

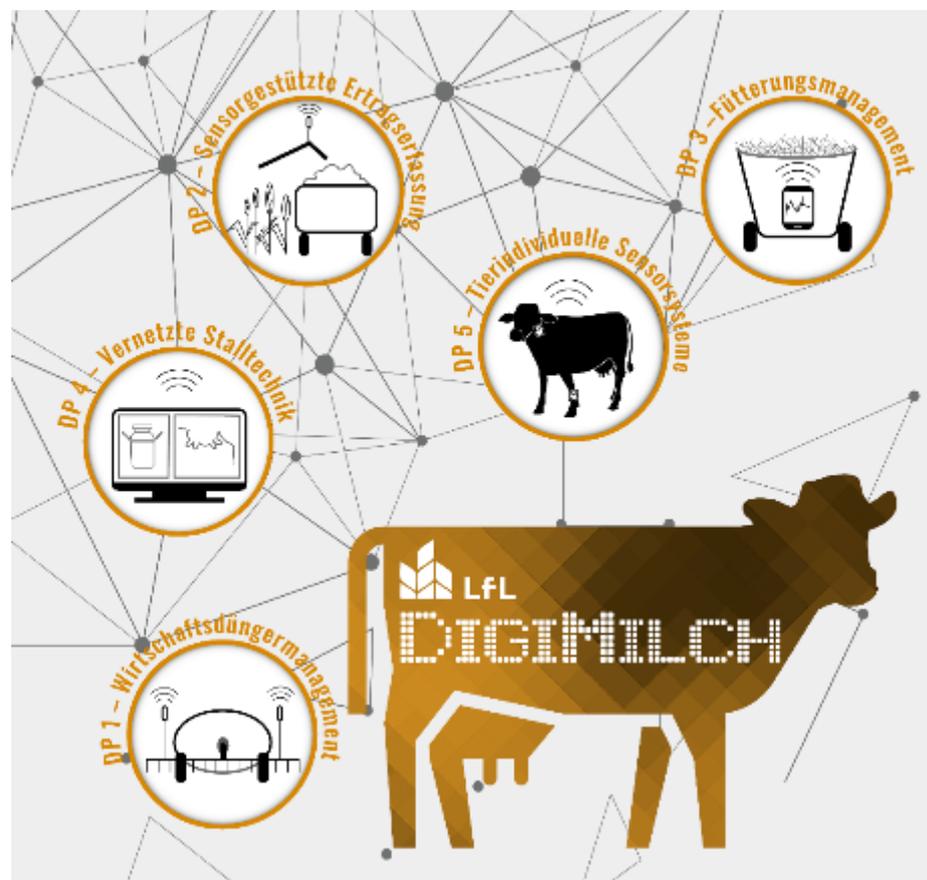


LfL

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

DigiMilch: Einblicke in die Zukunft der Milcherzeugung

Tagungsband zur Online-Vortragsveranstaltung



LfL-Tagungsband

Impressum

Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan
Internet: www.LfL.bayern.de

Redaktion: Institut für Landtechnik und Tierhaltung
Prof.-Dürrwächter-Platz 2, 85586 Poing
E-Mail: TierundTechnik@LfL.bayern.de
Telefon: 08161 8640-7300

1. Auflage: Juni 2021, erscheint als digitales Web-PDF zum Download

© LfL, alle Rechte beim Herausgeber

Die Beiträge in diesem Tagungsband geben die Meinung der Autoren wieder.



DigiMilch: Einblicke in die Zukunft der Milcherzeugung

online-Vortragsveranstaltung

am 17. Juni 2021

in Grub

Dr. Bernhard Haidn und Dr. Isabella Lorenzini (Hrsg.)

Tagungsband

Inhaltsverzeichnis

1	Daten und KI: Chancen, Risiken und Nebenwirkungen für die digitale Landwirtschaft.....	7
1.1	Einleitung	7
1.2	Material und Methoden	7
1.3	Chancen	8
1.4	Risiken und Nebenwirkungen	9
1.5	Fazit.....	10
1.6	Literaturverzeichnis.....	11
2	Experimentierfeld DigiMilch: Digitalisierung in der Prozesskette Milcherzeugung	12
2.1	Einführung.....	12
2.2	Aktueller Projektstand.....	13
2.3	Ausblick	14
2.4	Literaturverzeichnis.....	14
2.5	Danksagung und Förderhinweis.....	14
3	ISOBUS im Kontext des automatisierten Wirtschaftsdüngermanagements	15
3.1	Einleitung	15
3.2	Material und Methoden	17
3.3	Haupttext	19
3.4	Fazit	20
3.5	Literaturverzeichnis.....	22
4	Datenfluss und Vernetzung in der Außenwirtschaft	23
4.1	Einleitung	23
4.2	Ausgewählte digitale Technologien	23
4.2.1	Fernerkundung im Grünland	24
4.3	Bodenproben in den Managementzonen	24
4.4	Teilflächenspezifische Düngung	25
4.5	Anbindung der Landtechnik.....	25
4.6	Herausforderungen in der Digitalisierung der Außenwirtschaft	26
4.7	Literaturverzeichnis.....	27
5	Demonstrationsprojekt 1: Wirtschaftsdüngermanagement Wie genau arbeiten Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) Sensoren im Vergleich zum Labor? Ein Zwischenstand	28
5.1	Einleitung	28

5.2	Material und Methoden	29
5.3	Ergebnisse	30
5.4	Literaturverzeichnis.....	32
5.5	Danksagung und Förderhinweis.....	32
6	Demonstrationsprojekt 2: Sensorgestützte Ertragsermittlung.....	33
6.1	Einleitung und Zielsetzung.....	33
6.2	Material und Methoden	34
6.3	Erste Ergebnisse und Diskussion	35
6.3.1	Ertrags- und Feuchteermittlung am SFH	35
6.3.2	Datenfluss.....	36
6.3.3	Nutzen für den Landwirt	36
6.4	Ausblick	37
6.5	Literaturverzeichnis.....	37
6.6	Danksagung und Förderhinweis.....	37
7	Datenfluss im Bereich Fütterungsmanagement – Praxis der Feldrobotik: Autonome Fütterung	38
7.1	Einleitung	38
7.2	Autonome Fütterung in der Praxis	39
7.3	Adaptive Autonomie	40
7.4	Fazit.....	41
7.5	Literaturverzeichnis.....	42
7.6	Danksagung.....	42
8	Demonstrationsprojekt 3: Fütterungsmanagement.....	43
8.1	Einleitung	43
8.2	Material und Methoden	43
8.3	Zwischenergebnisse	44
8.3.1	Kontrolle der Beladung	44
8.3.2	Durchschnittliche TM-Aufnahme der Herde	45
8.3.3	Stoffstrom.....	46
8.3.4	Rückschluss auf die Erträge	47
8.4	Weiteres Vorgehen.....	48
8.5	Literaturverzeichnis.....	49
8.6	Danksagung und Förderhinweis.....	49
9	Bedeutung von Assistenzsystemen in der Milchviehhaltung.....	50
9.1	Einführung.....	50

9.2	Arbeitssituation	50
9.3	Prozessüberwachung und Optimierung.....	51
9.4	Mit digitaler Bildverarbeitung entsteht ein „Regelkreis“!	53
9.5	Fazit zur Bewertung von Assistenzsystemen	54
9.6	Literaturverzeichnis:.....	54
10	Herdenmanagement für gewachsene Familienbetriebe - Sensorik im Melkroboter und Auswertungen aus einem Praxisbetrieb	55
10.1	Einleitung	55
10.2	Hauptteil	55
10.3	Fazit/Zusammenfassung	58
11	Demonstrationsprojekt 4: Vernetzte Stalltechnik. Bedürfnisse und Anforderungen aus Sicht der Landwirte	59
11.1	Einleitung	59
11.2	Material und Methoden	60
11.3	Ergebnisse und Diskussion.....	60
11.4	Ausblick	62
11.5	Literaturverzeichnis.....	63
11.6	Danksagung und Förderhinweis.....	63
12	Demonstrationsprojekt 5: Vernetzte, tierindividuelle Sensorsysteme	64
12.1	Einleitung	64
12.2	Material und Methoden	65
12.3	Ergebnisse	66
12.3.1	Einsatz von digitalen Technologien auf dem Betrieb	66
12.3.2	Vorhersagemodelle Lahmheiten	67
12.4	Fazit und Aussicht	67
12.5	Literaturverzeichnis.....	68

1 Daten und KI: Chancen, Risiken und Nebenwirkungen für die digitale Landwirtschaft

Daniela Nicklas, Simon Steuer, Michael Sünkel (Lehrstuhl für Informatik, insb. mobile Softwaresysteme/Mobilität, Universität Bamberg)

Zusammenfassung

Die meisten Methoden der Künstlichen Intelligenz sind immer nur so gut wie die Daten, auf denen sie arbeiten. Ihr Einsatz bietet große Chancen in der Landwirtschaft für Tierwohl, Umweltschutz und den effizienten Einsatz von Ressourcen. Sie bergen aber auch Risiken und können unerwünschte oder zumindest ungeplante Nebenwirkungen haben. Dieser Beitrag gibt einen Überblick über die relevanten Aspekte des gleichnamigen Vortrags.

1.1 Einleitung

Die digitale Transformation der Gesellschaft hat auch die Landwirtschaft bereits in weiten Teilen durchdrungen. Große Hoffnungen ruhen dabei auf der intelligenten Verwendung von Daten, insbesondere durch Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI). Viele landwirtschaftliche Betriebe nutzen bereits heute Software und andere digitale Technologien (oft als „Precision Farming“ oder „Smart Farming“ bezeichnet), um ihre Produktionsprozesse und Tiere besser zu verstehen, effizienter und nachhaltiger zu führen und die Einhaltung von gesetzlichen Vorgaben nachweisen zu können (BMEL, 2021).

Mit der sogenannten KI soll es dabei noch einfacher werden, automatisiert problematische Situationen zu erkennen oder die richtigen Entscheidungen zu treffen. Die KI ist ein Teilgebiet der Informatik, das sich schon seit den sechziger Jahren mit der Frage beschäftigt, ob Computer menschliche Intelligenz nachbilden können. Da es bereits an einer genauen Definition von „Intelligenz“ mangelt, bleibt der Begriff vage. Häufig werden darunter lernende Ansätze verstanden, bei dem Teile eines Softwaresystems nicht programmiert werden, sondern die Software „trainiert“ wird, das Richtige zu tun. Man hofft, die Notwendigkeit, über den Einsatz und die Funktionsweise des Systems nachdenken und es zu verstehen zu müssen, durch die Verwendung möglichst vieler Daten ersetzen zu können („Hope: Replace the need to think by sampling data“, (Schmid, 2021)). Doch oft ist diese Hoffnung nicht berechtigt.

Dieser Beitrag gibt einen kurzen Einblick in datenorientierte Methoden, zeigt die großen Chancen dieser Methoden am Beispiel ausgewählter Projekte und diskutiert mögliche Risiken und meist unerwünschte Nebenwirkungen, die beim unüberlegten Einsatz auftreten könnten.

1.2 Material und Methoden

Digitalisierung ist ohne Daten nicht möglich. Sie repräsentieren Zustände der realen Welt wie z. B. die Futtermenge oder den Aufenthaltsort einer Kuh und ermöglichen es so der Software, Auswertungen anzuzeigen, Schlussfolgerungen abzuleiten oder automatisierte Systeme zu steuern. Dazu müssen Daten zunächst erfasst werden, entweder durch Sensoren, durch Menschen oder über Schnittstellen zu anderen Systemen. Jede Methode hat dabei ihre eigenen Einschränkungen, die zu Problemen der bei der Datenqualität führen können.

Sensoren – wie z. B. Lichtschranken, Pansenboli, GPS-Tracker oder Wetterstationen haben den Vorteil, dass sie automatisch und kontinuierlich arbeiten und so eine große und umfassende Datenmenge bereitstellen. Leider sind sie fehleranfällig, müssen installiert und gewartet werden und liefern oft zunächst nur Rohdaten (z. B. eine Koordinate), die interpretiert werden müssen („Abgleich mit der Karte und der aktuell abgesteckten Weide“) um zu einem verwendbaren Ergebnis zu kommen („diese Kuh ist außerhalb der Weide!“).

Menschen dagegen können einen Zustand direkt interpretieren und ins System eintragen. Sie benötigen dazu eine Nutzungsschnittstelle, am besten vor Ort, was durch die Verfügbarkeit von Smartphones deutlich einfacher geworden ist. Manche Zustände sind jedoch verborgen oder erfordern Fachwissen, so dass die Interpretation des gleichen Anscheins unterschiedlich ausfallen kann. Auch ist der Einsatz von Personal teuer, so dass Zustände nur punktuell erfasst werden können.

Schließlich können Daten auch aus anderen Softwaresystemen oder öffentlichen Datenquellen stammen. Dabei geht leider oft verloren, auf welchem Weg die Daten ursprünglich erfasst wurden (sog. „data provenance“). Die oben erwähnten Probleme der Datenqualität bleiben dabei grundsätzlich bestehen.

Daten sind die Grundlage für fast alle Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) und insbesondere des maschinellen Lernens. Dabei wird unterschieden zwischen dem überwachten (supervised) Lernen und dem unüberwachten (unsupervised) Lernen. Im ersten Fall werden dem System Beispiele von Daten sowie die „richtige Antwort“ in Form sogenannter Labels präsentiert. Nachdem das System genügend Beispiele gesehen hat, kann es in Zukunft bei neuen Daten ebenfalls ein Label ableiten und ausgeben.

Ein Beispiel hierfür ist die Aktivitätserkennung bei Tieren: Zunächst werden mit einem Sensorhalsband Daten wie Beschleunigung und Ausrichtung erfasst; parallel wird in der Regel durch menschliche Beobachtung die zeitgleich vorliegende Aktivität (gehen, liegen, grasen, ...) als Label notiert (so genannte „Ground Truth“). Danach wird ein System mit Daten und Labels trainiert und daraus ein Modell erstellt. Mit diesem Modell kann ein System in Zukunft die Aktivität automatisch erfassen (siehe z. B. (Barwick et al., 2018), (Kamminga et al., 2018) (Schmeling et al., 2019)). Beim unüberwachten Lernen wird in einer großen Menge von Daten nach Zusammenhängen und Strukturen gesucht, wie z. B. Clustern oder Trends, die dann ebenfalls als Modell bezeichnet werden.

Die Verfahren unterscheiden sich außerdem danach, ob und wie gut die gelernten Modelle erklärbar bzw. für Menschen nachvollziehbar sind. Gerade die aktuell häufig verwendeten künstlichen neuronalen Netze des sog. Deep Learning sind dies nicht; es ist auch für Experten daher nicht nachvollziehbar, warum das trainierte Modell zu einer bestimmten (ggf. Fehl-)Entscheidung kommt.

1.3 Chancen

Der Einsatz von Daten und KI-basierten Methoden bietet zahlreiche Chancen, wie wir in diesem Abschnitt anhand ausgewählter Projekte illustrieren wollen.

Im Projekt Cow Body Scan¹ wird z. B. ein 3D-Bildanalyse-System für die tägliche Tierbeobachtung verwendet. Die Tiere werden sensorisch nach ihrer Bewegung vermessen. Dies liefert Verlaufsdaten zur Körperkondition, zum Gangbild und zum Wachstum der Kühe. Die Abweichungen von den tierindividuellen Erwartungswerten erlauben es Rückschlüsse

¹ <https://www.dsp-agrosoft.de/produkte/cow-body-scan/>

zu beginnenden Lahmheiten oder zur laktationsabhängigen Konditionierung der Herde zu detektieren.

Auch die Klauengesundheit ist für die Langlebigkeit und Vitalität von Milchkühen essentiell. Im Projekt KLAUENfitnet² sollen Landwirte unterstützt werden, lahrende Tiere frühzeitig zu erkennen. Da sich dies in größeren Herden als schwierig darstellt werden Support-Tools zur Überwachung und Verbesserung der Klauengesundheit bereitgestellt. Hierfür werden Daten aus dem Herdemanagementsystem (wie die Aktivitätsmuster der Tiere, Hitze-Stress-Index, oder Klauenschnittbefunde) miteinander verknüpft, interpretiert und verdichtet werden. Im Nachfolgeprojekt KLAUENfitnet 2.0³ wird dazu ein digitales Hilfesystem sowie ein E-Learning-Programm für Landwirte entwickelt.

Im Teilprojekt „Rindertracking“ des Verbundvorhabens FutureIOT⁴, das von der Bayerischen Forschungsförderung gefördert wird, werden Methoden zur automatischen Gesundheitsüberwachung auf der Weide mit Hilfe von Bewegungssensoren entwickelt. Frühzeitiges Erkennen von Störungen und Belastungen können dabei zur schnellen Wiederherstellung von Tiergesundheit und Tierwohl beitragen. So können zum Beispiel Veränderungen in den Zeiten für Wiederkauen (erfasst durch einen Sensor am Halsband) Hinweise auf Hitzestress geben (Schmeling et al., 2021).

Ein sehr ambitioniertes Projekt für die zukünftige Verbindung von Landwirtschaft mit KI-basierten Methoden ist Agri-Gaia⁵. Hier soll ein agrarwirtschaftliche KI-Ökosystem, auf der Basis der europäischen Cloud-Initiative GAIA-X entstehen. Dazu wurde in GAIA-X die erste Domäne Agrar als Anwendungsfall definiert. Auf der Plattform sollen Daten sicher zwischen Landwirten, Landtechnikherstellern, Dienstleistern oder der Lebensmittelwirtschaft geteilt werden können. Agri-Gaia stellt KI-Methoden bereit, damit der mittelstandsgeprägte Agrarsektor für die Zukunft gut aufgestellt ist und die Datenhoheit der Betriebe erhalten bleibt.

Insgesamt kann man feststellen, dass insbesondere automatisiert erhobene Daten einen deutlich besseren Einblick und Überblick und damit eine ressourceneffiziente Betriebsführung erlauben. Auch finden sich zahlreiche Beispiele, wie das Tierwohl verbessert werden kann, in dem Gesundheitsprobleme frühzeitig erkannt werden und die Bewegungsfreiheit und Autonomie der Tiere vergrößert werden, ohne sie dabei aus dem Blick zu verlieren.

1.4 Risiken und Nebenwirkungen

Gerade wegen der vielen Chancen, die der Einsatz von digitalen Technologien in der Landwirtschaft bietet, dürfen die Risiken und Nebenwirkungen nicht außer Acht gelassen werden. Häufig stehen zu Beginn hohe Anschaffungskosten und möglicherweise auch hohe Folgekosten einem nicht vollständig geklärten Nutzen gegenüber. Beispielsweise können GPS-basierte Systeme bei Rindern eine zuverlässige Lokalisierung im Außenbereich leisten; der relativ hohe Energiebedarf erfordert jedoch häufiges Aufladen, und eine Lokalisierung im Stall ist häufig nicht möglich.

² <https://www.klauenfitnet.de>

³ https://www.ble.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2019/190305_KLAUENfitnet.html (zuletzt abgerufen 2021-06-19)

⁴ <https://www.futureiot.de/portfolio/rindertracking> (zuletzt abgerufen 2021-06-19)

⁵ <https://www.agri-gaia.de/> (zuletzt abgerufen 2021-06-19)

Auch sind KI-basierte Systeme meist nur so gut wie die Daten, mit denen sie trainiert wurden. Wenn sich die Datenbasis beim Training sich zu sehr von den Daten im tatsächlichen Einsatz unterscheidet – z. B. durch die Verwendung anderer Sensoren oder durch eine unbalancierte Verteilung von Trainingsbeispielen – dann kann es im Einsatz zu einem deutlich höheren Anteil von Fehlklassifikationen kommen. Ohne ausreichende Überwachung und Korrektur des Systems durch den Menschen führt dies möglicherweise zu teuren Fehlern.

Aktuelle sensorbasierte Systeme sind häufig zentralisiert und es fehlt die Eigenschaft einer systemressourcenbewussten Datenverarbeitung. Eine zentralisierte Verarbeitung ist in der Regel suboptimal: Alle Roh-Daten müssen zunächst in die Cloud gesendet werden, um sie dort zu verarbeiten. Dadurch hinaus verursacht Cloud Computing eine hohe Netzwerkklast, hohe Latenzzeiten, einen hohen Energieverbrauch und wirft möglicherweise Bedenken hinsichtlich der Privatsphäre und Datenhoheit auf. Die optimale Positionierung der Verarbeitung im Sinne des Edge- und Fog-Computings ist daher entscheidend für die Ressourceneffizienz und für Echtzeitanwendungen mit geringer Latenz (Kasrin et al., 2021).

Viele Anbieter haben zudem geschlossene Systeme, die eine gemeinsame Verwendung von Daten unterschiedlicher Quellen erschweren oder gar unmöglich machen. Dazu kommt der sogenannte „Vendor-Lockin“: Wenn der Anbieter eines geschlossenen Systems vom Markt verschwindet oder eine gewünschte Weiterentwicklung nicht anbietet, ist es teuer bis unmöglich, bestehende Installationen zu einem anderen Anbieter zu migrieren.

Schließlich ergeben sich durch vermehrt digitale Lösungen und die kontinuierliche Weiterentwicklung der Technik höhere Anforderungen an die landwirtschaftliche Arbeit, während traditionelles Wissen – zumindest scheinbar – an Bedeutung verliert. Dies kann möglicherweise die generationsübergreifende Zusammenarbeit erschweren, die in vielen kleineren Betrieben üblich ist (BMEL, 2021).

1.5 Fazit

Insgesamt ergeben sich durch digitale Technologien viele Chancen. Der Einsatz von KI-basierten Methoden kann dabei traditionelles Wissen und den Menschen im allgemeinen nicht ersetzen, sondern nur ergänzen. Automatisierte Systeme sind nur so gut wie die Daten, mit denen sie gespeist werden. Hieraus ergeben sich Herausforderungen für die Entwicklung solcher Systeme: Die KI-Systeme müssen mit Daten trainiert werden, die dem tatsächlichen Einsatzzweck entsprechen; die Daten müssen im Einsatz wartungsarm und zuverlässig erfasst werden; die Systeme benötigen offene Schnittstellen, um einen Vendor-Lockin zu vermeiden und um Systeme verschiedener Anbieter kombinieren zu können; und schließlich muss der Mensch in die Lage versetzt werden, die Systeme geeignet überwachen und jederzeit auch korrigieren zu können.

1.6 Literaturverzeichnis

- Barwick, J., Lamb, D., Dobos, R., Schneider, D., Welch, M., & Trotter, M. (2018). Predicting Lameness in Sheep Activity Using Tri-Axial Acceleration Signals. *Animals: An Open Access Journal from MDPI*, 8(1).
<https://doi.org/10.3390/ani8010012>
- BMEL. (2021). Digitalisierung in der Landwirtschaft—Chancen nutzen—Risiken minimieren. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL).
<http://www.bmel.de/publikationen>
- Kamminga, J. W., Le, D. V., Meijers, J. P., Bisby, H., Meratnia, N., & Havinga, P. J. M. (2018). Robust Sensor-Oriented-Independent Feature Selection for Animal Activity Recognition on Collar Tags. *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, 2(1), 15:1-15:27.
<https://doi.org/10.1145/3191747>
- Kasrin, N., Benabbas, A., Elmamooz, G., Nicklas, D., Steuer, S., & Sünkel, M. (2021). Data-sharing markets for integrating IoT data processing functionalities. *CCF Transactions on Pervasive Computing and Interaction*.
<https://doi.org/10.1007/s42486-020-00054-y>
- Schmeling, L., Elmamooz, G., Nicklas, D., Thurner, S., & Rauch, E. (2021). Evaluation of a sensor-based system for monitoring rumination in dairy cows with access to pasture. to appear in: *AgEng 2021. International Conference on Agricultural Engineering*, online.
- Schmeling, L., Thurner, S., Maxa, J., & Rauch, E. (2019). Recording the behaviour of grazing cows to develop a sensor-based health monitoring system. *Proceedings of 9th European conference on Precision Livestock Farming*, Cork, Ireland, 26-29 August'19.
- Schmid, U. (2021, April 14). *The Third Wave of Artificial Intelligence: From Blackbox Machine Learning to Explanation-Based Cooperation*. Women in Data Science, Regensburg, Germany.

2 Experimentierfeld DigiMilch: Digitalisierung in der Prozesskette Milcherzeugung

Isabella Lorenzini, Bernhard Haidn, Jan Harms, Fabian Lichti, Stefan Thurner (Institut für Landtechnik und Tierhaltung, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft), Martin Schäffler (Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft)

Zusammenfassung:

Das Projekt DigiMilch ist eines von 14 durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft geförderten digitalen Experimentierfeldern. Das Ziel der Experimentierfelder ist es, den Einsatz von digitalen Technologien zum Schutz der Umwelt, zur Arbeitserleichterung und zur Steigerung des Tierwohls auf Milchviehbetrieben zu untersuchen. Im Experimentierfeld DigiMilch werden anhand von fünf Demonstrationsprojekten alle Arbeitsbereiche eines Milchviehbetriebs hinsichtlich des Nutzens und des Einsatzes von digitalen Technologien untersucht.

2.1 Einführung

Milchviehhaltung stellt Landwirte heutzutage vor viele Herausforderungen. Die Arbeitsintensivität, der bestehende Arbeitskräftemangel, die knappen zur Verfügung stehenden Flächen sowie der Druck seitens der Politik und der Öffentlichkeit, aber auch der anhaltende Druck auf die Erzeugerpreise treiben den Strukturwandel auf deutschen Milchviehbetrieben voran. Hinzu kommt, dass potenzielle Hofnachfolger zunehmend ihre Zukunft in einem außerlandwirtschaftlichen Beruf sehen. Die Anzahl an Milchviehbetrieben nimmt deshalb stetig ab, während die Anzahl an Milchkühen in Deutschland erst in den letzten sechs Jahren etwas weniger geworden ist (Statistisches Bundesamt, 2020). In der Folge werden viele kleinstrukturierte und familiengeführte Milchviehbetriebe, wie sie in Süddeutschland vorwiegend zu finden sind, aufgegeben.

Die zunehmende Nutzung digitaler Technologien stellt nicht nur für große Betriebe, sondern auch für kleinstrukturierte eine vielversprechende Entwicklung in der Landwirtschaft dar. Digitale Technologien im Stall sowie auf dem Feld haben das Potential die Arbeitseffizienz zu erhöhen, das Tierwohl zu steigern und Verfahren nachhaltiger zu gestalten. Der hohe Investitionsbedarf, fehlende Entscheidungsalgorithmen, Inkompatibilität zwischen Systemen, komplizierte Handhabung und fehlende IT-Kenntnisse zählen zu den wichtigsten Hemmnissen bei der Anschaffung von digitalen Technologien auf Milchviehbetrieben (Schleicher & Gandorfer, 2018).

Die Ziele des Experimentfeldes DigiMilch sind deshalb die Demonstration existierender digitaler Lösungen für die Prozesskette Milcherzeugung sowie die Überprüfung der Eignung dieser Technologien für den Einsatz in familiengeführten Praxisbetrieben. Die Eignung wird anhand von quantitativen und qualitativen Kriterien überprüft; zusätzlich werden Einsatzerfahrungen erfasst und ggf. bestehende Mängel aufgezeigt. Gemeinsam mit Software- und Maschinenherstellern sowie landwirtschaftlichen Selbsthilfeeinrichtungen werden Hinweise auf Defizite der untersuchten Technologien diskutiert und an Lösungsansätzen gearbeitet. Dadurch könnte die sensorgestützte Datenerfassung in den verschiedenen Arbeitsbereichen eines Milchviehbetriebs verbessert werden und Landwirte in ihren Entscheidungen zur Investition in digitale Technologien unterstützt werden. Durch die Zusammenarbeit mit Software- und Maschinenherstellern aus der Agrarbranche sowie durch Synergien mit anderen digitalen Experimentierfeldern werden Innovationen und neue

Entwicklungen der Produkte vorangetrieben und wissenschaftlich begleitet. Ein wesentliches Ziel des Projektes ist neben der Überprüfung der Eignung von Technologien für den Einsatz in der Praxis, die Diskussion rund um die Thematik der Inkompatibilität bzw. der Vernetzung zwischen Technologien und das Aufzeigen des Potentials von neuen Verbindungen zwischen Systemen.

Ein weiteres wichtiges Ziel des Experimentierfelds DigiMilch ist es, Ergebnisse und Inhalte der einzelnen Demonstrationsprojekte durch einen systematischen Wissenstransfer an Landwirte und Landwirtinnen, Akteure der agrar-Branche und sogar an Verbraucher und Verbraucherinnen weiterzugeben. Der Wissenstransfer findet sowohl über klassische Medien, wie Veröffentlichungen in Fachzeitschriften, Vorträge auf wissenschaftlichen Tagungen sowie über Workshops und abendliche Vortragsreihen, als auch über internetbasierte Medien (Webseite, Newsletter, Social Media Plattformen) statt. Aktuelle Studien zeigen, dass Verbraucher die Auswirkung der Ausbreitung von digitalen Technologien in der Landwirtschaft positiv bewerten (Pfeiffer et al., 2019). Eine Ausnahme hierzu stellte die Abfrage von Spontanassoziationen zu verschiedenen Technologien im Stall dar, bei der eine emotionale Komponente deutlich wurde (Pfeiffer et al., 2019). Medien berichten zwar überwiegend positiv über die Entwicklungen der Digitalisierung in der Landwirtschaft (Mohr und Höhler, 2020) trotzdem wird die Relevanz von Aufklärungsarbeit zur Digitalisierung in der Landwirtschaft und zu Zukunftsaussichten für die Agrarbranche nicht nur in Fachkreisen, sondern auch bei Verbrauchern und Verbraucherinnen offensichtlich.

Die Ziele des Experimentierfeldes werden im Rahmen von fünf Demonstrationsprojekten (DP) verfolgt. Die Demonstrationsprojekte bilden die zentralen innerbetrieblichen Prozesse eines Milchviehbetriebes ab: über Wirtschaftsdüngermanagement (siehe Kapitel 5), sensorgestützte Ertragsermittlung (siehe Kapitel 6), Fütterungsmanagement (siehe Kapitel 8), vernetzte Stalltechnik (siehe Kapitel 11) bis hin zu den tierindividuellen Sensorsystemen (siehe Kapitel 12). Offizieller Projektpartner ist die Technische Universität München mit dem Lehrstuhl für Agrarmechanik. Im Rahmen eines „OnFarm-Testbed“ (siehe Kapitel 3) wird zusammen mit Demonstrationsprojekt 1 am Thema Wirtschaftsdüngermanagement, insbesondere den Schnittstellen gearbeitet.

2.2 Aktueller Projektstand

Die Datenerfassung erfolgt momentan auf 19 Praxisbetrieben und auf 4 Versuchsbetrieben in ganz Bayern. Die erfassten Daten fließen zu Dokumentationszwecken und für wissenschaftliche Auswertungen in eine zentrale DigiMilch Datenbank am IT-Dienstleistungszentrum des Freistaats Bayern. Die Datenbank befindet sich momentan im Aufbau. Hierfür werden in Zusammenarbeit mit der Abteilung für Information- und Wissensmanagement der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft Schnittstellen zu der auf den Betrieben vorhandenen Technik sowie zu Cloud-basierten Lösungen für die Zwischenspeicherung von Daten geschaffen.

Die zur Eindämmung der Pandemie beschlossenen Hygienemaßnahmen, erforderten die Erfindung eines neuen, verstärkt auf die Vermittlung von digitalen Inhalten angepassten, Konzepts für den Wissenstransfer. Durch online Vorträge, den Dreh von Kurzfilmen und das Angebot von Präsenzveranstaltungen mit reduzierter Teilnehmerzahl, war es möglich vorläufige Erkenntnisse und Ergebnisse an verschiedene Zielgruppen weiterzugeben. Durch die abendliche Online-Vortragsreihe „DigiMilch im Dialog“ konnten Inhalte aus den Demonstrationsprojekten an über 500 Interessierte vermittelt werden.

2.3 Ausblick

Zusätzlich zur Online-Tagung „DigiMilch: Einblicke in die Zukunft der Milcherzeugung“ und der bereits an fünf Abenden durchgeführten Veranstaltungsreihe „DigiMilch im Dialog“ sind im weiteren Verlauf für das Jahr 2021 fünf Feld- und Stalltage auf Projektbetrieben geplant, um auch das Ziel der Demonstration von digitalen Technologien vor Ort auf Praxisbetrieben erfüllen zu können.

2.4 Literaturverzeichnis

Destatis, Statistisches Bundesamt, (2020). Viehbestand - Fachserie 3 Reihe 4.1 - 3.November 2020, <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Tiere-Tierische-Erzeugung/Publicationen/Downloads-Tiere-und-tierische-Erzeugung/viehbestand-2030410205324.html>

Schleicher, S. & Gandofer, M. (2018). Digitalisierung in der Landwirtschaft: Eine Analyse der Akzeptanzhemmnisse. In: 38. GIL Jahrestagung, Digitale Marktplätze und Plattformen. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V., S. 203-206.

Mohr, S. & Höhler, J., (2020). Öffentliche Meinung zur Digitalisierung in der Landwirtschaft und ihren Auswirkungen. In: Gandorfer, M., Meyer-Aurich, A., Bernhardt, H., Maidl, F. X., Fröhlich, G. & Floto, H. (Hrsg.), 40. GIL-Jahrestagung, Digitalisierung für Mensch, Umwelt und Tier. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V.. (S. 187-192)

Pfeiffer, J., Gabriel, A. & Gandorfer, M., (2019). Gesellschaftliche Akzeptanz von Digitalisierung in der Landwirtschaft. In: Meyer-Aurich, A., Gandorfer, M., Barta, N., Gronauer, A., Kantelhardt, J. & Floto, H. (Hrsg.), 39. GIL-Jahrestagung, Digitalisierung für landwirtschaftliche Betriebe in kleinstrukturierten Regionen - ein Widerspruch in sich?. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V.. (S. 151-154).

2.5 Danksagung und Förderhinweis

Die Förderung des Vorhabens erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Die Projektträgerschaft erfolgt über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms Experimentierfelder in der Landwirtschaft.

3 ISOBUS im Kontext des automatisierten Wirtschaftsdüngermanagements

Samuel Brodie, Michael Maier, Timo Oksanen, übersetzt von Ertug Olcay (Lehrstuhl für Agrarmechatronik, Technische Universität München)

Zusammenfassung

ISOBUS ist eine Norm (ISO 11783), die das Verhalten der elektronischen Datenkommunikation zwischen Landmaschinen wie Traktoren und Anbaugeräten definiert. Alle ISOBUS-Geräte, unabhängig vom Hersteller, können miteinander kommunizieren. Ein solches ISOBUS-Gerät ist gleichzeitig der Task Controller (TC), der Informationen wie GPS-Position und Traktor-/Anbaugerätedaten aufnehmen und zur Automatisierung verschiedener Feldarbeiten verwenden kann.

Das beschriebene Forschungsprojekt zielt darauf ab, zu quantifizieren, wie gut die standardisierte ISOBUS-TC-Funktionen in der Praxis funktionieren. Dafür werden die Tests mit kommerziellen ISOBUS-Komponenten bei Gülleausbringungsaktivitäten in Bayern, Deutschland, durchgeführt.

Als erster Schritt werden die Daten aufgezeichnet und die Funktionen des TC werden überprüft. Dafür werden die ein Güllewagen mit einem RTK-GNSS-Modul und einem Signal-to-CAN-Controller ausgestattet um den Ein/Aus-Zustand der Abschnitte zu protokollieren. Dabei werden die Daten über CAN-Bus aufgezeichnet

Die Vorteile des Einsatzes vom TC zur Automatisierung von Aspekten der landwirtschaftlichen Arbeit werden vorgestellt. Darüber hinaus werden verschiedene mögliche Fehlerquellen innerhalb des ISOBUS-Systems identifiziert und diskutiert.

Die in diesem Beitrag vorgestellten Aufgaben sind Teil des Teilprojekts OnFarm-Testbed, des DigiMilch-Projekts der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL).

3.1 Einleitung

Mit der Entwicklung der landwirtschaftlichen Praktiken und der immer fortschrittlicheren Technologie ist die automatische Steuerung komplexer landwirtschaftlicher Geräte sowohl für Ingenieure als auch für Landwirte immer wichtiger geworden. Es gibt zwar sicherlich mehrere "Vollsortimenter", nämlich Gerätehersteller, die sowohl Anbaugeräte als auch Traktoren produzieren. Allerdings entscheiden sich die Kunden zunehmend dafür, Anbaugeräte und Traktoren von verschiedenen Herstellern zu kaufen. Um einen zuverlässigen Einsatz von unterschiedlichen Landmaschinen zu ermöglichen, müssen die verschiedenen Elemente in einem Betrieb elektronisch miteinander kommunizieren können. Die Lösung dafür ist schon seit vielen Jahren im Einsatz; ISOBUS.

ISOBUS ist der Industriename für den internationalen Standard (ISO 11783), der das Verhalten der elektronischen Datenkommunikation zwischen Landmaschinen wie Traktoren und Anbaugeräten definiert (Oksanen & Auernhammer, 2021). Der Name stammt von der ISO-Normierung und der Tatsache ab, dass der Standard auf dem von Bosch entwickelten CAN-Protokoll aufbaut. Die Motivation für die Entwicklung von ISOBUS ist, die Verbindung von landwirtschaftlichen Geräten verschiedener Hersteller zu ermöglichen. Die Geräte werden heutzutage von der AEF (Agricultural Industry Electronics Foundation) als ISOBUS-kompatibel zertifiziert. Dies sichert den Kunden zu, dass ihre Geräte

untereinander kompatibel sein werden (AEF, 2015a). Alle ISOBUS-Geräte können miteinander kommunizieren und sie nutzen den gleichen Bildschirm (das sogenannte virtuelle Terminal).

Im Rahmen der ISOBUS-Norm liegt der Task Controller (TC). Den TC gibt es derzeit in 3 Funktionalitätsstufen: TC-BAS/Basic, TC-GEO/Geo-Based, TC-SC/Section Control (ISO, 2015). Mit "Sections" sind hier die einzelnen Abschnitte einer Landmaschine gemeint, die unabhängig voneinander gesteuert werden können und die zusammen die Gesamtspanne der Maschine ausmachen. Zum Beispiel würde eine bestimmte Gruppe von Auslässen an der Dribbelstange eines Güllewagens, die unabhängig vom Zustand der übrigen Auslässe ein-/ausgeschaltet werden kann, einen Abschnitt darstellen.

Die Ebenen der Funktionalität sind wie folgt definiert (AEF, 2015b):

- TC-BAS:
 - Protokolliert Werte als für die ausgeführte Arbeit relevante Gesamtwerte.
 - Nur gesamte Arbeit, keine GNSS-Informationen.
- TC-GEO:
 - Abhängig von GNSS.
 - Zusätzliche Möglichkeit, ortsbezogene Daten zu erfassen - oder ortsbezogene Aufträge zu planen. Zum Beispiel mit Hilfe von Applikationskarten.
- TC-SC:
 - Abhängig von GNSS
 - Automatisches Schalten von Teilbreiten, wie bei einer Pflanzenschutzspritze, Sämaschine oder einem Düngerstreuer, basierend auf der GNSS-Position und dem gewünschten Überlappungsgrad.

In der Praxis ist der Task Controller in der Lage, Eingaben wie GPS-Positionen, Traktorinformationen (Geschwindigkeit, Position der Anbauvorrichtung, Zapfwelle) und Geräteinformationen (Messungen, Status) erfassen. Diese Informationen kann er dann kombinieren und verarbeiten, um die Feldarbeit zu steuern. Außerdem kann der TC Datenprotokoll der Aktivitäten erstellen. Die Daten über das Feld und Applikationskarte können dem TC zur Verfügung gestellt werden, um automatisch Produkt auszubringen, für jede spezifische Feld Zone präzise eingestellt ist.

Der Einsatz von TC hat viele Vorteile, die im Folgenden näher erläutert werden. Die Automatisierung durch TC ermöglicht es den Betrieben nicht nur, die Arbeitsintensität zu reduzieren, sondern sie kann auch die Qualität der landwirtschaftlichen Arbeit verbessern.

Der Fokus dieses Beitrags liegt auf der Gülleausbringung und es kann davon ausgegangen werden, dass eine präzise Ausbringung dazu beiträgt, Nährstoffüberschüsse zu reduzieren und Nährstoffe besser zu verteilen. Das verbessert die Bodenqualität und dient gleichzeitig dem Umweltschutz. Außerdem kann die Dokumentation der Gülleausbringung vereinfacht werden.

Die Arbeiten werden von der TU München im Rahmen des Teilprojekts OnFarm-Testbed, des DigiMilch-Projekts der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), durchgeführt.

Die Aufgabe der TU München ist dabei, anhand von handelsüblichen ISOBUS-Komponenten wie Traktor und Anbaugeräten zu quantifizieren, wie gut die standardisierten

TC-Funktionen in der Praxis einsetzbar sind. Dazu ist eine Fallstudie zum Thema Gülleausbringung geplant.

Für die Fallstudie werden ein Traktor, ein Güllewagen und ein TC angeschafft. Dabei sollen unterschiedliche Daten von unabhängigen Messungen durch verschiedene Sensoren an den Maschinen verifiziert werden. Bevor die Maschinen für eine Saison der Gülleausbringung auf einem Bauernhof in Bayern eingesetzt werden, werden geeignete Datenerfassungsgeräte auf ihnen installiert (weitere Arbeiten sind für die Saisons 2022 und 2023 geplant). Die aufgezeichneten Daten werden danach analysiert, um Fehlerquellen innerhalb des TC zu entdecken und messen. Außerdem sind die Auswirkungen der Fehler zu identifizieren.

3.2 Material und Methoden

Bei dem Traktor handelt es sich um einen John Deere 6155R, der mit einem RTK-GNSS-Empfänger, dem mobilen RTK-Signalkorrekturservice von John Deere und einem 4600 CommandCenter™ Display mit TC-SC-Aktivierung ausgestattet ist. Der Güllewagen ist ein Zunhammer SKE 17 PU mit TC-SC-Funktionen und hat zehn Abschnitte. Diese Ausstattung ist in der Lage, die Abschnitte automatisch zu steuern (Traktor, Anbaugerät und TC sind alle TC-SC-fähig), und ihre Leistung wird anhand unabhängiger Messungen verifiziert/bewertet, die von am Güllewagen nachgerüsteten Instrumenten aufgezeichnet wurden. Es wird ein zusätzlicher RTK-GNSS-Empfänger mit Korrekturen des SAPOS-Korrekturdienstes eingebaut. Zusätzlich wird ein Signalwandlermodul der reale Auf/Zu-Status der Streuventile auslesen. Die Daten werden danach protokolliert und zur Analyse in die Cloud hochgeladen.

Die Daten werden über den CAN-Bus im Traktor und im Güllewagen aufgezeichnet. Dies ist möglich, weil alle Operationen des TC auf dem Bus stattfinden. (Damit ist der TC herstellerunabhängig und mit allen ISOBUS-zertifizierten Maschinen kompatibel.) Zusätzlich können die unabhängigen Messungen auch auf den Bus geschrieben werden, so dass sie zeitlich synchron mit den anderen Ereignissen auf dem Bus sind..

Tabelle 1: Beschreibung der Technik im Einsatz im Versuch

Gerätetyp	Ausstattung Detail	Hinweise
Traktor	John Deere 6155R	<ul style="list-style-type: none"> • RTK-GNSS-Empfänger • John Deere Mobile RTK
Aufgabensteuerung (TC)	4600 CommandCenter™ Display	<ul style="list-style-type: none"> • TC-SC aktiviert
Gülletransportwagen	Zunhammer SKE 17 PU	<ul style="list-style-type: none"> • 10 Abschnitte • TC-SC-fähig
Unabhängige Prüfung	<ul style="list-style-type: none"> • Novatel Smart 7 GNSS receiver • Signal-to-CAN Controller 	<ul style="list-style-type: none"> • SAPOS-Korrekturdienst • Über LTE-Internet empfangene Korrekturen

Die Daten werden analysiert, um Diskrepanzen zwischen der geplanten Arbeit (der vom TC gemeldeten Produkthanwendung) und der Produkthanwendung zu untersuchen, wie sie von der unabhängigen Protokollierungsausstattung erfasst wird, die detailliertere Daten als die

kommerzielle Ausrüstung liefert. Es wird dabei erwartet, einige der verschiedenen Fehlerquellen in der TC-Automatisierung zu entdecken und zu quantifizieren.

Beginnend mit den im ersten Jahr erfassten Daten werden das Design des Traktors in den Folgejahren iterativ weiterentwickelt. Nach den Zwischenergebnissen der Forschung wird es möglich sein, weitere Sensoren, robustere Datenerfassungsmethoden oder eine Echtzeit-Erfassung der Daten in der Cloud hinzuzufügen.

Die Aufgaben für den TC werden normalerweise in der FMIS-Software (Farm Management Information System) des Betriebs geplant. Der FMIS-Benutzer plant die Aufgaben und enthält Details wie die Applikationskarten (prescription maps) und das benötigte Produkt, die dann alle auf die TC hochgeladen werden. Der TC bietet eine Schnittstelle zum Benutzer im Virtual Terminal in der Traktorkabine, über die die Aufgaben gesteuert werden können (starten/stoppen/ändern). Die Aufgabenplanung findet normalerweise auf einem PC in einer Büroumgebung statt und die Aufgaben werden für die Feldarbeit an den TC übertragen (oft per USB-Stick oder über Funk).

Hierbei wird die Applikationskarten (prescription maps) für die zukünftige Analyse durch die TUM aufgezeichnet. Dies wird die Karte sein, mit der die auf dem Feld erzielten Ergebnisse verglichen werden. Der TC hat das Ziel, die Gülle genau nach der Karte auszubringen, jedoch sind einige Fehler und Abweichungen aufgrund von unkontrollierbaren Schwankungen zu erwarten, z. B. die sich ändernde Konsistenz der Gülle. Abbildung 1 zeigt ein Beispiel (entnommen aus (ISO, 2015)), wie eine Verschreibungskarte erstellt werden könnte, indem verschiedene Teilfelder mit jeweils unterschiedlichen Behandlungszonen definiert werden.

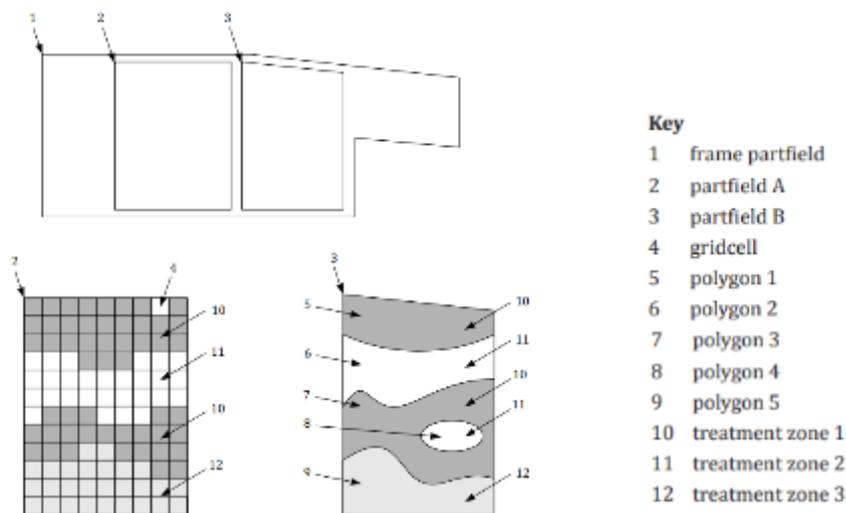


Abbildung 1: Beziehung Rahmen-Teilfeld, Teilfeld, Gitterzelle, Polygon, Behandlungszone (ISO, 2015).

Der TC ist ein allgemeines Gerät. Obwohl der ISOBUS-Standard definiert, wie der TC allgemein arbeiten soll, hat er keine spezifischen Informationen über das Gerät, mit dem er arbeiten wird, bis sie verbunden sind. Um dem TC Informationen über seine physikalischen Eigenschaften zu geben, haben TC-kompatible Geräte einen Device Descriptor Object Pool (DDOP). Dieser DDOP informiert den TC über Dinge wie die physikalische Anordnung seiner Anschlusspunkte und Produktapplikatoren/Sprühgeräte, wie viele Abschnitte das Anbaugerät hat und Leistungsinformationen wie z. B. wie lange es zwischen dem Einschalten eines Abschnitts und dem Auftreffen des Produkts auf dem Boden dauert. Diese DDOP wird vom Hersteller des Arbeitsgeräts erstellt und automatisch an den TC übermittelt.

Abbildung 2 illustriert die Menge an Geometrieinformationen, die von Arbeitsgeräten gespeichert werden, damit sie von der TC genau gesteuert werden können.

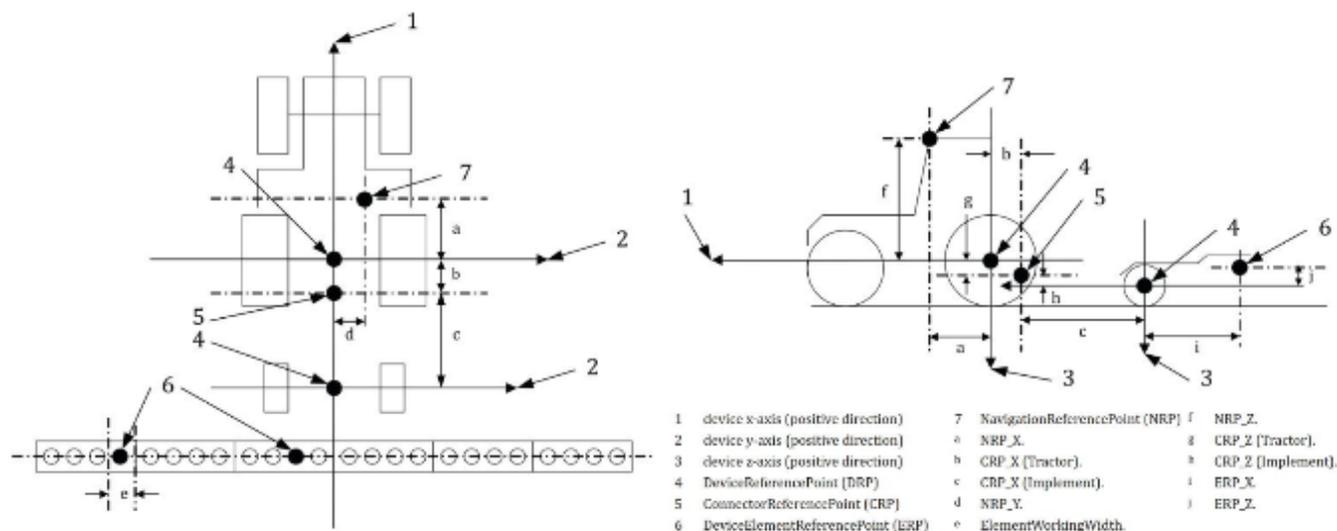


Abbildung 2: Referenzpunkte des angeschlossenen Systems (ISO, 2015)

Die Genauigkeit des DDOP eine Auswirkung auf die Leistung des TC und es wird im Rahmen des DigiMilch-Projekts untersucht. Wenn die Referenzpunkte nicht genau sind, glaubt der TC, dass er die Gülle an einer anderen Stelle ausbringt, als es in Wirklichkeit der Fall ist.

3.3 Haupttext

Die Verwendung des TC für das automatisierte Gülle-Management hat mehrere Vorteile:

- Die Daten von den Aufgaben werden durch den TC protokolliert und in ein FMIS importiert. Dadurch kann der Produktbestand genauer und zuverlässiger verfolgt werden.
 - Der deutsche Gesetzgeber schreibt vor, dass Landwirte verschiedene Informationen über ihre Düngerausbringung aufzeichnen müssen (BGBl, 2020, s. 848). Für die Aufzeichnung dieser Informationen können TC-Protokolle hilfreich sein. Zusätzlich haben Landwirte wie in Bayern die Möglichkeit, ihre Daten elektronisch zu übermitteln (Wendland, 2020).
 - Es ist möglich, dass Protokolle Informationen enthalten wie: Wetterdaten, Menge des ausgebrachten Produkts (insgesamt/pro Fläche) (Kaivosoja et al., 2014)
- Der TC kann die Ausbringungsrate der Güllewagenabschnitte automatisch variieren, während sie sich durch die verschiedenen zu bearbeitenden Zonen des Feldes bewegen. Dadurch soll die Verschwendung reduziert und der Ertrag maximiert werden.
 - Trimble behauptet, dass der Aufwand um 10 % reduziert wird, wenn TC für die variable Ausbringung verwendet wird (Trimble Inc, 2018).
 - Case IH beansprucht 5-10 % Reduktion (CNH Industrial America LLC, 2017).
- Der TC kann nachverfolgen, auf welchen Bereichen des Feldes bereits Gülle ausgebracht wurde, und die Ventile am Güllewagen schließen, um Doppeldosierungen zu vermeiden.

- Die Abschnittssteuerung kann sowohl Überlappungen als auch Lücken reduzieren, indem Abschnitte deaktiviert werden, die ansonsten benachbarte Bereiche verdoppeln würden.
- Der Einsatz von TC kann die psychische Belastung des Fahrers reduzieren, indem einige Aspekte seiner Arbeit automatisiert werden.
- Die von der TC bereitgestellte Automatisierung ermöglicht das Arbeiten auch in der Nacht oder bei schlechter Sicht.

Der TC speichert die Gesamtmenge der ausgebrachten Gülle, obwohl dies eine reine Qualitätsverbesserung für den Landwirt ist, indem vorhandene Informationen automatisch gespeichert werden. Die Methoden zur Messung der Gesamtmengen sind in der ISOBUS-Norm nicht definiert, so dass keine Verbesserung in der ISO-Norm möglich ist, da die Genauigkeit dieser Messungen von den Geräten abhängt.

Behauptungen großer Unternehmen über Input-Reduzierungen und Einsparungen hängen vom guten Betrieb des TC ab und können von Forschern unabhängig getestet und überprüft werden. Ebenso können der Umfang der Überschneidungen, Lücken und die Gesamtabdeckung unabhängig voneinander verifiziert werden.

Auf dem Feld startet der Nutzer die Anwendung. Danach wird die Produktausbringung automatisch auf der Grundlage der Applikationskarte abgewickelt, wobei Überschneidungen vermieden werden, während sich der Traktor auf das Feld bewegt. Der Traktor, das Anbaugerät und der TC kommunizieren miteinander über ISOBUS. Dadurch kann das Anbaugerät von dem TC gesteuert werden. Der TC hat Informationen über die Applikationskarte. Darüber hinaus kriegt er auch aktualisierte Informationen vom Anbaugerät. Danach verarbeitet der TC diese Daten und teilt dem Anbaugerät mit, sodass das Produkt auf die richtige Weise ausbracht wird. Nach Beendigung der Aufgabe verfügt der TC über ein Protokoll der durchgeführten Arbeit, wie z. B. verschiedene Gesamtwerte sowie eine Karte, in der dargestellt ist, wo das Produkt ausgebracht wurde.

Die Daten auf dem Bus werden von einem CAN-Datenlogger erfasst und per Fernzugriff zur Analyse hochgeladen. Der OnFarm-Teststand wird Daten von jedem Tag der Gülleausbringung über einen Zeitraum von vier Monaten zwischen Juni und Oktober 2021 erfassen. Weitere, aufbauende Arbeiten sind für 2022 und 2023 geplant.

3.4 Fazit

In diesem Kurzbeitrag wurde der aktuelle Stand der Kommunikation zwischen den Landmaschinen vorgestellt und der ISOBUS-Standard, insbesondere der ISOBUS Task Controller, wurde vorgestellt. Es wurde festgestellt, dass man mit dem TC bestimmte Aspekte der landwirtschaftlichen Arbeit automatisieren kann, wie z. B. die Vermeidung von Überschneidungen und Lücken bei der Bearbeitung eines Feldes. Darüber hinaus wurden die verschiedenen Ebenen der TC-Standardisierung vorgestellt.

Das geplante Arbeitspaket umfasst die Erforschung der Feldarbeit von Milchviehbetrieben, wie z. B. die Gülleausbringung. Dies ergänzt die Forschung im Bereich der konventionellen, modernen Milchviehhaltung, wie z. B. das Melken, das industriell meistens an geschlossenen Orten stattfindet.

Die Hauptziele des Projekts sind hierbei die Analyse und Verifizierung der TC-Funktionalität. Diese werden anhand von Gülleausbringungsdaten getestet. Dafür wird ab Juni 2021 ein großer Datensatz erfasst, indem CAN-Bus Daten eines Traktors und eines Güllewagens, die in Bayern landwirtschaftliche Operationen durchführen, aufgezeichnet werden. Die Vorteile der Verwendung von TC wurden hier hervorgehoben. Darüber hinaus

wurde die Wichtigkeit des Teilprojektes OnFarm-Testbeds für die allgemeine Verifizierung des TC detailliert erläutert. Der erste Schritt an dieser Stelle ist, mit der Datenerfassung und den Experimenten zur detaillierten Untersuchung der Genauigkeit des ISOBUS-Systems während der Gülleausbringungssaison 2021 zu beginnen.

3.5 Literaturverzeichnis

- AEF. (2015a). *AEF: Powering Agricultural Electronics*. https://www.aef-online.org/fileadmin/user_upload/Content/pdfs/AEF_brochure_EN.pdf
- AEF. (2015b). *ISOBUS in Functionalities*. https://www.aef-online.org/fileadmin/user_upload/Content/pdfs/AEF_handfan_EN.pdf
- BGBI. (2020). Verordnung zur Änderung der Düngeverordnung und anderer Vorschriften *Bundesgesetzblatt*, 20, 846 - 861.
- CNH Industrial America LLC. (2017). *AFS Advanced Farming Systems*. 21 Mai von www.caseih.com/emea/en-za/products/afs%C2%AE-advanced-farming-systems/isobus abgerufen
- ISO. (2015). ISO 11783-10:2015 Tractors and machinery for agriculture and forestry — Serial control and communications data network — Part 10: Task controller and management information system data interchange. In.
- Kaivosoja, J., Jackenkroll, M., Linkolehto, R., Weis, M., & Gerhards, R. (2014). Automatic control of farming operations based on spatial web services [Artikel]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 100, 110-115. 10.1016/j.compag.2013.11.003
- Oksanen, T., & Auernhammer, H. (2021, Feb). *ISOBUS— The Open Hard-Wired Network Standard for Tractor-Implement Communication, 1987-2020* Agricultural Equipment Technology Conference, Louisville, Kentucky, USA. <http://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=52060&t=6>
- Trimble Inc. (2018, November 27, 2018). *Working with ISOBUS: Task Controller*. Trimble Inc. 21 Mai von <https://agriculture.trimble.com/blog/working-with-isobus-task-controller/> abgerufen
- Wendland, M. (2020). Änderung der Düngeverordnung beschlossen: Was ändert sich bereits jetzt, was erst 2021? *Bayerischen Landwirtschaftlichen Wochenblatt*, (16), 30-31.

4 Datenfluss und Vernetzung in der Außenwirtschaft

Sebastian A. Pauli, Wolfgang Angermair, (NEXT Farming, Pfarrkirchen)

Zusammenfassung:

Gute Grundfüttererträge und -qualitäten lassen sich unter den aktuellen klimatischen Bedingungen immer schwieriger erzielen. Resilientes Grünland kann mithilfe digitaler Technologien dennoch erreicht werden. Unterstützt durch Fernerkundung, Bodenproben, einer guten Planung sowie der Vernetzung von Daten zu Informationen können schlagspezifische Strategien entwickelt und in die Praxis umgesetzt werden. Dabei darf der initiale Aufwand beim Einstieg in eine neue Technologie nicht unterschätzt werden. Aus Sicht eines Landwirtes ist es daher besonders wichtig, im Hersteller der Software einen Digitalisierungspartner zu finden.

4.1 Einleitung

Die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit eines Milchviehbetriebes ist von vielen Faktoren abhängig. Auf der Erlösseite besteht eine sehr hohe Abhängigkeit zum aktuellen marktüblichen Auszahlungspreis für Milch und Kälber. Beeinflussbare Faktoren sind die Milchmenge sowie einzelne Positionen auf der Kostenseite. Zu diesen Positionen zählen unter anderem eine hohe Grundfütterleistung und der effiziente Einsatz von Betriebsmitteln wie Saatgut und mineralische Düngemittel. Gute Grundfüttererträge und -qualitäten lassen sich jedoch unter den aktuellen klimatischen Bedingungen immer schwieriger erzielen: geringe und ungünstig verteilte Niederschläge und verhältnismäßig hohe Temperaturen im Winter und Frühjahr begünstigten die Verbreitung von Schädlingen wie Mäusen und dem Feldmaikäfer (LfL 2021).

In diesem Beitrag sollen anhand ausgewählter digitaler Technologien der Datenfluss und die Vernetzung in der Außenwirtschaft mit der Zielsetzung „resilientes Grünland“ aufgezeigt werden.

4.2 Ausgewählte digitale Technologien

Abbildung 3 zeigt ausgewählte, aufeinander aufbauende digitale Technologien zur Führung von Grünlandbeständen.

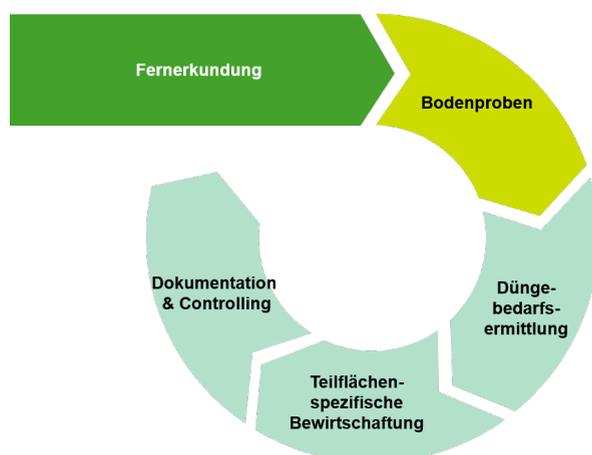


Abbildung 3: Digitale aufeinander aufbauende Bausteine zur Optimierung der Grünlandbewirtschaftung

Der erste Schritt zu höheren Grundfutterleistungen liegt in der Bestandsaufnahme der betrieblichen Grünlandflächen. Dazu zählen die Bonitierung über Fernerkundung und Bodenproben. Diese Ergebnisse lassen sich für die Düngebedarfsermittlung und teilflächenspezifische Bewirtschaftung nutzen. Abschließend sollten für die Erfolgskontrolle die durchgeführten Maßnahmen aufgezeichnet und ausgewertet werden.

4.2.1 Fernerkundung im Grünland

Die Bestandsaufnahme über die Fernerkundung umfasst neben einer ex post Betrachtung auch die Entwicklung der Biomasse im aktuellen Erntejahr. So ist es möglich, die Ertragsleistung und Heterogenität innerhalb der Flächen (siehe Abbildung 4) sowie flächenübergreifend darzustellen. Daraus können räumliche Hinweise auf Optimierungspotential sowie Managementzonen abgeleitet werden. Der Vergleich zwischen Flächen ermöglicht die Differenzierung von intensiven und extensiven Standorten als Auswahlbasis für zusätzliche Förderprogramme (z.B. KULAP).

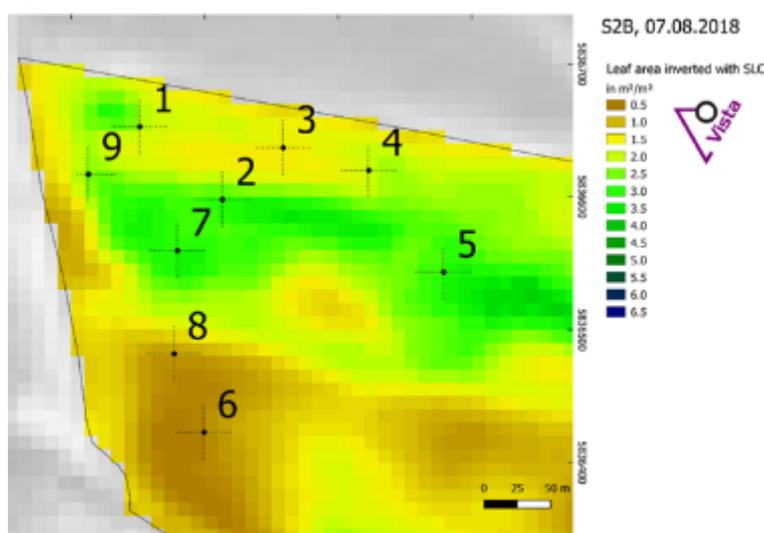


Abbildung 4: Darstellung der Heterogenität innerhalb eines Grünlandschlages (Bild: Vista GmbH)

Aus der flächenübergreifenden Darstellung von Heterogenität in Bezug auf den aktuellen Aufwuchs lassen sich frühzeitig Rückschlüsse auf beispielsweise Auswinterung, Schädlingsbefall oder Trockenheit ziehen. Diese Information kann für eine gezielte Nachsaat oder Behandlung der Fläche genutzt werden und somit können Kosten gespart werden.

Die Verwendung schlagspezifischer Grünlanderträge aus betrieblichen Aufzeichnungen (Waage, Erntetechnik, Fernerkundung) ist DüV-konform, solange der Gesamtertrag vom Grünland entsprechend der Plausibilisierung der Grobfutterleistung nicht überschritten wird. Dies bedeutet, dass schlagspezifische Erträge für eine optimale Düngung genutzt und organische Düngemittel optimal verwendet werden können.

4.3 Bodenproben in den Managementzonen

Die Bodenuntersuchung auf Hauptnährstoffe ist unverzichtbare Grundlage für eine betriebspezifische und wirtschaftliche Düngung. Mit einer gut geplanten, zuverlässig durchgeführten und DGPS-gestützten Probenahme können repräsentative Bodenproben gezogen werden. Die anschließende Analytik im Labor zeigt zuverlässig, ob und wo innerhalb der Betriebsflächen die Nährstoffversorgung der Pflanzen gefährdet ist. Das optimale Raster zur

Beprobung der Flächen ist abhängig von der Heterogenität der zu untersuchenden Schläge. Je mehr die Bodenverhältnisse schwanken, desto kleiner sollte das Raster sein. Für das hochwertigste Ergebnis sorgt die Beprobung nach TalkingFields (TF) Zonenkarten. Die TF-Zonenkarte ist eine Erweiterung der TF-Basiskarte und fasst ähnliche Wachstumsbereiche zu digitalen Zonen zusammen (NEXT Farming, 2021).

4.4 Teilflächenspezifische Düngung

Kaum ein Schlag ist in sich homogen und bietet überall das gleiche Ertragspotenzial. Eine einheitliche Verteilung der Düngemittel nach DüV führt in 33 % der Fälle zu einer Überversorgung innerhalb der untersuchten Schläge. Bei 42 % kommt es sogar zu einer Unterversorgung der gedüngten Flächenanteile (Speckle & Pauli, 2020). In der Praxis wird oft eine vorher bestimmte, konstante Menge an Stickstoff auf einem Schlag ausgebracht. Diese Menge orientiert sich am durchschnittlichen Ertragspotential. Ist das Ertragspotential auf Teilflächen niedriger, wird überdüngt. Den überschüssigen Stickstoff kann die Pflanze nicht aufnehmen – er wird aus dem Boden ausgewaschen. Auf Teilflächen, deren Ertragspotential höher ist als der Durchschnitt, wird unterdüngt (NEXT Farming, 2021b). Bei der Betrachtung von Teilflächen oder schlagspezifischen Erträgen können die optimale Versorgung der Bestände und der effiziente Einsatz von Betriebsmitteln verbessert werden (siehe Abbildung 5).

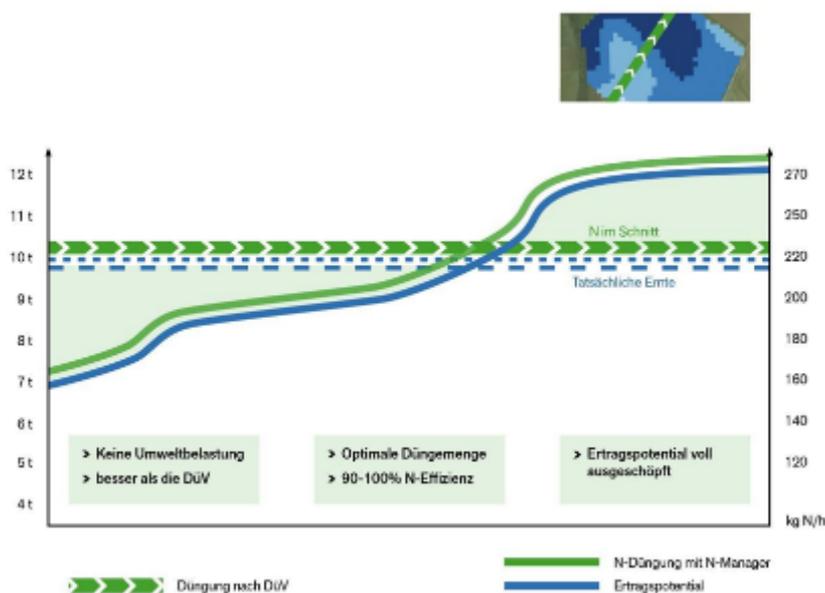


Abbildung 5: Teilflächenspezifische Bewirtschaftung am Beispiel Düngung

4.5 Anbindung der Landtechnik

Aktuelle Landtechnik verfügt häufig, teilweise serienmäßig, über Bordcomputer zur Steuerung von Anbaugeräten sowie zur Aufzeichnung der durchgeführten Maßnahmen. Als Beispiel soll in diesem Beitrag die Auswertung einer Ballenkarte mit dem NEXT Machine Management verwendet werden (siehe Abbildung 6).

Diese Informationen können neben der Ertragserfassung für die Planung der Einlagerung genutzt werden. Die Anzahl und die Feuchtigkeit jedes einzelnen Ballens sind bereits kurz nach dem Pressen verfügbar. Alle Arbeiten auf dem Feld lassen sich nicht nur über Bordcomputer, sondern auch über andere mobile Endgeräte oder die Webanwendung für Dokumentation und Controlling in einer aufeinander aufbauenden Plattform erfassen.

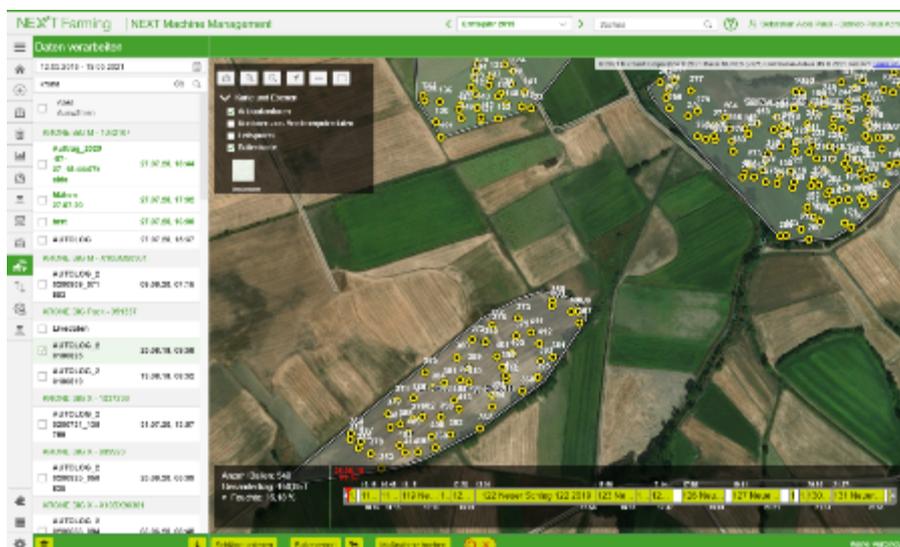


Abbildung 6: Darstellung einer Ballenkarte im NEX'T Machine Management

4.6 Herausforderungen in der Digitalisierung der Außenwirtschaft

Der initiale Aufwand beim Einstieg in eine neue Technologie darf nicht unterschätzt werden. In einer Präsentation im Rahmen des Experimentierfelds Diabek präsentierte Noack (2021), dass die Investitionskosten für digitale Hardware selbst bei bayerischen Betriebsgrößen überschaubar, jedoch die Lohn- und Lernkosten den größten Kostenblock bei der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung seien. Die Auswertung einer deutschlandweiten Umfrage sowie einer Medienanalyse durch Gabriel et al. (Gabriel & Spykman, 2021) ergab, „dass sich hohe Investitionskosten, Unsicherheiten bezüglich des Datenschutzes und eine mangelnde Inkompatibilität verschiedener Technologien als größte Hemmnisse für eine Verbreitung erweisen.“

Aus Sicht eines Landwirtes ist es daher besonders wichtig im Hersteller der Software einen Digitalisierungspartner zu finden, der mit einem guten Vertriebs- und Supportnetz vor Ort bei der Einführung und Umsetzung der Digitalisierung des eigenen Betriebes unterstützt.

4.7 Literaturverzeichnis

Gabriel, A., Gandorfer M., Spykman, O., (2021): Nutzung und Hemmnisse digitaler Technologien in der Landwirtschaft. Berichte über die Landwirtschaft, Band 99 Heft 1, Mai 2021. DOI: <https://doi.org/10.12767/buel.v99i1.328>

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), (Mai 2021): Maikäferflug startet. <https://www.lfl.bayern.de/verschiedenes/presse/pms/2021/270987/index.php>

NEXT Farming, (Mai 2021): Bodenproben
<https://www.nextfarming.de/landwirt/feld/bodenproben/>

NEXT Farming, (Mai 2021b): Teilflächenspezifische Düngung
<https://www.nextfarming.de/landwirt/feld/teilflaechenspezifische-duengung/>

Noack P. (2021): Vortrag im Rahmen einer Ergebnispräsentation im Experimentierfeld diabek

Speckle, J., Angermair, W., Brohmeyer, F., Brüggemann, L., Spicker, A. & Pauli, S. A., (2020): Teilflächenspezifische Düngung als Reaktion auf wachsende gesellschaftliche Anforderungen und als Beitrag zur Entspannung des Widerspruchs zwischen Ökonomie und Ökologie. In: Gandorfer, M., Meyer-Aurich, A., Bernhardt, H., Maidl, F. X., Fröhlich, G. & Floto, H. (Hrsg.), 40. GIL-Jahrestagung, Digitalisierung für Mensch, Umwelt und Tier. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V.. (S. 301-306).

5 Demonstrationsprojekt 1: Wirtschaftsdüngermanagement

Wie genau arbeiten Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) Sensoren im Vergleich zum Labor? Ein Zwischenstand

Manuel Boppel, Josefa Kreitmair, Fabian Lichti (Institut für Landtechnik und Tierhaltung, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft)

Zusammenfassung:

Wirtschaftsdünger wie Rindergülle oder Biogasgärreste stellen wertvolle Mehrnährstoffdünger zur Versorgung von Nutzpflanzen dar. Dabei unterliegt die Zusammensetzung derselben deutlichen überbetrieblichen Schwankungen, aber auch innerbetrieblich kann sich die Zusammensetzung im jahreszeitlichen Verlauf ändern. Diese Schwankungen lassen sich mit Tabellen- und Durchschnittswerten nur schwer abbilden. Hier bieten sich Online Sensoren wie beispielsweise Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) Sensoren an, die kontinuierlich die Nährstoffzusammensetzung von Wirtschaftsdüngern während der Ausbringung erfassen können. Im Demonstrationsprojekt Wirtschaftsdüngermanagement als Teil des Projektes DigiMilch, werden diese Sensoren unter anderem auf ihre Genauigkeit im Vergleich zu Laboranalysen untersucht. Bisher liegen für zwei Sensoren vorläufige Ergebnisse vor. Dabei liegen für die Parameter TS und N_{ges} die Hälfte aller Schätzungen unterhalb von 10 % Abweichung zum Laborwert. Demgegenüber gilt für den Parameter NH_4-N , dass die Hälfte aller Schätzungen unterhalb von 23 % (Sensor A) bzw. 16 % (Sensor B) liegen. Dennoch finden sich weiterhin einige Fälle, bei denen die Abweichungen der NIRS Schätzwerte vom Laborwert hoch sind (z.B. Höchste prozentuale Abweichung vom Laborwert für den Parameter P_2O_5 96 %).

5.1 Einleitung

Wirtschaftsdünger, wie beispielsweise Rindergülle oder Gärreste, sind wertvolle Mehrnährstoffdünger. So enthält Milchviehgülle von Grünlandbetrieben mit 7,5 % Trockensubstanz (TS) in Bayern durchschnittlich 4,2 kg $N_{ges}-N$, 2,1 kg NH_4-N , 1,7 kg P_2O_5 und 5,3 kg K_2O je m^3 (Wendland et al., 2018). Diese Tabellenwerte können jedoch, abhängig von der Fütterung und anderen Faktoren wie unzureichender Homogenisierung bei der Ausbringung, von den tatsächlichen Gehalten der Gülle im Jahresverlauf abweichen und stellen damit eher einen Jahresmittelwert dar (Schmidhalter, 2011; Vetter & Steffens, 1986). Bei steigenden Anforderungen an eine präzise und bedarfsgerechte Düngung ist die genaue Kenntnis der Wirtschaftsdüngerzusammensetzung zum Zeitpunkt der Ausbringung jedoch essenziell, um eine optimale Verteilung derselben zu gewährleisten. Laboranalysen von qualifizierten Laboren liefern, bei korrekter Probennahme durch den Probennehmer, exakte und verlässliche Ergebnisse, die als Grundlage zur Berechnung der auszubringenden Wirtschaftsdüngermengen dienen können. Problematisch ist hier der Zeitverzug zwischen Probennahme und Ergebnisbekanntgabe, der bis zu zwei Wochen dauern kann. Deswegen muss die Probennahme mit ausreichend Vorlauf zur Ausbringung erfolgen, um ein Vorliegen der Analyseergebnisse zu gewährleisten. Somit geben Laboranalysen im Vergleich zu Tabellenwerten bei gut homogenisierten Güllen eine bessere Einschätzung der Nährstoffgehalte zum Ausbringzeitpunkt. Sie stellen allerdings keine Tagesaktuellen Werte dar und liefern keine Aussagen über etwaige Schwankungen der Nährstoffgehalte zwischen den ausgebrachten

Fässern, wie sie bei unzureichend homogenisierten Güllen, vor allem bei schweinehaltenen Betrieben, auftreten können.

In der Praxis wird die Probenahme von Wirtschaftsdünger zur nasschemischen Laboranalytik sowohl aufgrund der teils schweren Zugänglichkeit als auch des hohen Aufwands (Homogenisieren, Teil- und Mischproben) meist nicht gerne gemacht. Aktuelle Werte aller Fässer können nur durch den Einsatz von Onlinesensoren erhalten werden. Hier haben sich Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) Sensoren am Markt etabliert, die seit etwa 15 Jahren bei der Gülleausbringung eingesetzt werden. Dabei versprechen die Hersteller eine kontinuierliche und permanente Schätzung der relevanten Inhaltsstoffgehalte ($N_{\text{ges-N}}$, $NH_4\text{-N}$, P_2O_5 , K_2O und TS) über das gesamte geförderte Güllévolumen (John Deere GmbH & Co. KG, 2018; Zunhammer GmbH, 2021). Seit 2017 können diese Sensoren durch die Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft (DLG) überprüft und zertifiziert werden. Inzwischen wurden hierbei einige NIRS Sensoren verschiedener Hersteller in praktisch allen Inhaltsstoffen von der DLG zertifiziert (Tastowe, 2021). Dennoch fehlen bisher breit angelegte wissenschaftliche Untersuchungen, die sich dieser Thematik widmen.

Im Demonstrationsprojekt Wirtschaftsdüngermanagement als Teil des Experimentierfeldes DigiMilch werden deshalb unter anderem NIRS Sensoren verschiedener Hersteller im Feldeinsatz und in einem dafür entwickelten Messaufbau auf ihre Genauigkeit hin untersucht. An dieser Stelle werden vorläufige Ergebnisse des Jahres 2020 veröffentlicht, die bis Ende 2022 ergänzt werden.

5.2 Material und Methoden

Untersucht wurden die Sensoren Van Control 2.0 der Firma Zunhammer GmbH (Traunreut, Deutschland) mit der Kalibration 12.3.1, verbaut in einer Dokustar Emini desselben Herstellers und ein Harvest Lab 3000 der Firma John Deere GmbH & Co. KG (Mannheim, Deutschland) mit dem Kalibrationsmodell SW 132-LKS, verbaut in eine Nutrient measure station der Firma Fliegl Agrartechnik GmbH (Mühldorf am Inn, Deutschland). Um repräsentative Ergebnisse zu erhalten und den Probennahmefehler zu minimieren, wurden beide Stationen auf einem Autoanhänger in Reihe geschaltet (Abbildung 7). Der im System integrierte IBC-Container ermöglicht die Entnahme von etwa 500 l Gülle, die durch 10 bis 15-minütiges intensives zirkulieren im System homogenisiert wurde. Im Anschluss wurde bei beiden Sensoren eine 3-minütige Messung durchgeführt und zwei Referenzproben zur Analyse im Labor entnommen.



Abbildung 7: Autoanhänger mit in Reihe geschalteten NIRS Messstationen und IBC-Container.

Zusätzlich wurden die Systeme separat voneinander als Durchfluss bzw. Pumpstation zur Befüllung während der Ausbringung eingesetzt. Hierbei wurden bei einer Probennahme am Fass mehrere Teilproben (ca. 5 l) zu Beginn, Mitte und Ende des Befüllvorganges an geeigneter Stelle entnommen und vereinigt. Aus dieser Mischprobe wurde eine Referenzprobe zur Analyse im Labor entnommen, sofort gekühlt und bis zur Analyse im Labor bei -18°C eingefroren. Bisher wurden so 16 Gruben von Milchviehbetrieben und 2 Biogasanlagen an 31 Messtagen untersucht und 150 NIRS Schätzungen mit den dazugehörigen Laborergebnissen verglichen. Von einem Sensor mussten aufgrund eines fehlerhaften Einbaus die ersten 13 Messtage verworfen werden. Der Vergleich wurde analog zur DLG Prüfung als relative Abweichung der mittleren Nährstoffgehalte der NIRS Schätzungen vom entsprechenden Laborwert angegeben. Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse des Messanhängers und den Einzelmessungen am Fass zu gewährleisten, wurden in der Auswertung letztere je Messtag zusammengefasst und die Mittelwerte je Messtag verwendet. Zur Auswertung wurden beide Sensoren anonymisiert.

5.3 Ergebnisse

Die Auswertung ergab für beide Sensoren ein ähnliches Bild hinsichtlich der Verteilung der Abweichungen zum Laborwert, wie sie in Abbildung 8 als Boxplots der einzelnen Parameter dargestellt sind. Auffallend ist hierbei der niedrige Median bei beiden Sensoren für die Parameter $N_{\text{ges-N}}$ und TS (Sensor A 9 % $N_{\text{ges-N}}$ und 9 % TS, Sensor B 10 % $N_{\text{ges-N}}$ und 8 % TS). Damit weichen die Schätzungen der Sensoren an der Hälfte der Messtage für diese beiden Parameter weniger als 10 % vom Laborwert ab. Dennoch verdeutlichen die Höchstwerte (39 % Sensor A und 46 % Sensor B) und Ausreißer (71 % Sensor A und 61 % Sensor B) für den Parameter $N_{\text{ges-N}}$, dass einige Gülle nicht adäquat geschätzt werden können. Ein ähnliches Bild zeigt sich beim Parameter $\text{NH}_4\text{-N}$, wobei hier der Median 23 % Sensor A und 16 % Sensor B) und die Höchstwerte (68 % Sensor A und 32 % Sensor B) höher liegen. Mithin die größte Spannweite zeigt sich beim Parameter P_2O_5 , wobei Sensor A zwischen 2 % (Tiefstwert) und 73 % (Höchstwert) liegt. Dies deckt sich weitestgehend mit den Zertifizierungen der DLG, bei dem die Sensoren für diesen Parameter bisher entweder nicht oder nur bestanden haben (3/5 Wertepaaren innerhalb einer Gülleart ≤ 25 % relative Abweichung und keine > 35 %). (Anmerkung: Der Sensor Van Control 2 hat inzwischen für

alle Güllen die DLG Zertifizierung des Parameters P_2O_5 bestanden (DLG, 2021). Das Kalibrationsupdate wird in weiteren Untersuchungen berücksichtigt)

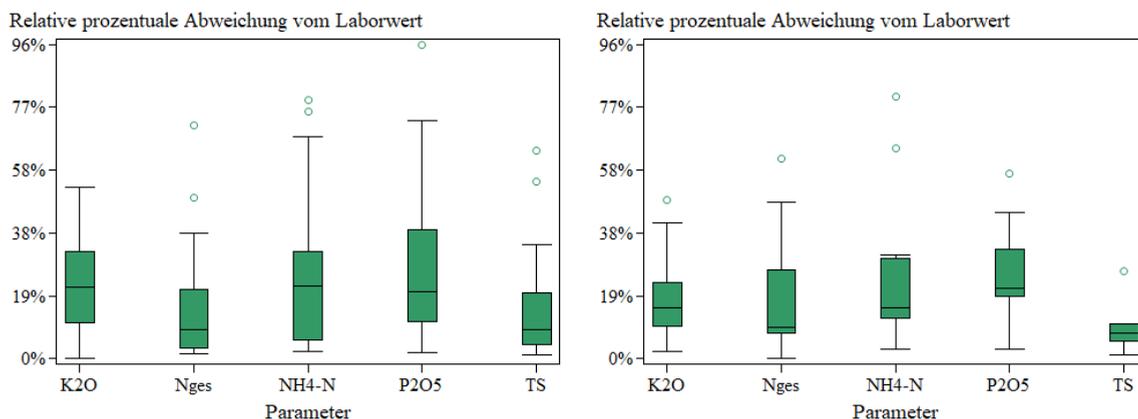


Abbildung 8: Relative Abweichung der mittleren Nährstoffgehalte (K_2O , N_{ges} -N, NH_4 -N, P_2O_5 , TS) der NIRS-Schätzung von Sensor A (31 Messtage, links) und Sensor B (13 Messtage, rechts) vom Laborwert Fazit

Grundsätzlich eignen sich NIRS Sensoren nach diesen vorläufigen Ergebnissen zur Erfassung der Nährstoffgehalte von Rindergüllen. Damit liefern sie zeitgleich zur Ausbringung Informationen, die eine angepasste und bedarfsgerechte Wirtschaftsdüngerausbringung ermöglichen. Darüber hinaus kann, sofern die Systeme in den Bundesländern anerkannt sind, der Dokumentationsaufwand für den Landwirt verringert werden. Allerdings zeigen sich zum Teil deutliche Unterschiede hinsichtlich der Abweichung zur Laboranalyse zwischen den einzelnen Güllen und auch den Probenahmetagen. Hier müssen durch weitere Probenahmen und einer Ausweitung der zu untersuchenden Güllen noch mehr Daten gewonnen werden, um gegebenenfalls weitere „Randgüllen“ zu finden und die Grenzen der Systeme auszuloten. Zudem haben sich durch Kalibrationsupdates, das Einbeziehen eines weiteren NIRS-Sensors und eines mobilen Kernspinresonanz (NMR)-Messsystems weiterer Forschungsbedarf ergeben. Hierfür werden im Rahmen des Demonstrationsprojektes Wirtschaftsdüngermanagement bis Mitte 2022 weiterhin Daten erhoben. Wünschenswert ist weiterhin die Etablierung eines Verfahrens, um deutliche Abweichungen der Sensorwerte von den Laborwerten bereits während der Nutzung sichtbar zu machen. Hierfür läuft seit Anfang 2021 das durch die BLE geförderte Projekt NIRS QS.

5.4 Literaturverzeichnis

- DLG. (2021). DLG Prüfbericht 7138.
<https://www.dlg.org/de/landwirtschaft/tests/pruefberichte/aussenwirtschaft/test-van-control-20>
- John Deere GmbH & Co. KG. (2018). Manure Sensing dreifach DLG zertifiziert.
<https://www.deere.de/de/unsere-unternehmen/news-und-medien/pressemitteilungen/2018/september/manure-sensing-zertifizierung-pressemitteilung.html>
- Schmidhalter, U. (2011). N-Düngung – Präzisionsdüngung und Gießkannenprinzip. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, 23, 1–6.
- Tastowe, F. (19. Februar 2021). Weitere NIRS-Gülle-Sensoren zertifiziert. top agrar online. <https://www.topagrar.com/technik/news/weitere-nirs-guelle-sensoren-zertifiziert-12483816.html>
- Vetter, H. & Steffens, G. (1986). Wirtschaftseigene Düngung: Umweltschonend - bodenpflegend - wirtschaftl. DLG-Verlag; BLV-Verlagsgesellschaft; Landwirtschaftsverlag; Österreichischer Agrarverlag; Agrarverlag Wirz-Grafino.
- Zunhammer GmbH. (2021). Nährstoffmessung | Zunhammer.
<https://www.zunhammer.de/de/produkte/elektronik/van-control>
- Wendland, M., Diepolder, M., Offenberger, K., Raschbacher, S. (2018), Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

5.5 Danksagung und Förderhinweis

Die Förderung des Vorhabens erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Die Projektträgerschaft erfolgt über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms Experimentierfelder in der Landwirtschaft.

6 Demonstrationsprojekt 2: Sensorgestützte Ertragsermittlung

Franz Worek, Maria Pechtl, Stefan Thurner (Institut für Landtechnik und Tierhaltung, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft)

Zusammenfassung

In der Milchviehhaltung steckt vor allem im Bereich der Grobfutterproduktion und -konservierung häufig ein hohes Optimierungspotential. Aufgrund der meist nur innerbetrieblichen Nutzung des Ernteguts als Futtergrundlage fehlt das Wissen um die tatsächlichen Erträge und somit auch zu möglichen Verlusten im Lager. Dabei sind Systeme zur Ertragserfassung häufig für den Milchviehbetrieb verfügbar. Die Kombination der Ertrags- und Feuchteermittlung am selbstfahrenden Feldhäcksler (SFH) mit satellitengestützten Wachstumsprognosemodellen kann die Problematik der Verfügbarkeit zu jedem Schnitt sowie bezüglich der Nutzung alternativer Ernteverfahren (Siloballen, Heuernte mit Ladewagen) bei einzelnen Schnitten lösen. Im Rahmen des Projekts DigiMilch werden diese Systeme auf ihre Genauigkeit, den Datenfluss sowie die Eignung im praktischen Einsatz untersucht.

Die erste Erntesaison, in der die Genauigkeit der Systeme zur Ertrags- und Feuchteermittlung am selbstfahrenden Feldhäcksler von vier verschiedenen Herstellern untersucht wurde, zeigte gute Korrelationen für einen Hersteller. Für die Untersuchungen zu den weiteren Herstellern wird der Stichprobenumfang in der laufenden und kommenden Saison umfangreich erweitert, um eine valide Aussage auf Basis eines ähnlichen Stichprobenumfangs zu ermöglichen. Der Datenfluss der erfassten Ertragsdaten zum Landwirt kann automatisiert werden, es treten jedoch in Abhängigkeit der Technik derzeit noch Probleme mit proprietären Datenformaten auf. Gerade das Aufzeigen des somit darstellbaren Nutzens um das Wissen der betriebseigenen Erträge ist der Schlüssel für einen verbreiteteren Einsatz und eine ökologisch und ökonomisch effizientere Grobfutterproduktion.

6.1 Einleitung und Zielsetzung

Die Herausforderungen, eine rentable Milchproduktion zu erreichen, steigen stetig an. Durch zunehmende Flächenknappheit, steigende Pachtpreise und hohe Anforderungen an eine nachhaltige Bewirtschaftung sind viele landwirtschaftliche Betriebe gezwungen, die betriebliche Effizienz – auch im Bereich der Grobfutterproduktion und -konservierung – zu steigern. Das meist unbekannte und somit oft ungenutzte Potential in der Grünlandbewirtschaftung, aber auch im Feldfutterbau, stellt daher eine entscheidende Stellschraube dar. Die einheitliche Versorgung der Flächen mit mineralischem und organischem Dünger auf Basis eines auf Betriebsebene berechneten Durchschnittsertrags führt nach wie vor zu schlagspezifischen Über- bzw. Unterversorgungen in Abhängigkeit des Ertragspotentials. Auch die einheitliche Schnittnutzung bzw. -frequenz über alle Flächen sorgt in Anbetracht der hohen Erntekosten für unnötige finanzielle Belastungen. Ebenfalls zu hohen Verlusten tragen ungünstige Silierbedingungen z. B. aufgrund ungenügender Siliermittelapplikation oder anderweitiger Probleme im Silo bei.

Zur Optimierung des betrieblichen, schlagspezifischen Düngemanagements sowie der Nutzungsintensität und als Basis für die Ermittlung der Lagerverluste ist das Wissen um die tatsächlich geernteten Erntemengen in Dezitonnen (dt) Trockenmasse (TM) pro Hektar (ha) schlagspezifisch bzw. im Idealfall auch auf Teilschlagebene entscheidend. Neben klassischen Methoden wie der Wiegung des Erntematerials sind sensorgestützte Technologien

zur Ertragsermittlung seit einigen Jahren auf dem Markt verfügbar; es werden aktuell auch weitere innovative Ansätze verfolgt.

Ziel des Demonstrationsprojekts 2 „sensorgestützte Ertragsermittlung“ ist daher die Untersuchung der am Markt verfügbaren Systeme auf deren Genauigkeit, Bedienbarkeit und Zuverlässigkeit im Einsatz unter Praxisbedingungen. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Analyse des Datenflusses bei Betrachtung der genutzten Systeme und Endanwendungen auf den Projektbetrieben. Als innovativer Ansatz ist auch der Einbezug satellitengestützter Ertragsschätzungen im Grünland Teil der Untersuchungen. Über den gesamten Projektzeitraum liegt das Augenmerk auf der Auswertung des Nutzens der Ertragsdaten für die Projektbetriebe. Dazu zählen beispielweise die Optimierung der Düngung auf den Teilschlägen, die Anpassung des Schnittregimes je nach bestands- und schlagspezifischer Ertragsfähigkeit, die Optimierung des Nachsaatmanagements, die Nutzung von Einsparmöglichkeiten bei der Siliermittelapplikation anhand der tatsächlich gemessenen TM-Gehalte im Erntegut und parallel die Optimierung der Silierreihenfolge einzelner Teilschläge bis hin zur Reduktion von Verlusten in einzelnen Silokammern durch diese Maßnahmen und der optimaler gestaltbarer Fütterung anhand der Kenntnis der Inhaltsstoffe des Futtermittels. Diese Erkenntnisse sollen am Ende als Entscheidungsgrundlage für den Einsatz der Ertragserfassung auf dem eigenen Milchviehbetrieb dienen.

6.2 Material und Methoden

Die Genauigkeit der Ertrags- und Feuchteermittlung am Selbstfahrerfeldhäcksler (SFH) wird im Rahmen des Projekts auf familiengeführten Milchviehbetrieben mittels stichprobenartigen Referenzmessungen bei allen Schnitten untersucht. Hierzu werden auf unterschiedlichen Schlägen zu verschiedenen Schnittzeitpunkten die SFH regelmäßig bei Kultur-, Standort-, und Reifegradwechsel über Gegenwiegungen kalibriert und anschließend einzelne Ladungen mittels mobiler dynamischer Achslastwaagen (Wiegefehler bei 2 – 3 %) verwogen und am Silo repräsentativ beprobt. Die anschließende Trocknung der Probe bei 105 °C dient der Bestimmung des TM-Gehalts. Gleichzeitig werden am SFH je nach Hersteller einzelne Ladungen in Bezug auf TM-Gehalt und Frischmasse (FM) abgespeichert. Aus beiden Datensätzen können somit Rückschlüsse auf die Genauigkeit der Ertragsmessung – der FM-Ertrag wird über die Vorpresswalzen des SFH, die TM-Gehaltsmessung mittels Nahinfrarot-Spektroskopie (NIRS) Sensor des SFH erfasst – gezogen werden. Eine zusätzliche Überprüfung der Inhaltstoffmessung mittels NIRS-Sensor findet nach gleichem Schema in Kombination mit nasschemischen Untersuchungen statt. Weiterhin werden die Systeme in Bezug auf die Möglichkeiten bezüglich Datentransfer und -vernetzung untersucht. Der Schwerpunkt liegt dabei auf dem Einsatz von Telemetrie- und FMIS-Software.

Auch die Anbindung von Ertragsdaten via Online-Datenaustauschplattformen an digitale Ackerschlagkarteien wird auf den Praxisbetrieben getestet. Zur Bewertung des Nutzens für die Projektbetriebe werden ausführliche Befragungen über die individuell bereits durchgeführte Verwendung der Daten sowie über mögliche Anwendungsoptionen betriebs- bzw. schlagspezifisch durchgeführt. Die statistische Analyse wurde mit Microsoft Excel (Version 2011) und SAS (SAS Institute Inc., Cary, USA, Version 7.15) durchgeführt. Es wurden einfache lineare Regressionsanalysen erstellt, um die Genauigkeit der Ertragserfassungssysteme zu überprüfen und die statistischen Qualitätsparameter zu berücksichtigen.

6.3 Erste Ergebnisse und Diskussion

6.3.1 Ertrags- und Feuchteermittlung am SFH

Die Ergebnisse der ersten Erntesaison im Jahr 2020 zeigten für einen Hersteller, wie genau diese Systeme, bei Beachtung der erforderlichen Kalibration über Gegenwiegungen, die FM-Erträge im Grünland und Feldfutterbau erfassen können (Abbildung 1).

Die Referenzwiegungen über mobile dynamische Achslastwaagen zeigten eine sehr gute Übereinstimmung zu den Online-Messungen am SFH. Die FM-Erträge konnten, wie auch in vorhergehenden Untersuchungen bestätigt, bei der Ernte von Silomais genauer erfasst werden (Long et al., 2016; Thurner et al., 2011) (Abbildung 1b). Dies ist vor allem auf die Homogenität und den daraus resultierenden hohen, konstanten Massefluss zurückzuführen. Im Gegensatz dazu treten primär bei späteren Schnitten oder starker Trockenheit geringe Erträge auf und resultieren in kleinen Schwadgrößen. Folglich liegt der Gutfluss zeitweise unter dem notwendigen, herstellerabhängigen, konstanten Gutfluss, was zu Aussetzern bzw. zu geringen Auslenkungen der Vorpresswalzen führt. Der FM-Ertrag wird unter diesen Bedingungen unterschätzt.

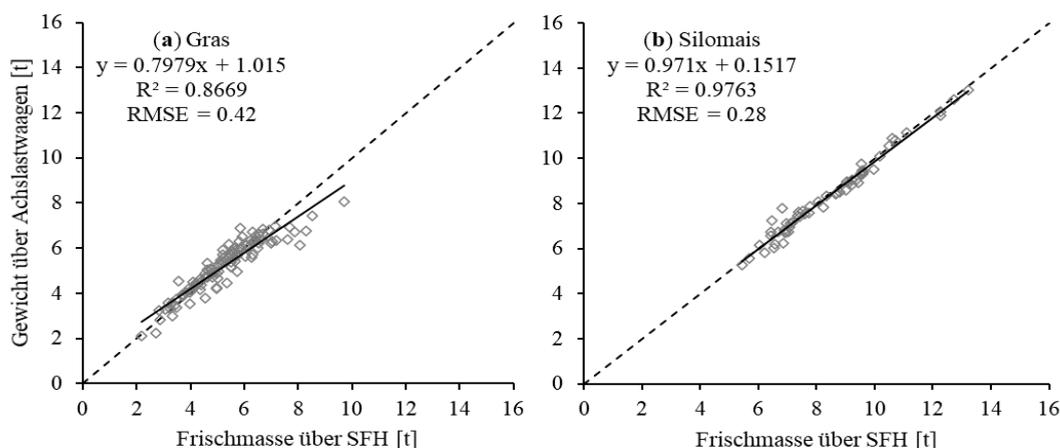


Abbildung 9: Vergleich des auf dem SFH erfassten und mit der Achslastwaage ermittelten FM-Ertrags sowohl für Gras (angewelkt; $n = 113$) (a) als auch für Silomais ($n = 58$) (b) auf Basis von Wagenladungen für einen Hersteller bei mehreren Ernteterminen

Gleichzeitig ist auf eine regelmäßige Kalibration der FM-Ertragserfassung zu achten, da bei Schlag-, Reifegrad- oder Kulturartenwechsel fehlende Gegenwiegungen zu unbrauchbaren Daten aufgrund der nicht nachjustierten Volumenstrommessung führen können.

Die Feuchtemessung am SFH erfolgt bei allen Projektpartnern über die Nahinfrarotspektroskopie (NIRS). Die Untersuchungen zeigten, dass eine gute Genauigkeit in Abhängigkeit des Herstellers sowie äußerer Einflussfaktoren erreicht werden kann. Die Güte der Messwerte hängt in erster Linie, wie bei allen Untersuchungsmethoden mit NIRS, von der Qualität der Kalibration bzw. Quantität der im Modell hinterlegten Referenzwerte sowie der Homogenität des zu messenden Ernteguts ab. Dies spiegelt sich auch im Messbereich des jeweiligen Sensors wider. Traten zu trockene oder zu feuchte Bedingungen auf und lagen die über die Trockenschrankmethode ermittelten Referenzwerte außerhalb der Kalibrierkurve, wurden höhere Abweichungen beobachtet.

6.3.2 Datenfluss

Bei der Ernte von Grünland und Feldfutter werden die Ertragsdaten bisher nur in geringem Umfang digital weitergeleitet. Häufigste Übertragungsform ist derzeit nach wie vor der Export im (trans-) portablen Dokumentenformat (Portable Document Format: PDF-Format) bzw. häufig auch die sofortige Weitergabe über Ausdrücke an der Erntemaschine. Zur optimalen Verarbeitung der Daten ohne die Gefahr von Verlusten und Übertragungsfehlern ist ein teil- bzw. vollautomatisierter Datentransfer notwendig (Abbildung 2)

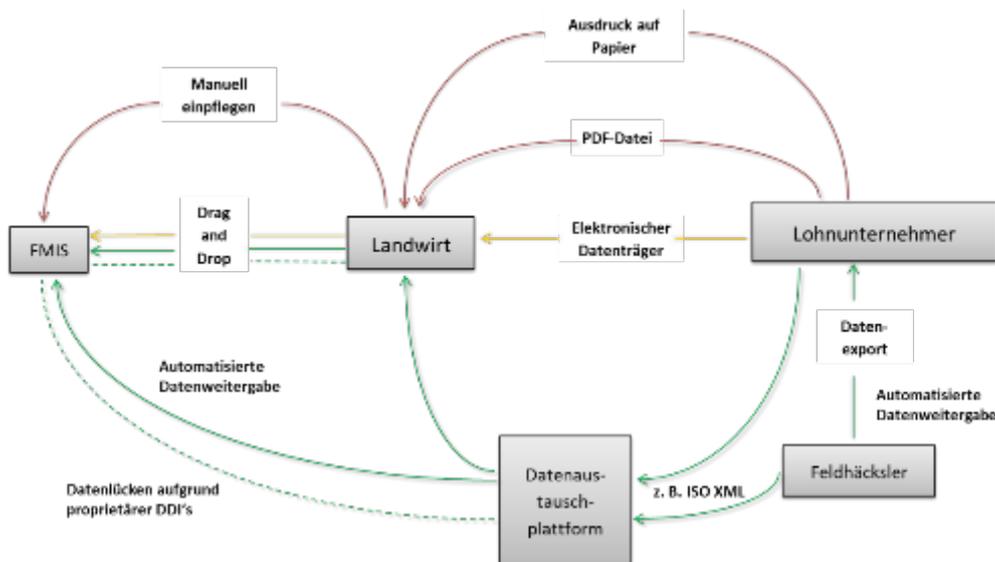


Abbildung 10: Möglichkeiten der Datenübertragung zwischen Lohnunternehmen und Landwirt (FMIS: farm management information system)

Der IST-Zustand auf den Projektbetrieben spiegelte die bereits als bevorzugt genannten Datenübertragungswege wider. Dabei zeigte sich auch eine deutliche Abhängigkeit vom Hersteller, in welchem Datenformat und über welche Übertragungswege eine Weitergabe der Ertragsdaten derzeit möglich ist. Trotz standardisierter Datenformate, wie der ISO-XML (11783), treten aufgrund proprietärer Daten, primär in Bezug auf die Inhaltsstoffe des Ernteguts, Probleme bei der Datenübertragung auf. Für jeden Hersteller müssen folglich in der Endanwendungssoftware individuelle Importe implementiert werden. Zusätzlich werden bei der Zuordnung der Erträge zu den entsprechenden Flächen teils nur die FM-Erträge hinterlegt, wohingegen der TM-Ertrag die entscheidende Größe für das betriebliche Management darstellt.

Die ersten Untersuchungen im Bereich des Datenflusses von der Erntetechnik zum Lohnunternehmer und Landwirt zeigte auf der einen Seite die Verfügbarkeit von teil- bzw. vollautomatisierten Übertragungsmöglichkeiten. Auf der anderen Seite ist an vielen Stellen eine weiterführende Normierung aller erfassten Parameter sowie eine fortlaufende Entwicklungsarbeit im Bereich der Verarbeitung in Farm Management Informationssystemen (FMIS) dennoch dringend notwendig.

6.3.3 Nutzen für den Landwirt

Der Nutzen der Ertragserfassung im Grünland und Feldfutterbau ist bisweilen auf den Milchviehbetrieben meist unbekannt. Der Einsatz der sensorgestützten Ertragserfassung am SFH im ersten Projektjahr lieferte für einen Projektbetrieb erste Erkenntnisse zum Ertragsniveau, sowohl gesamtbetrieblich als auch flächenbezogen. Trotz der im Jahr 2020 herausfordernden Witterung konnten mit einem betrieblichen Durchschnittsertrag von 110 dt TM

ha⁻¹ auf den Grünlandflächen sehr gute Erträge generiert werden. Die flächenbezogenen Ertragsunterschiede wurden durch den Betriebsleiter teilweise richtig eingeschätzt. Es hat sich jedoch gezeigt, dass eine abgestufte Düngung bei vergleichbaren Abweichungen in den Folgejahren zielführend wäre. Somit können Betriebsmittel eingespart und/oder das Ertragspotenzial optimal ausgeschöpft werden. Eine sofort erkennbare Kostenreduktion erwies sich in der automatischen Siliermitteldosierung in Abhängigkeit der FM am SFH, durch die Siliermittel eingespart werden konnte. Bei der Nutzung der Daten für die Düngedarfsermittlung (DBE) ist zu beachten, dass mehrjährige Informationen betriebs- oder flächenbezogen zur Verfügung stehen müssen, um vorhandene Jahreseffekte auszugleichen. Hier kann vor allem die Ertragsschätzung unter Einbezug von Satellitendaten in Kombination mit Wachstumsprognosemodellen einen entscheidenden Vorteil bringen. Bis zum Jahr 2015 können rückwirkend die Erträge auf Teilflächenebene oder schlagbezogen geschätzt werden. Zusätzlich können bei Nichtvorhandensein einer Erntemaschine mit Ertragserfassungssystem bzw. alternativer Ernteverfahren dennoch die Erträge der betroffenen Schnitte geschätzt und somit die Jahreserträge errechnet werden.

6.4 Ausblick

Die ersten Untersuchungen zur Genauigkeit der Ertrags- und Feuchteermittlung am SFH haben die gute Eignung dieser Systeme zur Erfassung der Erträge im Grünland und Feldfutterbau bestätigt. Die Beprobungen diesbezüglich werden weitergeführt und mit der satellitengestützten Ertragsschätzung testweise kombiniert. Aufgrund des geringen Aufwands und der bis dato geringen bzw. nicht vorhandenen Mehrkosten ist der Einsatz bei Vorhandensein der Erntetechnik auf jedem Milchviehbetrieb zu empfehlen. Die korrekte Anwendung inklusive Kalibration über Gegenwiegungen ist jedoch unverzichtbar, um einen genauen Überblick über die Grobfutterproduktion zu bekommen. Die Testung der Datenanbindung der Ertragsdaten an FMIS wird erweitert und die Erfahrungen mit den Projektpartnern diskutiert werden.

6.5 Literaturverzeichnis

- Long, E. A., Ketterings, Q. M., Russell, D., Vermeulen, F., DeGloria, S. 2016. Assessment of yield monitoring equipment for dry matter and yield of corn silage and alfalfa/grass. *Precision Agriculture* 17, 546–563
<https://doi.org/10.1007/s11119-016-9436-y> (last accessed 2020/12/02)
- Turner, S., Fröhner, A., Köhler, B., and Demmel M. 2011. Online measurement of yield and dry matter content of wilted grass with two forage harvesters - comparison with and verification of reference measurements. In: Stafford, J. V. (Ed.) *Proceedings of the 8th European Conference on Precision Agriculture, Precision Agriculture 2011, Prague, Czech Republic: Czech Centre for Science and Society.* pp 628-637. ISBN: 978-80-904830-5-7.

6.6 Danksagung und Förderhinweis

Die Förderung des Vorhabens erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Die Projektträgerschaft erfolgt über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms Experimentierfelder in der Landwirtschaft.

7 **Datenfluss im Bereich Fütterungsmanagement – Praxis der Feldrobotik: Autonome Fütterung**

Arno Ruckelshausen, Hochschule Osnabrück

Zusammenfassung:

Im Experimentierfeld Agro-Nordwest wird die Fütterung im Sinne der Praxis autonomer Feldrobotik als ein Schwerpunkt adressiert. Dabei wird ein kommerziell verfügbarer personengebundener Futtermischwagen „autonomisiert“, so dass beide Betriebsmodi möglich sind. In der Erprobung auf dem landwirtschaftlichen Betrieb wird die Robustheit evaluiert, es werden Probleme des autonomen Betriebs identifiziert und Lösungsansätze entwickelt. Durch das Konzept „ready for autonomy“ wird die Übertragung der Technologien auf landwirtschaftliche Betriebe praxisorientiert weiterentwickelt, ebenso die Evaluation des Systems oder das Training. Interdisziplinäre Aspekte der neuen Arbeitsabläufe werden in Agro-Nordwest adressiert.

7.1 Einleitung

Der Einsatz innovativer Technologien eröffnet durch präzise und automatisierte Verfahren Potenziale für eine ökonomisch, ökologisch und sozial nachhaltigere Landwirtschaft, Beispiele sind Sensorsysteme, Methoden zur Dateninterpretation, Mensch-Maschine-Schnittstellen zur Entscheidungsunterstützung oder die autonome Feldrobotik. Die digitale Transformation im Bereich der Tierhaltung stellt dabei insbesondere Fragen zur bedarfs- und tiergerechten Entwicklung von Technologien, die bzgl. Kosten und Komplexität erfolgreich in landwirtschaftliche Betriebe zu integrieren sind, dies betrifft sowohl die Tierhaltung im Stall als auch auf der Weide (Shalloo et al. 2021).

Der Nutzen dieser technologischen Hilfsmittel ist dabei ein zentraler Punkt und steht im Fokus der vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft geförderten „Experimentierfelder“. Im Experimentierfeld „Agro-Nordwest“ (Ruckelshausen & Everwand, 2020) steht der Pflanzenbau im Fokus, wobei ein Schwerpunkt im Bereich der Praxis autonomer Feldrobotik liegt. Die autonome Fütterung steht an der Schnittstelle von Tierhaltung und Pflanzenbau und stellt damit einerseits besondere Herausforderungen, bietet andererseits Chancen für zielführende Kooperationen von Experimentierfeldern und darüber hinaus.

Der Fokus zur Praxis der autonomen Fütterung liegt auf dem Gesamtprozess auf dem landwirtschaftlichen Betrieb unter Einsatz eines kommerziell verfügbaren Futtermischwagens. Im Vergleich zu einer Vielzahl von Entwicklungen autonomer Systeme im Pflanzenbau, z.B. zur Unkrautregulierung, wird eine vorhandene Maschine durch zusätzliche Funktionen „autonomisiert“ und ermöglicht damit sowohl den klassischen personengebundenen als auch den autonomen Betriebsmodus. Diese Lösung zeichnet sich durch positive Effekte bzgl. der Rückfallebenen bei Problemen autonomer Funktionen als auch hinsichtlich der potenziellen Geschäftsmodelle zum Einsatz eines solchen Fahrzeugs aus. Abbildung 11 zeigt die Anwendungsumgebung

des autonomen Futtermischwagens und das schematische Szenario von der Futterentnahme im Silo bis zur Futterausbringung im Stall.

7.2 Autonome Fütterung in der Praxis

Die Verfügbarkeit, der Zugang und die Interpretation von Daten spielen für die digitale Transformation eine zentrale Rolle. Aufgrund einer Vielzahl – überwiegend proprietärer – Lösungen gibt es hier erheblichen Handlungsbedarf für praxisorientierte herstellerübergrei-



Abb-1a.png

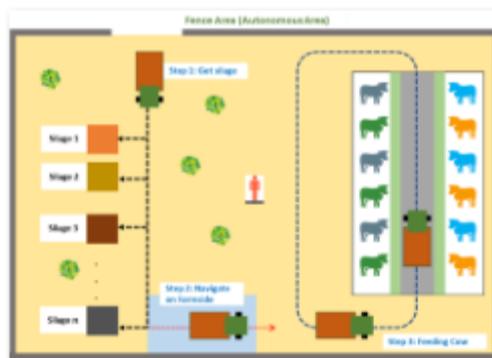


Abb-1b.png

Abbildung 11: Personengebundener/Autonomisierter Futtermischwagen (Strautmann Verti-Q 1702 DSF) bei der Futteraufnahme am Silo und Mensch-Maschine-Kommunikation via Tablet (links); schematische Darstellung der autonomen Navigation des Futtermischwagens auf dem landwirtschaftlichen Betrieb (rechts).

fende Lösungen, insbesondere in der Tierhaltung. Im Pflanzenbau wird der ISOBUS als Standard-Kommunikation (für herstellerübergreifende Traktor-Anbau-Kombinationen und darüber hinaus) genutzt, bzgl. des Datenzugangs gibt es erste herstellerübergreifende Lösungen (z.B. „agrirouter“), Ökosysteme zur anwendungsorientierten Nutzung Künstlicher Intelligenz sind in Vorbereitung (z.B. Agri-Gaia). Die Standards und Lösungsansätze werden im Rahmen einer Machbarkeitsstudie zu einer staatlichen Datenplattform für die Landwirtschaft beschrieben (Fraunhofer IESE, 2020, sowie dort angegebene Quellen).

Das in diesem Beitrag beschriebene Verfahren zur autonomen Fütterung lässt sich in diese Dateninfrastruktur integrieren, dieser Aspekt ist perspektivisch relevant, in diesem Projekt stehen die Machbarkeit, die Praxisumsetzung und die Robustheit der Lösungen im Vordergrund. Unter dem Gesichtspunkt „Daten“ relevante Aspekte sind hierbei Daten von Maschinen, Sensoren, Gebäuden (Lage, Einfahrten) und Materialien (Silage) relevant. Die Simulation der Navigation und der Arbeitsprozesse spielt dabei eine zentrale Rolle. Aufgrund der hohen Komplexität und Variabilität landwirtschaftlicher Umgebungen und insbesondere deren Variabilität (auch von Störgrößen), spielt die Simulation für Innovationen in der landwirtschaftlichen Praxis mittlerweile eine zentrale Rolle. „Digitale Zwillinge“ (Bracht et al., 2018) sind mittlerweile Schlüsselkomponenten für die Automatisierung in der Landwirtschaft. Die Kombination umfangreicher Simulationen mit ausgesuchten Praxistests ist dabei

zielführend, die Software lässt sich von der Simulation direkt auf die Maschinen übertragen (siehe z.B. Linz et al., 2019).

Für den Futtermischwagen wurde ein entsprechender digitaler Zwilling entwickelt, der sowohl die Simulation der Kinematik und Lokalisierung auf dem landwirtschaftlichen Betrieb als auch die Futter-Aufnahme und –Ausbringung ermöglicht. Damit kann der gesamte Fütterungsprozess simuliert werden, ebenso die Erkennung sicherheitsrelevanter Umgebungsbedingungen, z.B. ein anderes Fahrzeug. Wesentliche Online-Daten für eine solche Detektion und Navigation auf dem landwirtschaftlichen Betrieb stammen von einem 3D-Laserscanner (Rotation eines 2D-Laserscanners). Das Konzept, die Technologien und die Sicherheitsaspekte werden in Meltebrink et al. (2018) beschrieben. Das Gesamtsystem steht als Prototyp zur Verfügung und wird in der Praxis hinsichtlich Robustheit und Optimierungen evaluiert.



Abb-2a.JPG

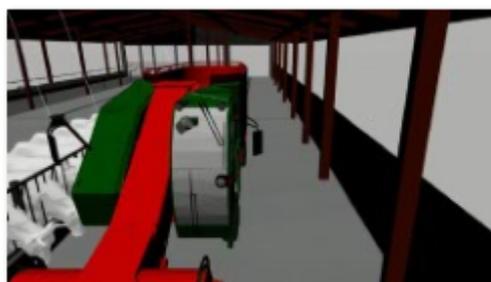


Abb-2b.JPG

Abbildung 12: Autonome Futterausbringung im Stall mit einem Futtermischwagen (links); ROS/Gazebo-basierte Modellierung der autonomen Futterausbringung im Stall mit einem Futtermischwagen (rechts).

7.3 Adaptive Autonomie

Die Einführung der beschriebenen autonomen Fütterung auf einem landwirtschaftlichen Betrieb hängt von einer Vielzahl von Randbedingungen ab. In Agro-Nordwest wird daher das Konzept „ready for autonomy“ umgesetzt: Für einen Betrieb werden eine Reihe von Daten und Informationen zur Einschätzung der Umsetzung des Verfahrens auf diesem Betrieb erfasst und interpretiert. „Not ready for autonomy“ könnte sowohl eine für das Verfahren ungeeignete Infrastruktur als auch eine hochautomatisierte Infrastruktur mit Inkompatibilitäten zu anderen Automatisierungssystemen bedeuten.

Die in der Entwicklung befindliche mobile Applikation beinhaltet darüber hinaus eine Dokumentation und Evaluation der Fütterungsprozesse, incl. Rezepturen, Service, Checklisten oder Training. In Agro-Nordwest werden diese Methoden mit Landwirten in der Praxis erprobt.

Aufgrund der hohen Praxisorientierung werden die Wege zu autonomen Lösungen evaluiert und Erfahrungen für adaptive Lösungen gewonnen, d.h. Teilaspekte des Gesamtprozesses können zum Nutzen der Anwender in aktuell im Markt befindliche Lösungen integriert werden. Für die Landwirtschaft werden derzeit die „Autonomie-Levels“ in einer Reihe von

Gremien und Arbeitsgruppen entwickelt, dies betrifft nicht nur die Navigation (wie im Automotive-Bereich), sondern insbesondere die landwirtschaftlichen Verfahren, d.h. das Arbeiten.

Die Zulassung von Sensorsystemen für die funktionale Sicherheit spielt für die Autonomie eine wichtige Rolle. Durch den Einsatz verschiedener Sensoren auf einem Outdoor-Teststand (365@24), werden in dem Projekt „Agro-Safety“ in Zusammenarbeit mit dem TÜV für die autonome Fütterung entsprechende Evaluationen vorgenommen (Meltebrink et al., 2021).

Die Markteinführung einer autonomen Feldrobotik beinhaltet darüber hinaus eine Vielzahl von Aspekten aus verschiedensten Disziplinen, die Systemintegration ist – neben Aspekten der Zulassung – dabei ein wesentlicher Punkt. In Agro-Nordwest werden daher arbeitswissenschaftliche, juristische und gesellschaftliche Aspekte dieses Verfahrens mit neuen Arbeitsabläufen als auch die Weiterbildung adressiert, alle Aspekte in enger Verzahnung mit der Praxis.

7.4 Fazit

Die Praxiserprobung und Systemintegration des gesamten autonomen Fütterungsprozesses auf dem landwirtschaftlichen Betrieb steht im Mittelpunkt der Arbeiten im Schwerpunkt „Praxis der Feldrobotik/Fütterung“. Hier werden Probleme und Hindernisse beim Einsatz identifiziert und Lösungen erarbeitet, so dass der Nutzen des Technologieeinsatzes bewertet werden kann, ebenso adaptive Lösungen. Das Konzept „ready for autonomy“ wird kritisch-konstruktiv zusammen mit den Anwendern entwickelt; Nutzen, Komplexität und Kosten sind dabei wichtige Faktoren. Der interdisziplinäre Ansatz und die weitere Vernetzung mit der Tierhaltung spielen dabei wichtige Rollen.

7.5 Literaturverzeichnis

- Bracht, U., Geckler, D., & Wenzel, S. (2018). *Digitale Fabrik: Methoden und Praxisbeispiele*. Springer-Verlag.
- Fraunhofer IESE et al. (2020). *Machbarkeitsstudie zur staatlichen Datenplattformen für die Landwirtschaft*. [online] Bundesministerium für Landwirtschaft und Ernährung BMEL URL: https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Digitalisierung/machbarkeitsstudie-agrardatenplattform.html [Stand 04.06.2021].
- Linz, A., Hertzberg, J., Roters, J., Ruckelshausen, A. (2019). *Digitale Zwillinge als Werkzeug für die Entwicklung von Feldrobotern in landwirtschaftlichen Prozessen*. In: Meyer-Aurich, A. et al. (Hrsg.) (2019) *GI-Edition Lecture Notes in Informatics*, Volume P-287, S. 125-130.
- Meltebrink, C., Malewski, B., Trabhardt, A., Igelbrink, T., Hellermann, S., & Ruckelshausen, A. (2018). *Vom manuellen Selbstfahrer zum autonomen Futtermischwagen: Konzept, Technologie und Sicherheit*. In: Ruckelshausen, A. et al. (Hrsg.) (2018) *GI-Edition Lecture Notes in Informatics*, Volume P-278, S. 159-162.
- Meltebrink, C., Ströer, T., Wegmann, B., Weltzien, C., & Ruckelshausen, A. (2021). *Concept and Realization of a Novel Test Method Using a Dynamic Test Stand for Detecting Persons by Sensor Systems on Autonomous Agricultural Robotics*. *Sensors*, 21(7), 2315. <https://doi.org/10.3390/s21072315> [Stand 04.06.2021].
- Ruckelshausen, A., & Everwand, R. (2020). *Experimentierfeld zur digitalen Transformation im landwirtschaftlichen Pflanzenbau (Agro-Nordwest)*. In: Gandorfer, M. et al. (Hrsg.) (2020) *GI-Edition Lecture Notes in Informatics*, Volume P-299, S. 385-388.
- Shalloo, L., Byrne, T., Leso, L., Ruelle, E., Starsmore, K., Geoghegan, A., ... & O’leary, N. (2021). *A review of precision technologies in pasture-based dairying systems*. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*. https://www.scienceopen.com/document_file/25715195-3cc9-4d4b-ac85-5736982a8f09/ScienceOpen/IJAFR-D-19-00018.pdf [Stand 04.06.2021].

7.6 Danksagung

Die Arbeiten zur autonomen Fütterung werden im Rahmen des Forschungsprojektes „Experimentierfeld Agro-Nordwest“ durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) gefördert.

8 Demonstrationsprojekt 3: Fütterungsmanagement

Stefan Beckmann und Martin Schäffler (Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft)

Zusammenfassung:

Der Prozess der Fütterung ist momentan von vielen händischen Eingaben geprägt. Angefangen bei der Anmeldung zur Analyse über die Eingabe der Analyseergebnisse ins Rationsberechnungsprogramm bis hin zur Rationseingabe im Mischwagen. Mittlerweile sind auch Schnittstellen der verschiedenen Systeme untereinander vorhanden, aber immer noch wenig bis fast gar nicht genutzt. Im Demonstrationsprojekt 3 -Fütterungsmanagement- des Experimentierfeldes DigiMilch wird am Markt befindliche Technik zusammen mit deren Herstellern auf ausgewählten Praxisbetrieben (Auswahl fand nach festgelegten Kriterien statt) geprüft und nach praxistauglichen Lösungen gesucht. Gleichzeitig werden die generierten Daten weiteren Berechnungen (Futtermittelkosten, Nährstoffaufwand, Stallbilanz, etc.) unterzogen, da die Daten Ergebnisse liefern, die für den Landwirt eine enorme Hilfe im Management des Betriebes sein können. Bisher werden diese nur wenig genutzt, da es immer einen Mehraufwand für den Landwirt bedeutet, um an die wichtigen Zahlen zu gelangen.

8.1 Einleitung

Für Milchviehbetriebe sind Insellösungen im Bereich Futter- und Fütterungsmanagement verfügbar, die dem Landwirt die tägliche Arbeit wesentlich stärker erleichtern könnten, wenn sie vernetzt wären. Dazu gehören z. B. die internetbasierte Futteruntersuchungsplattform webFuLab (Fuhrmann, 2016; Spiekers, 2018), Futtermittelkostenberechnungsprogramme und Futtermischwagen, die bei der Zusammenstellung der Futterkomponenten helfen und die verfütterten Futtermengen aufzeichnen können. Derzeit muss der Landwirt die relevanten Daten aus den Futteranalyseergebnissen und der Rationsberechnung auf die Fütterungstechnik manuell übertragen, da die digitale Vernetzung der Systeme fehlt. Dies wird in der Praxis beklagt, da arbeitsaufwendige und fehlerträchtige Mehrfacheingaben erforderlich sind.

Ein weiterer Punkt ist, dass die verfügbaren Systeme im Bereich Futter und Fütterung Daten liefern, die bisher zu wenig genutzt werden. So ist mit den Daten der in den Futtermischwagen und den automatischen Fütterungssystemen integrierten Waagen ein Controlling möglich, wie z.B. die Auswertungen zu den tatsächlich verfütterten Futtermengen, die bei der zukünftigen Rationsplanung hilfreich sind (Schäffler, 2018). Wünschenswert sind praxistaugliche, einfache Auswertungstools, um die jährlich verfütterten Mengen an Maissilage oder Grassilage zu erfassen. Für die Futterplanung und die Erstellung von Nährstoffbilanzen (Stall, Feld und Betrieb) würde sich damit die Datenbasis verbessern.

8.2 Material und Methoden

Für dieses Demonstrationsprojekt wurden Milchviehbetriebe mit unterschiedlicher Fütterungstechnik von verschiedenen Anbietern aus der Praxis ausgewählt. Voraussetzung war eine programmierbare Waage an der Futtermischtechnik. Es erfolgte die Prüfung der bestehenden Datenflüsse zur Futtermengenaufzeichnung und Rationsplanung auf den am Projekt beteiligten Praxisbetrieben. Die verwendete Managementsoftware zur Erfassung und Auswertung der verfütterten Futtermengen muss von den Betrieben angewendet und gepflegt werden. Die Funktionalität der Software aus Sicht der Anwender wird bewertet.

In dem Datenflussschema (Abbildung 13) wird deutlich, dass ohne Schnittstellen immer noch sehr viele händische Eingaben notwendig sind.

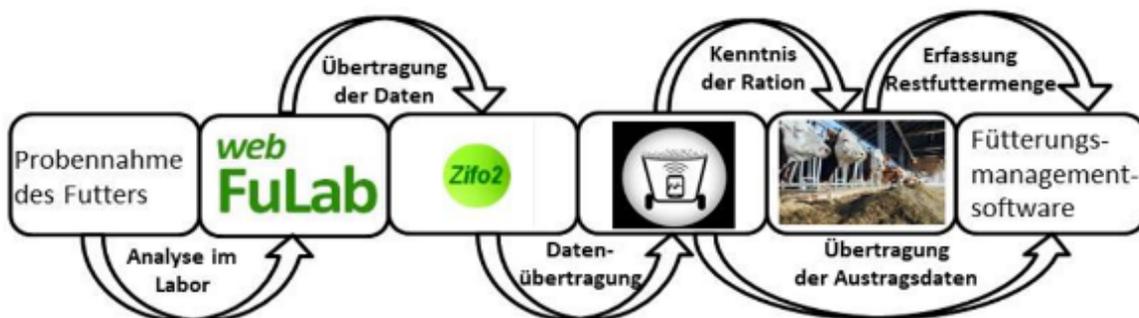


Abbildung 13: Datenflussschema des DP 3 (Beckmann, 2020)

Die teilnehmenden Software- und Technikhersteller werden motiviert und unterstützt, Schnittstellen zur Verfügung zu stellen bzw. zu schaffen, um einen durchgängigen digitalen Datenaustausch zu gewährleisten. Begleitend erfolgt ein regelmäßiges Controlling der Ausgangsfutterkomponenten und der Mischrationen. Mit den erhobenen Daten werden Kennwerte berechnet, die für den Landwirt einen Mehrwert bringen und ihn so in wichtigen Managemententscheidungen unterstützen, dazu zählen vor allem die Futterkosten in Cent je kg energiekorrigierter Milch (ECM), die Grobfutterauswertung in kg ECM je kg TM-Aufnahme TM sowie der Kraftfutterverbrauch in g pro kg ECM. Eine jährliche Bilanzierung der verfütterten Futtermengen erfolgt ebenfalls.

8.3 Zwischenergebnisse

8.3.1 Kontrolle der Beladung

Mit der Technik der programmierbaren Waage und einem Managementprogramm besteht die Möglichkeit die Genauigkeit jeder Beladung eines Futtermischwagens zu kontrollieren.

Tabelle 2: Beladungsmengen Mischwagen (relative Abweichung rot markiert)

Ration				Kühe
Datum und Uhrzeit Operationsstart				14.04.2021 16:27
Datum Uhrzeit Operationsende				14.04.2021 17:05
Gesamtdauer Operation				0h 38m
Programmierte Tiere von Wiegecomputer				71
Unterschied zwischen programmiert von Wiegecomputer und tatsächlich (%)				1,62
Komponente	Programmiert von Wiegecomputer (kg)	Istladung FM (kg)	Istladung TM (kg)	Ladungsdifferenz (%)
Luzerne	36	38	33	5,56
Mineralfutter	18	19	17	5,56
Getreidemischung	143	142	125	-0,70
Eiweißmischung	122	140	123	14,75
Grassilage	1644	1636	702	-0,49
Silomais	1251	1291	438	3,20
Gesamt	3214	3266	1438	

In Tabelle 2 ist eine Beladung vom 14.04.2021 zu sehen. Es sind nur 18 kg mehr von der Eiweißmischung, welches aber eine Ladungsdifferenz von 14,75 % ausmacht. Berechnet man jetzt die Nährstoffsalden für Stickstoff, so wird deutlich, dass die Auswirkung dieser Überladung nicht zu verachten ist (siehe Tabelle 4).

8.3.2 Durchschnittliche TM-Aufnahme der Herde

Mit der Aufzeichnung der Beladungsmengen (Tabelle 2) und des Restfutters ist es möglich die durchschnittliche Trockenmasseaufnahme pro Tier & Tag zu berechnen.

Mit der Berechnung der Trockenmasseaufnahme besteht auch die Möglichkeit, die TM-Aufnahme der einzelnen Futtermittelgruppen (Grob-, Saft-, Kraft- und Mineralfutter) auszuweisen. Dies ist von enormer Bedeutung, da es das Ziel eines jeden Betriebes sein sollte, eine hohe Grobfuttereffizienz zu erreichen.

Ebenso besteht die Möglichkeit die verfütterte Kraftmenge pro Tier differenzierter zu betrachten. So lässt sich genau unterscheiden, welche durchschnittliche Menge an Kraftfutter über die Mischration und welche durchschnittliche Menge über die Transponderfütterung, tierindividuell, verfüttert worden ist.

Tabelle 3: Durchschnittliche Futtermittelaufnahme je Tier & Tag

14.04.2021	Futtergruppe 1	
Futtermittel	Aufnahme FM, kg/Kuh	Aufnahme TM, kg/Kuh
Grassilage	23,0	9,9
Maissilage	18,2	6,2
Luzerneheu	0,5	0,5
Summe Grobfutter	41,8	16,5
Summe Saffutter	0,0	0,0
Getreidemischung	2,0	1,7
Eiweißmischung	2,0	1,7
Summe Kraftfutter	4,0	3,4
Mineralfutter	0,27	0,25
Summe Mineralfutter	0,27	0,25
Summe FMW (Trogration)	46,03	20,2
Futtermittel	Aufnahme FM, kg/Kuh	Aufnahme TM, kg/Kuh
MLF 18/4	3,2	2,8
Summe Transponder	3,2	2,8
Summe gesamt	49,2	23,0

8.3.3 Stoffstrom

In Tabelle 4 wurden über die Rohproteingehalte der Futterkomponenten die Stickstoffgehalte und somit die Differenzen (Über- bzw. Unterladung) berechnet. Hier wird deutlich, dass allein bei dieser Beladung 989 g Stickstoff mehr in der Ration sind als kalkuliert. Über das Jahr gesehen wären das dann etwa 350 kg N zu viel. Mit dieser Menge könnte man etwa 2 ha Weizen düngen!

Viele argumentieren damit, dass die Tiere ja auch eine „Reserve“ bekommen sollen. Dies ist aber gar nicht notwendig, da die Empfehlungen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE) bereits diese Reserven mit eingerechnet hat. Es bedarf keiner weiteren Reserve. Die Überversorgung ist ein Faktor, der sich enorm auf die Nährstoffeffizienz auswirkt. Durch eine gute Nährstoffeffizienz können die Kosten im Betrieb vor allem bei gülleabgebenden Betrieben deutlich gesenkt werden.

Tabelle 4: Stickstoffsaldierung der Beladung

Futtermittel	Differenz in kg FM	XP-Gehalt (g/kg FM)	N-Gehalt (g/kg FM)	Menge N absolut (g)
Grassilage	-8	66	10,56	-85
Maissilage	+40	21	0,32	+13
Luzerne	+2	160	25,60	+51
Eiweißmischung	+18	345	55,20	+994
Getreidemischung	+1	98	15,70	+16
Mineralfutter	-	-	-	-
Gesamt				+989

Sobald die durchschnittliche Futteraufnahme der Herde bekannt ist, lassen sich ohne größeren Aufwand auch die Futterkosten in Cent pro Liter energiekorrigierter Milch (ECM) sowie andere Kennzahlen berechnen.

Tabelle 5: Berechnete Kennzahl eines Betriebes aus den Fütterungsdaten

Parameter	Einheit	Betrieb
Grobfutter	kg TM/Kuh & Tag	16,5
∑ Kraftfutter	kg FM/Kuh & Tag	7,2
TM – Aufnahme	kg TM/Kuh & Tag	23,0
Laktationstage		154
ECM	kg / Kuh & Tag	31,6
Futterkosten (Zukauf)	Cent / kg ECM	18,7 (7,2)
∑ Kraft- & Saftfutter	g/kg ECM	264
Milch aus Grobfutter	% der ECM	52%
Futtereffizienz	kg ECM / kg TM	1,43

Da die Futterkosten den größten Anteil an den Direktkosten ausmachen, sind diese natürlich von größer ökonomischer Bedeutung für jeden Betrieb. Denn wer seine Futterkosten kennt und im Griff hat, ist auch in der Lage seinen Betrieb ökonomisch erfolgreich zu führen.

Für die Kosten von Gras- und Maissilage sollten in der Regel die Zahlen aus der Betriebszweigauswertung des Betriebes herangezogen werden. Nur diese bilden auch die wirklichen Kosten der betriebseigenen Grobfuttermittel ab! Wie Tabelle 4 zu entnehmen ist, entfallen auf die betriebseigenen Grobfuttermittel der größte Teil der Futterkosten (11,5 Cent). Dafür sind die in Klammern stehenden Zukaufsfutterkosten (7,2 Cent) von den Gesamtfutterkosten (18,7 Cent) abzuziehen. Darum ist es von enormer Wichtigkeit, eine hohe Milchleistung aus Grobfutter und somit eine hohe Grobfuttereffizienz, zu erreichen. Damit ist unmittelbar der ökonomische Erfolg eines Betriebes verknüpft, da die Grobfutter für die artgerechte Fütterung eines Wiederkäuers unerlässlich sind.

8.3.4 Rückschluss auf die Erträge

Für die Düngebedarfsermittlung (DBE) ist es wichtig seine Erträge zu kennen. Im Ackerbau ist dies auch ohne größere Probleme möglich, die Erträge seines Betriebes zu ermitteln. Entweder wird das Getreide verkauft und somit verwogen oder es wird verfüttert und in bestimmten Mengenverhältnissen gemischt. Im Feldfutterbau ist dies anders. Die Technik

ist zwar heute in der Lage die Erträge ziemlich genau zu erfassen, aber nicht jede Maschine ist mit dieser Technik ausgestattet.

Durch die Kenntnis der verfütterten Grobfuttermengen und das Führen des Lagermanagements mittels der Software des Herstellers, ist es aber möglich einen Rückschluss auf die ungefähre Erntemenge zu erlangen. Bei durchschnittlichen Silierverlusten von 10 % bei der Maissilage und 15 % bei der Grassilage ist der Annäherungswert, der bei dieser Überschlagsrechnung herauskommt, immer noch besser als jede Schätzung. Natürlich hat das individuelle Silomanagement (z.B. Abdeckung oder die Verdichtung des Silos) einen Einfluss auf die Silierverluste.

Wenn die Erträge aber erfasst sind, sei es über die Ertragserfassung am Feldhäcksler oder über eine Waage, so lassen sich die Silierverluste ziemlich genau berechnen.

Das folgende Beispiel zeigt die Berechnung der Silierverluste im Silo. Diese Berechnung war nur möglich, da auf diesem Praxisbetrieb auch das Demonstrationsprojekt 2 -Sensorgestützte Ertragserfassung- tätig ist.

Für die Maissilage ergibt sich die Berechnung wie folgt:

Über die Waage des Mischwagens und die Auswertung des Lagermanagements ergab sich eine verfütterte Menge von 2.249 dt FM Maissilage. Diese Maissilage hatte einen TM-Gehalt von 36,3 %. Somit ergibt sich eine verfütterte Menge von 816,4 dt TM. Bei einer Schlaggröße von 3,70 ha ergibt sich eine Erntemenge von TM 220,6 dt/ha. Es wurden aber laut der Ertragserfassung 917,3 dt TM (247 dt/ha) geerntet! Daraus ergibt sich ein Silierverlust von 11 % bei der Maissilage.

Die gleiche Rechenweise wurde auch bei der Grassilage angewandt. Insgesamt wurden laut Auswertung des Lagermanagements 3191 dt FM beim ersten Schnitt mit 38,5% TM verfüttert, welches die Menge von 1228,5 dt TM ergibt. Bei einer beernteten Fläche von 33,2 ha ergibt sich ein Ertrag von 37 dt TM/ha. Die Ertragserfassung vom Häcksler/Fuhrwerkswaage weist aber eine geerntete Menge von 1485,6 dt TM aus. Somit ist der Silierverlust hier mit einer Größenordnung von 18 % zu beziffern.

Selbstverständlich haben sehr viele Faktoren einen Einfluss auf die Silierverluste. Die Erntemengen über diese Berechnung zu tätigen ist immer noch besser als diese vollständig zu schätzen. Bereits jetzt zeigt sich, dass gerade das Grünland schnell über, aber vor allem unterschätzt wird.

8.4 Weiteres Vorgehen

Im weiteren Verlauf soll die Vernetzung und deren Nutzen mit den weiteren Demonstrationsprojekten des Experimentierfeldes weiter untersucht werden. Eine kontinuierliche und permanente Auswertung der auf den Praxisbetrieben erhobenen Daten soll diesen den Vorteil sowie deren Nutzen näherbringen.

8.5 Literaturverzeichnis

- Fuhrmann, S.; Schäffler, M. (2016): webFuLab und Zifo2 — ein gutes Team zur Rationsbewertung. In: Bolduan, C. und Windisch, W. (Hrg): 54. Jahrestagung der Bayerischen Arbeitsgemeinschaft Tierernährung e.V. Tagungsband. Futterqualität — Bewertung, Auswertung, Wertschöpfung. Freising, 26. September 2016. Freising: Bayerische Arbeitsgemeinschaft Tierernährung (BAT) e.V., 212—217
- Schäffler, M., Wirthgen, S., Rauch, P., Brunlehner E.-M. (2018): Möglichkeiten der Digitalisierung nutzen: Futter und Fütterung. in: Tagungsband „Nutztierhaltung — Basis der Landwirtschaft in Bayern — 100 Jahre Kompetenzzentrum für Nutztiere in Grub“ 5.7.2018, LfL-Schriftenreihe 1/2018, 49 — 55.
- Spiekers, H., Schäffler, M. (2018): Digitalisierung für Futter und Fütterung nutzen! VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 75, Kongressband 2018 Münster, VDLUFA - Verlag, Darmstadt, 31-38

8.6 Danksagung und Förderhinweis

Die Förderung des Vorhabens erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Die Projektträgerschaft erfolgt über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms Experimentierfelder in der Landwirtschaft.

9 Bedeutung von Assistenzsystemen in der Milchviehhaltung

Wolfgang Büscher (Institut für Landtechnik, Universität Bonn)

9.1 Einführung

Die Nutzung von Assistenzsystemen wird in unserem Alltag immer selbstverständlicher; besonders deutlich wird das bei der Nutzung moderner Fahrzeuge und des Mobiltelefons für unsere Alltagsprobleme. Diese Entwicklungen werden gerne als „Digitalisierung“ bezeichnet und verändern auch in den Milchviehställen unseren Arbeitsalltag. In einem vom Bundesministerium für Landwirtschaft und Ernährung bewilligten Experimentierfeld mit der Bezeichnung „CattleHub“ befassen sich sieben Arbeitsgruppen an verschiedenen Standorten in Deutschland mit Assistenzsystemen in der Rinderhaltung, um deren Einsatzbedingungen zu erfassen, deren Stärken und Schwächen zu bewerten; aber auch die Bedenken und Hemmnisse bei ihrem Einsatz zu hinterfragen. Innerhalb des Projektes haben wir uns verständigt, unter Assistenzsystemen elektronische/digitale Hilfsmittel zu verstehen, die den Tierhalter bei seinen Arbeiten und Entscheidungen im Kontext der Rinderhaltung unterstützen. Die hierzu eingesetzten Hilfsmittel sind Sensoren, Netzwerk-Lösungen, Auswertungs-Software, Dokumentationssysteme, digitale Endgeräte und natürlich auch autonome Geräte und Maschinen (Roboter) (Agroscope Transfer, 2020). Unter Arbeiten verstehen wir sowohl physische wie auch organisatorische und informationstechnische Aufgaben, die der Tierhalter regelmäßig oder Ereignis-abhängig durchführt. Besondere Aufmerksamkeit in diesem Projekt haben tierwohl-relevante-Entscheidungen, die z. B. im Kontext des Gesundheitsmanagements vom Tierhalter auf der Basis unterschiedlicher Informationen zu treffen sind.

Zu Beginn der Untersuchungen standen die Fragen der Motivation der Tierhalter für die Nutzung und die Erwartungen an Assistenzsysteme im Vordergrund (Ahmann und Büscher, 2021). Schon sehr früh wurde deutlich, dass die Erwartungen an digitale Systeme sehr unterschiedlich sind, wobei sich jedoch vier Schwerpunkte gezeigt haben, die wiederholt von Landwirten und Beratern genannt wurden und auf die im Weiteren - auch anhand von aktuellen Beispielen - eingegangen werden soll:

- Verbesserung der Arbeitssituation,
- Informationssuche und -bereitstellung,
- Prozessüberwachung und -optimierung,
- Steigerung der Wirtschaftlichkeit

9.2 Arbeitssituation

Viele Tierhalter haben ein Zeitproblem; sie arbeiten zu viele Stunden pro Tag, sind im Betrieb nicht abkömmlich und haben wenig zeitliche Entscheidungsfreiheit. Seit Jahren gibt es daher einen starken Trend zur Automatisierung von Arbeitsabläufen. Klassisches Beispiel sind die Einzelboxen-Melkautomaten, die den gesamten Arbeitsablauf des Melkens schnell genug und inklusive der Entscheidungen, z. B. ob die gerade ermolzene Milch verkehrsfähig ist, autonom beherrschen. Die Tierhalter erwarten nicht nur eine physische Entlastung, sondern wollen sich auch von der zeitlichen Bindung des 12-Stunden-Melktaktes verabschieden. Es hat sich gezeigt, dass der Zugewinn an Lebensqualität und der Wegfall des Termindrucks die wichtigsten Entscheidungskriterien für den Kauf eines Automatischen Melksystems (AMS) sind.

Ein wichtiger Aspekt der Arbeitsbelastung ist der Entscheidungsdruck bzw. in kurzer Zeit eine (möglichst) richtige Entscheidung zu treffen. Dieser Druck auf die Tierhalter ist gestiegen, da die öffentliche Aufmerksamkeit zugenommen hat und die Rückverfolgbarkeit bzw. Dokumentationspflicht von Tierbehandlungen vom Lebensmitteleinzelhandel eingefordert wird. Die Entscheidungen der Landwirte sind damit sehr viel transparenter und nachvollziehbarer geworden. Eine Fehlentscheidung wird wahrgenommen und kann somit Konsequenzen haben; dies erhöht zwangsläufig auch den Entscheidungsdruck. Umso wichtiger ist es, dass Assistenzsysteme in der Lage sind, vor Ort und bei begrenzter Zeit die notwendigen Informationen bereitzustellen. Dies hat natürlich auch positive Effekte für die Tiere; denn Fehlentscheidungen nehmen ab und die Prognosesicherheit für eintreffende Ereignisse zu.

Die entscheidungsrelevanten Informationen zur richtigen Zeit am richtigen Ort zu haben, ist ebenfalls eine wichtige Unterstützung für den Tierhalter. Das ist letztlich nur möglich, wenn Systeme kompatibel sind und gleichzeitig Bestandsdaten, verrechnete Messwerte und Daten aus dem Internet auf dem Endgerät zur Verfügung stehen.

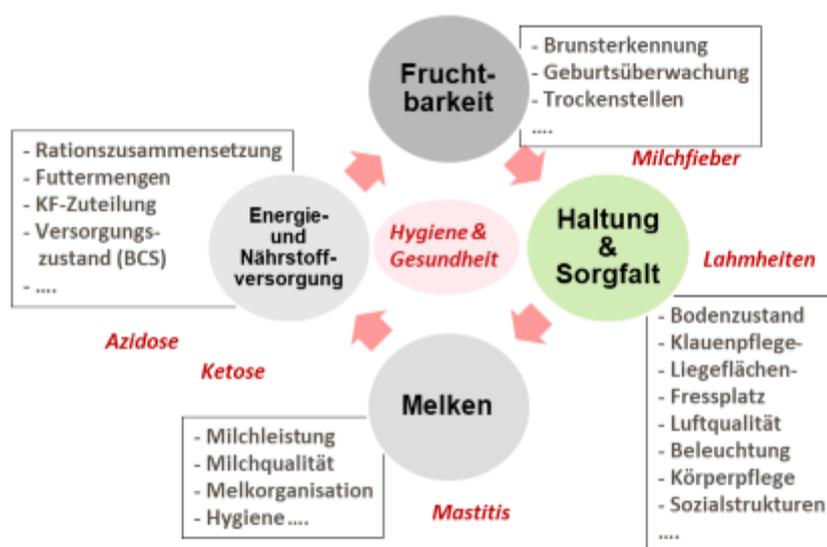


Abbildung 14: Bereiche des Herdenmanagements in der Milchviehhaltung

Ein klassisches Beispiel ist die Brunsterkennung der Milchkühe (Deutsche Landwirtschaftliche Gesellschaft, *in Vorbereitung*). Das Pedometer-System meldet eine erhöhte Aktivität im Vergleich zum gleitenden Mittelwert der letzten sieben Tage. Das Herdenmanagementsystem prüft, ob der Abstand zur letzten Brunst biologisch passen kann und ob der Zeitraum zum letzten Abkalbetermin lange genug ist, damit eine Besamung erfolgen soll, um letztlich eine erneute Trächtigkeit anzustreben. Dieses Tier kommt auf die ‚Alarmliste‘ des Tierhalters, der sich bei nächster Gelegenheit mit der Sache befassen kann. Vom Stall aus kann der Tierhalter direkt auf die Stammdaten des Tieres zugreifen, um den richtigen Bullen aus dem digitalen Besamungskatalog seiner Zuchtorganisation auszuwählen. Per Knopfdruck kann dann der Besamungstechniker informiert werden.

9.3 Prozessüberwachung und Optimierung

Prozessbegleitende Informationen haben als Qualitätsmerkmale mittlerweile eine ähnlich wichtige Bedeutung wie das eigentliche Produkt. Wenn zum Beispiel der Tierhalter an einem Weidemilchprogramm teilnimmt, um einen höheren Auszahlungspreis für seine Milch zu erhalten, muss er nachweisen, dass seine Tiere an 120 Tagen mehr als 6 Stunden pro Tag

auf der Weide gewesen sind. Insbesondere bei Vermarktungsprogrammen ist die Einhaltung von Vorgaben eine wichtige Voraussetzung für die Teilnahme. Freiwillige Selbstverpflichtungen oder punktuelle Überprüfungen reichen oft nicht aus; der Wunsch nach lückenloser Überprüfbarkeit wird immer wieder geäußert. Solche Auflagen kann letztlich nur ein digitales Überwachungssystem leisten.

Mit solchen Überwachungssystemen kann natürlich sehr viel mehr im Sinne der Unterstützung des Tierhalters erreicht werden. Diese Systeme können ‚Ereignisse‘ feststellen (zum Beispiel „die Kuh wurde an diesem Tag trocken gestellt und in einen anderen Bereich umgestallt“). Gleichzeitig kann die Methode des Trockenstellens vermerkt und Auffälligkeiten auf einer Liste notiert werden. Im Bedarfsfall kann dann der Tierhalter quasi online diese Prozessparameter abrufen und z. B. dem Tierarzt oder der Veterinärbehörde zur Verfügung stellen. Solche Informationen werden bereits heute in gemeinsam genutzten Cloud-Servern bereitgestellt, wobei über Schreib- und Leserechte der Zugriff auf die Daten geregelt wird. ‚Papier-Aufzeichnungen‘, ‚Zettelwirtschaft‘ und ‚langes Suchen‘ sollten sich daher beim digitalen Herdenmanagement erübrigen!

Das automatische Melken in einer Einzelboxen-Anlage ist auch hier ein gutes Beispiel für eine funktionierende, digitale Automatisierung von Prozessen und Regelkreisen, die am Tier - ohne Anwesenheit des Menschen - ausgeführt werden können. Das beinhaltet auch Erfolgskontrollen wie zum Beispiel die Eutergesundheit und die Aufnahme des Kraftfutters, um die Vermarktungsaufgaben gegenüber der Molkerei zu erfüllen bzw. um die Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe abzusichern.

Letzter, aber nicht unwichtigster Motivationsfaktor für den Einsatz digitaler Systeme ist die Steigerung und Absicherung des wirtschaftlichen Erfolgs. Jedes Werkzeug muss durch Arbeitszeiteinsparung oder Kostensenkung seine betriebswirtschaftliche Daseinsberechtigung und seine Nachhaltigkeit nachweisen. Das gilt auch für digitale Systeme. Wichtige Beispiele in diesem Kontext sind Abruffütterungen für Kälber und Milchkühe. Bei den Tränkeautomaten für Kälber wird z. B. teures Milchpulver in einer definierten Konzentration und Temperatur in kleinen Portionen angerührt, wenn das Kalb die Abrufstation betritt und einen Fütterungsanspruch hat. Durch diese Herangehensweise wird sichergestellt, dass kein Pulver verschwendet wird, dass die Kälber mit Milch versorgt werden und sich nicht ‚überfressen‘ können, weil ansonsten die häufig vorkommenden Durchfallerkrankungen auftreten. Das sind drei wichtige Aspekte, die einerseits die ökonomischen Erfordernisse nachweisen, aber auch das Tierwohl bzw. die Tiergesundheit im Sinne der Nachhaltigkeit.

Berücksichtigt man dann noch, dass durch den Einsatz die Arbeitszeit um über 50 % pro Kalb reduziert wird, eine termingebundene Arbeit entfällt und man noch Informationen zur Fitness des Kalbes bekommt, sind die meisten Tierhalter, die sich zum Kauf einer solchen Abrufstation entschlossen haben, sehr zufrieden mit der Entscheidung und den Resultaten der digitalen Technik.

Dennoch gibt es Gründe, die dazu führen, dass Assistenzsysteme noch nicht weit verbreitet sind. Der hohe Investitionsbedarf, Sorgen um den Datenschutz und mangelnde Schnittstellen sind nur drei der Aspekte. In dem vom BMEL geförderten Experimentierfeld CattleHub geht es speziell um den Einsatz solcher digitalen Anwendungen in der Rinderhaltung. Das Hauptziel ist es, die Etablierung digitaler Assistenzsysteme in der Rinderhaltung zu unterstützen und Bewertungskriterien zu entwickeln.

9.4 Mit digitaler Bildverarbeitung entsteht ein „Regelkreis“!

Die wohl älteste elektronische Anwendung im Herdenmanagement war die leistungsorientierte Fütterung der Milchkühe. Das Fütterungsmanagement der Milchkühe ist so wichtig, weil in den ersten 100 Tagen der Laktation die Hochleistungskühe eine stark negative Energiebilanz haben und große Teile ihrer Körperreserven einsmelzen. Da in dieser Zeit auch eine erfolgreiche Besamung erfolgen soll und die meisten Stoffwechselstörungen bei den Milchkühen auftreten, ist eine ausgewogene, individuelle Energie- und Nährstoffversorgung besonders wichtig!

Die Basisversorgung erfolgt meist über computeroptimierte Mischrationen, die in der Regel mit einem Futtermischwagen homogenisiert und vorgelegt werden. Meist ist der Kuhbestand in Gruppen aufgeteilt, wobei die Leistung oder das Laktationsstadium Grundlage für die Einstufung ist. Um sozialen Stress durch Rangordnungskämpfe zu vermeiden, sollte die Zuordnung der Kühe in neue Gruppen nicht so häufig geändert werden. In den meisten Betrieben erfolgen diese Einstufungen monatlich, wobei die Körperkondition (Body-Condition-Index, BCS) letztlich entscheidet, ob die Gruppenzugehörigkeit passt oder geändert werden sollte. Innerhalb jeder Gruppe können kleine Unter- oder Überversorgungen mit der Kraftfuttergabe über die klassischen Abrufstationen ausgeglichen werden. Ist das Tier allerdings über einen längeren Zeitraum über- oder unterversorgt, ist der Gruppenwechsel unvermeidbar (Ahmann und Büscher, 2021).

Die BCS-Einstufung erfordert viel Sachkunde und sollte von erfahrenen Personen durchgeführt werden. Eine sehr „junge“, elektronische Methode basiert auf digitaler Bildverarbeitung, wobei eine 3D-Kamera die Tiere nach jeder Melkung scannt (siehe Abbildung 15).

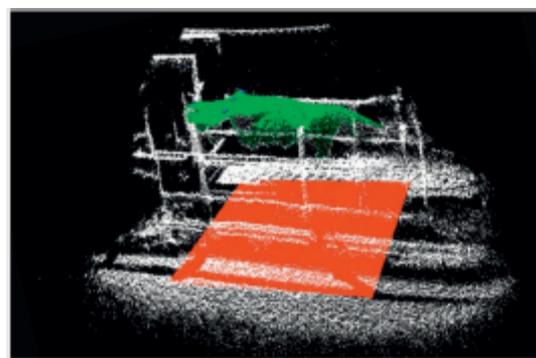
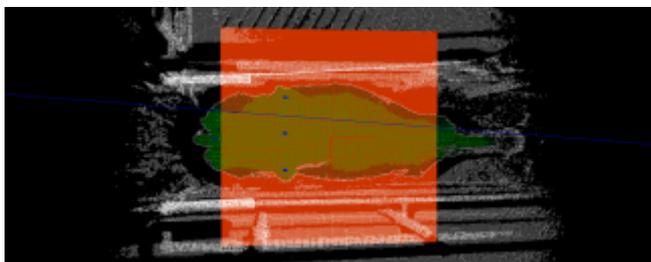


Abbildung 15: zweidimensionale Darstellung (links) und 3D-Darstellung einer Milchkuh

Etwas komplexer wird das Kraftfutter-Management in Verbindung mit Einzelboxen-Anlagen beim automatischen Melken, weil dann 3 bis 4 kg des gesamten Kraftfutters für das Melken, also zur Motivation der Kühe berücksichtigt werden müssen. Insgesamt handelt es sich somit um einen anspruchsvollen „Regelkreis“ aus individueller Milchleistung, Gruppenzuteilung, Kraftfuttermanagement und der Erfolgskontrolle durch die Körperkonditionsentwicklung (Rutten et al., 2016).

Die Grundfutter-Vorlage wird von vielen Fachleuten als der nächste Automatisierungsschritt in der Milcherzeugung betrachtet. Schon jetzt gibt es autonome Systeme, die im Milchkuhbetrieb unterschiedlich komplexe Aufgaben erledigen bis hin zum Entnehmen des Futters aus der Konserve, dem Einwiegen, Mischen und gruppenorientierten Vorlegen.

9.5 Fazit zur Bewertung von Assistenzsystemen

Die persönliche Bewertung der Systeme hängt von den individuellen Erwartungen ab. Allerdings gibt es auch objektive Kriterien, wie zum Beispiel ‚eingesparte Arbeitszeit‘ oder ‚Kosten für die Anschaffung für den laufenden Betrieb‘ der Systeme. Von vielen wurde der Zugewinn an Flexibilität bzw. die reduzierte Terminbindung als besonders wertvoll eingestuft. Bei der Entscheidungsunterstützung spielt die Prognosesicherheit eine besonders wichtige Rolle. Anwendungen, bei denen häufig ‚falsch-positive‘ Einstufungen vorkommen, (also z. B. Kühe fälschlicherweise als brünstig eingestuft wurden) werden von den Betriebsleitern schon nach kurzer Zeit nicht mehr eingesetzt.

Unzufriedenheiten und Defizite werden häufig in Bezug auf den Einarbeitungsaufwand und die mangelnden Fortbildungsangebote genannt. Bedenken, Sorgen und Ängste haben viele Anwender vor dem Verlust der Daten und dem Verlust der Datenhoheit.

9.6 Literaturverzeichnis:

- Agroscope Transfer (2020): Übersicht über kommerziell verfügbare digitale Systeme in der Nutztierhaltung. Bericht Nr. 294
- Ahmann, J.; W. Büscher (2021): Betriebszweig Milch – Assistenzsysteme – Hohe Erwartungen an die Technik. DLG-Mitteilungen, H. 4; S. 42-43
- DLG-Merkblatt „Digitales Herdenmanagement Milchkuh“ (in Vorbereitung)
- Rutten, C.J.; Velthuis, A.G.J.; Steeneveld, W.; Hogeveen, H. (2013): Invited review: Sensors to support health management on dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 2013, 4, 1928–1952.

10 Herdenmanagement für gewachsene Familienbetriebe - Sensorik im Melkroboter und Auswertungen aus einem Praxisbetrieb

Florian Feuerreiter, Stephan Baumgartner (Baumgartner GmbH & Co. KG, Ramsau)

10.1 Einleitung

Um die erhöhte Arbeitsbelastung in einem Milchviehbetrieb meistern zu können, investieren diese gewachsenen Familienbetriebe sehr stark in Automatisierung. Das hat zu der weitesten Verbreitung des automatischen Melkens geführt, wobei dieser Trend immer noch ungebrochen ist. Die Verringerung der Arbeitskräfte pro Betrieb führt auch dazu, dass weniger Personen zur Tierbeobachtung zur Verfügung stehen. Dadurch ist auch die Automatisierung der Tierbeobachtung mit verschiedenen Sensorsystemen mittlerweile gängige Praxis. Beim automatischen Melken geht die Automatisierung der Tierbeobachtung mit einher, da der Landwirt die Tiere nicht mehr wie beim konventionellen Melken zweimal täglich vor sich sieht. Aber auch aus Betrieben mit konventionellen Melksystemen ist eine automatische Tierbeobachtung nicht mehr wegzudenken. So investieren auch Melkstand- und Melkka-russellbetriebe in Sensorsysteme. Diese Systeme unterstützen den Landwirt in seinem Alltag in der Dokumentation und können sogar das Tierwohl auf seinem Betrieb messbar und darstellbar machen.

10.2 Hauptteil

Im Nachfolgenden werden die wichtigsten Sensoren im AMS von Lemmer Fullwood kurz erläutert:

- DPIII-Pedometer (Abbildung 16):
 - Identifizierung der Kuh beim Melken, Füttern, Selektieren
 - Aufzeichnung der Aktivität der Kuh
 - Aufzeichnung des Liegeverhaltens der Kuh: Liegedauer, Hinlege- und Aufstehereignisse
 - Bestimmung des optimalen Besamungszeitpunkts
 - Möglichkeit der Abkalbemeldung und Alarmierung bei schwierigen Kalbungen



Abbildung 16: Fullwood DPIII-Pedometer

- Varioflow-Milchmengenmessung (Abbildung 17):
 - ICAR-anerkannte Messung des Gesamtgemelks (LKV-Probemelken)
 - Leitfähigkeitsmessung des Gesamtgemelks
 - Feststellung von Abweichungen in der Milchproduktion



Abbildung 17: Fullwood Milchmengenmessgerät

- 4QCM- Viertelgemelks-Analyse (Abbildung 18):
 - Messung der viertelindividuellen Milchmenge, Leitfähigkeit, Melkdauer und Milchtemperatur
 - Identifizierung der betroffenen Viertel bei Eutererkrankungen
 - „elektronischer Schalmtest“
 - Selektives Trockenstellen



Abbildung 18: 4QCM-elektronischer Schalmtest

- IMA-Inline-Milk-Analyzer (Inhalts-Milch-Analyse) (Abbildung 19):
 - Messung im Durchflussverfahren für jede Melkung von jeder Kuh
 - Messung von Fett-, Eiweiß-, Laktosewerten und Blutanteil in der Milch
 - Tagesaktuelles Controlling der Fütterung und sehr schnelles Identifizieren von Stoffwechselstörungen wie Ketosen



Abbildung 19: IMA-Inhalts-Milch-Analyse

Die Sensordaten und deren Auswertungen werden dem Landwirt am Computer und auf dem Tablet oder Smartphone zum Abruf zur Verfügung gestellt. Dort filtert die Software die aufgrund ihrer Sensordaten auffälligen Tiere heraus und schlägt diese dem Landwirt zur Kontrolle vor. Wichtige und sofort relevante Meldungen, wie eine „verzögerte Abkalbung“, erhält der Landwirt direkt als Push-Up Mitteilung auf das Smartphone. Ein Dashboard dient als Übersicht und gliedert sich in die verschiedenen Bereiche wie Milchproduktion, Tierbestand, Gesundheit, Fruchtbarkeit und Tierkomfort. Die Eingaben in das Herdenmanagement können am Computer oder direkt im Stall mobil über die App eingetragen werden. So können Tiere über das Handy trockengestellt, besamt oder selektiert werden.

Die Umsetzung dieser Aspekte in ein modernes Stallkonzept kann an folgender Abbildung 20 beispielhaft dargestellt werden:

Die Fokus-Kühe, die dem Landwirt von der Sensorik als auffällig vorgeschlagen werden, können gebündelt in einer eigenen Arbeitsgruppe gehalten werden. Das erleichtert die routinemäßige Kontrolle dieser Kühe und trägt wesentlich zur Arbeitszeiterparnis bei der täglichen Stallarbeit bei. Dieses Prinzip ist auch kombinierbar mit Weidehaltung und daher flexibel für die Anforderungen an moderne Milchviehhalter.

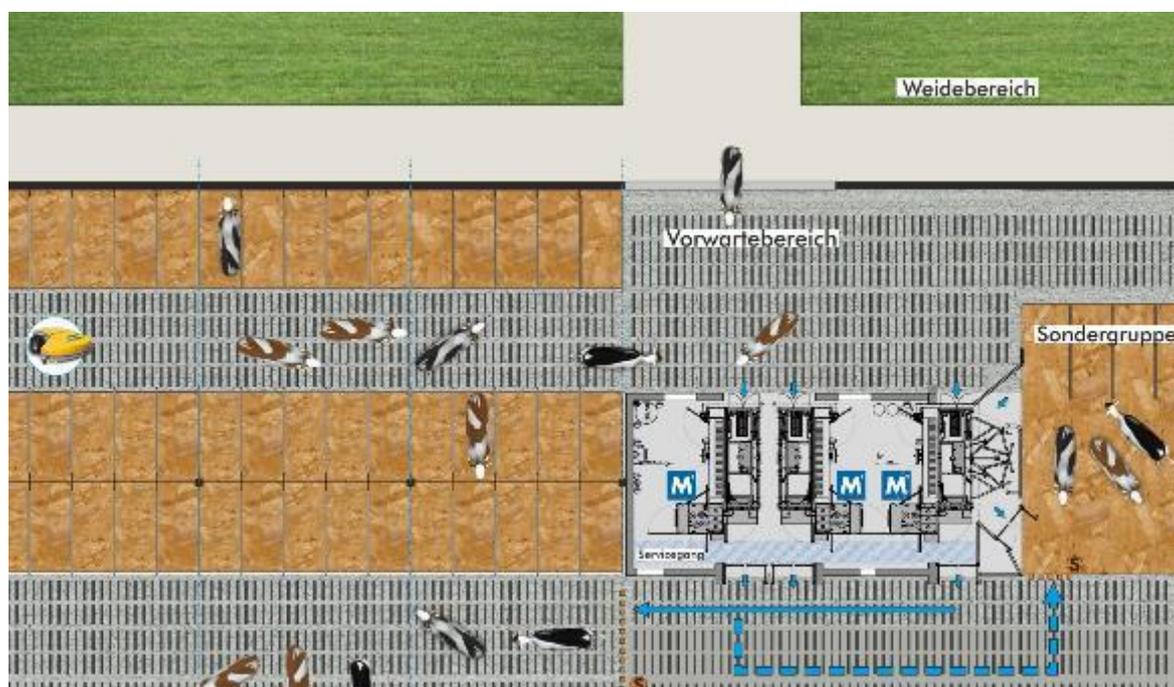


Abbildung 20: Beispiel für ein modernes Stallkonzept

10.3 Fazit/Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass durch den Einsatz moderner Sensorsysteme auf den gewachsenen Milchviehbetrieben eine Arbeitszeiterparnis möglich ist, die das Bewirtschaften des Betriebes im Rahmen der Familie weiterhin möglich macht. Zudem werden die Dokumentation und der Nachweis einer besonders tierfreundlichen Haltung immer wichtiger werden. Dabei können Sensor- und Herdenmanagementsysteme eine wichtige Unterstützung leisten. Die Erhöhung der Produktivität ist ein weiterer Aspekt der für den Einsatz tierindividueller Sensorik spricht. Durch günstige Zwischenkalbezeiten, eine optimale Liegedauer, unkomplizierte Abkalbungen und gesunde Kühe lässt sich eine Optimierung des bestehenden Betriebs erreichen und die Wirtschaftlichkeit deutlich steigern.

11 Demonstrationsprojekt 4: Vernetzte Stalltechnik. Bedürfnisse und Anforderungen aus Sicht der Landwirte

Jernej Poteko, Pia Lübke, Jan Harms (Institut für Landtechnik und Tierhaltung, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft)

Zusammenfassung

In Milchviehställen wird zunehmend automatisierte, digitale Technik eingesetzt. Ein großer Teil der Geräte ist trotz zunehmender Nutzung noch untereinander inkompatibel. Mit einer Umfrage zur Vernetzung der Stalltechnik hat das Experimentierfeld DigiMilch die Bedürfnisse, Anforderungen und den Nutzen der Landwirte in Bezug auf die Vernetzung der Technik im Milchviehstall erhoben, um die Erwartungen, Erfahrungen und Barrieren bezüglich der Stalltechnik aus der Perspektive der Landwirte als Endnutzer darzustellen.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen das Interesse der Landwirte an einer Vernetzung der Stalltechnik, insbesondere bei mehrmals täglich stattfindenden Prozessen. Darüber hinaus kann ein systemübergreifendes (Herden-) Managementprogramm mit neuen Funktionen zur systemübergreifenden Einstellung und Kontrolle der Stalltechnik von Bedeutung sein.

Die Demonstrationsarbeit des Experimentierfeldes berücksichtigt die praktischen Erfahrungen und Anforderungen der Landwirte als Endnutzer der M2M-Vernetzung. Die Untersuchungen der Vor- und Nachteile der vernetzten Stalltechnik und die Diskussion mit Landwirten und Herstellern können zu neuen konkreten Lösungsansätzen der Weiterentwicklung der digitalen Stalltechnik beitragen.

11.1 Einleitung

Die Milchviehhalter zeigen zunehmend Interesse an digitaler Technik, was sich beispielsweise in der steigenden Anzahl installierter automatischer Melksysteme (AMS) zeigt. Darüber hinaus besteht ein steigendes Investitionsinteresse, die vorhandene Technik mit digitaler Technik beispielsweise zur Automatisierung der Fütterung und oder zur Kontrolle mittels eines (Herden-) Managementprogramms zu erweitern (Egger-Danner et al., 2020; LKV Bayern, 2019).

Moderne Stalltechnik ermöglicht dem Landwirt die Automatisierung von Arbeitsabläufen im Milchviehstall. Darüber hinaus produzieren die Geräte im Stall bei ihrer Arbeit eine Vielzahl von Daten. Die erhöhte Datenverfügbarkeit bildet die Informationsgrundlage, um die richtigen Entscheidungen zur richtigen Zeit zu treffen (Schick, 2017). Aufgrund der fehlenden M2M-Vernetzung kann der Landwirt die Entscheidung und ihre Umsetzung nicht an das System übergeben (Tomic et al., 2014), obwohl viele Entscheidungen auf logischen Verknüpfungen dieser Informationen beruhen könnten. Damit entfällt häufig auch die Möglichkeit die Stalltechnik zeitnah und ohne unmittelbares Zutun des Landwirts an die Gegebenheiten im Stall anzupassen und damit besser auf die Bedürfnisse von Tier, Umwelt und Mensch einzugehen. So könnte z.B. ein Fütterungssystem automatisch eine zusätzliche Fütterung vorsehen, wenn die Tiere längere Zeit nicht am Fressgitter registriert wurden oder der Entmistungsroboter könnte automatisch eine Route außerhalb des Fressbereichs wählen, wenn gerade vom Futternachschieber das Futter angeschoben wurde.

Bisher fokussierten sich die Untersuchungen der Digitalisierung in der Landwirtschaft auf die Themen der Akzeptanz und Art der eingesetzten digitalen Technik, die Gründe für die Investitionsmotivation- und -entscheidung, die Fragen der Datensicherheit, sowie die gesellschaftliche Akzeptanz der digitalen Produktion etc. (Egger-Danner et al., 2020; Pfeiffer, et al., 2019; Spykman, et al. 2021). Die Bedürfnisse an die digitale Technik in Hinblick auf die M2M-Vernetzung aus Sicht des Landwirts sind hingegen mangelhaft untersucht. Die Notwendigkeit einer Einbindung des Landwirts als Endanwender in die Erarbeitung der Anforderungen für die Weiterentwicklung der Vernetzung der Geräte, wurde auch von den Teilnehmern in den Diskussionen der Austauschveranstaltungen im Rahmen des Experimentierfeldes DigiMilch bekräftigt.

Das Demonstrationsprojekt "Vernetzte Stalltechnik" untersucht die Bedürfnisse, Anforderungen und den Nutzen der Landwirte in Bezug auf die Vernetzung von Technik in Milchviehställen. Neben dem persönlichen Austausch mit den DigiMilch-Projektlandwirten wurde zur Ermittlung des Verhältnisses der Landwirte zur Vernetzung der Stalltechnik eine Befragung durchgeführt, mit dem Ziel, Erwartungen, Erfahrungen und Hemmnisse in Bezug auf die Stalltechnik aus Sicht der Landwirte darzustellen und den Entwicklungsprozess der Stalltechnikhersteller besser auf den Endanwender ausrichten zu können.

Die Befragung der Landwirte zur Vernetzung digitaler Technologien in Milchviehställen erfolgte durch eine Online-Umfrage und wurde zusammen mit dem Demonstrationsprojekt "Vernetzte, tierindividuelle Sensorsysteme" erarbeitet. Die Zusammenarbeit der beiden Demonstrationsprojekte ermöglicht eine Erhebung, die die Sicht der Landwirte auf Digitalisierung sowohl bei den tierindividuellen Sensorsystemen als auch bei der Stalltechnik aufzeigt. Derzeit wird die Umfrage ausgewertet. Dieser Beitrag präsentiert die ausgewählten Ergebnisse und gibt einen ersten Eindruck vom Bedarf der Landwirte in Bezug auf vernetzte Stalltechnik. Vollständige Ergebnisse werden auf Fachtagungen und in Fachzeitschriften sowie in weiteren DigiMilch-Veranstaltungen der Öffentlichkeit vorgestellt.

11.2 Material und Methoden

Die Online-Umfrage wurde auf 335 Milchviehbetrieben in Deutschland durchgeführt und erfasst die eingesetzte Stalltechnik auf dem Betrieb und Informationen zu Erfahrungen, Erwartungen und Anforderungen in Bezug auf digitale Technologien. Die vorliegenden Ergebnisse beschränken sich auf die Teilmenge der Daten der Umfrageteilnehmer mit einem AMS im Milchviehlaufstall in Bayern (n=93) aus November und Dezember 2020. Mit Hilfe von Likert-Skalen wurden die Nutzungs- und Investitionsbereitschaft der Landwirte zur Vernetzung verschiedener Geräte im Stall sowie die Priorisierung neuer Funktionen in Herdenmanagementprogrammen ermittelt.

11.3 Ergebnisse und Diskussion

Die Frage "Wie sehen die Landwirte die Vernetzung der Stalltechnik in den Milchviehställen?" löst vielfältige Meinungen aus. Aufgrund von wenigen funktionierenden Beispielen ist die Zusammenarbeit zweier (oder mehrerer) Geräte und einer direkten Abstimmung der Arbeitsabläufe im Stall noch nicht genug greifbar, um den Nutzen herauszulesen. Die Landwirte mit Erfahrung im Umgang mit digitalen Technologien in der aktuellen Online-Umfrage sehen die Vernetzung der Stalltechnik als vorteilhaft. Die Mehrheit der Befragten, die bereits ein AMS einsetzen, würde verschiedene automatisierte Techniken bzw. Geräte in

ihren Ställen vernetzen wollen (Abbildung 21). Potenziale zur Vernetzung sehen die Umfrageteilnehmer vor allem in den Bereichen Melken, Füttern, Entmisten und Stallklima, auch wenn dafür zusätzliche Investitionen erforderlich wären. Die Bereiche Einstreuen und Ortung wären dagegen weniger attraktiv, wenn zusätzliche Kosten bei der Vernetzung anfallen würden.

Geringere Nennungen sind unter Umständen auf die Intensität der Nutzung bestimmter Technik (z. B. mehrmals tägliche Entmistung, Melken, Füttern gegenüber dem sporadischen Einstreuen) oder die Verfügbarkeit der Technik in den Betrieben (z. B. AMS und automatische Entmistung im Vergleich mit Einstreuen mit mobiler Technik) zurückzuführen.

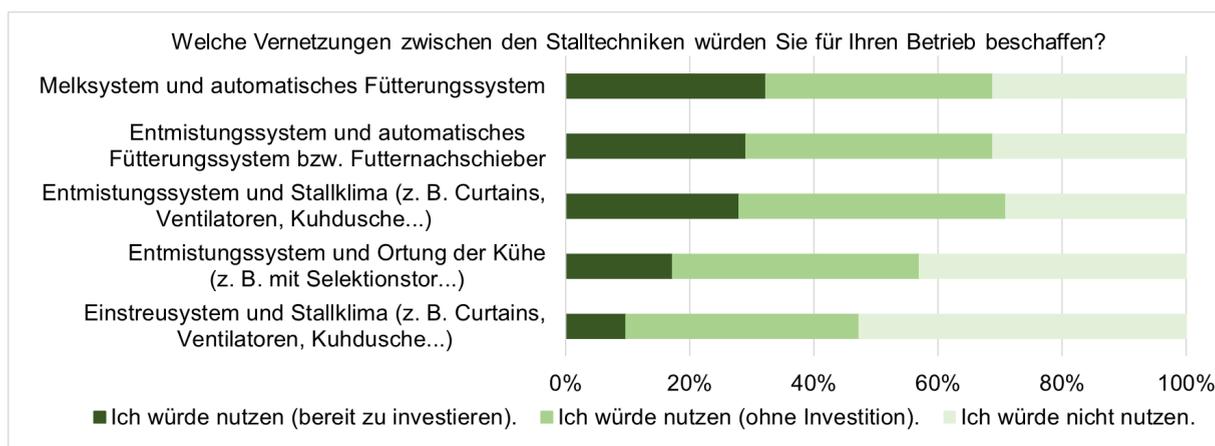


Abbildung 21: Vernetzte Stallsysteme - Nutzungs- und Investitionsbereitschaft der Landwirte (n=93).

Fast 90 % aller Befragten sehen Chancen im Einsatz eines systemübergreifenden Herdenmanagementprogramms (HMP). Sie sehen die Möglichkeiten der Einstellung der Technik zur Fütterung und der Selektionseinrichtungen als wichtige neue Funktionen eines HMP (Abbildung 22). Die Einstellungen im Bereich der Entmistung und des Stallklimas werden in einem solchen HMP niedriger priorisiert, werden aber von ca. 70 % der Befragten unter dem Gesichtspunkt der M2M-Vernetzung (Abbildung 21) als erwünscht bezeichnet.

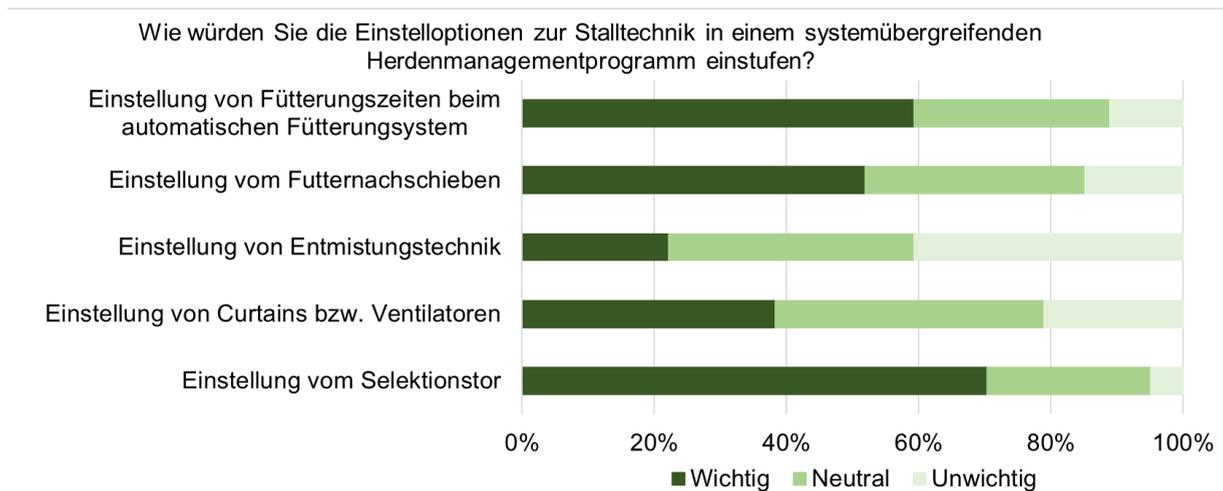


Abbildung 22: Priorisierung neuer Funktionen in Herdenmanagementprogrammen in der Milchviehhaltung aus Sicht der Landwirte ($n=81$).

Insgesamt verdeutlicht der Einblick in die Befragung der Landwirte das Interesse an der Vernetzung von Stalltechnik und bildet die Relevanz des Einsatzes bestimmter Technik ab. Die Wahrnehmungen der M2M-Vernetzung im Stall unterscheiden sich je nach vorhandener Erfahrung mit der Technik, was zu unterschiedlichen Erwartungen und Wahrnehmungen von Vor- und Nachteilen der Vernetzung führen kann. Die gesammelten Praxiserfahrungen und Anforderungen der Landwirte aus der gesamten Online-Umfrage können den Entwicklungsbedarf der zukünftigen Technologie und neue Entwicklungsschritte aufzeigen.

11.4 Ausblick

Die Online-Umfrage bildet den Ansatzpunkt für die Arbeit im Demonstrationsprojekt "Vernetzte Stalltechnik". Die praktischen Erfahrungen und Anforderungen der Landwirte fließen in die (neuen) konkreten Demonstrationsbeispiele der M2M-Vernetzung auf den Praxisbetrieben ein. So können die Vor- und Nachteile der vernetzten Stalltechnik gemeinsam mit Landwirten und Unternehmen diskutiert und neue konkrete Lösungsansätze für die Weiterentwicklung der digitalen Stalltechnik erarbeitet werden.

11.5 Literaturverzeichnis

Egger-Danner, C., Steininger, F., Suntinger, M., Mayerhofer, M., Koblmüller, M., Grandl, F., Duda, J., Linke, Auer, F.-J., Stegellner, M., Drillich, M., Papst, F., Saukh, O., Fürst-Waltl, B., Klimek, P., Wittek, T. (2020). D4Dairy – Datenvernetzung im Kuhstall. In Digitale Technologien am bäuerlichen Familienbetrieb. Gumpenstein, 22.-23.10.2020

LKV Bayern (2019). Milchleistungsprüfung in Bayern 2019, S. 55

Schick, M. (2017). Digitale Tierhaltung. Interview, agri-bizz, Heft 1, 10–11

Tomic, D.K., Hoermann, S., Handler, F., Wöber, W., Otte, M., & Auer, W. 2014 (2014). agriOpenLink: Semantic Services for Adaptive Processes in Livestock Farming. In: International Conference of Agricultural Engineering, Zurich, 6.-10.7.2014

Pfeiffer, J., Gabriel, A., Gandorfer, M. (2019). Gesellschaftliche Akzeptanz von Digitalisierung in der Landwirtschaft. In 39. GIL-Jahrestagung, Digitalisierung für landw. Betriebe in kleinstrukturierten Regionen-ein Widerspruch in sich? S. 151–154

Spykman, O., Gabriel, A., Ptacek, M., & Gandorfer, M. (2021). Farmers' perspectives on field crop robots–Evidence from Bavaria, Germany. Computers and Electronics in Agriculture, 186, 106176. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106176>

11.6 Danksagung und Förderhinweis

Die Förderung des Vorhabens erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Die Projektträgerschaft erfolgt über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms Experimentierfelder in der Landwirtschaft.

Unser herzlicher Dank gilt dem LKV Bayern, der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf und wirtschaftlichen Projektpartnern für ihre Unterstützung bei der Verteilung der Online-Umfrage an die landwirtschaftlichen Betriebe.

12 Demonstrationsprojekt 5: Vernetzte, tierindividuelle Sensorsysteme

Sophia Sauter, Sarah Hertle, Rudolf Peis, Bernhard Haidn (Institut für Landtechnik und Tierhaltung, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft)

Zusammenfassung

Im Demonstrationsprojekt (DP) 5 wird die Digitalisierung im Bereich der tierindividuellen Sensorsysteme betrachtet. Diesbezüglich wurde in Zusammenarbeit mit DP 4 (vernetzte Stalltechnik) eine Online-Umfrage zum Thema digitaler Technologien in Milchviehställen erstellt und durchgeführt. Hiermit sollte unter anderem der Mehrwert durch die Nutzung von tierindividuellen Sensorsystemen für die Landwirte hinsichtlich Tiergesundheit und Optimierung des Managements untersucht werden.

Die vorhandenen Techniken auf den Betrieben sind aktuell vor allem Transponderfütterungen, Herdenmanagementsysteme und Automatische Melksysteme, gefolgt von Tiersensoren und Stalkameras.

Der Markt an Sensorsystemen zur Überprüfung von tierindividuellem Verhalten und Physiologie ist breit gestreut, jedoch verhindern Schnittstellen und Insellösungen der Hersteller einen einfachen Datenaustausch und erleichtern es dem Landwirt nicht, Mehrfacheingaben zu vermeiden.

Im Bereich der automatischen Lahmheitserkennung fanden am Institut für Landtechnik und Tierhaltung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft bereits erste Untersuchungen zur Nutzung von tierindividuellen Sensorsystemen statt. Die entwickelten Prognosemodelle zur Lahmheitserkennung erwiesen sich als sehr präzise und werden nun im Rahmen von Demonstrationsprojekt 5 unter Einbeziehung einer größeren Bandbreite an Sensoren überprüft und weiterentwickelt.

12.1 Einleitung

Die wachsenden Bestandszahlen in Familienbetrieben machen es zunehmend schwieriger jedes Tier einer Herde individuell betreuen zu können (Koning 2010). Zur Unterstützung besteht für Milchviehbetriebe ein umfangreiches Angebot an digitalen Systemen am Markt, mit denen tierindividuelle Parameter, wie das Verhalten (Rutten et al. 2013), die Leistung oder die Physiologie von Milchkühen erfasst werden und den Landwirt bei Veränderungen darauf aufmerksam machen.

Durch die Vielzahl an Herstellern wird es für den Landwirt aber schwierig, Funktionen und Zuverlässigkeit zu überblicken (Hölscher und Hessel 2019). Mangelnde Interkompatibilität zwischen den Systemen und vorwiegend Insellösungen erschweren das Zusammenführen unterschiedlicher Daten in einem Managementsystem und die Analyse auf Einzeltierebene (Umstätter et al. 2020). Zusätzlich entsteht dem Landwirt durch den manuellen Eintrag ein erhöhter Arbeitsaufwand (Bovensiepen et al. 2016; Gandorfer et al. 2018), aus dem geschlossen werden kann, dass das derzeitige Potential der Daten nicht voll ausgeschöpft wird. Ziel im vorliegenden Demonstrationsprojekt 5 ist es zunächst, den aktuellen Stand der Digitalisierung in landwirtschaftlichen Milchviehbetrieben in Bezug auf tierindividuelle Sensorsysteme abzubilden.

In einem weiteren Schritt soll der Mehrwert durch die Nutzung von tierindividuellen Sensorsystemen für die Landwirte hinsichtlich Tiergesundheit und Optimierung des Managements untersucht werden. Durch den Einsatz von Sensorsystemen erhalten die Landwirte

zu jeder Zeit wesentlich mehr Informationen über ihre Tiere. Dies kann von Vorteil sein hinsichtlich einer Erleichterung der Arbeitsabläufe, einer Zeitersparnis und der Möglichkeit, bei Abweichungen vom Normalverhalten früher und gezielter reagieren zu können. Außerdem sollen die tatsächliche Tiefe und Qualität der Meldung, welche die verschiedenen Systeme ausgeben, beurteilt werden. Zusätzlich dienen die Leistungs- und Verhaltensdaten der Sensorsysteme als Grundlage für wissenschaftliche Fragestellungen, unter anderem zur automatischen Erkennung von Lahmheiten und der individuellen Hitzebelastung beim Milchvieh. Die Kombination der von verschiedenen Sensorsystemen erfassten Parameter und die mathematische Verarbeitung in Algorithmen soll dem Landwirt helfen, Einzeltiere früher zu erkennen und somit auch den Gesundheitsstatus der gesamten Herde zu verbessern.

12.2 Material und Methoden

In Zusammenarbeit mit DP 4 (vernetzte Stalltechnik) wurde eine gemeinsame Online-Umfrage „DigiMilch – Vernetzung der digitalen Technologien in Milchviehställen“ über das Umfragetool LimeSurvey erstellt. Anschließend wurde der Link über das Landeskuratorium der Erzeugerringe für tierische Veredelung in Bayern e.V. (LKV) an deren Mitglieder per E-Mail und über mehrere Social-Media-Kanäle und die beteiligten Projektpartner verteilt. Die Umfrage war von November 2020 bis Februar 2021 geschaltet.

Die Umfrage besteht aus drei Hauptbereichen (Fragen zum Betrieb; Einsatz von digitalen Technologien auf dem Betrieb; Erfahrungen bei der Nutzung digitaler Technologien) mit jeweils mehreren Teilbereichen. Als vollständig ausgefüllt wurden Umfragen mit mindestens 33 beantworteten Fragen gezählt. Alle vollständig ausgefüllten Umfragen (n=235) aus Bayern mit sowohl Anbinde- (n=32) als auch Laufstallhaltung (n=203) wurden berücksichtigt. Die hier vorgestellten Ergebnisse wurden nach relevanten Teilbereichen in Excel gefiltert und sowohl mit Excel (Version 2008) als auch mit dem Statistikprogramm Rstudio (Version 3.6.2) ausgewertet. Eine Gleichverteilung aller Fragen ist nicht gegeben, da jeder Landwirt die Umfrage ausfüllen konnte. Erste Ergebnisse sollen hier vorgestellt werden.

Im Rahmen der beiden vorhergehenden Projekte (Lorenzini, 2019; Schindhelm, 2016), die am Institut für Landtechnik und Tierhaltung zur indirekten automatischen Lahmheitserkennung durchgeführt wurden, stand die Gewinnung von Verhaltensdaten mithilfe von Pedomern der Firma ENGS im Vordergrund. Diese können neben der Aktivität der Milchkühe auch das Liegeverhalten über einen integrierten dreidimensionalen Beschleunigungssensor erfassen und in Kombination mit einer am Futtertisch installierten Induktionsschleife genutzt werden, um die Anwesenheit der Tiere am Futtertisch zu erkennen. Mithilfe der Schleife wird ein Magnetfeld induziert, welches das Pedometer beim Betreten dieses Bereichs aktiviert. Somit kann die Anwesenheit am Fressplatz, also die Dauer und die Anzahl der einzelnen Mahlzeiten, festgehalten werden und auf das Futteraufnahmeverhalten geschlossen werden. Außerdem konnten innerhalb der Projekte die Leistungsdaten der Tiere wie Parität, Milchleistung oder Laktationsstatus über den LKV oder einen Melkroboter abgerufen werden.

Die entsprechenden Referenzdaten zur Klauengesundheit wurden durch ein regelmäßiges Locomotionscoring im Abstand von 14 Tagen über Video dokumentiert. Dazu wurde ein vereinfachter, dreistufiger Locomotionscore nach Grimm und Lorenzini (Lorenzini, 2019) entwickelt. Die lahmen Kühe wurden im Anschluss behandelt und Tiere, die dreimal hintereinander durch Merkmale wie einen gekrümmten Rücken, Entlastung einer Gliedmaße oder Kopfnicken verdächtig aufgefallen waren, wurden im Klauenstand untersucht. Dabei wurden nicht nur sichtbare Läsionen, sondern auch eine Schmerzreaktion auf das

Abdrücken der Klauen mit einer Untersuchungszange als positives Ergebnis gewertet. Rückwirkend konnte bei lahmen Tieren der Lahmheitsbeginn durch eine Analyse der täglichen Videoaufnahmen festgestellt werden.

12.3 Ergebnisse

12.3.1 Einsatz von digitalen Technologien auf dem Betrieb

In Abbildung 23 ist die Anzahl an digitaler Technik auf den Betrieben in Bezug zur Jahresmilchleistung (kg/Kuh) abgebildet. Es ist zu erkennen, dass die Technikausstattung tendenziell unabhängig von der Milchleistung ist.

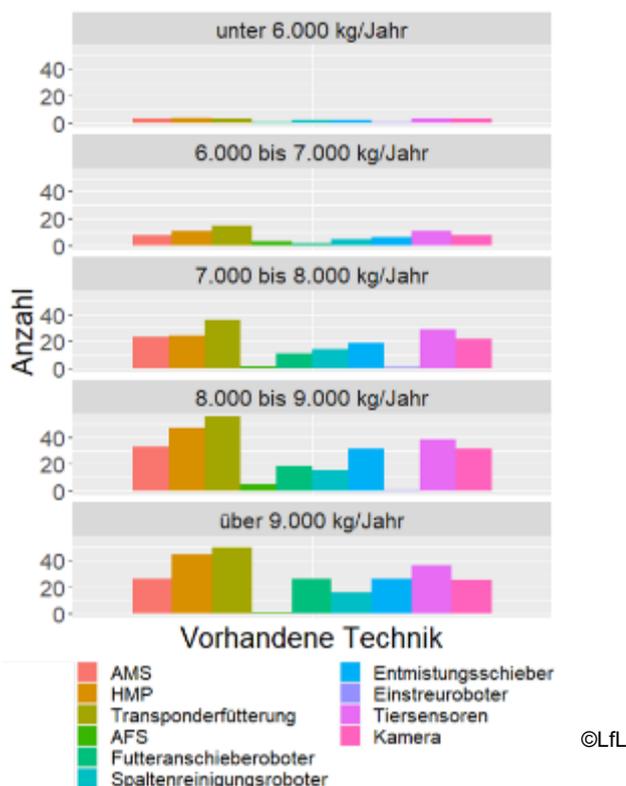


Abbildung 23: Eingesetzte digitale Technik in Abhängigkeit von der Milchleistung pro Kuh und Jahr (n=229)

Dass bei unter 7.000 kg/Kuh und Jahr weniger Technik angegeben ist, könnte daran liegen, dass insgesamt die Stichprobenanzahl in diesem Bereich geringer ist. Insgesamt zeigt sich aber, dass die Transponderfütterung am meisten vertreten ist, gefolgt von einem Herdenmanagementprogramm (HMP) und einem Automatischen Melksystem (AMS). Die Anzahl an Tiersensoren und Stallkameras nimmt ebenso bei einer Milchleistung über 7.000 kg/Kuh und Jahr zu. Über alle Leistungsbereiche ist das Automatische Fütterungssystem (AFS) wenig vertreten.

Wie in Abbildung 24 zu sehen ist, wird auf 89 % der befragten Betriebe ein Halsband (53 %) oder ein Pedometer (36 %) zur Tierüberwachung eingesetzt. Die Verwendung eines Sensors im Pansen (5 %), am Ohr (3 %) und am Schwanz (3 %) ist dagegen bei den befragten Betrieben aktuell gering.

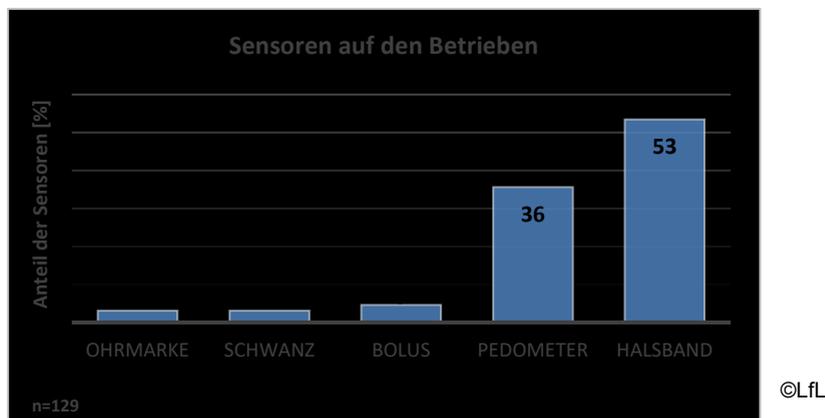


Abbildung 24: Relativer Anteil der eingesetzten Sensoren auf den Betrieben

12.3.2 Vorhersagemodelle Lahmheiten

Die Ergebnisse der Versuche zur automatischen Lahmheitserkennung konnten zeigen, dass sich Lahmheiten im Durchschnitt innerhalb von ca. 9-10 Tagen entwickeln, und somit unterstreichen, wie wichtig eine regelmäßige Lahmheitsbeurteilung ist. Über 50% der Milchkühe mit einem Locomotionscore 2, welche im Klauenstand untersucht wurden, wiesen Läsionen auf oder waren bei der Untersuchung mit der Klauenuntersuchungszange schmerzhaft. Dies zeigt auch, dass beim Erkennen einer Lahmheit ein sofortiges Eingreifen nötig ist, da die Tiere versuchen ihre Schmerzen bestmöglich zu verbergen und die zugrundeliegende Klauenerkrankung wahrscheinlich schon deutlich länger besteht.

In den beiden Lahmheitsprojekten konnten abschließende Untersuchungen sowohl mit verschiedenen Modellen der logistischen Regression als auch künstlichen neuronalen Netzwerken zeigen, dass ein zufällig ausgewähltes Tier mit einer Wahrscheinlichkeit von ca. 85 % korrekt als lahm oder nicht lahm eingestuft werden konnte. Als problematisch erwiesen sich vor allem die komplexen Zusammenhänge zwischen einigen Parametern sowie deren tierindividuelle Variabilität. So konnte sich zum Beispiel bei einem Tier ein positiver Zusammenhang zwischen Lahmheit und Milchleistung ergeben, während die gleichen Parameter bei einem anderen Tier in einem negativen oder keinem Zusammenhang standen. Auch zeigten die Untersuchungen, dass bei hochleistenden Tieren nur ein höheres Lahmheitsrisiko bestand, wenn gleichzeitig deren Liegedauer unter dem Durchschnitt lag oder sie reduzierte Futteraufnahmezeiten aufwiesen.

12.4 Fazit und Aussicht

Aktuell sind etwa 34 % der Sensorsysteme am Markt im Bereich der Rinderhaltung (Hölscher und Hessel 2019). Dabei arbeiten die Hersteller nach wie vor mit Insellösungen (Umstätter et al. 2020) und so ist es aktuell wenig verwunderlich, dass keine einheitlichen Standards, wie z.B. in der Industrie, bestehen (Kuhlmann et al. 2009). Das Interesse der Landwirtschaft an der Digitalisierung und tierindividuellen Sensorsystemen ist groß, vor allem gezielte Informationen über die Brunst, Wiederkauaktivität sowie auftretende Lahmheiten. Dieses Potential sollte, auch im Hinblick auf die automatische Lahmheitserkennung und Hitzebelastung beim Milchvieh genutzt werden.

Zukünftig werden die automatisiert generierten Daten unterschiedlicher Sensorsysteme für die Weiterentwicklung eines Vorhersagemodells in der Lahmheitserkennung und in der frühzeitigen Erkennung von Hitzebelastung beim Milchvieh weiterbearbeitet und genutzt.

Ziel ist es dabei, herauszufinden, welche Parameter der Sensoren am besten geeignet sind, um anschließend Modelle zu entwickeln, die für möglichst viele verschiedene Sensorsysteme funktionieren. Die bisher eingesetzten Algorithmen zur automatischen Lahmheitserkennung erwiesen sich zwar bereits als sehr genau, in künftigen Modellen sollen jedoch die tierindividuellen Unterschiede einiger Parameter sowie deren komplexe Zusammenhänge noch eingehender berücksichtigt werden. Ebenfalls sollen diese Daten aus mehreren Systemen in einem Modell verknüpft werden, um mögliche Synergien bestimmter Verbindungen zu erkennen.

12.5 Literaturverzeichnis

- Bovensiepen, G.; Hombach, R.; Raimund, S. (2016): Quo vadis, agricola? In: Smart Farming: Nachhaltigkeit und Effizienz durch den Einsatz digitaler Technologien. Online verfügbar unter <https://www.pwc.de/de/handel-und-konsumguter/assets/smart-farming-studie-2016.pdf>.
- Gandorfer, M.; Schleicher, S.; Erdle, K. (2018): Barriers to Adoption of Smart Farming Technologies in Germany. A paper from the Proceedings of the 14th International Conference on Precision Agriculture, Montreal, Canada, Online verfügbar unter <https://www.ispag.org/Proceedings>.
- Hölscher, P.; Hessel, E. F. (2019): Automatisiert erfassbare Daten in der Nutztierhaltung - ein Überblick und zukünftige Forschungsansätze. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (Hg.): 14. Bau, Technik und Umwelt 2019 in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. Bonn, 24.-26. September, S. 87–93.
- Koning, C.J.A.M. de (2010): Automatic milking - Common practice on dairy farms. In: The First North American Conference on Precision Dairy Management. Toronto, Canada, S. 52–67.
- Kuhlmann, A.; Herd, D.; Rößler, B.; Gallmann, E.; Jungbluth, T. (2009): Farming Cell — Ein ISOagriNET Netzwerk für die Schweinehaltung. In: Landtechnik 64 (4), S. 254–256. doi. 10.1515/lt.2009.675.
- Lorenzini, I. (2019): Analysis of claw health, performance and behavioural parameters of Simmental cows on commercial dairy farms for implementation of a lameness prediction model.
- Rutten, C. J.; Velthuis, A. G. J.; Steeneveld, W.; Hogeveen, H. (2013): Invited review: sensors to support health management on dairy farms. In: Journal of dairy science 96 (4), S. 1928–1952. doi. 10.3168/jds.2012-6107.
- Schindhelm, K. (2016): Automatische Erkennung von Lahmheiten bei Milchkühen mittels Leistungs- und Aktivitätsdatenanalyse.
- Umstätter, C.; Martini, D.; Adrion, F. (2020): Opinion Paper: Digitales Tiermonitoring – Was bringt die Zukunft? In: Landtechnik 75 (1), S. 14–23. doi. 10.1515/lt.2020.3227.