



## STANDORT SOEST

### FACHBEREICH AGRARWIRTSCHAFT

#### **„Smart Farm 4.0“: Mit Precision Farming und Farm- managementsystemen zum vernetzten Modellbetrieb – Konzeption von Beispielbetrieben als digitale Farm**

von

Robert Kero, Maximilian Keppmann, Tobias Gurk, Cederic  
Trienens, Christian Strake, Katharina Ritterbach,  
Gesa-Maria Risse, Johanna Plempe, Lisa Hilleckes, Jörg Grotenhöfer,  
Kai Günther, Markus Schlotmann, Elin Walke, Christian Helms,  
Andre Hahn, Florian Schulze-Sindern, Marcel Rode, Isabell Spieth,  
Anna Schaab, Lukas Schwartkop, Leonie Kutschbach, Carolin Runig,  
Jan Hüppe, Matthias Beckmann, Pascal Kensok und Wolf Lorleberg

Datum:	2. März 2018
Lehrveranstaltung:	Projektmanagement
Semester:	1. Master
Betreuer/in:	Prof. Dr. agr. Dipl.-Ing. agr. W. Lorleberg

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Verzeichnis der Tabellen.....	VI
Verzeichnis der Abbildungen.....	VII
Verzeichnis der Abkürzungen .....	X
1 Einleitung .....	- 1 -
2 Digitale Anwendungen im Ackerbau .....	- 6 -
2.1 Entwicklungspfade zur Landwirtschaft 4.0 .....	- 6 -
2.2 Beispielbetrieb Versuchsgut Merklingsen .....	- 7 -
2.3 GPS und Parallelfahrssysteme als Grundlage für Smart Farming ..	- 9 -
2.3.1 Aktueller Stand der Technik .....	- 9 -
2.3.1.1 Funktionen und Aufbau eines Parallelfahrssystems .....	- 10 -
2.3.1.2 Funktionsweise von Satellitensystemen .....	- 11 -
2.3.1.3 Kosten von Parallelfahrssystemen.....	- 14 -
2.3.2 Stand der Technik auf dem Beispielbetrieb Versuchsgut Merklingsen .....	- 16 -
2.3.3 Entwicklungspfade zur Landwirtschaft 4.0.....	- 17 -
2.3.4 Empfehlungen, Chancen und Risiken .....	- 17 -
2.4 Bodenbearbeitung, Bodenschonung und Bodenanalyse .....	- 18 -
2.4.1 Aktueller Stand der Technik .....	- 18 -
2.4.1.1 Gerätebeispiel: Karat 9-Grubber von Lemken.....	- 18 -
2.4.1.2 TopSoil Mapper (TSM) von Geoprospectors.....	- 19 -
2.4.1.3 Reifendruckregelanlage von R&M .....	- 20 -
2.4.1.4 Durchführung eigener Bodenanalysen.....	- 20 -
2.4.2 Stand der Technik auf dem Beispielbetrieb .....	- 21 -
2.4.3 Entwicklungsoptionen für den Beispielbetrieb .....	- 22 -
2.5 Digitale Bodenkarten und deren Nutzung .....	- 24 -
2.5.1 Aktueller Stand der Technik .....	- 24 -
2.5.2 Nutzung digitaler Bodenkarten .....	- 25 -

2.5.3	Beispiel einer Bodenkarte zum pH-Wert.....	- 27 -
2.5.4	Diskussion .....	- 29 -
2.5.5	Fazit.....	- 30 -
2.5.6	Ausblick .....	- 31 -
2.6	Aussaat.....	- 32 -
2.6.1	Aktueller Stand der Technik .....	- 32 -
2.6.1.1	Teilflächenspezifische Aussaat .....	- 32 -
2.6.1.2	Teilbreitenschaltung „Section Control“ .....	- 34 -
2.6.1.3	Kurvenkompensation .....	- 34 -
2.6.1.4	Fendt XAVER.....	- 35 -
2.6.2	Stand der Technik auf dem Beispielbetrieb .....	- 38 -
2.6.3	Entwicklungsoptionen für den Beispielbetrieb .....	- 39 -
2.7	Düngung .....	- 40 -
2.7.1	Aktueller Stand der Technik .....	- 40 -
2.7.1.1	ISOBUS als Grundlage .....	- 40 -
2.7.1.2	Teilflächenspezifische Steuerung und Dokumentation ..	- 41 -
2.7.1.3	Lösungen für Wirtschaftsdünger und Kalkdünger .....	- 43 -
2.7.2	Stand der Technik auf dem Beispielbetrieb .....	- 45 -
2.7.3	Entwicklungspfade zur Landwirtschaft 4.0.....	- 45 -
2.7.4	Entwicklungsoptionen für den Beispielbetrieb .....	- 46 -
2.7.4.1	Kurzfristig .....	- 46 -
2.7.4.2	Mittelfristig.....	- 47 -
2.7.4.3	Langfristig .....	- 47 -
2.7.5	Empfehlungen, Chancen und Risiken .....	- 48 -
2.8	Pflanzenschutz – Automatische Unkrauterkenung.....	- 49 -
2.8.1	Aktueller Stand der Technik .....	- 50 -
2.8.1.1	AmaSpot .....	- 50 -
2.8.1.2	Blue River .....	- 51 -
2.8.1.3	Smart Spraying .....	- 53 -
2.8.1.4	H-Sensor.....	- 54 -

2.8.2	Diskussion .....	- 57 -
2.8.3	Empfehlung für den Beispielbetrieb.....	- 59 -
2.9	Erntetechnik und Erntelogistik.....	- 59 -
2.9.1	Aktueller Stand der Technik .....	- 59 -
2.9.2	Stand der Technik auf dem Beispielbetrieb .....	- 64 -
2.9.3	Entwicklungspfade zur Landwirtschaft 4.0.....	- 65 -
2.9.4	Entwicklungsoptionen für den Beispielbetrieb .....	- 65 -
2.9.5	Empfehlungen, Chancen und Risiken .....	- 66 -
2.10	Planung und Dokumentation.....	- 68 -
2.10.1	Aktueller Stand der Technik .....	- 68 -
2.10.2	Stand der Technik auf dem Beispielbetrieb.....	- 70 -
2.10.3	Entwicklungspfade zur Landwirtschaft 4.0 .....	- 72 -
2.10.4	Entwicklungsoptionen für den Beispielbetrieb .....	- 74 -
2.10.5	Empfehlungen, Chancen, Risiken .....	- 75 -
2.11	Digitale Beratung .....	- 76 -
2.11.1	Aktueller Stand der Technik .....	- 76 -
2.11.2	Stand der Technik auf dem Beispielbetrieb.....	- 78 -
2.11.3	Entwicklungspfade zur Landwirtschaft 4.0 .....	- 78 -
2.11.4	Entwicklungsoptionen für den Beispielbetrieb.....	- 79 -
2.11.5	Empfehlungen, Chancen und Risiken .....	- 80 -
2.12	Roboter im Ackerbau .....	- 81 -
2.12.1	Aktueller Stand der Technik .....	- 82 -
2.12.1.1	Hackroboter OZ.....	- 82 -
2.12.1.2	Multifunktionale Roboterplattform „BoniRob“ .....	- 83 -
2.12.2	Stand der Technik auf dem Beispielbetrieb.....	- 85 -
2.12.3	Empfehlungen für den Beispielbetrieb .....	- 86 -
3	Schweinehaltung.....	- 88 -
3.1	Stand der Technik.....	- 88 -
3.1.1	Tierkontrolle.....	- 88 -
3.1.2	Reproduktion .....	- 90 -

3.1.3	Fütterung .....	- 94 -
3.1.3.1	Digitale Futterbestellung .....	- 96 -
3.1.3.2	Digitale Futterzusammensetzungs- und Futteranmischsysteme .....	- 97 -
3.1.3.3	Digitale gesteuerte Futtevorlage in der Sauenhaltung ..	- 98 -
3.1.3.4	Digitale gesteuerte Futtevorlage in der Ferkelaufzucht und Schweinemast.....	- 102 -
3.1.3.5	Digitale Systeme in der Arzneimittelanwendung .....	- 106 -
3.1.3.6	Digitale Systeme zur Datenspeicherung .....	- 108 -
3.1.4	Stand der Technik: Lüftung und Klimasteuerung.....	- 108 -
3.1.5	Vermarktung.....	- 110 -
3.1.5.1	Situation auf dem Schweinemarkt.....	- 110 -
3.1.5.2	Klassifizierung der Mastschweine .....	- 110 -
3.1.5.3	Abrechnungsmasken .....	- 111 -
3.1.5.4	Aktueller Stand Technik bei der Vermarktung von Mastschweinen .....	- 113 -
3.1.5.5	Farmmanagementsysteme .....	- 115 -
3.2	Stand der Technik auf dem Beispielbetrieb "Sauenhaltung/Schweinemast" .....	- 117 -
3.3	Entwicklungspfade zur Landwirtschaft 4.0 .....	- 120 -
3.3.1	Tierkontrolle.....	- 120 -
3.3.2	Reproduktionsmanagement .....	- 120 -
3.3.3	Farmmanagementsysteme.....	- 121 -
3.3.4	Systemlösungen.....	- 123 -
3.3.4.1	StallMaster der Firma Hölscher + Leuschner.....	- 123 -
3.3.4.2	ISOagriNET Datenschnittstelle .....	- 124 -
3.3.5	Fütterung .....	- 125 -
3.3.6	Lüftung/Klimasteuerung: Ammoniaksensor Dräger Polytron C300.....	- 127 -
3.4	Entwicklungsoptionen für den Beispielbetrieb mit Chancen und Risiken .....	- 127 -

3.4.1	Kurzfristig .....	- 127 -
3.4.2	Langfristig.....	- 128 -
4	Milchviehhaltung .....	- 133 -
4.1	Stand der Technik in der Milchviehhaltung .....	- 133 -
4.1.1	Fütterungstechnik.....	- 133 -
4.1.2	Kälberaufzucht.....	- 135 -
4.1.3	Daten aus der Milchanalyse .....	- 140 -
4.1.4	Am Tier erfasste Daten zu Kondition, Stoffwechsel und Eutergesundheit .....	- 142 -
4.1.5	Am Tier erfasste Verhaltensparameter.....	- 144 -
4.1.6	Hilfsmittel für das Herdenmanagement .....	- 145 -
4.2	Betriebsspiegel und Stand der Technik des Beispielbetriebes..	- 146 -
4.3	Entwicklungspfade zur Landwirtschaft 4.0 .....	- 148 -
4.4	Diskussion.....	- 150 -
4.4.1	Fütterungstechnik.....	- 150 -
4.4.2	An der Kuh erfasste Daten .....	- 151 -
4.4.3	Kälberaufzucht.....	- 152 -
4.4.4	Empfehlungen für den Beispielbetrieb "Milchviehhaltung" ..	- 153 -
	Literaturverzeichnis Ackerbau .....	- 155 -
	Literaturverzeichnis Schweinehaltung.....	- 167 -
	Literaturverzeichnis Milchviehhaltung .....	- 175 -

## **Verzeichnis der Tabellen**

	Seite
Tabelle 1: Prinzipien des Soester Pflanzenbaukonzeptes .....	- 8 -
Tabelle 2: Unterschiedliche Parallelfahrssysteme und deren Genauigkeit ..	- 9 -
Tabelle 3: Anschaffungskosten für Parallelfahrssysteme.....	- 15 -
Tabelle 4: Korrekturdienste in Deutschland .....	- 15 -
Tabelle 5: Einteilung der drei Bodenklassen .....	- 33 -
Tabelle 6: Abgrenzung der einzelnen Systemeigenschaften .....	- 58 -

## Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Entwicklungspfade eines Ackerbaubetriebs zur Farm 4.0 .....	- 6 -
Abbildung 2: Lage des Versuchsgutes Merklingsen der Fachhochschule Südwestfalen .....	- 7 -
Abbildung 3: Systemkomponenten eines Parallelfahrersystems .....	- 10 -
Abbildung 4: RTK-Korrektursignal mit mobiler Basisstation .....	- 13 -
Abbildung 5: TopSoil Mapper im Frontanbau und Funktionsschema .....	- 19 -
Abbildung 6: Gerätekombination aus Lemken Karat und TopSoil Mapper zur variablen Bodenbearbeitung .....	- 23 -
Abbildung 7: Thematische Bodenkarte mit Angaben zum pH-Wert .....	- 28 -
Abbildung 8: Erstellung einer Aussaatkarte mit Messdaten eines Bodenscanners .....	- 33 -
Abbildung 9: Teilbreitenschaltung bei der Aussaat von Mais .....	- 34 -
Abbildung 10: Fendt XAVER Robotereinheit.....	- 35 -
Abbildung 11: Komponenten des XAVER .....	- 36 -
Abbildung 12: Vorteile des XAVER-Feldrobotersystems von Fendt.....	- 38 -
Abbildung 13: Schematische Darstellung der AmaSpot-Funktionsweise	- 50 -
Abbildung 14: AmaSpot Fluoreszenzsensoren an einer Feldspritze .....	- 51 -
Abbildung 15: Schematische Darstellung der Blue River Technologie See & Spray hinsichtlich der Unterscheidung zwischen Unkraut und Kulturpflanzen.....	- 52 -
Abbildung 16: Schematische Darstellung der Smart Spraying-Technologie .....	- 54 -
Abbildung 17: H - Sensor mit integrierter Lichtquelle .....	- 55 -
Abbildung 18: Analyse der Bilddaten anhand festgelegter Entscheidungsparameter .....	- 57 -
Abbildung 19: Beispiel einer Ertragskarte .....	- 61 -
Abbildung 20: Grain Quality Camera als Echtbild mit farblich markiertem Bruchkorn und Nicht-Korn-Anteilen auf dem Display .....	- 62 -

Abbildung 21: Auszug aus der Vorlage eines EXCEL-Datenblattes zur Dokumentation schlagbezogener Daten auf dem Beispielbetrieb .....	- 70 -
Abbildung 22: Datenanalyse eines Schlages vom Beispielbetrieb mittels MyJohnDeere .....	- 72 -
Abbildung 23: Naïo Technologies-Roboter OZ mit Fahrbahnmarkierungen (gelbe Pfeile).....	- 83 -
Abbildung 24: BoniRob Roboterplattform.....	- 84 -
Abbildung 25: Position der Infrarotsensoren von „Pig Watch“ über dem Besamungsstand .....	- 91 -
Abbildung 26: Position der Rollen beim „Sow Check“ .....	- 92 -
Abbildung 27: Ausgewertetes Bild der Sow Cam .....	- 93 -
Abbildung 28: Digitale Vernetzung: Prozesse in der Schweinefütterung..	- 94 -
Abbildung 29: Digitale Futterbestellung per Smartphone .....	- 97 -
Abbildung 30: Abrufstation in der Praxis bei einer Sauengruppe .....	- 100 -
Abbildung 31: Abrufstation für Sauen.....	- 101 -
Abbildung 32: Skizze einer Sensorfütterung .....	- 103 -
Abbildung 33: Sensorfütterungsanlagen von Big Dutchman .....	- 103 -
Abbildung 34: Sortierschleuse in der Schweinemasthaltung.....	- 105 -
Abbildung 35: Sortierschleuse mit zusätzlicher Selektionsgruppe .....	- 106 -
Abbildung 36: Westfleisch Abrechnungsmaske ab 02.01.2018 .....	- 112 -
Abbildung 37: Indexpunkte je kg Schlachtgewicht in Abhängigkeit vom Schlachtgewicht .....	- 113 -
Abbildung 38: Stationäre Sortierschleuse zur Gewichtsermittlung.....	- 114 -
Abbildung 39: Schlachtdatenauswertung im IQ – Agrar Portal .....	- 115 -
Abbildung 40: Befunde und Salmonellenmonitoring in IQ Agrar Portal ..	- 115 -
Abbildung 41: Lageplan des Beispielbetriebs "Sauenhaltung/Schweinemast" .....	- 119 -
Abbildung 42: Digitalisierungspfad Tierkontrolle .....	- 120 -
Abbildung 43: Digitalisierungspfad Reproduktionsmanagement .....	- 121 -
Abbildung 44: Digitaler Netzwerkaufbau eines landwirtschaftlichen Betriebes .....	- 122 -
Abbildung 45: ISOagriNET Funktionsweise .....	- 124 -

Abbildung 46: Regelkreis des Closed LOOP FEEDING Systems .....	- 126 -
Abbildung 47: „Lely Vector“ bei der Befüllung in der Futterküche und während des Futternvorganges .....	- 134 -
Abbildung 48: Autonomer Selbstfahrer „Verti-Q“ der Firma Strautmänn -	135 -
Abbildung 49: Schematische Darstellung des Tränkeautomaten „Kälbermama Lifestart“ von Urban Stalltechnik für die Einzel- und Gruppenhaltung von Kälbern .....	- 136 -
Abbildung 50: Milchtaxi der Firma Holm und Laue .....	- 137 -
Abbildung 51: Darstellung des „Calf-Rail Systems“ von Förster-Technik .....	- 138 -
Abbildung 52: Die drei Bestandteile des Smart Calf Systems von Förster Technik: Smart Drink Station, Smart Neckband und Smart Water Station .....	- 139 -
Abbildung 53: Stallinternes Milchlabor des Herd Navigators von DeLaval .....	- 141 -
Abbildung 54: Schematische Darstellung des Systems StepMetrix von Boumatic (Lahmheitserkennung über Sensorplattform) ....	- 143 -
Abbildung 55: Benutzeroberfläche der Software „CaDDi-Mastitis“ .....	- 144 -
Abbildung 56: Flussdiagramm zur Entwicklung der Digitalisierung in der Milchviehhaltung .....	- 148 -

## Verzeichnis der Abkürzungen

AEF	Agricultural Industry Electronics Foundation
AMS	Automatisches Melksystem
AUX-N	Auxiliary Control new (AEF-Standard)
AUX-O	Auxiliary Control old (AEF-Standard)
BCS	Body Condition Scoring
BHB	Betahydroxybutyrat
DBV	Deutscher Bauernverband
DLG	Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft
ECM	Energiekorrigierte Milch mit 4 % Fett und 3,4 % Eiweiß
FEQ	Fett:Eiweiß-Quotient
FOM	Fat-O-Meter
GNSS	Global Navigation Satellite System
HIT	Herkunftssicherungs- und Informationssystem für Tiere
ICT	Informations- und Kommunikationstechnologie
IMA	Inline Milk Analyzer
IR	Infrarot
ISN	Interessengemeinschaft der Schweinehalter e.V.
ISOBUS	Markenname des Datenbusses nach ISO 11783
ISOXML	ISO-Datenformat
KI	Künstliche Intelligenz
LDH	Laktatdehydrogenase
LED	Leuchtdiode
LEH	Lebensmitteleinzelhandel
LWK	Landwirtschaftskammer
NIR	Nahinfrarot-Reflexion
NRW	Nordrhein-Westfalen
o. J.	ohne Jahr
Pkt	Punkte
ppm	parts per million (Anteile pro Million)
SVM	Support Vector Machine
TC-BAS	Task-Controller Basic (AEF-Standard)

TC-GEO	Task-Controller Geo-Based (AEF-Standard)
TC-SC	Task-Controller Section Control(AEF-Standard)
TECU	Basic Tractor ECU (AEF-Standard)
UBA	Umweltbundesamt
UT	Universal Terminal (AEF-Standard)
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau
VIS	Sichtbares Licht

# 1 Einleitung

## 1.1 Potenziale der Digitalisierung in der Landwirtschaft

Informations- und Kommunikationstechnologie (ICT) hat schon lange Eingang in die Landwirtschaft gefunden und befindet sich gerade am Übergang zu einer neuen Entwicklungsstufe. Durch die starke Zunahme der Rechen- und Speicherkapazität, selbst kleiner dezentraler Geräte, aggregierte Rechnerleistungen im Cloud-Computing und die immer leistungsfähigeren Telekommunikationsnetze wird aktuell der Übergang vom "Precision Farming", bei dem einzelne Arbeitsprozesse digitale Unterstützung erfahren, zum "Smart Farming" bzw. zur "Landwirtschaft 4.0" eingeläutet. Hier werden nun Arbeitsgeräte intelligent über das Internet vernetzt, z.B. mit Hilfe entsprechend hoch entwickelter Farmmanagementsysteme. Doch dies ist nur ein "Zwischenstadium", denn noch unterstützen die digitalen Systeme überwiegend die Entscheidungen der Betriebsleiter und arbeiten nur in Teilbereichen autonom. In Zukunft sollen auf der Grundlage "Maschinellen Lernens" Arbeitsgeräte für definierte und abgegrenzte Teilprozesse eigenständig Erfahrungen generieren. Auf dieser Grundlage werden Entscheidungen gefällt und Maßnahmen veranlasst. Die aktuell rasante Entwicklung von Künstlicher Intelligenz (KI), verbunden mit leistungsfähigen Industriesensoren und immer umfassenderen und genaueren Bilderkennungsanalysen sowie die sich ständig verbessernden Algorithmen zum Wissensaufbau, lassen erwarten, dass in absehbarer Zeit Roboter und Anlagen in der Landwirtschaft nicht nur für Teilbereiche der Arbeitserledigung autonome Entscheidungen treffen und durchführen, sondern auch über die Vernetzung von intelligenten Systemen zu autonom agierenden "Systemen von Systemen" - einer "Landwirtschaft 5.0" - führen.

Parallel dazu vollzieht sich in den vor- und nachgelagerten Bereichen der Landwirtschaft ein Wandel zur webbasierten "Plattformökonomie". Durch große Datenbestände und ausgefeilte Datenanalysen zur Kundenprofilierung werden die Vermittlung von Wissen und Informationen sowie von Waren und Dienstleistungen unterstützt. (Kunden)Daten als der Rohstoff des 21. Jahrhunderts sind dabei, auf gesättigten Märkten vor den "klassischen" Produktionsfaktoren Boden, Arbeit und Kapital zum neuen wichtigsten Produktionsfaktor zu werden. Das Betreiben und Nutzen von Platt-

formen ist auch für klein- und mittelständische Unternehmen möglich und bietet sowohl Chancen als auch Risiken. Plattformen können klassische Geschäftsmodelle sinnvoll ergänzen, sie aber auch massiv bedrohen. Sie sind charakterisiert durch hohe Aufbau-, Anlauf- und Werbekosten, jedoch sind die Grenzkosten für zusätzliche Kunden und Umsätze nahe Null. Marktmächtige Handelsplattformen, soziale Netzwerke und Suchmaschinen setzen ihnen arglos anvertraute Nutzerdaten zur (algorithmenoptimierten) Umsatzvermittlung ein und unterliegen einem massiven Verdrängungswettbewerb ("The winner takes it all"). Dies kann am Ende zu monopolistischen, bzw. bestenfalls oligopolistischen Marktstrukturen führen. Das wiederum birgt für klein- und mittelständisch strukturierte Sektoren wie Land- und Ernährungswirtschaft zum einen die Gefahr der Schwächung ihrer Wettbewerbsposition innerhalb der Wertschöpfungskette, zum anderen ist vorstellbar, dass durch immer umfangreicheren Datenaustausch entlang der Kette die Landwirtschaft die Kontrolle über ihr sogenanntes Domänenwissen verliert und externe Akteure mit "privatisiertem Domänenwissen" die Agrarproduktion übernehmen oder immer mehr kontrollieren.

Aus Sicht der praktischen Landwirtschaft müssen folgende Aspekte dieser Entwicklung betrachtet werden:

- Welche aktuellen und welche kurz-, mittel- und längerfristig vorhandenen digitalen Optionen / Anwendungen gibt es für landwirtschaftliche Betriebe unterschiedlicher Ausrichtungen, z.B. für den Ackerbau, die Sauenhaltung, die Schweinemast oder die Milchproduktion?
- Wo steht und was für Vorteile bietet eine Vernetzung "smarter" Geräte auf Betriebsebene?
- Wie sind Verfügbarkeit und Kosten zur Beschaffung interner und externer digitaler Daten?
- Welche Risiken ergeben sich bezüglich IT-Sicherheit, Betriebssicherheit und Datenhoheit?
- Welche Konsequenzen hat eine Ausbreitung so genannter Plattformen im vor- und nachgelagerten Bereich, welche Vor- und Nachteile sind mit der Integration eines Betriebes in sie verbunden?
- Werden Roboter mit Künstlicher Intelligenz mittel- und langfristig in der Lage sein, Agrarproduktion vollständig autonom durchzuführen?

Noch ist die Realität auf der Mehrheit landwirtschaftlicher Betriebe von diesen Visionen weit entfernt, die Digitalisierung hat jedoch als fortschreitender Prozess längst begonnen. Um den Anschluss an diese dynamische Entwicklung nicht zu verlieren, sollten Betriebsleiter sich kontinuierlich über die Chancen und Risiken neuer digitaler Anwendungen informieren und sich ggf. eine Digitalisierungsstrategie zurechtlegen.

## **1.2 Zielsetzung der Studie**

Vor dem Hintergrund der o.a. Entwicklung hat sich der Masterstudiengang 2017/19 des Fachbereichs Agrarwirtschaft der Fachhochschule Südwestfalen entschieden, die Vision einer "Smart Farm" bzw. eines vernetzten landwirtschaftlichen Betriebes ausgehend von bereits etablierten digitalen Anwendungen zu konzipieren. Die gemeinsam von allen Studierenden des Jahrgangs bearbeitete Aufgabe wurde im Rahmen der Lehrveranstaltung "Projektmanagement" im Wintersemester 2018 realisiert.

Ziel des Projektes ist es, für real existierende landwirtschaftliche Betriebe aus Nordrhein-Westfalen beispielhaft ein Konzept einer "Smart Farm" zu erstellen, bei der einzelne digitale Systeme auf der Grundlage von Farmmanagementsystemen verbunden werden. Als Beispielbetrieb "Ackerbau" wurde der Teilbereich des Versuchsgutes Merklingsen der Fachhochschule ausgewählt, der nicht mit Versuchsparzellen, sondern in praxisüblichem Maßstab und mit praxisüblichem Maschinenpark bewirtschaftet wird. Als Beispielbetrieb "Sauenhaltung/Schweinemast" und als Beispielbetrieb "Milchviehhaltung" stellten sich dankenswerter Weise ein Betrieb aus Westfalen und ein Betrieb vom Niederrhein mit allen notwendigen Informationen zu ihrem Betriebsspiegel und ihrer aktuellen technischen Ausstattung zur Verfügung. Aus Gründen des Datenschutzes sind diese Betriebe nicht namentlich genannt.

Neben dem o.g. Hauptziel sollten im Einzelnen mit der Studie folgende Unterziele erreicht werden:

- Vorbereitung der digitalen Erweiterung des Versuchsguts Merklingsen als Fallbeispiel zur Demonstration, Lehre und Forschung neuer digitaler Anwendungen in der Landwirtschaft

- Vorbereitung der digitalen Erweiterung des Teilbereichs Schweinemast des regionalen Partnerbetriebs als Fallstudie für die Praxis
- Vorbereitung der digitalen Erweiterung des Teilbereichs Milchproduktion des regionalen Partnerbetriebs als Fallstudie für die Praxis
- Förderung der Optimierung von Arbeitsprozessen durch digitale Systeme
- Realisierung von Einsparpotenzialen bei Betriebsmitteln
- Förderung der Tiergerechtigkeit in der Schweinemast
- Förderung von Tiergerechtigkeit und Unterstützung des Herdenmanagements in der Milchviehhaltung
- Abschätzung der weiteren möglichen Konsequenzen der Digitalisierung; z.B. durch Einbindung von Betrieben in überbetriebliche IT-Systeme.

### **1.3 Vorgehen**

Für das Arbeitsprogramm zur Erstellung der hier vorgelegten Studie wurden folgende Arbeitspakete definiert und abgearbeitet. Die Analysen wurden in die drei Hauptproduktionsrichtungen "Ackerbau", "Sauenhaltung/Schweinemast" und "Milchviehhaltung" gegliedert und innerhalb der Produktionsrichtungen nach Arbeitsbereichen/Tätigkeitsarten weiter differenziert:

#### AP 1: Recherchen zum technischen Status quo

- Recherche und Bestandsaufnahme der aktuellen technischen Möglichkeiten / digitalen Anwendungen im Ackerbau, in der Schweine- und der Milchviehhaltung
- Recherche und Bestandsaufnahme der aktuellen technischen Möglichkeiten zur Einbindung von "Smart farms" in überbetriebliche Systeme

#### AP 2: Skizzieren von Entwicklungspfaden hin zur "Landwirtschaft 4.0"

- Für jede der drei Beispiel-Produktionsrichtungen wurde ein Stufenplan entwickelt, der bei der manuellen Dokumentation und dem komplett manuellen Management beginnt und bis zu hochtechnisierten digitalen Managementlösungen reicht.

AP 3: Ortstermine und Einordnung der Beispielbetriebe in die "Entwicklungspfade"

- Ortstermine und Bestandsaufnahme auf dem Versuchsgut Merklingsen, dem Beispielbetrieb "Sauenhaltung/Schweinemast" und dem Beispielbetrieb "Milchviehhaltung".
- Standortbestimmung für jeden Beispielbetrieb bezüglich des Stufenplans zur Digitalisierung.

AP 4: Empfehlungen, Chancen und Risiken

- Diskussion und Prüfung, welche auf dem Markt vorhandenen, aber noch nicht eingeführten digitalen Lösungen für die betrachteten Betriebe sinnvoll realisierbar bzw. zu empfehlen sind.
- Formulierung von allgemeinen Empfehlungen.

AP 5: Ergebnissicherung in Form des Projektberichts

## 2 Digitale Anwendungen im Ackerbau

### 2.1 Entwicklungspfade zur Landwirtschaft 4.0

Auf dem Weg vom herkömmlichen "analogen" Ackerbaubetrieb hin zu einer "digitalen Farm 4.0" werden verschiedene Entwicklungs- und Übergangsstufen beschrrieben, wie sie das in Abbildung 1 dargestellte, durch die Projektgruppe entwickelte Flussdiagramm visualisiert. Ein Betriebsleiter kann anhand dieses Diagramms den Standort seines Betriebs auf dem Weg zur Farm 4.0 einordnen und eine Vorstellung von der weiteren Entwicklung ableiten. Der Grundgedanke der Farm 4.0 ist eine Umstellung der Prozesssteuerung des Betriebes von manuell auf digital. In den folgenden Kapiteln wird diese Umstellung eines Beispielbetriebes im Detail analysiert und beschrieben. Das Kernelement bildet dabei die digitale Dokumentation. Auf der einen Seite bildet sie die Grundlage für weitere betriebliche Planungen einschließlich einer teilflächenspezifischen Bewirtschaftung. Dies ist jedoch nur zu realisieren, wenn digitale Daten zuvor durch eine automatische Prozess- und Betriebsdatenerfassung in ausreichender Quantität und Qualität zur Verfügung stehen. Ziel ist dabei, dass bei einer Farm 4.0 "jedes digitale Rädchen ins nächste greift".

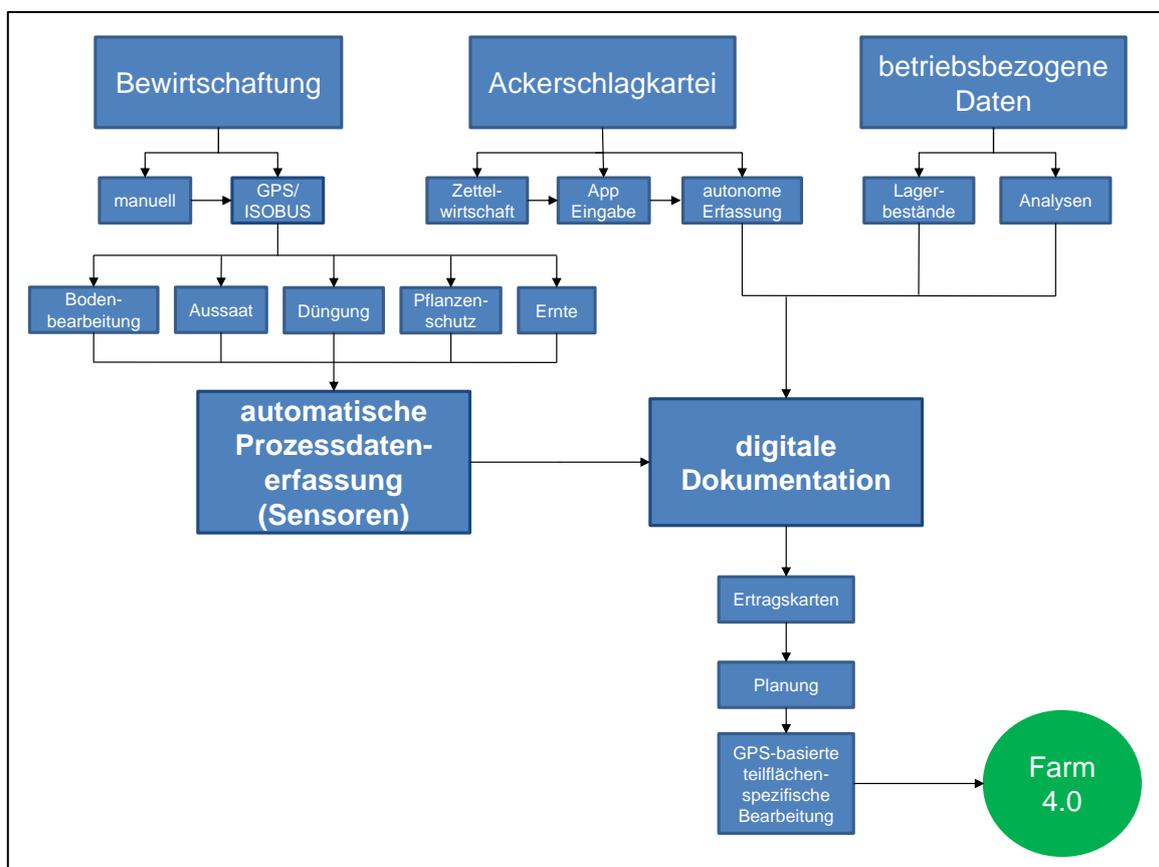


Abbildung 1: Entwicklungspfade eines Ackerbaubetriebs zur Farm 4.0

## 2.2 Beispielbetrieb Versuchsgut Merklingsen

Das landwirtschaftliche Versuchsgut Merklingsen gehört zum Fachbereich Agrarwirtschaft Soest der Fachhochschule Südwestfalen und dient der praxisnahen Darstellung pflanzenbaulicher Produktionssysteme, der praxisnahen Hochschulausbildung sowie der angewandten Forschung. Das Versuchsgut wurde 1993 durch das damalige Ministerium für Schule, Wissenschaft und Forschung des Landes NRW für die Fachhochschule langfristig gepachtet. Geleitet wird der Betrieb von Prof. Dr. Bernhard Carl Schäfer und Dipl.-Ing. (FH) Günter Stemann. Mitarbeiter sind Dorothee Jenschke (LTA), Steffen Hünnes (B.Sc.), Bernhard Kregel (staatl. gepr. Landwirt) und Dipl.-Ing. (FH) Albrecht Dörendahl.

Das Versuchsgut befindet sich im Naturraum der Soester Börde (Südfeld 1, 59514 Welver; vgl. Abbildung 2) und liegt etwa 80 Meter über dem Meeresspiegel.



Quelle: GOOGLE MAPS 2018

**Abbildung 2: Lage des Versuchsgutes Merklingsen der Fachhochschule Südwestfalen**

Insgesamt werden rund 100 ha auf 17 Schlägen bewirtschaftet. Im Mittel der Jahre fallen etwa 750 mm Niederschlag bei einer durchschnittlichen Jahrestemperatur von 9°C. Auf den überwiegend vorherrschenden Pseudogley-Parabraunerden mit etwa 70 - 75 Bodenpunkten werden in einer achtfeldrigen Rotation neben Raps, Weizen,

Gerste, Mais und Hafer auch Zuckerrüben sowie Ackerbohnen konventionell angebaut. Die gering tonigen Schluffe (Ut2) zeichnen sich durch eine hohe Ertragsfähigkeit aus, was nicht nur der hohen nutzbaren Feldkapazität von etwa 220 mm geschuldet ist. Auch die konsequente Mulchsaat seit 1995 hat mit einer deutlichen Verbesserung der Bodenstruktur dazu beigetragen. Die Bewirtschaftung erfolgt nach den Prinzipien des „Soester Pflanzenbaukonzeptes“ (vgl. Tabelle 1 sowie FACHBEREICH AGRARWIRTSCHAFT SOEST 2017).

**Tabelle 1: Prinzipien des Soester Pflanzenbaukonzeptes**

<b>SOESTER PFLANZENBAUKONZEPT</b>
<p><b>Ziele:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhaltung / Steigerung des wirtschaftlichen Ertrages (Deckungsbeitrag des Anbausystems/der Fruchtfolge)</li> <li>• Minimierung von Stoffausträgen aus der Bodenkrume und sonstigen Umweltbelastungen</li> <li>• Erhaltung und Steigerung der natürlichen Ertragsfähigkeit des Bodens</li> </ul>
<p><b>Maßnahmen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Konsequente Einbindung der Hauptkulturen in Begrünungs- bzw. Mulchsysteme mit möglichst ganzjähriger Bodenbedeckung und minimalen Brachezeiten</li> <li>• Maßvolle, angepasste Bearbeitung des Bodens zur Steigerung des Humusgehaltes, der Bodenaktivität und der natürlichen Ertragsfähigkeit</li> <li>• Nährstoffversorgung nach Pflanzenbedarf bei intensiver Nutzung der Bodenreserven im Hinblick auf ausgeglichene Nährstoffbilanzen</li> <li>• Nutzung aller natürlichen Möglichkeiten und Produktionsfaktoren zur Minimierung des Pflanzenschutzaufwandes</li> </ul>

Quelle: FACHBEREICH AGRARWIRTSCHAFT SOEST 2017 S.6

Im Folgenden werden technische Aspekte und pflanzenbauliche Maßnahmen bzw. Arbeiten im Einzelnen betrachtet und die jeweils zugehörigen digitalen und smarten Möglichkeiten, die der Markt bereithält, vorgestellt. Sie werden anschließend mit dem aktuellen Stand der Technik auf dem Beispielbetrieb abgeglichen. Abschließend werden auf dieser Grundlage Empfehlungen für die weitere Entwicklung in Richtung einer „Smart Farm 4.0“ gegeben.

## 2.3 GPS und Parallelfahrssysteme als Grundlage für Smart Farming

Elementar wichtige Technologien für Smart Farming sind satellitenbasierte Systeme zur Positionsbestimmung, die eine automatische Verknüpfung zwischen Daten und Positionen im Feld ermöglichen. In Abhängigkeit der ermittelten Daten können die verschiedenen Arbeitsschritte für jeden Bereich eines Ackerschlages optimiert und dokumentiert werden (BITTNER et al. 2016 S.2).

### 2.3.1 Aktueller Stand der Technik

Die Spurführung der Arbeitsmaschinen wird heute durch Lenkhilfen, Lenkassistenten oder Lenkautomaten optimiert, die sich in Bezug auf Komponenten, Kosten und Genauigkeit unterscheiden. Die Lenkhilfe visualisiert dem Fahrer in Echtzeit die Sollspur durch Leuchtbalken oder durch einen Monitor in der Kabine und schlägt, wenn notwendig, Lenkkorrekturen vor. Lenkassistenten und Lenkautomaten führen das Fahrzeug automatisch über eine errechnete virtuelle Leitlinie. Lenkassistenten bewegen dabei durch einen Elektromotor automatisch das Lenkrad. Lenkautomaten sind direkt in den Ölkreislauf der Lenkhydraulik integriert und steuern über einen Lenkventilblock. So können durch exakte Anschlussfahrten arbeitswirtschaftliche Vorteile realisiert werden (TREIBER-NIEMANN et al. 2013 S.5f.). In der folgenden Tabelle 2 sind die Unterschiede der verschiedenen Systeme in Bezug auf die zu realisierende Genauigkeit aufgelistet.

**Tabelle 2: Unterschiedliche Parallelfahrssysteme und deren Genauigkeit**

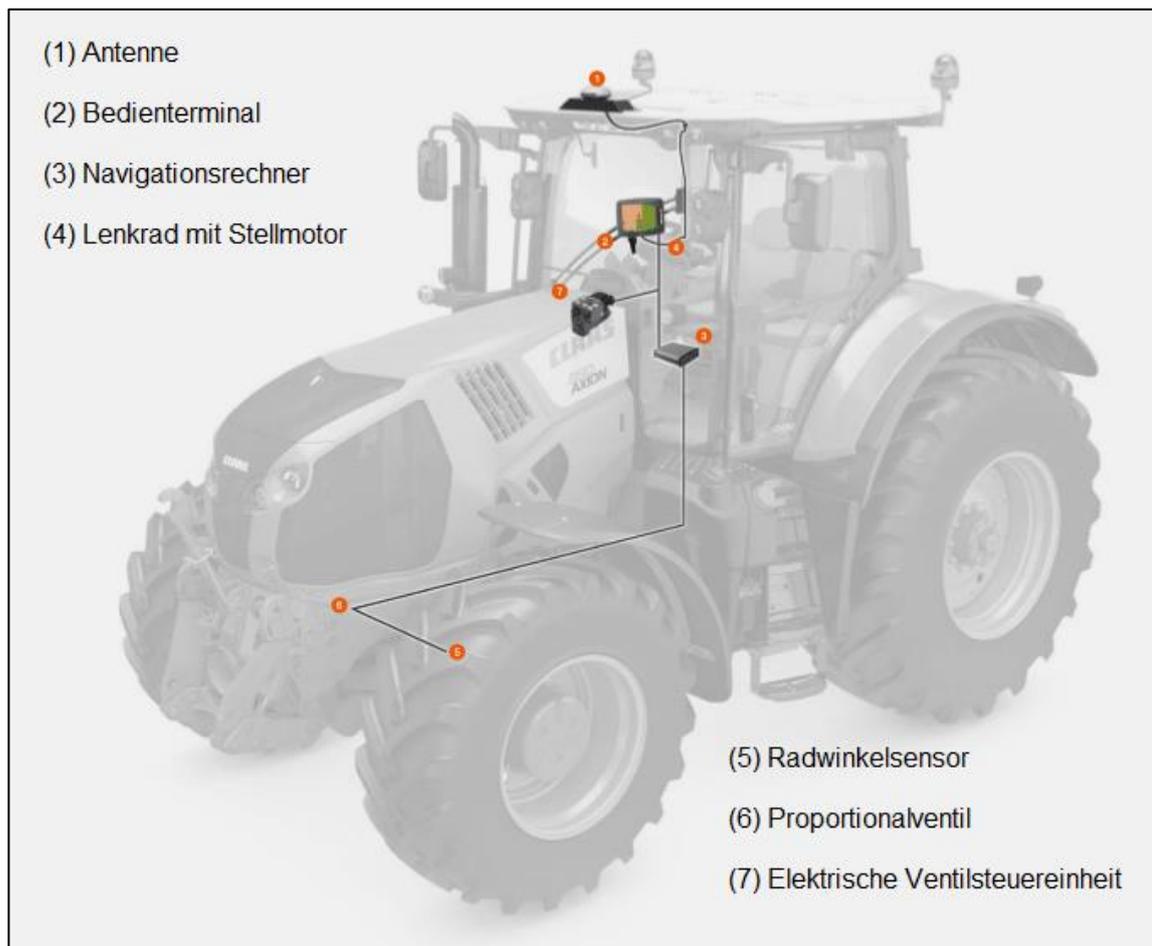
Parallelfahreinrichtung	Genauigkeit (cm)
Lenkhilfe	± 30
Lenkassistent	± 20
Lenkautomat	± 2,5

Quelle: TREIBER-NIEMANN et al. 2013 S.28

### 2.3.1.1 Funktionen und Aufbau eines Parallelfahrersystems

Parallelfahrersysteme orientieren sich entweder am tatsächlichen Pflanzenbestand oder navigieren über ein Satellitensignal (HOLPP 2006 S.2ff.; TREIBER-NIEMANN et al. 2013 S.5f.). Die Spurführung in Abhängigkeit vom Pflanzenbestand kann über mechanische Taster, Ultraschallsensoren, Digitalkameras oder Lasersensoren erfolgen. Diese Verfahren eignen sich beispielsweise für das Hacken in Gemüsereihen und bieten eine hohe Fahrgenauigkeit bei relativ geringem technischen Aufwand (HOLPP 2006 S.2ff.).

Fahrersassistentensysteme auf Basis von Satellitenortung ermitteln anhand der Signale aus Satellitennavigationssystemen die aktuelle Position des Fahrzeuges. Die dafür erforderlichen Systemkomponenten am Fahrzeug sind in Abbildung 3 dargestellt.



Quelle: CLAAS 2017 S.14f.

Abbildung 3: Systemkomponenten eines Parallelfahrersystems

Die Antenne (1) dient als GPS-Empfänger und leitet die Signale an das Bedienterminal (2) weiter. Dort werden wichtige Arbeitsparameter, wie beispielsweise die Arbeitsbreite, eingestellt. Der Navigationsrechner (3) ermittelt die entsprechende Sollfahrspur und sendet die Lenkimpulse. Bei Lenkassistenten werden die Impulse von einem elektrisch angetriebenen Lenkrad (4) aufgenommen und umgesetzt. Lenkautomaten steuern das Fahrzeug anhand eines Proportionalventils (6), das durch eine elektronische Ventilsteuereinheit (7) mit dem Bedienterminal (2) und dem Navigationsrechner (3) verbunden ist. Ein Radwinkelsensor (5) ermittelt jederzeit den genauen Lenkwinkel und überträgt diesen an den Navigationsrechner (3) (Claas 2017 S.14f.). Außerdem ist der Einbau von technischen Sicherungen zur Überprüfung der Anwesenheit des Fahrers oder zur Deaktivierung des Auto-Piloten bei hohen Geschwindigkeiten notwendig (TREIBER-NIEMANN et al. 2013 S.7f.).

### **2.3.1.2 Funktionsweise von Satellitensystemen**

Ein häufig genutztes Satellitennetzwerk ist das amerikanische „Global Positioning System GPS NAVSTAR“, welches für militärische und zivile Zwecke bereitsteht. Das System setzt sich aus einem Raum-, einem Kontroll- und einem Nutzersegment zusammen (DEMMELE 2006 S.20; NADLINGER 2015 S.26).

Die mehr als 24 Satelliten bilden das Raumsegment und rotieren auf sechs Umlaufbahnen in etwa 20.000 km Höhe um die Erde. Für eine Umrundung der Erde benötigen sie circa zwölf Stunden. Durch integrierte hochpräzise Atomuhren senden sie ununterbrochen Nachrichten mit der Absende-Uhrzeit sowie ihrer Position und Systemdaten zur Erde. Die GPS-Empfänger bilden das Nutzersegment und versuchen diese Nachrichten von möglichst vielen Satelliten zu empfangen. Anhand des Zeitintervalls zwischen dem Absenden und dem Empfangen der Informationen berechnen die GPS-Empfänger die Entfernungen zu den verschiedenen Satelliten. Dadurch können sie mit Hilfe der Satellitenposition den eigenen Standort ermitteln. Die Überwachung des Systems liegt im Aufgabenbereich der amerikanischen Regierung, welche daher als Kontrollsegment zu bezeichnen ist (DEMMELE 2006 S.20f.). Neben dem amerikanischen Navigationssystem NAVSTAR gibt es das chinesische COMASS, das russische GLONASS, das indische IRNSS und das sich im Aufbau befindende europäische Satellitenortungssystem GALILEO. Die Systeme haben eine ähnliche

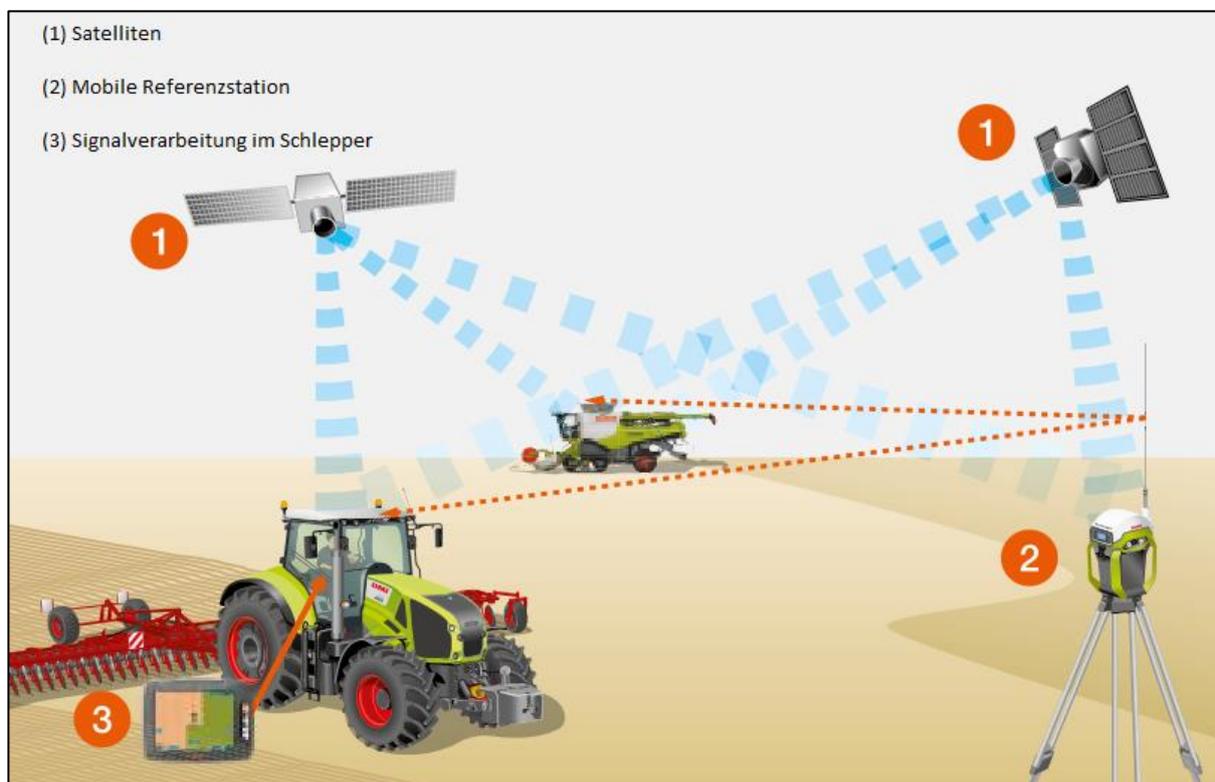
Funktionsweise und werden unter „Global Navigation Satellite Systems“ (GNSS) zusammengefasst (NADLINGER 2015 S.26).

Aufgrund von äußeren Einflüssen, wie beispielsweise atmosphärischen Störungen, Reflexionen an Gebäuden und Bergen oder leichten Veränderungen der Satellitenumlaufbahnen, treten Abweichungen der tatsächlichen zur theoretischen Laufzeit des Signals von Satellit zu Empfänger auf, welche Signalfehler genannt werden. Daher ist mit dieser Methode eine Positionsbestimmung nur mit einer Genauigkeit von 5 - 10 m möglich (TREIBER-NIEMANN et al. 2013 S.12). Um die Genauigkeit zu erhöhen, ist ein Korrekturdienst notwendig. Dieser berechnet anhand einer festen Referenzstation, die sich auf einem bekannten Punkt befindet, die Ortungsfehler des Navigationssystems durch den Vergleich der Ortungen aus den empfangenen GPS-Signalen und dem Standort der Station. Die Korrekturwerte werden daraufhin in Echtzeit zu den mobilen Empfängern auf den Fahrzeugen gesendet. Dieses Verfahren wird als „Differentielles GPS“ (DGPS) bezeichnet (TREIBER-NIEMANN et al. 2013 S.13; DEMMEL 2006 S.21).

Es gibt verschiedene Korrektursignale, die in Bezug auf Kosten und erreichter Genauigkeit Unterschiede aufweisen. Die Spanne reicht von kostenlosen Korrekturdiensten mit einer Spur zu Spur Genauigkeit von ungefähr 10 cm bis 30 cm, bis hin zu Real-Time-Kinematik (RTK)-Systemen mit einer absoluten Genauigkeit von 1 cm bis 2 cm. Diese verfügen über mindestens zwei hochgenaue GPS-Empfänger. Davon ist einer am Fahrzeug und einer in einer zugehörigen mobilen oder stationären RTK-Basisstation verbaut (BÖHRNSEN 2009 S.74; TREIBER-NIEMANN et al. 2013 S.13). Spur zu Spur Genauigkeit bezeichnet die Exaktheit, mit der die Vorgängerspur nach 15 Minuten wiedergefunden werden kann. Absolute Genauigkeit definiert die Genauigkeit, mit der die Fahrspur in Zeiträumen von bis zu mehreren Jahren erneut befahren werden kann (NADLINGER 2015 S.36).

Mobile Basisstationen werden am Feldrand aufgestellt und vermessen ihre eigene Position. Da ihnen für die Vermessung noch keine Korrekturdaten zur Verfügung stehen, können sie ihre Position nur mit Abweichungen von einem Meter bestimmen, woraus geringe Positionsfehler resultieren. Trotzdem sind Spur zu Spur Genauigkei-

ten in einem Bereich von 2,5 cm zu realisieren. Wenn die Fahrspuren dauerhaft an der gleichen Position liegen sollen, ist es zwingend notwendig, dass die Basisstation jeweils die gleichen Referenzkoordinaten verwendet und an der gleichen Stelle aufgebaut wird. In diesem Fall ist eine absolute Genauigkeit mit Abweichungen von 2,5 cm möglich. Die Datenübertragung erfolgt per Funk und ist auf rund 3 km Reichweite beschränkt. Aufgrund der komplizierten Handhabung und der eingeschränkten Funktion, hohe absolute Genauigkeiten zu erzeugen, hat sich das System nicht am Markt durchgesetzt (NOACK 2016 S.24f.). In Abbildung 4 ist ein RTK-System mit mobiler Basisstation dargestellt.



Quelle: CLAAS 2017 S.29

**Abbildung 4: RTK-Korrektursignal mit mobiler Basisstation**

Die unterschiedlichen Satelliten aus dem GNSS (1) übermitteln das Navigationssignal an den Schlepper und an die mobile Referenzstation (2). Diese errechnet die exakten Korrekturwerte und überträgt diese zusätzlich an den Schlepper, wo die beiden Signale vom Navigationsrechner (3) in Lenkimpulse umgewandelt werden.

Darüber hinaus können die Korrekturwerte über feste Referenzstationen errechnet werden. Diese werden an oder in Gebäuden installiert und setzen sich aus einem GNSS-Sensor, einem Funkgerät, einer GNSS-Antenne und einer Funk-Antenne zusammen. Da sich feste Basisstationen immer am gleichen Standort befinden, können ohne großen Aufwand absolute Genauigkeiten im Bereich von 2,5 cm erreicht werden. Die Datenübertragung erfolgt über kostenpflichtige Frequenzen. Daher ist eine Störung der Datenübertragung unwahrscheinlich. Feste Referenzstationen werden vor allem in Großbetrieben oder Betriebsgemeinschaften eingesetzt, wo mehrere Fahrzeuge die Signale gleichzeitig nutzen können. Des Weiteren werden feste Referenzstationen häufig bei Sonderkulturen oder im Gemüseanbau verwendet, da diese Formen der Landwirtschaft hohe Ansprüche an die absolute Genauigkeit und die Signalverfügbarkeit haben (NOACK 2016 S.24ff.).

Eine weitere Möglichkeit zur Nutzung von RTK-Korrekturdaten ist die Verwendung von RTK-Netzwerken. Diese bestehen aus einem Verbund von RTK-Stationen, die ihre Messdaten über eine Internetverbindung zu einem zentralen Server senden. Der Schlepper sendet seine Positionssignale mittels Mobilfunkübertragung an den Server und erhält die Korrektursignale zurück. Vorteile des Systems sind unter anderem Kosteneinsparungen und die einfache Versorgung großer Gebiete mit Korrekturdaten. Als Nachteil kann die Abhängigkeit von Mobilfunknetzen genannt werden. Besonders in der Nähe von großen Städten und Straßen ist das Netz häufig überlastet und gefährdet eine einwandfreie Datenübertragung. Verbreitet ist die Nutzung von RTK-Netzwerken überwiegend unter Lohnunternehmen oder kleinen Betrieben, da keine Kosten für die Installation und den Betrieb einer Basisstation anfallen, sondern nur die jährlichen Kosten für die Bereitstellung der Korrekturdaten gezahlt werden müssen (NOACK 2016 S.26ff.).

### **2.3.1.3 Kosten von Parallelfahrssystemen**

Die Kosten für Parallelfahreinrichtungen setzen sich aus den Anschaffungskosten und den Nutzungsgebühren für ein Korrektursignal, falls ein kostenpflichtiges genutzt wird, zusammen. Aufgrund der unterschiedlichen Genauigkeitsstufen sowie Displaygrößen und -funktionen existieren große Preisspannen in Bezug auf die Anschaffungskosten (TREIBER-NIEMANN et al. 2013 S.29). In Tabelle 3 sind diese dargestellt.

**Tabelle 3: Anschaffungskosten für Parallelfahrssysteme**

System	Referenzsignal	Genauigkeit (cm)	Preis (€)
<b>Lenkhilfe</b>	Egnos	± 30	800 – 2.500
<b>Lenkassistent</b>	Satellit oder RTK	±20	4.000 – 15.000
<b>Lenkautomat</b>	RTK	±2,5	8.500 – 40.000

Quelle: TREIBER-NIEMANN et al. 2013 S.28

Die auf 30 cm genaue Lenkhilfe ist bereits ab 800 € Anschaffungskosten zu bekommen. Ein Lenkassistent kostet zwischen 4.000 € und 15.000 € und verspricht eine Präzision von +/- 20 cm zu der Sollspur. Der Lenkautomat ermöglicht Abweichungen von nur 2,5 cm, bringt jedoch auch bis zu 40.000 € Anschaffungskosten mit sich. In Tabelle 4 sind beispielhaft verschiedene Korrekturdienste aufgelistet.

**Tabelle 4: Korrekturdienste in Deutschland**

Korrekturdienst	Genauigkeit (± cm)	Kosten pro Jahr (€)
<b>EGNOS</b>	10 - 30	0
<b>John Deere Starfire I</b>	10 – 20	0
<b>John Deere Starfire II</b>	5 – 10	600
<b>Omnistar XP</b>	5 – 10	1.570
<b>AgCelNet RTK</b>	2 - 3	850
<b>SmartNet Landtechnik RTK</b>	2 - 3	795

Quelle: TREIBER-NIEMANN et al. 2013 S.29

Aus der Tabelle geht hervor, dass in Deutschland kostenlos mit einem Signal mit Abweichungen zwischen 10 cm und 30 cm gearbeitet werden kann. Falls eine höhere Präzision erforderlich ist, kann für 600 € ein auf 5 - 10 cm genaues Signal genutzt oder ab etwa 800 € mit einem RTK-Signal mit Abweichungen von 2 - 3 cm gearbeitet werden.

Ein Parallelfahrssystem mit Abweichungen von bis zu 5 cm und einem Anschaffungswert von 17.500 € würde bei zwölf Jahren Nutzungsdauer inklusive Abschreibung, Zinskosten und Kosten für den Korrekturdienst 2.300 € Fixkosten pro Jahr verursa-

chen (TREIBER-NIEMANN et al. 2013 S.33). BÖHRNSEN errechnete jährliche Kosten von 5.700 € für einen RTK-basierten Lenkautomaten mit ungefähr 2 cm Abweichung, bei Anschaffungskosten von 45.000 € und einer Nutzungsdauer von zehn Jahren inklusive aller Kosten (BÖHRNSEN 2009 S. 77).

In der Literatur finden sich unterschiedliche Angaben, ab welcher Betriebsgröße der "Point of Break Even" erreicht wird. Dieser tritt ein, wenn die Summe aus den Kosten und Nutzen des Parallelfahrersystems pro Jahr den Wert 0 ergeben. ZIER, HANK und WAGNER bestimmten diesen Punkt für einen Marktfruchtbetrieb mit Maschinen von etwa 6 m Arbeitsbreite bei 303 ha Ackerfläche. Dabei gingen sie davon aus, dass der Schlepper mit Lenkautomat für alle Arbeitsgänge der Bodenbearbeitung und für die Aussaat mit Anlage von Fahrgassen genutzt wird (ZIER et al. 2008 S.424). TREIBER-NIEMANN ermittelte den kostendeckenden Einsatz von einem Lenkautomaten in einem Marktfruchtbetrieb mit ähnlicher Maschinenausstattung bei einer Betriebsgröße von 184 ha. Für einen Gemischtbetrieb mit hohem Grünlandanteil sieht er den Point of Break Even bei etwa 250 ha (TREIBER-NIEMANN et al. 2013 S.39).

### **2.3.2 Stand der Technik auf dem Beispielbetrieb Versuchsgut Merklingsen**

Der Betrieb verfügt über vier Schlepper der Marke John Deere im Leistungssegment bis 210 PS. Alle Maschinen haben eine Vorrüstung für „Smart Farming“-Anwendungen, wobei zweimal das Spurführungssystem „Auto Trac ready“ mit dem JD Starfire 3000 Empfänger und zweimal das System „Auto Trac Universal“ mit JD Starfire ITC Empfänger verbaut wurde.

Die Visualisierung und Steuerung der Parallelfahrersysteme erfolgt bei dem John Deere 6930, 6820 und 6320 über das Terminal JD 2600, beim John Deere 6210 R hingegen auf einem JD 2630 Display.

In der Erntetechnik werden Spurführungssysteme eingesetzt, die sich am tatsächlichen Pflanzenbestand orientieren. Dabei nutzt der Rübenroder „Rexor“ der Firma Grimme mechanische Taster zur Reihenerkennung.

Der Feldhäcksler Claas Jaguar 980 mit dem 8-reihigen Erntevorsatz orientiert sich ebenfalls am vorhandenen Pflanzenbestand, indem durch zwei Tastbügel die Soll-fahrspur ermittelt wird.

### **2.3.3 Entwicklungspfade zur Landwirtschaft 4.0**

Eine kurzfristige Möglichkeit für den Beispielbetrieb Merklingsen zur Optimierung des Ackerbaus ist es, für die Ausführung von Feldarbeiten, die hohe Genauigkeiten erfordern, die präziseste der vorhandenen Techniken einzusetzen. Des Weiteren können Applikationskarten mit externen Technologien, wie zum Beispiel mit Luftbildern von Drohnen, erstellt werden, um eine Übersicht über den teilflächenspezifischen Zustand und die Nährstoffversorgung der Flächen zu ermöglichen. Anhand der ermittelten Daten kann in Folge dessen eine manuelle Applikationsanpassung erfolgen.

Mittelfristig gesehen kann eine Vereinheitlichung der GPS-Technik auf allen Arbeitsmaschinen eine Entwicklungsoption zur Farm 4.0 darstellen, so dass jede Maschinenkombination mit konstant hoher Qualität Daten erfassen und Arbeiten ausführen kann. Außerdem bietet die Fähigkeit der Gerätekommunikation zwischen Schlepper und Anbaugerät Entwicklungspotenzial, da die Dokumentation vereinfacht wird und das Anbaugerät den Arbeitsgang mit Hilfe von Standortdaten des Schleppers automatisch teilflächenbasiert anpassen und optimieren kann.

Auf lange Sicht könnte der GPS-basierte Robotereinsatz für die automatische Datenerfassung und Arbeitserledigung die Effizienz im Ackerbau maximieren.

### **2.3.4 Empfehlungen, Chancen und Risiken**

Die vorgestellten kurzfristig umsetzbaren Möglichkeiten hinsichtlich der Weiterentwicklung zur Farm 4.0 bieten einen guten Einstieg in das Konzept des Smart Farming im Ackerbau. Die Nutzung der Positionstechnik mit der höchsten Präzision kann durch betriebliche Umstrukturierung und Instruktion der Mitarbeiter ohne großen monetären Aufwand realisiert werden. Darüber hinaus kann durch die Erstellung von Applikationskarten mit Hilfe externer Technik bei geringem monetären Aufwand ein Überblick über die Gegebenheiten der landwirtschaftlichen Nutzfläche gewonnen

werden. Dadurch können Applikationen und damit der Ertrag manuell teilflächenspezifisch optimiert werden, ohne große Neuinvestitionen in den Fuhrpark zu tätigen.

Die mittelfristige Investition zur Vereinheitlichung der GPS-Technik stellt zunächst eine hohe finanzielle Belastung dar, die sich allerdings durch das Einsparpotenzial bei den Direktkosten und durch eine Steigerung des Ertrags relativ schnell rentieren kann. Außerdem ist der Betrieb flexibler, da sämtliche Maschinen ohne großen Aufwand kombinierbar sind. Die Kommunikation zwischen Schlepper und Anbaugerät eröffnet durch die Möglichkeit, Daten genauer zu erfassen und teilflächenspezifisch zu nutzen, weiteres Einsparpotenzial. Es können zusätzlich Ressourcen eingespart werden. Das fördert den Umweltschutz und die ökonomische Sicherheit des Betriebes.

Die Investition in einen Feldroboter bietet auf lange Sicht die bestmögliche Ausführung der Arbeiten bei weiterer Einsparung der Direktkosten. Darüber hinaus reduzieren sich die Personalkosten durch die autonome Arbeitserledigung. Allerdings sind Kosten und Nutzen aufgrund sehr hoher Investitionskosten genau abzuwägen. Außerdem bietet der Markt noch kein serienreifes System für den autonomen Ackerbau. Abschließend kann dem Beispielsbetrieb empfohlen werden, zunächst die kurzfristigen und mittelfristigen Entwicklungsmöglichkeiten auszuschöpfen, da diese ein relativ geringes Risiko darstellen. Ob langfristig gesehen die Entscheidung zu einer autonomen Arbeitserledigung die richtige ist, kann zurzeit noch nicht abgesehen werden und sollte von den Kosten und Nutzen des Systems zum Zeitpunkt der potenziellen Investition abhängig gemacht werden.

## **2.4 Bodenbearbeitung, Bodenschonung und Bodenanalyse**

### **2.4.1 Aktueller Stand der Technik**

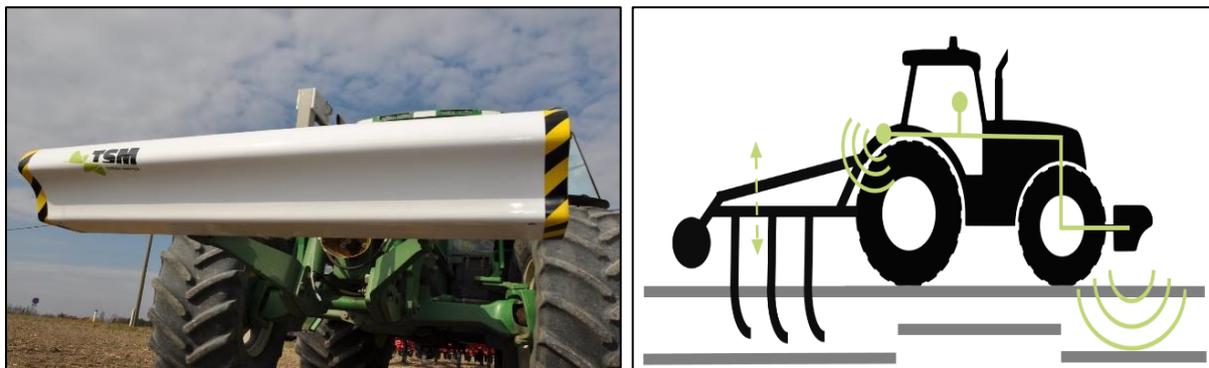
#### **2.4.1.1 Gerätebeispiel: Karat 9-Grubber von Lemken**

Der Intensiv-Grubber als Beispiel eines Bodenbearbeitungsgerätes mit digitaler Erweiterung ist nicht nur für die erste flache Stoppelbearbeitung geeignet, sondern auch für die darauf folgenden tieferen sowie intensiv mischenden Arbeitsgänge. Des

Weiteren ist er auch einsetzbar für die Saatbettvorbereitung bei der Mulchsaat. Mit dem optional einbaubaren Schnellwechselsystem können die Schare schnell und werkzeuglos ausgetauscht und somit der Grubber an die tiefen oder flachen Arbeitsgänge angepasst werden. Die angebaute Karat 9-Ausführung besitzt eine manuell verstellbare Tiefenregelung, wohingegen die aufgesattelte Variante eine hydraulische Tiefenregelung besitzt. Verändert sich die Arbeitstiefe, so passen sich automatisch auch die Hohl-scheiben an. Zusätzlich ist im Karat 9 die automatische Arbeitstiefenregelung „Contour Track“ verbaut, welche auch in unebenem Gelände für eine gleichmäßige Arbeitstiefe sorgt (LEMKEN 2018).

#### 2.4.1.2 TopSoil Mapper (TSM) von Geoprospectors

Mit dem TopSoil Mapper lassen sich Bodenunterschiede sowie Bodenparameter wie zum Beispiel Wassersättigung, Bodenart und Verdichtung großflächig vom Landwirt selbst erfassen. Die flächendeckende Kartierung der Parameter funktioniert auf der Basis elektromagnetischer Induktion (vgl. Abbildung 5).



Quelle: Werksbild GEOPROSPECTORS 2018

**Abbildung 5: TopSoil Mapper im Frontanbau und Funktionsschema**

Durch diese Technik ist es möglich, die erfassten Bodendaten in Echtzeit zur variablen Maschinensteuerung für Aussaatmaschinen oder für die Arbeitstiefenregelung eines Bodenbearbeitungsgerätes (s.o.) einzusetzen. Des Weiteren ist es möglich, durch die Kartierung des Wasserhaushaltes im Boden spätere Bewässerungsmaßnahmen genauestens anzupassen. Ein Eingreifen des Maschinenführers ist nicht mehr nötig, da die Daten direkt auf das Display im Fahrerhaus übertragen, in einer Cloud gespeichert sowie an die Arbeitsmaschinen zur automatischen Anpassung weitergeleitet werden. Die Vorteile liegen laut Anbieter in einer Arbeitszeiteinsparung

von ungefähr 20 %, einer Treibstoffeinsparung von durchschnittlich 6 - 7 l/ha sowie in einer Reduktion des Verschleißes der Arbeitsgeräte durch eine ständige Optimierung der Arbeitstiefe. Insgesamt soll das Produkt bezogen auf die Bodenschonung zu einer stetigen Verbesserung des Bodens beitragen (GEOPROSPECTORS 2018).

#### **2.4.1.3 Reifendruckregelanlage von R&M**

Die Bedienung dieser Anlage, mit der durch den jeweils optimal angepassten Reifendruck Bodenschadverdichtungen und Kraftstoffverbrauch verringert werden können, findet per iPad statt. In der betreffenden App können Profile spezifisch für jedes Traktor-Anbaugerät-Gespann angelegt werden. Die Reifengrößen sowie die optimalen -drücke für den Ackermodus und die Straßenfahrt sind hier hinterlegt. Wird ein Modus bestätigt, so beginnt die Anlage die passenden Werte schrittweise einzustellen. Alle 15 Minuten wird der Druck im Reifen kontrolliert und gegebenenfalls nachreguliert. Wird der Hänger quer zum Hang gefahren, so steht ein Hangausgleichselement zur Verfügung. Zusätzlich lässt sich für die Ernte ein spezieller Modus einstellen. Hier erhöht sich beim Bestätigen des Straßenmodus zunächst der Druck in den Hängerreifen, um eine möglichst sichere Ausfahrt vom Feld auf die Straße zu gewährleisten.

Besonders ist bei dieser Reifendruckregelanlage, dass jeder Reifen einzeln angesteuert wird, das heißt über eine eigene Ventiltechnik verfügt. Die Technik ist im "Drehübertrager", welcher speziell von der Firma entworfen sowie patentiert wurde, montiert. Des Weiteren ist jeder Reifen mit einem Drucksensor ausgestattet. Über das Load-Sensing-System der Zugmaschine wird der Schraubenverdichter angetrieben. Die von ihm effektiv geförderte Luftmenge beträgt 2.800 l/min. Soll die R&M Fan Technik, also die Ventiltechnik für Anhänger, betrieben werden, so ist eine so genannte Profi-Anlage am Traktor die Voraussetzung (BROCKMANN 2017).

#### **2.4.1.4 Durchführung eigener Bodenanalysen**

Zur Gewinnung präziser standortgenauer Bodendaten zum Abgleich und zur Verknüpfung mit den anderen Datenquellen kann insbesondere für ein Versuchsgut Vor-

Ort-Analytik eine sinnvolle Investition sein. Beispielhaft seien im Folgenden einige Analysegeräte der Firma Thermo Fisher Scientific GmbH genannt.

Für Spurenelementanalysen ist z.B. der iCAP 7600 ICP-OES Analysator geeignet. Eine solche Analyse kann sehr wichtig sein, da einige Elemente zwar essentiell für Pflanzen, aber andere wiederum gefährlich für den Menschen sind (THERMO FISHER SCIENTIFIC 2018).

Das Gerät Flash Smart Elemental Analyzer analysiert den Kohlenstoff-, Wasserstoff-, Stickstoff-, Schwefel- und Sauerstoffgehalt im Boden. Es bestimmt hiermit die Bodenbeschaffenheit zur Bestimmung des Düngereinsatzes (THERMO FISHER SCIENTIFIC 2018).

Vergleichsweise günstig ist der Trace 1300 Gaschromatograph zur Bestimmung von Bodenelementen. Dieses Gerät verfügt über anschließbare Injektoren sowie Detektoren, welche innerhalb weniger Minuten ohne Werkzeuge austauschbar sind. Das System soll die Produktivität steigern und die Betriebskosten senken (THERMO FISHER SCIENTIFIC 2018).

Das Niton FXL Röntgenlabor ist als mobile Laboreinheit besonders für den Einsatz vor Ort geeignet. Es kann nicht nur im Bergbau sowie in der Öl- und Gasförderung eingesetzt werden, sondern auch für die Untersuchung von Bodenproben in Bezug auf bodenbelastende Schwermetalle in Konzentrationen von weniger als 10 ppm (THERMO FISHER SCIENTIFIC 2018).

Dionex ASE 350 schließlich ist ein beschleunigter Lösungsmittelextraktor. Er dient zur Vorbereitung von Proben. Durch ihn wird eine hohe Rückgewinnung erzielt sowie eine hohe Probenreproduzierbarkeit erreicht. Das Gerät extrahiert Bodenverunreinigungen bei erhöhtem Druck und Temperatur (THERMO FISHER SCIENTIFIC 2018).

#### **2.4.2 Stand der Technik auf dem Beispielbetrieb**

Auf dem Versuchsgut Merklingsen sind folgende Geräte für Bodenbearbeitung und Saat vorhanden:

### Drillmaschinen:

#### 1) für die Direktsaat:

- Cross Slot (3 m)
- JD 750A (3 m)

#### 2) für Mulchsaaten:

- Kreiselegge Rabe + Prismenwalze Güttler + Drillmaschine Accord (3 m)
- Kverneland I-Drill (3 m); ISOBUS Steuerelement
- KLEINE Unikorn 6-reihig
- KLEINE Maisdrille 4 Reihig

### Bodenbearbeitung:

- Scheibenegge Amazone CATROS (3 m) mit Keilring-/Stabpackerwalze
- Köckerling „Allrounder“ (4,5 m)
- Parapflug Howard (3-scharig)
- Bodenfräse von Howard (2,5 m)
- Bodenfräse von Kuhn (4,5 m)
- Schwergrubber von Rabe (zweibalkig, 3 m)
- Cambridgewalze von Tigges (Front-/Heckanbau, 3 m)
- Reifenpacker von Rabe (Frontanbau, 3 m)
- Köckerling Vario (4,8 m)
- Spatenrollegge (2,8 m)

### **2.4.3 Entwicklungsoptionen für den Beispielbetrieb**

Grundsätzlich wird mit der Anwendung der Mulch- und Direktsaat auf den Flächen des Versuchsgutes schon sehr viel für die Bodenschonung getan. Es gibt jedoch immer weitere Optimierungsmöglichkeiten.

Das Versuchsgut Merklingsen könnte beispielsweise ein mobiles Röntgenlabor, wie das Niton FXL – Labor, anschaffen. Dies würde eine noch genauere sowie schnellere Analyse des Bodens vor Ort auf dem Versuchsgut zulassen. Hiermit könnten zusätzlich die Kosten für anfallende Untersuchungen gesenkt sowie die Düngung effektiver gestaltet werden. Des Weiteren könnte der bisher eingesetzte Schwergrubber von Rabe durch einen mit automatischer Tiefenregelung, wie zum Beispiel den Karat 9 von Lemken in Kombination mit dem TopSoil Mapper, ersetzt werden (vgl. Abbildung 6).



Quelle: Werksbild GEOPROSPECTORS 2018

**Abbildung 6: Gerätekombination aus Lemken Karat und TopSoil Mapper zur variablen Bodenbearbeitung**

Mit der satellitenbasierten Bodenanalyse bestünde eine weitere Entwicklungsmöglichkeit für das Versuchsgut. Dies würde eine noch spezifischere Teilflächenbewirtschaftung bzw. eine Intensivierung des Precision Farming bedeuten. Hierbei würden aktuelle Untersuchungsergebnisse aus dem jeweiligen Pflanzenbestand mit Informationen über lokale Standorteigenschaften, welche mittels Bodenbeprobung, GPS und GIS erhoben und verortet werden, zusammengeführt, um Ertragspotenziale besser auszuschöpfen (ENVIRONMENTAL STUDIES 2018).

Mittels Luftbildern, die zum Beispiel mit Drohnen gemacht werden können, lassen sich Rückschlüsse auf den aktuellen Zustand des Ackerschlags ziehen. Satelliten können zusätzlich zu normalen Fotos auch Spektralbilder des Bodens liefern. In diesen speziellen Bildern wird das spezifische Rückstrahlverhalten der Erdoberfläche wiedergegeben. Die Bilder lassen eine Beurteilung der räumlichen Verteilung der Bodentemperaturen, der Feuchtigkeitsgehalte im Boden sowie von Erosionsvorgängen oder der Nährstoffversorgung von Pflanzenbeständen zu. Durch die Interpretation der unterschiedlichen Färbungen und Linien auf den Spektralbildern lassen sich Bodenschäden erkennen sowie Ursachen ableiten. Werden weitere Daten über die Art der Bodenbewirtschaftung, das Geländeprofil, die Bodenart, das Klima und den

aktuellen Zustand des Ackerschlags zusätzlich einbezogen, so können die Mitarbeiter des Versuchsgutes die Gründe für eventuell auftretende Boden- und Bestandschäden ermitteln. Ist ein Schlag beispielsweise unterschiedlich verfärbt, so kann dies unter anderem auf eine ungleichmäßige Humusverteilung hindeuten. Meist werden Fehlentwicklungen durch eine dem Boden und den Wetterverhältnissen unangepasste Bodenbewirtschaftung hervorgerufen. Basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen können Bodenschutzmaßnahmen abgeleitet werden (BUNDESZENTRUM FÜR ERNÄHRUNG 2017).

Bei allen Optimierungsmöglichkeiten ist jedoch zu beachten, dass das Versuchsgut im Vergleich zu einem typischen Ackerbaubetrieb im Vollerwerb nur eine vergleichsweise geringe Größe hat. Die Rentabilität der Optimierungsvorschläge ist deshalb in Frage zu stellen, da durch deren Anschaffung beträchtliche Kosten entstehen. Auch müsste zunächst die bereits vorhandene Technik auf den neuesten Stand gebracht werden. Hierdurch würden weitere Kosten entstehen.

## **2.5 Digitale Bodenkarten und deren Nutzung**

Bodenschutz und Nährstoffbilanzierung stehen im Zentrum betrieblicher Planungen. Zeit- und ressourcenschonende Anwendungsmöglichkeiten sind daher die Grundlage für zukunftsfähige Betriebe. Digitalisierte Datensätze, Karteninhalte, einzelne Parameter und Untersuchungsergebnisse können in Bodenkarten zusammengefasst werden. Anhand geographischer Informationssysteme, wie dem ArcGIS, können punktuelle Messdaten und erhobene Messwerte flächig aufbereitet und in verschiedene thematische Einzelkarten eines Ackerschlags zusammengefasst werden.

Die Ableitung von Betriebsentscheidungen anhand dieser digitalen Informationssysteme bildet den wesentlichen Grundstock für eine Farm 4.0.

### **2.5.1 Aktueller Stand der Technik**

Digitale thematische Bodenkarten entstehen aus der Verknüpfung geopunktbezogener Gelände- oder Analysedaten und können mit geographischen Informationssys-

temen visuell dargestellt werden. Das Programm ArcGIS ist ein spezielles Computer-Programm, das bei der Planung und Analyse erhobener Messdaten helfen kann. Im Bereich der Landwirtschaft wird es verwendet, um digitale thematische Bodenkarten von Regionen oder definierten Ackerschlägen in Abhängigkeit von Messergebnissen zu erstellen.

Beim Einpflegen der Messergebnisse aus ausgefüllten Formblättern werden jedem Messpunkt die standortspezifischen Daten zugeordnet.

Auf Basis vorhandener Karten, wie topographischer Karten, können mit den Inhalten thematische Karten entwickelt werden. Durch farbliche Unterscheidungen, die in einer Legende sachbezogen definiert werden, können eindeutige visuell aufbereitete Themenkarten gestaltet werden. Anhand der eindeutigen Zuordnung der Farbgebung zu definierten Parametern und deren Größenordnungen können thematische Karten leicht verstanden und analysiert werden.

Der große Vorteil bei digitalen thematischen Karten ist, dass man aus vielen Einzelmessergebnissen eine flächige Karte strukturieren, detaillierte Informationen zu einzelnen Parametern erhalten und sie einfach ablesen kann. Um Abhängigkeiten, Gemeinsamkeiten oder Abweichungen zu erkennen und um weitere Informationen über andere Parameter zu erhalten, kann man zudem weitere thematische Karten mit differenzierten Inhalten übereinander legen.

### **2.5.2 Nutzung digitaler Bodenkarten**

Die visualisierten digitalen Bodenkarten können nicht nur am Heim-Computer genutzt werden, sondern auch mit vorhandenen oder neu einzuführenden modernen Systemen kombiniert und sinnvoll verknüpft werden.

Der Onboard-Computer eines modernen Standardschleppers zeigt dem Fahrer bereits jetzt schon eine Vielzahl an Informationen an. So können beispielsweise Bearbeitungsgeschwindigkeit und -tiefe sowie der vorherrschende Radschlupf angezeigt werden. Anhand von Ortungssystemen kann via GPS-Antenne (Global Positioning System) die exakte Position des Schleppers bestimmt werden. Mithilfe dieser Tech-

nik können optimale Fahrrouten erstellt werden, um die Effizienz bei der Bodenbearbeitung zu steigern. Unnötige Überlappungen und damit verbundene höhere Betriebsmittelaufwendungen können verringert werden.

Um die Effizienz weiter zu verbessern, können Daten aus der Ackerschlagkartei, Bodenuntersuchungsergebnisse und Informationen zu den Schlägen in einer für jeden Schlag spezifischen digitalen thematischen Bodenkarte hinterlegt werden (BLUME et al. 2011 S.61).

Anhand der erzeugten digitalen thematischen Bodenkarten können Betriebsentscheidungen z.B. zu Anpassungen bei der Düngung schnell, präzise und auch vom Schlepper aus getroffen werden, ohne sich durch mehrseitige Papierstapel zu arbeiten. Ein Beispiel einer thematischen Bodenkarte ist die Nährstoffkarte. Auf der Grundlage von Phosphor-, Kali- oder Magnesiumgehalten der Böden kann eine Düngekarte abgeleitet werden, mit der teilflächenspezifische Aufwandmengen vom On-board-Computer berechnet und dann selbstständig und in Echtzeit über die GPS-Position eine Anpassung der Düngung vorgenommen werden kann. Die Daten und Ergebnisse für die Visualisierung mit der digitalen Bodenkarte können den turnusmäßigen Bodennährstoffuntersuchungen entnommen werden oder anhand der geopunktbezogenen Daten intelligenter Schlepper mit deren Messsonden bereits bei der Überfahrt gespeichert werden. Gemessene Daten können von modernen Messsystemen somit sofort automatisch dokumentiert und in Karten hinterlegt werden, ohne dass der Bediener aufwändige Datensätze auswerten und einpflegen muss (HILLER 2007 S.25f.). Der Anwender wird dadurch deutlich entlastet. Der Einsatz von Betriebsmitteln wie Dünger oder Kalk kann somit zielgerecht und teilflächenspezifisch unterschiedlich angepasst werden. Neben dem Einsparen von Betriebsmitteln können Nährstoffüberhänge oder Defizite sinnvoll und nachhaltig verhindert werden und dienen somit dem Boden- und Naturschutz. Ebenfalls ist eine Homogenisierung der Nährstoffvorräte der Flächen möglich.

Weitere Beispiele sind Erosionsgefährdungskarten, die es ermöglichen sollen, effiziente Maßnahmen im Hinblick auf den Verlust des humus- und nährstoffreichen Oberbodens zu ergreifen. Die Bodenkarten weisen Korngrößenzusammensetzungen

und Humusgehalte zur Klassifizierung von Böden bezüglich ihrer Erosionsgefährdung durch Wind und Wasser aus, sodass sich gefährdete Flächen schnell lokalisieren lassen (WANDL et al. 2015).

Die Datengrundlage kann auch für die weitere Beratung beispielsweise durch die Landwirtschaftskammer genutzt werden. Digitale Karten sind schnell an jeden Ort der Welt zu versenden und überall nutzbar ohne zeitliche Verzögerung und Ressourcenverschwendung.

### **2.5.3 Beispiel einer Bodenkarte zum pH-Wert**

Ein bedeutender Parameter im Pflanzenbau ist der pH-Wert der Böden. Er nimmt Einfluss auf die chemischen, physikalischen und biologischen Eigenschaften der Ackerböden, sowie auf das dortige Pflanzenwachstum. Im weiter unten vorgestellten Beispiel wurden die im Rahmen einer Kartierung ermittelten pH-Werte der Oberböden der Untersuchungsflächen in einer thematischen Bodenkarte zusammengefasst. Die aus dem Labor gewonnenen Messergebnisse wurden mit Hilfe des o.e. Geoinformationssystems visuell dargestellt. In Abbildung 7 werden drei unterschiedliche Ackerschläge ersichtlich, die in räumlicher Nähe zueinander liegen. In der vorliegenden thematischen Karte ist ausschließlich der pH-Wert charakterisiert und farblich markiert. Anhand der Legende ist zu sehen, in welche pH-Wert-Stufen die Ackerschläge eingeordnet werden können. Je nach Schlag sind auch teilflächenspezifische Unterschiede erkennbar. Anhand solcher Karten können beispielsweise die Ernährungszustände der vorliegenden Böden in einem Blick überprüft und kontrolliert werden.



**Abbildung 7: Thematische Bodenkarte mit Angaben zum pH-Wert**

Mittels GPS-Einmessung können die teilflächenspezifischen Unterschiede genau lokalisiert und beispielsweise bei Düngungsstrategien differenziert betrachtet und in angepasster Art und Weise versorgt werden.

Die einzelnen thematischen Karten eines Ackerschlags kann man schichtweise übereinander legen, um beispielsweise Rückschlüsse auf den Ernährungszustand zu ziehen. Legt man beispielsweise die Karte mit den erhobenen pH-Werten über die Karte mit den Bodenarten, kann festgestellt werden, ob die pH-Werte dem Optimum entsprechen, oder ob Abweichungen vom angestrebten pH-Zielwert bestehen.

Bei bestehenden Abweichungen kann die Dünge- bzw. Kalkungsstrategie berücksichtigend angepasst werden. Beim Beispielschlag erkennt man, dass bei der vorherrschenden Bodenart Ut2 und Ut3 die pH-Werte mit teilweise Werten um pH 5 deutlich zu niedrig sind. Anzustreben wären eher pH-Werte um 6,5, die nur eine der drei Ausgangsflächen aufweist. Da die pH-Werte auf Teilflächen unter dem für die

Bodenart optimalen pH-Wert liegen, ist von negativen Auswirkungen auf die Gefügestabilität auszugehen. Zudem kommt es bei solch niedrigen pH-Werten zu einer Tonverlagerung. Auch die Verfügbarkeit der Spurennährstoffe wie Bor und Mangan ist bei zu niedrigen pH-Werten deutlich eingeschränkt (BLANKENBURG et al. 2006 S.159ff.). Anhand der visualisierten Messergebnisse muss der Landwirt hier deutliche Veränderungen der Kalkungsstrategie vornehmen, da der pH-Wert auf dem großen Ackerschlag deutlich zu niedrig ist. Durch die parzellengenaue Analyse der Daten kann der Landwirt die vorzunehmende Kalkung schlagspezifisch ableiten und angemessene Kalkmengen kalkulieren.

#### **2.5.4 Diskussion**

Digitalisierung und Strukturwandel betreffen zunehmend den Agrarsektor. Die moderne Landwirtschaft wandelt sich stetig, um so ressourcenschonend und wettbewerbsfähig wie möglich zu wirtschaften. Präzise Geodaten anhand von GPS spielen nicht nur bei Fahrassistent-Produkten eine Rolle, sondern auch bei der Erfassung von bodenkundlichen und pflanzenbaulichen Daten.

Satellitentechnik und intelligent vernetzte Daten unterstützen den optimierten Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln, die Steigerung des Ernteertrags und zugleich die Schonung wertvoller Ressourcen. Mit Hilfe thematischer Bodenkarten können nicht nur Messergebnisse visuell aufbereitet werden, sondern auch pflanzenbauliche Entscheidungen in vielfältiger Art und Weise abgeleitet werden. Meist sind die Karten mit einer Fülle an Informationen jedoch deutlich überladen. Durch die Datenflut werden diese Karten oft unübersichtlich und schöpfen nicht den vollen Umfang an thematischen Möglichkeiten aus. Ein weiterer Nachteil der Sammelkarten ist die Wahl der Maßstäbe. Die häufigste Wahl sind Karten mit dem Maßstab 1: 50.000. Einzelbetriebliche, ackerschlagrelevante oder sogar teilflächenspezifische Informationen sind hier meistens nicht enthalten bzw. zu gering aufgelöst.

Anhand diverser Computermodell-Programme, wie dem ArcGIS, können diese Lücken gefüllt und im Feld erhobene Messdaten einfach, präzise und visuell gut verständlich dargestellt werden. Durch eine GPS-Einmessung sind die Daten für pflanzenbaulichen Maßnahmen ausreichend detailliert und präzise abrufbar.

Ein großer Nachteil einer detaillierten Bodenkartierung ist der enorme Aufwand bei der Probennahme, welcher für Einzelbetriebe auch finanzielle Nachteile mit sich bringen könnte. Abzuwägen gilt dann, ob der wirtschaftliche Nutzen und das Einsparen von Betriebsmitteln und Zeit den Mehraufwand und den höheren Kapitalaufwand bei der Probennahme rechtfertigen. Weiterhin ist es fraglich, in wie weit die moderne Sensortechnik alle wichtigen Daten aufnehmen kann.

Ein positiver Nutzen ist eindeutig, dass die Böden durch die thematisch sehr unterschiedlich differenzierten und detaillierten Karten deutlich besser und angepasster bearbeitet und gepflegt werden können. Der Umweltschutzgedanke und die Ausübung der guten fachlichen Praxis stehen im Vordergrund der Betrachtung, gleichzeitig ergibt sich ein positiver Nebeneffekt auf der Ableitung pflanzenbaulicher Maßnahmen, denn ein maximales Ertragspotential ist meistens abhängig von einem gesunden und nachhaltigen Zustand der Böden. Angestrebte Ertragssteigerungen und Ertragsstabilität sind somit eine Folge des guten Bodenzustands.

### **2.5.5 Fazit**

Die Anwendung thematischer Karten für die Ableitung unternehmerischer und pflanzenbaulicher Maßnahmen spielt eine immer wichtiger werdende Rolle. Moderne Technik, die Digitalisierung der Landwirtschaft und der Zwang zur Wirtschaftlichkeit sind die treibenden Faktoren für diese Entwicklung.

Die Ergebnisse der Untersuchungsflächen zeigen, dass die Flächen deutliche Unterschiede in ihrer Struktur, dem Ernährungszustand und den Potentialen aufweisen. In Teilen bedarf die Bodennutzung einer sofortigen Veränderung des Betriebssystems. Durch die Anpassung der Düngung könnten beispielsweise die Ausgaben für Betriebsmittel deutlich reduziert werden. Gerade bei wachsenden Betrieben mit der heute praktizierten Flächenzusammenlegung, der Flurbereinigung und dem Einsatz größerer Arbeitsbreiten bei den Anbaugeräten bleiben teilflächenspezifischen Unterschiede einzelner Schläge bei Applikationen oft unberücksichtigt. Differenzierte Intensitäten der Bodenbearbeitung, unterschiedliche Ernährungszustände der Böden und unterschiedliche Fruchtfolgen verstärken diese Effekte.

Erst die moderne Technik der thematischen Visualisierung einzelner Kenngrößen macht es dem Landwirt möglich, Teilflächen bedarfsgerecht und zielgenau zu bearbeiten, zu pflegen und zu behandeln. Aus der Fülle der Datenflut können mit einzelnen Kartenausschnitten die spezifisch wichtigen Informationen herausgezogen und einzeln bewertet werden.

Gerade die Aussagen thematischer Karten, die eine Gefährdung der Standorte für Wasser- und Winderosion charakterisieren, sind nach der guten fachlichen Praxis als wichtig einzustufen. Ohne die Karten vom geologischen Dienst, Umweltbundesamt und vergleichbaren Institutionen wäre es dem Landwirt kaum möglich, seine Flächen objektiv in gewisse Gefährdungskategorien einzugliedern und passende Schutzmaßnahmen abzuleiten.

Zukunftsorientierte Betriebe sollten sich mit der Thematik dieser digitalen Möglichkeit auseinander setzen, um erhöhte Betriebsmittelaufwendungen zu vermeiden. Um vor allem negative und schädliche Auswirkungen auf die Bodenfunktionen zu verhindern, sollten die Ergebnisse der aus thematischen Karten entstandenen Analysen in der guten fachlichen Praxis angewendet werden.

Was thematische Karten leicht überdecken können, sind ihre ggf. zu geringe räumliche Auflösung sowie weitere nicht beachtete bzw. unbekannte Einflussgrößen. Da Probennahmen für Einzelflächen und -betriebe höchst aufwändig und ggfs. auch teuer sind, ist es fraglich, ob sich die Anwendung selbsterstellter thematischer Karten bei Einzelbetrieben auf dieser Grundlage durchsetzen wird.

Sehr informativ und relevant sind jedoch bereits heute die thematischen Karten der landwirtschaftlichen Institutionen, die dem Landwirt zur Verfügung gestellt und bereits jetzt für Betriebsentscheidungen herangezogen werden.

### **2.5.6 Ausblick**

Digitale thematische Bodenkarten sind ein weiterer Schritt im Zuge der Digitalisierung des Ackerbaus. Zukünftige Entwicklungen werden Veränderungen bringen müssen, um die Bodenbearbeitung und Bestandsführung weiter an die komplexen Bedürfnisse der Böden anzupassen. Vorhersagemodelle, Multisensortechnik, GPS-Assistenzsysteme, Betriebssystemanpassungen und künstliche Intelligenz könnten

künftig diese Art der Datennutzung vereinfachen und einen großen Teil zur Wirtschaftlichkeit und zum Umweltschutz beitragen.

## **2.6 Aussaat**

Ziel eines jeden Ackerbauers ist der Aufbau von gleichmäßig guten Pflanzenbeständen. Der erste Schritt hierzu ist eine präzise Aussaat. In vielen Betrieben ist es gängige Praxis, dass der Fahrer die Aussaatstärke auf dem Feld nach eigenem Gefühl anpasst. Heutzutage kann ihn dabei die moderne Technik unterstützen und die Anpassung gezielt und vollautomatisch vornehmen. Hierfür benötigt der Landwirt drei wesentliche Instrumente: Erstens ein GPS-System zur Bestimmung seiner Position. Zweitens eine digitale Saatkarte, die für unterschiedliche Teilflächen verschiedene Aussaatstärken hinterlegt hat. Zuletzt benötigt der Landwirt eine Regeltechnik an der Sämaschine, welche die Informationen der Karte umsetzt. Grundlage für die Saatkarten sind Werte, die beispielsweise mittels eines Bodenscanners wie des Typs EM 38 generiert wurden. Hierfür misst der Scanner ohne Bodenkontakt die scheinbare elektrische Leitfähigkeit der Böden (TRACTION 2015), die von mehreren, für die Bodenfruchtbarkeit und das Ertragspotenzial relevanten Parametern bestimmt wird. Dies sind z.B. die Bodenart, der Wasser-, Salz- und Nährstoffgehalt, Bodenverdichtung und Humusgehalt, wobei der Tongehalt besonders die Messergebnisse beeinflusst.

### **2.6.1 Aktueller Stand der Technik**

#### **2.6.1.1 Teilflächenspezifische Aussaat**

Das Projekt „On Farm Research“ befasst sich in einem zehnjährigen Praxisversuch mit der teilflächenspezifischen Aussaat. Auf dem Gut Helmstorf in Schleswig-Holstein werden für dieses Vorhaben 300 ha zur Verfügung gestellt. Die Böden des Guts sind recht heterogen. Mittels eines Bodenscanners wurden die Flächen erfasst. Anschließend entstanden aus diesen Ergebnissen und den Erfahrungen des Betriebsleiters eine Einteilung in drei Bodenklassen und die daraus resultierenden Aussaatmengen, die in

Tabelle 5 zu sehen sind. Nach den ersten Erfahrungen wurden die Aussaatmengen 2013 nochmals angepasst.

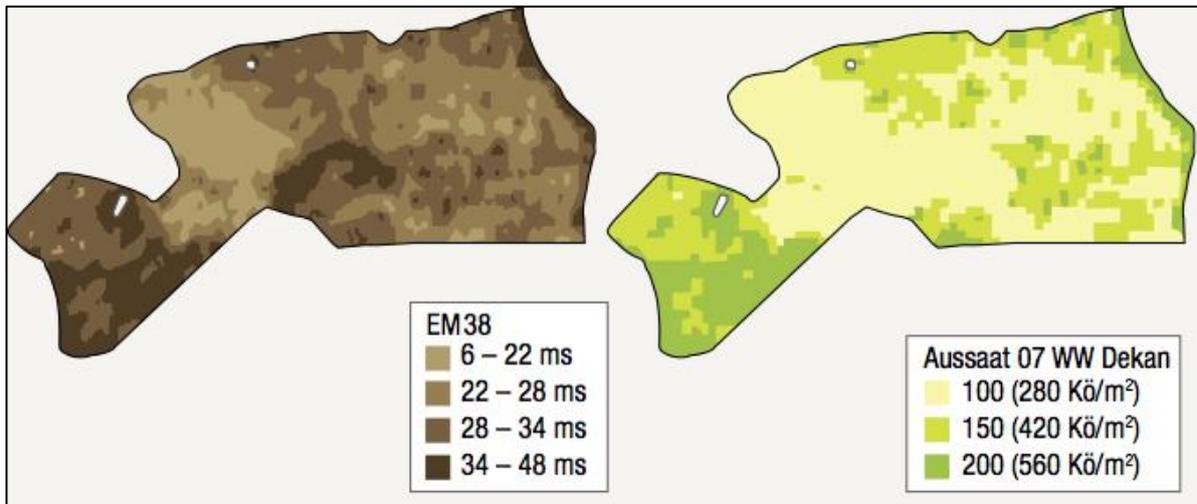
**Tabelle 5: Einteilung der drei Bodenklassen**

<b>Einteilung</b>	<b>Bodenart</b>	<b>Aussaatmenge bezogen auf die Grundsaatmenge zu Beginn</b>	<b>Aussaatmenge bezogen auf die Grundsaatmenge 2013 angepasst</b>
<i>leicht</i>	milde Lehmböden, sandige Lehme, lehmige Sande	100 %	100 %
<i>mittel</i>	mittelschwere Lehme	150 %	140 %
<i>schwer</i>	Lehm- und Tonkuppen	200 %	180 %

Quelle: OBENAUF et al. 2013

Mit Hilfe dieser Einteilung wurden dann für jeden Schlag des Gutshofes Aussaatkarten, wie sie in Abbildung 8 zu sehen sind, erstellt.

Ziel der teilflächenspezifischen Aussaat ist vor allem, auf den schweren Böden eine zufriedenstellende Grundbestandsdichte zu erreichen. Erste Ergebnisse zeigen, dass sich trotz der heterogenen Böden durch die teilflächenspezifische Aussaat homogene Bestände aufbauen lassen. Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass ein Teil des Erfolgs sicherlich auch der teilflächenspezifischen Düngung zuzurechnen ist. Durch das Verfahren wird voraussichtlich mehr Saatgut als vorher eingesetzt, wodurch Mehrkosten von 5 - 30 € pro Hektar entstehen. Im Laufe des Versuchs zeigte sich jedoch, dass die zusätzlichen Kosten geringer waren als der daraus resultierende Mehrertrag (OBENAUF et al. 2013).



Quelle: OBENAUF et al. 2013

**Abbildung 8: Erstellung einer Aussaatkarte mit Messdaten eines Bodenscanners**

Weiterführend gibt es zurzeit Techniken, die auf dieser Grundlage noch weitere Faktoren neben der Bodenart und dem Betriebsleiterwissen einbeziehen. So berücksichtigt das Modul Aussaatplanung des Farmmanagement-Portalanbieters Agravis Net-Farming GmbH zusätzlich die Wasserverfügbarkeit, Saatguteigenschaften und Klimaparameter (AGRAVIS 2018).

### 2.6.1.2 Teilbreitenschaltung „Section Control“

Vertreter der führenden Technikhersteller sind sich sicher, dass die Teilbreitenschaltung in den nächsten Jahren an Bedeutung gewinnen wird. Bei dieser Technik werden die Teilbreiten der Drillmaschine vom ISOBUS-Terminal GPS-gestützt automatisch an- bzw. abgeschaltet. Somit ist z.B. ein exaktes Ein- und Aussetzen am Vorgehende, bzw. beim Drillen von Keilen gegeben. Abbildung 9 zeigt den Einsatz dieser Technik bei der Maisaussaat.



Quelle DEERE & COMPANY 2018a

**Abbildung 9: Teilbreitenschaltung bei der Aussaat von Mais**

### **2.6.1.3 Kurvenkompensation**

Bei der Kurvenkompensation handelt es sich um ein System für Einzelkornsämaschinen, mit dem die Aussaatgenauigkeit um 24 % gesteigert werden kann. Arbeitet eine Maschine in einer Kurvenbahn, so bewegen sich die inneren Reihen langsamer als die äußeren. Dies hat zur Folge, dass im inneren Bereich der Kurve mehr Saatgut ausgebracht wird, als außen. Verfügt die Maschine über eine Kurvenkompensation, so wird ein Geschwindigkeitssignal an jede Reihe gegeben, mit dem die jeweilige Saatmenge angepasst werden kann (DEERE & COMPANY 2018b).

### **2.6.1.4 Fendt XAVER**

Im Rahmen des Forschungsprojektes MARS hat sich die Firma AGCO/Fendt und die Hochschule Ulm mit der praktischen Anwendung von im Schwarm agierenden Robotern beschäftigt. MARS steht dabei für „Mobile Agricultural Robot Swarms“. Ziel des Projekts ist es, eine kleine, leichte, energieeffiziente Robotik für die praktische Landwirtschaft zu entwickeln, welche z.B. die Maisausaat im Schwarm vornimmt und dabei den Ablageort jedes einzelnen Saatkorns dokumentiert (PROFI 2015). Nach dem Projektabschluss von MARS entschlossen sich AGCO und Fendt dazu, das Projekt

für die Marke Fendt zur Serienreife zu entwickeln. Die Robotereinheiten und die Systemsteuerung wurden dabei mit dem Produktnamen „Xaver“ versehen (DETER 2017). In der folgenden Abbildung 10 kann der Roboter betrachtet werden.



Quelle: FENDT 2017

**Abbildung 10: Fendt XAVER Robotereinheit**

Das System Fendt Xaver setzt sich aus Satelliten, einer Cloud, einem Tablet mit Xaver-App, einer Logistik-Einheit und den einzelnen Robotern zusammen und kann von einer Person gesteuert werden (FENDT 2017). In der Abbildung 11 sind die verschiedenen Komponenten dargestellt.

Die Navigation der Robotereinheiten erfolgt satellitengestützt über GPS und erlaubt eine autonome Operation mit präziser Dokumentation und Auswertung der Saatdaten. Die Roboter werden elektrisch angetrieben und legen das Saatgut mittels einer Säeinheit ab. Via Cloud kommunizieren die Roboter dauerhaft mit der Logistik-Einheit. Diese ist zum einen zuständig für die automatische Saatgutbefüllung und Akku-Ladung der Robotereinheiten. Zum anderen steuert sie die Navigation und ermöglicht den Transport der Robotik. In den Aufgabenbereich des Landwirts fallen bei

der Saat mit Xaver die Saatgutplanung durch die App und der Transport der Roboter mit der Logistik-Einheit (FENDT 2017).



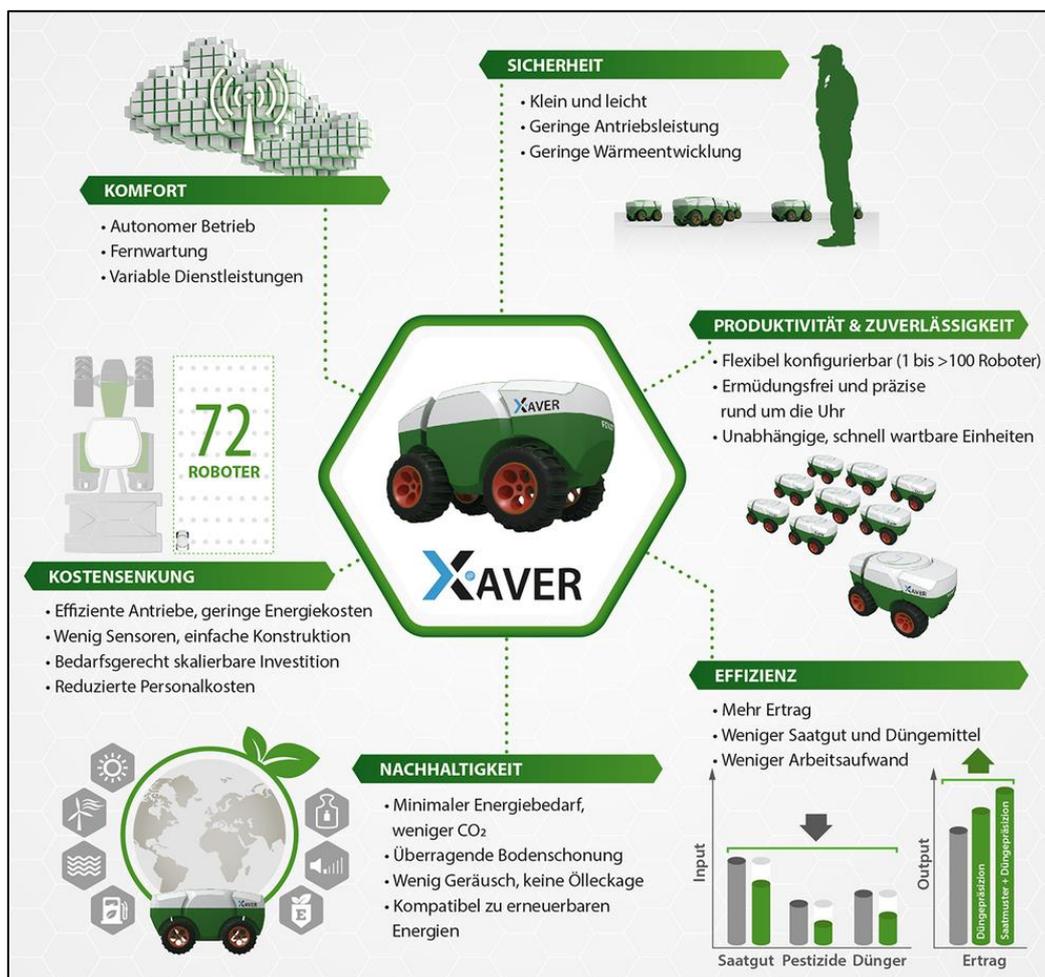
Quelle: FENDT 2017

**Abbildung 11: Komponenten des XAVER**

Ein System besteht aus sechs bis zwölf Robotereinheiten und kann eine Flächenleistung von etwa einem Hektar pro Stunde generieren (BAUMEISTER 2017). Die Robotereinheiten wiegen etwa 50 Kilogramm. Bei Verwendung von großzügiger Bereifung lässt sich durch den geringen Bodendruck von etwa  $200 \text{ g/cm}^2$  bei der Befahrung eine hohe Bodenschonung realisieren. Darüber hinaus kann das nutzbare Zeitfenster für die Aussaat durch Verwendung des Xaver-Systems erweitert werden. Durch die autonom verrichtete Arbeit der Robotereinheiten kann der Arbeitsgang rund um die Uhr an sieben Tagen der Woche erfolgen. Somit ist eine hohe Produktivität und Flexibilität des Systems gegeben (DETER 2017). Des Weiteren haben die Robotereinheiten bei gleicher Arbeit einen um etwa 70 % geringeren Energiebedarf als herkömmlich verwendete Landtechnik.

Dadurch wird entsprechend weniger  $\text{CO}_2$  ausgestoßen. Da Öl und Diesel für die Roboter nicht benötigt werden, erfolgt die lokale Arbeit komplett emissionsfrei und Leckagen können ausgeschlossen werden (DETER 2017). Aufgrund der agronomisch angepassten Saatmuster im Zusammenspiel mit genauer Dokumentation jeder ein-

zelen Pflanze können Saatgut, Pflanzenschutzmittel und Düngemittel punktuell ausgebracht werden. Daraus resultiert eine Minderung des Ressourceneinsatzes und somit eine Kosteneinsparung und ein höherer Umweltschutz. Ein weiterer umweltfreundlicher Aspekt ist, dass der Landwirt die Quelle für die Strombetankung je nach seinen betrieblichen Gegebenheiten frei wählen kann. Zur Auswahl steht beispielsweise Energie aus dem öffentlichen Stromnetz, der hofeigenen Biogas- oder Photovoltaikanlage oder aus der Windkraft (FENDT 2017). In Abbildung 12 sind die Vorteile des Xavers in Hinblick auf Sicherheit, Produktivität und Zuverlässigkeit, Effizienz, Nachhaltigkeit, Kostensenkung und Komfort grafisch dargestellt.



Quelle: FENDT 2017

Abbildung 12: Vorteile des XAVER-Feldrobotersystems von Fendt

Auf der Agritechnica 2017 wurden die Robotereinheiten erstmals in der aktuellsten Entwicklungsstufe präsentiert und von der DLG mit einer Silbermedaille ausgezeichnet.

net. Primäre Zielgruppen für das Xaver-System sind Dienstleister in anspruchsvoll strukturierten Regionen und innovative Betriebe mit dem Fokus auf Precision Farming. Konkrete Anfragen liegen dem Hersteller bereits aus Deutschland, Australien, Großbritannien, Schweiz, Holland und Afrika vor (DETER 2017).

### **2.6.2 Stand der Technik auf dem Beispielbetrieb**

Das Versuchsgut Merklingsen verfügt aktuell über sechs Drillmaschinen. Für Direktsaaten können sie zwei drei Meter breite Maschinen einsetzen, eine Cross Slot Drillmaschine und eine John Deere 750A. Im Bereich der Mulchsaat stehen vier Maschinen bereit, eine Accord mit drei Meter Arbeitsbreite, eine Kverneland I-Drill mit ebenfalls drei Meter Arbeitsbreite, eine sechsreihige Kleine Unicorn und eine vierreihige Kleine Maisdrille. Von allen Drillmaschinen ist nur die Kverneland I-Drill ISOBUS-fähig.

### **2.6.3 Entwicklungsoptionen für den Beispielbetrieb**

Der Beispielbetrieb Merklingsen ist zwar recht breit bei der Drilltechnik aufgestellt, besitzt aber nur eine ISOBUS-fähige Maschine, die für den Schritt zur Farm 4.0 notwendig ist. Kurzfristig sollte der Betrieb zuerst Aussaatkarten erstellen und zur nächsten Aussaat mit der Kverneland-Maschine mit diesen Karten arbeiten. Durch die vorhandene Erntetechnik mit Ertragsmessung hat das Versuchsgut die Möglichkeit, Ertragsveränderungen aufzuzeichnen und mit den Daten der vorherigen Jahre zu vergleichen. Der Betrieb kann sich somit ein eigenes Bild machen, ob ein solches Vorgehen betriebsspezifisch sinnvoll wäre. Wird der Literatur geglaubt, so sollte sich alleine durch diese kurzfristig realisierbare Veränderung ein Mehrertrag erwirtschaften lassen, der deutlich über den entstehenden Mehrkosten liegen könnte. In den folgenden Jahren wäre der nächste Schritt, weitere Drillmaschinen durch ISOBUS-fähige Maschinen mit Teilbreitenschaltung zu ersetzen. Dieser Schritt würde durch ein gezieltes Ein- und Aussetzen am Vorgewende und an Ausläufen Überlappungen reduzieren und damit direkt Aussaatmengen bzw. -kosten reduzieren. Ebenfalls könnten so mehr Maschinen die dann vorhandenen Aussaatkarten nutzen, womit der Betrieb auch langfristig homogene Pflanzenbestände aufbauen kann. Generell sind die meisten Maschinen heutzutage serienmäßig mit ISOBUS versehen, wodurch bei

einer Neuanschaffung keine zusätzlichen Kosten entstehen würden. Betrachtet man die Aussaat langfristig, so kommt auch eine Schwarmtechnologie wie der Fendt Xaver in Frage. Durch den Einsatz dieser Technologie lassen sich nicht nur die Aussaatkosten durch eine exakte Einzelkornausbringung reduzieren, sondern auch die Personal- und Energiekosten. Weitere positive Aspekte sind die geringen Gewichte und die flexible Einsatzzeit. Hierdurch wird nicht nur der Boden geschont, sondern die Schwarmeinheiten sind auch an sieben Tagen rund um die Uhr einsatzbereit, wodurch das Feldarbeits-Zeitfenster vergrößert wird. Bei allen positiven Aspekten sollte an dieser Stelle aber beachtet werden, dass es noch keine serienreife Technik dieser Art derzeit am Markt gibt. Somit sind die Investitionskosten, genauso wie die Einsatzvielfältigkeit und Einsatzsicherheit noch unbekannt.

## **2.7 Düngung**

Die Düngung ist ein zentraler und hinsichtlich der Pflanzenentwicklung und der Ertragsbildung ein entscheidender Arbeitsgang in der ackerbaulichen Praxis. Neben den Entscheidungen bezüglich der Düngestrategie, den Nährstoffmengen und Ausbringungszeitpunkten spielt auch die Dokumentation eine entscheidende Rolle. Eine gewissenhafte Dokumentation bzw. das Pflegen einer Ackerschlagkartei ist für eine Bestandsführung nach der guten fachlichen Praxis unabdingbar. Die Düngekosten stellen in Ackerbaubetrieben einen beträchtlichen Teil der Produktionskosten dar. So gilt es, die betriebseigene Düngestrategie nicht nur auf Grund von ökonomischen Aspekten, sondern auch auf Grund des Umweltschutzes und der gesetzlichen Bestimmungen stetig zu verbessern. Durch die Etablierung von Precision Farming-Anwendungen profitiert ein Betrieb durch eine gesteigerte Düngeeffizienz (THIESSEN 2001 S.279). Die Vernetzung der Ausbringungsgeräte mit einem Farmmanagementsystem soll die Dokumentation automatisieren.

### **2.7.1 Aktueller Stand der Technik**

#### **2.7.1.1 ISOBUS als Grundlage**

In der modernen Landtechnik ist die ISOBUS-Technik ein wichtiger Meilenstein. Ziel dieser Technik ist es, Plug & Play-Lösungen für die Kombination von landwirtschaftlichen Geräten und Traktoren bzw. von universal einsetzbaren Terminals bereit zu

stellen. Hierzu werden sämtliche Signale und Informationen in ein einheitliches Format gebracht, so dass auch komplizierte Vorgänge, beispielsweise die Steuerung der auszubringenden Düngermengen an Hand von Applikationskarten, herstellerübergreifend realisiert werden können. Moderne ISOBUS-Terminals verfügen über eine Vielzahl von Schnittstellen. Dies ist nötig, um den Datenaustausch zwischen dem Feld und dem Büro zu gewährleisten. Häufig wird in der Praxis zur Übertragung von Arbeitsaufträgen und Applikationskarten die USB-Schnittstelle verwendet. Um eine drahtlose Verbindung zum Büro zu ermöglichen, sind Terminals teils auch mit WLAN-Verbindungen und GSM-Mobilfunkanbindung erhältlich. Die Daten können auf diese Weise im ISO-XML-Format oder als PDF-Bericht ausgetauscht werden (COMPETENCE CENTER ISOBUS 2018a, b). Um die Kompatibilität der Maschinen zu kontrollieren, wird die Technik durch die Agricultural Industry Electronics Foundation (AEF) zertifiziert (AEF 2018a). Die vollständige Funktion der Geräte ist gewährleistet, wenn sowohl das Terminal, als auch das Gerät die entsprechende Zertifizierung aufweisen. Auch die Kommunikation zwischen Farmmanagementsystemen und Landmaschinen wird durch das einheitliche ISO-XML-Format ermöglicht (AEF 2018b).

Momentan bestehen folgende AEF ISOBUS-Funktionalitäten:

UT: Die Funktionalität Universal Terminal beschreibt die Möglichkeit verschiedene Geräte mit einem beliebigen Terminal zu bedienen.

AUX-N/AUX-O: Die Funktionalitäten Auxiliary Control new/old bieten die Option, zusätzliche Bedienelemente, beispielsweise Joysticks, in die Bedienung einzubinden. Es handelt sich hier um zwei verschiedene Standards, die nicht miteinander kompatibel sind.

TC-BAS: Die Funktionalität Task-Controller Basic übernimmt die Dokumentation von Summenwerten und Arbeitsaufträgen. Zur Kommunikation zwischen Acker Schlagkartei und dem Task-Controller dient das ISO-XML-Datenformat.

TC-GEO: Die Funktionalität Task-Controller geo-based bietet zusätzlich zu TC-BAS die Möglichkeit, ortsbezogene Daten zu erheben bzw. Arbeitsgänge zu planen. Dies ist Voraussetzung für die Verwendung von georeferenzierten Applikationskarten.

TC-SC: Durch die Funktionalität Task-Controller Section Control wird die automatische GPS-basierte Teilbreitenschaltung realisiert.

TECU: Die Funktionalität Basic Tractor ECU stellt zentrale Traktorinformationen, beispielsweise die Fahrgeschwindigkeit, an Hand einer Schnittstelle in der Traktorkabine und am Traktorheck für die Steuerung von Geräten zur Verfügung.

Neben den genannten Funktionalitäten befinden sich mehrere Standards mit erweiterten Funktionen, unter anderem zur drahtlosen Übertragung von Daten, im Entwicklungsstadium und sind somit noch nicht zertifiziert (AEF 2018b).

### **2.7.1.2 Teilflächenspezifische Steuerung und Dokumentation**

Bei teilflächenspezifischer Bewirtschaftung wird die Nährstoffapplikation innerhalb eines Schlages variiert. Hierzu wird die jeweilige Maschine so angesteuert, dass die Düngermenge georeferenziert an Hand einer Vorgabe ausgebracht wird. In der Praxis werden viele Möglichkeiten zur teilflächenspezifischen Düngung angeboten. Generell unterscheiden sich diese hinsichtlich ihrer Datenbasis. Es existieren sogenannte Mapping-Ansätze, auch als Offline-Verfahren bezeichnet, und Sensor-Ansätze, auch als Online-Verfahren bezeichnet. Weiterhin werden Misch-Ansätze angeboten (MAIDL 2012). Die Sensor- und Mischansätze werden auf Grund der Technik zur Stickstoffdüngung eingesetzt.

Bei den Mapping-Ansätzen wird eine digitale Applikationskarte zur Steuerung der auszubringenden Düngermenge verwendet. Die Applikationskarten basieren beispielsweise auf Ertragskarten aus dem Ertragskartierungsprogramm des Mähdreschers oder auf Nährstoffkarten, die auf der Grundlage georeferenzierter Bodenanalysen erstellt worden sind. Zur Erstellung dieser Karten wird häufig auch auf die Messung der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit zurückgegriffen (SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE 2018). Neben herstellereigenen Lösungen werden ISOBUS-fähige Geräte (TC-GEO) eingesetzt. Die Applikationskarten können in dem ISO-XML-Format zwischen Geräteterminal und Farmmanagementsystem ausgetauscht werden.

Bei den Sensor-Ansätzen wird der Stickstoffbedarf der Pflanze an Hand verschiedener agronomischer Parameter durch spezielle Sensoren während der Fahrt be-

stimmt. Anschließend wird dieser über den Jobrechner als standortspezifische Ausbringungsmenge an das Ausbringgerät weitergeleitet (FRITZMEIER UMWELTECHNIK 2017).

Der Mischansatz, auch MapOverlay-Modus genannt, kombiniert die in Echtzeit gemessenen Pflanzeninformationen mit den Informationen über die Beschaffenheit des Schlages aus dem Kartenmaterial. Die auszubringende Stickstoffmenge wird somit nicht nur durch die ermittelten Pflanzenparameter, sondern auch durch das standortspezifische Ertragspotential bestimmt (FRITZMEIER UMWELTECHNIK 2017). Sowohl bei der sensorgestützten Düngung, als auch bei der Verwendung des MapOverlay-Modus kann die ausgebrachte Nährstoffmenge, je nach Hersteller und Ausführung, georeferenziert für die weitere Verwendung in einem Farmmanagementsystem dokumentiert und bereitgestellt werden.

Um Überlappungen und Fehlstellen bei der Düngerapplikation zu vermeiden, ist die Teilbreitenabschaltung eine bekannte Technik (s.o.). Unabhängig von der Formulierung der mineralischen Nährstoffe, ob in fester oder flüssiger Form, und der Ausbringungsmethode, sprich teilflächenspezifisch oder konventionell einheitlich, werden GPS-basierte automatische Teilbreitenschaltungen angeboten. Diese Systeme arbeiten zum Teil herstellerspezifisch mit eigenen Terminals, aber auch einheitlich über ISOBUS-Steuerung (TC-SC) (AEF 2018c, AMAZONE 2018).

### **2.7.1.3 Lösungen für Wirtschaftsdünger und Kalkdünger**

Die Regelung der Ausbringungsmenge nach einer gewünschten Nährstoffmenge stellt auch für die Ausbringung von flüssigen Wirtschaftsdüngern einen wichtigen Aspekt dar. Üblich ist die Laboruntersuchung des Wirtschaftsdüngers vor der Ausbringung. An Hand der Nährstoffanalyse lässt sich das benötigte Ausbringvolumen berechnen. Moderne Ausbringfässer können das ausgebrachte Volumen durch unterschiedliche Techniken unabhängig von der Fahrgeschwindigkeit regulieren. Auf diese Weise kann eine genaue Einhaltung des vorgegebenen Volumens realisiert werden (MASCHINENFABRIK MEYER-LOHNE 2018). Da die Wirtschaftsdünger in der Praxis jedoch selten vollständig homogen sind und der Zeitpunkt der Probennahme i.d.R. von dem der Ausbringung abweicht, entsteht eine Differenz zwischen dem Volumen und den gemessenen Nährstoffgehalten. Durch die Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) besteht

die Möglichkeit, die Inhaltsstoffe von flüssigen Wirtschaftsdüngern in Echtzeit zu messen. Hieraus resultiert die Option, die Dünger nach einer gewünschten Nährstoffmenge zu applizieren. Der Nährstoffgehalt der Wirtschaftsdünger wird während des Füllvorgangs oder während des Ausbringens bestimmt (JOHN DEERE 2018 S.34f.). Die Ausbringmenge wird auf diese Weise nach der Zielmenge des gewünschten Nährstoffes variiert (ZUNHAMMER 2016). Gleichzeitig können die ausgebrachten Mengen der restlichen Hauptnährstoffe georeferenziert in Form einer Dokumentationskarte im ISO-XML-Format festgehalten werden (ZUNHAMMER 2018). Auch die Nährstoffausbringung an Hand von Applikationskarten ist mit diesem System möglich (JOHN DEERE 2018 S.34f.). In Abhängigkeit der Herkunft der Wirtschaftsdünger sind diese Analysen für verschiedene Nährstoffe behördlich anerkannt und von der DLG zertifiziert (DLG 2017a, b, c; ZUNHAMMER 2017). Somit kann die NIRS-Technologie auch zur Dokumentation beim überbetrieblichen Export bzw. Import von Wirtschaftsdüngern verwendet werden.

Auch für die Ausbringung flüssiger Wirtschaftsdünger werden Teilbreitenschaltungen angeboten. In der Praxis wird diese häufig als manuell zu bedienende Halbschaltung ausgeführt. Hierbei wird der Durchfluss des Wirtschaftsdüngers in der jeweiligen Hälfte des Verteilsystems abgeschaltet. Moderne Ausbringtechniken für flüssige Wirtschaftsdünger bieten die automatisierte GPS-Teilbreitenschaltung Section-Control mit Teilbreiten von unter einem Meter. Die Terminals arbeiten bei der automatisierten Teilbreitenschaltung entweder mit herstellereigenen Lösungen oder werden mittels ISOBUS-Terminals (TC-SC) gesteuert (JOSKIN 2018 S.89).

Auch die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern in fester Form wird stetig weiterentwickelt, so dass auch in diesem Bereich automatisierte Lösungen angeboten werden. Die Universalstreuer werden hierzu mit Wiegesystemen ausgerüstet. Nach einer Nährstoffanalyse ist der Nährstoffgehalt des Wirtschaftsdüngers und somit die auszubringende Masse bekannt. Nach vorheriger Eingabe der Daten in das Terminal der Maschine ist diese in der Lage, die gewünschte Menge präzise auszubringen. Auch die Steuerung der Ausbringmenge an Hand einer Applikationskarte ist möglich. Die Steuerung und Dokumentation erfolgt dabei über ISOBUS-Technik (TC-GEO), so dass die ausgebrachten Nährstoffmengen georeferenziert als ISO-XML-Datei in die

Farmmanagementsoftware zurückgeführt werden können. Um die Verteilgenauigkeit zu erhöhen und Überlappungen zu vermeiden, kann der Transportboden des Streugerätes automatisch GPS-basiert gestartet und gestoppt werden (TC-SC) (BERGMANN 2018 S.22ff.).

Die teilflächenspezifische Bewirtschaftung umfasst auch die Kalkdüngung. Ähnlich wie bei der Festmistausbringung sind die Streuer mit einer Wiegeeinrichtung ausgestattet. Die auszubringende Menge des Kalkdüngers kann somit unabhängig von der Fahrgeschwindigkeit genau eingehalten werden. Einige Streuer arbeiten auch ohne Wiegesystem. Es wird der spezifische Fließfaktor des Kalkdüngers zur Regelung der Ausbringungsmenge verwendet. Unter der Verwendung von ISOBUS-Steuerung (TC-GEO) kann die Kalkausbringung auch teilflächenspezifisch in Abhängigkeit einer Applikationskarte im ISO-XML-Format realisiert werden (GÜSTROWER 2018).

### **2.7.2 Stand der Technik auf dem Beispielbetrieb**

Die mineralische Düngung wird auf dem Versuchsgut hauptsächlich mit einer Feldspritze des Typs Amazone UF 1500 mit einer Arbeitsbreite von 21 m durchgeführt. Die Maschine ist nicht ISOBUS-fähig. Die Bedienung erfolgt über das herstellereigene System Amabus und das Terminal Amatron 3. Die Maschine verfügt über die Freischaltung GPS-Switch und ermöglicht die automatische Teilbreitenschaltung. Weiterhin ist ein Pneumatikstreuer der Firma Rauch mit einer Arbeitsbreite von 24 m im Betrieb vorhanden. Zur organischen Düngung wird ein Pumptankwagen des Herstellers Kotte mit einem Volumen von 18,5 m<sup>3</sup> eingesetzt. Der Pumptankwagen ist mit einem Schleppschlauchgestänge mit einer Arbeitsbreite von 21 m ausgestattet. Weiterhin ist dieses Gerät für den Einsatz von NIRS-Sensoren vorgerüstet. Die Bedienung läuft über eine herstellereigene Schaltbox. Die Kalkdüngung wird durch einen Lohnunternehmer realisiert. Zur Bedienung der Lenksysteme stehen die ISOBUS-fähigen Terminals Greenstar 2630 und 2600 von John Deere zur Verfügung. Das Greenstar 2630 verfügt über die AEF-Zertifizierung TC-SC (AEF 2018c). Zur Dokumentation werden die Arbeitsgänge zunächst schriftlich festgehalten und später in eine Excel-basierte Ackerschlagkartei übertragen. Auf dem Betrieb wird neben den Parzellenanlagen in der Düngung bisher nicht teilflächenspezifisch gearbeitet (HÜNNIES 2017, HÜNNIES 2018).

### 2.7.3 Entwicklungspfade zur Landwirtschaft 4.0

Um die Dünge hinsichtlich der Landwirtschaft 4.0 weiter zu entwickeln, sind verschiedene Aspekte zu beachten. An erster Stelle steht die Digitalisierung der Dokumentation. Sind in einem Betrieb keine Geräte vorhanden, die die Daten digital für die Dokumentation bereitstellen können, kann dies durch eine Vielzahl von Programmen und Apps realisiert werden. Falls die Maschinen in der Lage sind, digitale Arbeitsaufträge zu verarbeiten und Informationen über die erledigten Arbeitsgänge bereitzustellen, sollten diese Möglichkeiten auch genutzt werden. Es ist wichtig, dass alle Informationen in einem Format vorliegen, dass mit jedem beteiligten Gerät innerhalb der Produktions- und Dokumentationskette kompatibel ist. Durch die Verwendung ISOBUS-fähiger Geräte kann das einheitliche Format gewährleistet werden (AEF 2018b).

Ein möglicher Entwicklungspfad zur Landwirtschaft 4.0:

*Anschaffung einer Farmmanagementsoftware, mit der digitale Karten und Arbeitsaufträge bearbeitet werden können  
(Häufig ist das ISO-XML-Format, dieses wird auch von den entsprechenden ISOBUS-Geräten akzeptiert.)*



*Anschaffung von Geräten mit der Fähigkeit zur Dokumentation und/oder zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung  
(Bei Verwendung der ISOBUS-Steuerung wird dies durch den TC-BAS- und TC-GEO-Standard gewährleistet.)*



*Bereitstellung des GPS-Signals  
(Dies kann entweder durch einen eigenen Empfänger für das Gerät oder über das Lenksystem des Traktors geschehen.)*



*Beschaffung der benötigten Daten zur Erstellung von Applikationskarten; Anschaffung eines Pflanzensensors  
(beispielsweise Ertragskarten, georeferenzierte Bodenanalysen; Greenseeker, N-Sensor, Isaria Crop Sensor...)*

## **2.7.4 Entwicklungsoptionen für den Beispielbetrieb**

### **2.7.4.1 Kurzfristig**

Als kurzfristige Option ist zum einen die Digitalisierung der Dokumentation ohne Maschinenanbindung zu sehen. Hierbei ist darauf zu achten, dass die gewählte Farmmanagementsoftware auch alle folgenden Entwicklungsschritte zur Implementierung von Precision Farming ermöglicht. Zum anderen ist bei der Neuanschaffung von Düngemaschinen auf deren Eignung zur automatischen Dokumentation und zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung zu achten. Die Anschaffung von ISOBUS-fähigen Geräten vereinheitlicht die Bedienung und ermöglicht unter Berücksichtigung des genormten Standards TC-BAS eine digitale Dokumentation. Falls in Zukunft auch Teilflächen spezifisch gearbeitet werden soll, ist der TC-GEO-Standard zu berücksichtigen. Das im Betrieb vorhandene Greenstar-Terminal 2630 ermöglicht die Bedienung von ISOBUS-Geräten nur bedingt; es ist nicht nach den AEF-Standards zertifiziert (JOHN DEERE 2018 S.13, AEF 2018c). Auch bei der Anschaffung neuer Traktoren sollte auf die AEF-Zertifizierungen geachtet werden. Das Schlepperterminal Commandcenter 4600, wie es in den neueren Traktoren des Herstellers John Deere angeboten wird, verfügt beispielsweise über die Zertifizierungen TC-BAS, TC-SC, UT und weitere (AEF 2018c).

### **2.7.4.2 Mittelfristig**

Mittelfristig ist die Bereitstellung der entsprechenden Daten für die teilflächenspezifische Bewirtschaftung sicher zu stellen. Beispiele hierfür sind Ertragskarten, georeferenzierte Bodenanalysen und satellitengestützte Ertragspotentialkarten. Da auf dem Betrieb bereits GPS-Lenksysteme eingesetzt werden, ist die Anschaffung zusätzlicher GPS-Empfänger nicht nötig. Das für die Maschinensteuerung benötigte GPS-Signal kann durch die Lenksysteme bereitgestellt werden. Um die ausgebrachten Mengen flüssiger organischer Wirtschaftsdünger genau und standortbezogen dokumentieren und gegebenenfalls steuern zu können, kann ein NIRS-Sensor angeschafft werden. Der Pumptankwagen ist für den Einsatz dieser Sensoren vorgerüstet. Die vorhandene Feldspritze kann durch entsprechende Freischaltung der Option GPS-Maps mit dem Terminal Amatron 3 zur teilflächenspezifischen Düngung ver-

wendet werden. Das System ist in der Lage, Auftragsdaten und Applikationskarten im ISO-XML-Format zu verarbeiten (AMAZONE 2018 S.23).

### **2.7.4.3 Langfristig**

Nachdem sämtliche benötigten Elemente auf dem Betrieb vorhanden sind, kann die Bewirtschaftung teilflächenspezifisch erfolgen. Auch die durch Lohnunternehmer ausgeführten Arbeiten können teilflächenspezifisch realisiert werden. Voraussetzung ist, dass der Lohnunternehmer die entsprechende Technik vorhält. Um die Stickstoffdüngung teilflächenspezifisch zu realisieren, kann auch ein Pflanzensensor angeschafft werden. Das Terminal Amatron 3 der vorhandenen Feldspritze verfügt über die entsprechende Schnittstelle (AMAZONE 2018 S.23).

### **2.7.5 Empfehlungen, Chancen und Risiken**

Mit dem Einstieg in die teilflächenspezifische Bewirtschaftung, insbesondere die sensorgestützte Nährstoffausbringung, bei der die ausgebrachte Menge in Echtzeit im Feld ermittelt und gesteuert wird, steigt die Menge der zu dokumentierenden Daten. Der ISOBUS-Standard bietet ein genormtes System, das die Dokumentation und Steuerung vereinheitlicht. Die Kompatibilität der Geräte kann durch die entsprechende AEF-Zertifizierung kontrolliert und gewährleistet werden. Die durch das CCI entwickelten Terminals erfüllen diese Zertifizierungen und bieten darüber hinaus auch die Möglichkeit der drahtlosen Datenübertragung (COMPETENCE CENTER ISOBUS 2018a, b). Für eine herstellerunabhängige Vernetzung der Systeme sind diese Terminals daher besonders zu empfehlen.

Wird bei der teilflächenspezifischen Düngung auf georeferenzierte Bodenanalysen zurückgegriffen, so stellt sich die Frage der Rastergröße für diese Proben. Besonders in kleinstrukturierten Gegenden ist die Anzahl der möglichen Teilflächen durch die Schlaggröße begrenzt. Auch die Arbeitsbreite der Geräte reduziert in diesen Gebieten die Anzahl möglicher Teilflächen eines Schlages. Der wirtschaftliche Nutzen ist hierbei betriebsspezifisch zu analysieren.

Der Einsatz von Pflanzensensoren zur Stickstoffdüngung ist nach Herstellerangaben ab einer Betriebsgröße von 100 ha wirtschaftlich (AGRI CON 2018). Soll ein solcher Sensor im Betrieb zum Einsatz kommen, so ist darauf zu achten, dass dieser unabhängig vom Tageslicht arbeiten kann. Zur Erweiterung des Einsatzspektrums können diese Systeme auch für die biomasseabhängige Wachstumsreglerapplikation eingesetzt werden. Der Crop Sensor Isaria der Firma Claas ermöglicht neben diesen Funktionen auch den MapOverlay-Modus und eine Isobusanbindung (CLAAS 2015).

Wird bei der organischen Düngung die Ausbringmenge durch einen NIRS-Sensor mit der eingestellten Regelgröße der gleichmäßigen Stickstoffdüngung geregelt, kommt es zu unterschiedlichen Applikationsmengen der restlichen Hauptnährstoffe. Um die Versorgungsunterschiede bei den folgenden mineralischen Düngegaben kompensieren zu können, ist es zwingend notwendig, auch die ausgebrachten Mengen der restlichen Hauptnährstoffe zu dokumentieren. Der Sensor Van-Control 2.0 der Firma Zunhammer eignet sich gut für die Integration in ein System der Landwirtschaft 4.0. Der Sensor ist von der DLG geprüft und für die behördliche Dokumentation zugelassen. Das System ist in der Lage, die Ausbringmenge aller Hauptnährstoffe georeferenziert zu dokumentieren; es kann mit Pflanzensensoren kombiniert werden und ist darüber hinaus ISOBUS-kompatibel (DLG 2017a, ZUNHAMMER 2017). Durch die behördliche Anerkennung kann hiermit auch die geforderte Dokumentation für den überbetrieblichen Wirtschaftsdüngerexport realisiert werden. Die Daten können entweder digital oder mit einem an den Terminal angeschlossenen Drucker bereitgestellt werden.

## **2.8 Pflanzenschutz – Automatische Unkrautererkennung**

In der Landwirtschaft sind Kosteneinsparungen, idealerweise in Verbindung mit einer nachhaltigen Bewirtschaftung von Ackerflächen, von wachsender Bedeutung. Zusätzlich sollten aus Gründen der gesellschaftlichen Akzeptanz innovative Lösungen zur Einsparung von Herbiziden erprobt und in die Praxis transferiert werden. Im Jahr 2015 wurden in Deutschland 16.315 t Herbizide von Landwirten zur Bekämpfung von verschiedensten Unkräutern bezogen (UMWELTBUNDESAMT 2017). Zukünftig ist anzustreben, den Wirkstoffaufwand pro Hektar zu minimieren.

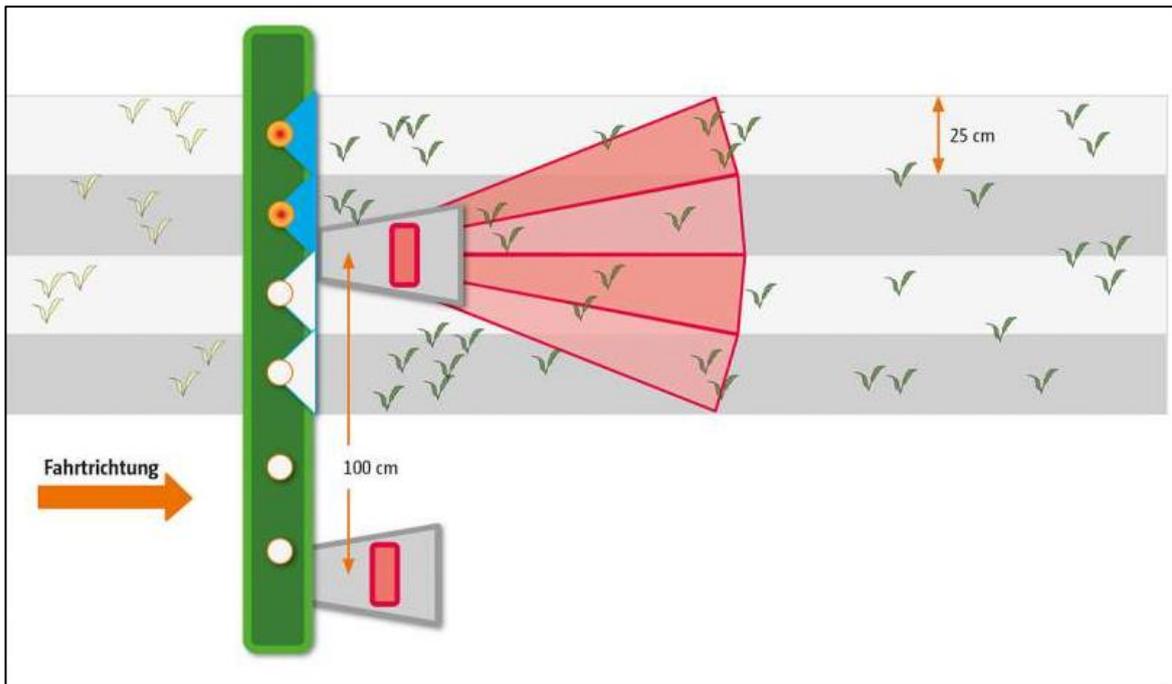
Ein teilflächenspezifischer Herbizideinsatz kann die Menge der verwendeten Herbizide im Vergleich zu klassischen Applikationen deutlich reduzieren. Ausgehend von einer Unkrauterkenntnis innerhalb des Feldes ist eine Automatisierung der Applikation möglich. Herstellerübergreifend sind bereits einige Systeme in der Erprobung, mit deren Hilfe Nichtkulturpflanzen gezielt bekämpft werden können.

Im Folgenden soll ein Überblick über die verschiedenen Systeme der Unkrauterkenntnis und der daraus resultierenden Automatisierungsmöglichkeiten gegeben werden. Die Herstellerlösungen reichen von einer „Ja-oder-Nein-Erkennung“ bis hin zu einer artspezifischen Unkrauterfassung. Außerdem soll festgestellt werden, welches System zum teilflächenspezifischen Herbizideinsatz für das Versuchsgut Merklingsen am besten geeignet wäre.

## **2.8.1 Aktueller Stand der Technik**

### **2.8.1.1 AmaSpot**

Von der Firma Amazone wird ein Applikationssystem angeboten, welches auf der Grundlage von „Ja/Nein-Entscheidungen“ Pflanzenschutzmaßnahmen durchführt. Bei diesem System kann nur zwischen Pflanze und Boden unterschieden werden. Spritzbrühe wird nur dort ausgebracht, wo Aufwuchs detektiert wird. Vorgesehen ist diese Technologie für den Einsatz von Totalherbiziden. Dieses Verfahren ist eine Weiterentwicklung einer herkömmlichen Feldspritze und basiert daher nur auf einem Tank. Somit ist bei einer Überfahrt nur die Ausbringung einer Wirkstoffkombination möglich. Der Sensor zur Unkrauterkenntnis ist an einem handelsüblichen Amazone-Gestänge angebracht. Dieses verfügt über Einzeldüsenabschaltung in einem Abstand von 25 cm (vgl. Abbildung 13).



Quelle: Werkbild AMAZONE 2017a

**Abbildung 13: Schematische Darstellung der AmaSpot-Funktionsweise**

Die Sensoren sind in einem Abstand von einem Meter angebracht (vgl. Abbildung 14). Ein Sensor, mit vier einzelnen Kanälen pro Meter, steuert somit jeweils vier Düsen. Die Sensoren erkennen per Fluoreszenzmessung Chlorophyll-Fluoreszenzen und sind somit in der Lage, Pflanzen zu identifizieren. Um Arbeitsgeschwindigkeiten von 20 km/h zu ermöglichen, arbeiten die Düsen nach dem Prinzip der Pulsweiten-Frequenzmodulation, bei der 50 Ventilschaltungen pro Sekunde möglich sind.

Zwei zusätzliche Betriebsmodi im Vergleich zur normalen, ganzflächigen Applikation sind damit realisierbar:

1. An/Aus Schaltung (teilflächenspezifisch)
2. An/Aus Schaltung mit flächendeckender reduzierter Basisspritzung.

Der zweite Betriebsmodus eignet sich für die Erfassung von Nichtkulturpflanzen, die sich in niedrigen Entwicklungsstadien befinden und nicht von der Sensorik detektiert werden (AMAZONE 2017b).



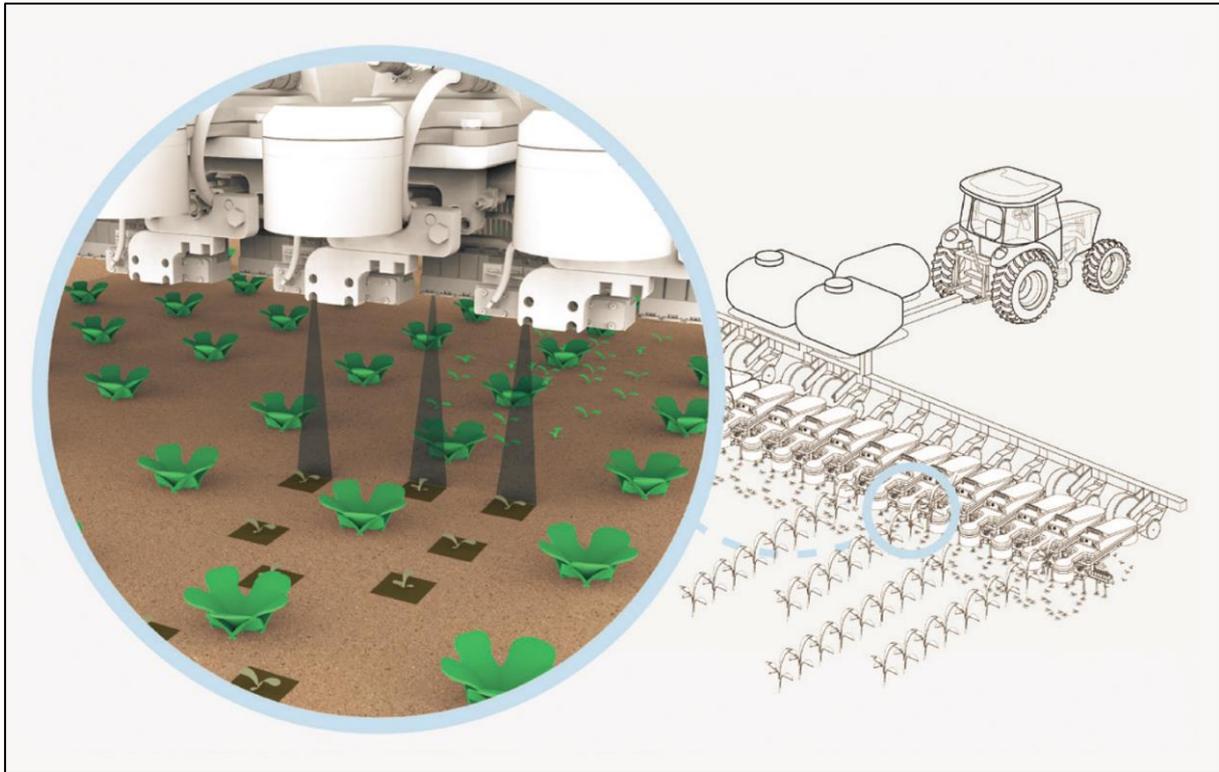
Quelle: Werksbild AMAZONE 2017a

**Abbildung 14: AmaSpot Fluoreszenzsensoren an einer Feldspritze**

### **2.8.1.2 Blue River**

Der Hersteller John Deere hat mit Blue River ein System entwickelt, welches in der Lage ist, Nicht-Kulturpflanzen von Kulturpflanzen zu unterscheiden. Die Identifikation von Ackerbeikräutern ermöglicht es, auf Ganzflächenbehandlungen zu verzichten und somit den Herbizidaufwand zu senken. Das Erkennungssystem soll zukünftig in die bereits vorhandene John Deere-Applikationstechnik integriert werden (N.N. 2017a).

Wie aus Abbildung 15 ersichtlich wird, kann die Technologie kleinräumig Unkräuter erfassen und punktuell mit Herbiziden besprühen. Die Besonderheit dieser Entwicklungsstufe ist es, eine Fläche von nur etwa 6,5 cm<sup>2</sup> bei einer Geschwindigkeit von bis zu 6,5 km/h gezielt zu behandeln (N.N. 2017b). Bei diesem System handelt es sich um eine Eintanklösung. Dies bedeutet, dass bei einer Applikationsmaßnahme nur auf eine mitgeführte Wirkstoffkombination im Spritzbrühbehälter zurückgegriffen werden kann. Ein weiterer Vorteil ist, dass eine abdriftreduzierte Ausbringung, aufgrund des bodennahen Spritzverfahrens, ermöglicht werden kann (BENNETT 2017).



Quelle: Werkbild BLUE RIVER 2017

**Abbildung 15: Schematische Darstellung der Blue River Technologie See & Spray hinsichtlich der Unterscheidung zwischen Unkraut und Kulturpflanzen**

Im Einzelnen basiert die Unkrauterkenkung auf zwei Kameras pro Reihe, die kontinuierlich während der Überfahrt Aufnahmen vom Aufwuchs anfertigen. Die von der ersten Kamera aufgezeichneten Bilder werden anhand von leistungsstarken Nvidia-Grafik-Chips mit der vorhandenen Bildbibliothek abgeglichen. Die Auswertung der Daten findet mit einer Software, die mit Algorithmen arbeitet, in Echtzeit statt. Die zweite Kamera ist hinter den Düsen platziert und protokolliert die vorangegangene Applikation. Die künstlich intelligente Software nimmt bei Bedarf Korrekturen vor (BENNETT 2017).

Im weiteren Verlauf der Entwicklung soll ermöglicht werden, die Applikationsgenauigkeit auf Briefmarkengröße zu erhöhen. Insgesamt verspricht der Hersteller, dass mit seinem Verfahren eine 90 %ige Mitteleinsparung zu realisieren sei. Die Applikationstechnik wurde im Baumwollanbau in den USA erprobt. Der Vertrieb erster kommerzieller Geräte war für Ende 2017 angekündigt worden (BENNETT 2017).

### 2.8.1.3 Smart Spraying

Die Firmen Bayer und Bosch haben eine Entwicklungskooperation gegründet, bei der sie das System "Smart Spraying" entwerfen wollen. Ziel der Zusammenarbeit ist es, einen Prototyp für das Jahr 2019 zu konstruieren und 2021 ein marktfähiges Produkt in den Handel zu bringen. Der derzeitige Stand der Entwicklung ist ein Modell, welches mit Kamerasensoren ausgestattet ist. Diese Sensoren sind in der Lage, zwischen Kulturpflanze und Ackerbegleitflora zu unterscheiden. Eine kontinuierliche Aufnahme von Bildern während der Überfahrt ermöglicht unter Berücksichtigung eines Algorithmus eine artspezifische Unkrauterkenkung (vgl. Abbildung 16). Besonders hervorzuheben ist jedoch, dass zwischen verschiedenen Unkrautarten differenziert werden kann. Durch die Erkennung verschiedener Unkräuter ist es möglich, diese einzeln zu bekämpfen (KOERHUIS 2017).



Quelle: KOERHUIS 2017

**Abbildung 16: Schematische Darstellung der Smart Spraying-Technologie**

Ausgehend von diesem Modell sollen Feldspritzen entwickelt werden, die mit Hilfe eines intelligenten Vierleitungssystems teilflächenspezifisch und artspezifisch mehrere Wirkstoffkombinationen während einer Überfahrt applizieren können. Jede Spritzdüse wird von vier Zuleitungen angesteuert. Während es sich bei einer der Leitungen

um eine Klarwasserleitung handelt, die die Aufwandmengen konstant hält, werden über die anderen drei Zuleitungen verschiedene Herbizide vorgemischt und zudosiert (KOERHUIS 2017).

Die exakte Funktion unter praxisüblichen Bedingungen im Betrieb mit einer herkömmlichen Feldspritze wurde derzeit noch nicht erzielt, da einige Entwicklungsschritte noch ausstehen.

#### **2.8.1.4 H-Sensor**

Die Firma Agri Con hat bereits im Jahr 2009 das Konzept des H-Sensors zur artspezifischen Unkrauterkenkung vorgestellt. Das System basiert auf bildgebenden Sensoren mit integrierter Lichtquelle, die auch einen Nachteinsatz ermöglichen (vgl. Abbildung 17). Das Besondere dieser Technologie ist, dass herkömmliche Feldspritzen mit dieser Sensorik nachgerüstet werden können. Neben den Sensoren wird für eine Nachrüstung die Installation eines zusätzlichen Terminals mit Entscheidungsregeln für die Bildverarbeitung, je nach dominierender Schadpflanze und Herbizidwahl, erforderlich. Die Erkennung verschiedenster Ackerbeikräuter beruht auf dem Abgleich bereits vorhandener Bildreihen mit dem detektierten Pflanzenaufwuchs. Für die Erstellung der Bilddatenbank wurden verschiedene Unkräuter in unterschiedlichen BBCH-Stadien analysiert. Ein sequentieller Klassifikationsansatz, der mit drei verschiedenen Support Vector Machine (SVM)-Modellen arbeitet, dient zur Einteilung der ermittelten Pflanzen in einzelne Gruppen. Die Klassifizierung einer genauen Spezies ist bei Dikotyledonen eine besondere Herausforderung (GERHARDS 2010). Der Unterscheidung der Unkräuter liegt eine Merkmalsgewichtung mit dem RELIEF-F-Algorithmus und der genannten SVM-Gewichtung zugrunde. Die Genauigkeitsraten für ausgewählte Unkräuter lagen bei etwa 80 % (GERHARDS 2010).



Quelle: RUDOLPH 2017

**Abbildung 17: H - Sensor mit integrierter Lichtquelle**

Um eine Unterscheidung anhand des oben genannten Klassifizierungsmusters vornehmen zu können, ist es erforderlich, aus den Bilddaten artspezifische Formmerkmale zu generieren.

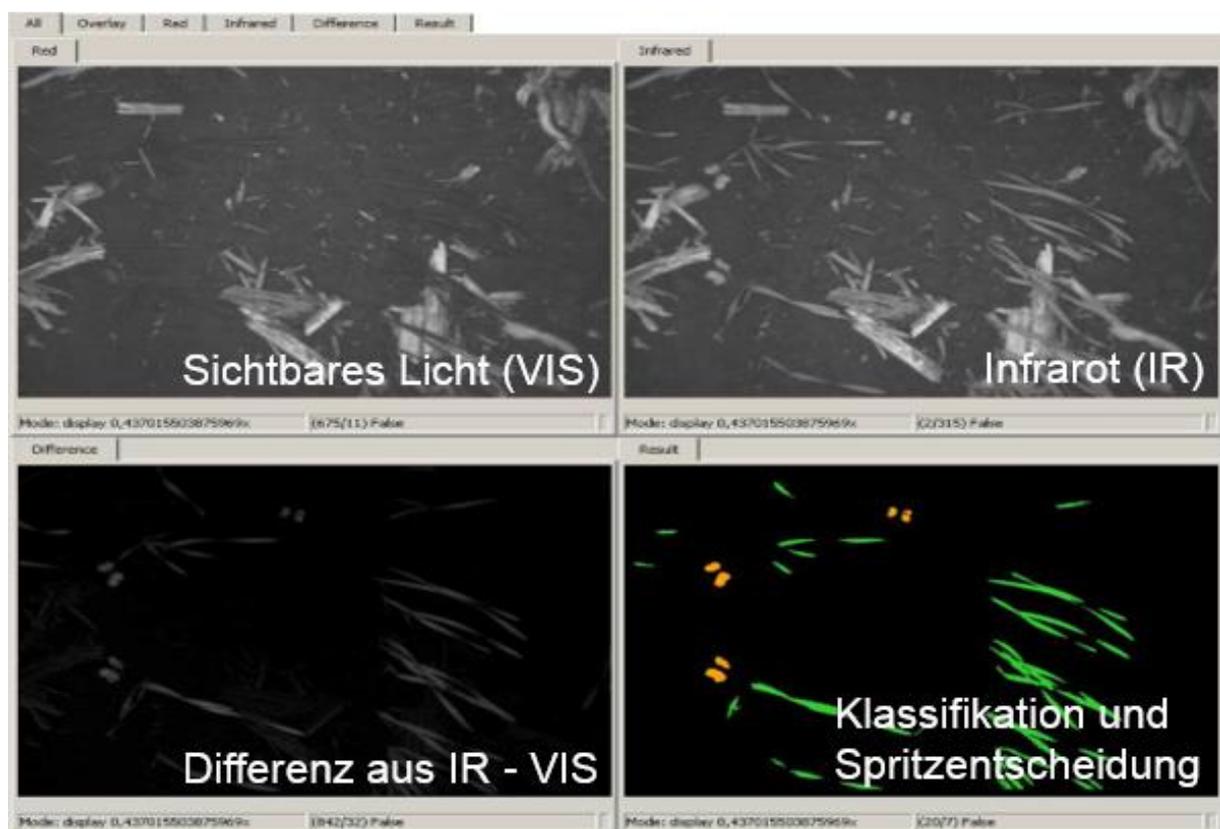
Die Reihenfolge der Bildanalyse ist wie folgt:

1. Bispektralbild  
→ Erfassung
2. Binärbild  
→ Differenz aus IR - VIS (IR= Infrarot; VIS = sichtbares Licht)
3. Konturbild  
→ Bestimmung von geometrischen Formen
4. Berechnen der Formparameter  
→ Klassifikation und Spritzentscheidung (vgl. Abbildung 18).

Nach der oben dargestellten Verarbeitung der Bilddaten ist das System in der Lage zu prüfen, ob eine Applikation erforderlich ist. Wenn dies der Fall ist, gibt das H-Sensorterminal dem Spritzterminal den Auftrag, die entsprechende Teilbreite mit Unkrautwuchs zu aktivieren (PIOTRASCHKE 2010).

Durch eine gezielte Anwendung sind nach Angaben von Agri Con Herbizideinsparungen in Höhe von 35 % zu realisieren (RUDOLPH 2017). Die Technologie arbeitet dabei unabhängig von den Herstellern der Feldspritze. Fahrgeschwindigkeiten von bis zu 12 km/h sind laut Hersteller möglich (AGRI CON 2017).

Grundlage dieser Anwendung sind die agronomisch fundierten Datenmengen, die unter praxisüblichen Bedingungen eine teilflächenspezifische Applikation erst ermöglicht. Hinterlegt sind z.B. Regelalgorithmen für Pflanzenschutzmittel und Unkrautklassen (PIOTRASCHKE 2010).



Quelle: PIOTRASCHKE 2010

Abbildung 18: Analyse der Bilddaten anhand festgelegter Entscheidungsparameter

## 2.8.2 Diskussion

Angesichts der vorangegangenen Kapitel ist deutlich geworden, dass es sich viele Firmen mit unterschiedlichen Konzepten zur Aufgabe gemacht haben, durch Automatisierungsprozesse Herbizid-Aufwandsmengen zu reduzieren. Die vorgestellten

Systeme arbeiten alle mit bildbasierter Sensortechnik, anhand derer teilflächenspezifische Applikationen durchgeführt werden können.

Von den aufgezählten Systemen ist AmaSpot das einzige System, welches nicht zwischen Kulturpflanze und Ackerbeikraut unterscheiden kann, da es für den Totalherbizideinsatz konzipiert ist (vgl.

**Tabelle 6).** Hinsichtlich der Marktreife findet neben AmaSpot nur der H-Sensor von Agri Con in der landwirtschaftlichen Praxis bereits Verwendung. Ein Alleinstellungsmerkmal von AmaSpot ist die Auswahl zwischen zwei verschiedenen Betriebsmodi und die äußerst hohe Arbeitsgeschwindigkeit von bis zu 20 km/h. Außerdem ermöglicht einer dieser Betriebsmodi mit flächendeckender reduzierter Basisspritzung die Erfassung von Unkräutern niedriger Entwicklungsstadien, welche von der Sensorik nicht eindeutig erfasst werden konnten. Diese Kombination der herkömmlichen Applikation mit der AmaSpot - Sensorik wird als äußerst effektiv eingeschätzt, da hierdurch zusätzliche Überfahrten trotz Herbizideinsparungen vermieden werden können.

Im Unterschied zu AmaSpot kann Blue River zwischen Kulturpflanze und Nichtkulturpflanze unterscheiden. Anwendung findet dieses Konzept ausschließlich in Reinkulturen wie Baumwolle. Die punktgenaue Applikation auf einer Fläche von nur 6,5 cm<sup>2</sup> ist herstellerübergreifend eine Besonderheit. Im Gegensatz zu den anderen Herstellern ist Blue River keine Erweiterung/Weiterentwicklung einer normalen Feldspritze, sondern basiert auf einem neuen Applikationskonzept mit intelligenter Düsenschialtung. Smart Spraying und der H-Sensor der Firma Agri Con sind unter den beschriebenen Technologien die einzigen, die innerhalb der Unkräuter Unterscheidungen vornehmen können (vgl.

**Tabelle 6).** Die Konzeptstudie Smart Spraying von Bayer und Bosch soll nach weiterer Entwicklungsarbeit in der Lage sein, sogar verschiedene Wirkstoffkombinationen unkrautspezifisch bei einer Überfahrt zu applizieren.

#### **Tabelle 6: Abgrenzung der einzelnen Systemeigenschaften**

System	Funktionen			
	Marktreife	Kulturpflanzen-erkennung	Unkrautunter-scheidung	Wirkstoffkom-binationen
AmaSpot	✓	✗	✗	✗
Blue River	✗	✓	✗	✗
Smart Spraying	✗	✓	✓	✓
H - Sensor	✓	✓	✓	✗

Alle Systeme nutzen verschiedene Verfahren zur automatisierten Unkrauterken-nung. In einem Fall funktioniert die Erkennung fluoreszenzbasiert (AmaSpot), in allen ande-ren Konzepten werden Bilddateien anhand algorithmischer Modelle ausgewertet. Bei allen Herstellern können durch die teilflächenspezifische Herbizidapplikation Kos-ten eingespart werden. Neben der Einsparung von Kosten sind zum Teil Mehrerträge aufgrund von geringerer Konkurrenz und ausbleibender Phytotoxizität auf Nicht-Zielpflanzen, zu erwarten. Des Weiteren sind unbehandelte Teilflächen ohne Unkrautbewuchs generell weniger resistenzgefährdet. Mit den aufgeführten Verfahren geht aus Sicht des Umweltschutzes eine äußerst genaue Umsetzung des Schadschwellenkonzeptes einher (PIOTRASCHKE 2010).

### 2.8.3 Empfehlung für den Beispielbetrieb

Das Versuchsgut arbeitet zurzeit mit einer Pflanzenschutzspritze von der Firma Amazone „UF 1500“, mit einer Arbeitsbreite von 21 m. Außerdem ist die Spritze mit Amatron 3 Section Control und GPS Switch 3 m Teilbreitenschaltung ausgestattet.

Für das Versuchsgut würde sich der H-Sensor von der Firma Agri Con am besten eignen, da die bereits vorhandene Feldspritze mit ihm nachgerüstet werden kann, die Sensorik bereits praxistauglich ist und in einem angemessenen finanziellen Rahmen liegt.

Wird der H-Sensor an der Amazone Feldspritze nachgerüstet, so sind vier Sensoren notwendig, die in einem Abstand von 3 – 4 Meter angebracht werden müssten. Die Kosten für die Nachrüstung der vier Sensoren würden sich auf 40.000 € – 45.000 €

belaufen. In dieser Preisspanne sind bereits die Verkabelungen und die notwendige Software mit einbezogen (WAAK 2018).

## **2.9 Erntetechnik und Erntelogistik**

### **2.9.1 Aktueller Stand der Technik**

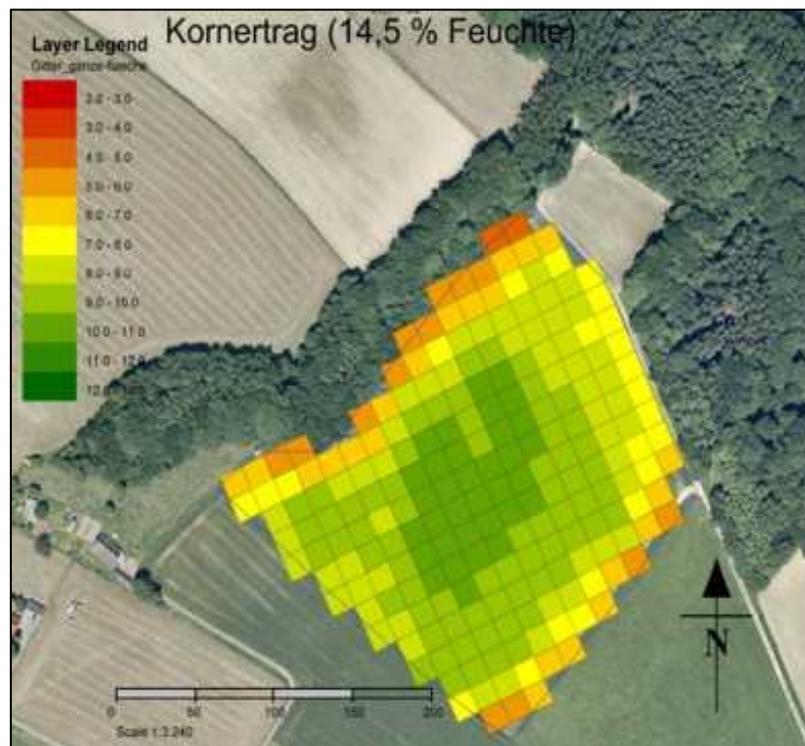
Die Digitalisierung der Landwirtschaft im Bereich der Erntetechnik und der dazugehörigen Logistik setzt sich aus verschiedenen Elementen zusammen.

Die erste Stufe sind Hochleistungs-Erntemaschinen, die mit einer Sensortechnik ausgestattet sind. Die Mähdrescher verfügen über verschiedene Sensoren wie Feuchtemesser und Ertragssensoren. Verlustsensoren erfassen die Belastung der Trenn- und Reinigungseinrichtungen und zeigen damit Änderungen im Ernteprozess. Überkehrsensoren nehmen die Masse der Überkehr wahr (BÖTTINGER 2008).

Viele Mähdrescher besitzen bereits eingebaute Feuchtesensoren; diese können aber auch nachgerüstet werden. Zum Nachrüsten gibt es beispielsweise den CMM 100 (Combine Moisture Meter) für 1.095,00 €, welcher den Feuchtegehalt des Erntegutes im Korntank erfasst. Dieser kann einfach selbst am Auslauf der Befüllschnecke angebracht werden (TECHNIKSCHNEUNE 2018).

Bei der Erfassung der Ertragsdaten werden lokale Erträge, die GPS-Daten, Kornfeuchte, Verluste, Drehzahl sowie Datum und Uhrzeit aufgezeichnet und gespeichert. Diese Daten können nach der Ernte mittels USB-Stick oder online vom Ertragsmonitor auf dem Mähdrescher auf einen PC übertragen werden (NOACK 2007 S.15). Daraus können anschließend Ertragskarten erstellt werden (vgl. Abbildung 19). Das bedeutet, dass bei der Ertragskartierung von Mähdruschfrüchten die Unterschiede im Ertrag innerhalb der beernteten Flächen sichtbar in Karten dargestellt werden. Es kann abgelesen werden, an welcher Stelle welcher Ertrag erbracht wurde und wie stark die Unterschiede sind. Ein Auswerten der Ertragskarten über mehrere Jahre ist besonders hilfreich, um Zonen mit unterschiedlichen Ertragspotentialen zu dokumentieren (NOACK 200 S.5). Damit bieten die Ertragskarten die Grundlage für eine Ursachenforschung der Zonen mit geringem Ertrag und dienen als Entscheidungsgrund-

lage zukünftiger Maßnahmen und teilflächenspezifischer Bewirtschaftung (NOACK 2007 S.3).



Quelle: AMAZONE 2016

**Abbildung 19: Beispiel einer Ertragskarte**

Um die volle Leistung eines Mähdreschers auszunutzen, muss dieser auf die Erntebedingungen angepasst eingestellt werden. Dabei hat die Einstellung der Reinigung eine zentrale Bedeutung. Dazu wird die Kenntnis über Überkehr in Menge und Zusammensetzung benötigt, welche mit entsprechenden Sensoren ermittelt werden kann. Die Überkehr führt unausgedroschene Ährenteile zum Nachdreschen zurück und sorgt für eine Reinheit im Korntank. Der Anteil der freien Körner in der Überkehr sollte gering sein, damit kein Bruchkorn entsteht. Das Überkehr-Grainmeter von Claas ist ein Röhrchensensor und gibt Auskunft über Menge und Kornanteil der Überkehr und zeigt dieses auf dem Monitor des Mähdreschers an. Dadurch kann der Fahrer die Reinigung optimal einstellen (BAUMGARTEN et al. 2004 S.196f.).

Ein weiterer Qualitätssensor ist ein Sensor zur Erkennung von Bruchkorn. Claas bietet eine Grain Quality Camera für die Lexion-Mähdrescher an, mit welcher die Qualität des Druschgutes in Echtzeit beurteilt werden kann. Die Kamera ist auf dem Kör-

ner Elevatorkopf angebracht und macht Aufnahmen des Erntegutes im Sekundentakt. Über eine Bildauswertungssoftware werden Bruchkornanteile und Nicht-Korn-Anteile berechnet und dem Fahrer auf dem Display angezeigt (vgl. Abbildung 20; LU-WEB.DE 2013).



Quelle: LU-WEB.DE 2018

**Abbildung 20: Grain Quality Camera als Echtbild mit farblich markiertem Bruchkorn und Nicht-Korn-Anteilen auf dem Display**

Der neue Fendt-Mähdrescher der Ideal-Baureihe verfügt über akustische Masse-Sensoren, die den Erntegutfluss in Echtzeit visualisieren. Dabei wird der Auslastungszustand von Dreschwerk und Reinigung dargestellt. Diese Sensoren können dem Fahrer in Kombination mit einer Kornqualitätskamera Körnerverluste, Bruchkornanteil und Kornreinheit anzeigen (EDER 2017).

Durch eine automatische Durchsatzregelung des Mähdreschers soll die Maschine optimal ausgelastet und der Fahrer entlastet werden. Diese Durchsatzregelungen werden von verschiedenen Herstellern mit verschiedenen Systemen angeboten. Das Prinzip ist überwiegend dasselbe: Nach Kalibrierung des maßgeblich optimalen Betriebspunktes wird der Durchsatz gemessen und die Fahrtgeschwindigkeit daraufhin angepasst. Für Fendt- und Massey Ferguson-Mähdrescher wird dazu die Dresch-trommelbelastung hinzugezogen. Bei John Deere-Mähdreschern werden dazu noch

die Rotorbelastung und die Motorauslastung mit betrachtet. Claas erfasst die Schichthöhe des Erntegutes im Schrägförderer und berechnet außerdem die Dresch-trommelbelastung mit ein. In jedem System soll ein gleichmäßiger Gutfluss erreicht werden. Hinzu kommen automatische Lenksysteme. Der Mähdrescher kann mittels Laser entlang einer Bestandskante geführt werden, aber auch mittels GPS-Lösungen. Beispielsweise kann die Maschine nach Anlegen einer Referenzspur pa-rallel dazu gelenkt werden. RTK-Systeme bieten eine Genauigkeit von +/- 2 cm und Satellitenkorrektursignale eine Genauigkeit von 5 - 10 cm. Durch diese Automatisierung der Ernte mit automatischen Lenksystemen und Durchsatzregelungen soll der Fahrer deutlich entlastet werden (WIESENHOFF u. SORIANO 2006 S.376f).

Die Firma Claas bietet im Bereich der Digitalisierung der Ernte ein elektronisches Maschinenoptimierungsprogramm an, das Claas CEMOS heißt. CEMOS DIALOG ist ein Fahrassistenzsystem, das den Fahrer über das Terminal darin unterstützt, die optimale Einstellung des Mähdreschers zu finden. Der Fahrer fordert zum Beispiel die Verringerung von Verlusten, und das Programm liefert einen Einstellvorschlag, den der Fahrer dann annehmen oder ablehnen kann (CLAAS 2018a). Mit der CEMOS Advisor App kann dieser Assistent auf dem Handy genutzt werden (CLAAS 2018c). CEMOS AUTOMATIC beschreibt verschiedene Funktionen, mit der die Maschine automatisch optimal eingestellt wird. Ziel ist dabei, die volle Leistung der Maschinen auszunutzen und die Einstellungen für den Fahrer zu vereinfachen (CLAAS 2018c). Mit dem CRUISE PILOT wird beispielweise automatisch die optimale Erntege-schwindigkeit des Mähdreschers an die Erntebedingungen angepasst. AUTO CLEANING passt automatisch Ober- und Untersieb und die Gebläsedrehzahl an die Gegebenheiten an. AUTO FILL beim Häcksler nutzt Kamerabilder, um den Abfuhr-wagen optimal zu befüllen und dazu den Auswurfkrümmer optimal zu steuern (CLAAS 2018b).

Die Firma feiffer consult bietet die App „feiffer combine“ für Smartphones an, welche ebenfalls eine Hilfe zur optimalen Mähdreschereinstellung ist und für viele Mähdre-schertypen funktioniert. Außerdem wird die App „feiffer grain“ angeboten, welche zur vereinfachten Berechnung und Kontrolle von Körnerverlusten dient. Dazu werden mithilfe einer Prüfschale die Druschverluste aufgefangen, der Kornverlust an einer

Zählskala abgelesen und mit der App eingegeben. Die Gratis-App berechnet dann einen genauen Verlustwert (FEIFFER CONSULT 2018).

Neben dem Potential der Erntemaschinen und der Erfassung der Erntedaten ist die Transportlogistik wichtig, um die Leistungsfähigkeit der Ernteprozessketten zu gewährleisten. Durch ein gutes Datenmanagement können die Erntedaten aufgenommen und weitergegeben werden und es kann insgesamt effizient gearbeitet werden. Prozessrelevante Daten können an die Akteure der Erntekette wie den Überladewagenfahrer, aber auch an den Betriebsleiter geleitet werden, wodurch Entscheidungen direkter getroffen und geplant werden können (JANOTTE 2017).

Für das Daten- und Flottenmanagement gibt es verschiedene Telematics-Programme von verschiedenen Herstellern. Claas hat ein Telematics-Programm entwickelt, bei dem auf dem so genannten Dash-Board alle Maschinen aufgelistet sind. Durch eine GPS-Verknüpfung ist sichtbar, wo sich welche Maschine gerade befindet und ob alles zuverlässig abläuft. Es lassen sich einzelne Prozessparameter einsehen und dokumentieren. Dadurch kann eine Betriebszeitanalyse, Leistungs- und Einstellparameteranalyse sowie eine Ferndiagnose bei Problemen erfolgen. Als App kann dieses Online-Monitoring auch auf dem Handy genutzt werden (CLAAS 2018d).

### **2.9.2 Stand der Technik auf dem Beispielbetrieb**

Auf dem Betrieb in Merklingsen sind aktuell im Bereich der Erntetechnik nachfolgende Maschinen vorhanden:

Für den Mähdrusch gibt es einen New Holland CR 930-Mähdrescher mit einem 7,60 m Vari Feed Dualstream-Schneidwerk. Das bedeutet, dass der Fahrer während der Fahrt flexibel die Messereinstellungen des Schneidwerks von der Kabine aus einstellen und somit auf wechselnde Erntebedingungen reagieren kann. Der Mähdrescher verfügt über einen Sensor zur Ertragsmessung sowie einen aktiven Feuchtesensor. Des Weiteren wird im Bereich der Ernte der Versuchsflächen ein Haldrup C 85-Parzellenmähdrescher eingesetzt. Dieser verfügt über keine besonderen Sensoren. Im Bereich der Maisernte ist ein 8-reihiger Claas Jaguar 980-Maishäcksler

vorhanden. Für die Rübenernte steht ein 6-reihiger Grimme Rector-Rübenroder auf dem Betrieb zur Verfügung.

Auf dem Versuchsgut wird das Programm „My John Deere“ genutzt. Mit diesem Programm können Felddaten dokumentiert, verwaltet, dargestellt und analysiert werden. Mit der Schlaganalyse-Funktion können beispielweise agronomische Daten verglichen werden. Außerdem können Ertragskarten erstellt werden (JOHN DEERE 2018).

### **2.9.3 Entwicklungspfade zur Landwirtschaft 4.0**

Der Bereich Erntetechnik und -logistik hat Einfluss auf die Entwicklung zu einer Landwirtschaft 4.0, beginnend bei der Nutzung von GPS-Daten und ISOBUS.

Mithilfe von Sensoren (Ertrag, Feuchte etc.) können Prozessdaten automatisch erfasst werden und stehen zur Dokumentation zu Verfügung. Durch diese dokumentierten und GPS-verknüpften Daten können Ertragskarten erstellt werden, welche die Planungsgrundlage für eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung der Flächen ist.

### **2.9.4 Entwicklungsoptionen für den Beispielbetrieb**

In Anbetracht der Rahmenbedingungen des Betriebes können weitere Digitalisierungsoptionen umgesetzt werden.

Eine kurzfristige und einfache Möglichkeit, um die maximale Leistung des Mähdreschers auszunutzen, wäre die Nutzung einer App für eine optimale Einstellung der Maschine. Da auf dem Betrieb ein New Holland-Mähdrescher vorhanden ist, kann die Advisor App von Claas nicht verwendet werden. New Holland selbst bietet die kostenlose App „Harvest Excellence“ an, welche ebenfalls eine Hilfe für eine optimale Mähdrescher-Einstellung und Leistungsmaximierung ist. Zusätzlich könnte die feifer grain App erworben werden, um Kornverluste zu berechnen.

Langfristig betrachtet kann ein neuer Mähdrescher gekauft werden, welcher über die neuesten technischen Möglichkeiten und Sensoren verfügt. Dieser sollte Ertragsensoren und Qualitätssensoren wie Bruchkornerkennung sowie über eine automatische Durchsatzregelung und ein automatisches Lenksystem verfügen. Es könnte

beispielsweise ein Mähdrescher der Firma Claas mit dem CEMOS AUTOMATIC erworben werden oder aber auch ein neues Modell des bisherigen Mähdreschers der Firma New Holland.

Kurzfristig könnte die Ertragskartierung intensiviert werden. Die Ertragsdaten, die bereits erfasst und in My John Deere dokumentiert werden, können genutzt werden, um Ertragskarten der einzelnen Flächen zu erstellen. Das ist mit dem John Deere-Programm bereits möglich. Auf mittel- bis langfristige Sicht können die Ertragskarten über die Jahre verglichen und kontrolliert werden. Mit dieser Datengrundlage kann die Planung einer teilflächenspezifischen Bewirtschaftung der Flächen erfolgen.

Um das Flottenmanagement zu optimieren, könnte ein neues Datenmanagement-Programm mit Telematics eingesetzt werden. Dies bietet sich für den Bereich des Mähdruschs und Häckselns an.

### **2.9.5 Empfehlungen, Chancen und Risiken**

Die verschiedenen Optionen bieten zum einen Chancen, aber auch Risiken für den Betrieb.

Da der Fahrer des Mähdreschers einen erheblichen Einfluss auf die Druschleistung hat, wäre es eine Chance, durch eine optimale Einstellung des Mähdreschers hohe Leistungen zu gewährleisten. Dazu wäre der einfachste Schritt, eine App auf dem Handy zu benutzen. Diese sind in diesem Fall kostenlos und bieten eine gute Möglichkeit, die Druschleistung zu erhöhen. Die Investition in einen neuen Mähdrescher würde ein finanzielles Risiko mit sich bringen und wäre nur auf langfristige Sicht sinnvoll, sobald die jetzige Maschine ersetzt werden muss oder mehr Flächen gedroschen werden. Der Ansatz, die Druschleistung zu steigern und durch die Automatisierung den Fahrer zu entlasten, ist im Zuge der Digitalisierung einer der entscheidenden Elemente in der Erntetechnik. Allerdings sind diese neuen technischen Möglichkeiten nicht absolut notwendig. Ein guter Fahrer bringt auch mit den bisherigen Maschinen gute Leistungen. Für den Betrieb in Merklingsen ist ein Mähdrescher mit Ertragssensor und Feuchtemessung ausreichend, da dies die beiden wichtigsten Sensoren sind und für weitere Analysen genutzt werden können.

Eine große Chance bietet darauf aufbauend die Ertragskartierung. Es können Zonen entdeckt werden, die einen geringeren Ertrag aufweisen, und sie können über mehrere Jahre beobachtet und verglichen werden. Es werden zwar keine Ursachen ergründet, warum der Ertrag genau an diesen Stellen geringer ausfällt, aber mit den Karten ist die Basis für eine weitere Ursachenforschung gelegt. Durch die Betrachtung „von oben“ fallen möglicherweise Besonderheiten der Fläche noch deutlicher auf, die bei Analysen des Bodens eventuell nicht einbezogen werden. So kann beispielsweise auch eine einfache Erklärung wie Beschattung durch Bäume Grund für einen geringeren Ertrag sein, wenn der Rest der Fläche, der nicht beschattet wird, ertragreich ist (siehe Abbildung 19). Wenn eine Ursache gefunden ist, kann für die Zukunft besser geplant werden. Die durch die Kartierung sichtbar gewordenen verschiedenen Ertragszonen können dann durch eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung der Flächen berücksichtigt werden. Darüber hinaus stehen dem Betrieb in Merklingsen die Daten sowie das entsprechende Computerprogramm bereits zur Verfügung. Allerdings sollte die Zeit für die Erstellung der Karten und der Analyse in der Betriebsaufgabenplanung mit berücksichtigt werden.

Das Datenmanagement in Bezug auf Erntelogistik und Flottenmanagement bietet viele Vorteile. Durch Betriebszeitanalysen können Schwachstellen aufgedeckt und Prozesse optimiert werden. Während der Ernte können Mähdrescherfahrer und die Fahrer der Abfahrwagen sehen, wie weit der andere gerade ist und besser planen. Der Betriebsleiter hat einen Überblick über seine Maschinen und den Ernteablauf, ohne auf die Flächen fahren zu müssen. Dies spart viel Zeit ein, Fehlerdiagnosen können aus der Ferne gestellt werden, Ersatzteile frühzeitig bestellt oder Ersatzmaschinen organisiert werden. Allerdings ist ein Flottenmanagement für den Betrieb in Merklingsen nicht so relevant wie für einen größeren Betrieb oder einen Lohnunternehmen. Ein Nachteil ist, dass die Fahrer der Maschinen sich unter Umständen zu stark überwacht fühlen und nicht mit dem neuen System arbeiten wollen. Fraglich ist auch, ob durch das Flottenmanagement in der Praxis tatsächlich Zeit eingespart wird. Auf dem Betrieb stehen für Getreide nur ein Mähdrescher zur Verfügung und dementsprechend Abfahrwagen. So eine kleine Anzahl an Personen kann sich auch anders absprechen. Das Flottenmanagementsystem zeigt seine Vorteile vermutlich

erst bei einem größeren Einsatz von Maschinen und größeren Flächen, die in einem bestimmten Zeitfenster abgeerntet werden müssen.

Im Versuchsbereich des Betriebes werden keine technischen Neuheiten empfohlen, da dort bereits ein Parzellenmähdrescher vorhanden ist, der für diese Zwecke ausreicht und keine besonderen Sensoren benötigt. Wenn in einem Versuch bestimmte Ertragsparameter verglichen werden sollen, werden die Proben aus dem Versuch nach der Ernte daraufhin untersucht. Im Versuchswesen ist das Ziel auch nicht unbedingt auf die optimale Leistung der Maschinen und Druschleistung ausgerichtet, sondern auf die Ergebnisse des Versuchs. Schlagleistung und Flottenmanagement stehen also nicht im Fokus.

## **2.10 Planung und Dokumentation**

### **2.10.1 Aktueller Stand der Technik**

Wenn man auf einem landwirtschaftlichen Betrieb ackerbauliche Betriebsabläufe planen und dokumentieren möchte, greift man allgemein auf eine Ackerschlagkartei zurück. Digitalisierte Ackerschlagkarteien sollen den Dokumentationsaufwand von Düngung, Pflanzenschutz usw. verringern und gleichzeitig die Auswertung und Planung verschiedenster Maßnahmen vereinfachen. Voraussetzung hierfür sind ISOBUS-fähige Maschinen und möglichst viele schlagbezogene Daten. Grundlage von Planung und Dokumentation sind dabei meistens die Stammdaten der einzelnen Schläge. Mit den verschiedenen Programmen lassen sich z.B. Anbauverhältnisse, Dünge- und Saatgutbedarf ermitteln. Ferner ermöglichen die Anbieter dazu die Hinterlegung von z.B. Ertrags- und Bodenkarten. Aus den verschiedenen Daten kann der Anwender so beispielsweise teilflächenspezifische Düngungsaufträge erstellen. Durchgeführte ackerbauliche Maßnahmen können mit Buchungen einzelnen Schlägen zugeordnet werden. Die verschiedenen Anbieter unterscheiden sich dabei zum Teil durch verschiedene Datenformate (ISOXML, usw.). Ziel ist, alle betrieblichen Schnittstellen, wie PCs, Tablets, Smartphones und Schlepperterminals miteinander zu verbinden und einen Datenaustausch zu ermöglichen. Funktionserweiterungen sind in vielerlei Hinsicht möglich. Zeitersparnis bei der Dokumentation, Bündelung

verschiedener schlagbezogener Daten, zentrale Planung und verbesserte Auswertungsmöglichkeiten sind das Hauptbestreben der verschiedenen Anwendungen.

Zurzeit unterteilen sich die Anbieter im Wesentlichen in zwei Lager. Zum einen die, welche nur kostenpflichtige Vollversionen anbieten und die, bei denen die Grundversion kostenlos ist, aber mit Erweiterungs-Tools weitere Funktionen kostenpflichtig freigeschaltet werden können. Als Beispiel dienen im Folgenden als Vertreter der kostenpflichtigen Softwareanbieter Myfarm 24 von der Firma Helm Agrarsoftware und als kostenloser Anbieter 365 FarmNet, eine Claas-Tochter.

Bei dem kostenlosen Anbieter 365 FarmNet bietet die Grundversion vor allem eine kostenlose Ackerschlagkartei. In dieser können Stammdaten eingegeben werden und diese anschließend auch verwaltet werden. Zudem wird noch ein betriebsspezifisches Basiswetter ausgegeben. Neben der vollständigen Dokumentation werden auch noch Übersichten zum Hof und der Herde dargestellt, sowie mit einem interaktiven Jahreskalender auch Termine übersichtlich dargestellt. Besonders einfach ist die Handhabung, auch dank einer Smartphone-App, da somit die Software auch im Feld immer bei sich getragen und bedient werden kann und dies von so vielen Nutzern wie nötig. Auf Wunsch sind auch verschiedene kostenpflichtige Zusatzbausteine buchbar, die je genutzten Hektar abgerechnet werden, damit die Eintrittsschwelle auch für kleine Betriebe genommen werden kann. Hier gibt es neben Fruchtfolge- und Düngeplanungen auch Verbesserungen im Wetterbericht und Beratung zum idealen Spritztermin. Mit einer zusätzlichen Ausstattung mit Active-Boxen der Maschinen, kann die Software auch autonom erkennen, wer, wann, wo, wie lange etwas gemacht hat und diese Daten automatisch auf den Zentralrechner zur Verwaltung einpflegen (365 FARMNET 2018).

Anders als 365 FarmNet, das sich über Zusatzbausteine finanziert, welche je Hektar berechnet werden, ist das kostenpflichtige Myfarm 24 nur im Paket zu erwerben, dass für eine bestimmte Fläche verwendet werden kann. Besonders ist hier im Vergleich zu herkömmlichen Ackerschlagkarteien, dass auch eine teilflächenspezifische Dokumentation sowie eine ISOBUS-Schnittstelle vorhanden sind, um Bodenkarten mit Aussaat- und Düngeinformationen abzugleichen. Auch hier ist eine mobile An-

wendung vorhanden und eine Cross Compliance-konforme Dokumentation gegeben. Je nach gebuchtem Paket können unterschiedlich viele App-Lizenzen für die mobilen Anwendungen erworben werden. Des Weiteren verfügt Myfarm 24 über einen Pflanzenschutz-Assistenten sowie eine Technik, die Abstandsauflagen zu Gewässern automatisch überwacht und den Fahrer darauf aufmerksam macht, wenn diese nicht eingehalten werden. Zudem wird kontrolliert, ob das Mittel in der Kultur und zu dem Zeitpunkt zugelassen ist, um Cross Compliance-Kürzungen zu vermeiden (MYFARM 24 2018).

### 2.10.2 Stand der Technik auf dem Beispielbetrieb

Zurzeit wird die Dokumentation von Hand vorgenommen und zu einem späteren Zeitpunkt in EXCEL-Datenblätter übertragen. Die Vorlage eines solchen Datenblattes ist in Abbildung 21 aufgeführt.

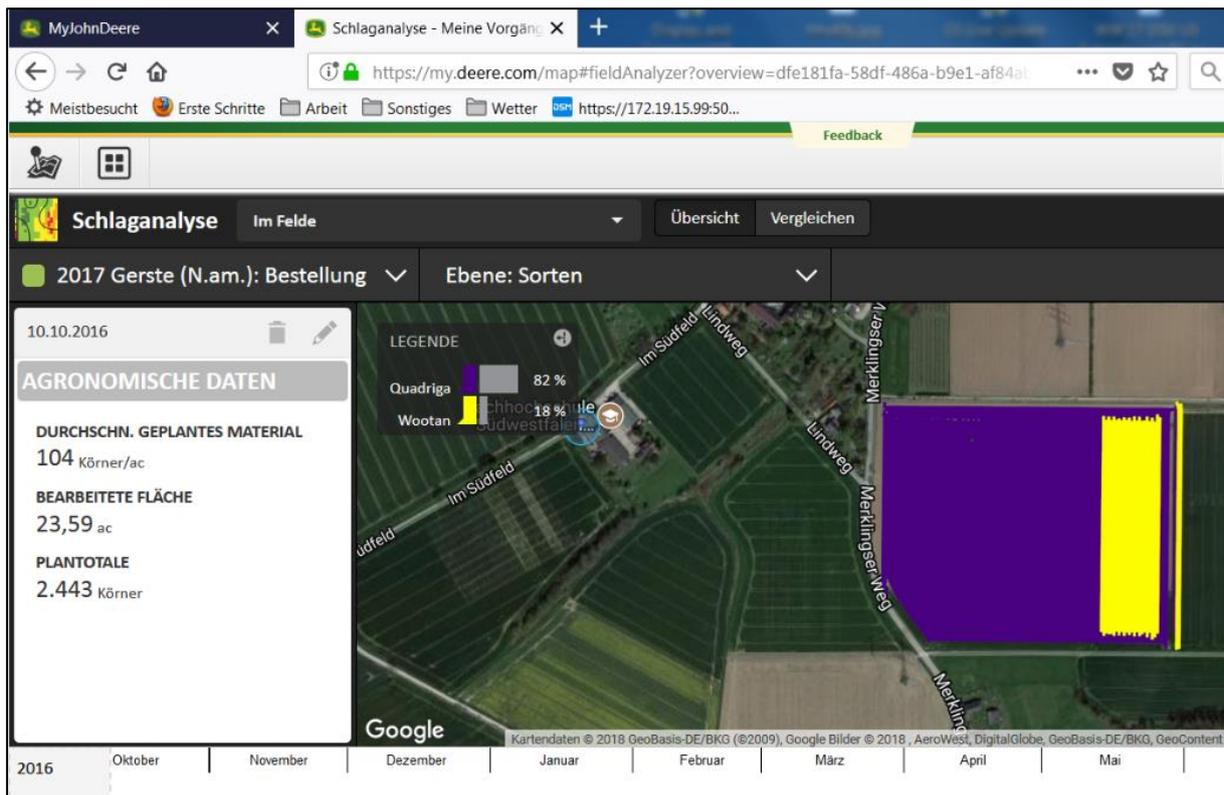
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
5	<b>Schlag</b>							<b>Jahr:</b>		<b>Fläche:</b>		
6	<b>Fruchtfolge</b>	<b>8-feldrig:</b>		<b>RA</b>	<b>WW</b>	<b>SM</b>	<b>WW</b>	<b>KM</b>	<b>ZR</b>	<b>HA</b>	<b>WG</b>	
7												
8	<b>Bodenanalyse</b>	<b>N-min. gesamt</b>			<b>0 bis 30</b>		<b>30 bis 60</b>		<b>60 bis 90</b>		<b>Datum</b>	
9	<b>Richtwert LWK</b>											
10		<b>pH - Wert</b>			<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>		<b>K<sub>2</sub>O</b>		<b>MgO</b>		<b>Datum</b>	
11												
12												
13	<b>Vorfrucht</b>	<b>Kulturart</b>			<b>Ertrag dt/ha</b>		<b>Blatt / Stroh</b>		<b>Häckselqual.</b>		<b>Ernte</b>	
14												
15												
16	<b>Bearbeitung</b>	<b>Gerät</b>				<b>Tiefe</b>	<b>km/h</b>	<b>Bodenzustand</b>			<b>Datum</b>	
17												
18												
19	<b>Aussaat</b>	<b>Sorte</b>				<b>kf. Kö. / m<sup>2</sup></b>		<b>FA</b>	<b>TKG</b>	<b>KF</b>	<b>kg/ha</b>	
20						<b>0</b>		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>		
21	<b>Anerk. Nr.</b>					<b>Beizung</b>						
22												
23	<b>EC-Stadien</b>	<b>11</b>	<b>31</b>	<b>32</b>	<b>33</b>	<b>37</b>	<b>49</b>	<b>51</b>	<b>61</b>	<b>65</b>	<b>69</b>	
24	<b>Datum</b>											
25												
26	<b>Bestand</b>	<b>Feldaufgang</b>			<b>Triebe</b>		<b>Ähren/m<sup>2</sup></b>		<b>Bewertung</b>	<b>Lager</b>		
27		<b>Pfl./m<sup>2</sup></b>	<b>%</b>	<b>VK</b>	<b>Anz.</b>	<b>VK</b>	<b>Anz.</b>	<b>VK</b>				
28												
29												
30	<b>N - Kalkulation:</b>	<b>Bodenart</b>		<b>Vorfrucht<sup>1</sup></b>		<b>Sonstiges</b>		<b>Langj. Organik</b>		<b>Nmin</b>		
31	<b>Zu-/Abschläge:</b>	<b>20</b>		<b>-20</b>		<b>0</b>		<b>-35</b>		<b>0</b>		
32	<b>N - Bedarfswert</b>	<i>Basis = 150 kg/ha bei 60 dt</i>				<b>Ertragsziel:</b>		<b>70 dt/ha</b>		<b>Zuschl.:</b>	<b>10 N</b>	
33	<b>Sollwert:</b>	<b>160</b>		<b>Korrektur:</b>		<b>-35</b>		<b>Ergänzung:</b>		<b>125</b>		
34	<sup>1</sup> <b>Vorfrucht:</b>	<i>WW, WG, Mais: +20</i>				<i>Raps, Leguminosen: -20</i>						

Quelle: HÜNNIES 2018

Abbildung 21: Auszug aus der Vorlage eines EXCEL-Datenblattes zur Dokumentation schlagbezogener Daten auf dem Beispielbetrieb

Alle schlagbezogenen abgeschlossenen Maßnahmen werden so der Ackerschlagkartei zugeführt. Diese sogenannte „Zettelwirtschaft“ erfreut sich keiner besonderen Beliebtheit und birgt das Risiko des Datenverlustes. Darüber hinaus sind die Auswertungsmöglichkeiten begrenzt, da Verknüpfungen der einzelnen Schläge aufwändig sind und keine visualisierten Darstellungen, wie Karten, erzeugt werden können. Zum Teil vorhandene Ertragskarten sind somit nicht mit der Ackerschlagkartei verknüpft.

Abgesehen von nur bedingt eingesetzten Software-Lösungen ist die Hardware-Infrastruktur des Betriebes bereits sehr gut. Alle Traktoren des Betriebes, die Feldspritze, der Düngerstreuer und auch die Sämaschine sind ISOBUS-fähig. Noch dazu verfügt der eingesetzte Mähdrescher New Holland CR 930 über eine Ertragsmess-einrichtung. Die Voraussetzungen für eine digitale Datenaufnahme und den daraus resultierenden Datenaustausch sind gegeben. Die John Deere-Traktoren verfügen über John Deere-Lenksysteme. Durch den ausschließlichen Einsatz von John Deere-Traktoren bietet sich für die Dokumentation die Online-Plattform MyJohnDeere gerade zu an. Anhand Telematics-Daten, die der Traktor kontinuierlich an den Hersteller sendet, kann der Anwender mit seinen persönlichen Zugangsdaten auf den Herstellerserver zugreifen und diese Daten für seine Dokumentation nutzen (vgl. Abbildung 22). Bisher wurde dieses System allerdings aus mehreren Gründen nicht in den Betriebsablauf integriert, sondern nur ausgetestet. Als nachteilig stellten sich vor allem der fehlende Datenschutz und die schlechte herstellerübergreifende Integration von Anbaugeräten heraus.



Quelle: HÜNNIES 2018

Abbildung 22: Datenanalyse eines Schlages vom Beispielbetrieb mittels MyJohnDeere

Aus der Analyse der vorhandenen technischen Ausstattung folgt, dass der Planungs- und Dokumentationsaufwand derzeit sehr hoch und aufwändig ist, jedoch die nötige Hardware hin zu digitaler Vernetzung von Arbeitsgeräten und Ackerschlagkartei bereits größtenteils vorhanden ist. Zielvorgabe der weiteren Entwicklung bis hin zur Landwirtschaft 4.0 wäre deshalb die Integration eines geeigneten Farmmanagementsystems.

### 2.10.3 Entwicklungspfade zur Landwirtschaft 4.0

Zunächst sollte jeder landwirtschaftliche Betrieb eine Bestandsaufnahme hinsichtlich seiner derzeitigen technischen Ausstattung durchführen. Je mehr bereits vorhanden, desto später muss ein solcher Betrieb in die folgenden Entwicklungsstufen „einstiegen“.

Sofern man mit der Digitalisierung betriebseigener Daten noch ganz am Anfang steht, kann der erste Schritt die Übertragung von Hand dokumentierter, schlagbezogener Daten in eine digitale Ackerschlagkartei (z.B. EXCEL-Datenblatt) sein. Dem

Sammeln von schlagspezifischen Daten kommt in der Entwicklung eines landwirtschaftlichen Betriebes hin zur Landwirtschaft 4.0 eine bedeutende Rolle zu. Teilflächenspezifische Applikation von z.B. Dünger- und Pflanzenschutzmitteln beginnt erst auf Grundlage von teilflächenspezifischen Daten. Im Einzelnen sind hierbei die Ertragskartierung und die möglichst engmaschige Bodenprobennahme herauszustellen. Auch einfache Luftbilder können Aufschluss über unterschiedliche Bodenverhältnisse und Ertragspotentiale liefern. Vor diesem Hintergrund ist es zu empfehlen, möglichst früh in der Entwicklungsphase mit der Validierung von Daten zu beginnen. Ein erster Schritt kann also die Beauftragung eines Lohnunternehmers oder die Ausstattung des betriebseigenen Mähdreschers mit einer Ertragsmesseinrichtung und -kartierung sein. Des Weiteren lassen sich anhand von Bodenproben und Luftbildern Bodenkarten erstellen. Um diese georeferenzierten Daten auch nutzen und ermitteln zu können, sind Systeme zur Positionsdatenerfassung unabdingbar. Der gesamte Fuhrpark sollte demnach nach und nach mit GPS- und Lenksystemen ausgestattet werden. Anzustreben sind hierbei RTK-Empfänger, die im Genauigkeitsbereich von wenigen Zentimetern arbeiten, obwohl sie höhere Kosten verursachen als einfachere, ungenauere Systeme. Diese Systeme können auch nachgerüstet werden. Sind die Arbeits- bzw. Zugmaschinen mit GNSS-Systemen ausgestattet, ist die nächste Entwicklungsstufe die Aus-/Nachrüstung aller wichtigen Maschinen mit ISOBUS. Dieser Datenbus ermöglicht erst eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung, da hiermit z.B. die Positionsdaten des Traktors mit der Applikationsmenge des angehängten Düngerstreuers (nach Applikationskarte) verknüpft werden können. Letztmöglichster Entwicklungsschritt einer teilflächenspezifischen Bewirtschaftung ist Controlled Traffic Farming, bei dem die Arbeits- und Spurbreiten aller betriebseigenen Maschinen aufeinander abgestimmt werden. Die Fahrgassen werden vorher festgelegt und bei allen Arbeitsgängen eingehalten, um nur einen möglichst geringen Teil der Fläche zu befahren. Zweifelsfrei ist dieses kostenintensive Verfahren eher für größer strukturierte Betriebe geeignet.

Ist die Hardware eines landwirtschaftlichen Betriebes, d.h. der Maschinenpark, möglichst gut ausgestattet, ist die Integration eines geeigneten Farmmanagementsystems der letzte Entwicklungsschritt hin zur Landwirtschaft 4.0, da er die vorherigen voraussetzt. Ziele sind hierbei ein geringerer Dokumentationsaufwand und ein höhe-

rer Komfort hinsichtlich der Datenauswertung und der Planung von Betriebsabläufen. Im Optimalfall erstellt z.B. der Betriebsleiter anhand verschiedener georeferenzierter Daten Aufträge, die einem Mitarbeiter bzw. dessen Schlepperterminal per USB-Port, Mobilfunk oder mobiles Internet übermittelt werden. Dieser führt die geforderten Arbeiten durch. Kann auf die Telematics-Funktion des Schleppers zugegriffen werden, kann der Betriebsleiter den Arbeitsfortschritt nahezu in Echtzeit verfolgen. Ist der Auftrag erfüllt, werden beispielsweise die Daten zu ausgebrachten Dünge- oder Pflanzenschutzmitteln der Ackerschlagkartei zugeführt. Der Betriebsleiter nimmt nur noch eine Überprüfung vor, muss die Daten jedoch nicht mehr mühsam selbst in die Ackerschlagkartei einpflegen. Das Farmmanagementsystem bündelt also die betriebsinternen Daten und stellt sie zur Auswertung zur Verfügung. Wie in Kapitel 2.10.1 erwähnt, unterscheiden sich die Systeme und deren Möglichkeiten zum Teil deutlich voneinander. Welches System für welchen Betrieb am besten geeignet ist und inwieweit die Dateninfrastruktur ausgebaut werden muss, sollte betriebsindividuell entschieden werden.

#### **2.10.4 Entwicklungsoptionen für den Beispielbetrieb**

Unser Beispielbetrieb ist bereits sehr gut ausgestattet, d.h. weit in der Entwicklungsphase hin zur Landwirtschaft 4.0 vorangeschritten. Bei Betrachtung des zuvor skizzierten Entwicklungspfad es fällt auf, dass eine Form der betrieblichen Weiterentwicklung mittel- und langfristig der Ausbau der Datenerhebung sein könnte. Konkret könnte anhand von Luftbildern entschieden werden, wo Bodenunterschiede zu erwarten sind und in welchem Ausmaß eine kleinstrukturierte bzw. engmaschige Bodenbeprobung zu erfolgen hätte. Einzelne Proben können anschließend beispielsweise mit dem Programm ArcGIS zu ganzflächigen Bodenkarten räumlich interpoliert werden. Besonders anhand von Ertrags- und Bodenkarten lassen sich nämlich Handlungsempfehlungen für die teilflächenspezifische Bewirtschaftung ableiten.

Um Dokumentation und beschriebene Planungsanforderungen zu bündeln, muss auf unserer „Smart Farm Merklingen“, wie im Entwicklungspfad beschrieben, die Integration eines Farmmanagementsystems erfolgen. Aufgrund der Versuchsgutcharakteristik sollte man kurzfristig verschiedene Farmmanagementsysteme miteinander vergleichen, um sich nach einer Analyse langfristig an einen Anbieter zu binden. Für

die studentische Lehre bietet sich ein System an, dass eine leichte Adaption auf andere, ähnlich strukturierte Betriebe zulässt. Sieht man von der Versuchsfläche ab, so rechnen sich kostenpflichtige Programme für die rund 100 Hektar Bewirtschaftungsfläche eher nicht. Für Betriebsleiter, die trotzdem den Schritt in die automatisierte Dokumentation nicht verpassen wollen, bietet sich die kostenlose Variante von zum Beispiel 365 FarmNet an. Diese Option birgt vergleichsweise geringe finanzielle Risiken bei einem recht hohen Nutzwert.

### **2.10.5 Empfehlungen, Chancen, Risiken**

Als Empfehlung für das Versuchsgut Merklingsen kann es sinnvoll sein, beide Systeme (Myfarm 24, 365 FarmNet) und eventuell noch weitere auf ihre Eignung langfristig zu testen. Das vorhandene System „MyJohnDeere“ von John Deere scheint nicht geeignet. Besonders die Anforderungen, die die Versuche stellen, können möglicherweise nicht ausreichend mit abgedeckt werden, oder nur mit einem höheren Aufwand. Inwieweit dies der Fall ist, könnte auf der Grundlage eines Vergleichs in Form studentischer Arbeiten ausgiebig diskutiert werden.

Die Empfehlung für den betrachteten 100 ha-Beispielbetrieb lautet daher, die Dokumentation in ein Farmmanagementsystem einzupflegen, um sich der Landwirtschaft 4.0 anzunähern. Aufgrund der Struktur kommen zum Beispiel die durch die Verfasser getestete Software 365 FarmNet in Frage. Hier sind alle nötigen Komponenten zur übersichtlichen Dokumentation vorhanden, allerdings zeigt das Programm seine Grenzen bei Planungsfragen schnell auf. Mit Blick auf eine vollautomatisierte Dokumentation, wie in Kapitel 2.9.1, kann dies auf Wunsch kostenpflichtig mit Active-Boxen erreicht werden.

Um das Projekt „Smart Farm Merklingsen“ in Gänze zu realisieren, lautet die Empfehlung daher, z.B. das Programm Myfarm 24 von Helm Agrarsoftware zu nutzen. Die vielfältigeren Optionen in der Planung und der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung ermöglichen erst „smart farming“ im eigentlichen Sinn (DETER 2015).

Beispielhaft dafür kann mit dieser Software ein Düngeauftrag mit teilflächenspezifischer Applikationskarte erstellt und genutzt werden. Des Weiteren sind die Auswer-

tungsmöglichkeiten in Bezug auf geeignete Anbauverhältnisse, Deckungsbeiträge etc. größer und komfortabler in der Bedienung.

Als Chancen der digitalisierten Dokumentationsverfahren sind Zeiteinsparungen und verbesserte Möglichkeiten zur Auswertung zu benennen. Die Büroarbeit des Betriebsleiters verändert sich zugunsten einer ausführlichen Analyse und daraus resultierenden, verbesserten Planungsergebnissen. Langfristig ist es möglich, dass die vorgestellten Farmmanagementsysteme in andere Bereiche integriert werden, wie die Antragstellung auf Betriebsprämie oder die automatisierte Rechnungsstellung bei Lohnarbeiten. Im Einzelnen kann dies bedeuten, dass die so vorhandenen Daten einfach übernommen werden und in andere Programme eingepflegt werden können. Bei allen genannten digitalisierten Dokumentationsformen ist es als kritisch anzusehen, dass die Datenhoheit, wie in allen anderen digitalisierten Sektoren, dem Landwirt allein nicht vollständig zugesichert werden kann.

Neben Problemen, die mit der Datensicherheit einhergehen, sind eventuell besondere Schwierigkeiten bei der Umstellung von etablierten Systemen seitens von Mitarbeitern zu erwarten. Um die Akzeptanz und die fehlerfreie Handhabung von Farmmanagementsysteme zu erhöhen, bedarf es Schulungsmaßnahmen.

## **2.11 Digitale Beratung**

Die Digitalisierung bietet auch im Bereich der Beratung erhebliche Potentiale, die sinnvoll durch die Praxis genutzt werden können. Viele Firmen verbinden dabei ihren Produktvertrieb mit einer Beratungsfunktion, welche mittels digitaler Technik betriebsspezifisch erfolgen kann. Besonders im Bereich Pflanzenschutz und Düngung ist dies bereits etabliert.

### **2.11.1 Aktueller Stand der Technik**

Mit dem Prognosesystem ProPlant expert bietet die proPlant Agrar- und Umweltinformatik GmbH ein Pflanzenschutz-Beratungssystem für den Ackerbau an. Unterstützt werden dabei Kulturen wie Weizen, Gerste, Raps, Kartoffeln und Zuckerrüben. Als ProPlant expert classic wird dabei die Desktop-Version für Berater und Betriebs-

leiter, die für ihre Pflanzenschutzentscheidung umfassende Informationen wünschen, bezeichnet. Die Onlineversion ProPlant expert.com ist hingegen für Anwender bestimmt, die schnell und unkompliziert an Informationen für den Pflanzenschutz gelangen möchten. Der grundsätzliche Funktionsumfang besteht darin, Infektionsabläufe von Pilzkrankheiten sowie die Befallsentwicklung von Schädlingen und die Lagergefahr von Feldkulturen anhand von Wetterdaten zu bestimmen. Dabei wird die nächstgelegene Wetterstation des Anwenderstandorts genutzt. Anschließend wird eine Anwendungsempfehlung für Pflanzenschutzmittel ausgesprochen. Der Service ist mit monatlichen Kosten für die Nutzung verbunden (PROPLANT 2018).

Die Bayer CropScience Deutschland GmbH bietet mit ihrem Informationssystem BayDir einen umfangreichen Komplettservice für landwirtschaftliche Betriebe und Berater. Dabei stellt das Unternehmen per App oder im Onlineportal aktuelle Nachrichten rund um Landwirtschaft und Pflanzenschutz zur Verfügung, und es werden regionale Kulturberatungen sowie dementsprechende Einsatzempfehlungen ausgesprochen. Zudem bietet der BayDir-Service Wetterprognosen und Unwetterwarnungen an. Unternehmensbezogene Fachbeiträge und Fachvorträge werden darin ebenfalls angezeigt (BAYER CROPSCIENCE DEUTSCHLAND 2018). Des Weiteren bietet die Bayer CropScience Deutschland GmbH zahlreiche Apps, die den Landwirt in unterschiedlichen Bereichen des Pflanzenbaus unterstützen können. Hierbei werden vor allem fünf Apps angeboten, die den Landwirt bei der Bestimmung von Krankheiten, Ungräsern, Schädlingen, Unkräutern und Entwicklungsstadien der Kulturpflanzen unterstützen. Vorteile ergeben sich zum einen vor allem aus der schnellen Anwendung über das Smartphone, zum anderen aus der kostenlosen Verfügbarkeit dieser Apps (BAYER CROPSCIENCE DEUTSCHLAND GmbH 2018).

Die Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen bietet ein Basis-Beratungsangebot an, bei dem der Landwirt allgemeine Informationen zum Thema Ackerbau erhalten kann. Speziellere Auskünfte zum Pflanzenschutz, zur Düngung und zur Sortenwahl werden gegen Gebühren erteilt. Der Landwirt kann dabei per E-Mail oder per Fax informiert werden. Außerdem besteht die Möglichkeit einer Telefonberatung mit einem Fachberater. In dem Gespräch hat der Landwirt die Möglichkeit, betriebsspezifische Fragen zum Thema Ackerbau zu klären (LWK 2018). Weiterhin bietet die Land-

wirtschaftskammer einen regionsbezogenen Informationsdienst mit aktuellen Informationen über Sortenwahl, Düngung und zum Pflanzenschutz, welcher wöchentlich per E-Mail zugesandt wird. Die Kosten für diesen Dienst belaufen sich auf 85 € - 170 € zzgl. MwSt. pro Jahr (LWK 2018).

Das private Beratungsunternehmen N.U. Agrar GmbH bietet mit dem Onlineportal apba.de eine unabhängige Pflanzenbauberatung an. „Apba“ steht dabei für „Acker- & Pflanzenbauberatung Aktuell“. Es dient der vereinfachten Kommunikation zwischen den Beratern der N.U. Agrar und ihren Klienten in der Landwirtschaft. Dabei können sich Landwirte mit einer Problemstellung direkt an die Berater wenden. So ist das Verschicken von Fotos, z.B. mit einem Pilzbefall an Getreidepflanzen, direkt möglich, worauf eine Empfehlung zum Pflanzenschutz Einsatz folgt. Hinzukommend enthält das Programm ein Fachwörterlexikon, um Begriffe und komplexe Zusammenhänge zu erläutern. Eine Zusammenstellung von Schadbildern und Pflanzenfotos dient dem Landwirt zum Vergleich von Mangelsymptomen und Krankheiten zur eindeutigen Bestimmung der gegenwärtigen Schadbilder. Die Kosten für dieses Beratungsangebot belaufen sich auf 250 € pro Jahr (APBA 2018).

### **2.11.2 Stand der Technik auf dem Beispielbetrieb**

In Merklingsen werden ausschließlich kostenfreie Dienstleistungen genutzt. Darunter fallen vor allem die zuvor genannten Apps der Bayer CropScience Deutschland GmbH. Außerdem werden Informationen der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen verwendet. Eine digital basierte ackerbauliche Beratung wird aktuell nicht in Merklingsen in Anspruch genommen.

### **2.11.3 Entwicklungspfade zur Landwirtschaft 4.0**

Die klassische Ackerbauberatung erfolgt traditionell häufig per persönlichem Gespräch vor Ort oder aus allgemeinen Informationen aus der Fachliteratur. Im Zuge der Technisierung wurden aktuelle Empfehlungen per Fax übermittelt. Dies ist auch heute, trotz der in die Jahre gekommenen Technik, noch häufig der Fall. Durch die Smartphone-Revolution in den 2010er Jahren konnten Informationen und Beratungsangebote schneller und vor allem umfangreicher angeboten werden. Apps er-

möglichen des Weiteren Informationen und Beratungsangebote situationsbezogen abzurufen. Allerdings stellt der Anwender zurzeit die wichtigste Schnittstelle im System dar. Ohne die Zulieferung von Informationen an den digitalen Beratungsdienst (z.B. zu Art und Ausmaß des Befalls, der Sortenwahl und der Düngeintensität) funktionieren diese Systeme nur eingeschränkt. Daher wären die automatische Übermittlung von Informationen aus der digitalen Ackerschlagkartei an den Beratungsdienst sowie der Einbezug von standortabhängigen Wetterdaten die nächsten logischen Schritte zur "Beratung 4.0". Für die "Beratung 5.0" wäre eine völlig automatisierte Beratung, evtl. sogar eine darauf basierende vollkommen automatisierte ackerbauliche Betriebsführung die Vision. So könnten z.B. mit den Beratungsfirmen Verträge geschlossen werden, die z.B. einen Mindestertrag oder ähnliche Referenzwerte festlegen, welche die Beratungsfirmen erreichen müssen. Anschließend sind die Beratungsfirmen, die dann gleichzeitig Systemanbieter wären, für alle ackerbaulichen Maßnahmen voll verantwortlich und haftbar. Arbeitsanweisungen würden direkt an Feldroboter weitergeleitet, die sowohl Daten aus dem Feld sammeln und weiterleiten, als auch Arbeitsaufträge ausführen. Diese Aufträge können von der Bestellung über den Düngermiteinsatz und den Pflanzenschutz bis hin zur Ernte und Vermarktung reichen. Gerade bei Großbetrieben, welche mehrere Tausend Hektar bewirtschaften, wäre ein derartiges Management, auch unter dem Aspekt der Risikominimierung, denkbar.

#### **2.11.4 Entwicklungsoptionen für den Beispielbetrieb**

Der Beispielbetrieb ist aktuell aufgrund der hohen Expertise und Standorterfahrung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, der kostenfreien Nutzung der Beratungsinformationssysteme der chemischen Industrie sowie der Informationen der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen recht gut aufgestellt. Ein nächster Schritt zur Digitalisierung wäre der Einsatz von Befallsprognoseprogrammen auf Basis von Wetter- und Klimadaten, wie beispielweise das Prognosetool ProPlant. Des Weiteren könnte eine Beratung in Betracht gezogen werden, bei der die Probleme des Betriebes durch die Nutzung eines Smartphones im direkten Kontakt mit dem Berater auf Basis des Versendens von Fotos mit Schadbildern geklärt werden können. Hierbei könnte der Beispielbetrieb Merklingsen auf die Beratungsdienste von beispielsweise apda.de zurückgreifen. Weitere Entwicklungsoptionen werden derzeit nicht gesehen,

da alle weiteren Beratungsdienste für den Pflanzenbau schätzungsweise keinen Mehrgewinn mit dem Ziel der Digitalisierung generieren.

### **2.11.5 Empfehlungen, Chancen und Risiken**

Es bleibt fraglich, in wie fern das Sammeln und Verarbeiten von digitalen Daten die Betriebe zu gläsernen - und damit abhängigen und manipulierbaren - Kunden der Zulieferer und Abnehmer macht. Auch die automatisierte Weitergabe von Daten an Förder- und Kontrollstellen mag bei der Erfüllung von Dokumentations- und Nachweispflichten entlasten, birgt aber das klare Risiko, dass Regelverstöße - auch minimale und unbeabsichtigte - unmittelbar offengelegt werden.

Der (Weiter-)Verkauf von Daten könnte zu einer Übertragung von sensiblen Betriebsinformationen an Dritte führen, welche vorhandene Schwachstellen gezielt ausnutzen, und sei es nur, um "maßgeschneiderte Angebote" zu machen, wie das auch jetzt schon bei firmengebundenen Beratungsangeboten möglich ist. Es ist denkbar, dass Betriebsmittelausgaben ansteigen, wenn sich die Kunden aus Bequemlichkeit oder wegen fehlender Markttransparenz nur noch auf die dort gemachten Produktempfehlungen verlassen. Manche Markennamen von Beratungsportalen führen dazu, dass die Zugehörigkeit zu einem Unternehmen, z.B. der chemischen Industrie, nicht direkt ersichtlich ist. Dies könnte (muss jedoch nicht), wie traditionell als Problem der firmengebundenen Beratung bekannt, zu einer einseitigen Beratung führen. Besonders das direkte Anbieten von Produkten in Prognose-Apps könnte zu unbeachteten Kauf- und Anwendungsentscheidungen verleiten. Allerdings bringt die Digitalisierung den entscheidenden Vorteil der schnelleren Wissensvermittlung zu reduzierten Kosten. Das Übermitteln von Fotos mit Schadbildern an zuständige Ackerbauberater kann dabei in vielen - jedoch nicht allen - Fällen die persönliche Vor-Ort-Begutachtung von Schadbefällen ersetzen, sodass derartige Fragestellungen schneller und preiswerter geklärt werden können. Die Diagnose per Foto hat jedoch dann ihre Grenzen, wenn es sich um nicht eindeutige und sehr komplexe Pflanzenschäden handelt, für die auch mehrere, untereinander in Wechselwirkung stehende Faktoren verantwortlich sein können.

Die Digitalisierung bietet weiterhin die Chance der Automatisierung von Prozessen, sodass neben der Betrachtung von vorhandenen Schäden an Kulturpflanzen vor allem die Witterung mit einbezogen werden kann, um Prognosen über weitere Infektionsverläufe zu generieren. So ist eine weitere Nutzung von digitalen Beratungssystemen zu empfehlen, wobei eine genaue Prüfung des Datenschutzes sowie der Unabhängigkeit des Beratungssystems zu beachten ist. Beratungsangebote der chemischen Industrie sollten mit einer gewissen Distanz genutzt werden. Vor allem das Nutzen von Befallsprognoseprogrammen auf Basis von Wetter- und Klimadaten könnte die Beratungslage für den Betrieb Merklingsen verbessern.

## **2.12 Roboter im Ackerbau**

Die Mechanisierung der Landwirtschaft ist seit ihrer Einführung immer weiter fortgeschritten und ist heutzutage wichtiger denn je. Die Anforderungen an landwirtschaftliche Betriebe wachsen ständig. Steigende Kosten und ein sich veränderndes Klima zwingen Landwirte, ihre Produktion stetig zu optimieren. Ein wachsendes Problem stellen die immer höheren Einsatzgewichte der immer schlagkräftigeren Landmaschinen dar. Aufgrund von immer höheren ausgeübten Drücken auf den Boden nehmen Bodenverdichtungen zu und demzufolge sinken die Erträge. Um Verdichtungen zu beseitigen, ist ein deutlich erhöhter Bearbeitungsaufwand mit wachsendem Kraftstoffverbrauch erforderlich. Zudem gibt es in der Landwirtschaft viele unbeliebte Arbeiten aufgrund von hohen körperlichen Belastungen oder toxischen Einflüssen. Hinzu kommt, dass viele Tätigkeiten ein sehr geringes Sozialprestige haben. Viele Arbeiten sind mit unangenehmen Arbeitsbedingungen wie Nässe, Kälte und Hitze verbunden. Dies gilt besonders für Gemüseanbaubetriebe, die zunehmend das Problem haben, fachkundige Arbeitskräfte und Erntehelfer zu finden. Zudem ist der Kostendruck in dieser Produktionsrichtung sehr hoch. Vielen Arbeitnehmern in diesem Bereich ist der Stundenlohn derzeit oft zu gering. Die Folge ist Arbeitskräftebeschaffung aus Niedriglohn-Ländern.

Im Hinblick auf das Konzept Smart Farming und vor dem Hintergrund der steigenden Arbeitskosten werden derzeit eine Vielzahl von Robotern für acker- und gemüsebauliche Tätigkeitsfelder entwickelt. Nachfolgend werden zwei Konzeptionen vorgestellt,

die eine Basis für die nächste technische Revolution im Pflanzenbau darstellen könnten.

## **2.12.1 Aktueller Stand der Technik**

### **2.12.1.1 Hackroboter OZ**

Naïo Technologies ist ein französischer Hersteller von Robotern für landwirtschaftliche Anwendungen. Der erste Prototyp wurde im Jahr 2012 getestet (NAÏO TECHNOLOGIES 2017a). Der OZ ist der erste serienfähige Roboter von Naïo Technologies (NAÏO TECHNOLOGIES 2017b). Es ist ein einreihig arbeitender Hackroboter. Daher ist er vorwiegend für den Einsatz auf kleinen Flächen und in Gewächshäusern gedacht. Er ist 100 cm lang, 60 cm hoch und 40 cm breit. Sein Leergewicht beträgt 110 kg, während er mit Werkzeugen und Zusatzgewichten bis zu 150 kg wiegen kann. Seine Bodenfreiheit ist mit sieben Zentimetern relativ gering (NAÏO TECHNOLOGIES 2017c). Daher muss die Bodenoberfläche, auf der er arbeiten soll, möglichst plan sein. Der OZ wird von vier elektrischen Antrieben mit jeweils 110 Watt angetrieben. Damit liegt die Höchstgeschwindigkeit bei 1,3 km/h. Mit dieser Geschwindigkeit bearbeitet der OZ innerhalb von vier Stunden 48 Reihen mit einer Länge von jeweils 100 m. Mit einer Lithium-Batterie liegt die mögliche Einsatzzeit ohne Aufladestop bei zehn Stunden (NAÏO TECHNOLOGIES 2017c). Zum Manövrieren nutzt er, ähnlich wie Vollraupen-Traktoren, das Prinzip des einseitigen Antriebes. Die Reifen auf der einen Fahrzeugseite werden stärker angetrieben als die auf der gegenüberliegenden Seite. Der OZ navigiert durch die Reihen, wobei am Ende jeder Reihe Signalstäbe im Boden stecken. Diese dienen als Fahrbahnmarkierung (vgl. Abbildung 23).



Quelle: verändert nach NAÏO TECHNOLOGIES 2017d

**Abbildung 23: Naïo Technologies-Roboter OZ mit Fahrbahnmarkierungen (gelbe Pfeile)**

Der OZ erkennt somit den Raum, in dem er sich bewegen soll. Am Vorgewende fährt er selbständig in die neue Spur. Das System arbeitet komplett autonom. Der einzige Eingriff des Menschen ist das Anschalten des Roboters und die Starteinstellung zu Arbeitsbeginn. Nach Beendigung der Arbeit bekommt der Nutzer eine Nachricht auf sein Smartphone. Somit weiß der Anwender immer, wann OZ seine Arbeit erledigt hat. Für den OZ gibt es mehrere unterschiedliche Werkzeuge. Dazu zählen Pflugschar- und Federzinken sowie unterschiedliche seitlich angebrachte Bürsten, die Erddämme reinigen und erneut aufhäufen können (NAÏO TECHNOLOGIES 2017e). Somit kann die Bearbeitungsintensität an die vorherrschenden Bedingungen angepasst werden.

#### **2.12.1.2 Multifunktionale Roboterplattform „BoniRob“**

Der BoniRob ist ein Gemeinschaftsprojekt von Bosch, der Hochschule Osnabrück und dem Landmaschinenhersteller Amazone (NEUE ZÜRCHER ZEITUNG 2015). Es ist eine vierrädrige, universell einsetzbare Roboterplattform für landwirtschaftliche Anwendungen (vgl. Abbildung 24). Sie dient simultan als Träger und Versorgungssystem für verschiedene Applikationstechniken (AMAZONE 2015 S.1).



Quelle: AMAZONE 2015 S.1

**Abbildung 24: BoniRob Roboterplattform**

Für die präzise Steuerung des BoniRob ist ein RTK-GPS-Signal notwendig. Die Räder sind dabei einzeln lenkbar, wodurch sich unterschiedliche Lenkstrategien sowie eine enorme Wendigkeit ergeben (BOSCH 2015). Das System ist vergleichbar mit der konventionellen Verbindung zwischen Traktor und Anbaugerät. Die bisher für den BoniRob konzipierten Applikationstechniken können über mechanische und elektrische Schnittstellen integriert werden. Diese Schnittstellen sind klar definiert und sollen die Entwicklung von neuen Applikationstechniken für das System vereinfachen. Derzeit sind vier Applikationstechniken verfügbar (AMAZONE 2015 S.1).

Die Phenotyping-App dient der Interpretation von morphologischen Pflanzeigenschaften. Diese Applikationstechnik ergibt sich aus einer Digitalkamera, einem hochauflösenden, bildgebenden Lichtgitter und einem Triangulationssensor. Die Pflanzen werden mithilfe des Lichtgitters für den Anwender als Schattenbild dargestellt (AMAZONE 2015 S.2).

Die Penetrometer-App wandelt den BoniRob mithilfe eines mechanischen Aktuators in ein Bodenanalyse-System um. Das Penetrometer kann bis zu einer Tiefe von 80 Zentimetern Bodeneigenschaften messen. Der Aktuator durchbohrt dazu den Boden bis zu dieser Tiefe. Darüber hinaus birgt die Applikation einen Temperatur- und Feuchtigkeitssensor. Elektrische Antriebe erfassen und speichern dabei die Daten aus den einzelnen Messpunkten. Mithilfe von GPS wird die aktuelle Position der Messpunkte gespeichert. Der Vorteil im Vergleich zu der manuellen Anwendung eines Penetrometers sowie der manuellen Erfassung von Temperaturfeuchtigkeit mithilfe eines Sensors ist, dass das System BoniRob wiederholbare Ergebnisse ermöglicht und eine größere Anzahl an Messungen durchgeführt werden kann (AMAZONE 2015 S.2).

Die dritte verfügbare Applikationstechnik ist die Precision-Spraying-App. Dieses Applikationsmodul ist kamerabasiert und wird zur selektiven Unkrautbekämpfung eingesetzt. Alle 75 cm ist an der Applikation eine Kamera angebracht. Diese Kameras übernehmen in Zusammenarbeit mit einer Bildverarbeitungssoftware die Detektion der (unerwünschten) Pflanzen. Mithilfe der Blattform unterscheidet das System dabei zwischen Nutzpflanze und unerwünschten Pflanzen. Sobald das System Unkräuter und/oder Ungräser detektiert hat, werden die entsprechenden Ventile des Düsenarms geöffnet. Die Herbizide werden also nur gezielt auf einzelne Bereiche appliziert. Dies soll den Pflanzenschutz ökologischer und ökonomischer gestalten, da so z.B. eine deutlich geringere Menge an Herbiziden nötig ist (AMAZONE 2015 S.2).

Eine weitere Möglichkeit zur Bekämpfung von Unkräutern und Ungräsern ist der Rammstab. Dieser bildet eine weitere Applikationstechnik für den BoniRob. Dieser rammt unerwünschte Pflanzen mit einer hohen Geschwindigkeit in das Erdreich. Somit kann auf einen Einsatz mit Herbiziden verzichtet werden (BOSCH 2015).

### **2.12.2 Stand der Technik auf dem Beispielbetrieb**

Als Zugmaschinen werden John Deere-Traktoren mit einer Motorleistung bis 210 PS eingesetzt. Für die Bodenbearbeitung wird eine Vielzahl von Geräten genutzt. Das kleinste Gerät ist eine 2,8 m breite Spatenrollegge. Mit 4,8 m Breite ist der Köckerling Vario-Federzinkengrubber das größte Bodenbearbeitungsgerät auf dem Betrieb.

Hinzu kommen mehrere Walzen, ein 3 m breiter Schwergrubber von Rabe, zwei Bodenfräsen mit einer Arbeitsbreite bis 4,5 m, eine 3 m breite Amazone Catros-Scheibenegge und ein Parapflug mit drei Scharen. Für den Pflanzenschutz nutzt der Betrieb eine Amazone UF 1500-Pflanzenschutzspritze mit 21 m Gestänge. Die Spritze hat die Amazone Section Control-Teilbreitenschaltung eingebaut. Diese ermöglicht eine Teilbreitenschaltung von jeweils 3 m.

### **2.12.3 Empfehlungen für den Beispielbetrieb**

Die vorgestellten Roboter sind für Reihenkulturen ausgelegt. Um die beiden Robotermodelle auf dem Versuchsgut Merklingsen einsetzen zu können, müsste der komplette Anbau auf die Spezifikationen der Roboter abgestimmt werden. Des Weiteren würde die Umstellung der Arbeitsabläufe und das Einarbeiten in diese neue Technik vermutlich viel Zeit in Anspruch nehmen. Daher sollte zu Beginn mit einer kleinen Anzahl Roboter unterschiedlicher Auslegung zur Gewinnung erster Erfahrungen begonnen werden. Als langfristige Vision könnte die Anzahl der Roboter und ihre unterschiedlichen Tätigkeiten kontinuierlich erhöht werden, bis allmählich alle Tätigkeiten im Ackerbau komplett autonom erledigt werden. Jedoch sind die Roboter fast alle noch in der Entwicklungsphase. Viele Tätigkeiten können noch nicht von ihnen (ausreichend präzise) ausgeführt werden. Des Weiteren sollte ein RTK-GPS-Signal bereitgestellt werden, um die Präzision zu erhöhen. Für den Arbeitseinsatz mancher Roboter ist dies eine Voraussetzung. Eine Ergänzung zum GPS könnte eine Farmmanagementsoftware sein. Diese würde die Dokumentation und Planung deutlich verbessern. Der anfängliche Aufwand dürfte sich aller Voraussicht nach später lohnen. Roboter haben das Potential, so gut wie jede Tätigkeit im Ackerbau zu übernehmen, und die Arbeitseffizienz könnte somit enorm gesteigert werden. Hinzu kommen ein deutlich niedrigerer Arbeitskräftebedarf und somit geringere Lohnkosten, eine verbesserte Arbeitsqualität und ein reduzierter Bodendruck aufgrund von deutlich geringeren Einsatzgewichten im Vergleich zu konventionellen Landmaschinen. Zudem kann durch diese Technik der Betriebsmittelverbrauch deutlich gesenkt werden. Der BoniRob beispielsweise verbraucht mit seiner selektiven Unkrautbekämpfung erheblich weniger Herbizidmengen als die Amazone UF 1500 Pflanzenschutzspritze mit 3 m Teilbreitenschaltung. In Punkto Flächenleistung ist die UF 1500 dem BoniRob jedoch deutlich überlegen. Der Einsatz von mehreren BoniRob könnte

dies aber zumindest teilweise kompensieren. Besonders interessant für den Beispielbetrieb dürfte die Phenotyping-App des BoniRob sein, die dem Anwender eine Fülle neuer Analyse- und Planungsmöglichkeiten für die Pflanzenproduktion bietet. Der Hackroboter OZ dagegen wäre für das Versuchsgut Merklingsen nur dann interessant, wenn bestimmte Reihenkulturen in Zukunft gehackt werden sollten. Er kann die Fülle an Bodenbearbeitungsgeräten mit ihren differenzierten Bearbeitungsaufgaben auf dem Betrieb nicht ersetzen. Diese ermöglichen nämlich eine mischende oder wendende und eine flache sowie tiefe Bearbeitung des Bodens. Trotz unterschiedlicher Werkzeuge kann der OZ diese Vielfalt und diese Leistungsfähigkeit nicht liefern. Auch wenn Feldroboter noch einige Zeit aus Sicht der arbeitstechnischen Anforderungen im Versuchsgut Merklingsen wenig sinnvoll erscheinen, ist doch ihre Anschaffung zu Zwecken der Demonstration in der Hochschullehre in allen Soester Fachbereichen erwägenswert. An einer solchen technischen Plattform könnte zudem von Studierenden und Wissenschaftlern aller drei Fachbereiche weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeit betrieben werden.

Ob mit oder ohne Robotik im Beispielbetrieb: In Zukunft wird es vermutlich Roboter mit deutlich größeren Arbeitsbreiten und stärkeren Antrieben geben, die der konventionellen Technik in nichts nachstehen werden. Roboter im Ackerbau als ausführende Arbeitskraft bilden das Fundament für eine Landwirtschaft 4.0 und darüber hinaus passen sie zu den stetig wachsenden Anforderungen an die Landwirtschaft. Daher wird der Einsatz von Robotern für eine digitale Smart Farm unabdingbar werden.

## **3 Schweinehaltung**

### **3.1 Stand der Technik**

Im Bereich der Schweinehaltung gibt es bereits viele Möglichkeiten, digitale Technologie einzusetzen. Dabei ist zwischen den verschiedenen Aufgabenbereichen wie Tierkontrolle inklusive Reproduktion, Fütterung, Klimasteuerung sowie Vermarktung zu unterscheiden.

#### **3.1.1 Tierkontrolle**

Eine gründliche Tierkontrolle ist essentiell, um eine tiergerechte und wirtschaftliche Schweinehaltung zu ermöglichen. Da sie das Wohlbefinden der Tiere sicherstellen soll, ist die Tierkontrolle eine Schnittstellenaufgabe zwischen vielen Bereichen wie Fütterung, Klima und Tiergesundheit.

Im Bereich Klima ist das Hauptanliegen zu überprüfen, ob die vorhandene Technik funktioniert und das optimale Klima für die jeweiligen Ansprüche der Tiere herstellt. Dafür stehen schon lange Temperatursensoren zu Verfügung, die die Ist- mit der Soll-Temperatur abgleichen. Eine Erweiterung davon sind Sensoren, die die Konzentration bestimmter Schadgase messen. Der „Polytron C300“ der Firma Dräger misst permanent die Ammoniakkonzentration in der Stallluft (DRÄGER o. J.). Die Kohlenstoffdioxidkonzentration kann durch den „DOL17-Sensor“ der Firma Big Dutchman überwacht werden (BIG DUTCHMAN 2010c).

Ein weiterer wichtiger Indikator ist die Futteraufnahme. Erstens sollen hohe Leistungen wie Tageszunahmen oder Milchleistung erzielt werden, und zweitens steht eine hohe Futteraufnahme für eine gute Tiergesundheit. Um den Landwirt bei der Kontrolle zu unterstützen, werden bei Flüssigfütterungen schon seit einiger Zeit Füllstandsensoren eingesetzt. Diese geben ein Signal, sobald das Futter im Trog unter ein bestimmtes Niveau absinkt. Dies gibt einerseits der Fütterung das Signal für ein erneutes Füttern, andererseits gibt es Auskunft über die Futteraufnahme der Tiere. Ein Beispiel hierfür ist der „BioFeeder“ von Hölscher und Leuschner (HÖLSCHER UND LEUSCHNER 2016). Eine tierindividuelle Überwachung der Futteraufnahme ist in einer Futterabrufstation möglich. Hierbei wird nicht nur die abgerufene Futtermenge, sondern auch der Besuchszeitpunkt analysiert und bei Bedarf Alarm gegeben (GALL-

MANN 2013). Eine Voraussetzung hierfür ist die individuelle Tiererkennung mittels Radio-Frequenz-Identifikation, kurz RFID. Dies sind kleine, passive Transponder, die Platz in einer Ohrmarke finden. Mit Hilfe eines Lesegerätes, dessen Hauptbestandteil eine Antenne ist, die Radiowellen im Ultrahochfrequenzbereich (UHF) sendet und empfängt, kann der Transponder ausgelesen werden. Dies kann im Radius von ca. 2 m um die Antenne erfolgen. Der Transponder sendet eine Nummer, die den Namen des Tieres darstellt. In einer Datenbank können alle Ereignisse, die diese Nummer betreffen, gespeichert werden (HAMMER et al. 2017). Wenn man weitere Lesegeräte an Schlüsselstellen des Abteiles, wie z.B. Tränken aufstellt, kann ein individuelles Bewegungsprofil z.B. einer Sau erstellt werden. Dieses Bewegungsprofil ist zwischen den Einzeltieren sehr unterschiedlich. Allerdings deutet eine starke Abweichung einer Sau von ihrem gewöhnlichen Bewegungsprofil auf Lahmheit hin (GALLMANN 2013).

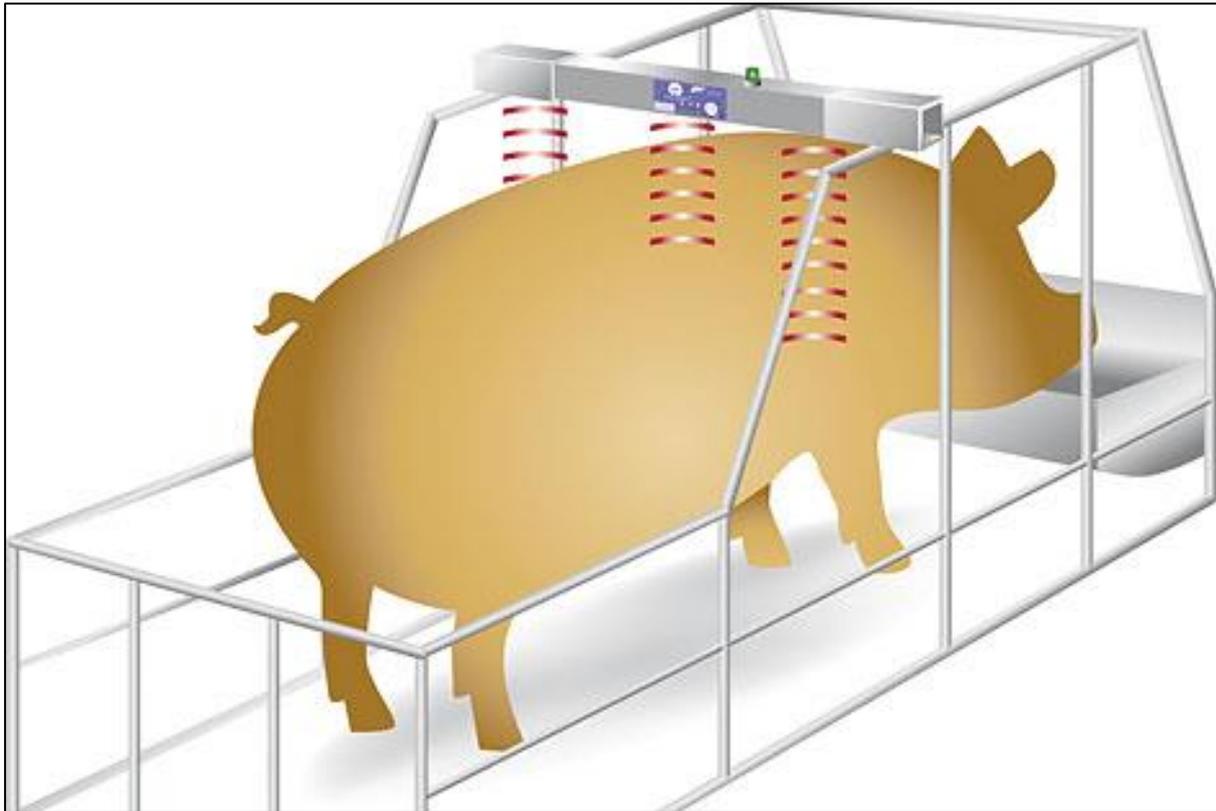
Ein weiterer Parameter, der mit Hilfe von digitalen Techniken überwacht werden kann, ist Husten. Mit der App „Husten Index Kalkulator“ wird ein Hustenindex anhand von gezählten Hustenereignissen in einem bestimmten Zeitraum und der Anzahl der Tiere im Abteil berechnet. Dieser Hustenindex hilft bei der Bewertung und der Dokumentation des Hustens (NIGGEMEYER 2018). Eine komplett automatische Methode zur Hustenerkennung stellt der Hustensensor „Somo“ der Firma SoundTalks dar. Durch ein Mikrofon werden die Hustengeräusche von bis zu 250 Tieren erfasst. Hintergrundgeräusche wie Ventilatoren oder Quieken werden herausgefiltert und ein Hustenindex wird berechnet. Steigt dieser an, wird Alarm über SMS oder eine Ampel am Stalleingang gegeben (NIGGEMEYER 2018).

Hohe Leistungen können nur durch eine gute Tiergesundheit erreicht werden. Deswegen stellt auch die Analyse von Leistungsparametern eine Möglichkeit zur Tierkontrolle dar. Im Gegensatz zu den oben beschriebenen Techniken ist dies allerdings keine Echtzeitkontrolle, sondern vergangenheitsorientiert. Im Bereich der Sauenhaltung bieten die so genannten Sauenplaner eine Möglichkeit für die Analyse von Leistungsparametern. Dies sind Computerprogramme, in denen die Stammdaten aller im Betrieb gehaltenen Sauen hinterlegt sind. Durch Eingabe von Belegungen, Anzahl geborener Ferkel, Ferkelverluste etc. werden Leistungskennzahlen, wie beispiels-

weise die Anzahl abgesetzter Ferkel pro Sau und Jahr, berechnet. Diese können im Zeitverlauf analysiert oder mit Leistungskennzahlen anderer Betriebe verglichen werden. Die Dateneingabe kann am Computer oder per App auf einem mobilen Gerät erfolgen. Für eine weitere Vereinfachung können diese Geräte auch mit einem Scanner für Ohrmarken oder Ebernummern erweitert werden. Außerdem kann die Erfassung der Stammdaten durch die Verwendung elektronischer Lieferscheine automatisiert werden. Ein Beispiel hierfür ist der „db.Planer“ der Firma BHZP GmbH (BHZP 2018). In der Mast bieten Mastmanager ähnliche Funktionen. Bei dem „Stall-MASTER“ von Hölscher und Leuschner werden Daten der Sortierschleuse, Fütterung und Schlachtbefunde automatisch dokumentiert und Leistungskennzahlen ermittelt. Bei starken Abweichungen dieser Kennzahlen wird der Landwirt alarmiert (HÖLSCHER UND LEUSCHNER o. J.a).

### **3.1.2 Reproduktion**

Insbesondere zur sicheren Rauscheerkennung sind bereits viele digitale Technologien auf dem Markt vorhanden. Das System „Pig Watch“ der Firma Big Dutchman wird beispielsweise über dem Besamungsstand installiert und misst mit Hilfe von drei Infrarotsensoren die Aktivität der einzelnen Sau (vgl. Abbildung 25). Diese wird mit der Aktivität der vergangenen Stunden verglichen. Ist die aktuelle Aktivität erhöht, so leuchtet eine rote Lampe über dem Besamungsstand auf. Der Landwirt muss die Sau nun regelmäßig auf den Duldungsreflex prüfen. Sobald dieser vorhanden ist, kann dies auf dem Bedienfeld vermerkt werden. Das System errechnet nun den idealen Besamungszeitpunkt und zeigt diesen durch das Aufleuchten einer grünen Lampe an. Durch die termingerechte Belegung sollen Spermatuben eingespart sowie die Ferkelzahlen je Wurf erhöht und die Umrauscherquote gesenkt werden. Die Kosten des Systems belaufen sich auf 800 bis 900 € pro Besamungsstand (LEHMENKÜHLER 2013 S.16f.).



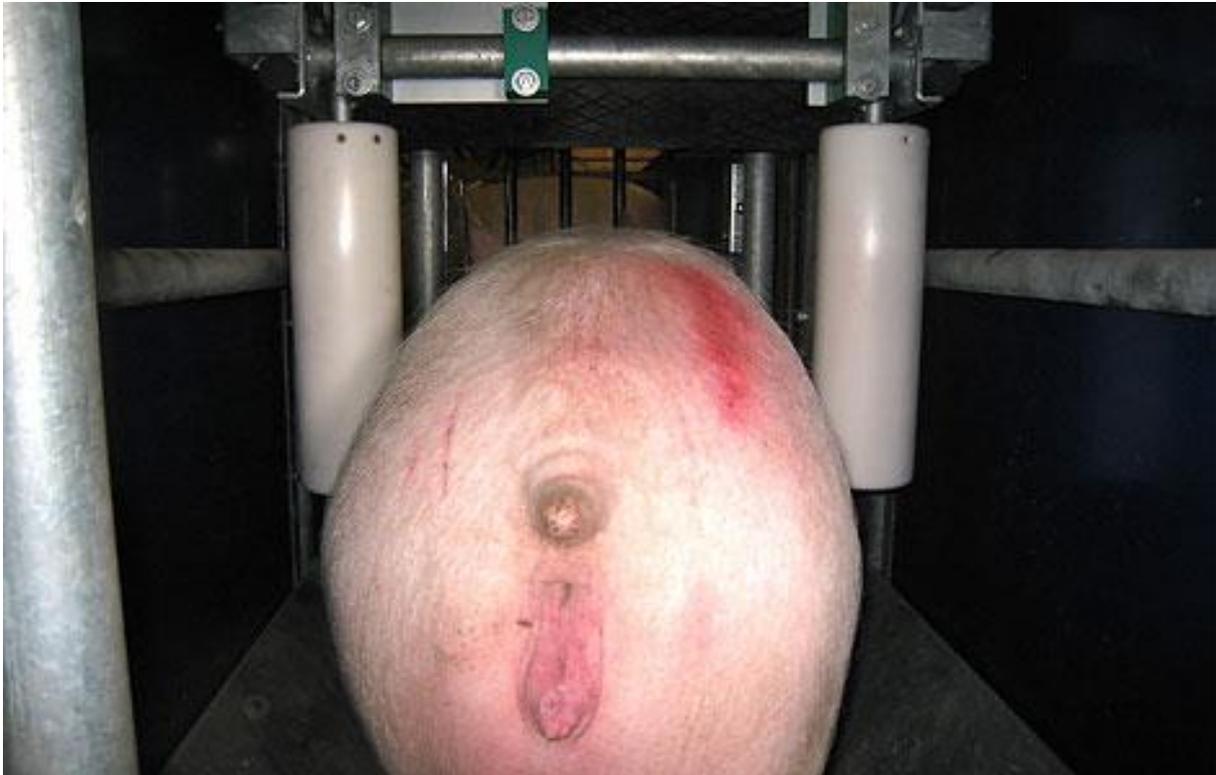
Quelle: BIG DUTCHMAN 2013

**Abbildung 25: Position der Infrarotsensoren von „Pig Watch“ über dem Besamungsstand**

Ein weiteres und häufiger eingesetztes System ist das Eberticketfenster, um rauschige und umrauschende Sauen in der Gruppe ausfindig zu machen. Hierbei können die Sauen durch ein Fenster zur Eberbucht Kontakt zum Sucheber aufnehmen. An diesem Fenster wird die Sau mittels ihres Transponders erkannt. Die tägliche Anzahl und Dauer der Besuche wird elektronisch aufgezeichnet. Sauen, die zwischen dem 18. und 24. Tag ihres Zyklus' mehr als 4,3 min täglich den Kontakt zum Eber gesucht haben, werden als auffällig bewertet, am Computer angezeigt und sind durch den Landwirt zu überprüfen (BOHNEKAMP et al. 2015 S.36).

Ebenfalls zur Rauscheerkennung bei Sauen in Gruppenhaltung eingesetzt wird das System „Sow Check“ der Firma Big Dutchman (vgl. Abbildung 26). Hierbei wird eine eventuelle Rausche während der Fütterung in der Abrufstation festgestellt. Der Druck von zwei seitlichen Rollen an der Flanke und einer weiteren Rolle auf dem Rücken der Sau simulieren den Aufsprung des Ebers. Durch eine zusätzliche Öffnung zur angeschlossenen Eberbucht und somit den direkten Kontakt werden alle Wahrnehmungsebenen bedient. Dadurch ist eine sichere Identifizierung von rauschigen und

umrauschenden Sauen möglich. Diese können gegebenenfalls über die Futterstation direkt ausselektiert werden (BIG DUTCHMAN 2012a und DETER 2012).

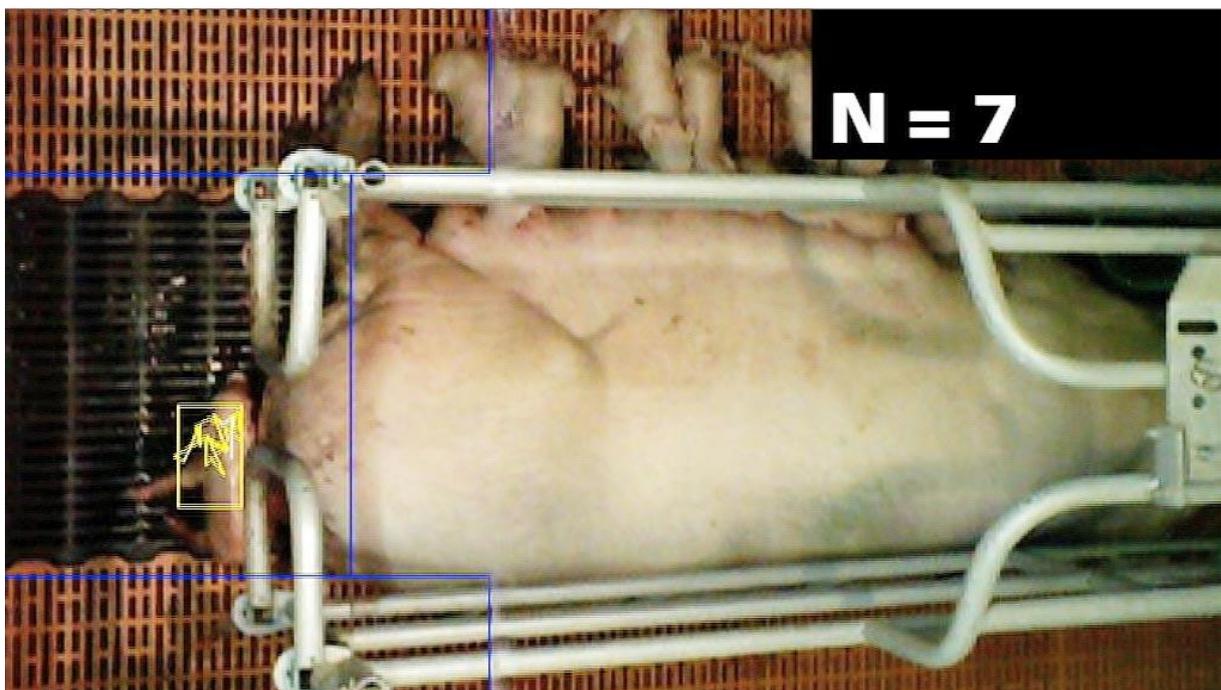


Quelle: BIG DUTCHMAN 2012a

**Abbildung 26: Position der Rollen beim „Sow Check“**

Auch zur Trächtigkeitsuntersuchung werden digitale Systeme angeboten. So zum Beispiel „Sono Check“, welches ebenfalls durch die Firma Big Dutchman vertrieben wird. Hierbei wird die entsprechende Sau in der Futterabrufstation gescannt. Dies geschieht mittels eines Schallkopfs, der vollautomatisch an die Sau herangeführt wird. Die Aufnahme wird als Video gespeichert und durch ein Analyseprogramm ausgewertet. Ist die Diagnose unsicher, kann das Video durch den Landwirt oder einen Tierarzt begutachtet werden. Dadurch, dass jede Sau bei jeder Fütterung gescannt wird, erhöht sich die Genauigkeit der Ergebnisse. „Sono Check“ ist eine mobile Einheit, die zwischen den einzelnen Abrufstationen getauscht werden kann und hat einen Preis von 8.000 - 9.000 € pro Einheit (BIG DUTCHMAN 2010a und TOP AGRAR 2012).

Die dritte wichtige digitale Entwicklung im Bereich der Sauenhaltung ist die automatische Geburtsüberwachung. Zu diesem Zweck bietet die Firma Big Dutchman das System „Sow Cam“ an (vgl. Abbildung 27). Dabei werden handelsübliche Webcams über den einzelnen Abferkelbuchten installiert. Eine spezielle Software kann die Videoaufnahmen intelligent prüfen und auswerten. So erkennt das Programm den Geburtsbeginn, zählt die lebendgeborenen Ferkel und erfasst außerdem die Zeit, die zwischen den einzelnen Ferkelgeburten vergeht, sodass bei zu langen Abständen zwischen den Geburten eine Warnmeldung per SMS an den Landwirt verschickt wird. Die aufgezeichneten Daten können als Managementhilfe für die Selektion der Sauen abgespeichert werden. Da auch eine Live-Verfolgung online möglich ist, muss der Landwirt nicht permanent während der Abferkelung im Stall sein. Das sorgt insgesamt für mehr Ruhe im Abferkelbereich. Weiterhin können die Ferkelverluste und der Zeitaufwand für die Geburtskontrollen gesenkt werden (BIG DUTCHMAN 2010b).



**Abbildung 27: Ausgewertetes Bild der Sow Cam**

### 3.1.3 Fütterung

Jährlich steigt die Nachfrage nach modernen und effizienten Stall- und Fütterungssystemen. Auf dem weltweiten Markt für Fütterungsanlagen in der Schweinehaltung steht eine Vielzahl von Firmen untereinander in starker Konkurrenz. Die Maschinenentwicklung zielt auf eine korrekte Dosierung und eine richtige Zusammensetzung der Futterkomponenten ab. Die Kosten für die Tierernährung können so um 10 % - 20 % gesenkt werden; und gleichzeitig rückt die Verbesserung des Tierwohls immer weiter in den Fokus der Schweineernährung (JAEGER 2011). Die Angebotsvielfalt an digitalen Systemen in der Schweinefütterung erstreckt sich beginnend mit der digitalen Futterbestellung, über digitale Futterzusammensetzungs- und Futteranmischsysteme und weiter bis hin zur digital gesteuerten Futtervorlage, welche sich in die Bereiche Sauenhaltung, Ferkelaufzucht und Schweinemast aufteilt. Des Weiteren bietet der weltweite Markt digitalisierte Produkte zur Arzneimittel-Anwendungsberatung und -dokumentation sowie speziell zur intelligenten Datenspeicherung an. Aufgabenübergreifende smarte Systeme entwickeln sich derzeit mehr und mehr weiter und Künstliche Intelligenz beginnt, eine immer größere Rolle in den Praxisbetrieben zu spielen (vgl. Abbildung 28).

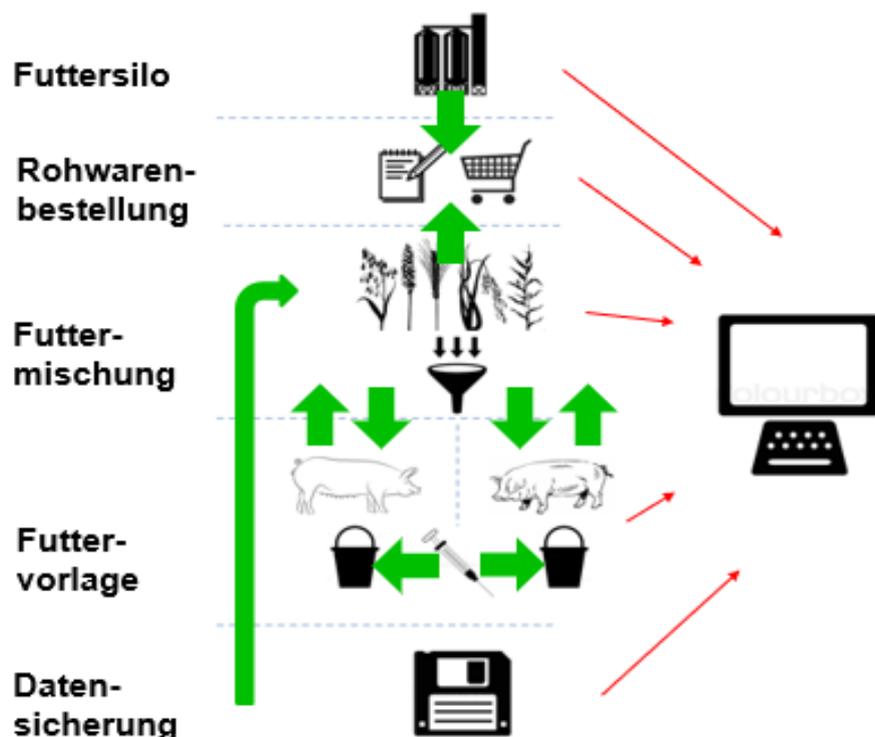


Abbildung 28: Digitale Vernetzung: Prozesse in der Schweinefütterung

Abbildung 28 gibt einen Überblick über die verschiedenen Aufgabenbereiche in der Schweinefütterung, welche derzeit schon durch digitale Technologien ergänzt werden können und zeigt das Zusammenwirken der Systeme. Die grünen Pfeile verdeutlichen hierbei die bereits breit verfügbare digitale Vernetzung der Arbeitsschritte sowie den Datenfluss zwischen den Bereichen. Die roten Pfeile stellen dagegen die erweiterte vernetzte Variante dar. Zielsetzung ist die zentrale Datensammlung und -verarbeitung aller digital dokumentierten und gesteuerten Arbeitsbereiche und die Bereitstellung wertschöpfungserhöhenden Wissens für den Landwirt.

Die veraltete Vorstellung der Schweineernährung – der Bauer füttert die Tiere aus einem Eimer – war einmal. „Smart farming“ ermöglicht die Veranlassung der Fütterung komfortabel via Smartphone von jedem Winkel der Welt (JAEGER 2011). Der moderne Landwirt wirtschaftet geldschonend und arbeitszeitparend. Wo früher 300 Schweine in 30 Minuten per Hand gefüttert wurden, werden heutzutage zehn Mal so viele Tiere in nur einer Stunde versorgt (BIEDERSTÄDT 2017). Nicht nur Prozessdaten der technischen Stallanlagen, sondern auch tierspezifische Daten werden mit Hilfe zahlreicher Sensoren erfasst. Die Informationen über die einzelnen Tiere werden immer genauer und detaillierter dokumentiert. Unterschiedliche Gesundheits- und Verhaltensmonitoring-Ansätze lassen das Nutztier selbst in den Fokus treten. In der Schweinehaltung wird das Schwein zum Signalgeber und das Trink- und Fressverhalten sowie die Vokalisation sind die Basis für alle weiteren Haltungsmaßnahmen (BAUERNVERBAND 2015). Die neue Technik basiert auf alters- und leistungsangepasster Ernährung, optimiert auf jedes einzelne Nutztier. Des Weiteren alarmieren die Fütterungsautomaten den Zuständigen bei Störungen und Fütterungsproblemen jeglicher Art. Tiere, die beispielsweise nicht genügend fressen, können als krank eingestuft werden (WAGENER 2016). Ferner können speziell entwickelte Kamerasysteme Informationen über die Tiere im Stall liefern. Die ausführliche Datenerfassung und -verarbeitung generiert neues Wissen und bietet dem Landwirt eine direkte und erweiterte Entscheidungshilfe sowie eine klare Handlungsgrundlage (BALSER 2017).

Die Digitalisierung in der Schweinefütterung bringt Transparenz, Arbeitersparnis und Leistungssteigerung mit sich, jedoch dürfen unter anderem die Risiken bei der Datensicherung nicht außer Acht gelassen werden. Um effizient wirtschaften zu kön-

nen, muss der Landwirt also mit der weltweit rasanten Entwicklung digitaler Technologien in der Landwirtschaft – unter möglichst geringem Finanzeinsatz – mitgehen. Das Ziel der Digitalisierung in der Tierernährung ist klar formuliert: gesündere Tiere durch exakt abgestimmte Fütterung, günstigere Lebensmittel durch höhere Effizienz (HABECK 2017). Der Einbezug von intelligenter Roboter- und Sensortechnik in Kombination mit bequemer Anwendersoftware ist somit elementar in modernen Schweinebetrieben, denn die Zukunft ist digital (BAUERNVERBAND 2016). Nachfolgend werden einige aktuelle Fütterungssysteme der digitalen Landwirtschaft, differenziert nach verschiedenen Aufgabenbereichen, dargestellt.

### **3.1.3.1 Digitale Futterbestellung**

Um einen lückenlosen Futtermittelvorrat zu gewährleisten, informieren spezialisierte Apps den Landwirt per Push-Nachricht oder bestellen, sofern so konfiguriert, selbstständig und automatisch neue Futtermittel. Die App „FUTTER knAPP“ wirbt mit einer Benachrichtigungsfunktion an das Smartphone des Landwirts im Sinne einer Bestellerrinnerung. Der gesamte Futterbestand wird zuvor manuell in die App eingegeben, sodass ein Gesamtüberblick erstellt werden kann. Unter Berücksichtigung des täglichen Futterbedarfs und der voraussichtlichen Lieferzeit und -menge berechnet die Software den aktuell vorhandenen Futterbestand und bestimmt den nächsten voraussichtlichen Bestelltermin (MÖLLER 2016). Die aufgeführte Abbildung 29 gibt ein Beispiel für die Aufmachung einer App-Maske zur automatischen Futterbestellung für Schweine via Smartphone.

Eine ähnliche Idee steckt hinter der Fütterungs-App von PAUL KRUSE. Diese erinnert den Landwirt via SMS an die Bestellung der siloindividuellen Futterkomponenten. Unter besonderem Einbezug des Fressverhaltens der Schweine kann anhand einer Auswertung der Futterkurven der aktuelle Füllstand der Silos berechnet werden. Gegebenenfalls gibt die App automatisch eine Bestellung beim Futterlieferanten auf. Das Programm ist aufgrund ausbleibender Datenpflege extrem wartungsarm. Diese neuartige Funktion verhindert, dass Futterkomponenten fehlen und die Futterzusammensetzung ins Ungleichgewicht gerät. Zusätzlich nimmt das zuverlässige System dem Landwirt mehrere Arbeitsschritte ab (TOPAGRAR 2011).



Quelle: MÖLLER 2016

**Abbildung 29: Digitale Futterbestellung per Smartphone**

### **3.1.3.2 Digitale Futterzusammensetzungs- und Futteranmischsysteme**

Eine optimal abgestimmte Futterzusammensetzung ist in der Schweinehaltung besonders wichtig. Gute Zunahmen und ein gefragter Rahmen kann nur durch eine angepasste und ausgewogene Tierernährung erreicht werden. Die exakte Anmischung verschiedener Komponenten stellt in der Praxis eine große Herausforderung dar und geht nicht selten schief.

Die Idee einer digitalen Futterrations-Berechnungs-App für Mastschweine von JOHANNES HERHAMMER verspricht die Entwicklung einer Rezeptur unter Einbezug der gruppenspezifischen Futteransprüche verschiedener Rassen und Genetiken. Beispielsweise Schweine dänischer Genetik erfüllen oftmals - unter standardisierten Futterrationen - nicht optimal die Abrechnungsmaske. Um diesem vorzubeugen, errechnet die neue Technik eine ausgewogene Tierernährung, mit dem Ziel bestmöglicher Zunahmen und einem hohen Anteil an Muskelfleisch. Nach Eingabe der in den Komponenten enthaltenen Futterinhaltsstoffe, wie Rohproteine, Energie und Aminosäuren bestimmt die Software unter besonderer Berücksichtigung der Rasse die optimale Futterzusammensetzung sowie Futtermenge (TOPAGRAR 2011).

Das Softwaresystem Multiphasenfütterung von Schauer Agrotonic geht neben der digital gesteuerten Futteranmischung noch einen Schritt weiter und vereint weitere vorteilhafte Anwendungen. Parallel zu der automatischen Rationszusammensetzung und -menge enthält die Software Spotmix Multiphasenfütterung noch zusätzliche Funktionen zur Futtervorlage. Die Anwendungssoftware gewährleistet eine gruppenbezogene Fütterung für Einzeltiere und Mastgruppen. Die optimale Ration und Rezeptur wird mehrmals täglich aktualisiert und frisch angemischt. Für ideal hygienische Bedingungen, hinsichtlich der Tiergesundheit und -leistung werden die Rohrsysteme vollautomatisch mit einem Luft-Wassernebel gereinigt. Angestrebte tägliche Tageszunahmen und maskengerechte Schlachtkörper können so in der praktischen Anwendung realisiert werden. Der Vorteil der Spotmix Multiphasenfütterung ist die Flexibilität hinsichtlich des Fütterungsmanagements und der Futterkonsistenz. Der Landwirt kann zwischen Trocken-, Brei- und Flüssigfutter wählen. Durch das Anbieten mehrerer kleiner Futterportionen ist das Futteraufnahmevermögen bestmöglich ausgenutzt. In der Sauenhaltung kann die gesteigerte Futter- und Wasseraufnahme die Milchproduktion und Sauenkondition erhöhen und optimierte Ferkelabsetzgewichte erzielen. Zusätzlich können einzelne Futterkomponenten und Arzneimittel tierspezifisch verabreicht werden. Dieses Fütterungssystem soll eine ökonomische Schweinehaltung durch um bis zu zehn Prozent reduzierte Futterkosten bei gleichzeitiger biologischer Leistungsausschöpfung fördern (SCHAUER AGROTRONIC o. J.c).

### **3.1.3.3 Digitale gesteuerte Futtervorlage in der Sauenhaltung**

#### **3.1.3.3.1 Flüssigfütterungsanlagen**

Die meisten Sauen haltenden Landwirte nutzen standardmäßig ein Flüssigfütterungssystem. Variable Anmischbehälter sind in der Sauenhaltung im Bereich der Flüssigfütterung aktueller Stand der Technik. Eine optimale Homogenisierung des Futters sowie möglichst einwandfreie hygienische Gegebenheiten werden durch ein Rührwerk gewährleistet, das sich dem Futterfüllstand anpasst. Sogar in den Rohrsystemen werden die Futterkomponenten stetig durchmischt. Verbesserte Abgänge und Ausläufe erlauben eine exakte Ausdosierung. Neuartige Verfahren können sogar die Nahrungsquelle Maispflanze so präparieren, dass alle Bestandteile für das Schwein verdaulich und wertvoll werden. Ziel der Systeme ist es, die Futterkosten

gering zu halten, die Effizienz der Flächen zu steigern sowie die Tiergesundheit zu steigern (DETER 2014).

#### **3.1.3.3.2 Trockenfütterungsanlagen**

Einige Betriebe arbeiten jedoch mit Trockenfütterungsanlagen. Zu den wichtigen Fortschritten in der Trockenfütterung von Sauen zählen elektronische Volumendosierer, welche die klassischen zunehmend ablösen. Die Realisierung einer präzisen und punktgenauen Bestimmung der Ausdosierungsmenge ist für Sau und Ferkel von hoher Bedeutung. Somit können verzögerte Geburten, das Entstehen eines MMA-Komplexes und darauffolgende Ferkelverluste durch neue Technologien vermieden werden. Die Steuerung der Volumendosierer kann individuell zentral oder einzeln erfolgen. Auf der Messe EuroTier 2016 wurden jüngst verschiedene Lösungen präsentiert und sind nun auch auf dem Markt erhältlich (DETER 2014).

#### **3.1.3.3.3 Abruffütterung**

Zukunftsfähig sind vor allem moderne Abrufstationen (vgl. Abbildung 30 und Abbildung 31). Sie haben den besonderen Vorteil der individuellen Fütterung einer jeden Sau. Zudem können die Tiere absolut ungestört nacheinander fressen (MARKS 2006). Weltmarktführer unter den modernen Abruffütterungssystemen in der Sauenhaltung ist zurzeit das Produkt Compident® der Firma Agrotonic. Anhand einer ohrmarken-transpondergestützten Einzeltiererkennung kann ein stressfreies und optimal auf das Einzeltier abgestimmtes Futterprogramm realisiert werden. Rankämpfe an Futtertrögen bleiben aus und Futtermenge sowie -zusammensetzung werden der Kondition der Sau angepasst. In den letzten 30 Jahren entwickelte sich die Software stetig weiter. Letztendlich stellt diese Abrufstation nach Aussagen des Herstellers eine Anlage höchster Qualität und Zuverlässigkeit dar. Compident® ermöglicht eine Zentralselektion für mehrere Abrufstationen sowie großrahmige dynamische Gruppen. Die neue, langlebige Elektronik ist für „Smart farming“ bestens geeignet. Dieses effiziente Fütterungssystem soll Futterkosten von bis zu 0,5 kg pro Sau und Tag einsparen (SCHAUER AGROTONIC o. J.b).

Abbildung 30 visualisiert die Funktion von Abrufstationen in der Sauenhaltung am Beispiel einer Schweinegruppe im Versuchs- und Bildungszentrum Landwirtschaft Haus Düsse.



Quelle: MARKS 2006

**Abbildung 30: Abrufstation in der Praxis bei einer Sauengruppe**

In der folgenden Abbildung 31 wird eine der in Abbildung 30 auf Haus Düsse genutzten Abrufstation INTEC 6000 von der Firma Mannebeck im Detail gezeigt.



Quelle: MARKS 2006

**Abbildung 31: Abrufstation für Sauen**

Die Tiere betreten über den Eingang von rechts die Station. Dort werden sie anhand der Ohrmarkentransponder erkannt und bekommen an der Futterausgabestelle in der Mitte ihre individuelle Futterration vorgelegt. Nach der Futteraufnahme verlässt die Sau die Station durch den Ausgang an der linken Seite.

#### **3.1.3.3.4 Aufruffütterung**

In der Gruppenhaltung von Zuchtsauen stehen kämpferische Auseinandersetzungen am Futtertrog an der Tagesordnung. Diese Zweikämpfe lösen bei den Tieren enormen Stress aus und haben einen negativen Einfluss auf die Tiergesundheit, das Wohlbefinden sowie die Leistungsfähigkeit der Sauen. Forscher des Leibniz-Instituts für Nutztierbiologie haben vor einiger Zeit mit der Entwicklung eines IT-Systems begonnen, welches die einzelnen Tiere nacheinander beim Namen zum Trog ruft. Anhand von Ohrmarkentranspondern werden die Tiere identifiziert und die jeweilige Futterportion ausgegeben. Aufgrund von Auswertungen des Gewichtes, der Größe und des Verhaltens jeder Sau erstellt das Steuerungssystem eine Rangordnung, welche automatisch die Abfolge der Fütterung vorgibt. Der Lernprozess durch die automatisierte Konditionierung umfasst zwei bis drei Wochen. Neben der Minimierung von Kämpfen gibt das Aufrufsystem zusätzlich Reize zur Beschäftigung. Durch die Verbesserung des Tierwohls kann die Nutzungsdauer der Tiere sowie die Wirt-

schaftlichkeit des Betriebes erhöht werden. Dieses neuartige Aufrufsystem wird als sehr zukunftsfähig eingestuft. Aus diesem Grund förderte das Bundeslandwirtschaftsministerium das Projekt mit insgesamt 253.000 €, bei einem Anschaffungswert des IT-Systems von 800 € bis 1.600 € (SCHROEDER 2015).

### **3.1.3.4 Digitale gesteuerte Futtervorlage in der Ferkelaufzucht und Schweinemast**

#### **3.1.3.4.1 Sensorfütterung**

Mehrplatzfressautomaten spielen in der Ferkel- und Mastfütterung eine immer größere Rolle. In erster Linie werden in der Flüssigfütterung klassische Brei- und Rohrbreiautomaten eingesetzt. Mittlerweile erreichen die doppelten Rohrbreiautomaten eine Fressbreite von über 120 cm (DETER 2014). Mit Hilfe einer Verzehrsmengensteuerung (Sensorfütterung) kann der täglich variierende Futtermengenbedarf angepasst werden (Abbildung 32 und Abbildung 33). Die Organisation der Fütterungszeiten und die Wahl der Trockensubstanzgehalte wird auf die Fressgeschwindigkeit der verschiedenen Tiergruppen angepasst. So können ein hoher Fresskomfort für die Tiere erreicht, hygienische Aspekte verbessert und Auseinandersetzungen am Futtertrog minimiert werden. Durch diese Maßnahmen steigert die sensorgesteuerte Fütterung die Leistungsfähigkeit der Mastschweine. Die Trogsensoren messen den Füllstand im Trog über eine Luftsäule. So kann vermieden werden, dass anfällige Elektronik in den potenziell schadgasbelasteten Abteilen verbaut wird (MEYER 2013, S. 41ff.).

Abbildung 32 zeigt anhand einer Skizze die Funktionsweise einer Sensorfütterungsanlage. Über die Futterleitung gelangt das Schweinefutter zum Futterventil. Der Sensor erfasst den Füllstand des Troges und bestimmt den Zeitpunkt der Futtervorlage. Bei Futterausgabe passiert das Futter dann das Ventil und gelangt durch das Futterfallrohr in den Trog. Die folgende Abbildung 33 zeigt ein Foto einer in der Praxis angewendeten Sensorfütterungsanlage.

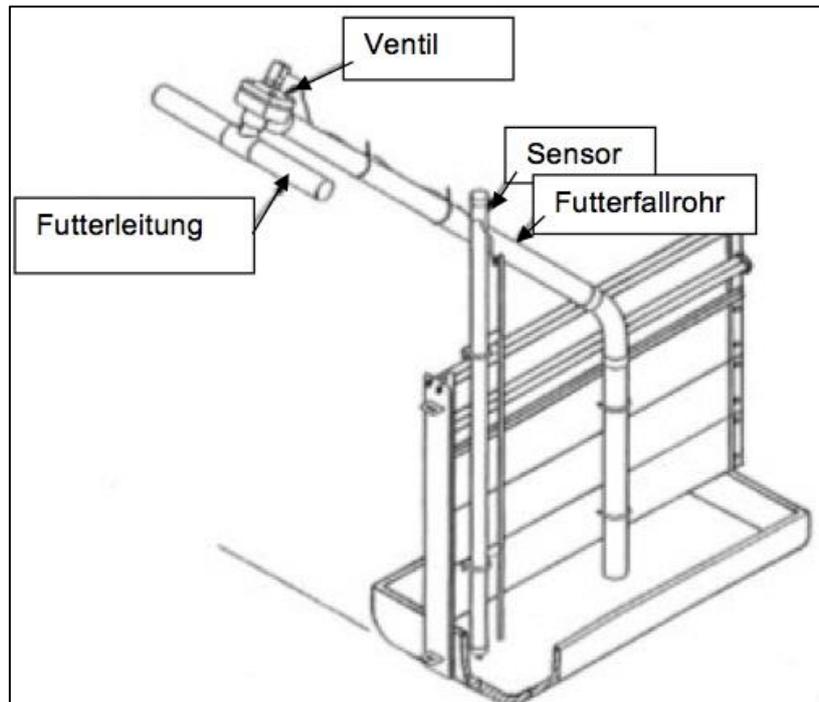


Abbildung 32: Skizze einer Sensorfütterung



Quelle: BIG DUTCHMAN 2012b

Abbildung 33: Sensorfütterungsanlagen von Big Dutchman

Die Einrichtung in Abbildung 33 stellt ein typisches System zur Sensorfütterung von Big Dutchman in der Ferkelaufzucht und Schweinemast dar. Die zweigeteilte Sensortroganlage ist in einem Stall mit Spaltenboden installiert.

#### **3.1.3.4.2 Trockenautomaten**

Ebenfalls erwähnenswert ist die Weiterentwicklung der Trockenautomaten. Ihre ohnehin einfache Handhabung in Kombination mit einem angepassten Wasserangebot ist in der Ferkelfütterung ein sicheres System. Die Funktion des Wasserfluters mit der bekannten Membrantechnik wird nach neuestem Stand der Technik durch eine Sensortechnik und ein Magnetventil ergänzt. Des Weiteren wurde auf der letzten EuroTier-Messe 2016 ein Antriebsrad vorgestellt, das für längere Förderstrecken einsetzbar ist. Die speziell entwickelte Methode zur Unterstützung der Zugkraft lässt den Energieverbrauch sinken und sichert zusätzlich eine genau ausdosierte und trockene Futtermenge. Das Wasser wird anschließend über gesteuerte Sensoren hinzugegeben (DETER 2014).

#### **3.1.3.4.3 Fütterungssysteme speziell für die Ferkelaufzucht**

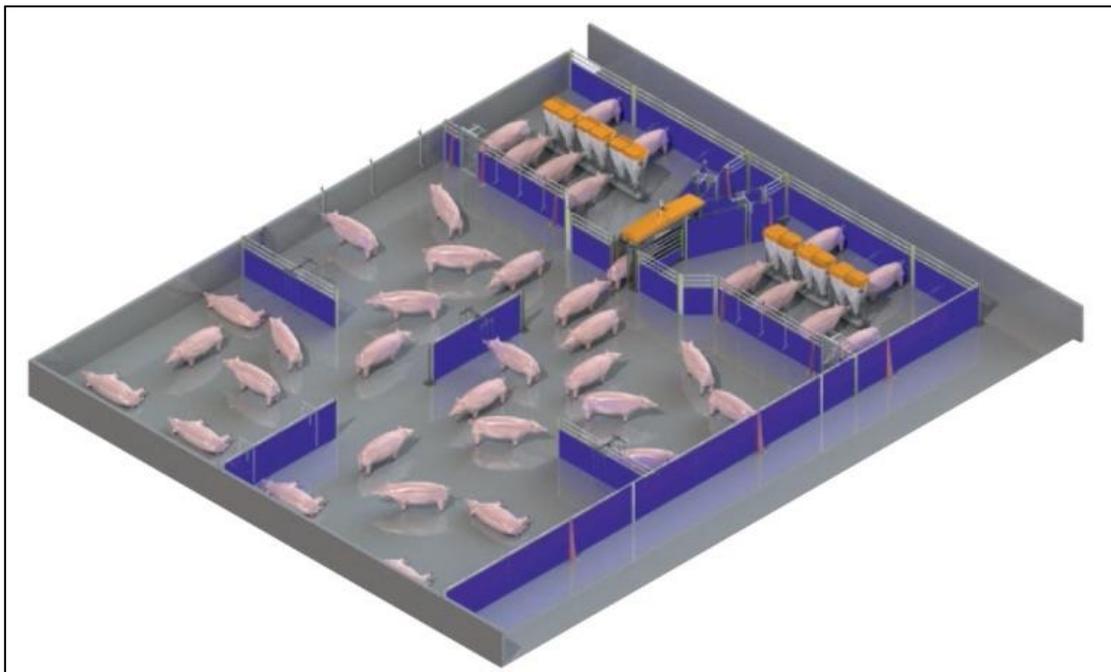
Unterstützende Rechnerprogramme in Kombination mit ständiger Sensorabfrage im Trog können die Fresszeiten in der Ferkelaufzucht genauestens festlegen. Hintergrund dieser punktgenauen Vorlage ist die Wichtigkeit einer altersangepassten Futtersorte und -menge. Der theoretische Ansatz ist seit vielen Jahren bekannt, es mangelt leider oftmals an der praktischen Umsetzung. Ein bedarfsgerechtes Futtermanagement ist das A und O für eine erfolgreiche Ferkelaufzucht (DETER 2014).

Die Firma Agrotonic bietet ein speziell für Aufzuchtferkel entwickeltes, automatisiertes und digitalisiertes Fütterungssystem mit dem Handelsnamen Babyfeed an. Babyfeed ist ein hybrides Aufteilungssystem, welches mehrmals über den Tag verteilt Kleinstmengen an Futter ausgibt. Über eine Waage wird erfasst, wie voll der Trog ist. Ausschließlich dann, wenn die Futterstelle leer ist, wird nachgefüllt. Mit Hilfe einer täglichen und automatisierten Anlagereinigung in Form eines Säure-Lauge-Desinfektionssystems kann die Hygiene auf höchstem Niveau gehalten werden. Mittels eines Wärmetauschers wird die Ferkelnahrung zur besseren Verträglichkeit er-

wärmt. Um einen genauen Bestandsüberblick zu bekommen, werden die Verbräuche pro Ventil auf das Kilogramm genau protokolliert. Die vollwertigen Fütterungscomputer verarbeiten alle Dateneingänge zu einem auf die Tiergruppe angepassten Programmablauf (SCHAUER AGROTONIC o. J.a).

#### **3.1.3.4.4 Spezielle Fütterungssysteme für die Schweinemast**

Ab einer Gruppengröße von 250 bis 400 Mastschweinen nutzen immer mehr moderne Unternehmen die Technik der Sortierschleuse (vgl. Abbildung 34 und Abbildung 35). Die nach Gewichtskategorien selektierten Tiere werden in den verschiedenen Gruppierungen unterschiedlich gefüttert. Abgestimmt durch eine Sensortechnik werden die Mastschweine dem aktuellen Gewicht entsprechend mit Nahrung versorgt (MEYER 2013).

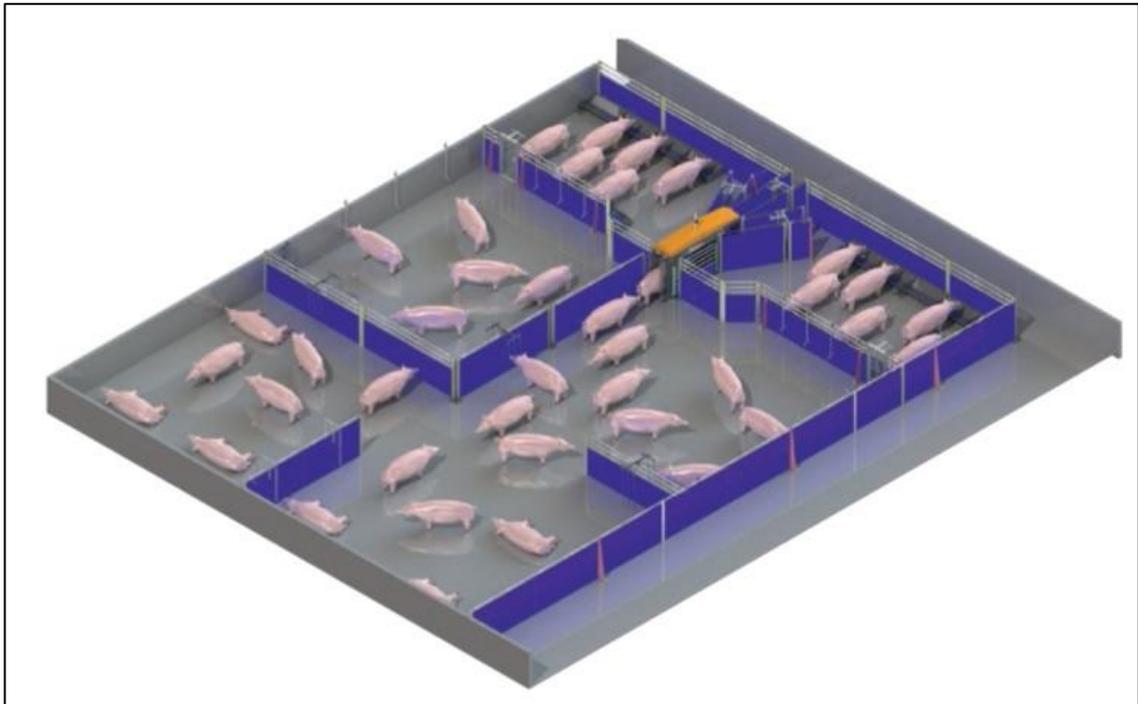


Quelle: PROVIMI KLIBA 2014

**Abbildung 34: Sortierschleuse in der Schweinemasthaltung**

Abbildung 34 stellt eine einfache Sortierschleuse für die Schweinemast dar. Die Tiere betreten die Schleuse durch einen zentralen Eingang mittig der Anlage. Dort werden diese anhand einer Gewichtsbestimmung in zwei Leistungsgruppen eingeteilt. Je nach Gewicht des Mastschweines wird es entweder nach links oder rechts geleitet.

In der neu sortierten Gruppe erhalten die Tiere ihre angepasste Futterration. Nach der Futteraufnahme begeben sich die Tiere durch einen Ausgang wieder in die ursprüngliche unsortierte Gruppe zurück. Die nachfolgende Abbildung 35 ist um eine Anwendung zur Vermarktung erweitert.



Quelle: PROVIMI KLIBA 2014

**Abbildung 35: Sortierschleuse mit zusätzlicher Selektionsgruppe**

Die Funktionsweise der in Abbildung 35 aufgezeigten Sortierschleuse für Mastschweine stimmt mit der in Abbildung 34 beschriebenen weitestgehend überein. Den einzigen Unterschied bildet die gesonderte Selektion jener Schweine, die das gewünschte Schlachtgewicht erreicht haben. Diese werden nach der Fütterung in ein isoliertes Abteil geleitet. Von dort aus werden diese schnellstmöglich vermarktet. Der Landwirt erspart sich den Prozess des Absammelns und Separierens der vermarktungsfähigen Tiere und alle Arbeitsschritte, wie zum Beispiel der Gewichtsbestimmung, die damit zusammenhängen.

### **3.1.3.5 Digitale Systeme in der Arzneimittelanwendung**

Der Einsatz von Medikamenten, vor allem von Antibiotika in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, wird zunehmend kritisch diskutiert. Um einen Überblick über die an-

gewendeten Arzneimittel zu erhalten und Einsparpotenziale herauszuarbeiten, steigt die Nachfrage nach einfach zu führenden Datenbanken stetig.

Die Firma *Weda* führt beispielsweise einen speziell entwickelten digitalen Medikamentendosierungsautomaten in ihrem Programm, der in der Lage ist, die Schweine ohne Mehraufwand individuell mit Arzneimitteln zu versorgen (JAEGER 2011). Des Weiteren wirbt die Farmsoftware *PigTool* mit der Anwendung eines intelligenten Arzneimittelkreislaufes. Alle auf dem Betrieb regelmäßig durchgeführten Impfungen und Behandlungen werden in einem vom Tierarzt erstellten Behandlungsplan festgehalten. Die Zusendung eines elektronisch erstellten Arzneimittel-Abgabebeleges erfolgt automatisch und kann vom Landwirt mit individuellen Anmerkungen zur Behandlung ergänzt werden. Eine Berechnung von Medikamenten-Restmengen gewährleistet, dass stets genügend Arzneimittel zur Verfügung stehen. Je nach gesetzlicher Vorgabe wird auf den Bedarf einer Wieder- oder Neuverschreibung hingewiesen (FARM-TOOL FARMSOFTWARE o. J.).

### **3.1.3.6 Digitale Systeme zur Datenspeicherung**

Grundvoraussetzung für eine optimale Tiergesundheit und leistungsfähige Schweine ist die Zusammensetzung und Entwicklung einer bedarfs- und leistungsgerechten Fütterung. Farmsoftwaresysteme wie zum Beispiel PigTool können die Rationsgestaltung dokumentieren und während des aktiven Einsatzes beurteilen. Mit Hilfe von festgelegten Grenzwerten wird die Rationsgestaltung auf die verschiedenen Tiergruppen perfekt abgestimmt. PigTool setzt mehrere Beurteilungsparameter, wie unter anderem Schlachtbefunde, betriebliche Leistungsdaten, Ereigniskalender, Bestandsregister und Arzneimittelkreislauf in einen übergeordneten Zusammenhang. In Verbindung mit anderen Netzwerken und dem Internet können umfassende Auswertungen erfolgen und die Fütterung sowie andere Haltungsfaktoren zielführend verändert werden (FARMTOOL FARMSOFTWARE o. J.).

Das Online-Tiermanagementsystem *Schauer* hingegen erhält seinen Vorsprung gegenüber älteren Systemen vor allem durch seine Echtzeitmessungen. Eine kontinuierliche Überwachung der Wasser- und Futterverbräuche ermöglicht unmittelbare Rückschlüsse und Bewertungen über den Gesundheitsstatus der Tiere. Bei Abweichungen von der Norm alarmieren die zugehörigen Alarmsysteme das übergeordnete Alarmcenter. Das Mediacenter mit Videoüberwachung und integrierter Rückschau ermöglicht das Rekonstruieren einer Alarmsituation. Die eigentliche Ursache eines Problems kann leicht gelöst werden. Vom Alarmcenter aus gibt es nun die Möglichkeit, von allen internetbasierten Endgeräten aus eingreifend zu handeln. Entscheidungen können durch das Frühwarnsystem schnellstmöglich getroffen werden. Dadurch ergeben sich ein enormes Einsparpotenzial sowie eine gleichzeitige Gewinnmaximierung. Der Server dient als Datenpool, der zum Einen Informationen verschiedener Systeme sammelt, in einer Datenbank dauerhaft speichert und diese in aufbereiteter Form zur Verfügung stellt und zum Anderen vollautomatisierte Aktionen selbstständig durchführt (SCHAUER AGROTRONIC o. J.c).

### **3.1.4 Stand der Technik: Lüftung und Klimasteuerung**

Die Lüftung und Klimasteuerung sind wesentliche Bestandteile von modernen Schweineställen, da eine hohe Luftqualität und die Temperatursteuerung großen Einfluss auf die tierischen Leistungen haben. Aufgabe der Lüftung ist es, Schadgase

aus dem Stall zu befördern und gleichzeitig die Tiere mit ausreichend Frischluft zu versorgen. Dabei zu berücksichtigen sind die verschiedenen Anforderungen der Tiere an die Klimagegestaltung in Abhängigkeit vom Alter und Gewicht der Tiere sowie der Stallgestaltung (einstreulos / mit Einstreu). Während im Sommer die vorrangige Aufgabe der Lüftung darin besteht, die von den Tieren abgegebene Wärme aus dem Stall zu transportieren, ist im Winter vorrangig die Abfuhr der Schadgase sowie von Wasserdampf wichtig. Bei der Gestaltung von Lüftungsanlagen sind der Haltungsabschnitt der Tiere, die baulichen Voraussetzungen des Stalles sowie der Grad der Ausnutzung der technischen Möglichkeiten von Bedeutung (DLG 2003).

Das wichtigste Bauteil moderner Lüftungsanlagen ist der Klimacomputer zur Lüftungssteuerung. Dabei wird für jede Lüftungstechnische Einheit eine Solltemperatur im Klimacomputer eingestellt. Sie richtet sich nach den Tierbedürfnissen. Über die Einstellung des Regelbereichs bzw. der Spreizung wird eingestellt, wie stark die Lüftung regelt. Bei einem klein eingestellten Regelbereich reagiert die Lüftung entsprechend schneller auf Temperaturveränderungen und -abweichungen vom Sollwert im Stall. Darüber hinaus lassen sich noch die so genannte minimale und maximale Luft-rate einstellen. Die minimale Luftrate stellt in jedem Fall sicher, dass ein ausreichender Luftaustausch unabhängig von der Temperatur stattfindet. Da ein Unterschreiten der Solltemperatur bei kalter Zuluft möglich ist, muss gegebenenfalls zusätzlich geheizt werden.

Durch Einstellen der maximalen Luftrate lässt sich die Lüftung beispielsweise bei kleinen Tieren begrenzen. Darüber hinaus kann eine angeschlossene Heizung gesteuert werden. Dabei lässt sich einstellen, bei welcher Sollwertunterschreitung die Heizung eingeschaltet und bei welcher Temperatur wieder ausgeschaltet wird. Die Außentemperatur hat einen starken Einfluss auf das Stallklima. Deshalb ist es möglich, den Regelbereich der Lüftung an den Außentemperaturverlauf anzupassen. Wichtig ist zudem der Alarm, der bei Unterschreitung oder Überschreitung bestimmter Parameter ausgegeben wird. Damit lassen sich optische und akustische Alarmer ausgeben. Darüber hinaus kann der Alarm auch an ein Telefon oder Wählgerät weitergegeben werden, um auch bei Abwesenheit über den Alarm informiert zu werden (LWK NIEDERSACHEN und BMEL 2016 S.29ff.).

### **3.1.5 Vermarktung**

#### **3.1.5.1 Situation auf dem Schweinemarkt**

Zur deutschen Veredelungswirtschaft zählen neben den landwirtschaftlichen Betrieben auch die nachfolgenden Teilnehmer der Fleischwertschöpfungskette. Diese sind in den letzten Jahren einem verschärften Wettbewerb auf nationaler und internationaler Ebene ausgesetzt. Die Folge dieser Entwicklung ist, dass der LEH einen starken Einfluss auf seine Lieferanten ausüben kann, wobei eine Schlüsselrolle in diesem Prozess den Handelsmarken des LEH zukommt. Die Arbeit mit Handelsmarken bietet aus Sicht des LEH den Vorteil, dass die einzelnen Lieferanten vergleichsweise leicht ausgetauscht werden können. Schweinefleisch wird in Deutschland tendenziell "über den Preis" vermarktet. Dies führt zu einem verschärften Margen- und Preisdruck innerhalb der gesamten Fleischwertschöpfungskette (BECKHOUBE 2008 S. 61ff.).

#### **3.1.5.2 Klassifizierung der Mastschweine**

Die Klassifizierung erfolgt an den Schlachthöfen entweder nach AutoFOM oder mit dem Fat-O-Meter (FOM). Bei der AutoFOM-Klassifikation werden die Schlachtschweine vollautomatisch und bedienerunabhängig klassifiziert. Dabei wird der Schlachtkörper über eine Wanne mit Ultraschallsensoren gezogen, welche die wertgebenden Teilstücke (Lachs, Schulter, Schinken, Bauch) bestimmt und den Muskelfleischanteil ermittelt. Anhand festgelegter Indexpunktzahl für die einzelnen Teilstücke werden diese gewichtsabhängig multipliziert. Die Gesamtindexpunkte je Schlachtkörper werden durch die Addition der einzelnen Indexpunkte der einzelnen Teilstücke errechnet. Der Nettoerlös je Schwein errechnet sich aus den erzielten Gesamtindexpunkten multipliziert mit dem Basispreis. Bei der FOM-Klassifizierung werden die Rückenspeckdicke und die Dicke des Rückenmuskels mittels Einstichsonde seitlich der Trennlinie zwischen der zweit- und drittletzten Rippe gemessen. Anhand einer bundeseinheitlichen Umrechnungsformel wird aus der Rückenspeckdicke und der Dicke des Rückenmuskels der Muskelfleischanteil des Schlachtkörpers errechnet. Der Schlachtauszahlungspreis bei der FOM-Klassifizierung setzt sich aus dem

geschätzten Muskelfleischanteil und dem jeweiligen Schlachtgewicht zusammen (POLLMANN & KNEES 2013 S. 55ff.).

### **3.1.5.3 Abrechnungsmasken**

Für eine erfolgreiche Schweinemast ist die richtige Vermarktung der Schlachtschweine essentiell. Die Schlachtbetriebe in Deutschland rechnen gegenüber den Landwirten mittels Preisabrechnungsmasken ab (WESTPHAL & MAYERHOFEN 2014). Als Grundlage für die Preisabrechnungsmasken dient der so genannte Basispreis. Um zum tatsächlichen Auszahlungspreis zu gelangen, müssen die vom Schlachthof in Rechnung gestellten Vorkosten vom Basispreis abgezogen werden. Die Vorkosten variieren zwischen 5 € bis 10 € pro Schwein und sind abhängig von der Partiegröße, Transportentfernung und Region (BECKHOUE 2008 S.61ff.). In den Abrechnungsmasken ist insbesondere der Muskelfleischanteil und auch die Gewichtsgrenze mit Ab- und Zuschlägen für zu leichte und zu schwere Schlachtkörper in der Preisfindung berücksichtigt (WESTPHAL & MAYERHOFEN 2014). Dabei erfolgt die Abrechnung und Klassifikation der Schlachtschweine nach dem Schlachtgewicht kombiniert mit dem Magerfleischanteil (MFA) oder nach der Ausprägung und dem Gewicht der Teilstücke, wie Schinken (ISN o. J.). Hierbei werden die Klassifizierungsgrenzen der Schlachtschweine und somit die Preismasken von jedem Schlachtunternehmen anhand eigener Kriterien festgelegt. Dadurch werden die Schweine von jedem Schlachtunternehmen anders bewertet (WESTPHAL & MAYERHOFEN 2014). So können kleine Änderungen an der Abrechnungsmaske erhebliche Auswirkungen auf den Erlös bewirken (BECKHOUE 2011). Der Maskenschlupf, also durch Abschläge bedingte Verluste einer Abrechnungsmaske, könnte durch eine nicht mehr maskenkonforme Sortierung durchaus einen Abzug von 5 bis 10 cent pro kg Schlachtgewicht nach sich ziehen. Somit sind die Vermarktung und Sortierung der Schlachtschweine an die jeweiligen Abrechnungsmasken der jeweiligen Schlachtunternehmen so gut wie irgend möglich anzupassen (vgl. Abbildung 36; BECKHOUE 2008 S.61ff.).

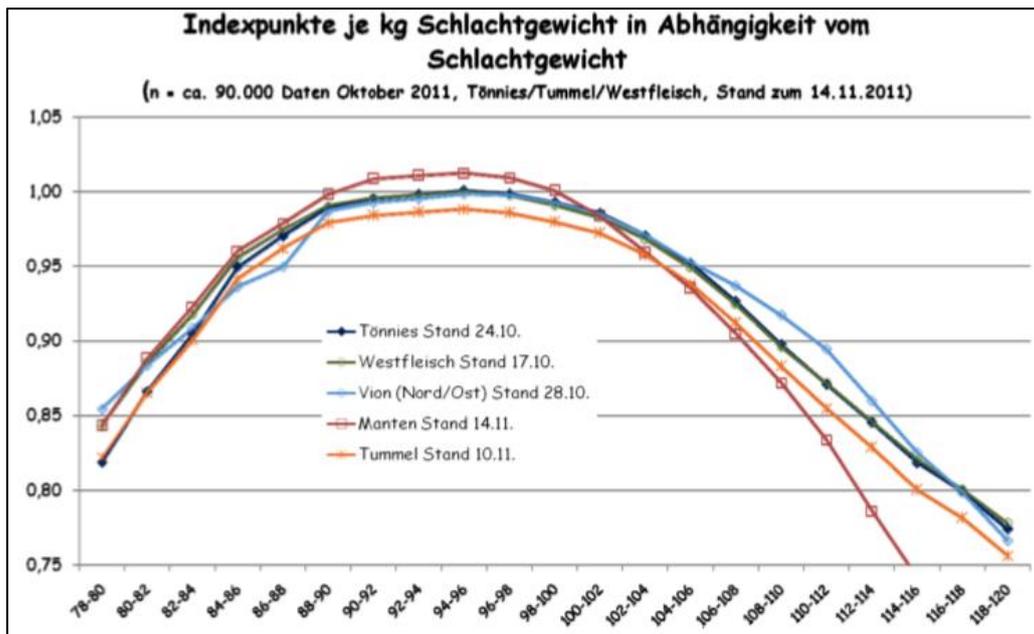
		Bereich		Pkt./kg
		von	bis	
<b>Schinken</b> in kg	< 16,5			1,7
	16,5	16,99		2,1
	17,0	17,49		2,25
	<b>17,5</b>	<b>20,5</b>		<b>2,30</b>
	20,51	21		2,15
	> 21			1,8
<b>Lachs</b> in kg	< 6			2,5
	<b>6,0</b>	<b>7,8</b>		<b>3,1</b>
	> 7,8			2,8
<b>Schulter</b> in kg				1,5
<b>Bauch MfA</b> in %		<b>&gt; 63</b>		<b>1,25</b>
	55	63		1,30
	50	54,99		1,25
	< 50			1,10
	<b>bei &lt; 12 kg Bauchgewicht</b> (unabhängig von Bauch MfA %)			1,10
<b>Gewichtsgrenzen</b>	<b>&lt; 83 kg</b>	je kg Abweichung		- 1 Pkt.
	<b>&gt; 107 kg</b>	je kg Abweichung		- 1 Pkt.
<b>Punkt Untergrenze je kg</b>				min. 0,7
<b>Punkt Obergrenze je kg</b>				max. 1,04

Abrechnung auf Basis von Auto-FOM, Summe der Punkte ergibt Indexpunkte/Schwein

Quelle: WESTFLEISCH o. J.

**Abbildung 36: Westfleisch Abrechnungsmaske ab 02.01.2018**

Die Vielzahl an verschiedenen Abrechnungsmasken führt dazu, dass diese als komplex und unübersichtlich betrachtet werden, so dass diese für viele Landwirte nicht mehr im Detail nachvollziehbar sind. So wird von jedem Schlachtunternehmen eine eigene FOM-/AutoFOM- und eine MfA–Abrechnungsmaske angeboten (ISN o. J. / WESTPHAL & MAYERHOFEN 2014 S.182). Zudem sind offensichtliche Unterschiede zwischen den Schlachtunternehmen bei der Klassifizierung erkennbar (BECKHOUE 2008 S.61ff.). Bei einer Auswertung der Landwirtschaftskammer NRW aus dem Jahr 2011 wurden bei einem Vergleich von 90.000 Tieren deutliche Unterschiede bei der Klassifizierung in den Abrechnungsmasken innerhalb der Schlachtgewichtsklassen deutlich (vgl. Abbildung 37). Als Vergleichsgrundlage zwischen den verschiedenen Schlachthöfen dienen die Indexpunkte je kg Schlachtgewicht in Abhängigkeit vom Schlachtgewicht. Hierbei wurden Schweine mit einem Schlachtgewicht unter 90 kg beim Schlachtunternehmen Westfleisch besser bezahlt als bei den Wettbewerbern Tönnies und Vion. Im Bereich von 90 bis 100 kg SG lagen die Auszahlungspreise aller Schlachthöfe nahezu gleichauf (FUNKEL o. J.).



Quelle: LWK NRW o. J.

**Abbildung 37: Indexpunkte je kg Schlachtgewicht in Abhängigkeit vom Schlachtgewicht**

Die Etablierung von zwei unterschiedlichen Klassifizierungssystemen (FOM/AutoFOM), die im Wesentlichen nicht miteinander vergleichbar sind, wird durch die Schweinehalter als Instrument der Schlachtunternehmen wahrgenommen, um den Einkauf aus ihrer Sicht möglichst optimal zu gestalten (BECKHOUE 2008, ISN o. J.). Ferner werden in der Preisfindung zudem Faktoren wie Liefertreue oder die Teilnahme an Markenfleischprogrammen zusätzlich honoriert (WESTPHAL & MAYERHOFEN 2014). Insgesamt kann hinsichtlich der Abrechnungsmodelle der Schlachtunternehmen nicht von Markttransparenz gesprochen werden (WESTPHAL & MAYERHOFEN 2014).

### 3.1.5.4 Aktueller Stand Technik bei der Vermarktung von Mastschweinen

Eine nicht auf die Abrechnungsmasken abgestimmte Sortierung der Schlachtschweine kann Erlösunterschiede zwischen 3 € bis 5 € je Schlachtschwein bewirken. Insbesondere das Schätzen der Gewichte der Mastschweine mit dem bloßen Auge gestaltet sich oft sehr schwierig und fehlerbehaftet (POLLMANN & KNEES 2013 S.55ff.). In der Vermarktung haben sich optische Sensorsysteme zur Ermittlung der wertbestimmenden Teilstücke im Landwirtschaftsbetrieb als praxisreif erwiesen. Neben der stationären Variante (z.B. Hölscher und Leuschner optiSort (vgl. Abbildung 388), welche

ausschließlich in systembedingten Gruppengrößen von 250 bis 400 Mastschweinen eingesetzt werden kann), gibt es die Möglichkeit, einen mobilen Gewichtsscanner unabhängig von der Gruppengröße einzusetzen (MEYER 2013). Neben der Sensorik in den Sortierschleusen bieten die Hersteller zudem die passende Software zur Datenverarbeitung an (HÖLSCHER UND LEUSCHNER o. J.b, BIG DUTCHMAN o. J.).

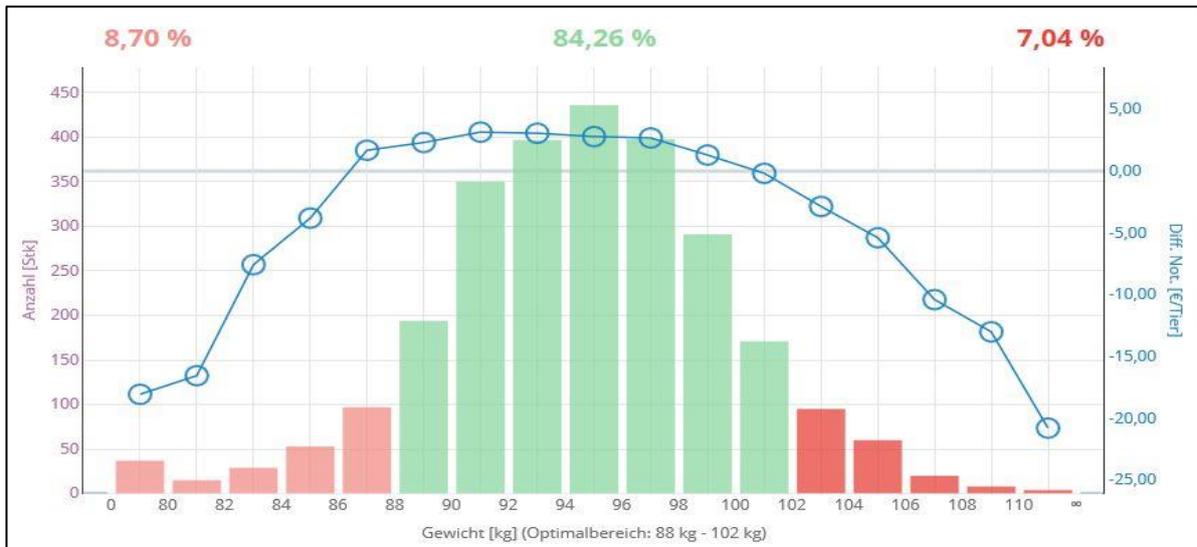


Quelle: HÖLSCHER UND LEUSCHNER o. J.b

**Abbildung 38: Stationäre Sortierschleuse zur Gewichtsermittlung**

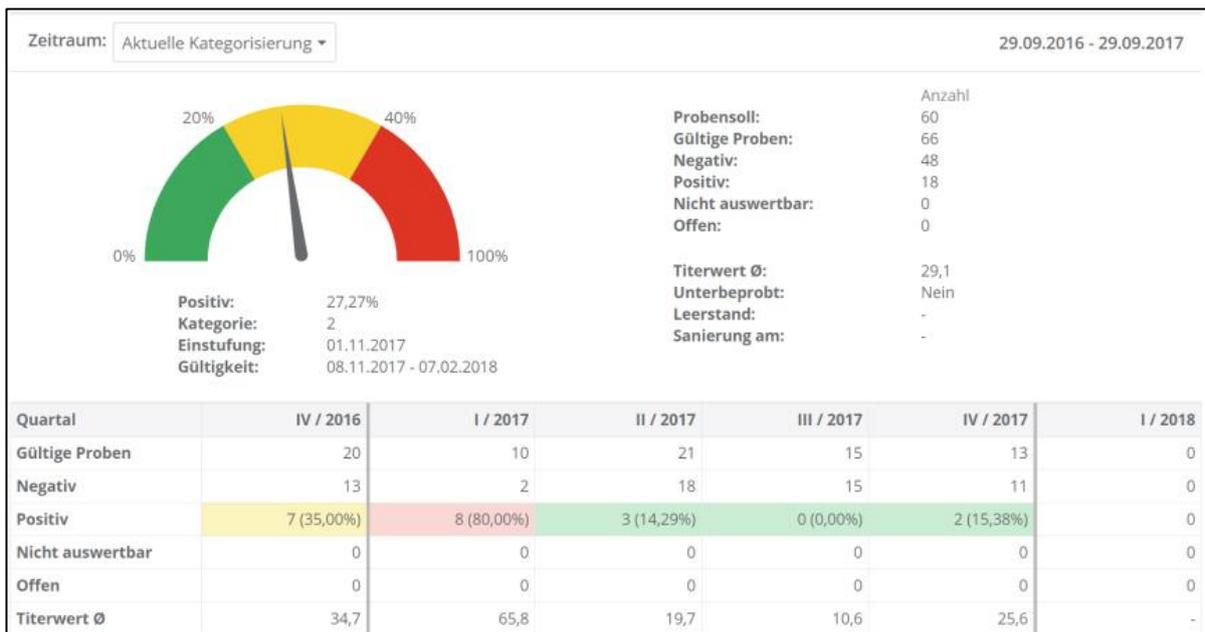
Einen interessanten Ansatz bietet die Firma IQ Agrar Service aus Osnabrück, welche als ein neutraler Dienstleister für Qualitätssicherung und Informationsmanagement im Agrarsektor agiert. Diese Firma verarbeitet pro Jahr im Auftrag der Landwirte 30 Mio. Schlachtdaten. Auf einer Online-Plattform können die Schlachtdaten der teilnehmenden Landwirte von diesen eingesehen werden. Anhand der Schlachtdaten soll der Landwirt befähigt werden, gezielt nach Schwachstellen in der Schweinehaltung und der Vermarktung zu suchen. Auswertungen von Schlachtdaten können bei folgenden Maßnahmen helfen (vgl. Abbildung 39 und 40):

- Sortierverluste verringern
- den optimalen Vermarktungskorridor bestimmen
- auf sich ändernde Marktsituationen reagieren
- Anpassungsbedarf an die Genetik und bei der Fütterung erkennen
- das Gesundheitsmanagement der Tiere optimieren.



Quelle: IQ AGRAR o. J.

Abbildung 39: Schlachtdatenauswertung im IQ – Agrar Portal



Quelle: IQ AGRAR o. J.

Abbildung 40: Befunde und Salmonellenmonitoring in IQ Agrar Portal

### 3.1.5.5 Farmmanagementsysteme

Indikatorgestützte Managementsysteme und Begriffe wie „Precision Pig Farming“ gewinnen bei zunehmenden Betriebsgrößen an Bedeutung. In diesem Prozess fungiert das Tier als Signalgeber, der Daten generiert. Die aktuellen Herausforderungen liegen weniger in der Entwicklung von Sensorik, sondern in der Aufbereitung und Nutzbarkeit der Daten (GALLMANN 2013). Ein Ansatz könnte darin bestehen, dass die

Daten in 4.0-Anwendungen wie z.B. Farmmanagement-Systemen oder Datendreh-schreiben zentral gebündelt und ausgewertet werden. Die Vernetzung der Daten in Farmmanagement-Systemen oder Datendreh-scheiben könnte helfen, die Landwirt-schaft inklusive der Tierhaltung und der nachfolgenden Wertschöpfungsketten trans-parenter, ressourcenschonender und produktiver zu gestalten. Dieser ganzheitliche Ansatz ermöglicht es, die Komplexität der bioökonomischen Wertschöpfungskette als Ganzes zu beschreiben. Durch die hohe Transparenz des kompletten Produktions-prozesses in Folge der Bereitstellung der Produktionsinformationen für die Verbrau-cher könnte eine höhere Wertschätzung der Produkte und somit eine Steigerung des Qualitätsbewusstseins erzielt werden (ATB o. J.). So könnten in einer „digitalisierten Welt“ alle Maschinen, Dienstleister, Produkte und Abnehmer zeitgleich und über alle Stufen der Wertschöpfungsketten miteinander in Echtzeit kommunizieren. Dadurch könnten bei der Vermarktung von Schlachtschweinen völlig neue Absatzkanäle ent- stehen. Bisher standen das Produkt und das Unternehmen im Mittelpunkt vieler er- folgreicher Geschäftsmodelle. In einer digitalen Welt könnte sich das Verhältnis hin zu personalisierten Produkten und Dienstleistungen (smart services) verschieben. Dabei werden die Daten des Herstellungsprozesses des Schlachtschweines zu ei- nem „Produkt“ und besitzen in diesem Zusammenhang einen Eigenwert. Dies führt dazu, dass die Datenverfügbarkeit zu einem nicht unerheblichen Wettbewerbsfaktor wird (DBV 2016).

### **3.2 Stand der Technik auf dem Beispielbetrieb "Sauenhaltung/Schweinemast"**

Der Beispielbetrieb "Sauenhaltung/Schweinemast" ist ein Familienunternehmen, geführt vom Vater (volle AK) und dem Sohn (halbe AK) und wird aus Gründen des Datenschutzes hier nicht mit Namen benannt. Es werden aktuell 120 Sauen mit Ferkelaufzucht und 300 Mastplätzen konventionell gehalten (vgl. Abbildung 41).

Produziert wird in einem Drei-Wochen-Rhythmus mit vierwöchiger Säugezeit und einer Gruppengröße von 15 Sauen. Zweimal 16 konventionelle Abferkelbuchten mit Ferkelschutzkorb werden im Rein-Raus-Prinzip genutzt. Eingeweicht, gesäubert und desinfiziert wird per Hand; dies gilt ebenso für die Ferkelaufzucht- und Mastabteile. Im Deckzentrum befinden sich drei Kleingruppenbuchten für jeweils sechs Tiere und 16 Kastenstände, in denen die Tiere einen Tag vor dem Besamen für drei Wochen fixiert werden. Das Ermitteln des optimalen Besamungszeitraumes erfolgt durch Beobachtung und handschriftliche Notizen. Jungsauen und unregelmäßige Umrauscher werden per Natursprung gedeckt. Nach einer positiven Trächtigkeitskontrolle, die manuell mit Hilfe eines Ultraschallgerätes durchgeführt wird, werden die Sauen in den Wartebereich umgestallt, der ebenfalls in Kleingruppenbuchten für je sechs Tiere unterteilt ist. Eine Woche vor dem Abferkeltermin kommen die Sauen in das Abferkelabteil. Die Fütterung erfolgt hauptsächlich über Volumendosierer, die per Futterkette befüllt werden. In den Abferkelabteilen und im Deckzentrum werden diese per Handkurbel aufgezogen. Im Deckzentrum ist eine Dribbelfütterung installiert. Es gibt zwei Futterketten. Die erste füllt die Volumendosierer im Wartebereich und im Deckzentrum, die zweite die Volumendosierer der Abferkelabteile. Die Elektromotoren der Futterketten sowie der pneumatische Antrieb der Dribbelfütterung werden über eine zentrale Steuereinheit per Knopfdruck gestartet. Gestoppt werden die Futterketten per Füllstandssensor im zweitletzten Volumendosierer der jeweiligen Futterkette. Außerdem erfolgt eine Zulage von Geburtenfutter im Abferkelabteil bis einen Tag nach der Geburt per Hand, um MMA und Schweregeburten zu vermeiden. Die Lüftungsteuerung erfolgt über den Lüftungscomputer PCS-8800 von Steinen anhand einer fest vorgegebenen Solltemperatur und einem Temperatursensor in den jeweiligen Abteilen. Die Dokumentation und Erfassung der Leistungsparameter sowie das Erstellen von Arbeitsplänen erfolgt mit Hilfe des „db-Planers“ der BHZP GmbH. Da-

bei werden die meisten Daten wie Abferkel- oder Belegungsdaten handschriftlich gesammelt und anschließend in einen stationären Computer eingegeben. Das Bestandsregister über Sauen, Aufzuchtferkel und Mastschweine wird ebenfalls mit dem „db-Planer“ geführt. Die Dokumentation über Medikamente und Impfungen, auch in der Ferkelaufzucht und Mast, erfolgt handschriftlich auf Listen, die der Tierarzt erstellt.

In der Ferkelaufzucht werden die Tiere in klein- bis mittelgroßen Gruppen von 10 - 50 Tieren, aufgeteilt in sechs Abteilen, gehalten. Die Fütterung erfolgt zweiphasig mit Breiautomaten. Das Ferkelaufzuchtfutter 1 wird per Hand vorgelegt, das Ferkelaufzuchtfutter 2 per Futterkette. Das Starten und Stoppen der Futterkette erfolgt per Knopfdruck auf einem Bedienelement. Das Ferkelaufzuchtfutter 1 wird zugekauft. Alle anderen Futterarten werden mit Hilfe einer fahrbaren Mühle selber gemischt. Die Thermostate der Warmwasserheizung und die Ansaugöffnungen der Lüfter werden ebenfalls von einem PCS-8800 anhand einer altersabhängigen Temperaturkurve und einem Temperatursensor gesteuert. Die Vermarktung der Ferkel erfolgt hauptsächlich über diverse kleinere Mäster, die Gruppengrößen von 60 - 200 Tieren kaufen. Da deswegen Ferkel aus mehreren Durchgängen gemischt werden, gestaltet sich das exakte Auswerten der Leistungsparameter sehr schwierig und wird nicht praktiziert. Das Rein-Raus-Prinzip einzelner Abteile wird weitestgehend eingehalten. Behandlungen, Verluste und Anomalien werden erst handschriftlich festgehalten und anschließend in einer Excelliste archiviert.

Die zwei Mastabteile sind in Kleinbuchten für 9 - 10 Tiere unterteilt. Gefüttert wird zweiphasig mit einer Flüssigfütterung zu festen Uhrzeiten. Die Kontrolle, ob die Tröge leer gefressen werden, erfolgt durch den Landwirt. Gesteuert wird dies automatisch durch einen Dura G-3003-E-Fütterungscomputer der Firma Buschhoff. Die Ansaugöffnung der Lüfter wird nach einer altersabhängigen Temperaturkurve und einem Temperatursensor durch einen Müller DR 1-B-Computer gesteuert. Bei Bedarf wird per Hand die Heizung zugeschaltet. Sortiert wird hauptsächlich mit dem Auge, unterstützt durch einzelne Kontrollwiegungen auf einer stationären Wage in einem Zentralgang. Die Vermarktung ist durch einen Vertrag mit der Westfleisch SCE gesi-

chert. Leistungsparameter wie Futterverbrauch, Tageszunahmen und Schlachtkörperauswertungen werden per Hand ermittelt und in Excellisten festgehalten.

Nach der Pacht weiterer Ackerflächen plant der Betrieb, einen neuen Maststall mit ca. 1800 bis 2000 Plätzen im Außengelände zu bauen. Der alte Maststall soll teilweise zum Wartebereich für die Sauen und Ferkelaufzuchtstall umgebaut und so die Herde auf 180 Sauen aufgestockt werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Beispielbetrieb aktuell auf niedrigem Niveau digitalisiert ist. Zwar gibt es einzelne automatisierte Vorgänge, wie die Lüftungssteuerung und teilweise die Dokumentation und die Fütterung, allerdings sind diese nicht miteinander verknüpft.

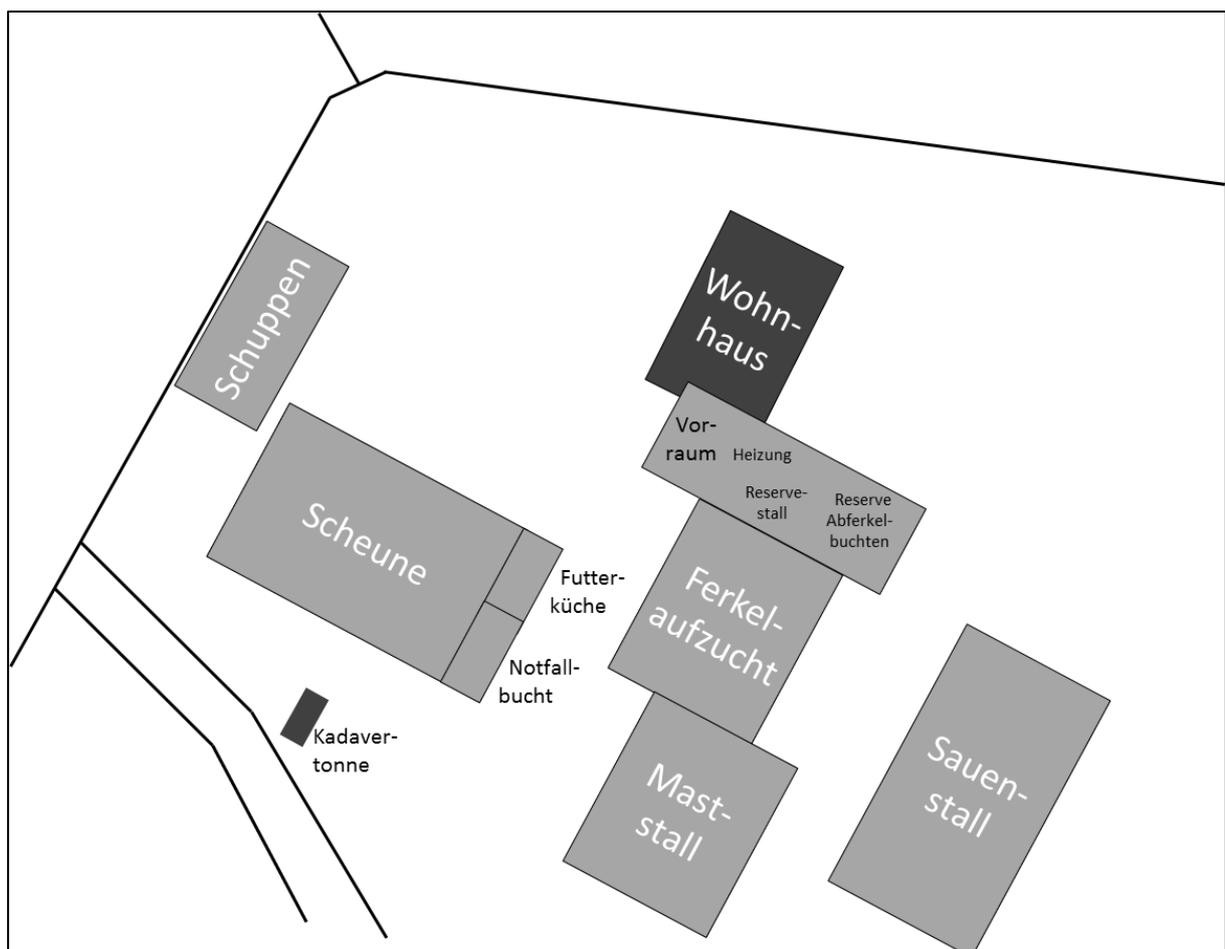


Abbildung 41: Lageplan des Beispielbetriebs "Sauenhaltung/Schweinemast"

### 3.3 Entwicklungspfade zur Landwirtschaft 4.0

#### 3.3.1 Tierkontrolle

Die möglichen Stufen der Digitalisierung in der Tierkontrolle sind in Abbildung 42 dargestellt. Um diese übersichtlich zu gestalten, wurde die Tierkontrolle in einzelne Tierwohlindikatoren unterteilt.

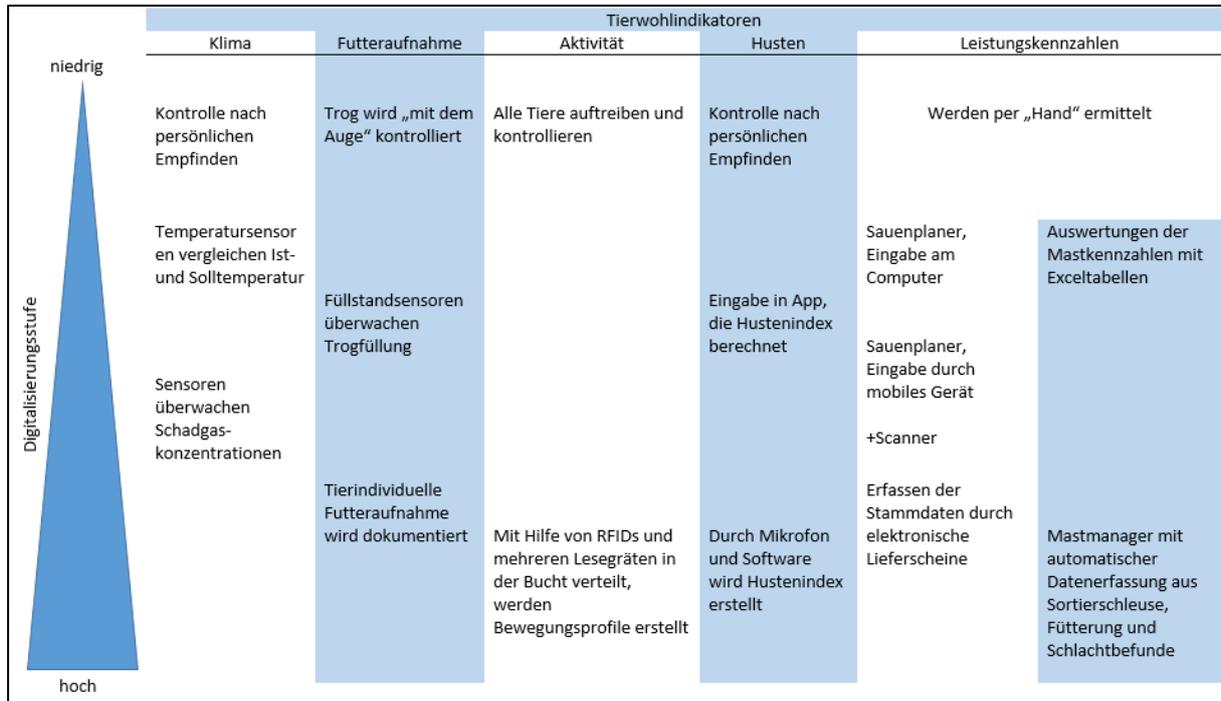
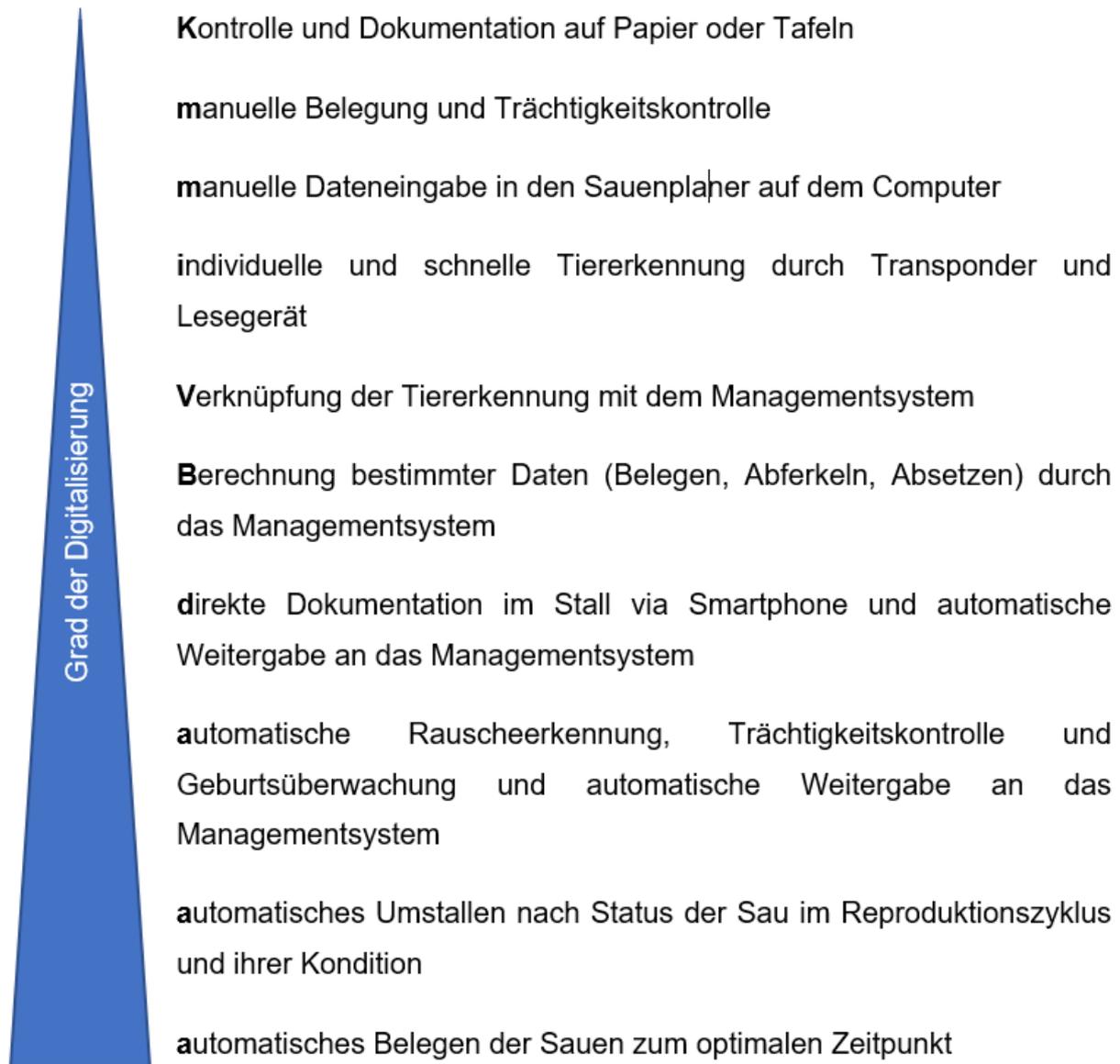


Abbildung 42: Digitalisierungspfad Tierkontrolle

#### 3.3.2 Reproduktionsmanagement

Im Reproduktionsmanagement sind gleichfalls von komplett manuellem Management mit analoger Dokumentation bis zur vollständigen Digitalisierung mehrere Stufen aufeinander aufbauender Digitalisierungsschritte vorstellbar (vgl. Abbildung 43).

Stufen der Digitalisierung in der Reproduktion:



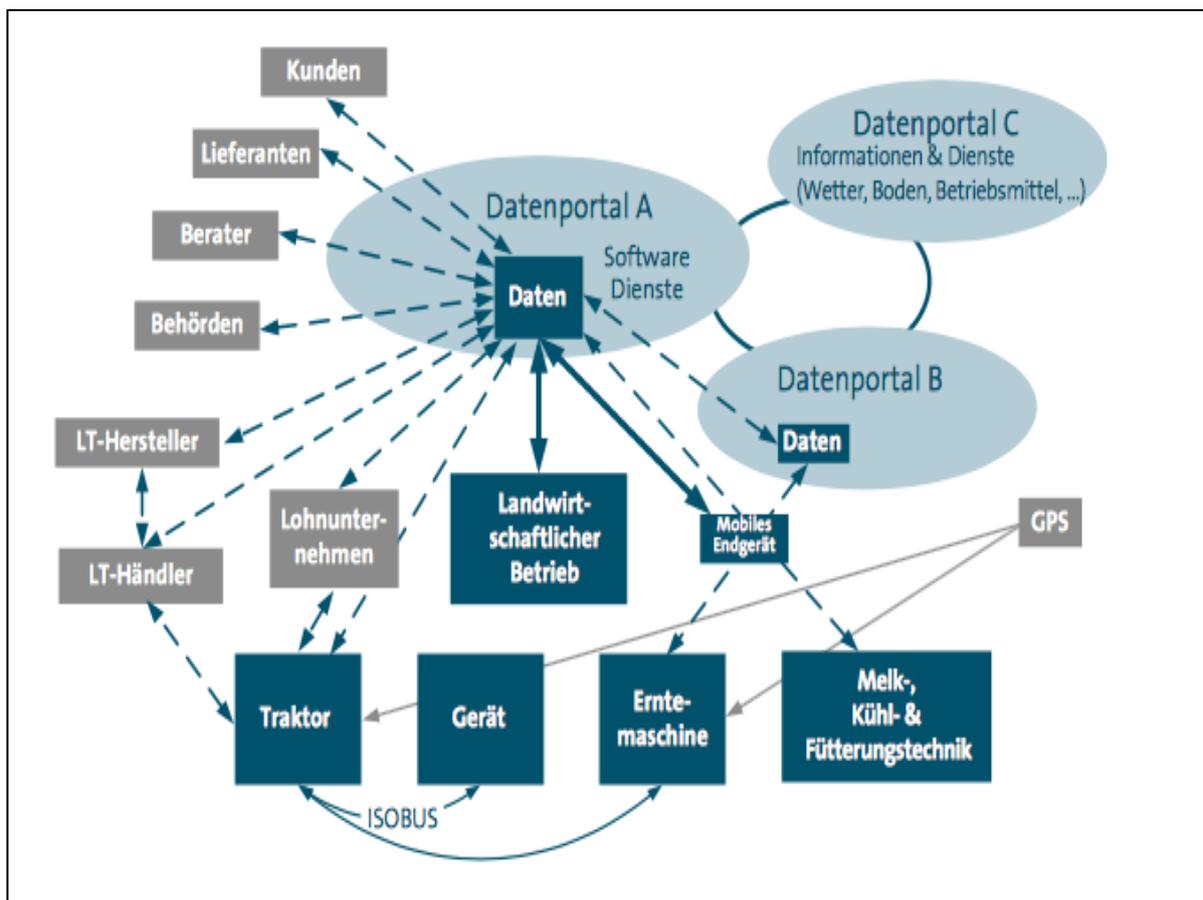
**Abbildung 43: Digitalisierungspfad Reproduktionsmanagement**

### 3.3.3 Farmmanagementsysteme

Wie bereits in 3.1.5.5 erwähnt, gewinnen indikatorgestützte Managementsysteme bei zunehmenden Betriebsgrößen rasant an Bedeutung. In diesem Prozess fungiert das Tier als Signalgeber, der Daten generiert.

Die Einsatzgebiete von Farmmanagement -Informationssystemen (FMIS) sind vielfältig; sie können auf schon vorhandenen Datenströmen und Datenportalen aufbauen (vgl. Abbildung 44). Diverse Softwarefirmen, Stalleinrichtungsfirmen und Landtech-

nikfirmen bieten für den Landwirt als Endnutzer verschiedenste betriebsindividuelle Softwarelösungen für ein effizientes Datenmanagement an (BECKMANN 2017). Durch den modularen Aufbau von FMIS können sämtliche betriebliche Konstellationen abgedeckt werden. Der Landwirt wird dadurch befähigt, sein FMIS auf betriebsindividuelle Gegebenheiten abzustimmen und auszubauen. Als Erweiterungsmodule können verschiedenste Agrar-Apps wie z.B. Sauenplaner gekauft und hinzugefügt werden (CLAAS o. J.).



Quelle: VDMA 2016

**Abbildung 44: Digitaler Netzwerkaufbau eines landwirtschaftlichen Betriebes**

Ein Ziel der FMIS ist es, die betrieblichen Prozessdatenströme zu bündeln, um diese im nächsten Schritt effizient und schnell auswerten zu können. Somit können mit Hilfe der FMIS betriebliche Prozessabläufe weiter ökonomisch optimiert werden. Zudem soll durch ein intelligentes und zielorientiertes Analysieren, Planen und Be-

obachten ein effizientes und optimales Verhältnis von Input und Output erreicht werden (NEXT FARMING o. J.).

Durch die Novellierung der Düngeverordnung und der Einführung einer Stoffstrombilanz wird erwartet, dass der Druck zur Nährstoffabgabe für die Schweinemäster in viehintensiven Regionen deutlich ansteigt. In der Vergangenheit war der Phosphorüberschuss für den Großteil der Schweinemastbetriebe der begrenzende Faktor. Im Zuge der Novellierung wird erwartet, dass es zunehmend auch zu Engpässen bei Stickstoff kommt (MEYER 2017). Der zunehmende Engpass bei Stickstoff ist darauf zurück zu führen, dass die anzurechnenden N-Verluste aus der Tierhaltung und der Güllelagerung von 30 % auf 20 % reduziert worden sind (LAUSEN 2017). Häufig gestaltet sich die Nährstoffbilanzierung recht schwierig und sehr zeitaufwändig (MEYER 2016). Im Kontext dieser aktuellen neuen gesetzlichen Herausforderungen an die fachliche Praxis im Bereich Nährstoffmanagement zeigt sich die besondere Stärke eines Farmmanagement-Systems. Der Landwirt kann aufgrund aller gesammelten Betriebsdaten direkt und einfach die Nährstoffströme aus der Tierhaltung mit den Bedarfen aus dem Ackerbau abgleichen und dokumentieren. Nährstoffüberschüsse bzw. -defizite können so schnell und einfach lokalisiert werden (FARMAFACT o. J.). Ein Verkauf von Gülle an Ackerbauern wird in veredelungsnahen Regionen zur Zeit als unrealistisch eingeschätzt. Aufgrund des hohen Gülleangebots wird Ackerbauern bis zu 8 € je Kubikmeter Gülle für die Abnahme bezahlt. Aus den Niederlanden werden für die Abfuhr überschüssiger Wirtschaftsdünger Preise zwischen 20 € bis 25 € je Kubikmeter berichtet; allerdings sind die Abgabetarife regionalen Schwankungen unterworfen. Durch die Aufnahme von Gülle könnten Ackerbauern zusätzliche Einnahmen generieren und Nährstoffe kostengünstig im Ackerbau verwenden (FRITZ 2016).

### **3.3.4 Systemlösungen**

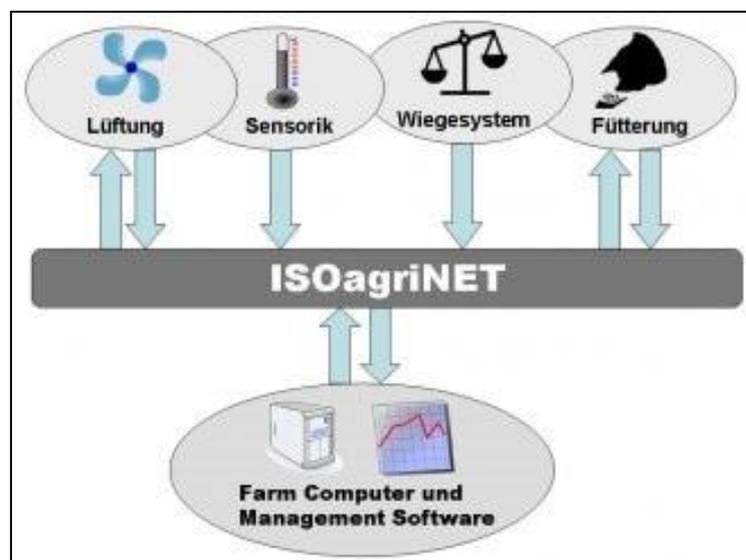
#### **3.3.4.1 StallMaster der Firma Hölscher + Leuschner**

Der *stal*/MASTER der Firma Hölscher + Leuschner ist ein Komplettprogramm für die Schweinemast. Dabei werden alle Daten der Lüftungs-, Fütterungs- und Vermarktungstechnik gespeichert und automatisch analysiert. So werden im so vernetzten

Maststall kontinuierlich die Kennzahlen zum aktuellen Durchgang ermittelt und dargestellt. Der Landwirt hat so einen aktuellen Überblick über Tageszunahmen, Futterverwertung und weitere Parameter. Bei extremen Abweichungen erfolgt eine Meldung an den Landwirt. Dadurch kann auf eventuell entstehende Probleme schneller reagiert werden, was insgesamt zu einem besseren Ergebnis führt. Außerdem verarbeitet das Programm automatisch Schlachtergebnisse und zeigt so an, ob die Sortierung und der Vermarktungskanal passend ist oder geändert werden muss (HÖLSCHER UND LEUSCHNER o. J.a).

### 3.3.4.2 ISOagriNET Datenschnittstelle

Unter dem Begriff ISOagriNET ist ein Standard nach ISO 17532:2007 geschaffen worden, um der steigenden Vernetzung innerhalb der Innenwirtschaft im Bereich der Landtechnik gerecht zu werden. Hierdurch wird eine herstellerübergreifende Norm geschaffen, um den Datentransfer zwischen verschiedenen Systemen zu ermöglichen. Durch den Standard wird die Vernetzung erleichtert. Die Daten von Prozessrechnern wie jene zur Fütterung und zur Lüftung können so automatisch ausgetauscht werden (ISOAGRI NET o. J.; vgl. Abbildung 45).



Quelle: ISOagriNET o. J.

Abbildung 45: ISOagriNET Funktionsweise

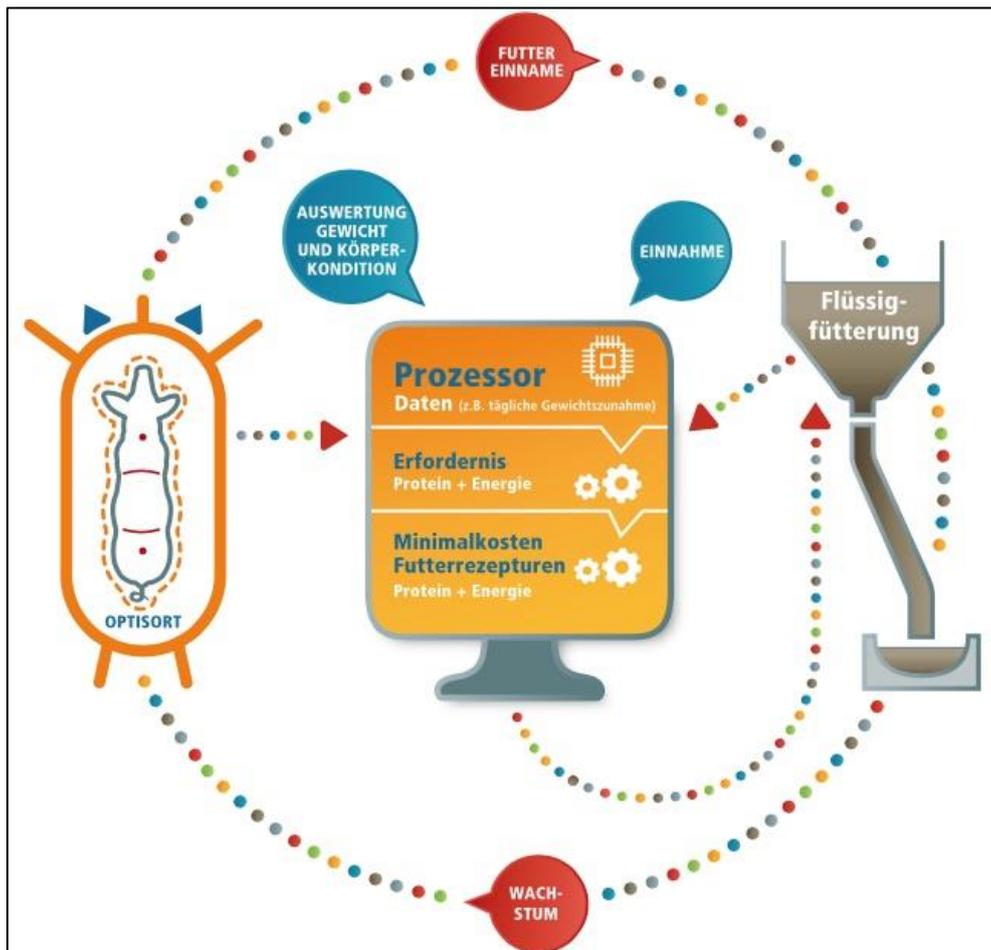
### 3.3.5 Fütterung

Die Schaffung einer Schnittstelle zwischen dem Fütterungscomputer und den zahlreichen weiteren "smarten" bzw. digitalen Anwendungen hat in der „Tierhaltung 4.0“ höchste Priorität. Mit dem SmartControl Konzept von Schauer Agrotonic können durch die Anwendung einer einzigen App mehrere verschiedene Geräte bedient sowie kontrolliert werden. Völlig automatisch verbindet sich das Mobilgerät mit der gewünschten Anlage. Eine einfache und leicht zu bedienende Menümaske gibt einen Überblick über jedes verbundene Gerät. Die neue Technologie lässt eine digitale Bedienung der Futterstation zu. Der Betriebsmodus kann je nach Zyklusabschnitt gewählt werden. Des Weiteren überprüft die Station jeden Schritt, um einen reibungslosen Ablauf zu sichern. Neben der Ansteuerung des Futters übernimmt das System die Vorratskontrolle sowie Datenerfassung und -speicherung (SCHAUER AGROTRONIC o. J.d).

Außerdem entwickelte die Agrarfirma Prüllage Systeme GmbH jüngst eine App für die digitalisierte Landwirtschaft. Die sogenannte Extensions-App-Plattform vereint die verschiedenen Aufgabenbereiche der Schweinefütterung in Einem und arbeitet darüber hinaus mit anderen Farmmanagementsystemen zusammen. Sie fungiert als universale Schnittstelle, indem zusätzliche Module, beispielsweise aus den Bereichen Schweinemarkt, Klima oder Tierkontrolle in die Software eingespeist und bei der Auswertung miteinbezogen werden. Per Smartphone, Tablet oder PC kann einfach darauf zugegriffen werden. Ähnlich wie bei anderen Systemen zur automatischen Futterbestellung können Silofüllstände an die jeweiligen Lieferanten übersandt und somit eine sichere und pünktliche Futterbestellung und -lieferung gewährleistet werden. Weiterhin besteht die Möglichkeit, Betriebsauswertungen und Berichte direkt an den Steuerberater oder andere Institutionen zu senden. Ein Nährstoffrechner erweitert das Futtermangement. Zusätzlich fließen Daten von Kosten und Verbräuchen sowie Kurveneinstellungen der Fütterung mit in den Managementplan ein. Mit Hilfe einer Kamera können Stallungen in Echtzeit überwacht werden. Ein Erfahrungsaustausch unter den Extensions-App-Nutzern realisiert ein Live-Chat. Die Erweiterung der Prüllage Softwaresysteme durch weitere Apps ist jederzeit möglich. Der Landwirt arbeitet mit einer zentralen Schaltzentrale und erspart sich somit eine

riesige Sammlung verschiedener Programme, welche womöglich nicht einmal kompatibel sind (PRÜLLAGE SYSTEME 2016).

Die Technik Closed LOOP FEEDING von Hölscher und Leuschner fungiert mit einem geschlossenen Regelkreis in der Futterrationsgestaltung (vgl. Abbildung 46).



Quelle: HÖLSCHER + LEUSCHNER o. J.c

**Abbildung 46: Regelkreis des Closed LOOP FEEDING Systems**

Diese automatisierte Einstellung hat den großen Vorteil der zeitnahen Reaktion auf veränderte Rahmenbedingungen. Eine ständige Optimierung der Einsatzfaktoren wird erreicht. Körpergewicht sowie Futteraufnahme jedes Tieres wird täglich erfasst und ausgewertet. Des Weiteren wird die Ration automatisch so gestaltet, dass Protein- und Energiegehalt kontinuierlich auf das Einzeltier angepasst wird. Aus der bekannten Multiphasenfütterung entwickelt sich eine permanent adaptive Fütterung mit

ständiger Variation unter Einbindung von Grundfutter in Kombination mit Ergänzungsfuttermitteln. Neben der signifikanten Senkung von Futterkosten erreicht Closed LOOP FEEDING eine Reduzierung der Stickstoffausscheidungen. N-Einträge in die Umwelt sowie Ammoniak-Emissionen vermindern sich nachweislich. Durch bessere Zunahmen werden höhere Schlachterlöse erzielt. Die Wirtschaftlichkeit eines landwirtschaftlichen Unternehmens soll durch Closed LOOP FEEDING nachhaltig verbessert werden (HÖLSCHER + LEUSCHNER o. J. c). Der größere Kontext dieser Anwendung mit seinen Zusammenhängen und Abhängigkeiten ist in der vorne aufgeführten Abbildung 44 dargestellt.

### **3.3.6 Lüftung/Klimasteuerung: Ammoniaksensor Dräger Polytron C300**

Der Ammoniaksensor Dräger Polytron C300 ist speziell für den Einsatz in der Nutztierhaltung entwickelt worden. Er ist mit dem elektrochemischen Dräger-Sensor NH<sub>3</sub>-AL ausgestattet, der eine kontinuierliche Messung der Ammoniakkonzentration ermöglicht. Es ist dabei keine Justierung erforderlich. Eine Beeinflussung durch andere Gase der Stallluft ist nach Herstellerangaben nicht vorhanden.

Eine Anbindung des Sensors an Klimacomputer ist möglich. Hierfür wird ständig über ein 0 – 10 Volt-Ausgang ein kontinuierliches Signal abgegeben, das für die Lüftungssteuerung genutzt werden kann. Durch die Kenntnis der genauen Ammoniakkonzentration ist ein verbessertes Eingreifen in die Klimasteuerung möglich und die Tiergesundheit kann verbessert werden (DRÄGER 2016).

## **3.4 Entwicklungsoptionen für den Beispielbetrieb mit Chancen und Risiken**

### **3.4.1 Kurzfristig**

Eine Aufrüstung mit neuen digitalen Systemen ist für den schweinehaltenden Beispielbetrieb unbedingt zu diskutieren. Zielsetzung ist dabei die Verbesserung der Tierhaltung und des Umweltschutzes sowie eine Optimierung der Betriebsabläufe. In Folge dessen ist eine Steigerung der Wirtschaftlichkeit des Unternehmens zu erwarten. In Anbetracht der geplanten Um- bzw. Neubauten sind kurzfristig aber nur digitale Anwendungen mit sehr geringen Investitionskosten zu empfehlen. Eine Möglichkeit wäre die kostenlose App „Husten Index Kalkulator“. Eine weitere Möglichkeit wäre

re die Dateneingabe in den Sauenplaner über ein mobiles Gerät. Es ist mit ca. 100 € Investitionskosten für ein passendes Gerät zuzüglich einer Gebühr von 70 € pro Jahr für die Freischaltung der entsprechenden Funktion zu kalkulieren.

Im Bereich der Lüftung sind heutzutage Klimacomputer Standard, wie sie auch schon auf dem Beispielbetrieb vorhanden sind. Bei neueren Modellen sind inzwischen je nach Hersteller der Bedienkomfort, die Übersichtlichkeit und insgesamt die technischen Möglichkeiten gesteigert worden. Dazu zählen Temperaturkurven, Möglichkeiten der automatischen Stallkühlung, der Fernzugriff bei Internetanbindung sowie erweiterte Auswertungsmöglichkeiten der einzelnen Kurven. Da auf dem Betrieb keine Probleme mit der Lüftung bekannt sind, ist kurzfristig von teuren Investitionen in diesem Bereich abzusehen. Der erzielte Mehrnutzen wäre zu gering.

Die kostengünstige App Futter *knAPP* ist leicht in den Betrieb zu integrieren und einfach in der Handhabung. Auf Basis der vorhandenen Futterbestände und dem täglichen Futterbedarf berechnet die App den aktuellen Futterbestand und den voraussichtlichen Bestelltermin.

### **3.4.2 Langfristig**

Der Neu- bzw. Umbau sind gute Gelegenheiten zur Digitalisierung des Betriebs, um langfristig zukunftsfähig zu bleiben. Digitale Anwendungen bieten sinnvoll eingesetzt die Möglichkeit zur Steigerung der Effizienz vieler Produktionsfaktoren wie Arbeit, Futter oder Energie und können so zu einer umweltschonenden und tierfreundlichen Schweinehaltung, wie sie heute gesellschaftlich gefordert wird, beitragen. Grundsätzlich ist vor einer Investition in die weitere Digitalisierung zu überlegen, ob man sich für ein möglichst umfassendes Komplettprogramm eines Anbieters entscheiden soll. Hierunter würden beispielsweise die Programme *stal//MASTER* von Hölscher und Leuschner fallen oder BigFarmNet der Firma Big Dutchman. Alternativ wären herstellerübergreifende Verknüpfungen über die ISOagriNET-Schnittstelle denkbar, wenn bei den anstehenden Investitionen auf eine entsprechende Zertifizierung geachtet wird. Ob eine Erweiterung der Lüftungssysteme durch Messfühler zur Bestimmung der Schadgaskonzentration sinnvoll bzw. notwendig ist, sollte sich beim Praxiseinsatz dieser Systeme zeigen.

Insgesamt ist vor dem Hintergrund der Betriebssicherheit zu hinterfragen, ob es sinnvoll ist, die komplette Stalltechnik über ein einziges integriertes System laufen zu lassen. Bei einem Ausfall des Netzwerks würden so nicht nur einzelne Komponenten stillstehen, sondern gleich der gesamte Tierhaltungsbetrieb. Es ist zu überlegen, ob nicht eine Trennung von überlebenswichtigen Bestandteilen wie beispielsweise Fütterung und Lüftung sinnvoll ist.

Darüber hinaus steigt zumindest die Gefahr von Angriffen auf die IT-Systeme, wenn sie ins öffentliche Internet eingebunden sind. Dies gilt sowohl für das unbeabsichtigte "Einfangen" von Schadsoftware, als auch gezielte Hacker-Angriffe auf die Systeme. Solange entscheidende Bedienfunktionen aber nur im Stall ausgeführt werden können und ein Fernzugriff auf sie nicht möglich ist bzw. nur eine Fernüberwachung eingerichtet ist, würde diese Gefahr minimiert.

Auf der anderen Seite ergeben sich durchaus sinnvolle Möglichkeiten durch die Netzwerkanbindung. Hierzu zählt die Möglichkeit von Fernwartungen bei Problemen, indem sich der Hersteller über das Internet in die lokalen Systeme einloggen kann. Außerdem kann auch der Betriebsleiter von anderen Orten aus seine Systeme überwachen und steuern.

Der aktuell verwendete klassische Volumendosierer mit manueller Futterkette und Handkurbel fordert viel Arbeitszeit und -kraft. Dieser ließe sich durch einen elektrischen Volumendosierer ersetzen und könnte so die Arbeitseffizienz steigern. Eine Ergänzung der Technik mit der Spotmix-Multiphasenfütterung könnte weiterhin die Zugabe des Geburtenfutters vollautomatisch, individuell und ohne Mehraufwand ermöglichen. So würde die manuelle und zeitintensive Beimischung dieser Futterkomponente entfallen. Jedoch ist die Rentabilität einer solchen Technik aufgrund ihrer Anschaffungskosten kritisch zu hinterfragen. Für den Beispielbetrieb mit 120 Sauen ist der Einbau einer Abrufstation im Hinblick auf die hohen Investitionskosten wirtschaftlich fraglich.

Eine mehrphasige Fütterung ist besonders in der Ferkelaufzucht zu empfehlen, um den Jungtieren sowohl einen reibungslosen Übergang von der Säugezeit in die Ferkelaufzucht, als auch einen optimalen Start in die Schweinemast zu bieten. Anstelle

der auf dem Praxisbetrieb durchgeführten zweiphasigen Fütterungen, teilweise per Hand, bestünde die Option, mit Hilfe des hybriden Aufteilungssystems Babyfeed Kleinstmengen automatisch vorzulegen und die relevanten Daten zu dokumentieren (SCHAUER AGROTONIC o. J.a). Dies würde nicht nur das Fütterungsmanagement besser auf die Anforderungen der Aufzuchtferkel abstimmen, sondern auch eine Arbeitersparnis für den Landwirt mit sich bringen. Dennoch ist auch hier das Kosten-Nutzen-Verhältnis aufgrund hoher Anschaffungskosten in Relation zu den vergleichsweise wenigen Ferkelaufzuchtplätzen und den kleinen Gruppengrößen zu diskutieren.

Die bisher vergleichsweise kleine Gruppengröße von neun bis zehn Tieren erschwert eine Digitalisierung hinsichtlich der Mastfütterung im Beispielbetrieb erheblich. Erst ab einer Gruppengröße von 250 bis 400 Mastschweinen lohnt sich die Investition in eine Sortierschleuse (MEYER 2013). Wird die vom Praxisbetrieb geplante Vergrößerung der Mast realisiert, kann die Anschaffung einer Sortierschleuse in Betracht gezogen werden. Eine erhebliche Arbeitseinsparung sowie eine optimierte Vermarktung im Hinblick auf den Schlachtzeitpunkt und die Schlachtgewichte könnte so ermöglicht werden. Zu berücksichtigen ist hierbei allerdings, ob auf der Grundlage der eigenen Ferkelproduktion ausreichend große und homogene Gruppen möglich sind. Kritisch wird es dann, wenn bis zum kommenden Jahreswechsel (01.01.2019) immer noch keine Lösung zur Ferkelkastration gefunden ist. Wenn dann für eine Ebermast die Tiere getrenntgeschlechtlich aufgestellt werden müssen, würden die zur Verfügung stehenden Tiere zur Bildung größerer nicht ausreichen.

Des Weiteren ist zu diskutieren ob Innovationen zur Datenspeicherung, wie beispielsweise das Softwaresystem Pigtool, anzuschaffen sind. Die Dateneinpfelegung und -verarbeitung könnte so in einem automatischen Arbeitsprozess übernommen und die verschiedenen tier- und gruppenspezifischen Indikatoren könnten in einen übergeordneten Zusammenhang gesetzt werden (FARMTOOL FARMSOFTWARE o. J.). Die frühere manuelle und zeitaufwändige Dateneingabe und -sammlung mit Hilfe von Excel würde so sinnvoll ersetzt werden.

Als mögliches digitales Zukunftsfeld in der Tierhaltung und Vermarktung kann die fortschreitende Vernetzung aller Produktionsabläufe der Schweinehaltung bis zum Endverbraucher identifiziert werden. Insbesondere die Berücksichtigung gesellschaftlicher Anforderungen an Ökosystemleistungen und das Tierwohl in der Schweinehaltung könnten in den Fokus der zukünftigen Vermarktung gestellt werden. Hierzu müssten noch produktbezogene Indikatoren identifiziert und in der Praxis etabliert werden. Diese Herangehensweise wird als grundlegend betrachtet, um die komplexen Produktionsprozesse in der Schweinehaltung für die Gesellschaft transparent und verständlich zu gestalten. Hierbei sollten Ökosystemleistungs- und Tierwohl-Parameter in den Fokus gestellt werden. Um diese nicht physischen Produktparameter neutral und transparent bewerten zu können, müssten von der Forschung noch Modelle entwickelt werden, welche die physiologischen Prozesse in der Schweinehaltung entsprechend abbilden.

Dazu ist es erforderlich, Sensoren weiter zu automatisieren und kontinuierlich weiterzuentwickeln (ATB o. J.). Als Datengrundlage für die Entwicklung von Modellen oder für Parameter von Tierwohlkriterien könnten die Schlacht- und Befunddaten der Schlachtunternehmen miteinbezogen werden (IQ Agrar o. J.).

Ein weiteres Themenfeld, welches in der zukünftigen Vermarktung eine starke Berücksichtigung finden könnte, ist eine an die Ansprüche von Konsumenten und Gesellschaft angepasste (Tier-) Produktion. Wie in allen Wertschöpfungsketten geht es dabei um hohe Produkt- und Umweltqualitäten. Dabei sollten neben der Rückverfolgbarkeit und Transparenz der Produktionsprozesse, die zusätzlichen Produktionsleistungen für die Gesellschaft ökonomisch bewertet werden. Eine zeitnahe Befriedigung des Informationsbedarfs und der Erwartungshaltung der Gesellschaft könnte Chancen auf neue Absatzkanäle eröffnen (ATB o. J.).

Insgesamt ist die Digitalisierung eine große Chance für die Tierhaltung und die Landwirtschaft insgesamt, jedoch treibt dieser Trend auch den Strukturwandel weiter voran. Hierdurch geraten kleinere Betriebe, welche sich die teure Technik nicht leisten können, weiter unter Druck und müssen teilweise aufgeben. Häufig wird auch ein großes Risiko für die Landwirte in der Weitergabe und Speicherung von Daten auf

zentralen Plattformen gesehen. Hierdurch könnten landwirtschaftliche Betriebe "zu durchsichtig" und/oder (z.B. durch vollständige Transparenz ihrer Margen und Bedarfe) abhängig von großen Unternehmen der vor- und nachgelagerten Bereiche werden (BIEDERSTÄDT 2017).

Die Digitalisierung in der Schweinehaltung bringt vor allem ständige und leichte Kontrolle und Dokumentation sowie eine Arbeitserleichterung für die Landwirte mit sich. Aufgrund der vergleichsweise hohen Investitionskosten sowie der unsicheren wirtschaftlichen Lage auf dem Schweinemarkt ist es allerdings fraglich, ob sich die oben beschriebene Systeme zur Digitalisierung und Überwachung der Reproduktion für den Beispielbetrieb lohnen. Hierfür scheint, in Bezug auf das Kosten-Nutzen-Verhältnis und die Betriebsgröße, ein Eberticketfenster eine gute Lösung zu sein, um umrauschende Sauen in der Gruppe frühzeitig zu erkennen. Auch die Geburtsüberwachung per „Sow Cam“ ist recht leicht umsetzbar und kann für den Beispielbetrieb ohne Angestellte eine große Zeitersparnis ermöglichen. Dadurch würde sich dem Betriebsleiter zum Zeitpunkt der Abferkelung die Möglichkeit bieten, die Zeit, die er sonst zur Kontrolle im Stall verbringt, sinnvoll anders zu nutzen.

Schlussfolgernd bleibt jedoch festzuhalten, dass eine zunehmende Modernisierung der Unternehmen nahezu unabdingbar ist, um dem immer höher werdenden Konkurrenzdruck Stand zu halten. Ein Schweinebetrieb mit modernen Technologien ist nicht nur aus ökonomischer Sicht für den Halter anzustreben, sondern steht letztendlich auch in positiver Korrelation mit der Gesundheit und dem Wohlbefinden der Tiere.

## **4 Milchviehhaltung**

In der Milchviehhaltung findet der Bereich der Automatisierung und Digitalisierung ebenfalls großes Anwendungspotenzial. Autonome Komponenten oder vollautomatisierte Systeme wie Melkroboter, Fütterungsautomaten oder Spaltenreiniger, sind bereits in den Ställen verbreitet (DBV 2016). Durch digitale Technik im Kuhstall können Produktivität und Ressourceneffizienz erhöht werden. Die Automatisierung und Digitalisierung helfen aber auch dabei, dem Umwelt- und Naturschutz sowie den Kriterien des Tierwohls sowie allgemein den steigenden Anforderungen von Politik und Gesellschaft gerecht zu werden. Außerdem kann durch ein entsprechendes Managementprogramm in Kombination mit der passenden Technologie auf unzählige Daten zurückgegriffen werden und so z.B. zu jeder Zeit eine individuelle Tierbetreuung stattfinden (BWV-RLP 2016).

### **4.1 Stand der Technik in der Milchviehhaltung**

#### **4.1.1 Fütterungstechnik**

Im Bereich der Fütterung können Vorgänge automatisiert und digitalisiert werden. Dafür stehen verschiedene Systeme zur Verfügung. Der „Lely Vector“ (vgl. Abbildung 47) zum Beispiel kombiniert einen mobilen Vertikalmischer mit einem Futterküchenkonzept. Die verschiedenen Rationsbestandteile werden in der Futterküche eingelagert und dort, der eingestellten Ration entsprechend, von einem schienengeführten Greifarm in den Vertikalmischer eingefüllt (Abbildung 47 links). Es ist möglich, Futtermengen für bis zu drei Tage im Voraus einzulagern. Nach einer gründlichen Vermischung der Komponenten fährt der mobile Mischer selbstständig in den Stall. Dabei orientiert er sich an in den Boden eingelassenen Metallstreifen. Im Stall selbst liegen keine Metallstreifen, dort wird die Umgebung über Ultraschallsensoren erfasst. Die richtige Stelle zum Abladen kann über eine Berechnung der zurückgelegten Strecke angesteuert werden. Der „Lely Vector“ schiebt das Futter selbstständig nach und kann dabei mit Hilfe eines Futterhöhsensors erfassen, wie viel er nachfüttern muss, damit die eingestellte Futterhöhe wieder erreicht wird. Auf diese Weise kann eine höhere Anzahl an Fütterungen pro Tag umgesetzt werden (PROFI 2014). Auch eine gruppenindividuelle Fütterung und Rationierung ist möglich (GRAND RIVER ROBOTICS o. J.).



Quelle: LELY 2018

**Abbildung 47: „Lely Vector“ bei der Befüllung in der Futterküche und während des Futtevvorganges**

Die Firma Strautmann stellte auf der Agritechnica 2017 ein Add-On System für ihren selbstfahrenden Futtermischwagen „Verti-Mix SF“ vor. Der „Verti-Q“ (vgl. Abbildung 48) ermöglicht eine autonome Durchführung von sämtlichen Arbeitsschritten, also von der Futteraufnahme, dem Transport, dem Mischen und dem Austragen im Stall. Die Steuerung erfolgt über eine Anzahl an Sensoren, wobei die Rangierung über GNSS (Global Navigation Satellite System) und die dreidimensionale Erfassung der Umgebung über einen um seine eigene Achse rotierenden 3D-Laserscanner die zentralen Elemente ausmachen. Ein Industrierechner verarbeitet die Daten, definiert die nötigen Prozessschritte und steuert die Arbeitsfunktionen der Maschine an. Zusätzlich zu der Funktion als Selbstfahrer kann der „Verti-Q“ auch manuell bedient und somit zur konventionellen Fütterung genutzt werden (STRAUTMANN o. J.).



Quelle: STRAUTMANN o. J.

**Abbildung 48: Autonomer Selbstfahrer „Verti-Q“ der Firma Strautmann**

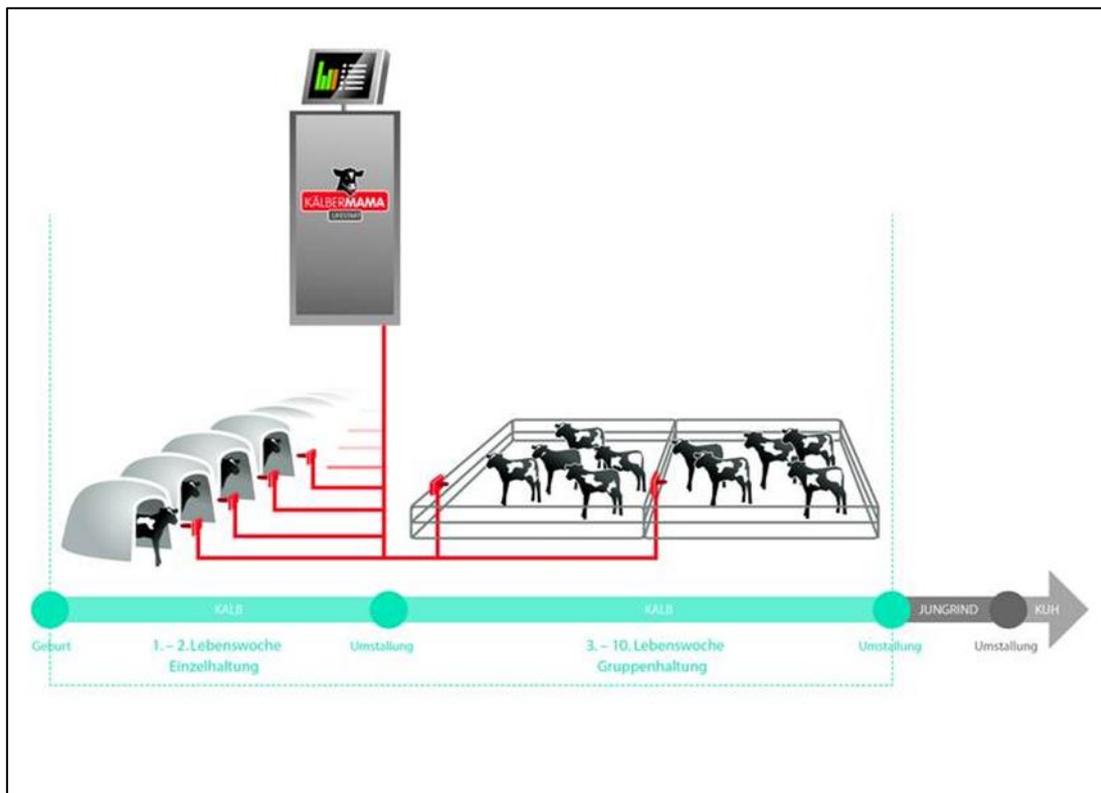
#### **4.1.2 Kälberaufzucht**

Die Kälberaufzucht legt den Grundstein für eine erfolgreiche und leistungsstarke Milchviehhaltung. Im Laufe der Zeit hat die Kälberaufzucht an Bedeutung gewonnen, da nur durch eine sorgfältige Aufzucht eine gesunde und produktive Milchkuh entstehen kann.

Nicht nur die Verfahren der Kälberaufzucht veränderten sich im Laufe der Zeit, auch die Technik wurde permanent weiterentwickelt. So wurde der Tränkeimer zum Teil von Tränkeautomaten abgelöst. Mit deren Hilfe ist es möglich, Kälber ab dem zweiten Lebenstag voll automatisiert zu versorgen. Durch die Verwendung von Transpondern am Halsband jedes Kalbes ist eine tierindividuelle Fütterung möglich. Ein weiterer Vorteil ist die automatische Erfassung verschiedener Parameter, die Aufschluss über die Verfassung des Tieres geben können, wie zum Beispiel die Messung der aufgenommenen Milchmenge (ELITE 2015b S.10).

Die sogenannte „Kälbermama Lifestart“ ist ein Tränkeautomat von Urban Fütterungstechnik, der die Möglichkeit hat, von einem Automaten aus mehrere Saugstellen zu

bedienen (vgl. Abbildung 49). Er ist für die Haltung von Kälbern in (Gruppen-)Iglus und einzelnen Kälberhütten geeignet. Die Tränkesysteme sind in der Lage, den Nuckel nach jedem Vorgang zu desinfizieren. Zusätzlich zur aufgenommenen Milchmenge kann die Sauggeschwindigkeit ermittelt werden. Alle Daten des Tränkeautomaten können am Touchscreen des Gerätes, aber auch am Smartphone oder Tablet, überwacht und ausgewertet werden. Auch eine Futterkurve kann über diese Geräte eingestellt werden. Abweichungen in der aufgenommenen Milchmenge oder der Sauggeschwindigkeit können Hinweise auf einen veränderten Gesundheitsstatus eines Kalbes sein (URBAN 2017).



Quelle: BRÄUER STALLTECHNIK o. J.

**Abbildung 49: Schematische Darstellung des Tränkeautomaten „Kälbermama Lifestart“ von Urban Stalltechnik für die Einzel- und Gruppenhaltung von Kälbern**

Die Verknüpfung mit weiteren tierbezogenen Daten kann dem Landwirt umfassendere Informationen und Managementmöglichkeiten bieten. So ist es möglich, mit einer Waage im Tränkeautomat das Gewicht der einzelnen Kälber zu ermitteln, um so die Ration optimal anzupassen. Auch die Verknüpfung eines Tränke- und Kraffutterau-

tomaten bietet Vorteile. Dabei werden die jeweils aufgenommenen Mengen an Milch und Kraftfutter dokumentiert und der Abtränkprozess kann voll automatisch gesteuert werden (FÖRSTER-TECHNIK 2017).

Neben den Tränkeautomaten gibt es auch in der Eimerfütterung Systeme, durch die einzelne Arbeitsschritte erleichtert und zum Teil auch automatisiert werden können. Ein Beispiel hierfür stellt das "Milchtaxi 4.0" der Firma Holm und Laue dar (vgl. Abbildung 50).



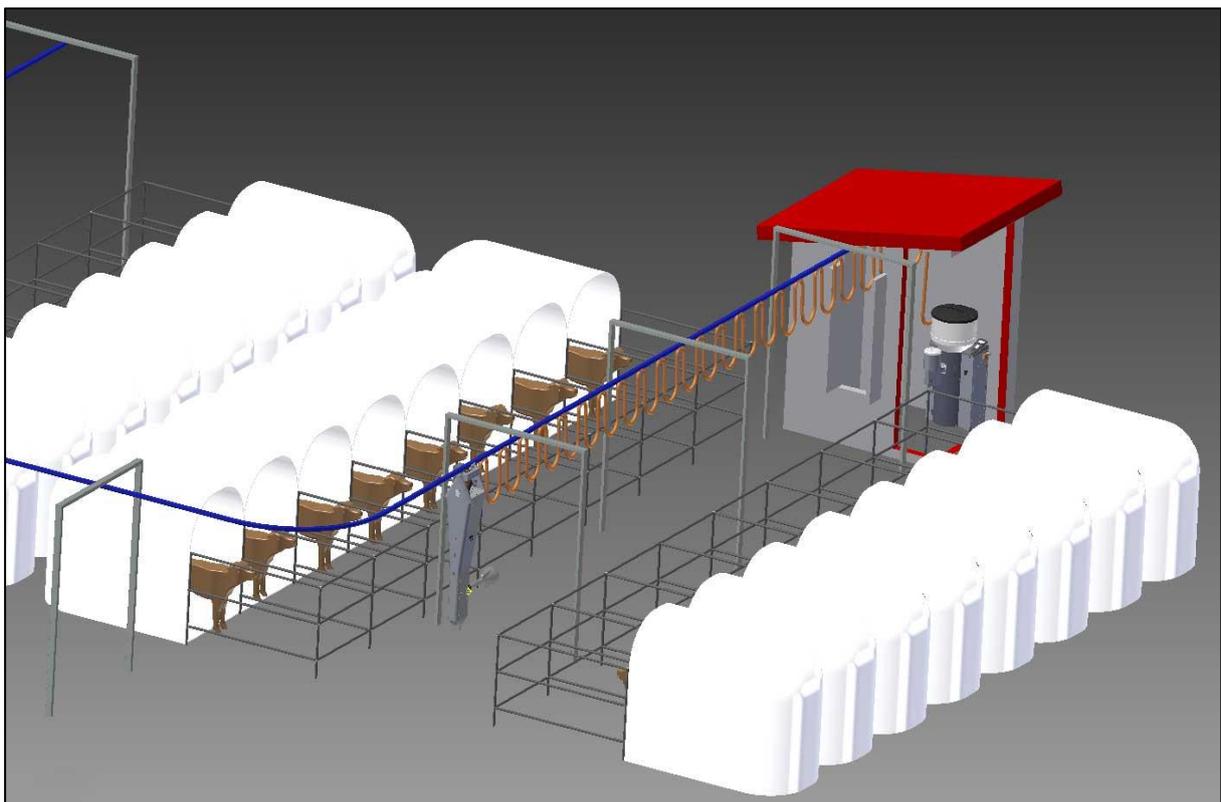
Quelle: HOLM & LAUE GmbH & Co. KG 2018

**Abbildung 50: Milchtaxi der Firma Holm und Laue**

Der Mischbehälter für den Milchaustauscher befindet sich auf einem Wagen, der an den Kälberboxen entlang geschoben werden kann. Über einen Hebel am Griff kann die angemischte Milch dann mit Hilfe eines Rohres direkt in die Tränkeimer dosiert werden. Dabei erkennt das Milchtaxi über einen an der Kälberbox angebrachten Transponder das Kalb und kann durch die hinterlegten Daten (Alter und Futterkurve) die erforderliche Menge an Tränke eigenständig dosieren. Bei der Anmischung in der Futterküche errechnet das System, welche Menge insgesamt für die anstehende Fütterung benötigt wird. Der Landwirt hinterlegt einmalig die Größe der Schaufel für das

Milchpulver und die gewünschte Konzentration der Mischung. Aus diesen Daten errechnet das System, wie viel Wasser und Pulver benötigt wird. Die eingefüllte Wassermenge wird ebenfalls automatisch erfasst. Über diese Messung des Füllstandes ist auch eine Zumischung von Vollmilch möglich, da das Milchtaxi die eingefüllte Milchmenge erfasst und daraus errechnet, wie viel Pulver und Wasser noch für die gewünschte Konzentration zudosiert werden müssen. Sämtliche Daten werden im zugehörigen Herdenmanagementprogramm gespeichert. Zudem kann auf diese Weise jederzeit der Status des Milchtaxis eingesehen werden, zum Beispiel bezüglich eines Pasteurisierungsvorganges (SCHRIJVER STALLINRICHTUNG 2017).

Eine weitere automatisierte Form der Fütterung von Kälbern in Einzelboxen und Gruppen ist das sogenannte „Calf Rail“, wie in Abbildung 51 dargestellt.



Quelle: FÖRSTER-TECHNIK 2017

**Abbildung 51: Darstellung des „Calf-Rail Systems“ von Förster-Technik**

Hierbei wird ein Tränkenuckel über eine Schiene von Box zu Box gebracht und kann so bis zu 32 Kälberboxen in einer Reihe versorgen. Die im zentralen Milchautomat

immer frisch angerührte Milch gelangt durch einen Schlauch, angetrieben von einer Schlauchpumpe, zum mobilen Nuckel (ELITE 2015b S.11).

Eine weitere Entwicklung der Firma Förster-Technik ist das „Smart Calf System“. Es beinhaltet die drei Komponenten „Smart Drink Station“, „Smart Neckband“ und „Smart Water“ (vgl. Abbildung 52).



Quelle: FÖRSTER-TECHNIK o. J.

**Abbildung 52: Die drei Bestandteile des Smart Calf Systems von Förster Technik: Smart Drink Station, Smart Neckband und Smart Water Station**

Die „Smart Drink Station“ soll den Tränkeprozess dem natürlichen Saugen an der Kuh nachempfinden. Der Nuckel ist in zwei Achsen beweglich und ermöglicht es dem Kalb, den natürlichen Euterstoß durchzuführen. Abweichungen von üblichen Bewegungsmustern werden gemeldet. Das „Smart Neckband“ erleichtert die Tierkontrolle insofern, als dass an jedem Halsband neben dem Responder eine LED-Signallampe angebracht ist. So sind Problemtiere schnell zu erkennen. Auch Tiere mit Tränkeanrecht können auf einen Blick identifiziert werden. Die „Smart Water Station“ misst die individuelle Wasseraufnahme und kann auf diese Weise Rückschlüsse auf den Zustand jedes einzelnen Kalbes geben. Die Wasseraufnahme ermöglicht Aussagen über den Gesundheitszustand des Tieres oder kann für das Abtränken genutzt werden. Die gesammelten Daten werden über ein WLAN-Signal in der „Calf Cloud“ zu-

sammengeführt und stehen in einem Managementprogramm auf dem Tablet, dem Smartphone oder am Computer zur Verfügung (FÖRSTER-TECHNIK 2017).

#### **4.1.3 Daten aus der Milchanalyse**

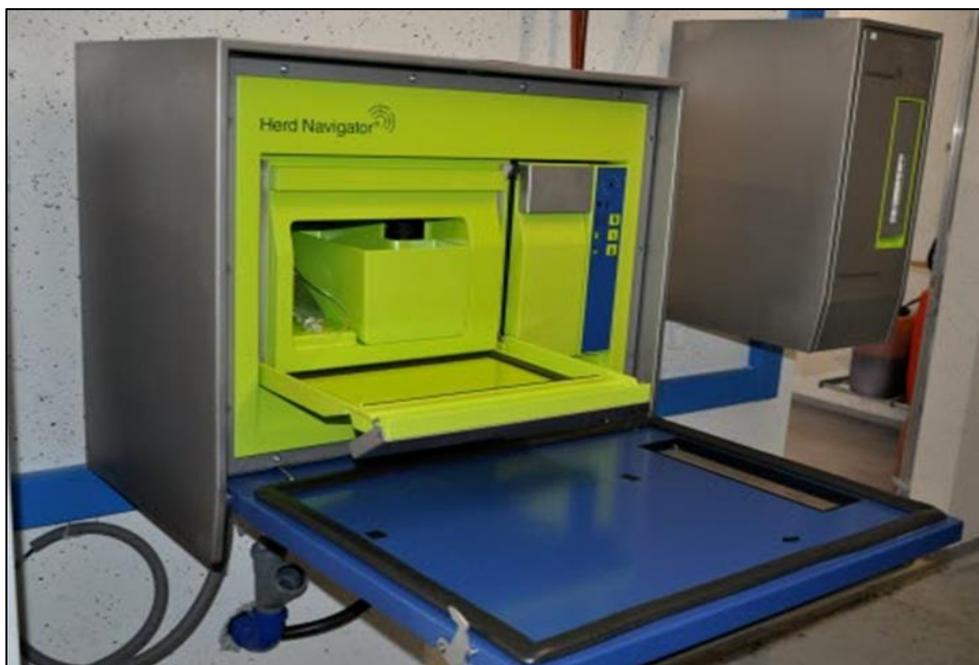
Die Milch hat eine Vielzahl von Inhaltsstoffen, deren Konzentrationen Aufschluss über den gesundheitlichen Zustand der Kuh geben, aber auch Rückschlüsse auf die Fruchtbarkeit der Kuh zulassen. Durch eine Analyse der Milch direkt im Betrieb stehen stets aktuelle Informationen zur Verfügung, was dem Landwirt die Möglichkeit gibt, bei Problemen im Herdenmanagement frühzeitig einzugreifen (DELAVAL 2011a).

Es gibt eine Reihe von auf Milchanalysen basierenden Kennzahlen, die zur Erkennung von Mastitis genutzt werden können. Dazu gehören unter anderem der Zellgehalt, die Milchfarbe und die elektrische Leitfähigkeit. Auch die Laktase-Dehydrogenase-Konzentration kann Aufschluss über die Eutergesundheit geben. Die genannten Daten sind im Automatischen Melksystem (AMS) und im konventionellen Melkstand mit Hilfe der NIR-Technik messbar. Zusätzlich werden auch Farbveränderungen und Gerinnungseigenschaften untersucht. Fällt dem System eine Anomalie auf, ist es in der Lage, selbstständig den Vorgang zu stoppen, um dafür zu sorgen, dass die restliche Milch im Milchtank nicht belastet wird (ELITE 2015a S.21f.).

Ein grundlegender Bereich des Produktions-, Herden- und Gesundheitsmanagements ist die Erfassung der Milchmenge während des Melkvorgangs. Es wird aber nicht ausschließlich diese, sondern auch die Melkdauer und der Milchfluss jedes einzelnen Tieres gemessen. Diese Erfassung ist durch Nahinfrarot-Messgeräte (NIR), oder mit Hilfe von durchflussgesteuerten Milkmetern möglich (ELITE 2015a S.21f.).

Die Firma Lemmer Fullwood bietet das Milchanalysesystem „IMA“ (Inline Milk Analyzer) als Ergänzung ihres Managementsystems an. Es ermöglicht u.a. die Messung des Fett- und Eiweißgehaltes der Milch während des Melkens und ist sowohl in automatischen Melksystemen als auch in konventionellen Melkständen einsetzbar (LEMMER FULLWOOD o. J.). Diese Kenndaten geben, besonders in der Kombination als FEQ (Fett-Eiweiß-Quotient), Aufschluss über den Zustand des Pansens und den Stoffwechsel einer Kuh (DIEZ 2016 S.26).

Der 2010 in den Markt eingeführte „HerdNavigator“ von DeLaval wertet Hilfsmerkmale für verschiedene Parameter in einem System aus. Beim Melken werden automatisch Milchproben gezogen und auf verschiedene Inhaltsstoffe hin untersucht. Dabei wird über einen Algorithmus ermittelt, wie oft die Milch welcher Kuh auf welche Merkmale hin untersucht werden soll. Möglich sind die Ermittlung von Ketose und Mastitis sowie die Brunsterkennung (DELAVAL 2011b). Die gesamte Milchuntersuchung wird in einem kleinen, stallinternen Milchlabor (vgl. Abbildung 53) photometrisch durchgeführt (MAHLKOW-NERGE u. HUUCK 2013).



Quelle: DELAVAL 2011f

**Abbildung 53: Stallinternes Milchlabor des Herd Navigators von DeLaval**

Um den Ketosestatus einer Kuh zu überprüfen, wird der Gehalt an *Betahydroxybutyrat* (BHB) in der Milch ermittelt. Zusätzlich wird der Harnstoffgehalt der Milch gemessen, um Informationen über die Proteinversorgung der Kuh zu gewinnen und die Ration gegebenenfalls besser anpassen zu können (DELAVAL 2011c). Als Indikator für Mastitis wird *Laktatdehydrogenase* (LDH) genutzt. Der Gehalt dieses Enzyms in der Milch korreliert stark mit der Zellzahl und kann daher Aufschluss über die Eutergesundheit geben (DELAVAL 2011d). Des Weiteren ist eine Messung der Progesteronkonzentration in der Milch möglich. So kann festgestellt werden, ob eine Kuh aktuell

brünstig ist und ob eine Besamung erfolgreich war oder nicht. Außerdem listet das System Kühe zur endgültigen Trächtigkeitsuntersuchung auf und meldet das Risiko von Zystenbildung sowie einen verlängerten Anöstrus (DELAVAL 2011e).

Bei der Firma Lely wird speziell für das automatische Melken mit deren Roboter „Astronaut“ das Managementsystem „T4C“ („Time for Cows“) angeboten. Einen Bestandteil hiervon bildet „TotalHealth Attentions“, ein Modul, das nach Angaben des Herstellers Gesundheitsanalysen für jede einzelne Kuh vornimmt. Unter anderem wird für die Bewertung des Gesamtzustandes die Milchtemperatur miteinbezogen (LELY 2017a). Diese wird als Indikator für die Körpertemperatur genutzt und kann daher zur Beurteilung des Allgemeinzustandes der Kuh eingesetzt werden. Dabei kann der Trend in der Milchtemperatur aber nur bei schon auffälligen Kühen überwacht oder alternativ ein Schwellenwert für die gesamte Herde eingerichtet werden (LELY 2017b).

#### **4.1.4 Am Tier erfasste Daten zu Kondition, Stoffwechsel und Eutergesundheit**

Durch eine im Melkroboter integrierte oder am Ausgang des Melkstandes platzierte Waage kann das Gewicht der einzelnen Kühe bei jedem Melken erfasst werden. So erhält der Landwirt konkrete Daten über den Gewichtsverlauf und damit auch eine Aussage über den aktuellen Gesundheitszustand und die Kondition der Tiere (STÖCKER U. VEAUTHIER 2013 S.30; ELITE ONLINE 2010). Zusätzlich bietet eine BCS-Kamera die Möglichkeit, hier nähere Informationen zu erlangen. Eine solche Technik bietet der Hersteller DeLaval in Kombination mit seinem Freiwilligen Melksystem „VMS“ oder verschiedenen Sortiertoren an. Passiert die Kuh die Kamera, wird ein Bild von ihrem unteren Rücken aufgenommen und über eine Software ausgewertet. Dabei werden die Fettauflage auf den Rippen, die Hüft- und Sitzbeinhöcker, der Schwanzansatz, die Dornfortsätze und die Hungergrube mit in die Bewertung einbezogen. Aus diesen Merkmalen soll ein exakter BCS-Wert ermittelt werden können. Dieser wird an das „DelPro Farm Management System“ weitergeleitet, über das der Landwirt die Ergebnisse am Rechner einsehen kann. Um Problemkühe zu melden, löst das System ab einem bestimmten Schwellenwert einen Alarm aus (DELAVAL 2016).

Die Erfassung von Lahmheiten kann ebenfalls digitalisiert werden. Boumatic bietet hierzu das System „StepMetric“ an, welches lahme Kühe durch den Einsatz einer mit Sensoren ausgestatteten Plattform erkennen soll (vgl. Abbildung 54). Diese wird am Ausgang des Melkstandes oder -roboters platziert, so dass die Kühe sie nach dem Melken überqueren müssen. Dabei werden die Zeit für die Überquerung, die Schrittlänge sowie der über die einzelnen Klauen ausgeübte Druck gemessen. Aus diesen Daten können abweichende Schrittmuster erkannt und somit einzelne Kühe zur genaueren Überprüfung durch den Landwirt ausgewählt werden (AGROMONT NITRA 2009 - 2011).



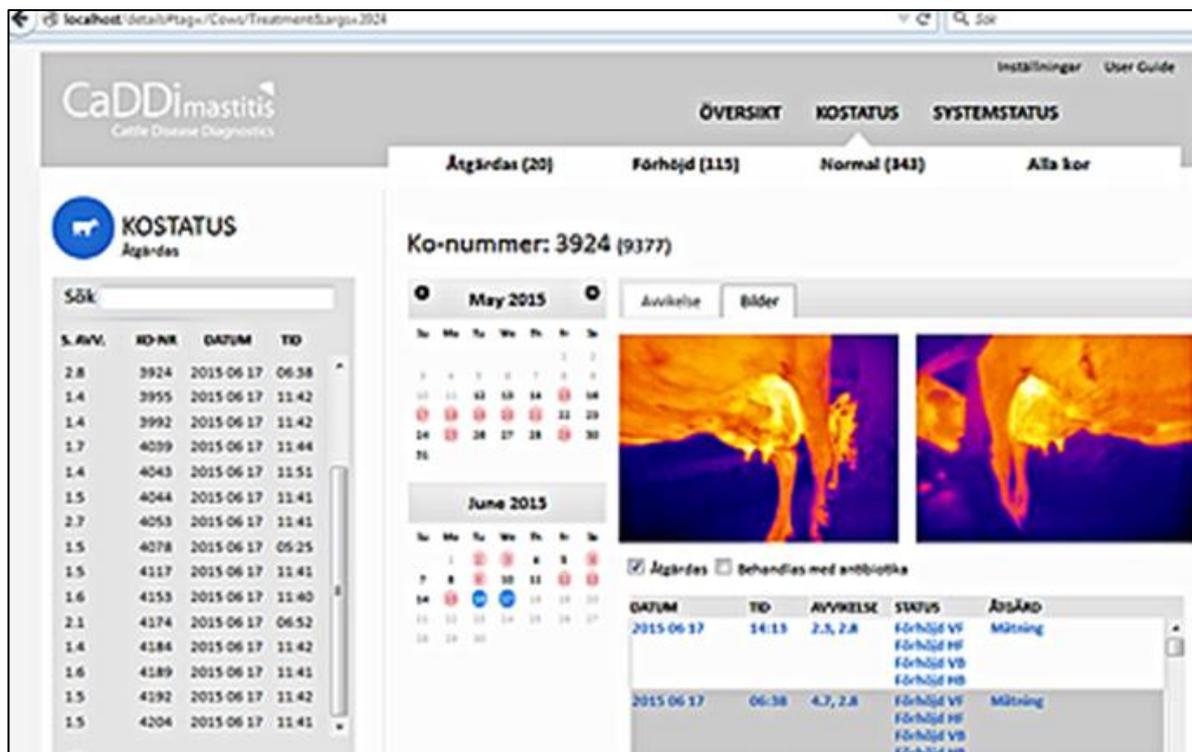
Quelle: AGROMONT NITRA 2009 - 2011

**Abbildung 54: Schematische Darstellung des Systems StepMetric von Boumatic (Lahmheitserkennung über Sensorplattform)**

Rückschlüsse auf die Vorgänge im Pansen kann ein Landwirt gewinnen, indem er einen „Smaxtec“ Pansenbolus im Netzmagen der Tiere platziert. Dieser Bolus sendet 50 Tage lang alle zehn Minuten den pH-Wert und die aktuelle Temperatur über eine im Stall befindliche Antenne zu einer Basisstation. Mit diesem Verfahren lässt sich die Ration überprüfen, und es ist leichter, subklinische Acidosen festzustellen (TOP AGRAR 2016).

Die Eutertemperatur kann über eine eventuell vorliegende Entzündung Aufschluss geben. Eine Mastitis des Euters zeigt sich unter anderem in einem lokalen Anstieg der Temperatur. Die in Schweden gegründete Firma Agricom bietet mit ihrem Sys-

tem „CaDDi-Mastitis“ die Nutzung von Wärmebildkameras an, um die Temperatur des Euters beim Betreten des Melkstandes oder -roboters messen zu können. Abweichungen können viertelbezogen automatisch erkannt und gemeldet werden. Auch der Status eines einzelnen Tieres über einen rückläufigen Zeitraum kann eingesehen werden (vgl. Abbildung 55). Weitere Nutzungsmöglichkeiten, wie zum Beispiel die Ermittlung von Gelenkentzündungen oder Klauenerkrankungen werden vom Hersteller entwickelt (AGRICAM o. J.).



Quelle: AGRICAM o. J.

Abbildung 55: Benutzeroberfläche der Software „CaDDi-Mastitis“

#### 4.1.5 Am Tier erfasste Verhaltensparameter

Die Brunst einer Kuh kann mit verschiedenen Hilfsmitteln festgestellt werden. Zum einen gibt es das am Fuß der Kuh befestigte Pedometer; dies kann die Aktivität und die Liegezeit ermitteln. Bei einer gesteigerten Aktivität lässt sich auf eine Brunst schließen, eine sinkende Aktivität hingegen kann auf Krankheiten oder Unwohlsein hindeuten. Zum anderen kommen Aktivitätssensoren am Halsband zum Einsatz. Diese können zwischen verschiedenen Bewegungsarten differenzieren und so typische Signale wie Kopfreiben oder Aufspringen während der Brunst erkennen. Über-

mittelt werden die Daten entweder über einen vorhandenen Internetserver oder über eine Antenne per Funk oder Infrarot, an der sich die Tiere vorbei bewegen. Der Landwirt wird über eine blinkende Lampe, eine SMS oder über Alarmlisten im Stallcomputer informiert. Eine Verknüpfung mit automatisch gesteuerten Selektionstoren und Herdenmanagementprogrammen ist möglich (ELITE 2015c S.31).

Die Futteraufnahme und Fresszeit lassen sich mit dem „Rumi-Watch System“ aufzeichnen. Das System erkennt über einen Nasenbandsensor jede Maulbewegung und kann mit Hilfe von validierten Algorithmen unterscheiden, ob die Bewegung dem Fressen, Saufen oder Wiederkauen zuzuordnen ist (RUMIN WATCH 2017). Der Sensor ist ein Bewegungssensor in Form einer speziellen Ohrmarke, der über die typischen Rechts- und Linksbewegungen beim Fressen und Wiederkauen Informationen über die Futteraufnahme und Wiederkauaktivität liefern kann (ELITE 2015c S.28).

Eines der neuen Systeme zur Geburtsüberwachung ist das sogenannte „Moocall“, eine Manschette mit Bewegungssensor, die am Schwanz der Kuh befestigt wird. Der Sensor nimmt die Bewegungen des Schwanzes auf und kann anhand des Bewegungsmusters das Einsetzen der Wehen feststellen und den Geburtsbeginn per SMS oder Email melden (SPEIT et al. 2017). Eine weitere Möglichkeit, um auf den beginnenden Geburtsprozess aufmerksam zu machen, ist das vorherige Platzieren eines Thermometers oder Bewegungssensors in der Scheide. Gibt es eine Veränderung der Temperatur oder presst die Kuh mit der ersten Wehe den Sensor aus, bekommt der Herdenbetreuer eine Benachrichtigung auf sein Handy (ELITE 2015c S. 30).

#### **4.1.6 Hilfsmittel für das Herdenmanagement**

Viele der während des Melkens erfassten und gespeicherten Daten werden heute schon neben dem PC auf Smartphones, Tablets oder einer Smartwatch dargestellt. Künftig werden diese Daten zu jeder Zeit an jedem Ort abrufbar sein. Der Hersteller SAC aus Dänemark hat 2014 auf der Messe EuroTier in Hannover eine Datenbrille vorgestellt, mit deren Hilfe der Melker die vorliegenden Kennzahlen über eine Kuh in das Sichtfeld projiziert bekommt, wenn er das entsprechende Tier oder dessen Melkplatz fokussiert. So hat er beide Hände zum Arbeiten frei (ELITE 2015a S.20f.; AGRIO MELKVEE 2014).

Immer größer werdende Milchviehbestände machen es zunehmend schwieriger und zeitaufwändiger, einzelne Tiere in der Gruppe zu finden. Tiere, die nachgetrieben werden müssen oder die Selektion eines einzelnen Tieres für eine tierärztliche Behandlung oder Besamung sind regelmäßig anfallende Arbeiten auf Milchviehbetrieben. Bei Beständen von 130 bis 200 Tieren lassen sich durch sogenannte „Kuhnavis“ etwa 10 bis 45 Minuten am Tag einsparen. Die Positionsdaten jedes Tieres lassen sich am PC, Tablet oder Smartphone anzeigen. Eine gute WLAN-Verbindung sowie ein digitaler Stallgrundriss sind für eine schnelle Positionsangabe, die auf 30 cm genau erfolgt, unerlässlich. Einen zusätzlichen Nutzen bringt das Ortungssystem, wenn man das „Kuhnavi“ mit dem Herdenmanagementprogramm verknüpft. Jedes Tier benötigt dazu eine entsprechende Ohrmarke, und es ist ein spezieller Signalempfänger nötig (ELITE 2015d S.34).

#### **4.2 Betriebsspiegel und Stand der Technik des Beispielbetriebes**

Der Beispielbetrieb "Milchviehhaltung" wird als mittelständisches Familienunternehmen am Niederrhein im Kreis Kleve in der Nähe zur niederländischen Grenze geführt. Der Betrieb hält 220 Milchkühe und 150 Jungtiere der Rasse Holstein-Frisian. Die Remontierung wird zum großen Teil durch die eigene Nachzucht abgedeckt. Die durchschnittlich abgelieferte Milchmenge liegt auf dem Betrieb bei etwa 11.000 Liter ECM/Kuh und Jahr. Der Betrieb bewirtschaftet insgesamt eine Fläche von 120 ha. Auf 50 ha der Fläche werden zur Milchviehfütterung Ackergras und Silomais in Folgekultur angebaut. Des Weiteren bewirtschaftet der Betrieb 25 ha Dauergrünland vorwiegend zur Silageproduktion. Auf der restlichen Fläche baut der Betrieb zur Fruchtfolgeerweiterung Rüben, Kartoffeln und Wintergerste an.

Die Milchkühe auf dem Betrieb werden in einem Doppel-Dreireiher-Boxenlaufstall mit Spaltenboden und Tiefboxen gehalten. Zur Reinigung der Spalten werden zwei Spaltenroboter der Firma Lely eingesetzt, welche in bestimmten Intervallen alle Bereiche des Stalls mehrmals täglich reinigen.

Der Betrieb setzt seit mehreren Jahren ein vollautomatisches Melksystem der Firma Lely ein. Aktuell werden ca. 220 melkende Kühe von drei Melkrobotern der Generation „Lely Astronaut 3 next“ gemolken. Im Stall herrscht freier Kuhverkehr; das bedeu-

tet, dass die Kühe selbst entscheiden können, wann sie zum Fressen, Melken oder Ruhen gehen möchten.

Der Roboter liefert dem Betriebsleiter aktuell schon einzeltierbezogene Milchleistungsparameter und passt der Milchleistung jeder einzelnen Kuh die optimale Kraftfuttermenge, je nach Laktationsstadium an. Im Bereich der Milchqualität erhält der Landwirt Auskunft über Fett-, Eiweiß- und Lactosegehalte von jedem Gemelk, sowie Daten zur elektrischen Leitfähigkeit der Milch als Indikator einer etwaigen subklinischen Mastitis. Die Software gibt bei erhöhten Zellzahlgehalten frühzeitig eine Alarmmeldung mit Verdacht auf Mastitiserkrankung auf den Betriebscomputer weiter. Zur Beurteilung der Konditionierung und individuellen Kraftfuttermenge findet im Melkroboter zusätzlich bei jedem Melkvorgang eine Wiegung der Kuh statt. Alle hierbei erfassten Daten werden gespeichert und stehen dem Landwirt zur Verfügung. Die Brunsterkennung erfolgt aktivitätsbasiert mit Hilfe von Pedometern, welche mit dem Betriebssystem vernetzt sind.

Der Landwirt nutzt zur Durchführung des Herdenmanagements ebenfalls eine Software der Firma Lely in Kopplung mit dem Melkroboter. So können zum Beispiel zu besamende oder zu behandelnde Tiere einfach nach dem Melkvorgang selektiert werden. Des Weiteren erfolgt über das System aktuell auch die Anmeldung von Tieren nach Geburten, sowie die Abmeldung von Abgängen bei der HIT- Datenbank.

Der Betrieb teilt seine Milchviehherde bewusst nicht in Laktationsgruppen ein, sondern hält alle Milchkühe in einer Hochlaktationsgruppe. Die Fütterung erfolgt derzeit über einen angehängten 15 m<sup>3</sup> Vertikal-Futtermischwagen, welcher durch einen Schlepper fremdbefüllt wird. Die Ration wird auf dem Betrieb neben den Hauptkomponenten Mais und Grassilage durch Gerstenstroh, Getreidemehl und Mineralfutter ergänzt. Wie erwähnt bekommen alle Tiere die gleiche Grundfutterration und die unterschiedlichen Leistungsniveaus je nach Laktationsstadium werden über die Kraftfutterzuteilung im Roboter eingestellt.

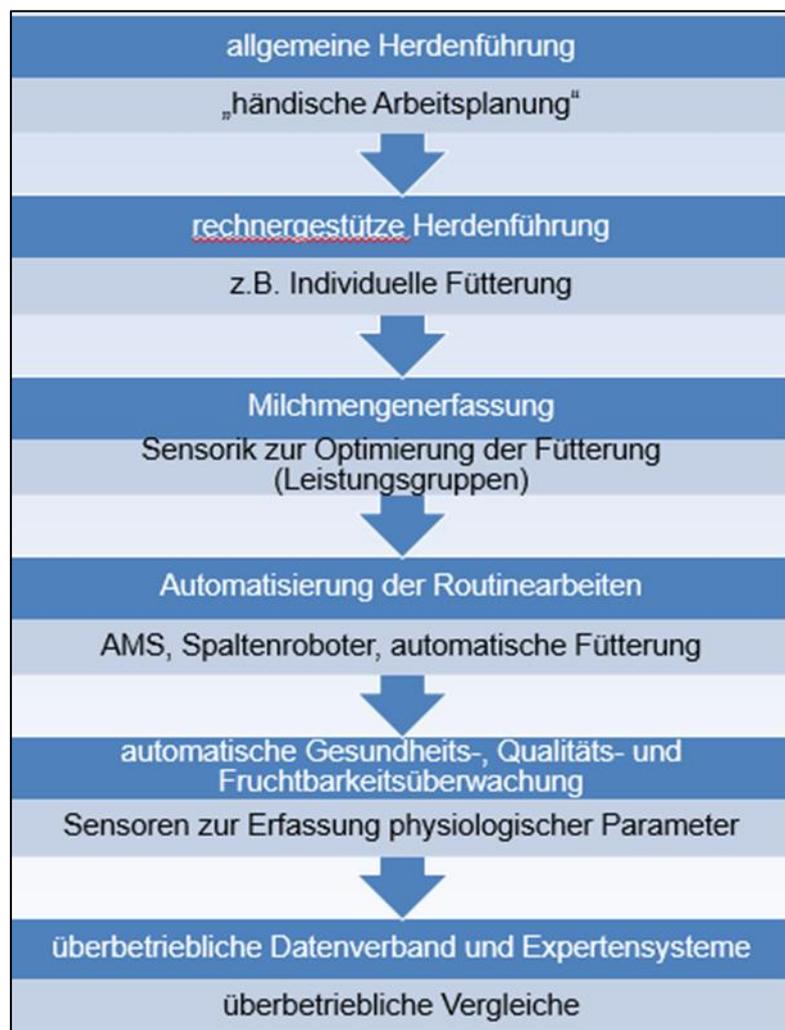
Im Bereich der Kälberaufzucht wird noch nicht auf automatische Technik gesetzt. Die männlichen Kälber verlassen nach zwei Wochen den Betrieb und die weiblichen Käl-

ber dienen der späteren Eigenremontierung und werden mit angesäuerter Milch ad libitum gefüttert.

### 4.3 Entwicklungspfade zur Landwirtschaft 4.0

Das Flussdiagramm in

Abbildung 56, zeigt die verschiedenen Schritte der Digitalisierung. Angefangen mit der allgemeinen Herdenführung, die auch als „händische Arbeitsplanung“ verstanden werden kann und in der Ausgangsstufe vollkommen ohne Computer durchgeführt wird.



Quelle: Eigene Darstellung nach KLINDTWORTH 2006 S.4

**Abbildung 56: Flussdiagramm zur Entwicklung der Digitalisierung in der Milchviehhaltung**

Die Berechnung der Futterrations basierend auf dem „Know How“ des Betriebsleiters, sowie die Planung von Besamungen und Abkalbeterminen erfolgt analog. Die Zucht-daten der einzelnen Tiere werden manuell verwaltet und ebenso werden die Be-standsregister auf dem Papier ohne technische Hilfe geführt.

Im nächsten Schritt erfolgt die rechnergestützte Herdenführung. Mit Hilfe des Com-puters ist es möglich, eine individuelle Kraftfutterkurve zu hinterlegen. Im Kälberbe-reich ist eine computergesteuerte Fütterung am Tränke- oder Kraftfutterautomaten möglich.

Im folgenden Schritt erfolgt die Erfassung der Milchmenge über spezielle Sensoren, um so eine individuelle Kraftfuttermenge jedes einzelnen Tieres sicher zu stel-len. In Melkrobotern ist die Verknüpfung von Kraftfütterungen und Milchmengen so-gar durch ein System zu vereinen.

Auf die Erfassung der Milchmenge erfolgt auf der nächsten Stufe die Automatisie-rung der Routinearbeiten. In dieser Automatisierungsstufe kommen die ersten „auto-nomen Betriebsshelfer“ zum Einsatz. Hierzu zählen der Melkroboter, der Roboter zum Reinigen der Spalten und ein automatisches Fütterungssystem. Die Aufgabe des Betriebsleiters verlagert sich von der Durchführung der Routinearbeiten hin zur Kon-trolle der technischen Maßnahmen. Gerade im Bereich des Melkroboters erhält der Betriebsleiter eine Vielzahl an Daten, die er auswerten muss und im Management berücksichtigen sollte.

Die nächste Stufe stellt die automatische Gesundheits-, Qualitäts- und Fruchtbar-keitsüberwachung dar. Mittels Sensoren können physiologische Parameter erfasst werden und so Rückschlüsse auf die Leistung der Herde geben. Parameter können z.B. die Leitfähigkeit der Milch, Milchhaltsstoffe oder Aktivitätsmuster sein, die Auf-schlüsse über Gesundheit, Brunst, Krankheiten und Tierwohl geben. Mittels einer Kamera ist es möglich den Body Condition Score jedes einzelnen Tieres zu ermitteln; auch dieser gibt Aufschlüsse auf die Gesundheit und den Status der einzelnen Tiere.

An letzter Stelle im Flussdiagramm der Digitalisierung der Milchviehhaltung befinden sich der überbetriebliche Datenverbund und Expertensysteme. Hierbei geht es um den Austausch verschiedener Betriebe untereinander und auch den Austausch mit Experten. Dies soll eine Produktivitätssteigerung der teilnehmenden Betriebe bewirken.

Als Zukunftsvisionen und weitere Schritte der Digitalisierung kann man sich den vollautomatisierten Betrieb sowie die schrittweise Übernahme von Managemententscheidungen durch Künstliche Intelligenz vorstellen. Eine kurzfristige weitere Möglichkeit der Visualisierung der Daten stellt eine Datenbrille dar; hier werden beispielsweise tierbezogene Daten durch die Brille auf dem Körper des Tieres oder einer anderen Fläche für den Träger der Datenbrille sichtbar gemacht. Des Weiteren ist es vorstellbar, anhand modernster Videotechnik Lahmheiten zu erkennen und Tierwohlindikatoren zu messen (KLINDTWORTH 2006 S.4).

Der in Abschnitt 4.2 näher beschriebene Beispielbetrieb "Milchviehhaltung" hat die vierte Stufe - die Automatisierung der Routinearbeiten - bereits vollständig erreicht. Der Betrieb setzt drei Melkroboter und zwei Roboter zum Säubern des Spaltenbodens ein. Die fünfte Automatisierungsstufe wird vom Betrieb schon teilweise erfüllt; es werden mit Hilfe des Roboters eine Mastitis-Früherkennung durchgeführt und durch das Wiegen die Kondition der Tiere überprüft. Die erfassten Daten des Melkroboters dienen der Erkennung und Selektion von zu besamenden oder zu behandelnden Tieren.

## **4.4 Diskussion**

### **4.4.1 Fütterungstechnik**

Als nachteilig am vorhandenen Konzept beschreiben die Betriebsleiter den hohen Personal- und täglichen Zeitaufwand, sowie die feste Bindung von zwei Schleppern, welche bei anstehender Feldarbeit immer erst umgerüstet werden müssen.

Schienengeführte automatische Fütterungssysteme wie z.B. der „Lely Vector“ bieten neben den Vorteilen der Arbeitsentlastung auch den Vorteil der gruppenindividuellen

Fütterung. Durch das mehrmalige Füttern täglich liegt immer frisches Futter vor und das Risiko von hohen Futterresten und Nacherwärmung wird verringert. Nachteilig an diesem System ist zu erwähnen, dass nach wie vor Futtermittel in einer Futterküche bereitgestellt werden müssen und diese Vorräte im Sommer zur Nacherwärmung und damit verbundenen Energieverlusten neigen können.

Da auch in Zukunft auf dem Betrieb keine gruppenindividuelle Fütterung angestrebt wird, könnte ein autonomer Selbstfahrer, wie ihn die Firma Strautmann auf der Agri-technica 2017 vorgestellt hat, eine zukünftige Option für den Betrieb sein.

#### **4.4.2 An der Kuh erfasste Daten**

Der Betrieb ist auf diesem Feld durch die bereits vorhandene Lely-Technologie bereits recht gut aufgestellt. Möglichkeiten der Erweiterung der Datensammlung zur Unterstützung des Herdenmanagements, die für den Beispielbetrieb in Frage kommen, finden sich u.a. im Bereich der Konditionsbeurteilung. Bisher erfolgt die Konditionsbeurteilung auf dem Betrieb per Wiegen nach dem Melkvorgang. Gleichzeitig kann dadurch die Futteraufnahme indirekt kontrolliert werden. In Zukunft könnte neben der Lebendmasseerfassung bei jedem Melkvorgang im Melkroboter auch das vorgestellte Body Condition Scoring über Kameratechnik von der Firma DeLaval eingesetzt werden, um die individuelle Kraffuterversorgung zu optimieren und z.B. Ketose-Erkrankungen bei frisch melkenden Kühen frühzeitig zu erkennen (DELAVAL 2016).

Im Bereich der Tiergesundheit könnte der Einsatz des „StepMetrix Systems“ in Erwägung gezogen werden. Durch das System ist eine frühzeitige Lahmheitserkennung möglich. Mit Hilfe dieser Technik wird der Landwirt frühzeitig auf mögliche Probleme der Kuh hingewiesen und kann so rechtzeitig auf Klauenprobleme reagieren, bevor diese akut werden (AGROMONT NITRA 2009 - 2011). Ergänzend zu den bereits erfassten Daten zur Mastitiserkennung im Betrieb käme eine Wärmebildkamera zur Messung der Eutertemperaturen in Frage. Durch einen größeren Datenumfang wird die Genauigkeit der Mastitiserkennung erhöht. Zur Optimierung des Fruchtbarkeitsmanagements könnte neben der aktivitätsbasierten Brunsterkennung über Pedometer auch eine Progesteronmessung Auskunft über brünstige Tiere und den op-

timalen Belegungszeitpunkt geben. Bei den genannten Systemen muss jedoch die Kompatibilität mit dem vorhandenen System geprüft werden, da dies häufig bei unterschiedlichen Herstellern zu Schwierigkeiten führt. Des Weiteren ist die Sinnhaftigkeit der Ergänzung für den Betrieb fraglich, da man dort bereits mit den vorhandenen Systemen zufrieden ist.

Im Bereich der Geburtenüberwachung ist bisher noch keine Automatisierung im Betrieb vorhanden. Fraglich ist die Zuverlässigkeit und Notwendigkeit dieser Systeme, da bei zu erwartenden Geburten eine regelmäßige Kontrolle durch den Herdenmanager erfolgt.

Um einzelne Tiere in der Herde schnell zu finden, weil z.B. eine tierärztliche Behandlung oder Besamung erfolgen soll, gibt es die Möglichkeit von Ortungsgeräten an den Kühen. Vorteil dieser Technik ist die Einsparung von Zeit, die sonst für die Suche der Tiere aufgewendet wird. Die Investition in ein solches System lohnt sich jedoch erst ab einer Herdengröße von 300 Tieren und ist daher für den hier betrachteten Beispielbetrieb noch nicht interessant.

#### **4.4.3 Kälberaufzucht**

Im Bereich der Kälberaufzucht wäre auf dem Beispielbetrieb noch einiges Entwicklungspotenzial. Bisher erfolgt die Fütterung der Kälber manuell. Zur Unterstützung der Kälberaufzucht käme ein "Milchtaxi" (siehe oben) in Frage. Das Milchtaxi ist gut geeignet für die Einzeltierhaltung und zeichnet sich besonders durch seinen geringen Investitionsaufwand im Gegensatz zu anderen Verfahren aus. Durch die Bedienung des Milchtaxis durch einen Mitarbeiter erfolgt eine regelmäßige tierindividuelle Kontrolle. Nachteilig zeigt sich, dass durch dieses System keine ad libitum Fütterung der Kälber möglich ist. Außerdem besteht im Vergleich zu anderen Systemen ein erhöhter Personalaufwand. Trotzdem bedeutet es im Vergleich zum aktuellen Stand eine deutliche Arbeitserleichterung.

Ein weiteres Fütterungssystem wären Automaten, wie z.B. der Tränkeautomat „Kälbermama Lifestart“. Vorteil dieses Systems ist die Datenerfassung, wie die Trinkmenge und Sauggeschwindigkeit. An Hand dieser Daten wird eine Futterkurve er-

stellt (URBAN 2017). Durch die Desinfizierung der Nuckel nach jedem Tränkvorgang herrscht ein guter Hygienestandard. Besonders in der Gruppenhaltung ist dieses System empfehlenswert, da bei dieser Haltung die Tierkontrolle erschwert ist. Nachteilig ist der hohe Investitionsaufwand.

Die Kälberaufzucht könnte sinnvoll durch einen Tränkeautomat in Verbindung mit dem „Smart-Neckband System“ ergänzt werden. Der Tränkeautomat versorgt auch Gruppen mit unterschiedlichen Alterszusammensetzungen optimal und immer mit angemessener Milchqualität in passenden Mengen. Das „Smart-Neckband“ erleichtert das Auffinden von Tieren, die gerade Tränkeanrecht haben und nachgetrieben müssen, da die Halsbänder mit LEDs in verschiedenen Farben ausgerüstet sind (FÖRSTER-TECHNIK o. J.).

#### **4.4.4 Empfehlungen für den Beispielbetrieb "Milchviehhaltung"**

Der Betrieb ist durch seine Ausstattung von Lely im Bereich der Digitalisierung recht weit entwickelt. Die Ausrichtung der Stalleinrichtung auf Lely bot sich besonders für den Betrieb an, da eine Werksvertretung in unmittelbarer Nähe vorhanden ist.

Lediglich im Bereich der Fütterungstechnik und Kälberaufzucht hängt der Betrieb etwas hinterher. Da der Betrieb mit Lely sehr zufrieden ist, empfiehlt sich auch in diesen Bereichen die Technik dieser Firma einzusetzen. Zusätzlich ist von Vorteil, dass die Anwender mit der Software vertraut sind und es keine Schwierigkeiten hinsichtlich der Kompatibilität geben sollte. Bei der Fütterungstechnik bietet sich, wie bereits oben erwähnt, der „Lely Vector“ an.

Für eine genauere Überwachung der Futteraufnahme und der Fresszeiten könnte das „Rumi-Watch System“ in Betracht gezogen werden. Mit Hilfe dieses Systems können fütterungs- und haltungsbedingte Krankheiten minimiert und Aussagen zum Kuhkomfort abgeleitet werden.

In der Kälberaufzucht würde sich für den Betrieb die Einführung eines "Milchtaxis" zur Versorgung der Kälber in Einzeltierhaltung lohnen. In der Gruppenhaltung empfiehlt sich eine Einführung des Tränkeautomats „Kälbermama Lifestart“.

In den anderen Bereichen ist der Betrieb mit der vorhandenen Technik sehr zufrieden und befindet sich auf dem neuesten Stand. Daher lassen sich keine Empfehlungen aussprechen, lediglich Ergänzungsmöglichkeiten können in Betracht gezogen werden, die aber stets unter dem Aspekt der Kosten-Nutzen-Relation zu beurteilen wären.

## Literaturverzeichnis Ackerbau

365 FARMNET (2018): <https://www.365farmnet.com/> (19.02.2018).

AEF (2018):

a: Über die AEF. <http://www.aef-online.org/de/home.html> (15.02.2018)

b: AEF: ISOBUS in Funktionalitäten. [http://www.aef-online.org/fileadmin/user\\_upload/Content/pdfs/AEF\\_handfan\\_DE.pdf](http://www.aef-online.org/fileadmin/user_upload/Content/pdfs/AEF_handfan_DE.pdf) (15.02.2018).

c: AEF Compatibility Check. <https://www.aef-isobus-database.org/isobusdb/app/compatibility/index.jsf> (15.02.2018).

AGRAVIS (2018): Modul Aussaatplanung.

[http://www.netfarming.de/de/netfarming\\_de/nf\\_produkte/aussaatplanung/standard\\_203.html](http://www.netfarming.de/de/netfarming_de/nf_produkte/aussaatplanung/standard_203.html) (02.03.18).

AGRI CON (2017): Variable Herbizidbehandlung wird Realität. <http://www.p3-sensor.de/produkte/h-sensor/> (04.12.2017)

AGRI CON (2018): Der Yara N-Sensor.

[https://www.agricon.de/fileadmin/user\\_upload/PDF/YNS-Broschuere\\_web.pdf](https://www.agricon.de/fileadmin/user_upload/PDF/YNS-Broschuere_web.pdf) (15.02.2018).

AMAZONE (2015): BoniRob. Multifunktionaler Feldroboter für landwirtschaftliche Anwendungen, Prospekt.

AMAZONE (2016): <http://docplayer.org/177172-Ertragspotential-nutzenaber.html> (19.02.2018).

AMAZONE (2017a): Anhängespritze mit intelligentem Sensor-Düsen-System zur Reduzierung von Aufwandmengen im Pflanzenschutz.

<http://go.amazone.de/agritechnica/2017/neuheiten/pflanzenschutztechnik/anhaengespritze-ux-amaspot/> (01.12.2017).

- AMAZONE (2017b): Amazone Pflanzenschutz mit AmaSpot.  
<https://www.youtube.com/watch?v=fRQj6zZDPUo> (12.12.2017).
- AMAZONE (2018): Amazone UF. <HTTP://INFO.AMAZONE.DE/DISPLAYINFO.ASPX?ID=42857>  
(15.02.2018).
- APBA (Acker- & Pflanzenbauberatung Aktuell) (2018): Über [apba.de](http://www.apba.de).  
Ackerbauberatungsplattform der Farmfacts GmbH und N.U. Agrar GmbH.  
<http://www.apba.de> (19.02.2018).
- BAUMGARTEN, J., BEHNKE, W., DIEKHANS, N. (2004): Sensor zur Korndetektion in der  
Überkehr. Landtechnik 4/2004, Harsewinkel [https://www.landtechnik-  
online.eu/ojs-2.4.5/index.php/landtechnik/article/viewFile/2004-4-196-  
197/2327](https://www.landtechnik-online.eu/ojs-2.4.5/index.php/landtechnik/article/viewFile/2004-4-196-197/2327)
- BAUMEISTER, F. (2017): Precision Farming. Fendt: Neuer Feldroboter für die Mais-  
aussaat. [https://www.agrarheute.com/technik/ackerbautechnik/fendt-neuer-  
feldroboter-fuer-maisaussaat-538611](https://www.agrarheute.com/technik/ackerbautechnik/fendt-neuer-feldroboter-fuer-maisaussaat-538611) (16.12.2017).
- BAYER CROPSCIENCE DEUTSCHLAND GMBH (2017): BayDir Aktuell.  
<https://agrar.bayer.de/de-DE/Apps/BayDirAktuell> (08.01.2018).
- BENNETT, C. (2017): Robotic Weed Killer Nears Farmland.  
[https://www.agweb.com/article/robotic-weed-killer-nears-farmland-naa-chris-  
bennett/](https://www.agweb.com/article/robotic-weed-killer-nears-farmland-naa-chris-bennett/) (01.12.2017).
- BERGMANN (2018): Die Universalstreuer. [http://www.bergmann-  
goldenstedt.de/fileadmin/user\\_upload/Universalstreuer/Prospekte/TSW\\_4190-  
7340\\_\\_DE\\_Prospekt\\_lr.pdf](http://www.bergmann-goldenstedt.de/fileadmin/user_upload/Universalstreuer/Prospekte/TSW_4190-7340__DE_Prospekt_lr.pdf) (15.02.2018).
- BITTNER, L., HEIL, R., v. SCHÖNFELD, M. (2016): Big Data auf dem Bauernhof – Smart  
Farming. ABIDA (Assessing Big Data), S. 2.

- BOSCH (2015): Intelligenz auf dem Acker: Agrarroboter von Bosch beseitigt Unkraut automatisch und ohne Gift. <http://www.bosch-presse.de/pressportal/de/de/intelligenz-auf-dem-acker-agrarroboter-von-bosch-beseitigt-unkraut-automatisch-und-ohne-gift-43044.html> (09.02.2018).
- BÖHRNSEN, A. (2009): Mit Spuranzeige fahren oder automatisch lenken? Profi, 7/2009, S. 74-77.
- BÖTTINGER, S. (2008): Elektronik am Mähdrescher. Landtechnik 1/2008, S.22-23, Hohenheim.
- BLANKENBURG et al. (2006): Lehrbuch des Pflanzenbaus, AgroConcept GmbH, Bonn, Band 1: Grundlagen, S. 47-52, 54, 56f, 117.
- BLUE RIVER (2017): Robotic Weed Killer Nears Farmland. <https://www.agweb.com/article/robotic-weed-killer-nears-farmland-naa-chris-bennett/> (01.12.2017).
- BLUME, H.-P., STAHR, K., LEINWEBER, P. (2011): Bodenkundliches Praktikum – Eine Einführung in pedologische Arbeiten für Ökologen, insbesondere Land- und Forstwirte, und für Geowissenschaftler, Spektrum Verlag, 3.Auflage, Heidelberg.
- BROCKMANN, A. (2017): R&M Reifendruckregelanlage schnelles Befüllen. <https://www.agrarheute.com/traction/tests-technik/rm-reifendruckregelanlage-schnelles-befuellen-530347> (09.01.2018).
- BUNDESZENTRUM FÜR ERNÄHRUNG (2017): Bodenschäden aus der Vogelperspektive. <https://www.bzfe.de/inhalt/bodenschaeden-aus-der-vogelperspektive-2190.html> (16.02.2018).

CLAAS (2015): Crop Sensor Isaria.

<http://www.claas.de/blueprint/servlet/blob/574408/ec0dbd9ab52cb58f42561fe39942efe3/241391-dataRaw.pdf> (15.02.2018).

CLAAS (2017): Lenksysteme. <http://www.claas.de/blueprint/servlet/>

<blob/1244110/53520d80316902399cf6278ad67309d9/288233dataRaw.pdf>  
(28.09.2017).

CLAAS (2018):

a: <http://www.claas.de/produkte/easy/ceмос/ceмос> (19.02.2018).

b: <http://www.claas.de/produkte/easy/ceмос/ceмос-automatic> (19.02.2018).

c: <http://www.claas.de/produkte/easy/ceмос> (19.02.2018).

d: <http://www.claas.de/produkte/easy/datenmanagement> (19.02.2018).

COMPETENCE CENTER ISOBUS (2018):

a: CCI 100 + CCI 200. <http://www.cc-isobus.com/isobus-terminal/> (15.02.2018).

b: CCI.COURIER – Damit die Feldarbeit wieder im Vordergrund steht.

<http://www.cc-isobus.com/isobus-terminal/> (15.02.2018).

DEERE & COMPANY (2018):

a: Section Control, AMS (Agrar- Management- Systemlösungen).

<https://www.deere.de/de/agrar-management-systemloesungen/praezisionslandwirtschaft/section-control/> (03.02.18).

b: 1725NT Sämaschine. <https://www.deere.de/de/saemaschinen/1725nt/>  
(03.02.18).

DEMMELE, M. (2006): Automatische Spurführung von Landmaschinen – Systeme, Einsatzbereiche, Wirtschaftlichkeit. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Deggendorf, 23.11.2006.

DETER, A. (2015): <https://www.topagrar.com/news/Acker-Agrarwetter-Aktuelle-Tipps-Kurztest-Einsteiger-Schlagkartei-Helm-MyFarm24-blue-2828401.html>  
(19.02.2018).

DETER, A. (2017): Fendt schickt neuen Roboter „Xaver“ aufs Feld.  
<https://www.topagrar.com/news/Technik-Techniknews-MARS-Mobile-Agricultural-Robot-Swarms-8683721.html> (15.12.2017).

DLG (2018):

a: DLG-Prüfbericht 6801. <http://www.dlg-test.de/tests/6801.pdf> (15.02.2018).

b: DLG-Prüfbericht 6809. <http://www.dlg-test.de/tests/6809.pdf> (15.02.2018).

c: DLG-Prüfbericht 6811. <http://www.dlg-test.de/tests/6811.pdf> (15.02.2018).

EDER, J. (2017): Schwarz für alle: Die Details zu den neuen AGCO-Mähdreschern Ideal. Agrarheut am 06.09.2017, Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH, Hannover. <https://www.agrarheute.com/technik/ackerbautechnik/schwarz-fuer-alle-details-neuen-agco-maehdreschern-ideal-538084> (19.02.18).

ENVIRONMENTAL STUDIES (2018): Teilflächenbewirtschaftung.

<http://www.environmental-studies.de/Teilflachenbewirtschaftung/1.html>  
(16.02.2018).

FACHBEREICH AGRARWIRTSCHAFT (2017): Versuchsfeldführer 2017. 38. Jahrgang, Soest.

FEIFFER CONSULT (2018): [http://feiffer-consult.de/epages/98b24c59-03ca-45e0-8edd-de39a259db15.sf/de\\_DE/?ObjectPath=/Shops/98b24c59-03ca-45e0-8edd-de39a259db15/Categories/Apps](http://feiffer-consult.de/epages/98b24c59-03ca-45e0-8edd-de39a259db15.sf/de_DE/?ObjectPath=/Shops/98b24c59-03ca-45e0-8edd-de39a259db15/Categories/Apps) (19.02.18).

FENDT (2017): Projekt Xaver. <https://www.fendt.com//de/xaver.html> (14.12.2017).

FH SÜDWESTFALEN (2018): Das Versuchsgut Merklingsen. [https://www4.fh-swf.de/de/home/ueber\\_uns/standorte/so/fb\\_aw/versuchsgutmerklingsen/versuchsgutmerklingsen\\_2.php](https://www4.fh-swf.de/de/home/ueber_uns/standorte/so/fb_aw/versuchsgutmerklingsen/versuchsgutmerklingsen_2.php) (19.02.2018).

FRITZMEIER UMWELTECHNIK (2017): Isaria – Ihr System für intelligentes Bestandsmanagement.

[https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=11&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi\\_z-](https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=11&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi_z-)

[aZu6jZAhVPJ1AKHXdnCf84ChAWCCYwAA&url=https%3A%2F%2Fwww.mr-ulhdh.de%2Fapp%2Fdownload%2F28133452%2FVortrag%2BFritzmeier%2BISARIA.pdf&usg=AOvVaw3Z17RGtM\\_VwvKYyso3sgDd](aZu6jZAhVPJ1AKHXdnCf84ChAWCCYwAA&url=https%3A%2F%2Fwww.mr-ulhdh.de%2Fapp%2Fdownload%2F28133452%2FVortrag%2BFritzmeier%2BISARIA.pdf&usg=AOvVaw3Z17RGtM_VwvKYyso3sgDd) (15.02.2018).

GEOPROSPECTORS (2018): Landwirtschaft. Produkte.

<http://www.geoprospectors.com/de/produkte-leistungen/landwirtschaft/>  
(09.01.2018).

GERHARDS R. (2010): Sequential support vector machine classification for small-grain weed species discrimination with special regard to *Cirsium arvense* and *Galium aparine* [https://www.uni-](https://www.uni-hohenheim.de/organisation/publikation/sequential-support-vector-machine-classification-for-small-grain-weed-species-discrimination-with-special-regard-to-cirsium-arvense-and-galium-aporine)

<hohenheim.de/organisation/publikation/sequential-support-vector-machine-classification-for-small-grain-weed-species-discrimination-with-special-regard-to-cirsium-arvense-and-galium-aporine> (04.12.2017).

GÜSTROWER(2018): Die Basis für Precision Farming. <https://www.guestrower-landmaschinen.de/produkte/grossflaechenstreuer> (15.02.2018).

HILLER, D. (2007): Bodenerosion durch Wasser, Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Münster.

HOLPP, M. (2006): Parallelfahrssysteme für Traktoren – Technik und Wirtschaftlichkeit. ART-Berichte Nr. 659, S. 1-10.

HÜNNIES, S. (2017): Maschinenausstattung des Versuchsgut Merklingsen. Mitarbeiter, Führung/Gespräch am 05.12.2017.

JANOTTE, R. (2017): Synchronisierte Arbeitsketteln liefern höhere Leistung. Magazin Elektronik, Smart Farming, Eilbote Ausgabe 29/2017, S.16, Boomgaarden Verlag GmbH, Winsen.

JOHN DEERE (2018): Agrar-Management-Systemlösungen(AMS).

<https://www.deere.de/de/magazines/publication.html?id=400043a3#1>  
(15.02.2018).

JOSKIN (2018): Güllefässer und Ausbringtechnik.

<https://www.joskin.com/pdf/prospec/epandeurs%20lisier/de/Tonnes%20+%20Lisier%20DE.pdf#page=85> (15.02.2018).

KOERHUIS R. (2017): This is Smart Spraying: Bayer & Bosch`s research programme

<https://www.futurefarming.com/4120/this-is-smart-spraying-bayer-boschs-research-programme/> (04.12.2017).

LEMKEN (2018): Karat 9.

<https://lemken.com/de/bodenbearbeitung/stoppelbearbeitung/grubber/karat-9/>  
(09.01.2018).

LU-WEB.DE (2013): Mit der Grain Quality Camera die Ausdruschqualität bewerten.

Beckmann Verlag GmbH & Co. KG, Lehrte.

<https://luweb.de/redaktion/news/mit-der-grain-quality-camera-die-ausdruschqualitaet-bewerten/> (19.02.18).

LWK (LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NORDRHEIN-WESTFALEN) (2018): Basisangebot.

<https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/beratung/basisangebot.htm> (08.01.2018).

MAIDEL, F. (2012): Revolutioniert die Sensortechnik die Stickstoffdüngung?

<http://www.ltz-bw.de/pb/site/pbs-bw>

[new/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/ltz\\_ka/Service/Veranstaltungen/Nachlese/2012/2012\\_11\\_22-44.-Pflanzenbauliche-](http://www.ltz-bw.de/pb/site/pbs-bw/new/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/ltz_ka/Service/Veranstaltungen/Nachlese/2012/2012_11_22-44.-Pflanzenbauliche-)

Vortragsta-

[gung\\_Sindelfingen\\_DL/Maidl\\_Revolutioniert%20die%20Sensortechnik%20die%20Düngung.pdf](http://www.ltz-bw.de/pb/site/pbs-bw/new/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/ltz_ka/Service/Veranstaltungen/Nachlese/2012/2012_11_22-44.-Pflanzenbauliche-Vortragsta-gung_Sindelfingen_DL/Maidl_Revolutioniert%20die%20Sensortechnik%20die%20Düngung.pdf) (15.02.2018).

MASCHINENFABRIK MEYER-LOHNE (2018): Rekordia Sonderausstattungen.

[http://www.meyer-lohne.de/fileadmin/media/pdf/pdf\\_de\\_prospekt\\_Sonderausstattung.pdf](http://www.meyer-lohne.de/fileadmin/media/pdf/pdf_de_prospekt_Sonderausstattung.pdf)  
(15.02.2018).

MYFARM 24 (2018): <https://helm-software.de/produkte/myfarm24> (19.02.2018)

NADLINGER, M. (2015): Parallelfahrssysteme. BLT Wieselburg, Lehr- und Forschungszentrum Francisco Josephinum, FJ Wieselburg, 26.02.2015.

NAÏO TECHNOLOGIES (2017):

a: Milestones. <https://www.naio-technologies.com/en/agricultural-robotics-experts/> (11.02.2018).

b: Automated robots and farming tools. <https://www.naio-technologies.com/en/agricultural-equipment/> (11.02.2018).

c: OZ Technical Data Sheet. <https://www.naio-technologies.com/en/agricultural-equipment/weeding-robot-oz/oz-technical-data/#Fiche-technique> (11.02.2018).

d: The practical benefits of robotic Weeding. <https://www.naio-technologies.com/en/agricultural-equipment/weeding-robot-oz/roboticweeder-oz-benefits/> (11.02.2018).

e: The OZ Toolbox. <https://www.naio-technologies.com/en/agricultural-equipment/weeding-robot-oz/weeding-tools/> (11.02.2018).

NEUE ZÜRCHER ZEITUNG (2015): BoniRob der Knecht. <https://www.nzz.ch/nzzas/nzz-am-sonntag/robo-landwirtschaft-bonirob-der-knecht-ld.3608> (09.02.2018).

NEW HOLLAND AGRICULTURE (2018):

a: <http://agriculture1.newholland.com/eu/de-de/precision-land-management/produkte/erntelosungen/ertragskartierung-mahdrescher>  
(19.02.2018).

- b: <http://agriculture1.newholland.com/eu/de-de/maschinen/produkte/mahdrescher/varifeed-getreideschneidwerke> (19.02.2018).
- N.N. (2017a): Übernahme von Blue River Technology - John Deere investiert in Künstliche Intelligenz <https://clausen.jd-partner.de/Ueber-uns/News-Events/Uebernahme-von-Blue-River-Technology-John-Deere-investiert-in-Kuenstliche-Intelligenz> (01.12.2017)
- N.N. (2017b): Sie kommen: Erste Sprüh-Roboter erkennen das Unkraut. <https://www.profi.de/news/Sie-kommen-Erste-Sprueh-Roboter-erkennen-das-Unkraut-8070264.html> (01.12.2017).
- NOACK, P. (2007): Ertragskartierung im Getreidebau. KTBL-Heft 70. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Darmstadt.
- NOACK, P. O. (2016): DLG-Merkblatt 388 – Satellitenortungssysteme (GNSS) in der Landwirtschaft. DLG e. V., 2. Auflage, Frankfurt.
- OBENAUF, U., BORCHARDT, I., LUBKOWITZ, C., KOCK, C. (2013): Präzise Saat im Praxistest. top agrar 5/2013, S.64ff.
- PIOTRASCHKE, H. F. (2010): H - Sensor: Intelligenter optischer Sensor für den teilflächenspezifischen Herbizid-Einsatz im Online-Verfahren. <http://www.hagen.piotraschke.de/hfp/pdf/2010-BLE-Innovationstage-Beitrag-Piotraschke.pdf> (04.12.2017).
- PROFI (2015): MARS Mission in der Landtechnik. <https://www.profi.de/news/MARS-Mission-in-der-Landtechnik-1808722.html> (15.12.2017).
- PROPLANT (2017): Produkte. Internetauftritt proPlant Agrar- und Umweltinformatik GmbH, <http://proplant.de/produkte/> (08.01.2018).

- RUDOLPH W. (2017): Der Trend geht zum Zweit-Sensor. <https://www.eilbote-online.com/artikel/elektronik-der-trend-geht-zum-zweit-sensor-23062/> (04.12.2017).
- SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE (2018): Teilflächenbezogene Bewirtschaftung (Precision Farming). <https://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/4244.htm> (15.02.2018).
- TECHNIKSCHNEUNE.DE (2018): Agroproject GmbH & Co KG, Rheine. <http://www.technikscheune.de/erntetechnik/temperatur-und-feuchtebestimmung/feuchtemessgeraet-fuer-maehdrescher.html> (17.02.2018).
- THIESSEN, E. (2001): Erfahrungen mit der Sensorgesteuerten Stickstoffdüngung, Landtechnik 4/2001, S.278f.
- THERMO FISHER SCIENTIFIC (2018): iCAP™ 7600 ICP-OES Analysator. <http://www.thermofisher.com/order/catalog/product/842320076001> (14.02.2018).
- THERMO FISHER SCIENTIFIC (2018): Flash Smart™ Elemental Analyzer. <http://www.thermofisher.com/order/catalog/product/11206155> (14.02.2018).
- THERMO FISHER SCIENTIFIC (2018): Trace™ 1300 Gaschromatograph. <http://www.thermofisher.com/order/catalog/product/14800301> (14.02.2018).
- THERMO FISHER SCIENTIFIC (2018): Niton™ FXL Röntgenlabor für den Einsatz vor Ort. <http://www.thermofisher.com/order/catalog/product/NITONFXLXRF> (14.02.2018).
- THERMO FISHER SCIENTIFIC (2018): Dionex™ ASE™ 350 beschleunigter Lösungsmittelextraktor. <http://www.thermofisher.com/order/catalog/product/083153> (14.02.2018).

TRACTION (2015): Aussaat nach Karte.

<https://www.agrarheute.com/traction/tests-technik/aussaat-karte-520518>

(03.01.2018).

TREIBER-NIEMANN, H., SCHWAIBERGER R., FRÖBA, N., KLOEPFER, F. (2013): Parallelfahrsysteme. KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V.), 2. Auflage, Darmstadt.

UMWELTBUNDESAMT (2017): Pflanzenschutzmittelverwendung in der Landwirtschaft.

<https://www.umweltbundesamt.de/daten/landforstwirtschaft/pflanzenschutzmittelverwendung-in-der#textpart-2>

(01.12.2017).

WAAK M. (2018): Firma Agri Con / Fachberater Maklenburg, Schleswig – Holstein, Telefonat am 13.02.2018.

WANDL, M., AUST, G., BAUMGARTEN, A. (2015): Die digitale Bodenkarte und ihre Anwendungsmöglichkeiten. BFW- Praxisinformation 39: 24 – 27

[https://www.waldwissen.net/technik/land\\_raum/bfw\\_ebod\\_anwendungen/index\\_DE](https://www.waldwissen.net/technik/land_raum/bfw_ebod_anwendungen/index_DE) (26.12.2017).

WIESENHOFF, M. u. SORIANO, J.F. (2006): Leistungssteigerung durch automatische Durchsatzregelung und Parallelführung beim Mähdrusch. Landtechnik 6/2008, S.376-377, Bochum.

ZIER, P., HANK, K., WAGNER, P. (2008): Berichte über Landwirtschaft. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Kohlhammer, Band 86 (3), Stuttgart.

ZUNHAMMER (2016): Auszug Kanjahn.

[https://www.zunhammer.de/sites/default/files/2016-07-12\\_auszug\\_kanjahn.pdf](https://www.zunhammer.de/sites/default/files/2016-07-12_auszug_kanjahn.pdf)

(15.02.2018).

ZUNHAMMER (2017): Van-Control 2.0 – Jetzt Anerkennung durch DLG und Behörden.  
[https://www.zunhammer.de/sites/default/files/2017-10-28\\_van-control\\_-anerkennung.pdf](https://www.zunhammer.de/sites/default/files/2017-10-28_van-control_-anerkennung.pdf) (15.02.2018).

## Literaturverzeichnis Schweinehaltung

ATP (LEIBNITZ – INSTITUT FÜR AGRARTECHNIK UND BIOÖKONOMIE E.V.) (o. J.): Positionspapier der Innovationsinitiative Landwirtschaft 4.0. [https://www.atb-potsdam.de/fileadmin/docs/Temporaer/170518\\_Positionspapier\\_Landwirtschaft\\_4.0\\_f.pdf](https://www.atb-potsdam.de/fileadmin/docs/Temporaer/170518_Positionspapier_Landwirtschaft_4.0_f.pdf) (15.01.2018).

BALSER, M. (2017): So digital denken deutsche Bauern. <http://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/viehzucht-so-digital-denken-deutsche-bauern-1.3550750> (11.02.2018).

BAUERNVERBAND (2015): 3.6 Digitalisierung in der Landwirtschaft. <http://www.bauernverband.de/36-digitalisierung-in-der-landwirtschaft> (10.02.2018).

BAUERNVERBAND (2016): Landwirtschaft 4.0 – Chancen und Herausforderungen. <http://www.bauernverband.de/landwirtschaft-40> (10.02.2018).

BECKMANN, M. (2017): Farmmanagement – Systeme. ACWL (Agrar Computer Westfalen-Lippe GmbH) / Vertrieb NRW, Telefonat am 17.12.2017.

BECKHOVE, A. (2008): Zukunft der Veredelungswirtschaft: Perspektiven des Schweinemarktes – ISN – Schlachthofvergleich. Spiller, A. & Schulze (Herausgeber) Universitätsverlag Göttingen, Göttingen S. 61 – 71.

BECKHOVE, A. (2011): Schweinerei auf die Schliche kommen. Top Agrar, 10 / 2011, S.128 – 129.

BHZP (2018): db.Planer. <http://www.bhzp.de/software/software/dbplaner/> (18.02.2018).

BIEDERSTÄDT, P. (2017): Das Smartphone ist die neue Forke.

<http://www.wn.de/Muensterland/Kreis-Steinfurt/Nordwalde/2905024-Smart-Farming-Das-Smartphone-ist-die-neue-Forke> (12.02.2018).

BIG DUTCHMAN (2010):

a: Gruppenhaltung von Sauen: Trächtige Tiere stressfrei untersuchen.

[https://www.bigdutchman.de/de/schweinehaltung/produkte/referenzen/bigfarm-netbericht-detail.html?tx\\_news\\_pi1%5Bnews%5D=849&cHash=147cbeaf2aa8a09e2f2ea09c066ebaa5](https://www.bigdutchman.de/de/schweinehaltung/produkte/referenzen/bigfarm-netbericht-detail.html?tx_news_pi1%5Bnews%5D=849&cHash=147cbeaf2aa8a09e2f2ea09c066ebaa5) (12.1.2018).

b: Automatische Geburtsüberwachung mit Sow Cam.

<https://www.bigdutchman.de/de/schweinehaltung/aktuelles/detail/automatische-geburtsueberwachung-mit-sowcam.html> (12.1.2018).

c: Stallklima: CO<sub>2</sub>-Sensor hilft Heizkosten sparen.

<https://www.bigdutchman.de/de/schweinehaltung/aktuelles/detail/stallklima-co2-sensor-hilft-heizkosten-sparen.html> (17.02.2018).

BIG DUTCHMAN (2012):

a: Neu: Rauschereflex wird zuverlässig und stressfrei erkannt.

<https://www.bigdutchman.de/de/schweinehaltung/aktuelles/detail/neu-rauschereflex-wird-zuverlaessig-und-stressfrei-erkannt.html> (09.12.2017).

b: Level Check ermittelt Trogfüllstand millimetergenau.

<https://www.bigdutchman.de/de/schweinehaltung/aktuelles/detail/levelcheck-ermittelt-troguellstand-millimetergenau.html> (10.02.2018).

BIG DUTCHMAN (2013): Sauenhaltung: Betriebsreportage in Lettern und bewegten Bildern.

<https://www.bigdutchman.de/de/schweinehaltung/aktuelles/detail/sauenhaltung-g-betriebsreportage-in-lettern-und-bewegten-bildern.html> (09.12.2017).

BIG DUTCHMAN (o. J.): TriSort pro – Die Automatische Sortierwaage für eine erfolgreiche Schweinemast

<https://cdn.bigdutchman.de/fileadmin/content/pig/products/de/Schweinehaltung-Schweinemast-TriSort-pro-Big-Dutchman-de.pdf> (18.01.2018).

BOHNEKAMP, A., KRIETER, J., MEYER, C. (2015): Technikunterstützt: Ist die Sau in der Rausche oder nicht? Bauernblatt 15.08.2015, S. 36 - 37.

BRÜGGEMANN, C. (2018): Vier von zehn polnischen Schweinehaltern ausgestiegen  
<https://www.topagrar.com/news/Markt-Marktnews-Vier-von-zehn-polnischen-Schweinemaestern-ausgestiegen-8987455.html> (15.01.2018).

CLAAS (o. J.): EASY – Efficient Agriculture Systems.  
<http://www.claas.de/blueprint/servlet/blob/896790/8325c172a9ce4a75a7d9dc3815caefa8/274858-dataRaw.pdf> (15.01.2018).

DBV (DEUTSCHER BAUERNVERBAND) (2016): Landwirtschaft 4.0 – Chancen und Herausforderungen. <http://www.bauernverband.de/landwirtschaft-40> (17.01.2018).

DETER, A. (2012): Die Silbermedaillengewinner der EuroTier 2012.  
[https://www.topagrar.com/foto\\_video/Die-Silbermedaillengewinner-der-EuroTier-2012-992693.html](https://www.topagrar.com/foto_video/Die-Silbermedaillengewinner-der-EuroTier-2012-992693.html) (12.1.2018).

DETER, A. (2014): Trends in der Schweinehaltungs- und Fütterungstechnik.  
<https://www.topagrar.com/news/Schwein-News-Schwein-Trends-in-der-Schweinehaltungs-und-Fuetterungstechnik-1579363.html> (10.02.2018).

DLG (2003): DLG-Arbeitsunterlage: Lüftung von Schweineställen.  
[http://2015.dlg.org/fileadmin/downloads/merkblaetter/DLG-Merkblatt\\_AU\\_lueftung.pdf](http://2015.dlg.org/fileadmin/downloads/merkblaetter/DLG-Merkblatt_AU_lueftung.pdf) (21.01.2018).

DRÄGER (o. J.): Dräger Polytron® C300.  
[https://www.draeger.com/de\\_de/Applications/Products/Stationary-Gas-Detection-Systems/Detection-of-Toxic-Gases-and-Oxygen/Polytron-C300](https://www.draeger.com/de_de/Applications/Products/Stationary-Gas-Detection-Systems/Detection-of-Toxic-Gases-and-Oxygen/Polytron-C300) (17.02.2018).

DRÄGER (2016): Dräger Polytron® C300: Ammoniaküberwachung und Klimakontrolle.  
<https://www.draeger.com/Products/Content/polytron-c300-pi-9102826-de-de.pdf> (22.01.2018).

FARMAFACT (o. J.): Die neue Düngeverordnung (DÜV).  
<https://www.farmfacts.de/aktuelles/die-neue-duengeverordnung/> (15.01.2018).

FRITZ, A. (2016): Niederlande – Abgabe von Schweinegülle so teuer wie nie.  
<https://www.agrarheute.com/tier/abgabe-schweineguelle-so-teuer-nie-519453>  
(15.01.2018).

FARMTOOL FARMSOFTWARE (o. J.): PigTool Farmsoftware.  
<http://farmtool.de/pigtool.html> (Abrufdatum: 12.02.2018).

FUNKEL A. (o. J.): AutoFOM: Neue Preisbildung durch Anpassung der Klassifizierung.  
<https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/tierproduktion/schweinehaltung/management/autofom-2011.htm> (15.01.2018).

GALLMANN, E. (2013): Technik in der Schweinehaltung. In: Jahrbuch Agrartechnik, Frerichs, L., Braunschweig.

HABECK, R. (2017): Gastbeitrag von Robert Habeck: „Digitalisierung als Allheilmittel?“  
<https://www.shz.de/regionales/schleswig-holstein/gastbeitrag-von-robert-habeck-digitalisierung-als-allheilmittel-id17754456.html> (12.02.2018).

HAMMER, N., PFEIFER, M., STAIGER, M., ADRION, F., GALLMANN, E., JUNGBLUTH T. (2017): Kosten-Nutzen-Analyse eines UHF-RFID-Systems zur Tierkennzeichnung, Simultanerfassung und Hotspotüberwachung von Mastschweinen und Milchkühen.

HÖLSCHER + LEUSCHNER (o. J.):

a: stallMASTER: Integriertes Mastprogramm zur automatischen Maststeuerung und Schlachtdatenanalyse. [http://hl-agrar.de/cms/upload/Flyer/H\\_L\\_Flyer\\_StallMaster\\_D.pdf](http://hl-agrar.de/cms/upload/Flyer/H_L_Flyer_StallMaster_D.pdf) (21.01.2018).

b: optiSORT – Das erfolgreiche Stallkonzept für moderne Schweinemast. [http://hl-agrar.de/cms/upload/Flyer/H\\_L\\_Flyer\\_Optisort\\_D.pdf](http://hl-agrar.de/cms/upload/Flyer/H_L_Flyer_Optisort_D.pdf) (15.01.2018).

c: Closed LOOP FEEDING. [http://hl-agrar.de/cms/upload/Flyer/H\\_L\\_Flyer\\_CLF\\_D.pdf](http://hl-agrar.de/cms/upload/Flyer/H_L_Flyer_CLF_D.pdf) (11.02.2018).

HÖLSCHER und LEUSCHNER (2016): FlüssigFÜTTERUNG. [http://hl-agrar.de/cms/upload/Flyer/H\\_L\\_Flyer\\_Fluessigfuetterung\\_D.pdf](http://hl-agrar.de/cms/upload/Flyer/H_L_Flyer_Fluessigfuetterung_D.pdf) (18.02.2018).

IQ – AGRAR (o. J.): Schlachtdaten. <http://www.iq-agrar.de/schlachtdaten-1.html> (15.01.2018).

ISN (INTERESSENGEMEINSCHAFT DER SCHWEINEHALTER DEUTSCHLANDS E.V.) (o. J.): ISN – Position zu Abrechnungsmasken. <https://www.schweine.net/isn-positionen/isn-position-abrechnungsmasken.html> (15.01.2018).

ISOAGRINET (o. J.): Das ist ISOagriNET. <http://www.isoagrinet.org/de/das-ist-isoagrinet> (19.01.2018).

JAEGER, G. T. (2011): Schweine füttern übers Handy. [https://www.nwzonline.de/wirtschaft/weser-ems/schweine-fuettern-uebers-handy\\_a\\_1,0,656891400.html](https://www.nwzonline.de/wirtschaft/weser-ems/schweine-fuettern-uebers-handy_a_1,0,656891400.html) (13.02.2018).

LAUSEN, P. (2017): Die neue Düngeverordnung verschärft Obergrenze – 170-Kilo Stickstoffgrenze vorausplanen. [https://www.lksh.de/fileadmin/dokumente/Bauernblatt/PDF\\_Toepfer\\_2017/BB\\_46\\_18.11/40-42\\_Lausen.pdf](https://www.lksh.de/fileadmin/dokumente/Bauernblatt/PDF_Toepfer_2017/BB_46_18.11/40-42_Lausen.pdf) (15.01.2018).

LEHMENKÜHLER, M. (2013): Bei „Grün“ kann besamt werden. Top Agrar 8/2013, S. 16 – 17.

LWK (LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NRW) (o. J.): Abb. 5b: Indexpunkte je kg Schlachtgewicht in Abhängigkeit vom Schlachtgewicht  
<https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/tierproduktion/schweinehaltung/pdf/abbildungen-autofom-2011.pdf> (15.01.2018).

LWK NIEDERSACHEN und BMEL (2016): Optimierung des Stallklimas in der Mast-schweinehaltung: Ein Leitfaden für die Praxis.  
<http://www.ringelschwanz.info/services/files/checklisten/MuD%20Leitfaden%20Optimierung%20Stallklima.pdf> (08.01.2018).

MARKS, M. (2006): Abruffütterung für tragende Sauen – Ein bewährtes System für die Zukunft. <http://www.duesse.de/lehrschau/pdf/2006/2006-03-02-haltung-2.pdf> (11.02.2018).

MEYER, A. (2013): Haltungstechnik für heute und Morgen?  
[https://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/MeyerTechnik\\_Fachinfo.pdf](https://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/MeyerTechnik_Fachinfo.pdf) (15.01.2018).

MEYER, A. (2016): Gülleanteil von Schweinen. <http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/1/nav/2046/article/25634.html> (15.01.2018)

MEYER, A. (2017): Schweinefütterung – Düngeverordnung: Weniger Nährstoffanteil in der Schweinefütterung. <https://www.agrarheute.com/landundforst/betriebfamilie/tier/duengeverordnung-weniger-naehrstoffanfall-schweinefuetterung-532055> (15.01.2018).

MEYER, E. (2013): Neue Technik in der Schweinehaltung Fütterungssysteme im Vergleich.  
[https://www.lksh.de/fileadmin/dokumente/Bauernblatt/PDF\\_Toepfer\\_2013/BB\\_24\\_15.06/41-43\\_Meyer\\_E.pdf](https://www.lksh.de/fileadmin/dokumente/Bauernblatt/PDF_Toepfer_2013/BB_24_15.06/41-43_Meyer_E.pdf) (10.02.2018).

- MÖLLER, R. (2016): Die FUTTER knAPP informiert, wenn das Futter knapp wird.  
<http://agrar-cockpit.de/tierproduktion/die-futter-knapp-informiert-wenn-das-futter-knapp-wird/> (11.02.2018).
- NEXT FARMING (o. J.): Smart Farming entlastet den Landwirt und liefert eine wichtige Datengrundlage. <https://www.nextfarming.de/smart-farming/#c119> (16.12.2017).
- NIGGEMEYER H. (2018): Husten schneller erkennen. In: Schweinezucht und Schweinemast 1/18 S. 40 u. 41.
- POLLMANN, C. & KNEES, M. (2013): Schweine Aktuell: Verkaufserfolg in der Mast steigern, Bauernblatt 13.11, S. 55 – 57.
- PROVIMI KLIBA (2014): Schweineproduktion in Großgruppen.  
[http://www.provimikliba.ch/artikel/schwein/technische-beratung/schweineproduktion-mit-grossgruppen\\_325\\_269\\_165](http://www.provimikliba.ch/artikel/schwein/technische-beratung/schweineproduktion-mit-grossgruppen_325_269_165) (11.02.2018).
- PRÜLLAGE SYSTEME (2016): Landwirtschaft 4.0 bei Prüllage Systeme.  
<http://www.pruellage.de/deutschland/aktuelles/index.html#577542a6b30e29002> (14.02.2018).
- SCHAUER AGROTONIC (o. J.):
- a: Babyfeed Saugferkelfütterung [http://www.schauer-agrotronic.com/fileadmin/content/download/Schwein/2016/Babyfeed\\_2016\\_DE.pdf](http://www.schauer-agrotronic.com/fileadmin/content/download/Schwein/2016/Babyfeed_2016_DE.pdf) (11.02.2018).
  - b: Compident Abruffütterung. <http://nature-line.com/deckstallwartestall/abruffuetterung/> (11.02.2018).
  - c: Spotfix Multiphasenfütterung. <http://www.schauer-agrotronic.com/schweinstall/schweinefuetterung/> (11.02.2018).
  - d: smart farming: NFC SmartControl. <http://www.schauer-agrotronic.com/schweinstall/schweinefuetterung/smart-farming-nfc-smartcontrol/> (13.02.2018).

SCHROEDER, P. (2015): IT-System ruft Schweine beim Namen zur Fütterung.  
<http://www.ingenieur.de/Branchen/Land-Forstwirtschaft/IT-System-ruft-Schweine-Namen> (10.02.2018).

STATISTA (o. J.): Selbstversorgungsgrad bei Schweinefleisch in ausgewählten Ländern der Europäischen Union im Jahr 2016.  
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/500931/umfrage/selbstversorgungsg-rad-bei-schweinefleisch-in-der-eu-nach-laendern/> (15.01.2018).

TOP AGRAR (2011): Vorschlag 11: Fütterungs- und Futtermisch-App.  
<https://www.topagrar.com/Vorschlag-11-Fuetterungs-und-Futtermisch-App-545832.html> (Abrufdatum: 13.02.2018).

TOP AGRAR (2012): Schaufenster Management. Top Agrar 12/2012, S. 36 – 37.

WAGENER, L. (2016): Landwirtschaft wird digital. <https://reset.org/blog/smart-farming-landwirtschaft-wird-digital-11082016> (Abrufdatum: 10.02.2018).

WESTPHAL & MAYERHOFEN (2014): 9 Schweine.  
[https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/iem/dateien/teilauszug\\_schweine\\_2014.pdf](https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/iem/dateien/teilauszug_schweine_2014.pdf) (15.01.2018).

WESTFLEISCH (o. J.): Teilstück–Punktbewertung AutoFOM – Handelswert – Masteber.  
[https://www.westfleisch.de/fileadmin/Bilder/01\\_Startseite/Presse/2017/2017-12-Abrechnungsmaske-Schwein.pdf](https://www.westfleisch.de/fileadmin/Bilder/01_Startseite/Presse/2017/2017-12-Abrechnungsmaske-Schwein.pdf) (16.02.2018).

VDMA (2016): Landwirtschaft 4.0 – Verständnis, Ziele und Handlungsbedarf aus Sicht der Landtechnikindustrie.  
<https://lt.vdma.org/documents/105903/19713550/015+-+Landwirtschaft+4.0/199bdce6-2220-426e-a129-31baee4994dd> (16.12.2017).

## Literaturverzeichnis Milchviehhaltung

AGRICAM AB (o. J.): Optimierer produktionen och ökar lönsamheten.

<https://www.agricam.se/> (14.02.2018).

AGRIO MELKVEE (2014): Met SAC-Glass displays in melkstal overbodig.

<http://www.melkvee.nl/nieuws/6074/met-sac-glass-displays-in-melkstal%20overbodig> (22.12.2017).

AGROMONT NITRA (2009-2011): StepMetrix – Lameness Detection Equipment Patented by BouMatic.

[http://www.agromontnitra.sk/index.php?option=%20%20com\\_content&view=article&id=45:stepmetrixnovinky&catid=3:novinky&Itemid=7&lang=en](http://www.agromontnitra.sk/index.php?option=%20%20com_content&view=article&id=45:stepmetrixnovinky&catid=3:novinky&Itemid=7&lang=en) (14.02.2017).

BRÄUER STALLTECHNIK (o. J.): Urban Kälbermama Lifestart.

<http://www.braeuer.cc/de/187/> (14.02.2018).

BAUERN- & WINZERVERBAND RHEINLAND-PFALZ SÜD E.V. (BWV-RLP) (2016): Landwirtschaft 4.0 – Digitalisierung birgt großes Potential.

<http://rlp-verbnetzt.de/landwirtschaft-4-0-digitalisierung-birgt-grosses-potential> (19.02.2018).

DELAVAL (2011):

a: Herd Navigator – Melkstände.

<http://www.delaval.ch/-/Produkte-und-Systeme/Management/Systeme/Herd-navigator/How-Herd-Navigator-works-in-milking-parlours/> (14.02.2018).

b: Herd Navigator mit DeLavals VMS. <http://www.delaval.ch/-/Produkte-und-Systeme/Management/Systeme/Herd-navigator/How-Herd-Navigator-works-for-DeLaval-VMS/> (14.02.2018).

c: Herd Navigator ist ein grosser Fortschritt hinsichtlich der Identifizierung der Kühe, welche der speziellen Aufmerksamkeit bedürfen.

<http://www.delavalfrance.fr/de-CH/-/Produkte-und->

Systeme/Management/Systeme/Herd-navigator/3-Ketose-Erkennung/  
(14.02.2018).

d: Herd Navigator erkennt Mastitis bis zu drei Tage bevor körperliche Anzeichen sichtbar sind. [http://www.delaval.ch/-/Produkte-und-](http://www.delaval.ch/-/Produkte-und-Systeme/Management/Systeme/Herd-navigator/2-Mastitis-Erkennung/)

Systeme/Management/Systeme/Herd-navigator/2-Mastitis-Erkennung/

e: Herd Navigator erfasst die genaue Progesteronkonzentration – Stillbrünstige Kühe können dennoch besamt werden. [http://www.delaval.ch/-/Produkte-](http://www.delaval.ch/-/Produkte-und-Systeme/Management/Systeme/Herd-navigator/1-Brunsterkennung/)

und-Systeme/Management/Systeme/Herd-navigator/1-Brunsterkennung/

(14.02.2018).

f: Erstes VMS Herd Navigator System in der Schweiz. (BILD)

<http://www.delaval.ch/About-DeLaval/DeLaval-Newsroom/?nid=114765>

(14.02.2018).

DELAVAL (2016): DeLaval Body Condition Scoring (BCS) Kamera.

<https://www.delaval.com/de/unsere-losungen/herdenmanagement/delaval-body-condition-scoring-kamera-bcs/> (14.02.18).

DEUTSCHER BAUERNVERBAND (DBV) (2016): 3.6 Digitalisierung in der Landwirtschaft.

<http://www.bauernverband.de/36-digitalisierung-in-der-landwirtschaft>

(19.02.2018).

ELITE (2015): Best Practice. Precision Dairy Farming. Sonderheft November 2015, Landwirtschaftsverlag.

a: Hightech auch im Melkstand. S. 20-21

b: iPad statt Tränkeeimer. S. 10-11

c: Die gläserne Milchkuh. S. 28-33

d: Kuh Navis für den Stall. S. 34

ELITE ONLINE (2010): Lely Astronaut mit neuem Konzept. [https://www.elite-](https://www.elite-magazin.de/technik/Lely-Astronaut-mit-neuem-Konzept-513887.html)

magazin.de/technik/Lely-Astronaut-mit-neuem-Konzept-513887.html  
(14.02.2018).

FÖRSTER-TECHNIK (o. J.): Kälbergesundheit im Blick - Arbeitsabläufe im Griff.  
<http://www.foerster-technik.de/website/de/index/eurotier2016.php>  
(14.02.2018).

FÖRSTER-TECHNIK (2017): Produkte, Kälber. <http://www.foerster-technik.de/website/de/produkte/kaelber.php> (09.12.2017).

GRAND RIVER ROBOTICS (o. J.): Lely Vector - Automatic Feeding System.  
<http://grrobotics.ca/lely-feed/vector/> (19.02.18).

HOLM & LAUE GmbH & Co. KG (2018): Milchtaxi - Neue Wege in der Eimerfütterung.  
<https://www.holm-laue.de/index.php?id=milchtaxi#ad-image-0> (19.02.2018).

KLINDT WORTH, M. (2006): DLG e.V. Entwicklungsstufen der Prozesssteuerung in der Milchviehhaltung, Prozesssteuerung in der Milchkuhhaltung, DLG Merkblatt 312, S.4.

LELY (2017):

a: Time for Cows (T4C) – Treffen Sie richtige Entscheidungen anhand aktueller Informationen. <https://www.lely.com/de/losungen/lely-time-for-cows/>  
(14.02.2018).

b: Verwendung der Milchtemperatur in der Praxis.  
<https://www.lely.com/de/farming-insights/verwendung-der-milchtemperatur-der-praxis/> (14.02.2018).

LELY (2018): Lely Vector. <https://www.lely.com/de/losungen/futtern/vector/>  
(19.02.2018).

LEMMER FULLWOOD (o. J.): Die neue Dimension für die Vitalitätsüberwachung: Inline Milchanalyse mit FULLEXPert IMA. <http://www.lemmer-fullwood.info/technik/herdenmanagement/fullexpert-ima/> (14.02.2018).

MAHLKOW-NERGE, K. u. HUUCK, S. (2013): Erfahrungen mit dem Herd Navigator. Bauerblatt, 5. Januar 2013, S.34-35.

PROFI (2014): Lely Vector. [http://m.youtube.com/watch?t=6s&v=Um2ZcfR\\_GDE](http://m.youtube.com/watch?t=6s&v=Um2ZcfR_GDE) (19.02.2018).

RUMIN WATCH (2017): Rumin Watch System, Messinstrument zum Aktivitäts- und Verhaltensmonitoring bei Wiederkäuern. <https://www.rumiwatch.ch/> (28.12.2017).

SCHRIJVER STALLINRICHTING (2017): Holm & Laue Melktaxi 4.0. <https://m.youtube.com/watch?v=HfOjZqyrogu> (19.2.2018).

SPEIT, H., HOPPE, S., HOLSTEG, M. (2017): Geburtsmelder für Rinder aus Irland in Haus Riswick getestet. [http://www.riswick.de/rundum/geburtsmelder\\_moocal.html](http://www.riswick.de/rundum/geburtsmelder_moocal.html) (10.12.2017).

STRAUTMANN (o. J.): Weltneuheit aus dem Hause Strautmann. [www.strautmann.de/Unternehmen/Aktuelles/Weltneuheit%20-%20Autonomer%20Selbstfahrer%20Verti-Q.html](http://www.strautmann.de/Unternehmen/Aktuelles/Weltneuheit%20-%20Autonomer%20Selbstfahrer%20Verti-Q.html) (19.02.2018).

STÖCKER, C. u. VEAUTHIER, G. (2013): Die gläserne Milchkuh. Elite Best Practice – Precision Dairy Farming, S. 28-30.

TOP AGRAR (2016): pH-Wert- und Temperatur-Messung im Pansen. <https://www.topagrar.com/archiv/pH-Wert-und-Temperatur-Messung-im-Pansen-2733242.html> (10.12.2017).

URBAN (2017): Produkte, Kälbermama. <https://www.urbanonline.de> (10.12.2017).