



Foto: Sebastien Ruttimann

## 22. Arbeitswissenschaftliches Kolloquium

Arbeit unter einem D-A-CH – Automatisierung und Digitalisierung in der modernen Landwirtschaft

8./9. September 2020, Tänikon, Schweiz

Redaktion:  
Katja Heitkämper



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF  
**Agroscope**

## Impressum

Herausgeber	Agroscope, Tänikon, CH-8356 Ettenhausen
Auskünfte	Katja Heitkämper, Tänikon, CH-8356 Ettenhausen E-Mail: <a href="mailto:katja.heitkaemper@agroscope.admin.ch">katja.heitkaemper@agroscope.admin.ch</a>
Redaktion	Katja Heitkämper
Gestaltung	Jacqueline Gabriel
Titelbild	Sebastien Ruttimann
Download	<a href="http://www.agroscope.ch/science">www.agroscope.ch/science</a>
Copyright	© Agroscope 2020
ISSN	2296-729X
DOI	10.34776/as94g

## Inhaltsverzeichnis

Der Bauernhof als Bildungsort: Anforderungen und Chancen einer natur- und tiergestützten Elementarpädagogik zur Förderung der kindlichen Entwicklung und Gesundheit <i>Veronika Michitsch et al.</i> .....	5
Nebenzeiten und ablaufbedingte Wartezeiten beim Einsatz von Feldrobotern <i>Franz Handler und Emil Blumauer</i> .....	19
Arbeitsverfahren zum Einsatz von Feldrobotern in der Ernte <i>Winfried Fechner und Norbert Uebe</i> .....	29
Arbeitswirtschaftliche Untersuchungen bei der Belüftungsheuproduktion <i>Juliana Mačuhová et al.</i> .....	39
Arbeitswirtschaftliche Untersuchungen zum Einsatz von Tierortungssystemen auf Milchviehbetrieben <i>Lukas Irlbacher et al.</i> .....	49
Arbeitszeitbedarf im aktuellen Gruppenhaltungsverfahren Kleingruppe des Wartebereichs in konventioneller Zuchtsauenhaltung <i>Elisabeth Quendler et al.</i> .....	59
Optimierung des Betriebsmanagements mittels digitaler Diagnosestellung in modernen Milchviehbetrieben <i>Kathrin Lina Martha Ziegler et al.</i> .....	65
Arbeitssicherheit und Gefährdungslagen bei elektrifizierten Anbaugeräten der Wirtschaftsdüngerausbringung <i>Jochen Georg Wiecha et al.</i> .....	69
Prozesskennfelder für die Ermittlung idealer Konfigurationen und Verhaltensweisen in kollaborativen Prozessen <i>Thilo Steckel</i> .....	77
Was beeinflusst die Arbeitszufriedenheit von Arbeitnehmer/-innen im Weinbau? <i>Eva Anna Regel et al.</i> .....	85
Einsatz von Robotik auf Schweizer Milchviehbetrieben <i>Tanja Groher et al.</i> .....	93
Die Risiken der Digitalisierung in der modernen Nutztierhaltung <i>Kathrin Lina Martha Ziegler et al.</i> .....	99
Künstliche Intelligenz im Kuhstall – Chance oder Bedrohung? <i>Reiner Brunsch</i> .....	105
Pilotstudie zur Gesundheitsüberwachung bei Kühen mit Hilfe der Messung des Carotinoid Gehaltes in der Haut <i>Martina Jakob und Christina Umstätter</i> .....	115
Smart pasture management technologies: Pilot study of working time distribution of three biomass estimation tools versus the quality of estimation <i>Leonie Hart et al.</i> .....	123

WeedEraser: The Next Generation of Organic broad-leaved Dock and Weed control <i>Dejan Seatovic et al.</i> .....	131
DigiLand - Smart Farming Bodensee <i>Jürgen Prenzler et al.</i> .....	137
Große Gewichte bewältigen – Arbeitssicherheit in Imkereien <i>Jochen Georg Wiecha et al.</i> .....	145
Zeit- oder abrufgesteuerte Fütterung – Betriebsmanagement im Zeichen von Tierwohl in Mastschweinställen <i>Kathrin Lina Martha Ziegler et al.</i> .....	153
Die Zukunft des Operatorsystems in großen Traktoren: Ergebnisse internationaler Nutzerstudien <i>Susanne Frohriep und Florian Schneider</i> .....	161

# Der Bauernhof als Bildungsort: Anforderungen und Chancen einer natur- und tiergestützten Elementarpädagogik zur Förderung der kindlichen Entwicklung und Gesundheit

Veronika Michitsch<sup>1</sup>, Carolin Leitner<sup>2</sup>, Doris Österreicher<sup>2</sup> und Elisabeth Quendler<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Alpen-Adria-Universität, Klagenfurt, Österreich

<sup>2</sup>Universität für Bodenkultur, Wien, Österreich

E-Mail: [veronika.michitsch@aau.at](mailto:veronika.michitsch@aau.at)

Moderne Kindheiten, insbesondere in den industrialisierten Ländern, zeichnet aus, dass sie durch die selbstverständliche Einbettung moderner Medien in frühkindliche Lebenswelten den wissenschaftlichen Diskurs über die Verbindung von natur- und umweltpädagogischer Erziehung und Bildung mit pädagogisch-konzeptionellen, institutionellen und kindheitspädagogischen Fragen eröffnen und notwendig machen. Neue Formen der sozialen und digitalen Kommunikation und Mobilität erschließen sich über die Mediatisierung sozialer Begegnungen, Raumerfahrungen und Spielorte und verbinden damit Portabilität, Usability sowie Konvergenz von Mediengeräten.

Das Phänomen der Digitalisierung kindlicher Lebenswelten und Umweltzugänge durch komplexe Technologien erschwert es zunehmend bereits Kindern im Vorschulalter, lebenswelteffassende, situationsbezogene Sinnzusammenhänge herzustellen und in kommunikativen Situationen handlungsorientiert zu interagieren. Zwar unterstützt und kompensiert der institutionalisierte, außerfamiliäre Bildungs- und Betreuungsbereich die Struktur der Ein-Kind-Familien und die Beziehungs- und Kommunikationsfähigkeit junger Kinder über den Kontakt zu Peers, jedoch schränken institutionalisierte und familiäre Umfelder zugleich frühkindlichen, witterungsunabhängigen Umweltkontakt in der Kulturlandschaft, wohl auch durch die zunehmende Verbauung und Verstädterung urbaner Gebiete, immer mehr ein.

Dies kann neben gesundheitlichen und körperlichen Auswirkungen auf die Kinder vor allem zu kindlicher Naturentfremdung führen. Empirische Untersuchungen und Expertisen zu bedarfs- und altersadäquater Infrastruktur, Personalorganisation, bauernhofpädagogischer Weiterbildung und methodisch-didaktischer Gestaltung eines natur- und elementarpädagogischen<sup>1</sup> Bildungsumfeldes im Rahmen der kindlichen Bildung, Erziehung und Betreuung auf Bauernhöfen, fehlen bislang in der elementarpädagogischen Literatur.

Um ein erstes bedarfsgerechtes, naturpädagogisches Angebot für Kleinkinder auf Bauernhöfen entwickeln zu können, wurden seitens der Universität für Bodenkultur Wien mittels qualitativer Interviews die Ansprüche an ein bauernhofpädagogisches Bildungsumfeld erhoben. Es wurden Erhalterinnen und Erhalter von Kindertagesstätten, Verantwortliche der Stadtgemeinden in Unterkärnten und Vertreterinnen und Vertreter der Fachabteilung und Inspektion für Kindergärten der Kärntner Landesregierung sowie der KinderBOKU und dem ZOOM Kindermuseum befragt. Zugleich wurden anhand einer Potentialanalyse die individuellen, organisatorischen und strukturellen Erwartungen an eine kinderadäquate Gesundheitsförderung am Bauernhof eruiert.

---

<sup>1</sup> Definition Elementarpädagogik: Pädagogische Arbeit mit der Altersgruppe der 0- bis 6-Jährigen.

Umsetzungsrelevante Umfrageergebnisse betrafen einerseits spezifische Anforderungen an elementarpädagogische Fachkräfte, finanzielle und materielle Mittel für die Logistik vor Ort sowie die Wichtigkeit einer altersgemäßen Infrastruktur für Kleinkinder am Bauernhof. Besonders hervorgehoben wurde die Relevanz einer vielfältigen Bildungs- und Naturumgebung, in der die Kinder mit altersadäquaten Tätigkeiten in einem natürlichen Umfeld Beziehung zu Tier, Wald und Feld aufbauen könnten, sowie die Notwendigkeit einer natur- und bauernhofpädagogischen Zusatzausbildung für Elementarpädagoginnen und -pädagogen sowie Landwirtinnen und Landwirte.

Als Folge ergibt sich die Konzeption natur- und bauernhofpädagogischer Expertisen in der Umsetzung von generationsübergreifenden, entwicklungsförderlichen, gesundheitsbegünstigenden und umweltbildenden Bauernhofbesuchen für Kinder im Elementaralter. Dafür soll ein Pilotversuch mit zwei Besuchsbauernhöfen gestartet werden. Die Entwicklung eines elementarpädagogischen Konzepts und dazugehörige pädagogische Handreichungen ergeben sich als handlungsorientierte Konsequenz. Ergänzende, zu definierende Aspekte sind Logistik-, Architektur- und Energiekonzepte der Räumlichkeiten sowie die fachliche Weiterbildung der Elementarpädagoginnen und -pädagogen. Zu erstellende Schulungsunterlagen thematisieren das spielerische, kindliche Tätigsein mit Pflanzen im natürlichen und kultivierten Umfeld am Bauernhof und in seiner näheren Umgebung. Die erarbeiteten Expertisen sollen elementarpädagogischen und landwirtschaftlichen Fachkräften zur Verfügung gestellt und im Pilotversuch auf ausgewählten Pilotbauernhöfen auf ihre Praktikabilität und Praxisrelevanz überprüft werden.

**Stichworte:** *Bauernhofpädagogik, Gesundheitsförderung, Kleinkinder*

## Stand des Wissens zu frühkindlicher Entwicklung und Naturbegegnungen

Nach Wiklitz (2018) leiden immer mehr Kinder an körperlichen Entwicklungsstörungen. Dazu kommt, dass 60 % der Kinder Haltungsschäden und -schwächen, 40 % ein schwaches Herz-Kreislauf-System und 30 bis 40 % muskuläre Schwächen haben. Feinmotorische und Koordinationsstörungen bei Bewegungsabläufen können zudem die Folge von kindlichem Bewegungsmangel und einer reizarmen, kindlichen Spiel- und Erlebnisumwelt sein (Miklitz, 2018, S. 26). Voll möblierte Räume in Kindertagesstätten und privaten Kinderzimmern, die Berufstätigkeit der Eltern und primären Bezugspersonen sowie die zunehmende Verstädterung des ländlichen Raumes reduzieren kindliche Gestaltungs- und Spielmöglichkeiten in der freien Natur und können somit die Bewegungsentwicklung und Naturbegegnung von Kindern beschränken (Miklitz, 2018, 26f). Raith und Lude (2014, S. 80) verweisen auf eine Naturentfremdung bei der jüngeren Generation, die zu den angeführten Entwicklungs- und Gesundheitsproblemen beiträgt.

Der Aufenthalt von Kindern in Kultur- und Naturlandschaften sowie am Bauernhof fördert deren Grob- und Feinmotorik, Körperkoordination und -gesundheit, die sozial-emotionale Entwicklung, emotionale Regulationssteuerung sowie das kindliche Wissen und Verständnis über Abläufe und Rhythmen der Natur (Raith & Lude, 2014, S. 61).

Ein tägliches, vielfältiges und sinnesanregendes Bewegungsangebot spielt für die gesunde Entwicklung und für die Stärkung kognitiver, sozial-emotionaler und sprachlicher Fähigkeiten von Kindern eine wichtige Rolle (Zimmer, 2012, S. 16). Kinder aus Tagesstätten mit Bewegungskonzept zeigen weniger Hemmungen etwas Neues auszuprobieren und trauen sich selbst mehr zu als Kinder aus Tagesstätten ohne Bewegungskonzept (Bittmann, 2008, S. 200). Nach Zamani (2016) werden durch räumlich gestaltete Strukturen, wie sie in Bewegungs- und Regelkindergärten vorherrschen, grobmotorische Bewegungsabläufe von Kindern in sozialer Interaktion gefördert. Natur- und Kulturlandschaften weisen Möglichkeiten für konstruktives und exploratives Spielen in der freien Natur sowie Raum für Rollen- und Regelspiele in ländlicher Umgebung auf (Zamani, 2016, S.12). Nicht nur durch unterschiedliche Bewegungs- und Erfahrungsräume in natürlicher Umgebung, sondern auch durch ein reduziertes Spielzeugangebot sind Kinder in der Natur gefordert, situative Kreativität, Problemlösungskompetenz, Körpereinsatz und soziale Fähigkeiten entlang natürlicher Bildungsorte, einzusetzen (Häfner, 2002, S. 115). Kinder spielen in der Natur vielfältiger, intensiver und kreativer (Campbell and Speldewinde, 2019, S. 557; Raith and Lude, 2014, S. 32–35) und bewegen sich im Freien mehr als in Innenräumen (Raith and Lude, 2014, S. 39). Dadurch verbessert sich kindliche Grob- und Feinmotorik, Koordination und der Gleichgewichtssinn. Auch die kognitive Leistung und die Fähigkeit, mit situationsspezifischen Problemen und Herausforderungen umzugehen (Campbell and Speldewinde, 2019, S. 545) und die Wertschätzung des Potenzials der natürlichen Umwelt (Ernst, 2014, S. 739) erfahren Förderung. Ein positives Grunderleben der Natur stärkt auch die mentalen Fähigkeiten von Kindern (Elliot and Krusekopf, 2018, S. 118). Personal- und Sozialkompetenzen sowie kindliche Resilienz spiegeln sich in gesteigerter Form durch den Naturkontakt wider. Selbstwertgefühl, Selbstbewusstsein, Selbstvertrauen, Kreativität, Selbstdisziplin, Selbstständigkeit, Konzentrationsfähigkeit, Sprach-, Sach- und Sozialkompetenz (Raith and Lude, 2014, S. 21–31) werden durch Naturerleben intensiv gefördert und positiv beeinflusst – vor allem deshalb, weil Naturbegegnungen kindliche Lernprozesse stimulieren. Die kindlichen Naturbegegnungen sollten so früh wie möglich beginnen, bereits im Kleinkindalter, wie mehr als 30 % der Natur- und Waldkindergärten (Raith & Lude, 2014, S. 81) belegen.

Gegenwärtig begrenzt sich der Naturkontakt in elementaren Bildungseinrichtungen auf Gärten, Wiesen, Wald- oder gestaltete Naturflächen. Wald- und Bauernhofkindergärten stellen kindlichem Erleben infrastrukturell bedingt Waldstücke und landwirtschaftlich bewirtschaftete Naturräume zur Verfügung (Stiftung Ökologie & Landbau, 2014, S. 6). Beim kindlichen, rhythmisch wiederkehrenden Erkunden dieser Naturräume, muss es sich dabei unbedingt um großräumige Flächen, wie Gehölz, Wiesen, Brachflächen, Streuobstwiesen oder Gärten, handeln (Raith and Lude, 2014, S. 82).

Die unterschiedliche Geländebeschaffenheit evoziert komplexe Bewegungsabläufe im spielerischen Naturkontakt von Kindern ohne Leistungsanforderungen, zeitbemessene Planung und zusätzliche Kosten. Finanzieller Aufwand für Spielsachen, Gebäude, Heizung, Reinigung und Instandhaltung werden, im Vergleich zu Regelkindergärten, bedeutend reduziert (Häfner, 2002, S. 36). Besonders geeignet und spannend sind Natur- und Tierkontakte für Vorschulkinder auch deshalb, da sie die Erweiterung des Wortschatzes und die Sprechfertigkeit fördern, indem Kinder die Möglichkeit haben, Tiere zu sehen, zu berühren, zu füttern, Pflegehandlungen auszuführen (Miller, 1970, S. 4; Wethmann, 2012, S. 35). Auf diesem Wege stellen sie über sinnlich-soziale Handlungen Beziehung zu sich selbst her und bauen zu den Tieren und ihrer dinglichen und sozialen Umwelt personen- und situationsbezogenen Kontakt auf. Die Benennung relevanter Gegenstände, Lebewesen sowie die Beschreibung und Reflexion durchlebter Erfahrungen erweitern sprachliche (Erzähl-)Fähigkeiten, die kindliche Merkfähigkeit und Empathie. Der kindliche Bezug zu Pflanzen kann zusätzlich zu einem verbesserten Essverhalten und Ernährungswissen bei Kindern führen (Davis et al., 2015, S. 4; Soltero et al., 2019, S. 4). Kinder erfahren über das Hantieren mit Werkzeug und Durchführen von Pflege- und Hegehandlungen Verständnis für die Fruchtfolge, Sinnhaftig- und Nachhaltigkeit im Ernten, Verarbeiten und Konsumieren von diversen Pflanzen-, Getreide-, Obst- und Gemüsesorten.

Bisherige Studien belegen, dass die Implementierung von Bauernhofkindergärten sowie Tagesbesuchen von Kindergruppen auf Besuchsbauernhöfen erfolversprechend wirkt, wenn pädagogische Kooperationen von elementarpädagogischen Fachkräften, Expertinnen und Experten aus Bereichen wie Landwirtschaft und Gartenbau sowie Museen, verwirklicht werden können (Raith and Lude, 2014, S. 84). Über diese Kooperationspartner erlangen die Kinder altersadäquate, fundierte natur- und technikbezogene Fachkenntnisse aus erster Hand, um diese aus verschiedenen Perspektiven handlungsorientiert umzusetzen, Fragen zu stellen und erlangtes Wissen zu transferieren. Besonders effektiv und nachhaltig ist der Naturkontakt, wenn die Eltern oder primären Bezugspersonen der Kinder miteinbezogen werden (Raith and Lude, 2014, S. 84). Gelegenheiten für Besuche und Engagement von Familien, einschließlich angewandter Arbeiten am Bauernhof und im Garten, können auf Besuchsbauernhöfen angeboten werden, sowie Möglichkeiten geschaffen werden für eine sinnstiftende, freiwillige Übernahme der Betreuung von Kleinkindern durch Seniorinnen und Senioren oder andere Gemeindemitglieder. Eine generationenübergreifende Beteiligung an unterschiedlichen Tätigkeiten am Bauernhof verbessert die Gemeinschaft und bietet Möglichkeiten für Erwachsene und Kinder, einander besser kennen zu lernen und miteinander ein gemeinsames, natürliches Lebens- und Arbeitsumfeld zu gestalten (Miller, 1970, S. 15).

Um die beschriebenen Vorzüge für Kinder im Elementaralter über den stundenweisen oder täglichen Aufenthalt auf Besuchsbauernhöfen im Rahmen der familienergänzenden Bildung, Erziehung und Betreuung zu erreichen, müssen bestimmte personelle, räumlich-strukturelle, qualitative sowie logistische Gegebenheiten zutreffen. Zu diesen zählen gesetzeskonforme Raumanforderungen in Gebäuden mit pädagogischer Nutzung sowie die Einhaltung von Sicherheitsmaßnahmen und Quadratmetervorgaben in der Gestaltung von Natur- und Freiflächen, abgestimmt auf Kinderanzahl, mögliche Tätigkeitsfelder sowie Spiel- und Entspannungsmöglichkeiten der Kinder. Diese sind alters- und entwicklungsgerecht zu gestalten und haben zu jedem Zeitpunkt die Kindersicherheit sowie pädagogische Praktikabilität für elementarpädagogische Fachkräfte zu gewährleisten. Ebenso für generationenübergreifende Aktivitäten mit Seniorinnen und Senioren sowie ehrenamtlichen Gemeindemitgliedern müssen infrastrukturelle Möglichkeiten geschaffen werden.

Gesetzliche Vorgaben, Richtlinien sowie Empfehlungen zur Gestaltung und Umsetzung guter elementar- und naturpädagogischer Praxis auf Bauernhofkindergärten sind bis dato in der Fachliteratur jedoch noch nicht vertreten. Folglich wurden in dieser Studie das Ermitteln der Bedürfnisse, Anforderungen und Erwartungen an eine naturbezogene Elementarpädagogik und Gesundheitsförderung für Kleinkinder für Besuchsbauernhöfe und -kindergärten bei den Stakeholdern verfolgt.

## Erhebungsdesign und methodisches Vorgehen

Zur Erhebung der personellen, räumlich-strukturellen und qualitätsbezogenen Bedürfnisse, Anforderungen und Erwartungen an eine naturbezogene Elementarpädagogik und Gesundheitsförderung für Kleinkinder auf Besuchsbauernhöfen, wurden relevante Stakeholder, welche die Initiierung und Implementierung eines Besuchsbauernhof-Pilotprojektes mitbestimmen und/oder kleinkindgerecht mitgestalten, regional und überregional, in Abstimmung mit der Landwirtschaftskammer Kärnten ausgewählt.

Die Kontaktaufnahme erfolgte per Mail und telefonischer Rücksprache, um spezifische organisatorische und themenrelevante Fragen zu klären. Die sechs Stakeholder setzten sich aus Gemeindevertretung, Erhaltern und Führungskräften einer Kleinkindertagesstätte, Kinderbildungseinrichtungen wie ZOOM Kindermuseum und KinderBOKU sowie die Unterabteilung Kinderbetreuung und Inspektion des Amtes der Kärntner Landesregierung und einer Bildungseinrichtung mit elementarpädagogischem Schwerpunkt, zusammen.

Die mehrstufige Befragung beinhaltete drei relevante Themenfelder/Kriterien:

1. Das Umfeld Bauernhof als Bildungs- und Gesundheitsort
2. Menschen und Beschäftigte am Bauernhof
3. Naturpädagogisches und gesundheitsförderndes Angebot des Bauernhofes

Als Erhebungsmethoden wurden das teilstrukturierte qualitative Interview (Newing, 2011) sowie die Potentialanalyse nach Hofbauer (2019) angewandt. Betreffend die Potentialanalyse nach Hofbauer, wurden pro Kriterium jeweils acht Fragenitems mit „am wichtigsten (1)“ bis „am unwichtigsten (8)“ beantwortet, wobei jede Bewertung nur einmal vergeben werden durfte. Als weitere Erhebungsmethode, welche die Erwartungen an das Umfeld Bauernhof, an Menschen und Beschäftigte am Bauernhof und naturpädagogisches Angebot abbildete, wurde die Erwartungsanalyse nach Model Canvas (2012) gewählt (Osterwalder & Pigneur, 2012, S. 48).

## Ergebnisse der Erhebung

Für das Realisieren eines Pilotprojektes zur Implementierung eines Besuchsbauernhofes zur Umweltbildung und Gesundheitsförderung für Kleinkinder ergaben die Umfrageergebnisse folgende Forderungen: Zusätzliche finanzielle Mittel für die Bereitstellung von Logistik, elementarpädagogischem Fachpersonal und kindgerechter Infrastruktur am Bauernhof wurden für die Umsetzung fachlich fundierter Arbeit und qualitätsvoller Naturpädagogik und Gesundheitsförderung als notwendig erachtet. Zugleich wurden als Hemmnis bzw. unabdingbare Anforderung an die Initiierung eines Besuchsbauernhofes, die fehlenden finanziellen Mittel genannt, die es für eine praktikable und professionelle Umsetzung des Pilotprojektes jedoch bräuchte. Finanzielle Unterstützung erachteten die Befragten vor allem bei der Bereitstellung der pädagogischen Fachkräfte und ihrer Zusatzausbildung in Naturpädagogik und Gesundheitsförderung als essentiell, sowie bei der Adaptierung kindgerechter Bildungsräume und Sanitäreinrichtungen am Bauernhof. Interesse der Befragten bestand an der pilothaften Erprobung energieeffizienter Infrastruktur und Bauweise der Bildungsräume. Auch der Kontakt der Kinder mit bestimmten Bauernhoftieren wurde als notwendige Möglichkeit genannt, den kindlichen Umgang mit Lebewesen niederschwellig zu gewährleisten und zu fördern.

## KinderBOKU und ZOOM Kindermuseum:

Relevante Umfrageergebnisse betrafen insbesondere die naturpädagogische und gesundheitsfördernde Arbeit mit den Kindern am Besuchsbauernhof, wobei die Entkoppelung kindlicher Wissensaneignung von institutionellen, traditionellen Lernorten hervorgehoben wurde. Der außerinstitutionelle Bildungsort Bauernhof wurde in seiner Gesamtheit als attraktiver Vermittlungsort erkannt und benannt.

Folgende Inhalte wurden in der Erhebung explizit hervorgehoben:

- Grundsätzliche Vermittlung und Förderung des kindlichen Umwelt- und Gesundheitsbezuges.
- Vermittlung natur- und gesundheitsbezogenen Wissens an die Kinder.
- Vermittlung von Wissen zu landwirtschaftlicher Rohstoff- und Lebensmittelproduktion.
- Beratende Funktion aufgrund der fachlichen Expertise im generellen Aufbereiten und Vermitteln kindgerechter Bildungsinhalte innerhalb eines Projektes.
- Verweis auf fachspezifische Literatur und Angebot, bereits bestehende Good Practices mit den Projektverantwortlichen zu teilen.

### **Stadtgemeinde**

Das Interesse der befragten Gemeindeverantwortlichen unterschied sich thematisch teilweise von den bildungsbezogenen Inhalten von Kinderuni und Kindermuseum. Zwar wurden auch bei den Gemeindevertreterinnen und –vertreter Interessenslagen eruiert, die eine kindliche Gesundheits- und Lernförderung durch Umweltbildung, Tätigsein und Spielmöglichkeiten am Bauernhof erkannten und dies vor allem über alterserweiterte Kindergruppen in einem ganzjährigen Bildungszyklus realisiert sahen. Auch der naturpädagogische Mehrwert im Vermitteln von Naturkreisläufen, jahreszeitbedingten Rhythmen und die pädagogische Begleitung von Kindern im Heranwachsen mit authentischem Naturkontakt wurden explizit hervorgehoben und deckten sich thematisch mit den Umfrageergebnissen von Kinderuni und Kindermuseum. Worin sich die befragte Gruppe der Gemeindeverantwortlichen jedoch von Kinderuni und Kindermuseum unterschied, waren wirtschaftliche Interessen:

- Organisatorische Veränderung der gegenwärtigen Kinderbetreuung innerhalb der Gemeinde über neue Kooperationspartner
- Statt der Etablierung eines Waldkindergartens, was in den vorhergehenden Jahren erfolglos versucht wurde, Etablierung eines Bauernhofkindergartens bzw. Besuchsbauernhofes
- Landwirtschaftliche Produktion und Konsum biologischer Naturprodukte, die direkt am Bauernhof hergestellt, kultiviert und geerntet werden

### **Kinderbetreuung und Inspektion des Amtes der Kärntner Landesregierung sowie Bildungszentrale Kärnten**

Die unbedingte Notwendigkeit der Einhaltung gesetzlicher Vorgaben in der Implementierung, Erhaltung und Ausgestaltung eines Bauernhofkindergartens bzw. Besuchsbauernhofes sowie die Klärung der Mitfinanzierung des Vorhabens über Landes- und Bundesmittel waren die Hauptanliegen der Befragten in der Erhebung.

Zusätzlich wurden folgende Inhalte aus fachlicher, pädagogischer und gesetzlicher Perspektive hervorgehoben:

- Ausschließliche Beschäftigung elementarpädagogisch ausgebildeter Fachkräfte am Bauernhofkindergarten oder Besuchsbauernhof.
- Zur qualitativen und fachlich korrekten Erarbeitung und pilothaften Implementierung des naturpädagogischen und gesundheitsfördernden Konzeptes wird die akademische Begleitung über universitäre Partnerinstitutionen empfohlen.
- Bauliche Maßnahmen und Fragen zu gesetzlichen Vorgaben sowie baurechtliche Abnahme derselben müssen über die Fachabteilung des Landes Kärnten erfolgen.

- Während der gesamten Entwicklungsphase muss die Fachabteilung beratend und informell eingebunden sein.
- Notwendigkeit einer natur- und bauernhofpädagogischen Zusatzausbildung der zuständigen Elementarpädagoginnen und -pädagogen sowie Landwirtinnen und Landwirte.

Nachfolgende Abbildung repräsentiert die genannten drei Themenfelder der Potentialanalyse nach Hofbauer (2019) je nach Häufigkeit der Nennungen der Befragten.

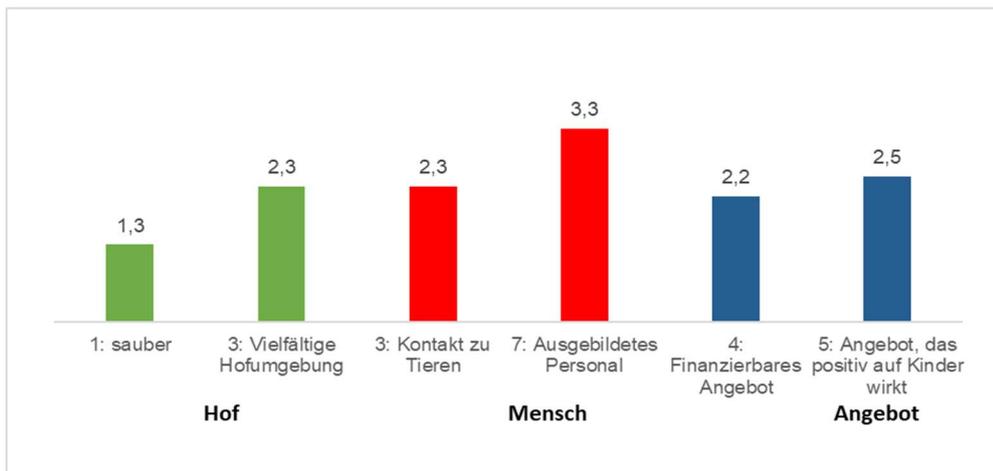


Abb. 1: Wichtigkeit der Themenfelder 1. Umfeld Hof als Bildungs- und Gesundheitsort, 2. Menschen und Beschäftigte am Hof, 3. Naturpädagogisches Angebot für Umweltbildung und Gesundheitsförderung von Kleinkindern am Bauernhof (n=6), 2019.

Die Mehrheit der befragten Stakeholder erachtete im Themenfeld 1 *Umfeld Bauernhof als Bildungsort* das Bereitstellen eines besonders sauberen Bauernhofes mit vielfältiger Hofumgebung als besonders wichtig. Im Themenfeld 2 *Menschen und Beschäftigte am Bauernhof* erhielten die Relevanz des kindlichen Kontaktes zu Hoftieren und ein naturpädagogisches Bildungsangebot, das zusätzlich auf die Gesundheit der Kleinkinder positiven Einfluss ausübt und durch naturpädagogisch ausgebildete elementarpädagogische Fachkräfte garantiert wird, die höchsten Prioritäten. Das Bedürfnis nach finanzieller Attraktivität des Pilotprojektes, das für Familien leistbare monatliche Betreuungsbeiträge bedeutet, spiegelt sich im Themenfeld 3 *Naturpädagogisches Angebot zur Gesundheitsförderung* wider. Sowohl Gemeindeverantwortliche als auch Erhalter von Kindertagesstätten sahen die Attraktivität des Pilotprojektes vor allem dann gegeben, wenn naturpädagogische, gesundheitsförderliche Aktivitäten in einer finanzierbaren Relevanz zum elementarpädagogischen Einsatz der Fachkräfte und Infrastrukturangebot am Bauernhofkindergarten oder Besuchsbauernhof, stehen.

### Nächste Schritte im Pilotprojekt

Die konkrete Projektkonzeption wird sich aufgrund der Befragungsergebnisse fürs Erste auf die Implementierung eines Besuchsbauernhofes, wegen der größeren Anpassungsflexibilität konzentrieren. Die gezielte Auswahl von nationalen Besuchsbauernhöfen und Suche von internationalen Partnerbetrieben zeichnen weitere Planschritte. Ziel ist die Durchführung einer Machbarkeitsstudie auf mindestens zwei landwirtschaftlichen Betrieben in Österreich; beispielsweise ein Landwirtschaftsbetrieb in der Nähe einer Großstadt und ein Betrieb im ländlichen Raum. Zusätzlich soll über Ideenwerkstätten mit Gemeindeverantwortlichen, Gemeindegewerkschaften und -bürgern sowie pädagogischen Fachkräften und Führungskräften elementarer Bildungsinstitutionen zum Thema gearbeitet werden. Ein partizipatives Forschungsdesign sowie Hospitationen in Betrieben, die bereits bauernhofpädagogisch arbeiten, sollen zu umsetzbaren Ergebnissen beitragen und sowohl Bedarf, Bedürfnisse als auch kreative Umsetzungsideen für das Pilotprojekt eruieren.

Über regelmäßige Rückmeldeschleifen soll zu Fortgang, Erfolg und Nachhaltigkeit der erarbeiteten Vorschläge der Teilnehmenden der Ideenwerkstätten reflektiert werden. Gegebenenfalls wird es zu Optimierungen und Änderungen erarbeiteter Sachverhalte kommen, beziehungsweise zur Erhaltung und Vertiefung guter natur- und bauernhofpädagogischer Praxis.

## **Diskussion der nächsten Schritte**

Die erfolgreiche Umsetzung des Pilotprojekts für die Implementierung eines Besuchsbauernhofes als elementarpädagogischer Bildungsort in kindlicher Natur- und Umweltbildung sowie in der Förderung kindlicher Gesundheit und körperbezogener, sozial-emotionaler und individueller Kompetenzen muss eine langfristige Deckung zusätzlicher Kosten für Logistik, Infrastruktur und für die Beschäftigung elementarpädagogischer Fachkräfte garantieren, zumindest über die Projektlaufzeit von drei Jahren.

Aus der bisherigen thematischen Abhandlung ergeben sich infolgedessen vier Diskussionskriterien:

### **Infrastruktur, Finanzierung und Ablauforganisation**

Finanzielle Investitionen betreffen vor allem die baulichen Adaptierungsmaßnahmen der Bildungsräume und die Errichtung kindgerechter Sanitäreinrichtungen, sowie die optionale Nutzung der Dienste eines regionalen Verkehrsunternehmens, um den vom Ortskern etwas entlegenen Hof für die Kindergruppen niederschwellig erreichbar zu machen und dadurch den stundenweisen bis täglichen Aufenthalt der Kinder am Bauernhof sicherzustellen. Auf diese Weise können jene Familien, die kein Auto besitzen, sowie berufstätige Bezugspersonen der Kinder von bindenden Bring- und Abholzeiten entlastet werden (Masters and Grogan, 2018).

Ausgehend von einer nicht vollständigen Deckung durch öffentliche Gelder des Landes und/oder Bundes ist eine Mitfinanzierung durch Beiträge der Familien der Kinder nötig, die vor allem durch Einbindung der kindlichen Bezugspersonen in Planungs- und Bildungsprozesse, über Transparenz und notwendige partizipative Elemente verfügen, um das pädagogische, umweltbildende und nachhaltige Argument einer privaten Investition in Monatsbeiträgen zu unterstützen (Dawson et al., 2013, S. 217).

Infrastrukturelle Adaptierung betrifft neben ausreichend verfügbaren Sanitärmöglichkeiten für Kinder und Erwachsene vor allem die Ausgestaltung der Bildungsräume am Bauernhof (Häfner, 2002, S. 35), die besonders bei Schlechtwetter Ausweichmöglichkeiten für kindliches Spiel darstellen, Entspannungsmöglichkeiten, Schutz vor Nässe und Kälte bieten und Kindern neben Aktivitäts- auch Ruhephasen ermöglichen. Somit ist die pädagogische und architektonische Planung eines interaktiven, multifunktionalen Raumkonzepts anzustreben, das auf gesetzeskonforme Umsetzung baulicher und sicherheitstechnischer Anforderungen bedacht ist und Hygiene sowie Sauberkeit betreffende Maßnahmen entlang der Bildungsbedingungen und kreativen Bildungsprozesse der Kinder vor Ort umsetzbar macht (Tissot-Dupont et al., 2005, S. 960). Für Besuchsbauernhöfe sind die genannten Anforderungen noch mit der Fachabteilung der Landesregierung abzuklären und baurechtlich sowie sicherheitstechnisch zu präzisieren.

### **Naturpädagogisches Angebot zur Umweltbildung von Kindern und Erwachsenen**

Kleinkinder profitieren von umweltbildenden Aktivitäten am Bauernhof. Informationen aus der natürlichen Umwelt am Bauernhof, die sie mit bereits Bekanntem und Erfahrenem verknüpfen, werden über Wahrnehmung und Bewegung zu neuen Bildungsinhalten synchronisiert.

*„Bewegungserfahrungen, vielfältige Sinneseindrücke und deren Zusammenspiel sind wesentliche Grundlagen der Selbst- und Weltbilder von Kindern. Durch Bewegung erforschen und erobern Kinder ihre Umwelt, erfahren sich als selbstwirksam und werden dazu motiviert, sich weiteren Herausforderungen zu stellen“ (Charlotte-Bühler-Institut, 2009, 16).*

Um dem kindlichen Bewegungs- und Bildungsdrang adäquat begegnen zu können, wird es beim Strukturieren des naturpädagogischen Angebotes wichtig sein, genügend Erfahrungsfreiräume für kindliches Explorieren in freier Natur und am Bauernhofgelände zu schaffen. Ein hohes eigenaktives, durch kindliche Selbstbildung gesteuertes Element explorativer und experimenteller Lernzugänge kann nur dann gestaltet werden, wenn pädagogische Fachkräfte Facetten der Umweltbildung mit Aspekten frühkindlicher Lernformen sowie Sicherheitsfaktoren zur Gefahrenvermeidung am Bauernhof miteinander zu verbinden und den Kindern zu vermitteln verstehen. Kindern vor allem Bildungsinhalte zu sicherem Lernen und Bewegen am Bauernhof verständlich zu machen (Bittmann, 2008, S. 199; Zimmer, 2012, S. 16), stellt einen Schlüsselfaktor im modulhaften Ausgestalten eines Bildungskonzeptes für pädagogische Fachkräfte dar. Dazu müssen fundierte Weiterbildungsmodule, die landwirtschaftliche, pädagogische und umweltbildende Bildungsinhalte miteinander verknüpfen, anhand von Expertinnen- und Expertengruppen sowie Ideenwerkstätten und Good Practices, formuliert werden.

Neben Umweltbildung und dem kindlichen Verständnis für sicheres Bewegen und Tätigsein am Bauernhof, insbesondere im Sinne der Gesundheitsförderung, ist es auch der sozial-emotionale, gemeinschaftliche Aspekt der intergenerationalen Zusammenarbeit, welcher die Sozialentwicklung der Kinder über Naturbegegnungen vorantreibt. Eine nachhaltige Möglichkeit, neben elementarer Umweltbildung den kommunalen Zusammenhalt zu fördern und zusätzlich intergenerationales Lernen am Besuchsbauernhof zu implementieren, ist bei natur- sowie gesundheitsbezogenen Tätigkeiten im Rahmen einer gemeinsam gelebten Umweltbildung, die Miteinbeziehung von Seniorinnen und Senioren, ehrenamtlichen Gemeindebewohnerinnen und -bewohnern sowie Eltern und Interessierten (Nimmo and Hallett, 2008).

*„Die Entwicklung sozial-kommunikativer Kompetenzen, wie Kooperations- und Konfliktfähigkeit, Toleranz und Verantwortung für sich selbst sowie für andere zu übernehmen, baut auf der Fähigkeit zur emotionalen Selbstregulation auf. Emotional und sozial kompetente Kinder sind ihren Emotionen nicht hilflos ausgeliefert, sondern nutzen die orientierende und motivierende Funktion von Emotionen“ (Charlotte-Bühler-Institut, 2009, S. 10).*

Neben sozial-emotionalen Aspekten der altersübergreifenden Beziehungsgestaltung, werden vor allem kommunikative und inklusive Bildungsprozesse evoziert, die kindliche und erwachsene Bildungsprozesse interaktiv und individuell gestaltbar machen und miteinander verbinden. Ein sozial nachhaltiges elementarpädagogisches Bildungskonzept für Natur- und Umweltbegegnungen sowie Gesundheitsförderung am Bauernhof wird aus diesen Gründen nicht umhinkommen, intergenerationale Begegnungen am Bauernhof, als Gestaltungsraum der Natur- und Gesundheitsbildung zu ermöglichen, miteinzubeziehen und zu evolvieren.

### **Entwicklung von Schulungsunterlagen und Bildungsmaterial**

Zur bedarfs- und bedürfnisgerechten Entwicklung einer elementarpädagogischen Handreichung in Form von Schulungs- und Bildungsmaterialien, soll eine Bedarfs- und Akzeptanzanalyse bei Eltern und elementarpädagogischen Fachkräften durchgeführt werden. Um ein alters- und interessenadäquates Bildungsangebot in den Bildungsbereichen „Natur und Technik“, „Bewegung und Gesundheit“, „Emotionen und soziale Beziehungen“ (Charlotte-Bühler-Institut, 2009, 9 ff.) erarbeiten zu können, wird es notwendig sein, diese zu Erwartungen entlang der jeweiligen Bildungs- und Erziehungsbereiche zu befragen. Die erarbeiteten Bildungsinhalte orientieren sich einerseits an Theorien und Ansätzen kindlichen (Sich-)Bildens und Lernens und andererseits an interessengeleiteten Bildungstheorien der Erwachsenenbildung. Somit erfahren Bildungsinhalte wie kindersicheres und ergonomisch richtiges Verhalten bei ausgewählten Arbeitsprozessen in der Pflanzenproduktion und ein energiesparendes Handeln am Bauernhof, intergenerationale Zugänge zur Umweltbildung und Gesundheitsförderung und handlungsgeleitetem Lernen, was die Entwicklung eines bauernhofpädagogischen Bildungskonzeptes mit sich bringt.

Insbesondere die Bildungsinhalte, welche Umweltbildung, Natur, Technik und Gesundheit betreffen (Energie, Klima, Tätigsein mit der Pflanze am Bauernhof), sind mit Good Practices anderer Bauernhofkindergärten, auch Natur-Kitas genannt, im deutschsprachigen Raum zu vergleichen und abzustimmen. Ebenso Empfehlungen zu Infrastruktur-, Bildungsraum- und Personalbedarf können über das Befragen dieser Institutionen eingeholt werden, wobei sich die Zahl aktiver Bauernhofkindergärten im deutschsprachigen Raum gemäß Expertenschätzungen auf weniger als 100 Betriebe beläuft (Schweizer, 2019).

### **Erstellung eines bauernhofpädagogischen Konzeptes**

Auf Basis der zuvor dargestellten, bereits erhobenen und noch zu erhebenden Daten, soll über Natur- und Umweltbildung sowie Gesundheitsförderung ein bauernhofpädagogisches Konzept für den Elementarbereich entstehen, das wesentliche Aspekte der Bildungsinhalte des „Bundesländerübergreifenden BildungsRahmen Plans für elementare Bildungseinrichtungen Österreichs“ (Charlotte-Bühler-Institut, 2009) mit Aspekten des Selbstbildungsansatzes (Schäfer, 2005/2014/2017) sowie des Ansatzes der Ko-Konstruktion (Fthenakis, 2010/2015) miteinander vereint. Insbesondere in Betracht zu ziehen sind neben Bildungsinhalten zu Körper, Bewegung und Gesundheit sowie sozialen Beziehungen, Inhalte des Bildungsbereiches „Natur und Technik“ (vgl. Charlotte-Bühler-Institut, 2009, S. 20), die maßgeblich am Bildungsort Bauernhof sicht-, spür-, beobacht- und erlebbar sind.

*„Naturbegegnungen können zum Anlass einer intensiven Beschäftigung mit der belebten und unbelebten Umwelt werden. [...] Die Auseinandersetzung mit Natur und Umwelt fördert die Einsicht in ökologische Zusammenhänge und ermöglicht die Entwicklung eines verantwortungsvollen Umgangs mit den Ressourcen der Natur“ (Charlotte-Bühler-Institut, 2009, S. 20).*

Kindgerecht aufbereitete Bildungsinhalte, die umsetzungsorientiertes Wissen über Pflanzen und gesundheitsförderndes Verhalten, Infrastruktur auf landwirtschaftlichen Flächen und in landwirtschaftlichen Gebäuden ebenso vermitteln, wie über Naturschutzflächen, Biogrün- und -ackerland sowie über Pflanzendiversität in Bauergärten, sollen neben kindlichen Zugängen auch intergeneracionales Lernen ermöglichen. Somit kann eine hohe Qualitätsbasis im altersübergreifenden Umgang mit Biodiversität, Naturwirkung durch Entspannung und Erholung sowie Bewegungsmöglichkeiten erzielt werden. Was die Gestaltung von infrastrukturbezogenen Bildungsräumen am Bauernhof angeht, kann ein Raum- und Architekturkonzept, das mit einem hohen Anteil an Naturmaterialien aus der Region umgesetzt wird, den Nachhaltigkeitsgedanken aus wirtschaftlicher und ressourcenbewusster Perspektive zusätzlich verankern.

### **Fazit**

Um natur- und umweltbewusste Bildung und Gesundheitsförderung frühkindlich erfahrbar zu machen, macht es Sinn, über elementarpädagogische Zugänge ein Konzept der Bauernhofpädagogik für den Besuchs- und Projektbauernhof zu implementieren, das sowohl frühes Lernen als auch erwachsenenbildnerische Zugänge in sich vereint und somit intergeneracionales Lernen ermöglicht. Sowohl pädagogisches Konzept als auch Planung architektonischer Zugänge zur Gestaltung von Bildungsräumen am Bauernhof werden nur dann nachhaltig wirken, wenn den Bedarfen und Bedürfnissen der in diesem Artikel genannten Stakeholder, Teilnehmenden der Ideenwerkstätten und an Planungsprozessen Beteiligten Rechnung getragen wird. Dadurch wird es möglich sein, regionale, soziale und wirtschaftliche Interessen, Kompetenzen, Unterschiede und Talente ressourcenorientiert zu bündeln und bedarfsgerecht in die pädagogische Planung und Konzeptualisierung zu involvieren.

Ziel soll die Schaffung einer Angebotsvielfalt am Besuchsbauernhof sein, die durch elementarpädagogisches Fachwissen, ehrenamtliches Engagement und landwirtschaftliches Handlungswissen diversitätsbewusst genutzt und erweitert werden kann.

Die erlebnis- und handlungsorientierte Heranbildung von kindlichem und intergenerationalem Wissen über ressourcenbezogene Nachhaltigkeit, mentale und körperliche Gesundheit, Biodiversität, Naturkreisläufe und landwirtschaftliche Tätigkeiten am Bauernhof soll dazu beitragen, neben gemeinschaftlichen Aspekten, Kinder und Erwachsene mit der Landwirtschaft verbinden. Neben zukunftssträchtigem Wissenszuwachs über die achtsame Nutzung der Gaben von Gesundheit, Natur und Umwelt, ist es vor allem die Begeisterung für nachhaltige landwirtschaftliche Produktion und sich erschließende, naturbezogene Bildungsräume, die sich kindlichem und intergenerationalem Lernen sinnstiftend eröffnen und Gesundheit und Umweltschutz für die zukünftigen Generationen in sich tragen.

## Literatur

- Bittmann, F. (2008) 'Bewegungsförderung im Kindergarten', In: Bals, T., Hanses, A. und Melzer, W. (eds) Gesundheitsförderung in pädagogischen Settings, Juventa Verlag, S. 195–211.
- Campbell, C. und Speldewinde, C. (2019) 'Bush kinder in Australia: A new learning 'place' and its effect on local policy', Policy Futures in Education, vol. 17, no. 4, S. 541–559.
- Davis, J. N., Spaniol, M. R. und Somerset, S. (2015) 'Sustenance and sustainability: maximizing the impact of school gardens on health outcomes', Public health nutrition, vol. 18, no. 13, S. 2358–2367.
- Charlotte-Bühler-Institut (2009) Bundesländerübergreifender BildungsRahmenPlan für elementare Bildungseinrichtungen in Österreich. Hrsg.: Ämter der Landesregierungen der österreichischen Bundesländer, Magistrat der Stadt Wien, Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur.
- Dawson, A., Richards, R., Collins, C., Reeder, A. I. und Gray, A. (2013) 'Edible gardens in early childhood education settings in Aotearoa, New Zealand', Health promotion journal of Australia: official journal of Australian Association of Health Promotion Professionals, vol. 24, no. 3, S. 214–218.
- Elliot, E. und Krusekopf, F. (2018) 'Growing a Nature Kindergarten That Can Flourish', Australian Journal of Environmental Education, vol. 34, no. 2, S. 115–126.
- Ernst, J. (2014) 'Early childhood educators' use of natural outdoor settings as learning environments: an exploratory study of beliefs, practices, and barriers', Environmental Education Research, vol. 20, no. 6, S. 735–752.
- Fthenakis, W. E. (2010) Der Bildungsauftrag in Kindertageseinrichtungen: Ein umstrittenes Terrain? [www.familienhandbuch.de/kita/krippe/rund-um/derbildungsauftraginkindertageseinrichtungen](http://www.familienhandbuch.de/kita/krippe/rund-um/derbildungsauftraginkindertageseinrichtungen) (Abfrage: 21.01.2020).
- Fthenakis, W. E. (2015) Ko-Konstruktion: Lernen durch Zusammenarbeit. In: Aba Fachverband. Offene Arbeit mit Kindern und Jugendlichen. [aba-fachverband.info/ko-konstruktion-lernen-durch-zusammenarbeit/](http://aba-fachverband.info/ko-konstruktion-lernen-durch-zusammenarbeit/) (Abfrage: 20.01.2020).
- Häfner, P. (2002) Natur- und Waldkindergärten in Deutschland - eine Alternative zum Regelkindergarten in der vorschulischen Erziehung, Inauguraldissertation, Bürgstadt, Universität Heidelberg.
- Hofbauer, I. B. (2019) [www.mutkompetenz.at](http://www.mutkompetenz.at) (Abfrage: 25.02.2019)
- Masters, J. und Grogan, L. (2018) 'A comparative analysis of nature kindergarten programmes in Australia and New Zealand', International Journal of Early Years Education, vol. 26, no. 3, S. 233–248.
- Osterwalder A. Pigneur, Y. (2012) Business Model Generation, Ein Handbuch für Visionäre, Spielveränderer und Herausforderer, Campus Verlag GmbH.
- Wiklitz, I. (2018) Der Waldkindergarten, Dimension eines pädagogischen Ansatzes, 7. Auflage, Cornelsen Verlag.
- Miller, S. L. (1970) 'School gardens and farms - Aspects of outdoor education'.
- Newing, H. (2011) Conducting research in conservation: Social science methods and practice, London, Routledge.
- Nimmo, J. und Hallett, B. (2008) 'Childhood in the Garden: A Place to Encounter Natural and Social Diversity', Young Children, vol. 1, S. 32–42.
- Raith, A. und Lude, A. (2014) 'Startkapital Natur - Wie Naturerfahrung die kindliche Entwicklung fördert', oekom.
- Schäfer, G. E. (Hrsg.) (2005) Bildung beginnt mit der Geburt. Ein offener Bildungsplan für Kindertageseinrichtungen in Nordrhein-Westfalen. 2. Auflage. Weinheim, Basel, Berlin: Beltz Juventa.
- Schäfer, G. E. (2014) Was ist frühkindliche Bildung? Kindlicher Anfängergeist in einer Kultur des Lernens. 2. Auflage. Weinheim und Basel: Beltz Juventa.
- Schäfer, G. E. (2017) Bildungsprozesse im frühen Kindesalter. [www.offenburg.de/html/media/dl.html?v=16456](http://www.offenburg.de/html/media/dl.html?v=16456) (Abfrage: 20.01.2020).
- Schweizer, L. (2019) Mündliche Mitteilung, Vorstand Kita-Natura eG.

- Soltero, E. G., Parker, N. H., Mama, S. K., Ledoux, T. A. und Lee, R. E. (2019) 'Lessons Learned From Implementing of Garden Education Program in Early Child Care', Health promotion practice.
- Stiftung Ökologie und Landbau (2014) Bauernhof-Waldkindergarten der Stiftung Ökologie & Landbau auf Gut Hohenberg - Pädagogisches Konzept. S.1–17.
- Tissot-Dupont, H., Amadei, M.-A., Nezri, M. und Raoult, D. (2005) 'A pedagogical farm as a source of Q fever in a French city', European journal of epidemiology, vol. 20, no. 11, S. 957–961.
- Wethmann, F. (2012) Konzeptentwicklung für einen Biobetrieb als Lernort Bauernhof unter Berücksichtigung frühkindlicher Bildungsprozesse und Erziehung zur Nachhaltigkeit, Bachelorarbeit, Gießen, Justus-Liebig-Universität Gießen.
- Zamani, Z. (2016) "The woods is a more free space for children to be creative; their imagination kind of sparks out there': exploring young children's cognitive play opportunities in natural, manufactured and mixed outdoor preschool zones', Journal of Adventure Education and Outdoor Learning, vol. 16, no. 2, S. 172–189.
- Zimmer, R. (2012) 'Kindergärten in Bewegung- Was zeichnet einen Bewegungskindergarten aus', motorik - Zeitschrift für Motopädagogik und Mototherapie, vol. 35, no. 1, S. 15–26.



## Nebenzeiten und ablaufbedingte Wartezeiten beim Einsatz von Feldrobotern

*Franz Handler<sup>1</sup> und Emil Blumauer<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>HBLFA Francisco Josephinum, Wieselburg, Österreich*

*E-Mail: [franz.handler@josephinum.at](mailto:franz.handler@josephinum.at)*

Die in den vergangenen Jahren vorgestellten Feldroboter dürfen unter den heutigen technischen und verkehrsrechtlichen Rahmenbedingungen noch nicht autonom auf öffentlichen Straßen den Schlag wechseln. Ausgehend von einer Prozessbeschreibung auf der Ebene von Teilvorgängen wurde der Arbeitsablauf für einen Arbeitstag von mehreren gleichzeitig arbeitenden Robotern simuliert und daraus der Arbeitszeitbedarf bzw. die auftretenden Wartezeiten bei den Feldrobotern und der Bedienperson in Zusammenhang mit dem Schlagwechsel sowie die Zeitspanne, die die Roboter nach Ende der täglichen Dienstzeit der Bedienperson autonom weiterarbeiten können, untersucht. Dabei hat sich gezeigt, dass der Überstellungsvorgang zeiteffizient gestaltet werden muss, da ansonsten der Zeitbedarf der Bedienperson der Roboter jenen der Bedienperson einer in der Flächenleistung vergleichbaren Traktormechanisierung übersteigt. Besonders kritisch sind in diesem Zusammenhang kleine Schläge bei Arbeiten mit einer hohen Flächenleistung wie zum Beispiel das Mähen von Grünland. Die verfügbare Feldarbeitszeit außerhalb der Dienstzeit der Bedienungsperson kann umso besser ausgenutzt werden, je geringer die Flächenleistung beim durchgeführten Arbeitsgang ist, je größer die Schläge sind und wenn Roboter einzeln auf einem Schlag arbeiten.

**Stichworte:** Robotik, Zeitstudie

## Problemstellung

Erste Feldroboter für die Außenwirtschaft, die am Schlag autonom arbeiten, wurden in den vergangenen Jahren vorgestellt und ihre Funktion demonstriert (Gonzalez-de-Santos et al. 2017, Shamshiri et al. 2018). Sie dürfen aber unter den heutigen technischen und verkehrsrechtlichen Rahmenbedingungen noch nicht autonom auf öffentlichen Straßen den Schlag wechseln. Sie müssen für das Umstellen am Dreipunkt eines Traktors angebaut oder auf ein Transportfahrzeug verladen werden. Da die Schlaggröße in vielen Betrieben in Österreich zwischen einem und zwei Hektar liegt und nicht arrondiert sind, hätte der Arbeitszeitbedarf für den Schlagwechsel eine große Bedeutung.

Weiters stellten Lowenberg-DeBoer et al. (2019) in einer Literaturrecherche fest, dass für eine ökonomische Bewertung von Robotersystemen in der Landwirtschaft Daten bezüglich ihres Arbeitszeitbedarfes und der Veränderung von Arbeitsabläufen fehlen. Marinoudi et al. (2019) kamen zu ähnlichen Schlussfolgerungen und schlugen zur Lösung dieser Problemstellung die Analyse von Fallbeispielen vor.

Im Folgenden werden deshalb der Arbeitszeitbedarf bzw. die auftretenden Wartezeiten bei den Feldrobotern in Zusammenhang mit dem Schlagwechsel und die Zeitspanne, die die Roboter nach Ende der täglichen Dienstzeit der Bedienperson autonom weiterarbeiten können, untersucht.

## Methodik

Ausgehend von einer Prozessbeschreibung auf der Ebene von Teilvorgängen wird der Arbeitsablauf für einen Arbeitstag simuliert. Die Arbeitszeitmodelle für die Teilvorgänge basieren auf Zeitstudien an vergleichbaren von Arbeitskräften bedienten Maschinen. Die Arbeitszeitgliederung erfolgt in Anlehnung an Winkler und Frisch (2014). Um die Auswirkungen der Flächenleistung der Roboter auf die Fragestellung untersuchen zu können, wird einerseits das Mähen von Grünland als ein Arbeitsgang mit einer relativ hohen Flächenleistung und andererseits das Hacken von Zuckerrüben als ein Arbeitsgang mit einer relativ geringen Flächenleistung simuliert. In der Simulation werden Arbeitsgeschwindigkeit, Arbeitsbreite, Wendezeit, Fahrgeschwindigkeit bei Leerfahrten im Schlag sowie Ver- bzw. Abladezeiten beim Schlagwechsel der Feldroboter und die Anzahl gleichzeitig eingesetzter Feldroboter und bearbeiteter Schläge variiert. Von den Rahmenbedingungen werden Schlaglänge, Schlagbreite, Entfernung zwischen den Schlägen, Transportgeschwindigkeit und Anzahl der pro Fahrt überstellten Feldroboter untersucht.

Der erste Schritt in der Simulation ist die Planung der Fahrspuren der eingesetzten Geräte und Bedienpersonen. Danach wird jedem Fahrspurabschnitt und dem damit verbundenen Teilabschnitt der erforderliche Zeitbedarf zugeordnet und die Fortschrittzeit der eingesetzten Geräte und Bedienpersonen ermittelt. Auf Basis der Fortschrittzeiten werden ablaufbedingte Wartezeiten und der Zeitbedarf auf den einzelnen Schlägen ermittelt.

Die Simulation ist in Microsoft Excel programmiert.

Die Simulationsergebnisse werden in Form des Zeitbedarfes für Maschinen und Arbeitskräfte sowie der Verfahrenszeit (Moriz 2008) dargestellt.

## Ergebnisse

Die folgenden Ergebnisse basieren auf Simulationen bei einem Längen-Breiten-Verhältnis der Schläge von 4:1. Die Entfernung von Schlag zu Schlag bzw. zwischen Hof und Schlag beträgt bei einer Schlaggröße von einem Hektar 0,5 km, bei zwei und fünf Hektar 1 km sowie bei 10 Hektar 2 km. Für die Überstellung wird sowohl bei der Roboter- als auch der Traktormechanisierung eine mittlere Fahrgeschwindigkeit von 30 km/h unterstellt.

In Abbildung 1 wird der Zeitbedarf für das Mähen von Grünland durch eine traktorangebaute Front-Heck-Kombination mit neun Meter tatsächlicher Arbeitsbreite mit jenem von drei Robotern mit einer tatsächlichen Arbeitsbreite von jeweils drei Meter verglichen. Beim Traktor mit Mähwerk entspricht der Zeitbedarf der Maschine jenem der Arbeitskraft. Bei den drei Robotern ist der Zeitbedarf jedes einzelnen Roboters getrennt von der Bedienperson dargestellt. Sie führt die in Tabelle 1 angeführten Teilvorgänge TV1 bis TV4 aus. Alle Roboter arbeiten gleichzeitig auf demselben Schlag und werden gemeinsam mit einem Transportfahrzeug überstellt und die Nebenzeiten entsprechen dem in Tabelle 1 angeführten Szenario hoch. Die im Szenario hoch verwendeten Arbeitsbedarfszahlen für die TV1 bis TV4 wurden beim Transport von Zweiachsmähern für die Hangbewirtschaftung erhoben. Die Abmessungen der Zweiachsmäher mit Mähwerk entsprechen den eingesetzten Robotern.

Tabelle 1: Kennzahlen für die Simulation des Arbeitsganges Mähen

Mechanisierung	Kennzahl	Szenario Nebenzeiten	
		hoch	verringert
Roboter mit Mähwerk (tatsächliche Arbeitsbreite 3 m)	TV1: Vorbereitung des Ablade- bzw. Verladevorganges [AKmin]	4,34	1,50
	TV2: Abladen und Roboter einsatzbereit machen [AKmin]	9,94	3,10
	TV3: Roboter transportbereit machen und verladen AKmin]	11,41	3,20
	TV4: Transportfahrzeug zur Abfahrt bereit machen [AKmin]	5,28	2,10
	Mähgeschwindigkeit [km/h]	12,0	
	Wendezeit [min]	0,21	
Traktor mit Mähwerk (tatsächliche Arbeitsbreite 9 m)	Rüstzeit am Beginn des Schlages [AKmin]	4,45	
	Rüstzeit am Ende des Schlages [AKmin]	4,90	
	Mähgeschwindigkeit [km/h]	12,0	
	Wendezeit [min]	0,21	

Besonders auffällig ist, dass auf Grund des hohen Arbeitszeitbedarfes für das Abladen der Roboter vom Transportfahrzeug bei einer Schlaggröße von einem Hektar der dritte Roboter nicht zum Einsatz kommt, da die beiden ersten Roboter die Fläche gemäht haben, bevor der dritte Roboter zum Einsatz kommen würde. Die Verfahrenszeit beträgt bei den Robotern 1,00 h/ha und ist damit auf Grund der Arbeitsvor- und Nachbereitungszeit und der ablaufbedingten Wartezeit deutlich höher als beim Traktor mit Mähwerk, bei dem sie 0,36 h/ha beträgt. Für die Roboter fallen pro Hektar insgesamt 3,00 Mh (Maschinenstunden) an. Davon entfallen nur 14 % auf die Kategorie andere Hauptzeit, die die eigentliche Arbeitsverrichtungszeit (Mähen), die Wendezeiten und die Leerfahrten am Schlag beinhaltet. Ablaufbedingte Wartezeiten, die in Anlehnung an Winkler und Frisch (2014) zur Hauptzeit gerechnet werden, machen 61 % und die Arbeitsvor- und Nachbereitungszeiten 24 % der Gesamtzeit aus. Die andere Hauptzeit umfasst die Hauptzeit ohne die ablaufbedingten Wartezeiten. Ihr Anteil an der Gesamtzeit ist beim Mähwerk am Traktor mit 53 % signifikant höher. Die ablaufbedingte Wartezeit der Bedienperson entsteht zwischen dem Abladen des letzten eingesetzten Roboters und dem Verladen des ersten Roboters.

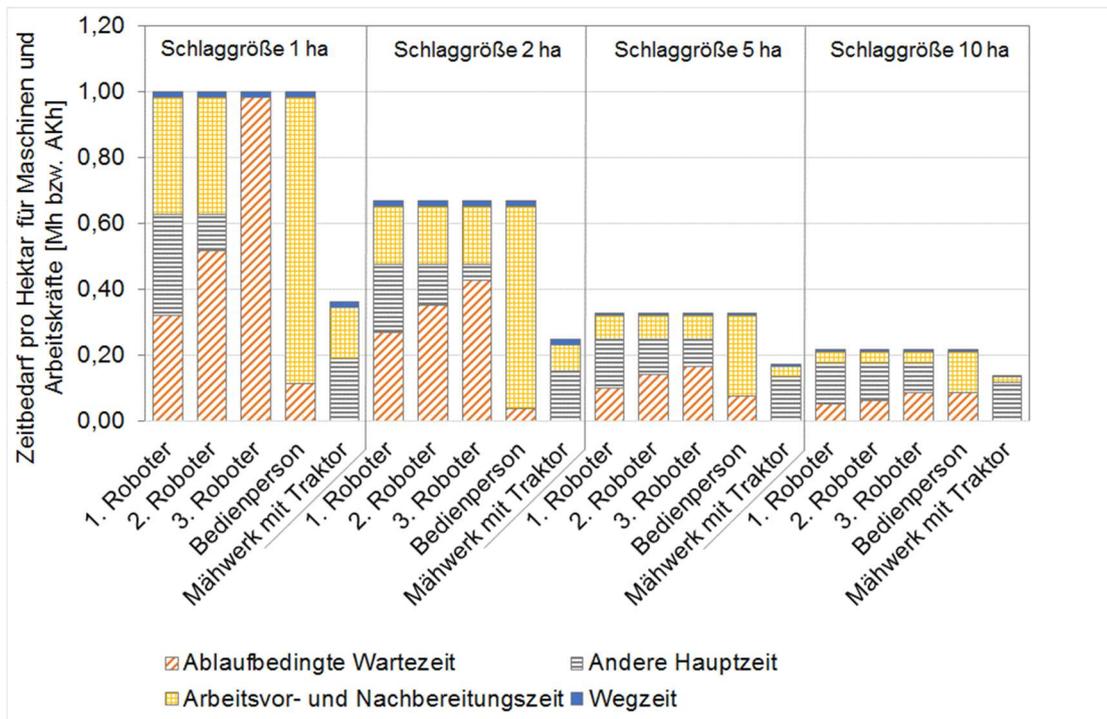


Abbildung 1: Vergleich des Zeitbedarfes für das Mähen von Grünland (Szenario Nebenzeiten hoch, alle Roboter arbeiten am gleichen Schlag, Bedienperson lädt Roboter nacheinander ab und auf).

Mit zunehmender Schlaggröße nimmt der Anteil der ablaufbedingten Wartezeiten an der Gesamtzeit aller Roboter stark ab und beträgt bei einer Schlaggröße von fünf Hektar 41 % und bei zehn Hektar 31 %. Der Anteil der anderen Hauptzeit steigt auf 35 % bzw. 49 %. Dadurch nimmt auch die Differenz in der Verfahrenszeit zwischen der Mechanisierung mit Robotern und traktorangebautem Mähwerk absolut und relativ ab.

Es wäre zu erwarten, dass auf Grund der dreifachen tatsächlichen Arbeitsbreite des Mähwerkes am Traktor die Summe der anderen Hauptzeiten aller eingesetzten Roboter den dreifachen Wert der anderen Hauptzeit des Traktors mit Mähwerk ausmacht. Laut Simulation benötigen die Roboter bei einem Hektar Schlaggröße nur rund 73 % und bei zehn Hektar 92 % des erwarteten Wertes. Dies ist darauf zurückzuführen, dass im Modell für die erste Umfahrt beim Anmähen eine verringerte Fahrgeschwindigkeit (6,0 km/h) und eine erhöhte Wendezeit (0,30 min) unterstellt wurden. Die damit verbundene Verringerung der Flächenleistung wirkt sich bei der größeren Arbeitsbreite des Mähwerkes am Traktor stärker aus als beim Roboter.

Wird das Abladen bzw. Verladen der Roboter auf das Transportfahrzeug automatisiert und die Bedienperson übernimmt die Überwachung des Vorganges, so sinken die Verfahrenszeit sowie der Zeitbedarf der Roboter und der Bedienperson deutlich. Unter den in Abbildung 1 unterstellten Rahmenbedingungen sowie einem Zeitabstand zwischen dem Beginn des automatischen Abladens der einzelnen Roboter von 0,50 min beträgt die Abnahme bei einer Schlaggröße von einem Hektar 32 % und bei einer Schlaggröße von zehn Hektar 22 %. Ein weiterer Effekt dieser Maßnahme ist, dass die andere Hauptzeit, wie in Abbildung 2 sichtbar, bei allen Robotern annähernd gleich wird und damit ein ungleicher Verschleiß der Arbeitswerkzeuge und ungleiche Wartungsintervalle der Roboter vermieden werden.

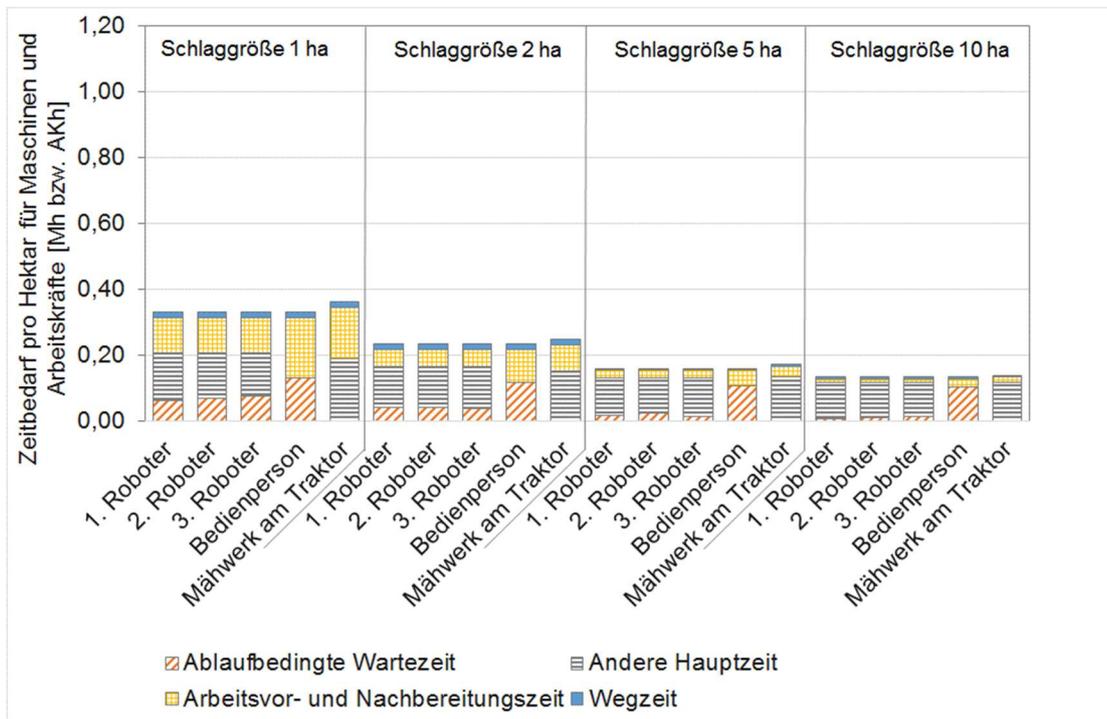


Abbildung 2: Vergleich des Zeitbedarfes für das Mähen von Grünland (Szenario Nebenzeiten verringert, alle Roboter arbeiten am gleichen Schlag, Roboter fahren autonom auf Transportfahrzeug bzw. herunter, Bedienung überwacht das Auf- bzw. Abfahren).

In Abbildung 2 werden zusätzlich die Nebenzeiten TV1 bis TV 4 verringert (siehe Tabelle 1). Durch diese Maßnahme sinkt die Verfahrenszeit der Roboter unter jene des Traktors mit Mähwerk. Damit wird durch die Bedienung der Roboter auch weniger Zeit aufgewendet als durch die Person, die den Traktor fährt. Der Unterschied in der Verfahrenszeit zwischen den Robotern und dem Traktor mit Mähwerk nimmt mit zunehmender Schlaggröße ab. Bei einer Schlaggröße von einem Hektar beträgt er 10 % und bei einer Schlaggröße von zehn Hektar nur mehr 4 %. Die ablaufbedingte Wartezeit der Bedienung nimmt vom Szenario in Abbildung 1 zum Szenario in Abbildung 2 zu. Besonders markant ist die Zunahme des Anteils an der Gesamtarbeitszeit. Er macht in Abbildung 2 zwischen 39 % (Schlaggröße 1 ha) und 78 % (Schlaggröße 10 ha) aus. Bei einer Schlaggröße von einem Hektar beträgt sie pro Schlag rund 8 AKmin und steigt bei einer Schlaggröße von fünf bzw. zehn Hektar auf 33 bzw. 63 AKmin an. Diese Zeit könnte bei den letzten beiden Schlaggrößen von der Bedienung für Pausen, eine andere Arbeit oder die Bedienung weiterer Roboter verwendet werden.

Um die Auswirkung einer geringen Flächenleistung auf den flächenbezogenen Zeitbedarf für ablaufbedingtes Warten und die Nebenzeiten zu untersuchen, wurde das Hacken von Zuckerrüben ausgewählt. In Abbildung 3 ist das Ergebnis der Simulation des Hackens auf Basis der in Tabelle 2 zusammengefassten Daten dargestellt. Aufgrund der geringeren Flächenleistung nimmt die andere Hauptzeit stark zu. Die ablaufbedingten Wartezeiten und die Nebenzeiten der Roboter verändern sich im Vergleich zu Abbildung 2 wenig. Damit nimmt ihr prozentueller Anteil stark ab. Bei der Bedienung bleiben die Nebenzeiten ebenfalls annähernd gleich, während die ablaufbedingten Wartezeiten stark zunehmen und zwischen 77 und 95 % der Gesamtzeit ausmachen. Absolut betragen sie bei einer Schlaggröße von einem Hektar 41 AKmin und erhöhen sich bei einer Schlaggröße von fünf bzw. zehn Hektar auf 3,30 bzw. 6,36 AKh.

Tabelle 2: Kennzahlen für Simulation des Arbeitsganges Hacken von Zuckerrüben

Mechanisierung	Kennzahl	Szenario Nebenzeiten verringert
Roboter mit 4-reihigem Hackgerät (tatsächliche Arbeitsbreite 1,8 m)	TV1: Vorbereitung des Ablade- bzw. Verladevorganges [AKmin]	1,50
	TV2: Abladen und Roboter einsatzbereit machen [AKmin]	3,10
	TV3: Roboter transportbereit machen und verladen AKmin]	3,20
	TV4: Transportfahrzeug zur Abfahrt bereit machen [AKmin]	2,10
	Hackgeschwindigkeit [km/h]	3,0
	Wendezeit [min]	0,31
Traktor mit zwölfreihigem Hackgerät (tatsächliche Arbeitsbreite 5,4 m)	Rüstzeit am Beginn des Schlages [AKmin]	3,09
	Rüstzeit am Ende des Schlages [AKmin]	3,22
	Hackgeschwindigkeit [km/h]	3,0
	Wendezeit [min]	0,31

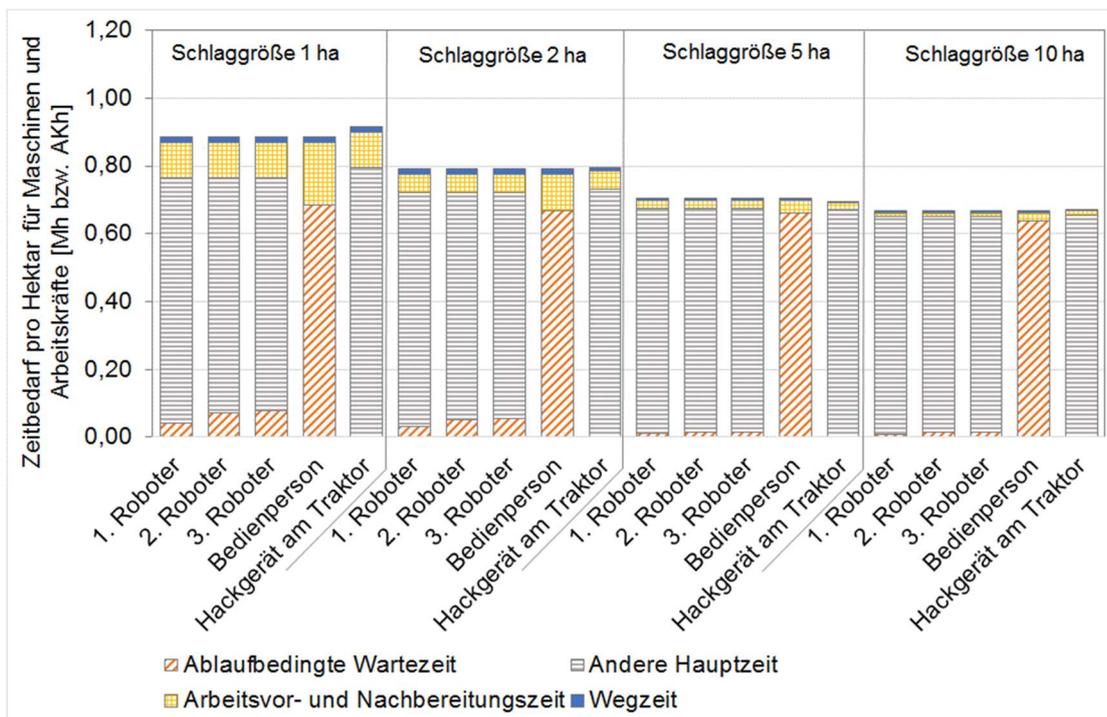


Abbildung 3: Vergleich des Zeitbedarfes für das Hacken von Rüben (Szenario Nebenzeiten verringert, alle Roboter arbeiten am gleichen Schlag, Roboter fahren autonom auf Transportfahrzeug bzw. herunter, Bedienperson überwacht das Auf- bzw. Abfahren).

In den bisherigen Abbildungen arbeiten alle Roboter auf dem gleichen Schlag und werden gemeinsam auf den nächsten Schlag überstellt. Damit Situationen, wie in Abbildung 1 bei einer Schlaggröße von einem Hektar dargestellt, vermieden werden können, werden die Roboter auf verschiedene Schläge verteilt. Abbildung 4 zeigt die Entwicklung des Arbeitszeitbedarfes der Bedienperson bei dieser Vorgehensweise, aber ansonsten gleichen Rahmenbedingungen wie in Abbildung 3.

Durch den Wechsel der Vorgehensweise steigt der Arbeitszeitbedarf der Bedienerperson beim Einsatz von drei Robotern auf Schlägen mit einer Größe von einem Hektar von 0,89 AKh/ha auf 0,96 AKh/ha an (vergleiche Säule 3 Roboter in Abbildung 4 mit Säule Bedienerperson bei einer Schlaggröße von einem Hektar in Abbildung 3). Der Anstieg wird durch die Zunahme der Arbeitsvor- und Nachbereitungszeiten sowie der Wegzeiten verursacht. Wird ein vierter Roboter eingesetzt und damit gleichzeitig auf vier Schlägen gearbeitet, sinkt der Arbeitszeitbedarf der Bedienerperson durch den Anstieg der gleichzeitig bearbeiteten Fläche und der Abnahme der ablaufbedingten Wartezeit unter den Arbeitszeitbedarf der Bedienerperson, die die selbe Fläche mit einem traktorangebauten zwölfreihigem Hackgerät bearbeitet (vergleiche Säule Hackgerät am Traktor). Werden zusätzliche Roboter eingesetzt, nehmen die ablaufbedingten Wartezeiten der Bedienerperson weiter bis Null ab. Wird danach die Anzahl der Roboter weiter erhöht, beginnt der flächenbezogene Arbeitszeitbedarf der Bedienerperson wieder zu steigen und es treten ablaufbedingte Wartezeiten bei den Robotern auf.

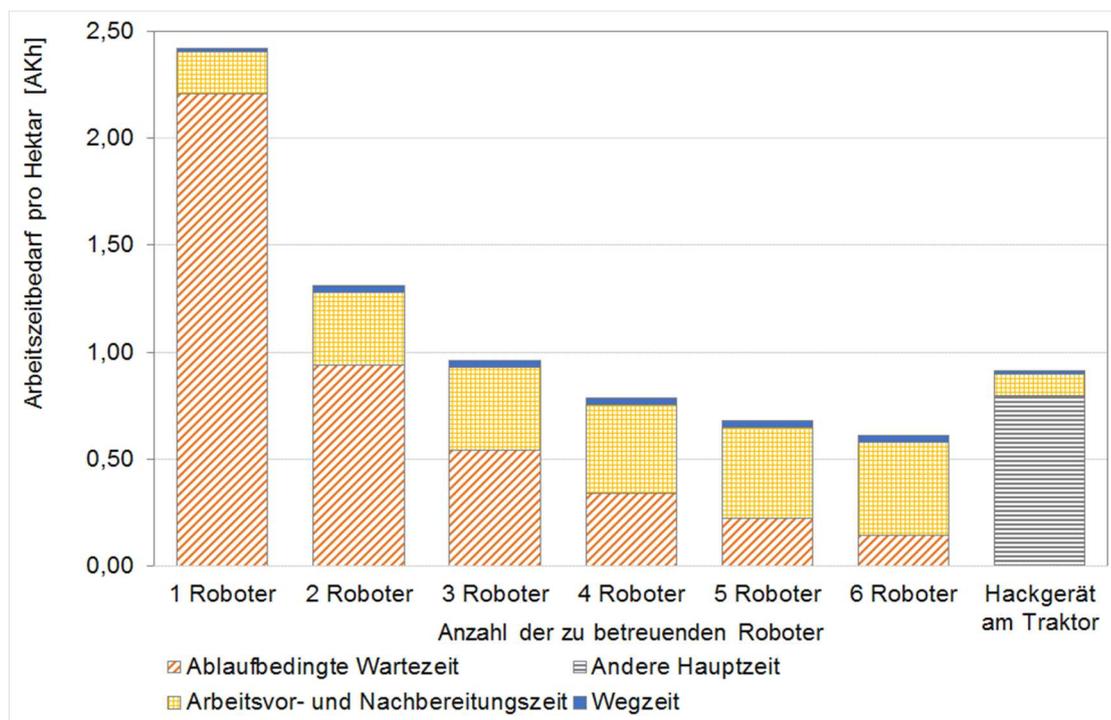


Abbildung 4: Arbeitszeitbedarf der Bedienerperson für das Hacken von Zuckerrüben (Szenario Nebenzeiten verringert, Roboter arbeiten auf verschiedenen Schlägen, Roboter fahren autonom auf Transportfahrzeug bzw. herunter, Bedienerperson überwacht das Auf- bzw. Abfahren, Schlaggröße 1 ha).

Werden keine Störzeiten berücksichtigt und sind keine Einstellarbeiten bzw. Arbeiten für das Be- und Entladen mit z. B. Saat- oder Erntegut erforderlich, ergibt sich die maximale von einer Bedienerperson bedienbare Anzahl von auf verschiedenen Schlägen arbeitenden Robotern, ohne dass sie bei den Robotern Wartezeiten verursacht, durch das Abrunden des mit Formel [1] berechneten Wertes  $a_r$ . Worin  $t_H$  der Hauptzeit eines Roboters,  $t_{32}$  der Arbeitsvorbereitungszeit,  $t_{33}$  der Arbeitsnachbereitungszeit und  $t_{34}$  der Wegzeit hin und retour zwischen den Schlägen entspricht. Alle Zeiten beziehen sich auf die Bearbeitung eines Schlages.

$$a_r = \frac{t_H}{t_{32} + t_{33} + t_{34}} \quad [1]$$

Aus der Formel ist ersichtlich, dass die von einer Bedienerperson bedienbare Anzahl von Robotern mit zunehmender Hauptzeit pro Schlag steigt sowie mit steigender Wegzeit, Arbeitsvor- und Arbeitsnachbereitungszeit sinkt.

Autonom am Schlag arbeitende Roboter bieten auch die Möglichkeit, dass sie nach dem Ende der täglichen Arbeitszeit der Bedienerperson weiterarbeiten. Können sie nicht autonom den Schlag wechseln, beträgt dieser Zeitraum, wenn sie einzeln am Schlag arbeiten, maximal der Hauptzeit, die für die Bearbeitung des Schlages erforderlich ist. Tabelle 3 illustriert, basierend auf den in Tabelle 1 und 2 festgelegten Rahmenbedingungen den Effekt der Schlaggröße und der Flächenleistung bei der betreffenden Tätigkeit. Beim Mähen von kleinen Schlägen ist der Zeitraum in dem Roboter autonom außerhalb der Dienstzeit der Bedienerperson nacharbeiten gering. Beim Hacken von Zuckerrüben auf großen Schlägen kann der Roboter durchaus bis zum nächsten Dienstantritt der Bedienerperson durcharbeiten.

Tabelle 3: Zeit, die Roboter nach Ende der Dienstzeit der Bedienerperson autonom weiterarbeiten

Tätigkeit	Einheit	Schlaggröße [ha]			
		1	2	5	10
Mähen - Roboter mit Mähwerk (3 m Arbeitsbreite)	h	0,37	0,63	1,40	2,64
Hacken - Roboter mit 4-reihigem Hackgerät (1,8 m Arbeitsbr.)	h	2,21	4,17	9,99	19,20

## Schlussfolgerungen

Sollen mehrere relativ kleine Roboter, die für das Überstellen von Schlag zu Schlag eine Bedienerperson benötigen, ein leistungsfähigeres, am Traktor angebautes Gerät ersetzen, muss der Überstellungsvorgang zeiteffizient gestaltet werden. Ist das nicht der Fall, liegt der Arbeitszeitbedarf der Bedienerperson deutlich über dem der Arbeitskraft am Traktor und die Verfahrenszeit liegt deutlich über der der Traktormechanisierung. Besonders kritisch sind in diesem Zusammenhang kleine Schläge bei Arbeiten mit einer hohen Flächenleistung wie zum Beispiel das Mähen von Grünland.

Sollen mehrere Roboter auf einem Schlag arbeiten, muss bei der Konstruktion des Transportfahrzeuges darauf geachtet werden, dass die Roboter möglichst gleichzeitig das Transportfahrzeug verlassen bzw. befahren können, da es ansonsten zu leistungsmindernden Wartezeiten kommt.

Werden alle Roboter auf verschiedenen Flächen eingesetzt, steigen im Vergleich zum gemeinsamen Einsatz auf einer Fläche die Wegzeiten sowie Arbeitsvor- und Nachbereitungszeiten der Bedienerperson. Allerdings steigt bei den Robotern der Anteil der Hauptzeit an der Gesamtarbeitszeit, das heißt, sie nützen die verfügbare Feldarbeitszeit besser aus.

Die ablaufbedingten Wartezeiten der Bedienerperson nehmen bei einer bestimmten Anzahl zu bedienender Roboter mit vermindertem Zeitbedarf für das Ver- bzw. Entladen der Roboter und mit steigender Schlaggröße zu. Um unproduktive Stehzeiten der Bedienerperson zu vermeiden, muss die Wartezeit für erforderliche Pausen, eine andere Arbeit oder die Bedienung weiterer Roboter verwendet werden.

Wie viele Roboter eine Person maximal bedienen kann, ohne dass Wartezeiten vor dem Überstellen auf den nächsten Schlag bei den einzeln auf einem Schlag arbeitenden Robotern auftreten, hängt vom Verhältnis zwischen Hauptzeit eines Roboters auf einem Schlag und der Summe aus der Wegzeit sowie der Arbeitsvor- und Arbeitsnachbereitungszeit für das Überstellen eines Roboters ab. Dies bedeutet, dass eine Bedienerperson umso mehr Roboter bedienen kann, je größer die Schläge und je kleiner die Flächenleistung der Roboter, die Wegzeit sowie die Arbeitsvor- und Arbeitsnachbereitungszeit sind.

Autonom am Schlag arbeitende Roboter können nach dem Ende der täglichen Arbeitszeit der für die Überstellung zum nächsten Schlag zuständigen Bedienerperson weiterarbeiten und so die verfügbare Feldarbeitszeit besser ausnützen als es mit einem von einer Arbeitskraft gesteuertem Gerät möglich wäre. Die verfügbare Feldarbeitszeit außerhalb der Dienstzeit der Bedienungsperson kann umso besser ausgenützt werden, je geringer die Flächenleistung beim durchgeführten Arbeitsgang ist. Positiv wirken sich in diesem Zusammenhang auch große Schläge und die Strategie Roboter einzeln auf einem Schlag arbeiten zu lassen aus.

## Literatur:

- Gonzalez-de-Santos, P., Ribeiro, A., Fernandez-Quintanilla, C., Lopez-Granados, F., Brandstötter, M., Tomic, S., Pedrazzi, St., Peruzzi, A., Pajares, G., Kaplanis, G., Perez-Ruiz, M., Valero, C., del Cerro, J., Vieri, M., Rabatel, G., Debilde, B. (2017): Fleets of robots for environmentally-safe pest control in agriculture. *Precision Agriculture*, August 2017, Volume 18, Issue 4, pp 574–614.
- Lowenberg-DeBoer, J., Huang, I.Y., Grigoriadis, V., Blackmore, S. (2019): Economics of robots and automation in field crop production. *Precision Agric* (2019) doi:10.1007/s11119-019-09667-5.
- Marinoudi, V., Sørensen, C. G., Pearson, S., Bochtis, D. (2019): Robotics and labour in agriculture. A context consideration. *Biosystems Engineering*, Volume 184, August 2019, Pages 111-121.
- Moriz, Ch. (2008): Überbetriebliche Ernte von Grassilage - Quaderballen als Alternative zu Feldhäcksler und Ladewagen? Eine arbeitswirtschaftliche Betrachtung. VDI-Berichte Nr. 2045, VDI-Verlag Düsseldorf 2008, Seite 231 – 236.
- Shamshiri, R., Weltzien, C., Hameed, I., Yule, I., Grift, T., Balasundram, S., Pitonakova, L., Ahmad, D., Chowdhary, G. (2018): Research and development in agricultural robotics: A perspective of digital farming. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(4), 1-14, <https://doi.org/10.25165/ijabe.v11i4.4278>.
- Winkler, B. und Frisch, J. (2014): Weiterentwicklung der Zeitgliederung für landwirtschaftliche Arbeiten. *Bornimer Agrartechnische Berichte*, Heft 83, Seite 14 – 21.



# Arbeitsverfahren zum Einsatz von Feldrobotern in der Ernte

Winfried Fechner<sup>1</sup> und Norbert Uebe<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle, Deutschland

<sup>2</sup>Alumnus Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle, Deutschland

E-Mail: fechner@landw.uni-halle.de

**Unter dem Aspekt der Verringerung der Bodenbelastung beim Einsatz von Landmaschinen wird dargestellt, welche Chancen die Kombination von leichteren Erntefeldrobotern und herkömmlichen Transportfahrzeugen bieten. Auf Grundlage der auf dem Feld notwendigen, minimalen theoretischen Transportarbeit erfolgt die Aufteilung der Felder in Beete sowie eine Konzeption der Fahrstrategien.**

**Die Länge der Beete der Ernteroboter wird durch die gewählten Radlasten sowie einem maximalen Zeitanteil für Abbunker- und Wendezeit bestimmt. In Abhängigkeit davon nutzen die Transportfahrzeuge die vorhandenen Fahrgassen auf dem Feld. Transporttechnik und Erntemaschinen arbeiten im rechten Winkel zueinander. Am Beispiel der Getreideernte werden mögliche Einsatzparameter der Ernte und Transporttechnik vorgestellt.**

**Stichworte: Feldroboter, Transport, Getreideernte, Bodenbelastung, Verfahren**

## Einführung

### Maschinengewicht und Bodenbelastung

Das Ziel, die Kosten je Flächeneinheit zu senken und die Schlagkraft zu erhöhen, führte und führt in Vergangenheit und Gegenwart zu immer größeren und schwereren Traktoren und Landmaschinen (Abbildung 1). Durch eine Verbesserung der Fahrwerke wird versucht, der damit verbundenen größeren Bodenbelastung entgegenzuwirken, um aus der Bodenverdichtung resultierende Ertragsausfälle in Grenzen zu halten.

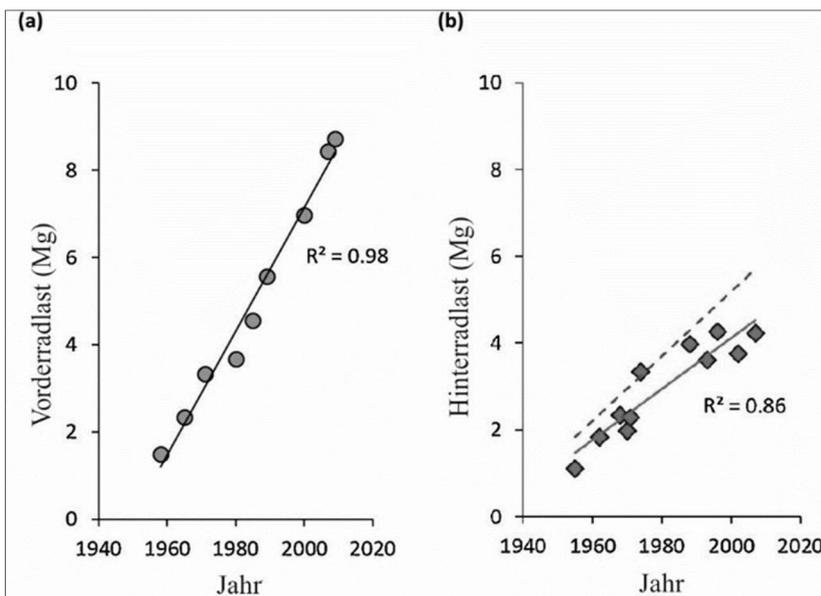


Abbildung 1: Historische Entwicklung von a) Vorderradlasten von Mähdreschern und b) Hinterradlasten von Traktoren [1].

Problematisch sind vor allem die schwer zu beseitigenden Unterbodenverdichtungen. [2, 3]. Håkansson und Reeder [4] stellten fest, dass noch nach 10 Jahren in einer Schicht unter 40 cm Tiefe keine Regeneration des Bodens festgestellt werden konnte, was zu einer dauerhaften Ertragsminderung von 2,5 % führte. Wie stark die Ertragseinbußen in der Praxis ausfallen, ist schwer zu bemessen, da nach dem langjährigen Einsatz von Traktoren und Maschinen eine weite Verbreitung der Unterbodenverdichtung auf gefährdeten Standorten vermutet werden kann. Daher werden die verdichtungsinduzierten Ertragsverluste in Feldversuchen wahrscheinlich unterschätzt [1]. Die gegenwärtige Entwicklung von kleineren Feldrobotern bietet eine gute Möglichkeit, das Maschinengewicht und die Bodenbelastung deutlich zu reduzieren.

### Dimensionierung von Feldrobotern

Eine Anzahl an Feldroboterkonzepten wurde in den letzten Jahren vorgestellt. Die Dimensionen der zukünftigen autonomen Arbeitsmaschinen sind noch offen. [5, 6].

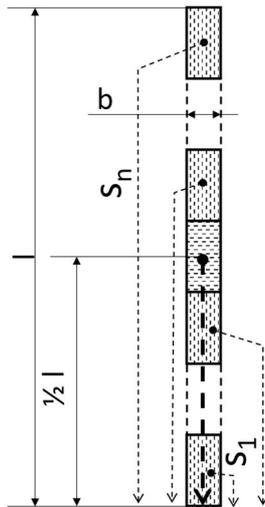
Für einen Einsatz von autonom arbeitenden Großmaschinen spricht die langjährige Erfahrung. Eine Vielzahl an Publikationen befasst sich mit der Vorausberechnung und Optimierung von Fahrtwegen dieser Ernte- und Transporttechnik auf dem Feld [7, 8, 9, 10].

Eine Nutzung von kleinen, leichten Feldrobotern bietet dagegen die Chance, die Bodenbelastung zu verringern. Kritisch sind aber die Transport- und Logistikprozesse bei großen Massenströmen zu beurteilen. SCHATTENBERG, SCHRAMM u. FRERICHS halten den Einsatz von Maschinen mit geringer Größe bei der Maisernte und Ausbringung organischer Dünger für ungeeignet [11].

### Schlaglänge und Bodenbelastung

Auch eine zunehmende Schlaglänge führt zu einer höheren Bodenbeanspruchung, da eine größere Menge Erntegut über weitere Strecken zu transportieren ist. Die Transportarbeit ist ein Maß dafür. Sie berechnet sich aus dem Produkt aus transportierter Menge in Tonnen und Transportentfernung in Kilometer.

Teilt man auf dem Feld einen Streifen in  $n$  Teilflächen auf und multipliziert die zugehörige Erntemasse mit der Entfernung zum Feldrand (Abbildung 2), lässt sich die Gleichung 1 für die minimale theoretische Transportarbeit ableiten.



$$\begin{aligned} A_T &= \sum (m_i \cdot s_i) \\ &= \sum (b \cdot l / n \cdot E \cdot s_i) \\ &= b \cdot l \cdot E \cdot \frac{1}{2} l \end{aligned}$$

$$A_T = \frac{1}{2} \cdot l^2 \cdot b \cdot E \quad [1]$$

- $A_T$ : Transportarbeit [t \* km]  
 $m_i$ : Erntemenge auf der Teilfläche [t]  
 $s_i$ : Transportweg für eine Teilfläche [m]  
 $l$ : Feldlänge [m]  
 $b$ : Breite [m]  
 $E$ : Ertrag [t/ha]

Abbildung 2: Teilflächen und Abstände zur Berechnung der Transportarbeit.

In Abbildung 3 wird die Transportarbeit in Abhängigkeit von der Feldlänge dargestellt. Mit zunehmender Feldlänge steigt die Transportarbeit überproportional an. Bei einer Feldlänge von 1000 m beträgt diese das 25-fache gegenüber einer Feldlänge von 200 m.

Die minimale theoretische Transportarbeit ist von der Lademasse der Transporteinheiten unabhängig. Niedrige Lademassen müssen durch eine höhere Anzahl an Überfahrten kompensiert werden. Bei großen Feldlängen kann deshalb, in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte, auch durch den Einsatz von leichten Transportfahrzeugen infolge der Anzahl Überfahrten eine Verdichtung nicht ausgeschlossen werden. Deshalb sollte die Nutzung von kürzeren Feldlängen eine übermäßige Bodenbelastung vermeiden helfen.

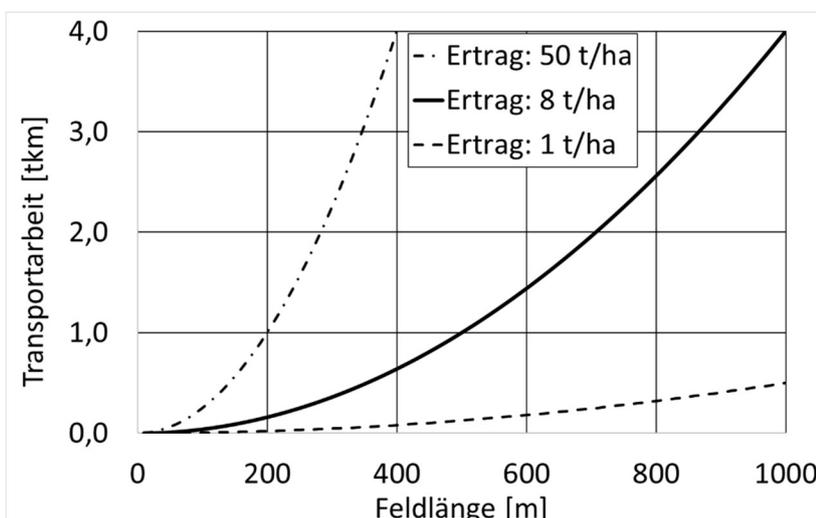


Abbildung 3: Theoretische Transportarbeit in Abhängigkeit von Feldlänge und Ertrag bei 10 m Arbeitsbreite.

## Einsatz von leichteren Feldrobotern für Erntearbeiten

Die Entwicklung von kleineren Feldrobotern bietet die Chance, durch eine geringere Gesamtmasse unerwünschte Bodenverdichtungen sowohl im Ober- als auch im Unterboden zu vermeiden. Bisher wurden vor allem im Bereich Bodenbearbeitung und Pflege entsprechende Entwicklungen vorgestellt. Je mehr Güter bei den Feldarbeiten geerntet bzw. ausgebracht werden müssen, desto schwieriger wird der Einsatz leichter Feldroboter. Die starke Abhängigkeit der Transportarbeit von der Feldlänge (Abbildung 3) bewirkt, dass mit steigender Feldlänge und höherem Transportumfang bei Nutzung geringerer Bunkergrößen das Leistungsvermögen der Maschinen beeinträchtigt wird.

Eine Lösung, die sich aus den Darstellungen ergibt, besteht darin, leichtere autonome Erntemaschinen gemeinsam mit konventioneller Transporttechnik einzusetzen. Diese Kombination kann sich folgendermaßen gestalten:

- Die Arbeitsrichtung der Erntetechnik und die Fahrtrichtung der Transporttechnik stehen im rechten Winkel zueinander. Daraus resultieren unterschiedliche Beetlängen für Ernte und Transport. (s. Abbildung 4)
- Die wirksame Beetlänge für die Ernteroboter ergibt sich aus dem Abstand der Fahrgassen für die Transportfahrzeuge. Durch die geeignete Wahl dieser Abstände können bodenschonend auch Erntemaschinen mit kleinerem Bunkervolumen eingesetzt werden.
- Die Feldlänge für die Transportfahrzeuge hängt von der Größe und Form des Schlages ab. Um auch bei großen Schlaglängen den Anforderungen bezüglich Transportarbeit gerecht zu werden, übernehmen konventionelle leistungsstarke Transportfahrzeuge den Guttransport.
- Durch die Nutzung fester Fahrgassen für den Transport kann eine erhöhte Bodenbelastung auf einen geringeren Flächenanteil begrenzt werden.

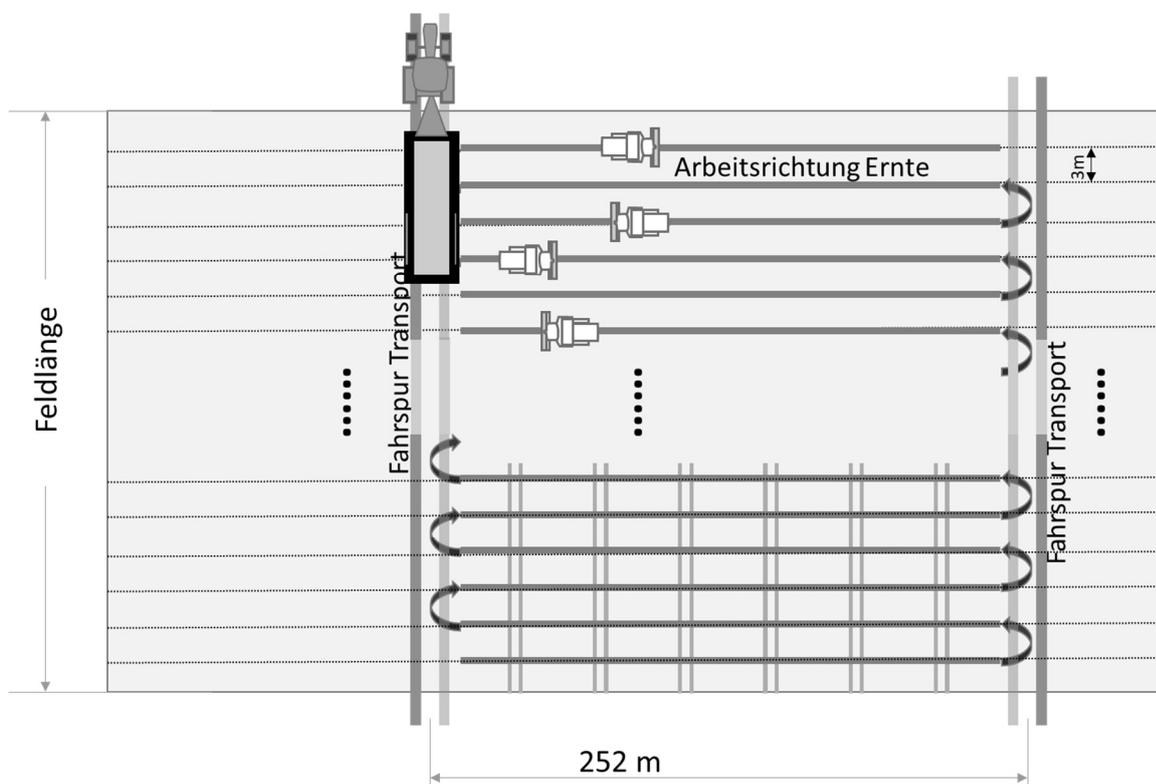


Abbildung 4: Kombiniertes Ernteverfahren mit kleineren, leichten Erntemaschinen und großer, leistungsstarker Transporttechnik (ohne Maßstab).

## Radlasten der Ernteroboter unter Berücksichtigung der Bodenverdichtung

Die Beetlänge, auf der die Feldroboter arbeiten, ist hinsichtlich der Ausnutzung der Arbeitszeit so groß wie möglich zu wählen. Dem steht bei Erntearbeiten aber eine Begrenzung der Beetlänge durch das zulässige Gesamtgewicht der Ernteroboter entgegen. Um unerwünschte Bodenverdichtungen zu vermeiden, darf die Radlast bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten.

KELLER et al. [1] geben einen Grenzwert für die maximale vertikale Bodenbeanspruchung von 50 kPa an, bei dem Bodenverdichtungen ausgeschlossen werden können. Von UNGUREANU et al. [12] wurden Berechnungen auf der Basis von FEM-Modellen für sandige Böden vorgestellt. Sie geben einen Grenzwert von 80 kPa für zulässige Drücke in den Bodenschichten an. In einer Tiefe von 35 cm wird dieser Grenzwert in den Berechnungen nur bei Radlasten von unter 13 kN sicher eingehalten.

P. SCHJØNNING et al. [13] berechnen, um in einer Tiefe von 40 cm den Bodendruck kleiner 50 kPa zu halten, für Reifendrucke größer 0,5 Bar ebenfalls eine Radlast von kleiner 2 t. Bei Messungen von ARVIDSSON [14] bleiben in 50 cm Tiefe nur bei Radlasten unterhalb von ca. 1,5 t die Bodendrucke unter 50 kPa.

Ausgehend von den aufgeführten Angaben werden deshalb für die maximale Radlast der Feldroboter 1,5 t vorgeschlagen. Im Programm „Terramino“ wurde diese Annahme an einem Beispiel überprüft (Abbildung 5) [15, 16].

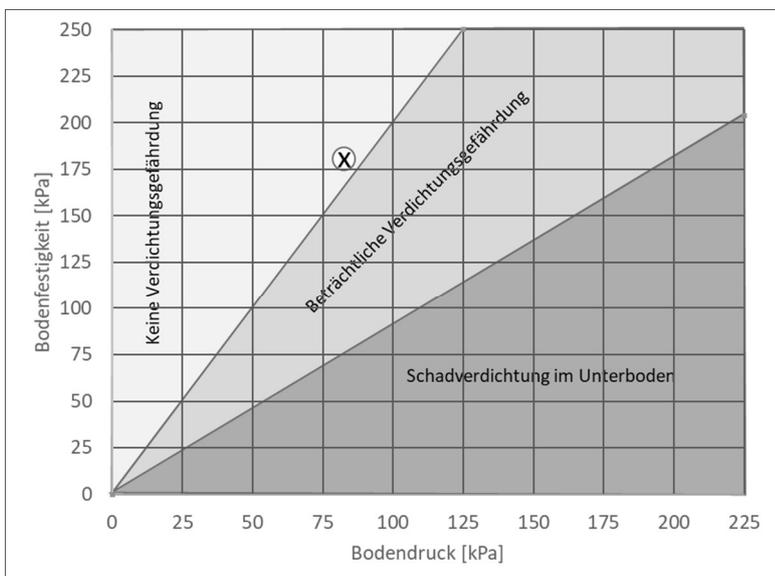


Abbildung 5: Vorhersage der Verdichtungsgefährdung durch Ernteroboter mit 1,5 t Radlast, 1 Bar Reifeninnendruck, mittelschwerer, mittelfeuchter Boden („Terramino“).

## Verfahrenstechnische Analyse der Beetlänge am Beispiel der Getreideernte

Für die Gestaltung eines Ernteverfahrens sind die Verfahrensparameter Arbeitsbreite, Beetlänge, Bunkervolumen, Durchsatz, Fahrgeschwindigkeit, Wendezeit, Entladezeit, Überladeleistung sowie Volumen und Geschwindigkeit der Transporttechnik zu wählen.

Bisher bestand beim Einsatz der Erntetechnik das Ziel darin, einen möglichst geringen Anteil an Wende- und Abbunkerzeit zu erreichen [17]. Mit der Aufgabe, kürzere Beetlängen zu nutzen und das Feld in Beete zu unterteilen, müssen davon Abstriche gemacht werden. Im Einsatzbeispiel wird deshalb für den Anteil der

Wende- und Abbunkerzeit ein Maximalwert von 20 % vorgegeben. Als Randbedingungen werden ein Ertrag von 90 dt/ha und eine erforderliche Kapazität von 6 ha/h festgelegt.

Im Abbildung 6 ist der Anteil der Wende- und Abbunkerzeit in Abhängigkeit von der Beetlänge und Arbeitsgeschwindigkeit dargestellt. Funktionswerte über 20 % wurden der Vorgabe entsprechend ausgeblendet. Bei Beetlängen von 250 m bleibt nur bis zu einer Arbeitsgeschwindigkeit von 5,5 km/h der Anteil der Wende- und Abbunkerzeit kleiner 20 %. Ab 300 m Beetlänge sind aus dieser Sicht Arbeitsgeschwindigkeiten bis 7 km/h zulässig.

Das erforderliche Bunkervolumen der Erntemaschine wird von ihrer Arbeitsbreite, der Beetlänge und dem Ertrag bestimmt. Die notwendige Feldrandabbunkerung ist nur an einem Beetende vorgesehen. Bei Beetlängen von 252 m und zwei Arbeitsbreiten (Hin- und Rückfahrt) von 4 m liegt bei Erträgen bis 90 dt/ha die Bunkermasse bei ca. 1800 kg. Eine Arbeitsgeschwindigkeit von 5 km/h vorausgesetzt, werden dann eine Flächenleistung von ca. 1,7 ha/h bzw. ein Durchsatz von 14,9 t/h erreicht. Damit könnten 4 Feldroboter einen leistungsfähigen Großmähdrescher ersetzen.

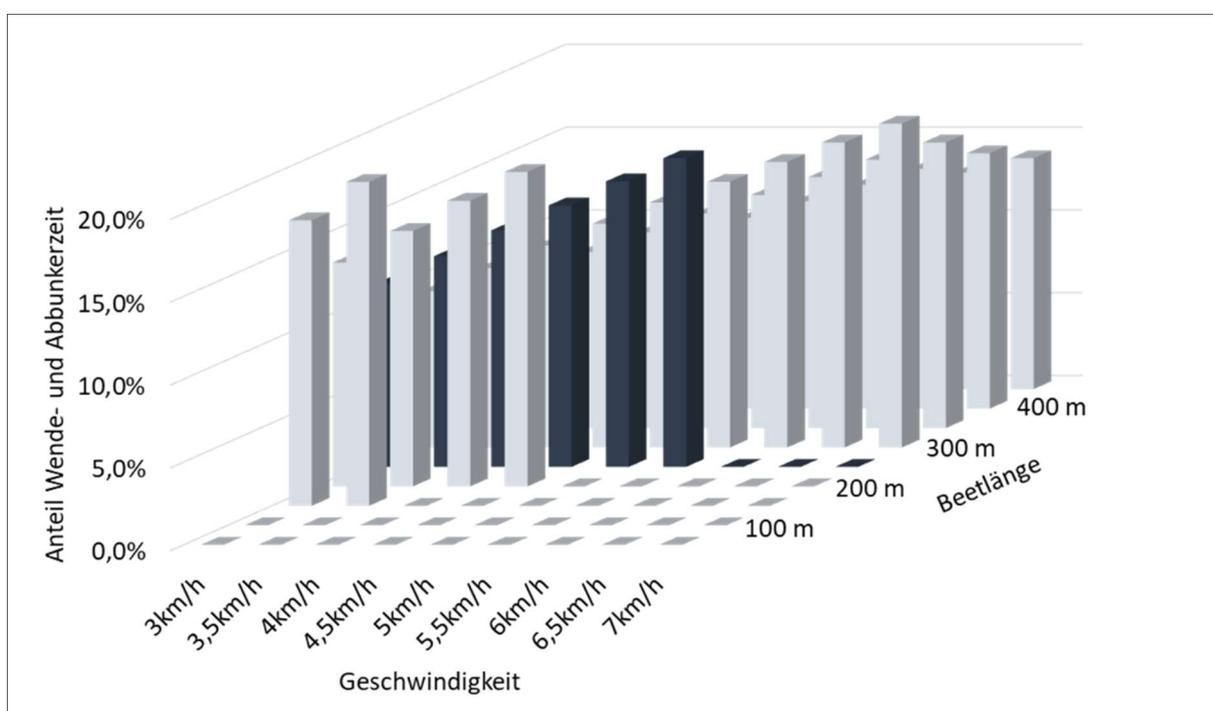


Abbildung 6: Anteil der Wende- und Abbunkerzeit in Abhängigkeit von der Beetlänge und Arbeitsgeschwindigkeit der Erntemaschine bei einer Wendezeit von 15 s und Abbunkerzeit von 1 Minute (Funktionswerte größer 20 % ausgeblendet.)

Der Einfluss von Wendezeit und Abbunkerzeit auf ihren eigenen Anteil an der Arbeitszeit ist in Abbildung 7 dargestellt. Ihr Anteil bleibt für alle geprüften Wendezeiten unter 20%, wenn die Abbunkerzeit weniger als 60 Sekunden beträgt.

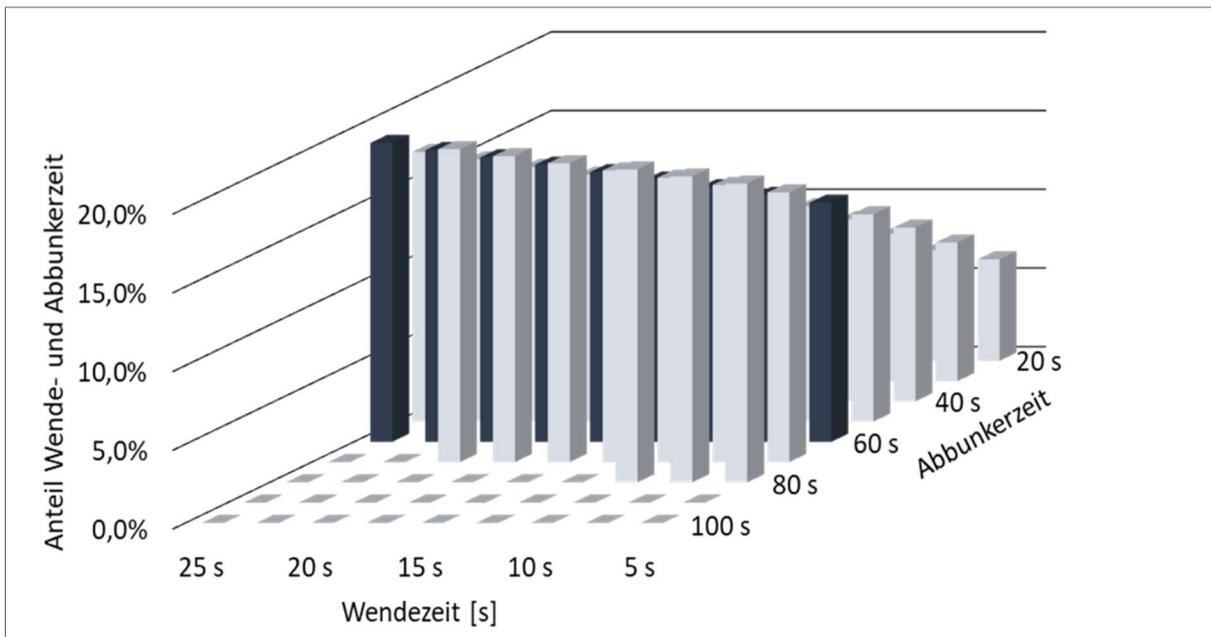


Abbildung 7: Anteil der Wende- und Abbunkerzeit bei 252 m Beetlänge und 5 km/h Arbeitsgeschwindigkeit der Erntemaschine (Funktionswerte größer 20 % ausgeblendet.)

Sind die Parameter der Erntemaschinen bekannt, können das Fassungsvermögen und die Umlaufzeit der Transportfahrzeuge bestimmt werden. Die Bunkermasse aller 4 Ernteroboter insgesamt sollte mindestens einmal auf das Transportfahrzeug passen. In unserem Fall wird die Lademasse auf 16 t (ca. 8 Abbunkervorgänge) festgelegt. Bei einem Durchsatz der Erntetechnik von bis zu 60 t/h müssen die Fahrzeuge bei hohem Transportaufkommen etwa viermal je Stunde befüllt werden. Bei zwei eingesetzten Transporteinheiten darf dann die Umlaufzeit maximal 30 Minuten betragen. Nach einer Beladezeit von 15 Minuten stehen somit für die Fahrt zum Feldrand und zurück sowie für das Entladen am Feldrand nicht mehr als 15 Minuten zur Verfügung (Tab.1).

Tabelle 1: Übersicht der gewählten Einsatzparameter

Erntetechnik Getreide (4 Ernteroboter)			Transporttechnik (2 Überladewagen)		
Beetlänge	252	m	Abbunkerzeit	8 x 1	min
Arbeitsbreite	4	m	Beladezeit (maximal)	15	min
Geschwindigkeit	5	km/h	Entladezeit (maximal)	5	min
Flächenleistung	1,7	ha/h	Fahrzeit (maximal)	10	min
Ertrag	9	t/ha	Umlaufzeit	30	min
Erntemasse	1814	kg	Lademasse	14512	kg

## Ökonomische Betrachtung

Die Verfahrenskosten bei der Getreideernte werden überwiegend von den Maschinenkosten bestimmt. Vorausgesetzt die jährliche Einsatzzeit der Feldroboter stimmt mit der heutiger Mähdrescher überein, sollten die aus Sicht der Erntekapazität notwendigen vier Feldroboter in unserem Beispiel zusammen nicht wesentlich mehr als ein vergleichbarer Großmähdrescher kosten.

Unsicherheiten bei der Kostenkalkulation sind aber zu berücksichtigen. Dazu gehört beispielsweise der Restwert. Beachtung ist auch dem zu erwartenden hohen moralischen Verschleiß zu schenken. Um einer vorzeitigen Überalterung der Feldroboter bei der derzeitigen dynamischen Entwicklung entgegenzuwirken, ist auf eine gute Nachrüstbarkeit und Updatefähigkeit zu achten.

## Literatur

- [1] Keller, T., et al., 2019, Historical increase in agricultural machinery weights enhanced soil stress levels and adversely affected soil functioning, *Soil and Tillage Research*, Volume 194
- [2] Brümmer, 2001, Einführung: Schadverdichtungen in Ackerböden - Entstehung, Folgen, Gegenmaßnahmen, 14. Wissenschaftliche Fachtagung, Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn, S. 71-74
- [3] Berisso, F.E., Schjønning, P., Keller, T., Lamandé, M., Etana, A., de Jonge, L.W., Iversen, B.V., Arvidsson, J., Forman, J., 2012. Persistent effects of subsoil compaction on pore characteristics and functions in a loamy soil. *Soil Tillage Res.* 122, 42–51.
- [4] Håkansson, I., Reeder, R.C., 1994, Subsoil compaction by vehicles with high axle load-extent, persistence and crop response, *Soil and Tillage Research*, Volume 29, S. 277-304
- [5] De Witte, T., Frerichs, L., Wegener, J. K., 2017. Mit autonomen Landmaschinen zu neuen Pflanzenbausystemen, Schlussbericht, Julius-Kühn-Institut, Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz, Braunschweig; Technische Universität Braunschweig, Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, Braunschweig und Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bollewik
- [6] Minßen, T.-F. und Schattenberg, J., 2018. Mit autonomen Landmaschinen zu neuen Pflanzenbausystemen. Schlussbericht zur Projektverlängerung, Technische Universität Braunschweig, Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, Braunschweig
- [7] Bochtis, D., Sorensen, C., 2010. The vehicle routing problem in field logistics: Part I & II. *Biosystems Engineering* 105: 180-188
- [8] Engelhardt, H., 2004. Auswirkungen von Flächengröße und Flächenform auf Wendezeiten, Arbeitserledigung und verfahrenstechnische Maßnahmen im Ackerbau. Dissertation, Justus-Liebig-Universität, Gießen
- [9] Kübler, S., Pickel, P., 2006. Development of modular software to simulate farming processes. *Proceedings of the CIGR*, VDI-Berichte Nr. 1958: 631 ff
- [10] Oksanen, T., 2007. Path planning algorithms for agricultural field machines. Dissertation, Aalto university of technology, Helsinki
- [11] Schattenberg, J., Schramm, F., Frerichs, L., 2019. Entwicklungsszenarien einer automatisierten Pflanzenproduktion, *Journal für Kulturpflanzen*, 71 (4). S. 101–107, Verlag Eugen Ulmer KG, Stuttgart
- [12] Ungureanu, N., et al., 2018. FEM modelling of machinery induced compaction for the sustainable use of agricultural sandy soils. *Proceedings 46th International Symposium: Actual tasks on agricultural engineering*, Opatija, Croatia, pp.201-211
- [13] Schjønning, P., Lamandé, M., Keller, T., Pedersen, J., Stettler, M., 2012. Rules of thumb for minimizing subsoil compaction. *Soil Use Manage.* 28, 378–393. 2012
- [14] Arvidsson, J., Soil stress as affected by wheel load and tyre inflation pressure, *Soil & Tillage Research* 96 (2007) 284–291
- [15] Terranimo: <https://www.terranimo.world/CH/> abgerufen am 06.12.20219, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften Bern
- [16] Stettler, M.: Terranimo - ein webbasiertes Modell zur Abschätzung des Bodenverdichtungsrisikos. *Landtechnik* 69 (2014) H.3, S.132-136
- [17] Fechner, W., Uebe, N., 2018. Zeitgliederung als Basis für die Optimierung des Maschineneinsatzes. In: 21. Arbeitswissenschaftliches Kolloquium, Arbeit in der Digitalen Transformation. 13-14. März, HBLFA Francisco Josephinum, Wieselburg, Österreich. 106-116.



## Arbeitswirtschaftliche Untersuchungen bei der Belüftungsheuproduktion

Juliana Mačuhová<sup>1</sup>, Bernhard Haidn<sup>2</sup> und Stefan Thurner<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising, Deutschland

<sup>2</sup>Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Poing, Deutschland

E-Mail: [juliana.macuhova@lfl.bayern.de](mailto:juliana.macuhova@lfl.bayern.de)

In einigen Regionen in Bayern steigt erneut das Interesse der Landwirte an einer Fütterung der Kühe mit Heu und damit auch an modernen Heutrocknungsanlagen. Es gibt jedoch nur wenige arbeitswirtschaftliche Daten für aktuell angewendete Verfahren bei der Belüftungsheuproduktion. Das Ziel dieser Studie war es, den Arbeitszeitaufwand insgesamt sowie für einzelne Arbeitsvorgänge bei der Belüftungsheuproduktion über Arbeitstagebücher an bayerischen Milchviehbetrieben zu untersuchen. Weiterhin sollten stichprobenartig die Erntegutmengen und Trockensubstanzgehalte des Erntegutes beim Einfahren ermittelt werden. Der durchschnittliche Arbeitszeitaufwand pro Schnitthektar für die Belüftungsheuproduktion lag bei den untersuchten Betrieben (n=5) insgesamt bei  $4,27 \pm 1,35$  Arbeitspersonenstunden (APh). Der höchste Arbeitszeitaufwand fiel dabei für die Bergung ( $0,82 \pm 0,27$  APh) an, gefolgt vom Mähen ( $0,65 \pm 0,21$  APh) und dem Einlagern des Erntegutes in die Trocknungsboxen ( $0,63 \pm 0,14$  APh). Für die Durchführung und Kontrolle des eigentlichen Trocknungsprozesses wurden im Durchschnitt  $0,33 \pm 0,17$  APh aufgewendet. Der Trockensubstanzgehalt des eingefahrenen Erntegutes über alle erfassten Chargen auf 9 untersuchten Betrieben lag im Durchschnitt bei  $72,0 \pm 10,9$  % und damit etwas höher als empfohlen.

**Stichworte:** Arbeitszeitaufwand, Belüftungsheuproduktion, Milchviehbetriebe

## Einleitung

Über ein Betriebswachstum und/oder eine Intensivierung der Produktion erhoffen sich viele Milchviehbetriebe konkurrenzfähig zu bleiben bzw. das notwendige Einkommen zu erwirtschaften. Es zeigt sich jedoch, dass auch die Herstellung von Nischenprodukten (wie z. B. die Produktion der garantiert traditionellen Spezialität (g. t. S.) Heumilch) zum ökonomischen Erfolg eines Betriebes führen kann. Weiterhin steigen jüngst die umwelttechnischen Anforderungen an den Bau von Siloanlagen und somit die Kosten für deren Bau stark an, wodurch Alternativen wieder in den Focus rücken. Um qualitativ hochwertiges Heu für die Fütterung der Kühe zu produzieren sowie wetterunabhängiger zu sein, steigt daher das Interesse der Landwirte an modernen Trocknungsanlagen für die Belüftungsheuproduktion.

Am häufigsten wird derzeit bei der Belüftungsheuproduktion die lose Verfahrenskette eingesetzt. Bei der losen Verfahrenskette reicht es, die Feuchtigkeit des Anwelkgutes während des Trocknens auf dem Feld auf 40 % zu reduzieren [1]. Damit kann die Zeit der Feldtrocknung sowie auch die Anzahl der Wendevorgänge im Vergleich zu der Bodenheuproduktion vermindert werden. Folgend können die Bröckelverluste nicht nur bei der Feldtrocknung sondern auch beim Schwaden und Einfahren des Gutes reduziert werden. Während die Bröckelverluste bei einem Klee-Grasbestand z. B. beim Schwaden mit 70 % Trockensubstanzgehalt des Gutes noch unter 10 % lagen, erreichten sie bei einem Trockensubstanzgehalt von 85 % bereits über 16 % [2].

Bei der Bergung ist darauf zu achten, dass das Gut im Ladewagen nicht zu stark verdichtet wird, da es sonst für die spätere Belüftung nicht ohne weiteres aufgelockert werden kann. Auch beim Einlagern ist zu beachten, dass die Trocknungsbox möglichst locker und gleichmäßig beschickt wird, um einen guten Trocknungserfolg zu erreichen [3]. Während bei der Werbung von Belüftungsheu im Vergleich zur Bodenheuproduktion etwas Arbeitszeit eingespart werden kann, ist beim Einfahren und Einlagern mit einem höheren Arbeitszeitbedarf zu rechnen. Dazu kommt noch die Arbeitszeit während des Trocknungsprozesses und für das Umlagern nach der Trocknung (falls die Kapazität der Trocknungsboxen nicht für alle Schnitte bzw. Chargen ausreicht). Bei der Belüftungsheuproduktion kommt es nicht selten vor, dass ein Schnitt (hauptsächlich der erste und zweite Schnitt) nicht auf einmal sondern in mehreren Chargen geerntet wird. Die Ursache hierfür liegt in der teuren Trocknungstechnik, die die Kapazität der Anlage begrenzt [4] bzw. auch in dem Ziel, Heu unterschiedlicher Qualität zu erzielen. Hierfür ist im Vergleich zur Silageproduktion ein höherer Lagerraumbedarf erforderlich, der durch das geringere spezifische Gewicht des Heus entsteht (z. B. 100 kg/m<sup>3</sup> bei einer Stockhöhe von 3 m und 140 kg/m<sup>3</sup> bei einer Stockhöhe von 6,5 m [5]).

Bedingt durch viele Einflussfaktoren variieren die arbeitswirtschaftlichen Daten für die Produktion von Grassilage, Boden- und Belüftungsheu in der Literatur stark [6; 7; 8]. Weiterhin gibt es nur wenige arbeitswirtschaftliche Daten für die aktuell angewendeten Verfahren bei der Belüftungsheuproduktion. Wenige Informationen gibt es auch über den Trockensubstanzgehalt des Erntegutes und die Erntegutmengen beim Einfahren.

Das Ziel unserer Studie war es daher, den Arbeitszeitaufwand insgesamt sowie für einzelne Arbeitsschritte bei der Belüftungsheuproduktion an bayerischen Praxisbetrieben zu untersuchen. Weiterhin sollten bei einzelnen Chargen bzw. Schnitten stichprobenartig auch die Trockensubstanzgehalte und Mengen des Erntegutes beim Einfahren ermittelt werden.

## Material und Methoden

Die Studie wurde im Jahr 2017 durchgeführt. Die Durchführung der Untersuchungen war auf 10 bayerischen Milchviehbetrieben vorgesehen. Hierfür wurden zunächst 30 Betriebe angefragt, von denen 15 Betriebe die Teilnahme an der Untersuchung zugesagt hatten. Letztendlich fand die Untersuchung nur auf 9 Betrieben

statt (auf 4 Betrieben konnten nur Probenahmen und Messungen vor Ort durchgeführt werden und auf den anderen 5 Betrieben fand auch die Erfassung der arbeitswirtschaftlichen Daten statt; siehe Tabelle 1).

### **Ermittlung der arbeitswirtschaftlichen Daten**

Die Ermittlung des Arbeitszeitaufwands für die gesamte Verfahrenskette (vom Mähen bis zum Abschluss der Trocknung bzw. dem Umlagern nach der Trocknung) bei der Belüftungsheuproduktion erfolgte über Arbeitstagebücher. Alle Arbeitskräfte, die am Betrieb in die Tätigkeiten rund um die Belüftungsheuproduktion involviert waren, sollten selbständig die Arbeitszeiten für die ausgeübten Tätigkeiten erfassen und in den Arbeitstagebüchern notieren. Die Erfassung der Arbeitszeiten erfolgte auf dem Niveau folgender Tätigkeiten: Mähen, Zetten, Wenden, Nachtschwaden, Schwaden, Bergung und Transport, Einlagern in die Trocknungsbox, Trocknungsprozess sowie Umlagern. Alle Arbeitszeiten sollten inklusive der Rüstarbeiten sowie Wartezeiten bzw. Störzeiten (dabei handelt es sich um die Zeit für kleinere Reparaturen die direkt bei der Ausführung des Arbeitsvorgangs durchgeführt wurden (wie z. B. das Anbauen eines abgefallenen Zinkens an den Kreiselzettwender während der Feldarbeit)) erfasst werden.

Die Erfassung der Daten mittels der Arbeitstagebücher sollte während aller Schnitte durchgeführt werden. Die Datenerfassung wurde jedoch nicht von allen Betrieben oder bei allen Chargen bzw. Schnitten durchgeführt. Auch wurde nicht auf allen Betrieben die gleiche Anzahl an Schnitten für die Belüftungsheuproduktion durchgeführt. Die Erfassung der Arbeitszeiten über Arbeitstagebücher haben daher, wie bereits erwähnt, letztendlich 5 Betriebe während des 1. bis 4. Schnitts und pro Schnitt während einer bis zwei Chargen durchgeführt. Damit variiert die Anzahl der Betriebe bei einzelnen Schnitten.

### **Ermittlung des Trockensubstanzgehaltes und der Frischmassemengen des Erntegutes beim Einfahren (Probennahme und Messungen vor Ort)**

Stichprobenartig wurde, wie schon angegeben, auf 9 Betrieben beim Einfahren der einzelnen Chargen bzw. Schnitte die Entnahme von Proben für die Ermittlung des Trockensubstanzgehalts des eingefahrenes Erntegutes sowie die Wiegung der Erntegutmengen je eingefahrener Fuhre durchgeführt. Insgesamt erfolgten Messungen während des Einfahrens bei 26 Chargen. Bei allen erfassten Schnitten (1 bis 4 Schnitte pro Betrieb) variierte die Anzahl der untersuchten Chargen pro Betrieb von 1 bis 5. Aber nicht bei allen Chargen bzw. Schnitten, bei denen die Betriebe Arbeitstagebücher geführt haben, wurden auch Probennahmen und Messungen vor Ort durchgeführt.

Zur Ermittlung der eingefahrenen Heumengen wurde eine Achslastwaage (DINI ARGEO Typ 3590EKRAF09, Wiegegenauigkeitsklasse III, (Herstellerangabe, nicht geeicht), Ablesbarkeit 10 kg) bestehend aus 2 Wiegeplattformen verwendet. Die Wiegung wurde je Achse des gesamten Gespanns bei jeder Ladewagenladung (falls vom zeitlichen Ablauf her möglich) durchgeführt. Von jeder Ladewagenladung wurde anschliessend eine Probe des eingefahrenen Gutes für die Trockensubstanzgehaltsbestimmung gezogen. Sofort nach der Entnahme wurden die Proben in Mengen von 300 - 500 g in einen „Crispac-Beutel“ eingewogen (Waage: Mettler PM6000, Ablesbarkeit/Genauigkeit 0,1 g). Zur Bestimmung des Trockensubstanzgehalts wurde die Ofentrocknung in einem Trockenschrank angewendet. Die Proben wurden für 24 h bei 105° C bis zur Massenkonstanz getrocknet und dann warm zurückgewogen.

### **Rahmenbedingungen und Datenauswertung**

Die Arbeitsbreite der Geräte und das Wassermaß der Ladewagen, die auf den Betrieben bei der Werbung und Bergung des Anwelkguts während der Belüftungsheuproduktion eingesetzt wurden, sind in Tabelle 1 dargestellt.

Bei der Datenauswertung wurden bei allen erfassten Parametern zuerst für jeden Betrieb die Mittelwerte je Schnitt berechnet, falls mehrere Chargen untersucht wurden. Anschließend wurden die Mittelwerte pro Schnitt über alle Betriebe sowie die Mittelwerte pro Betrieb über alle Schnitte berechnet. Die Mittelwerte über alle Schnitte und Betriebe wurden aus den Mittelwerten pro Betrieb über alle Schnitte berechnet.

Die statistische Datenauswertung wurde mit der Software SigmaPlot [9] durchgeführt. Dabei wurden parametrische bzw. nicht parametrische einfaktorielle Varianzanalysen mit Messwiederholung und der Tukey Post-hoc Test angewendet. Das Signifikanzniveau wurde auf einen p-Wert von  $\leq 0,05$  festgelegt.

Tabelle 1: Arbeitsbreite der Geräte und Wassermaß der Ladewagen, die auf den Betrieben bei der Werbung und Bergung von Anwelkgut für die Belüftungsheuproduktion eingesetzt wurden

Betrieb	Arbeitsbreite der Geräte insgesamt (m)			Wassermaß (m <sup>3</sup> )
	Mähwerk	Kreiselzettwender	Schwader	Ladewagen
A <sup>1</sup>	2,65	6,4	6,4	32
B <sup>1</sup>	4,8 oder 3,0	8,5	7,5	37
C <sup>1</sup>	3,0	6,9	3,1	30
D <sup>1</sup>	4,0 und/oder 5,0	7,6 und/oder 10,2	7,6 und/oder 10,2	35
E <sup>1</sup>	6,5	12,0	12,0	24 (1. Ladewagen, wird auch allein verwendet) oder zusätzlich 20 oder 14 (2. Ladewagen)
F <sup>2</sup>	-	-	-	40 und 45
G <sup>2</sup>	-	-	-	39
H <sup>2</sup>	-	-	-	35
I <sup>2</sup>	-	-	-	35

<sup>1</sup> Betriebe mit Erfassung der arbeitswirtschaftlichen Daten über Arbeitstagebücher und auch Messungen vor Ort beim Einfahren

<sup>2</sup> Betriebe nur mit Messungen vor Ort beim Einfahren

## Ergebnisse und Diskussion

Da es nur wenige arbeitswirtschaftliche Daten zur Belüftungsheuproduktion mit den aktuell angewendeten Verfahren samt Technik gibt, sollte diese Studie einen Überblick über die arbeitswirtschaftliche Situation bei der Belüftungsheuproduktion auf bayerischen Milchviehbetrieben geben.

Im Durchschnitt aller Schnitte lag die gemähte Fläche einer Charge auf den 5 Betrieben mit der Erfassung über Arbeitstagebücher bei  $7,63 \pm 4,2$  ha und bei  $9,72 \pm 7,60$  ha auf allen 9 Betrieben.

Der durchschnittliche Arbeitszeitaufwand pro Schnitthektar für die Belüftungsheuproduktion lag bei insgesamt  $4,27 \pm 1,35$  Arbeitspersonenstunden (APh) (Abbildung 1) und damit höher als für die Silageproduktion bei loser Verfahrenskette [6; 10]. Signifikante Unterschiede ( $P > 0,05$ ) zwischen einzelnen Schnitten konnten nicht beobachtet werden; aber wie bereits erwähnt, haben nicht alle Betriebe alle Schnitte bzw. die Datenerfassung während aller Schnitte oder Chargen durchgeführt.

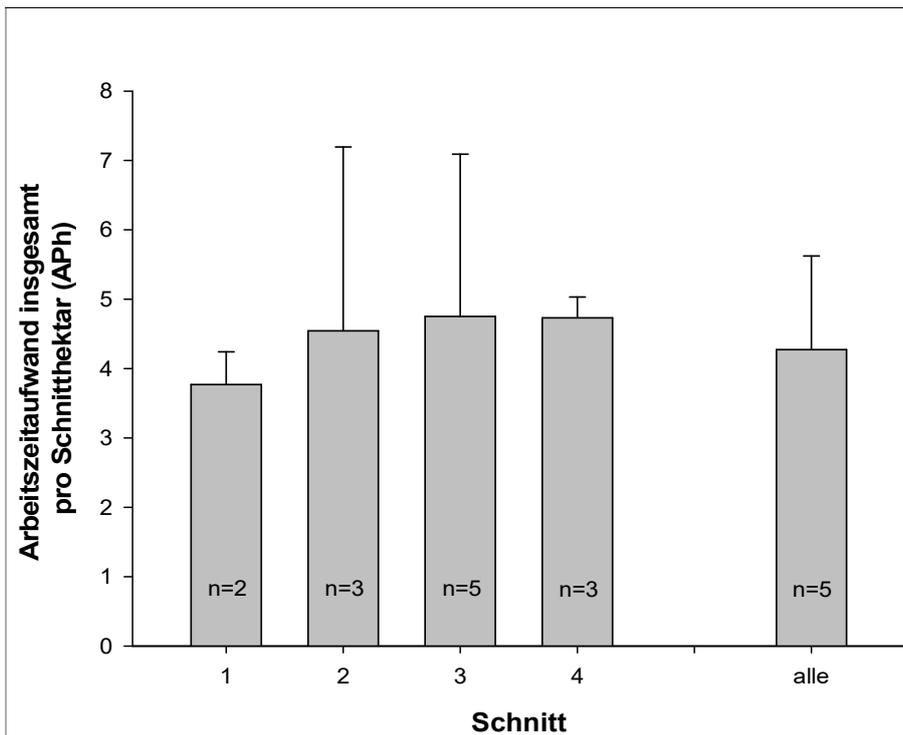


Abbildung 1: Arbeitszeitaufwand insgesamt (Mittelwert $\pm$ SD) pro Schnitthektar (APh) bei einzelnen Schnitten sowie über alle Schnitte für die Belüftungsheuproduktion (n=Anzahl Betriebe; Ergebnisse aus den Arbeitstagebüchern).

Die angewendete Technik bei der Werbung und Bergung auf den untersuchten Betrieben entsprach dem Stand der Technik und wurde sogar häufig größer dimensioniert als für die Betriebe mit Heuproduktion angenommen wird [4; 11]. Die einzelnen Tätigkeiten betreffend, fiel der höchste Arbeitszeitaufwand für die Bergung und den Transport an, gefolgt vom Mähen und dem Einlagern des Erntegutes in die Trocknungsbox (Abbildung 2).

Damit wurde auf den untersuchten Betrieben hauptsächlich beim Mähen und Einfahren ein höherer Arbeitszeitaufwand im Vergleich zum theoretischen Arbeitszeitbedarf für vergleichbare Technik mit vergleichbaren Arbeitsbreiten (berechnet mittels des KTBL-Feldarbeitsrechners [12]) ermittelt. Im Vergleich zu den arbeitswirtschaftlichen Daten, betrachtet über alle Schnitte und publiziert bei Bohne et al. [4], wurde auf den von uns untersuchten Betrieben beim Mähen, Wenden (inklusive Zetten) und Einlagern ein vergleichbarer Arbeitszeitaufwand beobachtet, während dieser beim Schwaden (inklusive Nachtschwaden) und bei der Bergung etwas höherer lag. Die Arbeitsbreite der Technik, die für die arbeitswirtschaftlichen Berechnungen in der Veröffentlichung von Bohne et al. [4] verwendet wurde, war jedoch bei allen untersuchten Arbeitsvorgängen geringer als auf den in dieser Studie untersuchten Betrieben.

Bei der Bergung des Gutes wurde grundsätzlich auf allen Betrieben auf eine geringe Pressung des Erntegutes auf dem Ladewagen geachtet. Beim Einsatz der Messer zum Schneiden des Erntegutes beim Laden wurden unterschiedliche Ansätze auf den einzelnen Betrieben verfolgt (von nie eingesetzt, über in Abhängigkeit von der Länge des Erntegutes bis hin zu immer Messer zum Schneiden im Einsatz). Dabei wurde bei der Bergung auch auf die Feuchtigkeit des eingefahrenen Erntegutes geachtet und bei einer höheren Feuchtigkeit des Erntegutes wurde der Ladewagen noch lockerer bzw. sogar nur teilweise befüllt.

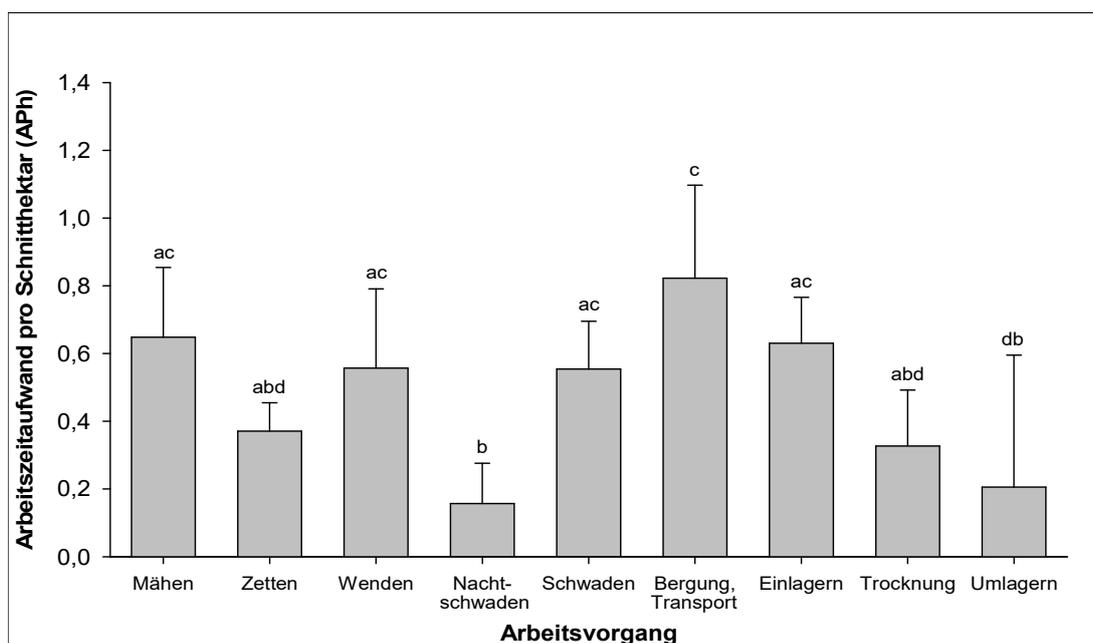


Abbildung 2: Arbeitszeitaufwand pro Schnitthehtar (Aph) für einzelne Arbeitsvorgänge bei der Belüftungsheuproduktion (n=5 Betriebe; Ergebnisse aus den Arbeitstagebüchern).

a,b,c,d Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben waren signifikant unterschiedlich bei  $P < 0,05$ .

Der Trockensubstanzgehalt des eingefahrenen Erntegutes über alle erfassten Chargen lag im Durchschnitt bei  $71,7 \pm 5,5$  % auf den Betrieben mit Führung der Arbeitstagebücher und bei  $72,0 \pm 10,9$  % auf allen Betrieben (Abbildung 3) und damit etwas höher als die Empfehlungen von 60 bis 70 % für die lose Verfahrenskette [1; 13]. Die untere Grenze wird wegen der Dimensionierung der Technik und die obere Grenze wegen der Bröckelverluste empfohlen. Auch in der Studie von Bohne und Henzel [14] lag der Trockensubstanzgehalt des Erntegutes beim Schwaden im Durchschnitt um 70 %, wobei die Bröckelverluste (Medianwert) bei 7 % lagen und damit auf einem relativ geringen Niveau.

Der Trockensubstanzgehalt variierte jedoch nicht nur zwischen einzelnen Chargen/Schnitten sondern auch zwischen den einzelnen Fahren einer Charge auf einem Betrieb (die minimale Differenz zwischen den einzelnen Fahren bei einer Charge lag bei 4,3 % und die maximale bei 24,4 %). Dazu konnte beobachtet werden, dass eher trockener eingefahren wurde, sofern es das Wetter ermöglichte.

Die stichprobeartig erfasste eingefahrene Frischmasse pro Ladewagen lag auf den Betrieben mit der Führung der Arbeitstagebücher bei  $1,74 \pm 0,81$  t (entspricht  $1,21 \pm 0,52$  t Trockenmasse) und bei  $1,81 \pm 0,62$  t Frischmasse (Abbildung 4) bzw.  $1,26 \pm 0,41$  t Trockenmasse auf allen untersuchten Betrieben. Bei der Mehrheit der Betriebe war das Wassermaß der eingesetzten Ladewagen über  $30 \text{ m}^3$  und somit entsprechend dem aktuellen Stand der Technik bei der Heuproduktion oder sogar größer.

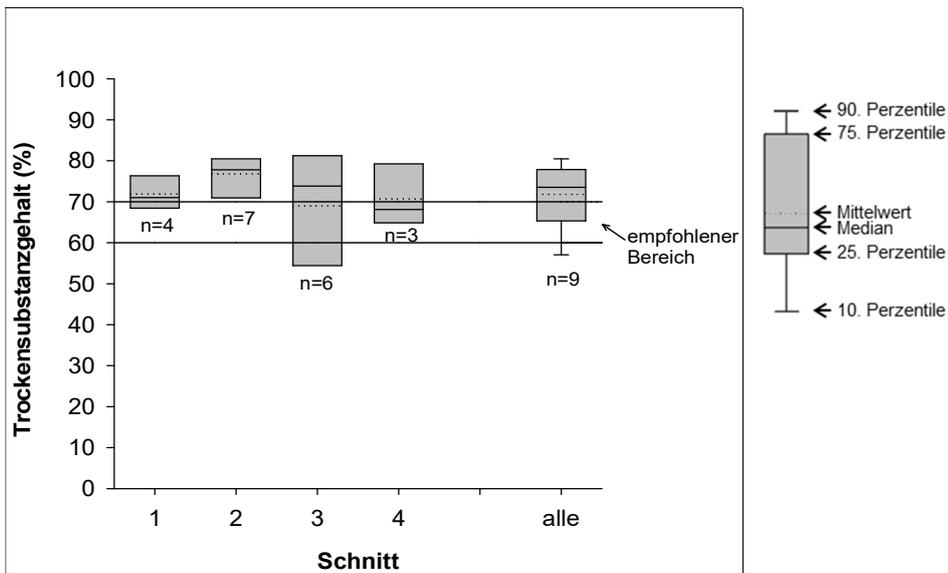


Abbildung 3: Trockensubstanzgehalt (%) des eingefahrenen Erntegutes bei den einzelnen Schnitten sowie über alle Schnitte (n=Anzahl Betriebe; Ergebnisse aus der vor Ort Beprobung).

Der durchschnittliche Ertrag pro Schnitt (über alle Schnitte) lag auf den Betrieben mit der Führung der Arbeitstagebücher bei  $1,82 \pm 0,30$  t/ha Trockenmasse und auf allen untersuchten Betrieben bei  $1,81 \pm 0,48$  t/ha Trockenmasse. Somit lag der Ertrag auf einem niedrigeren Niveau als in der Studie von Bohne und Hensel (2016), wobei es sich dabei um den Ertrag von Luzerne-Klee-Gras handelte, und als auch in der Studie von Wirleitner und Wyss [15]. Der Ertrag war jedoch, vergleichbar (zumindest für den zweiten und dritten Schnitt) mit den Angaben von Bohne et al. [4] zum Ertrag bei den Folgeschnitten für ökologisch bewirtschaftetes, kleebetontes Grünland mit mittlerem Ertrag und vier Schnitten. Auf den von uns untersuchten Betrieben handelte es sich um den Ertrag bei Dauergrünland. Dabei wurde die Mehrheit der untersuchten Betriebe ökologisch bewirtschaftet, womit mit niedrigeren Erträgen im Vergleich zu konventionell bewirtschafteten Betrieben zu rechnen ist. Es ist auch mit Ungenauigkeiten bei der Wiegung zu rechnen. Bei dem angewendeten Typ der Achslastwaage ist mit 3 % Messfehler bei der Wiegung jeder Achse des Ladewagens zu rechnen.

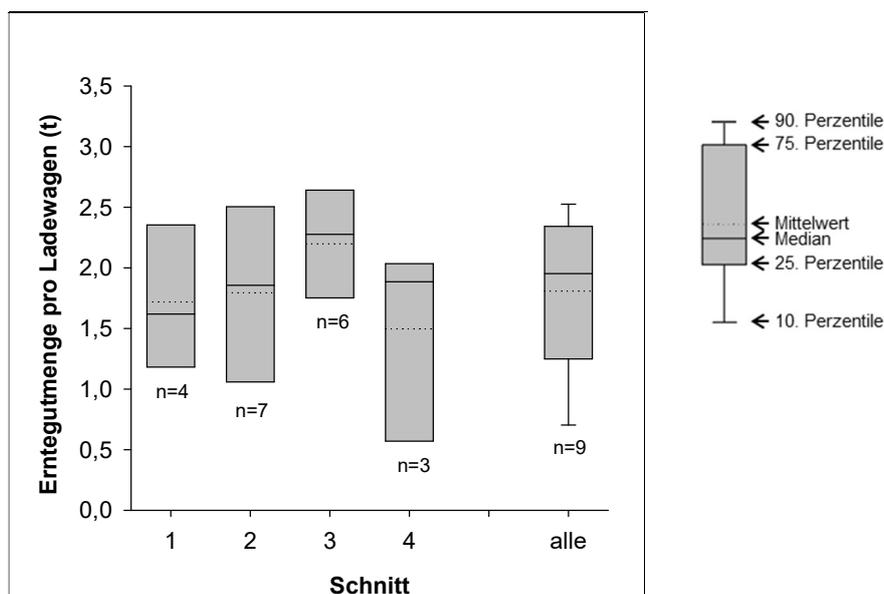


Abbildung 4: Erntegutmenge (Frischmasse) pro Ladewagen (t) bei den einzelnen Schnitten sowie über alle Schnitte (n=Anzahl Betriebe; Ergebnisse aus der vor Ort Beprobung).

Für das Einlagern des Anwelkgutes in die Trocknungsbox wurde auf den meisten Betrieben ein ähnlicher oder sogar geringerer Arbeitszeitaufwand wie für die Bergung benötigt. Fast bei allen Betrieben sind oder wären gerade für den Kranfahrer Wartezeiten entstanden, die jedoch unterschiedlich behandelt wurden. Es gab Betriebe, bei denen der Kranfahrer auf dem Kran bis zum nächsten Abladen gewartet hat und andere Betriebe, bei denen er in dieser Zeit andere Tätigkeiten durchführte bzw. etwas später mit der Arbeit angefangen hat. Damit sind bei letzteren keine oder nur geringere Wartezeiten für das Einlagern entstanden.

Von Interesse war auch der Arbeitszeitaufwand für die zusätzlichen Tätigkeiten bei der Trocknung und nach der Trocknung. Für die Durchführung und Kontrolle des eigentlichen Trocknungsprozesses wurden im Durchschnitt  $0,33 \pm 0,17$  APh benötigt. Der Arbeitszeitaufwand variierte dabei zwischen den Chargen bzw. Betrieben zum einen aufgrund des Trocknungsverlaufs, aber auch aufgrund der Art der Regelung des Trocknungsprozesses (manuell oder automatisch). Der Verlauf des Trocknungsprozesses wurde vor allem anhand der Messwerte der Trocknungsanlage kontrolliert. Die Kontrolle erfolgte aber auch sensorisch (händisch oder barfußgehend) oder über die Messung der Feuchtigkeit mit einem Feuchtigkeitsmessgerät beim Gehen über den Heustock. Wenn notwendig (bei Kaminbildung bzw. nassen Nestern) wurde das Heu in der Trocknungsbox (von Hand oder auch mit dem Kran) umgeschichtet.

Nicht zu unterschätzen ist auch der Arbeitszeitaufwand für das Umlagern des Heus aus den Trocknungsboxen zu einem Lagerplatz oder einer anderen Trocknungsbox, der im Durchschnitt bei  $0,21 \pm 0,39$  APh lag. Nicht selten war die Kapazität der Trocknungsboxen nur für die Trocknung eines Schnittes oder sogar nur einer Charge konzipiert. Bei dieser Tätigkeit könnte in Wirklichkeit der Arbeitszeitaufwand etwas höher sein, da diese Daten nicht bei allen Betrieben immer erfasst wurden.

Zusammenfassend ließ sich feststellen, dass der höchste Arbeitszeitaufwand bei der Belüftungsheuproduktion für die Bergung, gefolgt vom Mähen und Einlagern des Erntegutes in die Trocknungsbox anfiel. Nicht zu unterschätzen war auch der Arbeitszeitaufwand für die Trocknung und das Umlagern des Gutes nach der Trocknung. Wenn es möglich war, tendierten die Betriebe dazu, das Gut eher trockener einzufahren als empfohlen.

## Danksagung

Die Studie wurde durch das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten finanziert (FKZ: A/18/06). Unser Dank geht auch an die an der Studie teilnehmenden Landwirte.

## Literatur

- [1] Wirleitner, G., Aschauer, Ch., Jakschitz-Wild, S., Kittl, M., Neuhofer, K., Nydegger, F., Ostertag, J., Pöllinger, A., Resch, R. und Thurner, S. (2014). Richtlinien für die Belüftungstrocknung von Heu. Landwirt (Sonderbeilage) 10, 17-27.
- [2] Bohne, B. (2015). Was ist bei der Gewinnung von hochwertigem Heu zu beachten? Rheinische Bauernzeitung 17, 38-40.
- [3] Aschauer, Ch., Jakschitz-Wild, S., Kittl, M., Neuhofer, K., Nydegger, F., Ostertag, J., Pöllinger, A., Resch, R., Thurner, S. und Wirleitner, G. (2014). Richtlinien für Heubelüftungsanlagen. Eine fachgerechte Planung sichert den Erfolg und spart Kosten. Agroscope Transfer 38, 7 S.
- [4] Bohne, B., Braun, J., Funk, M., Jakschitz-Wild, S., Kittl, M., Nilles, L., Pöllinger, A., Thurner, S. und Wirleitner, G. (2017). Belüftungsheu. Qualität - Verfahren - Kosten. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), (Hrsg.) Darmstadt, 64 S.
- [5] Baumgartner, J. (1995). Das Raumgewicht von Heu – Neben der Technik mischt auch der Betriebsleiter mit. FAT Berichte 471, 4 S.
- [6] Eichhorn, H. (1999). Landtechnik, (Hrsg.) Stuttgart, Ulmer, 7. Edition, 688 S.
- [7] Schick, M. und Stark, R. (2002). Arbeitswirtschaftliche Kennzahlen zur Raufutterernte. FAT-Berichte 588, 12 S.
- [8] Ammann, H. (2007). Feuchtheu als mögliche Konservierungsart für Raufutter. ART-Berichte 685, 12 S.
- [9] SigmaPlot (2008). SigmaPlot 11.0 Systat Software Inc.
- [10] k. A. (o. J). Verfahrenskosten für die Grassilagebereitung. BW agrar online. Online verfügbar: <http://www.bwagrar.de/Aktuelles/Verfahrenskosten-fuer-die-Grassilagebereitung,L0INR19aT09NP0FJRD0yNDEzMj4JkZJR D0yNDEzMjMwJk1JRD01MTY0NA.html> (aufgerufen am 21.04.2015).
- [11] Greimel, M., Handler, F., Stadler, M. und Blumauer, E. (2003). Methode zur Ermittlung des einzelbetrieblichen und gesamtösterreichischen Arbeitszeitbedarfes in der Landwirtschaft. Die Bodenkultur 54 (2), 143-152. Online verfügbar: <https://diebodenkultur.boku.ac.at/volltexte/band-54/heft-2/Greimel.pdf> (aufgerufen am 21.04.2015).
- [12] KTBL, (2019). KTBL-Feldarbeitsrechner, 2008-2017 Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL). Online verfügbar: <https://daten.ktbl.de/feldarbeit/entry.html#0> (aufgerufen am 21.11.2019).
- [13] Kolb, R.E. (2015). Ökologische Heutrocknung mit dem AGRIFRIGOR™-Verfahren (Entfeuchter). 15 S. Online verfügbar: <https://www.frigortec.com/mediathek/pdf/heuaufsatz-fuer-web.pdf> (aufgerufen am 18.11.2019).
- [14] Bohne, B. und Hensel, O. (2016). Verbesserung der Heubergetechnik. Schlussbericht FKZ: 12NA033, 65 S. Online verfügbar: <https://orgprints.org/30792/1/30792-12NA033-uni-kassel-hensel-2016-heubergetechnik.pdf> (aufgerufen am 25.11.2019).
- [15] Wirleitner, G. und Wyss, U. (2015). Richtlinien zur Trocknung von Rundballen. Agroscope Transfer Nr. 91, 8 S.



# Arbeitswirtschaftliche Untersuchungen zum Einsatz von Tierortungssystemen auf Milchviehbetrieben

Lukas Irlbacher<sup>1</sup>, Martin Höhendinger<sup>1,2</sup>, Juliana Mačuhová<sup>3</sup>, Maximilian Treiber<sup>1</sup> und Heinz Bernhardt<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Technische Universität München, Deutschland

<sup>2</sup>Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Freising, Deutschland

<sup>3</sup>Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising, Deutschland

E-Mail: [lukas.irlbacher@t-online.de](mailto:lukas.irlbacher@t-online.de)

In letzter Zeit kommen vermehrt Herdenmanagement-Systeme mit integrierter Echtzeit-Tierortung auf den Markt. Neben der Erkennung von Brunst oder Lahmheit durch Aktivitätsmessung wird hierbei von den Herstellern der Ortungssysteme mit einer zusätzlichen Zeitersparnis bei der Routinearbeit „Tiersuche“ geworben. Zu der tatsächlich eingesparten Arbeitszeit gibt es jedoch bislang kaum detaillierte wissenschaftliche Untersuchungen. In dieser Untersuchung sollte daher festgestellt werden, ob und wie viel Zeit durch den Einsatz von Tierortungssystemen eingespart werden kann.

In diesem Zusammenhang wurde überprüft, ob die Tiersuche mit Ortungssystem einen kürzeren Arbeitszeitaufwand benötigt als die Tiersuche ohne Ortungssystem. Die Untersuchung wurde im Milchgewinnungszentrum Triesdorf durchgeführt. Die durchschnittlich 60 Kühe große Herde wurde mit zwei Tierortungssystemen, CowView und Nedap, überwacht.

Insgesamt wurden vier verschiedene Varianten, zwei mit Ortungssystem (CowView und Nedap) und zwei ohne Ortungssystem (Mitarbeiter und betriebsfremde Person sucht), mithilfe von Videoaufzeichnungen untersucht. Dabei wurde der Arbeitsaufwand für den gesamten Arbeitsteilvorgang „Tiersuche“ bzw. auch für die einzelnen Arbeitselemente (bei den Varianten mit Ortungssystem) ermittelt. Der Effekt der Variante auf die ermittelten Arbeitsaufwanddaten wurde anschließend auf einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 5\%$  statistisch untersucht. In einem letzten Schritt wurden aus den gewonnenen Zeitdaten Planzeitfunktionen erstellt, die auch auf andere Ställe anwendbar sein sollen.

In der Untersuchung wurde für das System CowView im Gegensatz zum System Nedap ein signifikant geringerer ( $p < 0,05$ ) Arbeitsaufwand festgestellt, der allein an der Bedienung der App lag. Bei der Variante, bei der der Mitarbeiter suchte, wurde zwar eine größere Streuung beobachtet, der Mittelwert der Variante zeigte jedoch keinen signifikanten Unterschied zu den Varianten mit Ortungssystem. Dies deutet darauf hin, dass bei der vorliegenden Herdengröße eine gute Kenntnis der Kühe die vermeintlichen Vorteile des Ortungssystems hinsichtlich der Dauer der Tiersuche ausgleichen kann. Bei der Variante ohne Ortungssystem betriebsfremd dauerte die Tiersuche signifikant länger als bei allen anderen Varianten. Daraus kann gefolgert werden, dass ein Ortungssystem die Nachteile, die durch die Unkenntnis der Herde entstehen, ausgleichen kann. Inwieweit die gefundenen Planzeitfunktionen auf andere Stallformen und Stallgrößen übertragbar sind, ist in weiteren Untersuchungen zu klären.

**Stichworte:** Tierortungssysteme, Milchviehhaltung, Arbeitszeituntersuchung

# 1 Einleitung

Wie alle Bereiche der Wirtschaft befindet sich auch die Landwirtschaft durch den allgemeinen technischen Fortschritt in einem stetigen Wandel. Neue, intelligente, miteinander vernetzte Technologien halten Einzug in alle Bereiche der landwirtschaftlichen Wertschöpfungskette, auch in die Nutztierhaltung. Hierbei wird von „Precision Livestock Farming“ gesprochen [1]. In der Milchviehhaltung hat sich der Begriff „Precision Dairy Farming“ etabliert [2]. Zwei wichtige Kennzeichen dieses Themenfeldes sind der Einsatz von neuen Technologien und der Gesichtspunkt, dass das Einzeltier wieder mehr im Fokus steht [2]. Als Motivatoren für diese Entwicklung werden der technische Fortschritt, die Wirtschaftlichkeit und steigende Anforderungen an die Produktsicherheit sowie den Tier- und Umweltschutz genannt [3]. All dies setzt mehr Informationen über das Einzeltier voraus, was am leichtesten durch automatisierte Systeme des Precision Dairy Farmings geleistet werden kann [3]. Aufgrund dieses Potentials werden momentan große Bemühungen in dieser Disziplin unternommen. Viele verschiedene Hersteller entwickeln Systeme, die das Herdenmanagement verbessern sollen. Solche Herdenmanagement-Systemen werden in letzter Zeit vermehrt mit integrierten Tierortungssystemen angeboten, die die Kühe im Stall mit einer Genauigkeit von 30 cm orten sollen [4] und so eine Reihe von Einsatzmöglichkeiten bieten. Sie sollen unter anderem eine große Zeit- und damit auch Geldersparnis bieten, da die aufwendige Routinetätigkeit der Tiersuche wesentlich verringert wird [5]. Es ist jedoch festzustellen, dass sich für einzelne Verfahren des Precision Dairy Farming bisher nur schwer gesicherte Aussagen zur Wirtschaftlichkeit machen lassen [6]. Auch hinsichtlich der Arbeitswirtschaftlichkeit gibt es bisher nur sehr wenige Untersuchungen. In einer vorhandenen, ähnlichen Untersuchung wird die Tiersuche zum Beispiel lediglich als Teil eines festen Arbeitsablaufs betrachtet [7].

Für eine aussagekräftige Ist-Analyse der Arbeitszeit ist es unerlässlich, die Gesamtarbeit in überschaubare Abschnitte zu untergliedern [7]. Ein Pionier in der Landwirtschaftlichen Arbeitslehre war hierbei Professor Auernhammer, der für die Landwirtschaft die Abschnitte „Gesamtarbeit“, „Arbeitsvorgang“, „Arbeitsteilvorgang“ und „Arbeitselement“ einführte [8]. Diese Art der Gliederung hat bis heute ihre Gültigkeit und wurde auch in der vorliegenden Untersuchung verwendet. Nach der Analyse von Ist-Zeiten können mithilfe von statistischen Auswertungen und unter Einbeziehung der verschiedenen Einflussgrößen sogenannte Planzeiten gebildet werden [9].

Das Ziel dieser Untersuchung war es, zu untersuchen, inwieweit sich der Arbeitszeitaufwand bei dem Einsatz von Kuhortungssystemen (CowView und Nedap) vom Arbeitszeitaufwand ohne Ortungssysteme (Mitarbeiter oder betriebsfremde Person sucht) unterscheidet und ob es Unterschiede zwischen den zwei Systemen gibt. Zudem sollen allgemeingültige Planzeiten bzw. Planzeitfunktionen für die getesteten Varianten erstellt werden.

## 2 Material und Methode

### 2.1 Versuchsaufbau

Bei dem untersuchten Betrieb handelte es sich um das Milchgewinnungszentrum Triesdorf der Landwirtschaftlichen Lehranstalten in Triesdorf. Die untersuchte Herde bestand im Durchschnitt aus 60 Kühen und wurde von einem automatischen Melksystem (AMS) der Firma Lely gemolken. Zur Überwachung der Herde waren zwei Ortungssysteme installiert, das System CowView der Firma GEA sowie das System der Firma Nedap. Beide Systeme konnten über den PC oder eine App bedient werden. Die zu suchenden Kühe mussten dort manuell eingegeben werden. Einen Grundriss des Versuchsstalles zeigt Abbildung 2.

Das System CowView der Firma GEA basiert auf der Ultra-Breitband (UWB) RFID Technologie [4]. Es besteht im Wesentlichen aus drei Komponenten, batteriebetriebene Tags, die jedes Tier am Halsband trägt, fest installierten Empfängern und einem Prozessrechner [10].

Die Tags senden hierbei UWB-Signale an die Empfänger, die an den Prozessrechner weitergeleitet werden. Dieser berechnet mithilfe eines Laufzeitverfahrens der Signale und Trilateration die genaue Position des jeweiligen Tags in Echtzeit und bildet sie in der App auf einer Karte des Stalles ab [4]. Bei der Trilateration handelt es sich um eine Entfernungsmessung zu drei bekannten Punkten. Dabei ergibt sich ein Schnittpunkt, der den Aufenthaltsort darstellt [13].

Das System Nedap basiert auf Niedrigfrequenzsignalen in Bereich von 49-55 kHz und besteht aus fünf Komponenten, Funkbaken, Responder an den Halsbändern der Kühe, einer UHF-Antenne, einer Steuereinheit und dem Prozessrechner [11]. Der Prozesscomputer berechnet für jede einzelne Kuh anhand der Signalstärke zwischen den mobilen Smarttags und den festinstallierten Funkbaken die exakte Position in Echtzeit [11]. Das zugrunde liegende Prinzip ist hierbei ebenfalls die Trilateration [11]. Die Darstellung der Position der Kuh erfolgt auch hier in einer visualisierten Karte des Stalles.

Vor der Versuchsdurchführung wurden insgesamt vier Varianten definiert. Zwei Varianten mit Ortungssystem und zwei Varianten ohne Ortungssystem. Die Varianten mit Ortungssystem unterscheiden sich im verwendeten System (CowView, Nedap), die Varianten ohne Ortungssystem unterscheiden sich nach der suchenden Person. Hierbei wurde angenommen, dass es einen Einfluss auf die Dauer der Suche hat, ob der suchenden Person die Kühe bekannt sind oder nicht. Bei den Ortungssystemen wurde aufgrund der Ortungsgenauigkeit angenommen, dass die suchende Person hier keinen Einfluss auf die Dauer der Suche hat. In der vorliegenden Untersuchung wurden alle Messungen mit Ortungssystem durch die gleiche betriebsfremde Person wie auch bei den Varianten ohne Ortungssystem durchgeführt. Eine Übersicht über die untersuchten Varianten zeigt Abbildung 1.

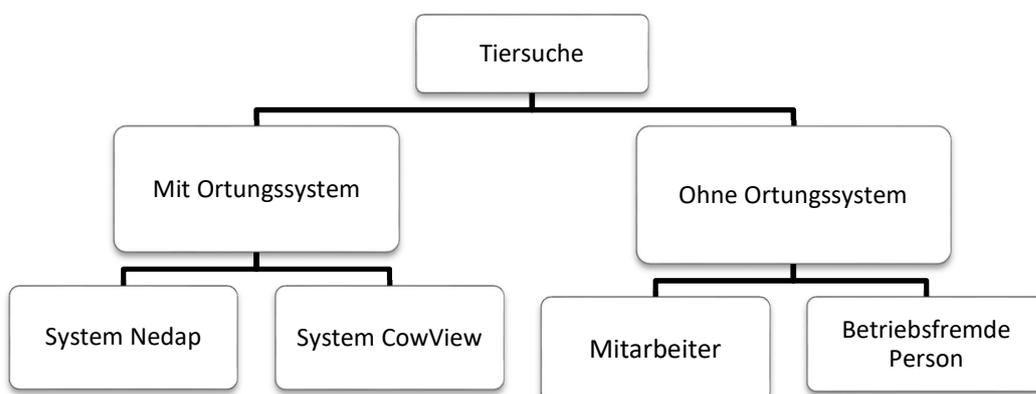


Abbildung 1: Varianten des Arbeitszeitversuchs.

## 2.2 Versuchsdurchführung

Beim vorliegenden Versuch war es nötig, die Arbeit zeitlich sehr genau zu erfassen. Dies geschah mit einer Action-Kamera des Herstellers GoPro, da sich dieses System mittlerweile bei Arbeitszeiterfassungen bewährt hat [12]. Der Vorteil dieser Methode besteht darin, dass sowohl Bild-, Ton- und Zeitstempel parallel verfügbar sind und das aufgezeichnete Rohmaterial im Anschluss ausgewertet werden kann [12]. Der Aufwand der Datenermittlung wird geringer und die Präzision der einzelnen Messungen durch die Auswertung am Computer zugleich höher.

Für jede Variante wurden mehrere Messungen durchgeführt. Die unterschiedliche Anzahl an Messungen (vgl. Tabelle 1) ergab sich aus versuchstechnischen Gründen. So waren u. a. mehr Kühe mit dem Ortungssystem Nedap ausgestattet als mit dem System CowView. Bei den Varianten ohne Ortungssystem wurde eine vergleichbare Anzahl an Messungen durchgeführt.

Die Aufnahme startete jeweils am gleichen Startpunkt (vgl. Abbildung 2, roter Punkt) mit der Nennung einer zufälligen Kuhnummer und endete mit der eindeutigen Identifikation des betreffenden Tieres an dessen Standort.

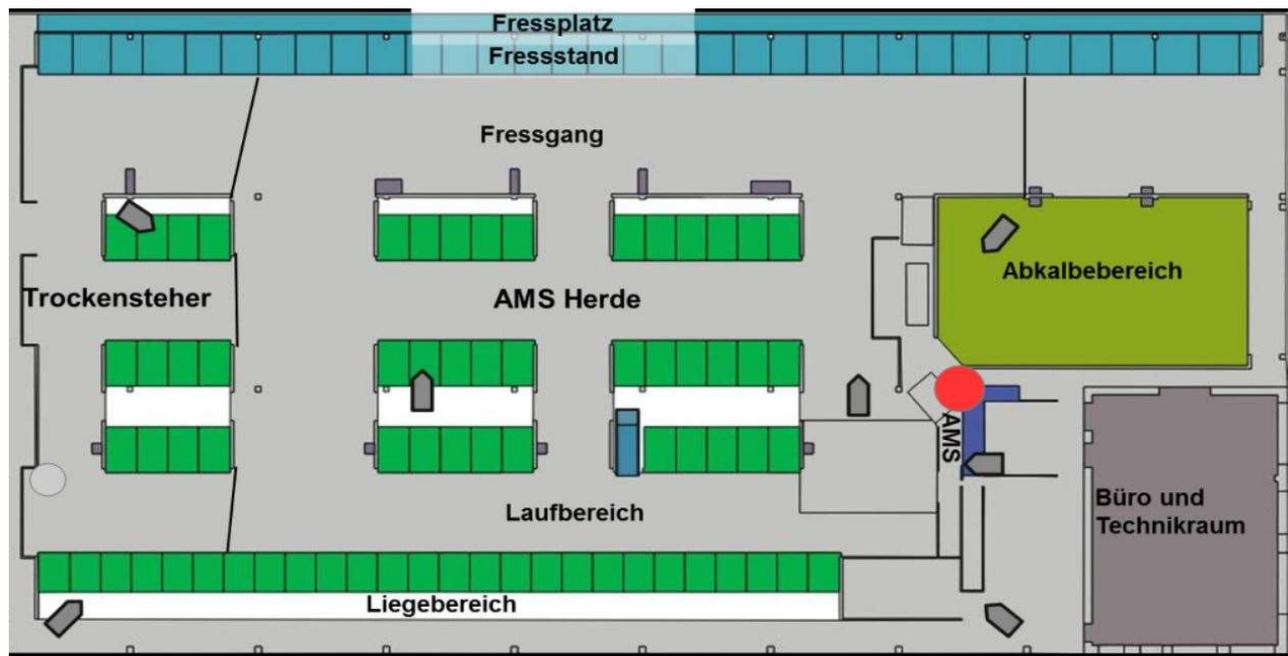


Abbildung 2: Aufbau Liegeboxenlaufstall Triesdorf; roter Punkt = Startpunkt; AMS = automatisches Melksystem.

## 2.3 Datenauswertung

Für den Arbeitsteilvorgang „Tiersuche“ wurden bei den Varianten mit Ortungssystem zwei Arbeitselemente definiert. Diese wurden als „Öffnen der App und Eingeben der entsprechenden Kuhnummer“ und „Zur entsprechenden Kuh gehen“ bezeichnet.

Bei den Varianten ohne Ortungssystem konnte der Arbeitsteilvorgang nicht weiter unterteilt werden und besteht somit lediglich aus dem einem Arbeitselement „Zur entsprechenden Kuh gehen“.

Anschließend wurden die Arbeitselemente zeitlich genau ausgewertet. Dies geschah mit der speziell dafür konzipierten Software MEZA der Firma Drigus GmbH [13]. Hierbei wird das Video gesichtet und kann in Schritten von einer Centiminute den einzelnen Arbeitselementen zugeordnet werden. Zusätzlich zu den Arbeitszeitdaten wurde für jede Wiederholung anhand des Stallgrundrisses die zurückgelegte Wegstrecke, die eine erhebliche Einflussgröße darstellt, bestimmt.

Danach wurden alle Daten in MS Excel exportiert und jedes einzelne Arbeitselement statistisch ausgewertet. Berechnete Größen waren dabei Stichprobenumfang, Mittelwert, Median, Minimum sowie Maximum, Standardabweichung und der Variationskoeffizient. Zusätzlich wurde noch der relative halbe Vertrauensbereich  $\epsilon$ -Wert (Epsilon) und der erforderliche Stichprobenumfang  $n'$  für den erforderlichen  $\epsilon$ -Wert von 10 % berechnet, um eine Aussage über die Güte der Stichprobengröße treffen zu können.

Bei der Betrachtung der Gesamtdauer wurden bei den Varianten mit Ortungssystem die Einzelzeiten der Arbeitselemente „Öffnen der App und Eingeben der entsprechenden Kuhnummer“ und „Zur entsprechenden Kuh gehen“ addiert.

Die statistische Datenauswertung zum Vergleich zwischen den Varianten wurde mit dem Programm „SigmaPlot“ [14] durchgeführt. Dabei wurden parametrische und nicht parametrische einfaktorielle Varianzanalysen mit Tukey Post-hoc Test bzw. t-Test angewendet. Das Signifikanzniveau wurde auf einen p-Wert von  $\leq 0,05$  festgelegt.

## 2.4 Erstellen von Planzeitfunktionen

In einem letzten Schritt wurden Planzeitfunktionen erstellt. Diese setzen sich für die Varianten mit Ortungssystem aus einer Planzeit für das Arbeitselement „Öffnen der App und Eingeben der entsprechenden Kuhnummer“ und einer Planzeit für das Arbeitselement „Zur entsprechenden Kuh gehen“, die mit der Wegstrecke multipliziert wird, zusammen. Bei der Planzeit für das Arbeitselement „Öffnen der App und Eingeben der entsprechenden Kuhnummer“ handelt es sich einfach um den Mittelwert des Arbeitselements. Bei der Planzeit für das Arbeitselement „Zur entsprechenden Kuh gehen“ handelt es sich um den Mittelwert der für jede Messung berechneten Größe: „Zur betreffenden Kuh gehen“/zugehörige Wegstrecke. Für die Planzeitfunktionen der Varianten ohne Ortungssystem wurde analog vorgegangen, lediglich die Planzeit für das Arbeitselement „Öffnen der App und Eingeben der entsprechenden Kuhnummer“ entfällt:

$$(1) \text{ Allgemeine Funktion}_{\text{Tiersuche}} = \text{Planzeit}_{\text{Öffnen der App und Eingeben der entsprechenden Kuhnummer}} \text{ (ohne Ortungssystem = 0)} \\ + \text{Planzeit}_{\text{Zur entsprechenden Kuh gehen}} * \text{Wegstrecke}$$

Um Planzeitfunktionen für einzelne Varianten zu ermitteln, wurde die durchschnittlich gemessene Wegstrecke auf Stallparameter wie Länge (l) und Breite (b) bezogen und daraus der Koeffizient für die Wegstrecke berechnet. Diese Parameter sind die Maße der Treibgänge in Längs- und in Querrichtung im Stall. Es ergibt sich folgende Planzeitformel:

$$(2) \text{ Planzeitfunktion}_{\text{Tiersuche}} = \text{Planzeit}_{\text{Öffnen der App und Eingeben der entsprechenden Kuhnummer}} \text{ (ohne Ortungssystem = 0)} \\ + \text{Planzeit}_{\text{Zur entsprechenden Kuh gehen}} * (l + b) * \text{Koeffizient Wegstrecke}$$

$$\text{Koeffizient Wegstrecke} = \frac{\text{Durchschnittlicher gemessener Weg}}{l(\text{Versuchsstall}) + b(\text{Versuchsstall})}$$

l=Länge des längsten Treibgangs; b=Länge des längsten quergehenden Treibgangs

Um eine Aussage über die Güte der Planzeitfunktionen machen zu können, wurde jeweils der Konkordanz-Korrelationskoeffizient (r) [15] zwischen gemessenen Ist-Zeiten und den Zeiten, die anhand der allgemeinen Funktion (1) mit den real gegangenen Wegstrecken berechnet wurden, ermittelt.

## 3 Ergebnisse und Diskussion

### 3.1 Gesamtdauer der Tiersuche

Die statistischen Kennzahlen der Messwerte der Gesamtdauer für den Arbeitsteilvorgang „Tiersuche“ zeigt Tabelle 1. Die Variante hatte einen signifikanten Einfluss ( $p \leq 0,05$ ; Kruskal-Wallis-Test) auf die Gesamtdauer der Tiersuche (Abbildung 3).

Tabelle 1: Statistische Kennzahlen der Messwerte der Gesamtzeiten für den Arbeitsteilvorgang „Tiersuche“; MA=Mitarbeiter; BF=betriebsfremd

Variante	CowView	Nedap	ohne Ortung MA	ohne Ortung BF
n	30	40	33	35
Mittelwert (cmin)	42,33	58,85	65,76	110,31
Median (cmin)	39,50	58,00	53,00	110,00
Minimum (cmin)	30,00	37,00	16,00	10,00
Maximum (cmin)	62,00	99,00	183,00	263,00
Varianz (cmin <sup>2</sup> )	92,92	176,95	1974,69	4095,16
Standardabweichung (cmin)	9,64	13,30	44,44	63,99
Variationskoeffizient (%)	22,77	22,60	67,58	58,01
$\epsilon$ -Wert (%)	8,50	7,23	23,96	19,93
n' = erforderlicher Stichprobenumfang	23	23	178	132
Noch zu messen	0	0	145	97

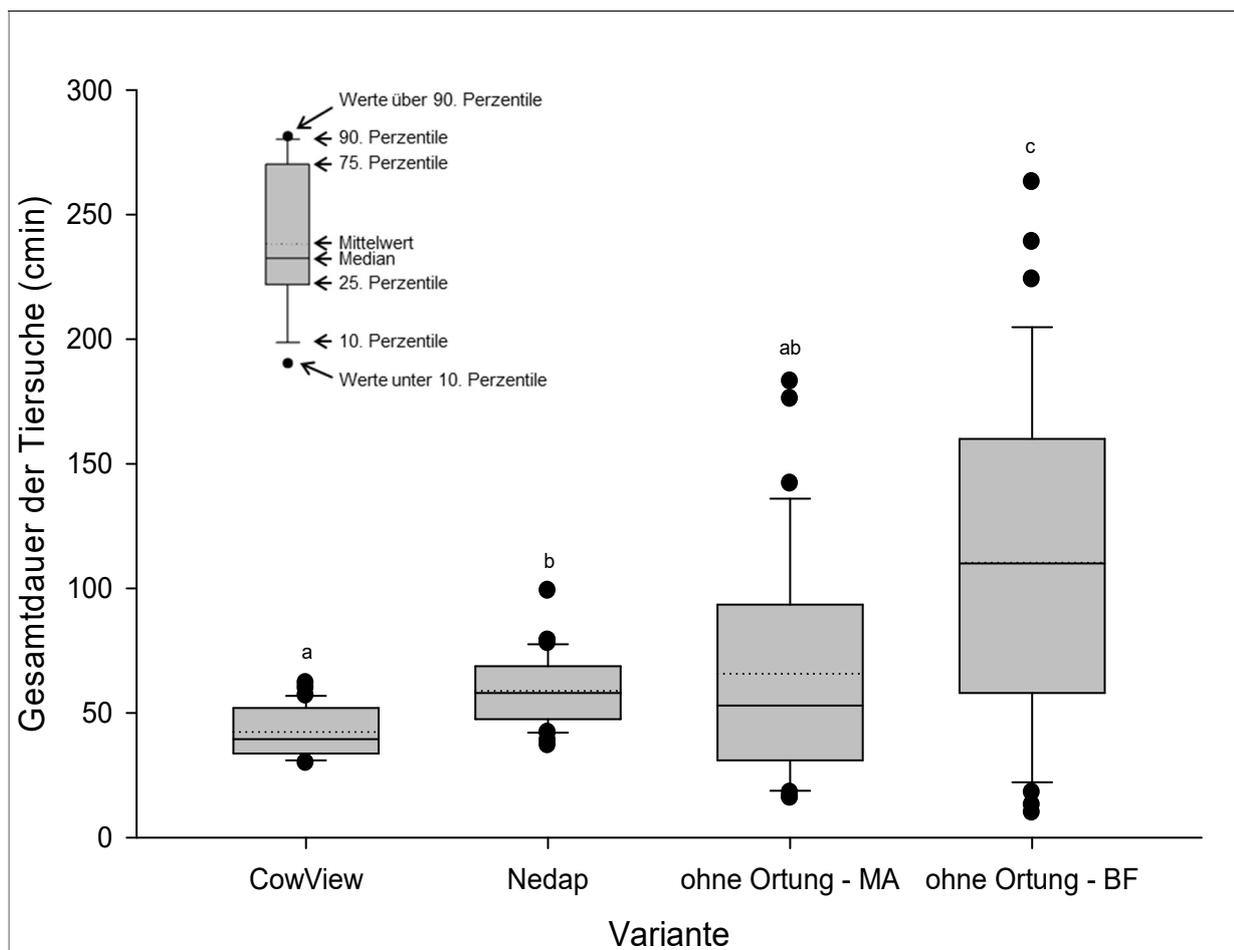


Abbildung 3: Gesamtdauer der Tiersuche in Abhängigkeit der verschiedenen Varianten; MA=Mitarbeiter; BF=betriebsfremd; a, b, c: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ( $p < 0,05$ ).

Es konnten signifikante Unterschiede in der Gesamtdauer der Tiersuche zwischen dem System CowView mit einem Mittelwert von 42,33 cmin und dem System Nedap mit einem Mittelwert von 58,85 cmin festgestellt werden. Um der Ursache dieses Ergebnisses näher zu kommen, wurden diese beiden System im Detail noch einmal genauer untersucht (siehe Kapitel 3.2).

Für die Variante *Ohne Ortungssystem Mitarbeiter* mit dem Mittelwert von 65,76 cmin konnte zu keinem Ortungssystem ein signifikanter Unterschied beobachtet werden. Die Variante *Ohne Ortungssystem betriebsfremd* mit dem Mittelwert von 110,31 cmin unterschied sich hingegen von allen anderen Varianten signifikant. Es kann daher angenommen werden, dass die Kenntnis der Herde und damit auch der Einzeltiere einen deutlichen Einfluss hat. Auffällig bei den Varianten ohne Ortungssystem ist jedoch die im Gegensatz zu den Ortungssystemen sehr hohe Varianz und Standardabweichung. Aus diesen ergibt sich der hohe  $\varepsilon$ -Wert und damit die hohe Anzahl noch zu messender Wiederholungen. Diese konnten aufgrund des unverhältnismäßig hohen Mehraufwands in dieser Untersuchung nicht mehr durchgeführt werden. Allein die große Varianz jedoch lässt schon die Interpretation zu, dass ein Ortungssystem den Vorteil haben kann, den Arbeitszeitbedarf besser kalkulieren zu können, da der Arbeitsaufwand nur sehr gering schwankt.

Ohne Ortungssystem hingegen können hier sehr große Schwankungen auftreten, es gibt also Fälle, in denen der Arbeitsaufwand geringer ist als mit Ortungssystemen, genauso gibt es jedoch auch Fälle, in denen der Arbeitsaufwand deutlich erhöht sein wird. Ein bisher unberücksichtigter Aspekt ist die Herdengröße. So ist zu erwarten, dass auch diese Größe einen Einfluss hat. Dieser Zusammenhang konnte jedoch nicht überprüft werden, da die Messungen nur in einer Herde und damit nur einer Herdengröße durchgeführt wurden. So ist anzunehmen, dass sich mit steigender Herdengröße die Varianten deutlicher voneinander unterscheiden. Einen Hinweis hierauf liefert eine Untersuchung der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei, Mecklenburg-Vorpommern. Hierbei eine Herde von 320 Kühen mit sechs AMS-Systemen untersucht. Mit Ortungssystem konnten dabei bis zu zwei Arbeitskraftminuten pro zu suchende Kuh eingespart werden [16]. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Methodik bei der Zeitermittlung ist jedoch keine sehr gute Vergleichbarkeit mit den in dieser Untersuchung ermittelten Werten gegeben. Es lässt sich also lediglich eine Tendenz dahingehend ableiten, dass mit steigender Herdengröße die Einsparpotentiale von Kuhortungssystemen zunehmen. Hierbei besteht jedoch noch Forschungsbedarf.

### 3.2 Detailvergleich Ortungssysteme

Im zweiten Schritt wurden die beiden Ortungssysteme im Detail, d. h. auf Ebene der Arbeitselemente verglichen, die statistischen Kennzahlen sind in Tabelle 2 enthalten.

Tabelle 2: Statistische Kennzahlen der Arbeitselemente bei den Ortungssystemen

Arbeitselement	Öffnen der App und Eingeben der Kuhnummer		Zur entsprechenden Kuh gehen	
	CowView	Nedap	CowView	Nedap
Ortungssystem				
n	30	40	30	40
Mittelwert (cmin)	14,73	28,30	27,60	30,55
Median (cmin)	14,00	26,50	25,00	29,00
Minimum (cmin)	12,00	19,00	17,00	8,00
Maximum (cmin)	18,00	52,00	48,00	80,00
Varianz (cmin <sup>2</sup> )	2,82	56,47	33,66	183,43
Standardabweichung (cmin)	1,68	7,51	9,29	13,54
Variationskoeffizient (%)	11,40	26,55	33,66	44,33
$\varepsilon$ -Wert (%)	4,26	8,49	12,57	14,18
n'=erforderlicher Stichprobenumfang	10	30	46	78
Noch zu messen	0	0	16	38

Aus dem Detailvergleich der beiden Ortungssysteme wurde deutlich, an welchem Arbeitselement der signifikante Unterschied in der Gesamtdauer der Tiersuche, der in Kapitel 3.1 gefunden wurde, festzumachen ist. Beim Arbeitselement „Öffnen der App und Eingeben der entsprechenden Kuhnummer“ lag zwischen dem System CowView (Mittelwert von 14,73 cmin) und dem System Nedap (Mittelwert von 28,30 cmin) ein höchst signifikanter Unterschied ( $p \leq 0,001$ ; Mann-Whitney-U-Test) vor (Abbildung 4). Beim Arbeitselement „Zur entsprechenden Kuh gehen“ hingegen war zwischen den Systemen kein signifikanter Unterschied festzustellen ( $p = 0,392$ ). Daraus ergibt sich, dass der Unterschied in der Gesamtarbeitszeit lediglich in der Bedienung der App zu suchen ist. Auch hier kommt jedoch eine Vielzahl von Möglichkeiten, die den Unterschied verursachen könnten in Betracht, u. a. unterschiedliche Rechnerleistungen oder Unterschiede im WLAN-Empfang. Hierzu gibt es jedoch noch keine genaueren Untersuchungen. Um dies abschließend beurteilen zu können, wären noch detailliertere Untersuchungen in verschiedenen Ställen nötig. Aus der Tatsache, dass sich der Arbeitszeitaufwand beim Arbeitselement „Zur entsprechenden Kuh gehen“ zwischen den beiden Systemen nicht unterschied, lässt sich folgern, dass die Genauigkeit der Ortung der beiden Systeme vergleichbar ist, bzw., dass etwaige Unterschiede in der Genauigkeit der Ortung keinen Einfluss mehr darauf haben, wie schnell die Kuh im Stall tatsächlich gefunden wird.

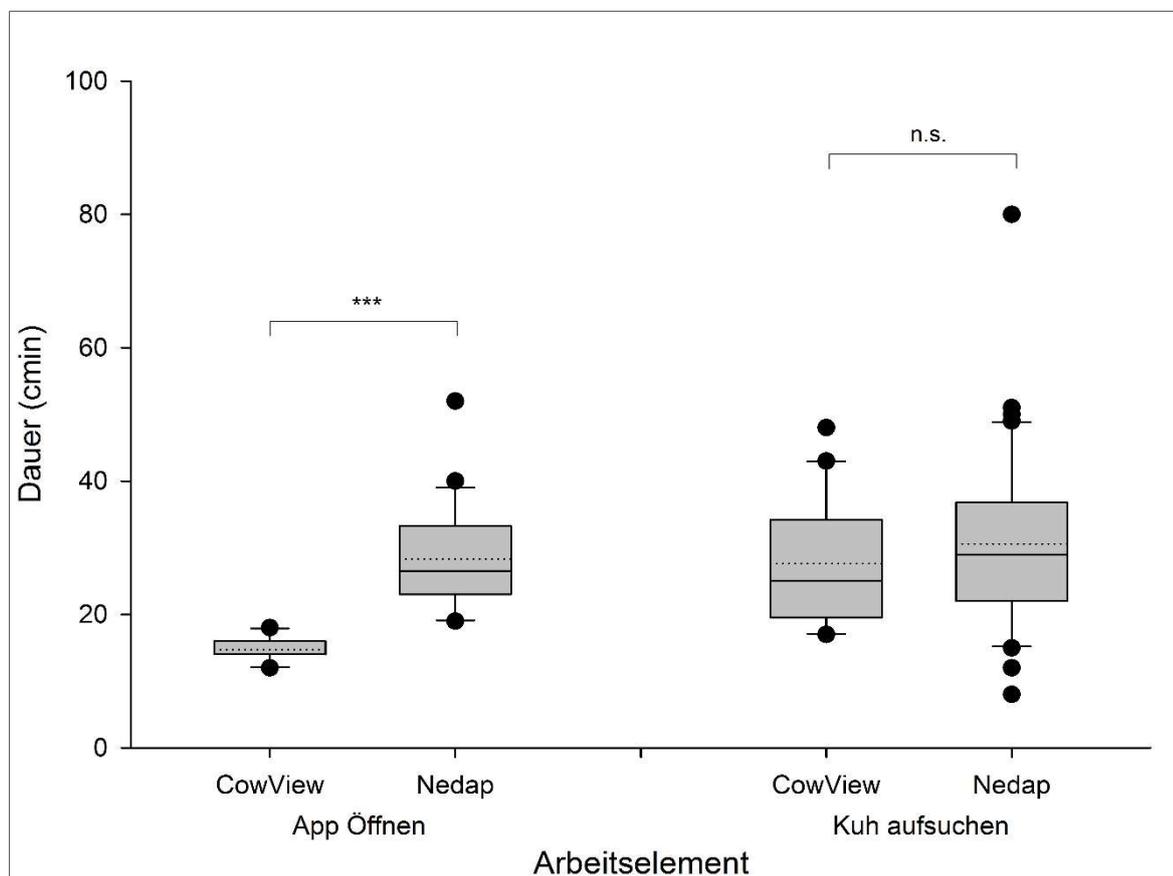


Abbildung 4: Dauer der einzelnen Arbeitselemente in Abhängigkeit vom den Ortungssystemen; \*\*\*=höchst signifikant ( $p \leq 0,001$ ); n. s.: nicht signifikant ( $p > 0,05$ ); App öffnen = Öffnen der App und Eingeben der entsprechenden Kuhnummer; Kuh aufsuchen = Zur entsprechenden Kuh gehen.

### 3.3 Planzeitfunktionen

Die für die Varianten zugrundeliegenden Werte zeigt Tabelle 3. Für die Maße des Versuchsstalls wurden Parameter von  $b = 20$  m und  $l = 30$  m ermittelt.

Alle Varianten zeigten hohe Konkordanz-Korrelationskoeffizienten, es kann daher davon ausgegangen werden, dass mit den Planzeitfunktionen der Arbeitszeitbedarf relativ gut ermittelt werden kann.

Tabelle 3: Planzeitfunktionskomponenten und daraus abgeleitete Planzeitfunktionen für die untersuchten Varianten

Variante	Planzeit <sup>1</sup> (cmin/m)	Planzeit <sup>2</sup> (cmin/m)	r <sup>3</sup>	Wegstrecke		Planzeitfunktion nach Gleichung (2) (cmin)
				Durchschnittlich gemessen (m)	Koeffizient Wegstrecke	
CowView	14,73	1,72	0,87	17,20	0,34	$14,73 + 1,72 * (l + b) * 0,34$
Nedap	28,30	1,74	0,70	18,73	0,37	$28,30 + 1,74 * (l + b) * 0,37$
Ohne Ortung MA	-	1,40	0,98	46,88	0,94	$1,40 * (l + b) * 0,94$
Ohne Ortung BF	-	1,85	0,94	61,14	1,22	$1,85 * (l + b) * 1,22$

<sup>1</sup> "Öffnen der App und Eingeben der entsprechenden Kuhnummer"

<sup>2</sup> "Zur entsprechenden Kuh gehen"

<sup>3</sup> Konkordanz-Korrelationskoeffizient zwischen gemessenen Ist-Zeiten und anhand der allgemeinen Funktion berechneten Zeiten

l = Länge des Treibgangs in Längsrichtung

b = Länge des Treibgangs in Querrichtung

## 4 Schlussfolgerungen

Hinsichtlich des Arbeitszeitaufwands des Arbeitsteilvorgangs „Tiersuche“ wurden signifikante Unterschiede zwischen dem Einsatz von verschiedenen Ortungssystemen festgestellt, die jedoch nicht an der Genauigkeit der Ortung festzumachen sind. Beim Vergleich mit den Varianten ohne den Einsatz von Ortungssystemen unterschied sich lediglich die Variante, bei der eine betriebsfremde Person die Kühe sucht, signifikant von den Varianten mit Ortungssystem. Die ermittelten Planzeitfunktionen stellen eine Möglichkeit dar, für einen beliebigen Betrieb den Arbeitszeitaufwand des Arbeitsteilvorgangs „Tiersuche“ für die verschiedenen Varianten grob vorherzusagen. Allgemein lässt sich feststellen, dass in diesem Bereich für weitreichende Aussagen noch ein sehr großer Forschungsbedarf besteht.

## Literatur

- [1] Berckmans, D.: General introduction to precision livestock farming. In *Animal Frontiers*, 2017. 1; S. 6–11.
- [2] Bewley, J.: Precision Dairy Farming. [https://afs.ca.uky.edu/files/precision\\_dairy\\_farming.pdf](https://afs.ca.uky.edu/files/precision_dairy_farming.pdf), 23.07.2019.
- [3] Pache, S.: Landwirtschaft 4.0 im Stall - Tierortung und Sensortechnik im Stall. [https://www.landwirtschaft.sachsen.de/download/20161019\\_Pache.pdf](https://www.landwirtschaft.sachsen.de/download/20161019_Pache.pdf), 26.07.2019.
- [4] Swedberg, C.: GEA CowView Locates Cattle Via Active RFID. <https://www.rfidjournal.com/articles/view?10666>, 20.01.2020.
- [5] Klutke, C.: Tierortung – das Navi im Stall. [http://www.tll.de/www/daten/veranstaltungen/materialien/melksysteme/300517\\_klutke.pdf](http://www.tll.de/www/daten/veranstaltungen/materialien/melksysteme/300517_klutke.pdf), 26.07.2019.
- [6] Jungbluth, T.; Büscher, W.; Krause, M.: *Technik Tierhaltung*. Eugen Ulmer, Stuttgart, 2016.
- [7] Harms, J.: Mit Navi durch den Kuhstall. In *top agrar*, 2019. 10; R 14.
- [8] Winkler, B.; Frisch, J.: Weiterentwicklung der Zeitgliederung für landwirtschaftliches Arbeiten. In *Bornimer Agrartechnische Berichte*, 2014. 83; S. 14–21.
- [9] Auerhammer, H.: Arbeitszeitermittlung in der Landwirtschaft. In *Landtechnik*, 1979. 2; S. 95–97.
- [10] Borges, A. et al.: Entwicklung eines universell gültigen Regressionsmodells zur Ermittlung von Planzeitwerten für vorwiegend manuelle Arbeiten. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 1971.
- [11] Semenow, J.: Schluss mit Verstecken. In *dlz primus Rind*, 2017. 6; S. 34–38.
- [12] Lely Deutschland GmbH: Kuhortung.
- [13] N.N.: Trilateration / Triangulation / Fingerprinting. <https://locationbased-services.de/start/positionierung/trilateration/>, 24.01.2020.
- [14] Mačuhová, J.; Thurner, S.; Haidn, B.: Nutzung von Körperkameras zur Arbeitszeiterfassung im Bereich der Belüftungsheuproduktion. In (HBLFA Francisco Josephinum Hrsg.): *Arbeit in der Digitalen Transformation*. 21. Arbeitswissenschaftliches Kolloquium; Tagungsband, 2018; S. 117–127.
- [15] DRIGUS GmbH: MEZA, 2014.
- [16] Systat Software Inc.: SigmaPlot, 2008.
- [17] Hilgers, R.-D.; Heussen, N.; Stanzel, S.: Konkordanz-Korrelationskoeffizient nach Lin. In (Gressner, A. M.; Arndt, T. Hrsg.): *Lexikon der Medizinischen Laboratoriumsdiagnostik*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2017.

# Arbeitszeitbedarf im aktuellen Gruppenhaltungsverfahren Kleingruppe des Wartebereichs in konventioneller Zuchtsauenhaltung

Elisabeth Quendler<sup>1</sup>, Robert Kaufmann<sup>1</sup> und Matthias Schick<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universität für Bodenkultur, Wien, Österreich

<sup>2</sup>AgroVet-Strickhof, Lindau, Schweiz

E-Mail: [elisabeth.quendler@boku.ac.at](mailto:elisabeth.quendler@boku.ac.at)

In der Landwirtschaft sowie im Bereich der konventionellen Zuchtsauenhaltung ist es wichtig, die verfügbare Arbeitszeit so effizient wie möglich zu nutzen, um den größtmöglichen einzelbetrieblichen Erfolg sicherzustellen. Dies kann durch das Bereitstellen von aktuellen Planungsdaten forciert werden.

Ziel dieser Studie war daher, Arbeitszeitdaten vom aktuellen Haltungsverfahren Kleingruppenhaltung mit Fressliegebucht im Wartebereich zu eruieren. Hierfür wurden zwei Zuchtsauen haltende Betriebe ausgewählt, die nach guter fachlicher Praxis in diesem System produzierten. Die Datenerhebung wurde mit mobiler Videotechnik und halbstandardisierten Fragebogen durchgeführt. Für das Messen der Arbeitszeiten nach der Arbeitselementmethode nach AUERNHAMMER (1976) und das deskriptive und analytische Auswerten der Daten wurden die Software ORTIMzeit 6.5, Excel und SAS Enterprise Guide 7.1 verwendet. Mit analytischen Testverfahren wurden polynomiale Regressionsgleichungen erstellt. Mit den daraus gewonnenen Planzeiten wurde unter optimierten Bedingungen ein Betriebsmodell erstellt, um den Arbeitszeitbedarf nach Arbeitsvorgängen und insgesamt zu modellieren und darzustellen.

Der modellierte Arbeitszeitbedarf einer Bestandsgröße von 140 Sauen belief sich für die Kleingruppe mit Fressliegebucht auf 3,58 AKh/Sau/Jahr im Wartebereich. Dieser verteilte sich zu 70,9 % auf die Routinearbeit (2,54 AKh/Sau/Jahr) sowie 29,1 % (1,04 AKh/Sau/Jahr) auf die Sonderarbeit. Dieser arbeitsteilvorgangbezogene Arbeitszeitbedarf unterschreitet die bisherigen Literaturangaben zur Zuchtsauenhaltung im Wartebereich teils erheblich und spiegelt den Trend der Abnahme durch größere Herdenbestände und fortschreitender Technisierung und Automatisierung unter gesellschaftlichen Rahmenbedingungen wieder.

**Stichworte:** Zeitstudie, Arbeitsanalyse

## Problemstellung und Zielsetzung

In Österreich erfolgt die Ferkelproduktion überwiegend in Familienbetrieben mit kleinen Produktionseinheiten im Vergleich zu den großen Schweineproduktionsländern der Europäischen Union. Einige Betriebe versuchten in den vergangenen 10 Jahren durch Wachstum Einkommenseinbußen zu kompensieren, um dadurch am Markt auch zukünftig bestehen zu können.

In der konventionellen Zuchtsauenhaltung beeinflussen moderne Haltungssysteme mit strengen rechtlichen Vorgaben und deren Arbeitsverfahren die Arbeitskosten und folglich die Arbeiterledigungskosten, die einen hohen Anteil von den Produktionskosten ausmachen. Dadurch ist es für Schweinehalter wichtig, die verfügbare Arbeitszeit so effizient wie möglich zu nutzen und durch niedrige Arbeiterledigungskosten Einkommen sicher zu stellen. Arbeitszeitbedarfswerte sind daher für einzelbetriebliche Planungen und die Kostenkalkulation wichtig, jedoch fehlen dazu aktuelle Literaturangaben sowie ein differenzierteres Ausweisen dieser nach einzelnen Haltungsbereichen, insbesondere den Wartebereich.

Folglich verfolgte diese Studie das Ziel Arbeitszeitdaten vom aktuellen Gruppenhaltungsverfahren des Wartebereichs in der konventionellen Zuchtsauenhaltung, Kleingruppe mit Fressliegebuchten, zu ermitteln. Es waren Arbeitsverfahren zu beschreiben, deren Einflussgrößen und Arbeitszeitbedarfswerte zu ermitteln, um arbeitswirtschaftliche Kennzahlen für die Praxis zu generieren.

## Material und Methode

Das Erheben erfolgte auf zwei Zuchtsauenbetrieben im österreichischen Hauptproduktionsgebiet Südöstliches Flach- und Hügelland, deren aktuellen Stand der Technik (Tabelle 1), die typisch für den deutschsprachigen Raum ist.

Tabelle 1: Bestands-, Gruppengröße und wichtigste Verfahrenstechnik der Untersuchungsbetriebe (n=2)

Produktions- und Verfahrensparameter	Betrieb 1	Betrieb 2
Bestandsgröße Zuchtsauen (Stück)	70	70
Gruppengröße Zuchtsauen (Stück)	10	10
Fütterungstechnik (Wartestall und Deckzentrum)	RBTF***	RBTF***
Entmistungstechnik (Wartestall und Deckzentrum)	VS*/Gülle	TS**/Gülle

\*VS: Vollspalten, \*\*TS: Teilspalten, \*\*\*RBTF: Rohrbahntrockenfütterung

Zur Feststellung der Arbeitsverfahren und des Arbeitszeitaufwandes sowie -bedarfs im Wartebereich wurden die Befragung mit einem halbstandardisierten Fragebogen und die Videodokumentation verwendet. Das Auswerten der Videodokumentation erfolgte nach der Arbeitselementmethode nach AUERNHAMMER (1976), auf Ebene des Arbeitselements. Die Arbeitsteilvorgänge und deren Arbeitselemente, dokumentiert in den aufgenommenen Videos, wurden in ORTIMzeit 6.5 ausgewertet. In einem Tabellenkalkulationsprogramm (Excel) erfolgte die deskriptive und im SAS Enterprise Guide 7.1 die analytische Auswertung, das Generieren von statistisch abgesicherten Planzeiten.

Um den Gesamtarbeitszeitbedarf realistisch zu berechnen, wurden polynomiale Regressionsgleichungen im Statistikprogramm SAS Enterprise Guide 7.1 und ins PROOF integriert (Schick, 2006). Die Signifikanz des Ergebnisses wurde jeweils durch den p-Wert dargestellt. Die Wahl der Bestandsgröße für die Modellierung richtete sich nach der Anzahl der verkaufsfähigen Ferkel pro Lieferung, orientiert an den derzeit gültigen Vorgaben und der daraus resultierenden optimalen Ladekapazität der Transportfahrzeuge.

## Ergebnisse und Diskussion

In diesem Abschnitt sind der Arbeitszeitbedarf sowie -aufwand insgesamt sowie der Routine- und Sonderarbeiten quantifiziert sowie mit der Literatur diskutiert.

### Gesamter Arbeitszeitbedarf der Kleingruppe (ohne Management)

Der Gesamtarbeitszeitbedarf einer Bestandsgröße von 140 Sauen belief sich für die Kleingruppe mit Fressliegebucht auf 3,58 AKh/Sau/Jahr im Wartebereich. Dieser verteilte sich zu 70,9 % auf die Routinearbeit (2,54 AKh/Sau/Jahr) sowie 29,1 % (1,04 AKh/Sau/Jahr) auf die Sonderarbeiten.

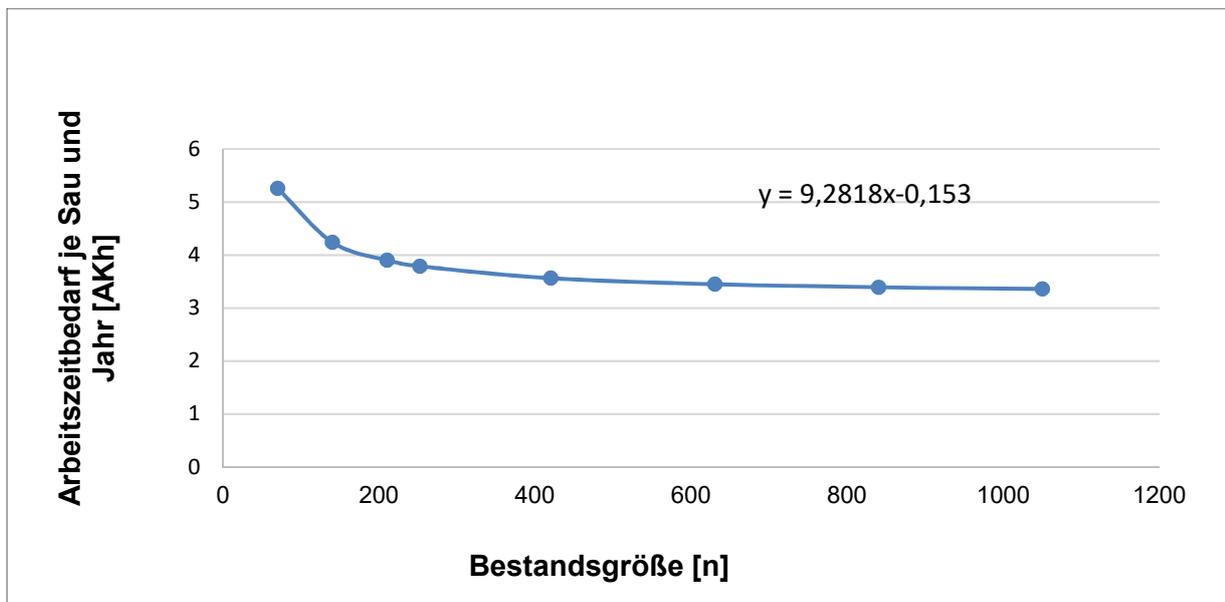


Abbildung 1: Gesamtarbeitszeitbedarf [AKh/Sau/Jahr] im Wartebereich nach Bestandsgrößen.

Dieser nahm, wie zu erwarten, mit zunehmender Bestandsgröße um bis zu 36,1 % (1050 Zuchtsauen) (Abb. 1) ab. Das hohe Bestimmtheitsmaß ( $R^2=0,90$ ) gab eine gute Anpassung der Regressionsgleichungen an den Arbeitszeitbedarf unterschiedlicher Bestandsgrößen wieder.

Der Gesamtarbeitszeitbedarf im Wartestall (ohne Managementaufwand) war gegenüber den bisherigen Studienergebnissen zu österreichischen Betriebssituationen nach HANDLER ET AL. (2006) um bis zu drei Viertel niedriger. MARTETSCHLÄGER (2007) belegte bei Großgruppenhaltung im Wartestall und einem Tierbestand von 600 produktiven Zuchtsauen einen Gesamtarbeitszeitbedarf von 1,97 AKh/Sau und Jahr. Dieser verhielt sich um etwa ein Drittel gegenüber den modellierten Arbeitszeitbedarf für 600 Zuchtsauen in Kleingruppen dieser Studie niedriger. Diese beachtlichen Unterschiede, insbesondere die niedrigen Arbeitszeitbedarfszahlen, sind mit den technischen Weiterentwicklungen der Haltungssysteme, Automatisierungseffekten und größeren Bestandsgrößen zu begründen.

### Arbeitszeitbedarf der Routine- und Sonderarbeiten

Zu den **Routinearbeiten** zählten alle Arbeiten, welche täglich erledigt wurden, die für den Modellbetrieb (Bestandsgröße 140 Sauen) in Abbildung 2 dargestellt sind. Der Arbeitszeitbedarf dieser im Wartebereich betrug 2,54 AKh/Sau/Jahr. Dieser unterschritt erheblich die bisherigen Literaturquellen zu kleineren und mittleren Bestandsgrößen sowie überschritt nicht wesentlich jenen von Großbetrieben (Haidn, 1992, S 59, Tamtögl, 2010, S 36, Martetschläger, 2007, S 90).

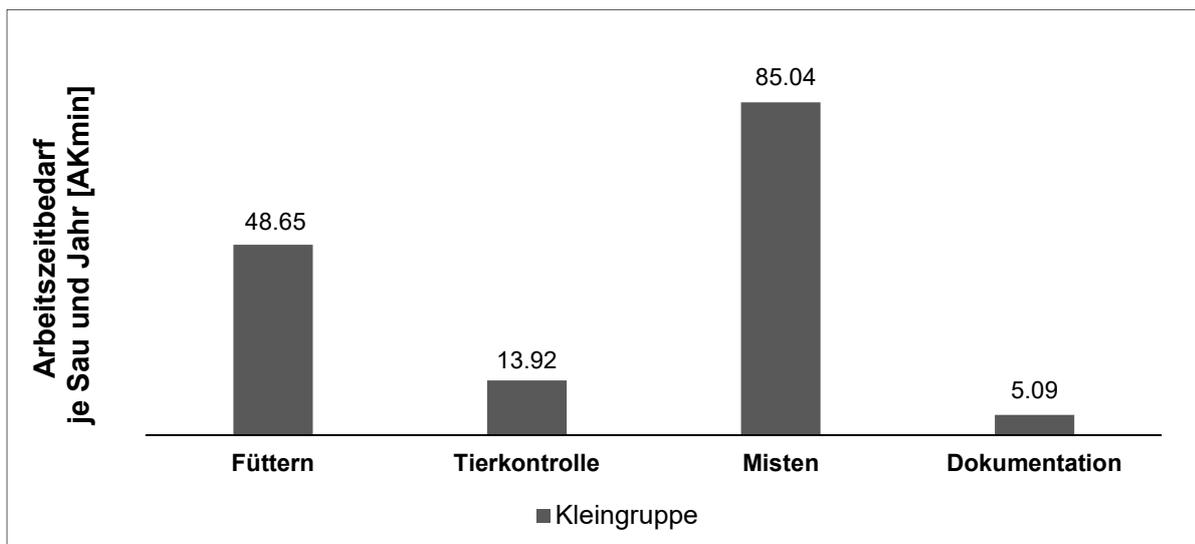


Abbildung 2: Arbeitszeitbedarf der Arbeitsvorgänge vom Modellbetrieb (mit einem Bestand von 140 Zuchtsauen) [AKmin/Sau/Jahr] der Routinearbeiten im Wartebereich der Kleingruppe.

Der höchste Arbeitszeitbedarf im Wartebereich je Sau und Jahr entstand für den Arbeitsvorgang Misten mit einem Anteil von 55,7 % (85,04/152,7) an der Routinearbeit, gefolgt von Füttern (31,9 %, 48,7/152,7), Tierkontrolle (9,12 %, 13,92/152,7) und Dokumentation (3,30 %, 5,09/152,7). Der überwiegende jährliche Arbeitszeitbedarf für das Misten (85,0 %, 72,3/85,0) fiel im Deckzentrum an, in dem die Sauen in Einzelhaltung gehalten wurden. Diese Werte sind sehr ähnlich den Literaturangaben für Flüssigmistsysteme (Blumauer, 2004, S 68).

Realisierte Arbeitszeiteinsparungen gegenüber der Literatur zur Fütterung ergaben sich durch die Teilautomatisierung der Fütterung (Aqualevel, Futterdosierer) (Riegel und Schick, 2006, S 6), die mit einem Übergang auf Vollautomatisierung noch erhöht werden könnte.

Der ermittelte Arbeitszeitbedarf zur Tierkontrolle der Modellbetriebe deckt sich mit den Angaben in der Literatur (Tamtögl, 2010, S 42). Durch Kombination mit dem Füttern, auch der Fütterungskontrolle bei vollautomatischer Fütterung, kann diese reduziert werden. Der erfragte Dokumentationsaufwand betrug 1,71 APcmin pro Tag für den Bestand von 140 Sauen und machte nur wenige Prozente aus.

Zu den **Sonderarbeiten** zählten alle Arbeiten, welche während eines einzigen Produktionszykluses nur einmal oder wenige Male erledigt wurden. Die Mittelwerte zum Arbeitszeitaufwand sind gemittelte erfragte Schätzwerte. Dieser belief sich auf 1,04 AKh/Sau/Jahr, die unter den Literaturangaben für Kleingruppen sowie deutlich darüber von Großgruppen lagen (Haidn, 1992, S 78, Martetschläger, 2007, S 90).

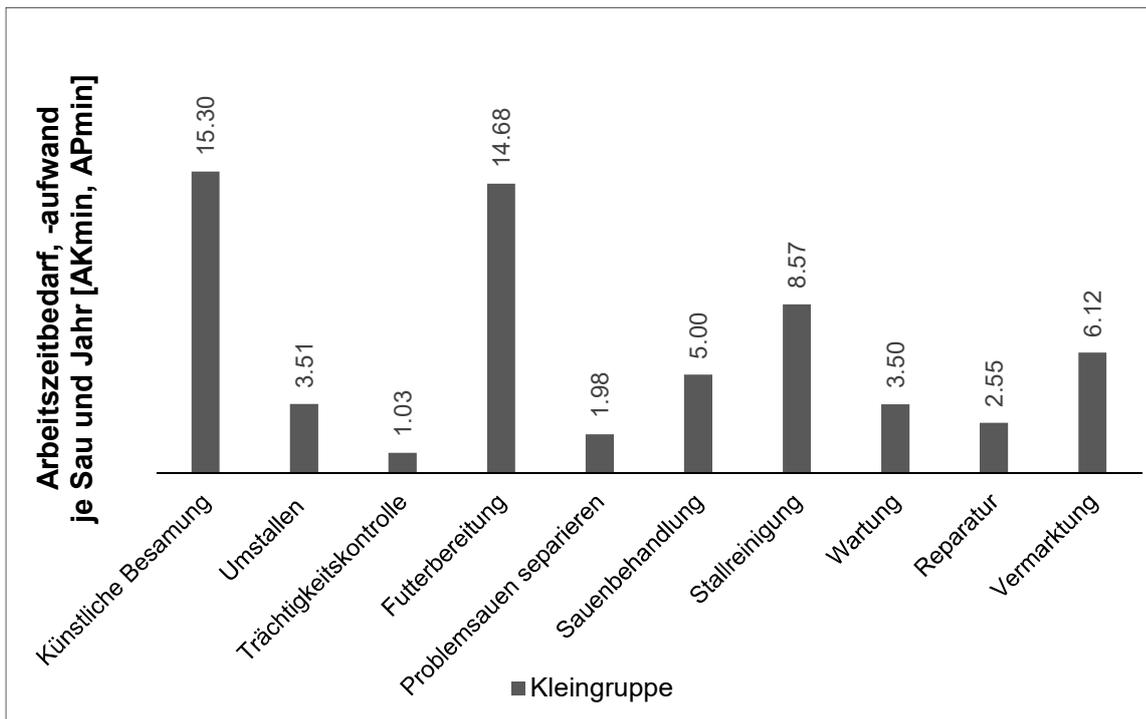


Abbildung 3: Arbeitszeitbedarf sowie -aufwand vom Modellbetrieb (mit einem Bestand von 140 Zuchtsauen) [AKmin o. APmin/Sau/Jahr] der Sonderarbeiten im Wartebereich der Kleingruppe.

Die künstliche Besamung (24,9 %, 15,3/61,4) und die Futterbereitung (23,9 %, 14,68/61,4) verursachten jeweils ein Viertel des Arbeitszeitbedarfs der Sonderarbeiten. Verbesserungsmöglichkeiten bei der Besamung von Sauen sind gute Organisation zur Generierung der Besamungsportionen und möglichst kurze Gehwege zwischen den Sauen sowie Beständen, wie diese bei Denkzentren durch das Einzelhalten möglich sind.

Der Arbeitszeitbedarf für Trächtigkeitskontrolle ergab sich über das Gehen zu den Sauen und die eigentliche Trächtigkeitskontrolle. Diese variierte über die Art der Trächtigkeitskontrolle, dies waren Sicht (0,2 AKmin/Sau/Jahr), Trächtigkeitsdetektor (0,4 AKmin/Sau/Jahr) oder Ultraschallgerät (1 AKmin/Sau/Jahr), wobei die letztgenannte Variante als zuverlässigste Kontrollvariante gilt.

Die Arbeitszeiten für die weiteren Sonderarbeiten sind ausschließlich erfragte Schätzwerte der Erhebungsbetriebe. Der Arbeitszeitaufwand für die Sauenbehandlungen deckten sich mit den Literaturangaben nach TAMTÖGL (2010) (S 41). Die Reinigungsarbeit, technischen Wartungsarbeiten und Vermarktung sind für die Klein- gegenüber Großgruppen häufiger sowie teils zeitaufwendiger durchzuführen, bedingt durch die aufwendigere Stahlkonstruktion und erhebliche Gruppengrößenunterschiede. In der Futterbereitung wurden keine Unterschiede zwischen Groß- und Kleingruppe festgestellt (Kaufmann, 2019, 67ff).

## Schlussfolgerung

Mit Änderung der gesellschaftlichen Rahmenbedingungen, insbesondere durch den technischen Fortschritt, ist es nötig, immer wieder neue Planungsdaten zu generieren.

Durch die Erstellung von Arbeitszeitmodellen können Aussagen über den Arbeitszeitbedarf im Wartebereich von verschiedenen Bestandsgrößen getroffen werden. Mit zunehmender Bestandsgröße nahm der Gesamt-arbeitszeitbedarf im Wartebereich je Sau und Jahr ab.

Der Arbeitszeitbedarf auf den Zuchtsauenbetrieben im Wartebereich ist stets rückläufig. Diesen Trend ermöglichen die zunehmende Herdengröße, das Management, der höhere Automatisierungsgrad und routiniertere Arbeitsweisen von BetriebsleiterInnen.

## Literatur

- Auernhammer, H. (1976): Eine Integrierte Methode zur Arbeitszeitanalyse, Planzeiterstellung und Modellkalkulation landwirtschaftlicher Arbeiten, dargestellt an verschiedenen Arbeitsverfahren. Dissertation, Technische Universität München.
- Blumauer, E. (2004): Arbeitswirtschaftliche Situation in der oberösterreichischen Ferkelproduktion. In: 14. Arbeitswissenschaftliches Seminar des VDI-MEG-Arbeitskreises Arbeitswissenschaften und Landbau, Tanikon: FAT-Schriftenreihe Nr. 62, S 65-74.
- Haidn, B. (1992): Arbeitswirtschaftliche Untersuchungen und Modellkalkulationen in der Zuchtsauenhaltung. Dissertation, Technische Universität München.
- Handler, F.; Stadler, M., Blumauer, E. (2006): Standardarbeitszeitbedarf in der österreichischen Landwirtschaft – Ergebnis der Berechnung der einzelbetrieblichen Standardarbeitszeiten. Wieselburg: HBLFA Francisco Josephinum / BLT Biomass – Logistics – Technology, Report Nr. 48, 61, 69, 78.
- Kaufmann, R. (2019): Arbeitszeitbedarf von aktuellen Gruppenhaltungsverfahren des Wartebereichs in konventioneller Zuchtsauenhaltung. Masterarbeit, Universität für Bodenkultur Wien.
- Martetschläger, R. (2007): Arbeitszeitvergleich von Abferkelbuchttypen mit und ohne Fixierung der Sau. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur Wien, 90.
- Schick, M. (2005): Methodenpapier Arbeitswirtschaft Kapitel: Datenerfassung, -aufbereitung, Statistik. KTBL-Schrift, Agroscope FAT Tänikon.
- Riegel, M.; Schick, M. (2006): Arbeitszeitbedarf und Arbeitsbelastung in der Schweinehaltung – Ein Vergleich praxisüblicher Systeme in Zucht und Mast. FAT-Berichte, 2006 (Nr.650): 1-12.
- Tamtögl, M. (2010): Ermittlung des Arbeitszeitbedarfs unter Berücksichtigung der Mensch-Tier-Beziehung in der biologischen Ferkelproduktion. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur Wien.

## Danksagung

Ein besonderer Dank gilt dem Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), dem Team Tierhaltung/Standortentwicklung/Im-missionsschutz unter der Leitung von DI Fritzsche, für die finanzielle Unterstützung sowie Zusammenarbeit, die die Studie EFAS (**E**rfassen von **A**rbeitszeitdaten in der konventionellen Gruppenhaltung von Zuchtsauen (in Groß- und Kleingruppen) ermöglichten und aus der dieser Artikel hervorging.

# Optimierung des Betriebsmanagements mittels digitaler Diagnosestellung in modernen Milchviehbetrieben

*Kathrin Lina Martha Ziegler<sup>1</sup>, Jochen Georg Wiecha<sup>1</sup> und Heinz Bernhardt<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Technische Universität München, Deutschland*

*E-Mail: [kathrin.ziegler@wzw.tum.de](mailto:kathrin.ziegler@wzw.tum.de)*

Zur Optimierung des Lahmheitsmanagements in modernen, milchviehhaltenden Betrieben ist eine Einbindung digitaler, sensorischer Systeme zur Diagnosestellung sinnvoll, um eine effektive Einzel-tierbeobachtung in Milchviehbetrieben mit wachsenden Tierzahlen realisieren zu können. Die Detektion von Lahmheit bei Einzelkühen, als auch die Ermittlung der Lahmheitsprävalenz auf Herdenebene, führt somit zu einem hohen Zeitaufwand für den jeweiligen Betriebsleiter, bzw. ebenfalls zu einem Anstieg der direkten Kosten in Form der Behandlungskosten des die Kuh beurteilenden Tierarztes. Im vorgestellten Projekt wird zunächst in einem Vorversuch ein Kamerasystem mit adaptiver Beleuchtungstechnik im automatischen Melksystem (AMS) angebracht, um den zu entwickelnden Algorithmus anzulernen und eine Einschätzung der Genauigkeit der Ergebnisse treffen zu können. In einem weiteren Schritt erfolgt die Planung zur Weiterentwicklung des bestehenden Systems, sodass die enthaltene Machine-Learning-Komponente konstant die Diagnosesicherheit für die spezifische Herde verbessern kann.

Die Diagnosewerte sollen zukünftig an die vorhandene Herdenmanagement- Software geliefert und dem Betriebsleiter erforderlichen Behandlungsbedarf anzeigen. Durch diese konstante Überwachung des Einzeltiers bei jedem Melkvorgang kann der aktuelle Zustand, aber beispielsweise auch eine Fortschrittskontrolle erfasst und somit ein tierindividuelles Behandlungsmanagement erfolgen. Die objektive Erkennung und Einordnung des Schweregrads der Lahmheit soll zu einem frühen Erkennen von Zuständen, die Behandlung erfordern, führen. Somit können Tierarztkosten eingespart, bzw. reduziert und der allgemeine, zeitliche Arbeitsaufwand nachhaltig gesenkt werden.

**Stichworte:** *Lahmheit, Diagnostik, Betriebsmanagement, Optimierung, Milchvieh*

## Einleitung

Wachsende Tierbestände erschweren die Feststellung von Produktionskrankheiten. Eine Beobachtung des Einzeltiers kann ohne zusätzlichen Arbeits- und Kostenaufwand nicht mehr zufriedenstellend realisiert werden. Als ein ökonomisch und tierschutzrechtlich äußerst wichtiges Krankheitscluster ist die Lahmheit zu betrachten. Da die Produktionsleistung der Tiere wesentlich von ihrem Wohlbefinden abhängt, ist eine frühzeitige Erkennung im Anfangsstadium der Lahmheit entscheidend, da bereits geringe Ausprägungen zu deutlichen Leistungseinbußen führen können (FIEDLER UND MÜLLER, 2008).

Zur Beurteilung des jeweiligen Lahmheitsgrads werden die einzelnen Tiere gegenwärtig von Veterinären mittels des „Locomotion Scores“ (LCS) nach SPRECHER ET AL. (1997) beurteilt. Die hierfür verwendeten Klassifizierungskonzepte beruhen auf der Bewertung von Lokomotion, Gewichtsverteilung zwischen den Gliedmaßen, Kopf- und Rückenhaltung, sowie dem Verhalten der Tiere. Als Herausforderung dieses Systems ist die Objektivität und Erfahrung des beurteilenden Beobachters zu nennen, da sie Voraussetzung für die Zuverlässigkeit und damit die Gültigkeit des Tests ist (VIAZZI ET AL., 2014).

Kombinationen automatisierter Methoden der Datenerhebung als Lösung zur Erkennung von Lahmheit, sowie zur Überwachung der Wirksamkeit der Behandlung, treten dabei immer mehr in den Vordergrund (CHAPINAL ET AL., 2010). Sie erlauben eine digitale Frühdiagnostik, ohne dabei zusätzliche Arbeitskraft zu benötigen und stoßen daher auf großes Interesse (BORDERAS ET AL., 2007; ESPEJO UND ENDRES, 2007). Einige der bereits erforschten Methoden, wie das Erfassen von Verhaltensparametern als Basis zur Entwicklung eines Vorhersagemodells oder die Extraktion der Rückenlinienkrümmung aus 3D-Videodaten zur automatischen Lahmheitserkennung, liefern bereits aussagekräftige Ergebnisse (vgl. ABDUL JABBAR, 2012; LORENZINI ET AL., 2018). Jedoch besteht ebenso Forschungsbedarf hinsichtlich dem Zusammenspiel aus objektiven Tierparametern, kuhindividuellen Parametern und den rasse-typischen Besonderheiten, als auch bezüglich einer zuverlässigen Ortungsmöglichkeit der betroffenen, lahmen Gliedmaße.

Die vorliegende Arbeit stellt die Ergebnisse aus dem Vorversuch vor und diskutiert die Planung für eine Weiterentwicklung des angestrebten Systems.

## Material und Methodik

Im Vorversuch des Projekts wurde die KI unter Einbeziehung von 200 Bildern der Kuhrasse Fleckvieh (FV) in einem Zeitraum von einer Woche erst an das Erkennen der Kuh und dann an das Erkennen der Rückenlinie angelernt.

Im Melkstand wurde die Bildaufnahme der Rückenlinie ausgelöst, sobald das Tier eine Lichtschranke passiert. Die Verwendung eines Greenscreens mit eingearbeiteten Streifen erleichterte der KI über das Glätten des Hintergrunds, der Erhöhung des farblichen Kontrasts gegenüber der Fellfarbe des Tiers und den so geschaffenen Anhaltspunkten die Orientierung und das Auffinden der Rückenlinie. Zur Vereinfachung der Anlernphase und da eine Erkennung in den frühzeitigen Lahmheitsstadien angestrebt wird, wurden vorerst nur drei Lahmheitsgrade (0= gesund, 1= gering lahm, 2= stark lahm) verwendet.

Zum Anlernen der Künstlichen Intelligenz (KI) im Rahmen des Vorversuchs wurde die Open Source Software Tensor Flow 2.1.0 (Apache 2.0 open source license), implementiert in Python unter dem Betriebssystem Linux (Ubuntu 18.04 LTS) in Verbindung mit Keras 2.3.1 (MIT-Lizenz) verwendet.

## Ergebnisse und Diskussion

Mit dem in Kapitel 2 beschriebenen Aufbau konnte eine Trefferquote von 78,3 % erreicht werden, gute Ergebnisse in diesem Bereich belaufen sich auf über 90 %. Folglich muss der Versuchsaufbau modifiziert werden (vgl. Abb. 1).

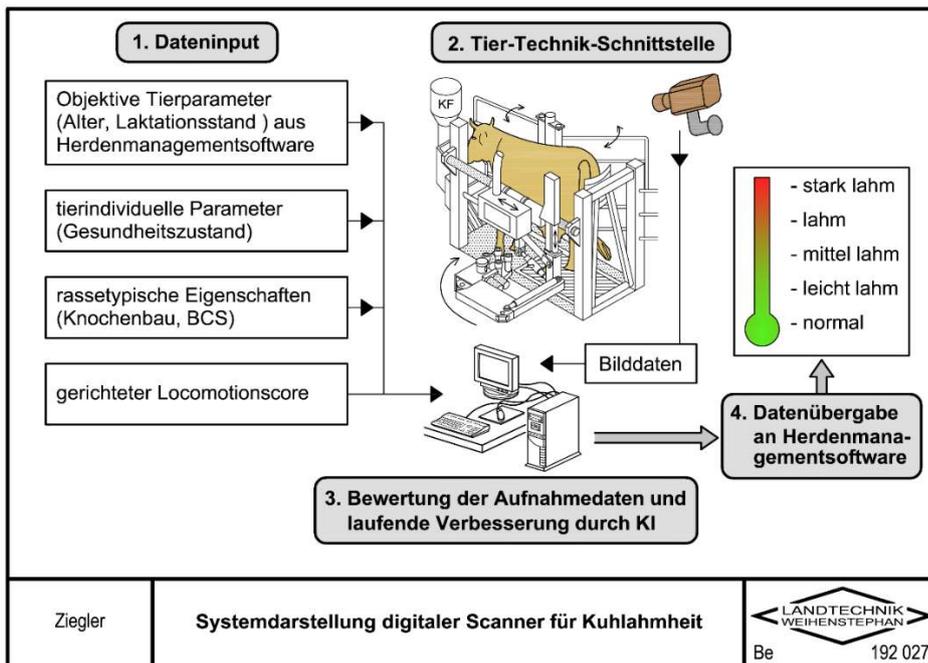


Abbildung 1: Schematisierte Darstellung des Versuchsdesigns im Automatischen Melksystem, Quelle: LS Agrarsystemtechnik, 2019.

Bereits bestehende Parameter, wie bspw. Alter und Laktationsstand, sollen aus der Herdenmanagementsoftware genauso mit in die Bewertung der Aufnahmedaten mit einfließen, wie tierindividuell zu erhebende Parameter (z. B. aktueller Gesundheitszustand oder Vorerkrankungen) und rasstypische Eigenschaften (z. B. Knochenbau, Body Condition Score (BCS)). Nach dem Auslösen des Bilds der Rückenlinie sollen die Aufnahmedaten durch die KI bewertet und dem Landwirt auf einer leicht verständlichen, farblich unterlegten Skala als Lahmheitsgrad ausgegeben werden.

In Ergänzung der Arbeit von ABDUL JABBAR (2012), sollte nicht nur Lahmheit allgemein, sondern auch die entsprechende Gliedmaße detektiert werden können. Deshalb werden zusätzliche, caudo-craniale, sowie proximo-distale Aufnahmen des Tiers angefertigt. Somit kann die Lahmheit zusätzlich über das Verhältnis von Sitzbein- zu Sprunggelenkshöcker beurteilt werden. Durch die Nutzung der Bilddaten der 2D und eventuell eines Multi-3D-Kamerasystems (Kinect for Windows) entsteht eine Überschneidung von Sagittal-, Frontal- und Transversalebene am Tier und erhöht die Genauigkeit und damit das zu erwartende Ergebnis. Die Installation des standardisierten Systems in verschiedenen AMS-Typen (DeLaval, GEA, Lely), sowie die Durchführung des Versuchs mit verschiedenen Kuhrassen mit entsprechendem Schmerzempfinden (HF/FV), steigert die Heterogenität des als Basis verwendeten Bildmaterials.

Zusätzlich könnte, nach dem Vorbild von RENN ET AL. (2014) eine Wärmebildkamera im AMS angebracht werden, um etwaige entzündliche Prozesse im Gewebe festzustellen.

## Fazit

Durch die Modifizierung des Versuchsaufbaus und das kontinuierliche Verbessern der KI, kann das System zukünftig eine konstante, automatisierte Überwachung des Einzeltiers bei jedem Melkvorgang, ermöglichen. Da so der aktuelle Zustand regelmäßig erfasst wird, können die Daten in zyklischen Abständen ausgewertet werden und stellen somit ebenfalls eine Fortschrittskontrolle dar, die nach einer erfolgten Behandlung ausschlaggebend ist. Für den Betriebsleiter ergibt sich hier die Chance auf Arbeitszeit- und Aufwands-Einsparung, sowie die Reduzierung von Tierarztkosten da durch die automatische Detektion niedriger Lahmheitsgrade bereits früh in das Krankheitsgeschehen eingegriffen werden kann.

## Literatur

- Abdul Jabbar, K.: 3D Video based Detection of Early Lameness in Dairy Cattle, Dissertation, UWE Bristol, 2012.
- Abdul Jabbar, K., Hansen, M. F., Smith, M. L. and Smith, L. N.: Early and non-intrusive lameness detection in dairy cows using 3-dimensional video. In: Biosystems Engineering. Volume 153, Pages 63-69, ISSN 1537-5110. 2017.
- Bach, A.; Dinares, M., Devant, M. und Carre, X.: Associations between lameness and production, feeding and milking attendance of Holstein cows milked with an automatic milking system. In: Journal of Dairy Research 74, S. 40-46. 2007.
- Borderas, T.F.; Fournier, A.; Rushen, J. und de Passillé, A.M.B.: Effect of lameness on dairy cows' visits to automatic milking systems, In: Canadian Journal of Animal Sciences 88, S. 1-8, 2007.
- Chapinal, N.; de Passillé, A.M.B.; Rushen, J. und Wagner, S.: Automated methods for detecting lameness and measuring analgesia in dairy cattle, In: Journal of Dairy Science 93, S. 2007-2013, 2010.
- Dieckmann, Sarah: Entwicklung eines Bildverarbeitungssystems zur Überwachung des Locomotion Scoring in Milchviehbetrieben, Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin, 2019.
- Espejo, L.A. und Endres, M.I.: Herd-level risk factors for lameness in high-producing Holstein cows housed in freestall barns, In: Journal of Dairy Science 90, S. 306-314, 2007.
- Fiedler, A. und Müller, M.: Folgen mangelhafter Klauenpflege, In: Der praktische Tierarzt, 89 (2), S. 152-157, 2008.
- Fiolka, T.; Schächter, F. und Heinskill, J.: Automatische Rückenlinienanalyse bei Milchkühen aus Bilddaten, In: Bornimer Agrartechnische Berichte, 24. Workshop Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft, Heft 99, S. 71-80, 2018.
- Hässig, M. Degen Aguayo Aparicio, C. und Nuss, K.: Korrelation eines Lahmheit-Scoring-Systems und Klauenläsionen. SAT/ASMV, Band 160 (2), Februar 2018, S. 107-114. 2018.
- Li, J.; Cai, C. und He, J.: Deep cascaded convolutional models for cattle pose estimation, In: Computers and Electronics in Agriculture 164, S. 104885, 2019.
- Lorenzini, I.; Grimm, K.; Haidn, B. und Misha, E.: Development of a prediction model for automatic lameness detection in dairy cows. 21. Arbeitswissenschaftliches Kolloquium 2018, Schweiz. 2018.
- Renn, N.; Onyango, J. und McCormick, W.: Digital Infrared Thermal Imaging and manual lameness scoring as a means of lameness detection in cattle, In: Veterinary Clinical Science, 2 (2), S. 16-23, 2014.
- Sprecher, D.J.; Hostetler, D.E. und Kaneene, J.B.: A lameness scoring system that uses posture and gait to predict dairy cattle reproductive performance, In: Theriogenology, 47 (6), S. 1179-1187, 1997.
- Stock, K.F.; Fiedler, A.; Müller, K.E.; Plattes, S. und Behr, B.: Entwicklungen zur systematischen Erfassung und Nutzung von Klauendaten beim Rind. Vortragstagung der DGfZ und GfT am 16./17. September 2015 in Berlin. 2015.
- Van Hertem, T.; Bahr, C.; Schlageter-Tello, A. und Viazzi, S.: Lameness detection in dairy cattle: single predictor v. multivariate analysis of image-based posture processing and behavior and performance sensing, In: Animal, 10 (9), S. 1525-1532, 2015.
- Viazzi, S.; Bahr, C.; Van Hertem, T.; Schlageter-Tello, A.; Romanini, C.E.B; Halachmi, I. und Berckmans, D.: Comparison of a three-dimensional and two-dimensional camera system for automated measurement of back posture in dairy cows, In: Computers and Electronics in Agriculture, 100, S. 139-147, 2014.

## Arbeitssicherheit und Gefährdungslagen bei elektrifizierten Anbaugeräten der Wirtschaftsdüngerausbringung

Jochen Georg Wiecha<sup>1</sup>, Kathrin Lina Martha Ziegler<sup>1</sup> und Heinz Bernhardt<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Technische Universität München, Deutschland

E-Mail: [wiecha@wzw.tum.de](mailto:wiecha@wzw.tum.de)

In der Landwirtschaft hat die Arbeitssicherheit eine bedeutende Rolle – werden doch enorme Lasten bewegt und dafür schwere Maschinen benötigt. Entsprechend sind Gefährdungslagen für landwirtschaftliche Mitarbeiter grundsätzlich schon vorhanden. Gefährdungslagen bei elektrifizierten Arbeitsgeräten sind noch in der Erforschung, da sich die Elektrifizierung in der Landwirtschaft bislang noch langsam entwickelt. So versuchen einige Traktorenhersteller, mittels Batteriesystemen Elektrifizierung zu implementieren, andere greifen auf Generatoren direkt im Antriebsstrang des Traktors zurück.

Parallel entwickeln sich elektrifizierte Anbaugeräte. Da die Gülleausbringung auf Grund der möglichen Emissionen besonders schnell weiterentwickelt wird, sind in dieser Sparte neue Produkte für die Wirtschaftsdüngerapplikation in den Boden zu erwarten.

Anhand einer Traktionsrolle am Güllegrubber wird in dieser Studie die Besonderheit solcher elektrifizierten Anbaugeräte beleuchtet. Dabei werden gezielt mechanische Gefährdungen durch elektrisch bewegende Bauteile aufgeführt. In Verbindung mit der Bodenarbeit kann es bei Anwendung des E-Güllegrubbers zu weiteren Gefährdungsszenarien kommen.

Ein großer Teil der Arbeit bezieht sich auf die elektrische Gefährdung selbst, da bei Elektrifizierungsprojekten mit Anbaugeräten mit Hochvoltsystemen bis 700V gearbeitet wird. Im Weiteren geht von solch angetriebenen Bauteilen eine thermische Gefährdung aus, falls keine hinreichende Kühlung mit einer Absicherung im Falle eines Systemausfalls in die Konstruktion aufgenommen wurde.

Schließlich zeigt diese Arbeit Lärmquellen auf und widmet sich Vibrationen am System oder durch das System auf weitere Arbeitsgeräte. Abschließend sind ergonomische Aspekte im Zentrum der Betrachtung. So tritt durch die Elektrifizierung am Anbaugerät eine erhebliche Gewichtserhöhung ein, die durch geeignete Hilfsmittel der Arbeitskräfte zu bewältigen ist. Sowohl die Phase des An- und Abbaus des Geräts, wie auch die Wartung und Pflege stehen dabei im Mittelpunkt. Nicht zuletzt geht auch von den Traktionselementen der elektrifizierten Rolle selbst ein mögliches Risiko aus. Dies alles findet Einfluss in eine Betrachtung der generellen Arbeitssicherheit bei elektrifizierten Anbaugeräten.

**Stichworte:** Arbeitssicherheit, Elektrifizierung, Anbaugerät, Traktor, Gefährdungsanlagen

## Einleitung

Die Elektrifizierung hat im Automobilbau bereits große Veränderungen angeschoben. Der landwirtschaftliche Sektor wird sich dieser Entwicklung langfristig auch nicht entziehen können, sodass die Elektrifizierung eine bedeutende Rolle spielen wird (Lindner et al., 2011). Einen Überblick über mögliche Systemkonzepte zeigen Pichelmaier et al. (2014). Hier werden bereits elektrifizierte Baugruppen auch auf landwirtschaftliche Anbaugeräte verteilt.

Eine Klasse mit besonderer Bedeutung bei den Anbaugeräten ist die Wirtschaftsdüngerausbringung und die Einarbeitung in den Boden. Insbesondere Strip-till-Geräte und Güllegrubber kommen dabei zur Anwendung. Durch die schnelle Einarbeitung des Düngers mit rascher Rückverfestigung sollen Emissionen begrenzt werden.

Die neue Technik mit elektrifizierten Baugruppen am Anbaugerät kann jedoch zu neuen Gefährdungslagen führen, die auch im Bereich der landwirtschaftlichen Arbeitssicherheit neu sind. In dieser Arbeit wird an einer elektrifizierten Traktionsrolle, welche an einem Güllegrubber montiert ist, exemplarisch das Gefährdungspotential ermittelt und in die einzelnen Gefährdungslagen eingeteilt.

## Material und Methode

### Systemlayout des elektrifizierten Anbaugeräts

Das Maschinenlayout wird in Abbildung 1 präsentiert. Im aktuellen Entwicklungsstand dieses Elektrifizierungsprojekts wird die benötigte Energie von einem Powerpack der Technischen Universität Dresden erzeugt. Das Powerpack wird an der Frontzapfwelle montiert und betrieben.



Abbildung 1: Der elektrifizierte Güllegrubber am Versuchsschlepper noch ohne Güllepumpe.

Von links nach rechts gesehen ist zunächst in der Nähe des Anbauorts die elektrifizierte Traktionsrolle verbaut. Über der Traktionseinheit befinden sich Stromumwandler und alle elektronischen Komponenten für die Steuerung. Die vom Powerpack gelieferten 550 V–700 V wandelt ein Inverter für den verbauten Motor von ZF Friedrichshafen AG auf 400 V. Die maximale Drehzahl des Motors reicht bis 10.300 U/min. Nach der Traktionseinheit sind zwei Reihen mit Grubberzinken verbaut.

In der ersten Reihe befinden sich vier Grubberzinken, in der zweiten Reihe wurden nochmals drei Grubberzinken montiert. Abschließend folgt eine Rückverfestigungseinheit.

Am elektrischen System wurde ein Not-Aus-Schalter verbaut, der von der Kabine des Zugfahrzeugs betätigt werden kann. Auf dem elektrifizierten Anbaugerät gibt es einen identischen Not-Aus-Schalter. Die getestete Steuersoftware schaltet konsequent bei unsicheren Betriebszuständen ab. – Die Funktion und das Funktionieren der Sicherheitsabschaltung ist allen Szenarien in dieser Arbeit unterstellt.

### **Gefährdungsgruppen**

Mechanische Gefährdung tritt bei jeglichen landwirtschaftlichen Arbeiten auf. Die zusätzliche Traktionsrolle hat aber auch das Potential das gesamt Anbaugerät anzutreiben, sodass zum Beispiel Schubkräfte von hinten auf das ziehende Fahrzeug oder auf das vorlaufende Güllefass wirken können.

Neben dieser beschriebenen Gefährdungslage ist aber auch mit rotierenden Teilen oder gelockertem Erdmaterial zuzüglich kleiner Steine zu rechnen. Aufgrund der angetriebenen Rolle, welche während der Feldversuche mit bis zu 40 % Schlupf betrieben wurde, können häufigere und größere Beschleunigungskräfte auftreten.

Ein großes Augenmerk wird auf elektrische Gefährdungen gelegt. Von der stromführenden Leitung vom Powerpack hin bis zum Verbraucher handelt es sich um ein Hochvoltsystem mit entsprechendem Gefährdungspotential.

Thermische Gefährdungen werden ebenfalls berücksichtigt, da es im Falle einer Havarie zur Unterbrechung des Kühlkreislaufs kommen kann und sich somit Baugruppen über die erwarteten Werte hinaus erwärmen. Da es aber als Vorbedingung eine ausreichende Kühlung gibt, ist nur der Schadensfall zu betrachten. Deshalb werden thermische Gefährdungen als Folgegefährdung behandelt und den anderen Gefährdungsgruppen bei der Bewertung zugeschlagen.

Neben Lärmquellen können auch Vibrationen im System des elektrifizierten Anbaugeräts zu Gefährdungslagen führen. Neben den Bedingungen aus der Einsatzumgebung werden diese Gefahren in der Gruppe „expandierende Gefährdungen“ gesammelt, da der Schaden und die Gefährdung auf weitere Bauteile oder vom Anbaugerät entfernte Gegenstände einwirken kann. Die Vibrationen sind aufgrund der Verbindung im gesamten Rahmen des Anbaugeräts möglich und können auch einen sich aufschaukelnden, verstärkenden Effekt im Gegensatz zur ursprünglichen Vibrationsquelle haben.

Als letzter Punkt wird die Gefahrenlage eines stehenden und nicht angebauten elektrifizierten Geräts betrachtet. Hier ist durch die hohen verbauten Gewichte der elektrifizierten Traktionsrolle ein erheblicher Mehraufwand beim An- und Abbau zu erwarten. Das hohe Gewicht birgt aber auch die Gefahr von unkontrollierter Bewegung auf nicht geraden Untergründen oder beim Transport mittels Hubkran auf dem Betrieb.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Im Nachfolgenden werden die ermittelten Gefährdungslagen den Gefährdungsgruppen zugeordnet. Die Abbildung 2 gibt eine Übersicht über die Gefährdungslagen bei arbeitendem Anbaugerät, bei stehendem Gerät und in nicht angebautem Zustand. Die einzelnen Gefährdungslagen werden nachfolgend einzeln diskutiert.

### Mechanische Gefährdungslagen

**Schubkräfte:** Durch einen elektrifizierten Antrieb am Anbaugerät überträgt sich die Vorwärtsbewegung über die Anbauschnittstelle auf das ziehende Fahrzeug. Da, wie in Material und Methode erwähnt, von einer Sicherheitseinrichtung ausgegangen wird, die bei kritischen Fahrzuständen das System abschaltet, bleibt jedoch bei Bergabfahrten das durch die Elektrifizierung bedingte höhere Gewicht des Anbaugeräts, welches das gesamte Gespann schwerer zum Stillstand kommen lassen kann. Die auftretenden Schubkräfte müssten von einem adaptiven Assistenzsystem an die Elektrifizierungseinheit vor dem Erreichen solcher Situationen signalisiert werden, damit die Traktionseinheit zum Abbremsen mit genutzt werden könnte.

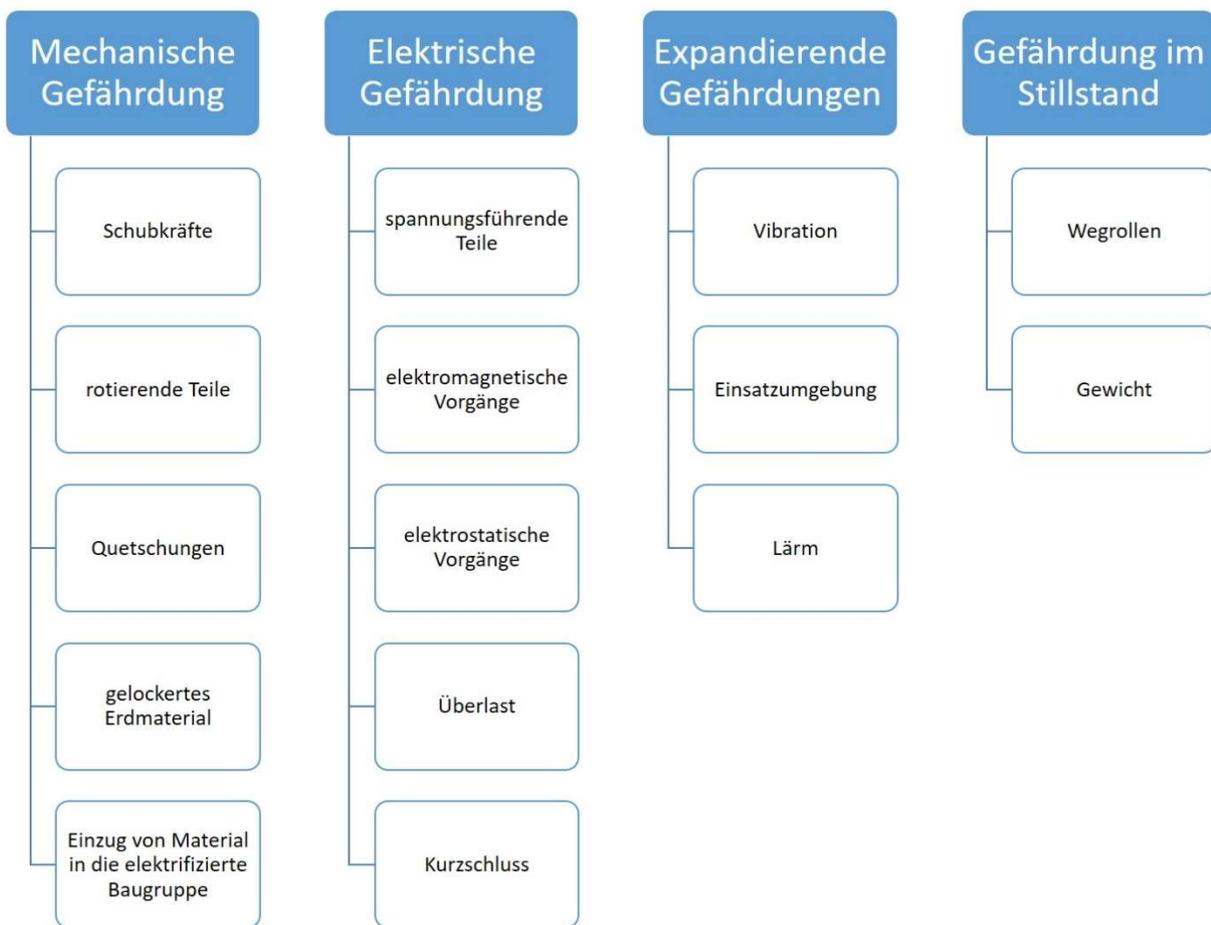


Abbildung 2: Die Gefährdungsgruppen mit bedeutenden Gefährdungslagen aus elektrifizierten Anbaugeräten.

**Rotierende Teile:** Die Elektrifizierung einer Traktionsrolle bedingt einen Schlupfwert, den das System benötigt, um Vortrieb zu generieren. Die Rotationsgeschwindigkeit ist also höher, als für die Fortbewegung über Grund benötigt. Somit ergibt sich eine Reibungskraft auf die Bodenoberfläche, die ein Zermahlen von Partikeln oder Gegenständen bewirken kann. Ebenfalls kann es bei der Arbeit des Anbaugeräts auf dem Feld zu Schlägen gegen das System und den rotierenden Teilen kommen. Die stromführenden Kabel, Hydraulikschläuche und Schläuche des Kühlkreislaufs müssen unabdingbar vor Kontakt mit der rotierenden Rolle geschützt werden, um ein abruptes Systemversagen im Havarie-Fall zu verhindern. Ein schützender Kotflügel über die gesamte Breite der rotierenden Einheit kann hier Abhilfe schaffen.

**Quetschungen:** Die rotierenden Teile der elektrifizierten Einheit können bei Kontakt mit Personen Quetschungen gegen weitere Bauteile verursachen. Ebenso ist das Hantieren unterhalb der elektrifizierten Rolle nur nach mechanischer Absicherung zu vollziehen, da unbeabsichtigt Quetschungen zwischen Rolle und Boden

drohen können. Gegen den ersten hier beschriebenen Fall wäre ebenfalls die überspannende Absicherung mit einer Abdeckung der Traktionsrolle sinnvoll.

Gelockertes Erdmaterial: Die Tatsache, dass Schlupf an die elektrifizierte Traktionsrolle anzulegen ist, bedingt auch, dass Material in Form von Erdpartikel und kleiner Steine heraus aus der Erdoberfläche befördert werden können und bei entsprechender Beschleunigung zu Geschossen gegen umliegende Bauteile oder in der Nähe stehenden Personen werden können. Der überspannende Schutzdeckel über die Traktionsrolle würde in diesen Fällen auch die Gefährdungs-beseitigung bieten, solange das Material des Schutzdeckels widerstandsfähig gegen mehrfache Beschädigung ist und nicht beim ersten Auftreten solcher Kräfte brüchig wird.

Einzug von Material in die Traktionsrolle: Neben der bereits beschriebenen Gefahr des Einzugs von Versorgungsleitungen des Anbaugeräts zieht sich auf die Traktionsrolle Bodenmaterial auf, das adhäsiv ist. Dieser Vorgang kann ungerichtet und ungleichmäßig entstehen, sodass auf die elektrifizierte Baugruppe eine Unwucht wirkt, die Vibrationen zur Folge haben kann. Ein Abhilfeszenario wäre einen Erdabscheider zu planen, der regelmäßig während der Rotation der Rolle Material abstreift und so ein Ansammeln verhindert. Das verringert die Unwucht und damit auch entstehende Vibrationen.

### **Elektrische Gefährdungslagen**

Spannungsführende Teile: Spannungsführende Bauteile sind per Konstruktion abgeschirmt und lassen keinen Kontakt mit Personen zu. Erst durch mechanische Beschädigung durch normale Belastung bei der Feldarbeit können spannungsführende Teile zur Gefahr werden und über einen elektrischen Schlag Energie freisetzen. Da eine Beschädigung zuvor stattgefunden haben muss, sind also für elektrifizierte Anbaugeräte Inspektionen der Anlage vor deren Einsatz durchzuführen, um eine mögliche Gefahrenquelle auszuschließen.

Elektromagnetische Vorgänge: Elektromagnetische Vorgänge können sowohl auf die elektrifizierte Baugruppe, als auch von ihr auswirken. Per technischen Vorkehrungen wird erstes unterbunden, jedoch kann eine Wirkung, beispielsweise auf Herzschrittmachern, nicht ausgeschlossen werden. Die Hochvoltkabel sind deshalb besonders abzuschirmen.

Elektrostatistische Vorgänge: Auszuschließen ist eine Verwendung im Gas-Umfeld, da elektrostatische Vorgänge als Zündquelle dabei dienen können. Da elektrifizierte Anbaugeräte nur im freien Feld betrieben werden, ist offensichtlich keine Gefährdung zu erwarten. Anders verhält es sich jedoch, wenn nach dem Feldeinsatz das System noch unter Spannung auf dem Betriebsgelände in einer Halle abgestellt werden soll. Hier ist unbedingt auf gasfreie Räume zu achten, die keine Gefährdungslage entstehen lassen. Alternativ kann vorgeschrieben werden, solche Geräte nicht in geschlossenen Räumen zu Lagern.

Überlast: Überlast ist ein generelles Problem der elektrischen Gefährdung. Neben der sicheren Auslegung der Kabelquerschnitte wird im Rahmen des Sicherheitssystems des Anbaugerätes auf eine Ingangsetzung unter freigegebenem Generator bestanden. Die Leistungselektronik wird gegen Überspannung abgesichert. Gleiches erwartet die Hersteller elektrifizierter Antriebsstränge, wie Maihöfer und Blandow (2019) in ihrem Kapitel zu „Funktionale und elektrische Sicherheit“ anmerken.

Kurzschluss: Ein Kurzschluss kann Verblitzung und Verbrennungen durch umherspritzendes Metall auslösen. Da gefährdete Bauteil unter Abschluss nicht erreichbar für den potentiellen Endanwender liegen, ist bei elektrifizierten Anbaugeräten zu erwarten, dass keine eigenständige Wartung oder Reparatur auf dem

Betrieb erfolgen kann, sondern nur in speziellen Fachwerkstätten, die auf Elektrifizierung geschult sind. Entsprechendes fanden auch Hollmotz und Horn (2010).

### **Expandierende Gefährdungslagen**

Vibrationen: Vibrationen wären bei korrektem Aufbau aller Teile aus Sicht des Maschinenbaus nicht zu erwarten. Abgeleitet von Kapitel 2.2 und 3.1 muss jedoch mit der Anlagerung von Bodenmaterial gerechnet werden. Je nach Feldbedingungen und Feuchtigkeit des jeweiligen Bodentyps kann eine große Menge Erdmaterial eine wachsende Unwucht in der Rotation der elektrifizierten Traktionsrolle bewirken. Diese Vibrationen können sich aufschaukeln und den Fahrer zur Reduktion der Fahrgeschwindigkeit oder zum Abbruch des Arbeitsgangs zwingen, solange keine Reinigung der Traktionsfläche stattgefunden hat. Da eine optimale Traktion auch unter Formschluss stattfindet und ein Optimum zum jeweiligen Boden angestrebt wird, kann auch ein Maximum von Anlagerungen an der Traktionsfläche erwartet werden. Im Gegensatz zur Traktionsfläche der Rolle ist ein landwirtschaftlicher Reifen nicht auf Bodenbearbeitung ausgelegt und zusätzlich auf Fahren auf befestigten Wegen. Fahrten auf befestigten Wegen lösen einen Teil der Anhaftungen an Reifen und eine höhere Fahrgeschwindigkeit kann dazu ebenfalls einen Beitrag leisten. Die bodenbearbeitende Traktionsfläche der elektrifizierten Rolle kann dies jedoch nicht.

Einsatzumgebung: Gefährdungslagen aus der Einsatzumgebung betreffen kritische Fahrzustände – kritisch in Bezug auf Neigung, sowie kritisch in Bezug auf die Bodenverhältnisse. Da das elektrifizierte Anbaugerät wie ein heckgetriebenes Auto reagieren könnte, könnte das gesamte angehängte Gespann Seitenkräften ausgesetzt sein, die von der Steuerungssoftware adäquat erkannt werden müssten. Hier müsste eine Intelligenz zum Einsatz kommen, welche Geschwindigkeit von der Traktionsrolle nimmt und den Fahrer in der Kabine zusätzlich warnt. Somit kann effektiv gegengesteuert werden.

Lärm: Eine Gefährdung durch Lärm scheint zunächst nicht offensichtlich, da Elektrofahrzeuge ja nahezu lautlos fahren. Die elektrifizierte Traktionsrolle ist jedoch auch ein Arbeitsgerät am Boden. Abgeleitet von Kapitel 3.1 und den Beschleunigungskräften an durch die Rolle gelösten Steinen können laute Schläge, Kratz- und Schleifgeräusche entstehen, da der Schlupf an der Traktionsrolle eine höhere Geschwindigkeit als die Fahrgeschwindigkeit über dem Boden fordert und die Oberfläche der formschließenden Traktionsrolle mit unterschiedlichen Traktionselementen im Boden arbeiten kann. Wenn also Lärm entsteht, dann tritt er in Belastungsspitzen auf und ist unvorhersehbar. Die Unvorhersehbarkeit macht ihn zu einer Gefährdungsquelle, da Bedienpersonal das elektrifizierte Anbaugerät in der Annahme betreibt, dass es keine Gefährdung durch Lärm geben könne. Hier ist auf entsprechende Einweisung der Betriebsleiter und der Mitarbeiter zu achten, die im Umgang mit elektrifizierten Anbaugeräten geschult werden müssen. Diese Schulungen sollten regelmäßig erneuert werden.

### **Gefährdungen im Stillstand**

Wegrollen: Die elektrifizierte Traktionsrolle wiegt in unserem Beispiel 500 kg. Sie ist nahe dem Dreipunktanbau angebracht, um die Gewichte optimal zu verteilen. Jedoch ergibt sich im abgebauten Stillstand daraus das Problem, dass das komplette Anbaugerät sich einen halben Meter über die Rolle bewegen kann, wenn es auch noch zusätzlich auf den Grubberzinken nur punktuell auf dem Boden abgestellt wird. Dies zu verhindern würde eine Arretierung der Rolle leisten, welche zum Start auf dem Feld wieder zu demontieren ist. Alternativ kann ein Abstellrahmen konstruiert werden, sodass die Auflagepunkte des Anbaugeräts besser auf die zur Verfügung stehenden Grundfläche verteilt werden.

Gewicht: Das Gewicht im angebauten Zustand des Anbaugeräts ist schon allein für sich problematisch. Die Konstruktion aus Abbildung 1 wiegt in der dargestellten Konfiguration 2,8 t. Das Gewicht kann aber für das Bedienpersonal beim An- und Abbau am Zugfahrzeug oder am Güllewagen zur neuerlichen Herausforderung

werden. Ungewohnt schwer und träge reagiert das Anbaugerät auch beim Verladen mittels Hoflader. Die einseitige Gewichtsverteilung aufgrund der elektrifizierten Rolle muss bedacht und ausgeglichen werden.

### ***Erweiterung der Sicherheitsvorkehrungen bei elektrifizierten Anbaugeräten***

Wie in den Ergebnisteilen dieser Arbeit vorgestellt, müssen noch einige sicherheitsrelevante Änderungen vorgenommen werden. Der Anbau eines Deckels um die Traktionsrolle, softwareseitige Programmierung hinsichtlich Fahrzustände des gesamten Gespanns und mechanische Sicherungen gegen unbeabsichtigtes Bewegen in Stillstand. Über neue Standards bei der Sicherheitsbewertung in Bezug auf Elektrifizierung in der Landwirtschaft sollte nachgedacht werden. Zeitgleich ist eine verpflichtende Schulung an solchen Systemen durchzuführen, die aktuell gehalten werden. Der Zwang in die Werkstätten mit für Elektrifizierung geschultem Fachpersonal zu den Serviceterminen kann sich nach dem Kauf elektrifizierter Anbaugeräte als zusätzlicher Kostenfaktor erweisen.

### **Fazit**

Die Betrachtungen in den Ergebnissen zeigen, dass für elektrifizierte Baugruppen weitere Sicherheitstechnik notwendig ist. So hat sich der Überbau der Traktionsrolle mittels eines Deckels in mehreren Fällen der Gefährdungslagen als Lösungsansatz herausgestellt. In zwei Fällen muss freies Agieren der Rolle abgewendet werden: im Falle des Wegrollens im Stand und im Falle der Vorwegnahme der Verringerung der Fahrgeschwindigkeit mit Unterstützung der Bremswirkung für das gesamte Gespann durch die Traktionsrolle. Mit diesen weiteren Sicherheitseinrichtungen können mehrere Gefahrenquellen gemindert oder beseitigt werden, sowohl für den Versuchstechniker in der Erprobung, als auch für den Endkunden eines fertigen Verkaufsgerätes.

## Literatur

- Hollmotz, L.; Horn, C. (2010): Hochvolt in der Werkstatt – elektrifizierte Antriebe als Herausforderung fuer die After-Sales-Prozesse. In: VDI-Berichte 2105, VDI Verlag GmbH, ISSN: 0083-5560.
- Lindner, M.; Aumer, W.; Geißler, M.; Herlitzius, Th. (2011): Herausforderungen bei der Elektrifizierung von Geräten in der Landtechnik. In: Hybridantriebe für mobile Arbeitsmaschinen: 3. Fachtagung, 17. Februar 2011, Karlsruher Schriftenreihe Fahrzeugsystemtechnik, Herausgeber Lehrstuhl für Mobile Arbeitsmaschinen Prof. Geimer und Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau Dipl.-Ing. Synek.
- Maihöfer M., Blandow V. (2019): Funktionale und elektrische Sicherheit. In: Tschöke H., Gutzmer P., Pfund T. (eds) Elektrifizierung des Antriebsstrangs. ATZ/MTZ-Fachbuch. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, ISBN 978-3-662-60355-0
- Pichlmaier, B.; Brey, W.; Szajek, A. (2014): Electrification of Tractors. In: ATZoffhighway Vol. 7(1), Springer Fachmedien, Wiesbaden, S. 78-88, <https://doi.org/10.1365/s35746-014-0155-x>

# Prozesskennfelder für die Ermittlung idealer Konfigurationen und Verhaltensweisen in kollaborativen Prozessen

Thilo Steckel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Claas E-Systems GmbH, Dissen a.T.W., Deutschland

E-Mail: [thilo.steckel@claas.com](mailto:thilo.steckel@claas.com)

Landwirtschaftliche Arbeiten werden häufig unter schwer vorhersagbaren Umgebungsbedingungen ausgeführt und sind von einer hohen Komplexität gekennzeichnet. Das Ergebnis weicht daher hinsichtlich Qualität, Kosten und Zeit oftmals deutlich von einem theoretischen Optimum ab. In diesem Beitrag wird ein modellbasierter Ansatz entwickelt, der erfahrungsbasierte Handlungsweisen um eine quantitative Methode ergänzt. Im Rahmen der Planung und Steuerung von logistischen Prozessen lassen sich mit Hilfe von Prozess-Kennfeldern sinnvolle Betriebspunkte und Abweichungen davon sowie weiterhin konkrete Handlungsvorschläge zur Verbesserung der Situation ermitteln.

Planung und Steuerung von kollaborativen Prozessen in der Landwirtschaft erfolgen mangels Verfügbarkeit geeigneter Methoden vorwiegend erfahrungsbasiert. Häufig werden standardisierte Kennzahlen, z. B. aus den Quellen des KTBL, herangezogen. In der industriellen Produktion werden erfahrungsbasierte Ansätze um modellbasierte Ansätze ergänzt, teilweise sogar ersetzt. Dies hat zu einer präzisen Planung und Steuerung geführt und ermöglicht weiterhin verlässliche Prognosen.

Im Gegensatz zur Industrie sind landwirtschaftliche Prozesse aufgrund ihrer natürlichen Exposition störanfälliger. Häufig wird nur ein Niveau von 50 Prozent der installierten Leistung erreicht. Dennoch sollte die Entwicklung und Nutzung modellbasierter Verfahren in Betracht gezogen werden. Ein solcher Ansatz wird nachfolgend am Beispiel des Prozesses der Silomaisernnte beschrieben. Er liefert eine Ergänzung bislang genutzter, arbeitswirtschaftlicher Methoden.

**Stichworte:** Logistik, Kennfelder, Ernteprozess, Modell

## Material und Methoden

Die Ernte von Silomais lässt sich in 3 Teilprozesse zerlegen: Häckseln, Transportieren und Verdichten. Die dafür verwendeten Maschinen – Feldhäcksler, Transportfahrzeuge und Verdichtungsfahrzeuge – müssen für einen erfolgreich durchgeführten Prozess in der Planung und der Durchführung präzise aufeinander abgestimmt werden.

Tabelle 1: Maschinenmerkmale im Prozess Silomaisernte

Maschinentyp	Prozessparameter	Kosten
Feldhäcksler	Durchsatz (t/h) Kraftstoffverbrauch (l/h)	Veränderlich: bewerteter Kraftstoffverbrauch (€) Fest: Stundensatz f. Maschine (€) Stundensatz f. Fahrer (€)
Transportfahrzeug	Fahrgeschwindigkeit (km/h) Ladekapazität (t) Abladegeschwindigkeit (t/h) Status beladen/unbeladen	
Verdichtungsfahrzeug	Masse des Fahrzeugs (t) Verdichtungsfaktor (CPF) Verdichtungsleistung (t/h)	
Sonstiges	Transportentfernung (km) Kapazität Abladeplatz (t)	

Voraussetzung hierfür ist die genaue Kenntnis ihrer jeweiligen Leistungs- und Kostencharakteristik. Zunächst muss definiert werden, welche Merkmale leistungs- und kostenrelevant sind. Die relevanten Merkmale sind in Tabelle 1 dargestellt.

Zur Ermittlung des leistungsabhängigen Kraftstoffverbrauchs wurden betreffende Maschinen mit Datenloggern ausgestattet. Dabei wurden weiterhin die typischen Leistungsbereiche ermittelt. Abbildung 1 zeigt für den Feldhäcksler den vom Durchsatz abhängigen Kraftstoffverbrauch im Spektrum von 80 bis 275 t/h sowie eine Kurvenanpassung mittels Polynom zweiter Ordnung. Zur Ermittlung des Kraftstoffverbrauchs beim Warten wurden die Werte mit 0 km/h herausgefiltert.

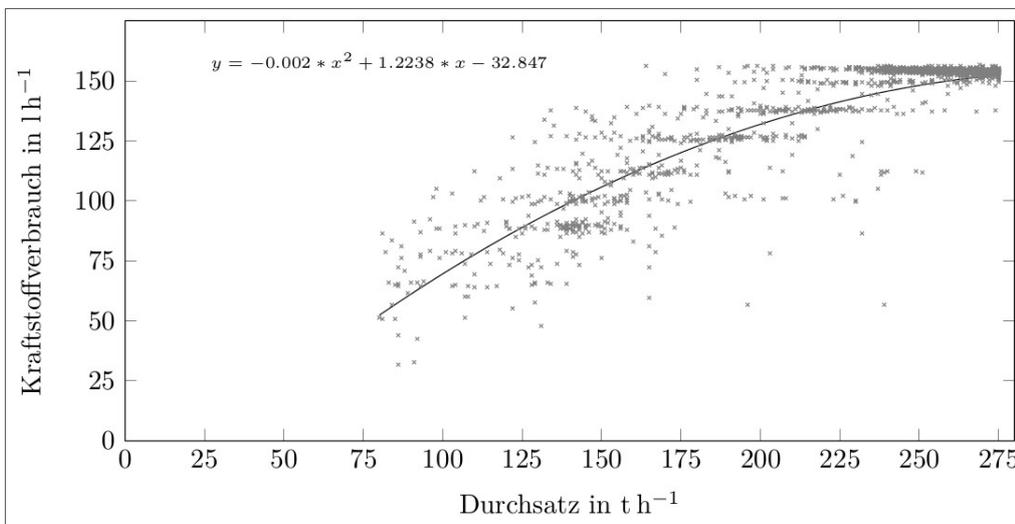


Abbildung 1: Leistungscharakteristik Feldhäcksler beim Ernten von Silomais.

Abbildung 2 zeigt für ein Transportgespann den von Fahrgeschwindigkeit und Beladungszustand abhängigen Kraftstoffverbrauch im Spektrum von 5 bis 40 km/h, ebenfalls mit Kurvenanpassung unter Verwendung eines Polynoms zweiter Ordnung. Auch hier wurden die Werte für Warten gefiltert. Für die Ermittlung des funktionalen Zusammenhangs wurde auf einen Datensatz von Moitzi (2008) zurückgegriffen.

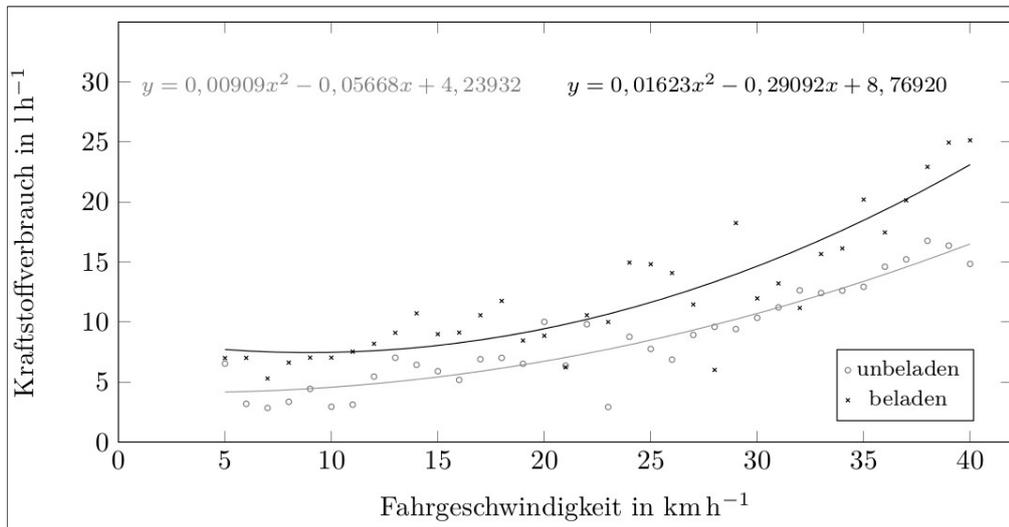


Abbildung 2: Kraftstoffverbrauch Transportfahrzeug in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und Beladungszustand.

Für das Verdichtungsfahrzeug existieren lediglich zwei diskrete Zustände: *Verdichten* und *Warten*. Die ermittelten Polynome dienen als Eingangsgrößen zur anschließenden Erstellung der Prozess-Kennfelder.

## Ergebnisse

Zur Erstellung der Kennfelder wurde das Verhalten der Maschinen und der dadurch induzierte Massenstrom mathematisch modelliert. Das vollständige Modell ist Steckel (2018) zu entnehmen. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die daraus resultierenden Ergebnisse.

Abbildung 3 zeigt im linken Bereich das Kennfeld für den Teilprozess Häckseln im ermittelten Durchsatzspektrum von 80 bis 275 t/h. Zur Orientierung sind 3 unterschiedliche Leistungsniveaus eingetragen. Das Niveau von 50 % kennzeichnet typische landwirtschaftliche Situationen.

Ein bestimmter Durchsatz kann auf unterschiedliche Weisen erzielt werden, wobei die Grenzen charakterisiert werden durch:

- variable Häckslerleistung bei strikter Vermeidung von Wartezeiten
- maximale Häckslerleistung und variable Wartezeit

Beliebige Lösungen sind zwischen diesen Grenzen darstellbar.

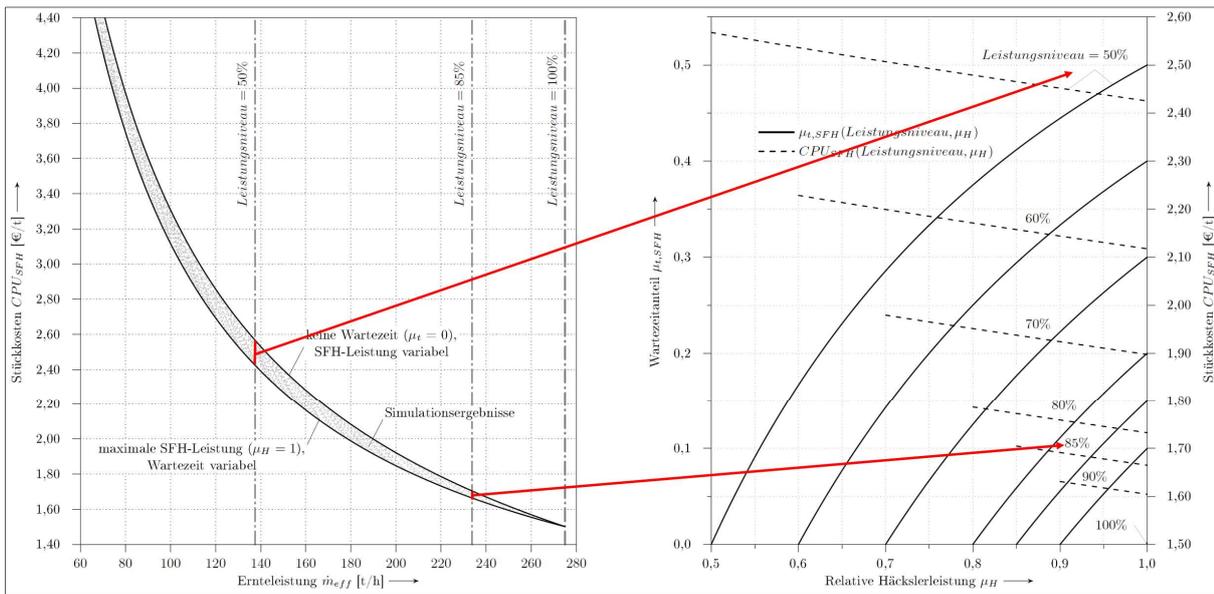


Abbildung 3: Kennfeld für den Teilprozess Häckseln.

Im rechten Teil der Abbildung lassen sich die Auswirkungen für bestimmte Entscheidungen genauer analysieren. Weil der Ausschluss von Wartezeiten unrealistisch ist, kann eine relative Wartezeit angenommen werden. Daraus kann das zur Kompensation erforderliche Leistungsniveau ermittelt werden. Ferner lassen sich in der korrespondierenden gestrichelten Linie die resultierenden Stückkosten für den Teilprozess ablesen.

In analoger Weise lässt sich das Verhalten der Transportfahrzeuge planen und bewerten. Abbildung 4 zeigt im linken Bereich das Kennfeld für Konfigurationen von 2 bis 10 Transporteinheiten für die zuvor angegebene Transportentfernung von 5 km. Es ist zu erkennen, dass ein vom Feldhäckseler induzierter Massenstrom von 137,5 t/h (50 % Leistungsniveau) mit 3 oder mehr Fahrzeugen realisiert werden kann. 2 Transportfahrzeuge würden einen kontinuierlichen Häckselprozess auf diesem Niveau verhindern. Auch hier ergeben sich, wie für den Häckseler beschrieben, unterschiedliche Verhaltensweisen, die zu unterschiedlichen Stückkosten führen.

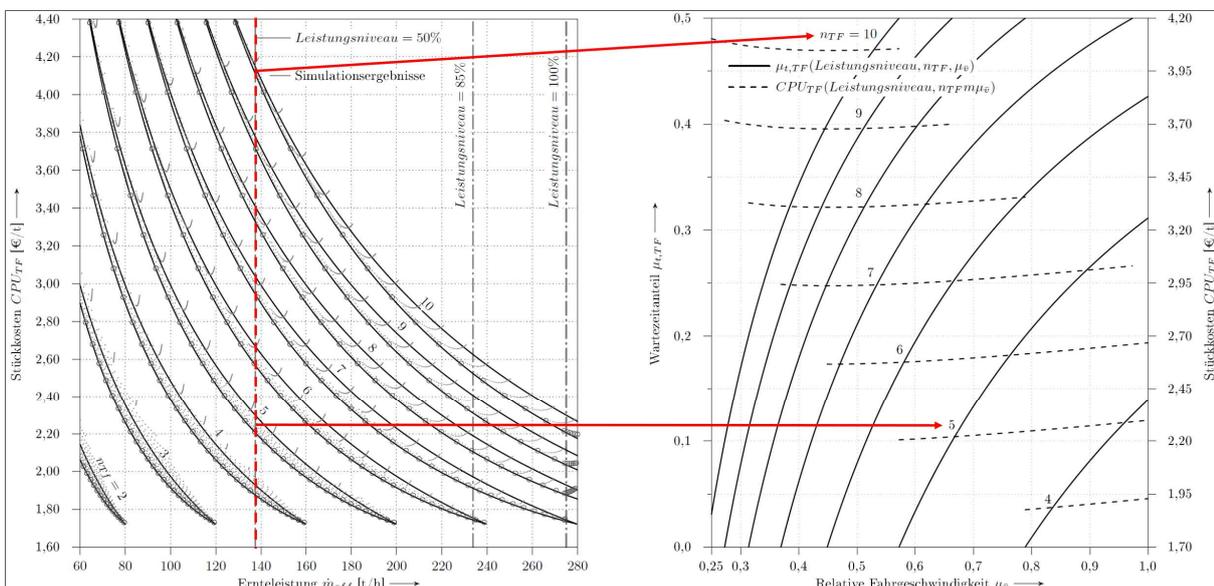


Abbildung 4: Kennfeld für den Teilprozess Transportieren.

Die Leistung der Verdichtungsfahrzeuge ergibt sich aus der installierten Masse und dem Verdichtungsfaktor nach Nußbaum (2011). Hieraus resultiert ein maximal möglicher Massenstrom von 200 t/h, den 1 Verdichtungsfahrzeug verarbeiten kann. Abbildung 5 zeigt das Kennfeld für den Teilprozess Verdichten. Es ist zu erkennen, dass das Fahrzeug mit der gewählten Ballastierung nur zu 69 % ausgelastet ist (200,0 t / 137,5 t) ausgelastet ist. Dem Modell entsprechend müsste es die restliche Zeit warten, was in der Praxis nicht erfolgt. Es wird solange weitergearbeitet, bis neues Erntegut angeliefert wird. Die Stückkosten verschlechtern sich dadurch um 0,20 €/t.

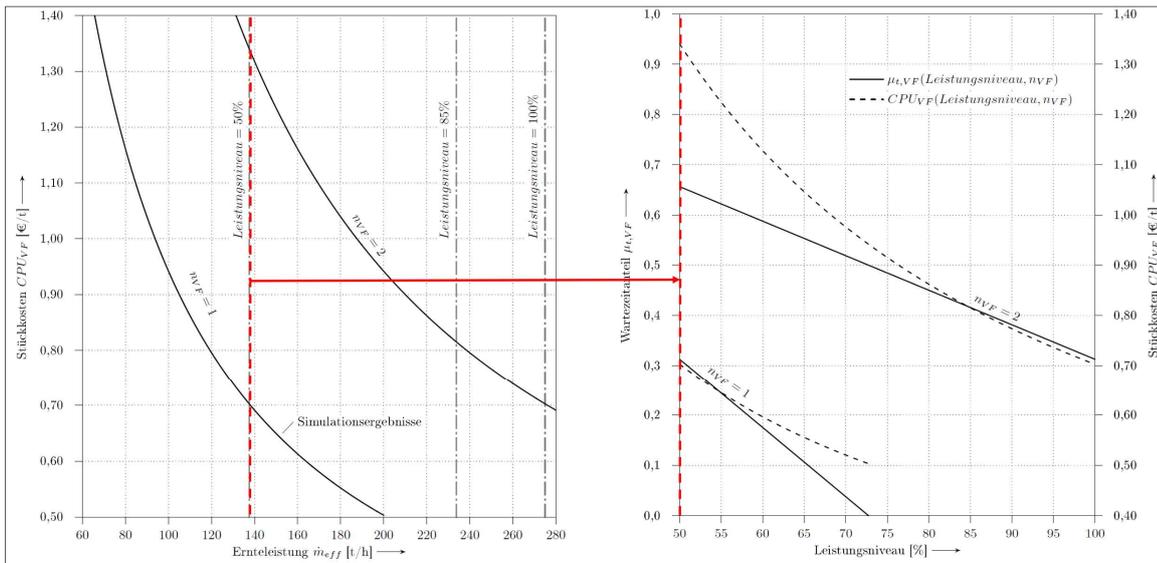


Abbildung 5: Kennfeld für den Teilprozess Verdichten.

Die Charakterisierung der Teilprozess-Kennfelder mittels Massenstrom (x-Achse) und Stückkosten (y-Achse) ermöglicht deren Zusammenführung zu einem Gesamtprozess-Kennfeld. Abbildung 6 zeigt minimale Stückkosten für den beschriebenen Prozess. Für das 50 %-Niveau mit 137,5 t/h ergeben sich Stückkosten von ca. 5 €/t. Das in der Kennlinie sichtbare Sägezahnmuster resultiert aus den konfigurationsbedingten Kostensprüngen, verursacht durch die veränderte Zahl Transportfahrzeuge und Verdichtungsfahrzeuge. Auf dem Niveau 200 t/h addieren sich die Effekte durch fast zeitgleiche Veränderungen, sowohl bei Transport- als auch Verdichtungsfahrzeug.

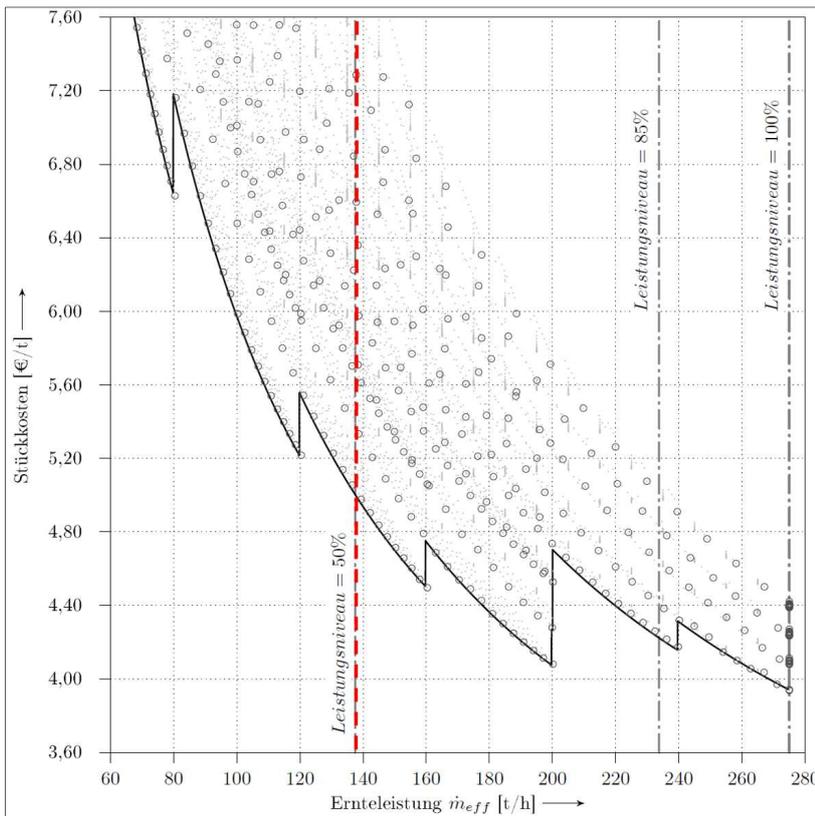


Abbildung 6: Kennfeld für den Gesamtprozess der Silomaisерnte.

## Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Planung und Steuerung komplexer, kollaborativer Prozesse erfolgt in der Landwirtschaft bislang aufgrund nicht vorhandener Werkzeuge vorwiegend erfahrungsbasiert. Lediglich standardisierte Verfahrenskennzahlen, z. B. vom KTBL, werden genutzt. Modellbasierte Ansätze, wie hier beschrieben, erscheinen geeignet, diese Vorgehensweise zu ergänzen und dadurch zu verbessern. Voraussetzung dafür ist die Kenntnis der Leistungscharakteristik der eingesetzten Maschinen und der damit verbundenen Kosten. Mit dem vorgestellten Modell ist es möglich, Prozesse auf Grundlage der verfügbaren Maschinen bedarfsorientiert zu planen und über angepasste Verhaltensweisen Verschwendung und Stückkosten zu reduzieren. Insbesondere das Kennfeld für den Gesamtprozess zeigt bevorzugt anzustrebende Leistungsniveaus. Zu bevorzugen sind solche, die ausreichenden Abstand zu den «Sägezähnen» haben. Dadurch können eine Rekonfiguration im laufenden Prozess vermieden oder Maßnahmen zu ihrer Gestaltung rechtzeitig vorbereitet werden.

Auch bei Planungen mit längerfristigem Zeithorizont, z. B. Investitionsplanung, erscheint der Ansatz hilfreich, weil hier die Eignung neuer Maschinen zur Integration in eine bestehende Flotte analytisch ermittelt werden kann. Schließlich besteht die Möglichkeit, auf diesem Weg neue Mechanisierungskonzepte zu bewerten, auch unter Hinzunahme einer agentenbasierten Simulation, wie in Steckel (2018).

## Danksagung

Der Autor dankt den Professoren Hans W. Griepentrog (Uni Hohenheim) und Heinz Bernhardt (TU München) für den intensiven wissenschaftlichen Austausch bei der Erstellung der diesem Beitrag zugrundeliegenden Dissertation.

## Literatur

- Moitzi, G., Refenner, K., Weingartmann, H. und Boxberger, J. (2008): Kraftstoffverbrauch beim landwirtschaftlichen Transport, Landtechnik, 63(5), S. 284-285, KTBL, Darmstadt
- Nußbaum, H. (2011): Silagelagerung – Fahrsilo, in: Praxishandbuch Futter- und Substratkonservierung, S. 113, DLG-Verlag, Frankfurt
- Steckel, T. (2018): Entwicklung einer kontextbasierten Systemarchitektur zur Verbesserung des kooperativen Einsatzes mobiler Arbeitsmaschinen, Dissertation, <http://opus.uni-hohenheim.de/volltexte/2018/1476/>, Hohenheim



## Was beeinflusst die Arbeitszufriedenheit von Arbeitnehmer/-innen im Weinbau?

*Eva Anna Regel<sup>1</sup>, Astrid Forneck<sup>1</sup> und Elisabeth Quendler<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Universität für Bodenkultur, Wien, Österreich*

*E-Mail: [eva.regel@posteo.eu](mailto:eva.regel@posteo.eu)*

Die Erhebung der Arbeitszufriedenheit weist in der sozialwissenschaftlichen und psychologischen Forschung eine lange Geschichte auf. Im landwirtschaftlichen Personalmanagement hingegen gewinnt die Beschäftigung mit der Arbeitszufriedenheit von ArbeitnehmerInnen langsam an Bedeutung. Einzelne Branchen der Landwirtschaft, wie die Weinbaubranche, haben bisher geringe personalwirtschaftliche Aufmerksamkeit bekommen. Um einen Beitrag zur Schließung dieser Forschungslücke zu leisten, wurde in dieser Arbeit, die Arbeitszufriedenheit der ArbeitnehmerInnen im Weinbau ermittelt. Mithilfe von 16 qualitativen Leitfaden-Interviews in Deutschland und Österreich wurden die Faktoren erarbeitet, die einen Einfluss auf die Arbeitszufriedenheit von Angestellten in Weinbaubetrieben haben. Zudem wurde mit den Befragungen herausgefunden, wie zufrieden die angestellten WinzerInnen, AußenbetriebsleiterInnen, ProduktionsleiterInnen und KellermeisterInnen mit den einzelnen Einflussfaktoren sind. Die Vorgehensweise, angelehnt an die Grounded Theory, zeichnete sich durch eine gleichzeitige Datenerhebung, Auswertung der ersten Ergebnisse und fortlaufende Veränderung des Fragebogens aus. Es konnten 20 Einflussfaktoren unterschiedlicher Gewichtung auf die Arbeitszufriedenheit der ArbeitnehmerInnen ermittelt werden. Ein klarer Unterschied wurde zwischen der Weinbaubranche und anderer weniger gesellschaftlich angesehenen landwirtschaftlichen Branchen und Berufen belegt.

**Stichworte:** *Arbeitszufriedenheit, Weinbau, Arbeitnehmer/-innen, Grounded Theory*

## **Einleitung**

Durch den landwirtschaftlichen Strukturwandel werden vermehrt familienfremde Arbeitskräfte eingestellt, sodass das Personalmanagement in der Landwirtschaft an Bedeutung gewinnt (Hentschel und Fock 2015; Henke et al. 2012). Im Weinbau, ebenfalls ein landwirtschaftlicher Sektor mit spürbarem landwirtschaftlichem Strukturwandel, wurde bisher wenig auf wissenschaftlicher Ebene zum Personalmanagement geforscht. Mit einer Untersuchung der Arbeitszufriedenheit von Arbeitnehmer/-innen im Weinbau soll ein Beitrag zur Schließung dieser Forschungslücke geleistet werden. Die Studie reiht sich thematisch in bisherige Forschung der Arbeitszufriedenheit in der Landwirtschaft ein. Im Gegensatz zu vorangegangenen, häufig quantitativen, theorieorientierten Untersuchungen wurden in diesem Fall qualitative Befragungen durchgeführt, die basierend auf der Grounded Theory nach Glaser und Strauss (2005) ausgewertet wurden. Durch 16 qualitative Befragungen mit Arbeitnehmer/-innen in deutschen und österreichischen Weinbaubetrieben wurden Einflussfaktoren auf die Arbeitszufriedenheit ermittelt. Zudem wurde der Frage nachgegangen, wie zufrieden die Arbeitnehmer/-innen mit den einzelnen Faktoren ihrer Tätigkeit im Weinbau sind. Ziel der Forschungsarbeit war die Entwicklung von Hypothesen als Grundlage weiterführender Forschung. Zudem wurden erste Empfehlungen für Arbeitgeber/-innen zur Gestaltung attraktiver Arbeitsplätze im Weinbau formuliert.

### ***Definition der Arbeitszufriedenheit und Bezug zur Motivation***

In dieser Studie im Weinbau wird Arbeitszufriedenheit als Deckung von Bedürfnissen verstanden. Bei diesem Verständnis wird die Arbeit an sich und seine Wirkung auf den Menschen untersucht. Wenn Arbeitszufriedenheit als Deckung der Bedürfnisse verstanden wird, handelt es sich um einen motivationsorientierten Ansatz (BRENKE 2015). GREIF ET AL. (1995) bezeichneten den Ansatz der Bedürfnisbefriedigung durch die Arbeit als inhaltsbestimmte Arbeitszufriedenheitsdefinition und ordnen ihnen die Motivationstheorie von MASLOW (1981) und die Zwei-Faktoren-Theorie von HERZBERG ET AL. (1959) zu. Herzberg et al. erhoben die Arbeitszufriedenheit mittels qualitativer Interviews, bei denen die Befragten Erfahrungen ihrer Arbeit schilderten, die ihnen positive und negative Gefühle bereiteten (ALSHMEMRI ET AL. 2017). Die Zwei-Faktoren-Theorie von Herzberg et al. (1959) diente häufig Arbeitszufriedenheitsuntersuchungen als Grundlage, auch in der Landwirtschaft (Bitsch und Hogberg 2005; Bitsch 2006; Dippmann 2010).

### ***Arbeitszufriedenheitsuntersuchungen in der Landwirtschaft***

In der landwirtschaftlichen Forschung ist die Arbeitszufriedenheit, verglichen mit der Geschichte der Arbeitszufriedenheitsforschung, ein relativ neuer Forschungsgegenstand. 1996 erhob BITSCH die Arbeitszufriedenheit von 79 Auszubildenden in Gemüsebaubetrieben und 224 Auszubildenden in Baumschulen. Die Arbeitszufriedenheit von Angestellten in Milchviehbetrieben wurde von FOGLEMAN ET AL. (1999) mittels standardisierter Befragungen in den 90iger Jahren erhoben. BILLIKOPF (2001) untersuchte mit einer Befragung von 42 landwirtschaftlichen Führungskräften in Milchvieh-, Weinbau- und Gartenbaubetrieben die Zufriedenheit mit der Führungsfunktion.

Qualitative Forschung basierend auf der Zwei-Faktoren-Theorie von HERZBERG ET AL. (1959) wurden von BITSCH UND HOGBERG (2005) und BITSCH (2006) für den Gartenbausektor in den USA durchgeführt. Auch DIPPMMANN (2010) orientierte sich bei seiner Arbeitszufriedenheitsuntersuchung an der Zwei-Faktoren-Theorie. Er befragte Arbeitnehmer/-innen sieben landwirtschaftlicher Unternehmen (DIPPMMANN 2010).

STRAUSS (2013) ermittelte in einer qualitativen Befragung die Zufriedenheit von Landwirt/-innen auf Milchviehbetrieben. NÄTHER ET AL. (2015) analysierten die Arbeitszufriedenheit von Arbeitnehmer/-innen in der Landwirtschaft anhand einer Befragung von 348 Arbeitnehmer/-innen. MÜLLER ET AL. (2014) untersuchten die Einflussfaktoren auf die Arbeitsplatzwahl von 144 Saisonarbeitskräften in Deutschland. Nicht direkt die Arbeitszufriedenheit, aber die Attraktivität der landwirtschaftlichen Arbeit, die mit der Arbeitszufriedenheit zusammenhängt, erhoben MUßHOFF ET AL. (2013). Sie befragten Landwirt/-innen, Arbeitnehmer/-innen aber auch Nicht-Landwirt/-innen und Hochschulabsolvent/-innen zur Attraktivität landwirtschaftlicher Arbeit und leiteten Zufriedenheitsfaktoren für Arbeitnehmer/-innen ab. VON DAVIER (2007) konnte durch die Befragung von Landwirt/-innen und landwirtschaftlichen Arbeitnehmer/-innen zu den Möglichkeiten und Grenzen leistungsorientierter Entlohnung, Erkenntnisse über immaterielle Anreize für die Motivation von Arbeitnehmer/-innen in der Landwirtschaft gewinnen.

## **Material und Methode sowie Vorgehensweise**

In diesem Abschnitt sind das ausgewählte Material und die Untersuchungsmethode dargelegt.

### ***Charakterisierung des Materials***

Es wurden 16 Personen in Deutschland und Österreich befragt. Bei der Auswahl der Befragten und Betriebe handelte es sich nicht um eine Repräsentation der Grundgesamtheit der Arbeitnehmer/-innen im deutschen und österreichischen Weinbau. Ziel der Auswahl war eine möglichst breite Varietät zwischen den Befragten zu erlangen. Unter den Befragten befanden sich drei Kellermeister/-innen, vier Außenbetriebsleiter/-innen, vier Produktionsleiter/-innen im Keller und Versektung sowie drei Betriebsleiter/-innen für Keller- und Außenwirtschaft. Eine Interviewte arbeitete in der Abfüllung, Ausstattung und Verpackung der Flaschen. Ein anderer Befragter war für Arbeiten im Keller, Weingarten und im Verkauf zuständig. Es wurden sechs Frauen und zehn Männer interviewt. Das Durchschnittsalter der Befragten lag bei 34 Jahren. Das Ausbildungsniveau der Gruppe war im Vergleich mit der Grundgesamtheit landwirtschaftlicher Arbeitnehmer/-innen hoch.

### ***Methode und Vorgangsweise***

Da es sich bei dieser Untersuchung um eine der ersten Forschungen der Arbeitszufriedenheit im Weinbau handelte, wurde ein qualitatives, induktives Verfahren gewählt. Ein Grund für die Wahl einer qualitativen Methode war die erwiesene Schwierigkeit von Messungen der Arbeitszufriedenheit mittels standardisierter quantitativer Verfahren (BÜSSING 1991; FISCHER 1991; BINSWANGER 2012; JUDGE ET AL. 2017). Ambivalenzen in der Beurteilung von Arbeitszufriedenheit oder Einflüsse der Persönlichkeit und tageszeitlicher Schwankungen auf die Arbeitszufriedenheit konnten mittels qualitativer Vorgehensweise miterfasst werden. JUDGE ET AL. (2017) schlugen für die Erhebung der Arbeitszufriedenheit, Methoden basierend auf der Grounded Theory von Glaser und Strauss vor. Sie zeichnen sich durch eine sehr große Nähe zum Forschungsfeld aus, sodass die so entwickelten Theorien der Empirie gerecht werden (Lamnek und Krell 2016).

Für die Studie im Weinbau wurden die Daten mittels qualitativer, nicht-standardisierter Interviews erhoben. Um den Vergleich der Befragungen zu gewährleisten, wurde ein Leitfadenfragebogen eingesetzt. Der Fragebogen wurde im laufenden Forschungsprozess mit anderen Fragen ergänzt, die sich aus vorangegangenen Interviews ergaben. Der endgültige Fragebogen umfasste die Themenbereiche der Tätigkeit. Diese waren Honorierung, Arbeitszeit, Betriebsausstattung, Gefährdung am Arbeitsplatz, Position, Aufstiegsmöglichkeiten, Beziehung zu Vorgesetzten und Kolleg/-innen, Mitentscheidungsmöglichkeiten, Ansehen der Arbeit, Lebenssituation (Wohnen, soziales Umfeld), Freizeitgestaltung, Alkoholkonsum, Beziehung und Umgang mit der Dorfgemeinschaft und Berufskolleg/-innen, Anerkennung durch Kund/-innen und Vorgesetzte, Rolle der Betriebsform, Philosophie des Weingutes und Qualität der Weine, Traum vom eigenen Weingut, Investitionsbereitschaft und Erfahrungen als Frau im Beruf.

Die Interviews fanden im November 2017 und Jänner 2018 statt. Sie wurden mittels Audiogerät aufgenommen und transkribiert.

Mithilfe der Software der qualitativen Datenanalyse, Max QDA in der Version Plus 2018, wurden die Daten ausgewertet. Die Analyse erfolgte auf Grundlage der theoretischen Kodierung nach der Grounded Theory (Glaser und Strauss 2005). Die ermittelten Einflussfaktoren auf die Arbeitszufriedenheit im Weinbau wurden daraufhin untersucht, wie zufrieden die Arbeitnehmer/-innen mit den einzelnen Aspekten ihrer Arbeit waren.

## **Ergebnisse**

In drei Betrieben wurden jeweils zwei Beschäftigte befragt, sodass sich die Anzahl der Betriebe, in denen Arbeitnehmer/-innen befragt wurden, auf 13 belief. Davon waren sieben Betriebe in Deutschland und sechs Betriebe lagen in Österreich. Die Betriebsgröße variierte zwischen 7 und 440 Hektar. Die durchschnittliche Größe der Betriebe lag bei 60 Hektar. Die Untersuchungsbetriebe waren im Vergleich zum österreichischen Durchschnittsbetrieb mit 3,22 Hektar sehr viel größer (BMLFUW 2017). Ein Viertel, 25 Prozent der befragten Betriebe wirtschafteten nach ökologischen Richtlinien.

### ***Einflussfaktoren der Arbeitszufriedenheit***

Einer der wichtigsten Aspekte der Arbeitszufriedenheit für die befragten Arbeitnehmer/-innen war die Tätigkeit, das heißt die Arbeitsaufgabe. Alle befragten Arbeitnehmer/-innen hoben verschiedene Aspekte der Arbeit hervor, wie beispielsweise die Vielseitigkeit, die Arbeit in der Natur, Arbeiten im Team und die Produktionsseite der Arbeit. Die körperliche Belastung der Tätigkeit hatte für manche Befragte eine große Auswirkung auf den Verbleib im Betrieb und im Beruf. Die Entlohnung wirkte stark auf die Arbeitszufriedenheit der Arbeitnehmer/-innen im Weinbau. Obwohl viele Befragte unzufrieden bezüglich der Höhe des Gehalts waren, dachte nur eine Person darüber nach die Stelle zu wechseln.

Auch die zwischenmenschlichen Beziehungen konnten Unzufriedenheit mit der geringen Entlohnung abmildern. Anerkennung und Feedback von Kund/-innen, Kolleg/-innen und Vorgesetzten wurden betont und trugen stark zur Arbeitszufriedenheit bei. Auch fehlende Anerkennung wurde mit Unmut angesprochen. Die Bedeutung der Investitionsbereitschaft des Betriebes und einer guten Betriebsausstattung wurden von den Arbeitnehmer/-innen als Voraussetzung für den Betriebseintritt und gutes Arbeiten betont. Die technische Betriebsausstattung führte dazu, dass die körperliche Arbeit verringert wurde und einzelne Arbeiten schneller erledigt werden konnten und mehr Zeit für anderes blieb. Unzufriedenheit mit Teilen der Ausstattung war für die Befragten kein Grund den Betrieb als Arbeitsplatz in Frage zu stellen und einen Wechsel anzustreben.

## **Diskussion**

Die Ergebnisse für den Weinbau deckten sich zum großen Teil mit Ergebnissen der Arbeitszufriedenheitserhebungen in der Landwirtschaft. Die Ergebnisse, dass die Position, Entscheidungsfreiheit, der Erfolg, Anerkennung und gute Betriebsausstattung wichtige Einflussfaktoren der Arbeitszufriedenheit sind, konnte auch in den Studien von BITSCH (1996), VON DAVIER (2007), STRAUSS (2013), NÄTHER ET AL. (2015) und GINDELE ET AL. (2016) nachgewiesen werden. Die große Auswirkung der Beziehung zu Vorgesetzten und Kolleg/-innen auf die Arbeitszufriedenheit wurde auch von NÄTHER ET AL. (2015) und VON DAVIER (2007) für landwirtschaftliche Arbeitskräfte bestätigt.

In der Studie für den Weinbau wurde darauf verzichtet Einflussfaktoren zusammenzufassen. Mit der Ermittlung einer Vielzahl spezifischer Faktoren wurden die verschiedenen Einflüsse auf die Arbeitszufriedenheit der Arbeitnehmer/-innen im Weinbau exakter analysiert.

Es wurden weitere Einflussfaktoren auf die Arbeitszufriedenheit ermittelt, die in der landwirtschaftlichen Literatur bisher nicht aufgegriffen wurden. Dass diese Aspekte in anderen Arbeitszufriedenheitsstudien nicht erhoben wurde, begründete sich darin, dass sich BITSCH UND HOGBERG (2005), BITSCH (1996 und 2006),

DIPPMANN (2010) sowie NÄTHER ET AL. (2015) bei der Erstellung ihrer Fragebögen und Auswertung an vorhandene Arbeitszufriedenheitserhebungsmethoden, die nicht aus der Landwirtschaft stammten, gehalten hatten. Der Arbeitsbeschreibungsbogen von NEUBERGER UND ALLERBECK (1978), auf den sich die Untersuchung von NÄTHER ET AL. (2015) bezog, wurde überwiegend in den Sektoren der Industrie und Dienstleistung angewendet. Die Zwei-Faktoren-Theorie von HERZBERG ET AL. (1959), die der Analyse der Befragungen von BITSCH (1996; 2006), BITSCH UND HOGBERG (2005) und DIPPMANN (2010) diene, wurde aus Studien des medizinischen Sektors entwickelt. In der bisherigen Forschungen zu Arbeitszufriedenheit in der Landwirtschaft wurde die Besonderheit in der Landwirtschaft, die Erzeugung eines organischen Endproduktes, nicht berücksichtigt.

In den landwirtschaftlichen Arbeitszufriedenheitsstudien wurde nicht auf die Gleichbehandlung der Geschlechter eingegangen. Jedoch wurden Diskrepanzen zwischen den Bewertungen bestimmter Einflussfaktoren von Männern und Frauen festgestellt.

## Schlussfolgerung

Mithilfe von qualitativen Interviews konnten Aspekte der Arbeitszufriedenheit ermittelt werden, die in bisherigen, häufig quantitativen oder theorieorientierten, Untersuchungen der Arbeitszufriedenheit in der Landwirtschaft nicht erhoben wurden. Ob es sich bei diesen Einflussfaktoren um spezifische Faktoren der weinbaulichen Tätigkeit oder landwirtschaftlichen Tätigkeit generell handelt, muss mit weiterer Forschung untersucht werden.

In dieser Studie konnten Problembereiche für Arbeitnehmer/-innen im Weinbau ermittelt werden. In Bezug auf den Fachkräftemangel dienen diese Ergebnisse als Ansatzpunkte für Arbeitgeber/-innen die Arbeitsbedingungen dementsprechend zu überprüfen und gegebenenfalls Maßnahmen zu ergreifen, um die Arbeitsbedingungen zu verbessern.

Da es sich um eine qualitative Befragung von sechzehn, im Vergleich zur Grundgesamtheit jungen und überdurchschnittlich ausgebildeten Arbeitnehmer/-innen im Weinbau handelte, können die Ergebnisse nicht für Arbeitnehmer/-innen im Weinbau verallgemeinert werden. Bei den gewonnenen Ergebnissen handelt es sich um Hypothesen, die einer weiteren Überprüfung bedürfen.

## Literatur

- BILLIKOPF, G. E. (2001): Interpersonal communication tops concerns of farm supervisors. *California Agriculture*. (55) Nr.5. 40-43.
- BITSCH, V. (1996): Job satisfaction during apprenticeship. Institute of Horticultural Economics. University of Hannover. Deutschland. Proc. XIII Int. Sym. on Hort. Economics. Ed R.G. Brumfield. *Acta Hort*. 429 ISHS. 97-102.
- BINSWANGER, M. (2012): Die Tretmühlen des Glücks. In: Kaudelka, K. und Kilger, G. (Hrsg.): *Das Glück bei der Arbeit über Flow-Zustände, Arbeitszufriedenheit und das Schaffen attraktiver Arbeitsplätze*. Bielefeld: transcript Verlag, 35-49.
- BITSCH, V. (2006): Job Attitudes of Agricultural Middle Managers. American Agricultural Economics Association Annual Meeting. Long Beach. California.
- BITSCH, V. UND HOGBERG, M. (2005): Employee Retention: Components of Job Satisfaction of Green Industry Employees. AAEA Annual Meeting. Denver Colorado.
- BMLFUW (BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT) (2017): *Grüner Bericht 2017. Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft im Jahr 2016*. 58. Aufl. Wien.
- BRENKE, K. (2015): Die große Mehrzahl der Beschäftigten in Deutschland ist mit ihrer Arbeit zufrieden. *DIW Wochenbericht Nr. 32+33*. 715-716.
- Bruggemann, A., Groskurth, P. und Ulich, E. (1975). *Arbeitszufriedenheit*. Bern: Verlag Hans Huber.
- BÜSSING, A. (1991): Struktur und Dynamik von Arbeitszufriedenheit: Konzeptquelle und methodische Überlegungen zu einer Untersuchung verschiedener Formen von Arbeitszufriedenheit. In: Fischer, L. (Hrsg.) (1991): *Arbeitszufriedenheit*. Stuttgart: Verlag für angewandte Psychologie. 85-113.
- DIPPMAN, L. (2010): Wie zufrieden sind landwirtschaftliche Lohnarbeitskräfte? - Erkenntnisse aus Wissenschaft und Beratungspraxis. In: Von Davier, Z. und Theuvsen, L. (Hrsg.): *Landwirtschaftliches Personalmanagement. Mitarbeiter gewinnen, führen und motivieren*. Frankfurt a.M: DLG-Verlags-GmbH. 47-60.
- FISCHER, L. (Hrsg.) (1991): *Arbeitszufriedenheit*. Stuttgart: Verlag für angewandte Psychologie.
- FOGLEMAN, S.; MILLIGAN, R.A.; MALONEY, T.R. UND KNOBLAUCH, W. A. (1999): Employee Compensation and Job Satisfaction on Dairy Farms in the Northeast. American Agricultural Economics Association Annual Meeting. Nashville, Tennessee, US.
- GINDELE, N.; KAPS, S. UND DOLUSCHITZ, R. (2016): Betriebliche Möglichkeiten im Umgang mit dem Fachkräftemangel in der Landwirtschaft. In: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hrsg.): *Berichte über Landwirtschaft*. Bd. 04. (1). 85-96.
- GLASER, B. G. UND STRAUSS, A. L. (2010): *Grounded Theory: Strategien qualitativer Forschung*. 3. Aufl. Bern/Göttingen: Hogrefe vorm. Verlag Hans Huber.
- GREIF, S.; HOLLING, H. UND NICHOLSON, N. (Hrsg.) (1995): *Arbeits- und Organisationspsychologie. Internationales Handbuch in Schlüsselbegriffen*. 2. Aufl. München: Psychologie Verlags Union.
- HELFERT, M. (2014): Befragung zu Spaß bei der Arbeit: Was macht Freude am Arbeitsplatz? *Zeitschrift für Arbeitswissenschaften* (68) Nr.4. 245-249.
- HENKE, S.; SCHMITT, C. UND THEUVSEN, L. (2012): *Personalmanagement in der Landwirtschaft: Überblick über den Stand der Forschung*. Göttingen. 317-326.
- HENTSCHEL, T. UND FOCK, T. (2015): Wandel der Arbeit in der Landwirtschaft. Über die zunehmende Industrialisierung der Landwirtschaft und ihre Folgen für die Beschäftigungsverhältnisse. In: *Agrarverbände e.V. (Hrsg.): Der kritische Agrarbericht 2015*. Hamm: ABL Verlag. 69-74.
- JUDGE, T. A.; WEISS, H. M.; KAMMEYER-MUELLER, J. D. UND HULIN, C. L. (2017): Job Attitudes, Job satisfaction and job affect: a century of continuity and of change. *Journal of Applied Psychology*. American Psychological Association.

- LAMNEK, S. UND KRELL C. (2016): Qualitative Sozialforschung. 6., überarb. Aufl. Weinheim, Basel: Beltz Verlag.
- MÜLLER, J., VON DER LEYEN, H. UND THEUVSEN, L. (2014). Volle Freizügigkeit für Arbeitnehmer – Arbeitsplatzwahl landwirtschaftlicher Saisonarbeitskräfte. In: Kirschke, D. et al. (Hrsg.): Wie viel Markt und wie viel Regulierung braucht eine nachhaltige Agrarentwicklung? Münster: Landwirtschaftsverlag. 159-170.
- MUßHOFF, O.; TEGTMEIER, A. UND HIRSCHAUER, N. (2013): Attraktivität einer landwirtschaftlichen Tätigkeit - Einflussfaktoren und Gestaltungsmöglichkeiten. Berichte über Landwirtschaft. Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hrsg.). Band 91 (2).
- NÄTHER, M.; STRATMANN, J.; BENDFELDT, C. UND THEUVSEN, L. (2015): Wodurch wird die Arbeitszufriedenheit landwirtschaftlicher Arbeitnehmer beeinflusst? Schweizerische Gesellschaft für Agrarwirtschaft und Agrarsoziologie. Journal of socio-economics in agriculture (8). 85-95.
- NEUBERGER, O. UND ALLERBECK, M. (1978): Messung und Analyse von Arbeitszufriedenheit. Erfahrung mit dem "Arbeitsbeschreibungsbogen" ABB. Bern, Stuttgart, Wien: Verlag Hans Huber.
- STRAUSS, A. (2013): Lebens- und Arbeitsqualität auf österreichischen Bauernhöfen. Ein Beitrag zur Bewertung der sozialen Nachhaltigkeit. Wien: Masterarbeit. Universität für Bodenkultur.
- THEUVSEN, L. (2010): Die Landwirtschaft vor neuen Herausforderungen. In: von Davier, Z. und Theuvsen, L. (Hrsg.): Landwirtschaftliches Personalmanagement. Mitarbeiter gewinnen, führen und motivieren. Frankfurt: DLG-Verlags-GmbH. 11-18.
- VON DAVIER, J.Z. (2007): Leistungsorientierte Entlohnung in der Landwirtschaft: eine empirische Analyse. Göttingen: Diss. Georg-August-Universität.



# Einsatz von Robotik auf Schweizer Milchviehbetrieben

Tanja Groher<sup>1</sup>, Katja Heitkämper<sup>1</sup> und Christina Umstätter<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Agroscope, Tänikon, Schweiz

E-Mail: [tanja.groher@agroscope.admin.ch](mailto:tanja.groher@agroscope.admin.ch)

Robotik in der Nutztierhaltung birgt das Potential, den landwirtschaftlichen Arbeitsalltag zu vereinfachen und kann in verschiedenen Bereichen Anwendung finden wie beim Melken, Füttern oder Entmisten. Die vorliegende Studie erfasst, basierend auf 253 Fragebögen, den Status Quo des Einsatzes von Robotik in der Schweizer Milchviehhaltung. Die Roboterbetriebe wurden hinsichtlich ihrer Betriebs- und Betriebsleitereigenschaften weiter charakterisiert.

Die Ergebnisse zeigen, dass Roboter bisher nur auf sehr grossen Schweizer Milchviehbetrieben eingesetzt werden und mit 6 % nur ein kleiner Teil der Betriebe in der Stichprobe überhaupt einen der drei abgefragten Roboter (Melkroboter, Futternachschieberroboter, Entmistungsroboter) im Einsatz hat. Darüber hinaus wird deutlich, dass bisher derzeit vor allem konventionelle Vollzeitbetriebe im Tal mit überdurchschnittlich vielen Milchkühen in Laufstallhaltung Roboter in Laufställen nutzen. In zukünftigen Studien sollten Treiber und Barrieren identifiziert werden, die die Landwirtinnen und Landwirte im Adoptionsprozess beeinflussen.

**Stichworte:** Melkroboter, Nachschieberroboter, Entmistungsroboter

## Stand des Wissens

Das Potential von digitalen Technologien und Robotik in der Landwirtschaft ist gross. Im Tierbereich werden neben Melkrobotern auch Entmistungsroboter und Futter-Nachschieberroboter kommerziell angeboten. Der Einsatz von Robotik ermöglicht eine verbesserte Arbeitseffizienz und eine flexiblere Arbeitseinteilung. Die Reduktion der physischen Arbeit und die gewonnene Flexibilität sind grosse Vorteile für den Landwirt. Durch die Nutzung von beispielsweise Melkrobotern entfällt das herkömmliche, zwei- oder dreimal täglich stattfindende Gruppenmelken, sodass in der Zeit andere Aufgaben erledigt werden können (Meijering et al. 2004). Das bedeutet zwar nicht zwangsläufig, dass weniger Arbeit anfällt, jedoch verändert sich die Art der geleisteten Arbeit. Routineaufgaben wie Kühe in den Melkstand einlassen, Vormelken oder das Anrüsten des Melkzeugs werden vollständig vom Roboter übernommen, dafür nimmt der Anteil an Kontrollarbeiten sowie nicht oder nur bedingt planbare Arbeiten zu (Kaufmann et al. 2001). Eine der größten Veränderungen ist die computergestützte Überwachung, Analyse und Kontrolle einzelner Tiere, die über den herkömmlichen Melkprozess hinausgeht (Spahr and Maltz 1997). Der Melkroboter kann automatisch eine Vielzahl an tierspezifischen Daten sammeln, wie die Anzahl Melkungen, die viertelspezifische Milchmenge, die elektrische Leitfähigkeit, den Fett- Eiweiss und Laktosegehalt oder die Zellzahl und ist in der Regel mit einem zentralen Computer verbunden. Dort werden Daten verschiedener elektronischer Einheiten ausgetauscht und weiter genutzt, beispielsweise zur Ermittlung der Kuhaktivität oder zur Kraffutterfütterung. So wird jedes Tier individuell beobachtet und Auffälligkeiten können schnell und objektiv erkannt werden (Ordolff 2001). Beim Einsatz von Entmistungs- oder Futter-Nachschieberobotern werden keine tierspezifischen Daten erhoben, aber die physische, mehrmals täglich anfallende Arbeitsbelastung reduziert sich, wobei auch hier Kontroll- und Einstellungsarbeiten anfallen.

Im Zusammenhang mit der Entscheidung für einen Melkroboter können soziale Gründe, wie mehr freie Zeit, mehr Flexibilität oder auch gesundheitliche Aspekte wichtiger sein als ökonomische Gründe, die auf mehr Milchproduktion oder mehr Management Informationen abzielen (Mathijs 2004). Eine Studie unter Landwirten aus Belgien, den Niederlanden, Deutschland und Dänemark hat gezeigt, dass zweidrittel der Landwirte, die einen Melkroboter im Einsatz haben, der Aussage zustimmen, dass es wichtig ist freie Zeit zu haben und in den Urlaub zu fahren (Mathijs 2004). Arbeitswissenschaftliche Studien zeigen ausserdem, dass der Jahresarbeitszeitbedarf im Vergleich zu herkömmlichen Melkverfahren bei einer Herdengrösse von mindestens 35 Kühen um 25 % reduziert werden kann (Kaufmann et al. 2001).

Neben den oben genannten arbeitswirtschaftlichen Vorteilen, kann der Einsatz von Robotik auch Vorteile für das Tier bringen. Im Melkroboter kann die Kuh selber entscheiden, wann und wie oft sie zum Melken geht, sodass auch das Tierwohl gesteigert werden kann (Spahr and Maltz 1997). Studien zeigen, dass Milchkühe sehr gut mit der Automatisierung im Stall zurechtkommen und sich schnell an den Einsatz gewöhnen. Dies gilt nicht nur für den Melkprozess, bei dem es wichtig ist, dass die Kühe freiwillig und ohne menschliche Unterstützung den Melkstand aufsuchen (Spahr and Maltz 1997), sondern auch für Entmistungsroboter, die autonom im Stallbereich entmisten (Stülpner et al. 2014). Bei der Integration eines Entmistungsroboters im Stall ist ein optimierter und gut geplanter Einsatz wichtig, um negative Auswirkungen z. B. auf das Fressverhalten der Tiere zu vermeiden. Der Roboter sollte so programmiert werden, dass er nicht zu den Hauptfresszeiten am Fressgitter lang fährt, sondern Zeiten nutzt, bei denen die Kühe beispielsweise beim Melken sind oder sich in anderen Stallbereichen aufhalten (Zähler 2019).

Die Verbreitung von Robotern in der Landwirtschaft variiert länderspezifisch, wie das Beispiel der automatischen Melksysteme verdeutlicht. Im Jahr 2014 wurden in Dänemark in über 20 % der Milchviehbetriebe die meisten Melkroboter genutzt. Darauf folgte der Einsatz in Island und den Niederlanden mit über 15 Prozent. In Deutschland hingegen waren auf nur knapp über fünf Prozent der Milchviehbetriebe Melkroboter zu finden (Barkema et al. 2015). Im Jahr 2010 waren Melkroboter in der Schweiz noch kaum im Einsatz,

jedoch gaben 20 % der befragten Landwirte, die eine Investition in neue Melksysteme planten an, dass sie sich einen Melkroboter vorstellen könnten (Savary et al. 2010).

In der vorliegenden Studie wurde der Einsatz von Melkrobotern, Entmistungsrobotern sowie Futter-Nachschieberobotern auf Schweizer Milchviehbetrieben evaluiert. Zusätzlich wurden die Betriebe hinsichtlich ihrer Betriebscharakteristika weiter analysiert.

## Material und Methoden

Die vorliegende Untersuchung war Teil einer gross angelegten, anonymen Umfrage aus 2018 zur Erfassung des Stands der Mechanisierung und Automatisierung auf Schweizer Landwirtschaftsbetrieben. Insgesamt wurden 17 Fragebögen für verschiedene Betriebszweige aus dem Pflanzenbau und der Nutztierhaltung entwickelt, um detaillierte Angaben zu allfälligen Arbeiten und der eingesetzten Technik in den jeweiligen Betriebszweigen zu erhalten. Jeder Betrieb erhielt nur einen Fragebogen, wobei es sich nicht zwangsläufig um den Hauptbetriebszweig handeln musste.

In der vorliegenden Studie wurden 253 vollständig ausgefüllte Fragebögen von milchviehhaltenden Betrieben zur Erfassung des Einsatzes von Melkrobotern, Nachschieberobotern und Entmistungsrobotern in der Milchviehhaltung ausgewertet. Die Umfrageergebnisse wurden mit Daten aus der jährlich stattfindenden amtlichen landwirtschaftlichen Strukturhebung verknüpft, die nahezu alle Landwirtschaftsbetriebe berücksichtigt. So konnten zusätzliche strukturelle und soziodemographische Informationen über die Roboterbetriebe ausgewertet werden.

## Ergebnisse mit Diskussion

Insgesamt gaben 14 Landwirte an, dass sie einen Melkroboter nutzen. Ferner wurde auf 7 Betrieben ein Entmistungsroboter eingesetzt und auf 5 Betrieben ein Futter-Nachschieberoboter.

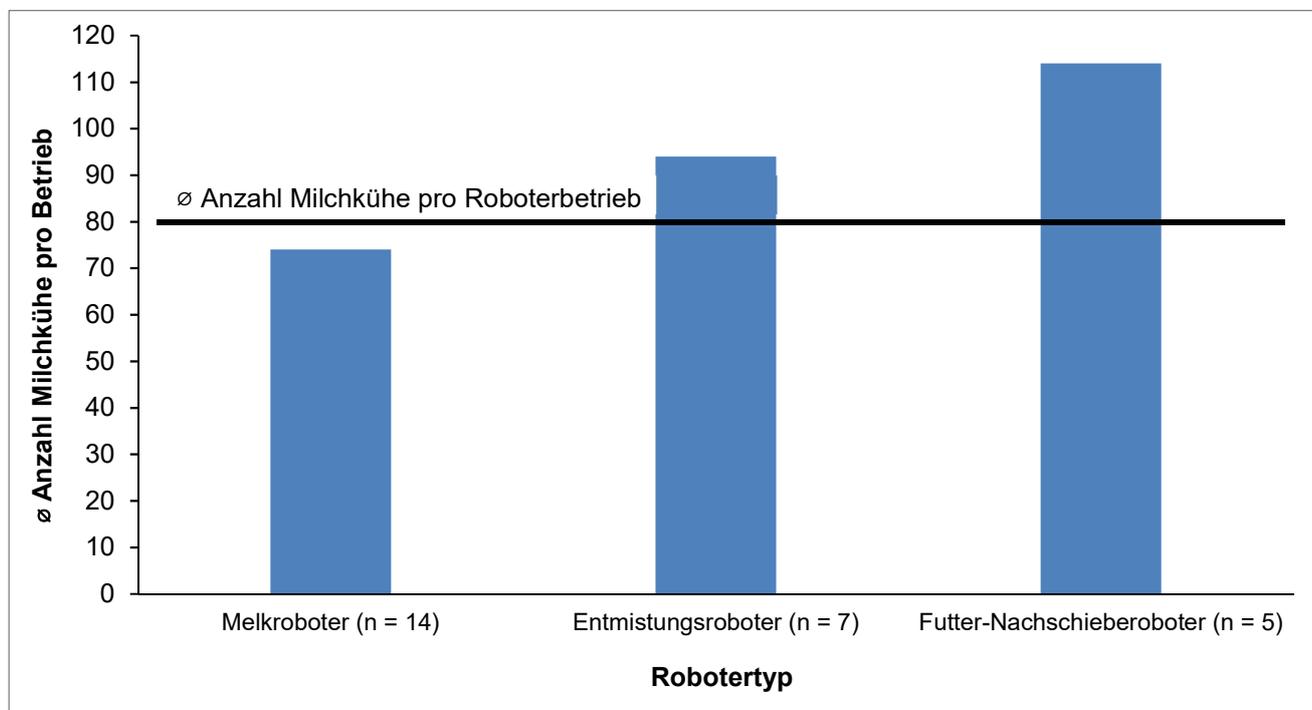


Abbildung 1: Herdengrösse der milchviehhaltenden Betriebe mit Robotern (n = 16).

Die Anzahl der Milchkühe pro Betrieb stieg für die verschiedenen Robotertypen an (Abbildung 1). Von den Melkroboterbetrieben hatten 2 Betriebe zusätzlich auch einen Futter-Nachschieberoboter und 4 Betriebe zusätzlich einen Entmistungsroboter. Darüber hinaus hatten 2 Betriebe alle 3 Robotertypen im Einsatz. Insgesamt nutzten 16 Betriebe mindestens einen der abgefragten Roboter, was 6 % der befragten Landwirte entspricht. Tabelle 1 zeigt die Betriebscharakteristika aller Betriebe in der Stichprobe sowie der Betriebe mit mindestens einem Roboter im Einsatz.

Tabelle 1: Betriebscharakteristika der gesamten Stichprobe (n = 253) sowie der Betriebe, die mindestens einen Roboter im Einsatz haben (n = 16)

Betriebscharakteristika	Gesamte Stichprobe (n = 253)	Roboterbetriebe (n = 16)
Alter des Betriebsleiters	ø 47 Jahre	ø 43 Jahre
Geschlecht	248 Männer 5 Frauen	16 Männer 0 Frauen
Anzahl Milchkühe	ø 34 Milchkühe	ø 80 Milchkühe
Grossvieheinheiten total (GVE)	ø 50	ø 106
Haupt- oder Nebenerwerb	247 Vollerwerb 6 Nebenerwerb	16 Vollerwerb 0 Nebenerwerb
Produktionsform	232 konventionell 21 ökologisch	16 konventionell 0 ökologisch
Zone		
Tal	104 Betriebe	12 Betriebe
Hügel	43 Betriebe	3 Betriebe
Berg	106 Betriebe	1 Betriebe
Stallsystem*	113 Laufstall 124 Anbindehaltung 12 Laufstall und Anbindehaltung	15 Laufstall 0 Anbindehaltung 1 Laufstall und Anbindehaltung
Hauptbetriebszweig		
Spez. Ackerbaubetrieb	1 Betrieb	0 Betriebe
Spez. Weideviehbetrieb	217 Betriebe	13 Betriebe
Spez. Veredelungsbetrieb	2 Betriebe	0 Betriebe
Viehhaltungsverbundbetrieb	19 Betriebe	3 Betriebe
Pflanzenbau- Viehhaltungsverbundbetrieb	14 Betriebe	0 Betriebe

\*Angaben aus Fragebögen

Das durchschnittliche Alter des Betriebsleiters in der Stichprobe lag bei 47 Jahren und der Grossteil der Betriebe wurde von Männern, in Vollzeit und in konventioneller Produktion geführt. Im Schnitt hatten die Betriebe 34 Milchkühe und lagen damit deutlich über dem durchschnittlichen Schweizer Milchviehbetrieb, der im Jahr 2017 noch 21 Milchkühe pro Betrieb hatte (BfS 2019). Für die Auswahl der Betriebe in der Umfrage wurde nach Grössenklassen geschichtet, wobei die Ergebnisse zeigen, dass mehr grosse Milchviehbetriebe an der Umfrage teilnahmen. Insgesamt hatten die Betriebe im Schnitt 50 Grossvieheinheiten (GVE), die nicht nur Milchkühe, sondern alle Tierarten auf dem Betrieb umfassten. Etwa gleichviele Betriebe kamen aus Tal- und Bergregionen und ein weiterer kleinerer Teil aus Hügellagen.

Während 113 Landwirte angaben, dass sie die Milchkühe in Laufställen halten, waren es 124 Betriebe mit Anbindehaltung und 12 Betriebe mit einer Kombination aus beiden Stallsystemen. Der Grossteil der Betriebe war im Hauptbetriebszweig auf Weidevieh spezialisiert, ein kleiner Teil zählte zu den Viehhaltungsverbundbetrieben sowie Pflanzenbau-Viehhaltungsverbundbetrieben. Nur 3 Betriebe der gesamten Stichprobe waren auf Ackerbau und Veredelung spezialisiert und hielten zusätzlich Milchvieh auf dem Betrieb.

Die Betriebsstrukturen der Roboterbetriebe unterschieden sich zum Teil von denen der gesamten Stichprobe. Die Anzahl der Milchkühe betrug durchschnittlich 80 Kühe pro Betrieb, also deutlich mehr als der Durchschnitt der gesamten Stichprobe. Die Anzahl der Milchkühe lag damit in der Spanne anderer Roboterbetriebe in Europa (Belgien, Niederlande, Deutschland, Dänemark), die im Schnitt zwischen 70 und 100 Milchkühe auf dem Betrieb hatten. Auch in anderen Ländern waren die Roboterbetriebe vergleichsweise grösser als Betriebe mit anderen Melksystemen (Mathijs 2004).

Die meisten Roboterbetriebe befanden sich im Tal. Es gab nur einen Roboterbetrieb, der sowohl Milchkühe im Laufstall als auch in Anbindehaltung hielt, ansonsten war der Laufstall die am häufigsten verwendete Stallform, obwohl in der gesamten Stichprobe die meisten Betriebe Anbindehaltung hatten. Dieses Ergebnis macht deutlich, dass das Stallsystem den Robotereinsatz determiniert. In der Anbindehaltung von Kühen ist beispielsweise der Einsatz von Melkrobotern, den die Tiere freiwillig aufsuchen können, aufgrund der Bewegungseinschränkung nicht möglich.

Die Ergebnisse zeigen ausserdem, dass Robotik zum Melken, Entmisten und Futter-Nachschieben in der Schweizer Landwirtschaft bisher nicht standardmässig in der Praxis zum Einsatz kommt. Die meisten Roboterbetriebe waren auch im Hauptbetriebszweig auf Tierhaltung spezialisiert, entweder zählten sie zu den spezialisierten Weideviehbetrieben oder zu Viehhaltungsverbundbetrieben. Daraus lässt sich schliessen, dass der Einsatz von Robotik derzeit nur für spezialisierte Milchviehbetriebe interessant ist und nicht auf Betrieben zum Einsatz kommt, die zusätzlich auch intensiven Pflanzenbau betreiben.

## Schlussfolgerungen

Bisher werden Roboter nur auf sehr grossen Schweizer Milchviehbetrieben eingesetzt, auch wenn mit 6 % nur ein kleiner Teil der Betriebe in der Stichprobe überhaupt mindestens einen der drei Roboter im Einsatz hat. Die Betriebsstrukturen ergeben einen klaren Trend, dass konventionelle Vollzeitbetriebe im Tal mit überdurchschnittlich vielen Milchkühen Roboter in Laufställen nutzen. In zukünftigen Studien sollten die Beweggründe für oder gegen den Einsatz von Robotern und anderen digitalen Technologien auf Schweizer Landwirtschaftsbetrieben untersucht werden, wie beispielsweise ökonomische oder persönliche Gründe. Dadurch können Treiber und Barrieren identifiziert werden, die Landwirte bei der Entscheidung beeinflussen.

## Literatur

- Barkema et al. (2015). Invited review: Changes in the dairy industry affecting dairy cattle health and welfare. *Journal of Dairy Science*, 98(11), 7426-7445.
- BfS, Bundesamt für Statistik (2019). *Landwirtschaft und Ernährung: Taschenstatistik*.
- Kaufmann et al. (2001). *Automatisches Melken: Systeme, Einsatzgrenzen, Wirtschaftlichkeit*. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT).
- Mathijs (2004). *Socio-economic aspects of automatic milking*. *Automatic milking*, 46.
- Meijering et al. (2004). *Automatic milking: a better understanding*: Wageningen Academic Pub.
- Ordloff (2001). Introduction of electronics into milking technology. *Computers and Electronics in Agriculture*, 30(1-3), 125-149.
- Savary et al. (2010). *Melkstandtechnik auf Schweizer Milchviehbetrieben: Beurteilung aus Sicht der Praxis*: Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART).
- Spahr & Maltz (1997). Herd management for robot milking. *Computers and Electronics in Agriculture*, 17(1), 53-62.
- Stülpner et al. (2014). Reactions of dairy cows during the operation of a robotic slat cleaner. *Landtechnik*, 69(5), 225-231.
- Zähner et al. (2019). *Reinigungsqualität und Tierverhalten beim Einsatz eines Entmistungsroboters*. *Agrarforschung Schweiz*, 10(6), 236-243.

## Die Risiken der Digitalisierung in der modernen Nutztierhaltung

*Kathrin Lina Martha Ziegler<sup>1</sup>, Jochen Georg Wiecha<sup>1</sup> und Heinz Bernhardt<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Technische Universität München, Deutschland*

*E-Mail: [kathrin.ziegler@wzw.tum.de](mailto:kathrin.ziegler@wzw.tum.de)*

Der Zukunftstrend digitale Landwirtschaft beziehungsweise Smart Farming erfährt eine wachsende Beliebtheit. Er ermöglicht vor dem Hintergrund steigender Betriebsgrößen und Tierzahlen durch die Nutzung und Analyse großer Datenmengen eine Messbarkeit, Steuerung und damit Optimierung der landwirtschaftlichen Prozesse. Je nach Nutztierart besteht hierbei ein mehr oder weniger großes Potenzial. Vor allem die Milchviehproduktion offeriert, überwacht von einer Herdenmanagementsoftware, Entwicklungsmöglichkeiten, hauptsächlich im Bereich des Melkens (AMS) und Fütterns, sowie der Reinigung des Stalls. Solche in die vorhandene Stallanlage integrierbaren Module versprechen vor allem eine Arbeitserleichterung, -einsparung und damit Kostensenkung, indem für den Tierhalter zeitintensive Prozesse automatisiert werden. Diese, als Effizienzrevolution wahrgenommene Technisierung der Landwirtschaft, stellt vor allem die positiven, aber kaum die durchaus vorhandenen, negativen Aspekte einer solch bedeutenden Infrastruktur wie der Landwirtschaft heraus. Indem sich diese Arbeit kritisch mit dem Trend der Digitalisierung auseinandersetzt, werden die existenten Gefahrenquellen in sechs relevante Risikobereiche kategorisiert, ihr Potenzial für die Beeinflussung des Betriebsmanagements aufgeschlüsselt und bewertet. Ziel ist es, die Vorarbeit für ein Kontrollsystem, ähnlich der Struktur des HACCP-Konzepts aus dem Lebensmittelbereich, zu entwerfen, welches in das betriebseigene QS-System integriert, zur Vermeidung von Gefahren im Zusammenhang mit der Digitalisierung beitragen soll. Die vorliegende Arbeit soll dafür den Grundstein legen.

**Stichworte:** *Digitalisierung, Risiken, Landwirtschaft, Automatisierung*

## Einleitung

Im letzten Jahrzehnt ist die Digitalisierung in der Ernährungswirtschaft konsequent angestiegen. Auffällig dabei ist, dass zumeist eine Hervorhebung der Vorteile, jedoch eine ungenügende Beachtung möglicher Risiken und drohender Konsequenzen erfolgt. Neben agrarstrukturellen Herausforderungen, wie der oft ungenügenden Internetversorgung des ländlichen Raums oder der Ausgrenzung kleinstrukturierter Landwirtschaft, steht hierbei meistens die Datensicherheit im Vordergrund (MARTÍNEZ, 2016). In einer kritischen Infrastruktur wie der Landwirtschaft, deren Hauptakteuren die Reflektiertheit hinsichtlich Informations- und Kommunikationstechnik aufgrund der fehlenden Inhalte im Berufsbild fehlt, können die Folgen mangelnder Sicherheit im Bereich der Digitalisierung weitreichende Konsequenzen nach sich ziehen (BMEL, 2018; REUTER ET AL., 2018). Schadensszenarien, wie beispielsweise die Einschleppung von Computerviren über das Smartphone, die sich über die Vernetzung aller Maschinen, wie z. B. auch das AMS oder der Futterroboter, verbreiten und damit den Betriebsablauf beträchtlich einschränken, sind längst keine Seltenheit mehr.

In der Literaturrecherche fällt auf, dass sich bezüglich Risikoquellen der Digitalisierung für die Landwirtschaft vor allem mit den wesentlichen Problemen der Datensicherheit und Möglichkeiten der Schaffung von Strukturen zur Eindämmung von Ausfallrisiken in der bereichsübergreifenden Datensicherheit beschäftigt wird (s. z. B. KRAATZ ET AL., 2016; KUNISCH ET AL., 2017 UND REUTER ET AL., 2018). Eine ganzheitliche Betrachtung und Bewertung der Problemfelder der Digitalisierung, die z.B. auch die Bereiche Tierwohl, Investitionsaufwand oder Ethik (moralisch/soziale Folgen) eines Betriebs betreffen, ist bislang noch nicht vorgenommen worden. Deshalb soll, in Anlehnung an das bereits existierende HACCP-Konzept zur Vermeidung von Gefahren im Lebensmittelbereich, die Vorarbeit zur Entwicklung eines betrieblichen Kontrollsystems aller zu erarbeitenden Risikobereiche vorgestellt werden.

## Material und Methoden

Die Zusammenstellung, Kategorisierung und anschließende Visualisierung der relevanten Risikobereiche der Digitalisierung erfolgt anhand von bereits zur Thematik erschienenen Forschungsarbeiten. Exemplarisch wurden 15 relevante Arbeiten ihrer Aktualität und ihrem Bezug zur Datensicherheit nach ausgewählt, die in die Betrachtung miteinbezogen wurden. Untersucht wurde ein Zeitraum von 2005 bis 2018.

Auf Basis der Literaturrecherche erfolgt zuerst eine Identifikation von sechs Risikobereichen, die als interagierende Prozesse verstanden werden müssen: Tier, Ethik, Qualifikation, Investition, Nachhaltigkeit und Sicherheit. Letzterer ist allen anderen Bereichen übergeordnet, da Änderungen in diesem Bereich die Interaktionen aller anderen Bereiche beeinflussen.

Anhand dieser und drei gewählter Schadensszenarien werden mögliche Situationen mit negativem Einfluss auf das Betriebsmanagement diskutiert.

- Szenario 1: Ideal
  - Hier wird der Idealfall, in dem das angewandte System optimal, also wie erwartet, funktioniert, beschrieben.
- Szenario 2: Impact
  - Szenario zwei geht von korrumpierten Daten und einer dementsprechend bestehenden Beeinflussung aus.
- Szenario 3: Loss/Damage
  - In Szenario drei wird der Extremfall des kompletten Datenverlustes und des maximalen Schadens evaluiert.

Die sich so ergebenden Interaktionsprozesse werden im Folgenden mittels einer Interaktionsmatrix visuell dargestellt (vgl. Abb.1).

## Ergebnisse und Diskussion

### *Ideal*

Die getätigten Investitionen entsprechen dem sich daraus ergebenden Nutzen für den Betrieb, sprich das einwandfreie Funktionieren aller Systeme gewährleistet einen möglichst niedrigen Umstellungsaufwand, sowie geringe Anpassung der Arbeitsprozesse. Im Risikobereich Tier wird eine individuelle Optimalleistung hinsichtlich Fütterung, dem Ausnutzen des genetischen Leistungspotenzials, sowie niedrigste Krankheitsanfälligkeit und damit der Garantie des idealen Tierwohls erreicht. Hinsichtlich der Qualifikation entspricht das bestehende technische Verständnis des Betriebsinhabers genau den Anforderungen des etablierten Systems, sodass bei der Frage der Entscheidungsverantwortung der Mensch gegenüber der Maschine überwiegen kann. Dies hat konsequenterweise Auswirkungen auf die ethische Komponente: Die bestehende Mensch-Tier-Bindung wird möglichst wenig beeinflusst und der Mensch hat nicht das Gefühl der technologischen Fremdbestimmtheit, wodurch er hinsichtlich seiner kognitiven Lernprozesse von dem eingesetzten System profitieren kann. Das System ist auf der Sicherheitsebene bestmöglich gegen Stromausfälle, Cyberangriffe und den damit einhergehenden Datenverlust und Identitätsmissbrauch geschützt. Der Nachhaltigkeitsaspekt kann sich die Waage zwischen der eingesetzten Strommenge und dem Ressourceneinsatz bei der Herstellung dessen Hardware und der Leistung des Systems halten. Das Szenario stützt im Allgemeinen die These von HUCHLER (2016), durch eine ausgeglichene Art der Arbeitseinteilung zwischen Mensch und Maschine könne beider Potenziale gerecht geworden sein. Dem entspricht auch die Angabe von DENGLER UND MATTHES (2015), das Substituierbarkeitspotenzial in den Berufssegmenten Land-, Forst- und Gartenbau liege im Mittelfeld.

### *Impact*

Die bestehende Beeinflussung, z. B. korrumpierte Daten durch einen Cyberangriff, Virus o. ä. wirkt sich nun auf alle interagierenden Prozesse aus. Wenn das System selbst nicht erkennt, dass es fehlerhaft ist, erleidet es Datenverlust bzw. kann die vorhandenen Daten nicht optimal nutzen. Auftretende Stromausfälle gefährden die kompletten Arbeitsabläufe des Betriebs, was vor allem dem Interaktionsbereich Tier zur Last fällt. Eine falsche Zuordnung der Daten kann zu einer falschen Einschätzung der tierindividuellen (Milch)Leistung führen. Fehler in der Fütterung, bspw. beim Krafffutterautomaten, begünstigen Krankheiten wie Pansenazidose und beeinflussen damit das Tierwohl negativ. Die Qualifikation des Betriebsleiters reichen nicht aus, um die Entgleisungen des Systems zu beeinflussen, die Entscheidungsverantwortung wird zusehends unklarer. Durch die zunehmende, technologische Fremdbestimmtheit manifestiert sich das Gefühl des Kontrollverlusts, welches zur Stressentstehung beiträgt. Das System wird jetzt nicht mehr als hilfreiches Additiv, sondern unvollkommene Belastung wahrgenommen, da die kollaborative Zusammenarbeit stark eingeschränkt ist. Eine Wiederherstellung des Systems führt im finanziellen und nachhaltigen Bereich zu einem erhöhten Investitionsaufwand, erfährt aber gleichzeitig keinen gesteigerten Nutzen. Die Ergebnisse der Studie von ARNTZ ET AL. (2016) bestätigen diese Einschätzungen, da die Folgen der Digitalisierung vor allem im Bereich der Erhöhung der Aufwendungen für Datenschutz und Cybersecurity, höheren Investitionskosten, Erhöhung der Abhängigkeit von Fremdleistungen und einer Steigerung des Aus- und Weiterbildungsbedarfs im Betrieb als bedenklich angesehen werden. Im Falle der Anwendung hybrider Systeme weisen HIRSCH-KREINSER UND ITTERMANN (2018) darauf hin, dass sich neue Herausforderungen der Unwägbarkeit der „Handlungen“ technischer Teilsysteme und die Grenzen ihrer Kontrollierbarkeit durch menschliche Arbeit ergeben.

## Loss/Damage

Eine Datenbeschädigung bzw. der teilweise oder komplette Datenverlust legt das komplette System lahm. Ist der entsprechende Betrieb nicht schwarzstartfähig, kann im Falle eines großflächig-regionalen Stromausfalls nicht ohne eine externe Stromquelle neu gestartet werden. Die mangelhafte Datenstruktur führt im Tierbereich zu starken Defiziten hinsichtlich der Einschätzung des Zuchtwerts, Krankheitsstatus und tierschutz- und damit tierwohlrelevanten Beeinträchtigungen, falls die Automatisierung im Bereich Füttern, Melken und Reinigung zum Erliegen kommt. Das Gefühl der Auslieferung gegenüber der technischen Systeme, der damit einhergehende Kontrollverlust und der draus resultierende Stress erreichen für den Betriebsleiter das Maximum, an dem er allein für alle künftig zu tätigen Schritte Verantwortung übernehmen muss. Im Bereich der Investitionen erreichen die Kosten ein Maximum, während der Nutzen auf null absinkt und sich der wirtschaftliche Schaden zeigt. Aufgrund solcher Szenarien und dem herausragenden sowie selbstverständlichen Stellenwert der Landwirtschaft, erwarten Landwirte und Verbraucher laut SCHNEIDER (2017) von den politisch Verantwortlichen nachhaltige Resilienz Kriterien, die die Widerstandsfähigkeit der deutschen Landwirtschaft in Krisenfällen garantieren. Auch REUTER ET AL. (2017) weisen darauf hin, dass landwirtschaftliche Betriebe als Teil der kritischen Infrastruktur Ernährungswirtschaft zu sehen sind und deren Produktionsabläufe essentiell für einen reibungslosen Ablauf in Staats- und Wirtschaftswesen sind.

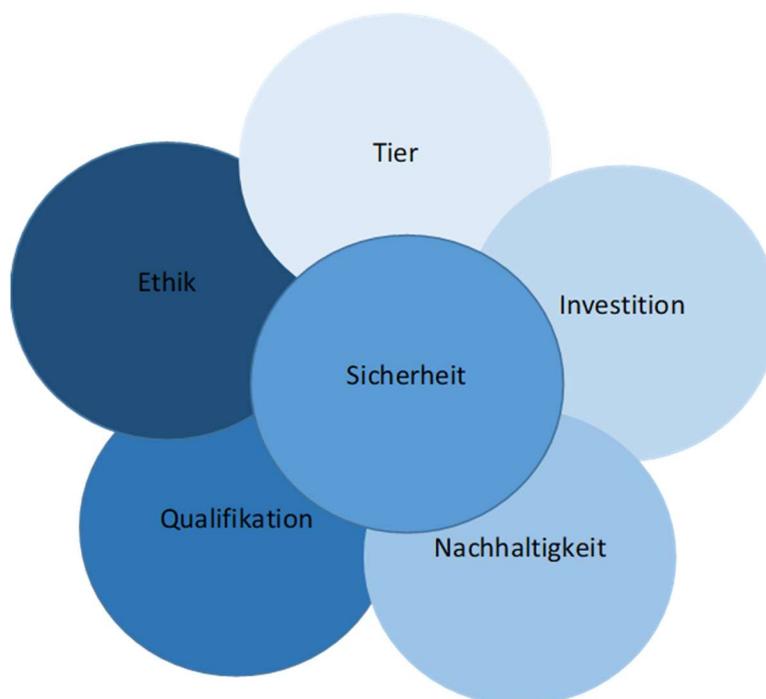


Abbildung 1: Blume der Digitalisierungs-Risikointeraktionen, Quelle: Eigene Darstellung, 2019.

## Fazit/Ausblick

Eine vorherige Kosten-Nutzenanalyse sowie eine ganzheitliche Bewertung aller Risikobereiche ist für ein entsprechend auf Krisenfälle abgesichertes Betriebsmanagement als nötig und sinnvoll zu erachten. Dabei unterscheiden sich die kategorisierten Risikobereiche hinsichtlich subjektiven und objektiven Aspekten, die je nach Einschätzung gewichtet werden müssen. Beispielsweise kann das Wohl der Tiere nicht immer monetär ausgedrückt werden, spielt jedoch hinsichtlich Platzierung und Vermarktung der Produkte eine große Rolle. Es ist weitere Forschungsarbeit nötig, um entsprechend vorformulierte Resilienz Kriterien und Kontrollsysteme zu etablieren, damit unausgereifte, den Betrieb umspannende, digitale Systeme das Potenzial, seinen Akteuren in vielen Bereichen Schäden zuzufügen, genommen werden kann.

## Literatur

- Arntz, M.; Gregory, T.; Lehmer, F. Matthes, B. und Zierahn, U. (2016): Arbeitswelt 4.0 – Stand der Digitalisierung in Deutschland. Dienstleister haben die Nase vorn. IAB-Forschungsbericht. No 22/2016. Online abrufbar unter: <http://doku.iab.de/kurzber/2016/kb2216.pdf>. Zuletzt aufgerufen am 11.12.2019 um 14:00 Uhr.
- Bernhardt, H. (2018): Chancen und Risiken der Digitalisierung unter besonderem Fokus der kleinstrukturierten Landwirtschaft. In: *vlf-magazin* 2(2). S. 28-29.
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2017): Digitalisierung in der Landwirtschaft: Chancen und Risiken. Berlin. Online verfügbar unter: [www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/\\_Texte/Digitalisierung-Landwirtschaft.html;nn=309804](http://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/_Texte/Digitalisierung-Landwirtschaft.html;nn=309804), zuletzt aufgerufen am: 14.11.2019 um 14:55 Uhr.
- Curran, D. (2018): Risk, Innovation and Democracy in the Digital Economy. In: *European Journal of Social Theory*. S. 1-20.
- Dengler, K. und Matthes (2015): Folgen der Digitalisierung für die Arbeitswelt: Substituierbarkeitspotenziale für die Arbeitswelt in Deutschland. IAB-Forschungsbericht No. 11/2015. Online abrufbar unter: <http://hdl.handle.net/10419/146097>. Zuletzt aufgerufen am 11.12.2019 um 13:42 Uhr.
- Hirsch-Kreinsler, H. und Ittermann, P. (2018): Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen. 2. Auflage. Nomos Verlagsgesellschaft. Hrg. Jonathan Niehaus. Baden-Baden.
- Huchler, N. (2016): Die Grenzen der Digitalisierung. Neubestimmung der hybriden Handlungsträgerschaft zwischen Mensch und Technik und Implikationen für eine humane Technikgestaltung. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 53 (1), S. 109-123.
- Kunisch, M.; Reith, S. und Firsch, J. (2017): Digitalisierung in der Landwirtschaft: Chancen und Risiken. Präsentation. KTBL-Tagung 2017, Berlin. Online verfügbar unter: [https://www.ktbl.de/fileadmin/user\\_upload/Allgemeines/Download/Tagungen-2017/Digitalisierung\\_in\\_der\\_Landwirtschaft.pdf](https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Allgemeines/Download/Tagungen-2017/Digitalisierung_in_der_Landwirtschaft.pdf). Zuletzt aufgerufen am: 14.11.2019 um 14:40 Uhr.
- Marc, R.; Rolf, D. und Meyer, C. (2005): Precision agriculture: Moderne Agrartechniken und Produktionsmethoden – ökonomische und ökologische Potenziale. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Dt. Bundestag (TAB). Online verfügbar unter: <https://www.tab-beim-bundestag.de/de/pdf/publikationen/berichte/TAB-Arbeitsbericht-ab106.pdf>. Zuletzt aufgerufen am: 14.11.2019 um 14:32 Uhr.
- Martínez, J. (2016): Chancen und Risiken der Digitalisierung in der Landwirtschaft – die rechtliche Dimension. In: *Przeglad Prawa Rolnego* 2(19). S. 13-44.
- Reuter, C. (2018): Sicherheitskritische Mensch-Computer-Interaktion: Interaktive Technologien und Soziale Medien im Krisen- und Sicherheitsmanagement. Springer Verlag.
- Reuter, C.; Schneider, W.; Eberz, D.; Bayer, M.; Hartung, D. und Kaygusuz, C. (2018): Resiliente Digitalisierung der kritischen Infrastruktur Landwirtschaft – mobil, dezentral, ausfallsicher. In: *Mensch und Computer 2018 – Workshopband*, 02.-05. September 2018. Dresden. Veröffentlicht durch die Gesellschaft für Informatik e.V.
- Shepherd, M.; Turner, J.A.; Small, B. und Wheeler, D. (2018): Priorities for science to overcome hurdles thwarting the full promise of the ‘digital agriculture’ revolution. In: *Wiley Online Library*, 8. Mai 2018. Online verfügbar unter: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/jsfa.9346>. Zuletzt aufgerufen am: 15.11. um 10:57 Uhr.
- Tanzmann, S. und Voß, B. (2018): Digitalisierung der Landwirtschaft. In: *Der kritische Agrarbericht*, Schwerpunkt „Globalisierung gestalten“. S. 112-118.
- Ulezko, A.; Reimer, V. und Ulezko, O. (2018): Theoretical and methodological aspects of digitalization in agriculture. In: *AGEGI 2018, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 274 (2019) 012062.



## Künstliche Intelligenz im Kuhstall – Chance oder Bedrohung?

Reiner Brunsch<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V., Potsdam, Deutschland

E-Mail: [rbrunsch@atb-potsdam.de](mailto:rbrunsch@atb-potsdam.de)

Die Nutzung von automatisierter Technik und von Entscheidungsunterstützungs-Software hat im Milchviehmanagement Einzug gehalten und schreitet weiter zügig voran. Motivationen für den Einsatz derartiger Hilfsmittel sind Fachkräftemangel, Kostendruck, Dokumentationspflichten und der Eindruck immer größerer Komplexität von notwendigen Entscheidungen, die zum Gefühl der Überforderung beim Landwirt führen kann. Transparenz von Produktionsprozessen und Entscheidungen ist eine zentrale Anforderung seitens der Gesellschaft gegenüber den Milchproduzenten.

Mit der Einführung autoadaptiver Steuerungen in Maschinen und der auf Algorithmen gestützten Entscheidungsvorbereitung in Farmmanagementsystemen sind Formen der Künstlichen Intelligenz (KI) im Kuhstall angekommen. Welche ethischen Anforderungen hierbei zu erfüllen sind wird im Beitrag vorgestellt und auf Besonderheiten eingegangen, die sich aus dem Umgang mit dem und der Verantwortung für das Nutztier Milchkuh ergeben. Ziel des Beitrages ist die Sensibilisierung der Fachleute für das Einfordern der Vertrauenswürdigkeit von KI-Anwendungen im Umgang mit Nutztieren und bei der Lebensmittelproduktion.

**Stichworte:** *Automatisierung, Prozessführung*

## Stand des Wissens

Die Bezeichnung „künstliche Intelligenz“ entstand als Übersetzung von „artificial intelligence“. Dieser Begriff war Mitte der 1950er Jahre in den USA geboren worden. Die Übersetzung von „artificial“ als „künstlich“ trifft die Bedeutung nur teilweise. „artificial“ bedeutet zugleich „unecht“, „erkünstelt“, „Schein-“. Die Programme verhalten sich für den Betrachter so, als ob sie Intelligenz besäßen. Auch das Wort „intelligence“ besitzt im Englischen eine weiter gehende Bedeutung als das Wort „Intelligenz“ im Deutschen, es meint nämlich denkbezogene Information, Einsicht und Verständnis (Duden, 2006). Gleichwohl hat sich die Übersetzung in der deutschen Sprache etabliert und wird auch bei amtlichen Übersetzungen, z. B. die der Europäischen Kommission, verwendet. Eine gleichermaßen aktuelle und kurze Begriffsdefinition findet sich folglich auch in einer Publikation der Hochrangigen Expertenkommission für Künstliche Intelligenz der EU:

„Systeme der Künstlichen Intelligenz (KI-Systeme) sind vom Menschen entwickelte Softwaresysteme (und gegebenenfalls auch Hardwaresysteme), die in Bezug auf ein komplexes Ziel auf physischer oder digitaler Ebene handeln, indem sie ihre Umgebung durch Datenerfassung wahrnehmen, die gesammelten strukturierten oder unstrukturierten Daten interpretieren, Schlussfolgerungen daraus ziehen oder die aus diesen Daten abgeleiteten Informationen verarbeiten, und über das bestmögliche Handeln zur Erreichung des vorgegebenen Ziels entscheiden. KI-Systeme können entweder symbolische Regeln verwenden oder ein numerisches Modell erlernen, und sind auch in der Lage, die Auswirkungen ihrer früheren Handlungen auf die Umgebung zu analysieren und ihr Verhalten entsprechend anzupassen. Als wissenschaftliche Disziplin umfasst die KI mehrere Ansätze und Techniken wie z. B. maschinelles Lernen (Beispiele dafür sind „Deep Learning“ und bestärkendes Lernen), maschinelles Denken (es umfasst Planung, Terminierung, Wissensrepräsentation und Schlussfolgerung, Suche und Optimierung) und die Robotik (sie umfasst Steuerung, Wahrnehmung, Sensoren und Aktoren sowie die Einbeziehung aller anderen Techniken in cyber-physische Systeme)“ (HEG-KI, 2019b).

Die deutsche Bundesregierung hat im Herbst 2018 ihre nationale Strategie für die Künstliche Intelligenz (KI) veröffentlicht, der „der demokratische Anspruch zugrunde (liegt), eine so tiefgreifend wirkende Technologie wie Künstliche Intelligenz, die möglicherweise auch in sensiblen Lebensbereichen zum Einsatz kommen wird, ethisch, rechtlich, kulturell und institutionell derart einzubetten, dass gesellschaftliche Grundwerte und individuelle Grundrechte gewahrt bleiben und die Technologie der Gesellschaft und dem Menschen dient“ (BMBF, 2018).

Im Jahr 2019 sind sowohl umfassende wissenschaftliche Abhandlungen (Mittelstadt, 2019; Jobin et al, 2019) als auch Veröffentlichungen aus dem politischen Raum über die Leitlinien zur KI-Anwendung erschienen (HEG-KI, 2019a; OECD, 2019).

In den Ethik-Richtlinien für eine vertrauenswürdige KI wird darauf verwiesen, dass die KI kein Selbstzweck ist, sondern ein vielversprechendes Mittel, um das menschliche Gedeihen und somit das Wohlbefinden von Individuum und Gesellschaft und das Gemeinwohl zu steigern sowie zur Förderung von Fortschritt und Innovation beizutragen (HEG-KI, 2019a). Allgemeiner auf den gesamten Prozess der Digitalisierung bezogen, wird vom Wissenschaftlichen Beirat der deutschen Bundesregierung für globale Umweltveränderungen in der Zusammenfassung seines Hauptgutachtens 2019 (WBGU, 2019) die Erwartung formuliert, dass „die Digitalisierung so gestaltet werden muss, dass sie als Hebel und Unterstützung für die Große Transformation zur Nachhaltigkeit dienen und mit ihr synchronisiert werden kann“. Mit den Ethik-Richtlinien der EU wird genau der dritte, der „europäische“ Weg aufgezeigt, den der WBGU neben dem „amerikanischen“ (Kräfte des Marktes wirken weitgehend unreguliert) und dem „chinesischen“ (hierarchische Planung und Kommandowirtschaft) einfordert.

Der WBGU greift in seinem Gutachten die aktuellen Debatten zur künstlichen Intelligenz auf und charakterisiert diese Diskurse als „immer stärker aufgeladenes Spannungsfeld zwischen Hoffnung, Horror und Hype“ und kritisiert, dass dabei die „Einbettung der entstehenden Konglomerate in die natürliche Umwelt weitestgehend ignoriert“ wird und sich die Wissenschaft nicht einfach diesem Feld entziehen kann (WBGU, 2019). Im vollen Bewusstsein der spekulativen Natur seiner Gedanken stellt der WBGU drei Szenarien zur Entwicklung von KI vor: 1. Der Mensch kommt zu sich selbst, 2. Der Mensch schafft sich Gefährten, 3. Der Mensch erfindet seine Meister. Interessanterweise bleibt hier der Mensch offenbar der zentrale Akteur des Geschehens, was wiederum mit den Ethik-Richtlinien der EU in Übereinstimmung stehen würde.

Die OECD hat im Frühjahr 2019 ebenfalls relevante Dokumente veröffentlicht, die die Notwendigkeit einer gemeinsamen Politik im Umgang mit KI unterstreichen (OECD, 2019). Auch hier werden der Aspekt der Vertrauenswürdigkeit und der der zentralen Rolle des Menschen herausgestellt. Die globale Bedeutung von KI-Anwendungen in der Landwirtschaft wird im Abschnitt der Anwendungsfelder beschrieben und es werden die derzeitigen Begrenzungen für einen breiteren Anwendungsumfang benannt. Mit Abstrichen sind die Aussagen zu KI-Nutzung im Gesundheitssektor auf Anwendungen im Tierhaltungsbereich übertragbar.

Sektor übergreifend ist die Positionierung des Vereins Deutscher Ingenieure im „Statusreport Künstliche Intelligenz“ (VDI, 2018) von Bedeutung, die sich stark mit den Anwendungs-Potenzialen befasst, bis hin zur Ingenieursausbildung, den landwirtschaftlichen Anwendungen jedoch keine eigenständige Sichtbarkeit gibt. Um die Chancen und Risiken von KI-Anwendungen im Kuhstall besser bewerten zu können, erscheint es ratsam, sich den verschiedenen Aspekten einer vertrauenswürdigen KI (vKI) detaillierter zuzuwenden. Die nachfolgenden Aussagen beziehen sich auf die Veröffentlichung (Ethik-Richtlinien) der Hochrangigen Expertengruppe –Künstliche Intelligenz (HEG-KI, 2019a).

Eine vertrauenswürdige KI zeichnet sich durch *drei Komponenten* aus, die während des gesamten Lebenszyklus des Systems erfüllt sein sollten: a) Sie sollte *rechtmäßig* sein und somit alle anwendbaren Gesetze und Bestimmungen einhalten, b) sie sollte *ethisch* sein und somit die Einhaltung ethischer Grundsätze und Werte garantieren und c) sie sollte *robust* sein, und zwar sowohl in technischer als auch sozialer Hinsicht, da KI-Systeme selbst bei guten Absichten unbeabsichtigten Schaden anrichten können. Jede Komponente an sich ist notwendig, jedoch nicht ausreichend, um das Ziel einer vertrauenswürdigen KI zu erreichen. Idealerweise wirken alle drei Komponenten harmonisch zusammen und überlappen sich in ihrer Funktionsweise.

Es muss gewährleistet sein, dass die Entwicklung, Einführung und Nutzung von KI-Systemen die *Anforderungen* an vertrauenswürdige KI erfüllen: 1) Vorrang menschlichen Handelns und menschliche Aufsicht, 2) technische Robustheit und Sicherheit, 3) Schutz der Privatsphäre und Datenqualitätsmanagement, 4) Transparenz, 5) Vielfalt, Nichtdiskriminierung und Fairness, 6) gesellschaftliches und ökologisches Wohlergehen sowie 7) Rechenschaftspflicht.

Zu den Anforderungen im Einzelnen:

### **Vorrang menschlichen Handelns und menschliche Aufsicht**

In risikobehafteten Situationen sollte eine Folgenabschätzung der Auswirkungen auf die Grundrechte vorgenommen werden. Diese Maßnahme sollte vor der Entwicklung stehen und eine Beurteilung darüber enthalten, ob sich diese Risiken verringern lassen bzw. ob sie als in einer demokratischen Gesellschaft notwendig gerechtfertigt sind.

Die Benutzer sollten in der Lage sein, informierte Entscheidungen in Bezug auf KI-Systeme zu treffen. Ihnen sollte das notwendige Wissen und die Mittel zur Verfügung gestellt werden, KI-Systeme hinreichend zu verstehen und mit ihnen interagieren zu können.

KI-Systeme sollten die einzelnen Menschen dabei unterstützen, im Einklang mit ihren eigenen Zielen bessere, fundiertere Entscheidungen zu treffen.

Entscheidend ist das Recht einer Person, nicht einer ausschließlich auf einer automatisierten Verarbeitung beruhenden Entscheidung unterworfen zu werden.

Die menschliche Aufsicht kann durch Lenkungs- und Kontrollmechanismen wie die Gewährleistung der *interaktiven Einbindung* eines Menschen („Human-in-the-Loop“), der *Überprüfung und Kontrolle* durch einen Menschen („Human-on-the-Loop“) oder der *Gesamtsteuerung* durch einen Menschen („Human-in-Command“) erreicht werden.

Grundsatz: Je weniger Aufsicht ein Mensch über ein KI-System ausüben kann, desto ausführlicher muss es zuvor getestet werden und desto strenger muss die Lenkung und Kontrolle sein.

### **Technische Robustheit und Sicherheit**

Die technische Robustheit ist mit dem Grundsatz der Schadensverhütung eng verbunden.

KI-Systeme sollten wie alle Softwaresysteme vor Sicherheitslücken geschützt werden.

KI-Systeme sollten für den Problemfall über Sicherheitsvorkehrungen verfügen, die einen Auffangplan aktivieren.

Es muss gewährleistet sein, dass das System bestimmungsgemäß agiert, ohne Lebewesen oder der Umwelt Schaden zuzufügen.

Ein hohes Maß an Präzision ist insbesondere dann unerlässlich, wenn sich KI-Systeme direkt auf das Leben von Menschen auswirken.

Es ist unbedingt erforderlich, dass die von KI-Systemen erzeugten Ergebnisse gleichermaßen reproduzierbar und zuverlässig sind.

### **Schutz der Privatsphäre und Datenqualitätsmanagement**

Die Schadensverhütung in Bezug auf den Schutz der Privatsphäre erfordert außerdem ein angemessenes Datenqualitätsmanagement, wozu auch die Qualität und Integrität der verwendeten Daten, ihre Relevanz gegenüber dem Bereich, in dem die KI-Systeme eingesetzt werden, die Zugangsprotokolle sowie die Fähigkeit zur Datenverarbeitung unter Wahrung des Datenschutzes gehören.

KI-Systeme müssen den Schutz der Privatsphäre und den Datenschutz in allen Phasen des Lebenszyklus eines Systems gewährleisten.

Die Qualität der verwendeten Datensätze ist für die Leistungsfähigkeit von KI-Systemen von entscheidender Bedeutung. Darüber hinaus muss die Integrität der Daten gewährleistet sein.

In jeder Organisation, die mit den Daten von Bürgerinnen und Bürgern umgeht, sollten Datenprotokolle eingerichtet werden, die den Datenzugriff regeln. In diesen Protokollen sollte festgelegt werden, wer unter welchen Umständen auf die Daten zugreifen kann.

### **Transparenz**

ist eng mit dem Grundsatz der Erklärbarkeit verbunden und bezieht sich auf die Transparenz aller für ein KI-System relevanten Komponenten: die Daten, das System und die Geschäftsmodelle.

Es müssen möglicherweise Kompromisse zwischen einer verbesserten Erklärbarkeit eines Systems (was die Präzision beeinträchtigen kann) und mehr Präzision (auf Kosten der Erklärbarkeit) eingegangen werden. Wann immer ein KI-System das Leben von Menschen entscheidend beeinflusst, muss es möglich sein, eine

geeignete Erklärung für den Entscheidungsprozess des KI-Systems zu erhalten. Eine solche Erklärung sollte rechtzeitig erfolgen und auf die jeweilige Sachkenntnis des betroffenen Interessenträgers zugeschnitten sein. Menschen haben das Recht, darüber informiert zu werden, dass sie mit einem KI-System interagieren.

### ***Vielfalt, Nichtdiskriminierung und Fairness***

Zur Schaffung einer vertrauenswürdigen KI müssen Inklusion und Vielfalt während des gesamten Lebenszyklus des KI-Systems garantiert sein. Neben der Berücksichtigung und Einbindung aller betroffenen Interessenträger in den gesamten Prozess setzt dies auch die Sicherstellung eines gleichberechtigten Zugangs durch inklusive Gestaltungsprozesse sowie Gleichbehandlung voraus. Diese Anforderung ist eng mit dem Grundsatz der Fairness verbunden.

Zur Entwicklung vertrauenswürdiger KI-Systeme ist eine Konsultation der Interessenträger ratsam, die möglicherweise während des gesamten Lebenszyklus des Systems direkt oder indirekt von diesem betroffen sind.

### ***Gesellschaftliches und ökologisches Wohlergehen***

Im Einklang mit den Grundsätzen der Fairness und Schadensverhütung sollten während des gesamten KI-Lebenszyklus auch die breitere Gesellschaft, andere fühlende Wesen und die Umwelt als Akteure berücksichtigt werden.

Die Omnipräsenz sozialer KI-Systeme in allen Lebensbereichen (ob in Bildung, Arbeit, Pflege oder Unterhaltung) kann unsere Vorstellung von sozialer Handlungsfähigkeit verändern oder unsere sozialen Beziehungen und Bindungen beeinflussen.

### ***Rechenschaftspflicht***

Es müssen Vorkehrungen getroffen werden, die die Verantwortlichkeit und Rechenschaftspflicht für KI-Systeme und deren Ergebnisse vor und nach deren Umsetzung gewährleisten.

Die Bewertung von KI-Systemen durch interne und externe Prüfer und das Vorliegen solcher Bewertungsberichte kann beträchtlich zur Vertrauenswürdigkeit der Technik beitragen.

Die Ermittlung, Bewertung, Berichterstattung und Minimierung potenziell negativer Auswirkungen von KI-Systemen ist für (in)direkt Betroffene besonders wichtig.

Notwendige Kompromisse sollten nach dem neuesten Stand der Technik rational und methodisch angegangen werden. Der Entscheidungsträger ist für die Art und Weise des Zustandekommens eines angemessenen Kompromisses rechenschaftspflichtig und er sollte die Angemessenheit der daraus resultierenden Entscheidung kontinuierlich überprüfen, um sicherzustellen, dass bei Bedarf notwendige Änderungen am System vorgenommen werden können.

Vertrauenswürdigkeit ist eine Grundvoraussetzung dafür, dass Menschen und Gesellschaften KI-Systeme entwickeln, einführen und nutzen. Vertrauen ist auch für die Qualitätsmerkmale der sozio-technischen Systeme mit KI-Anwendungsmöglichkeiten von Bedeutung. Die Arbeit an einer vertrauenswürdigen KI betrifft deshalb nicht nur die Vertrauenswürdigkeit des KI-Systems an sich, sondern sie bedarf eines holistischen und systemischen Ansatzes, der die Vertrauenswürdigkeit aller Beteiligten und der entsprechenden Prozesse als Teil des sozio-technischen Kontextes des Systems während seines gesamten Lebenszyklus umfasst. Nur wenn die Vertrauenswürdigkeit gesichert ist, werden die europäischen Bürgerinnen und Bürger von den Vorteilen der KI-Systeme uneingeschränkt profitieren können, und zwar in der Gewissheit, dass Vorkehrungen zu ihrem Schutz vor möglichen Risiken getroffen worden sind (HEG-KI, 2019a). Diese Leitlinien richten sich an alle Akteure, die sich an der Gestaltung, Entwicklung, Einführung, Umsetzung oder Nutzung der KI beteiligen oder davon betroffen sind.

Lernfähige KI-Systeme, die in der Lage sind, ihr Verhalten dynamisch anzupassen, können als ein nichtdeterministisches System verstanden werden, das möglicherweise ein unerwartetes Verhalten an den Tag legen kann. Aus theoretischer Sicht werden diese Systeme oft im Sinne eines „sense-plan-act“-Zyklus (dt. erkennen-planen-handeln) verstanden.

Die Anpassung dieser Architektur zur Sicherstellung einer vertrauenswürdigen KI (vKI) erfordert die Einbeziehung der oben aufgeführten Anforderungen in allen drei Phasen des Zyklus: i) Während der Phase des Erkennens („sense“) sollte das System so entwickelt werden, dass es alle Umgebungselemente erkennt, die notwendig sind, um die Einhaltung der Anforderungen zu gewährleisten. ii) Während der Planungsphase („plan“) sollte das System nur solche Pläne berücksichtigen, die den Anforderungen entsprechen. iii) Während der Handlungsphase („act“) sollten die Handlungen des Systems auf Verhaltensweisen beschränkt sein, die die Anforderungen verwirklichen.

### **Bewertung der Einsatzmöglichkeiten von KI im Kuhstall**

Auch wenn man die aktualisierte Definition von KI (HEG-KI, 2019b) heranzieht, ist festzustellen, dass Methoden der KI in komplexen Entscheidungsprozessen beim Management von Milchkühen innerhalb und außerhalb des Stalles eingesetzt werden. Da es bisher vorgenannte Ethik-Richtlinien nicht gab, ist im Detail nicht bekannt, wo sie zum Einsatz kommen, noch sind die übrigen Anforderungen an eine vKI berücksichtigt.

Sehr oft wird eine methodische Differenzierung bei Fragen zur Digitalisierung in der Landwirtschaft nicht vorgenommen. So nennen auf die Frage nach den wichtigsten Vorteilen der Digitalisierung vier von zehn Befragten (39 Prozent) die körperliche Entlastung, die diese mit sich bringe. Fast ebenso viele sehen die effizientere Produktion (37 Prozent) und die Zeitersparnis (36 Prozent) als große Vorteile. 31 Prozent nannten zudem eine geringere Belastung der Umwelt (Bitkom-Umfrage, zitiert in internetworld.de, 2019). Alle Beteiligten im Kontext der Digitalisierung in der Landwirtschaft sollten sich um eine detailliertere Aussage zu Methoden im Prozess der Digitalisierung bemühen und auch so einen Beitrag leisten, die KI-Anwendungen vertrauenswürdig zu machen.

Die Ethik-Richtlinien (HEG-KI, 2019a) liefern auch einen Rahmen für die *Bewertung von KI-Anwendungen*, die alle sieben Anforderungen für sich, aber auch die Wechselbeziehungen zwischen ihnen, berücksichtigen sollen. Angesichts der Anwendungsspezifität von KI-Systemen muss nach Meinung der HEG-KI die Bewertungsliste auf die spezifischen Anwendungsfälle und Kontexte, in denen die Systeme zum Einsatz kommen, zugeschnitten werden.

Aus Sicht der Bewertung von KI-Anwendungen in der Nutztierhaltung scheint es sinnvoll, nach der Betroffenheit von beteiligten Prozesselementen zu differenzieren. 1) Maschine-Maschine-Interaktionen, 2) Maschinelle Handlungen am Tier, 3) Entscheidungen über das Tier mit Beteiligung von Menschen, 4) Entscheidungen über das Tier ohne Beteiligung von Menschen, 5) menschliche Handlungen ohne Betroffenheit von Tieren. Es wird hier unterstellt, dass es in jeder Fallgruppe Auswirkungen auf die belebte oder unbelebte Umwelt gibt, die es prinzipiell in die Bewertung einzubeziehen gilt.

Es wird empfohlen für die konkrete Anwendung eine Arbeitsgruppe einzurichten, deren Resultate an die HEG-KI gesendet werden sollten. Da dies eine europaweite Handlungsempfehlung ist, sollte geprüft werden, welche Organisationen hier maßgeblich sind (EAAP, EurAgEng...). National wäre die Unterstützung durch die DLG, den DBV und den VDI (MEG) denkbar, möglicherweise vom KTBL organisiert.

## Besondere Anforderungen an KI, die über Tiere entscheidet

Die große Aufmerksamkeit, die unsere Gesellschaft derzeit dem Thema „Tierwohl“ widmet, macht deutlich, dass weitere „Technisierungen“ der Lebensumwelt unserer Nutztiere nicht kritiklos akzeptiert werden. Wollen wir jedoch der Branche eine angemessene Beteiligung an den Chancen der Nutzung von KI ermöglichen, ist es notwendig, die Vertrauenswürdigkeit der KI-Anwendungen anzustreben.

Eine besondere Herausforderung wird in der angemessenen Berücksichtigung der „Interessen“ der Nutztiere gesehen. Noch sind wir weit davon entfernt, zu jeder Zeit von jedem Nutztier den „Grad des Wohlbefindens“ als Regelgröße für ein gesellschaftlich akzeptiertes Management im Kuhstall, oder in einem anderen Nutztierstall einsetzen zu können. Selbst wenn das vielleicht in naher Zukunft möglich ist, bleibt die Kuh im konfliktreichen Zieldreieck der Nachhaltigkeit „hin und her gerissen“ und mit ihr derjenige, der Entscheidungen zu treffen hat – egal ob Mensch oder KI! Es erscheint dringend notwendig, eine klar strukturierte Debatte in der Gesellschaft zu führen und nicht nur immer mehr Geld für die Umsetzung von mehr Tierschutz zu fordern. Es geht um die Bewertung von Tierwohl im Kontext der ökologischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen in standortspezifischen Produktionssystemen!

Es besteht ein dringender Bedarf, das Wohlbefinden der Nutztiere neutral zu erfassen und als Managementgröße zu verwenden. Dies geht deutlich weiter als die „Digital Health-Ansätze“ im Humanbereich. Es braucht Methoden zum Umgang mit der biologischen Individualität (Wilson, 1999) ebenso wie mit der „personality“ von Nutztieren (Finkemeier et al, 2018). Hier können Methoden der KI einen wichtigen Beitrag leisten, aber sie lösen nicht die Probleme!

## Wandel der menschlichen Arbeit und Bedeutung des menschlichen Wissens im digitalen Stall

Vor fast 80 Jahren hat der Nestor der Arbeitswissenschaften im Landbau, Ludwig-Wilhelm Ries, beklagt, dass die Arbeit innerhalb der Landwirtschaftswissenschaft fast ausschließlich auf ihre Kostenrelevanz reduziert wird (Ries, 1942). Zumindest in den ökonomischen Disziplinen ist das auch im Zeitalter der Automatisierung nicht wesentlich anders geworden. Mit Verweis auf die Komplexität („alle für die wirtschaftliche Arbeit wichtigen Dinge im Zusammenhang und in ihren Wechselwirkungen“) macht RIES deutlich, dass die Herstellung von Zusammenhangswissen eine wichtige Voraussetzung für den Erfolg im Einzelfall ist. Die Digitalisierung und mit ihr insbesondere der Einsatz von KI erwecken zunächst den Anschein, dass die Bedeutung menschlicher Arbeit innerhalb landwirtschaftlicher Produktionsprozesse weiter zurückgeht, weil Automaten kostengünstig und ohne „soziale Unsicherheiten“ arbeiten. Gerade der Aspekt des „Zusammenhangswissens“ ist mit dem Einsatz von KI spezielle Überlegungen wert. Prinzipiell ist die Überlegenheit von KI gegenüber menschlichem Denken umso größer, je höher die Komplexität des Problems ist und je länger der Betrachtungszeitraum ist (gleichzeitiges Betrachten von vergangenen Ereignissen, des aktuellen Geschehens und zu erwartender Bedingungen). Das Bundesministerium für Arbeit und Soziales verweist in seiner Broschüre „Arbeit 4.0“ auf die Neuorganisation sozio-technischer Systeme in der Wirtschaft (BMAS, 2017), wobei die Gestaltungsaufgaben insbesondere in folgenden Feldern gesehen werden: Beschäftigungsfähigkeit, Arbeitszeit, Dienstleistungen, gesunde Arbeitsbedingungen, Beschäftigten-Datenschutz, Mitbestimmung und Teilhabe, Selbständigkeit und Sozialstaat. Im Gegensatz zu diesen doch eher grundsätzlichen (prozessualen) Gestaltungsaufgaben, sehen Heinen et al (2017) die Gestaltungsaufgaben eher als eine ordnungspolitische Aufgabe. In Anbetracht dieser Diskussionen scheint es angebracht, sich mit der Erweiterung des „Arbeitsverständnisses“ von L.-W. Ries (1942) durch zunehmende Einführung von KI in landwirtschaftliche Produktionsprozesse wissenschaftlich auseinanderzusetzen.

## Schlussfolgerungen

KI ist im Management landwirtschaftlicher Produktionssysteme bereits weit verbreitet, sowohl im Stall als auch außerhalb von landwirtschaftlichen Betrieben (Dienstleister). Bisher fehlen branchenspezifische Leitlinien zur Schaffung vertrauenswürdiger KI-Systeme, die die EU-Leitlinien umsetzen. Dabei ist von derzeitigen Positionspapieren einzelner Gruppen zur Digitalisierung innerhalb des Sektors ausgehend ein Branchenkonsens anzustreben, der auch die Verbraucherinteressen angemessen berücksichtigt (gesellschaftlich akzeptierte Nutztierhaltung!)

In einem ersten Schritt in Richtung Vertrauen könnten alle Anbieter von Maschinen, Waren und Dienstleistungen, die Verwendung von KI-Methoden kenntlich machen, um auch den Landwirten die Chance zu geben, die Nutzung von KI dem Abnehmer ihrer Produkte erklären zu können (Transparenz).

Unabhängig von Branchen-Leitlinien zur KI-Anwendung in der Landwirtschaft und dem Ernährungsgewerbe scheint es dringend geraten, einen gesellschaftlichen Diskurs zur Anwendung von KI-Methoden im Umgang mit Nutztieren zu führen (Übergang von Verantwortung des Tierhalters?).

Neben den Chancen der neuen Technologien im Umfeld der Digitalisierung bedarf es einer wissenschaftlichen Analyse zu Risiken und Nebenwirkungen des technologischen Wandels in der Spezifik von Landwirtschaft, Lebensmittelproduktion und Umweltschutz. Bisherige transdisziplinäre Forschungsansätze (z. B. DiDaT) sind auszuweiten.

Zur Sicherung der Robustheit der landwirtschaftlichen Primärproduktion und der dazu erforderlichen Qualifikation der Menschen erscheint es sinnvoll, ein Konzept für eine bundesweite Qualifikationsinitiative zu erarbeiten, die alle Bereiche der Aus- und Weiterbildung umfasst – von der Grundschule, über die Hochschulen, bis zu berufsbegleitenden Weiterbildungsangeboten.

## Literatur

- BMAS (2017): Weissbuch Arbeiten 4.0.  
[https://issuu.com/support.bmaspublicispixelpark.de/docs/161121\\_wei\\_\\_buch\\_final?e=26749784/43070404](https://issuu.com/support.bmaspublicispixelpark.de/docs/161121_wei__buch_final?e=26749784/43070404)
- BMBF (2018): Strategie Künstliche Intelligenz der Bundesregierung, [https://www.bmbf.de/files/Nationale\\_KI-Strategie.pdf](https://www.bmbf.de/files/Nationale_KI-Strategie.pdf)
- DiDaT (2019): <https://www.iass-potsdam.de/de/forschung/didat>
- Duden (2006): Duden Informatik A-Z: Fachlexikon für Studium, Ausbildung und Beruf (Deutsch), 768 S., Bibliographisches Institut und F.A. Brockhaus AG, 2006
- Finkemeier et al (2018): Finkemeier, M-A; Langbein, J; Puppe, B.: Personality Research in Mammalian Farm Animals: Concepts, Measures, and Relationship to Welfare. *Frontiers in Veterinary Science* *Frontiers in Veterinary Science*, doi: 10.3389/fvets.2018.00131
- HEG-KI (2019a): Ethik-Leitlinie für eine vertrauenswürdige KI, April 2019, <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/ethics-guidelines-trustworthy-ai>
- HEG-KI (2019b): Eine Definition der KI: Wichtigste Fähigkeiten und Wissenschaftsgebiete, April 2019, <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/ethics-guidelines-trustworthy-ai>
- Heinen et al (2017): Heinen, N., Heuer, A. & Schautschick, P. Künstliche Intelligenz und der Faktor Arbeit. *Wirtschaftsdienst* 97, 714–720 (2017) doi:10.1007/s10273-017-2203-5
- Internetworld.de (2019): <https://www.internetworld.de/technik/digitale-transformation/landwirtschaft-digital-1760431.html>
- Jobin et al (2019): Jobin, A., Ienca, M. & Vayena, E. The global landscape of AI ethics guidelines. *Nat Mach Intell* 1, 389–399 (2019) doi: 10.1038/s42256-019-0088-2
- Mittelstadt (2019): Mittelstadt, B. Principles alone cannot guarantee ethical AI. *Nat Mach Intell* 1, 501–507 (2019) doi: 10.1038/s42256-019-0114-4
- OECD (2019): Artificial intelligence in society, June 2019, <http://www.oecd.org/going-digital/artificial-intelligence-in-society-eedfee77-en.htm>
- Ries (1942): Ries, L.-W.: Die Arbeit in der Landwirtschaft, Reichsnährstandsverlag, Berlin
- VDI (2018): VDI-Statusreport Künstliche Intelligenz, <https://www.vdi.de/themen/kuenstliche-intelligenz-ki>
- WBGU (2019) Unsere gemeinsame digitale Zukunft. Hauptgutachten – Zusammenfassung, [https://www.wbgu.de/fileadmin/user\\_upload/wbgu/publikationen/hauptgutachten/hg2019/pdf/WBGU\\_HG\\_D2019\\_Z.pdf](https://www.wbgu.de/fileadmin/user_upload/wbgu/publikationen/hauptgutachten/hg2019/pdf/WBGU_HG_D2019_Z.pdf)
- Wilson (1999): Wilson, J.: Biological Individuality, Cambridge University Press, 137 p.



## **Pilotstudie zur Gesundheitsüberwachung bei Kühen mit Hilfe der Messung des Carotinoid Gehaltes in der Haut**

*Martina Jakob<sup>1</sup> und Christina Umstätter<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V., Potsdam, Deutschland*

*<sup>2</sup>Agroscope, Tänikon, Schweiz*

*E-Mail: [mjakob@atb-potsdam.de](mailto:mjakob@atb-potsdam.de)*

**The carotenoid content of human skin can provide information about the health status and stress level. It can be measured by multiple spatially resolved reflection spectroscopy. A non-invasive, handheld device was developed for measurements on the palm of humans. The sensor is available on the market now and is continually improved.**

**A pilot study was designed to find out, whether the same sensor can also be used to measure the carotenoid content of the skin of cows. Such a tool could be a useful basis for detecting health issues in the udder and could therefore enable farmers to respond early and prevent more severe courses of illness.**

**Two on-farm trials in France and Ireland were run to collect data on different breeds and feeding systems. In addition, different measuring points were tested on the udder. In France the measurements were focused on the teats whereas in Ireland the side of the udder was also measured. Overall, in France the measured values were higher than in Ireland. The results varied for the teats, but feed and breed have shown a significant influence.**

**Therefore, the pilot study results indicate that the sensor has potential to provide useful information for farmers. As the sensor is developed for human use, more research needs to be done. The calibration models need to be adapted for dairy cows as well as the tool needs adaptation to the specifics of the udder.**

***Keywords: Animal health, antioxidants, sensor, MSRRS method***

## Einleitung

Automatisierte Systeme zur Gesundheitsüberwachung oder sogar zur Früherkennung von Erkrankungen sind durch die neuen Möglichkeiten der digitalen Transformation vielfach diskutiert. Gerade die Eutergesundheit spielt in der Milchproduktion eine wichtige Rolle. Mastitis ist eine endemische Krankheit, die als eine der häufigsten und teuersten Krankheiten in der Milchviehhaltung gilt (Halasa et al., 2007). Die momentane Nutzungsdauer von Rindern in Deutschland liegt im Mittel deutlich unter drei Laktationen (Martens & Bange 2013). Dieser Umstand ist weder wirtschaftlich noch nachhaltig. Mastitis kann beispielsweise anhand erhöhter Zellzahlen, mit dem Schalm-Test (manuell oder automatisiert), oder über die elektrische Leitfähigkeit erkannt werden. Für eine Früherkennung sind diese Ansätze jedoch nicht geeignet. Es wäre deshalb hilfreich, bereits frühzeitig entzündliche Prozesse anzeigen zu können. Das sogenannte C-reaktive Protein ist beispielsweise ein Anzeiger für entzündliche Prozesse. Es erhöht sich u. a. bei rheumatischen Entzündungen, bakteriellen Infektionen und entzündlichen tumorartigen Erkrankungen. Dadurch werden die in der Haut befindlichen Antioxidantien verbraucht. Bei Menschen lässt sich der Carotinoid Gehalt in der Haut in vivo bereits verlässlich bestimmen und beschreibt den Ernährungsstatus sowie das Stresslevel (Hata et al. 2000; Darvin et al. 2012).

Carotinoide sind in Pflanzen sehr weit verbreitete rote, gelbe oder orangerote Farbstoffe. Sie sind in den entsprechend gefärbten Gemüsearten wie Möhren, Paprika, Tomaten, Kürbis, Melonen oder in Obstarten wie Aprikosen in besonders hohen Konzentrationen enthalten. Sie kommen in Zusammenhang mit Chlorophyll vor, da es ihre Aufgabe ist, bei der pflanzlichen Photosynthese die Photooxidation bei Chlorophyllmolekülen zu unterbinden. Carotinoide wirken demnach als Antioxidantien und können das Immunsystem stimulieren. Da Rinder sehr chlorophyllhaltig ernährt werden, ist ein ausreichender Carotinoidgehalt in der Haut zu erwarten.

Im Rahmen einer Pilotstudie wurden deshalb erste Messungen zur Überprüfung des Potenzials eines bereits für Menschen kommerziell erhältlichen Sensors zur Detektion des Carotinoidgehaltes in der Haut zur Gesundheitsüberwachung von Milchkühen durchgeführt.

## Material und Methode

Ein neuartiger optischer Sensor biozoom® (biozoom services GmbH, Kassel, Deutschland) zur Detektion des Carotinoidgehaltes in der Haut beim Menschen wurde erstmalig auf zwei verschiedenen Milchviehbetrieben in Frankreich (Le Pin-au-Haras/INRA, Normandie) und Irland (Moorepark, TEAGASC, Fermoy) für eine Pilotstudie eingesetzt. Die Funktionsweise des Sensors basiert auf der MSRRS Methode (Multiple Spatially Resolved Reflection Spectroscopy). Der Sensor wird mit seiner reflektierenden Fläche auf der Haut mit leichtem Druck angelegt, dann wird die Epidermis von 18.000 unterschiedlichen Lichtwellen durchlaufen, um Auskunft über die Versorgung des Körpers mit Antioxidantien zu geben (Darvin et al. 2016). Für unsere Studie wurde die Messung vor dem Melken an der gereinigten Zitze oder am Euterboden durchgeführt. Die Messung dauerte etwa 15 Sekunden. Da die Messung nur bei pigmentarmer Haut funktioniert, wurden nur Zitzen für die Studie ausgewählt, die über eine helle Haut verfügten.

Der Sensor wurde für die Messung per USB Kabel an ein 8 Zoll Windows 10 Tablet angeschlossen. Der Messstart und die Datenspeicherung erfolgte über das Tablet. Im Anschluss berechnete dann die Firma biozoom services GmbH die Messwerte mithilfe eines speziellen Algorithmus. Jedem Messwert wurde ein Wert einer Skala von 0 bis 25 zugeordnet, der den Carotinoidgehalt in der Haut repräsentiert. Die Messwerte wurden allerdings ohne Einheit ausgegeben. Zusätzlich erfolgte eine Charakterisierung der Messwerte durch die zusätzliche Information Messqualität (0 = sehr gut bis 70 = nicht nutzbar) sowie den Zeitpunkt der Messung.

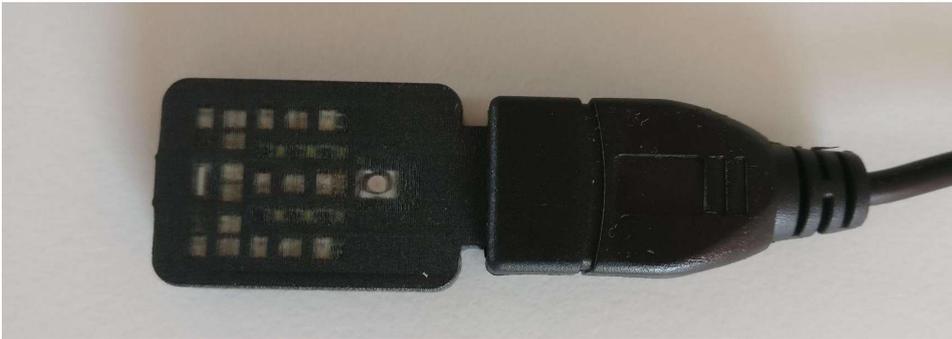


Abbildung 1: Optischer Sensor zur Carotinoidmessung (biozoom services, Kassel, Deutschland).

### Messperiode in Frankreich

In Frankreich wurden über einen Zeitraum zwei Wochen täglich nachmittags Messungen vor dem Melken an allen vier Zitzen pro Kuh durchgeführt. Insgesamt wurden 2467 Werte gemessen. Die 41 laktierenden Kühe wurden zufällig ausgewählt und waren in zwei Gruppen unterteilt, eine Gruppe mit Weidegang ( $n = 31$ ) und eine Gruppe mit ausschließlicher Stallhaltung ( $n = 10$ ) und Fütterung mit Silage und Konzentrat. Das Konzentrat enthielt Getreide und Raps.

Die Rassen Holstein Frisian und Normande waren vertreten, Normande jedoch ausschließlich in der Gruppe mit Weidegang. Die Milchleistung der mit Gras gefütterten Holstein Kühe liegt bei etwa 9000 kg/Jahr, der mit Gras gefütterten Normande Kühe bei 6500 kg/Jahr und die der Holstein Kühe in Stallhaltung bei 10 000 kg/Jahr.

### Messperiode in Irland

Nach Auswertung der Messergebnisse aus Frankreich wurde die Messroutine für Irland abgewandelt. In Irland wurden die Messungen vom Nachmittagsgemelk über 10 Tagen bei einer zufällig ausgewählten Gruppe von 28 laktierenden Kühen durchgeführt. Insgesamt liegen hier 726 Messwerte vor. Es wurden jeweils von einer gut erreichbaren Zitze und einer Stelle seitlich am Euter Daten gesammelt. Die Messung wurde pro Melkzeit zweimal durchgeführt, im Idealfall erfolgte die Wiederholungsmessung an derselben Stelle ohne den Sensor zwischendurch zu entfernen. Die Kühe hatten ganztägigen Weidegang und bekamen zusätzlich etwa 2 kg Krafffutter pro Tag. Neben den reinen Holstein Frisian Kühen waren auch Jersey, Norwegian Red oder Normande eingekreuzt.

### Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit der Software JMP® 14.0., (SAS Institute, Cary, North Carolina, USA) sowie mit SAS (SAS Institute, Cary, North Carolina, USA) über das generalisierte gemischte lineare Modell mittels kleinster Quadrate Schätzung. Für die statistische Auswertung wurde die gesamte Stichprobe verwendet.

### Ergebnisse

Die Analyse der Messqualitätsdaten zeigt, dass bei 75 % aller Messungen in Frankreich und Irland eine Qualität von null bis dreißig erreicht wird. Dieser Bereich wird von der Firma als vertrauenswürdig angegeben. Beispielhaft ist in Abbildung 2 die Werteverteilung beim Qualitätsgrad null dargestellt. Null entspricht der höchsten Qualität.

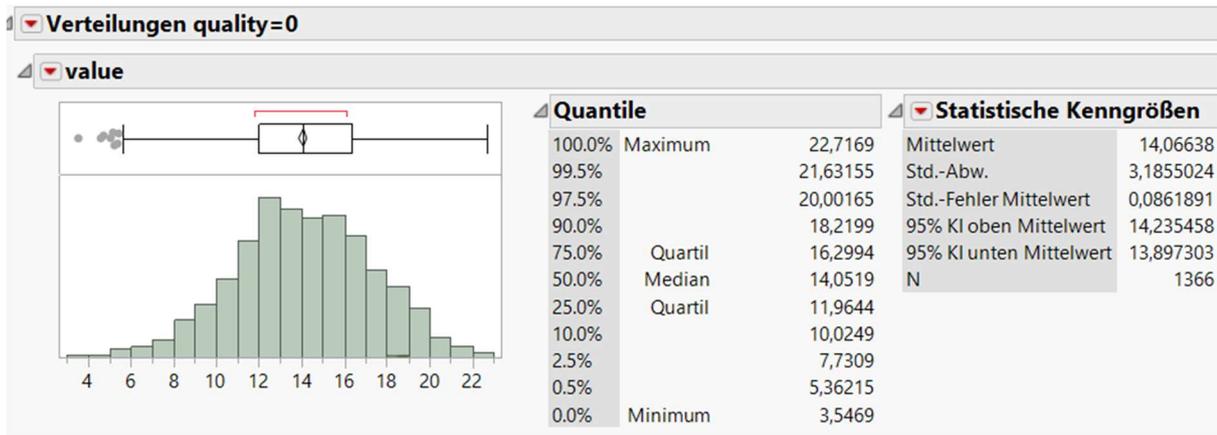


Abbildung 2: Messwerte Stichprobe Frankreich bei Qualitätsgrad 0 = sehr gut (n = 1366).

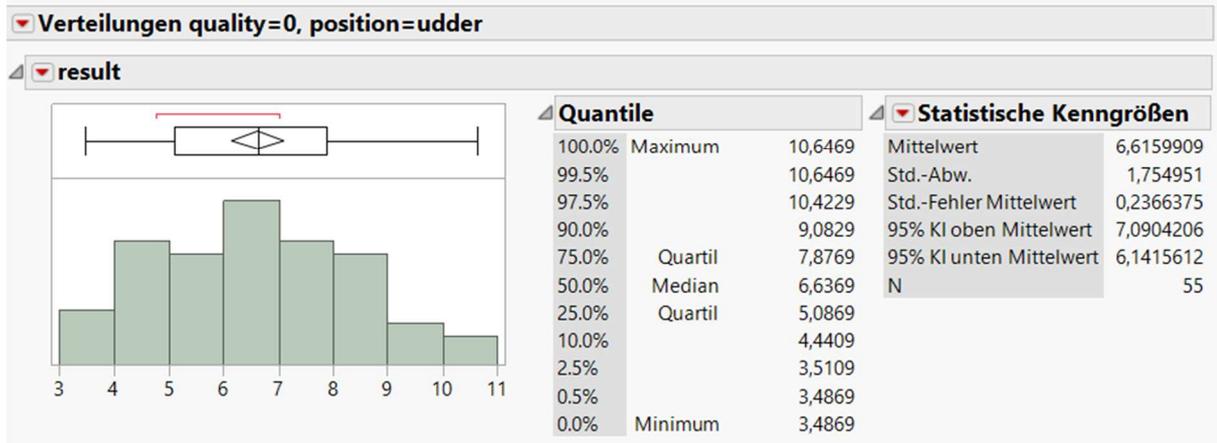
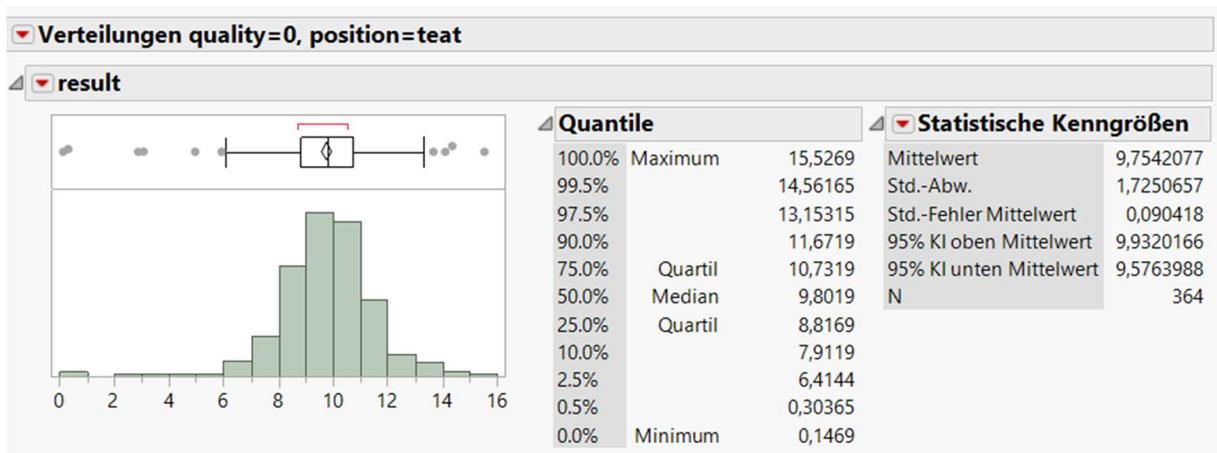


Abbildung 3: Messwerte Stichprobe Irland für Zitze (teat) und Euter (udder) bei Qualitätsgrad 0 = sehr gut (n<sub>gesamt</sub> = 726).

Im Vergleich der beiden Stichproben liegen die Messwerte der französischen Kühe im Mittel bei 14 Einheiten und die der irischen Kühe bei 10 Einheiten, wenn nur die Werte mit höchster Messqualität berücksichtigt werden. Die Ergebnisse zu den Messungen an der Seite des Euters bei der Messqualität null weisen eine deutlich andere Verteilung auf und liegen unter den Werten am Messpunkt Zitze (Abbildung 3). Sie umfassen lediglich 20 % der Gesamtstichprobe. 105 von insgesamt 258 der am Euter erhobenen Messwerte haben eine Messqualität schlechter als 30.

Die Ergebnisse aus Frankreich zeigen einen signifikanten Einfluss der Fütterung und der Rasse (Tabelle 1) auf den Sensormesswert. Der größte Unterschied ergibt sich zwischen den beiden Gruppen ‚Silage gefütterte Holsteinkühe‘ und ‚Normandekühe auf der Weide‘. Der geringste Unterschied zeigt sich bei der Unterscheidung zwischen den beiden Rassen bei Weidehaltung. Auch der Vergleich der Holsteinkühe bei Silage versus Weide konnte einen signifikanten Effekt bei der Fütterung identifizieren.

Tabelle 1: Fütterungs- und rassespezifischer Unterschied der Stichprobe in Frankreich

Fütterung	Rasse		Fütterung	Rasse	Schätzer	Standardfehler	Signifikanz
Weide	Holstein	vs	Silage	Holstein	1.9417	0.2753	***
Weide	Holstein	vs	Weide	Normande	-1.0770	0.2262	***
Silage	Holstein	vs	Weide	Normande	-3.0187	0.2405	***

\*\*\*  $p \leq 0,0001$

## Diskussion

Für die Pilotstudie wurde ein für Menschen entwickelter Sensor verwendet. Die genutzten Algorithmen basieren daher auf einer Kalibrierung, die für die menschliche Haut - und hier den Handballen - durchgeführt wurde. Der erwartete Messbereich beim Menschen reicht bis maximal 15, alle Werte darüber werden bei der Berechnung automatisch als unglaubwürdig bewertet. Viele der französischen Kühe erzielten deutlich höhere Werte, so dass der Wertebereich auf der Basis der bestehenden Kalibrierung extrapoliert wurde. Zukünftig müsste deshalb die Kalibrierung für Milchvieh einen breiteren Skalenbereich abdecken. Die hier dargestellten Messungen an Milchkühen sollten vor allem erstmal einen Einblick in die Machbarkeit der Messung geben sowie ihre Plausibilität überprüfen. In Vorbereitung auf die Studie wurden bereits Probemessungen an verschiedenen Stellen des Tierkörpers, wie z. B. im Ohr oder an der Nase, durchgeführt. In diesem Verlauf wurde dann entschieden, den Fokus auf den Euterbereich zu legen.

Aufgrund einer recht hohen Streuung der Messwerte bei einem Tier zwischen den vier Zitzen in Frankreich wurde die Messroutine für Irland geändert. Die generelle Wiederholbarkeit der Messung an ein und derselben Stelle sollte überprüft werden. Weiterhin sollte das Euter selbst als Messort getestet werden.

Der höhere in Frankreich gemessene Carotinoidgehalt der Haut lässt sich vermutlich über die Fütterung erklären. Die Gruppe mit den höchsten Werten hatte Weidegang. Die Messungen wurden im Frühling durchgeführt. Calderó et al. (2007) untersuchten in einer Studie die Messbarkeit verschiedener Carotinoide in der Milch und im Blutplasma. Besonders Vitamin E ließ sich im Plasma sehr gut nachweisen, und die Werte spiegelten die Carotinoidgehalte der verschiedenen Futterrationen gut wieder. Der Einfluss auf die Tiergesundheit wurde in der Studie nicht dargestellt, da der Nutzen hoher Vitamin E Gehalte in der Milch und damit der Vitamin E Versorgung der Verbraucher im Vordergrund stand. Der rassespezifische Unterschied könnte durch die verschiedenen Milchleistungsniveaus erklärt werden. Insgesamt ist die Dynamik der Carotinoide bei Milchkühen jedoch nur wenig erforscht. Dobbelaar et al. (2010) haben die oxidativen Prozesse bei Färsen z. B. anhand von Blutproben, Leberbiopsien, u. a. über einen Zeitraum von 8 Wochen vor bis 8 Wochen nach dem Abkalben untersucht und dabei festgestellt, dass die oxidativen Prozesse vor dem Abkalben reduziert sind. Dies kann durch die geringere Milchproduktion und die reduzierte Futteraufnahme verursacht werden. Die Gruppe der irischen Kühe wies eine niedrigere Milchproduktion auf und befand sich im fortgeschrittenen Laktationsstadium (> 200 Tage nach Abkalbung), was die niedrigeren Messwerte erklären könnte. Die französischen Tiere lagen im Durchschnitt erst bei Tag 76 der Laktation, jedoch variierten die Werte hier zwischen 10 und 191 Tagen.

Auf dem irischen Betrieb wird eine saisonale Abkalbung praktiziert, während in Frankreich Abkalbungen über das ganze Jahr verteilt sind.

Insgesamt lagen hohe Streuungen in den Messwerten vor, sowohl zwischen den Zitzen als auch von Tag zu Tag. Als kritisch ist sicherlich die nicht für die Kühe erfolgte Kalibrierung des Sensors anzusehen. Bei einer Fortführung der Arbeiten ist eine Validierung des Sensors für Kühe durch einen Vergleich mit Messwerten aus dem Blut zwingend notwendig. Einschränkungen in der Nutzung sind leider durch die Voraussetzung von pigmentarmen Hautstellen gegeben.

## **Schlussfolgerungen**

Die durchgeführten Messungen mit einem Carotinoidsensor zeigten Potenzial für einen Einsatz im Milchviehbereich. Trotz der fehlenden Kalibrierung für Milchvieh konnten Unterschiede in den Fütterungsregimes und möglicherweise sogar im Leistungsniveau bzw. in den Rassen detektiert werden. Die Ergebnisse indizieren, dass eine Messung an der Zitze möglich ist. Inwieweit die Unterschiede zwischen den Zitzen zu erklären sind ist noch unklar. Eine Vermutung ist unter anderem, dass der Sensor für manche Zitzen zu groß ist, und daher während der Messung Fremdlicht einfällt. Die Seite des Euters scheint sich nur bedingt für eine Messung zu eignen. Wahrscheinlich ist die Eignung vor allem von der Stärke der Behaarung abhängig. Für weitere Untersuchungen ist es wichtig, dass das System im nächsten Schritt für die Tierart kalibriert wird und die Form des Sensors an die Zitze angepasst wird.

## Literatur

- Caldero'n, F., Chauveau-Duriot, B., Pradel, P., Martin, B., Graulet, B., Doreau, M., Nozie`re, P. 2007. Variations in Carotenoids, Vitamins A and E, and Color in Cow's Plasma and Milk Following a Shift from Hay Diet to Diets Containing Increasing Levels of Carotenoids and Vitamin E. *J. Dairy Sci.* 90:5651–5664; 2007. doi:10.3168/jds.2007-0264.
- Darvin, M. E., Magnussen, B., Lademann, J., Köcher W. 2016. Multiple spatially resolved reflection spectroscopy for in vivo determination of carotenoids in human skin and blood. *Laser Phys. Lett.* 13 095601 (7pp) doi:10.1088/1612-2011/13/9/095601.
- Darvin, M. E., Sandhagen, C., Koecher, W., Sterry, W., Lademann, J., Meinke, M. C. 2012. Comparison of two methods for noninvasive determination of carotenoids in human and animal skin: Raman spectroscopy versus reflection spectroscopy. *Journal of Biophotonics*, 5 (7), 550-558. <https://doi.org/10.1002/jbio.201100080>.
- Dobbelaar, P., Bouwstra, R. J., Goselink, R. M. A., Jorritsma, R., van den Borne, J. J. G. C., Jansen, E. H. J. M. 2010. Effects of vitamin E supplementation on and the association of body condition score with changes in peroxidative biomarkers and antioxidants around calving in dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 93:, 3103–3113. doi: 10.3168/jds.2009-2677.
- Halasa, T., Huijps, K., Østerås, O., Hogeveen, H. 2007. Economic effects of bovine mastitis and mastitis management: a review. *Veterinary Quarterly*, 29: 18 – 31.
- Hata, T. R., Scholz, T. A., Pershing, L. K., Ermakov, I. V., McClane, R. W., Khachik, F., Gellermann, W. 2000. Non-Invasive Raman Spectroscopic Detection of Carotenoids in Human Skin. *Journal of Investigative Dermatology*, Volume 115, Issue 3, Pages 441-448; <https://doi.org/10.1046/j.1523-1747.2000.00060.x>.
- Martens, H., Bange, C. 2013. Longevity of high producing dairy cows: a case study. *Lohmann Information* Vol. 48 (1), 57.



# Smart pasture management technologies: Pilot study of working time distribution of three biomass estimation tools versus the quality of estimation

Leonie Hart<sup>1,2</sup>, Roy Latsch<sup>1</sup>, Elisabeth Quendler<sup>3</sup> and Christina Umstätter<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Agroscope, Tänikon, Switzerland

<sup>2</sup>University of Hohenheim, Stuttgart, Germany

<sup>3</sup>University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna, Austria

E-Mail: [leonie.hart@agroscope.admin.ch](mailto:leonie.hart@agroscope.admin.ch)

Pasture management deals with high heterogeneity of grassland, subjectivity on paddock management decisions but high labour input when it comes to setting up fences. Several smart technologies are available, make feed supply on pastures measurable, and therefore help to improving pasture management.

In this study, we compared three smart tools for estimating pasture biomass regarding the required working time distribution (i) and the accuracy of the measurement results (ii). The first tool was a portable near infrared reflectance spectrometer (NIRS) for real-time, on-site quality analysis of fresh herbage. The second tool measured dry matter concentration based on multispectral images taken remotely by an unmanned aircraft vehicle (UAV). The third alternative was a semi-automated rising plate meter (RPM). The study consisted of two parts. In the first part (i) a work analysis was performed. For this reason, videos were taken of the working processes for each tool featuring two to four different and experienced persons at different locations. Workflows and work elements were identified and working times were measured based on the video material. Further, the tools were compared regarding the proportion of time spend for operation time, fault time or non-productive time. The second part (ii) of the study comprised the accuracy of the biomass estimation of the three tools on twelve multispecies swards in Central Switzerland at two observation dates.

First results indicated that set-up and removal of complex tools in the field such as the UAV and the NIRS, caused relatively high temporal labour input. In case of the NIRS method, this non-productive time could be compensated by high estimation accuracy of the measurement results. Overall, the RPM was the most easy-to-use method. The UAV tool has high potential to improve biomass estimation on larger farms. Future attempts should lead towards improving biomass estimation models for smart pasture management. This pilot study identified work elements that are present when applying the three smart pasture management tools for estimating biomass in the field and outlines the base for a labour input modelling study.

**Keywords:** *working time distribution, pasture management, biomass estimation, automation*

## Introduction

Precision pasture management is getting more and more attention in regard to feed costs, animal welfare and decision support systems for farmers. Since grassland is heterogenic and herbage growth is almost unpredictable, pasture management is difficult and laborious. However, it was found that feeding high forage quality can indeed reduce labour input at harvest (Quendler et al., 2018). The market for smart technologies that addresses this problem is growing every year, promising to provide real-time results and time or effort savings through an on-site and automated pasture quantity and quality analysis. In strip grazing, knowing the available biomass on pasture is crucial to allocate the correct paddock area calculated for the exact amount of days to meet the animals feed demand but also to avoid feed losses. The traditional method to analyse forage quality is to take herbage samples on pasture for laboratory analysis where results were expected three to five days later. Yet, estimating the available biomass on grazing paddocks is often based on visual observation and the rule of thumb of experienced farmers.

Nowadays, common methods to measure water content in biomass are radio spectrometers and light reflectance spectrometers (Zhao et al., 2007, Soldado et al., 2013). Another possibility is to measure sward height and convert the measurement into a biomass estimate using for example RPMs (Murphy et al., 2018, Hart et al., 2019b). Besides that, countries with mainly grass-based husbandry systems such as Ireland, New Zealand and Australia focus on satellite images and UAVs even for forage quality mapping (Askari et al., 2019). However, many of those methods are not yet scientifically evaluated for practical use. Therefore, in our study, we focused on two main aspects: (i) the working time distribution of three smart pasture management technologies during application in the field and (ii) the estimation accuracy on aboveground biomass of the three named technologies.

## Materials and methods

Within the first part (i) of the study, three relatively new tools for the estimation of pasture biomass were applied during the vegetation period in 2018 and 2019. The first tool was the HarvestLab™ 3000 system (Deere & Company, Moline, Illinois, USA) which is a portable NIRS to be used for quality analysis of fresh herbage in the field. The application of this tool can be split into two working processes. At first, applicants have to get one or more fresh herbage samples at the grazing paddock, by cutting the plant biomass within a frame of defined area. Next, the sample is analysed by the NIRS tool. This step can be performed in the field if the NIRS tool is connected to a battery or be used stationary if it is installed at a farm office.

The second tool represented a remote sensing method where aerial multispectral images were analysed via an online platform off-site ([www.grassq.com](http://www.grassq.com)). Therefore, an UAV (DJI Phantom 4 Pro+, DJI, Shenzhen, China) was equipped with the Parrot Sequoia sensor (Parrot SA, Paris, France) and took multispectral images from 50 meters above the pasture paddocks. The set-up of equipment and start as well as landing of the UAV were performed at a plane area next to the grazing paddock. The flight was planned in the field before take-off.

Contrarily, the third tool, the Grasshopper® (G2 Sensor, TrueNorth Technologies, Shannon, Ireland) is a semi-automated RPM with which farmers can map their grazing paddocks with the integrated GPS module and estimate the available biomass for each paddock. To do so, they perform weekly farm walks, where they walk across each paddock following a zigzag grid and take RPM-sampling points every fifth to tenth step. The RPM measurement of compressed sward height is converted into an estimate for biomass in real-time after finishing the walk.

In order to study the working process and the working time distribution, the three measurement tools were applied as described above and system settings were done according to the user manuals. For each working process during the application of the tools, videos were taken four to five times at different time points while different working persons used the tools. The application characteristics are shown in Table 1.

Table 1: Overview of video material and system application

System	Working persons	Specification on working processes	Unit	Measures
NIRS	4	Herbage samples	[Qty.]	4
RPM	2	Sampled area	[ha]	0.3 - 2.7
		RPM-sampling points	[Qty./ha]	19 - 74
UAV	2	Flight altitude	[m]	50
		Flight scheme	-	single grid with 80 % overlap
		Flight speed	[m s <sup>-1</sup> ]	3 and 5
		Sampled area	[ha]	3.5 - 9.1
		Number of images	[Qty.]	158 - 1544

Figure 1 illustrates the whole flow of working process until a practitioner can take a management decision. In this study, working process boundary was the field, considering that each system was applied directly next to the pasture paddock, which was sampled for the biomass estimation.

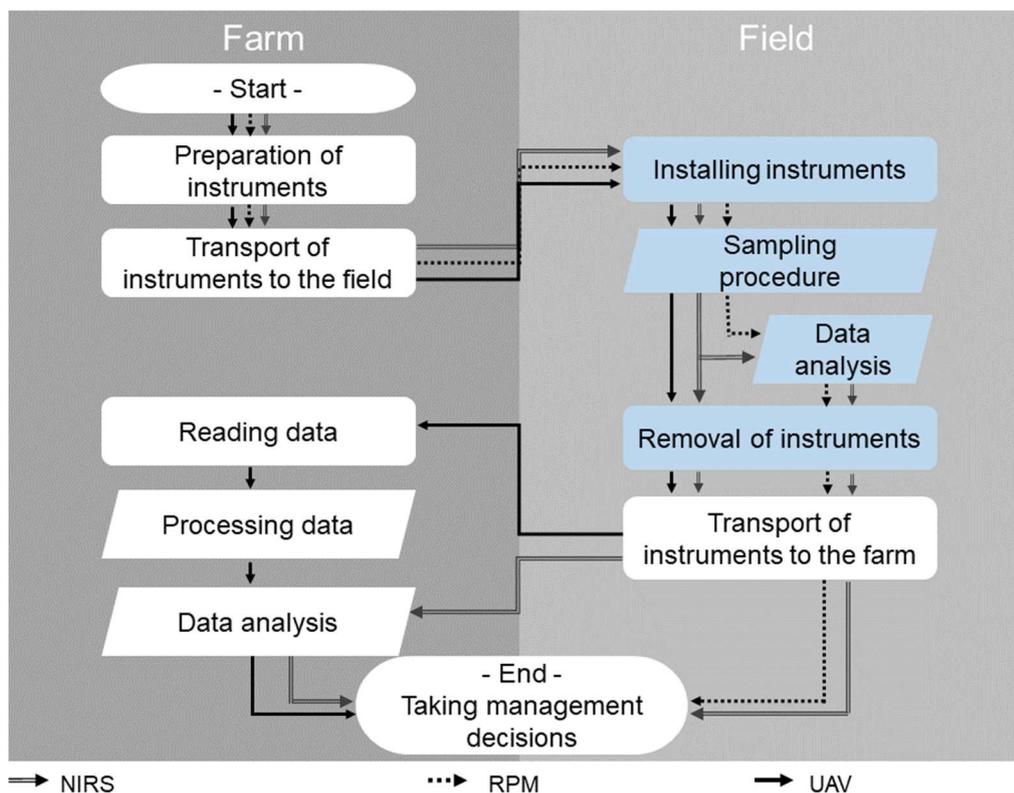


Figure 1: Flowchart of working process for biomass estimation on pastures performed with three different tools (NIRS, RPM and UAV). The shaded boxes indicate the work tasks considered in this study.

Individual work elements were identified in order to develop the base for a work flow model and to categorize them into operation time, fault time and non-productive time according to Reith et al. (2017). Table 2 shows the work elements that were found for each working process. In the next step, the duration of each categorized work element was measured by analysing the video material with the software MEZA (Version 8.8, Drigus GmbH, Dortmund, Germany) and a mean was calculated among all measured working processes. Reith et al. (2017) defined the sum of operation time, fault time and non-productive time to be the total time. The relative working time distribution of the three named categories was calculated for each measurement tool by relating the time classes to the total time needed to fulfil the working process.

Table 2: Working processes and time elements identified for the working activity of estimating pasture biomass by using three different tools, an on-site NIRS, a semi-automated RPM and a multispectral camera attached to a UAV. The working time elements were classified to represent either operation time (t1), fault time (t2) or non-productive time (t3)

Working process	Working time elements	Time classification
<i>Getting a fresh herbage sample on pasture for further analysis with the NIRS</i>	Walking in the field	t3
	Choosing representative area	t1
	Cutting herbage with electric sheer	t1
	Cutting herbage manually	t1
	Cleaning electric sheer	t3
	Filling plant material in bag	t1
	Taking/packing sampling tools	t3
<i>Analysing fresh herbage by on-site NIRS</i>	Lifting instrument	t3
	Installing the instrument hardware	t3
	Turning on computer	t3
	Setting up connection of instrument to computer	t3
	Setting up measurement software	t1
	Filling material in dish	t1
	Placing/taking dish on/from measurement instrument	t1
	Placing/taking weight plate	t1
	Analysis	t1
	Mixing material	t1
	Saving analysis results	t1
	Disposal of material	t1
	Cleaning of dish	t3
	Drying of dish	t3
	Turning instrument on/off	t3
	Reading manual	t2
Discussion about working process	t2	
Walking with load	t3	
Fault time due to work organization	t2	
<i>Paddock walk using the Grasshopper® RPM</i>	Turning on Grasshopper	t1
	Turning on smart device	t3
	Setting up measurement in app on smart device	t1
	Plate calibration	t1
	Walking in the field	t1
	Sampling point	t1
	Discussion about working process	t2
	Finishing sampling in app on smart device	t1
<i>Multispectral imagery gathered during UAV flight</i>	Installing UAV and supplies	t3
	Functional and technical fault time	t2
	Installing take-off and landing runway	t3
	Calibration of multispectral camera (sunshine sensor)	t1
	Setting up camera software	t1
	Flight planning on smart device	t1
	Discussion about working process	t2
	Starting UAV flight	t1
	UAV take-off to 50 m altitude	t1
	UAV flight time	t1
	UAV landing from 50 m altitude	t1
	UAV landing at runway	t1
Uninstalling UAV and supplies	t3	

In order to evaluate the accuracy of the three tools in estimating aboveground biomass in kg of dry matter (DM) per ha pasture, a second experiment (ii) was performed, where each tool sampled the exact same area of grassland. Therefore, the tools were used on experimental plots of 6.5 m<sup>2</sup> on twelve multispecies swards in Central Switzerland at two observation dates during late summer 2018. They were applied in the same way that was described above with the following specifications and settings:

For the NIRS analysis, the HarvestLab™ 3000 system was operated using the calibration version 2017/21/03. The mean value of three analyses for dry matter concentration (DM %) was recorded. When applying the RPM, users defined the following pre-settings: DM % of the fresh herbage was 25 % and post-grazing residual was 50 mm. Later the RPM biomass estimate was corrected for the actual DM % that was determined based on oven-drying and weighing of the herbage sample. For analysing the multispectral images that were captured during the UAV flight, the images were first radiometrically corrected with an Airinov reflectance target. Next, farm maps were created via Pix4Dmapper (Pix4D S.A., Prilly, Switzerland) and analysed for biomass via the online platform 'GrassQ' (www.grassq.com; Askari et al. (2019)). While the output of the RPM and the UAV tool was an estimate in kg DM ha<sup>-1</sup>, the NIRS measured the DM % of a fresh herbage sample. In order to compare the measurement results of the three tools in the unit kg DM ha<sup>-1</sup>, the result of the NIRS in DM % was further related to the amount of fresh biomass within a plot.

Previous studies have shown that the NIRS method has high potential to correctly estimate the DM % of fresh herbage in the field (Soldado et al., 2013, Vander Schaaf, 2013, Hart et al., 2019a). Therefore, we assumed the NIRS to be most accurate and compared it to the other two tools.

## Results

As a preliminary point of reference, the duration of the videos for each working process was looked at. The RPM working process, of which videos were taken, lasted between 6.5 MPmin (manpower minutes) for measuring 0.34 ha and 12.6 MPmin for 1.8 ha grassland. Meanwhile, getting four fresh herbage samples and analysing them with the NIRS took between 16.1 MPmin and 32.5 MPmin. Finally, the application of the UAV tool in the field needed at least 12.7 MPmin and maximum 38.1 MPmin for flying above 3.5 ha and 4.5 ha, respectively. This variation in video durations was partly caused by different sampling areas and due to differences in the working speed and awareness of operating persons. Additionally, with four to five videos per working process, the sample size was small and we concentrated on studying the relative proportions of operation time, fault time and non-productive time. This indicated how most of the total time was spent. Figure 2 shows that operation time had by far the largest proportion for the RPM compared to the two alternative tools. In addition, non-productive time was lowest in RPM compared to almost one quarter of the total time for UAV and about one third of the total time for NIRS.

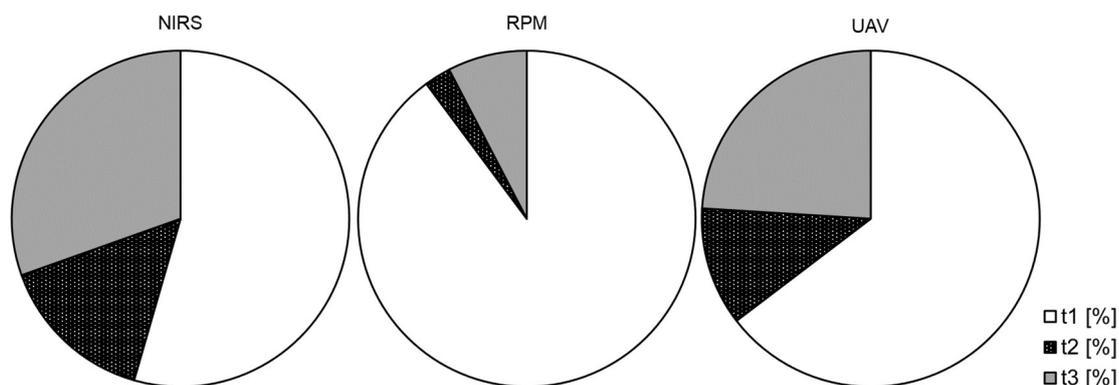


Figure 2: Relative proportion of operation time ( $t_1$ ,  $n = 26$ ), fault time ( $t_2$ ,  $n = 6$ ) and non-productive time ( $t_3$ ,  $n = 15$ ) on the total time ( $t_1 + t_2 + t_3$ ) of the three measurement tools.

When assessing the efficiency of the three tools, it was important to study the accuracy of the measurement result and put it into context. Figure 3 shows that there are large differences between the tools in estimating the amount of biomass on pastures. Unfortunately, the two observation dates represented very dry periods, resulting in low biomass per ha and two missing data points where the forage growth was too low to measure (SB1 and SB2). The NIRS results were plausible except for Observation 2 at SI2 because it measured DM % outside of the tools calibration range. Nevertheless, when comparing RPM to NIRS, there was no clear trend visible but on average RPM overestimated biomass by 137 %. Contrarily, the UAV tool always overestimated the biomass by 257 %, compared to the NIRS.

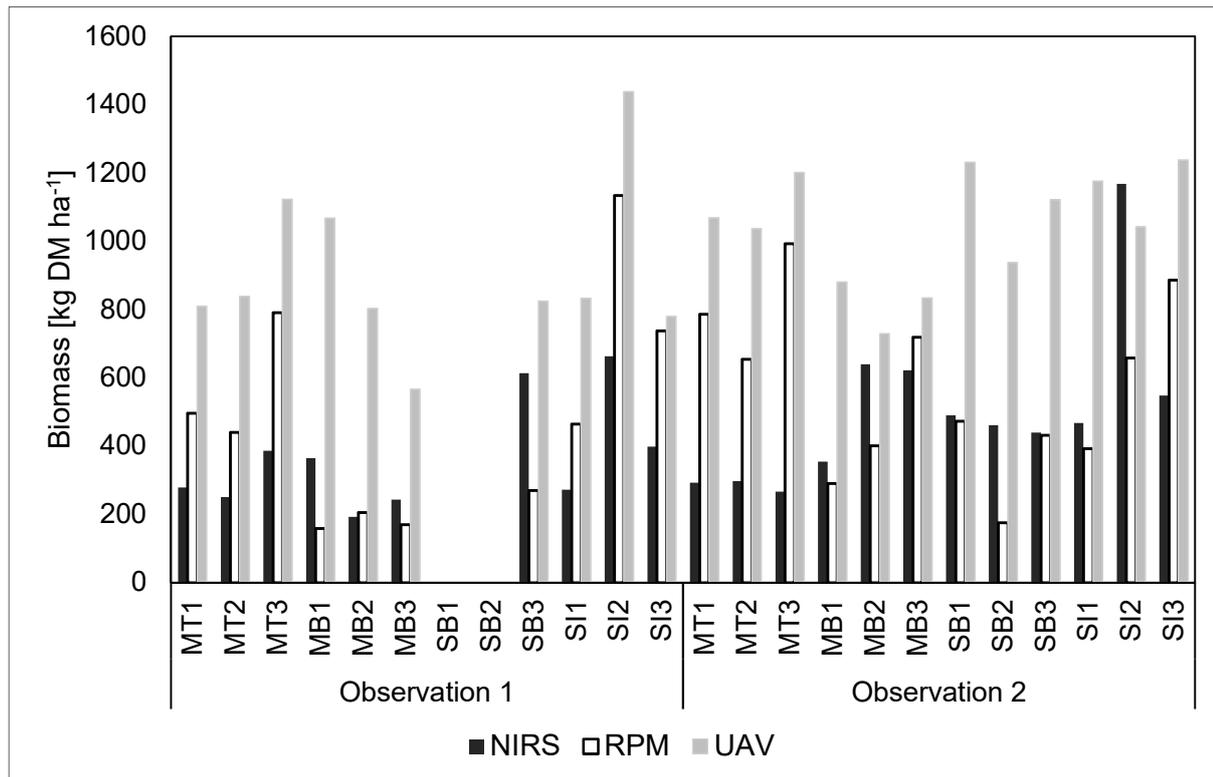


Figure 3: Pasture biomass estimates of three measurement tools (on-site NIRS, RPM and UAV) for twelve grassland plots at the four locations MT, MB, SB and SI, and two observation dates during August, September and October 2018.

## Discussion

The large proportion of non-productive time for the NIRS and UAV tool, where setting-up, cleaning and removal processes were part of, indicated that those two tools could be more efficient when used upon larger areas. Although in that case, the number of fresh herbage samples for the NIRS should also be increased to achieve a meaningful estimate per grassland area. At the same time, the RPM can ideally be used on smaller paddocks because preparation processes, classified as non-productive time, consume a very small proportion of the total time. Due to the small experimental plots in the second part of the study (ii) in conjunction with the amount of accuracy of the GPS module determining the plot size, there might be a possibility that the performance of the RPM tool regarding biomass estimation was underestimated. However, it generated a biomass estimate on-site and in real-time (directly after ending the paddock walk). It is important to note, that practitioners should follow an exact sampling protocol to take enough samples for an accurate estimate, but also to save time. Murphy et al. (2018) for example proposed 32 sampling points per ha.

For the UAV tool, one has to consider that working processes in the farm office such as battery charging, downloading data from secure digital memory cards, generating reflection maps of multispectral images or service tasks were not analysed within this study and would have to be taken into account. It is foreseeable that the proportion of non-productive time would therefore considerably increase. On the other hand, there are efforts to automate image processing via cloud-services of photogrammetry software producers. The UAV could be a good alternative if the estimation accuracy of biomass would be increased and has the benefit of also estimating crude protein concentration on pastures.

Regarding the NIRS, the non-productive time could also be optimized in practice. For this study set-up time was part of the routine for each measurement as the samples were analysed in the field. Therefore, the proportion of non-productive time for the NIRS, could be reduced if the tools were installed stationary at a farm office.

## Conclusion

When comparing the three pasture management tools in terms of working time distribution, the results indicated that farm size plays an important role. The UAV tool has potential when assessing bigger areas of pasture and additionally paddocks that are more difficult to reach by foot. Further development on the UAV tool could improve pasture management for larger paddocks. On the other hand, the RPM was a fast and easy-to-use tool when assessing smaller paddocks as very little time was spent for setting-up the tool. The NIRS tool was assumed to be the most accurate measurement method for DM %, and has the advantage of additionally measuring other quality parameters in forage. Together with the RPM tool, it was the most user-friendly tool if used stationary and therefore without setting up the tool every time. Nevertheless, we found the RPM and UAV tool to overestimate the available biomass on pastures. As both tools use indirect methods to estimate biomass based on calibration algorithms, these models need to be improved for multispecies swards.

Nevertheless, in a next step working processes in the office should also be analysed and a study should be conducted modelling the working process based on the work element method according to REFA (1978). Additionally, the accuracy of the three measurement tools will be evaluated through the comparison to a reference method.

## Acknowledgements

We gratefully acknowledge the funding of FOAG Switzerland within the scope of the ICT-AGRI ERA-NET project 'GrassQ: *Development of ground based and remote sensing, automated 'real-time' grass quality measurement techniques to enhance grassland management information platforms*'. Furthermore, we thank the applicants of the smart pasture management tools as well as Marie Schnellbacher, Giulia Bozzolini and Martin Schlatter for filming working processes and analysing videos.

## References

- Askari, M. S., T. McCarthy, A. Magee, and D. J. Murphy. 2019. Evaluation of Grass Quality under Different Soil Management Scenarios Using Remote Sensing Techniques. *Remote Sensing* 11(15):1835.
- Hart, L., R. Latsch, and C. Umstatter. 2019a. How accurate is the HarvestLab 3000 system in measuring dry matter concentration? Page 345 in *Proc. EGF-EUCARPIA Joint Symposium 2019. Grassland Science in Europe, Zurich*.
- Hart, L., F. Oudshoorn, R. Latsch, and C. Umstatter. 2019b. How accurate is the Grasshopper system in measuring dry matter quantity of Swiss and Danish grassland? Pages 188-193 in *Proc. European Conference on Precision Livestock Farming, Cork*.
- Murphy, D. J., B. O'Brien, and M. D. Murphy. 2018. Development of a Labour Utilisation Decision Support Tool to Efficiently Measure Grass Herbage Mass Using a Rising Plate Meter. in *Proc. 2018 ASABE Annual International Meeting, Detroit, Michigan*.
- Quendler, E., C. M. Hölbling, S. Schaffernicht, and W. Zollitsch. 2018. Grundfutterqualität und Arbeitszeitaufwand während der Ernte österreichischer Almochenmastbetriebe. Pages 139-142 in *Proc. 21. Arbeitswissenschaftliches Kolloquium*.
- REFA 1978. *Methodenlehre des Arbeitsstudiums. Teil 2 Datenermittlung*. Carl Hanser Verlag, München, Germany.
- Reith, S., J. Frisch, and B. Winkler. 2017. Revision of the working time classification to optimize work processes in modern agriculture. *Chemical Engineering Transactions* 58.
- Soldado, A., T. Fearn, A. Martinez-Fernandez, and B. de la Roza-Delgado. 2013. The transfer of NIR calibrations for undried grass silage from the laboratory to on-site instruments: comparison of two approaches. *Talanta* 105:8-14.
- Vander Schaaf, D. 2013. Near infrared reflectance spectroscopy comparison of Dairy One and AgriNIR Forage Analyzer. in *Dairy Science Department. Vol. Bachelor of Dairy Science*. California Polytechnic State University, San Luis Obispo, Digital Commons @ Cal Poly.
- Zhao, D., P. J. Starks, M. A. Brown, W. A. Phillips, and S. W. Coleman. 2007. Assessment of forage biomass and quality parameters of bermudagrass using proximal sensing of pasture canopy reflectance. *Grassland Science* 53(1):39-49.

## WeedEraser: The Next Generation of Organic broad-leaved Dock and Weed control

*Dejan Seatovic<sup>1</sup>, Damian Schori<sup>1</sup>, Matthias König<sup>1</sup>, Nathanael Fellberius<sup>1</sup>, Gilgames Camenisch<sup>1</sup>, Patrick Zellweger<sup>1</sup>, Thomas Anken<sup>2</sup> und Markus Sax<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Hochschule für Technik Rapperswil, Schweiz*

<sup>2</sup>*Agroscope, Tänikon, Schweiz*

*E-Mail: [dejan.seatovic@hsr.ch](mailto:dejan.seatovic@hsr.ch)*

**To control docks on meadows and pastures, the individual plants have to be treated, which is labor-intensive and time-consuming, especially on organic farms. However, the detection and localization of specific plant the essential tasks for weed treatment automation, especially if the plants should be treated organically. The individual plants were segmented out of 2D-images from different 507 RGB-images of parts from meadows with Rumex obtusifolius. Images were trained with a convolutional neural network. On more than 80% of true images Rumex obtusifolius could be detected.**

***Keywords: deep learning, autonomous systems***

## Introduction

Weeds like docks (*Rumex obtusifolius*) are often scattered on meadows and pastures. Single plants can be treated manually by herbicides or by hot water. This is an environmental friendly but very laborious technique. Till to date the detection of the single plants is the bottleneck to automate the treatment of these plants by means of an unmanned vehicle. The detection of *Rumex obtusifolius* stalled during a long period [2,8-11, 12-15]. Two solution paths have been analyzed since 2000: the major path is based on a variety of image analysis approaches in 2D including Fourier Analysis and Sliding Window Classifier. The second solution approach focuses on the 3D point clouds analysis and delivered promising results. Due to extreme processing power requirements, the approach still is not suitable for practical use, [13,14,17]. Major deep-learning libraries and tools such as TensorFLOW and Pythorch are available in open-source and boost the pace of application development.

To investigate and further develop the automated weed control of single rumex plants, an autonomous platform has been built at the High School of Rapperswil (HSR). The base of this platform is a caddy car which has been equipped with several sensors and actors, allowing an autonomous operations.

The processing unit (Linux based PC) is located on the vehicle and is responsible for the tasks of a control center. Basically the WeedEraser is a loosely coupled set of hard and software components that act completely independent. It allows the detection, localization and treatment of *Rumex obtusifolius* with hot water according to [16].

At present, the system is under intensive development. The WeedEraser aimed to be a low-cost high-flexible system, consisting of components that are generally off-the-shelf devices like an ArduSimple, simpleRTK2B-GNSS system [20], allowing a very accurate positioning of the vehicle. Vehicle surroundings are observed with Velodyne VLP – 16, see [21]. The LiDAR performs active sensing of obstacles and intruders, such as pit-holes or livestock respectively. The processing unit classifies the retrieved data and adapts vehicle behavior to the current situation.

Fig. 1 shows the WeedEraser equipped with linear actuators (the current treatment unit) and the proposed setup with scara robotic arm, developed at University of Applied Sciences Rapperswil [22]. The scara robotic arm compensates navigation inaccuracy and allows treatment several plants in the treatment radius (1.3m). The treatment nozzle can be positioned with an accuracy of  $\pm 5$  mm.



Figure 1: WeedEraser Realization (Case Study).

## Material and Method

To allow the the developments of such a system, the automated detection of *Rumex obtusifolius* represents a major key element which has been developed. The detection system has been set up by means of a neural network. 507 RGB-images with a resolution of 1024 x 1536 pixels, have been gained with different cameras on several pastures in Switzerland. The images were taken manually with an RGB- Camera from about one meter above ground. This resulted in a recording area of approx. 1.2 x 1.8m. For training, the images were resized to 512 x 768 pixels. The lightness of each input image is normalized to their corresponding mean of 0.5 and a standard deviation of 0.1 was allowed. For the leave segmentation, a hand-labeled binary mask was created for each image (Fig. 2).

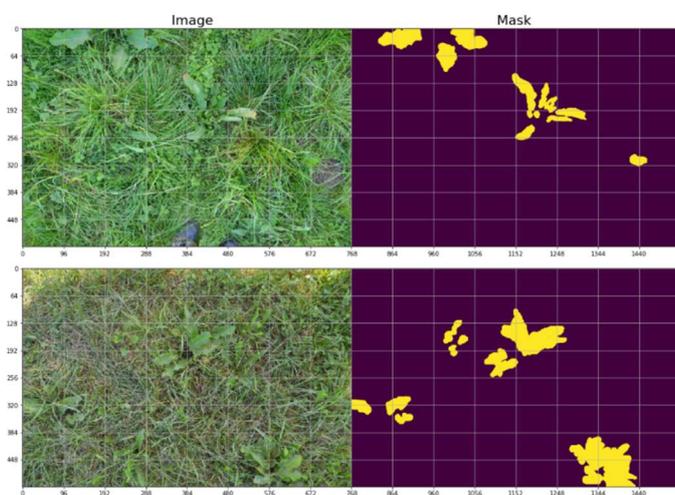


Figure 2: Samples of the dataset: field images and ground truth masks.

The 507 images were once split to 20 % training and 80 % validation images and once to 80 % training and 20 % validation images. Detected Rumex were classified into TP (true positive = correct detection where there is a Rumex) and FP (missed Rumex ) and FN (detected Rumex where there is none).

The proposed plant segmentation scheme is mainly making use of an adapted version of U-Net (Fig. 2), a Fully Convolutional Neural Network (FCNs) described in (19).

The proposed network features an encoder path with six resolution levels, which reduce the spatial dimensions of the input image from 512x768 to 16x24 pixels at the lowest resolution and encode the relevant context and information into 1024-dimensional feature vectors. The decoding path is used to enable precise localization of the leaves using upsampling layers.

The algorithm was evaluated by computing image wise dice coefficient (DCs), pixel-based true positive (TPs) and false positive (FPs) rates on the "good" segmentations with  $DC > t$  and object-based false negative (FNs), measuring the rate of "bad" segmentations ( $DCs \leq t$ ) where  $t = 0.7$  is the DCs threshold.

The metrics are therefore defined as follows:

- $DCs = \frac{2 \sum_{i=0}^M (\hat{y}_i \cdot y_i)}{\sum_{i=0}^M (\hat{y}_i + y_i)}$
- $TPs = \frac{\sum_{i=0}^M (\hat{y}_i \cdot y_i)}{M}$
- $FPS = \frac{\sum_{i=0}^M [\hat{y}_i = 1 \wedge y_i = 0]}{M}$
- $FNs = [DC \leq t]$

- Let  $y$  denote a vector of the flattened ground-truth mask
- Let  $\hat{y}$  denote a vector of the flattened prediction mask with pixel values which have probability higher than 0.7
- Let  $i = \{0 \dots M\}$  denote the indices of the flattened vectors of  $y$  and  $\hat{y}$

## Results and discussion

Using 20 % of the images for training and 80 % for testing already resulted in 98 % true positive (TP) detected rumex. Increasing the training decreased the number of missed rumex (false negative, FN) drastically (Table 1).

Table 1: Classification of the results (average over all images and standard deviation). DC = computing image wise dice coefficient , TP = pixel-based true positive)

	<b>DC</b>	<b>TP</b>	<b>FP</b>	<b>FN</b>
<b>20 % training / 80 % validation</b>	<b>0.80</b> ±0.18	<b>0.98</b> ±0.017	<b>0.007</b> ±0.009	<b>0.15</b> ±0.35
<b>80 % training / 20 % validation</b>	<b>0.84</b> ±0.12	<b>0.99</b> ±0.007	<b>0.006</b> ±0.007	<b>0.05</b> ±0.23

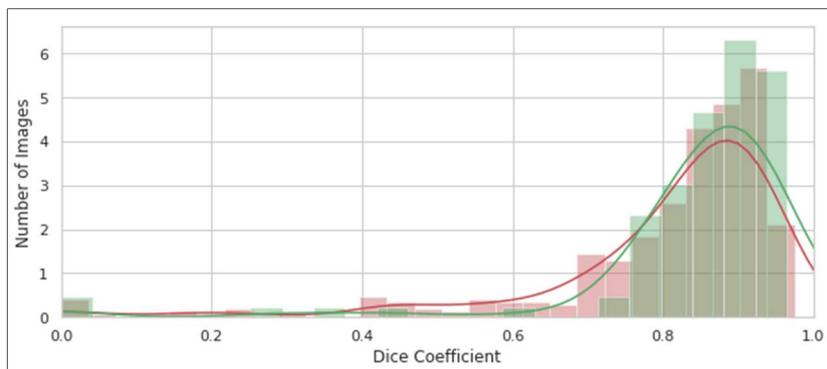


Figure 3: Distribution of the calculated Dice Coefficient of the Validation Images. Red: 20 % training and 80 % validation split. Green: 80 % training and 20 % validation split.

Fig. 3 shows the distribution of the dice coefficient over all validation images for both dataset splits. The 20/80 split shows slightly worse DC results and significantly more false negatives. Most mistakes are made on images containing very little area of Rumex obtusifolius. Examples of the detection accuracy are shown in Fig. 4.



Figure 4: Detection Results, an Excerpt from the Data Set.

The analysed 507 images from different pastures in Switzerland show that the detection of *Rumex obtusifolius* plants is feasible with an accuracy which is already sufficient for the practical use. The false negative detected plants will result in about 5 % to many treated plants what is already acceptable. It is expected, that by enlarging the data base further improvements of the detection rate will be realized.

The recent research at HSR showed for the detection of *Rumex* in grassland that neuronal networks are by far more powerful than classical methods like 2D classifiers or 3D point clouds.

## Acknowledgements

The authors thank the following companies for providing the hardware and software for the WeedEraser: Omron, Beckhoff and NVIDIA. We also want to thank the HSR, Study Program of Mechanical Engineering and Innovation particularly for supporting this ambitious project.

## References

- [1] van Evert, F. K. (2010). A Robot to Detect and Control Broad-Leaved Dock in Grassland. *Journal of Field Robotics*.
- [2] Chatfield, K., Simonyan, K., Vedaldi, A., & Zisserman, A. (2014). Return of the Devil in the Details: Delving Deep into Convolutional Nets. *ArXiv: 1405.3531 [Cs]*. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1405.3531>
- [3] Cope, J. S., Corney, D., Clark, J. Y., Remagnino, P., & Wilkin, P. (2012). Plant species identification using digital morphometrics: A review. *Expert Systems with Applications*, 39(8), 7562–7573. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.01.073>
- [4] Oquab, M., Bottou, L., Laptev, I., & Sivic, J. (2014). Learning and Transferring Mid-level Image Representations Using Convolutional Neural Networks. 2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1717–1724. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2014.222>
- [5] Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. (2015). U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. *ArXiv: 1505.04597 [Cs]*. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1505.04597>
- [6] Schwarz, M., Schulz, H., & Behnke, S. (2015). RGB-D object recognition and pose estimation based on pre-trained convolutional neural network features. 2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 1329–1335. <https://doi.org/10.1109/ICRA.2015.7139363>
- [7] Simonyan, K., & Zisserman, A. (2014). Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition. *ArXiv: 1409.1556 [Cs]*. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1409.1556>
- [8] F. Van Evert, G. Polder, G. Van der Heijden, C. Kempenaar and L. Plotz, "Real-time vision-based detection of *Rumex obtusifolius*," p. 11, 2008.
- [9] F. J. S. G. P. M. V. H.-J. v. D. A. L. e. a. Van Evert, „A robot to detect and control broad-leaved dock (*Rumex obtusifolius* L.) in grassland.,“ *Journal of Field Robotics*, Nr. 28, pp. 264-277.
- [10] F. G. P. G. V. d. H. C. K. a. L. L. Van Evert, „Real-time, vision-based detection of *Rumex obtusifolius* L. in grassland.,“ *Weed Research*, Nr. 49, pp. 164-174, 2009.
- [11] T. Kounalakis, G. A. Triantafyllidis und L. Nalpantidis, „Deep Learning-based Visual Recognition of *Rumex* for Robotic Precision Farming,“ p. 32, 2019.
- [12] D. Šeatović, „A Segmentation Approach in Novel Real Time 3D Plant Recognition System,“ in *Computer Vision Systems*, Bd. 5008, A. Gasteratos, M. Vincze und J. Tsotsos, Hrsg., Springer Berlin / Heidelberg, 2008, pp. 363-372.
- [13] D. Šeatović, H. Kutterer und T. Anken, „Automatic weed detection and treatment in grasslands,“ in *ELMAR, 2010 PROCEEDINGS*, 2010.
- [14] D. Šeatović, „Methods for Real Time Plant Detection in 3-D Point Clouds,“ 2013.
- [15] Binch und C. Fox, „Controlled comparison of machine vision algorithms for *Rumex* and *Urtica* detection in grassland,“ 2017.
- [16] R. Latsch und J. Sauter, „Optimisation of hot-water application technology for the control of broad-leaved dock (*Rumex obtusifolius*),“ *Journal of Agricultural Engineering*, Bd. 45, p. 137, 12 2014.
- [17] D. Šeatović und R. Grüniger, „Smart Weeder: Novel Approach In 3D Object Recognition, Localization And Treatment Of Broad Dock In Its Natural Environment,“ 2007.
- [18] Schori, D., Anken, T., & Šeatović, D. (2019). Using Fully Convolutional Networks for *Rumex Obtusifolius* Segmentation, a Preliminary Report. 2019 International Symposium ELMAR, 119–122. <https://doi.org/10.1109/ELMAR.2019.8918914>
- [19] O. Ronneberger, P. Fischer und T. Brox, „U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation,“ p. 8, 2015.
- [20] EPS Works Consulting SLU, ArduSimple. [Online]. Available: <https://www.ardusimple.com/simplertk2b/>. [Accessed: 16-Dec-2019].
- [21] Velodyne Lidar. "Puck™," [Online]. Available: <https://velodynelidar.com/products/puck/>. [Accessed: 24-Jan-2020].
- [22] G. Camenisch, "WeedEraser 3 – Treatment Arm I", Semester Thesis, Hochschule für Technik Rapperswil, Rapperswil, Unpublished, 2019.

## DigiLand - Smart Farming Bodensee

Jürgen Prenzler<sup>1</sup>, Oliver Christ<sup>2</sup> und Heinz-Leo Dudek<sup>3</sup>

<sup>1</sup> NTB, Buchs, Schweiz

<sup>2</sup> FHS St. Gallen, Schweiz

<sup>3</sup> DHBW Ravensburg, Deutschland

E-mail: juergen-prenzler@ntb.ch

**DigiLand is a project within the IBH-Lab KMUdigital funded by Interreg V. The NTB Buchs, the FHS St. Gallen and the DHBW Ravensburg are working as university partners in this project. Agricultural partners in the fields of production, processing, distribution and trade are involved. The aim is to develop solutions for agriculture in the Lake Constance region for the use of digital technologies for environmental protection and yield increase. As typical for the region, the cultivation of cabbage crops and apple cultivation were selected as objects of analysis.**

**The traditional cultivation, harvesting and processing of cabbages is characterized by a relatively high amount of manual work and experience. The project DigiLand provides reference models (especially processes), standardized and integrated indicator schemes and technical selection aids as easily implementable templates to farmers, contractors and processors. A new basis for decision-making is presented on the basis of recorded data from the growth and harvest phase. In coordination with practice an analysis of the growth phase was carried out and a harvesting module for yield mapping was developed as a prototype.**

**Stichworte: Smart Farming, Digitalisierung, Kohlgewächse, Prozesse**

## Zusammenfassung

DigiLand ist ein Projekt innerhalb des IBH-Lab<sup>2</sup> KMUdigital gefördert durch Interreg V. In diesem Verbundprojekt arbeiten als Hochschulpartner die NTB<sup>3</sup> aus Buchs, die FHS<sup>4</sup> aus St. Gallen und die DHBW<sup>5</sup> aus Ravensburg. Weiterhin sind Partner aus dem landwirtschaftlichen Umfeld im Bereich Erzeugung, Verarbeitung, Distribution und Handel eingebunden. Ziel ist die Entwicklung von Lösungen für die Landwirtschaft im Bodenseeraum zur Nutzung digitaler Technologien zur Umweltschonung und Ertragssteigerung. Als typisch für die Region wurden der Anbau von Kohlgewächsen und der Apfelanbau als Analyseobjekte ausgewählt.

Der herkömmliche Anbau-, Ernte- und Verarbeitungsprozess von Kohlgewächsen, wie Brokkoli, Blumenkohl oder Romanesco, ist geprägt von einem relativ hohen Anteil an Handarbeit und Erfahrungswissen. Das Projekt Digitale Landwirtschaft soll den Landwirten, Lohnunternehmen und Verarbeitern organisatorische Referenzmodelle (insbesondere Prozesse), standardisierte und integrierte Kennzahlenschemata und technische Auswahlhilfen als leicht umsetzbare Templates zur Verfügung stellen. Prototypenhaft wird eine neue Entscheidungsgrundlage aufgrund von erfassten Daten der Wachstums- und Erntephase dargestellt. Dazu wurde in Abstimmung mit der Praxis prototypenhaft eine Analyse der Wachstumsphase durchgeführt und ein Erntemodul zur Ertragskartierung entwickelt.

## Einleitung

Die technologischen Voraussetzungen zur Realisierung von Precision Farming für Marktfrüchte wie beispielsweise Getreide, Mais und Zuckerrüben sind seit einigen Jahren verfügbar und haben bereits Einzug in die Praxis gehalten. Im Bereich des Obst- und Gemüseanbaus besteht noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf; insbesondere hinsichtlich der integrierten Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette sowie der Integration der dafür benötigten Daten und Technologien. Für einen ersten Schritt fand eine Fokussierung auf Kohlgemüse, spezifisch auf Brokkoli, statt. Eine Ableitung der erzielten Ergebnisse auf andere Bereiche im Gemüseanbau ist gut denkbar, aber nicht Inhalt dieses Projektes.

## Vorgehen im Projekt

Das Projekt wurde in zwei sich ergänzende Hauptstränge aufgeteilt: Zum einen wurden die Prozesse der Wertschöpfungskette detailliert (Aufgaben, Rollen, Entscheidungen, Technologien, Daten) aufgenommen, analysiert und modelliert. Die Prozesse wurden diversen Stresstests unterzogen, um mögliche Störquellen und Verbesserungspotentiale zu identifizieren. Basierend auf diesen Ergebnissen konnten Sollprozesse entlang der Wertkette erarbeitet und als BPMN 2.0-Referenzprozesse (Business Process Model and Notation; (Allweyer, 2015)) modelliert werden. Zur integrierten wertschöpfungsübergreifenden Steuerung der Prozesse wurden Managementprozesse und Kennzahlenschemata entworfen, die als Balanced Scorecard Ansatz verschiedene Steuerungsgrößen ausgewogen miteinander verbinden (z. B. Kosten, Ressourcenverbrauch, Innovationskraft, Produktqualität). Diese Modelle können frei konfiguriert und an die spezifischen Bedürfnisse der gesamten Wertschöpfung und der einzelnen Akteure angepasst werden. Ein Technologieradar<sup>6</sup> hilft den Akteuren bei der Auswahl der für ihre Situation und Bedürfnisse relevanten und verfügbaren Technologien. Dazu werden einzelne Technologien und Technologiekomponenten strukturiert beschrieben, Prozessen, Wertschöpfungsstufen und Zielen zugeordnet und können über Auswahlboxen selektiert werden.

---

<sup>2</sup> IBH Internationale Bodenseehochschule

<sup>3</sup> NTB Interstaatliche Hochschule für Technik

<sup>4</sup> FHS Hochschule für Angewandte Wissenschaften

<sup>5</sup> DHBW Duale Hochschule Baden-Württemberg

<sup>6</sup> Instrument zur Gegenüberstellung und Bewertung von Technologietrends zu spezifischen Anwendungsgebieten.

Der zweite Hauptstrang befasste sich mit der prototypenhaften Entwicklung einer technologischen Lösung für einen ausgewählten Prozessschritt. In Abstimmung mit praxisnahen Fachpersonen aus der Landwirtschaft wurden Ansätze zur Analyse der Wachstumsphase sowie zur Ertragskartierung im Ernteprozess erarbeitet.

### Prozessanalysen und Technologieradar

In der ersten Projektphase wurden die Kernprozesse der Kohl- und Apfelproduktion in der Bodenseeregion von der Aussaat bis zur Verarbeitung mit Hilfe von qualitativen Interviews, Datenanalysen, Literatur-Reviews und Feldstudien untersucht. Die erhobenen Prozessphasen und -schritte wurden anschliessend zu Prozesslandkarten, Prozesssteckbriefen und Prozessketten verdichtet. Nach Abschluss der Prozessanalysen wurden alle Prozesse als BPMN 2.0 Modelle modelliert und mit den Experten der verschiedenen Wertschöpfungsstufen validiert.

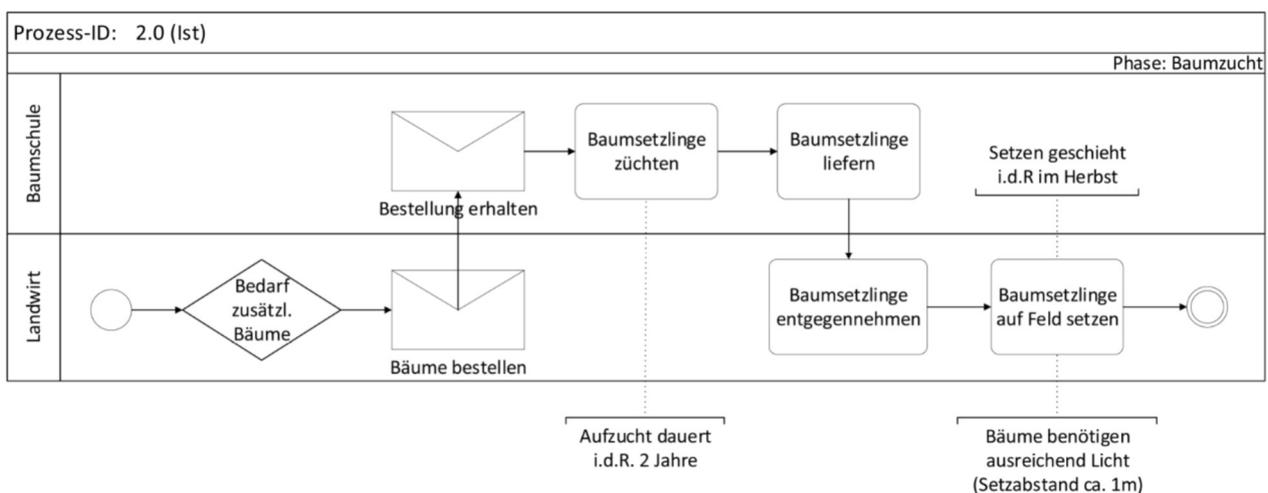


Abbildung 1: Beispielhaftes Prozessmodell eines modellierten Ist-Prozesses.

Parallel zu den Prozessanalysen erfolgte im Rahmen von Experteninterviews, Feldstudien sowie systematischen Literaturanalysen die Analyse und Typisierung geeigneter Technologien (insbesondere Digitaltechnologien) zur Unterstützung und Automatisierung der verschiedenen Aufgaben, Entscheidungen und Prozesse entlang der Wertschöpfungskette der beiden Untersuchungsbereiche des Projektes (Apfel, Kohlgemüse). Die Ergebnisse der Untersuchungen bilden die Grundlage für den Technologieradar, der die verschiedenen Akteure der Wertschöpfungskette bei der Auswahl, der Bewertung und der Einführung neuer digitaler Technologien unterstützen soll. Der Technologieradar enthält Beschreibungen über neue Technologien sowie deren Einsatzgebiete und Nutzen in der Landwirtschaft.

Diese Prozesse wurden von über 20 verschiedenen Studierendengruppen aus den Bereichen Organisationsentwicklung, Wirtschaftsinformatik und Prozessmanagement auf ihr Verbesserungspotential hin untersucht und vom Projektteam mit Hilfe des Technologieradars zu Soll-Prozessen weiterentwickelt. Diese Soll-Prozesse liegen ebenfalls als BPMN 2.0 vor und werden nun sukzessive mit den beteiligten Partnern evaluiert und adaptiert.

### Prototypenartige Technologieentwicklung

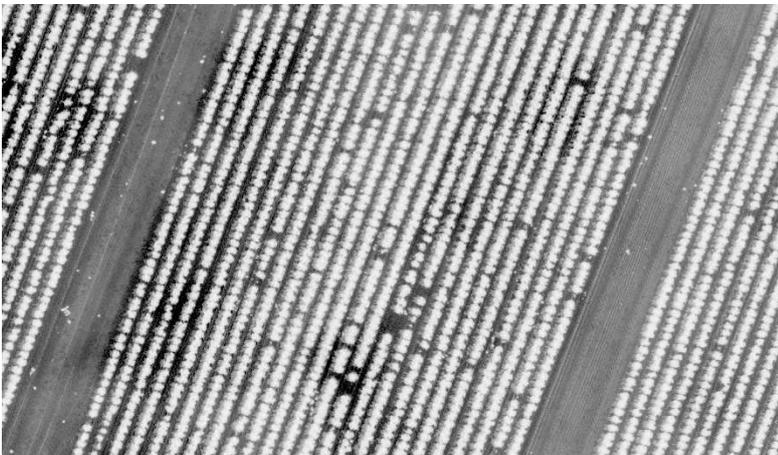
Der Wertstrom von Brokkoli wurde anhand der Prozesse und spezifischer Prozessziele (Kosten, Qualität, Ressourcenverbrauch, Innovationspotential) analysiert, um im Anschluss an eine Kosten-Nutzenanalyse prototypenartig eine Technologieentwicklung durchzuführen. Die Datenerfassung im Bereich Aussaat, Pflege, Ernte und Verarbeitung in der Fabrik ist aktuell schwach ausgebildet. Dadurch entstehen Informationslücken

über detaillierte Aufwände und Erträge innerhalb dieser Prozesskette. Die Ernte als Abschluss der Feldbewirtschaftung lieferte bisher nur einen Gesamtertrag pro Feld, welcher der Anzahl Setzlinge aus der Bestellung gegenübergestellt wurde. Um genauere Analysen durchführen zu können, wurden prototypenhaft technologische Lösungen zur Wachstumsbeobachtung und Ertragskartierung erarbeitet.

### **Analyse der Wachstumsphase**

Für die Analyse der Wachstumsphase wurde ein Versuchsfeld in Haag im St.Galler Rheintal ausgewählt. Nach dem Pflanzen der Brokkoli-Setzlinge wurde deren Position innerhalb von drei Teilparzellen des Schlags mittels Differential Global Positioning System DGPS vermessen. In Summe wurde der Standort von 2681 Pflanzen ermittelt und dokumentiert.

In einer begleiteten Bachelorarbeit wurde der Schlag im wöchentlichen Rhythmus mit einer Multispektralkamera mittels einer Drohne aufgenommen. Diese Aufnahmen bildeten die Datengrundlage zur fortlaufenden Beurteilung des Zustandes und der Grösse der Pflanzen. Die Multispektralkamera nimmt Bilder in verschiedenen festgelegten Wellenlängen-Bereichen auf. Diese werden miteinander verarbeitet, sodass ein Vegetationsindex (NDVI / NDRE) berechnet werden kann, welcher die Vitalität der Pflanzen widerspiegelt ((Noack, 2018), (Parrot, 2019)). Abbildung 2 zeigt einen Ausschnitt einer NDVI-Aufnahme des Versuchsfeldes. Zur Ausrichtung der Aufnahmen und zur Identifikation der einzelnen Pflanzen wurden stationäre Orientierungsmarker auf dem Feld platziert und mit dem DGPS vermessen. Im Anschluss wurde mit Hilfe der Positionen eine Voronoi-Zelle für jede Pflanze erzeugt. Mit einer Maske wurde das Bildmaterial der Pflanze von der Umgebung freigeschnitten, sodass dieses analysiert werden konnte.



*Abbildung 2: NDVI-Drohnenaufnahme aus Haag (SG), 16. Mai 2019.*

Mittels eines Machine Learning-Ansatzes wurde das Ziel verfolgt ein Prognosemodell aufzubauen. Dafür wurde nach Korrelationen zwischen Eingangs- und Ausgangsgrößen gesucht. Als Eingangsgrößen wurden Eigenschaften der einzelnen Pflanzen über den Zeitraum der Wachstumsphase verwendet. Als Ausgangsgröße diente der Zustand oder das Erntegewicht der einzelnen Pflanzen. Diese Daten mussten bei der Ernte manuell erfasst werden. Weiterhin wurden Prognosemodelle mittels Machine Learning-Ansätzen erstellt, die aufgrund von Wachstumsgrößen das Erntergebnis vorhersagen sollen.

### **Ertragskartierung mittels eines Erntemoduls**

Das Erntemodul (Abbildung 3) dient der Datenerfassung im Ernteprozess, um eine Ertragskartierung von Brokkoli zu ermöglichen. Zu jeder Pflanze können mehrere Parameter wie Erntezeitpunkt, Position, Zustand, Gewicht des Kopfes sowie Temperatur und Luftfeuchtigkeit der Umgebung erfasst werden. Mit diesen Daten

werden Auswertungen generiert, wie beispielsweise die Verteilung des Erntegewichtes oder der Zustandskategorien. Zusätzlich wird in Echtzeit eine Berechnung der bisher geernteten Masse und eine Prognose zum Gesamtertrag erstellt. Diese Informationen unterstützen den verarbeitenden Betrieb in der Steuerung seiner internen Prozesse.



Abbildung 3: Erntemodul V2 im Feldeinsatz.

Im Ernteprozess werden die Köpfe der Brokkoli-Pflanzen manuell mit dem Schneidtool abgeschnitten. Dieses ist mit einem Kraftsensor ausgestattet. Über den zeitlichen Kraftverlauf wird der Zustand der Pflanze detektiert. Ein DGPS erfasst die Position und den Zeitpunkt. Die geernteten Brokkoli-Köpfe werden gewogen. Die Daten werden verarbeitet und anschliessend in einer Cloud gespeichert. Eine Visualisierung der Erntedaten kann auf einem mobilen Endgerät aufgerufen werden. Abbildung 4 zeigt den Aufbau des Erntemoduls.

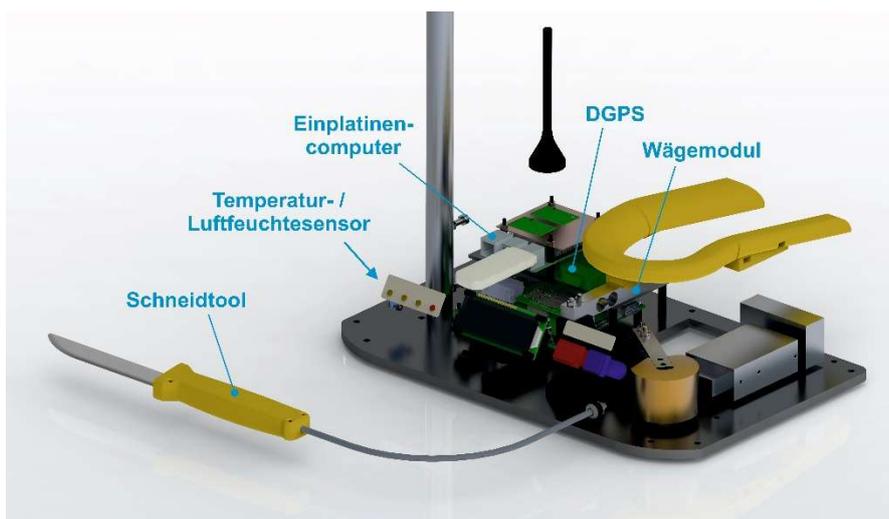


Abbildung 4: Aufbau des Erntemoduls V2.

Die Datenauswertung zeigt in Echtzeit den aktuellen Erntefortschritt. Auf einer Heatmap ist das geerntete Gewicht jeder Pflanze einem Farbverlauf zugeordnet. Unterschiede im Wachstum sind auf der Karte deutlich erkennbar. Ein Kuchenendiagramm zeigt die Verteilung der Zustandskategorien. Abbildung 5 zeigt das Kuchenendiagramm wie auch eine beispielhafte Heatmap. Dieser Ansatz einer Ertragskartierung ist neu für die Ernte von Kohlgewächsen und bietet zusätzliche Analyse-Möglichkeiten.

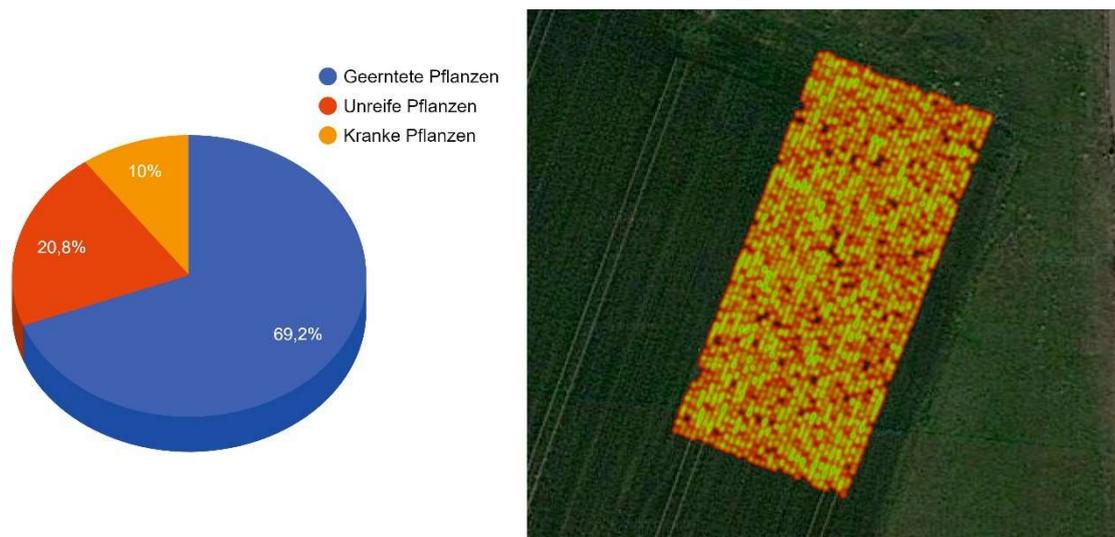


Abbildung 5: Ausschnitte der Datenvisualisierung.

## Ergebnisse

Die Evaluierung der Modelle hat gezeigt, dass sie für einen konkreten Einsatz zu ungenauen Ergebnissen liefern. Die Modelle verwenden zur Berechnung nur Kenngrößen der Pflanzen, die aus der Analyse der Drohnenaufnahme stammen. Weitere Einflüsse der Umgebung (Bodeneigenschaften, Wettereinflüsse, Nährstoffzufuhr etc.) wurden nicht berücksichtigt. Ebenfalls wurde der Standort der Pflanze innerhalb des Schlags nicht berücksichtigt.

Mit dem Erntemodul konnte im wissenschaftlichen Rahmen erstmal eine Ertragskartierung für Brokkoli-Pflanzen durchgeführt werden. Die Genauigkeit der Kartierung umfasst jede einzelne Pflanze, womit der Detaillierungsgrad über den üblichen Kartierungen anderer Nutzpflanzen liegt. Zudem wurde ein Konzept umgesetzt, um die Daten in einer Cloud abzulegen und über eine Datenvisualisierung in Echtzeit wieder abzurufen.

## Diskussion und Fazit

Die Ansätze mittels Machine Learning-Modellen weisen in die richtige Richtung. Zur Verbesserung der Prognosegenauigkeit sind jedoch weitere Einflussgrößen einzubinden. Auch die Menge der Trainingsdaten sollte durch weitere Parzellen ergänzt werden.

Die Ertragskartierung mittels Erntemodul liefert genaue Ergebnisse, der Einsatz in der Praxis ist jedoch zu aufwändig. Um eine praxisgerechte Lösung darzustellen wird eine Messung des Massenstroms über die gesamte Arbeitsbreite der Quärfördereinheit angestrebt.

## Literatur

Allweyer, T. (2015). BPMN 2.0 Business Process Model and Notation. Norderstedt: Books On Demand.

Noack, P. O. (2018). Precision Farming Smart Farming Digital Farming. Wichmann.

Parrot. (11. Dezember 2019). Parrot Bluegrass Fields. Von [www.parrot.com/business-solutions-de/parrot-professional/parrot-bluegrass](http://www.parrot.com/business-solutions-de/parrot-professional/parrot-bluegrass) abgerufen



## Große Gewichte bewältigen – Arbeitssicherheit in Imkereien

Jochen Georg Wiecha<sup>1</sup>, Kathrin Lina Martha Ziegler<sup>1</sup> und Heinz Bernhardt<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Technische Universität München, Deutschland

E-Mail: [wiecha@wzw.tum.de](mailto:wiecha@wzw.tum.de)

Die Imkerei ist in vielen Ländern der europäischen Union nur ein Nebenerwerb oder wird als Hobby betrieben. Dies liegt vor allem an der mangelnden Wirtschaftlichkeit, welche durch zahlreiche Faktoren regional individuell beeinflusst wird. Dennoch schaffen es einige Imker in Selbstständigkeit große Betriebe aufzubauen.

In dieser Arbeit werden zunächst die Belastungsspitzen analysiert, die in den drei Bereichen Bienenvolk, Honigernte und Honiglagerung, sowie dem Transportgeschehen zu Bienen-Trachten und Standplätzen herrschen. Im Ergebnisteil werden zu den drei Bereichen Handlungsempfehlungen entwickelt und für die tierhaltenden Betriebe beschrieben.

Mithilfe der Handlungsempfehlungen lassen sich die vorherrschenden Lasten in der Imkerei leichter bewältigen. Dabei werden gewichtssparende Halbzargensysteme mit den gebräuchlichen Vollzargensystemen Zander, Deutsch Normal und Dadant verglichen.

Im zweiten Teil der Arbeit werden Empfehlungen zur Gewichtskontrolle und Gewichtsreduktion bei der Arbeit an Bienenvölkern präsentiert. Da Internet of Things (IoT) auch bei Honigbienen Einzug gehalten hat, sind interessante Anwendungen am Markt, die für mittlere Betriebe erschwinglich sind. Die Nutzung solcher Systeme fördert und die Mitarbeiter Lasten und Gewichte zu kontrollieren, bevor unbedacht ein Gegenstand gehoben wird.

**Stichworte:** Imkerei, Honigbienen, Gewicht, Transport, Rücken

## Einleitung

In weiten Teilen Europas wird die Bienenhaltung nur im Hobby-Bereich betrieben. Länder, die zum Weltmarktpreis Honig anbieten können, haben in den letzten Jahrzehnten jedoch einen enormen Aufbau der Bienenbestände vollzogen (Moritz, 2014). Die in diesem Artikel veröffentlichten Zahlen zur Imkerei in Europa stammen von der europäischen Statistikbehörde FAOSTAT. Wer sich mit der Arbeitssicherheit in Imkereien befasst, stößt jedoch auf weit weniger wissenschaftliche Arbeiten. Gleiches bestätigen auch Topal (et al. 2019), die trotz intensiver Recherche aus ihrer Sicht nur wenig Fundstellen in der Literatur fanden. Eine Instanz zum Thema Arbeitssicherheit sind die Berufsgenossenschaften, die gerade in den letzten Jahren für Bienenhaltungen die Beiträge zur Unfallversicherung deutlich angehoben hatten. Dort gibt es Handreichungen zum Abruf über das Internet, welche mit Vereinen und Verbänden aus der Imkerschaft erarbeitet wurden (Schmidt und Sauerbier, 2000). Jedoch lesen sich alle diese nichtwissenschaftlichen Quellen als Verhütungsvorschrift und nicht als Anleitung zur Arbeitserleichterung. Zum Teil wird auf Bestimmungen der Berufsgenossenschaften bezüglich Bienen verwiesen, die aber aus einem allgemeinen Teil der üblichen Nutztiere Rind, Schwein, Pferd, Schaf zu erschließen sein sollen (SVLFG 2017).

In diesem Beitrag wird auf konkrete Erleichterungen für Imker eingegangen, die die Reduktion von körperlichen Belastungen aufgrund hoher Gewichte zum Gegenstand hat. Im Bereich der großen Tierhaltungen ist die betriebliche Mechanisierung von großer Bedeutung. Dies soll anhand konkreter Handlungsempfehlungen nach der Schwerpunktanalyse der Problembereiche in Imkereien nachfolgend gezeigt werden.

## Material und Methode, Stand des Wissens

Im ersten Schritt wird analysiert, in welchen Bereichen imkerlicher Tätigkeiten Gewichtsproblematiken bestehen. Abbildung 1 verdeutlicht die Zusammenhänge. Von innen nach außen betrachtet bestehen die Bienenvolkeinheiten aus dem Gewicht der Bienen, dem Bienenkasten und dem Wabenwerk. Zusätzlich kann eine Futterreserve beinhaltet sein.



Abbildung 1: Die drei Sachbereiche der Gewichtsproblematik.

### **Sachbereich Bienenvolk**

Die maximale Ausdehnung eines Bienenvolks ist im Juni zu erwarten mit ca. 60.000 Bienen pro Bienenvolk. Bei 0,1 g pro Biene sind dies also etwa 6 kg. Die vom Menschen zur Verfügung gestellten Bienenbehausungen (Bienenbeuten) gibt es traditionell aus Holz gefertigt, aber Beuten bestehen aus Styropor. Styropor ist aber aufgrund der Schwitzwasserproblematik nicht in jeder Region sinnvoll. Auch kann es bei Styroporbeuten zu Schäden durch Spechte kommen.

Für die Holzbeuten wurden nach den „Kennzahlen für Bienen“ der LWG (2011) berechnet: Pro Brutraum Heroldbeute im Zandermaß 21,71 kg, Hohenheimer Einfachbeute im Zandermaß 23,21 kg, Erlanger Magazinbeute im Zandermaß 22,65 kg und Dadant-Beute mit Dadantmaß-Rähmchen 31,32 kg (Siegert, 2017).

### **Sachbereich Honig**

Honig ist schwer und wird mit dem 1,4-fachen Gewicht von Wasser bei gleichem Volumen gerechnet. Eine volle Zarge im Zandermaß mit schleuderreifem Honig wiegt 25 kg. Je nach Trachtgebiet kann es angezeigt sein, mehr als einen Honigraum pro Bienenvolk gegeben zu haben. Dies trifft regelmäßig zur Waldhonigtracht zu. Betrachtet man nun die verschiedenen Betriebsweisen so ergibt sich abgeschätzt mit gerundeten Kilogrammwerten aus Kapitel 2.1 daraus:

- Betriebsweise ein Brutraum und ein Honigraum 46-56 kg
- Betriebsweise mit zwei Bruträumen (nicht bei Dadant) mit einem Honigraum 67-71 kg
- Betriebsweise mit zwei Bruträumen und zwei oder drei Honigräumen 96-121 kg

Der Sachbereich Honig erstreckt sich auch auf den Bereich Lager. Honig ist nach der Schleuderung und dem Sieben in Lagergebinde abgefüllt. Vom kleinen Eimer mit 12,5 kg geht es bis zum sogenannten Hobbock mit 40 kg Gewicht. Auf Paletten gestellt und gelagert benötigt man zur effektiven Lagerhaltung einen Gabelstapler. Die Erntemengen von großen professionellen Imkereien gehen nach diesen Berechnungen schnell in die Tonnen.

### **Sachbereich Transport**

Der Transport von Bienenvolk-Einheiten mit und ohne Honig findet zwischen Bienenstandorten statt und zwischen Trachtstandorten. Dabei ist vor dem Transport immer eine Transportentscheidung zu treffen. Während Transporte zum Überwinterungslager ohne Honigräume geschieht und das Bienenvolk schon kleiner ist, stellt sich beim Transport in die Waldtracht vor allem die Frage des Termins und der Rentabilität des Transports. Gegebenenfalls sind auch die Lade- und Abladebedingungen am Zielort zu überprüfen (Hanglage, keine befestigten Wege, kein sicherer Untergrund).

## **Ergebnisse und Diskussion**

Aus den Erläuterungen unter 2.1 bis 2.3 lassen sich Empfehlungen zu den drei Sachbereichen der Gewichtsproblematik entwickeln, welche nachfolgend in Abbildung 2 übersichtlich dargestellt werden.

Bienenvolk	Honig	Transport
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kleineres Rähmchenmaß mit mehr Zargen</li> <li>• Verladen der Bienenvölker mittels Gabelstapler</li> <li>• Weniger Transporteinsätze pro Bienenvolk</li> <li>• Gewichte Verteilen (mehrere Mitarbeiter mit geteilter Belastung pro Person)</li> <li>• Ausbildung von Mitarbeitern (Bestandspersonal und neue Personen)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Honigernte trennen vor Transport</li> <li>• Honiglagerung mittels befahrbarer Räume / Hallen</li> <li>• Lagergebäude aus leichtem lebensmittelechtem Kunststoff</li> <li>• Dimension der Lagergebäude verringern</li> <li>• Schnelles Wiederverflüssigen unter zeitnahe Beschicken mit kleineren Einheiten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Technische Hilfen (Gabelstapler)</li> <li>• Weniger Transporte durch Standortanpassung</li> <li>• Trachtangebot stärken durch Blühflächen (weniger Transporte nötig, da kleineres Risiko von Nahrungsknappheit)</li> <li>• Transporttechnik erneuern</li> <li>• Mit Karre befahrbare Rampen</li> </ul>

Abbildung 2: Handlungsempfehlungen an Imker zur Reduktion der Gesamtgewichte.

### Möglichkeiten zur Gewichtsreduktion an Bienenvölkern

Kleinere Beuteneinheiten lassen sich leichter transportieren. Dafür muss das Magazin ein Separieren der Teileinheiten zulassen. Aus 2.1 geht hervor, dass der Dadant-Brutraum immer schwerer ist, als die kleineren Zander-Rähmchen. Vor allem die Höhe des Rähmchenmaßes bestimmt das Gesamtgewicht der späteren Beute, wenn man davon ausgeht, dass nur sinnvoll bearbeitbare Bienenvolkseinheiten vom Imker gebildet werden. Sehr zu empfehlen sind daher auch die Halbzargensysteme oder auch Flachzargensysteme, welche im Falle Zander ca. ein Drittel der Rähmchenhöhe sparen. Das gesamte Wabenwerk lässt sich somit in kleinere Einheiten teilen, wodurch auch die Magazine der Beute leichter werden.

Das Verladen von Bienenvölkern mit einem Gabelstapler ist auf Außenständen nicht immer möglich. Für die Imkerei haben sich aber kleine raupengetriebene Stapler, die mobil mitgeführt werden können, als sehr nützlich erwiesen.

Die Reduktion von Transporteinsätzen pro Bienenvolk kann über die Betriebsweise geändert werden. So können vom Imker erstellte Ableger von Bienenvölkern mit entsprechend nur halbem Gewicht im Gegensatz zu ihren Muttervölkern zu Außenständen transportiert werden, welche in der Saison des nächsten Jahres reguläre Standorte werden. Hierzu muss ein Planen von ganzen Ständen Vorrang vor Einzelbeobachtung von Bienenvölkern haben. Eine zweite Reduktionsmöglichkeit liegt in weniger Transporten zu Trachtlagen. Besonders die Waldtracht mit ihren klimatischen Abhängigkeiten ist wenig zuverlässig und bedarf sehr gründlicher Vorbereitung vor der Entscheidung zum Anwandern mit den Bienen. Eine Maßnahme wäre eine bessere Ausbildung der Imker in der Trachtbeobachtung. Dadurch könnten Fehleinschätzungen vermieden werden und überzählige Bientransporte könnten unterbleiben.

Eine Diversifizierung der zu handhabenden Gewichte auf mehrere Mitarbeiter ist ein positives Ansinnen, jedoch wird mangels Verfügbarkeit solch gut ausgebildeter Mitarbeiter dieser Ansatz nicht oft zum Tragen kommen. Je nach Staat hat die Imkerei eine unterschiedliche Stellung in der Bevölkerung und ebenso unterschiedlich wird in den verschiedenen Staaten zum Thema Imkerei beruflich ausgebildet. Staaten, wie Deutschland, haben aufgrund ihrer Hobby-Struktur in der Imkerei bei Fachpersonal zur Bienenhaltung verständlicherweise große Probleme.

Sollten Mitarbeiter vorhanden sein, kann eine Ausbildung zum Thema Gewichtsreduktion in Imkereien von großem Nutzen sein, da berufsbeding regelmäßig rückenbelastende Tätigkeiten durchzuführen sind.

### Möglichkeiten zur Gewichtsreduktion bei Honigverlagerung

Große Imkereien arbeiten mit dem sogenannten Beeblower – ein umgebauter Laubbläser zum Entfernen ansitzender Bienen im Honigraum. Dabei wird die Zarge mit dem Honig nach Entfernen der Bienen komplett mit dem ganzen Gewicht gehoben und auf eine Einheit zum Abtransport geladen. Abbildung 3 stellt die Trennung von Honig und Bienenvolk während der Erntesaison dar. So können die schweren Waben für die Imker unbedenklich bewegt werden.

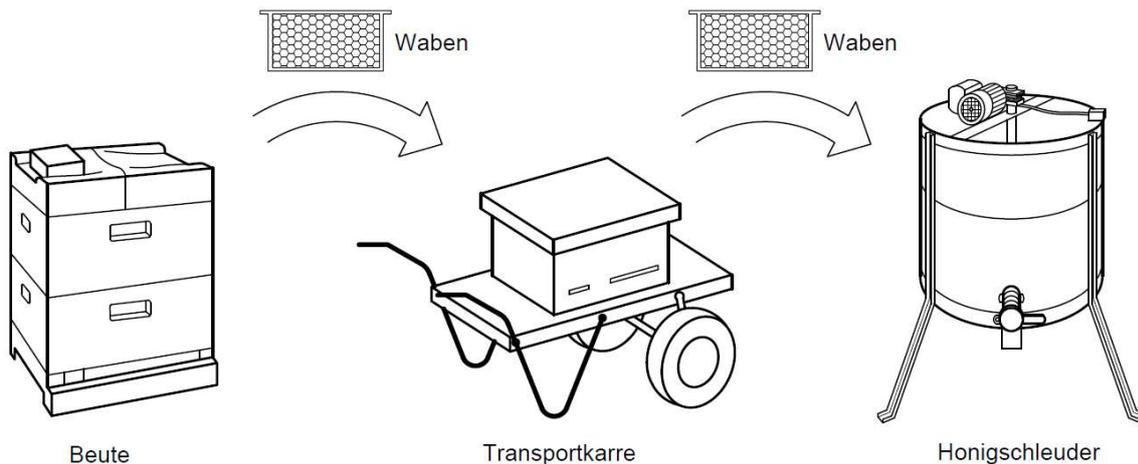


Abbildung 3: Das Trennen von Honig vom Bienenvolk während der Erntesaison.

Auf Seiten der Honiglagerung sind entsprechend großzügige Räumlichkeiten zu wählen, die vorteilhaft befahrbar sind und mit Hochregalsystemen ausgestattet sind. Kunststoff als Lagergefäß bietet einen Gewichtsvorteil vor Edelstahlgefäßen. Händisch lassen sich kleinere Gebinde besser bewegen, als große Tanks, doch liegt bei entsprechender Betriebsgröße die Möglichkeit des Umpumpens mittels Honigpumpe von Tank zu Tank oder auch von Raum zu Raum. Zur Betriebsweise der Wiederverflüssigung von Honig auch das Rühren von Honig zur Cremehonigbereitung haben sich entsprechende automatisierte Geräte entwickelt, die mit Hebekränen zu beschicken sind und somit wiederum dem Personal in der Imkerei Schutz vor großen Gewichten bietet.

### Möglichkeiten zur Gewichtsreduktion bei Transporten

Die klassische technische Hilfe ist der Gabelstapler per se. Durch eine Reduktion der Transporte kann aber auch eine Senkung der Gewichtsbelastungen erreicht werden. Hierzu sollte der Bienenstand und die Außenbienenstände sorgfältig analysiert werden und ein Zusammenlegen oder Ausbauen einzelner Betriebsstandorte in Erwägung gezogen werden.

Ein zweiter wesentlicher Punkt in dieser Kategorie ist die Anlage von Blühflächen in der Umgebung von Bienenstandorten. Damit kann eine gute Pollenversorgung und ein erweitertes Nektarangebot geschaffen werden, dass die Bienenvölker besser versorgt und damit weniger schnell zum Abwandern aufgrund Trachtmangel führt.

Investitionen in moderne Anhänger oder Transportfahrzeuge mit Ladeunterstützung wären eine weitere Maßnahme zur Erleichterung der Bientransporte. Es könnte jedoch zu vermehrten Transporten führen, wenn die Bienenvölker leichter auf und ab zu laden sind. Hier muss großen Wert darauf gelegt werden, dass unter einer Investition in einen Teil der Transportkette keine Verlagerung der Gewichtsproblematik nach vorne oder nach hinten stattfindet.

### ***Möglichkeiten zur Sensibilisierung in der Gewichtsproblematik***

Bereits am Markt bestehende technische Geräte zur Gewichtsdetektion können im Sinne der Arbeitssicherheit und Reduktion von Gefahren durch große Gewichte genutzt werden. Stockwagen bieten seit einigen Jahren die Anbindung über GSM oder auch Lora zur Datenübertragung. Diese Daten helfen Arbeitseinsätze besser planen und warnen sogleich das Personal in Imkereien hinsichtlich gefährlichen Arbeitsspitzen und einer möglichen Überbelastung. Ein automatisches Langzeitsystem zur Gewichtskontrolle stellt Zacepins et al. (2017) vor. Die Daten können zum Bienenmonitoring verwendet werden und dienen damit auch zur Gesundheitsüberwachung von Honigbienenvölkern.

### **Fazit**

Mit den hier vorgestellten Erleichterungen können die Gewichte und die Summen der zu bewegendenden Gewichte während den Belastungsspitzen in der Bienenaison gesenkt werden. Zum Teil betrifft es jedoch Maßnahmen, die nur mittels Investitionen zu tätigen sind. Das ist nur bei entsprechender Betriebsgröße zu leisten. Ein kleiner privater Bienenhalter wird vermutlich weiter den schweren Gewichten ausgesetzt sein. Die Verteilung der Gewichte durch Aufgabenteilung an mehrere Mitarbeiter ist von Land zu Land unterschiedlich zu bewerten. In Deutschland ist dies sicher in der Mehrzahl der Fälle utopisch, während es in Ländern Südosteuropas wahrscheinlich schnell Anwendung finden könnte. Um auch in von der Imkerstruktur benachteiligten Ländern eine Besserung hierbei zu bewirken, ist zumindest die Forcierung der beruflichen Ausbildung und hochwertigen Qualifikation anzustreben. Damit ergibt sich auch langfristig für den Betriebszweig eine Chance auf echte Erleichterung von schweren kraftraubenden Arbeiten.

## Literatur

- Schmidt, G.; Sauerbier, E. (2000): Arbeitssicherheit bei der Bienenhaltung. Hrsg.: Landwirtschaftliche Berufsgenossenschaft Mittel- und Ostdeutschland (LBG MOD), 3. Auflage, Technische Aufsicht Hoppegarten
- LWG (2011): Bienen in der Mathematik. Online abgerufen unter [https://www.lwg.bayern.de/mam/cms06/bienen/dateien/bienen\\_im\\_mathematikunterricht.pdf](https://www.lwg.bayern.de/mam/cms06/bienen/dateien/bienen_im_mathematikunterricht.pdf) am 01.12.2019
- Moritz, R. F. (2014): Die Ursachen des weltweiten Bienensterbens. In: Rundgespräche der Kommission für Ökologie, Band 43 „Soziale Insekten in einer sich wandelnden Welt“, S. 86-94, Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, ISSN 0938-5851, ISBN 978-3-89937-179-6.
- Siegert, Dagmar (2017): Gewichtsberechnungen für Beuten. Online abgerufen unter [http://www.imkerkleinostheim.de/fileadmin/daten\\_10122/tools/gewichtsberechnungen.xlsx](http://www.imkerkleinostheim.de/fileadmin/daten_10122/tools/gewichtsberechnungen.xlsx) am 01.12.2019.
- SVLFG (2017): Unfallverhütungsvorschriften Tierhaltung (VSG 4.1). Ausgabe Januar 2017, Eigenverlag der Sozialversicherung für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau.
- Topal, E.; Strant, M.; Pocol, C.B.; Kösoğlu, M. (2019): A Critical Point in Beekeeping: Beekeepers' Health. In: Bulletin UASVM Food Science and Technology 76(1)/2019, ISSN 2344-2344, DOI: 10.15835/buasvmcn-fst: 2018.0021
- Zacepins, A.; Pecka, A.; Osadcuks, V.; Kviesis, A.; Engel, S. (2017): Solution for automated bee colony weight monitoring. In: Agronomy Research 15(2), S. 585-593.



## **Zeit- oder abrufgesteuerte Fütterung – Betriebsmanagement im Zeichen von Tierwohl in Mastschweineställen**

*Kathrin Lina Martha Ziegler<sup>1</sup>, Jochen Georg Wiecha<sup>1</sup> und Heinz Bernhardt<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Technische Universität München, Deutschland*

*E-Mail: [kathrin.ziegler@wzw.tum.de](mailto:kathrin.ziegler@wzw.tum.de)*

In der in Zentraleuropa sehr bedeutenden Schweinemast lässt sich aus arbeitswirtschaftlichen Gesichtspunkten eine Kostenreduktion vor allem über den Einsatz automatisierter Fütterungstechnik realisieren, die jedoch ein großes Potenzial für stressinduzierende Geräusch- und Vibrationsentwicklung bereithält. Da Schweine sehr anfällig auf industrielle Störfaktoren reagieren, wird die Anpassungsfähigkeit der Tiere mit steigendem Einsatz von technisierter und automatisierter Produktion überschritten. Weil die Fütterung den Tag eines Mastschweins maßgeblich strukturiert, wirken sich wiederkehrende Störfaktoren negativ auf das Tierwohl und damit die Fleischqualität aus.

Gegenstand der Arbeit ist die Evaluierung der non-invasiven, technischen Indikatoren Schall und Vibration auf zwei Versuchsbetrieben mit Zeit- und Abruffütterungsanlagen, sowie deren Auftreten im normalen Tagesverlauf eines Mastschweins. Anhand dem aus der Literatur übernommenen, empfohlenen Maximalwert für Schweinehaltungen (85 dB) lassen sich anschließend gesundheitliche Risiken, sowie Empfehlungen zur Anpassung des Betriebsmanagements ableiten. Die Ergebnisse zeigen, dass Luftschallemissionen zum einen durch die Fütterung und zum anderen durch die Erregung und Vokalisation des Tiers, sowie aufgrund des Alters und dementsprechenden Habitus (Hierarchie, Habituation) entstehen. Der angenommene Maximalwert wird in beiden Betrieben deutlich überschritten. Unterschiede bezüglich Frequenz, Intensität und Zeitdauer der Peaks können festgestellt werden. Das Auftreten der Körperschallemissionen ist generell an die Geräuschentwicklung der Fütterungsanlage und die der Lüftungen gekoppelt und führt ebenfalls zu einer Steigerung des Lärmpegels.

**Stichworte:** *Betriebsmanagement, Mastschweine, Tierwohl, Indikatoren, Fütterungstechnik*

## Einleitung

Der starke Trend Richtung Automatisierung von modernen Nutztierställen, in dem das Tier mit (teil) autonomen Systemen kommunizieren und interagieren muss, stößt bei europäischen Konsumenten immer mehr auf Kritik [1;2;3]. Mit diesen ethischen Bedenken bezüglich des Tierschutzes und dem „Wohl des Tiers“ (engl. „animal welfare, z. dt. „Tierwohl“) wird die Produktqualität eines Lebensmittels in der Konsequenz nicht mehr nur von der allgemeinen Beschaffenheit und Sicherheit des Endproduktes bestimmt, sondern auch vom Tierwohl-Status des Tiers, aus dem das Produkt hergestellt wurde [4;5].

Es besteht ferner die Annahme, dass mit steigendem Einsatz technisierter und automatisierter Produktion die Gefahr des Überschreitens der Anpassungsfähigkeit der Tiere steigt und das Tierwohl somit negativ beeinflusst wird [6;7]. Vorrangig Schweine reagieren auf industrielle Störfaktoren, wie Geräusche und Vibrationen empfindlich, was sich negativ auf die Fleischqualität und damit auf dessen Absatz auswirkt [8;9]. Da Lautstärken von 85 dB nachweislich Stress bei Schweinen provozieren, wurde dieser Wert als Maximalwert angenommen [10;11;12]. Die damit einhergehenden Vibrationen sind ebenfalls potenzielle Stressoren und triggern zahlreiche physiologische Vorgänge, wie z. B. die Änderung der Herzfrequenz oder den Blutdruck und können aversive Reaktionen bei Tieren hervorrufen [13;14;15]. Unter diesen Gesichtspunkten ist das Betriebsmanagement der modernen Schweineproduktion folglich dazu angehalten, die Haltungsbedingungen entsprechend so zu verändern, dass eine Optimierung des Tierwohls und damit der Qualität des Endprodukts stattfindet.

Die vorliegende Arbeit untersucht diesbezüglich den Einfluss von Schall- und Vibrationsemissionen, die durch den täglichen Einsatz der automatisierten Fütterungsanlagen und den Lüftungen entstehen. Dabei wurden zwei Betriebe mit unterschiedlicher, technischer Ausstattung untersucht und deren Daten ausgewertet. Anhand dessen und zusätzlich getätigten Aufnahmen mit einer Infrarotkamera konnten Rückschlüsse auf das Tierwohl und die zu ändernden Faktoren für ein optimiertes Betriebsmanagement gezogen werden.

## Material und Methodik

### *Datenaufnahme*

Die Datenaufnahme erfolgte auf zwei verschiedenen Versuchsbetrieben jeweils 2x48 Std in sich unterscheidenden Mastgruppen (Mittel- und Endmast). Es wurden von Beschleunigungssensor (Typ ADXL330, Fa. Mikro Elektronika) und Schallpegelmessgerät (Typ SL-451, Fa. Voltcraft, EN 61 672-1) je 10 Messwerte pro Sekunde aufgenommen und an den Laptop weitergeleitet. Die Wärmebildkamera fotografierte die Tiere jeweils zu den kritischen Zeiten der Fütterung, um Temperaturänderungen, basierend auf physiologische Veränderungen (z. B. Stress-/ Erregungszustände) visualisieren zu können (vgl. Abb. 1). Die verwendete Kamera FLIR Vue Pro 640 lässt nur relative Rückschlüsse und keine genaue Angabe der Änderung der Temperaturverhältnisse zu.

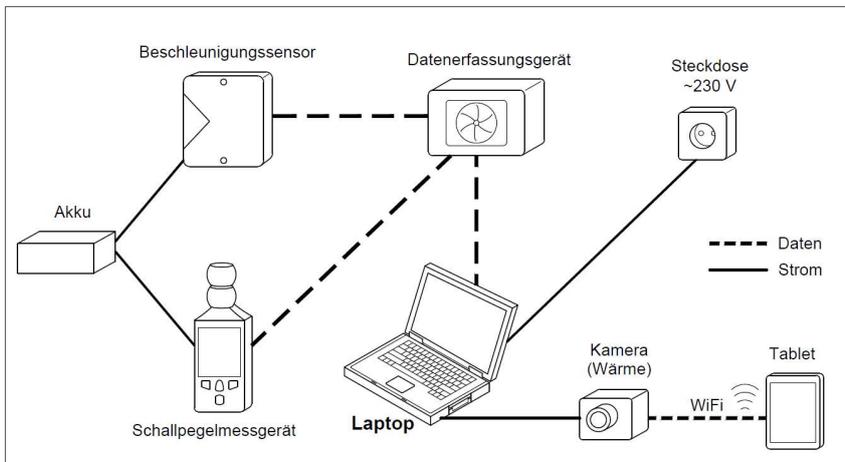


Abbildung 1: Versuchsaufbau zur Aufnahme von Luft- und Körperschallemissionen zzgl. Wärmebildkamera, Quelle: Eigene Darstellung, 2018.

### Datenstrukturierung und -auswertung

Die Datenstrukturierung wurde mittels definierter Zeitabschnitte für jede Gruppe vorgenommen. Um interessante Zeitbereiche identifizieren zu können, wurden die Daten in der Software LabView 2016 strukturiert und mit Scatterplots in der Statistiksoftware R ausgewertet. Nachdem so besonders sensible Zeitbereiche festgestellt wurden konnten, erfolgte anschließend die übersichtliche Einzelauswertung mittels Boxplots. Da sich die Stallungen der Versuchsbetriebe stark unterschieden, bspw. hinsichtlich Position der Lüftung, Fenster und Boxenaufteilung, musste der Aufbau der Sensorik entsprechend den vorgefundenen Gegebenheiten angepasst werden.

### Fütterungssysteme

Beide Versuchsbetriebe waren mit unterschiedlichen Arten an Fütterungssystemen ausgestattet. Während der Versuchsbetrieb Thalhausen (Baujahr 1982) eine zeitgesteuerte Standard-Flüssigfütterung über ein Rohrsystem verwendet, befindet sich auf dem Versuchsbetrieb Schwarzenau (Baujahr 2008) eine sensorgesteuerte Flüssigfütterung, welche auf elektronischer Abfrage des Trogfüllstands basiert. Somit bestimmen die Tiere selbst ihren Futterbedarf und ihre Fütterungszeiten über den Tag hinweg, während in Thalhausen die Fütterungen immer um acht, 12 und 19 Uhr erfolgte.

## Ergebnisse

### Luftschallemissionsmessungen

Der vorgestellte Auszug der Ergebnisse zeigt den Vergleich der Gruppen der großen Tiere aus dem Versuchsbetrieb Thalhausen und Schwarzenau. Der Gesamtlärmpegel befindet sich in beiden Gruppen zwischen 60 und 70 dB. Vor der Fütterung erfolgt in Thalhausen ein deutlicher Anstieg, der in Werten  $\geq 100$  dB im Peak gipfelt. Nach der Fütterung ist ein Rückgang der Werte zu beobachten (vgl. Abb. 2).

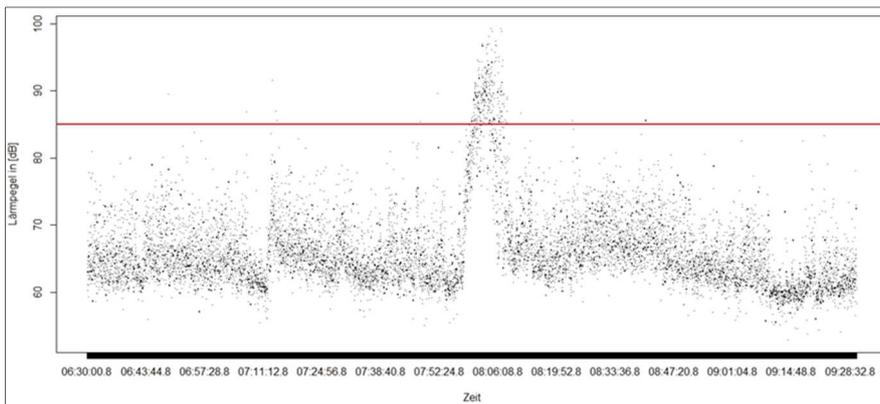


Abbildung 2: Luftschallemissionen Große Tiere Thalhausen bei der Frühfütterung.

Die Werte der Tiergruppe in Schwarzenau zeichnen sich durch kurze, intensive Peaks von > 85 dB bis über 100 dB bei den einzelnen Fütterungsereignissen aus. Im Gegensatz zur Tiergruppe in Thalhausen gibt es hier keinen langsamen Anstieg, sondern eher eine sprunghafte Entwicklung des Lärmpegels (vgl. Abb. 3).

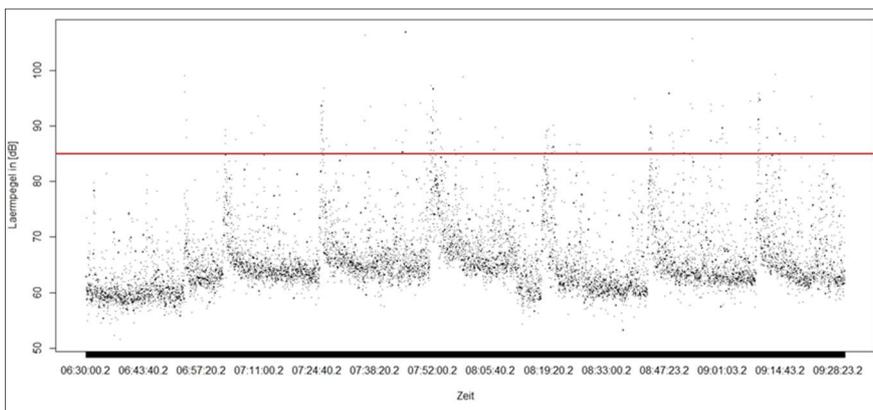


Abbildung 3: Luftschallemissionen Große Tiere Schwarzenau bei der Frühfütterung, Quelle: Eigene Auswertung, 2018.

Ein weiterer Auszug der Ergebnisse veranschaulicht die Gesamtentwicklung des Lärmpegels im Tag (Abb. 4) und Nachtvergleich (Abb. 5) beider Versuchsbetriebe und beider Tiergruppen. Insgesamt ist zu beobachten, dass im Versuchsbetrieb Schwarzenau, sowohl über Tag als auch in der Nacht deutlich mehr Werte  $\geq 100$  dB erreichen. Außerdem sind die Unterschiede bezüglich des Lärmpotenzials zwischen den Gruppen mit großen und kleinen Tieren erkennbar.

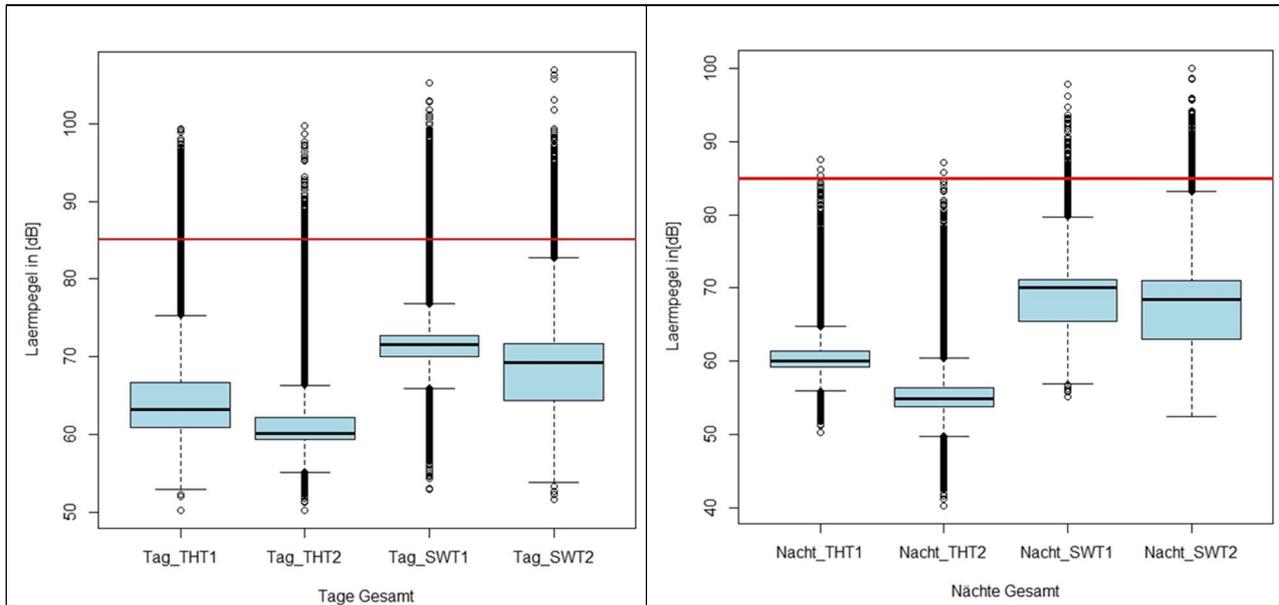


Abbildung 4: Tagvergleich Große Gruppen (THT1 und SWT1) und kleine Gruppen (THT2 und SWT2).

Abbildung 5: Nachtvergleich Große Gruppen (THT1 und SWT1) und Kleine Gruppen (THT2 und SWT2).

Während die Lärmpegel der Nächte in Thalhausen signifikant niedriger sind als die der Tage, ist dieser Umstand in Schwarzenau nicht zu beobachten. Alle Ausreißer entsprechen Werten von > 85 dB, teilweise kommen auch nachts Werte von  $\geq 100$  dB vor.

### Körperschallemissionsmessungen

Beispielhaft werden hier die Ergebnisse der Körperschallmessungen aus Thalhausen dargestellt (vgl. Abb. 6). Die höchsten Werte wurden hier beiden Abend- und Frühfütterungen beider Tiergruppen erreicht. Dieser Umstand erklärt sich aus dem großen, zeitlichen Abstand der Früh-zur Abendfütterung (13 Stunden).

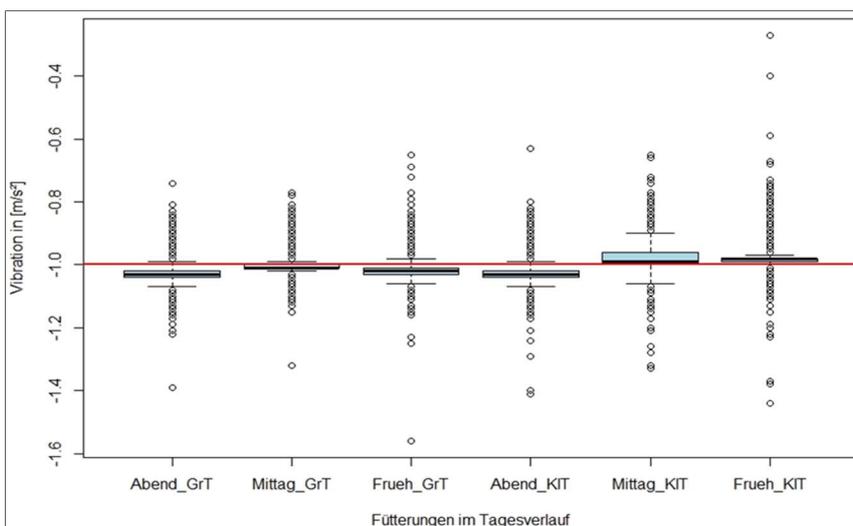


Abbildung 6: Körperschallemissionen Thalhausen – Fütterungsvergleich.

Die größten Ausreißer lassen sich bei der Frühfütterung der kleinen Tiere (KIT) ausmachen, was auf deren Erregung und die daraus resultierenden Stöße bei Auseinandersetzungen zurückzuführen ist. Die Mittagsfütterungen zeigen bei beiden Gruppen die geringsten Ausschläge, da zwischen Früh- und Mittagsfütterung nur vier Stunden liegen, die Tiere somit nicht so hungrig und sich die Erregung daher in Grenzen hält.

### Wärmebilder

Allgemein war festzustellen, dass die angefertigten Wärmebilder die physiologischen Reaktionen durch die gemessenen Emissionen hervorgerufenen Stresszustände unterstützten. Die Tiere beider Versuchsbetriebe weichen in Ruhe nicht besonders von ihrer physiologischen Körpertemperatur ab. Vor und bei der Fütterung erwärmten sich die Tiere jedoch deutlich im Bereich des Rumpfes. Danach sank die Temperatur wieder auf ihr normales Level zurück (vgl. Abb.7).

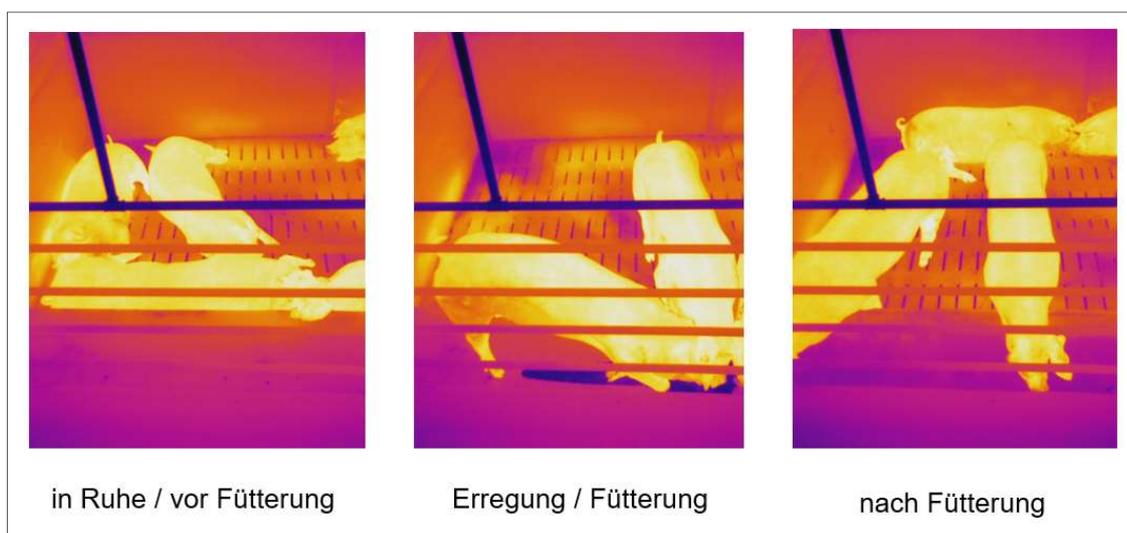


Abbildung 7: Mittels Wärmebildkamera sichtbar gemachte Änderungen der Thermoregulation aufgrund Stresszuständen, Beispiel, Quelle: Eigene Aufnahmen, 2018.

Dies bestätigt einen Zusammenhang zwischen der Erwärmung des Tierkörpers aufgrund stressbedingten Faktoren. Die Erwärmung bei der zeitgesteuerten Fütterung in Thalhausen manifestierte sich viel prägnanter, was sich auf die hohe Erregung der Tiere durch den erzwungenen, zeitlichen Abstand zwischen den Fütterungen und das damit erhöhte Stresslevel zurückführen lässt.

### Diskussion

Es konnte bewiesen werden, dass je nach Art der Fütterungstechnik ein verschieden großes Potenzial zur Stressentstehung bei den Tieren entsteht. Die gemessenen Luftschallemissionen in den Versuchsbetrieben entstanden vor allem durch die bei der Fütterung durch die beobachtete Erregung und Rangkämpfe erfolgende Vokalisation der Tiere. Ansonsten sind über den Tag hinweg keine signifikanten Beeinträchtigungen des Grundlärmpiegels von 60-70 dB zu beobachten. Dieser Wert ist grundsätzlich hoch, da die Datenerhebung im Sommer und damit eine erhöhte Ventilation, auch nachts, stattfinden musste. Die Peaks der Werte bei den Fütterungen überschritten bei den Tiergruppen in Thalhausen immer den Maximalwert von 85 dB und sind daher als negativ für das Tierwohl einzustufen. Zudem fielen die körperlichen Reaktionen der jüngeren Tiergruppe deutlich stärker aus, was sich über die instabile Rangordnung und daraus entstehenden Kämpfe, sowie die geringere Gewöhnung an das Fütterungsereignis und daher höhere Erwartungshaltung erklären lässt. Grundsätzlich ist noch anzumerken, dass ein Problem der Differenzierung des Gesamtlärmpiegels besteht, da seitens der Werte bei der Fütterung nicht zwischen industriellen Geräuschen der Anlage und den Lüftungen und den Lauten der Tiere unterschieden werden konnte.

Die Entstehung der Körperschallemissionen waren an die Geräusentwicklung der Futteranlage gekoppelt. Unter Einbeziehung der Wärmebilder kann davon ausgegangen werden, dass das Zusammenspiel beider Emissionsarten, ihrer Tage strukturierenden Wirkung und darauffolgenden, physiologischen Reaktionen zu Stress und damit einer Erwärmung des Tierkörpers führen.

## **Fazit**

Vor dem Hintergrund des Tierwohls in Mastschweineeställen ist daher eine Bekämpfung der Lärmentstehung an aerodynamischen Lärmquellen, sowie Maschinen und Anlagen empfehlenswert, vor allem bezüglich hochfrequenten Geräuschanteilen. Tieffrequente Emissionen können mit der Nutzung offenerporiger Schaumstoffe, oder hygienisch unbedenklichen, transluzenten Folien-Baffels mit niedrigem Oberflächengewicht erfolgreich gedämpft werden.

## **Danksagung**

Mein Dank gilt den Betriebsleitern der zwei beprobten Versuchshöfe Thalhausen und Schwarzenau für das zur Verfügung stellen ihrer Lokalitäten, sowie Hr. Jochen Wiecha für seine Hilfe bei der Datenaufnahme.

## Literatur

- [1] Bendel, O. (2015): Überlegungen zur Disziplin der Tier-Maschine-Interaktion. In: gbs-schweiz.org, 14. Februar 2015. Über <http://gbs-schweiz.org>.
- [2] Gräff, A. (2016): Auswirkungen eines Systemausfalls in automatisierten Melkssystemen auf das Tierwohl. In: Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft, S. 53-56.
- [3] Veissier, I.; Forkman, B. und Jones, B. (2007): Assuring animal welfare: from societal concerns to implementation. In: Proceedings of the Second Welfare Quality Stakeholder Conference.
- [4] Blokhuis, H.J.; Jones, R.B.; Geers, R.; Miele, M. und Veissier, I. (2003): Measuring and monitoring animal welfare: transparency in the food product quality chain. In: Animal Welfare (12), S.445-455.
- [5] Duncan, I.J.H. (2005): Science-based assessment of animal welfare: farm animals. In: Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics) 24 (21), S. 483-492.
- [6] Dantzer, R. (2002): Can farm animal welfare be understood without taking into account the issues of emotion and cognition? In: Journal of Animal Science, 80. Jg., Nr. E-Suppl\_1, S. E1-E9.
- [7] Puppe, B.; Ernst, K.; Schön, P.C. und Manteuffel, G. (2007): Cognitive enrichment affects behavioral reactivity in domestic pigs. In: Applied Animal Behaviour Science, 105 (1-3), S. 75-86.
- [8] Otten, W.; Kanitz, E.; Puppe, B.; Tuchscherer, M.; Brüßow, K.P.; Nürnberg, G. und Stabenow, B. (2004): Acute and long term effects of chronic noise stress on hypothalamic-pituitary-adrenocortical and sympathoadrenomedullary axis in pigs. In: Animal Science (78), S. 271-283.
- [9] Venglovsky, J. et al. (2007): Noise in the animal housing environment. In: ISAH-2007. Tartu, Estonia, S. 995-999.
- [10] Vermeulen, L.; van de Perre, V.; Permentier, L.; de Bie, S.; Verbeke, G. und Geers, R. (2015): Sound-levels above 85 dB pre-slaughter influence pork quality. In: Meat Science 100, S. 269-274.
- [11] Vermeulen, L.; van de Perre, V.; Permentier, L.; de Bie, S.; Verbeke, G. und Geers, R. (2015): Pre-slaughter handling and pork quality. In: Meat Science 100, S. 118-123.
- [12] Fottrell, P. (2009): Code of Practice for the welfare of Pigs. In: Farm Animal Welfare Advisory Council, Animal Health and Welfare Division, Agriculture House, S. 34.
- [13] Hall, S.J.G. und Bradshaw, R.H. (1998): Welfare aspects of the transport by road of sheep and pigs. In: Journal of Applied Animal Welfare Science, 1 (3), S. 235-254.
- [14] Steinkamp, K. (2012): Untersuchungen zur Belastung von Schweinen bei langen Transporten. Dissertation. Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek, Göttingen.
- [15] von Richthofen, I.B. (2003): Beobachtungen zum Verhalten von Schlachtrindern auf Ferntransporten. Dissertation. Tierärztliche Hochschule, Hannover.

## Die Zukunft des Operatorsystems in großen Traktoren: Ergebnisse internationaler Nutzerstudien

Susanne Frohriep<sup>1</sup> und Florian Schneider<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grammer AG, Amberg, Deutschland

E-Mail: [susanne.frohriep@grammer.com](mailto:susanne.frohriep@grammer.com)

Der Begriff „Operatorsystem“ bezeichnet das System von Bediener/in („Operator“) und Maschinenumgebung im Zusammenhang mit den relevanten, zu erfüllenden Aufgaben („Use Cases“). Es umschließt somit den Menschen sowie die unmittelbaren Kontaktstellen im Arbeitskontext, die Stellteile, Informationsanzeigen und den Sitz. Um den Kontext der sich verändernden Bedingungen in der modernen Landwirtschaft in seinen Auswirkungen zu erfassen, führte die GRAMMER AG im Jahr 2019 mit einem Usability-Partner eine internationale Studie durch. In dieser wurden Landwirte zunächst in ihren Arbeitsumgebungen befragt, um ihre Beobachtungen und Bedürfnisse zu erfassen. Dieser Input wurde in einem interdisziplinären Team mit Produktentwicklung, Kundenverantwortlichen, strategischer Planung, Design und Ergonomie bearbeitet und in ein Zukunftskonzept umgesetzt, das Fokusgruppen aus aktiven Landwirten zur Kommentierung und Bewertung vorgestellt wurde. In diesem Beitrag werden Vorgehensweise, Nutzergruppen und Relevanz für die Landwirtschaft der Zukunft vorgestellt.

**Stichworte:** Operatorsystem, Traktor der Zukunft, internationale Nutzerstudie

## Einleitung

Mit der steten Weiterentwicklung technischer Möglichkeiten der vergangenen Jahrzehnte hat auch die Anforderungskomplexität an Produkte im Agrarbereich kontinuierlich zugenommen. Die Aufgaben des Fahrersitzes als größtes Interface zwischen Fahrzeug und Operator veränderten und erweiterten sich infolgedessen ebenfalls [1, 2, 3]. Mit dem Entstehen von vielfältigen neuen Einstellmöglichkeiten des Sitzes, dem Hinzukommen von Multifunktionsarmlehnen zur Fahrzeugsteuerung und Informationsanzeigen zur Fahrzeugüberwachung bildete sich, in Verbindung mit der Kabinenumgebung, ein ganzheitliches Operatorsystem. Dieses muss die verschiedensten aktuellen Anwendungsfälle im Agraralltag (Use Cases) vor dem Hintergrund einer möglichst optimierten Leistungsfähigkeit abdecken können [4]. Dabei steht im Entwicklungsprozess des Operatorsystems stets der Mensch mit seinen individuellen Eigenschaften und Fähigkeiten im Fokus, um während der Aufgabenerledigung Leistungsfähigkeit und Komfort zu maximieren und die Gesunderhaltung zu gewährleisten [5]. Nutzerbedürfnisse und perspektivische Technologieoptionen sind die Basis für die Weiterentwicklung von Produkten, um sie kontinuierlich auf sich wandelnde Use Cases auszurichten.

Im Projekt „Zukunft des Operatorsystems“ ging es um die Fragestellung, ob es Ausstattungskomponenten oder Auslegungsvarianten gibt, die die Leistungsfähigkeit des Mensch-Maschine-Systems in der Applikation große Traktoren (>150PS) noch erhöhen können. Beispielsweise steigt durch den fortschreitenden Einsatz von Assistenzsystemen die Bewegungsfreiheit des Operators an [6]. Die Leistungsfähigkeit könnte beispielsweise durch schnelleres, ermüdungsärmeres oder fehlerfreieres Abarbeiten oder durch einen besseren *Flow* innerhalb des Arbeitsablaufes gesteigert werden [7]. Wenn dieses erreicht werden kann, steigert sich in Folge ebenfalls die Sicherheit bei der Arbeit.

## Grundlagen und Methoden

Der im Projekt gewonnene Nutzerinput soll als Basis für die Definition zukünftiger Produkte und Ausstattungsmöglichkeiten dienen, mit dem Ziel, die Leistungsfähigkeit des Operatorsystems in großen Traktoren zu optimieren. Voraussetzung dafür ist es, die Handlungsziele der Nutzergruppe im Anwendungskontext zu bestimmen und deren Wünsche und Erwartungen an das Produkt methodisch zu erfassen. Um die Unabhängigkeit der internationalen Nutzerstudie zu gewährleisten, wurde mit der Durchführung ein externer Dienstleister beauftragt. Das gemeinsam zwischen dem firmeninternen Team und dem externen Dienstleister durchgeführte Kickoff-Meeting diente der Zieldefinition des Projekts und der Spezifizierung der zu befragenden Nutzergruppe. In Nutzer-Kontextinterviews wurden Landwirte zunächst in ihren Arbeitsumgebungen befragt, um ihre Beobachtungen und Bedürfnisse zu erfassen. Auf Basis der ausgewerteten Ergebnisse wurde im weiteren Projektverlauf ein Entwicklungsworkshop zur Konsolidierung und Visualisierung von Konzepten und Tendenzen durchgeführt. Zwei Fokusgruppen aus Nutzern evaluierten anschließend die so erarbeiteten Ansätze, welche dann im firmeninternen Produktentwicklungsprozess nach DIN EN ISO 9241-210 [8] einfließen konnten.

Die bei GRAMMER unter dem Begriff Perceived Quality (wahrgenommene Qualität) stattfindende Produktentwicklung und -bewertung ist definiert als „eine positive Interaktion zwischen Nutzer und Produkt in allen relevanten Nutzungsfällen“. Ein Aspekt davon ist die Gebrauchstauglichkeit (Usability), die nach EN ISO 9241-11 wie folgt definiert ist: „Das Ausmaß, in dem ein Produkt durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um bestimmte Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen.“ [8, 9] Anhand verschiedener Bewertungsmethoden kann dieses geprüft und erfasst werden. In der Auslegung von Sitzen und ihren Stellteilen dienen beispielsweise die Parameter der Gebrauchstauglichkeit [EN ISO 9241-11] und die Kriterien der Interaktion nach Norman [10] dazu. Die Kompetenz zur Erfassung und Einordnung von Interaktionen mit den relevanten Produkten sowie die Bewertung von Innovationen bzw. Innovationspotenzialen waren für die Auswahl des externen Dienstleisters zur Durchführung der Studie maßgeblich bestimmend.

Als Teilnehmer der Studie wurden Personen definiert, die hauptberuflich in der Landwirtschaft tätig sind und im Alltag regelmäßig große Traktoren verwenden. Dabei sollte auch eine Variabilität hinsichtlich Alter und auftretender anthropometrischer Maße abgedeckt werden. Es wurde ebenfalls darauf geachtet, ein breites Hauptmaschinenspektrum zu berücksichtigen, um herstellerübergreifende Optimierungsbedürfnisse feststellen zu können (s. Abbildung 1). Weiterhin wurde vereinbart, mehrere Nationalitäten in die Studie einzubeziehen, um möglicherweise auftretende kulturelle Unterschiede aufzunehmen. Die Nutzergruppe setzte sich aus 15 Teilnehmern zusammen, die sich auf zwei europäische Länder aufteilten, hier Deutschland und Frankreich, und innerhalb dieser auf insgesamt vier Regionen (s. Abbildung 2).

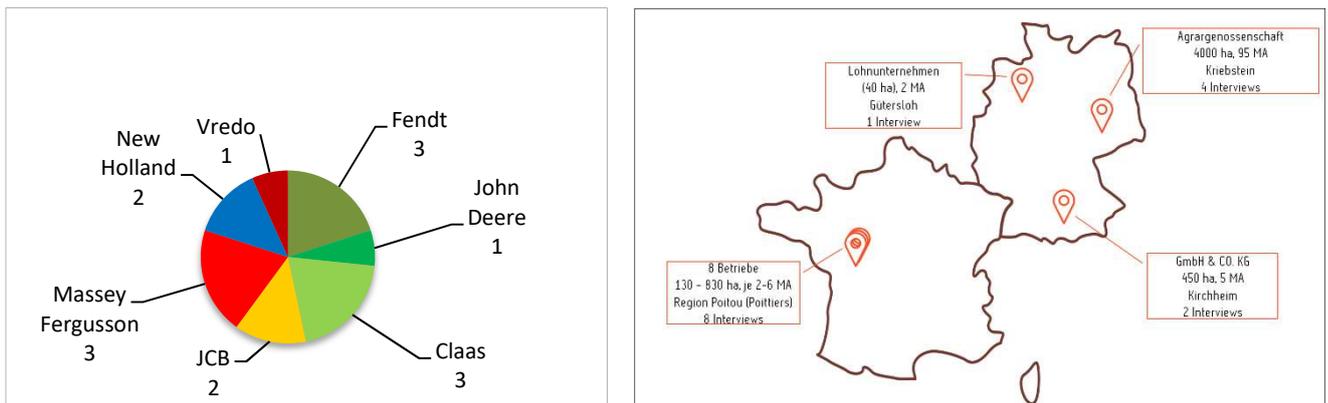


Abb. 1, 2: Verwendete Marken der Studienteilnehmer; Orte der durchgeführten Befragungen.

## Kontextinterviews

Die Untersuchungen fanden in Form eines teilstandardisierten Experteninterviews vor Ort auf den jeweiligen Höfen während unterschiedlichster Arbeitssituationen statt. Die Kontextinterviews wurden immer vor Ort durchgeführt, um die Nutzer in ihrer gewohnten Arbeitsumgebung beobachten und interviewen zu können. Dabei wurde eine möglichst angenehme Atmosphäre geschaffen, um die Nutzer zum freien Reden zu den unterschiedlichen Themen anzuregen. Nach einer Begrüßung und Aufklärung über die Studieninhalte wurden zunächst die personenbezogenen Daten erfasst, um den Gesprächseinstieg für die Nutzer zu erleichtern. Mit dem Ziel die Interviewergebnisse besser einordnen zu können wurden anschließend Produktinformationen bzgl. der Hauptmaschine und -tätigkeiten abgefragt. Die darauffolgenden Leitthemen der Kontextinterviews während verschiedener Situationen gliederten sich in sechs inhaltliche Bereiche:

- 1) Umgebungsfaktoren
- 2) Arbeitsvorgänge
- 3) Fahrzeuginbetriebnahme
- 4) Fahren
- 5) Funktionen und Anbaugeräte
- 6) Use Cases

Spezifisch bewertete Anwendungsfälle waren dabei: Beobachten des Vorfeldes mit aufrechter Haltung, Pflügen mit Sicht auf den Pflug, Ernte über unterschiedliche Untergründe transportieren, in besonders rauem Terrain fahren und Datenmanagement verwenden. Die dabei aggregierten Informationen wurden kategorisiert und ausgewertet. Diese inhaltlichen und grafisch umgesetzten Ergebnisse wurden zum einen als Grundlage für die Definition zukünftiger Produkte und zum anderen als Vorlage für die im weiteren Verlauf der internationalen Nutzerstudie stattfindende Fokusgruppenarbeit genutzt.

In Deutschland wurden sieben Nutzer von drei Agrarunternehmen aus drei unterschiedlichen Regionen befragt. Diese waren im Durchschnitt 37,29 Jahre alt, 1,76 m groß und 89,57 kg schwer. Nach eigenen Angaben hatten sie eine mittlere Fahrerfahrung mit Traktoren von 22,86 Jahren und eine durchschnittliche Fahrleistung von 1628,57 Stunden pro Jahr. Sechs Nutzer waren zu dem Zeitpunkt der Erhebung in einem Angestelltenverhältnis, ein Nutzer war Inhaber (Tabelle 1). Die bewirtschaftete Fläche der Betriebe betrug 40 – 4000 ha, womit sowohl Klein- als auch Großbetriebe Berücksichtigung fanden. Dabei wurde Ackerbau von allen drei Betrieben als Schwerpunkt angegeben. Grünland und Transport waren für zwei Betriebe weitere Arbeitsschwerpunkte.

Tabelle 1: Tabellarische Übersicht der Nutzerinformationen (Deutschland)

	Alter [J.]	Größe [m]	Gewicht [kg]	Fahrerfahrung Traktor [J.]	Fahrleistung [h/Jahr]	Position
	20	1,77	64	4	2000	Inhaber
	30	1,82	88	16	2200	Angestellter
	30	1,90	120	20	1200	Angestellter
	35	1,65	95	20	1000	Angestellter
	37	1,79	80	21	2000	Angestellter
	50	1,70	90	36	1000	Angestellter
	59	1,70	90	43	2000	Angestellter
<b>MW</b>	<b>37,29</b>	<b>1,76</b>	<b>89,57</b>	<b>22,86</b>	<b>1628,57</b>	
<b>SD</b>	<b>12,21</b>	<b>0,08</b>	<b>15,60</b>	<b>11,96</b>	<b>494,87</b>	

In Frankreich wurden acht Nutzer von acht Agrarunternehmen aus der Region Poitou interviewt. Diese waren im Durchschnitt 42,50 Jahre alt, 1,78 m groß und 84,88 kg schwer. Nach eigenen Angaben hatten sie eine mittlere Fahrerfahrung mit Traktoren von 29,38 Jahren und eine durchschnittliche Fahrleistung von 1100,00 Stunden pro Jahr. Alle acht Nutzer waren zu dem Zeitpunkt der Erhebung Inhaber eines landwirtschaftlichen Unternehmens (Tabelle 2). Die bewirtschaftete Fläche der Unternehmen betrug 130 – 830 ha. Dabei wurde Ackerbau von allen acht Betrieben als Fokus angegeben. Grünlandwirtschaft war für vier Betriebe ein weiterer Schwerpunkt, wohingegen Serviceleistungen wie bspw. Schneid- und Mäharbeiten lediglich von zwei Höfen angeboten wurden.

Tabelle 2: Tabellarische Übersicht der Nutzerinformationen (Frankreich)

	Alter [J.]	Größe [m]	Gewicht [kg]	Fahrerfahrung Traktor [J.]	Fahrleistung [h/Jahr]	Position
	28	1,80	82	13	1500	Inhaber
	33	1,68	66	20	1000	Inhaber
	38	1,80	84	28	1000	Inhaber
	39	1,78	85	29	1800	Inhaber
	41	1,80	92	27	600	Inhaber
	48	1,71	85	38	800	Inhaber
	55	1,83	95	35	900	Inhaber
	58	1,83	90	45	1200	Inhaber
<b>MW</b>	<b>42,50</b>	<b>1,78</b>	<b>84,88</b>	<b>29,38</b>	<b>1100,00</b>	
<b>SD</b>	<b>9,76</b>	<b>0,05</b>	<b>8,25</b>	<b>9,45</b>	<b>364,01</b>	

Die Arbeitsabläufe waren zwischen Deutschland und Frankreich sehr vergleichbar. Nach einer kurzen Besprechung bzgl. der Tagesplanung in Deutschland ging es in beiden Ländern zu den meist wegen Diebstahlschutz in Hallen abgestellten landwirtschaftlichen Maschinen. Nach der Abfahrtskontrolle, bestehend aus der Kontrolle verschiedener Füllstände für Kraftstoffe / Öle, der Sichtprüfung auf Beschädigungen am

Traktor / Anbaugeräten und der Beleuchtung, ging es nach dem Ankuppeln des Anbaugerätes (v. a. in Frankreich) zum Arbeitseinsatz. Dieser bestand hauptsächlich aus der Bodenbearbeitung und -pflege, der Saat und Transportfahrten.

Die Anfahrtswege mit der Maschine zu den Arbeitsorten betragen in der Regel zwischen 2 und 10 km und nur in Ausnahmefällen in Deutschland bis zu 50 km. Häufige Ortsdurchfahrten und schmale Nebenverkehrsstraßen, welche teilweise in schlechtem Zustand waren, stellten dabei erhöhte Belastungsfaktoren dar. Die aufkommenden Arbeitsschichten wurden in Frankreich mit einer Dauer von 8 Std. und in Deutschland mit einer Dauer von 8 bis 12 Stunden angegeben, was einen deutlichen Unterschied darstellt. Inwiefern diese Werte im täglichen Geschäft erreicht bzw. überschritten werden und bei dieser Befragung abgebildet wurden, lässt sich auf Grund der vorliegenden qualitativen Erhebung nicht abschätzen. Die anfallenden Arbeiten wurden, um die Bodenbelastung möglichst gering zu halten, lediglich bei guten Witterungsbedingungen durchgeführt, wobei der Anteil von Nacharbeit vor allem in Deutschland bis zu einem Drittel betrug. Auch wenn die Wetterverhältnisse während der Arbeitsausführung meistens gut waren, stellte die Verschmutzung in der Kabine vor allem durch Staub ein generelles Problem dar, weil ein häufiges Ein- und Aussteigen für das Durchführen der Arbeitstätigkeiten notwendig war.

In beiden Ländern wurde die Müdigkeit bis hin zum Sekundenschlaf in Folge von anstrengenden Arbeitstagen oder monotonen Abläufen als Handlungsaufforderung gesehen. Gesundheitsprobleme vor allem des Rückens und der Hüfte waren wie auch bei anderen Berufskraftfahrergruppen sehr verbreitet und verdeutlichten die Bedeutung des Sitzes als Präventionsmöglichkeit [11]. Als zentrale Themenbereiche stellten sich somit Sicht unter wechselnden Lichtverhältnissen, Innenraumgestaltung und -ausstattung, der Sitz in seinen Funktionen Positionierung, Dämpfung, Komforterlebnis, und die Multifunktionsarmlehne heraus. Als besonders wichtig wurden weiterhin die Dämpfung von Schwingungen und das Isolationsverhalten des Sitzes gesehen. Insgesamt entstanden stärkere Unterschiede durch Anwendungsfall und Maschine als durch die Nationalität der Nutzer.

## Fokusgruppen

Die Ergebnisse aus den Nutzerbefragungen auf ihren Höfen wurden in einem interdisziplinären Team mit Produktentwicklung, Kundenverantwortlichen, strategischer Planung, Design und Ergonomie in einem Workshop mit dem externen Forschungspartner bearbeitet, textlich beschrieben und durch Scribbles visualisiert (s. Abb. 3, 4). Die Einzelpunkte wurden in ein ganzheitliches Zukunftskonzept umgesetzt, durch das der Tagesablauf eines Traktorfahrers im Jahr 2030 beschrieben wurde.

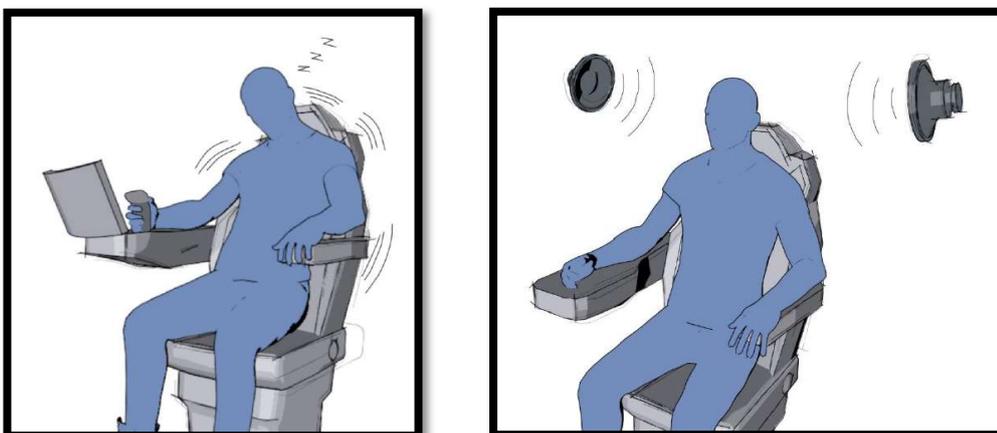


Abb. 3, 4: Visualisierungen zu den Themen Haptic Warning und Akustikmanagement.

Die visualisierten Ideen wurden im Kontext des erarbeiteten Zukunftskonzeptes zwei Fokusgruppen zur Diskussion und Bewertung vorgestellt. Fokusgruppe 1 bestand aus drei selbständigen Landwirten, einem angestellten Fahrer und einem Lohnunternehmer, die Fendt, Steyr und Case Maschinen verwendeten. Diese Gruppe war eher aufgeschlossen und technikaffin. Fokusgruppe 2 bestand aus fünf angestellten Fahrern, die John Deere, New Holland und Fendt Maschinen verwendeten. Gruppe 2 war eher pragmatisch und konservativ-traditionell orientiert.

Die Konzepte wurden detailliert vorgestellt und es wurden, der Diskussion vorgeschaltet, zunächst auf den ersten Eindruck hin individuelle Favoriten durch die Teilnehmer der Fokusgruppen ausgewählt. Nach einer gemeinsamen Diskussionsrunde wurden die Ideen mittels eines Bewertungsbogens gezielt beurteilt. Dabei wurde unterschieden, wie gut das jeweilige Konzept den Fahrern gefiel (Affinität), und wie wichtig sie es für eine mögliche Leistungssteigerung fanden (Relevanz).

Von beiden Gruppen sowohl in Relevanz als auch in Affinität hoch eingeschätzt wurden Konzepte zur Zentralisierung der Bedienung des Fahrzeugs mit seinen Implementen und mitgeführten Devices (Smartphone, Tablet) sowie clevere und multifunktionale Stausysteme für diverse Gegenstände. Zentral für sicheres und leistungsstärkeres Fahren wurden auch viele Ausstattungsmerkmale eingeschätzt, die im Automobil bereits Verwendung finden, wie haptische Warnung, Bewegungs- und Massagesysteme, und Akustikmanagement. Als nicht explizite, darunterliegende Bedürfnisse waren die Gesunderhaltung des Fahrers durch präventive Maßnahmen und gehobenere Formgestaltung des Interieurs festzustellen. Weit in die Zukunft reichende Konzepte wie robotische Unterstützung oder virtuelle Assistenten wurden zwar von der technikaffinen Gruppe etwas höher bewertet, blieben aber sowohl für Relevanz als auch für Affinität insgesamt am unteren Ende der Bewertungsskala.

## Relevanz der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Nutzerbefragungen und der Bewertung durch Fokusgruppen haben Aspekte identifiziert, die durch Produktweiterentwicklung die Leistungsfähigkeit des Mensch-Maschine-Systems bei Verwendung großer Traktoren noch erhöhen können. Die befragten Nutzer erwarten, dass durch Ausstattungskomponenten und Auslegungsvarianten schnelleres, ermüdungsärmeres und fehlerfreieres Abarbeiten ermöglicht werden können. Es wird damit gerechnet, dass dadurch die Produktivität, Gesundheit und Sicherheit bei der Arbeit positiv beeinflusst wird.

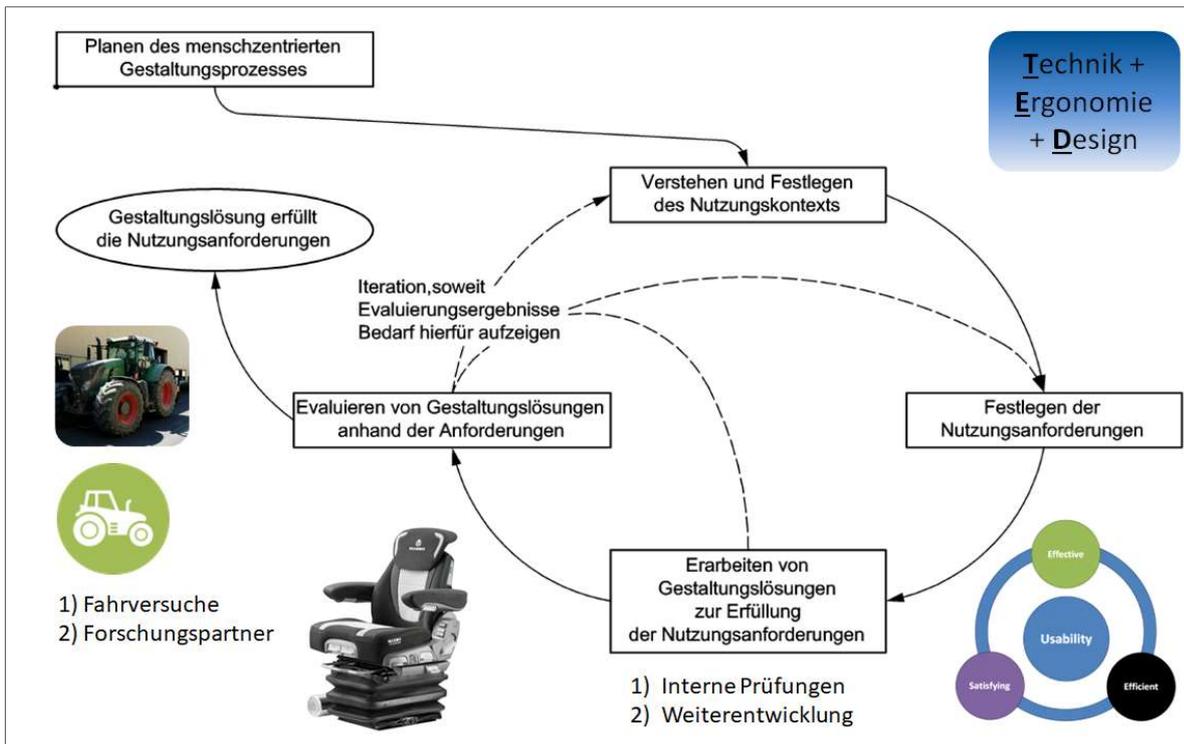


Abb. 5: Usability-Prozess in der GRAMMER-Produktentwicklung am Beispiel Operatorsystem.

Diese Ergebnisse gehen als Nutzeranforderungen in die Lastenhefte der GRAMMER-Produktentwicklung ein und werden bei der Auslegung der Konzepte berücksichtigt. Die Basis der Produktentwicklung stellen somit die Nutzer dar, durch welche erarbeitete Gestaltungslösungen wiederum bewertet werden, um dem Markt abgesicherte, den Nutzerbedürfnissen entsprechende Produkte anbieten zu können.

## Literatur

- [1] Frohriep, S. (2019), "A Holistic Approach to Operator System Comfort," In: S. Bagnera et al. (Eds.): *Psychophysiology in Ergonomics*. IEA 2018, AISC 827, pp. 258-267
- [2] Boving, M. (2017), „Best Practices User Experience GUX™ – The Operating Concept behind the Operator System,” In: 3. VDI-Fachkonferenz HMI und unterstützende Systeme in mobilen Arbeitsmaschinen. Ulm, 06.-07. Dezember. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- [3] Frohriep, S. & F. Schneider (2019), "Haptische Warnung für Gabelstapler zur Sicherheitssteigerung und Fahrerentlastung“, In: 20. VDI-Flurförderzeugtagung. Baden-Baden, 10.-11. September. Düsseldorf: VDI-Verlag. Und In: *Grammer Innovations News*, Intranet, 29.10.2019.
- [4] Krivenkov, K. & S. Frohriep (2017), „Konfiguration von Nutzfahrzeugsitzen über ihre Eigenschaften“ In: 19. VDI-Flurförderzeugtagung. Baden-Baden, 19.-20. September. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- [5] Frohriep, S. (2018), "Perceived Quality als Leitbild in der Entwicklung von Operatorsystemen," Tagungsband 21. Arbeitswissenschaftliches Kolloquium, Wieselburg, S. 215 – 221
- [6] Boving, M. & S. Frohriep (2019), "PROJECT PURE - THE FREEDOM TO MOVE. Automotive Interior Equipment of the Future 2035," Proceedings 2<sup>nd</sup> International Comfort Congress, August 29-30, Delft.
- [7] Reeps, I.E. (2004), *Joy-of-Use – eine neue Qualität für interaktive Produkte*, Masterarbeit, FB Informatik und Informationswissenschaft, Universität Konstanz.
- [8] DIN (1999), „Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten, Teil 11: Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit – Leitsätze," DIN EN ISO 9241-11, Deutsches Institut für Normung, Berlin.
- [9] Schneider, F. (2019), „Usability Research in Commercial Vehicle Applications," Proceedings 14th IQPC Innovative Seating Conference, 18.-21.02.2019, Düsseldorf.
- [10] Norman, D. (2013), *The Design of Everyday Things*. Basic Books, New York.
- [11] Frohriep, S. (2018), „Seats and Spine Health," Proceedings 13th IQPC Innovative Seating Conference, 19.-22.02.2018, Düsseldorf.