächenspezifische Bestellung mit einer:

- bodenartspezifischen Bearbeitungsintensität nach dem Motto „nur dort tiefer arbeiten, wo es Sinn macht und den Ertrag sichert“, um Treibstoff und Arbeitszeit einzusparen

- der Bodenart und der Wasserführung angepassten differenzierten Saatmenge mit ertragsorientierter Pflanzenzahl
- an die Bodenart angepassten Saattiefe, um Bedeckung und Wasserführung für einen optimalen Feldaufgang zu nutzen
- veränderten Saatgutablage für einen standortangepassten Standraum der Einzelpflanze mit einer besonderen Bedeutung bei Zuckerrüben und Mais.

Alle diese Maßnahmen erlauben einzeln oder in der Summe einen reduzierten Saatgutaufwand mit effizienterer Nährstoff- und Wassernutzung!

Die teilflächenspezifische Düngung bei der Versorgung mit P und K bei den stärker an Wachstum und Witterung gebundenen Stickstoffdüngungen. Beide Bereiche unterscheiden sich in ihren Anforderungen und demnach auch in den technischen Ansätzen:

- Bei der teilflächenspezifischen Grunddüngerversorgung kann auf fundierte verfügbare Regeln zurückgegriffen werden, welche bisher ausschließlich für die uniforme Applikation angewandt wurden. Diese sind auf die Teilflächen herunterzuberechnen und basieren als Einmalanwendung je Vegetation auf der Basis des Entzuges durch die Ernte des Vorjahres und der verfügbaren Versorgung der Böden.
- Hingegen muss bei der teilflächenspezifischen N-Düngung das Wachstum als Resultat aus Nährstoffversorgung, -verfügbarkeit und aus der Witterung einbezogen werden. Dazu wurde speziell in Deutschland (in Europa) der Sensoransatz entwickelt, welcher über die Erfassung der Reflexion des Chlorophylls in Bezug zur Ertragserwartung die N-Düngungsmenge ableitet und umsetzt. Verbesserungen in ökonomischer und ökologischer Sicht verspricht eine Kartenüberlagerung aus langjährigen Ertragsdaten, welche die sonst unvermeidbare lokale Überdüngung reduzieren oder vermeiden würde.

Ein reduzierter Aufwand bei gleichbleibender Versorgung mit Grundnährstoffen und eine verringerte N-Auswaschung sind die Ziele und Möglichkeiten dieser Applikationstechnik!

Schwieriger gestaltet sich der teilflächenspezifische Pflanzenschutz, weil dafür die leicht realisierbare Ertragskartierung als Ausgangsinformation nur eine Anpassung an die zu erwartende Biomasse in der Fläche und damit an die benötigte Mittelmenge ermöglichen kann. Hingegen muss bei allen anderen denkbaren Anwendungen eine „manuelle“ oder „automatische“ Bonitur einbezogen werden, welche in erster Form sehr zeitaufwendig und in der zweiten Form einen hohen technischen Aufwand nach sich zieht. Umsetzbare Ansätze sind:

- Die manuelle Unkrautkartierung mit der Ableitung einer Spritzkarte mit einheitlicher Mixtur
- Der Sensoransatz nach Bedeckung mit Online-Applikation einer einheitlichen Mixtur
- Die Unkrauterkenennung, bzw. die Schadpilzerkenennung mit der Behandlung in Direkteinspeisungssystemen

Alle diese Maßnahmen führen zu einer Aufwandverringerung und einer stärker spezifizierten Mittelanwendung!

Bei der Beregnung wiederum können die verfügbaren Regeln für die erforderlichen Applikationsmengen nach der Bodenart und dem Witterungsverlauf herangezogen werden.

Wasser- und Energieeinsparung sind die möglichen ökonomischen und vor allem ökologischen Möglichkeiten dieser Applikationsform!

Neue Möglichkeiten zeigen sich auch für die Ernte ab. Warum sollte dabei nicht schon die Qualitätsdifferenzierung auf dem Feld beginnen, um schwierige und zum Teil unmögliche Trennvorgänge innerhalb der Nacherntetechnologie zu vermeiden? Heute schon denkbare und realisierbare Ansätze sind:

- Die Teilflächenernte nach Gutfeuchte bei Getreide mit einer Schlagdifferenzierung aus ersten Testfahrten oder aus langjährigen Feuchtekartierungen der Erträge.
- Eine teilflächenorientierte Differenzierung der Erntegüter nach Inhaltsstoffen (z.B. Eiweiß) durch Unterteilung der Sammelbehälter oder durch einen Verzicht auf die Sammlung wenig qualitativer Ernteteilflächen.
- Die Online-Applikationsdosierung von erforderlichen Konservierungsmitteln z.B. in der Futterernte.

Derartige Maßnahmen tragen uneingeschränkt zur Qualitätssicherung und vielfach auch zu einer Kostensenkung in der daran anschließenden Be- und Verarbeitung bei!

3.3 Gewannebewirtschaftung und „Virtuelle Flurbereinigung“

Alle aufgezeigten Möglichkeiten differenzieren entsprechend der Bezeichnung einen vorhandenen Schlag in Teilschläge mit weitgehend einheitlichen Merkmalen. Aus der Heterogenität wird dadurch kleinstrukturierte Homogenität bis hin im Extremfall zur Einzelpflanze mit ihrem eigenen Standraum. Je größer die Schläge sind, um so vielfältiger wird die zu erwartende Heterogenität sein. Umgekehrt nähert sich mit abnehmender Schlaggröße der jeweilige Schlag immer mehr einer in Grenzen gleitenden Homogenität. Teilflächentechnik kann somit in kleinstrukturierten Gebieten nur unmittelbar für eine präzisere Bewirtschaftung sorgen.

Allerdings ist in Umkehrung des Differenzierungsvorganges der einzelne Schlag in einer Feldflur als homogene Teilfläche einer über die Schlaggrenzen hinweggehenden Bewirtschaftung zu sehen. Damit entsteht die

Bewirtschaftungsform in Gewannen (altdeutscher Begriff für Flurteile mit einheitlichem Flurzwang) oder nach Bildung von Gewannen in einer gesamten Gemeinde oder über die Gemeindegrenzen hinweggehenden Feldflur die Form einer „Virtuellen Flurbereinigung“. In beiden Fällen bleibt der Besitz unverändert. Die denkbaren Bewirtschaftungsformen lassen sich mehr ökonomisch und/oder ökologisch orientierten Zielen zuordnen (Abb. 6).

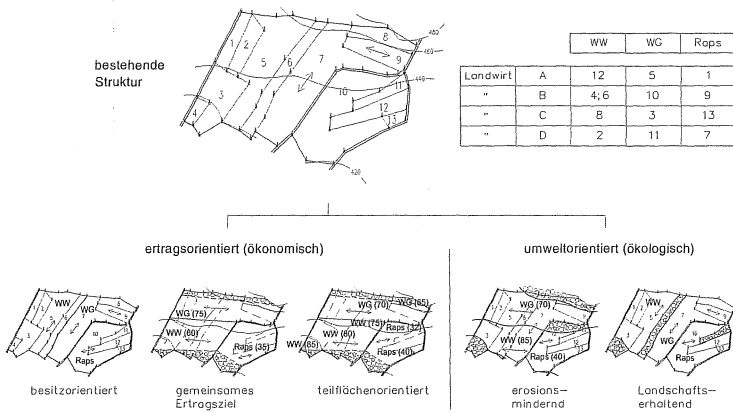


Abbildung 6: Schematisches Beispiel für eine „Gewannebewirtschaftung“

Voraussetzungen für derartige Bewirtschaftungsformen sind:

- Eine dauerhafte und zweifelsfreie (koordinierte) Grenzsicherung
- Flurzwang in einer gemeinsamen Fruchtfolge (utopisch?)
- Technik mit hoher Genauigkeit und Zuverlässigkeit
- gute Infrastruktur für überbetrieblichen Maschineneinsatz (Wegenetz)

Die Umsetzung erfolgt durch gemeinsame Nutzung der besten verfügbaren Technik und des besten verfügbaren „know hows“:

Nach Vorgabe der Eigentümer (besitzorientiert). Bei einheitlicher Fruchtfolge werden die Vorgaben der Eigentümer

- bei der Bestellung (Sorte, Dichte),
- bei der Düngung (Art, Höhe) und
- beim Pflanzenschutz

in der Bestandesführung zugrunde gelegt. Die Bewertung erfolgt nach Aufwand und Ertrag je Einzelfläche mit einem vorab definierten Zu-/Abschlag für die Vorgewendeflächen.

Nach gemeinsamer Ertragsdefinition in Verbindung mit erforderlichen Aufdüngungen für im Gewanne enthaltene unterschiedliche Ausgangflächen durch

- Saat mit homogener Saatgutverteilung,
- homogener Düngung entsprechend dem Ertragsziel

und einer rechnerisch anteiligen Aufwands- und Ertragszuordnung nach Flächenanteil.

Im „Precision Farming“ in den nun größeren Schlägen (Gewannen)

- unter Berücksichtigung der gegebenen Bodenfruchtbarkeiten,
- mit lokal angepassten Saatstärken und
- über lokale N-Düngungen nach aktueller Wasser- und Nährstoffsituation mit einer eigentumsbezogenen kleinräumigen Aufwands- und Ertragsermittlung

Erste Ergebnisse aus Pilotvorhaben bestätigen das enorme Potenzial dieser Bewirtschaftungsformen, wenn Mindestschlaggrößen von 8 - 10 ha erreicht werden:

- Der Vorbeeflächenanteil und damit der Flächenanteil mit hoher Bodenschädigungswahrscheinlichkeit reduziert sich um 15 - 25%
- der Arbeitszeitbedarf vermindert sich um 25 - 30%
- je ha können die Kosten zwischen 200 und 600 DM gesenkt werden

3.4 Flottenmanagement

Neben der Teilschlag- oder Gewannebewirtschaftung ermöglicht die automatische Datenerfassung in Verbindung mit einer Kartenüberlagerung (map matching) und/oder telemetrischen Einrichtungen vielfältige Formen des Mechanisierungsmanagements. Diese werden unabhängig von der Zahl der daran beteiligten Einzelmaschinen bzw. Teilnehmer als Flottenmanagementsysteme bezeichnet. Ihre Ausprägungsformen können autark auf die Einzelmaschinen oder in unterschiedlichen Ausprägungen auf eine Leitzentrale ausgerichtet sein.

Die Maschinensicherung kann in einem Auftrag enthaltene örtlich bedingte Gefahrenpotentiale erkennen, wenn automatische Datenerfassungssysteme über GPS mit einer Kartenhinterlegung eine ständige „Gefahrenanalyse“ durchführen und bei Annäherung an bekannte Gefahrenzonen wie beispielsweise

- feldinterne Hindernisse,
- kritischer Tragfähigkeit von Böden,
- gefährliche Steillagen

erkannt und dem Fahrer signalisiert werden. Zusätzliche Maßnahmen können eine weitere Sicherheit durch akustische Meldungen bis hin zur automatischen Bewegungsabschaltung enthalten.

Derartige Einrichtungen sichern die Einsatzfähigkeit der Maschinen, vermeiden „vorhersehbare Schäden“ und erbringen ihren vollständigen Nutzen auch bei weniger felderfahrenem Bedienpersonal!

Bei den zentral ausgerichteten Systemen kann die reine Standortüberwachung je nach Anforderung und Konfiguration

- selbsttätige Standortmeldungen durchführen,
- den Standort auf Anfrage mitteilen,

- mit der Standortmeldung Prozessgrößen übermitteln, um z.B. die aktuelle Arbeitssituation oder die aktuell vorliegende Maschineneinstellung zu überprüfen.

Dadurch ist eine höhere Überwachungs- und Planungssicherheit ohne Arbeitsbeeinflussung gegeben!

Beim Einsatz von Maschinenkomplexen kann eine zentrale Maschinenüberwachung und -steuerung vielfältige Vorteile durch

- die ständige Überwachung der Einzelmaschinen mit ihren Leistungs- und Einstellparametern,
 - einen zentralen Einstellungsvergleich mit
 - zentraler Einstellung und
 - zentraler Diagnose
- erbringen.

Damit wird es möglich, auch bei weniger qualifiziertem Bedienpersonal und/oder bei langen Arbeitsschichten gleichbleibende Arbeitsqualitäten zu erreichen und die Gesamtleistung zu steigern und zu sichern!

Insbesondere im überbetrieblichen Maschineneinsatz ermöglicht die Routenplanung mit autonomer Ablaufüberwachung eine erste Verbesserung in der Leistungsfähigkeit und in der Ablaufsicherheit. Merkmale dieser Einsatzform sind:

- die zentrale Routenerstellung als Vorgabe,
- die autonome lokale Umsetzung und Zielführung durch die Bedienungsperson,
- die automatische Dokumentation und Rückmeldung während der Arbeiterledigung, nach Beendigung eines Arbeitsauftrages oder nach Schichtende.

Damit werden planbare Arbeitsabläufe optimiert und die Fähigkeiten der beteiligten Bedienpersonen akzeptiert und gefördert!

Schließlich können bei der Routenplanung mit zentraler Ablaufüberwachung auch weniger sicher planbare Arbeitsabläufe verbessert und optimiert werden. Dabei erfolgt:

- eine zentrale Routenerstellung,
- die ständige zentrale Überwachung bei lokaler und/oder zentraler Dokumentation und
- eine ad hoc erforderliche Neuplanung bei veränderter oder unerwarteter Ablaufsituation mit sofortiger zentraler Hinweis- und Steuerinformation.

Durch den hohen Aufwand wird die Reaktionsmöglichkeit auf kurzfristig erforderliche Eingriffe möglich und gesichert!

3.5 Feldrobotik

Präziser Ackerbau erfordert derzeit und auch künftig den arbeitenden Menschen. Informationstechnologie ermöglicht für ihn jedoch Arbeitsentlastung und Leistungssteigerung bis hin zur Verlegung des realen Arbeitsplatzes von der Maschine in die Leitzentrale. Dabei sind vier aufeinanderfolgende Umsetzungsschritte zu erwarten und absehbar:

Zuerst werden automatische Lenksysteme mit Bedienperson an Bord zu einer leichteren und präziseren Arbeit führen. Haupteinsatzgebiete ergeben sich

- in der Kantenführung entlang von Furchen, liegenden oder stehenden Erntegütern,
- bei der parallelen Maschinenführung mit großen Arbeitsbreiten und oder bei schlechter Sicht zur Verringerung von Überlappungen,
- für das automatische Wenden mit automatisch ablaufenden Bedienfolgen und Maschinenrückführung in die optimierte Einstellung.

Alle diese Einrichtungen erleichtern die Arbeit und steigern die Leistung. Zugleich leisten sie einen Beitrag zum Umweltschutz!

Bemannte Führungsfahrzeuge mit unbemannten Drohnen werden dort benötigt werden, wo kurzzeitig und termingerecht große Arbeitskapazitäten bereitgestellt werden müssen. Sie lassen sich beispielsweise

- in einer bemannten Sätechnik mit unbemannter Saatbettbereitungstechnik,
- in Komplexen aus bemannten Mähdreschern mit unbemannten Folgemaschinen oder
- in einem bemannten Mähdrescher mit einem unbemannten Abfuhrfahrzeug

realisieren.

Solche Systeme bauen auf verfügbare Technik und können zur Schlagkraft-erhöhung ohne saisonale Zusatzkräfte beitragen!

Erste unbemannte Fahrzeuge herkömmlicher Bauart werden derzeit realisiert und als Experimentfahrzeuge eingesetzt. Ihr Einsatz ist zu erwarten

- für monotone Tätigkeiten auf großen Flächen (pflügen) und/oder
- beim Einsatz auf gefährdeten Flächen

Damit können verfügbare Kapazitäten mit ausgereifter Technologie genutzt und mit hoher Sicherheit eingesetzt werden!

Schließlich werden mit der neuen Technologie Roboter in spezialisierter Bauart entstehen, um

- niedrigste Bodenbelastung
 - umweltschonende Energiesysteme
 - optimierte Werkzeuge und Geräte
- umzusetzen.

Es entstehen optimierte Feldbestellungssysteme für den umweltschonenden und termingerechten Einsatz in vielfältiger Form und Ausprägung !

4. Einordnung und Schlussfolgerungen

Mit Elektronik wird die Landtechnik intelligent. Aus den heute schon verfügbaren und weitgehend optimierten Teilsystemen des Traktors mit Geräten, der Applikationstechnik und den selbstfahrenden Erntemaschinen entstehen neue und präzisere Gesamtsysteme für die Feldbewirtschaftung:

- GPS liefert "Ort und Zeit" im *Sekundentakt*,
- LBS/ISOBUS garantiert die standardisierte Kommunikation zwischen *mobiler Elektronik* (Schlepper und Gerät), Fahrer und Betriebsführung (Betriebsrechner),
- beide zusammen ermöglichen „Precision Farming“.

Mit dieser Technologie in der vielfältigen Ausprägung für die Betriebsführung, für die Bestandesführung, für das Flottenmanagement und für die Feldrobotik steht der Ackerbau vor einer neuen Herausforderung. Es liegt am Einzelnen die für ihn wichtige und richtige Technologie auszuwählen und zu nutzen. Ein Zuwarten ist problematisch, weil dadurch Nachteile gegenüber dem Konkurrenten im Dorf, im Land oder in der globalen Welt entstehen.

Schon heute bietet diese Technologie Sicherheiten in vielfältiger Form:

- **Investitionssicherheit** mit Nutzung standardisierter Technik von morgen
- **Informationssicherheit** durch eine automatisierte Betriebsdatenerfassung
- **Administrative Sicherheit** über die Dokumentation durchgeführter Maßnahmen
- **Strukturelle Sicherheit** durch die Möglichkeit der Gewannebewirtschaftung
- **Nachhaltigkeit und Umweltschutz** durch teilflächenspezifische Bewirtschaftung.