



23. Arbeitswissenschaftliches Kolloquium



Arbeit unter einem D-A-CH: Der Landwirt im 4.0-Modus

8./9. März 2022
Potsdam



Herausgeber:

Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V.

Max-Eyth-Allee 100

D-14469 Potsdam

Tel.: (0331)-5699-0

E-mail: atb@atb-potsdam.de

Internet: <http://www.atb-potsdam.de>

März 2022

Redaktion:

Dr. Martina Jakob

Typografische Gestaltung:

Beate Spehr

Für den Inhalt der Beiträge zeichnen die Autoren verantwortlich.

Eine Weiterveröffentlichung von Teilen ist nur unter Quellenangabe und mit Zustimmung der Herausgeber möglich.

Inhalt

Anmerkungen zur Geschichte der Arbeitswissenschaft im Landbau <i>Jürgen Hahn</i>	5
4.0 Modus für die Landwirtschaft – Strukturierung, Differenzierung und Anforderung <i>Heinz Bernhardt, Reiner Brunsch, Eduardo Colangelo, Andreas Herrmann, Jan Horstmann, Martin Kraft, Johannes Marquering, Thilo Steckel, Heiko Tapken, Cornelia Weltzien, Clemens Westerkamp</i>	13
Entwicklung der landwirtschaftlichen Arbeitswissenschaft im Kontext der fortschreitenden Digitalisierung <i>Dr. Saskia Hohagen, Dr. Thilo Steckel</i>	18
Einfluss neuer Technologien in der Landwirtschaft auf die Arbeitssicherheit und den Gesundheitsschutz – EU OSHA Expertengutachten <i>Dr. Martina Jakob</i>	25
Technikfolgenabschätzung von Gartenbau 4.0-Innovationen im Vernetzungs- und Transfervorhaben HortiCo 4.0 <i>Sabine Ludwig-Ohm, Marike Isaak, Walter Dirksmeyer</i>	32
Einsatz von passiven Exoskeletten im Obst- und Gemüsebau – Eine Pilotstudie <i>Fabian Frixen</i>	43
Von manuell bis automatisch – Die Bandbreite des Mechanisierungsgrades am Beispiel der Schweizer Rindviehhaltung <i>Michael Mielewczik, Katja Heitkämper, Giulia Bianca Bozzolini, Tanja Groher, Christina Umstätter</i>	63
Entwicklung einer adaptiven Benutzerschnittstelle zur Optimierung des kognitiven Benutzerzustands <i>M.Sc. Steffen Metzger, M.Sc. Patrick Lehr, M.Sc. Valentin Ernst, Prof. Dr.-Ing. Marcus Geimer</i>	79
aISA 2.0 – Adaptive Interfacesysteme in Ackerschleppern 2.0 <i>Marcel Racs, Andreas Kaufmann, Arwid Meiners, Thomas Maier</i>	91
Landwirtschaft im Jahr 2045 – Modulares Zukunftskonzept Landmaschine und Kabine <i>Susanne Frohriep, Sebastian Bopp</i>	102
Tägliche manuelle Fütterungstätigkeiten bei Einsatz mobiler Fütterungsroboter in kleinstrukturierter Milchviehhaltung <i>Elisabeth Quendler, Caroline Leitner</i>	115

Arbeiten mit digitalen Technologien – Eine Fallstudie am Beispiel von sensor- und kameragesteuertem Hacken im Gemüsebau <i>Saskia Glück, Katja Heitkämper</i>	122
Zur Einbindung des Waidwerks in cyber-physische Systeme der Agrar- und Forstwirtschaft – Online-Studie unter Jäger*innen <i>Prof. Dr.-Ing. Dr. rer. medic. Peter Rasche</i>	132
Arbeitszeitbedarf und Arbeitserledigungskosten eines teilautonomen Feldroboters für die Saat und das Hacken von Biozuckerrüben <i>Moritz Jungwirth, Franz Handler</i>	147
Ablaufbedingte Wartezeit in komplexen transportverbundenen Arbeitsverfahren am Beispiel Mähdrusch <i>Dipl.-Ing. Winfried Fechner, Dr. agr. Norbert Uebe</i>	158
Framework zur Abschätzung von Wegstrecken beim Einsatz von Feld- und Schwarmrobotern am Beispiel der Ernte <i>Michael Mielewczik, Katja Heitkämper</i>	169

Anmerkungen zur Geschichte der Arbeitswissenschaft im Landbau

Notes on the history of work science in agriculture

Jürgen Hahn, Berlin

E-Mail: j.hahn@hu-berlin.de

Zusammenfassung

Die Arbeitswissenschaft hat im großen Wissensgebäude der Agrarwissenschaften seit etwa 100 Jahren ihren Platz. Ihre Ursprünge und Wechselwirkungen sind äußerst vielfältig, disziplinäre Abgrenzung häufig kaum möglich. Die Zukunft ist auch hier digital.

Künftige Herausforderungen lassen sich besser verstehen, wenn wir uns mit dem Wirken derjenigen Persönlichkeiten auseinandersetzen, die sich seither um die Ausgestaltung und Weiterentwicklung dieser Disziplin gekümmert haben.

Deskriptoren: Arbeitswissenschaft, Agrarwissenschaften, Technikgeschichte, Digitalisierung

Abstract

Work science has had its place in the large knowledge building of agricultural sciences for about 100 years. Its origins and interactions are extremely diverse; disciplinary delimitation is often hardly possible. Here, too, the future is digital.

Future challenges can be better understood if we look at the work of those personalities who have been involved in shaping and developing this discipline since then.

Keywords: *Work science, agricultural sciences, history of technology, digitalization*

1 Zugang

Zu Recht wird beklagt, dass der Arbeitswissenschaft zu wenig Raum in Forschung und Lehre beigemessen wird. Gerade im landwirtschaftlichen Segment kamen die Impulse zur Weiterentwicklung dieser Disziplin nicht selten aus der „wissenschaftlichen Nachbarschaft“. Voller Hochachtung als „Bauernprofessoren“ titulierte Landtechniker sind dabei besonders zu nennen.

Carl Heinrich Dencker (1900–1967) trennte sich in der Nachfolge Fischers in Berlin von etlichen Bereichen der klassischen Landmaschinentechnik und überließ sie den Spezialisten, so die Werkstoffforschung und die Schlepperprüfung. Er nutzte die gewonnenen

Freiräume, um sich noch mehr der Erleichterung der Landarbeit zuzuwenden [Hahn, 2005]. Das trug ihm, dem großen Landtechniker, prompt einen Platz unter den Protagonisten der Arbeitswissenschaft ein. Die Grenzen sind eben fließend. Womit keineswegs die Eigenständigkeit der Arbeitslehre als Wissenschaftsdisziplin infrage gestellt sei. Schon der Methodenfundus schafft da Klarheit.

Memo 1: *Es gab auch Wissenschaft vor Google. Es lohnt ein unverstellter Blick auf die Ursprünge der Arbeitswissenschaft und eine fortgesetzte Digitalisierung alter Schätze aus dieser Zeit.*

2 Ursprünge und wissenschaftliche Ansätze

Das weitgespannte Themenfeld dieses Kolloquiums bestätigt die Vielfalt der Arbeitsbereiche. Unzählige Einflüsse aus den Segmenten der Agrar-, Technik- und Wirtschaftswissenschaften, sogar der Medizin und der Psychologie sind zur Wirkung gekommen, bevor sich am Anfang des vorigen Jahrhunderts ein klareres Bild der Arbeitswissenschaft in der Landwirtschaft herausbildete. Von Berufeneren ist dies ausführlich beschrieben und auch lehrwirksam gemacht worden [Auernhammer, 1986], [Schick, 2019]. Der Autor weiß um seinen Platz „outside the box“ und erlaubt sich dennoch einige Anmerkungen.

Seedorf (1881–1952), Ries (1891–1974), Preuschen (1908–2005) und Hammer (1927–2020) werden unter den Vordenkern am häufigsten zitiert. Worauf konnten sie aufbauen? Was haben sie hinterlassen? Wessen Beiträge wurden eventuell übersehen?

Taylors Scientific Management, wenn auch inzwischen vielfach kritisch hinterfragt, gehört zweifellos zu den Grundbausteinen der Arbeitswissenschaft. Es wurde allerdings sehr bald deutlich, dass die Normierung der Arbeitstätigkeit nur ein erster Schritt sein konnte. Weit aus weiter greift der auf Johann Beckmann (1739–1811) und Albrecht Daniel Thaer (1752–1828) zurückgehende technologische Ansatz. Praktische Erfahrungen der Gewerbe und Ergebnisse der naturwissenschaftlichen Forschung waren die Grundlagen für das ab 1770 von J. Beckmann an der Universität Göttingen eingeführte Lehrgebiet Technologie. Thaer wiederum betonte die Besonderheiten der Produktion mit lebenden Organismen und leitete daraus die Notwendigkeit ab, für die Landwirtschaft auch Arbeitsmethoden der fortgeschrittenen Industrie zu übernehmen. Seine Grundsätze der rationellen Landwirtschaft waren durch eine Ganzheitsbetrachtung gekennzeichnet, die zielbestimmt war und auf eine organische Verbindung aller Elemente des Produktionsprozesses zum Zwecke des höchstmöglichen Gewinns orientierte [Müller, 1989]. Indem beide, Beckmann und Thaer, mit Nachdruck eine Wechselwirkung zwischen den Wissenschaftsdisziplinen beförderten, erwiesen sie sich als visionäre Wegbereiter für einen Systemansatz, der von der Arbeitswissenschaft im 20. Jahrhundert aufgenommen und von Auernhammer (1986) zu Regelkreisen in komplexen Mensch-Maschine-Systemen wei-

terentwickelt wurde. Der Autor hat vor vier Jahrzehnten ganz bewusst den technologischen Zugang gewählt, als er zur Kategorie Zeit in technologischen Prozessen habilitierte [Hahn, 1984].

***Memo 2:** Die Arbeitswissenschaft verlangt geradezu nach einer holistischen Betrachtungsweise. Mechanistisches Denken verbietet sich, sobald es um die Produktion mit lebenden Organismen geht.*

3 Ries und die anderen

Einen weitgehend „blinden Fleck“ in der Geschichtsschreibung der landwirtschaftlichen Arbeitswissenschaft in Deutschland gibt es offenbar bei Georg Derlitzki (1889–1958), obwohl er durchaus als deren Nestor bezeichnet werden könnte. So hat wohl jeder, der sich mit der Zuckerrübenernte befasst, etwas vom „Pommritzer Verfahren“ gehört. Dass dieses aber, wie unzählige weitere Lösungen zur Rationalisierung der Landarbeit, auf Derlitzki zurückgeht, ist kaum noch überliefert. Neben Würdigungen in sächsischen Heimatvereinen fand sich in jüngerer Zeit lediglich ein aus der Familie heraus initiiertes Diskussionspapier aus Halle. [Derlitzki, R., 2004]. Dieser Aufsatz möge dazu beitragen, eine Lücke zu füllen.

Der berufliche Start von Georg Derlitzki fiel in den Ersten Weltkrieg. Als Assistent am Landwirtschaftlichen Institut in Gießen und Leiter der Maschinenprüfstelle Hessen wurde der gebürtige Sachse bereits 1915 mit Vorlesungen betraut und erhielt 1917 den Lehrauftrag für Pflanzenbau.

Impulsgebend für ihn und viele andere war sicher Wilhelm Seedorfs (1881–1984) berühmter Vortrag von 1919 „Die Vervollkommnung der Landarbeit und die bessere Ausbildung der Landarbeiter unter besonderer Berücksichtigung des Taylor-Systems“. Möglicherweise war dies überhaupt die Geburtsstunde der neuen Disziplin Landarbeitslehre. Seedorf vertrat sie fortan in Göttingen erstmalig mit einer eigenen Vorlesung.

Auch in Sachsen entschloss man sich im Jahre 1919 zur Gründung eines Forschungsinstitutes für Landarbeit. Der Anspruch war hoch, ging es doch darum, „... das Gebiet der landwirtschaftlichen Betriebslehre unter ganz besonderer Betonung der Landarbeitslehre einschließlich des landwirtschaftlichen Maschinenwesens wissenschaftlich zu bearbeiten“ [Nauck, 1964]. Jedoch: die Wissenschaftsdisziplin Landarbeitslehre steckte noch in den Kinderschuhen; Forscher mit einschlägiger Expertise zur Leitung eines solchen Instituts gab es nicht. So bezeichnete es Ludwig Wilhelm Ries etliche Jahre später als „... Wagnis für den damals 30-jährigen Gießener Privatdozenten Georg Derlitzki, die auf ihn gefallene Wahl anzunehmen“. Ries hob aber in derselben Laudatio mit außerordentlicher Hochachtung hervor, dass es Derlitzki sehr schnell gelungen sei, die bereits seit 1864 bestehende Landwirtschaftliche Versuchsstation Pommritz zu einem Großinstitut mit Weltgeltung auszubauen, in dem „... neben der Arbeitstechnik im engeren Sinne auch

arbeitspsychologische, vor allem aber arbeitsphysiologische Fragen“ behandelt wurden [Ries, 1954]. 1931 waren 12 Akademiker, 18 Beamte und Angestellte und ca. 100 landwirtschaftliche und technische Angestellte in der Forschungsanstalt, den Werkstätten und den zugehörigen Landwirtschaftsbetrieben tätig. Ihr Direktor, Prof. Dr. Georg Derlitzki, genoss auch als Mitglied hochrangiger internationaler Gremien höchste Anerkennung, so als Vorsitzender des Ausschusses für Landarbeitsforschung des Internationalen Agrarinstitutes in Rom (seit 1927) sowie als Referatsleiter in der Sektion für Arbeitshygiene des Völkerbundes (ab 1932).

In der Zeit der Naziherrschaft verhielt sich Derlitzki nonkonform, ging auf Distanz zur Blut- und Bodenideologie der Nationalsozialisten und lehnte es ab, NSDAP-Mitglied zu werden. Er und neun weitere Mitarbeiter der Versuchsanstalt wurden 1934 willkürlich gekündigt, das Institut in eine der Partei genehme Versuchsanstalt für bäuerliche Werkarbeit und Erbhofbewirtschaftung umgewandelt. Derlitzki zog sich auf seinen Bauernhof, den Luisenhof bei Kamenz zurück. Seiner Landarbeitslehre ist er aber auch dort treu geblieben, forschte und publizierte mit Unterstützung des RKTL weiter.

In Pommritz gab es nach Kriegsende keinen arbeitswissenschaftlichen Neustart. Für Derlitzki war das „verbrannter Boden“. Der Betrieb wurde zum „Volkseigenen Gut“. Derlitzki schlug vor, die neue Forschungsstätte für Arbeitslehre in der Nähe der Universität Leipzig einzurichten (Gundorf). Sehr spät, erst 1950 erhielt er selbst einen Lehrauftrag an der Universität Halle-Wittenberg. Zuvor war er nach falschen Denunziationen in Untersuchungshaft geraten und wurde erst 1949 rehabilitiert. Die Partei misstraute dem bürgerlichen Gelehrten, der seine kritische Position zur SED nicht verschwieg. Zwischen seiner Berufung zum Professor und der Emeritierung 1955 blieben ihm ganze drei Jahre. Georg Derlitzki verstarb 1958, 69-jährig.

Wesentlich geschmeidiger verlief dagegen der wissenschaftliche Lebenslauf von Gerhardt Preuschen (1908–2004). Als frisch diplomierter Landwirt übernahm er ab 1932 Beratungsaufgaben im Osten Deutschlands und wurde 1935 an der Landwirtschaftlichen Hochschule Berlin mit einer Arbeit zur Landtechnik unter ostdeutschen Betriebsverhältnissen promoviert. Nachdem er 1933 der SS und 1937 der NSDAP beigetreten war, fiel ihm 1940 die Gründung des Instituts für Landwirtschaftliche Arbeitswissenschaft der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften in Breslau zu. Das Institut wurde 1945 kriegsbedingt ins niedersächsische Imbshausen verlegt und 1948 als Institut für Landarbeit und Landtechnik Bad Kreuznach in die Max-Planck-Gesellschaft übernommen. Dieses Institut leitete Preuschen bis zu seiner Emeritierung 1976; dann wurde es geschlossen. Ab 1956 war er auch außerplanmäßiger Professor an der Landwirtschaftlichen Hochschule Hohenheim. Nach seiner Emeritierung war er vor allem auf den Gebieten Ökologischer Landbau und Weinbau wissenschaftlich und publizistisch tätig.

Memo 3: Den Werdegang von Preuschen mit dem von Derlitzki kritisch zu vergleichen legt nahe, über die Haltung des Wissenschaftlers in Zeiten politischer Spannungen und Umbrüche nachzudenken.

Deutlich später als in Göttingen und Pommritz wandte man sich in Berlin und Bornim dem „neuen Wissensgebiet Landarbeitslehre“ zu. Hier in Bornim kommt man Ludwig Wilhelm Ries (1891–1974) am nächsten: Von 1927 bis 1941 war er Direktor der Preußischen Versuchs- und Forschungsanstalt für Landarbeit Potsdam-Bornim, die man nach heutigem Sprachgebrauch als An-Institut der Landwirtschaftlichen Hochschule Berlin ansehen kann. Nachdem Friedrich Aereboe als Berliner Ordinarius für Betriebslehre diese Forschungsanstalt im Jahre 1927 eröffnete, begründete Gustav Fischer als Direktor des Berliner Instituts für landwirtschaftliche Maschinenkunde im Folgejahr hier das Schlepperprüffeld. Ries, der 1927 auch Honorarprofessor für Landarbeitslehre in Berlin wurde, wird später die „14 Bornimer Jahre“ als seine produktivsten bezeichnen. Die auf allen Gebieten der Landwirtschaft stürmisch einsetzende Technikentwicklung benötigte wissenschaftliche Vorleistungen und Begleitung durch die Landarbeits- und Technikwissenschaften. Ries einerseits sowie Dencker und Meyer andererseits ergänzten einander bestmöglich. Gerade bei den Anforderungen an neu zu entwickelnde Maschinen und bei der Abschätzung der zu erwartenden Wirtschaftlichkeit im landwirtschaftlichen Betrieb wurde Neuland betreten. Immerhin war es die Zeit der Ablösung tierischer Zugkräfte durch Kleinschlepper als bahnbrechende Neuerung auf deutschen Feldern [Müller, 1995]. Dem mittlerweile entstandenen „Wildwuchs“ im Schlepperbau sollte mit der RKTU-Bauernschlepperprüfung von 1937/38 begegnet werden. Die lange verschollen geglaubten Prüfprotokolle der Vergleichsprüfung wurden erst kürzlich als Beitrag zur Bornimer Technikgeschichte digitalisiert, kommentiert und für die Fachöffentlichkeit zugänglich gemacht [Hahn, 2020].

Als beispielgebend kann auch heute noch Ries' wissenschaftlicher Eigenanspruch gelten: Man möge aus der Fülle der Erkenntnisse allgemeingültige wissenschaftliche Grundsätze entwickeln, um daraus gültige Wissenschaft zu prägen. Sein Werk „Leistung und Lohn in der Landarbeit“ erschien bis 1928 in drei Auflagen. Als bedeutendste der von ihm verfassten Schriften gilt sicher das 1942 erstmals erschienene Standardwerk „Die Arbeit in der Landwirtschaft, Grundlagen und Grundsätze der Arbeitstechnik und Arbeitswirtschaft des landwirtschaftlichen Betriebes“, dessen dritte Auflage im Jahre 1956 gemeinsam mit Gerhardt Preuschen herausgegeben wurde.

Einflussreichster Wegbegleiter Preuschens in Bad Kreuznach war Wilfried Hammer (1927–2020). Noch ergiebiger als hier war dessen spätere Tätigkeit in Braunschweig. Seine Forschungsergebnisse zu Tierhaltungsverfahren flossen in umfassende arbeitswissenschaftliche Analysen und Schlussfolgerungen ein. Exakt definierte Arbeitsversuche zielten auf die Ableitung allgemein anwendbarer Standards. Seine Arbeitszeitmodelle waren später unverzichtbare Grundlagen von digitalen Modellen und für Folgearbeiten in Weihenstephan, Darmstadt und Tänikon [Auernhammer; 2020].

Neben mehr als 200 wissenschaftlichen Publikationen hinterlässt Hammer mit dem „Wörterbuch der Arbeitswissenschaft: Begriffe und Definitionen“ ein überaus wertvolles Standardwerk im Range eines Thesaurus, aus dem die Wissenschaftsdisziplin maßgeblich ihr Profil ableitet. Über 1600 Begriffe aus allen Gebieten der Arbeitswissenschaft sowie der

ergonomischen Arbeitsgestaltung und der Betriebsorganisation sind darin definiert. Die Bedeutung des Werkes wird auch durch seine Übersetzung in die wissenschaftlichen Weltsprachen unterstrichen.

Die Frage ist müßig, wer von den großen Arbeitswissenschaftlern des 20. Jahrhunderts den am stärksten prägenden Einfluss auf die heutige Disziplin „Arbeitswissenschaften im Landbau“ genommen hat. In jedem Falle war es vor vierzig Jahren eine großartige Entscheidung der damaligen Gesellschaft für Arbeitswissenschaften im Landbau, zum Gedenken an dessen Lebenswerk den „Ludwig Wilhelm Ries-Preis“ auszuloben und damit hervorragende Leistungen junger Arbeitswissenschaftler zu würdigen.

Memo 4: *Arbeitslehre war immer mehr als Zeitmanagement für Arbeitskräfte und Maschinen. Die Öffnung hin zu neuen Themenfeldern tat der Wissenschaftsdisziplin stets gut. Rechtfertigt das aber den Plural Arbeitswissenschaften? Mit den „wissenschaftlichen Nachbarn“ wird die Arbeitswissenschaft umso besser kooperieren können, je klarer sie ihre eigenen Grenzen skizziert.*

4 Verpasste Chancen im Zuge der Einigung Deutschlands

Strukturpolitik gibt offenbar wenig auf Traditionen. Sonst hätte man wohl kaum zugelassen, dass nach 1990 der Osten Deutschlands hinsichtlich seines Landmaschinenbaus weitgehend deindustrialisiert wurde und dass Agrarfakultäten und ihre Agrartechnik-Lehrstühle an ostdeutschen Universitäten auf Null oder zumindest auf Sparflamme gesetzt wurden [Hahn, 2018].

Die Hallesche Universität verfügte in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts mit Derlitzki, Bail, Reule und Papesch über jeweils namhafte Professuren für die landwirtschaftliche Arbeitswissenschaft [Festschrift, 1997]. Bei mehreren Neubesetzungen wurde seither die Chance vertan, an genau dieser Stelle der Arbeitswissenschaft, eingebunden in eine starke Agrartechnik, eine universitäre Heimstatt zu geben [Bachner, 2017]. Auch diese späte Würdigung hat man Georg Derlitzki versagt.

Methoden haben mehr Wirkungsmacht, wenn sie in Standard- oder Richtlinienform gegossen sind. Alle Versuche, den Zeitgliederungs-Standard TGL 22289 [Schimming, 1975] einschließlich der vorgeschlagenen Erweiterungen (Zeitgliederung für Stoffe [Hahn, 1984] oder Berücksichtigung moderner logistischer Anforderungen [Herrmann, 1999] und [Fechner, 2018]) in den gültigen Methodenfundus einzupassen, blieben erfolglos, trotz einer ausführlichen Behandlung im 19. Arbeitswissenschaftlichen Kolloquium des MEG-Arbeitskreises Arbeitswissenschaften im Landbau im Jahre 2014. Weder das KTBL (Kalkulationsdaten) noch der VDI (Richtlinienarbeit) sahen letztlich Handlungsbedarf.

Umso mehr ist der D-A-Ch-Idee für die Belange der Arbeitslehre im Landbau und möglichst auch darüber hinaus, viel Erfolg zu wünschen.

Memo 5: *Lehrangebote zur Arbeitswissenschaft sind notfalls auch über Skripte möglich. Wissenschaftliches Leben einer Disziplin braucht hingegen die profilierte Einrichtung für Forschung und Lehre. Wenigstens einmal im D-A-Ch-Raum!*

Literaturverzeichnis

Auernhammer, H.: Landwirtschaftliche Arbeitslehre – Manuskriptdruck der Vorlesung. am Institut für Landtechnik der TU München/Weihenstephan, 1986 Online unter: <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1145861/1145861.pdf>

Auernhammer, H., Luder, W.: Nachruf Prof. Dr. Wilfried Hammer. Z. Arb. Wiss. 74, 344–345 (2020). Online unter: <https://doi.org/10.1007/s41449-020-00235-6>

Bachner, A: 150 Jahre landtechnisches Lehramt an der Universität Halle. In: Jahrbuch Agrartechnik, Band 29. Braunschweig 2017. Online unter: https://publikationsserver.tu-braunschweig.de/receive/dbbs_mods_00065500.

Derlitzki, R., Schulze, E.: Georg Max Ludwig Derlitzki (1889–1958). Diskussionspapier Nr. 58 aus dem Institut für Agrarentwicklung in Mittel- und Osteuropa, Halle 2004 Online unter: <https://ageconsearch.umn.edu/record/14889>

Fechner, W., Uebe, N.: Zeitgliederung als Basis für die Optimierung des Maschineneinsatzes. In: 21. Arbeitswissenschaftliches Kolloquium des VDI/MEG, S. 106–116, 2018

Festschrift „50 Jahre Landwirtschaftliche Fakultät (1947–1997) der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg“, Halle 1997

Hahn, J.: Die Zeit in der Analyse und Synthese technologischer Prozesse. – Humboldt-Universität zu Berlin, Habilitationsschrift, Berlin 1984

Hahn, J.: Carl Heinrich Dencker und das Landmaschinen-Institut 1932–1945. Reihe: 100 Jahre agrartechnische Lehre und Forschung in den Berliner Agrarwissenschaften, Bd. 3, Berlin 2005

Hahn, J.: Landmaschinenbau in Ostdeutschland – gestern und heute. In: Landtechnik seit Albrecht Daniel Thaer. Reihe: Thaer heute, Bd.13, Möglin 2018

Hahn, J.: Die Kleinschlepper-Vergleichsprüfung 1937/38. In: Schriften zum Schlepperprüffeld Bornim, München 2020 Online unter: <https://mediatum.ub.tum.de/1548493>

Herrmann, A.: Modellierung verfahrenstechnischer Bewertungskriterien bei unterschiedlicher Verknüpfung von Ernte- und Transportarbeitsgängen. – Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Habilitationsschrift, Halle 1999

Müller, M.: Ludwig Wilhelm Ries und die Landarbeitsforschung in Bornim von 1927 bis 1941. In: Bornimer Agrartechnische Berichte, Heft 7, Potsdam 1995 Online unter: https://www.atb-potsdam.de/fileadmin/generell/BABs/BAB_Heft_7_kl.pdf

Müller, M.: Technologische Grundlagen für die Landwirtschaft. – Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin 1989

Nauck, H.: Die Landarbeitslehre unter Derlitzki. In: Die Landarbeit, Mitteilungen der Studiengesellschaft für landwirtschaftliche Arbeitswirtschaft, Folge 12, Stuttgart 1964

Ries, L.W.: Prof. Dr. Georg Derlitzki 65 Jahre. In: Die Landarbeit, Mitteilungen der Studiengesellschaft für landwirtschaftliche Arbeitswirtschaft, Folge 5, Bad Kreuznach 1954

Schick, M. Grundlagen der Arbeitswissenschaften. Vorlesung am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim, 2019 Online unter: https://www.schick-swiss-consulting.ch/media/files/vorlesung_arbeitswissenschaft_2019_scm_grundlagen_hoh_01_innenwirtschaft_sent.pdf

Schimming, J. TGL 22289, Zeitgliederung in der Land- und Forstwirtschaft. Begriffe, Kurzzeichen, Erläuterungen. Z. agrartechnik. 25. Jg., Heft 8. Berlin 1975

4.0 Modus für die Landwirtschaft – Strukturierung, Differenzierung und Anforderung

4.0 Mode for agriculture – structuring, differentiation and requirement

Heinz Bernhardt*, Reiner Brunsch, Eduardo Colangelo, Andreas Herrmann, Jan Horstmann, Martin Kraft, Johannes Marquering, Thilo Steckel, Heiko Tapken, Cornelia Weltzien, Clemens Westerkamp

**Technische Universität München, Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik, Dürnast 10, D-85354 Freising*

**E-Mail: heinz.bernhardt@tum.de*

Zusammenfassung

Industrie 4.0 und davon abgeleitet Landwirtschaft 4.0 wird als neue technologische und organisatorische Entwicklungsstufe für die Landwirtschaft betrachtet. Auf Basis der Grundstruktur von Industrie 4.0 wurde analysiert wie weit sich diese auf die Landwirtschaft übertragen lässt. Dabei zeigt sich grundsätzlich, dass die Struktur der Landwirtschaft mit ihrer intensiven Umweltverknüpfung hier Anpassungen notwendig macht. An den Beispielen Arbeitsorganisation, technologische Schnittstellen sowie Aus- und Weiterbildung werden diese Übertragungsschwierigkeiten erläutert.

Abstract

4.0 and, derived from it, Agriculture 4.0 are regarded as a new technological and organisational development stage for agriculture. Based on the basic structure of Industry 4.0, we analysed how far this can be transferred to agriculture. It is shown that the structure of agriculture with its intensive environmental linkage makes adjustments necessary. These transfer difficulties are explained using the examples of work organisation, technological interfaces and education and training.

Keywords: *Agriculture 4.0, Industry 4.0, work organisation, technological interfaces, education and training*

1 Einleitung

Industrie 4.0 und davon abgeleitet Landwirtschaft 4.0 werden von vielen als nächste technologisch-gesellschaftliche Revolution betrachtet. Die wissenschaftliche Analyse dieses Themenbereiches ist die Basis des VDI/VDE Fachausschusses 7.28 „Stand des Einsatzes von Industrie 4.0-Technologien in der Landtechnik“. [1]

Industrie 4.0 beginnt mit dem Einzug einer umfassenden Internet-basierten Vernetzung der industriellen Produktion. Diese Vernetzung umfasst dabei nicht nur die Maschinen und Betriebsmittel in allen Betrieben eines Unternehmens. Sie bildet gleichzeitig die technische Basis einer Interoperabilität über einzelne Produktionsinseln hinaus. Eine Industrie 4.0-Umgebung besteht im Kern aus cyber-physischen Systemen und Services.

Aus dem grundsätzlichen Konzept Industrie 4.0 ergeben sich zahlreiche Umsetzungsoptionen: Die Produktion kann hoch flexibel und bedarfsorientiert sein und ermöglicht im Extremfall die „Losgröße 1“. Transparente Schnittstellen zwischen den Teilsystemen des Wertschöpfungsprozesses erleichtern die Kollaboration zwischen Systemen und Services, einen nachhaltigen Ressourceneinsatz, die Rückverfolgbarkeit des Produkts und die Optimierung des gesamten Produktionsprozesses. Schließlich erlaubt die transparente Datenverfügbarkeit ein automatisiertes Wissensmanagement und automatisiertes Lernen im Unternehmen. [2,3]

Vor diesem Hintergrund scheint es verständlich, dass auf den ersten Blick eine Analogie zur Landwirtschaft besteht und damit schnell der Begriff Landwirtschaft 4.0 verwendet wird. [4,5] Es ergibt sich aber bei näherer Betrachtung die Erkenntnis, dass Landwirtschaft und Industrie unterschiedliche Merkmale und Randbedingungen aufweisen.

2 Material und Methoden

Vor dem Hintergrund des grundlegenden Konzepts und der spezifischen Umsetzungsoptionen von Industrie 4.0 werden in diesem Beitrag zunächst die wesentlichen Unterschiede zwischen den Produktionsvoraussetzungen in der Landwirtschaft und in der Industrie beleuchtet. Anschließend werden das Potenzial und die Schwierigkeiten der Übertragung von Industrie 4.0-Konzepten in die landwirtschaftliche Produktion unter den ausgewählten Gesichtspunkten Arbeitsorganisation, technologische Schnittstellen und Aus- und Weiterbildung untersucht und aufgezeigt.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die Landwirtschaft steht mit den Themen Ernährung, Umwelt und Tierschutz viel breiter im öffentlichen Fokus als der überwiegende Teil der industriellen Produktion. Das landwirtschaftliche Ökosystem unterscheidet sich grundlegend von einer standardisierten Industrieumgebung. Die Variabilität der Produktionsstandorte, der Böden und der biologischen Individuen und ganz besonders die Abhängigkeit vom Wetter führen dazu, dass die Produktionsbedingungen nur in Teilbereichen planbar und gezielt beeinflussbar sind. In der Innenwirtschaft lassen sich zwar die Arbeitsumgebung und die Abläufe entsprechend den Erfordernissen der Prozesse gestalten, aber bei der Arbeit mit Tieren finden Mensch-Tier-Technik-Interaktionen statt, die von inneren und äußeren Bedingungen abhängig sind. Die Außenwirtschaft findet mit mobilen Maschinen auf heterogenen Flächen mit unmittelbarer Abhängigkeit vom Wetter statt. Aus den variablen Faktoren ergeben

sich variable Zustände der Nährstoff- und Wasserversorgung, der phänologischen Entwicklung von Kulturpflanzen und deren Begleitflora und -fauna. Die variablen Zustandsparameter müssen in der Produktion laufend erfasst und in der Prozessführung berücksichtigt werden. Die Arbeitsteilung ist in der Landwirtschaft generell geringer ausgeprägt als in der industriellen Produktion.

Die Unterschiede zwischen den industriellen und landwirtschaftlichen Produktionsbedingungen machen es fast unmöglich die grundlegenden Ansätze und Umsetzungsoptionen von Industrie 4.0 unverändert auf die Landwirtschaft zu übertragen. Deshalb wurde der Stand des Einsatzes von Industrie 4.0-Technologien in der Landwirtschaft anhand der Konzepte und Kategorien von Industrie 4.0 für verschiedene landwirtschaftliche Produktionsbereiche eingehend analysiert [1]. Hieraus ergaben sich weitere Aspekte und relevante Unterschiede zwischen Landwirtschaft und Industrie.

Ein weiterer grundsätzlicher Unterschied in der Landwirtschaft ist, dass mit Pflanzen und Tieren noch weitere Akteure in der Produktion mit beteiligt sind. Wenn man nun Industrie 4.0 von der rein technischen Seite sieht, wäre eine direkte Abstimmung zwischen Technik und Tier/Pflanze möglich. Über Sensoren werden die Umweltbedingungen und die Bedürfnisse von Tieren und Pflanze erfasst, digital verarbeitet und die Aktionen in einem vernetzten System beispielsweise an Roboter zur Umsetzung weitergegeben. Die dabei erfassten Informationen fließen wieder in das System ein. Gleichzeitig stimmt sich, das so entstandene System mit den vor- und nachgelagerten Bereichen ab und bestellt z.B. Düngemittel oder Zitzengummis nach Bedarf oder vermarktet die Produkte bereits mit ihren aktuellen Qualitätsmerkmalen der Nachfrage entsprechend. Von dieser Sichtweise her könnte Industrie 4.0 den Übergang in die vollständig automatisierte Produktion ohne Menschen bilden.

Vor dem Hintergrund der beschriebenen Komplexität im System und der später noch genau beschriebenen Schwierigkeiten in der technologischen Umsetzung ist der Mensch im System aber (bisher) nicht ersetzbar. Mit der Einführung von Industrie 4.0-Strukturen ändert sich die Arbeit des Landwirts, ihm verbleibt aber auf absehbare Zeit eine unverzichtbare aktive Rolle im Produktionssystem Landwirtschaft. Da der Mensch als Kunde, die Quelle und Senke der Produktionskette bildet, ist seine Komplexität auch in der Rolle des Abnehmers und Verbrauchers im System abzubilden. Der Landwirt nimmt also bei dieser Sichtweise eine wichtige Rolle im System ein.

Die veränderte Rolle des Landwirtes ist aktuell bereits beim System Melkroboter zu beobachten. Von der Arbeitskraft die die Kuh zum Melken vorbereitet, das Melkzeug an der Kuh positioniert und den Melkvorgang überwacht, hat sich die Rolle des Landwirtes hin zum Manager verschoben der den Prozess kontrolliert und auf Basis von Daten des Melkroboters eingreift. Dies bedeutet ein Umdenken für den Landwirt. Er muss sich aktiv mit den Informationen über den Prozess beschäftigen und ist nicht mehr direkt im Kontakt mit der Melktechnik und der Kuh. Die Abwendung seiner Aufmerksamkeit vom direkten Geschehen im Melkprozess hin zur abstrakten Überwachung und Kontrolle des Prozesses birgt das Risiko, dass er sich zu sehr auf die Technik verlässt und sich nicht mehr

ausreichend selbst einbringen kann. Im normalen Ablauf fällt dies häufig nicht auf, aber bei Schwierigkeiten hat er dann keine Übersicht mehr oder es wird durch den fehlenden Kontakt zum Tier gefährlich.

Technologische Schwierigkeiten bei der Umsetzung von Industrie 4.0 in der Landwirtschaft gibt es aktuell im Bereich Datenschnittstellen, Datenübertragung und Sensorik. Die Standardisierung von Schnittstellen und Datenaustauschformaten ist für eine vollständig vernetzte Produktion aktuell noch nicht ausreichend. Dieses Defizit umfasst dabei sowohl die Software- als auch die Hardwareseite. Als Beispiel kann hierfür der lange Entwicklungsprozess des ISOBUS in der Außenwirtschaft gelten. Von der Grundstruktur her entspricht er den grundlegenden Anforderungen von Industrie 4.0. Es zeigt sich allerdings, dass die Kompatibilität in diesem Anwendungsbereich noch immer nicht vollständig vorhanden ist. Außerdem stößt der ISOBUS teilweise an seine Kapazitätsgrenzen, da die zu übertragende Datenmenge mit der Zeit stark gewachsen ist. Hier ist entweder eine Ertüchtigung oder die Trennung in sicherheitsrelevante Daten und managementorientierte Daten notwendig. Ein weiteres Beispiel ist das Traktor Implement Management (TIM). Hier greift das Anbaugerät mit seinen Daten aktiv in das Management des Traktors ein. [6] Somit also auch ein Schritt in Richtung Industrie 4.0. Das System kann sich aber nicht umfassend im Markt verbreiten. Dafür ist besonders eine herstellerübergreifende Kompatibilität notwendig.

Für den Austausch und die Nutzung der in den Systemen gewonnenen Daten ist im ländlichen Raum eine flächendeckend verfügbare Internet- und Mobilfunkinfrastruktur notwendig. Hier sind sowohl bei mobilen als auch stationären Internetzugängen noch entsprechende Lücken zu erkennen. [7] Die in Industrie 4.0 auch skizzierte Übertragung von Prozessdaten in eine Cloud, um dort spezielle Aufgaben (z.B. Erkennung von Beikräutern und Planung von Bekämpfungsmaßnahmen) zu erledigen, ist bei begrenzter Datenübertragungsrage zeitlich nicht möglich.

Ein weiterer wichtiger Aspekt für die Nutzung von Industrie 4.0 in der Landwirtschaft ist die berufliche Bildung und Qualifizierung aller Arbeitskräfte. Hierbei müssen nicht nur der Umgang mit digitalen Systemen vermittelt, sondern auch Hemmschwellen zu deren Nutzung abgebaut werden. Besonders beim landwirtschaftlichen Familienbetrieb muss das Wissen über die Nutzung von Industrie 4.0 Systemen breit gestreut sein um z.B. beim Ausfall des Betriebsleiters weiter agieren zu können. Aber auch bei Lohnarbeitsbetrieben ist auf eine kontinuierliche Weiterbildung aller Mitarbeiter zu achten. [8] Allgemein zeigt sich bei Industrie 4.0 das der Faktor kontinuierliche Weiterbildung immer mehr in den Fokus rückt, da sich bestehende Arbeitsstrukturen grundlegend verändern. [9]

4 Ausblick

Eine leistungsfähige nachhaltige Landwirtschaft, die den gesellschaftlichen Erwartungen heute und in der Zukunft entspricht, ist nur mit digital vernetzten cyber-physischen Systemen und Services möglich, die auf einen fairen und alle Teile der Wertschöpfungskette

einschließenden Informationsfluss aufsetzen. Hierzu sind aber noch umfangreiche technologische und infrastrukturelle Entwicklungen notwendig. Die Aus- und Weiterbildung aller in der Landwirtschaft tätigen Personen muss nicht nur verstärkt digitale Kompetenzen schaffen, sondern auch Konzepte aus der Industrie 4.0 vermitteln.

Literaturverzeichnis

1. VDI/VDE (2021): Industrie-4.0-Technologien in der Landwirtschaft, VDI-Statusreport, <https://www.vdi.de/ueber-uns/presse/publikationen/details/industrie-40-technologien-in-der-landwirtschaft>, Düsseldorf.
2. Kagermann, H.; Lukas, W.D.; Wahlster, W. Industrie 4.0 (2011): Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. VDI Nachr., 13, 2.
3. Bauernhansl, T. (2017): Die Vierte industrielle Revolution – Der Weg in ein wertschöpfendes Produktionsparadigma. In Handbuch Industrie 4.0; Springer Vieweg: Berlin, Germany, Volume 4, pp. 1–31.
4. Schmidt, C. (2018): Landwirtschaft 4.0 – Digitalisierung als Chance für eine nachhaltige Landwirtschaft. In Digitalisierung im Spannungsfeld von Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Recht; Bär, C., Grädler, T., Mayr, R., Eds.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany.
5. Aulbur, W.; Henske, R.; Morris, G.; Schefli, G. Farming 4.0 (2019): How precision agriculture might save the world. In Roland Berger Focus; Roland Berger GmbH: München, Germany.
6. Schmidt, M. (2020): Beschreibung der Arbeitsaufgabe mit einer Traktor-Anbaugeräte-Kombination als Basis für die Automatisierung in der Landtechnik. LANDTECHNIK, 75(3). <https://doi.org/10.1515/lt.2020.3243>
7. Bernhardt H, Schumacher L, Zhou J, Treiber M, Shannon K. (2021): Digital Agriculture Infrastructure in the USA and Germany. Engineering Proceedings; 9(1):1. <https://doi.org/10.3390/engproc2021009001>
8. Pogorelskaia, I.; Várallyai, L. (2020): Agriculture 4.0 and the role of education. J. Agric. Inform., 11, 45–51.
9. Botthof, Alfons, Ernst Andreas Hartmann (2015): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Springer Nature.

Entwicklung der landwirtschaftlichen Arbeitswissenschaft im Kontext der fortschreitenden Digitalisierung

Development of agricultural work science in the context of advancing digitalization

Dr. Saskia Hohagen*, Dr. Thilo Steckel**

*Ruhr-Universität Bochum, Institut für Arbeitswissenschaft, Universitätsstr. 150, D-44780 Bochum

*E-Mail: saskia.hohagen@rub.de

**CLAAS E-Systems GmbH, Sommerkämpfen 11, D-49201 Dissen am Teutoburger Wald

**E-Mail: thilo.steckel@claas.com

Zusammenfassung

Landwirtschaftliche Prozesse können aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet werden und die Zusammenarbeit in der Landwirtschaft wird interdisziplinärer. In diesem Beitrag wird sich der arbeitswissenschaftlichen Perspektive in der Landwirtschaft gewidmet. Dabei soll herausgestellt werden, inwiefern die digitale Transformation als Enabler für eine Erweiterung der arbeitswissenschaftlichen Perspektive in der Landwirtschaft dienen kann. Erste Hinweise auf diese Erweiterung der Perspektive werden herausgestellt und diskutiert.

Deskriptoren: Digitale Transformation, Arbeitswissenschaft, Landwirtschaft

Abstract

Agricultural processes can be viewed from different viewpoints and collaboration in agriculture is becoming more interdisciplinary. This article is dedicated to the work science perspective in agriculture. The aim is to highlight the extent to which the digital transformation can serve as an enabler for an expansion of the work science perspective in agriculture. Initial indications of this broadening of the perspective will be highlighted and discussed.

Keywords: digital transformation, work science, agricultur

1 Einleitung

Die Zusammenarbeit in der Landwirtschaft ist interdisziplinär, dies zeigt sich beispielsweise in den vom BMEL geförderten Experimentierfeldern (z.B. Reckleben et al., 2020, Ruckelshausen & Everwand, 2020) und wird in Zukunft, durch die zunehmende Digitalisierung noch interdisziplinärer. Durch neue Themen, wie künstliche Intelligenz (Mohr &

Kühl, 2020) oder Robotik (Ruckelshausen et al., 2008) werden weitere Disziplinen eine bedeutende Rolle in der Landwirtschaft einnehmen.

Eine Disziplin, die in der Landwirtschaft nicht neu ist, ist die Arbeitswissenschaft. Als Beispiel sei hier die Arbeit von Schön und Auernhammer (1977) herausgestellt, die sich, aus arbeitswissenschaftlicher Perspektive mit Arbeitszeitstudien in der Landwirtschaft auseinandergesetzt haben. Aktuelle Publikationen wie beispielsweise Schick (2020) oder KTBL (in Druck), zeigen, dass in der Landwirtschaftsforschung die Disziplin Arbeitswissenschaft auch heutzutage noch fokussiert wird.

In der Literatur zur Arbeitswissenschaft im Kontext der Landwirtschaft zeigt sich, dass sich unter anderem Themen der Arbeitssicherheit, der Arbeitszeit oder der Ergonomie gewidmet wurden (z.B. AKAL, 2016; AKAL, 2020). Darüber hinaus nimmt die Arbeitswissenschaft jedoch einen weiteren inhaltlichen, aber auch methodischen Blickwinkel ein und widmet sich Fragen der Kompetenz und Qualifikation, sowie der Betriebs- und Arbeitsorganisation und der Gruppen- und Teamarbeit (Schlick, Bruder & Luczak, 2018).

Ein besonderer Blickwinkel in diesem Beitrag liegt auf der Perspektive aus der heraus arbeitswissenschaftliche Themen in der Landwirtschaft betrachtet werden. Es wird dargestellt, inwiefern die digitale Transformation als Enabler für eine erweiterte Perspektive für vorhandene Phänomene in der Landwirtschaft ggf. andere Lösungswege ermöglicht.

2 Status quo: landwirtschaftliche Arbeitswissenschaft

Durch die digitale Transformation verändert sich die Arbeitswelt. Die Auswirkungen zeigen sich dabei sowohl in Veränderungen der Produktions- und Geschäftsprozesse als auch in der Organisation der Arbeit (Goller et al., 2020). Dies bezieht sich auch auf die Branche der Landwirtschaft (Lutz, 2017). Schick (2014) stellt heraus, dass Arbeitsprozesse in der Landwirtschaft zunehmend digitalisierter aber auch vernetzter werden.

Goller et al. (2020) widmen sich den Auswirkungen der digitalen Transformation auf die Tätigkeiten von Landwirten/innen. Diese Untersuchung zeigt, dass sich sowohl Arbeitsprozesse als auch tägliche Arbeitstätigkeiten von weniger manueller Arbeit hin zu mehr Überwachung und Kontrolle wandeln. Durch diesen Wandel werden digitale Kompetenzen für Landwirte/innen zunehmend relevanter. Des Weiteren wird herausgestellt, dass die Teilnehmer der Untersuchung keinen Rückschritt in Bezug auf die digitale Transformation machen würden und beschreiben die Arbeit als leichter aber auch vielfältiger und flexibler. Aus diesen Untersuchungsergebnissen lassen sich relevante Bereiche für zukünftige arbeitswissenschaftliche Forschungsarbeiten in der Landwirtschaft ableiten. Insbesondere die Themen Veränderung von Arbeitsprozessen, neue Geschäftsmodelle in landwirtschaftlicher Erzeugung und Vertrieb, die sich ändernden Kompetenzanforderungen an Landwirte/innen, hybride Leistungsbündel oder digitale Ökosysteme werden mehr in den Fokus rücken. Wie eingangs bereits deutlich wurde, nimmt nach Schlick et al.

(2018) die Arbeitswissenschaft genau diese Themen, wie beispielsweise die Arbeitsorganisation oder die Kompetenzen in den Blickwinkel. Im Kontext der landwirtschaftlichen Arbeitswissenschaft zeigt sich jedoch ein anderes Bild von arbeitswissenschaftlichen Themen.

Schick (2012, 2014, 2020) fokussiert sich in seinen Beiträgen auf Themen des Arbeitszeitbedarfs, der Betriebsführung, der Arbeitsorganisation, den Kalkulations- und Bewertungssystemen, den Arbeitsplatzbedingungen, der Arbeitssicherheit oder der Ergonomie. Dies sind Themen, die durchaus auch heutzutage relevant sind, die arbeitswissenschaftliche Perspektive jedoch sehr stark fokussieren und nicht erweitern. Dieser fokussierte Blickwinkel zeigte sich auch in anderen Zusammenhängen mit Schwerpunkten auf die Themen Arbeitssicherheit, Arbeitszeit oder Ergonomie (z.B. AKAL, 2016, AKAL, 2020). Dem Thema Arbeitszeit widmete sich auch das KTBL (in Druck). In der Auseinandersetzung mit diesen Beiträgen zeigt sich, dass für die methodischen Vorgehensweisen vielfach Zeitstudien, Versuchsreihen und Laborsettings als Untersuchungsdesign herangezogen wurden (z.B. AKAL, 2016, Schick, 2020).

Auffallend ist, dass in anderen (Branchen-)Kontexten die arbeitswissenschaftliche Perspektive bereits breiter angelegt ist. Als Beispiel sei hier die arbeitswissenschaftliche Forschung in der Industrie 4.0 herausgestellt. Vladova, Ullrich und Reiff-Stephan (2017) zeigen auf, dass sich die Rolle der Mitarbeiter im Kontext der Industrie 4.0 von Maschinenbediener zu Problemlöser entwickelt. Zentrale Themenaspekte in diesem Zusammenhang sind Kompetenzen, Akzeptanz, Führung aber auch die Vernetzung der Organisation. Auch die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine ist ein relevantes Thema (Dombrowski, Riechel & Evers, 2014).

Fraglich dabei ist, inwiefern die digitale Transformation als Enabler für eine erweiterte arbeitswissenschaftliche Betrachtung der Landwirtschaft dienen kann. Hierbei ist es besonders interessant, sich die Veränderungen durch die digitale Transformation aus einer erweiterten sozial- und arbeitswissenschaftlichen Perspektive, die über die bisherigen arbeitswissenschaftlichen Herangehensweisen im Kontext der Landwirtschaft hinausgeht, anzuschauen.

3 Digitalisierung als Enabler für eine erweiterte Perspektive der landwirtschaftlichen Arbeitswissenschaft?

Wilkens und Herrmann (2016, S. 223) zeigen anhand einer literaturbasierten Analyse auf, dass sich die arbeitswissenschaftliche Betrachtung der Digitalisierung in zwei Richtungen entwickelt: (1) „Es gibt erstens Forschungsansätze, die sich mit den Bedingungen und Folgen der Digitalisierung auseinander setzen und diese mittels bewährter arbeitswissenschaftlicher Methoden untersuchen bzw. die Potenziale der Digitalisierung auch zur Methodenentwicklung erschließen“ und (2) „Darüber hinausgehend sind zweitens Forschungsansätze zu erkennen, die zu einer eigenen Arbeitswissenschaft der Digitalisie-

rung führen, weil sie qualitativ neue Gegenstandsbereiche, Analysedimensionen, Zielkonstellationen und Optimierungsansätze entwickeln, die sich nicht nahtlos in die Tradition bisheriger Arbeiten stellen lassen“. Aus diesen Erkenntnissen wird deutlich, dass der Blickwinkel der digitalen Transformation in der Arbeitswissenschaft zum einen auf das Bekannte gerichtet sein kann, aber zum anderen auch neue Blickwinkel einnehmen kann. Dies spielt insbesondere bei Themenfeldern eine Rolle, denen nun mehr Aufmerksamkeit zugesprochen wird, wie beispielsweise die Erweiterung des Bedarfs an Kompetenzen oder veränderte Organisationsabläufe/-prozesse (Sträter & Bengler, 2019). Aber auch völlig neue Geschäftsmodelle rücken dabei in den Fokus (Zink, 2015). Dieses Potenzial gilt es auch für den Kontext der Landwirtschaft zu nutzen und die Forschungsperspektive der Arbeitswissenschaft in der Landwirtschaft zu erweitern.

Moderne landwirtschaftliche Arbeitsmaschinen verfügen über eine umfassende Ausstattung zur Erfassung und Verarbeitung von Systemzuständen (GPS-Position, Zeitstempel, Sensordaten) und die Fähigkeit zum Austausch standardisierter Daten (ISO, 2017). Damit ergibt sich die Möglichkeit, eine Vielzahl von Daten und abgeleiteten Kennzahlen einzelner oder mehrerer Arbeitsmaschinen miteinander in Bezug zu setzen. Für die arbeitswissenschaftliche Perspektive ergeben sich daraus neue Betrachtungsmöglichkeiten, wie beispielsweise:

- intervallmäßig erfasste Daten ermöglichen zeitreihenbasierte Untersuchungen
- in Verbindung mit Positionsdaten (z.B. GPS) erfasste Daten ermöglichen raumbezogene Untersuchungen
- Kombination von Raum- und Zeitbezug ermöglicht hochdetaillierte Analysen
- drahtlose Vernetzung ermöglicht zeitnah maschinenübergreifende (Flotte) Untersuchungen
- automatisierte Erfassung, Übermittlung und Verarbeitung ermöglicht die Herleitung von definierten, auf die individuelle betriebliche Situation bezogene, Arbeitszeitelementen

In Summe zeigt sich, dass durch moderne landwirtschaftliche Arbeitsmaschinen verschiedene digitale Daten erhoben werden können. Dadurch können beispielsweise detailliertere Untersuchungen durchgeführt werden, die genauere Arbeitsprozessbetrachtungen ermöglichen. Die hier aufgelisteten Betrachtungsmöglichkeiten stellen Beispiele für die beschriebene erste Richtung der Entwicklung von Wilkens und Herrmann (2016) dar.

Wilkens und Herrmann (2016) stellen auch noch eine zweite Richtung der Entwicklung heraus in Richtung eines neuen Blickwinkels. Sträter und Bengler (2019) und Zink (2015) haben, wie bereits angesprochen, auf Themenfelder aufmerksam gemacht, die durch die digitale Transformation mehr in den Fokus rücken. Bezugnehmend auf die eben herausgestellten Betrachtungsmöglichkeiten wären für die landwirtschaftliche Betrachtung folgende neue Blickwinkel vorstellbar:

- Planen, Simulieren und Optimieren betriebsindividueller Arbeitsprozesse
- Verbesserung oder Vereinfachung von Betriebsvergleichen (Benchmark)
- Analyse oder Verbesserung der Mensch-Maschine-Interaktion (Usability, Ergonomie)
- Verbesserung der (Arbeits-)Prozess-Prognosefähigkeit
- qualifizierte Entscheidungsunterstützung in Expertensystemen und KI-Anwendungen
- Anwendung von Software-Simulatoren in der beruflichen Aus- und Weiterbildung.

Zusammenfassend kann herausgestellt werden, dass sich durch eine erweiterte arbeitswissenschaftliche Betrachtung in der Landwirtschaft Potenziale zeigen. Gleichzeitig sollte berücksichtigt werden, dass die Erweiterung von Perspektiven auch mit mehr Komplexität einhergehen kann. Die Potenziale gilt es den Herausforderungen gegenüberzustellen.

4 Ausblick und Fazit

Dieser Beitrag diskutiert Überlegungen in Richtung einer erweiterten Perspektive der landwirtschaftlichen Arbeitswissenschaft und fokussiert sich dabei auf die Potenziale, die durch diese erweiterte Perspektive möglich sind. Es wird diskutiert, inwiefern die digitale Transformation als Enabler für eine Erweiterung der Perspektive dienen kann. In der Diskussion zeigt sich, dass beispielsweise durch digitale Daten detailliertere Untersuchungen durchgeführt werden können. Diese Untersuchungsergebnisse können wiederum zur Entscheidungsunterstützung herangezogen werden.

Gleichfalls gehen mit dieser Ausarbeitung Limitationen einher in dem Sinne, dass diese Überlegungen in einem nächsten Schritt einer empirischen Untersuchung bedürfen. Dennoch bildet dieser Beitrag einen ersten Ausgangspunkt für weitere Auseinandersetzungen.

Literaturverzeichnis

AKAL (2016). Beiträge zum 20. Arbeitswissenschaftlichen Kolloquium VDI-MEG vom 01./02. März 2016 in Stuttgart/Hohenheim. Düsseldorf: Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI.

AKAL (2020). Programm des 22. Arbeitswissenschaftlichen Kolloquiums: Arbeit unter einem D-A-CH – Automatisierung und Digitalisierung in der modernen Landwirtschaft. Verfügbar unter: <https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/de/home/aktuell/veranstaltungen/details/2019/akal.html> [20.09.2021]

Dombrowski, U., Riechel, C., & Evers, M. (2014). Industrie 4.0–Die Rolle des Menschen in der vierten industriellen Revolution. *Industrie*, 4, 129–153.

Goller, M., Caruso, C., Berisha-Gawłowski, A., & Harteis, C. (2020). Digitalisierung in der Landwirtschaft: Gründe, Optionen und Bewertungen aus Perspektive von Milchviehlandwirtinnen und -landwirten. In D. Heisler & J. Meier (Hrsg.), *Digitalisierung am Übergang Schule Beruf* (S. 53-80). Bielefeld: wbv Publikation.

ISO (2017). ISO 11783-1:2017 – Tractors and machinery for agriculture and forestry – Serial control and communications data network – Part 1: General standard for mobile data communication. Verfügbar unter: <https://www.iso.org/standard/57556.html> [03.01.2022]

KTBL (in Druck). *Landwirtschaftliche Arbeitswirtschaft. Methoden der Zeiterfassung und der Arbeitsanalyse*. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL).

Lutz, K. J. (2017). Digitalisierung der Landwirtschaft: Revolution mit evolutionärem Charakter. In A. Hildebrandt & W. Landhäußer (Hrsg.), *CSR und Digitalisierung* (S. 429-442). Berlin, Heidelberg: Springer Gabler.

Mohr, S., & Kühl, R. (2020). Künstliche Intelligenz in der Landwirtschaft. In M. Gandorfer et al. (Hrsg.), *Digitalisierung für Mensch, Umwelt und Tier* (S. 193-198). Bonn: Gesellschaft für Informatik.

Reckleben, Y., Ferdinand, J.-H., Hartung, E., Irps, B., Drescher, K., & Henze, C. (2020). Betriebsleitung und Stoffstrommanagement – Vernetzte Agrarwirtschaft in Schleswig-Holstein (BeSt-SH). In M. Gandorfer et al. (Hrsg.), *Digitalisierung für Mensch, Umwelt und Tier* (S. 379-384). Bonn: Gesellschaft für Informatik.

Ruckelshausen, E., & Everwand, E. (2020). Experimentierfeld zur digitalen Transformation im landwirtschaftlichen Pflanzenbau (Agro-Nordwest). In M. Gandorfer et al. (Hrsg.), *Digitalisierung für Mensch, Umwelt und Tier* (S. 385-388). Bonn: Gesellschaft für Informatik.

Ruckelshausen, A., Klose, R., Linz, A., Gebben, M., & Brinkmann, S. (2008). Intelligente Sensorsysteme für autonome Feldroboter. *Bornimer Agrartechnische Berichte*, 62, 67–76.

Schick, M. (2012). Arbeitswissenschaft. In L. Frerichs (Hrsg.), *Jahrbuch Agrartechnik 2012* (S. 40–49). Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge.

Schick, M. (2014). Arbeitswissenschaft. In L. Frerichs (Hrsg.), *Jahrbuch Agrartechnik 2013* (S. 36–43). Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge.

Schick, M. (2020). Arbeitswissenschaft. In L. Frerichs (Hrsg.), *Jahrbuch Agrartechnik 2019* (S. 44–49). Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge.

Schlick, C., Bruder, R., & Luczak, H. (2018). *Arbeitswissenschaft* (4. Auflage). Berlin: Springer.

Schön, H., & Auernhammer, H. (1977). Grundsätzliche Überlegungen bei der Erarbeitung der neuen Terminologie für die Arbeitswissenschaft des Landbaues. Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch, 54(2), 5–10.

Sträter, O., & Bengler, K. (2019). Positionspapier Digitalisierung der Arbeitswelt. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 73, 243–245.

Wilkens, U., & Herrmann, T. (2016). Gibt es eine Arbeitswissenschaft der Digitalisierung? Ein Diskursbeitrag. In C. Schlick (Hrsg.), Megatrend Digitalisierung. Potenziale der Arbeits- und Betriebsorganisation (S. 215–230). Berlin: GITO Verlag.

Vladova, G., Ullrich, A., & Reiff-Stephan, J. (2017). Der Mensch im Umfeld von Industrie 4.0. In N. Weinert, M. Plank, & A. Ullrich (Hrsg.), Metamorphose zur intelligenten und vernetzten Fabrik (S. 23–30). Berlin: Springer.

Zink, K. J. (2015). Digitalisierung der Arbeit als arbeitswissenschaftliche Herausforderung: ein Zwischenruf. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 69(4), 227–232.

Einfluss neuer Technologien in der Landwirtschaft auf die Arbeitssicherheit und den Gesundheitsschutz – EU OSHA Expertengutachten

Influence of new technologies in agriculture on occupational safety and health protection – EU OSHA Expert Report

Dr. Martina Jakob

Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB), Max-Eyth-Allee 100,
D-14469 Potsdam
E-Mail: mjakob@atb-potsdam.de

Zusammenfassung

Dieser Beitrag fasst die Auswirkungen neuer Technologien auf die Sicherheit und den Gesundheitsschutz bei der Arbeit in der Landwirtschaft zusammen und stützt sich auf den Bericht der Europäischen Agentur für Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz (EU-OSHA) über die Zukunft der Landwirtschaft und des Arbeitsschutzes, der eine umfassende Analyse der neuen und aufkommenden Risiken und ihrer Auswirkungen auf den Arbeitsschutz in diesem Sektor enthält (EU-OSHA, 2020a).

Abstract

This paper summarises the impact of new technologies on occupational safety and health in agriculture, drawing on the European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA) report on the future of agriculture and occupational safety and health, which provides a comprehensive analysis of new and emerging risks and their impact on occupational safety and health in the sector (EU-OSHA, 2020a).

Keywords: Arbeitssicherheit, OSH, Unfälle, Berufskrankheiten

Einleitung

Die Landwirtschaft ist weltweit eine der unfallträchtigsten Branchen. Die Eurostat Statistiken der Europäischen Union geben für das Jahr 2012 1,5 nicht-tödliche Unfälle pro 100 Arbeitskräfte und 4,1 tödliche Unfälle pro 100.000 Arbeitskräfte an. Es ist davon auszugehen, dass es diesbezüglich eine hohe Dunkelziffer gibt (Merisalu et al. 2019). Dies fällt insbesondere auf, wenn man die Unfallzahlen ähnlich großer Länder miteinander vergleicht. In Deutschland wurden im Jahr 2013 89 tödliche Unfälle an Eurostat übermittelt, was eine Rate von 2,3 auf 100.000 Arbeitskräfte ergibt. Polen meldete im selben Jahr

nur 4 tödliche Unfälle an Eurostat, hat aber eine ähnlich große Fläche und fünfmal so viele landwirtschaftliche Arbeitskräfte (Merisalu et al. 2019).

Um das Unfallrisiko in der Landwirtschaft zu senken, wurden die verschiedensten Präventionsstrategien entwickelt und eingeführt. Eine Möglichkeit der Kategorisierung solcher Strategien sind die drei „E’s“ für Gesetzgebung und ihre Umsetzung (engl. Enforcement), Trainingsmaßnahmen für sicheres Arbeitsverhalten (engl. Education) und technische Weiterentwicklung (engl. Engineering) (Donham & Thelin 2016; Lundqvist & Gustafsson 1992).

Neben akuten Verletzungen treten in der Landwirtschaft häufig arbeitsbedingte, chronische Krankheiten auf. Die Arbeit in der Landwirtschaft ist anstrengend, und Landwirte, insbesondere Landwirtinnen, berichten von einer stark abnehmenden Arbeitsfähigkeit ab dem 40. Lebensjahr (Karttunen & Rautianen 2013). Muskel- und Skeletterkrankungen (44,6 %) sind beispielsweise die häufigste Ursache für Invaliditätsrenten bei selbständigen Landwirten in Finnland (Karttunen et al. 2014). Etwa 80 % der Beschäftigten in der Landwirtschaft haben irgendwann einmal Beschwerden im Bereich des Muskel-Skelettsystems (Walker 2001), wobei die Lebenszeitprävalenz jeglicher Form von Muskel-Skelett-Beschwerden unter Landwirten bei 90,6 % liegt (Osborne et al. 2012). Hautkrebs ist die häufigste bösartige Erkrankung in der kaukasischen Bevölkerung, wobei ultraviolette Strahlung das Karzinogen Nummer eins ist (Ulrich et al. 2016). Die UV-Strahlung als Hauptrisikofaktor hat dazu geführt, dass der Nicht-Melanom-Hautkrebs in einigen Ländern, darunter Dänemark, Frankreich, Deutschland, Italien und Rumänien, als Berufskrankheit anerkannt wird. Erkrankungen der Atemwege sind bei Landarbeitern doppelt so häufig im Vergleich zu anderen Sektoren (Walker 2001). Weitere berufsbedingte Gesundheitsrisiken sind Lärmbelastung und Arbeitsüberlastung.

Neue Technologien bieten das Potenzial, den Arbeits- und Gesundheitsschutz in diesem Sektor zu verbessern, zum Beispiel, indem Sicherheits-, Gesundheits- und Ergonomieaspekte in die Entwicklung und Gestaltung von Smart-Farming-Technologien einbezogen werden. Die Digitalisierung der Landwirtschaft oder Smart Farming sind weit gefasste Begriffe, die den Bereich der digitalen technologischen Entwicklungen in diesem Sektor abdecken. Zu diesen Konzepten gehören der Einsatz von Drohnen, Sensoren, globalen Positionierungs- oder Satellitensystemen, Automatisierung und Robotisierung, Big Data, das Internet der Dinge, künstliche Intelligenz (KI) und Augmented Reality. Ein weiterer häufig verwendeter Begriff ist „Landwirtschaft 4.0“, der die Präzisionslandwirtschaft oder intelligente Landwirtschaft umfasst, die eine Kombination aus Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) und Sensorik einsetzt, um den präzisen Einsatz von Betriebsmitteln zur Optimierung der Nahrungsmittelproduktion und zur Vermeidung von Umweltschäden zu ermöglichen und die Datenverfügbarkeit zur Unterstützung der Betriebsführung zu verbessern (Klerkx und Rose, 2020). Der intelligenten Landwirtschaft wurde in der Branche viel Aufmerksamkeit geschenkt, da sie als eine der wenigen Innovationen gilt, die potenziell einen Paradigmenwechsel in der Produktivität und eine Steigerung der Lebensmittelproduktion bewirken könnten. Während Melkroboter schon seit einiger Zeit

im Einsatz sind, sind neuere Entwicklungen wie Mähroboter, mechanische Obstpflücker und Unkrautbekämpfungsmaschinen nur einige Beispiele für die technologische Revolution, die sich aktuell in der Landwirtschaft vollzieht.

Die Einführung intelligenter Technologien in diesem Sektor hinkt jedoch tendenziell hinter der in anderen Sektoren hinterher, und ihre Verbreitung ist ungleichmäßig, wobei sie am häufigsten von größeren landwirtschaftlichen Betrieben, in bestimmten landwirtschaftlichen Verfahren oder Anbausektoren und in bestimmten europäischen Regionen eingesetzt werden.

Ergebnisse

Technologische Lösungen im Rahmen der sogenannten intelligenten Landwirtschaft haben das Potenzial, den Arbeitsaufwand zu verringern, indem sie Arbeit durch Kapital ersetzen und das Risiko minimieren. Beispiele hierfür sind die mechanische Ernte von Feldfrüchten (z. B. Kartoffeln und Obst), das automatische Melken von Milchvieh oder die moderne Erntetechnik in der Forstwirtschaft mit Hilfe von Vollerntemaschinen. Die Einführung von Technologien wie Telekommunikation, Automatisierung und Präzisionslandwirtschaft fördert effizientere Managementsysteme (einschließlich Zeitmanagementsysteme), erhöht die Rentabilität der landwirtschaftlichen Betriebe, minimiert nachteilige Umweltauswirkungen aufgrund flächenspezifischer Anwendungen und verbessert die Nachhaltigkeit der landwirtschaftlichen Produktion bei gleichzeitiger Verbesserung der Arbeitsschutzstandards.

Smart-Farming-Lösungen haben das Potenzial, Arbeitssysteme zu vereinfachen und die Prozesssteuerung und das Management von Sicherheitssystemen zu verbessern. Dies wird die Arbeitsorganisation verbessern und zu Verbesserungen bei Sicherheit und Gesundheitsschutz führen. Wie wir bei der Einführung von Technologien wie automatisierten Melksystemen gesehen haben, wird sich die Work-Life-Balance der Landwirte verbessern, weil sie in der Lage sein werden, Maschinen und Systeme virtuell, d. h. aus der Ferne und zu unterschiedlichen Zeiten, zu steuern und zu überwachen. Beispiele hierfür sind die Überwachung von Schweine- oder Geflügelställen per Mobiltelefon, die Verwendung einer Fernkamera zur Überwachung des Viehbestands rund um die Abkalbung oder der Einsatz automatischer Bewässerungssysteme, die bestimmen, wann und wo bewässert werden muss und wie viel Wasser ausgebracht werden muss (Wang, D. et al., 2013).

Die Prävention von Muskel-Skelett-Erkrankungen (MSD) durch ergonomische Verbesserungen wird einer der wichtigsten Vorteile der Einführung intelligenter Technologien in der Land- und Forstwirtschaft sein. Muskel- und Skeletterkrankungen gehören zu den häufigsten Gesundheitsproblemen von Landwirten (Osborne et al., 2012). Daher ist die Automatisierung von Prozessen, die zu hohen Arbeitsbelastungen führen von oberster Priorität.

Die Digitalisierung der Land- und Forstwirtschaft wird den Sektor insgesamt erheblich beeinflussen und zahlreiche Vorteile bieten, die hier im Folgenden noch einmal aufgeführt sind:

- Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion, der Produktivität und der Erträge, da die landwirtschaftlichen Prozesse und Verfahren effizienter werden;
- Senkung der Produktionskosten, da wirksamere Überwachungs- und Entscheidungshilfesysteme einen ökoeffizienteren Einsatz von Wasser, Energie, Düngemitteln und Pestiziden ermöglichen und so die Auswirkungen des Klimawandels verringern;
- verbesserte Lebensmittelsicherheit und -qualität durch Überwachung und Rückverfolgbarkeit der Lebensmittelkette;
- Verbesserung der Gesundheit und des Wohlbefindens der Tiere (Sensoren zur Erkennung von Hitzestress, Lärm, Zustand und Verhalten der Tiere, Futtermittelanwendungen und Veterinärdaten);
- verbesserter Umweltschutz, da die Landwirte die Pflanzengesundheit mit Hilfe von Sensoren besser überwachen und Pflanzenkrankheiten frühzeitig mit weniger und gezielteren Pestizidanwendungen oder alternativen Verfahren bekämpfen können;
- Arbeitsbedingungen werden besser, da die Anwendung von Pestiziden oder die Unkrautbekämpfung zunehmend automatisiert und „aus der Ferne“ erfolgt (wie z.B. mit Drohnen), insbesondere im Gartenbau und in Gewächshäusern;
- Steigerung der Attraktivität des Berufs, insbesondere für jüngere Generationen (Deter, 2020).
- In gleichem Maße wie die Vorteile müssen auch potentielle Nachteile berücksichtigt werden. Digitalisierung bzw. mehr Technisierung können dazu führen, dass immer häufiger alleine gearbeitet wird, oder dass Stress und Monotonie zunehmen. Der zunehmende Einsatz von Computertechnologien birgt weitere Risiken.
- Die Digitalisierung der Landwirtschaft wird daher auch einige negative Auswirkungen mit sich bringen, wie beispielsweise:
 - einen Abbau von Arbeitsplätzen in der Branche, von dem vor allem ländliche Gebiete betroffen sein werden, auch wenn dies die Abhängigkeit der landwirtschaftlichen Betriebe von Saisonarbeitern verringern und zu mehr Berechenbarkeit in der Landwirtschaft beitragen könnte;
 - einen Rückgang der kleinen Familienbetriebe, da sie im Wettbewerb nicht mithalten können, da ihnen die Ressourcen und die notwendigen Größenvorteile in ihren Betrieben fehlen, um Investitionen in neue Technologien rentabel zu machen („digital divide“);

- die Abhängigkeit der Landwirte von großen multinationalen Konzernen und Daten- und Technologieunternehmen, die im Gegenzug für den Zugang zu attraktiven Online-Diensten zunehmend sensible Betriebsdaten sammeln;
- Landwirte verlieren möglicherweise das Recht, ihre eigenen Maschinen zu reparieren, da Smart-Farming-Maschinen häufig einer Garantievereinbarung oder Lizenzvereinbarungen unterliegen, die es Landwirten untersagen, Reparaturen durchzuführen oder auf Software zuzugreifen (Solon, 2017);
- digitale Lösungen, die Arbeitspraktiken und -prozesse komplizierter machen, was einen höheren Bedarf an entsprechenden Schulungen mit sich bringt;
- die Datensicherheit wird zu einer Herausforderung und einem Stressfaktor für Landwirte.

Diskussion und Fazit

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass ein enormes Potenzial für den Einsatz technologischer Lösungen (einschließlich intelligenter Landwirtschaft) zur Verringerung der Risikofaktoren für Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit in der Land- und Forstwirtschaft besteht. Allerdings wird die intelligente Landwirtschaft keine sofortigen Lösungen für Sicherheit und Gesundheitsschutz in diesem Sektor bieten. Die größte Herausforderung besteht in der effektiven Übernahme solcher Technologien, die mit Variablen wie dem Einkommen und der Größe des Betriebs, dem Alter und der Ausbildung der Landwirte, der Nutzbarkeit der spezifischen Technologie und der Unterstützung der Landwirte durch die Industrie und die Beratung zusammenhängt. Mit der Einführung moderner Technologien muss auch das Qualifikationsniveau der Arbeitnehmer verbessert werden, um mit dem Wandel Schritt zu halten. Viele der Verbesserungen von Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz, die sich aus neuen Technologien ergeben, sind eher „Nebenefekte“ von Entwicklungen, die mehr auf die Steigerung der Produktivität und der Gewinnspannen in der Branche abzielen, als auf Ziele im Bereich Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit an sich. Nichtsdestotrotz bieten solche Entwicklungen ein echtes Potenzial zur Verbesserung der Arbeitsumgebung, insbesondere wenn von Anfang an wirksame Risikobewertungsverfahren und die Grundsätze des „Prevention by Design“ integriert werden, um unbeabsichtigte Auswirkungen zu vermeiden.

Die landwirtschaftliche Berufsausbildung muss mit dem technologischen Fortschritt Schritt halten, und auch die Ausbildung im Bereich von Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz muss angepasst werden, um den Einsatz von digitalen Technologien, Robotern und KI bestmöglich mit einzubeziehen. Die positiven Auswirkungen neuer Technologien und Maschinen auf die Sicherheit und den Gesundheitsschutz bei der Arbeit werden jedoch begrenzt sein, wenn sie nicht mit der Entwicklung einer echten Präventionskultur in der Branche einhergehen. Im Mittelpunkt dieser Präventionskultur stehen die

Betriebsführung, die Aus- und Weiterbildung, die Beratung sowie Sensibilisierungsmaßnahmen gegenüber dem Thema der Arbeitssicherheit und dem Gesundheitsschutz.

Es wird auch notwendig sein, neue und aufkommende Risiken neuer Technologien zu bewerten, inklusive ergonomischer und allgemeiner Sicherheitsaspekte. Sicherheits- und Gesundheitsaspekte sollten bereits in der Entwurfsphase neuer Technologien berücksichtigt werden, um möglichst effektiv zu sein und langwierige und oft weniger wirksame zusätzliche Korrekturmaßnahmen zu vermeiden, falls erst in der Anwendung Arbeitsschutzprobleme auftreten sollten. Erschwert wird diese Herausforderung noch durch die rasante digitale Entwicklung in der Branche, angeführt von kleinen Start-ups, Universitäten, Maschinen- und Datenunternehmen, und die geringe Beteiligung von Arbeitswissenschaftlern an der digitalen Revolution in der Landwirtschaft. Die Wirksamkeit des integrierten Designs bei der Verringerung der Risiken für Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit beschränkt sich nicht nur auf die Maschinen und Anwendungen, sondern auch auf die Neugestaltung von Feldern, landwirtschaftlichen Betrieben und Anbauplänen, um die intelligenten und sicheren Arbeitsverfahren effizient einsetzen zu können.

Auch die hartnäckigen, seit langem bestehenden Risiken in diesem Sektor, wie zum Beispiel Unfälle im Zusammenhang mit Traktoren und Maschinen oder im Umgang mit Tieren, bleiben weitgehend unangetastet. Neue Technologien werden nur mäßige Lösungen für diese sehr ernstesten Risiken erbringen, da es dem Sektor generell an einer Präventionskultur mangelt und weil eine Reihe anderer damit zusammenhängender Fragen, wie das Einkommen der Landwirte und die Ausbildung und Beratung im Bereich Sicherheit und Gesundheitsschutz ein ernst zu nehmendes Hemmnis bei ihrer Einführung darstellen.

Der diesem Text zugrundeliegende Bericht wurde im Auftrag der Europäischen Agentur für Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz erarbeitet und im Dezember 2020 in englischer Sprache und zur freien Verfügung veröffentlicht (<https://osha.europa.eu/de/publications/future-agriculture-and-forestry-implications-managing-worker-safety-and-health/view>). Die Erarbeitung erfolgte in der Autorenschaft von Alun Jones – CIHEAM (International Centre for Advanced Agronomic Studies), Martina Jakob – Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioeconomy e.V. (ATB), John McNamara – Teagasc (Irish Agriculture and Food Development Authority), mit Beiträgen von Dr. Andrea Teutenberg (Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e.V.).

Literaturverzeichnis

Merisalu E, Leppälä J, Jakob M, Rautiainen RH. Variation in eurostat and national statistics of accidents in agriculture. *Agron Res.* 2019;17(5):19691983.
doi:10.15159/AR.19.190

Donham J, Thelin A. *Agricultural Medicine: Rural Occupational and Environmental Health, Safety, and Prevention*, 2nd Edition. Wiley, 2016

Lundqvist P, Gustafsson B. Accidents and accident prevention in agriculture a review of selected studies. *Int J Ind Ergon.* 1992;10(4):311–319. doi:10.1016/0169-8141(92)90098-K

Karttunen JP, Rautiainen RH. Distribution and characteristics of occupational injuries and diseases among farmers: A retrospective analysis of workers' compensation claims. *Am J Ind Med.* 2013;56(8):856-869. doi:https://doi.org/10.1002/ajim.22194

Karttunen JP, Leppälä J, Rautiainen R. Disability outcomes and measures to extend working careers of Finnish farmers. 2014

<https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/482760/mttraportti144.pdf?sequence=1> (access: 2021.1.11)

Walker G. Occupational health priorities in agriculture, Report of a conference on occupational health in agriculture, 11 October 2001, Health and Safety Commission and Royal Agricultural Society of England, Stoneleigh, UK.

Osborne A, Blake C, Fullen BM, et al. Prevalence of musculoskeletal disorders among farmers: A systematic review. *Am J Ind Med.* 2012;55(2):143–158. doi:10.1002/ajim.21033

Ulrich C, Salavastru C, Agner T, et al. The European Status Quo in legal recognition and patientcare services of occupational skin cancer. *J Eur Acad Dermatol Venereol.* 2016;30(S3):46–51. doi:https://doi.org/10.1111/jdv.13609

Solon, O (2017), 'A right to repair: why Nebraska farmers are taking on John Deere and Apple', *The Guardian*, 6 March. Available at: <https://www.theguardian.com/environment/2017/mar/06/nebraska-farmers-right-to-repair-john-deere-apple>

Deter, A. (2020), 'Schon 8 von 10 Landwirten setzen auf digitale Technologien'. Available at: <https://www.topagrar.com/management-und-politik/news/schon-8-von-10-landwirten-setzen-auf-digitale-technologien-12046667.html>

Technikfolgenabschätzung von Gartenbau 4.0-Innovationen im Vernetzungs- und Transfervorhaben HortiCo 4.0

Technology assessment of horticulture 4.0 innovations in the networking and transfer project HortiCo 4.0

Sabine Ludwig-Ohm*, Marike Isaak, Walter Dirksmeyer

Thünen-Institut für Betriebswirtschaft, Bundesallee 63, D-38116 Braunschweig

*E-Mail: sabine.ludwig-ohm@thuenen.de

Zusammenfassung

Digitalisierung und Automatisierung bieten große Chancen für den Gartenbau, um Produktions- und Arbeitsprozesse zu optimieren. Für eine verstärkte Implementierung solcher Technologien in der gärtnerischen Praxis hat das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) im Rahmen der Innovationsförderung eine Förderrichtlinie für einen Gartenbau 4.0 etabliert. Gefördert werden ein Vernetzungs- und Transferprojekt (HortiCo 4.0) und zwölf Forschungs- und Entwicklungsprojekte (FuE-Projekte). Um die Unsicherheit über die Effekte der Innovationen zu verringern, gehört es zu den wissenschaftlichen Aufgaben des HortiCo 4.0-Projekts, die technologischen Umsetzungspotenziale und die sozioökonomischen Technikfolgen der Gartenbau 4.0-Innovationen zu analysieren. Die Ergebnisse sollen wichtige Erkenntnisse zur Wirtschaftlichkeit der Innovationen, aber auch zum Umgang mit (disruptiven) Veränderungen liefern, aus denen abschließend Handlungsempfehlungen für Politik, Verbände und Akteure gartenbaulicher Wertschöpfungsketten abgeleitet werden sollen.

Deskriptoren: Innovationen, Kosten-Nutzen-Analysen, SWOT-Analyse

Abstract

Digitization offers great opportunities for horticulture to optimize production and work processes. To increase the implementation of these technologies in the horticultural sector, a programme to promote horticulture 4.0 innovations was established. Consequently, a networking and transfer project (HortiCo 4.0) and twelve research and development projects (R&D projects) are supported. In order to reduce uncertainty about the effects of the innovation as a part of HortiCo 4.0 the expected technical progress will be scientifically examined with regard to their socioeconomic impacts on horticultural production and value chains. Economic analyses of the R&D projects will demonstrate how digitization affects the structure and competitiveness of the horticultural sector. SWOT analysis will

address the potential and impacts of innovations with respect to individual enterprises, the horticultural sector and society. Based on this policy recommendations will be derived.

Keywords: *innovations, cost-benefit analysis, SWOT analysis*

1 Einleitung

Digitalisierung und Automatisierung bieten große Chancen für den Gartenbau. Robotik, sensorgestützte Lösungen und künstliche Intelligenz können helfen, gärtnerische Produktions- und Arbeitsprozesse zu optimieren, indem sie zunehmend komplexer werdende Aufgaben im Bereich der Arbeitserleichterung, der Kontrolle von Prozessen und der Steuerung von Produktionssystemen übernehmen. Um die Integration dieser Technologien im Gartenbau zu beschleunigen, hat das BMEL im Programm für Innovationsförderung eine Förderrichtlinie für einen Gartenbau 4.0 etabliert und fördert seit 2019 zwölf Forschungs- und Entwicklungsprojekte (FuE-Projekte) und das Vernetzungs- und Transferprojekt HortiCo 4.0.

HortiCo 4.0 hat das Ziel, durch eine Vernetzung der Akteure in den FuE Projekten Synergiepotenziale, die sich aus einer Zusammenarbeit ergeben können, zu heben und die in den FuE-Projekten erarbeiteten Erkenntnisse und Entwicklungen in die gartenbauliche Praxis und die breite Öffentlichkeit zu tragen.

Darüber hinaus sollen im HortiCo 4.0-Projekt wichtige Erkenntnisse zu den technologischen Umsetzungspotenzialen und zu den sozioökonomischen Technikfolgen der Gartenbau 4.0-Innovationen analysiert werden, um die Unsicherheit über die Effekte der Innovationen zu verringern. Abschließend sollen Handlungsempfehlungen für Politik, Verbände und Akteure gartenbaulicher Wertschöpfungsketten (WSK) abgeleitet und weiterer Forschungsbedarf identifiziert werden.

2 Material und Methoden

Die Analysen zur Technikfolgenabschätzung fokussieren auf digitale Entwicklungen für den Gartenbau, insbesondere jedoch auf die zwölf FuE-Projekte im BMEL-Förderschwerpunkt Gartenbau 4.0. Daher sollen diese im Folgenden kurz skizziert werden. Darauf aufbauend werden die Untersuchungsaufgaben konkretisiert.

2.1 Die FuE-Projekte im BMEL-Förderschwerpunkt Gartenbau 4.0

Die Forschungsaufgaben der FuE-Projekte sind in Tabelle 1 benannt und reichen von der Technikentwicklung, z. B. der Entwicklung von Robotern, über die gartenbauspezifische Kombination und den Einsatz von bestehender Hardware, beispielsweise Sensoren oder Drohnen, bis hin zu Machine-Learning-Verfahren oder Linked-Data-Konzepten zur automatisierten Datenabfrage (FISA 2020).

Akronym	Forschungs- und Entwicklungsprojekt
Apfel4.NULL	Einsatz von Sensoren für eine nachhaltige Produktion und Lagerung von Apfel
FlyingData	Einsatz autonomer Drohnen zur nachhaltigen Pflanzenproduktion in Gewächshäusern
GeoSenSys	Georeferenziertes Sensor-gestütztes Daten-Management-System zur teilflächenspezifischen Bewässerung und Düngung von Freilandgemüse
HortiSem	Aggregation von Informationen für Pflanzenschutzmaßnahmen im Gartenbau
IPMaide	Sensorbasiertes Monitoring und Entscheidungshilfe für den integrierten Pflanzenschutz in Gewächshauskulturen
LichtFalle	Aufschrecken, Anlocken, Kartieren und selektives Bekämpfen von Schadinsekten mittels mobiler LED-Laser-Kombifalle
MiteSens	UAV-basiertes Monitoringsystem für Spinnmilben im Unterglasanbau
PHLIP	Entwicklung eines smarten 4D-Insektenmonitorings für einen integrierten Pflanzenschutz im Erwerbsobstbau
PlantGrid	Digitale Managementunterstützungssysteme für kleine und mittelständische Unternehmen in Wertschöpfungsketten von Zierpflanzen, Stauden und Schnittblumen
PlantSens II	Entwicklung eines Multisensorsystems zur Analyse des Gesundheitszustandes gartenbaulicher Nutzpflanzen und zur Steuerung automatisierter Pflanzenschutzmittel-Applikationstechniken auf der Basis digitaler Bildanalyse und Nahbereichsphotogrammetrie
RoBoKI	Pflanzliche Gewebekultur 4.0 – Künstlich intelligente, vollautomatische in vitro Pflanzenproduktion
WeBaRo	Autonome Trägerplattform zur Pflanzung, Pflege und Langzeitkartierung von Weihnachtsbaumkulturen

Tabelle 1: Die Forschungs- und Entwicklungsprojekte im BMEL-Förderschwerpunkt Gartenbau 4.0 (Quelle: FISA (2020), eigene Darstellung)

2.2 Analyse der Gartenbau 4.0-Innovationen

Die Forschungsaufgaben des HortiCo 4.0-Verbundprojekts sind in Abbildung 1 skizziert und zeigen die vernetzte und aufeinander aufbauende Struktur der Arbeitspakete (AP), die durch einen Fluss von Erkenntnissen und Ergebnissen zwischen den AP (Pfeile) gekennzeichnet ist. Wissenschaftliche Erkenntnisse zu den Technologiefolgen werden insbesondere in den AP 4, 5 und 7 erarbeitet.

Die technischen Analysen (AP 4) sollen die Umsetzungspotenziale der 4.0-Technologien für den Gartenbau aus technischer Sicht analysieren und darauf aufbauend die Zukunft des deutschen Gartenbaus im Rahmen von Digitalisierung und Automatisierung skizzieren. Mit der ökonomischen Technikfolgenabschätzung (AP 5) sollen die sozioökonomischen Effekte von Innovationen im Bereich Gartenbau 4.0 für den Sektor abgeschätzt

werden. Die Ergebnisse sollen wichtige Erkenntnisse zur Wirtschaftlichkeit der Innovationen, aber auch zum Umgang mit (disruptiven) Veränderungen liefern. Aufbauend auf den Ergebnissen der technischen, betriebswirtschaftlichen und sektoralen Analysen erfolgt eine übergeordnete SWOT-Analyse der Gartenbau 4.0-Entwicklungen (AP 7), um Handlungsempfehlungen für Politik, Verbände und Akteure gartenbaulicher WSK abzuleiten und weiteren Forschungsbedarf zu identifizieren.

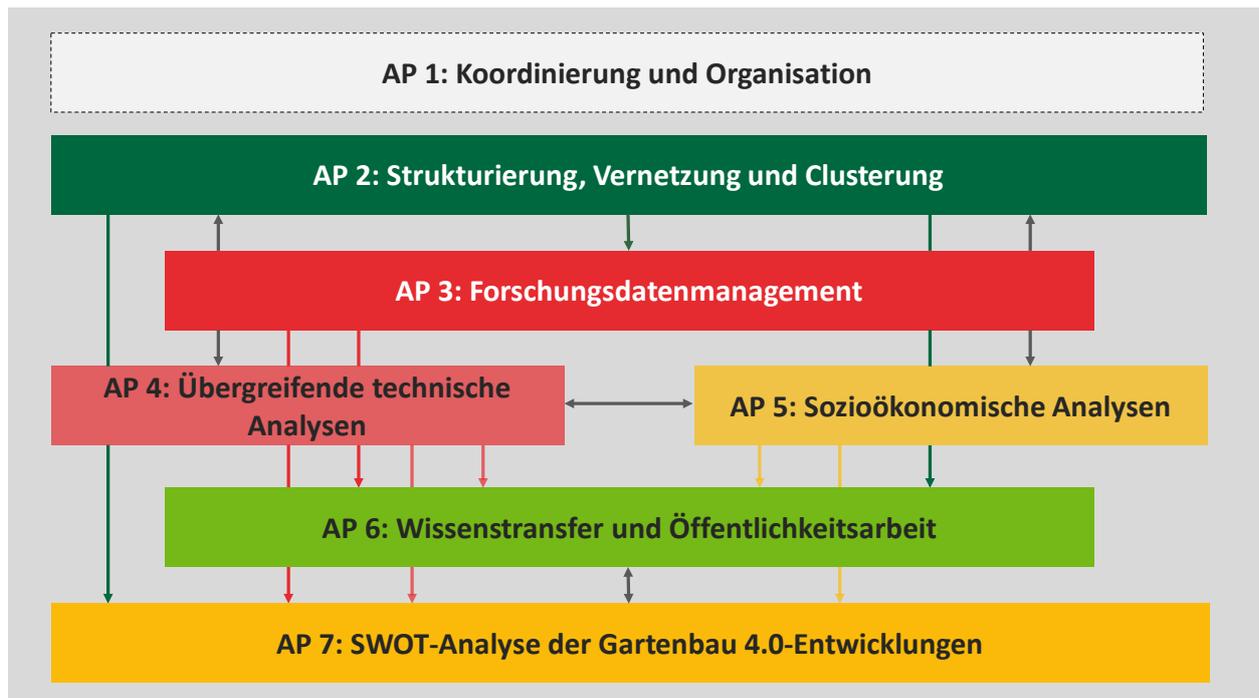


Abbildung 1: Die Struktur des Vernetzungs- und Transferprojekts HortiCo 4.0¹
(Quelle: Eigene Darstellung)

¹ Für die verschiedenen Vernetzungs-, Kommunikations- und Forschungsaufgaben sind das Thünen-Institut, das Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e. V., das Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinpfalz, die Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau Heidelberg und das Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge der Technischen Universität Braunschweig verantwortlich.

Nachfolgend soll die ökonomische Technikfolgenabschätzung zu den digitalen Innovationen im Gartenbau (AP 5 und 7) konkretisiert werden:

1. Systematisierung der 4.0-Technologien

Ein literaturbasierter Überblick über marktreife Innovationen für den Gartenbau soll helfen, die FuE-Projekte des Förderschwerpunkts in jüngere und laufende 4.0-Entwicklungen im gartenbaulichen und landwirtschaftlichen Kontext einzuordnen.

2. Analyse inner- und überbetrieblicher Auswirkungen und Durchführung einer Kosten-Nutzen-Analyse

Die sozioökonomischen Aspekte der Gartenbau 4.0-Innovationen fokussieren sowohl auf die Auswirkungen auf einzelbetrieblicher Ebene, beispielsweise auf Kosten, Rentabilität und Effizienz von Produktionssystemen, als auch auf die Auswirkungen auf den Gartenbausektor, die Betriebsstrukturen und die WSK. Darüber hinaus sollen die Auswirkungen der Innovationen auf den Strukturwandel im Gartenbau, die Wettbewerbsfähigkeit der Betriebe, den Ressourcenschutz und für die im Gartenbau tätigen Arbeitskräfte analysiert und bewertet werden.

Analysen in diesem Kontext sollen auf der Grundlage von Literatur, Statistiken, den Ergebnissen der Kosten-Nutzen-Analysen und der Einschätzung von Fachleuten auf Basis von Zukunftsszenarien erarbeitet werden. Die Expertise von Fachleuten aus Wissenschaft, Praxis, Beratung etc. wird mithilfe von leitfadengestützten Interviews und Stakeholderworkshops eingeholt. Diese auf qualitativer Forschung basierende Methode der Erkenntnisgewinnung wird von Bitsch (2000) als wichtiger Beitrag zur wirklichkeitsnahen Forschung in der Agrar- und Gartenbauökonomie erachtet.

3. SWOT-Analyse der Gartenbau 4.0-Entwicklungen

Aufbauend auf den Ergebnissen der technischen, betriebswirtschaftlichen und sektoralen Analysen erfolgt zum Schluss eine übergeordnete und die Erkenntnisse der Einzelanalysen zusammenfassende SWOT-Analyse der Gartenbau 4.0-Entwicklungen, die die Stärken und Schwächen des Sektors im Kontext der neuen Technologien herausarbeitet und den Chancen und Risiken, die sich für die gartenbaulichen Produktionsbetriebe und die gesamte WSK aus den Gartenbau 4.0-Innovationen ergeben, gegenüberstellt. SWOT-Analysen als vorbereitende Grundlage für strategische Entscheidungen sind vorrangig in der Managementplanung etabliert. Sie sind jedoch gleichfalls geeignet, um Handlungsoptionen und Entwicklungspotenziale für Branchen und Sektoren zu analysieren (Dirksmeyer et al. 2017), politischen Handlungsbedarf abzuleiten und Forschungsbedarf zu identifizieren.

3 Ergebnisse

Bislang konnten Erkenntnisse zu den Anwendungsbereichen von digitalen Innovationen im Gartenbau und den FuE-Projekten des Förderschwerpunkts Gartenbau 4.0 gewonnen werden, die in den beiden nachfolgenden Kapiteln 3.1 und 3.2 beschrieben werden. In Kapitel 3.3 wird ein Ausblick auf die geplanten Untersuchungen zur Technikfolgenabschätzung gegeben.

3.1 Praxisreife 4.0-Innovationen für den Gartenbau

Praxisreife digitale Innovationen für den Gartenbau außerhalb des Förderschwerpunktes Gartenbau 4.0 fokussieren auf folgende Anwendungsbereiche:

- Für die Ernte von Obst und Gemüse existieren vielfach Prototypen oder sogar praxisreife Roboter, z. B. für Äpfel (FFRobotics 2020 und Tevel Aerobotics Technologies 2021), Erdbeeren (Traptic 2021), Himbeeren und Blumenkohl (Fieldwork Robotics 2021), Spargel (ai-solution 2020, Cerescon 2021 und AvL Motion 2021) und Einleggurken (Fraunhofer-Institut o. J.).
- Autonome Feldroboter, beispielsweise zur Unkrautbekämpfung im Gartenbau, sind in der Praxiserprobung (FarmDroid 2021, Farming revolution 2021, Naïo-Technologies 2021).
- Ein System zur Bewässerung von Gräbern ist einsatzfähig (Innok Robotics 2021).
- Pflanzenanalysesysteme für Ernte- oder Ertragsprognosen sind marktreif (Pixofarm 2021, WUR 2021). Im Forschungsstatus befindet sich ein Projekt zur Generierung einer virtuellen Tomatenkultur („Digital Twins for tomatoes“) für genauere Ertragsprognosen (WUR 2021a). Es soll ein 3D-Simulationsmodell von Prozessen, das sich auf Grundlage von Echtzeitinformationen aus einem realen Gewächshaus aktualisiert, entwickelt werden.
- Ebenfalls im Forschungsstadium befindet sich ein Projekt zur sensorbasierten Kulturführung im Zierpflanzenbau („Nursery Stock Growing Support System“) mit automatisierten Daten zu Feuchtigkeit, Temperatur und Salzgehalt aus dem Pflanzenbestand (EIP-Agri 2021).
- Ein weiteres Projekt aus dem Zierpflanzenbau („ZierSens“) erarbeitet aktuell einen Sensor zur laufenden Ermittlung des Ernährungszustandes von Pflanzen für eine Düngungsoptimierung (SMUL 2021).
- Im Weinbau wurde das Projekt „BigGrape“ abgeschlossen. Es liefert Erkenntnisse zur Analyse verschiedener Ansätze zur Krankheitserkennung durch bodengestützte hyperspektrale und luftgestützte multispektrale Bildgebung (Bendel et al. 2020).

Wenngleich es bereits viele Forschungsansätze und Prototypen für sehr unterschiedliche digitale Anwendungen im Gartenbau gibt, hat eine echte Umsetzung von 4.0-Technologien für Ernte, Unkrautbekämpfung etc., d. h. deren Integration, bislang noch nicht stattgefunden (vgl. hierzu Shamshiri et al. 2018, KTBL 2018). Demgegenüber ist die Praxiseinführung im Bereich der Sensoren deutlich weiter fortgeschritten (vgl. Jedermann et al. 2016).

3.2 Technologien in den FuE-Projekten des Förderschwerpunkts Gartenbau 4.0

Ein Schwerpunkt der Forschungsarbeiten in den FuE-Projekten fokussiert auf eine sensorgestützte Erkennung von Schädlingen (IPMaide, LichtFalle und PHLIP), von Klimadaten (FlyingData und Apfel4.NULL) oder Pflanzenkrankheiten (PlantSens II, RoBoKI). Dabei sollen die in den FuE-Projekten angestrebten Gartenbau 4.0-Innovationen ausgewählte Produktionsschritte in der gärtnerischen Praxis mit Hilfe von digitalen Verfahren unterstützen, vereinfachen oder sie gänzlich ersetzen. Die dabei angestrebten Ergebnisse können nach dem Umfang der digitalen Assistenz, ausgehend von einer situativen bis hin zu einer automatisierten Unterstützung der Anwender:innen, differenziert werden (vgl. Härtel 2019 und Niehaus 2017). Eine komplette Integration digitaler Systeme zur vollständigen Automatisierung von Produktionssystemen wird jedoch in keinem FuE-Projekt angestrebt.

1. Durchführung eines Monitorings

Ein erster Schritt hin zur digitalen Assistenz ist die Durchführung eines vollautomatischen Monitorings mithilfe von Sensoren. Es werden beispielsweise Daten zu Schadorganismen oder der Wasserversorgung erhoben.

2. Verarbeitung der Monitoringdaten

Der zweite Schritt, die Verarbeitung der Monitoringdaten in digitalen Analyse- und Prognosemodellen zur Entscheidungsunterstützung, wird bereits in fast allen FuE-Projekten vollzogen.

3. Vollständige Automatisierung eines Arbeitsschrittes

Die dritte Stufe der digitalen Assistenz ist eine vollständige Automatisierung eines Arbeitsschrittes, die in sechs FuE-Projekten angestrebt wird. Beispiele dafür sind die Bekämpfung eines Schadorganismus, die automatische Steuerung der Wasserversorgung oder das Ausführen von Kulturarbeiten. Dabei fokussieren die meisten Projekte auf die Entwicklung eines Prototyps.

Abbildung 2 verortet die FuE-Projekte gemäß der skizzierten digitalen Assistenz und differenziert zusätzlich nach der Marktreife der Technologien. Dabei zeigt sich, dass von den FuE-Projekten, die an einem Prototyp forschen, fünf Projekte auf die dritte Stufe der digitalen Assistenz fokussieren. Aber lediglich ein Projekt, das auf vollständige Automatisierung setzt, wird bereits praktisch eingesetzt.

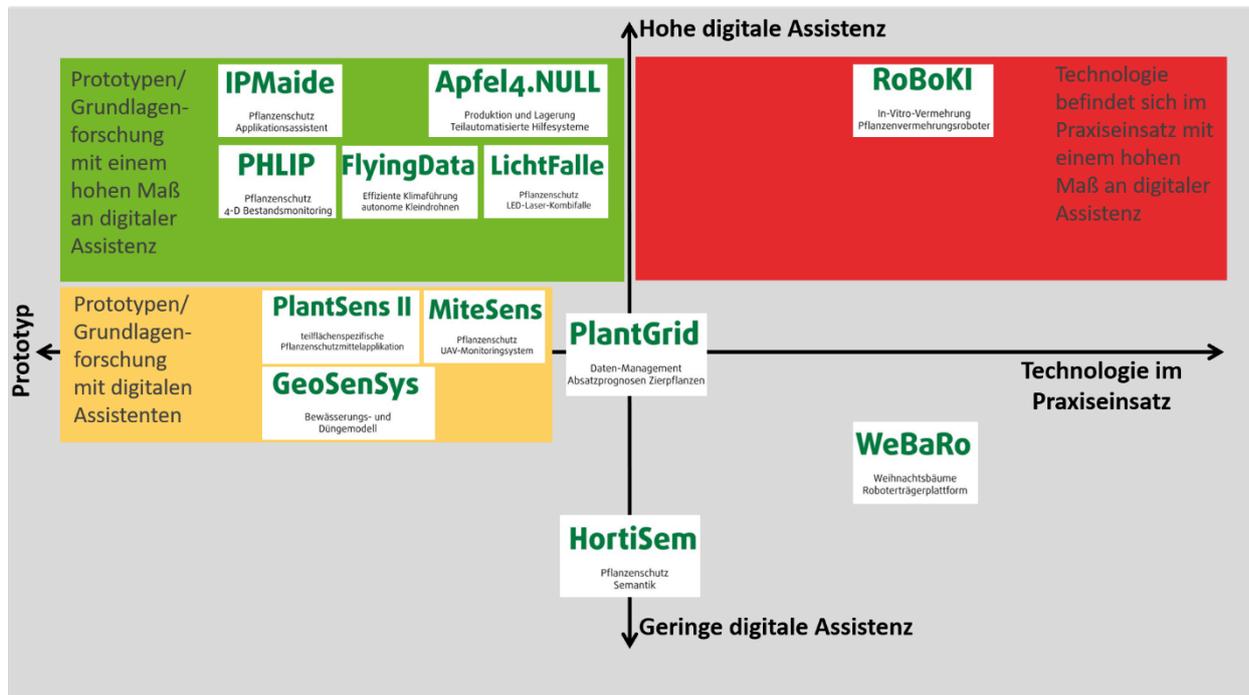


Abbildung 2: Systematisierung der Technologien in den FuE-Projekten im Förderschwerpunkt Gartenbau 4.0 anhand des Umfangs der digitalen Assistenz und der Marktreife der Technologien (Quelle: Eigene Darstellung)

3.3 Technikfolgenabschätzung für Gartenbau 4.0-Innovationen

Digitale Assistenz bedeutet die Übernahme von Aufgaben und Arbeiten, die aktuell dem Menschen vorbehalten sind durch automatisierte Systeme und Roboter. Welche Chancen sich dadurch ergeben, wie sich Produktionsprozesse und Arbeitsverfahren verändern (müssen) und welche Veränderungen damit für die im Gartenbau arbeitenden Menschen verbunden sind, wird im nächsten Untersuchungsschritt zu analysieren sein.

Dabei wird sich die Bewertung auf die in den FuE-Projekten zu entwickelnden Technologien fokussieren; es handelt sich im Sinne von Bullinger (1994) um eine technikinduzierte Bewertung der Innovationen.

4 Diskussion

Wie der digitale Wandel auf die Wettbewerbsfähigkeit, die Nachhaltigkeit, die Struktur der Gartenbaubranche und die Nachfrage nach Arbeit wirkt, wurde bislang nicht umfassend wissenschaftlich analysiert. Einzelne Studien, die sich beispielsweise auf den Einsatz von Feldrobotern spezialisieren, zeigen, dass Investitionskosten steigen und Arbeitskosten gesenkt werden können (Pedersen et al. 2006, Gaus et al. 2018).

Einer Studie zu den möglichen Folgen des technischen Wandels für Saisonarbeitskräfte im niederländischen Gartenbau konstatiert, dass der Wettbewerbsdruck Investitionen in

arbeitssparende Technologien anregt und die Nachfrage nach gering qualifizierten Saisonkräften verringert (Siegmann et al. 2021).

Vermutungen, dass durch die Digitalisierung prinzipiell weniger Arbeitskräfte benötigt werden, können aktuell nicht bestätigt werden. Es gibt keine Hinweise darauf, dass der technologische Fortschritt langfristig zu insgesamt weniger Beschäftigung führt. Volkswirtschaftlich ergeben sich Verschiebungen zwischen den Wirtschaftszweigen und den Berufen (Eichhorst und Buhlmann 2015; Matthes et al. 2019).

Matthes et al. (2019) erwarten, dass mit der Digitalisierung neue Arbeitsplätze entstehen, weil mit dem Einsatz neuer Technologien (1) Produktivitätsfortschritte und Preissenkungen verbunden sind, die über eine höhere Güter- und Arbeitsnachfrage neue Arbeitsplätze schaffen, und (2) neue Produkte und Dienstleistungen auf dem Markt angeboten werden.

Vor dem Hintergrund dieser Studien werden mit den für Ende 2023 zu erwartenden Ergebnissen des HortiCo 4.0-Projekts auch tiefergehende Erkenntnisse für die Nachfrage nach Arbeitskräften im Gartenbau erwartet.

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

Literaturverzeichnis

ai-solution (2020) KIRPY – Der Spargelvollernter. <http://www.ai-solution.de/>

AvL Motion (2021) The future of farming is here. <https://www.avlmotion.com/>

Bendel N, Kicherer A, Backhaus A, Klück H-C, Seiffert U, Fischer M, Voegelé R T, Töpfer R (2020) Evaluating the Suitability of Hyper- and Multispectral Imaging to Detect Foliar Symptoms of the Grapevine Trunk Disease Esca in Vineyards, REPRINT (Version 1) available at Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-25654/v1>

Bitsch V (2000) Agrarökonomie und qualitative Forschung: Unvereinbare Paradigmen? Forum Qualitative Sozialforschung 1(1), Art. 6, <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0114-fqs000167>

Bullinger H-J (Hg.) (1994) Technikfolgenabschätzung (TA): Technologiemanagement – Wettbewerbsfähige Technologieentwicklung und Arbeitsgestaltung. Stuttgart: B. G. Teubner

Cerescon (2021) Harvesting Innovation. <https://www.cerescon.com/>

Dirksmeyer W, Garming H, Homeister H (2007) SWOT-Analyse für den Obst- und Gemüsesektor. Stellungnahme für das BMEL. Thünen-Institut, Braunschweig.

- Eichhorst W, Buhlmann F (2015) Die Zukunft der Arbeit und der Wandel der Arbeitswelt. IZA Standpunkte Nr. 77, Bonn.
- EIP-Agri (2021) Nursery Stock Growing Support System. <https://ec.europa.eu/eip/agriculture/en/find-connect/projects/nursery-stock-growing-support-system>
- Farmdroid (2021) FarmDroid – Der erste Roboter der Welt, der sowohl die Aussaat als auch das Unkrautjäten von Ackerpflanzen verrichten kann. <https://farmdroid.dk/de/>
- Farming revolution GmbH (2021) Kameragesteuerte Hackroboter für Ihren landwirtschaftlichen Betrieb. <https://www.farming-revolution.com/de/>
- FFRobotics (2020) The Future of Fresh Fruit Harvest. <https://www.ffrobotics.com/>
- Fieldwork Robotics (2021) Selective and autonomous harvesting robots. <https://fieldwork-robotics.com/>
- FISA – Forschungsinformationssystem Agrar und Ernährung (2020) Deutsche Agrar- und Ernährungsforschung im Überblick. <https://www.fisaonline.de/>
- Fraunhofer (o. J.) CATCH – Cucumber gathering: Green field experiments. AUT-Themenblatt, Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik.
- Gaus C-C, Urso L-M, Minßen T-F, Witte T de (2018): Economics of mechanical weeding by a swarm of small field robots. Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e. V. 53:321-322
- Härtel I (2019) Agrar-Digitalrecht für eine nachhaltige Landwirtschaft 4.0. Natur und Recht 41: 577-586. (DOI: 10.1007/s10357-019-3571-y)
- Innok Robotics (2021) Rainos – Der Roboter zur automatischen Bewässerung von Gräbern. <https://rainos.de/>
- Jedermann R, Hartgenbusch N, Borysov M, Llody C, Praeger U, Spuler M, Lang W (2016) Spatial profiling of airflow conditions in cold storage warehouses by wireless anemometers. In: Herbert U, Kreyenschmidt J (eds.): Proceedings of the 6th Int. Cold Chain Management Conference. Universität Bonn, p. 93-98
- KTBL – Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (2018): KTBL-Tagung. Robotics und Automatisierung im Gartenbau, 17.-18.09.2018, Erfurt.
- Matthes B, Dauth W, Dengler K, Gartner H, Zika G (2019) Digitalisierung der Arbeitswelt: Bisherige Veränderungen und Folgen für Arbeitsmarkt, Ausbildung und Qualifizierung. Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung: IAB-Stellungnahme Nr. 11
- Naïo-Technologies (2021) Dino – Weeding robot for large-scale vegetable crops. <https://www.naio-technologies.com/en/>
- Niehaus J (2017): Mobile Assistenzsysteme für Industrie 4.0. Gestaltungsoptionen zwischen Autonomie und Kontrolle. FGW – Forschungsinstitut für gesellschaftliche Weiterentwicklung e. V. (Hg.), Düsseldorf

Pedersen S M, Blackmore B S, Fountas S (2006) Agricultural robots – System analysis and economic feasibility. *Precision Agriculture* 7: 295–308

Pixofarm GmbH (2021) Accurate yield estimation for your orchard. <https://www.pixofarm.com/>

Shamshiri R, Kalantari F, Ting K, Thorp K, Hameed I, Weltzien C, Ahmad D, Shad Z (2018) Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture: A transition to plant factories and urban farming. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 11 (1), 1–22 <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181101.3210>

Siegmann K A, Ivosevic P, Visser O (2021) Working like machines: Exploring effects of technological change on migrant labour in Dutch horticulture. International Institute of Social Studies, Working Paper No. 691, Den Haag

SMUL – Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (2021) ZierSens – CMOS-Bildsensor für die Bestimmung von Pflanzeninhaltsstoffen. <https://www.gartenbau.sachsen.de/ziersens-nutzung-eines-all-in-one-cmos-bildsensors-37440.html>

Tevel Aerobotics Technologies (2021) The best fruit pickers in the world, by Flying Autonomous Robots. <https://www.tevel-tech.com/>

Traptic (2021) Feed the World with Farming Robots. <https://www.traptic.com/>

WUR – Wageningen University and Research (2021) Plantalyzer – tomato monitoring for harvesting forecast. Online verfügbar: <https://www.wur.nl/en/project/Plantalyzer-tomato-monitoring-robot-for-harvesting-forecast.htm> (letzter Abruf: 19.12.2021)

WUR – Wageningen University and Research (2021a) WUR is working on Digital Twins for tomatoes, food and farming. <https://www.wur.nl/en/news-wur/Show/WUR-is-working-on-Digital-Twins-for-tomatoes-food-and-farming.htm> (letzter Abruf: 19.12.2021)

Einsatz von passiven Exoskeletten im Obst- und Gemüsebau – Eine Pilotstudie

Use of passive exoskeletons in fruit and vegetable production – A pilot study

Fabian Frixen

E-Mail: f.frixen@gmail.com

Zusammenfassung

In der vorliegenden Pilotstudie werden die zwei Exoskelette *Hapo* von *Ergosanté* und *Apex* von *Herowear* auf Usability und Akzeptanz evaluiert. Bei der Pilotstudie wird ein quasiexperimenteller Ansatz mit Kontrollgruppe angewendet. Die Datenerhebung erfolgt anhand eines Usability-Akzeptanz-Fragebogens und Beobachtungen. Die Versuchsgruppe umfasst vier Versuchspersonen auf dem Florahof in Potsdam und die Kontrollgruppe vier weitere Versuchspersonen auf dem Leibniz-Instituts für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB). Die Exoskelette wurden von den Versuchspersonen überwiegend gut bewertet, jedoch zeigten sich Einschränkungen im Tragekomfort und der Bewegungsfreiheit. Beide Exoskelette sind für die Kniebeugetechnik ausgelegt, die Versuchspersonen bevorzugen jedoch eine Vorbeugetechnik für die Ernte und der Unkrautbeseitigung. Die Arbeit dient dafür erste Bezugspunkte von passiven Exoskeletten zum Gartenbau herzustellen.

Abstract

In this pilot study, two exoskeletons Hapo by Ergosanté and Apex by Herowear were evaluated for usability and acceptance. The pilot study uses a quasi-experimental approach with a control group. The data collection is based on a usability-acceptance questionnaire and observations. The experimental groups consist of four test persons from an orchard in Potsdam and a control group of four test persons from the Leibniz Institute of Agricultural Engineering and Bioeconomy (ATB). The overall rating of the exoskeletons was positive, but there were limitations in wearing comfort and freedom of movement. Both exoskeletons are designed for knee-bending techniques, but the test subjects prefer a forward-bending technique when harvesting and weeding. The study serves to gain first experiences with passive exoskeletons in horticulture.

Keywords: Exoskelett, Usability, Akzeptanz

1 Einleitung

Körperzwangshaltungen können akute sowie chronische Rückenschmerzen mit Bewegungseinschränkungen und degenerative Veränderungen der Wirbelsäule auslösen (vgl. Liebers & Schust, 2021, S. 490). 2016 waren mehr als 262.000 Arbeitskräfte im Gartenbau in der Erzeugung beschäftigt, davon waren über 76 % Saisonarbeitskräfte (vgl. BMEL 2021, S. 20). Die Arbeitskräfte führen die Ernte und Unkrautentfernung häufig in einer Körperzwangshaltung aus. Müller & Leyen (2014, S. 10) stellten fest, dass die körperlichen Belastungen in der Landwirtschaft durch technische Hilfsmittel abzumildern sind. Laut Lundqvist (2000, S. 656) sind zudem weitere Entwicklungsschritte und Forschung in der ökologischen Unkrautentfernung nötig. Exoskelette könnten in der Landwirtschaft (und im Gartenbau) größere Auswirkungen haben im Vergleich zu anderen Industriezweigen (Upasani et al., 2019, S. 12). Der Grund dafür liegt darin, dass andere Interventionsstrategien aufgrund der hohen Dynamik der landwirtschaftlichen (gartenbaulichen) Arbeit eine umfassende Änderung der Arbeitsumgebung erfordern (ebd.). In der Literatur findet sich keine einheitliche Definition für Exoskelette, es besteht aber Konsens, dass es sich um eine „körpergetragene mechanische Struktur“ handelt. (vgl. Hensel & Keil, 2018, S. 253; Herr, 2009; Looze et al., 2016) Laut Schick (2018, S. 4) sind Exoskelette „am Körper getragene Assistenzsysteme, die mechanisch auf den Körper einwirken“. Weitere Bezeichnungen für Exoskelette sind: Back Support Systems (*ErgoAg Company Press Releases*, 2012), Exosuit (Yandell et al., 2022), (Moreno et al., 2022) oder Ergoskelett (Hensel & Keil, 2018), jedoch wird die Bezeichnung Exoskelett am häufigsten verwendet. Bei der Studie werden passive Exoskelette verwendet. Unter passiven Exoskeletten versteht man die rein mechanische Unterstützung in Form von elastischen Bändern, Federn oder Seilzugsystemen. Das Apex Exoskelett in der Studie verwendet elastische Bänder und das Hapo Exoskelett biegsame Stäbe, die als Federn fungieren.

Die Pilotstudie wurde im Rahmen einer Bachelorarbeit durchgeführt, um die Usability und Akzeptanz von passiven Exoskeletten im Obst- und Gemüsebau zu evaluieren. Unter der Usability wird im Deutschen die Benutzerfreundlichkeit, Nutzerfreundlichkeit oder Gebrauchstauglichkeit verstanden. Im wissenschaftlichen Rahmen wird meist der Begriff Usability verwendet. Nach dem Modell von Shackel hängt ein gutes Design und damit eine zufriedenstellende Usability von der Gestaltung des Werkzeugs (des Exoskeletts) in Bezug auf die nutzende Person, die Aufgaben und die Umgebung ab (Shackel 2009, S.339). Die Untersuchungsparameter der Exoskelette hinsichtlich der Usability betreffen den Körperbau, den ergonomischen und hautsensorischen Tragekomfort, den Thermophysiologicalen Tragekomfort, die Bedienbarkeit (An- und Ablegen der Exoskelette, Bewegungsfreiheit) weiterhin wird die Akzeptanz der tragenden und der mitarbeitenden Personen bewertet.

Im Rahmen von Feldstudien (Pilotstudien) sollten praxisorientierte Erkenntnisse gesammelt werden, um den Entscheid für oder gegen den Einsatz von Exoskeletten zu rechtfertigen (Hensel & Keil, 2018, Einl.). Jedoch wurden Pilotstudien für den Einsatz von Exoskeletten bisher überwiegend in der Automobil- und Logistikbranche durchgeführt

(vgl. Kaupe & Feldmann, 2021; Hefferle et al., 2019; Hensel & Keil, 2018). In der Landwirtschaft wurde bislang lediglich über das Exoskelett *Laevo* eine Pilotstudie umgesetzt (vgl. Omoniyi et al., 2020). Im Obst- und Gemüsebau wurden dagegen noch keine Pilot- oder Feldstudien durchgeführt. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird der Frage nachgegangen, wie die beiden passiven Exoskelette **Hapo** und **Apex** in der praktischen Feldarbeit auf einem ökologischen Obst- und Gemüsebau zu bewerten sind.

Folgende Forschungsfrage stellt der vorliegenden Arbeit die Grundlage dar:

Wie sind die beiden passiven Exoskelette Hapo und Apex bei der praktischen Feldarbeit auf einem ökologischen Obst- und Gemüsebau zu bewerten?

Dafür wurden folgende Unterfragen gebildet:

F1: Wie wird die Usability der passiven Exoskelette bewertet?

F2: Zeigen sich erste Akzeptanzeffekte?

2 Material und Methoden

Bei der Pilotstudie wird die Mixed-Methods-Variante verwendet, bei dieser werden quantitative und qualitative miteinander kombiniert. Eine Randomisierung der Versuchspersonen war nicht möglich, daher wurde ein quasiexperimenteller Ansatz mit Kontrollgruppe gewählt. Die Untersuchung wurde auf dem Florahof (Versuchsgruppe) und auf dem ATB-Gelände (Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie in Potsdam), als Kontrollgruppe durchgeführt.

Versuchsablauf

Der erste Versuch fand auf einen ökologischen Obst und Gemüsebaubetrieb in Potsdam statt (Florahof). Einen Monat vor der Pilotstudie hat der Autor (der Versuchsleiter) ein persönliches Treffen mit den Versuchspersonen organisiert, um die Versuchspersonen über die passiven Exoskelette aufzuklären und etwaige Fragen zum Studienablauf zu erklären. Die Untersuchung auf dem Florahof fand vom 19.05.2021 bis zum 08.06.2021 statt. Insgesamt wurden neun Versuchstage angesetzt. Am ersten Versuchstag haben die Versuchspersonen einen Anamnesebogen (Nordischer Fragebogen) ausgefüllt. Die vier Versuchspersonen waren für drei Arbeitstage in der Woche an der Studie beteiligt. Die Exoskelette wurden selbstständig von den Versuchspersonen angezogen. Bei der Durchführung der Tätigkeiten wurden Beobachtungsnotizen und Foto- und Videoaufnahmen für die spätere Auswertung erstellt. Am Ende jedes Versuchstags sollte, der selbst erstellte Usability-Akzeptanz Fragebogen von jeder Versuchsperson ausgefüllt werden. Für den Kontrollgruppenversuch auf dem Gelände des ATB wurde ein 50 m² große Fläche mit Möhren von vier Versuchspersonen abgeerntet und ein Traglasten-Parcours mit Gemüseboxen und Sandsäcken, als Gewichte bewältigt.

Versuchspersonen

Die Versuchspersonen auf dem Florahof (Tabelle 1) hat der Betriebsleiter vorgegeben, dabei war der Betriebsleiter selbst ein Proband. In der Kontrollgruppe (Tabelle 2) waren die betreuende Person Frau Dr. Martina Jakob und der Autor dieser Arbeit mit involviert.

Tabelle 1: Die Tabelle zeigt die unterschiedlichen Versuchspersonen auf dem Florahof mit Alter, Gewicht (kg), Körpergröße (cm) und BMI

<i>Versuchsperson</i>	<i>Geschlecht</i>	<i>Alter</i>	<i>Gewicht [kg]</i>	<i>Körpergröße [cm]</i>	<i>BMI</i>
<i>A</i>	Männlich	34	85	185	24,8
<i>B</i>	Männlich	45	73	172	24,7
<i>C</i>	Weiblich	21	66	155	27,5
<i>D</i>	Weiblich	24	58	163	21,8

Tabelle 2: Die Tabelle zeigt die unterschiedlichen Versuchspersonen für den Kontrollgruppenversuch auf dem ATB-Versuchsgelände.

<i>Versuchsperson</i>	<i>Geschlecht</i>	<i>Alter</i>	<i>Gewicht [kg]</i>	<i>Körpergröße [cm]</i>	<i>BMI</i>
<i>E</i>	Weiblich	53	47	162	17,9
<i>F</i>	Weiblich	21	60	168	21,3
<i>G</i>	Weiblich	59	58	165	22,0
<i>H</i>	Männlich	29	62	172	21,0

Die Versuchspersonen litten an verschiedenen Beschwerden, am häufigsten im oberen und unteren Rücken, teilweise in der Nackenregion (Nordischer Fragebogen).

Exoskelette

Bei der Pilotstudie werden zwei verschiedene Arten von passiven Exoskeletten, das *Apex* von *Herowear* und das *Hapo* von *Ergosanté* verwendet.

Hapo

Das Exoskelett *Hapo* von *Ergosanté* besteht aus einem Haltungsgeschirr, vier Federn aus Verbundmaterial und 2 Beinmanschetten. Das Haltungsgeschirr besteht aus mehreren Teilen: dazu zählen ein Lendenpolster, ein Schulterträger und ein Rückenband. Die

Stäbe aus Verbundmaterial fungieren als Federn. Die Federn laufen von den Schulterträgern (obere Brusthöhe) hin zu den Beinmanschetten. Auf der Höhe der Hüfte ist an den Federn ein Schiebemechanismus verbaut der es erlaubt, die Unterstützung durch das Exoskelett zu aktivieren oder zu deaktivieren. Das Haltungsgeschirr wird auf der Höhe des Bauches wie ein Gürtel verschlossen. Vom Haltungsgeschirr zu den Beinmanschetten verlaufen Sicherungsbänder. Die Schulterträger werden für die zusätzliche Fixierung an der Brust mit einem Klickverschluss verschlossen. Die Beinmanschetten werden mit einem dünnen Klettband fixiert. Zur Polsterung der Brust und -Rippenbereichs können aufpumpbare Polster eingesetzt werden, die aber nicht in der Standardausführung enthalten sind. Die Farbe des Exosketts ist in der M-Variante zum größten Teil Schwarz und in der XS-Variante Hellgrau, die Federn sind Gelb und die aufpumpbaren Polster sind in Schwarz gehalten. Das Gewicht des Exosketts beträgt 1,2 kg.

Bisher wurde für das Hapo erst eine Studie durchgeführt (Jelti et al., 2021). Bei der Studie hat das herstellende Unternehmen (*Ergosanté*) mitgewirkt, zudem handelt es sich um einem Preprint. Die Studie fand unter Laborbedingungen statt. Das Hapo reduzierte die Muskelaktivität der Erektormuskeln an der Wirbelsäule bei gleichzeitiger Reduzierung von Hyperlordosen¹ und der Komfort wurde als gut befunden (vgl. Jelti et al., 2021).

Apex

Die Bezeichnung *Apex* wird neben dem Exoskelett von *Herowear* noch bei zwei weiteren Exoskeletten verwendet (Brandon Martin et al., 2022) und (Matthew et al., 2015).

Bei dem Exoskelett von *Herowear* (*Apex*) handelt es sich um ein passives Exoskelett. Laut *Herowear* (2021) sind bis zu 56 unterschiedliche Größen möglich. Die Unterstützung erfolgt mithilfe von elastischen Bändern, die parallel zur Rückenmuskulatur laufen. Weitere Bestandteile des Exosketts sind ein Rückenmodul, zwei Beinmanschetten und Schulterträger zum Aufsetzen des Exosketts. Das Rückenmodul besteht aus einer starren Platte, die mit Textil überzogen ist. Auf dieser Platte ist ein kreisförmiger Mechanismus verbaut, dieser enthält einen Kabelzug, der mit einem Karabinerhaken verbunden ist. An diesem Karabinerhaken werden die austauschbaren elastischen Bänder befestigt, die zu den Beinmanschetten führen. Die Beinmanschetten bestehen aus mehreren Klettverbindungen, die innenliegend sind. An dem Rückenmodul werden zusätzlich die variablen Schulterträger mit Klickverschlüssen verbunden. Diese unterscheiden sich zwischen zwei Größen für Frauen (L/XL und S/M) und zwei Größen für Männer (L/XL und S/M). Die Schulterträger können durch Klettverschlüsse angepasst werden. Am linken Seitenband des Schulterträgers befindet sich ein Mechanismus zum An- und Ausschalten der Unterstützung, dieser Mechanismus ist mit einer Drahtverbindung zum Rückenmodul verbunden. Die Schulterträger werden für die zusätzliche Fixierung, am Körper, mit einem

¹ Eine *Hyperlordose* ist eine Fehllhaltung der Wirbelsäule. Diese kann sowohl die Lendenwirbelsäule (LWS) und die Halswirbelsäule (HWS) betreffen. Laienmedizinisch ist die Hyperlordose auch unter dem Begriff Hohlkreuz bekannt (DocCheck, 2021).

Klickverschluss an der Brust befestigt. Bei der Ausführung für die Frauen sind die Träger krummlinig, weil Frauen häufig schmalere Schultern und einen kürzeren Oberkörper haben und eine dynamischere Kurve benötigen, um Platz für die Brust zu schaffen (herowear, 2020). Je nachdem welche Größe der elastischen Bänder genutzt wird, wiegt das Exoskelett ca. 1,5 kg.

Die Probandinnen haben beim *Apex* das Rückenmodul für Frauen in der S-Variante genutzt und die kleinsten elastischen Bänder in der Strong-Variante Größe 1 und beim *Hapo* die Größe XS. Die Probanden verwendeten beim *Apex* das Rückenmodul für Männer in der M-Variante und elastische Bänder der Strong-Variante in der Größe 1 bis 3. Die Versuchsperson B nutzte am ersten Versuchstag das *Hapo* in der Größe S, wechselte aber nach einem Defekt an der Feder zur Größe M. Die Versuchsperson A verwendete die Größe M. Bei dem *Apex* hat der Autor die Einstellung und den Austausch der modularen Teile für die Versuchspersonen vorgenommen.



Abbildung 1: Das Apex und das *Hapo* im Vergleich: A1 Rückansicht des Apex, A2 Frontansicht des Apex, B1 Frontansicht des *Hapo* und B2 Rückansicht des *Hapo*

Datenerhebung

Die Datenerhebung erfolgt anhand eines Usability-Akzeptanz-Fragebogens und Beobachtungen. Der Fragebogen beinhaltet geschlossene und offene Fragestellungen. Bei geschlossenen Fragestellungen wurde die Likert-Skala verwendet und die offenen Fragestellungen wurden kurz und präzise gehalten. Die Datenanalyse des Fragebogens er-

folgte deskriptiv mithilfe von Excel, dabei wurde für die geschlossenen Fragen der Median, der Mittlere absolute Abweichung vom Median (MAD) und die Spannweite verwendet. Um die Antworten aus den Fragebögen anschaulich zu gestalten wurde für jedes Exoskelett ein Punktdiagramm erstellt. Da auf dem Florahof nach jeden Versuchstag der Fragebogen ausgefüllt wurde, konnte ein Median je Versuchsperson gebildet werden. Bei dem Vergleichsgruppenversuch auf dem ATB-Versuchsgelände konnte dagegen auf nur ein Fragebogen je Versuchsperson zurückgegriffen werden.

Für die *Ja*, *Nein* und *Weiß ich nicht* Antworten aus dem Fragebogen wurde je Versuchsort der prozentuale Anteil ermittelt und in einem gestapelten Balkendiagramm dargestellt.

An der Pilotstudie nahmen auf dem Florahof vier Versuchspersonen und bei einem zweiten kleineren Versuch auf dem Versuchsgelände des Leibniz-Instituts für Agrartechnik und Bioökonomie (ATB) vier weitere Versuchspersonen teil. Der quasiexperimentelle Ansatz mit Kontrollgruppe wurde gewählt, da eine Randomisierung der Versuchspersonen nicht möglich ist. Der Florahof liegt im Norden von Potsdam.

Einen Monat vor der Pilotstudie hat der Autor (der Versuchsleiter) ein persönliches Treffen mit den Versuchspersonen organisiert, um die Versuchspersonen über die passiven Exoskelette aufzuklären und etwaige Fragen zum Studienablauf zu erklären. Der Versuch fand vom 19.05.2021 bis zum 08.06.2021 statt. Insgesamt wurden neun Versuchstage angesetzt. Am ersten Versuchstag haben die Versuchspersonen den Nordischen Fragebogen (Kapitel Nordischer Fragebogen) ausgefüllt. Die vier Versuchspersonen waren für drei Arbeitstage in der Woche an der Studie beteiligt. Die Exoskelette wurden selbstständig von den Versuchspersonen angezogen. Bei der Durchführung der Tätigkeiten wurden Beobachtungsnotizen und Foto- und Videoaufnahmen für die spätere Auswertung erstellt. Am Ende jedes Versuchstags sollte, der selbsterstellte Usability-Akzeptanz Fragebogen von jeder Versuchsperson ausgefüllt werden. Für den Kontrollgruppenversuch auf dem Gelände des ATB wurde eine 50 m² große Fläche mit Möhren von vier Versuchspersonen bearbeitet.

3 Ergebnisse

In der Abbildung 2 ist der prozentuale Anteil an Stunden in aktiver, passiver und teilweiser Nutzung für die beiden Exoskelette ersichtlich. Dabei war das *Apex* etwas häufiger als das *Hapo* im aktiven und teilweisen Einsatz. Aktiv bedeutet im angeschalteten Modus (Unterstützungsfunktion an) und Passiv im ausgeschalteten Modus (Unterstützungsfunktion aus).

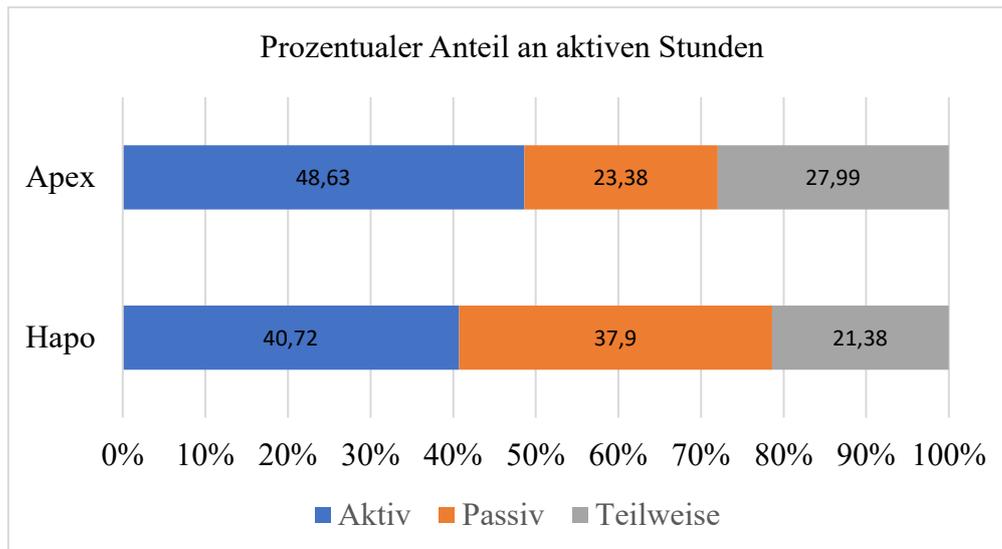


Abbildung 2: Das Apex war etwas häufiger im aktiven und teilweisen Einsatz (Frixen, 2021).

In der Abbildung 2 ist der prozentuale Anteil an Stunden in aktiver, passiver und teilweiser Nutzung für die beiden Exoskelette ersichtlich. Dabei war das Apex etwas häufiger als das Hapo im aktiven und teilweisen Einsatz. Aktiv bedeutet im angeschalteten Modus (Unterstützungsfunktion an) und Passiv im ausgeschalteten Modus (Unterstützungsfunktion aus)

Die zwei passiven Exoskelette wurden unterschiedlich häufig eingesetzt. Proband A hat das passive Exoskelett von *Hapo* nur einmal für kurze Zeit genutzt, kam aber mit dem Exoskelett nicht zurecht. Er fühlte sich im Exoskelett zu sehr eingeeengt und hatte beklemmende Gefühle. Am häufigsten waren die passiven Exoskelette von *Hapo* bei der Radhacke, beim Packen der Abo-Kisten und bei der Kohlrabernte deaktiviert, dagegen beim *Apex* bei der Spinaternte und beim Fahren von Landmaschinen.

Bei der Spinaternte und bei der Rhabarberernte war das Exoskelett von *Hapo* am häufigsten nur teilweise angeschaltet und beim Exoskelett von *Apex* im Kartoffellager und bei der Spinaternte. Die Gründe für die teilweise Deaktivierung der Exoskelette waren:

- Es traten durch die Nutzung Diskomfort/Schmerzen auf.
- Zu große Schwierigkeiten mit dem Exoskelett, eine Vorbeuge auszuführen.
- Fehlender subjektiver Nutzen.
- Die Salaternte war bei beiden Exoskeletten die häufigste Tätigkeit, die mit angeschaltetem Exoskelett durchgeführt wurde.

Usability/Akzeptanz Fragebogen

Die vier Versuchspersonen haben den Fragebogen für das *Hapo*-Exoskelett insgesamt neunmal ausgefüllt. Proband A wollte das Exoskelett nach den ersten Untersuchungstag

nicht mehr tragen und Probandin D war am letzten Versuchstag krankheitsbedingt nicht anwesend. Die Fragen 8 und 9 wurde von den Versuchspersonen B und C am ersten Untersuchungstag bei dem Exoskelett von *Apex* nicht ausgefüllt. Der Grund dafür ist, dass die Versuchspersonen am ersten Versuchstag noch nicht wussten, ob sie das Exoskelett in Zukunft häufiger nutzen möchten.

Der Fragebogen des *Apex* wurde insgesamt 11-mal ausgefüllt. Proband B konnte bei einen Versuchstag mit dem *Apex* nicht teilnehmen.

Hapo

Das *Hapo* wurde von den Arbeitskräften zum Großteil gut bis neutral bewertet (Abbildung 3)

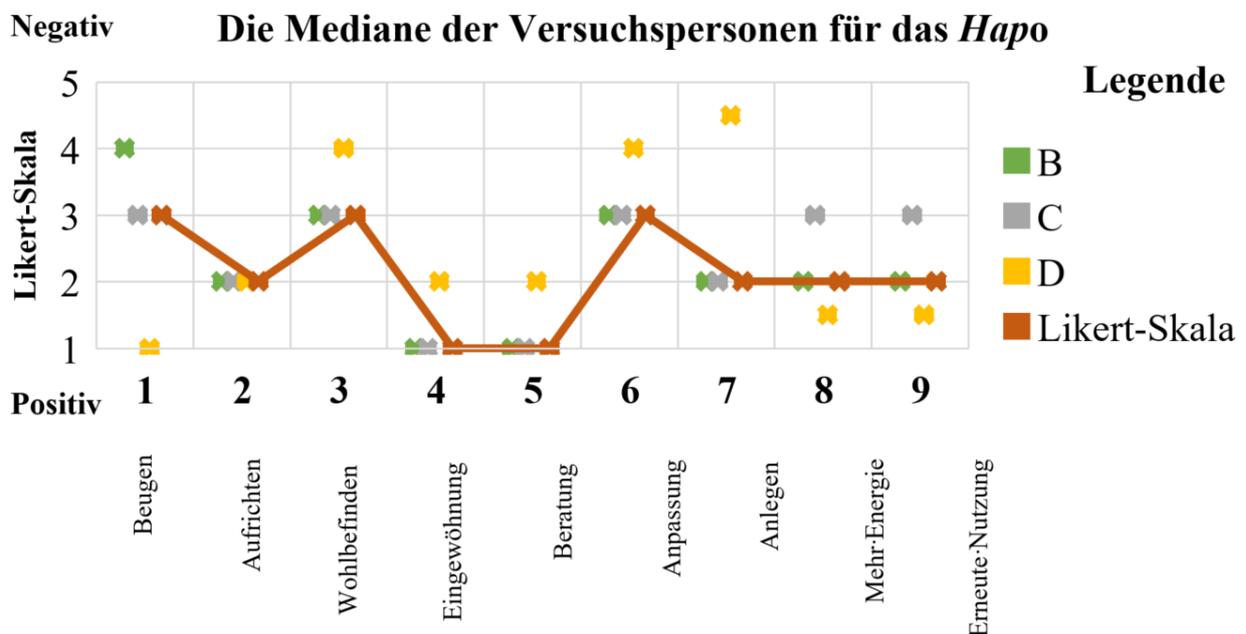


Abbildung 1: Die Abbildung zeigt die Bewertung mit der Likert-Skala anhand eines Punktediagramms für das *Hapo*-Exoskelett. (Frixen, 2021)

Die Mediane liegen zum Großteil im positiven Bereich. Nur bei den Fragen 1, 3 und 6 bildete sich ein neutraler Bereich ab. Die Spannweite zwischen den Antworten bei der Frage 1 und 7 waren sehr hoch. Häufig wich die Bewertung von Probandin D zu den anderen Bewertungen ab. Die Antworten bei den Versuchspersonen B und C lagen häufig im gleichen Bereich. Die *Eingewöhnungszeit* und die *Beratung* empfanden die Probanden überwiegend als sehr gut. Die Antworten von Probandin D waren häufig am weitesten vom Median entfernt. Bei allen Fragen ist das Streuungsmaß (MAD) 0, nur bei der Frage 1 beträgt die Streuung 1 und bei der Frage 8 und 9 0,5.

Keiner der Versuchspersonen war es unangenehm von anderen Mitarbeitenden beobachtet zu werden und das zusätzliche Gewicht des Exoskeletts empfanden die Versuchspersonen nicht als störend. Die Versuchspersonen gaben überwiegend an, durch das passive Exoskelett an anderen Körperpartien Schmerzen zu empfinden. In der Abbildung 4 ist der prozentuale Anteil der *Ja/Nein/Weiß ich nicht* Antworten abgebildet. Bei der Frage zur anderen Haltung im Exoskelett gaben die Versuchspersonen vermehrt „*Weiß ich nicht*“ an. Über die Hälfte der Fragenbögen ergab, dass die Versuchspersonen im Exoskelett vermehrt schwitzten.

Prozentualer Anteil der Antworten für das *Hapo*

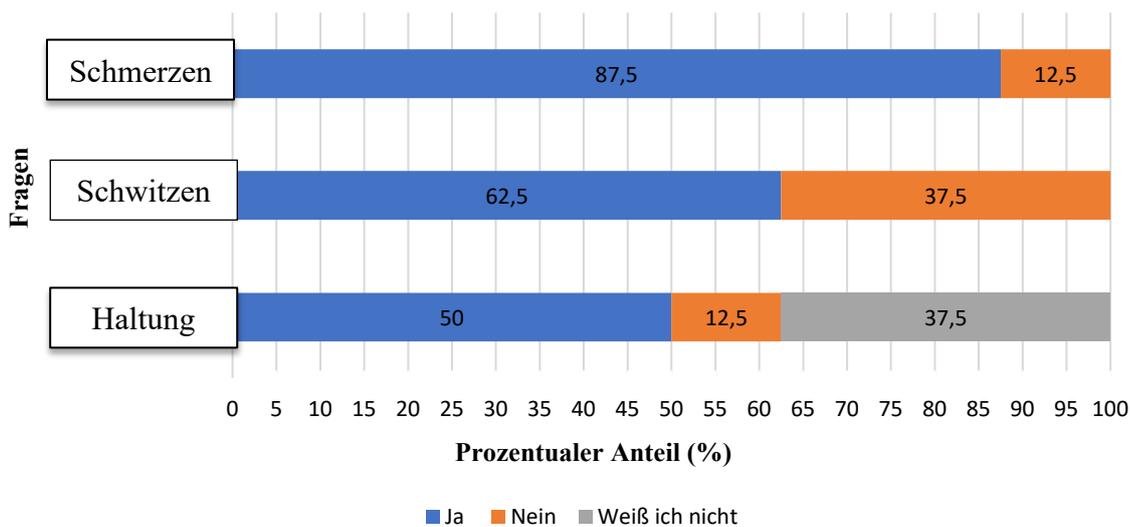


Abbildung 2: Das Diagramm zeigt die Bewertungen der Versuchspersonen: Schmerzen= Schmerzen durch das Exoskelett, Schwitzen= Stärker geschwitzt durch das Exoskelett, Haltung= Eine andere Haltung durch das Exoskelett eingenommen. (Frixen, 2021)

Am häufigsten gaben die Versuchspersonen an Schmerzen an den Rippen zu verspüren. Weitere Schmerzregionen waren:

- Wunde Stelle am Hals bei einer Versuchsperson,
- Kniebereich (Versuchsperson C gab an Schmerzen am Knie zu empfinden, weil die Beinmanschetten häufig zum Knie gerutscht sind),
- Oberschenkel (Versuchsperson C gab an, dass der Oberschenkel durch die Beinmanschette abgeschnürt wurde),
- Hüfte (Durch den Druck des Verschlusses).

Zwei Probanden fühlten sich im Exoskelett von *Hapo* in der Bewegungsfreiheit eingeschränkt. Proband A wollte das Exoskelett nach 15 Minuten nicht mehr tragen, weil dieser sich zu sehr eingengt fühlte und in diesem Zustand nicht arbeiten wollte. Der Proband hatte das Exoskelett von *Hapo* für den gesamten Untersuchungszeitraum nicht wieder

angezogen. Proband B gab an einen Druck auf den Rippen zu spüren nach dem Anziehen. Dieses Druckgefühl verspürte der Proband an den ersten beiden Versuchstagen. Am dritten Versuchstag hat der Proband keinen Druck auf den Rippen mehr verspürt und gab bei der Likert-Skala eine 2er Wertung. Probandin D empfand den Sitz der Polster als unangenehm. Die Versuchspersonen empfanden bei verschiedenen Nebentätigkeiten Schwierigkeiten. Die weiblichen Versuchspersonen empfanden das größte Hindernis bei der Toilettenpause, weil der Bauchgurt erst geöffnet werden musste. Weiterhin gaben die Versuchspersonen an, dass durch die Gelenke des Exoskeletts ein unangenehmes Geräusch entstanden ist. Die Versuchspersonen hatten das Geräusch als „Quietschen“ definiert. Zudem erschwerte im angeschalteten Modus das *Hapo* die Versuchspersonen beim Bewegen.

Apex

Das Apex wurde von den Versuchspersonen überwiegend gut bewertet (Abbildung 5).

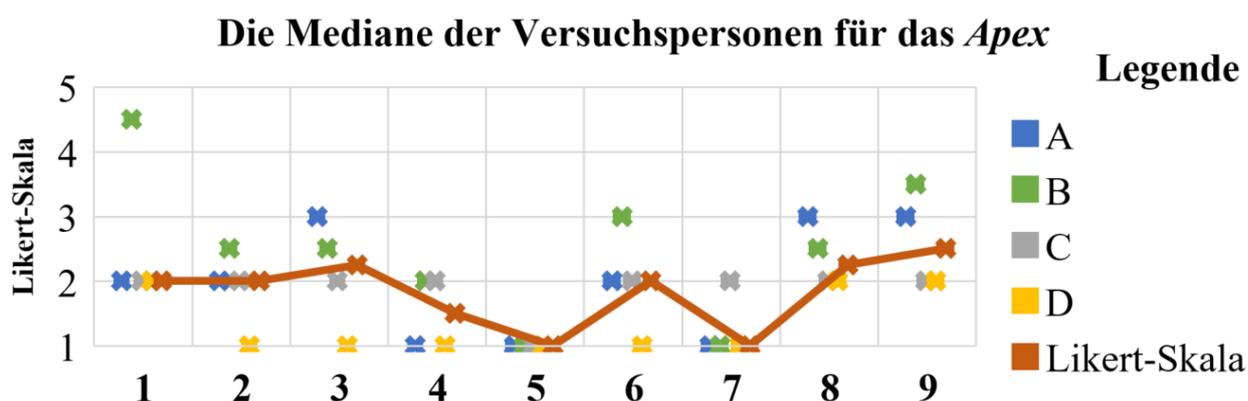


Abbildung 3: Die Abbildung zeigt die Bewertung mit der Likert-Skala anhand eines Punktediagramms für das Apex Exoskelett. (Frixen, 2021)

Die Mediane liegen durchgehend im positiven Bereich. Bei der Frage 1 (Entlastung beim Bücken) ist die größte Spannweite zu erkennen. Weitere größere Spannweiten sind bei Frage 3 (Wohlbefinden im Exoskelett) und 6 (Anpassung des Exoskeletts) zu erkennen. Die Beratung in der Eingewöhnungszeit empfanden alle Versuchspersonen als sehr gut. Bei Frage 9 (Erneute Nutzung des Exoskeletts) waren zwei Antworten im neutralen bis leicht negativen Bereich. Das Streuungsmaß (MAD) war bei allen Fragen gering. Die höchsten Antwortstreuungen waren bei den Fragen 3, 6 und 9 zu erkennen (0,5).

Wie bei dem Exoskelett von *Hapo* empfand keine der Versuchspersonen das zusätzliche Gewicht als störend und die Versuchspersonen fühlten sich auch nicht von anderen Mitarbeitenden beobachtet. In der Abbildung 6 ist der prozentuale Anteil der *Ja/Nein/Weiß ich nicht* Antworten abgebildet. Über 60 Prozent der Antworten aus dem Fragebogen ergaben, dass die Versuchspersonen durch die passiven Exoskelette vermehrt Schmer-

zen verspürten. Bei der Frage zur anderen Haltung im Exoskelett gaben die Versuchspersonen vermehrt *weiß ich nicht* an. Über der Hälfte der Fragebögen ergab, dass die Versuchspersonen vermehrt schwitzten.

Prozentualer Anteil der Antworten für das Apex

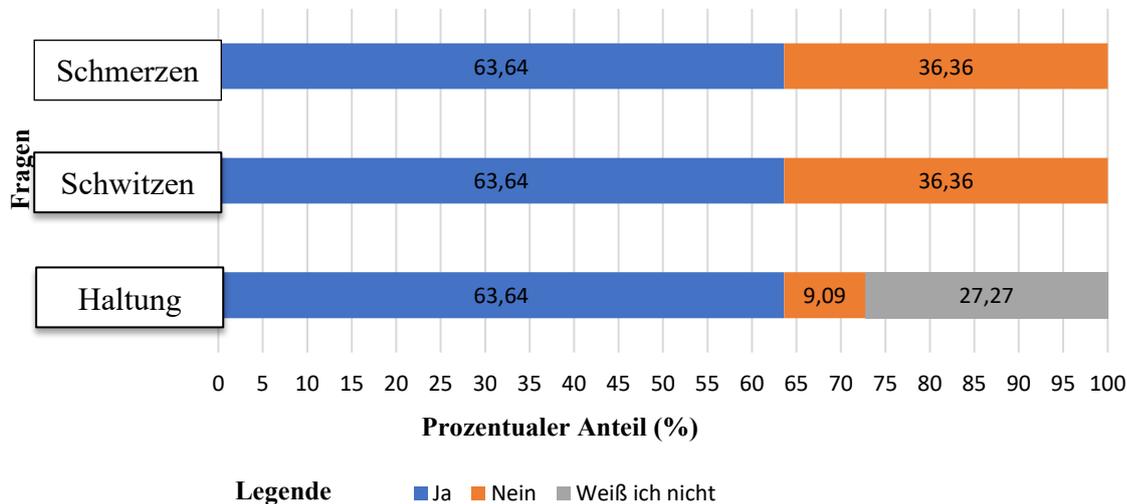


Abbildung 4: Das Diagramm zeigt die Bewertungen der Versuchspersonen: Schmerzen= Schmerzen durch das Exoskelett, Schwitzen= Stärker geschwitzt durch das Exoskelett, Haltung= Eine andere Haltung durch das Exoskelett eingenommen. (Frixen, 2021)

Die Versuchspersonen fühlten sich im Apex Exoskelett aus verschiedenen Gründen unwohl. Proband A fühlte sich im Exoskelett leicht beengt. Proband B fand am ersten Versuchstag vom Apex die Einstellung des Exoskeletts zu straff. Die Versuchspersonen gaben an, dass es zu heiß war und dass sie vermehrt geschwitzt hätten. Als Schwierigkeit empfanden Sie den Widerstand beim Bücken und den Druck des Rückenteils beim Sitzen. Probandin D hatte Schwierigkeiten bei der Toilettenpause, weil sich der Click-Verschluss an den Beinmanschetten zu den elastischen Bändern nur schwer lösen ließ.

An folgenden Körperregionen sind Schmerzen aufgetreten:

- Oberarm (da sich ein Klettband beim Exoskelett von Probandin D gelöst hat),
- Mittlerer Rücken (der untere Teil des Rückenteils rieb verstärkt am Rücken),
- Schulterpartie,
- Übergang von Brust zur Schulter,
- Lendenwirbel,
- Bein.

Vergleichsgruppenversuch

Bei dem *Hapo* zeigten sich bei allen Fragen mit Likert-Skala eine größere Spannweite als beim *Apex*. Beim *Hapo* lagen alle Mediane im positiven bis neutralen Bereich. Die Antworten für das *Apex* lagen alle im Guten bis neutralen Bereich, keine Antwort war schlechter als neutral.

Bei beiden Exoskeletten wurde eine andere Haltung wahrgenommen. Die Versuchspersonen nahmen wie bei dem Versuch auf dem Florahof mehr zusätzliche Schmerzen mit dem *Hapo* wahr als mit dem *Apex*. Die Schmerzen traten beim *Hapo* an der Brust, Schulter und den Rippen auf. Bei dem *Apex* gab eine Versuchsperson an, Schmerzen, am linken Knie zu verspüren. Zwei der Versuchspersonen auf dem ATB-Versuchsgelände benötigten Hilfe beim Anziehen des *Hapo* und eine Versuchsperson beim Anziehen des *Apex*. Bei dem *Apex* haben die meisten Versuchspersonen am Oberschenkel vermehrt geschwitzt. Die Schulterpolster und die Federn des *Hapo* wurden bemängelt, da diese „drücken und stören“.

Beim *Hapo* zeigten sich folgende Schwierigkeiten bei Nebentätigkeiten: Hocken, Sitzen, Toilettenpause. Die Toilettenpause wurde auch bei dem *Apex* bemängelt. Der Grund dafür lag darin, dass die Probandinnen die Exoskelette auf der Toilette ausziehen mussten. Eine Probandin würde das *Hapo* Exoskelett gerne in Zukunft auf dem ATB-Gelände weiter nutzen.

4 Diskussion

In der Pilotstudie wurde die Forschungsfrage untersucht, wie die Usability der eingesetzten Exoskelette *Hapo* und *Apex* im Obst- und Gemüsebau eingeschätzt wird und ob sich erste Akzeptanzeffekte zeigen. Aus diesem Grund wurde eine Untersuchung von vier Versuchspersonen über neun Versuchstage mit den beiden Exoskelett-Typen durchgeführt. Die Untersuchung erfolgte anhand eines selbst erstellten Usability-Fragebogen und durch Beobachtung der Versuchspersonen. Das *Apex* zeigt eine bessere Usability/Akzeptanz als das *Hapo*. Ein zweiter kleinerer Versuch auf dem Versuchsgelände des ATB mit einer gleich großen Kontrollgruppe bestätigte die Ergebnisse, jedoch wurden beide Exoskelette etwas schlechter bewertet. Erste Akzeptanzverhalten zeigten sich bei beiden Exoskeletten.

Körperanpassung

Die Auswertung des Usability-Akzeptanzfragebogens hat gezeigt, dass sich das *Apex* gut auf unterschiedliche Körpertypen anpassen lässt. Das *Hapo* wurde von allen Versuchspersonen in dieser Eigenschaft nur mittelmäßig bewertet und bei einer Versuchsperson rutschten die Federn häufiger zum Knie, da diese für die Probandin zu lang waren. Verschiedene Empfehlungen zur Körperanpassung (Holly, 2021; Steinhilber; 2020; Kim et. al, 2019; BGHM, 2017) haben gemeinsam, dass die Körpergröße mit der Größe des

Exoskeletts übereinstimmen sollte. Die Betriebsanleitung des Exoskeletts sollte bei der Auswahl eines geeigneten Exoskeletts laut Steinhilber et al. (2020) eingehalten werden, daher wurden die Exoskelette anhand der Körpergröße der Versuchspersonen ausgewählt. Dabei zeigten sich allerdings Schwierigkeiten, denn laut der Betriebsanleitung des *Hapo* (*ExxoVantage*, 2021) ist das Exoskelett in der Größe S für eine Körpergröße bis 1,55 m geeignet. Dieses war für Probandin C (Körpergröße 1,55 m) jedoch nicht geeignet. Da auch ein Prototyp in der Größe XS zur Verfügung stand, hatte die Versuchsperson dieses für die Pilotstudie genutzt. Zwar passte dieses der Probandin besser, aber dennoch rutschten die Beinmanschetten häufiger zum Kniebereich. Obwohl Probandin D bei einer Körpergröße von 1,63 m laut der Anleitung optimal für die Größe S geeignet ist, fühlte diese sich auch in der Größe XS wohler. Laut Kim et. al (2019) könnte eine suboptimale Anthropometrie, dabei eine mögliche Begründung liefern, da jeder menschliche Körper unterschiedliche Körperproportionen hat. Weiterhin bildete sich bei manchen Versuchspersonen ein Spalt zwischen den Beinmanschetten und den Oberschenkeln. Das *Apex* lässt sich aufgrund des modularen Aufbaus besser an die unterschiedlichen Körperproportionen anpassen, dennoch sollte beachtet werden, dass die elastischen Unterstützungsbänder für die Probandinnen schon in der kleinsten Größe gewählt wurden. Unter Umständen sollte *Herowear* für kleinere Personen kürzere elastische Bänder anbieten. Dies verdeutlicht, dass die Körpergröße der nutzenden Person eine entscheidende Rolle bei der Auswahl eines geeigneten Exoskeletts spielt. Es sollte eine erneute Überprüfung der *Hapo* Exoskelette bei einem größeren Stichprobenumfang durchgeführt werden, dabei könnte die DIN 33402 (Ergonomie Körpermaße des Menschen) Anwendung finden (DIN 33402-1:2008-03).

Ergonomischer und hautsensorischer Tragekomfort

Bei beiden passiven Exoskeletten sind körperliche Belastungen aufgetreten. Insgesamt nahmen die Versuchspersonen bei der Anwendung durch das *Hapo* einen größeren Diskomfort wahr als bei dem *Apex*. Zwar traten bei der Nutzung des *Apex* weniger Schmerzen auf, jedoch sollten die Träger*innen laut Huber (2008) am besten nichts spüren, erst dann kann der Tragekomfort als gut eingeschätzt werden. Weiterhin ist zu beachten, dass der Diskomfort beim *Hapo* schneller auftritt als beim *Apex*. Laut Holly (2021) fördern weiche und textile Komponenten den Komfort, dagegen senken harte und starre Bauteile den Komfort. Dieses Phänomen konnte bei dem *Hapo* gut beobachtet werden, da bedingt durch die starren Federn, der Diskomfort vermehrt im Rippenbereich auftrat. Die aufpumpbaren Luftpolster des *Hapos* bieten zwar einen gewissen Schutz vor dem Druck der Federn, kann die nutzende Person aber bei der Ausführung der Tätigkeit stören. Unter Umständen könnte es aber auch zu einem Gewöhnungseffekt entstehen, da bei einer Versuchsperson das Druckgefühl auf die Rippen am dritten Versuchstag verschwand. Laut Kermavnar et al. (2020) kann eine mechanische Belastung durch den Druck der Beinmanschetten auftreten. Diese Aussage kann für beide Exoskelette bedingt bestätigt werden, da bei beiden Exoskeletten Schmerzen am Oberschenkel und Knie auftraten. Zu

beachten ist jedoch, dass die Schmerzen am Oberschenkel durch das *Hapo* zum Großteil nur bei einer Versuchsperson auftraten. Beim Apex trat Diskomfort vermehrt in der oberen Körperhälfte auf (Schulterpartie, mittlerer Rücken, Oberarm). Laut Qu et al. (2021) könnten schmale Schulterträger ein Grund für die höhere Belastung an den Schultern sein. Die breiteren Schulterträger des *Hapo* könnten dabei gegenüber dem Apex einen Vorteil bieten. Zusätzlich empfanden die Versuchspersonen, dass die Schulterträger vom Apex besser gepolstert werden sollten. In einer Forschungsarbeit von Colombo et al. (2000) wurde darauf hingewiesen, dass weiche Pads an der Mensch-Maschine-Schnittstelle Hautreizungen vorbeugen können (Colombo et al., 2000, S. 695). Um den Diskomfort auf die verschiedenen Körperbereiche besser einzuordnen, könnte in zukünftigen Studien eine Body Part Diskomfort Skala (Corlett & Bishop, 1976) verwendet werden. Die Body Part Diskomfort Skala wurde in Verbindung mit einer 7 Punkte Likert-Skala bereits bei der Evaluation des *Laevo* Exoskeletts von Hensel & Keil (2018, S.254) verwendet.

Thermophysiologischer Tragekomfort

Bei wärmeren Lufttemperaturen fühlten sich die Versuchspersonen aufgrund des Wärmestaus unwohl und haben beide Exoskelette abgelegt. Besonders im Lendenbereich schwitzten die Versuchspersonen im *Hapo* vermehrt. Bei dem *Apex* zeigte sich eine vermehrte Schweißbildung an den Beinmanschetten. Laut einer Empfehlung von Steinhilber et al. (2020, S.15) sollten Exoskelette bei einer Umgebungstemperatur oberhalb von 30 °C nur zeitlich begrenzt zum Einsatz kommen. In dieser Arbeit bestätigt sich die Aussage von Steinhilber et al. (2020, S.15), denn die Exoskelette wurden bereits bei Temperaturen ab 28 °C abgelegt. Zu beachten ist zudem, dass die Pilotstudie im Frühjahr durchgeführt wurde, in der Sommerzeit können vermehrt höhere Lufttemperaturen auftreten. Die Lufttemperatur im Folientunnel lag teilweise bei 33 °C. Laut Liu et al. 2021 sollte bereits in der Designphase eines Exoskeletts berücksichtigt werden, inwieweit durch das Tragen dieses die thermische Belastung auf den Körper erhöht wird. Es sollten geeignete Nutzungsstrategien entsprechend der Lufttemperatur entwickelt werden (ebd.). Eine geeignete Nutzung wäre daher nur bei Lufttemperaturen deutlich unter 30 °C zu empfehlen, was den Einsatz der Exoskelette häufig auf das frühe Frühjahr, den späten Herbst und Winter beschränken würde. Für die Prävention von erhöhter Lufttemperatur können wassergekühlte und luftgekühlte Kleidung oder Kühlwesten verwendet werden (NIOSH, S. 6). Ob sich kühlende Kleidung für den Einsatz von Exoskeletten eignet, könnte in weiteren Studien überprüft werden. Zum Beispiel kann ein anderes Exoskelett, das *Paexo*, mit kühlenden Armbinden ausgestattet werden (Ottobock Industrials, 2021). Unter Umständen besteht die Möglichkeit die Gewebe, die in Kühlwesten eingesetzt werden, in die Kontaktflächen des Exoskeletts zu integrieren. Beispielsweise könnten beim *Apex* die Polsterung des Rückenmoduls und die Beinmanschetten und beim *Hapo* das Lendenpolster und die Beinmanschetten mit der Kühlfunktion ausgestattet werden. Zu beachten ist jedoch, dass sich das Gewicht des Exoskeletts erhöhen kann und dieses Design Feature wahrscheinlich einen höheren Preis verursacht.

Bedienung

Das *Apex* ist etwas schneller einsatzbereit als das *Hapo*. Die Zeiten, bis die Exoskelette einsatzbereit sind, wurden nicht gemessen, aber die angegebenen 60 Sekunden für das *Hapo* (Ergosanté, 2021) und die 30 Sekunden für das *Apex* (Exoskeleton Report, 2020) sind realistisch. Der einzige Nachteil zeigte sich beim *Apex* am Clipverschluss von den Beinmanschetten zu den elastischen Bändern. Es braucht Übung, um ihn zu lösen. Beim *Hapo* war der Schiebemechanismus, um das Exoskelett zu aktivieren, für manche Versuchspersonen zu schwergängig.

Für gewöhnlich ernten die Versuchspersonen zum Beispiel Spinat und Lauch in einer vorgebeugten Körperhaltung, dieses war mit beiden Exoskeletten nur unter erheblichem Krafteinsatz möglich. Beim Unkraut entfernen mit der Einhand-Ringhacke fiel den Versuchspersonen es einfacher. Die Einhand-Ringhacke ist ungefähr 30 cm lang, dadurch mussten die Versuchspersonen sich nicht ganz bis zum Boden herunterbeugen. Zwar wird in einigen Studien bei Exoskeletten mit elastischen Bändern eine Kniebeugetechnik empfohlen (Lamers et al., 2018; Sadler et al., 2011; Lotz et al., 2009), aber bei einigen Tätigkeiten im Gartenbau wird eine Vorbeuge bevorzugt. Die Vorbeugetechnik wird zum Beispiel bei der Hand-Ringhacke oder Spinaternte gerne angewendet, weil eine Fortbewegung in der Haltung möglich ist. Bei dem *Hapo* wird keine explizite Technik empfohlen, jedoch zeigen die Ergebnisse, dass bei tiefen Bewegungen eine Kniebeugetechnik im *Hapo* bevorzugt wird. Bei dem *Hapo* ist eine Feder angebrochen, als sich eine Versuchsperson versuchte mit einer Vorbeuge bis zum Erdboden herunterzubeugen. Ob die Feder aufgrund des Bewegungsverhaltens der Versuchsperson gebrochen ist oder ein Materialfehler vorliegt, kann nicht abschließend geklärt werden. In einem Laborversuch mit einer 3D-Bewegungsanalyse könnte getestet werden, wie weit sich die Versuchspersonen mit den Exoskeletten ohne Anstrengung mit einer Vorbeuge herunterbeugen können. Die 3D-Bewegungsanalyse wurde schon von (Koopman et al., 2020,) für das Exoskelett SPEXOR angewendet. Die Teilnehmer der Studie mussten sich in sechs unterschiedliche Höhen mit dem SPEXOR vorbeugen und 5 Sekunden diese Position halten (Koopman et al., 2020, S. 2). Die Höhen waren 100 %, 90 %, 80 %, 60 %, 20 % und 0 %, dabei war 100 % die aufrechte Haltung und 0 % den Boden berühren (ebd.). Wortmeier & Kropp (2021, S.10) sind der Meinung, dass für eine erfolgreiche Entlastung Nutzerwissen über die ausgeführten Bewegungsabläufe und Informationen über die ergonomische Funktionalität von Exoskelett wichtig sind, um Gesundheits- und Präventionseffekte zu erzielen. Die hier gezeigten Bewegungsabläufe auf einem ökologischen Gartenbaubetrieb können für Produzierende von Exoskeletten dazu dienen, um die Exoskelette an die entsprechenden Bewegungsabläufe anzupassen. Es sollten weitere passive Exoskelette getestet werden, die auch mit der Vorbeugetechnik zu nutzen sind.

Fazit

Die Pilotstudie hat gezeigt, dass beide Exoskelette nur eingeschränkt für den Einsatz im Obst- und Gemüsebau zu empfehlen sind. Hervorzuheben ist hierbei, dass die Exoskelette nicht die Vorbeugetechnik unterstützen und nicht für den Einsatz bei wärmeren Lufttemperaturen ausgelegt sind. Zudem kann der auftretende Diskomfort einen längeren Einsatz erschweren. Jedoch zeigten sich bei beiden Exoskeletten erste Akzeptanzverhalten bei Tätigkeiten, die die Versuchspersonen als geeignet ansehen:

Abschließend lässt sich feststellen, dass weitere Forschungen nötig sind, um die hohe Körperbelastung im Gartenbau abzumildern. Hierfür sollten weitere Exoskelette und andere Präventionsmaßnahmen in Betracht gezogen werden.

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei allen bedanken, die mich während dieser Arbeit unterstützt und motiviert haben. Ein großer Dank gebührt der Betreuerin der Bachelorarbeit Frau Dr. Martina Jakob, dem Betriebsleiter und den Mitarbeitenden des Florahofs in Potsdam und dem Leibniz Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB).

Literaturverzeichnis

BGHM. (2016) Beurteilen von Gefährdungen und Belastung. Anleitungshilfe zur systematischen Vorgehensweise, sichere Schritte zum Ziel (BGHM-Information 102). Zugriff am 15.07.2021 Verfügbar unter: https://www.bghm.de/fileadmin/user_upload/Arbeitsschuetzer/Gesetze_Vorschriften/Informationen/BGHM-I_102.pdf

BMEL. (2021) Der Gartenbau in Deutschland. Auswertung des Gartenbaumoduls der Agrarstrukturerhebung 2016. Hannover: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Zugriff am 16.09.2021. Verfügbar unter: https://www.bmel.de/Shared-Docs/Downloads/DE/Broschueren/Gartenbauerhebung.pdf?__blob=publicationFile&v=7

Brandon Martin, W., A. Boehler, K. W. Hollander, D. Kinney, J. K. Hitt, J. Kudva und T. G. Sugar (2022). Aerial Porter Exoskeleton (APEX) for Lifting and Pushing. In J. C. Moreno, J. Masood, U. Schneider, C. Maufroy & J. L. Pons (Hrsg.), *Wearable Robotics: Challenges and Trends* (Biosystems & Biorobotics, Bd. 27, Bd. 27, S. 529–533). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-69547-7_85 Colombo 2000

Corlett, E. N. und R. P. Bishop (1976). A technique for assessing postural discomfort. *Ergonomics*, 19(2), 175–182. <https://doi.org/10.1080/00140137608931530>
DIN 33402-1:2008-03

ErgoAg Company Press Releases (2012). Zugriff am 20.08.2021. Verfügbar unter: https://backquality.com/press_releases.html

Ergosanté (2021, 13. Juli). Hapo Posture Harness - Ergosanté exoskeleton manufacturer France. Ergosanté. Zugriff am 03.09.2021. Verfügbar unter: <https://ergosante.fr/en/harnais-de-posture-hapo/> Exoskeleton Report

ExxoVantage (2021). HAPO V1 Instruction Manual, Ergo Santé. Zugriff am 03.09.2021. Verfügbar unter: <https://www.exxovantage.com/wpcontent/uploads/2021/04/HAPOINSTRUCTION-MANUAL.pdf>

Hefferle, M., C. Dahmen und K. Kluth (ASU Zeitschrift für medizinische Prävention, Hrsg.) (2019). Einfluss eines Exoskeletts zur Unterstützung von Überkopftätigkeiten in der Automobilindustrie auf die subjektive, körperliche Beanspruchung. Eine explorative Feldstudie. Zugriff am 18.08.2021. Verfügbar unter: <https://www.asu-arbeitsmedizin.com/wissenschaft/eine-explorative-feldstudie-einfluss-eines-exoskeletts-zur-unterstuetzung-von>

Hensel, R. und M. Keil (2018). Subjektive Evaluation industrieller Exoskelette im Rahmen von Feldstudien an ausgewählten Arbeitsplätzen. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 72(4), 252–263. <https://doi.org/10.1007/s41449-018-0122-y>

Herowear (2020, 25. Juni). Answering the Farmer's Most Common Complaint. HeroWear. Zugriff am 20.08.2021. Verfügbar unter: <https://herowearexo.com/exosphere/answering-the-farmers-most-common-complaint/>

Holly, F. (2021). Vorgehensmodell zur Auswahl von Exoskeletten für den Einsatz in Produktion und Logistik. [Diplomarbeit]. Technische Universität Wien, Wien. Verfügbar unter: <https://repositum.tuwien.at/handle/20.500.12708/16805>

Huber, S. (2008). Einfluss von Material und Gestaltung der körpernahen Bekleidungsschicht auf (Dis)Komfortvariablen und ausgewählte Leistungsparameter bei sportlichen Aktivitäten. [Dissertation]. Technische Universität München, München. Zugriff am 03.09.2021. Verfügbar unter: <https://mediatum.ub.tum.de/648194>

Jelti, Z., K. Lebel, S. Bastide, P. Le Borgne, P. Slangen und N. Vignais (2021). Effect of using a physical assistance device for movements involving trunk bending. bioRxiv. <https://doi.org/10.1101/2021.02.08.429597>

Kaupe, V. und C. Feldmann. (2021) Exoskelette in der Intralogistik. Erfolgreich implementieren und Prozesse optimieren (1. Auflage 2021). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH; Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-32346-2>

Kermavnar, T., K. J. O'Sullivan, A. de Eyto und L. W. O'Sullivan (2020). Discomfort/Pain and Tissue Oxygenation at the Lower Limb During Circumferential Compression: Application to Soft Exoskeleton Design. Human Factors, 62(3), 475–488. <https://doi.org/10.1177/0018720819892098>

Kim, S., A. Moore, D. Srinivasan, A. Akanmu, A. Barr, C. Harris-Adamson, D. M. Rempel und M. A. Nussbaum (2019). Potential of Exoskeleton Technologies to Enhance Safety, Health, and Performance in Construction: Industry Perspectives and Future Research

- Directions. ISE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors, 7(3-4), 185–191. <https://doi.org/10.1080/24725838.2018.1561557>
- Koopman, A. S., M., Näf, S.J. Baltrusch, I. Kingma, C. Rodriguez-Guerrero, J. Babič, M.P Looze, J.H van Dieën, (2020). Biomechanical evaluation of a new passive back support exoskeleton, 105, 109795. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2020.109795>
- Lamers, E. P., A. J. Yang und K. E. Zelik (2018). Feasibility of a Biomechanically-Assistive Garment to Reduce Low Back Loading During Leaning and Lifting. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 65(8), 1674–1680. <https://doi.org/10.1109/TBME.2017.2761455>
- Liebers, F. und M. Schust (2021). Gefährdungen durch physische Belastung > 8.7 Körperzwangshaltung. In Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) (Hrsg.), Handbuch Gefährdungsbeurteilung - Teil 2 (Bd. 2, S. 490). Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Zugriff am 15.09.2021. Verfügbar unter: <https://www.baua.de/DE/Themen/Arbeitsgestaltung-im-Betrieb/Gefaehrdungsbeurteilung/Expertenwissen/Expertenwissen.html?view=pdfViewExt>
- Liu, Y., X. Li, J. Lai, A. Zhu, X. Zhang, Z. Zheng, H. Zhu, Y. Shi, L. Wang und Z. Chen (2021). The Effects of a Passive Exoskeleton on Human Thermal Responses in Temperate and Cold Environments. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(8). <https://doi.org/10.3390/ijerph18083889>
- Lotz, C. A., M. J. Agnew, A. A. Godwin und J. M. Stevenson (2009). The effect of an on-body personal lift assist device (PLAD) on fatigue during a repetitive lifting task. Journal of Electromyography and Kinesiology: Official Journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology, 19(2), 331–340. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2007.08.006>
- Lundqvist, P. (1988). Working environment in farm buildings. Results of studies in livestock buildings and greenhouses. Dissertation. Schwedische Universität für Agrarwissenschaften, Uppsala. Zugriff am 01.09.2021. Verfügbar unter: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=SE882027188> Matthew et al 2015
- Moreno, J. C., Masood, J., Schneider, U., Maufroy, C. & Pons, J. L. (Hrsg.). (2022) Wearable Robotics: Challenges and Trends (Biosystems & Biorobotics, Bd. 27). Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-69547-7>
- Müller & Leyen (2014, S. 10)
- NIOSH. Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Heat and Hot Environments. Zugriff am 31.08.2021. Verfügbar unter: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2016-106/pdfs/2016-106.pdf?id=10.26616/NIOSH PUB 2016106>
- Ottobock Industrials (2021). Paexo Cool Sleeve, Zugriff am 01.09.2021. Verfügbar unter: <https://paexo.com/paexo-shop/paexo-cool-sleeve/>

- Qu, X., C. Qu, T. Ma, P. Yin, N. Zhao, Y. Xia und S. Qu (2021). Effects of an industrial passive assistive exoskeleton on muscle activity, oxygen consumption and subjective responses during lifting tasks. *PLOS ONE*, 16(1), e0245629. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245629>
- Sadler, E. M., R. B. Graham und J. M. Stevenson (2011). The personal lift-assist device and lifting technique: a principal component analysis. *Ergonomics*, 54(4), 392–402. <https://doi.org/10.1080/00140139.2011.556259>
- Schick, R. (2018). Einsatz von Exoskeletten in Arbeitssystemen: Stand der Technik – Entwicklungen – Erfahrungen. 135. Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium am 08.05.2018 im Institut ASER. Wuppertal-Vohwinkel: DGUV Fachbereich Handel und Logistik Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik. [Powerpoint-Folien] Zugriff am 24.08.2021. Verfügbar unter: https://www.suqr.uniwuppertal.de/fileadmin/site/suqr/Kolloquium/Kolloquium_Pr%C3%A4sentationen_Download/SS18/Schick_8-5-2018.pdf
- Shackel, B. (2009). Usability – Context, framework, definition, design and evaluation. *Interacting with Computers*, 21(5-6), 339–346. <https://doi.org/10.1016/j.intcom.2009.04.007>
- Steinhilber, B., T. Luger, P. Schwenkreis, S. Middeldorf, H. Bork, B. Mann, A. von Glinski, T. A. Schildhauer, S. Weiler, M. Schmauder, K. Heinrich [K.], G. Winter, G. Schnalke, P. Frener, R. Schick, S. Wischniewski und M. Jäger. (2020) Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V. Einsatz von Exoskeletten im beruflichen Kontext zur Primär-, Sekundär-, und Tertiärprävention von arbeitsassoziierten muskuloskelettalen (1. Auflage, Version 1 vom 31.05.2020). Verfügbar unter: <https://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/002-046.html>
- Upasani, S., R. Franco, N. K. und D. Srinivasan (2019). The Potential for Exoskeletons to Improve Health and Safety in Agriculture—Perspectives from Service Providers. *IISE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors*, 7(3-4), 222–229. <https://doi.org/10.1080/24725838.2019.1575930>
- Wortmeier, A.-K. und C. Kropp (2021). AR-Brillen und Exoskelette in der Baubranche: einfache Entlastungsversprechen gegenüber komplexen Mensch-Maschine-Konfigurationen. *AIStudien*, 14(1), 37-53 <https://doi.org/10.21241/SSOAR.73018>
- Yandell, M. B., A. E. Wolfe, M. C. Marino, M. P. Harris und K. E. Zelik (2022). Effect of a Back-Assist Exosuit on Logistics Worker Perceptions, Acceptance, and Muscle Activity. In J. C. Moreno, J. Masood, U. Schneider, C. Maufroy & J. L. Pons (Hrsg.), *Wearable Robotics: Challenges and Trends (Biosystems & Biorobotics, Bd. 27, (S. 7–11)*. Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-030-69547-7_

Von manuell bis automatisch – Die Bandbreite des Mechanisierungsgrades am Beispiel der Schweizer Rindviehhaltung

From manual labour to fully automatized – The bandwidth for the degree of mechanization in Swiss livestock husbandry

Michael Mielewczik*, Katja Heitkämper, Giulia Bianca Bozzolini, Tanja Groher, Christina Umstätter

Strategischer Forschungsbereich Wettbewerbsfähigkeit und Systembewertung, Arbeitsgruppe Sozioökonomie, Agroscope, CH-8356 Ettenhausen

**E-Mail: michael.mielewczik@agroscope.admin.ch*

Zusammenfassung

Durch den kleinräumigen und diversifizierten Charakter der landwirtschaftlichen Betriebe in der Schweiz gibt es große Unterschiede im Grad und in der Form der Umsetzung der Mechanisierung. Die Betriebsgröße und die Produktionszweige sowie auch geografische Aspekte spielen hierbei eine entscheidende Rolle. Die vorliegende Studie ist eine Teilauswertung einer repräsentativen Umfrage zum Thema «Stand der Mechanisierung und Digitalisierung in der Schweizer Landwirtschaft». Ziel der Umfrage war es möglichst detaillierte Informationen über eingesetzte Technologien, Maschinen und Arbeitsverfahren auf den Betrieben zu erhalten. In der vorliegenden Studie werden ausgewählte Ergebnisse von drei Betriebszweigen aus der Rinderhaltung (Milchkühe, Mutterkühe und Mastrinder) vorgestellt. Die Ergebnisse der Umfrage zeigen, dass der Grad der Mechanisierung und Automatisierung in der Tierhaltung je nach Betriebszweig und betrachtetem Arbeitsverfahren (z.B. Fütterung, Melken, Entmistung) eine große Bandbreite aufzeigt.

Deskriptoren: Digitalisierung, Milchkühe, Mutterkühe und Mastrinder

Abstract

Due to the small-scale and diversified character of agricultural businesses in Switzerland, there are great differences in the degree and the form and type of implementation of mechanization. Both size and the branches of agriculture businesses as well as geographical aspects play a key role in defining the degree of mechanization. The present study is part of a representative survey on the “Present state of mechanization and digitalization in Swiss agriculture”. The survey aimed to obtain as detailed information as possible on used technologies, machines and work processes in agricultural businesses. In the present study we present selected results of three different branches of agricultural

businesses of livestock husbandry (dairy and suckler cows and beef breeding) was surveyed and comparatively analysed. The results of the survey show that the degree of mechanization and automation in animal husbandry can show a wide bandwidth depending on the investigated business branches and work procedures (e.g. feeding, milking, dung removal).

Keywords: *Digitalization, Dairy cattle, Suckler cows, beef cattle*

1 Einleitung

Der deutliche Strukturwandel in der Landwirtschaft während der letzten 100 Jahre beruhte zu einem nicht unwesentlichen Anteil auf neuen technischen Entwicklungen und einer zunehmenden Mechanisierung von Arbeitsprozessen auf den landwirtschaftlichen Betrieben. Zum Umfang dieser Mechanisierung gehörte dabei aber nicht nur die immer weitere Verbreitung von Traktoren und Mähwerkzeugen. Gerade in der Tierhaltung wurden viele Arbeiten und Arbeitsschritte, die früher noch überwiegend von Hand durchgeführt wurden, weiter mechanisiert und zum Teil auch automatisiert und digitalisiert. Insbesondere menschliche Routinearbeiten auf den Agrarbetrieben wurden durch Maschinen und mechanische Werkzeuge ersetzt (Marinoudi et al. 2020). Ziel der Mechanisierung war dabei zum einen, den Menschen von schweren Arbeiten zu entlasten, wodurch es häufig auch zu einer Reduzierung der physischen Arbeitsbelastung kam, welche vielfach durch mehr kognitive Arbeit ersetzt wird (Hostiou et al. 2017). Zum anderen ging es auch darum, durch Rationalisierung und Effizienzsteigerung eine Steigerung der Produktivität herbeizuführen (Ulrich 1968).

Der Erhebung des Ist-Zustandes der Mechanisierung der Landwirtschaft u. a. mit Umfragen kommt dabei in vielerlei Hinsicht eine wichtige Rolle zu. Zum einen helfen solche Studien dabei, den aktuellen Status der landwirtschaftlichen Betriebe besser abzubilden und zu verstehen, zum anderen erlauben detailliertere Übersichten der Mechanisierung, den weiteren Verlauf der Transformation der Landwirtschaft besser modellieren und wissenschaftlich begleiten zu können; beispielsweise dadurch, dass die verschiedenen Arbeitsverfahren in den Agrarbetrieben verschiedener Betriebszweige aktueller und genauer abgebildet werden. Somit lassen sich auch zukünftige Szenarien, beispielsweise wechselnde Kultursysteme unter dem Einfluss des Klimawandels, besser modellieren, wobei dann auch Anpassungen an einzelnen Arbeitsschritten durch neue Technologien und Anbau- oder Tierhaltungsverfahren berücksichtigt werden können.

Frühere Analysen der Mechanisierung der Landwirtschaft sind dabei durch eine ganze Reihe spezifischer Eigenarten limitiert worden. Umfassende Arbeiten über Betriebszweige hinweg wurden beispielsweise nur selten durchgeführt und sie waren oft dadurch begrenzt, dass der Grad und die Entwicklung der Mechanisierung nur sehr allgemein, u.a. in Form von Motorisierung durch Traktoren oder durch die Anzahl von Motoren auf den einzelnen Betrieben oder eine generelle Analyse der Maschinenkosten betrachtet wurden (siehe z.B. Schaefer-Kehnert 1956, Dencker 1965; Statistisches Bundesamt

1977ff.; Gazzarin & Lips 2012; Gazzarin 2020 & 2021). Wurden die Mechanisierung von Betriebszweige oder Arbeitsverfahren einzeln untersucht, so konnten zwar mehr Details erhoben werden, allerdings waren diese Erhebungen dann alleinstehend und nicht mit den Mechanisierungsgraden anderer Betriebszweige vergleichbar (siehe z. B. Holpp et al. 2007; Nydegger und Grothmann 2009; Riegel & Schick 2005 & 2006; Savary et al. 2010).

Eine weitere Schwierigkeit ergibt sich zuletzt auch dadurch, dass sich die Technik im Laufe der Zeit rapide weiterentwickelt und Daten mitunter schon innerhalb weniger Jahre veralten können. Auch können sich technologische Entwicklung in verschiedenen Regionen erheblich unterscheiden. Darüber hinaus beeinflussen Änderungen von politischen Entscheidungen und Rahmenbedingungen den zukünftigen Verlauf der Mechanisierung wobei sich auch regional unterschiedliche Entwicklungen (beispielsweise in berg- und Tal-Regionen) ergeben können. Erhebungen zum Grad der Mechanisierung sind daher oftmals regionspezifisch und häufig nicht auf andere Regionen übertragbar. Noch bedeutender wird die Frage nach der zukünftigen Entwicklung der weiteren Mechanisierung, Automatisierung und Digitalisierung der Landwirtschaft, wenn man berücksichtigt, dass die Landwirtschaft in ihrer Rolle als Landnutzerin immer stärker in den Blickpunkt der Gesellschaft rückt. Neue Arbeitsverfahren und Technologien wie beispielsweise Precision Farming oder auf das Tierwohl optimierte Haltungsformen erhalten auch hinsichtlich der Transformation zu agro-ökologisch effektiven und nachhaltigen Agrarsystemen bzw. für eine nachhaltigere landwirtschaftliche Intensivierung eine immer größere Beachtung (vgl. z.B. Finger et al. 2019; Möhring et al. 2020; Walter et al. 2017).

Ausgehend davon hat Agroscope zwischen Januar und März 2018 eine schriftliche Befragung zum Stand der Mechanisierung und Digitalisierung bei Schweizer Landwirtinnen und Landwirten zu unterschiedlichen Betriebszweigen der Tier- und Pflanzenproduktion durchgeführt. Die Ergebnisse der Umfrage zeigen den heutigen Stand in der landwirtschaftlichen Produktion auf und ermöglichen gleichzeitig die Aktualisierung der Kalkulationsgrundlagen für die arbeitswirtschaftlichen Planungsdaten.

Der vorliegende Bericht fokussiert auf den Stand der Mechanisierung und Digitalisierung in der Nutztierhaltung am Beispiel der Schweizer Rindviehhaltung und gibt einen Überblick über die derzeit eingesetzten Maschinen und Bewirtschaftungsverfahren in den Betriebszweigen Milchkühe, Mutterkühe und Mastrinder.

2 Material und Methoden

Im Rahmen einer repräsentativen Umfrage wurde für jeden Betriebszweig ein Fragebogen in den drei Landessprachen Deutsch, Französisch und Italienisch entwickelt und an die ausgewählten Betriebe versandt. Die Auswahl der Stichprobe basierte hierbei auf der landwirtschaftlichen Strukturhebung aus dem Jahr 2016, die nahezu alle Schweizer Betriebe umfasst (53263) und seit 1997 jährlich zur Analyse von strukturellen, technischen und sozio-demografischen Faktoren erhoben wird (BFS 2016 & Ferjani et al.

2016). Nach Ausschluss der kleinsten Landwirtschaftsbetriebe wurde für jeden Betriebszweig eine eigene Grundgesamtheit der Betriebe ermittelt, die diesen Betriebszweig bewirtschaften. In einem zweiten Schritt wurden für jeden Betriebszweig eigene Größenklassen (GK) definiert, da Wechselwirkungen zwischen den Betriebsgrößen und dem Grad der Mechanisierung bestehen können (siehe z.B. Schaefer-Kehnert 1956, Dencker 1965). Danach wurde ein Schwellenwert mit einer „Mindestanzahl von Tieren“ in einem Betrieb bestimmt. Um eine Doppelbelastung der Betriebe zu vermeiden, sollte jeder Betrieb maximal einen Fragebogen erhalten unabhängig davon, wieviel Betriebszweige bewirtschaftet werden. Um dies sicherzustellen, wurde eine darauf abgestimmte Ziehprozedur genutzt. Der Plan für die 2-stufige zufällige Stichprobe und die Ziehung wurde von der Sektion «Statistische Methoden» des Bundesamtes für Statistik (BFS) entwickelt. Bei der Stichprobenplanung wurde für jede Größenklasse eine Rücklaufquote von 50 % angestrebt.

Die Betriebe wurden dazu angehalten, nur Fragen für Arbeiten zu beantworten, die auf dem eigenen Betrieb ausgeführt wurden. Dies galt unabhängig davon, ob die eingesetzten Maschinen gemietet waren oder zu einer Maschinengemeinschaft gehörten. Arbeiten, die für Dritte im Lohn erledigt werden, wurden in dieser Befragung nicht berücksichtigt. Die Anzahl der Fragen und zugehörigen Antwortmöglichkeiten variierten zwischen den verschiedenen Betriebszweigen.

Die Anzahl versandter Fragebögen zu Betriebszweigen der Tierproduktion betrug 2886, davon konnten 1483 rückläufige Fragebögen für die Auswertung genutzt werden. Für die drei in der vorliegenden Teilanalyse betrachteten Betriebszweige Milchkühe, Mutterkühe und Mastrinder lag der jeweilige Anteil von auswertbaren und versandten Fragebögen bei 259 von 450 (58%), 112 von 200 (56 %) und 193 von 513 (38 %).

Die Auswertung der Fragebögen erfolgte für jeden Betriebszweig separat. In einem ersten Schritt wurde für jede Frage die Anzahl der Teilnehmenden ermittelt, die diese Frage beantwortet haben. Daraus ergab sich ein unterschiedlicher Stichprobenumfang für die einzelnen Fragen. Bei Fragen zu Haltungssystemen, eingesetzten Technologien und Bewirtschaftungsverfahren wurden verschiedene Antwortmöglichkeiten zum Ankreuzen vorgegeben. Mehrfachnennungen waren bei der Beantwortung der meisten Fragestellungen möglich. Quantitative Fragen waren als offene Fragen gestellt. Die Liste der möglichen Antworten enthielt bei zahlreichen Fragen zusätzlich eine Eingabemöglichkeit unter der Bezeichnung «Andere». Diese Antworten sind hier nur im Text dargestellt, wenn mehr als 20 % aller Antwortenden diese Option wählten. Die Auswertung erfolgte mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel 2016 (Microsoft Corporation, Redmont, Washington, USA). Weitergehende Angaben zur Methodik und demographischen Angaben der untersuchten Betriebe sind in der vollständigen Analyse der Umfrage (Heitkämper et al. 2021) zu finden. Dort dargestellt sind auch die Ergebnisse der Umfrage für andere Betriebszweige aus der Schweizer Tierhaltung (Haltung von Zuchtschweinen, Mastschweinen, Milchziegen, Fleischschafen, Legehennen und Mastpoulets). Die Auswertung des Mechanisierungsgrads im Schweizer Pflanzenbau findet sich in Groher et al. (2020).

3 Ergebnisse

3.1 Mechanisierung in der Rindviehhaltung

3.1.1 Fütterung

Der Grad der Mechanisierung in den einzelnen Arbeitsverfahren in den jeweiligen Betriebszweigen weist deutliche Unterschiede auf. Bei der Fütterung verwenden nahezu alle Betriebe Silage, wobei die Lagerung von Grassilage auf den Schweizer Betrieben mit Haltung von Milchvieh (96,8%), Mutterkühen (99,1 %) und Mastrindern (97,4 %) am typischsten ist. Die Lagerung von Heu bzw. Emd erfolgt dabei zumeist lose (88,2 % / 59,1 % / 75,5 %) oder in Großballen (42,9 % / 65,5 % / 47,9 %), seltener in Form von Kleinballen (11,4% / 10,9 % / 12,8 %). Auch Maissilage wird auf den meisten Betrieben für die Fütterung des Milchviehs (70,3 %), der Mutterkühe (41,9 %) bzw. der Mastrinder (59,1 %) vorrätig gehalten. Die Art des Futters und der Lagerung haben hierbei durchaus einen großen Einfluss auf die jeweiligen Arbeitsverfahren bei der Fütterung. Bei Schweizer Betrieben mit Milchvieh (69,1 %), Mutterkühen (82,7 %) und Mastrindern (68,7 %) erfolgt die Silageentnahme beispielsweise bei mehr als zwei Drittel aller Teilnehmenden ausschließlich mechanisiert (siehe Abb. 1). In den meisten Schweizer Betrieben mit Rindviehhaltung erfolgt die Entnahme der Silage mit einem Front- bzw. Hoflader (Milchvieh: 53,4 %; Mutterkühe: 68,6 %; Mastrinder: 49,7 %).

Bei anderen Arbeitsverfahren nimmt der Grad der Mechanisierung graduell ab. Wird Silage vorgelegt, so erfolgt dies bei 30,9 % der Betriebe mit Milchviehhaltung ab Ballen oder Blöcken von Hand. Etwa ein Viertel der Betriebe nutzen einen Silowagen für die Vorlage von Hand. Verbreitet sind diese beiden manuellen Vorlageverfahren insbesondere bei Betrieben mit Bestandsgrößen von bis zu 50 Tieren. Bei den Betrieben mit Mutterkuhhaltung ist die manuelle Vorlage von Silagen weit verbreitet. 40,6 % bzw. 17,0 % dieser Betriebe gaben an, dass die Vorlage von Ballen entweder von Hand oder manuell mit einem Silowagen erfolgt. 19,8 % der Betriebe mit Mutterkuhhaltung verwenden einen Futtermischwagen zur Silagevorlage. Noch weiter verbreitet ist die manuelle Vorlage von Silage bei der Haltung von Mastrindern. Bei 35,1 % der Schweizer Betriebe mit Mastrinderhaltung wird die Silage ab Ballen oder Blöcken von Hand vorgelegt. Bei etwa einem Drittel der Betriebe (33,1 %) erfolgt die Vorlage mit Silowagen von Hand.

Die Heu- und Kraftfuttermischvorlage oder das Nachschieben von Futter erfolgt weitgehend manuell. Auch die Art der Mechanisierung kann variieren. So werden in kleineren Schweizer Milchviehbetrieben mit einer landwirtschaftlichen Nutzfläche von bis zu 50 ha beispielsweise vor allem Motormäher eingesetzt, während auf größeren Betrieben vor allem der Einsatz von Traktormähwerken dominiert.

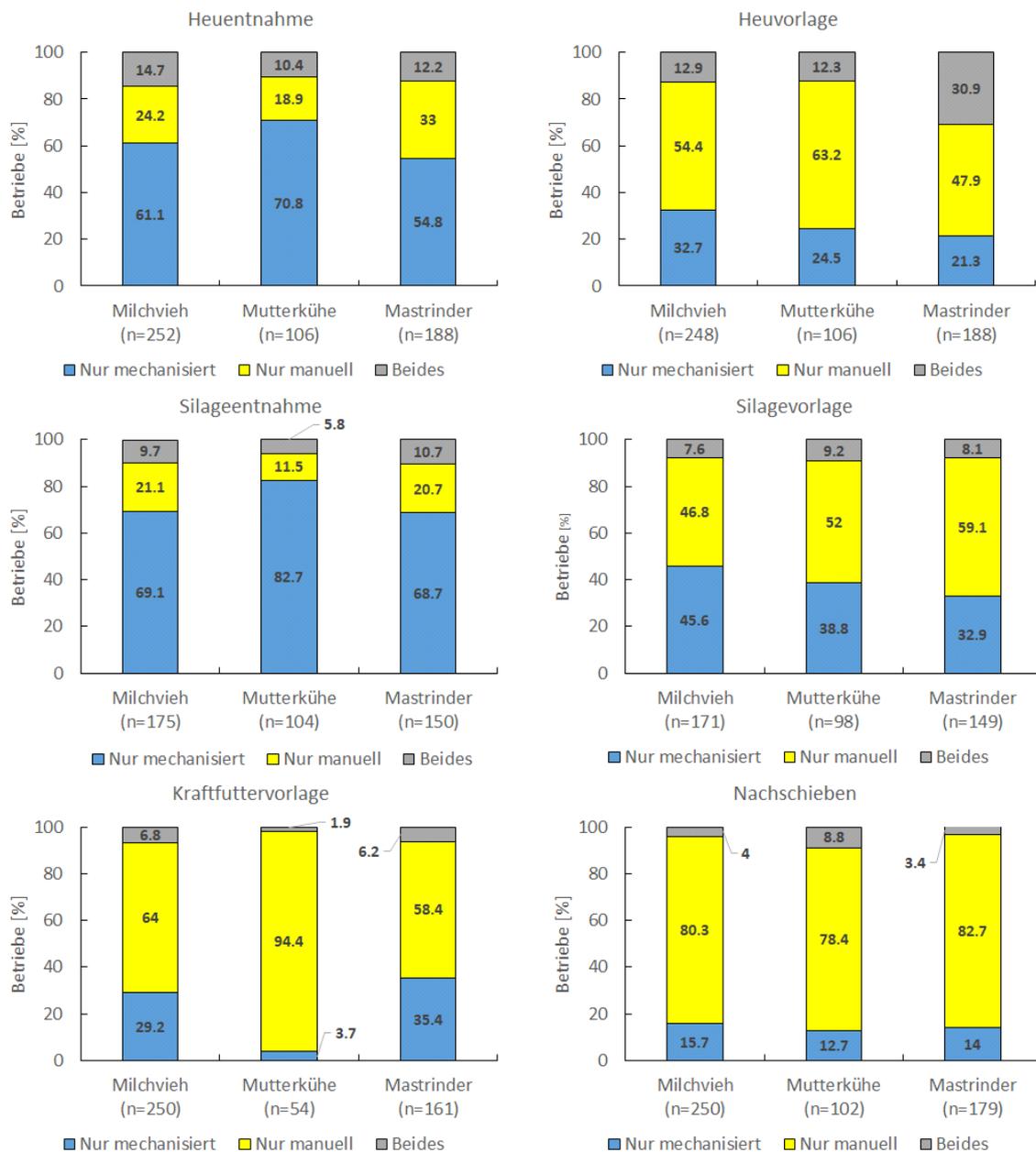


Abbildung 1: Mechanisierte und manuelle Verfahren zur Entnahme und Vorlage unterschiedlicher Futtermittel in der Schweizer Haltung von Milchvieh, Mutterkühen und Mastrindern.

3.1.2 Melksysteme und technische Ausstattung von Melkständen

Von den 248 Betrieben mit Milchviehhaltung, die Angaben zur genutzten Melktechnik machten gaben 38,3 % an, eine Rohrmelkanalage zu verwenden (siehe Abb. 2A). 18,5 % der Betriebe gaben an eine Eimermelkanalage zu besitzen. Unter den Melkständen waren der Fischgrätenmelkstand (15,7 %), der Tandemmelkstand (9,7 %) und der Autotandemmelkstand (5,2 %) am häufigsten genannt anzutreffen. Lediglich 5,6 % der Be-

triebe berichteten ein Automatisches Melksystem einzusetzen. Auch andere Melksysteme wie Kannenmelkanlagen (4,8 %) oder Side-by-Side-Melkstand (4,4 %) waren nur vereinzelt anzutreffen.

Erwartungsgemäß war die Wahl des Melksystems unter anderem vom vorhandenen Stallsystem abhängig. In Betrieben mit ausschließlicher Anbindehaltung (n = 122) nutzen 68,0 % der Milchviehhalter eine Rohrmelkanlage und 32,0 % eine Eimermelkanlage. In Betrieben mit Laufställen verwendeten 35,8 % der Befragten einen Fischgrätenmelkstand und 21,1 % einen Tandemmelkstand, gefolgt vom Automatischen Melksystem (12,8 %), Autotandemmelkstand (11,0 %) und Side-by-Side-Melkstand (10,1 %). In den einzelnen Melkstandtypen kann sich die technische Ausstattung hinsichtlich des Umfangs der Automatisierung von Arbeitsabläufen deutlich unterscheiden (siehe Abb. 2B). Während beispielsweise die Abnahmeautomatik (79 %) und die automatische Tankreinigung (72 %) von Betrieben mit Fischgrätenmelkstand häufig genannt wurden, gaben 69 % der Betriebe mit Autotandemmelkstand an, über einen Servicearm im Melkstand zu verfügen. Eine Nachmelkautomatik wird dagegen in den gängigen Melkstandtypen nur selten genutzt.

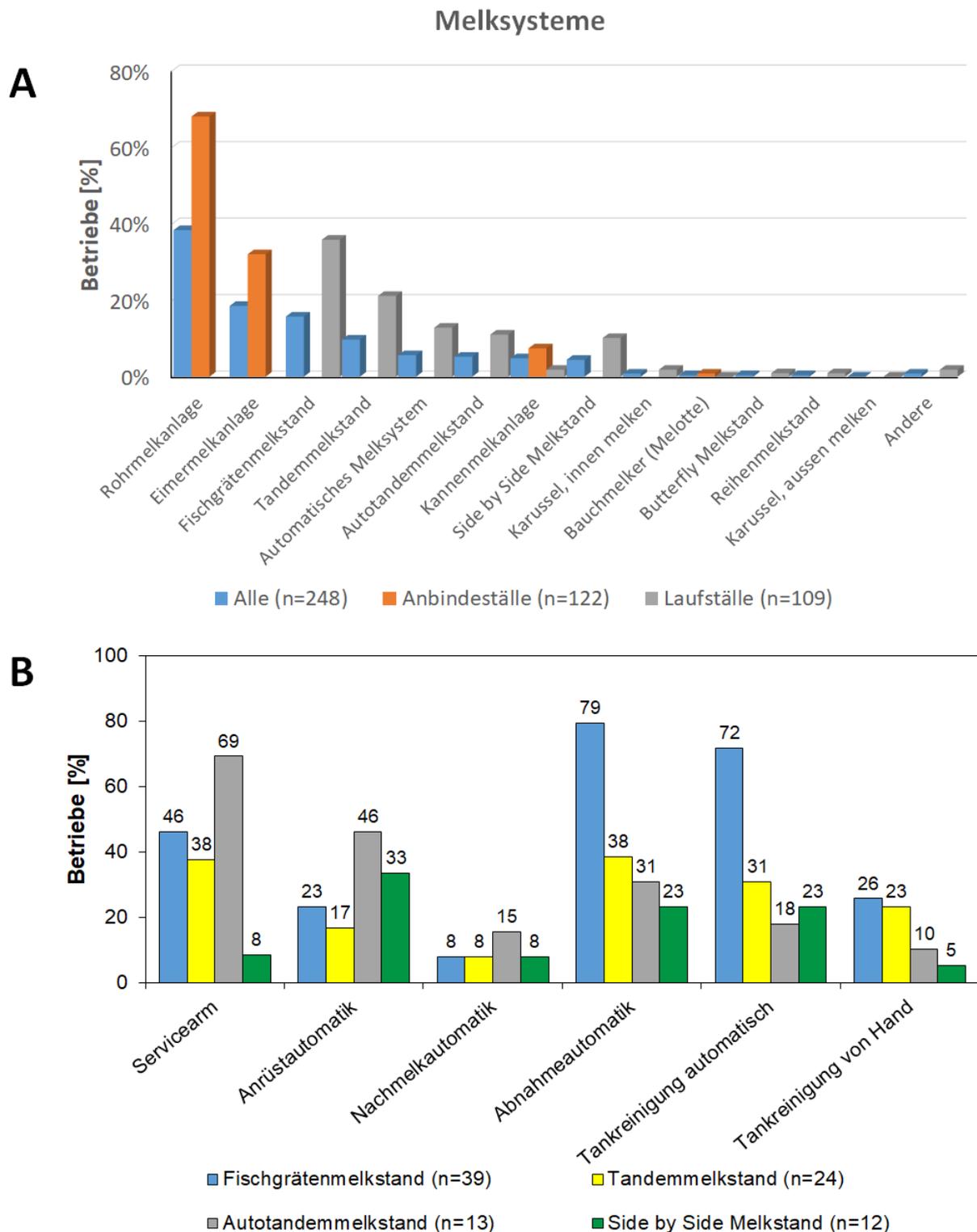


Abbildung 2: A) Melksysteme und B) die technische Ausstattung der Melksysteme entsprechend ihrer relativen Häufigkeit in der Schweizer Milchviehhaltung. Mehrfachnennungen verschiedener Melksysteme pro Betrieb waren in der Umfrage möglich.

3.1.3 Entmistungsverfahren

Für die verschiedenen Flächen in der Laufstallhaltung und Anbindestallhaltung kommen beim Milchvieh unterschiedliche Entmistungsverfahren zur Anwendung.

Im Laufstall nutzen 53,3 % der Betriebe einen stationären Schieber für die Laufflächen, 37,2 % der Betriebe für die Fressplätze und 10,9 % für den Laufhof (siehe Abb. 3). Etwa ein Viertel der Betriebe entmistet den Laufhof von Hand über einen Abwurf-schacht (27,0 %). Nur ein sehr kleiner Teil der Betriebe nutzt für die Entmistung von Laufflächen, Quer-gängen, Fressplätzen und dem Laufhof einen Roboter (2,2 %, 1,5 %, 2,9 % und 2,2 %). Bei der Haltung von Mutterkühen und Mastrindern kommt ein stationärer Schieber sel-ter bei 17,5 % respektive 28,5 % der Betriebe auf den Laufflächen zum Einsatz. Auch bei den Fressplätzen und im Laufhof kommt ein stationärer Schieber in der Mutterkuh-haltung (15,5 % und 9,7 %) bzw. in der Mastrinderhaltung (22,0 % und 11,4 %) seltener zum Einsatz. In der Mutterkuhhaltung wird stattdessen in etwa einem Drittel der Betriebe bei den Fressplätzen (35%) und im Laufhof (33 %) via Abwurfschacht von Hand entmis-tet. Eine ähnliche Bedeutung hat die Entmistung von Hand über einen Abwurfschacht in der Schweizer Mastrinderhaltung. Auch dort wird von etwa einem Drittel der Betriebe die-ses Verfahren für die Entmistung der Fressplätze und des Laufhofs genutzt. Relativ ver-breitet ist insbesondere bei der Haltung von Mutterkühen auch noch die manuelle Ent-mistung via Schubkarre bei den Fressplätzen und im Laufhof.

In Betrieben mit Anbindeställen gaben 54,1 % der 146 befragten Betriebe an, dass Sie im Anbindestall zur Entmistung einen Schwemmkanal verwenden. Seltener kommen Ket-tenentmistung (4,8%) bzw. Schubstangenentmistung zum Einsatz. Manuelle Arbeiten sind dabei im Anbindestall relativ üblich. So gaben 52,1 % der Betriebe beispielsweise an von Hand mit Schubkarre im Anbindestall zu entmisten. 19,9 % der Milchvieh-Betriebe mit Anbindestallhaltung nutzt zudem eine Entmistung mit Schubkarre im Laufhof des An-bindestalls. Eine manuelle Entmistung über einen Abwurfschacht wurde von 8,2 % der befragten Betriebe mit Anbindestallhaltung als genutztes Entmistungssystem angege-ben.

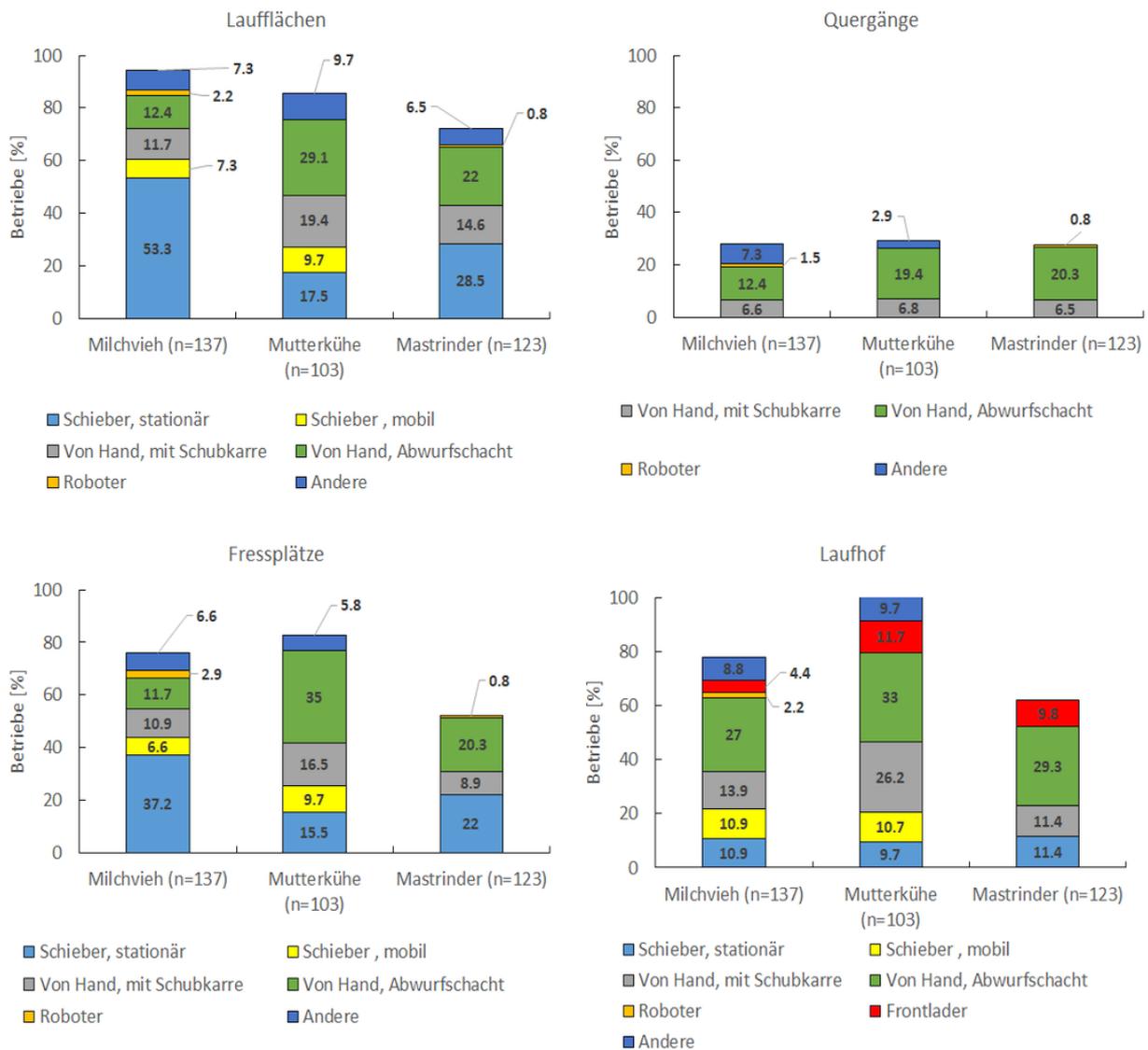


Abbildung 3: Entmistungsverfahren in Betrieben mit Laufstallhaltung in den verschiedenen Bereichen des Laufstalls entsprechend der relativen Häufigkeit der Verfahren in der Schweizer Milchvieh-, Mutterkuh- und Mastrinderhaltung. Mehrfachnennungen waren möglich. Bei der Umfrage war es an dieser Stelle möglich, nicht zu allen Bereichen des Laufstalls Angaben zu machen.

4 Diskussion

Die vorliegende Studie hat gezeigt, dass bei vielen Arbeiten in der Rinderhaltung trotz des vorhandenen arbeitswirtschaftlichen Einsparpotenzials bisher nur bedingt eine Automatisierung mechanischer Verfahren zum Einsatz kommen. Im Detail gibt es in den einzelnen Betriebszweigen und den dort typischen Arbeitsverfahren graduell große Unterschiede. Am ehesten sind automatisierte Verfahren in Mastbetrieben bei wiederkehrenden und insbesondere schweren Routinearbeiten, insbesondere in der Rindviehhaltung bei der Fütterung und beim Melken, anzutreffen, beispielsweise bei der Entnahme von

Futter. Auch bei größeren Tierbeständen finden sich daher heute immer noch viele Tätigkeiten in der Tierhaltung, in denen manuelle Arbeitsschritte eine wichtige Rolle spielen. Dies liegt wohl auch daran, dass die Betriebsstrukturen in der Schweiz im Vergleich zu den europäischen Nachbarländern von vergleichsweise geringen Bestandsgrößen und geringer Flächenausstattung geprägt sind (EUROSTAT 2016 & 2020). Dies ist vermutlich der wichtigste Grund, warum sich, wie sich aus der Umfrage entnehmen lässt, in der Schweiz oft eine Kombination aus manuellen und mechanischen Arbeitsverfahren finden lässt. Im Detail zeigt die Umfrage aber auch deutlich die Diversität der Schweizer Landwirtschaft, denn es finden sich große Unterschiede im Grad der Mechanisierung.

Die fortschreitende Mechanisierung zeigt sich schön am Beispiel der Melktechnik. Bis in die 1990er Jahre dominierten in der Schweiz Eimermelkanlagen, die damals auf bis zu 85 % der Schweizer Milchviehbetriebe zu finden waren (Nosal 2007). Bereits in einer früheren Umfrage zeigte sich, dass die Melktechnik einem kontinuierlichen Wandel unterliegt. So berichteten Savary et al. (2010) unter anderem, dass zu dieser Zeit Tandem- und Autotandem-Melkstände sowie Fischgrätenmelkstände am häufigsten zu finden, Automatische Melksysteme in der Schweiz jedoch kaum anzutreffen waren. Allerdings konnten sich damals 20 % der befragten Betriebe vorstellen, in einem Zeit-horizont von acht Jahren in ein Automatisches Melksystem zu investieren. Gleichzeitig gaben andere investitionsinteressierte Betriebe an, dass sie weiterhin in Tandem- und Autotandem-Melkstände investieren würden. Damals wurde ein Anstieg dieser Melkstandstypen von bis zu 50 % prognostiziert. Die Ergebnisse unserer Umfrage zeigen auf, wie sich die Perspektive weiterentwickelt hat. Die vorliegende Studie hat gezeigt, dass bei vielen Arbeiten in der Tierhaltung trotz des vorhandenen arbeitswirtschaftlichen Einsparpotenzials bisher nur bedingt automatisierte Verfahren zum Einsatz kommen. Jüngsten Marktumfragen zu Folge nimmt in den letzten zwei Jahren aber auch die Beliebtheit und Bedeutung von Automatischen Melksystemen in der Schweiz weiter zu (Frankhauser 2020; Schmid 2021). Dennoch scheint es so zu sein, dass die tatsächlichen Entwicklungen mitunter nicht so schnell erfolgen wie von Vorhersagen (siehe z.B. Savary et al. 2010) prognostiziert. Dies mag auch daran liegen, dass die Entwicklung der Mechanisierung und Automatisierung in der Melktechnik in der Schweiz sehr wahrscheinlich auch stark durch Veränderungen in der typischen Stallhaltung beeinflusst worden ist. In den vergangenen Jahren hat die Laufstallhaltung in der Schweizer Milchwirtschaft stetig zugenommen. Wurden beispielsweise 2003 noch 67 % der Milchkühe in Anbindeställen und 33 % in Laufställen gehalten (BFS 2004), so stieg der Anteil der Tiere in Laufstallhaltung bis 2012 auf 58 % (Umstätter et al. 2016). Eben diese Entwicklung ist auch in den Ergebnissen der vorliegenden Umfrage erkennbar. Der Anteil der Milchkühe in Laufställen im Jahr 2018 lag hier bei rund 70 % während bei der Anzahl der Betriebe Laufstall- und Anbindestallhaltung etwa gleich oft anzutreffen waren. Vor allem in Berggebieten, wo die Tiere in den Sommermonaten auf Weiden und Alpen gehalten werden, sind Anbindeställe für die Wintermonate immer noch verbreitet und häufig anzutreffen.

Hinsichtlich der Anzahl Melkeinheiten (ME) im Melkstand leiteten Savary et al. (2010) aus ihren Umfrageergebnissen eine zu erwartende Erweiterung der Melkstände um zwei ME auf durchschnittlich 7–8 ME ab. Diese Entwicklung spiegelt sich in den vorliegenden Ergebnissen jedoch nicht für alle Melkstandstypen wieder. In unserer Umfrage lag die durchschnittliche Anzahl ME in FGM bei 7,3 ME, bei Tandemmelkständen bei 4,2 und bei Autotandemmelkständen bei 5 ME.

Strategische Entscheide werden insbesondere von der individuellen betrieblichen Situation beeinflusst und sind multifaktoriell. Das Ziel einer Steigerung der Arbeitseffizienz über die steigende Anzahl Melkplätze könnte sich geändert haben. Die von Savary et al. (2010) abgeleitete Wachstumsstrategie der Betriebe zur Produktivitätssteigerung könnte weniger in der Erweiterung der Melkstände oder in einem Umstieg auf Tandem- oder Autotandem-Melkstand, sondern eher in einer höher technisierten Ausstattung eines bestehenden Melkstands bestehen.

Die tägliche Fütterung ist neben dem Melken die Routinearbeit, die am meisten Zeit beansprucht und auf Grund der zu bewegendenden Lasten auch den größten Arbeitsaufwand und Belastungen verursacht. Dies gilt nicht nur bei der Haltung von Milchvieh, sondern auch bei der Haltung von Mutterkühen und Mastrindern, bei denen die Fütterung je nach Haltungsform und den genutzten Arbeitsverfahren bis zu 70 % des Arbeitszeitaufwands betragen kann (Schrade et al. 2005 & 2009). Durch den Einsatz mobiler und automatisierter Fütterungssysteme kann hier eine deutliche Entlastung erzielt werden.

Insofern ist es wenig verwunderlich, dass der typische Mechanisierungsgrad bei der Fütterung von Rindvieh bei der Entnahme und Vorlage von Futter am höchsten ist, während sich beispielsweise beim Nachschieben und der Vorlage von Frischfutter noch besonders häufig manuelle Tätigkeiten finden lassen. Auch in diesen Arbeitsverfahren lassen sich jedoch abhängig von der Bestandsgröße Einsparungen im täglichen Arbeitszeitbedarf erzielen (Herzog et al. 2014).

Dass auch heute noch nicht alle Arbeitsverfahren, insbesondere in der Milchviehhaltung aber auch in der Mutterkuhhaltung und Mastrinderhaltung gleichermaßen mechanisiert und automatisiert sind, liegt dabei wohl daran, dass neben der reinen Arbeitserleichterung auch andere Faktoren wie Investitionskosten, Lagerart, sowie betriebliche und bauliche Voraussetzungen für die Futtermittel sowie die Futterzusammensetzung eine wichtige Rolle bei der Etablierung solcher Systeme spielen.

Nydegger und Grothmann (2009) verglichen in einer europäischen Studie verschiedene marktübliche automatische Fütterungssysteme für die Grundfuttermittelvorlage und folgerten unter anderem für die Schweiz, dass ein wirtschaftlich rentabler Einsatz dieser teuren Anlagen eine hohe Auslastung durch die Fütterung aller Tiere im Bestand voraussetzt, und dass sie vor allem für eine rationelle und leistungsgerechte Fütterung größerer Rindviehherden geeignet sind. In der vorliegenden Untersuchung wurde ein selbstbefüllender Futtermischwagen für die Silageentnahme nur selten genannt, bei rund einem Viertel der

Befragten wird jedoch der Futtermischwagen für die Futtervorlage eingesetzt. Vier Betriebe besaßen ein automatisches Fütterungssystem. Dies deutet darauf hin, dass die zuvor genannten Voraussetzungen für den Einsatz dieser Systeme auf vielen Schweizer Betrieben derzeit nicht gegeben sind.

Daneben existieren aber noch andere mögliche Ursachen, welche eine schnellere Steigerung der Mechanisierung in einzelnen Bereichen und Arbeitsverfahren hemmen können. Hierzu zählen beispielsweise Fehleranfälligkeit und betriebspezifische Bedingungen, welche die Etablierung von automatischen und mechanisierten Entmistungsverfahren beeinflussen können. In der Anbindehaltung zählten der Hoftrac, die Schubstange, der Gitterrost und die manuelle Entmistung mit Schubkarre zu den verbreitetsten Verfahren. Für Laufställe zeigten die Ergebnisse ihrer Untersuchung, dass bei der mobilen Entmistung von Laufgängen die manuelle Reinigung bis zu einer Bestandsgröße von 40 Kühen hinsichtlich des Arbeitszeitbedarfs noch knapp mit anderen Entmistungsverfahren mithalten kann. Klauengesundheit und baulicher Umweltschutz stellen jedoch hohe Anforderungen an die Häufigkeit und Qualität. In unserer Umfrage wurden in der Anbindehaltung der Schwemmkanal (vgl. Gitterrost) und die manuelle Entmistung von Hand am häufigsten genannt, in der Laufstallhaltung war es für die Entmistung der Laufflächen der stationäre Schieber.

Insgesamt geben die Ergebnisse der Umfrage zum Stand der Mechanisierung in der Schweizer Rindviehhaltung am Beispiel der drei Betriebszweige Milchvieh, Mutterkühe und Mastrinder wertvolle Informationen zum jetzigen Zustand der Mechanisierung und den am häufigsten bzw. typischerweise anzutreffenden technischen Einrichtungen, deren Automatisierung und deren Verbreitung.

Die Ergebnisse der vorliegenden Umfrage sowie der parallel dazu ermittelten Umfrageergebnisse zum Stand der Mechanisierung in den weiteren analysierten Betriebszweigen der Schweizer Tierhaltung (Zuchtschweine, Mastschweine, Fleischschafe, Milchziegen, Legehennen und Mastpoulets) (siehe Heitkämper et al. 2021) sowie des Schweizer Pflanzenbaus (Groher et al. 2020) fließen in einem nächsten Schritt in das Kalkulationsprogramm LabourScope (www.labourscope.ch) ein. Anwenderinnen und Anwendern steht damit ein Tool für betriebsindividuelle Kalkulationen des Arbeitszeitbedarfs für verschiedene Produktionsverfahren zur Verfügung. Die Erfassung der Erkenntnisse zum aktuellen Stand der Schweizer Mechanisierung bieten in jedem Fall wichtige Aufschlüsse zum Arbeitsablauf und Arbeitsprozessen in der Landwirtschaft die u. a. für die Modellierung ökonomischer, ökologischer und sozial nachhaltiger Zukunftsszenarien im Rahmen der weiteren Transformation der Landwirtschaft genutzt werden können.

Literaturverzeichnis

Bundesamt für Statistik (BFS) (2004). Einblicke in die schweizerische Landwirtschaft. Ausgabe 2004. Neuchâtel.

- Bundesamt für Statistik (BFS) (2016). Landwirtschaftliche Strukturerhebung. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/land-forstwirtschaft/erhebungen/stru.assetdetail.6993.html> [Zuletzt abgerufen am 24.1.2022]
- Dencker, K.H. (1965). Grenzen der Mechanisierung in der Landwirtschaft. Arbeitsgemeinschaft für Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen. Heft 155, 7–26.
- EUROSTAT (2020). Durchschnittliche Viehbestandsgrößen in den EU-Mitgliedstaaten, in: Ernährung, Landwirtschaft und Forsten in den Mitgliedstaaten der EU. <https://www.bmel-statistik.de/landwirtschaft/tierhaltung>
- EUROSTAT (2016). Average utilised agricultural area per holding, 2010 and 2013. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Average_utilised_agricultural_area_per_holding,_2010_and_2013_\(%C2%B9\)_\(hectares\)_YB16-de.png#file](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Average_utilised_agricultural_area_per_holding,_2010_and_2013_(%C2%B9)_(hectares)_YB16-de.png#file)
- Fankhauser P (2020). Melkroboter: Nicht nur für grosse Betriebe sind automatische Melksysteme geeignet. BauernZeitung 3. August 2020. <https://www.bauernzeitung.ch/artikel/markt-preise/melkroboter-nicht-nur-fuer-grosse-betriebe-sind-automatische-melksysteme-geeignet-356868> .
- Ferjani, A., Zimmermann, A., & Roesch, A. (2015). Determining factors of farm exit in agriculture in Switzerland. *Agricultural Economics Review*, 16(1), 59–72.
- Finger, R., Swinton, S.M., El Benni, N. & Walter, A. (2019). Precision Farming at the Nexus of Agricultural Production and the Environment. *Annual Reviews of Resource Economics* 11: 313–335.
- Gazzarin, C. & Lips, M. (2012). Maschinenkosten 2012. Gültig bis September 2013. ART Bericht 753: 1-53.
- Gazzarin, C. (2020). Maschinenkosten 2020. Gültig bis September 2021. Agroscope Transfer 347: 1-52.
- Gazzarin, C. (2021). Maschinenkosten 2021. Gültig bis September 2022. Agroscope Transfer 408: 1-52.
- Groher, T., Heitkämper, K. & Umstätter, C. (2020). Stand der schweizer Mechanisierung in der Schweizer Landwirtschaft: Teil 1: Pflanzenproduktion. *Agroscope Transfer* 351: 1–123.
- Heitkämper, K., Mielewczik, M., Bozzolini, G., Groher, T. & Umstätter, C. (2021) Stand der Mechanisierung in der Schweizer Landwirtschaft. Teil 2: Tierhaltung. *Agroscope Transfer* Nr. 352: 1–224.
- Herzog C., Heitkämper K., Umstätter C. & Schick M. (2014). Arbeitszeitbedarf in der Milchviehhaltung. KTBL-Arbeitsprogramm – Kalkulationsunterlagen 2013. Kennziffer 4113.

- Holpp, M., Moriz, C., Zähler, M. (2007). Herdenmanagement und Elektronik – Nutzen und Grenzen. Nutzen des Herdenmanagements und der Elektronik für Milchproduzenten. In: 1. Tänniker Melktechniktagung. Melktechnologie der Zukunft: Das Zusammenwirken von Industrie, Beratung und Forschung (Hrsg.: Robert Kaufmann & Dusan Nosal), ART Schriftenreihe 3, S. 64–078.
- Hostiou, N. et al. (2017). Impact of precision livestock farming on work and human-animal interactions on dairy farms. A review. *Biotechnology Agronomy, Society and Environment* 21 (4), 268–275.
- Marinoudi, V., Sørensen, C. G., Pearson, S., Bochtis, D. (2019). Robotics and labour in agriculture. A context consideration. *Biosystems Engineering*, 184, 111–121.
- Möhring, N., Ingold, K., Kudsk, P., Martin-Laurent, F., Niggli, U., Siegrist, M., Studer, B., Walter, A. & Finger, R. (2020). Pathways for advancing pesticide policies. *Nature Food* 1: 535–540.
- Nydegger, F., & Grothmann, A. (2009). Automatische Fütterung von Rindvieh: Ergebnisse einer Erhebung zum Stand der Technik. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART.
- Riegel, M. & Schick, M. (2005). Abschlussbericht. Arbeitszeitbedarf in der Kälberhaltung. KTBL-Arbeitsprogramm Kalkulationsunterlagen 2005. Kennziffer 4b 05. Agroscope FAT Tänikon. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik. CH-8356 Ettenhausen.
- Riegel, M. & Schick, M. (2006). Abschlussbericht. Grunddaten und Arbeitszeitbedarfswerte für die Mutterkuhhaltung. Teilprojekt Arbeitszeitbedarf. KTBL-Arbeitsprogramm Kalkulationsunterlagen 2006. Kennziffer 4e b 06. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART Tänikon, CH-8356 Ettenhausen.
- Savary, P., Korth, F., Kauke, M. (2010). Melkstandtechnik auf Schweizer Milchviehbetrieben. ART-Bericht 730, 1–8.
- Schaefer-Kehnert, W. (1956). Probleme der Arbeitswirtschaft und Mechanisierung in verschiedenen Betriebsgrößen. *German Journal of Agricultural Economics / Agrarwirtschaft* 5(9), 272–279.
- Schmid, B. (2021). Melkroboter werden zum Standard. Die Funktionssicherheit von Melkrobotern ist hoch und die Landwirte profitieren von der Arbeitserleichterung. Bis in zehn Jahren wird in der Schweiz ein Marktanteil der Melkroboter von bis zu 80 Prozent erwartet. Die Grünen vom 20. Mai 2021. <https://www.diegruene.ch/artikel/landtechnik/melkroboter-werden-zum-standard-352211>
- Schrade, S., Keck, M. & Schick, M. (2005). Determination of Working-Time Requirement in Suckler Cattle Farming Using a Combination of Recording Methods. XXXI CI-OSTA-CIGR Congress “Increasing Work Efficiency in Agriculture, Horticulture and Forestry”, September 19-21, 2005, University of Hohenheim, Stuttgart, S. 21–27.

Schrade, S., Keck, M & Schick, M. (2009). Arbeitszeitbedarf in der Mutterkuhhaltung unter kleinstrukturierten Produktionsbedingungen. Agrarökonomie: Arbeitswissenschaft. In: Band 2 des Tagungsbandes der 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau erschienen. Mayer, J.; Alföldi, T.; Leiber, F.; Dubois, D.; Fried, P.; Heckendorn, F.; Hillmann, E.; Klocke, P.; Lüscher, A.; Riedel, S.; Stolze, M.; Strasser, F.; van der Heijden, M. und Willer, H. (Hrsg.) (2009): Werte - Wege - Wirkungen: Biolandbau im Spannungsfeld zwischen Ernährungssicherung, Markt und Klimawandel Beiträge zur 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, ETH Zürich, 11.–13. Februar 2009 Band 1: Boden, Pflanzenbau, Agrartechnik, Umwelt- und Naturschutz, Bio-landbau international, Wissensmanagement Band 2: Tierhaltung, Agrarpolitik und Betriebswirtschaft, Märkte und Lebensmittel. Verlag Dr. Köster, Berlin.

Statistisches Bundesamt (1977). Ausgewählte Zahlen für die Agrarwirtschaft. Reihe 1. Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Fachserie 3. Herausgeber: Statistisches Bundesamt Wiesbaden. Verlag: W. Kohlhammer GmbH Stuttgart und Mainz. (siehe auch weitere Jahrgänge)

Ulrich, E. (1968). Stufung und Messung der Mechanisierung und Automatisierung, Sonderdruck aus „Mitteilungen aus der Arbeitsmarkt- und Berufsforschung“, Verlag W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart, Deutschland.

Umstätter, C., Stark, D., Schmid, D, Schick, M. (2016). Auswirkung des technischen Fortschritts auf die Arbeitszeit in der Landwirtschaft. Agrarforschung Schweiz 7(4), 204–209.

Walter, A., Finger, R., Huber, R., & Buchmann, N. (2017). Opinion: Smart farming is key to developing sustainable agriculture. Proceedings of the National Academy of Sciences, 114(24), 6148–6150.

Entwicklung einer adaptiven Benutzerschnittstelle zur Optimierung des kognitiven Benutzerzustands

Development of an adaptive user interface to optimize the cognitive user state

M.Sc. Steffen Metzger^{1*}, M.Sc. Patrick Lehr¹, M.Sc. Valentin Ernst²,
Prof. Dr.-Ing. Marcus Geimer¹

¹ *Institutsteil Mobile Arbeitsmaschinen, Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe, Deutschland*

² *Institut für Agrartechnik, Universität Hohenheim, Hohenheim, Deutschland*

* *E-Mail: steffen.metzger@kit.edu; Tel.: (+49)721 608 48646*

Zusammenfassung:

Der demographische Wandel sowie gestiegene Anforderungen an die Vereinbarkeit von Privat- und Familienleben haben zur Folge, dass immer mehr Menschen aus der Landwirtschaft ausscheiden oder diesen Berufszweig erst gar nicht ergreifen. Zur Sicherung des Nachwuchses befasst sich das Projekt „Fahrerkabine 4.0“ mit der Bereitstellung eines attraktiven Arbeitsumfelds auf dem Mähdrescher, das landwirtschaftlich Beschäftigte dabei unterstützt, ihre Arbeit zufriedenstellend, effektiv und effizient erledigen zu können. Im Rahmen des Projekts wird eine adaptive Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI) für Landmaschinen entwickelt. Dieses soll durch Detektion des Beanspruchungslevels den Nutzer insbesondere in kognitiv kritischen Situationen aktiv unterstützen. Das System kann bei kognitiver Unterforderung beispielsweise während der automatisierten Ernte die Möglichkeit bieten, Tätigkeiten auf der Maschine zu erledigen, die normalerweise nach der täglichen Feldarbeit anstehen würden. In Situationen der kognitiven Überforderung unterstützt das System durch verschiedene Hilfestellungen und Tipps. So können unter anderem Hinweise zu Hindernissen und aktuell kritischen Maschineneinstellungen gegeben werden. Durch eine weitreichende Vernetzung der Kabine mit verschiedenen landwirtschaftlichen Systemen ist die Möglichkeit gegeben, die Zeit auf der Landmaschine effizient nutzen zu können mit gleichzeitiger Optimierung der subjektiven Beanspruchung des Nutzers. Diese Optimierung wirkt sich nicht nur positiv auf die Arbeitsleistung und die Fehleranfälligkeit aus, sondern steigert auch das persönliche Wohlbefinden des Nutzers. [1]

Um den Bediener nicht zusätzlich einzuschränken, werden im Forschungsprojekt Eye-Tracking sowie Fitnessarmbänder zur Detektion der subjektiven Beanspruchung eingesetzt. Um eine redundante Beanspruchungserkennung zu ermöglichen, wird zusätzlich ein Cognitive-Task-Load-Modell (CTL) eingebunden [2; 3]. Dieses Modell ermöglicht zusätzlich eine Abschätzung der zukünftigen Beanspruchung unter Berücksichtigung der drei Dimensionen „Aufgabensetwechsel (ASW)“, „Zeitliche Auslastung (ZA)“ und „Ebene

der Informationsverarbeitung (EDI)“. Mittels dieser drei Belastungsfaktoren kann die für den Nutzer ideale Handlungsempfehlung bestimmt werden, um zu verhindern, dass dieser in kognitiv kritischen Situationen verweilt oder gar in diese gerät. Durch die zusätzliche Nutzung weiterer Datenströme wie beispielsweise Maschinendaten, Daten aus dem Farmmanagementtool und weitere internetbasierte Datenquellen, erweitert sich der Pool aus Handlungsempfehlungen. Die Anzeige und Bearbeitung der Handlungsempfehlung findet über das neu entwickelte Bedienkonzept statt. Head-Up Displays ermöglichen großflächige Anzeigen auf den Kabinenscheiben und die deutlich entschlackte Bedienarmlehne bietet ein intuitives und ergonomisches Erlebnis. Zur Durchführung von Tests, unabhängig von der Ernteperiode, wird ein Simulator mit einer vollständig ausgerüsteten Kabine aufgebaut.

Deskriptoren: Informations- und Kommunikationssysteme, Mensch-Maschine-Schnittstelle, CTL-Modell, Handlungsempfehlungen, Nutzerzustandserkennung, kognitive Beanspruchung, virtueller Assistent, Mähdrescher

Abstract

Demographic change and increased demands for a balance between private and family life mean that more and more humans are leaving agricultural sector or not entering this line of work in the first place. To ensure the next generation of employees, the "Fahrerkabine 4.0" project is concerned with providing an attractive working environment on the combine harvester that supports agricultural employees in being able to do their work satisfactorily, effectively and efficiently. The project will develop an adaptive human-machine interface (HMI) for agricultural machinery. This is intended to actively support the user, especially in cognitively critical situations, by detecting the level of stress. In situations of cognitive underload, for example during automated harvesting, the system can provide the opportunity to perform activities on the machine that would normally be scheduled after the daily field work. In situations of cognitive overload, the system provides support through various assistance and tips. Among other things, advice can be given on obstacles and currently critical machine settings. Extensive data exchange between the cab and various agricultural systems enables the driver to use the time on the agricultural machine efficiently while at the same time optimizing the subjective stress of the user. This optimization not only has a positive effect on the work performance and the susceptibility to errors, but also increases the personal well-being of the user. [1]

In order not to additionally restrict the operator, eye tracking as well as fitness wristbands are used to detect subjective strain. To enable redundant stress detection, a cognitive task load (CTL) model is also incorporated [2; 3]. This model allows an estimation of the future workload considering the three dimensions "task set switches (TSS)", "occupied time (OT)" and "level of information processing (LIP)". By means of these three stress factors, the ideal recommended action for the user can be determined in order to prevent the user from remaining in cognitively critical situations or even get into them. The pool

of recommended actions can be extended by the additional use of other data streams such as machine data, data from the farm management tool and other web-based data sources. The display and processing of the recommended action takes place via the newly developed operating concept. Head-up displays enable large-area displays on the cab windows and the significantly streamlined operating armrest offers an intuitive and ergonomic experience. A simulator system with a fully equipped cab is set up to carry out tests, regardless of the harvesting period.

Keywords: *Information and communication systems, human-machine interface, CTL model, task recommendations, user state recognition, cognitive load, virtual assistant, combine harvester*

1 Einleitung

Vielfältige Assistenz- und Automatisierungssysteme haben in diversen Stufen in die Maschinen und Anlagen der Landwirtschaft Einzug gehalten, die die Landwirte bei ihren Aufgaben unterstützen. Zum Teil können dadurch lange Zeitdauern entstehen, in denen der Fahrer einer Landmaschine ausschließlich überwachende Tätigkeiten ausführt. Am Beispiel der Landmaschine Mähdrescher, der eine sehr komplexe Aufgabenkombination ausführt, wird deutlich, dass die Belastung auf den Fahrer durch die Bedienung des Systems sehr stark variiert. Grundsätzlich bestehen drei Hauptaufgaben, die der Fahrer eines Mähdreschers zu erledigen hat. Er reguliert die Fahrgeschwindigkeit und nimmt damit direkten Einfluss auf die Auslastung und die Schlagkraft der Maschine. Bei unpassender Fahrgeschwindigkeit leidet die Arbeitsqualität des Prozesses und die Kornverluste können unzulässig hoch ausfallen. Die Richtung der Maschine steuert er klassischerweise mittels Lenkrads, um das Feld ganzflächig zu beernten. Anhand virtueller oder relativer Leitlinien im Feld kann hier eine Unterstützung durch entsprechende Systeme erfolgen. Die installierte Prozesstechnik, die sprichwörtlich die Spreu vom Weizen trennt, muss als weitere Aufgabe des Fahrers optimal eingestellt und kontinuierlich überwacht werden. Deren vielfältige Einstellungen bestimmen die Arbeitsqualität und Leistungsfähigkeit der Maschine in hohem Maße. Fehlfunktionen müssen erkannt und behoben werden.

Bei der Ernte des Vorgewendes werden sehr hohe Anforderungen in Bezug auf Aufmerksamkeit und parallele Ausführung verschiedener Tätigkeiten gestellt. Der Fahrer muss den Mähdrescher mit optimaler Geschwindigkeit an der Bestandskante entlangführen. Am Rand des Feldes können plötzlich auftretende Hindernisse und ungleichmäßige Bedingungen die Aufgabe erschweren. Darüber hinaus muss der Fahrer initiale Einstellungen für die Prozesstechnik finden und kontinuierlich sicherstellen, dass das Arbeitsergebnis den Vorgaben entspricht.

Sobald das Feld ein erstes Mal umrundet und im Weiteren das Vorgewende abgeerntet ist, entspannt sich die Situation für den Fahrer. Durch den Einsatz von GNSS-Lenksystemen oder relative Reihenführung ist eine Entlastung des Fahrers möglich. Weitere Un-

terstützung kann durch Regelsysteme erfolgen, die Maschinensensorik nutzt, um Fahrgeschwindigkeit sowie Einstellungen der Prozessorgane zu optimieren. Hierdurch ist eine Eingrenzung der Tätigkeiten auf die reine Überwachung ohne aktive Fahr-aufgabe der Maschine möglich. Die frei werdenden Zeitbereiche können nun anderweitig genutzt werden. Die „Fahrerkabine 4.0“ setzt hier mit einem beanspruchungsadaptiven HMI an. Abbildung 1 zeigt das Prinzip der optimalen Beanspruchung von Personen, die nach [1] in einem mittleren Bereich liegt.

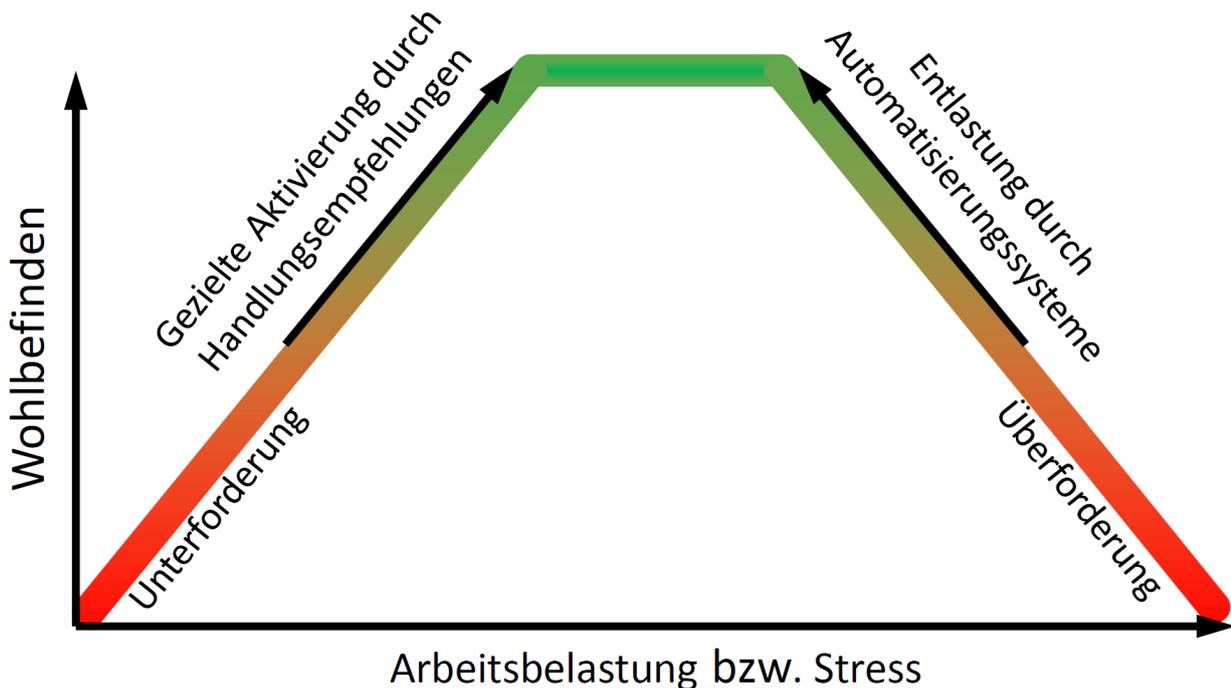


Abbildung 1: Prinzip der optimalen Beanspruchung nach de Waard [1]

Sowohl bei Unterforderung als auch bei Überforderung nimmt die Leistungs- und Aufnahmefähigkeit ab [1]. Bei gleichbleibenden fahrerischen Anforderungen ergibt sich damit ein direkter Zusammenhang mit dem Wohlbefinden, da ein Fahrer die an ihn gestellten Anforderungen bei hoher Leistungsfähigkeit besser erfüllen kann, als wenn diese an den Randbereichen reduziert ist. Der Schlüssel liegt also darin, den Beanspruchungszustand des Fahrers zu kennen. Diese Personenzustandserfassung liefert kontinuierlich den Status der kognitiven Beanspruchung. Dazu nutzt es hauptsächlich Daten eines Eye-Tracking-Systems sowie eines Fitnessarmbands, um den Fahrer geringstmöglich bei seiner Arbeit zu beeinträchtigen.

Das System der „Fahrerkabine 4.0“ wertet neben diesen relevanten physiologischen Daten des Fahrers auch Maschinendaten sowie weitere Datenquellen aus. Daraus werden Handlungsempfehlungen für den Fahrer erstellt, um dessen Beanspruchung in einem optimalen mittleren Bereich zu halten. Zum einen ist damit ein sehr effektives Werkzeug vorhanden, eine Überforderung der bedienenden Person zu verhindern. Ein Potential ist

vor allem in Situationen zu erkennen, in denen viele parallele Bedieneingaben zu tätigen sind. Zum anderen besteht die Möglichkeit, monotone Beanspruchungssituationen zu vermeiden, die durch eine längere Unterforderung entstehen und sicherheitskritisch sein können. Dadurch erhöht sich das Wohlbefinden des Fahrers nachhaltig und die Fehleranfälligkeit wird durch einen optimalen Aufmerksamkeitszustand reduziert. Ferner können längere Zeitbereiche vom Fahrer gewinnbringend für andere Tätigkeiten rund um die Maschine verwendet werden. Bestimmte Tätigkeiten können zeitlich verschoben und bereits in der Mährescherkabine erledigt werden, die anderenfalls nach dem Einsatz anstehen würden. Dies steigert die Akzeptanz des Arbeitsumfelds in der Landwirtschaft und die Attraktivität verknüpfter Berufsbilder wird verbessert.

2 Vorgehen und Stand der Forschung

Um den kognitiven Zustand des Nutzers in jeder Situation eines Arbeitstags beeinflussen zu können, werden verschiedenste Datenströme benötigt. Die wichtigste benötigte Information ist die des aktuellen Beanspruchungszustands des Nutzers. Ohne diesen ist eine Abschätzung der Zeiträume mit kritischen kognitiven Nutzerzuständen nicht zufriedenstellend möglich. Um diese Abschätzung zu ermöglichen, wird ein Zustandserkennungsmodul erstellt, das in der Lage ist, die kognitive Beanspruchung des Nutzers in Echtzeit zu bestimmen. Dazu wurde zuerst eine Experimentalumgebung zur Messung des kognitiven Beanspruchungsspektrums entwickelt und validiert. Zur Messung dieses Beanspruchungsspektrums wurden dabei verschiedene Sensorkonzepte angewandt und evaluiert. Die mentale Beanspruchung wird dabei durch eine Überwachungstätigkeit und verschiedene weitere Nebentätigkeiten erzeugt. So ist es möglich durch schrittweise Erhöhung der Komplexität der Tätigkeiten variierende subjektive Beanspruchungsgrade der Versuchspersonen zu induzieren. Diese subjektiv empfundene mentale Beanspruchung wird mit der Rating Scale Mental Effort (RSME) bewertet. [4; 5]

Weiter ist ein Pool an möglichen Aktivitäten bzw. Handlungsempfehlungen nötig um in möglichst vielen verschiedenen Situationen sinnvolle und vor allem dem Nutzerzustand nützliche Vorschläge anbieten zu können. Mehrere, in den Jahren 2019 und 2020, durchgeführte Umfragen und Interviews zeigten dabei verschiedene Bereiche für mögliche Aktivitäten. Insbesondere Tätigkeiten wie „Wettervorhersagen“ oder „Maschineninformationen überprüfen“ wurden dabei häufig genannt. Aber auch Aktivitäten im Bereich Kommunikation, Management und Büro wurden wiederholt erwähnt. [6]

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, ist das System mit weiteren externen Systemen, wie beispielsweise Farmmanagement- und Wettersystemen, verknüpft. Hilfestellungen zu verschiedenen Maschinenparametern und Fehlermeldungen sind ebenfalls in das System eingebunden. Zusätzlich ist es dem Nutzer möglich, allgemeine Bürotätigkeiten auf der Maschine durchführen zu können, wie beispielsweise Office-Anwendungen und Email-Kommunikation. Für Entspannungen sorgen dabei verschiedene therapeutische Sitzübungen.

Der Kernpunkt dieser adaptiven Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI) ist jedoch die sinnvolle Verknüpfung des Nutzerzustands mit der Auswahl der passenden Handlungsempfehlungen bzw. Tätigkeiten aus dem Aktivitätenpool. Hier kommen zwei Ansätze zum Tragen, die sich idealerweise im Betrieb ergänzen. Der erste Ansatz ist wie bereits erwähnt die Nutzerzustandserkennung mittels sensorischer Erfassung des Nutzers. Diese liefert die aktuelle kognitive Beanspruchung des Nutzers und stellt somit den IST-Zustand des Nutzers dar. Da dieser im Falle eines kritischen Zustands aktiv durch Handlungsempfehlungen beeinflusst werden soll und jede Tätigkeit aus dem Aktivitätenpool unterschiedliche Auswirkungen auf diesen hat, ist es notwendig, den zukünftigen kognitiven Zustand des Nutzers abschätzen zu können. Nur so kann die entsprechend passende Tätigkeit ausgewählt werden, die den Zustand adaptiv verbessern kann. Dazu wird das von Neerincx eingeführte Cognitive-Task-Load (CTL) Modell verwendet [2]. Dieses Modell stellt einen Zusammenhang zwischen der kognitiven Auslastung des Nutzers und drei Parametergrößen her. Dabei handelt es sich um die zeitliche Auslastung, die Ebene der Informationsverarbeitung nach dem „Skill-Rule-Knowledge Framework“ von Rasmussen [7] und dem Aufgabensetwechsel. Das Modell ermöglicht im Rahmen von Prozesssteuerungssystemen eine verbesserte Zuweisung von Aufgaben, um die kognitive Auslastung des Nutzers zu optimieren.

Die zeitliche Auslastung beschreibt dabei die prozentuale Beschäftigung des Nutzers bezogen auf die verfügbare Zeit. Die Ebene der Informationsverarbeitung ist in drei verschiedene kognitive Ebenen unterteilt, die dem kognitiven Aufwand der Aufgabe entsprechen. Fertigkeitenbasierte, regelbasierte und wissensbasierte Ebenen wurden 1986 von Rasmussen definiert [7]. Der Parameter Aufgabensetwechsel beinhaltet die Anzahl an verschiedenen, parallel zu verarbeitenden Aufgaben, zwischen denen gewechselt werden muss. Jeschke optimierte 2017 das von Neerincx eingeführte CTL-Modell und ermöglichte so eine genauere Quantifizierung der kognitiven Beanspruchung [3].

Ziel des neuartigen, adaptiven HMIs ist es, passende Handlungsempfehlungen bzw. Aktivitäten vorzuschlagen um den Nutzer aus dem aktuellen (kritischen) kognitiven IST-Zustand in einen unkritischen SOLL-Zustand zu transferieren. Der SOLL-Zustand wird dabei mit dem optimierten CTL-Modell nach Jeschke entsprechend der selektierten Handlungsempfehlung und dem aktuellen IST-Zustand des Nutzers berechnet.

In dem Forschungsprojekt „Fahrerkabine 4.0“ gilt es zu untersuchen, ob dieses Modell ebenfalls auf die vorliegenden Bedingungen anwendbar ist.

Um dem Nutzer eine angenehme und intuitive Interaktion mit dem neuartigen, adaptiven HMI zu ermöglichen wird ein virtueller Assistent implementiert. Dieser kommuniziert sowohl visuell als auch auditiv mit dem Nutzer und erleichtert so die Interaktion mit dem System. Studien und Ergebnisse aus dem Projekt Tango stützen dieses Vorgehen [8; 9].

3 Umsetzung des Algorithmus

Nachfolgend wird auf die Umsetzung des Algorithmus genauer eingegangen. Abbildung 2 zeigt die vier Module, in die sich der Algorithmus unterteilen lässt.

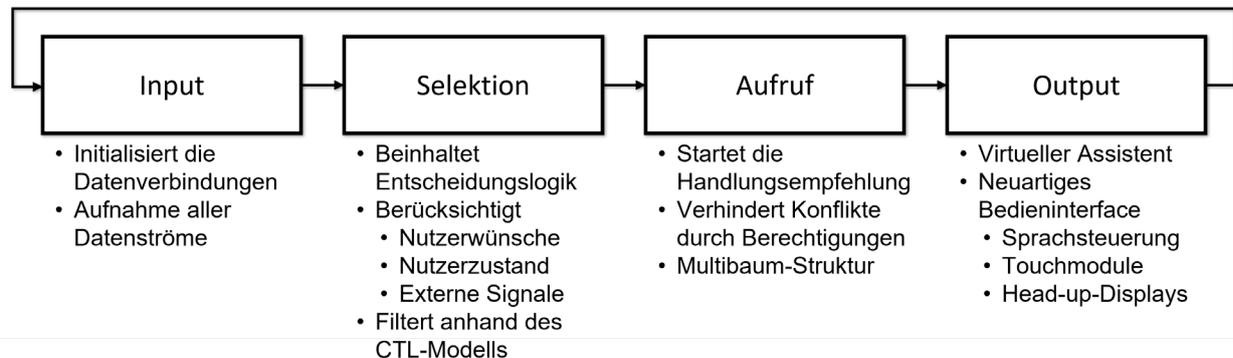


Abbildung 2: Vereinfachter Algorithmus-Ablauf

Das erste Modul beinhaltet die Initialisierungsphase und den Aufbau der Verbindungen zu externen Systemen. Weiter fließen hier alle notwendigen Datenströme zusammen, die zwischengespeichert und anschließend an die nachfolgenden Module weitergegeben werden. Hervorzuheben sind hier insbesondere Maschinendaten des Mähdreschers über das CAN-Bus-Interface, Ergebnisse aus der Nutzerzustandserkennung über WebSockets nach RFC6455 [10] und Daten von externen Dienstleistern wie Wetter- und Farmmanagementsystemen über Web-APIs. Nachfolgend werden diese Daten an das Selektions-Modul weitergegeben.

Das Selektions-Modul beinhaltet die Entscheidungslogik des Algorithmus. Hier wird bestimmt, welche Handlungsempfehlung an den Nutzer ausgegeben wird, um ihn in einem idealen kognitiven Zustand zu behalten. Dazu wird zu Beginn überprüft, ob Triggerbedingungen von Handlungsempfehlungen erfüllt sind. Dazu zählen sowohl Wünsche bzw. Kommandos des Nutzers, zeitliche Bedingungen, aber auch das Über- bzw. Unterschreiten verschiedenster Grenzwerte externer Daten, die eine Benachrichtigung oder Interaktion des Nutzers begrüßen. Beispielhaft können eintreffende Emails, wechselnde Wetterinformationen oder Maschinensignale genannt werden. Die resultierende Auswahl an Aktivitäten wird anschließend anhand des CTL-Modells weiter reduziert.

Dazu wird zuerst unter Berücksichtigung der drei Parameter „zeitliche Auslastung (ZA)“, „Ebene der Informationsverarbeitung (EDI)“ und „Aufgabensetwechsel (ASW)“ der aktuelle Beanspruchungszustand abgeschätzt. Die zeitliche Auslastung (ZA) des Nutzers kann durch die gemittelten vergangenen Bearbeitungsdauern der ausgewählten Tätigkeiten angenähert werden. Dadurch wird gewährleistet, dass das Modell sich adaptiv an unterschiedliche Nutzer anpassen kann. Die maximal zur Verfügung stehende Zeit wird

durch Hindernisse im Feld und die Feldgeometrie definiert, da Wendevorgänge und Hindernisse eine besondere Aufmerksamkeit des Nutzers erfordern. Mit der durch die Tätigkeit beschriebenen Ebene der Informationsverarbeitung (EDI) und dem situationsbedingten Aufgabensetwechsel (ASW) kann ein Punkt in einem dreidimensionalen Raum bestimmt werden. Abbildung 3 zeigt diesen dreidimensionalen Raum sowie beispielhaft einen aktuellen Nutzerzustand (rot). Ebenfalls werden die nach Neerincx und Jeschke im Belastungsraum definierten Beanspruchungsfolgen bzw. Beanspruchungsgebiete (grau gekennzeichnet) gezeigt [2; 3]. Eine Unterforderung bzw. eine Überforderung entsteht, sobald die kognitive Belastung die Fähigkeiten des Nutzers unter- bzw. überschreitet. Das Vigilanzproblem kann auftreten, wenn der Nutzer langwierige, anspruchslose Beobachtungstätigkeiten ohne Abwechslung erlebt. Dies zeigt sich in einer reduzierten Wachsamkeit gegenüber Veränderungen. Die Beanspruchungsfolge Psychische Sättigung kann durch langwierige und anspruchslose Tätigkeiten entstehen. Diese Folge ist ebenfalls bei wechselnden Tätigkeiten zu beobachten. Kognitive Fixierung beschreibt das Verhalten eine Aufgabe mit dem falschen Vorgehen zu bearbeiten und entsprechende Hinweise darauf zu ignorieren. Die Bearbeitungsdauer kann dabei in die Länge gezogen und Informationen übersehen werden. [3]

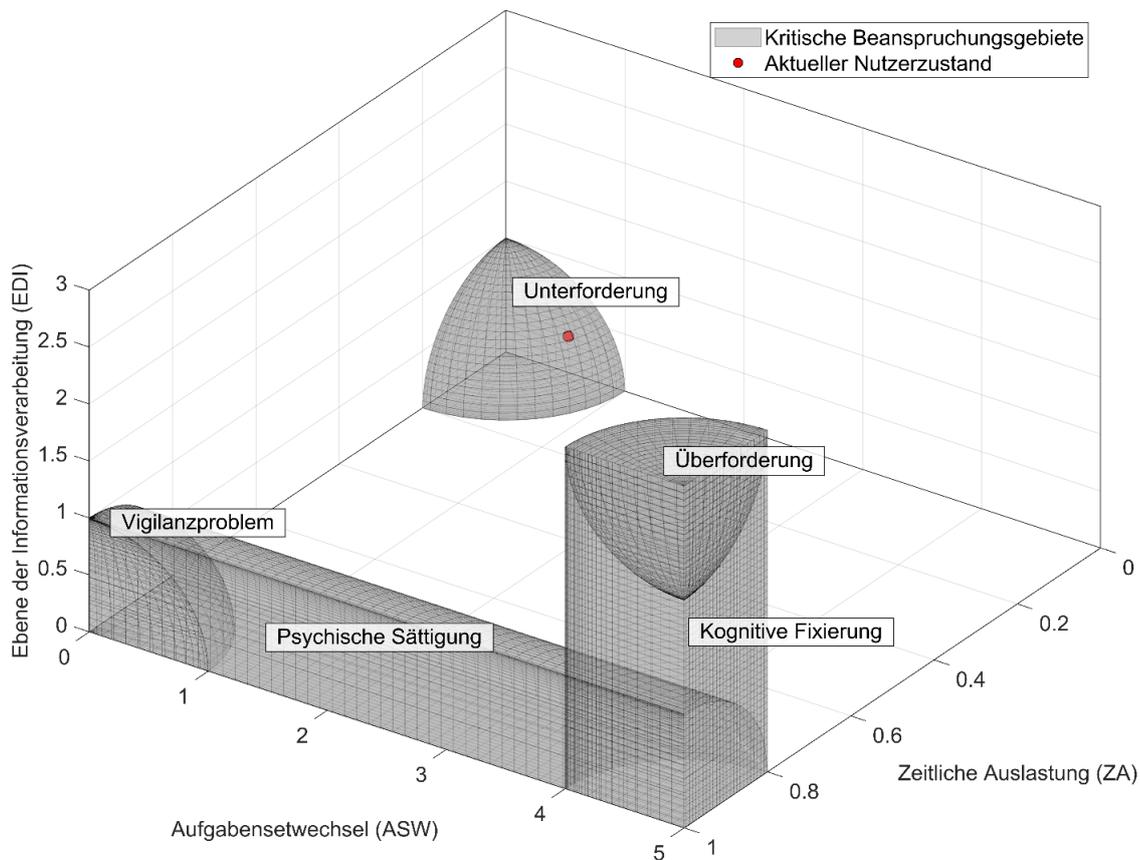


Abbildung 3: Belastungsraum des CTL-Modells nach Jeschke [3]

Wird nun eine Überschneidung mit den vordefinierten, kritischen Beanspruchungsgebieten festgestellt, wird im nächsten Schritt berechnet, welche Parameteränderungen notwendig wären, um dieses Gebiet zu verlassen. Hierzu wird sowohl der direkte „Weg“ aus dem kritischen Gebiet bestimmt als auch die einzelnen Parameteränderungen, falls diese möglich sind. Beispielsweise ist eine Änderung des Aufgabensetwechsels im Gebiet der psychischen Sättigung nicht zielführend, um dieses Gebiet zu verlassen. Der Aktivitätenpool wird nachfolgend entsprechend gefiltert, um diese Parameteränderungen zu erfüllen. Die sensorische Nutzerzustandserkennung wird parallel dazu verwendet, um die Abschätzungen aus dem CTL-Modell zu validieren. Wird eine starke Diskrepanz zwischen der Beobachtung und der Berechnung festgestellt, wird der IST-Zustand zugunsten des sensorischen Modells angepasst. Weiter müssen die exakten Dimensionen der kritischen Beanspruchungsgebieten aus Abbildung 3 in Probandenstudien genauer validiert bzw. definiert werden.

Da das sensorische Modell der Nutzerzustandserkennung nur die drei Zustände unterfordert, unkritisch und überfordert kennt, ist es nicht direkt möglich, einen Punkt im Belastungsraum zu bestimmen. Es können lediglich einzelne Beanspruchungsgebiete ausgeschlossen werden. Die Berechnung mit dem CTL-Modell ist also für eine genauere Abschätzung erforderlich.

Abschließend werden die im Benutzerkonto hinterlegten Präferenzen des Fahrers berücksichtigt. Dazu wird die jeweilige letzte Ausführung und die Kategorie der Tätigkeit betrachtet. Sobald die passendste Handlungsempfehlung selektiert wurde, wird der Ablauf der Tätigkeit im Aufruf-Modul gestartet. Um Konflikte zwischen neuen Tätigkeiten und bereits ablaufenden Tätigkeiten zu verhindern, besitzen alle Tätigkeiten entsprechende Berechtigungen, die ein Unterbrechen laufender Aktivitäten ermöglichen oder verhindern. So wird gewährleistet, dass beispielsweise Warnhinweise immer bis zum Fahrer durchdringen. Jede dieser Handlungsempfehlungen kann dazu verschiedene Startpunkte haben und damit auch unterschiedliche Wege die zu einem Abschluss der Aktivität führen können. Die Ablaufstruktur entspricht dabei einer Polyhierarchie, genauer einer Multibaum-Struktur. Der Pfad einer jeden Handlungsempfehlung ist dabei nicht nur von Entscheidungen des Nutzers abhängig, sondern kann auch durch externe Datenströme variiert werden. Dadurch kann die Nutzererfahrung gesteigert werden, da sich das System auch bei der Ausgabe auf die äußeren Gegebenheiten einstellen kann.

Um dem Nutzer eine möglichst angenehme Interaktion mit dem System zu ermöglichen, wird die Methodik eines virtuellen Assistenten verwendet. Dieser virtuelle Assistent kommuniziert mit dem Nutzer und schlägt ihm die verschiedenen Handlungsempfehlungen vor. Eine angenehme Stimmausgabe und eine Silhouette als Avatar sollen dabei die Akzeptanz des Nutzers steigern. Die Datenübermittlung und -verarbeitung findet im Output-Modul statt. Dabei werden die entsprechenden Bedieninterfaces und Interaktionsmöglichkeiten aktualisiert.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Abbildung 4 zeigt den schematischen Aufbau der Demonstratorkabine, in der alle Teilsysteme sowie das Zusammenspiel des HMIs vereint und im Projekt später validiert werden. Basierend auf einer realen Mähdrescherkabine wird ein Fahrersitz mit den neuen Bedienarmlehnen verbaut. Head-Up Displays auf den Kabinenscheiben machen es möglich, die vorgeschlagenen Handlungsempfehlungen bestmöglich anzuzeigen und bearbeiten zu können. Für unterschiedliche Handlungsempfehlungen werden hierbei verschiedene Bereiche und Bedienelemente genutzt. Der Handlungsempfehlungsalgorithmus betrachtet dabei sowohl externe Daten und Signale für eine Vervollständigung des Aktivitätenspools als auch Sensordaten der Zustandserfassung. Diese werden aufbereitet und bestimmen in Kombination mit einem CTL-Modell den kognitiven Zustand des Nutzers. Dadurch wird gewährleistet, dass sich der Nutzer möglichst nur in kognitiv unkritischen Situationen befindet.

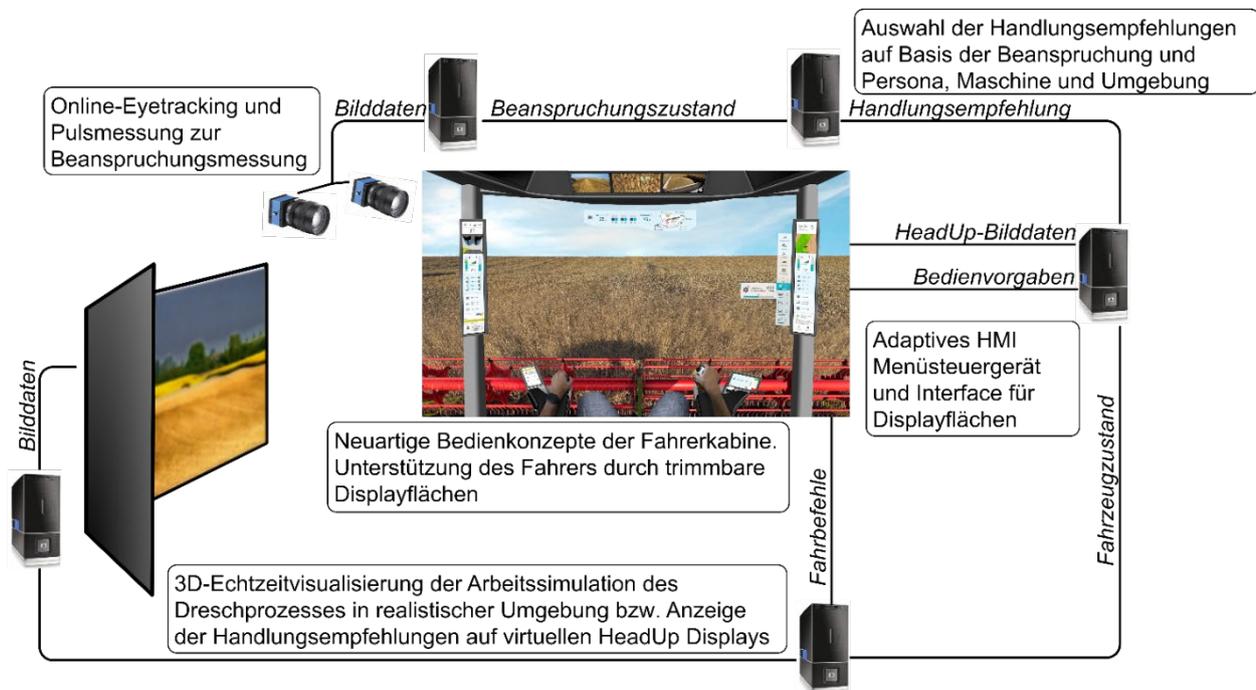


Abbildung 4: Gesamtsystem "Fahrerkabine 4.0"

Mit der funktionsfähigen Demonstratorkabine soll dieses System mit verschiedenen Probandengruppen validiert werden. Auf der einen Seite soll diese Demonstratorkabine auf Messen ausgestellt werden, um ein Feedback der großen Menge zu bekommen. Auf der anderen Seite soll in Teststudien ein ausgewählter Probandenkreis eine deutlich längere Zeit in dieser Kabine verbringen, um das System ganzheitlich zu validieren.

Bei der Zielgruppe handelt es sich hierbei sowohl um Personen, die mit der Maschinensteuerung vertraut sind, als auch um Anfänger, die noch nie einen Mähdrescher gesteuert

haben. Dadurch werden verschiedenste Szenarien abgebildet und die Zustandserfassung kann unter umfassenderen Bedingungen getestet werden. Weiterhin muss ein jeweils anderer Pool an Handlungsempfehlungen beachtet werden. Dabei steht die Frage im Vordergrund, inwieweit der Algorithmus sämtliche Zielgruppen mit unterschiedlichen Anforderungen unterstützen kann. Zu verifizieren ist außerdem, ob ungelerten Fahrern bei Überforderung Handlungsempfehlungen zur Fokussierung und Entlastung gegeben wird, auf der anderen Seite aber geübten Fahrern ein Werkzeug an die Hand gegeben wird, zusätzliche Arbeiten von der Kabine aus zu erledigen. Die Problemstellung wird ebenfalls sein, wie gut der kognitive Fahrerzustand auch unter Berücksichtigung äußerer Einflüsse wie schlechter Sicht durch Staub bestimmt werden kann. Von großem Interesse ist ebenfalls, ob und wie sich die während ruhiger Fahrten erledigten Tätigkeiten auf verschiedene Tätigkeitsfelder wie beispielsweise Unterhaltung und Betrieb verteilen.

Die Aktivitäten in der „Fahrerkabine 4.0“ können auf unterschiedliche Art und Weise unter Einsatz verschiedener Interaktionsmöglichkeiten erledigt werden. Fahrer werden ihre Tätigkeiten durch ein multimodales Bedienkonzept unterschiedlich gut erledigen können, wobei interessant sein wird, welche Arten der Interaktion verwendet werden und ob sich diese je nach Zielgruppe unterscheiden. Außerdem wird die Frage untersucht, ob die Wahl des Modus der Bearbeitung freigestellt oder die Art der Bedienung dem Nutzer vorgegeben werden sollte. Die Ergebnisse aus den Studien können dann als Basis für nachfolgende Feldtests sowie für die Erschließung weiterer Anwendungsgebiete auf anderen Maschinen oder komplett losgelöst von diesen genutzt werden.

5 Danksagung

Dieses Vorhaben wird aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Strategieprozesses „Agrarsysteme der Zukunft“ unter dem Förderkennzeichen 031B0735A gefördert.

Literatur

- [1] Waard, D. de: The measurement of drivers' mental workload. Zugl.: Groningen, Univ., Diss., 1996, Groningen: Traffic Research Centre Univ. of Groningen 1996, ISBN: 90-6807-308-7.
- [2] Neerincx, M. A.: Cognitive task load analysis: allocating tasks and designing support. In: Hollnagel, E. (Hrsg.): Handbook of Cognitive Task Design, Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates 2003, S. 283–305.
- [3] Jeschke, P.: Entwicklung eines analytischen Modells zur Prognose der mentalen Beanspruchung in der Prozessführung. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2017, DOI: 10.21934/baua:bericht20171011.

-
- [4] Funk, Y.; Haase, H.; Remmler, J.; Deml, B.: Entwicklung und Validierung einer Experimentalumgebung zur Messung mentaler Beanspruchungszustände. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.): Frühjahrskongress Arbeit HUMAINE gestalten, Bd. 67, Dortmund, ISBN: 978-3-936804-29-4.
 - [5] Zijlstra, F. R. H.: Efficiency in work behaviour: A design approach for modern tools. Delft: Delft University Press 1993, ISBN: 90-6275-918-1.
 - [6] Metzger, S.; Lehr, P.; Geimer, M.: Beanspruchungsadaptive Nutzerschnittstelle für die vernetzte Landwirtschaft. ATZ heavyduty 15 (2022) H. 01, S. 64–68.
 - [7] Rasmussen, J.: Information processing and human-machine interaction – An approach to cognitive engineering. North-Holland series in system science and engineering, Bd. 12, New York, N.Y.: North-Holland 1986, ISBN: 0444009876.
 - [8] Engeln, A.: User Experience und nutzerzentrierte Entwicklung in TANGO. Projekt Tango - Abschlussevent, Projekt Tango, 18.09.2020.
 - [9] Stimm, D.: Die Nutzerbedürfnisse von Lkw-Fahrern. Projekt Tango – Abschlussevent, Projekt Tango, 18.09.2020.
 - [10] Fette, I.; Melnikov, A.: The WebSocket Protocol. Request for Comments, Bd. 6455, RFC Editor (Hrsg.), 2011, URL: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc6455.txt>.

aISA 2.0 – Adaptive Interfacesysteme in Ackerschleppern 2.0

aISA 2.0 – Adaptive Interface Systems in Agricultural Tractors 2.0

Marcel Racs*¹, Andreas Kaufmann¹, Arwid Meiners², Thomas Maier¹

¹ IKTD – Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 9, 70569 Stuttgart

² ATH – Universität Hohenheim, Garbenstraße 9, 70599 Stuttgart

* E-Mail: marcel.racs@iktd.uni-stuttgart.de

Zusammenfassung

Ackerschlepper können durch die hohe Anzahl unterschiedlicher Arbeitsgeräte als Universalmaschinen in vielfältigen Anwendungsgebieten eingesetzt werden. Die Mensch-Maschine-Schnittstelle im Ackerschlepper besteht jedoch überwiegend aus statischen Bedienelementen, was bei wechselnden Bedienszenarien für den Anwender zu einer komplexen und unübersichtlichen Bediensituation führt. Durch eine adaptive Anpassung der Bedienelemente an die verschiedenen Bedienszenarien hinsichtlich Verfügbarkeit, Anordnung, Grafik und Betriebsmodus kann hier eine deutliche Verbesserung der Usability erzielt werden. Im erfolgreich abgeschlossenen Projekt aISA (adaptive Interfacesysteme in Ackerschleppern) wurde deshalb erstmals eine adaptive Bedienarmlehne entwickelt, welche unter Beachtung ergonomischer Gesichtspunkte ein reduziertes und für das jeweilige Bedienszenario optimales Interface zur Verfügung stellt. Auf Basis des funktionsfähigen Prototyps wird dieses Konzept in dem seit Januar 2021 laufenden dreijährigen Folgeprojekt aISA 2.0 bis hin zur Serienreife entwickelt. Im Rahmen dieses Beitrags werden die Inhalte und Ziele des Projekts aISA 2.0 vorgestellt. Die methodischen Prozessschritte zum Erreichen der Projektziele werden anhand der Projektphasen vorgestellt und ein Status des aktuellen Projektstands beschrieben. Dabei wird speziell auf den Aufbau und Umfang der durchgeführten Experteninterviews zum Erfassen und Bewerten der Bedienfunktionen eingegangen.

Deskriptoren: Ergonomie, Mensch-Maschine-Schnittstelle, Adaptive Bedienelemente, Usability

Abstract

Agricultural tractors can be used as universal machines in a wide range of applications due to the large number of different implements. However, the human-machine interface in agricultural tractors mainly consists of static control elements, resulting in complex and confusing operating situations for the user when the operating scenarios change. A significant improvement in usability can be achieved by adaptive adjustments of the control elements to the various operating scenarios in terms of availability, arrangement, graphics and operating mode. In the project aISA (adaptive interface systems in agricultural tractors) the first adaptive operating armrest was therefore developed which provides a reduced interface that is optimized for the respective operating scenario, taking ergonomic aspects into account. Based on the functional prototype, this concept will be developed to series maturity during the three-year follow-up project aISA 2.0, which started in January 2021. This contribution presents the contents and objectives of the project aISA 2.0. The methodical process for achieving the project goals is presented based on the project phases and a current status is described. The structure and scope of the expert interviews conducted to identify and evaluate the operating functions will be described in detail.

Keywords: *Ergonomics, Human Machine Interface, Adaptive Control Elements, Usability*

1 Einleitung

Traktoren werden durch ihre vielfältigen Anwendungsgebiete und die hohe Zahl der an-koppelbaren Arbeitsgeräte als Universalmaschinen genutzt [5]. Durch die Vielzahl der daraus entstehenden Bedienszenarien ergeben sich besondere Herausforderungen an eine geeignete Mensch-Maschine-Schnittstelle (MMS). Aktuelle Trends zeigen bran-chenübergreifend einen vermehrten Einsatz von virtuellen Bedienoberflächen mittels Touchscreens, die auch in Ackerschleppern in Form von Universal Terminals (UT) An-wendung finden. Die Vorteile von grafischen Nutzerschnittstellen liegen unter anderem in der hohen Flexibilität und Informationsverdichtung sowie Kostenvorteilen gegenüber realen Bedienelementen. Auf der anderen Seite gehen hierbei sämtliche haptische Infor-mationen verloren, die beispielsweise für eine Blindbedienung oder eine Proportionalbe-dienung notwendig sind [1, 3]. In aktuellen MMS in Ackerschleppern wird daher ein Kom-promiss geschlossen, der aus einem oder mehreren UTs sowie einer zumeist hohen An-zahl statischer Bedienelemente besteht, was bei wechselnden Bedienszenarien für den Anwender zu einer komplexen und unübersichtlichen Bediensituation führt und eine schlechte Usability zur Folge hat. Die Usability oder auch Gebrauchstauglichkeit ist ein Maß für die Qualität einer Mensch-Maschine-Schnittstelle. Eine hohe Usability hat dem-zufolge das Ziel, einem Nutzer innerhalb eines Nutzungsszenarios eine effektive, effizi-ente und zufriedenstellende Bedienung zu ermöglichen [4]. Im Anwendungsfall des Ackerschleppers bestehen hierbei große Potenziale, die MMS auf die veränderlichen Be-dienszenarien hin zu optimieren, um die Usability zu steigern. Ein Lösungsweg liegt in der adaptiven Gestaltung der MMS, um die Anforderungen bezüglich Nutzer und wech-selndem Nutzungskontext bidirektional zu erfüllen [3]. Um eine einfache und intuitive Be-dienung zu ermöglichen, muss dem Anwender für die verschiedenen koppelbaren Ar-beitsgeräte und den damit einhergehenden wechselnden Bedienszenarien durch die ein-zubringende Adaptivität jeweils eine optimale MMS bereitgestellt werden. Dies lässt sich durch eine adaptive Anpassung der Bedienelemente an die verschiedenen Bediensze-narien hinsichtlich Verfügbarkeit, Anordnung, Grafik und Betriebsmodus umsetzen und ermöglicht eine deutliche Verbesserung der Usability.

Das Forschungsprojekt aISA 2.0 (adaptive Interfacesysteme in Ackerschleppern 2.0) hat das Ziel ein solches adaptives Bedienkonzept bis hin zur Serienreife zu entwickeln. Im vorangegangenen Projekt aISA (adaptive Interfacesysteme in Ackerschleppern) wurde erstmals eine adaptive Bedienarmlehne entwickelt, welche unter Beachtung ergonomi-scher Gesichtspunkte ein reduziertes und für das jeweilige Bedienszenario optimiertes Interface zur Verfügung stellt. Der funktionsfähige Prototyp ist in der Lage zwischen den Betriebsmodi Parken, Straßenfahrt und Arbeiten zu wechseln und wurde in verschiedene Bedienbereiche untergliedert, die wiederum auf Wichtigkeit und Bedienhäufigkeit beru-hen. Diese sind in Abbildung 1 in den Bereichen A bis D zu sehen. Durch verschiedene adaptive Bedienelemente, die eigens für diesen Zweck entwickelt wurden, sowie eine grafische Unterstützung für den Nutzer, kann sich die Nutzerschnittstelle adaptiv an ver-

schiedene Arbeitsgeräte anpassen. Nähere Informationen zum Entwicklungsprozess sowie den Ergebnissen des abgeschlossenen Forschungsprojekts aISA sind in [1] und [2] zu finden.

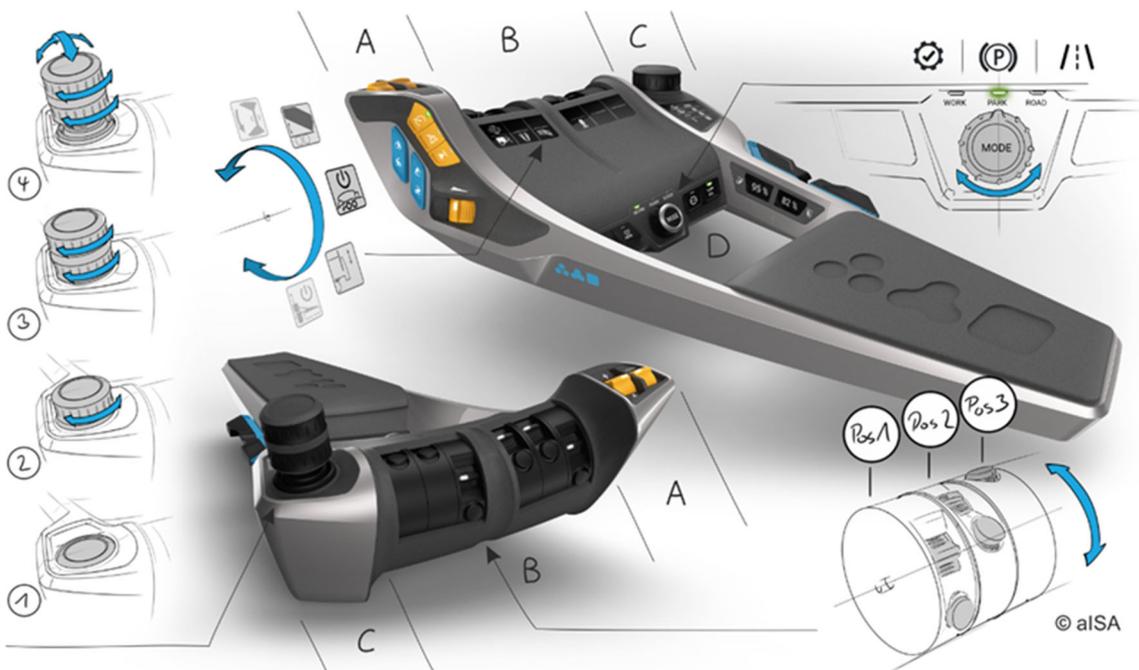


Abbildung 1: aISA – adaptive Bedienarmlehne [1]

2 Ziele von aISA 2.0

In dem seit Januar 2021 laufenden dreijährigen Forschungsprojekt aISA 2.0 wird aufbauend auf den Ergebnissen des Vorgängerprojekts die Entwicklung eines adaptiven Interfacesystems in Ackerschleppern zu Ende gebracht und bis hin zur Serienreife weiterentwickelt. Um die gesteigerten Anforderungen für das Forschungsprojekt aISA 2.0 zu erfüllen, wurde das ursprüngliche aISA Projektteam vergrößert, sodass nun eine Zusammenarbeit aus fünf Partnern aus Forschung und Industrie ihre Expertise in das Projekt einbringen. Der Projektverbund besteht aus dem Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design der Universität Stuttgart, dem Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim, der Firma elobau GmbH & Co. KG, dem Traktorenhersteller Same-Deutz-Fahr und dem Verein Competence Center ISOBUS e.V. Projektträger ist die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE). Das Projekt wird aus Mitteln des Zweckvermögens des Bundes bei der Landwirtschaftlichen Rentenbank und des Innovationsfonds gefördert.

Im vorangegangenen Abschnitt wurde bereits die Notwendigkeit beschrieben, neue Wege in der Interfacegestaltung von Ackerschleppern zu gehen. Dazu ist es erforderlich das dahinterliegende Gesamtsystem aus Ackerschlepper und verschiedenen Anbaugeräten nicht mehr als getrennte Maschinen mit getrennten Bedienfunktionen zu verstehen,

sondern die jeweilige Kombination aus Ackerschlepper und Arbeitsgerät als eine individuelle Maschine mit eigenem, für die aktuelle Anwendung optimal aufgebautem, Interface zu begreifen. Der Möglichkeit einer einheitlichen idealen Bedienarmlehne stehen konkurrierende Hersteller entgegen, die sich ganz bewusst durch firmenspezifische Bediensignaturen voneinander abheben wollen. Deshalb besteht das Hauptziel der aISA 2.0 Entwicklung darin, die virtuellen Bedienfunktionen des ISOBUS-Terminals durch einen modularen Baukasten aus realen adaptiven Bedien-elementen zu erweitern. Diese Bedienelemente lassen sich funktional in bestehende Bedienarmlehnen integrieren und können formal an das Corporate Design der unterschiedlichen Hersteller angepasst werden. Dadurch können Hersteller die firmeneigene Bediensignatur beibehalten und gleichzeitig eine optimale Usability für die Nutzer schaffen. Ziel ist es den modularen Baukasten bis hin zur Serienreife zu entwickeln. Ergänzend dazu wird eine aISA 2.0 Bedienarmlehne aufgebaut um einerseits die Funktion der entwickelten Bedienelemente zu validieren und andererseits einen funktionalen Prototyp einer optimalen Bedienarmlehne aufzubauen. Aus den gewonnenen Erkenntnissen werden Gestaltungsempfehlungen abgeleitet, die den Traktorherstellern Informationen für eine optimale Positionierung der adaptiven Bedienelemente auf der Bedienarmlehne bieten. Außerdem werden den Arbeitsgeräteherstellern zur optimalen Nutzung der Module, Empfehlungen bezüglich der Verknüpfung von Bedienfunktionen und den vorhandenen adaptiven Bedienelementen bereitgestellt. Durch die verbesserte Anordnung der Interfaceelemente bezüglich der Häufigkeit der Bedienung und einer eindeutigen Stellteil-Wirkteil-Kompatibilität wird eine optimale Usability generiert.

Das im aISA-Projekt entwickelte methodische Vorgehen unterstützt dabei die Entwicklung der realen, adaptiven Interfacegestalt und wird weiterentwickelt, um die erweiterten Anforderungen an das Interfacesystem zu erfüllen. Auf die Methodik wird noch im nachfolgenden Kapitel im Detail eingegangen. Die letztendliche Gestalt der MMS bei angekoppeltem Arbeitsgerät, also das vorliegende Verhältnis aus virtuellen und realen Funktionen, kann system- oder nutzerinitiiert eingestellt werden und hängt jeweils vom Automatisierungsgrad und den Bediengewohnheiten bzw. der Bedienerqualifikation ab. Neben der Vorkonfiguration der Anbaugerätehersteller wird dem Nutzer die Möglichkeit geboten, die Bedienfunktionen zwischen virtuellem und realem Interface bidirektional zu tauschen, um diese den eigenen Bediengewohnheiten anzupassen. Dabei wird zwischen den folgenden drei Modi unterschieden:

- Comfort-Modus: Die Konfiguration ist vom Anbaugerätehersteller vorgegeben
- Custom-Modus: Die vorgegebene Konfiguration vom Anbaugerätehersteller kann angepasst werden
- Standard-Modus: Das Bediensystem ist statisch und vollständig verfügbar (Stand der Technik).

In Abbildung 2 ist die Gesamtstruktur von aISA 2.0 visualisiert. Auf der linken Seite sind die Bedienarmlehnen verschiedener Ackerschlepper-Hersteller zu sehen, die mithilfe des

aISA 2.0 – Baukastens, unter Beibehaltung der herstellerspezifischen Bediensignatur, optimiert werden. Durch die ISOBUS Schnittstelle, erkennt das System schon beim Kupplvorgang das neue Arbeitsgerät (rechts im Bild) und die adaptive MMS stellt sich, abhängig von den Gegebenheiten aus den vorhandenen maschinen-seitigen Bedienfunktionen und interfaceseitig vorhandenen adaptiven Bedienelementen, automatisch auf die neue Bediensituation ein. Für den Nutzer führt dies durch die Reduzierung der Komplexität der MMS zu einer Entlastung und fördert eine intuitive und effiziente Bedienung. Hauptfokus von aISA 2.0 sind Ackerschlepper und Arbeitsgeräte, die ISOBUS kompatibel sind. Es werden allerdings auch Lösungen für nicht ISOBUS fähige Arbeitsgeräte erarbeitet.

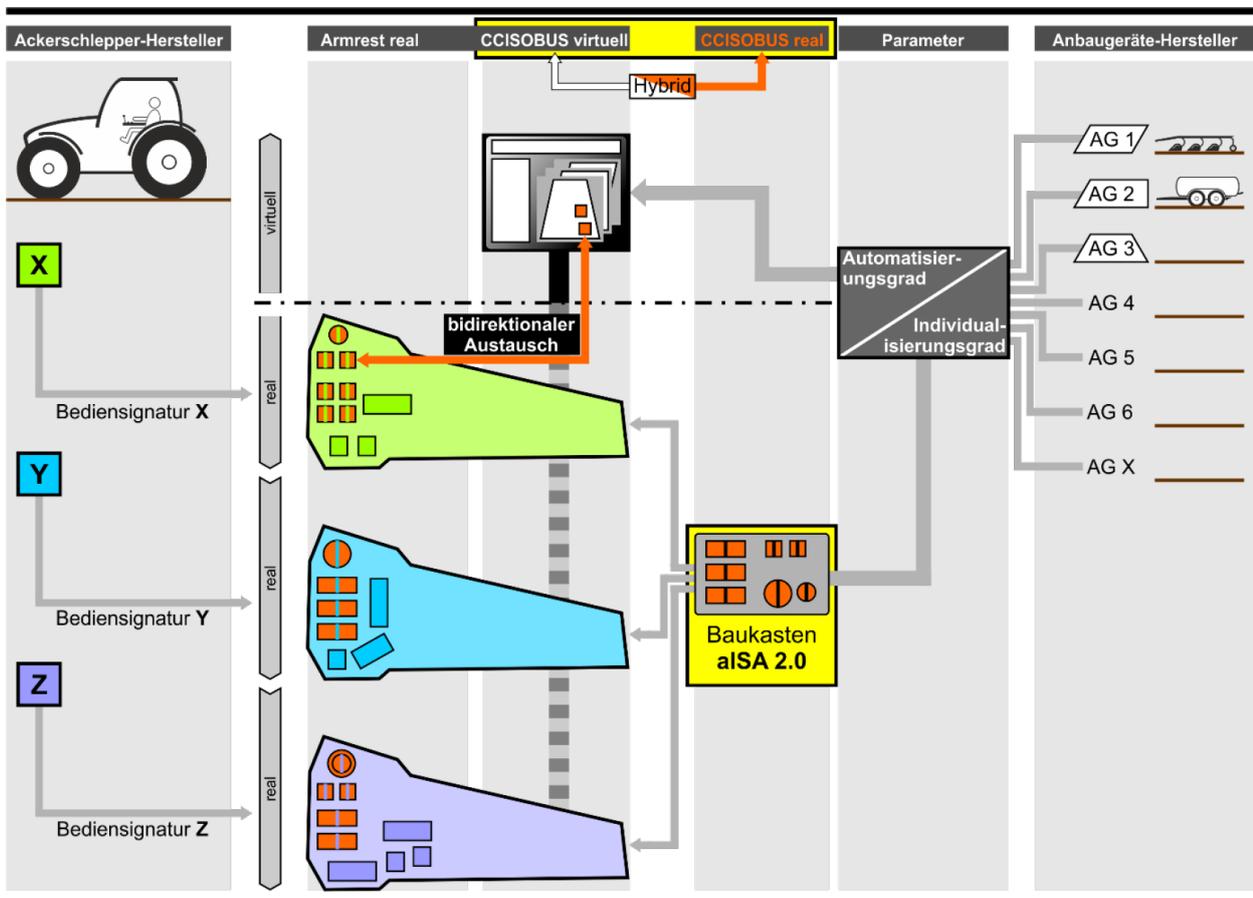


Abbildung 2: Visualisierung der Gesamtstruktur von aISA 2.0 (© IKTD)

3 Phasen und Inhalte von aISA 2.0

Das Verbundprojekt aISA 2.0 lässt sich in drei Phasen untergliedern, die wie folgt beschrieben werden können:

- Phase 1: Analyse und Lösungsfindung
- Phase 2: Entwicklung und Prototypenbau
- Phase 3: Inbetriebnahme und Validierung

In diesem Kapitel werden die verschiedenen Abschnitte des Verbundprojekts aISA 2.0 inhaltlich vorgestellt. Dabei wird schwerpunktmäßig auf das Vorgehen in Phase 1 bis hin zum aktuellen Projektfortschritt eingegangen und anschließend das weitere geplante Vorgehen erläutert.

Für das Erreichen der zuvor beschriebenen Ziele ist es notwendig, das Bediensystem möglichst umfassend auszulegen, um die vielfältigen Anwendungsfälle in der Agrartechnik abdecken zu können. Die Herausforderung besteht also darin, die hohe Anzahl unterschiedlicher und wechselnder Bedienfunktionen, die sich aus der Vielfalt der koppelbaren Arbeitsgeräte ergeben, in die Entwicklung des neuen Interfacesystems einzubeziehen. Unter Bedienfunktionen werden alle Funktionen der Arbeitsmaschinen verstanden, die vom Nutzer aktiv bedient werden. Dazu werden in Erweiterung zu den Arbeitsgeräten, die im Vorgängerprojekt untersucht wurden, weitere Maschinen betrachtet, um eine solide Datenlage bezüglich der abzudeckenden Bedienfunktionen zu schaffen. Die Erfassung der Daten in Phase 1 erfolgt über Expertenbefragungen. Das Ziel der Befragung besteht einerseits in der möglichst vollumfänglichen Erfassung aller Bedienfunktionen des jeweils betrachteten Arbeitsgerätes und andererseits in der Bewertung der einzelnen erfassten Funktionen durch den Experten. Bei den Experten handelt es sich um Entwickler verschiedener Arbeitsgerätehersteller. In Summe werden 12 unterschiedliche Arbeitsgeräte von sechs verschiedenen Herstellern betrachtet. Diese sind in Tabelle 1 aufgelistet. Die betrachteten Arbeitsgeräte werden jeweils in einer möglichst vollausgestatteten Variante betrachtet, um alle relevanten Bedienfunktionen erfassen zu können. Dabei können die erfassten Funktionsumfänge teilweise auch über die beispielhaft genannten Typen (siehe rechte Spalte in Tabelle 1) hinausgehen. Die Auswahl der Arbeitsgeräte für die zu betrachtenden Bedienszenarien wird unter anderem durch die bereits im Vorgängerprojekt abgedeckten Arbeitsgeräte sowie die Verfügbarkeit der Experten beeinflusst. Neben den Arbeitsgeräten wird außerdem eine Befragung zu den Bedienfunktionen des Traktors durchgeführt, um später sowohl die arbeitsgerätespezifischen als auch die traktorspezifischen Bedienfunktionen abzudecken. Die Dauer der einzelnen Befragungen liegt bedingt durch den unterschiedlichen Funktionsumfang der Arbeitsgeräte, durchschnittlich bei ca. 1,5 bis 2 Stunden. Da die Entwicklung von adaptiven Bedienelementen im Fokus des Projekts stehen, werden alle Einstellungen, die nicht zum aktiven Bedienen von Funktionen am Anbaugerät dienen, nicht näher betrachtet. Dazu zählen die Menüführung am Universal Terminal, Grundeinstellungen der Arbeitsmaschinen und rein informative Anzeigen. Nach Klärung der Ziele wurde ein geeigneter Fragebogen für die Expertenbefragung erstellt, um die Funktionen des Arbeitsgeräts zu erfassen und diese durch den Experten auf festgelegte Kriterien hin bewerten zu lassen.

Die Funktionserfassung erfolgt systematisch anhand eines Universal Terminals, auf das zuvor alle Bedienfunktionen des betrachteten Arbeitsgerätes aufgespielt wurden. Die Funktionen sowie zugehörige Visualisierungen werden anschließend einzeln mit dem Experten durchgesprochen und Notizen über Funktionsweise und Besonderheiten angefertigt.

Tabelle 1: Arbeitsgeräte, die im Rahmen der Expertenbefragungen bezüglich ihrer Bedienfunktionen untersucht wurden

Nr.	Bedienszenario	Firma	Arbeitsgerät
1	Ladewagen	Bergmann	Shuttle 860 S
2	Überladewagen	Bergmann	GTW 330
3	Universalstreuer	Bergmann	TSW 6240 W
4	Pneumatik-Düngerstreuer	Rauch	AERO GT 60.1
5	Zweischeibendüngerstreuer	Rauch	AXENT 100 & AXIS Baureihe (20, 30 und 50)
6	Rundballenpresse (Solopresse)	Krone	Comprima F 155 XC Plus
7	Rundballenpresse (Press-/Wickelkombination)	Krone	Comprima CF 155 XC Plus
8	Vierkreiselschwader	Krone	Swadro TC 1370
9	Drillmaschine	Lemken	Solitair 25
10	Einzelkornsaat	Lemken	Azurit und Solitair 23
11	Gezogenes Güllefass	Zunhammer	Pumptankwagen & Schleudertankwagen*
12	Kartoffelroder	Grimme	EVO 280
13	Ackerschlepper	Deutz-Fahr	Agrotron 9340 TTV

* Es wurden die Bedienfunktionen aller gezogenen Güllefässer der Firma erfasst.

Die Bedienfunktionen werden bereits bei der Erfassung grob in Funktionsgruppen (FG) unterteilt und im Nachgang nochmals im Detail sortiert. Alle zusammenhängenden Einzelfunktionen werden dabei in Form von Bedienszenarien (BSZ) mit den entsprechenden (Teil-) Zuständen erfasst. Dadurch werden beispielsweise die Funktionen „Heckklappe öffnen“ und „Heckklappe schließen“ in einer Spalte zusammengefasst zu „Heckklappe“ mit den Zuständen „öffnen und schließen“. Tabelle 2 zeigt das Worksheet zu den Experteninterviews, in dem die Bedienfunktionen zu BSZ zusammengefasst und in FG sortiert dargestellt werden. Während der Expertenbefragung wird jede erfasste Bedienfunktion einzeln durch den Experten anhand der zwölf dargestellten Kriterien bewertet. Die Kriterien dienen letztlich einem besseren Verständnis der einzelnen Bedienfunktionen und fließen in die nachfolgenden Methoden zur Analyse der Bedienfunktionen ein. Abweichende Bewertungen durch den Experten für die verschiedenen Teilzustände innerhalb eines BSZ wurden ebenfalls erfasst. Da die Tabelle Erklärungen enthält, wird an dieser Stelle nur punktuell auf die Inhalte eingegangen.

Tabelle 2: Aufbau der Expertenbefragung zur Funktionserfassung und -bewertung

Bewertungskriterien		Bedien- funktionen	Funktions- gruppe (FG)	FG 1		FG 2			FG ...
		Kriterium	Erklärung / Maßstab	Bedienszenario (BSZ)	BSZ 1	BSZ 2	BSZ 3	BSZ 4	BSZ 5
			Merkmals						
Teil-) Zustände	Funktionen werden zu BSZ Zusammengefasst und durch ihre zugrundeliegende Funktionscharakteristik beschrieben	Auflistung der Zustände							
	Aktuelle Bedientechnologie	Aktuell verwendete Bedientechnologie	Touch Bedienung Reale Bedienung						
Blind- bedienung	Bedienelement muss zuverlässig bedienbar sein ohne hinsehen zu müssen	Ja							
		Nein							
Optimale Bedien- technologie	Einschätzung einer optimalen Bedientechnologie für die Funktion	Touch Bedienung							
		teils / teils							
		Reale Bedienung							
Bedien- zeitpunkt	prä / intra / post: Bedienfunktion wird vor / während / nach der Arbeitsaufgabe ausgeführt	prä							
		intra							
		post							
Bedien- häufigkeit	Qualitative Einschätzung der Bedienhäufigkeiten	0							
		1							
		2							
		3							
		4							
Sicherheits- kritisch	Maßstab Qualitative Einschätzung 0 Unkritisch 1 Betriebsmittelverlust 2 Sachschaden 3 Verletzungsrisiko 4 Akute Unfallgefahr	0							
		1							
		2							
		3							
		4							
Bediendauer	1 Einmalige Betätigung 2 Funktion dauert während Betätigung an 3 Schrittweise- und Proportionalbedienung	Taste einfach Betätigen							
		Taste gedrückt halten							
		Schrittweise Betätigung							
Simultan- bedienung	Notwendigkeit zur zeitgleichen Bedienung mit anderen Funktionen	Ja							
		Nein							
Bedienge- schwindigkeit	Maßstab Qualitative Einschätzung 0 Irrelevant 1 Zeitunkritisch 2 Zügige Bedienung 3 Zeitkritisch 4 Sofortige Bedienung	0							
		1							
		2							
		3							
		4							
Individua- lisierung	Einschätzung zum Grad der Individualisierbarkeit (Anpassbarkeit durch den Nutzer an dessen Bediengewohnheiten)	0							
		1							
		2							
		3							
		4							
Update- fähigkeit	Einschätzung zum Grad der Updatefähigkeit (Möglichkeit zu inhaltlichen oder grafischen Updates der Funktion)	0							
		1							
		2							
		3							
		4							

Das Kriterium zur aktuellen Bedientechnologie bezieht sich darauf, wie die Funktion typischerweise bedient wird, d. h. ob die Bedienung durch ein reales Bedienelement oder über das Touchdisplay des UT erfolgt. Durch den Bedienzeitpunkt wird erfasst, ob Funktionen im Stillstand oder dynamisch während der Fahrt bedient werden. Bei der Bedienhäufigkeit wird, bezogen auf die restlichen Funktionen des Arbeitsgerätes mittels einer Skala von 0 bis 4 eine qualitative Einschätzung zur Häufigkeit der Bedienung an einem typischen Arbeitstag abgegeben. Die Kriterien Individualisierbarkeit und Updatefähigkeit erfassen die Relevanz von individuellen Anpassungen an die Bediengewohnheiten durch den Kunden sowie die Notwendigkeit für (regelmäßige) inhaltliche oder grafische Updates der betrachteten Funktionen.

Im nächsten Schritt wird eine ergänzende Recherche zu den erfassten Arbeitsgerätetypen durchgeführt und durch weitere Informationen aus Betriebshandbüchern ergänzt. Anschließend werden die bewerteten Kriterien, die in den Expertenbefragungen erfasst werden, mit einem erfahrenen Experten aus Anwendersicht diskutiert. Die erfassten Informationen fließen anschließend in eine Funktions- und Bedienanalyse ein. Dort werden die Bedienszenarien einzelnen auf ihre maschinenseitige Funktions- und Interfacegestalt hin analysiert und mit den Anforderungen an eine intuitive Bedienung durch den Menschen in Einklang gebracht. Dabei werden bereits konkrete Gestaltungsempfehlungen für die einzelnen Bedienfunktionen formuliert. Die Positionierung auf der Bedienarmlehne wird anschließend durch die Layer Methode durchgeführt, diese wurde bereits in [1] vorgestellt. Dabei werden die einzelnen Bedienfunktionen der verschiedenen Arbeitsgeräte unter Beachtung ergonomischer Komfortwinkel auf das Layout einer Bedienarmlehne übertragen und eine ideale Konfiguration erarbeitet. Ziel ist die Generierung konkreter Gestaltungsempfehlungen für eine optimale MMS der betrachteten Arbeitsgeräte, die zusätzlich mit den Ergebnissen des Vorgängerprojekts abgeglichen werden. Daraus lassen sich alle offenen Potenziale für neue bzw. ergänzende adaptive Konzepte ableiten.

Die neuen Lösungsprinzipien werden anschließend in Phase 2 konkret umgesetzt. Die adaptiven Bedienelemente und -module werden im Baukastenprinzip entwickelt und nach dem „proof of concepts“ mechanisch aufgebaut. Dabei wird frühzeitig und unter Beachtung aller aktuellen Gegebenheiten der ISOBUS Schnittstelle, die gesamtheitliche Hard- und Softwareentwicklung fokussiert. Es wird ein aISA-Kommunikationsstandard entwickelt, der als Grundlage für die Kommunikation zwischen Arbeitsgerät, Traktor und Bediensystem dienen soll. Die Ergebnisse sind gleichzeitig die Grundlage für etwaige Einbringungen in die ISOBUS Norm, die über den Projektpartner CCI in die Arbeitsgruppen der AEF (Agricultural Electronic Foundation) getragen werden. Am Ende der Phase 2 werden die entwickelten Prototypen funktionsfähig für den Feldeinsatz gemacht.

In Phase 3 werden Vorversuche mit dem Versuchstraktor in Form von Probandenstudien unter Einbeziehung von Lohnunternehmen und Maschinenringen durchgeführt. Es werden Messdaten erhoben und Probandeninterviews durchgeführt und ausgewertet. Anhand der Feldversuche wird der Prototyp iterativ verbessert und somit hardware- und softwareseitig fehler- und ausfallresistent gemacht. Gesamtziel ist ein serientauglicher

Baukasten adaptiver Bedienelemente und -module sowie ein beispielhaftes ganzheitliches Bediensystem. Zusätzlich werden Gestaltungsempfehlungen zur Generierung einer hohen Usability für Traktorhersteller sowie Konfigurationsempfehlungen für Arbeitsgerätehersteller aus den Projektergebnissen abgeleitet. Damit wird dann der Nachweis erbracht, dass serienreife adaptive Interfacesysteme intuitiv, effektiv und effizient bedient werden können und für den Bediener einen deutlichen Mehrwert bieten.

Literaturverzeichnis

- [1] Kaufmann, A.; Schempp, T.; Stöhr, I.; Schmid, M.; Maier, T.: Komplexität managen – Adaptive Bedienarmlehne. *ATZ heavyduty*, 13. Jahrgang, 02-2020, Springer-Vieweg, 22–28.
- [2] Kaufmann, A.; Schempp, T.; Stoehr, I.; Schmid, M.; Maier, T.: The Development of an Adaptive HMI - From the Idea to the Prototype. In: *Advances in Usability and User Experience. Proceedings of the AHFE 2019 International Conferences on Usability & User Experience, and Human Factors and Assistive Technology*, July 24-28, 2019, Washington D.C., USA. Hg. Ahram, T.; Falcão, C., Cham, Springer International Publishing; Imprint Springer, 1. Aufl., S. 142–150.
- [3] Schmid, M; Maier, T.: *Technisches Interface Design – Anforderung, Bewertung und Gestaltung*. Berlin: Springer-Verlag, 2017.
- [4] DIN EN ISO 9241-11: *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 11: Gebrauchstauglichkeit: Begriffe und Konzepte*. Deutsches Institut für Normung, Juli 2017.
- [5] ISO 12934: *Tractors and machinery for agriculture and forestry - Basic types - Vocabulary*. International Organization for Standardization, Juli 2021.

Landwirtschaft im Jahr 2045 – Modulares Zukunftskonzept Landmaschine und Kabine

Susanne Frohriep*, Sebastian Bopp

GRAMMER AG, Grammer-Allee 2, D-92289 Ursensollen

*E-Mail: susanne.frohriep@grammer.com

Zusammenfassung

Veränderungen im menschlichen Alltag bis 2045, wie Arbeitsübernahme durch Roboter, allgegenwärtige Hyper-Intelligenz-Netzwerke, personalisierte und alternative Lebensmittel sowie eine Weltbevölkerung von ca. 9,5 Milliarden Menschen verweisen auf die Notwendigkeit, achtsam mit Ressourcen umzugehen, um die Menschheit weiterhin mit natürlichen Lebensmitteln ernähren zu können. Dieses Ziel kann voraussichtlich nur durch den Einsatz intelligenter Maschinen im Rahmen der fortschreitenden Digitalisierung erreicht werden und steht im Zusammenhang mit dem Klimawandel und sich verändernder Erntezeitfenster. In der vorzustellenden Konzeptarbeit zur Landwirtschaft im Jahr 2045 wird das Traktor-Interieur auf zukünftige Bedürfnisse auf Basis derzeitiger Entwicklungen in der Landwirtschaft zugeschnitten. Der Traktor wird nunmehr „Powerhouse“ sein und stellt lediglich Antriebskraft zur Verfügung, während die Intelligenz in der mobilen Kabine und den Anbaugeräten lokalisiert ist. Als Platoon bewegen sich mehrere Einheiten zum Feld, es gibt lediglich auf einem Traktor eine Kabine, die die Steuerungsfunktion darstellt. Die mobile Kabine trennt sich am Feldrand vom Traktor und bietet den Nutzer:innen einen geschützten, autonomen Raum zur Steuerung und Überwachung der Feldarbeiten. Sie beinhaltet ein variables Interieur, das auf Basis von Nutzerstudien mit klassischen Landwirtschafts-, Lohn- und biologischen Agrarunternehmen ausgelegt wurde. Die Arbeit visualisiert die Komponenten in Designskizzen und geht auf den Kontext, die Szenarien und die Arbeitsergebnisse ein.

Abstract

Changes in daily human life by 2045, such as robots in the work process, ubiquitous hyper-intelligence networks, personalized and alternative food, and a world population of approximately 9.5 billion people point to the need to be mindful of resources for continuously being able to feed humanity with natural food. This goal can most likely only be achieved by use of intelligent machines in the context of advancing digitalization and is related to climate change and changing harvest time windows. In the conceptual work to be presented on agriculture in 2045, the tractor interior is tailored to future needs based on current developments in agriculture. The tractor will now be “powerhouse” providing only propulsive power, while intelligence is localized in the mobile cab and implements.

As a platoon, multiple units move to the field; there is only one cab on a tractor, which provides the control function. The mobile cab separates from the tractor at the side of the field and provides a protected, autonomous space for users to control and monitor field operations. It comprises a variable interior designed based on user studies with traditional agricultural, contracting, and organic farms. The paper visualizes the components in design sketches and addresses the context, scenarios, and work outcomes.

Keywords: *Agriculture 2045, modular, concept, user-centered, fieldwork*

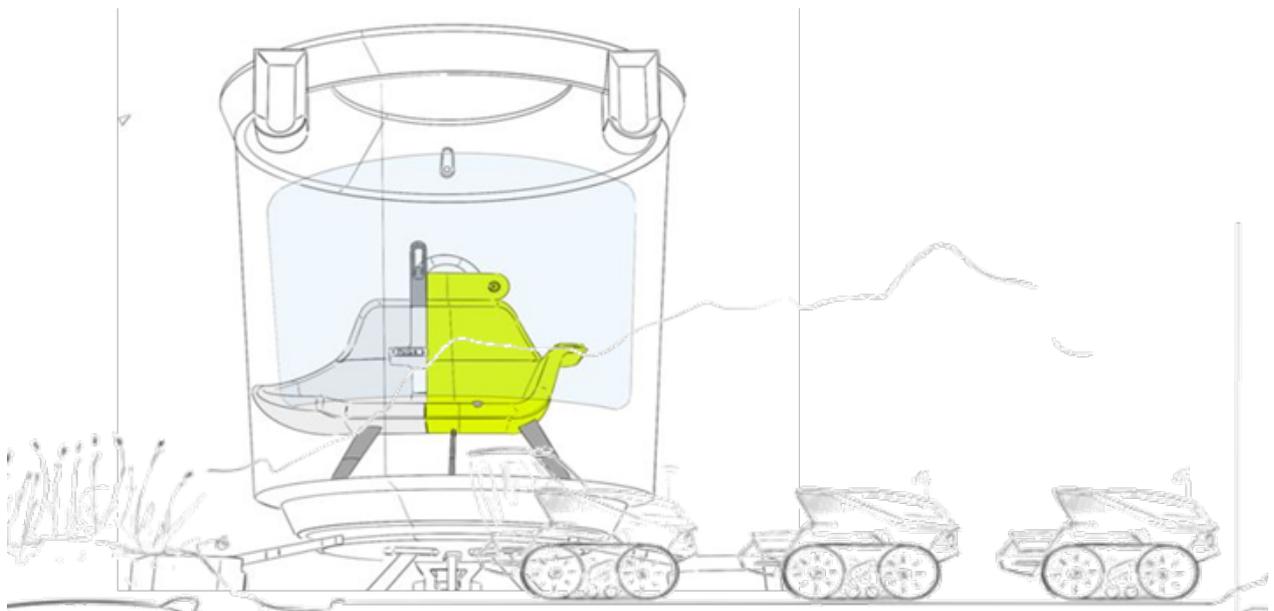


Abb. 1: Modulare Kabine und Platoon-Traktoren

1 Einleitung: Die Zukunft der Landwirtschaft im Spiegel der Megatrends

Wir können davon ausgehen, dass im Jahr 2045 Roboter und 3D-Drucktechnik ein fester Bestandteil unseres Alltags geworden sind. Die Hyper-Intelligenz hat auch Einzug in unseren Alltag gehalten, und ermöglicht uns jederzeit den Zugriff auf das Weltwissen. Die Medizin wird die Grenze zwischen Mensch und Maschine weiter verschmolzen haben, es werden Organe und Körperteile künstlich hergestellt. Somit besteht die Möglichkeit, nochmals deutlich höhere Lebensalter zu erreichen. Mit Hilfe der Landwirtschaft muss die langfristige Ernährung von voraussichtlich 9,5 Milliarden Menschen gewährleistet werden, die Weltbevölkerung wird dann nach der mittleren Prognose der UN im Vergleich zum Jahr 2020 nochmal um 25% gewachsen sein.

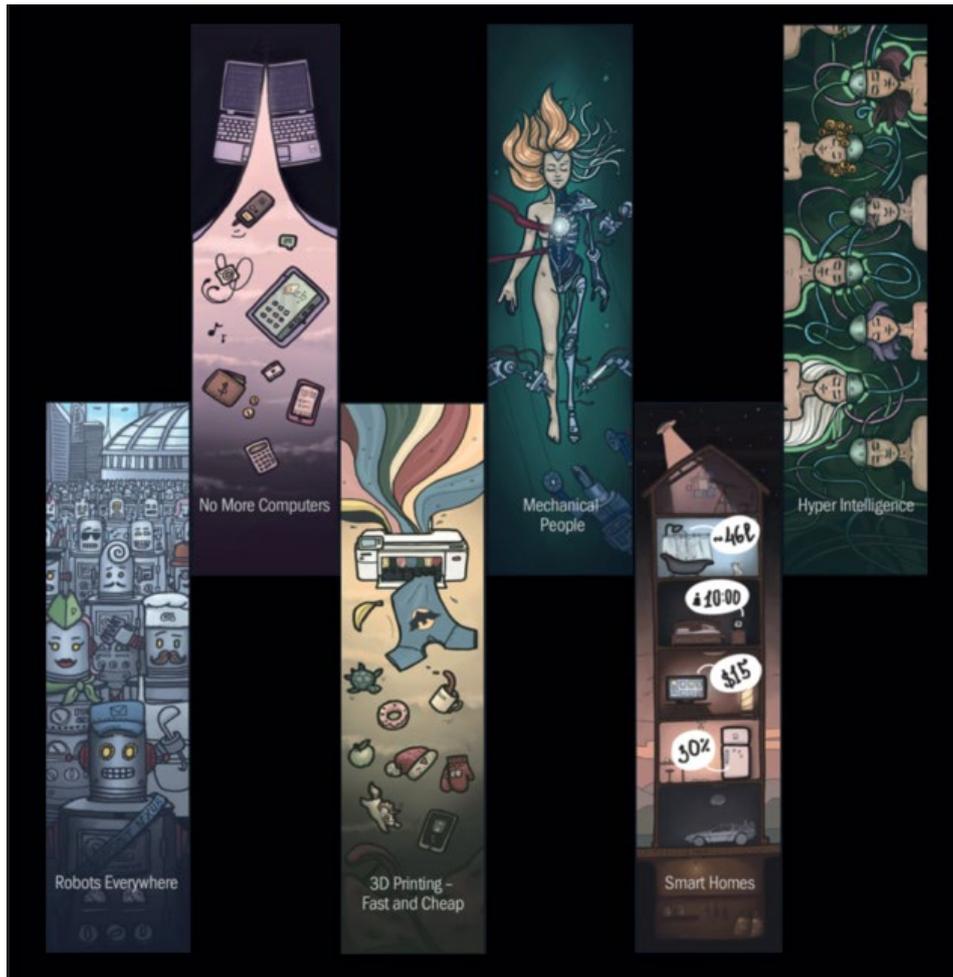


Abb. 2: Elemente des Zukunftsszenarios 2045

Diese Bevölkerungszahl erfordert Fortschritte in der Landwirtschaft mit leistungsstärkeren Böden, höheren Ernten und optimierten Prozessen, um dadurch eine optimale, nachhaltige und ertragreiche Ernte zu erwirtschaften. Probleme der heutigen Ertragsmaximierung sind schwere Maschinen und ihre Bodenverdichtung, und Überdüngung.

Die derzeitigen Megatrends Automatisierung, Digitalisierung und Konnektivität bedingen Entwicklungen wie Präzisionslandwirtschaft und -viehzucht, Smart Farming, digitales Headland-Management, usw. als moderne Agraranwendungen. Zukunftsvisionen der Landwirtschaft zeigen Szenarien wie diese: Landwirte steuern Maschinen vom Feldrand aus, z.B. mit Tablet-Computern, oder sie sitzen in ihren Büros und überwachen autonom fahrende Maschinen auf dem Feld über mehrere Bildschirme. Es ist allerdings fraglich, ob sich ein digitaler und ausgelagerter Arbeitsplatz mit den Wünschen und Erfordernissen von Personen deckt, die landwirtschaftlich tätig sind. Vermutlich sind Menschen in der Landwirtschaft tätig, um in der Natur zu sein und in unmittelbarem Kontakt mit Boden, Pflanzen und Tieren zu arbeiten, und oft ist es erforderlich, vor Ort zu sein, um die Bedingungen adäquat beurteilen zu können.

In den letzten Jahrzehnten hat sich im Bereich der Traktorkabine sehr viel verändert. Heute gehört eine geschlossene und klimatisierte Kabine zum Standard eines Traktors, und zu einer modernen Kabine gehören unter anderem die Rundumscheibenheizung, ein gefederter, drehbarer Sitz und eine Vielzahl an Assistenzsystemen, die meist an oder um die Multifunktionsarmlehne angeordnet sind. Durch die fortschreitende Digitalisierung geht der Trend bei Großfahrzeugen zur Ausstattung mit einer Fülle technischer Elemente. Auch die Fahrzeugsteuerung ist im Wandel: Über Jahrzehnte wurde diese Maschinenklasse mit einem Standardlenkrad gesteuert, nun kommen mehr und mehr neue und innovative Lösungen wie Joysticks und Mini-Lenkräder zum Einsatz. Diese Steuerungstools werden in den Armlehnen der Sitze integriert, so dass der Fahrersitz zu einer Multifunktionssteuerzentrale für die Fahrer:innen wird. Eine Analyse des heutigen Kabinenumfelds weist als Stärken seine hohe Flexibilität und die zentrale Steuerung von Maschinen und Anbaugeräten auf. Schwächen aus der Sicht von Usability und Design sind die zerklüfteten Flächen, eine Vielzahl von Stellteilen in teilweise unübersichtlicher Anordnung und ihre mangelnde Integration zu einem Gesamtsystem.

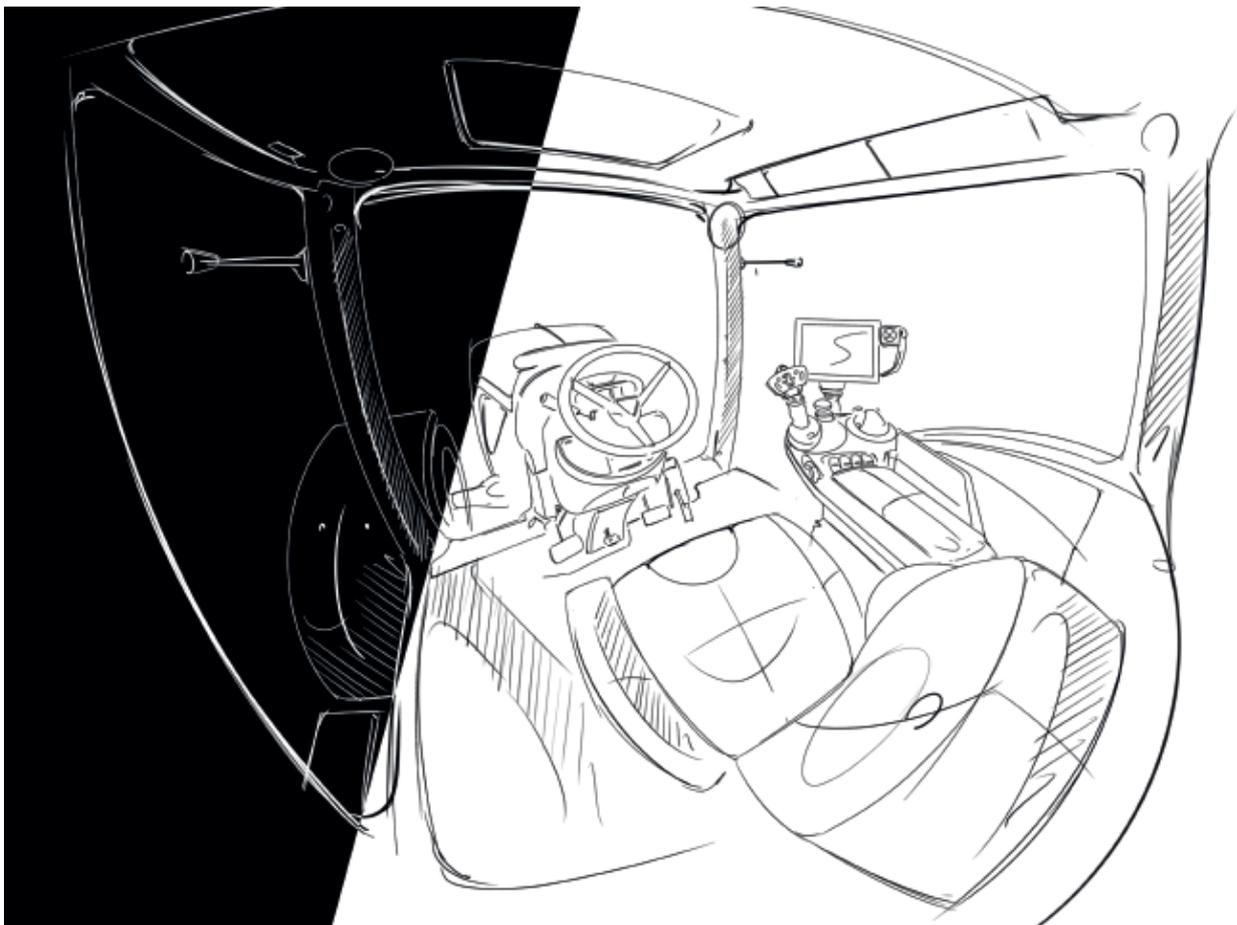


Abb. 3: Heutiges Kabinenumfeld

Zielsetzung der vorliegenden Arbeit war es, auf Basis derzeitiger Entwicklungen in der Landwirtschaft und Ergebnissen aus der Nutzerforschung ein auf zukünftige Bedürfnisse zugeschnittenes Traktor-Interieur in seinen zentralen Elementen zu gestalten.

2 Material und Methoden: Nutzerbefragungen

Die GRAMMER AG führte im Jahr 2019 die Studie „Operator System“ durch, mit der Fragestellung, ob es Ausstattungskomponenten oder Auslegungsvarianten gibt, die die Leistungsfähigkeit des Mensch-Maschine-Systems in der Applikation große Traktoren (>150PS) noch erhöhen können. Der avisierte Zielzeitraum lag um das Jahr 2030. Insgesamt nahmen 25 Landwirte aus Deutschland und Frankreich teil. Als erster Schritt wurden Beobachtungen und Bedürfnisse der Landwirte in Nutzer-Kontextinterviews erfasst. Vor Ort auf den jeweiligen Höfen wurden unterschiedliche Arbeitssituationen beleuchtet, z.B. Vorfeldüberwachung, Pflügen, Transport und Datenmanagement. Die inhaltlichen und grafisch umgesetzten Ergebnisse wurden als Vorlage für die im weiteren Verlauf stattfindende Fokusgruppenarbeit genutzt, in der sie jeweils nach Relevanz und Affinität bewertet wurden. Die abschließende Auswertung und Weiterverarbeitung der Ergebnisse fanden in einem interdisziplinären Team statt, um daraus entwicklungsspezifische Schlussfolgerungen abzuleiten.

Die Projektarbeit SUPERNOVA aus den Jahren 2020/2021 nutzte die Ergebnisse aus der „Operator System“-Studie und zielte weiterblickend auf die Entwicklung bis zum Jahr 2045. Mit einem teilstandardisierten Fragebogen wurden in Deutschland 10 Personen aus verschiedenen Bundesländern befragt, die drei Arten von landwirtschaftlichen Unternehmen repräsentieren: den klassischen Landwirtschaftsbetrieb, das Lohnunternehmen und den biologischen Agrarunternehmer. Der Fragenkatalog umfasste sechs Fragenkomplexe zu den Themen Veränderung der Landwirtschaft, Fortschritt durch autonome Maschinen, Änderungen im Exterieur und Interieur von Traktoren bis zum Jahr 2045.

SZENARIEN/ ZIELGRUPPEN



Abb. 3: Befragte Zielgruppen

Auf der Grundlage der erhobenen Informationen wurde die Konzeptstudie eines zukünftigen landwirtschaftlichen Fahrzeugs für das Jahr 2045 entwickelt, das den Anforderungen der heutigen und der von Experten prognostizierten Entwicklungen gerecht wird.

3 Modulares Zukunftskonzept Landmaschine und Kabine

3.1 Ergebnisse der Nutzerstudien

Die Ergebnisse der Nutzerbefragungen und die Auswertung von Fokusgruppen in der Studie „Operator System“ haben Aspekte identifiziert, die die Leistungsfähigkeit des Mensch-Maschine-Systems beim Einsatz von Großtraktoren durch die Produktentwicklung weiter steigern können. Die befragten Landwirte erwarten, dass Gerätekomponenten und Ausführungsvarianten ein schnelleres, ermüdungsfreieres und fehlerfreies Arbeiten ermöglichen, und es wird ein günstiger Einfluss auf Produktivität, Gesundheit und Sicherheit am Arbeitsplatz vorhergesehen. Die wichtigsten Entwicklungsrichtungen aus der Studie waren die Zentralisierung der Fahrzeugbedienung, Warn- und Mobilisierungssysteme im Sitz, ein ganzheitliches Akustikmanagement und multifunktionale Aufbewahrungssysteme. Als nicht explizite, zugrundeliegende Bedürfnisse wurden die Gesunderhaltung der Fahrer durch präventive Maßnahmen und die Anhebung des Interieurdesigns auf Automobilstandard identifiziert. Konzepte, die weit in die Zukunft reichen, wie z. B. die Unterstützung durch Roboter oder virtuelle Assistenten, wurden von der technisch versierten Gruppe etwas höher bewertet, blieben aber sowohl bei der Relevanz als auch bei der Affinität für das Jahr 2030 insgesamt am unteren Ende der Bewertungsskala.

Die Befragung der Nutzergruppen im Projekt SUPERNOVA ergab für die Veränderung der Landwirtschaft bis 2045, dass sich die Rolle des Landwirts noch stärker zu einer Managerrolle entwickelt haben wird, in der Überwachungstätigkeiten die hauptsächliche Aufgabe darstellen. Es wurde angenommen, dass es eine Vielzahl teil- und vollautonomer Fahrzeuge mit neuen und nachhaltigen Antriebsformen geben wird, in denen Assistenzsysteme inzwischen Standard sind. Weiterhin wurde angemerkt, dass die Bodenverdichtung auf ein Minimum reduziert werden muss. Für den Fortschritt durch autonome Maschinen galt die Annahme, dass die Nutzer:innen häufig nicht mehr selbst auf den Maschinen sitzen würden, sondern stattdessen mehrere Maschinen vom Feldrand gleichzeitig steuern oder überwachen. Es wurde erwartet, dass durch autonome Maschinen der Eingriff in die Natur minimiert wird, da durch Leichtbau das Fahrzeuggewicht reduziert werden kann. Erwartete Änderungen im Exterieur von Traktoren betrafen hauptsächlich eine stärkere Flexibilisierung zur Anpassung an unterschiedliche Arbeitsgänge, aber nur geringe Änderung der Proportionen, da Anbaulasten weiterhin das Gegengewicht benötigen werden.

Im Interieur von Traktoren wurde erwartet, dass die Kabinen intelligenter und multifunktionaler sein werden mit integrierten Bedienkonzepten, Sprachsteuerung, weiter verbesserter Ergonomie und einer optimierten Rundumsicht. Weiterhin wurde vermutet, dass

Design und Wertigkeit an automobile Standards angeglichen sein und automobile Komfortanforderungen erfüllt werden. Für die Umgebungsbedingungen wurde ein schnellerer Datenaustausch und optimiertes digitales Farming prognostiziert, sowie ein optimierter Tagesablauf durch ineinandergreifende Systeme. Als Notwendigkeit wurde gesehen, schnell viel Schlagkraft zur Verfügung zu haben, da sich durch extremere Wetterphasen und verdichtende Erntefenster eine höhere Anforderungsvariabilität ergibt.

3.2 *Design eines neuen Kabinenkonzepts*

Das Ziel der Kabinenentwicklung ist es, den Nutzer:innen eine höhere Handlungsautonomie zu verschaffen, um die geforderte erhöhte Schlagzahl auf den Feldern zu ermöglichen. Dabei soll eine optimierte Rundumsicht und Datenverfügbarkeit den Überblick auf die Arbeiten auf mehreren Feldern ermöglichen. Weiterhin soll ein fließender Wechsel zwischen den drei Aufmerksamkeitsbereichen Fahrzeug, Farmmanagement und Privates ermöglicht werden.

Basierend auf den Nutzerprognosen wurde ein neues Kabinenkonzept entwickelt, aus dem auch ein neues Fahrzeugexterieur abgeleitet wurde. Dank einer standardisierten Schnittstelle für alle landwirtschaftlichen Fahrzeuge ist diese neuartige Kabine nicht dauerhaft an ein Fahrzeug gebunden. Sie kann daher die Steuerungsfunktion auf einem Traktor übernehmen, während sich mehrere Einheiten als Platoon auf das Feld begeben. Bei diesem Konzept stellt der Traktor nur die Antriebskraft zur Verfügung, während die Intelligenz in der mobilen Kabine und in den Anbaugeräten lokalisiert ist. Die mobile Kabine wird am Rande des Feldes vom Traktor abgetrennt und bietet den Nutzer:innen einen geschützten, autonomen Raum zur Steuerung und Überwachung der Feldarbeiten.

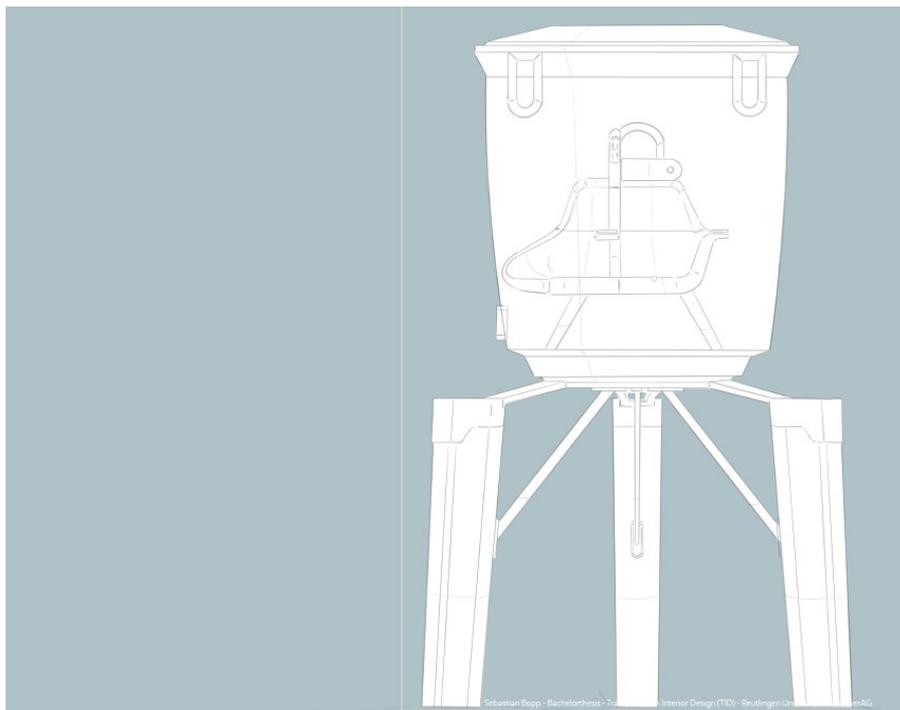


Abb. 4: Konzeptstudie variable Kabine als Hochsitz

Die im Zukunftskonzept gestalteten Elemente der Kabine sind die Sitz-, Tisch- und Aufbewahrungssysteme, die Lenkung, die Büroschnittstelle und dazugehörige KI und die Bodenplatte. Die künstliche Intelligenz „IVY“ ist für die jeweiligen Nutzer:innen durch eine individuelle Steuereinheit personalisiert. Die entnehmbare Hardware zentralisiert die Informationen zu Maschinen, Anbaugeräten, Umgebungs- und Planungsdaten und stellt sie auf den zugeordneten Displays zur Verfügung.

Das Sitzsystem ist in der Art eines Sofas gestaltet, um einerseits die Verwendung als Fahrerplatz und Trainersitz weiterhin zu ermöglichen, andererseits eine Funktionsausweitung bei der Nutzung durch eine Person für unterschiedliche Körperhaltungen in Arbeits- und Entspannungspositionen zu unterstützen. In die Sitze sind Komfort- und Mobilisierungsfunktionen integriert, die durch die herausklappbare rechte Armlehne gesteuert werden, ebenso wie die Grundeinstellungen des Sitzes, beispielsweise Neigungswinkel von Rückenlehne und Sitzkissen. Sie sind über die Stützelemente mit einer mehrdimensionalen Federungsfunktion ausgestattet. Über die drehbare Bodenplatte ist das Sitzsystem 360° zur gewünschten Blickrichtung orientierbar. Im Einstiegsbereich befindet sich eine Vertiefung in der Bodenplatte, um schmutzige Arbeitsschuhe abstellen zu können und so eine klare Trennung zwischen Innen und Außenbereich zu schaffen und das Interieur Sauberhalten zu können.

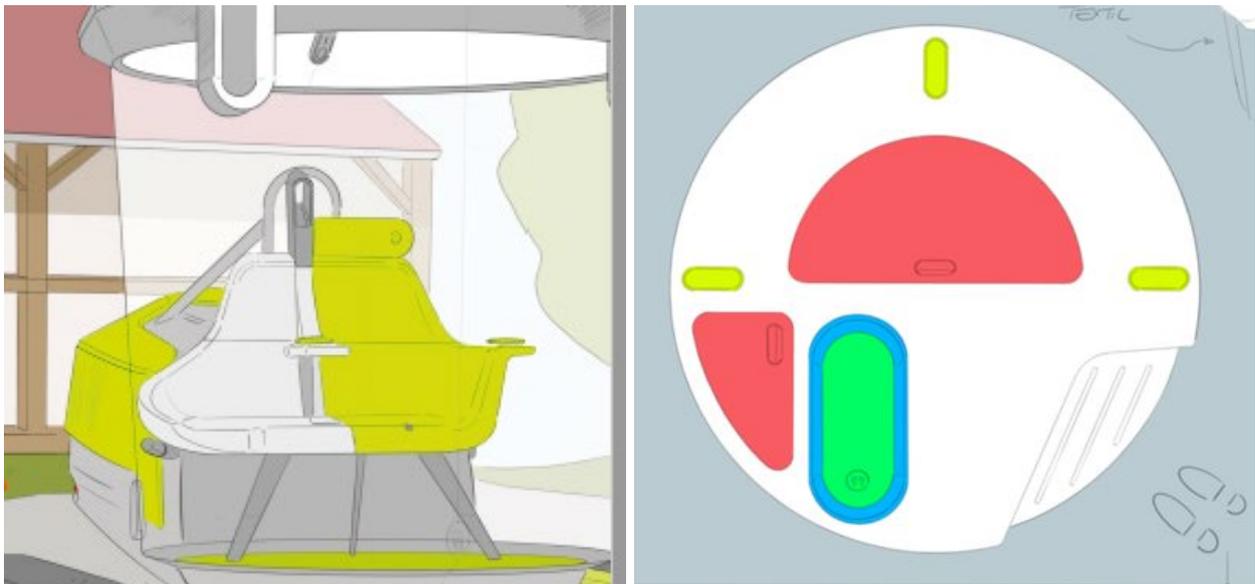


Abb. 5, 6: Komponenten Sitzsystem, rotierbare Bodenplatte mit integriertem Tisch und Stauraum

Die Datensichtung und -verarbeitung erfolgt über die Büroschnittstelle, deren zentrale Elemente die künstliche Intelligenz „IVY“ und die Visualisierung über ein Tablet oder die Kabinenscheibe darstellen. Die digitale Projektion auf der gebogenen Frontscheibe, deren Orientierung mit der Drehung der Bodenplatte synchron erfolgt, stellt den Hauptbildschirm dar. IVY ist gleichzeitig eine Steuer- und Eingabeeinheit, Sprachassistent und Analyseeinheit zur Bodennährwerts- und Feuchtigkeitsbestimmung. Sie kann sowohl von innerhalb als auch von außerhalb der Kabine bedient werden.

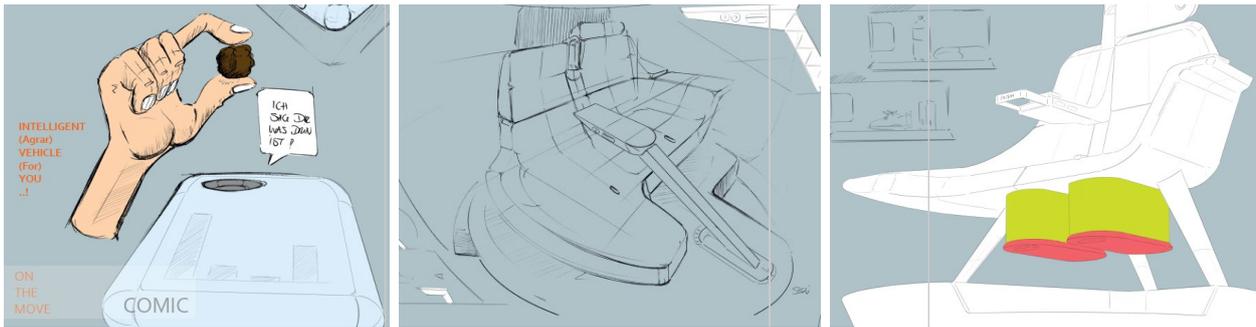


Abb. 7, 8, 9: „IVY“, Tisch und Staufächer

Ein Tischelement kann zur variablen Nutzung aus der Bodenplatte herausgefahren werden. Es beinhaltet ein Staufach mit Kühlfunktion für Speisen und Getränke. Für weiteren Stauraum wird die Fläche zwischen der Bodenplatte und dem Sitzsystem genutzt, um die Rundumsicht nicht zu beeinträchtigen. Weitere Aufbewahrungsmöglichkeiten, z.B. für Kleidung oder nicht zu kühlende Lebensmittel, lassen sich unterhalb des Sitzsystems herausziehen.

3.3 Gesamtsystem / Konzept

Eine optimal gewichtsausgeglichene Maschine ist in der Landwirtschaft sehr wichtig, um einerseits den bestmöglichen Vortrieb zu gewährleisten und andererseits die geringstmögliche Bodenverdichtung zu verursachen. Deshalb ist im Konzeptfahrzeug ein Volumen vorgesehen, in dem Wasser und Luft flexibel innerhalb des Fahrzeugs bewegt werden können. Durch diese Gewichtsverlagerung kann ein variables Gegengewicht zu den Anbaugeräten vorgehalten werden. Zusätzlich kann der gesamte Fahrzeuggrundkörper über einen Verschiebemechanismus auf dem Fahrgestell verschoben und so optimal ausbalanciert werden. Aufgrund der variablen Auslegung mit Kettenantrieb können Abmessungen und Gewicht des Traktors deutlich reduziert werden.

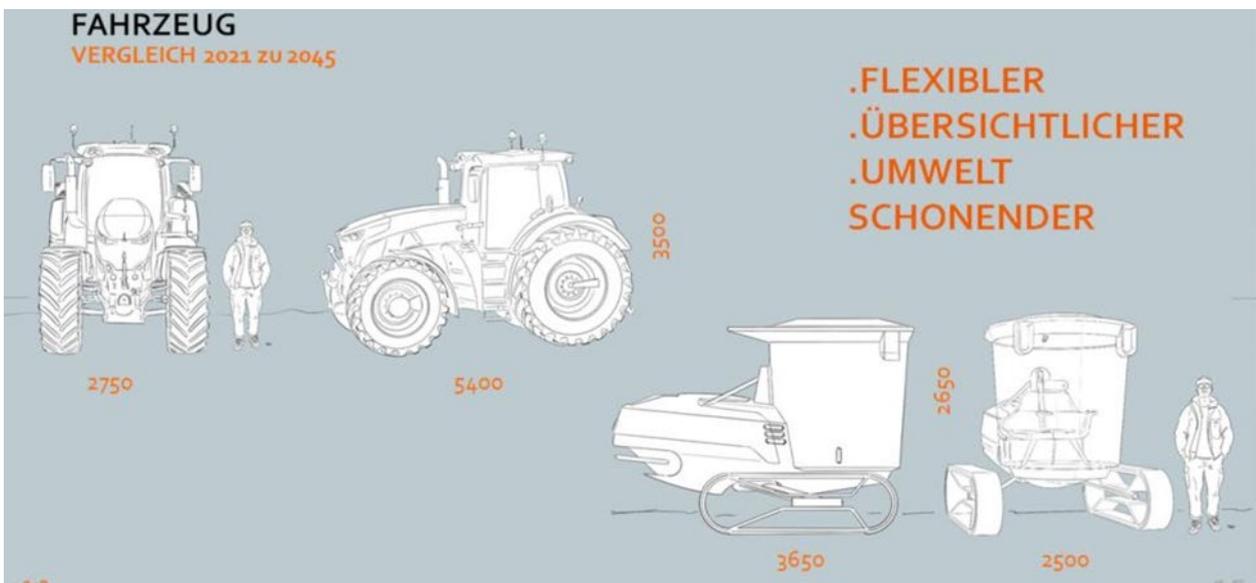


Abb. 10: Vergleich Fahrzeugparameter heute und Konzept 2045

Als Antrieb ist eine leistungsstarke Wasserstoffbrennzelle vorgesehen, die die Elektromotoren des Raupenfahrwerks antreibt. Durch die Optimierung des Fahrwerkes kann die Bodenverdichtung, selbst bei voller Arbeitslast deutlich reduziert werden.

Die weiterentwickelte Steuerung besteht aus zwei Pads in Form von Handschmeichlern, die in den Armlehnen integriert sind. Sie lassen sich gut greifen und unterstützen die Nutzer:innen in einer ergonomisch optimierten Haltung und Steuerung. Wenn der Steuercontroller entnommen und in die Steuermulde eingesetzt wird, verbindet er sich unmittelbar mit der Fahrzeugintelligenz „IVY“ und ist vernetzt. Um das Fahrzeug auch von außen steuern zu können, kann das Steuerpanel aus der linken Armlehne herausgenommen und als Fernbedienung genutzt werden.

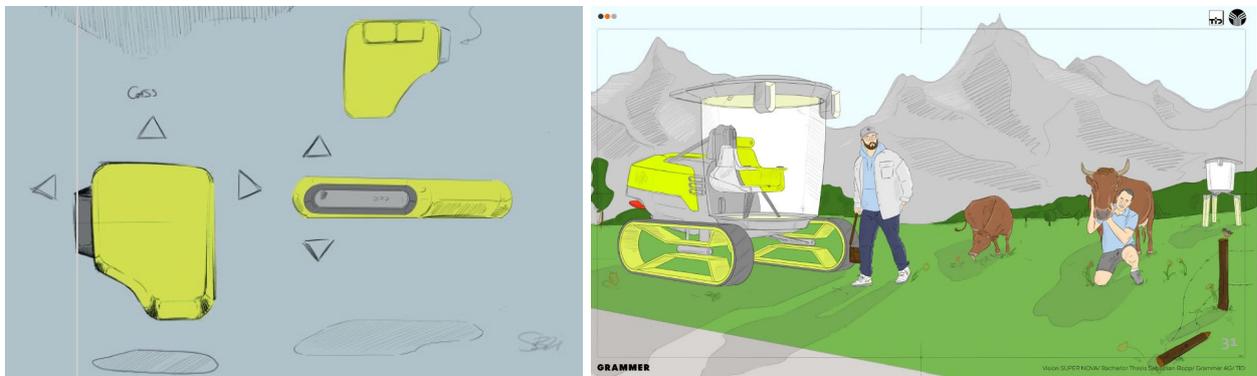


Abb. 11, 12: Steuereinheit und Gesamtkonzept

Um einen bestmöglichen Überblick über die Maschinen in den unterschiedlichen Anwendungsbereichen auf den Feldern behalten zu können, ist eine Ausfahrhöhe der Steuerkabine von mindestens drei Metern vorgesehen. Eine individuelle Anpassung der Höhe wird durch flexible Standbeine ermöglicht. Durch große Stellflächen der Füße ist das Aufstellen des Hochsitzes zudem bodenschonend ausgelegt. Für die Erweiterung des Sichtfeldes sowohl im autonomen Modus als auch in der klassischen Kabinenposition gibt es ein integriertes Drohnensystem. Kombiniert mit anderen Sensorsystemen kann sowohl eine Tiererkennung als auch ein fahrzeugzentrierter Blick aus der Distanz ermöglicht werden.

4 Diskussion

Bei der Landwirtschaft 4.0 geht es sowohl darum, die gesellschaftlichen Anforderungen zu sichern, als auch das wirtschaftliche Betreiben der landwirtschaftlichen Betriebe zu ermöglichen. Daraus abgeleitete Erfordernisse für zukünftige Agrarsysteme sind daher: Orientierung auf Menschen, Tiere, Umwelt, soziale Bedingungen und Nachhaltigkeit; präzisere und umfassendere automatische Zustandsbestimmung von Einzeltieren, Pflanzen und Böden sowie deren systematische Erfassung; konfigurierbare flexiblere Maschinen und Anlagen. Die fortschreitende Individualisierung führt auch bei Agrarprodukten zu der

Forderung „Losgröße 1“, worauf die Technik mit Flexibilisierung reagieren muss, um eine schnellere Reaktion auf auftretenden Bedarf bieten zu können. Weiterhin wird die digitale Vernetzung zwischen internen und auch externen Prozessen und Partnern in verstärktem Maße notwendig sein. Da die Erntefenster in den letzten Jahrzehnten durch zunehmende Wetterextreme, bedingt durch den Klimawandel, stark geschrumpft sind, benötigen alle Landwirte eine schlagkräftige und flexible Flotte an leistungsstarken Maschinen, die idealerweise durch möglichst wenige Personen betreut werden müssen. Diese Kondensierung ermöglicht eine größere Leistungsdichte in geringerer Zeit. Somit kann mit der gleichen Anzahl an Fachkräften und einer Umstellung auf autonome, zentral gesteuerte Fahrzeugflotten ein höherer Output generiert werden.

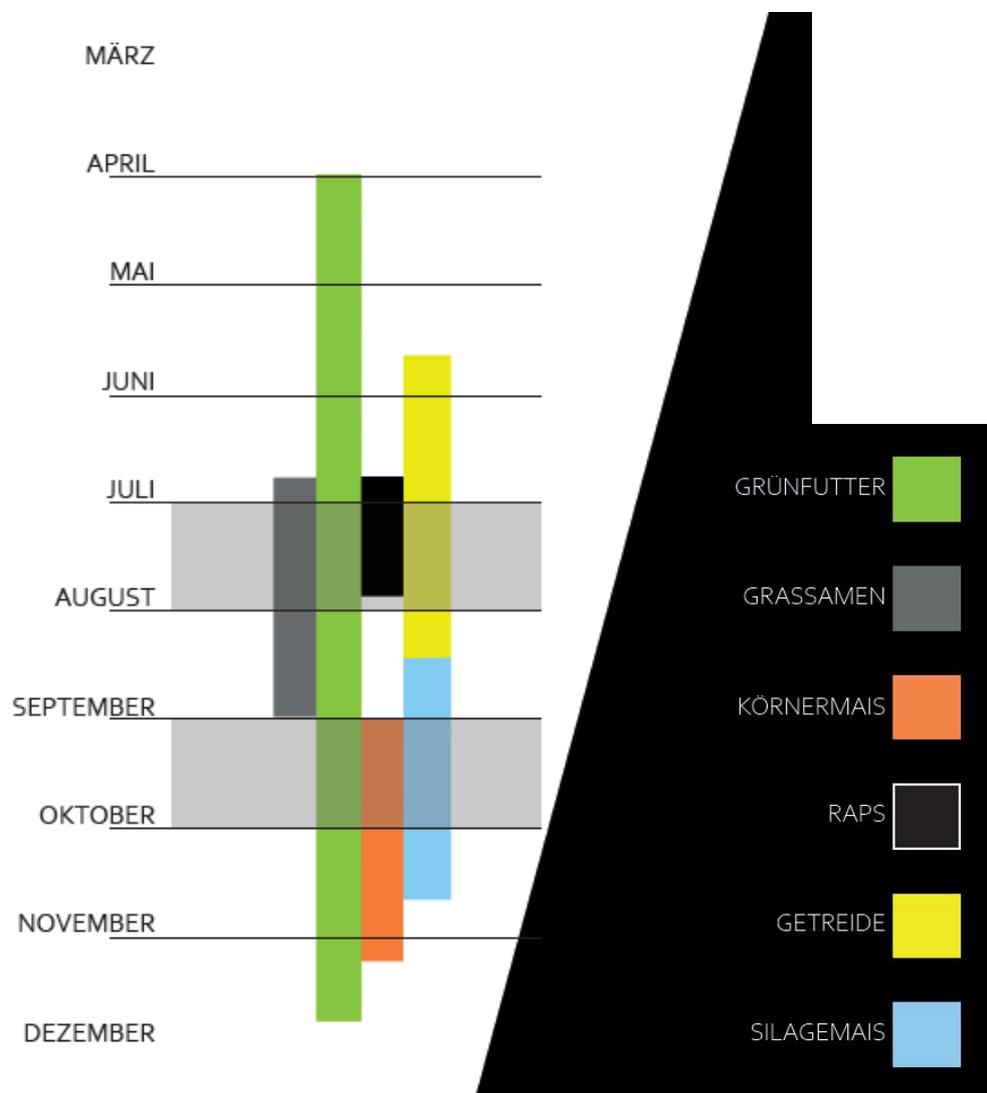


Abb. 13: Kondensierte Erntefenster bedingen eine Vielzahl von gleichzeitig notwendigen Arbeiten

Der Trend der Verschmelzung von Arbeits- und Freizeit, der sich für Büroarbeitsplätze immer deutlicher zeigt, war im Agrarbetrieb schon immer vorhanden. Als weiterer starker

Einfluss wirkt sich die Dauernutzung von digitalen Endgeräten (Smartphone, Tablet, Computer) aus, die im heutigen Arbeitsalltag, auch immer häufiger am Feldrand, allgegenwärtig sind. Die Arbeit ist dadurch weniger ortsgebunden, und das „Büro“ ist zumindest theoretisch papierlos möglich und kann somit überall sein. Eine gewisse räumliche Architektur ist dennoch notwendig, um ergonomische Arbeitsbedingungen zu bieten, und darüber hinaus Konnektivität, um den Datenfluss und -austausch zu ermöglichen. Die Informationsvielfalt und Datenkomplexität erfordert Platz zur Visualisierung und Verarbeitung durch die Nutzer:innen, sowohl am Arbeitsplatz als auch in Großmaschinen hat man sich an mehrere Bildschirme bereits gewöhnt.

Das technische Ziel des zukünftigen Agrarkonzepts SUPERNOVA, den Nutzer:innen Autonomie auf dem Feld zu garantieren, trägt zur Erfüllung der Anforderungen der Landwirtschaft 4.0 bei. Die flexible Kabine ermöglicht den Wechsel zwischen den verschiedenen Fahrzeugplattformen, sowie auch das Abstellen zu einem freistehenden, hochsitzartigen Arbeitsplatz auf dem Feld. Durch diesen Modus können mehrere Fahrzeuge gleichzeitig von einer Person gesteuert werden, und Ernteprozesse in arbeitsreichen, verdichteten Erntezeiten weiter optimiert werden. Darüber hinaus minimiert dieses Konzept den Einfluss der Zuwege und berücksichtigt den technisch und verkehrsrechtlich gegebenenfalls weiterhin eingeschränkt möglichen autonomen Schlagwechsel.

In der Kabine werden eine optimale Rundumsicht und der Überblick über mehrere Felder durch das auf einer Drehscheibe montierte Interior ermöglicht, das den Landwirt immer optimal zu seiner Tätigkeit ausrichtet. Die Informationsdarstellung am Kabinenfenster trägt dem gesunden Sehen Rechnung, indem es die Betrachtung von Grafik, Text und Umgebung im gleichen Fokusbereich ermöglicht. Der Gesundheit der Fahrer:innen wird auch durch die integrierte Sitzklimatisierung entsprochen, die physiologisch heizt und kühlt, sowie durch die Mobilisierungsfunktion, die eine Verlagerung des Körpergewichts fördert.

Argumente für Nutzung autonomer und digitaler Systeme sind die Möglichkeit, mehr Arbeit mit weniger Personal durchführen zu können, die Entlastung gerade bei zeitaufwändigen, anstrengenden und monotonen Routinearbeiten und der Einsatz mehrerer kleinerer Maschinen statt einer großen, was zu weniger Bodenverdichtung und flexiblerer Abarbeitung führen kann. Eine optimierte Nutzung der Ressourcen trägt so zu einem wirtschaftlichen Betrieb bei. IVY bietet eine Systemkomponente, die den gesamten Betrieb abdeckt, in der Daten automatisch übertragen werden und nützliche Auswertungssysteme zur Verfügung stehen. Die vorgesehene Echtzeitanalyse von Bodenproben geht auf den erwarteten Fortschritt bei der Forschung der Pflanzenernährung und Nährstoffverteilung ein. Durch die Integration von intelligenten Feldroboterplattformen, die Ergänzung der Informationen durch künstliche Intelligenz, sowie die Überwachung der Arbeitsschritte durch Drohnen, kann die Schlagzahl auf den Feldern bei gleichzeitiger Boden- und Ressourcenschonung deutlich erhöht werden. Unmittelbare Datenverfügbarkeit und -vernetzung ist durch die künstliche Intelligenz gegeben.

Das größte Kapital eines Landwirts sind letztlich die eigenen Flächen und Böden. Langfristig ist nur ein nachhaltiger Anbau von Lebensmitteln tragbar, und auch heute schon die Basis der biologisch wirtschaftenden Betriebe. Mit der breit aufgestellten Basis erfüllt das modulare Zukunftskonzept der Kabine die Hauptanforderungen der Lohnunternehmer nach Flexibilität und Senkung des Leistungsdrucks, der Bio-Agrarunternehmer nach mehr Nachhaltigkeit und geringerem Einsatz von Dünger und Pestiziden, und der klassisch wirtschaftenden Agrarbetriebe nach höherer Leistungsdichte und Bodenschonung.

Literaturverzeichnis

Bopp, S. (2021) SUPERNOVA. Bachelorthesis Hochschule Reutlingen, Transportation Interior Design

Frohriep, S. & F. Schneider (2020), "Die Zukunft des Operatorsystems in großen Traktoren: Ergebnisse internationaler Nutzerstudien," *Agroscope Science* 94, S. 161–168

VDI (2021) Statusreport „Industrie 4.0-Technologien in der Landwirtschaft“ und online Expertenforum [02.12.2021]

UN (2021) Bevölkerungsbericht. <https://weltbevoelkerung.info/prognosen/un.aspx> [16.12.2021]

Tägliche manuelle Fütterungstätigkeiten bei Einsatz mobiler Fütterungsroboter in kleinstrukturierter Milchviehhaltung

Elisabeth Quendler*, Caroline Leitner

Institut für Landtechnik, Peter-Jordan-Straße 82, A-1190 Wien

**E-Mail: elisabeth.quendler@boku.ac.at*

Zusammenfassung

Landwirtschaftliche Milchviehbetriebe in Österreich werden überwiegend als bäuerliche Familienbetriebe ohne Fremdarbeitskräfte geführt. Herausforderungen für diese Betriebe sind stets der schleichende Strukturwandel, die rückläufige Anzahl an betrieblichen familieneigenen Arbeitskräften und steigende Produktionskosten. Automatisierte Arbeitshilfsmittel, wie ein mobiler Fütterungsroboter, können einen kompensierenden Beitrag leisten, insbesondere auch im Sinne von deren Arbeits- und Lebensqualität, sozialer Nachhaltigkeit.

Als Untersuchungsbetrieb wurde ein für österreichische Verhältnisse mittelgroßer Milchviehbetrieb gewählt, der einen mobilen Fütterungsroboter zum Füttern verschiedener Rinderkategorien im Alt- sowie Neugebäude im Einsatz hatte.

Manuelle Aufgaben, die der Landwirt ergänzend zum autonomen Füttern erledigte, waren nachbereitende manuelle Fütterungstätigkeiten, die der Fütterungsroboter nicht ausführte sowie das ausschließliche Füttern bei den Kälbern bis 120 kg Lebendgewicht.

Zur Ermittlung des Arbeitszeitbedarfs der Arbeitselemente wurde die kausale Methode der Arbeitszeterfassung gewählt. Die Datenerhebung erfolgte durch Videoaufzeichnung bei zwei Fütterungsterminen, das Messen und Auswerten auf einem PC mit der Software Ortizeit 6.5 und einem Tabellenkalkulationsprogramm.

Für das Füttern mit dem mobilen Fütterungsroboter in der Milchviehhaltung wurden 16 manuelle Arbeitselemente und deren Arbeitszeitbedarf eruiert. Bei diesen handelte es sich überwiegend um grobmotorische Aktivitäten mit Lasthandhabung beim Füttern der Milchkühe, Kalbinnen und Kälber > 120 kg. Diese kamen durch das Schaufeln der nicht aufgefressenen Futterreste in die Scheibtruhe sowie durch das Schieben und Entleeren der befüllten Scheibtruhe zustande. Beim Füttern der Kälber waren es Lasthandhabungen durch das Befüllen des Tränkeeimers mit Milch, das Tragen und Einhängen.

Abstract

Austrian dairy farms are predominantly managed as family farms without external labor. Challenges for these farms are always the creeping structural change, the decreasing number of farm family members and increasing production costs. Automated work aids,

such as a mobile feeding robot, can make a compensatory contribution, especially in terms of their quality of work and life, social sustainability.

A medium-sized dairy farm by Austrian standards was chosen as the study farm, which had a mobile feeding robot in use for feeding various categories of cattle in both the old and new buildings.

Manual operations that the farmer performed in addition to autonomous feeding were follow-up manual feeding activities that the feeding robot did not perform as well as the exclusive feeding of calves up to 120 kg live weight.

The causal method of labor metering was chosen to determine the labor time requirements of the labor elements. Data collection was done by video recording at two feeding dates, measuring and analyzing on a PC with Ortizeit 6.5 software and a spreadsheet program.

For feeding with the mobile feeding robot in dairy farming, 16 manual work elements and their working time requirements were elicited. These were predominantly gross motor activities involving load handling when feeding dairy cows, heifers and calves > 120 kg. These came from shoveling uneaten feed scraps into the wheelbarrow and pushing and emptying the filled one. When feeding calves, it was load handling by filling the feeder bucket with milk, carrying it, and hooking it.

Keywords: *Füttern, Automatisierung, Milchviehbetrieb, kleinstrukturiert*

Einleitung

Landwirtschaftliche Milchviehbetriebe in Österreich werden überwiegend als bäuerliche Familienbetriebe ohne Fremdarbeitskräfte geführt. Herausforderungen für diese Betriebe sind stets der schleichende Strukturwandel und die rückläufige Anzahl an betrieblichen familieneigenen Arbeitskräften, steigende Managementanforderungen und Intensivierung sowie Diversifizierung (Bio- und Heumilch) der Produktion. Auch entfällt in der Milchviehhaltung ein Großteil der Kosten auf die Fütterung, diese machen zwischen 40 % und 50 % der Vollkosten der Milchproduktion aus. Die Fütterung ist neben dem Melken auch der zeitintensivste Arbeitsvorgang in der Milchviehhaltung (Grothmann, 2015, S. 25). Diese beansprucht etwa 15 % bis 20 % des gesamten Arbeitszeitbedarfs bei unterschiedlich intensiv mechanisierten Arbeitsverfahren (Nydegger, 2009, S. 1). Der durchschnittliche Arbeitszeitbedarf in Laufställen variiert von 85 bis 208 AKh je Kuh und Jahr für Herdengrößen bis 40 Kühe auf österreichischen Milchviehbetrieben (Fischer-Colbrie, 2009, 4f).

Die LandwirtInnen sind gefordert ihre Produktivität und Anpassungsfähigkeit bei veränderten Marktbedingungen und verschiedenen naturräumlichen Gegebenheiten nicht nur ökonomisch und ökologisch, sondern auch sozial nachhaltig zu gewährleisten, um in der Produktion verbleiben zu können (Scheurich et al., 2021, 1).

Arbeitsplatzbedingte Herausforderungen sind das steigende Arbeitsvolumen je Arbeitskraft und längere Einsatzzeiten je Arbeitsprozess und folglich monotonere körperliche Belastungen, die höhere physische und psychische Beanspruchungen auslösen. Automatisierte Arbeitshilfsmittel, wie ein mobiler Fütterungsroboter, können einen kompensierenden Beitrag leisten, nicht nur in der Reduktion der Futtermittelverluste, einer besseren Futterhygiene sowie Ausnutzung des Leistungspotentials der Tiere, sondern auch in der Verringerung von Arbeitszeitbedarf und -belastung (Grothmann, 2015, S. 220, Nydegger, 2009, S7).

Bei der automatischen Futtervorlage kann zwischen Einzeltier- und Gruppenfütterungstechniken differenziert werden, wobei die einzeltierbezogenen Grund- und Krafftuttermittelversorgungen teils noch nicht praxisreif sind. Bei den gruppenbezogenen automatischen Fütterungssystemen (AFS) erfolgt die Grund- und Krafftuttermittelvorlage stationär über Förderbänder oder mobile Futterverteilbehälter. Die letztgenannten mobilen AFS sind schienengeführt oder selbstfahrend mit Elektro- oder Dieselmotor ausgeführt, um den Futtertisch zu erreichen. Die Konstruktion ermöglicht, den Futtertisch häufiger, angepasst an die physiologischen Ansprüche der Tiere und mit Nichtanwesenheit des Menschen, beschicken zu können (Grothmann, 2015, S. 25, Fübbecker, 2021, S. 24f). Die Bewertung mobiler AFS hinsichtlich dem Arbeitszeitbedarf stellt einen grundlegenden Schritt für den Praxiseinsatz, insbesondere auf kleinstrukturierten österreichischen Milchviehbetrieben, insbesondere zur nachhaltigen Substitution von manueller Fütterungsarbeit sowie traktorbasierter oder handgeführter Mechanisierung, dar. Detaillierte Ergebnisse dazu, liegen bis dato nicht vor.

Folglich bestand als erste Zielsetzung im Rahmen dieser Studie, die manuelle tägliche Fütterungsarbeit beim Einsatz eines mobilen AFS zu eruieren.

Material und Methoden

Als Untersuchungsbetrieb wurde ein für österreichische Verhältnisse mittelgroßer Milchviehbetrieb gewählt, der einen mobilen Fütterungsroboter zum Füttern verschiedener Rinderkategorien im Alt- sowie Neugebäude im Einsatz hatte. Im Altbau, einen adaptierten Liegeboxenlaufstall, waren 22 Plätze für Kalbinnen und Kälber über 120 kg gegeben. Der Zubau offerierte 39 Liegeboxenplätze für Kühe sowie 5 Plätze in einer Welfare Bucht. Die Kälber mit einem Gewicht unter 120 kg wurden entweder in einer Großraum-Kälberhütte für 6 Stück oder in 4 weiteren einzelnen Kälberiglus gehalten.

Beim Fütterungsroboter handelte es sich um eine selbstfahrende, nicht schienengeführte Variante, diese befüllte sich automatisiert mit Futterkomponenten gemäß vorgegebener leistungsgruppenbasierter Mischfütterration im Fütterungsprogramm sowie verteilte diese leistungsgruppenspezifisch autonom.

Die täglichen Arbeiten (ohne Management), die der Landwirt beim Füttern ausführte, waren nachbereitende manuelle Fütterungsarbeiten bei den Kühen, Kalbinnen und Kälbern

mit mehr als 120 kg Lebendgewicht, die der Fütterungsroboter nicht ausführte sowie das ausschließliche Füttern bei den Kälbern bis 120 kg Lebendgewicht.

Die nachgeschobenen Fressrückstände am Futtertisch, die die Tiere nicht auffraßen, wurden zu dessen Ende geschoben. Feinere Futterrückstände, welche nicht von der Schaufel aufgenommen wurden, mussten mit einem Besen an das Ende des Futtertisches geschoben und mit dem unaufgefressenen Futter in eine Schubkarre geschaufelt werden.

Dieser Vorgang wurde zweimal täglich, für jede Rinderkategorie durchgeführt, den Stallbereich der laktierenden Milchkühe und die Abkalbebucht der hochträchtigen Tiere, für den Stallbereich der Trockensteher sowie für den Stallbereich der Kalbinnen und Kälber (>120 kg).

Die Futterrückstände wurden mit der Schubkarre überwiegend am Misthaufen entleert, nur das Restfutter der laktierenden Milchkühe wurde am Futtertisch der Kälber (> 120 kg) vorgelegt.

Die Kälber unter 120 kg wurden mit Milch getränkt. Die Tränkeeimer wurden zuerst sorgfältig am Waschbecken in der Milchkammer ausgewaschen und mit Milch aus dem Milchtank befüllt und in die dafür vorgesehene Halterung der Kälberhütte beziehungsweise -iglos eingehängt. Dieser Arbeitsvorgang ist auch beim Füttern ohne Fütterungsroboter in dieser Form gegeben.

Ergebnisse (oder Methodenentwicklung)

Zur Beschreibung des manuellen Arbeitsverfahrensanteils und des Arbeitszeitbedarfs wurde die kausale Methode der Arbeitszeiterfassung gewählt. Diese fußte auf der Arbeitsbeobachtung und indirekten Messung auf Ebene des Arbeitselements, den methodischen Ansatz zur Arbeitszeitanalyse nach AUERNHAMMER (1976), um aktuelle Planungsdaten für das Füttern mit autonom fahrenden Fütterungsrobotern zu erhalten (S. 12).

Die manuell zu verrichtenden Tätigkeiten des Fütterns umfassten die Arbeitselemente Gehen ohne Last (zu Staufelabstellplatz), Schaufel nehmen/hinstellen, Futterreste mit Schaufel zu Futtertische schieben, Besen nehmen/zurückstellen, Futter zu Futtertisch kehren, Schubkarre erfassen/zurückstellen, Gehen mit Last (Schubkarre leer), Futterreste in Schubkarre schaufeln, Gehen mit Last (Schubkarre voll).

Die Datenerhebung erfolgte durch Videoaufzeichnung. Das Aufnehmen von Videos hatte auch den Vorteil, dass eine gleichzeitige Dokumentation von Arbeitsverfahren des Fütterns und der Arbeitszeit von statten ging.

Für die Aufnahme wurde eine digitale Videokamera mit einer 64 Gigabit Speicherkarte sowie ein iPhone CAT S. 61 verwendet. Die Videos wurden im Format MP4 aufgezeichnet.

Zur Erfassung der täglichen manuellen Fütterungsarbeit sowie deren Elemente und Arbeitszeiten wurden beide täglichen Fütterungstermine, der Morgen und Abend, gewählt. Diese unterschieden sich über das Jahr nicht, da die Tiere ganzjährig im Stall gehalten wurden und folglich sich auch die Ration über die Jahreszeiten nicht änderte.

Um alle Einflussgrößen bestimmen zu können, wurden zusätzlich zu den aufgenommenen Videos, Daten mit einem Fragebogen beim Betriebsleiter erfragt und eine Stallskizze erstellt. Mit den Fragen wurden alle relevanten Angaben für die Verfahrensbeschreibung und Planzeiterstellung erfasst.

Die aufgenommenen Videos wurden auf einen Laptop überspielt und mit der Software ORTIMzeit 6.5 in ein für die Software auswertbares Format formatiert. Dieses bildete die Basis für das Messen der Arbeitselemente der Arbeitszeitstudie.

Die gemessenen elementbezogenen IST-Zeiten wurden in ein Tabellenkalkulationsprogramm (Excel) exportiert, gelistet und statistisch deskriptiv zu Plandaten aufbereitet.

Diskussion

Beim Füttern mit dem mobilen Fütterungsroboter wurden drei manuelle tägliche Tätigkeiten Futterreste nachschieben, Futterreste entfernen und Kälber tränken mit deren 16 manuellen Arbeitselementen eruiert, die in der Tabelle 1 aufgelistet sind.

Tabelle 1: Manuelle Arbeitselemente beim Füttern mit dem mobilen Fütterungsroboter und deren Arbeitszeitbedarf nach Bezugsmenge (n=16) (2020)

Arbeitselement	Einheit der Bezugsmenge	AKcmin/Einheit (Bezugsmenge)
Nehmen/Zurückstellen der Schaufel	Vorgang	3,02
Gehen ohne Last (Schaufel/Besen)	m	2,59
Futter abschieben (entlang Futtertisch)	m	5,12
Nehmen/Zurückstellen Besen	Vorgang	2,50
Kehren (entlang Futtertisch)	m	6,29
Schubkarre erfassen/loslassen	Vorgang	1,67
Gehen mit Last (Schubkarre)	m	2,62
Schaufeln von Futterresten in Schubkarre	Vorgang	22,67
Schubkarre entleeren	Vorgang	14,17
Nehmen/Zurückstellen Tränkeeimer	Vorgang	2,50
Tränkeeimer waschen	Vorgang	26,67
Milchrohr erfassen/loslassen	Vorgang	1,67
Milch in Tränkeeimer entleeren	Vorgang	5,00
Trinkmenge kontrollieren	Vorgang	5,00
Gehen mit Last (2 Tränkeeimer)	m	2,76
Tränkeeimer einhängen	Vorgang	6,67

Bei den Arbeitselementen dieser drei Tätigkeiten handelte es sich überwiegend um grob-motorische Aktivitäten mit Lasthandhabung beim Füttern der Milchkühe, Kalbinnen und Kälber > 120 kg. Diese kamen durch das Schaufeln der nicht aufgefressenen Futterreste in die Schubkarre sowie durch das Schieben und Entleeren der befüllten Schubkarre beim Futtertisch anderer Rinderkategorien oder am Misthaufen zustande. Beim Füttern der Kälber waren es auch Lasthandhabungen durch das Befüllen des Tränkeeimers mit Milch, das Tragen und Einhängen. Auftretende Unterschiede im Arbeitszeitbedarf pro Rinderkategorie für das manuelle Füttern resultierten über Unterschiede im Wegzeitan-teil.

Literaturverzeichnis

Auernhammer, H. (1976): Eine Integrierte Methode zur Arbeitszeitanalyse, Planzeiterstellung und Modellkalkulation landwirtschaftlicher Arbeiten, dargestellt an verschiedenen Arbeitsverfahren. Dissertation, Technische Universität München, S. 12.

Fischer-Colbrie, A., 2009. Arbeitszeitauswertung der Arbeitskreise Steiermark, Arbeitskreis Milchproduktion, Seminar „Arbeitswirtschaft in der Viehhaltung – Wettbewerbsfähig durch die ländliche Entwicklung“, Netzwerk Land, S. 4f.

Fübbeker, A., 2021. AFS erleichtern die tägliche Arbeit. Blick ins Land, 12, S. 24–25.

Grothmann, A., 2015. Einfluss von automatischen Fütterungsverfahren in der Milchviehhaltung auf das Tierverhalten und die Futterqualität, Dissertation, Hohenheim, S. 25, 220.

Nydegger, F., Grothmann, 2009. Automatische Fütterung von Rindvieh, Ergebnisse einer Erhebung zum Stand der Technik, ART-Bericht, Nr. 710, S. 1–7.

Scheurich, A., Penicka, A., Hörtenhuber, S., Lindenthal, T., Quendler, E., Zollitsch, W., 2021. Elements of Social Sustainability among Austrian Hay Milk Farmers: Between Satisfaction and Stress, Sustainability, 13, 1–20.

Van der Mass, J., Jakob, R., Ammann, H., Schick, M., 1998. Mobile Fütterungssysteme, Der Einsatz des Futtermischwagens, FAT-Berichte Nr. 522, 1–14.

Arbeiten mit digitalen Technologien – Eine Fallstudie am Beispiel von sensor- und kameragesteuertem Hacken im Gemüsebau

Working with digital technologies – A case study using the example of sensor- and camera-controlled hoeing in vegetable growing

Saskia Glück, Katja Heitkämper*

Agroscope, Tänikon 1, Ettenhausen, Schweiz

**E-Mail: katja.heitkaemper@agroscope.admin.ch*

Zusammenfassung

Kameragesteuerte Hackgeräte sind geeignet, um das Unkraut zwischen und in den Pflanzenreihen zu jäten. Dadurch kann auf das arbeitsaufwändige und anstrengende manuelle Nachhacken in den Pflanzenreihen, das bei der Kulturpflege mit konventionellen Hackgeräten erforderlich sein kann, verzichtet werden. Im Rahmen des Projektes "Ressourcenschonender, nachhaltiger Pflanzenschutz im Gemüsebau durch kameragesteuerte Pflanzenschutzroboter" wurde ein Prototyp auf der Basis eines bestehenden Hackgeräts mit Sensortechnologie, Software und Düsentchnik ausgestattet. Welchen Einfluss die Arbeit mit dieser digitalen Technologie auf die zeitliche Arbeitsbelastung hat, wurde in einem Teilprojekt detailliert untersucht. Auf einem Gemüsebaubetrieb wurden während der dreijährigen Projektdauer (2019–2021) Zeitstudien mittels Videoaufnahmen durchgeführt. Die Videosequenzen wurden nach der Arbeitselementmethode nach REFA (1978) ausgewertet. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass durch technische Weiterentwicklung des Prototyps in Bezug auf Arbeitsbreite und Fahrgeschwindigkeit Einsparungen von jeweils rund 50% des aktuellen Arbeitszeitbedarfs realisiert werden könnten. Besondere Beachtung fanden neben der Analyse der Arbeitsleistung auch die Bedienzeiten des Displays sowie technisch bedingte Störungen. Die neue digitale Technologie weist hinsichtlich des Aufwands für Pflanzenschutzmittel ein großes Einsparpotential auf. Die von einer Digitalisierung erwartete Einsparung menschlicher Arbeit wird jedoch bisher nur unter Anbaubedingungen erreicht, bei denen ein manuelles Nachhacken durch die neue Technologie ersetzt wird.

Deskriptoren: Zeitstudie, Arbeitsanalyse, Pflanzenschutzroboter

Abstract

Camera-controlled hoeing devices are suitable for weeding between and in the plant rows. This means that the labour-intensive and strenuous manual hoeing in the plant rows, which can be necessary when cultivating with conventional hoes, can be dispensed with. As part of the project “Resource-saving, sustainable plant protection in vegetable cultivation using camera-controlled plant protection robots”, a prototype was equipped with sensor technology, software and nozzle technology based on an existing hoe. The influence of working with this digital technology on the time workload was investigated in detail in a sub-project. Time studies using video recordings were carried out on a vegetable farm during the three-year project period (2019–2021). The video sequences were evaluated using the work element method according to REFA (1978). The results showed that savings of around 50% of the working time requirement could be realised in each case by further technical development of the prototype with regard to the working width and the driving speed. In addition to the analysis of the work performance, special attention was paid to the operating times of the display as well as to technically induced malfunctions. The new digital technology shows great potential for savings in terms of expenditure on crop protection products. However, the savings in human labour expected from digitalisation can so far only be achieved under cultivation conditions where manual re-hacking is replaced by the new technology.

Keywords: *Time study, labour analysis, crop protection robot*

1 Einleitung

Mehrjährige Praxiserfahrungen zeigen, dass dank moderner Hackroboter wie beispielsweise unter optimalen Einsatzbedingungen beachtliche Mengen an Herbiziden eingespart werden können. Die auf digitaler Bildverarbeitung basierende Steuerungstechnik lässt bewegliche Hackmesser zielgerichtet ein- und ausschwenken, so dass auch das Unkraut in den Kulturreihen maschinell bekämpft werden kann. Die Praxisreife ist jedoch gegenwärtig auf einzelne Reihenkulturen im Acker- und Gemüsebau, wie beispielsweise Zuckerrüben, beschränkt.

Ein solches Gerät des Typs Steketee IC (Steketee IC Weeder, Machinefabriek Steketee B.V., NL) wurde im Rahmen der vorliegenden Studie zu einem multifunktionalen Pflanzenschutzroboter ausgebaut, mit dem bei Bedarf bei einem Hackdurchgang gleichzeitig eine Behandlung mit Fungiziden oder Insektiziden durchgeführt werden kann. Alle Untersuchungen wurden auf einem Praxisbetrieb im Kanton Freiburg, Schweiz durchgeführt. In den Feldversuchen konnte durch eine der Kulturentwicklung angepasste Applikation eine Reduktion der Insektizid- und Fungizid-Aufwandmenge um 40–70% ohne Einbußen bei der Wirkung erreicht werden (Hodel et al., 2019; Keller et al. 2020, Haberey et al., 2021). Die Fahrgeschwindigkeit und die Arbeitsbreite des Prototyps liegen deutlich unter

denen von konventionellen Verfahren zur mechanischen Unkrautbekämpfung. Diese beiden Kenngrößen haben erheblichen Einfluss auf den Arbeitszeitbedarf und damit auf die Wirtschaftlichkeit einer Technologie.

Im Fokus der arbeitswirtschaftlichen Untersuchungen stand der Vergleich zwischen der neuen digitalen Technologie für die Hackarbeiten und der herkömmlichen mechanischen Unkrautbekämpfung mit einem konventionellen Hackgerät, wie die in der Praxis verbreiteten Scharhackgeräte mit halbstarren oder flexiblen Zinken für die Bearbeitung zwischen den Reihen. Begleitend zu den technischen Versuchen wurden Arbeitsstudien durchgeführt. Ziel der Untersuchung war es zum einen aufzuzeigen, welchen Spielraum es gibt, um die Leistung zu beeinflussen, zum anderen Erkenntnisse über die Arbeitsweise der Anwenderinnen und Anwender mit einer neuen digitalen Technologie zu gewinnen.

2 Material und Methoden

Datenerfassung

Im ersten Projektjahr (2018) wurden vor allem Testfahrten zur Ermittlung der technischen Leistung und zur Optimierung des Einsatzes des Prototyps unter Praxisbedingungen durchgeführt (Wullschleger et al., 2020), die nicht für eine Analyse des Arbeitsablaufes geeignet sind. Beginn der Zeitstudienreihe war im Jahr 2019. Die Datenerhebung erfolgte mittels Videoaufnahmen. Die Zeitstudien in 2021 sollten vor allem dazu dienen, die ersten Ergebnisse aus 2019 und 2020, als noch technische Optimierungen an dem Prototyp durchgeführt wurden, zu validieren. Durch die schwierigen Witterungsbedingungen in 2021 lagen die verfügbaren Feldarbeitstage jedoch deutlich unter dem langjährigen Mittel. Deshalb konnten verschiedene Parameter auf den Arbeitsablauf, wie beispielsweise die Arbeitsperson, die Kultur oder das Wachstumsstadium nicht gezielt festgelegt werden. Der Einfluss dieser Parameter kann in diesem Bericht demzufolge nur beschreibend diskutiert werden.

Auf dem Pilotbetrieb wurden Arbeitsbeobachtungen in Form von Videoaufnahmen während der Arbeitserledigung resp. den Feldüberfahrten mit dem Prototyp erstellt. Die Termine für die Zeitstudien ergaben sich aus den vom Betriebsleiter als geeignet eingestuft Zeitpunkten zur Kulturbehandlung. Die Videoaufnahmen wurden mit der spezialisierten Software für Zeitstudien MEZA (Fa. DRIGUS Systeme GmbH Dortmund, Deutschland) ausgewertet. Die Zeitstudien wurden in Form von Einzelzeitmessungen mit genau definierten Anfangs- und Endpunkten durchgeführt (gemessen in cmin = 1/100 min). Die Erfassung der Arbeitszeiten erfolgte auf Arbeitselementebene (Standardmethode nach REFA, 1978).

Modellkalkulation

Das Arbeitsablaufmodell für das konventionelle Hacken wurde als Grundlage verwendet und mit den neu erhobenen Arbeitselementen modifiziert. Dieses Arbeitsablaufmodell enthielt alle Arbeitselemente, die in Verbindung mit dem Arbeitsverfahren stehen.

Die entsprechenden Planzeiten für jedes Arbeitselement wurden in der Arbeitselementdatenbank von Agroscope fortgeschrieben und standen anschliessend für die Modellierung des Arbeitszeitbedarfs unterschiedlicher Verfahrensvarianten in einem Modellkalkulationssystem (Schick, 2006) zur Verfügung. Aus früheren Untersuchungen existierte bereits ein Kalkulationsmodell für Hackarbeiten in Zuckerrüben, das als Grundlage für die Modellierung und den Vergleich mit dem Prototyp verwendet wurde. Mit dem auf das kameragesteuerte Hacken angepassten Modell konnten u.a. Leistung, Zeitarten und Einflussfaktoren analysiert werden.

Modellannahmen

Für die Modellierung des Arbeitszeitbedarfs wurde eine 1 ha grosse Parzelle definiert. Als Systemgrenze wurde der Feldrand festgelegt. Weitere Annahmen sind in Tabelle 1 dargestellt.

	Mech. Hackgerät	Hackroboter
<i>Parzellengrösse [ha]</i>	1	
<i>Parzellenlänge [m]</i>	200	
<i>Parzellenbreite [m]</i>	50	
<i>Arbeitsbreite [m]</i>	3	1.5
<i>Fahrstrecke [m]</i>	3000	5200
<i>Anzahl Wendevorgänge [n]</i>	14	25
<i>Fahrgeschwindigkeit [km/h]</i>	6.5	1.0

Tabelle 1: Modellannahmen für die arbeitswirtschaftlichen Kalkulationen

3 Ergebnisse

3.1 Arbeitszeitbedarf für das Hacken von Gemüsekulturen

Zunächst wurde der jeweilige Arbeitsablauf für die Varianten „Hackroboter“ und mechanisches „Scharhackgerät“ miteinander verglichen (Abbildung 1). Wie zu erwarten, ergibt sich der wesentliche Unterschied im Arbeitszeitbedarf durch die Ausführungszeit, die wiederum hauptsächlich von der Fahrgeschwindigkeit und der Arbeitsbreite beeinflusst wird (siehe 3.2 und 3.3).

Die Ausführungszeit beträgt für den Hackroboter mit 3,47 AKh/ha rund das 7,5-fache der Ausführungszeit für das Scharhackgerät mit 0,46 AKh/ha. Die Nebenzeit für das Wenden

ist aufgrund der geringeren Arbeitsbreite rund doppelt so hoch, wirkt sich aber nur geringfügig auf den Gesamtarbeitszeitbedarf aus.

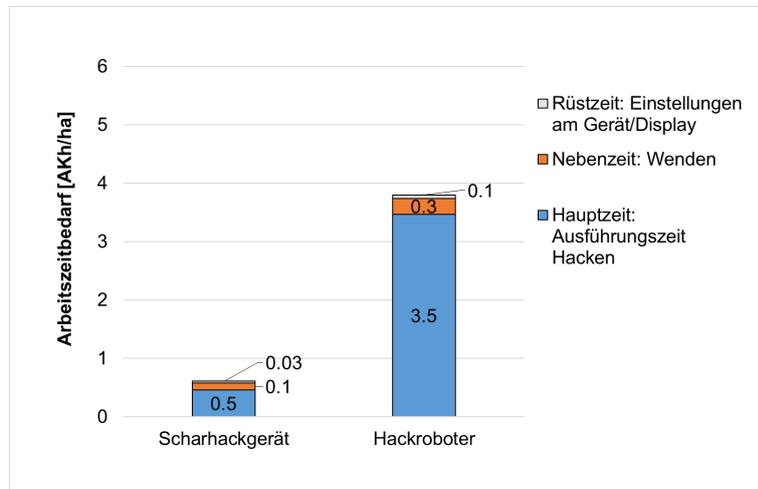


Abbildung 1: Vergleich des Arbeitszeitbedarfs für Unkrautregulierung zwischen einem konventionellen Scharhackgerät (Arbeitsbreite: 3 m, Fahrgeschwindigkeit: 6.5 km/h) und dem Prototyp (Arbeitsbreite: 1.5 m, Fahrgeschwindigkeit: 1.5 km/h) unter Berücksichtigung der Zeitarten (standardisierte Parzelle).

In den Rüstzeiten ist bei der Variante „Hackroboter“ u.a. berücksichtigt, dass zum Arbeitsbeginn zwei AK zugegen sind, um die Einstellungen vorzunehmen. Eine Person befindet sich auf dem Traktor, eine weitere Person am Hackgerät. Dies und die zusätzlich benötigte Arbeitszeit für die Einstellungen am Display können jedoch auf die Gesamtzeit betrachtet, vernachlässigt werden. Mit der Variante „Hackroboter“ wird eine Arbeitsleistung von 0,26 ha/h erreicht im Vergleich zu 1,64 ha/h mit der Variante „Scharhackgerät“.

3.2 Einfluss der Fahrgeschwindigkeit auf den Arbeitszeitbedarf für das Hacken

Mittels Arbeitselementmethode ist es möglich zu überprüfen, ob die im Display des Traktors angezeigte Fahrgeschwindigkeit über längere Strecken realisiert werden kann. Hierfür wurden die Einzelzeiten für das Arbeitselement „Hacken“, das die Hauptzeit ausmacht, anhand der gefahrenen Strecke analysiert. In Abbildung 2 ist dargestellt, welche Geschwindigkeiten in den unterschiedlichen Kulturen erreicht wurden und wie sie sich auf den Arbeitszeitbedarf je Hektare auswirken.

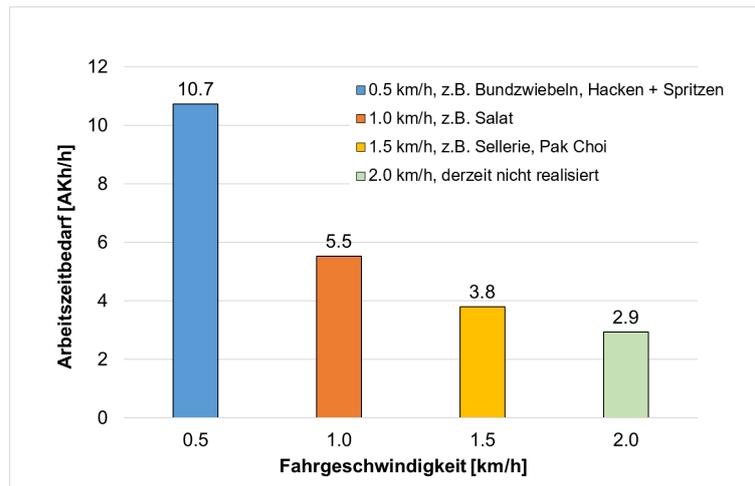


Abbildung 2: Vergleich des Arbeitszeitbedarfs für Unkrautregulierung mit dem Hackroboter bei unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten (Arbeitsbreite: 1.5 m, standardisierte Parzelle).

Mit einer Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit von 0,5 auf 1,0 km/h kann der Arbeitszeitbedarf um 49% gesenkt werden, mit einer Erhöhung von 1 auf 2 km/h sind es 47%. Störungen sind in dieser Berechnung nicht berücksichtigt. Im Projektverlauf hat sich die Zuverlässigkeit des Hackroboters stetig verbessert, trotzdem kam es hin und wieder zu Unterbrechungen, die auf den Prototyp zurückzuführen sind (vgl. 3.4.1).

3.3 Einfluss der Arbeitsbreite auf den Arbeitszeitbedarf für das Hacken

Auch die Arbeitsbreite hat einen direkten Einfluss auf den Arbeitszeitbedarf (Abbildung 3). Mit einer Verdoppelung der Arbeitsbreite von 1,5 m auf 3 m kann der Arbeitszeitbedarf um 42%, mit einer Verdreifachung von 1,5 m auf 4,5 m um 61% gesenkt werden.

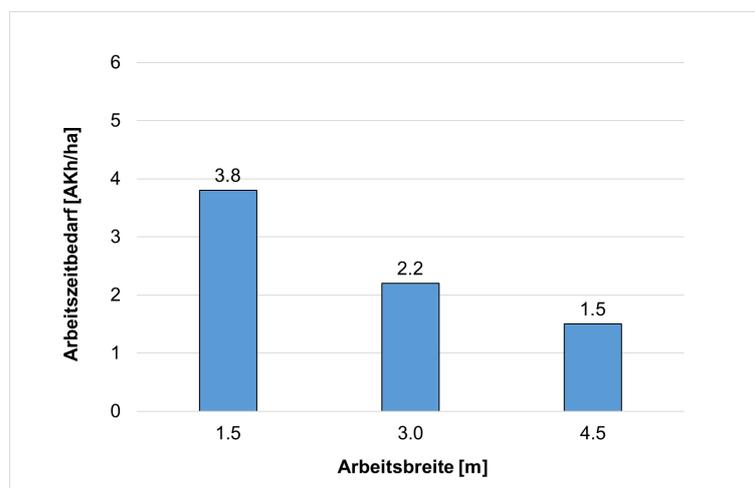


Abbildung 3: Vergleich des Arbeitszeitbedarfs für Unkrautregulierung mit dem Hackroboter bei unterschiedlichen Arbeitsbreiten (Fahrgeschwindigkeit: 1.5 km/h, standardisierte Parzelle).

3.4 Weitere Beobachtungen

Störungen

Während der Zeitstudien konnten neben den planmässigen Arbeitsabläufen auch verschiedene Arten von Störungen beobachtet werden, die am Ende der Projektdauer mit dem Betriebsleiter diskutiert wurden. Zwei Beispiele sollen hier erwähnt werden. Bei der Überfahrt einer nassen Stelle auf dem Feld wurde das Hackgerät nicht rechtzeitig ausgehoben. In der Folge löste sich ein Schar und fiel ab. Die Ursache hierfür war darauf zurückzuführen, dass es sich bei dem untersuchten Gerät um einen Prototyp handelt, bei dem im Projektverlauf nachträglich Hack- und Spritzelemente modifiziert und dann angeschraubt wurden. Durch die Vibrationen kam es vor, dass sich Schrauben lösten. Zukünftig könnten manche Elemente angeschweisst statt angeschraubt werden, um solche Defekte zu vermeiden.

Nicht alle Störungen waren jedoch auf den Prototyp zurückzuführen. Bei einer anderen Zeitstudie wurden Kulturpflanzen beim Hacken ausgerissen, weil ein Druckluftventil blockiert war. Dadurch haben sich die Hackmesser nicht zum richtigen Zeitpunkt geschlossen. Solche Fehler müssen von der Arbeitsperson rechtzeitig bemerkt werden, damit es nicht zu grösseren Verlusten kommt. Diese Art von Störung kann sich auch bei handelsüblichen sensorgesteuerten Hackgeräten ergeben.

„Display bedienen“ – Umgang mit digitaler Technologie

Monitore mit denen beispielsweise Fahrerassistenzsysteme in Traktoren überwacht werden, haben bereits vor 20 Jahren Einzug in die Fahrerkabinen gehalten. Im Rahmen der Untersuchung interessierte, wie Anwenderinnen und Anwender mit der speziellen Software zur Einstellung der erforderlichen Kultur- und Parzellen-Informationen umgehen.

In den Zeitstudien konnten vier Personen bei der Bedienung beobachtet werden. Auswertungen haben gezeigt, dass die Häufigkeit und Dauer, mit der das Display während der Arbeit bedient resp. die Informationen abgelesen wurden, im Projektverlauf abgenommen haben. Zudem konnte festgestellt werden, dass erfahrene Arbeitspersonen generell seltener und kürzer die Anzeigen auf dem Monitor zur Überwachung der Funktionen nutzen. Auch der sprachliche Aspekt spielt eine Rolle. Die Sprache der Software war deutsch. Eine nicht deutschsprachige Arbeitsperson hatte trotz der Piktogramme Schwierigkeiten die erforderlichen Einstellungen vorzunehmen. Daraus ergab sich beim Arbeitsbeginn eine Verzögerung. Für die Bediensoftware sind verschiedene Sprachen verfügbar. Die Umstellung auf eine andere Sprache kann aber derzeit nicht auf dem Traktor am Display, sondern nur am PC im Büro vorgenommen werden.



Abbildung 4: Das Display enthält neben dem Fenster für die Überwachung der Bildanalyse (hier schwarzer Bereich, kleines Bild) zahlreiche Bedienfunktionen, die mit Piktogrammen bezeichnet sind.

4 Diskussion

Im Projekt „Ressourcenschonender, nachhaltiger Pflanzenschutz im Gemüsebau durch kameragesteuerte Pflanzenschutzroboter“ konnte gezeigt werden, dass die Unkrautbekämpfung und die Spotspraying-Technik mit dem Prototyp funktionieren. Die Kulturpflanzen wurden präzise behandelt. Gleichzeitig konnte in und zwischen den Reihen gehackt und so Herbizid eingespart werden (Haberey et al., 2021).

In einer Umfrage von Agroscope wurden Experten zur Technologienutzung im Feldgemüsebau befragt (Ammann, 2021). Die Teilnehmenden waren sich einig, dass Roboter für das Hacken in Acker- und Gemüsekulturen in Zukunft vermehrt an Bedeutung gewinnen werden. Es wird von einem Anstieg von derzeit ca. 10 % aller Betriebe, die digital gestütztes Hacken einsetzen, auf über 50 % bis in 10 Jahren ausgegangen. Neben der Ressourceneinsparung wurden u.a. auch die Arbeitszeiteinsparung und die Einhaltung der Gesetze als wichtige Gründe für die Nutzung genannt. Gründe, die dagegensprechen, sind die hohen Kosten, Störungsanfälligkeit und mangelndes Fachwissen. Die Experten sehen Lösungen vor allem in der Ausbildung sowie in der Unterstützung bei der Einführung, beispielsweise durch Felddemonstrationen und Praxisnähe und nicht zuletzt in finanzieller Unterstützung für die Nutzerinnen und Nutzer.

Die Ergebnisse der vorliegenden arbeitswirtschaftlichen Untersuchung zeigen einerseits, dass diese neue digitale Technologie weder die Fahrgeschwindigkeiten von herkömmlichen mechanischen Hackgeräten erreicht, noch können derzeit Arbeitsbreiten von 3 m, wie beispielsweise bei Scharhackgeräten üblich (Groher, 2020), oder mehr realisiert wer-

den. Aus arbeitswirtschaftlicher Sicht wird zwar durch den Wegfall des manuellen Nachhackens die menschliche Arbeit deutlich erleichtert. Die geringe Schlagkraft und somit die geringe Wirtschaftlichkeit sind jedoch limitierende Faktoren für eine erfolgreiche und breite Markteinführung. Die Untersuchungen haben aber auch gezeigt, in welchem Umfang Potenzial für eine Reduktion des Arbeitszeitbedarfs und dadurch eine höhere Flächenleistung gegeben ist.

Neben Schlagkraft und Wirtschaftlichkeit können auch andere Anreize dazu führen, dass eine neue Technologie den Schritt in die Praxis schafft. Viele Pflanzenschutzmittel haben inzwischen massive Umweltauflagen in Bezug auf Drift und Abschwemmung. Die Schutzziele im Bereich Umwelt werden immer umfassender und komplexer. Es ist zu erwarten, dass in Zukunft weitere und noch striktere Auflagen verfügt werden.

Im Hinblick auf die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit dieser neuen Technologie sind auch die Politik und die Verbraucher gefragt, seitens der Politik durch entsprechende Steuerung wie beispielsweise die Aufnahme der Spotspraying-Technik in die „Weisungen betreffend die Maßnahmen zur Reduktion der Risiken bei der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln“, und seitens der Verbraucher durch die Bereitschaft, für umweltschonendere Produktion einen höheren Preis zu bezahlen.

5 Schlussfolgerungen

Für die Pflanzenschutzmittelreduktion hat sich die neue digitale Technologie in den Untersuchungen als vielversprechend erwiesen. Bei der Entwicklung bis zur Praxisreife ist aber die Betrachtung des gesamten Systems von Bedeutung, also auch die Berücksichtigung von arbeitswirtschaftlichen Aspekten. Aktuell ist diese Technologie noch nicht in der Lage, die menschliche Arbeit zu reduzieren. Das Potential ist jedoch vorhanden. In einem Folgeprojekt sollte aus arbeitswirtschaftlicher Sicht vor allem die Erhöhung der Schlagkraft im Fokus stehen. Zudem wäre es wünschenswert, wenn auch die aktuell nicht optimale Bedienerfreundlichkeit des Displays verbessert würde.

Dank

Das Projekt „Ressourcenschonender, nachhaltiger Pflanzenschutz im Gemüsebau durch kameragesteuerte Pflanzenschutzroboter“ wurde gefördert durch AgriQnet (Netzwerk aus Schweizer Bauernverband, Swiss Food Research, dem Verein Qualitätsstrategie und dem Schweizerischen Bundesamt für Landwirtschaft) gestützt auf die Verordnung vom 23. Oktober 2013 über die Förderung von Qualität und Nachhaltigkeit in der Schweizer Land- und Ernährungswirtschaft (QuNaV).

Die Autorinnen danken den Projektpartnern des Bildungs-, Beratungs- und Konferenzzentrums "INFORAMA" des Kantons Bern und des Landwirtschaftlichen Beratungszentrum des Kantons Freiburg für ihre Unterstützung bei der Datenerhebung im Feld. Ein

herzlicher Dank gilt den Vertreterinnen und Vertretern aus der Praxis, den Beratungsdiensten und den Forschungskolleginnen und -kollegen von Agroscope für ihre fachlichen Inputs bei der Zusammenstellung der Modellannahmen.

Literaturverzeichnis

Ammann J., 2021. Einsatz digitaler Technologien im Freilandgemüsebau - Quo vadis. In: 44. Agrarökonomie-Tagung 05.10.2021, Agroscope Tänikon. <https://link.ira.agroscope.ch/de-CH/publication/47398>

Groher T., Heitkämper K., Umstätter C., 2020. Stand der Mechanisierung in der Schweizer Landwirtschaft, Teil 1: Pflanzenproduktion. Agroscope Transfer, 351, 1–123. <https://link.ira.agroscope.ch/de-CH/publication/44574>

Haberey P., Hodel D., Collet L., Bucher C., Anken T., Total R., Keller M. 2021. Efficiency evaluation of automated insecticide spot spraying in lettuce and bok choy fields. In: Precision agriculture '21. June 25, Hrsg. John V. Stafford, Wageningen Academic Publishers. 2021, 121–128.

Hodel D., Collet L., Steiner R., Bucher C., Möri H., Wyssa T., Duckert F., Hauenstein S., Matter R., Anken T., Total R., Keller M., 2020. Auf dem Weg zu einem nachhaltigen Pflanzenschutz: Einzelpflanzenbehandlung in Pak-Choi mit dem Steketee Pflanzenschutzroboter.

Keller M., Haberey P., Hodel D., Collet L., Steiner R., Bucher C., Möri H., Wyssa T., Duckert F., Hauenstein S., Matter R., Anken T., Total R., 2021. Spot Spraying im Gemüsebau: Deutliche Pflanzenschutzmittelreduktion möglich, aber anspruchsvoll. Agroscope Transfer, 353, 2020, 1–2.

REFA Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V. (1978). Methodenlehre des Arbeitsstudiums. Teil 2 Datenermittlung. Carl Hanser Verlag, München.

Schick, M., 2006. Dynamische Modellierung landwirtschaftlicher Arbeit unter besonderer Berücksichtigung der Arbeitsplanung. Habilitationsschrift, Ergonomia-Verlag, Stuttgart.

Wullschleger G., Collet L., Steiner R., Bucher C., Möri H., Wyssa T., Duckert F., Keller M., Matter R., Anken T., Total R., Keller M., 2020. Auf dem Weg zu einem nachhaltigen Pflanzenschutz: Einzelpflanzenbehandlung in Salat mit dem Steketee Pflanzenschutzroboter. Hrsg. Agroscope, Wädenswil. Mai, 2020, 1 S.

Zur Einbindung des Waidwerks in cyber-physische Systeme der Agrar- und Forstwirtschaft – Online-Studie unter Jäger*innen

On the integration of hunting in cyber-physical systems of the agricultural economy – Online study among hunters

Prof. Dr.-Ing. Dr. rer. medic. Peter Rasche

*Juniorprofessur für Digitalisierung in der Gesundheitsversorgung, Abteilung für Allgemeinmedizin der Ruhr-Universität Bochum, Universitätsstraße 150, D-44801 Bochum
E-Mail: Peter.Rasche@rub.de*

Zusammenfassung

Hintergrund. Das Waidwerk ist ein fester Bestandteil der Agrar- und Forstwirtschaft. In ihrer gesetzlich verankerten Funktion hegen und pflegen Jäger*innen das Wild und verantworten damit den Schutz von Agrar- und Forstflächen. Im Zuge einer zunehmenden Digitalisierung der Agrar- und Forstwirtschaft gilt es zu ergründen, ob und wie das Waidwerk an und in diese digitale Entwicklung eingebunden werden kann.

Zielsetzung. Ziel dieser Studie war die Untersuchung des Stands der Digitalisierung im deutschen Waidwerk und die Identifikation relevanter Funktionen einer app-basierten Schnittstelle für Jäger*innen an die cyber-physischen Systeme der Agrar- und Forstwirtschaft.

Methodik. Aufbauend auf zwei Tiefeninterviews mit Jäger*innen wurde ein Fragebogen mit 33 Fragen entwickelt, welche sich in drei Themenbereiche gliederten (Demographische und jagdliche Angaben, Nutzung digitaler Hilfsmittel bei der Jagdausübung und Bewertung potentieller Funktionen einer app-basierten Schnittstelle zu cyber-physischen System der Agrar- und Forstwirtschaft). Der Fragebogen wurde in Sosci-Survey implementiert und im Zeitraum Januar bis Februar 2021 erhoben. Die Distribution fand via E-Mail und Facebook-Aufrufen in relevanten Nutzergruppen statt. Insgesamt haben 409 Personen die Umfrage aufgerufen. 198 Personen haben in die Studienteilnahme eingewilligt (Rekrutierungsquote 48,4%) und 111 vollständige Fragebögen konnten erhoben werden (Ausschöpfungsquote 56,1%).

Ergebnisse. Insgesamt konnten 111 Fragebögen ausgewertet werden (16,2% weiblich; Durchschnittsalter 41,44 Jahre; Durchschnittlich 13,6 Jagdjahre; regelmäßige Smartphonenu*innen). 20% der Teilnehmenden nutzen bereits digitale Anwendungen zur Abbildung eines „Digitalen Zwilling“ des Jagdreviers auf einem Smartphone. Hinsichtlich der app-basierten Schnittstellengestaltung wurden maßgeblich Funktionen gewünscht, welche die Organisation, Dokumentation und den Informationsaustausch innerhalb eines

Jagdreviers fördern. Weitere relevante Funktionen umfassten die Einbindung von Prozessinformationen aus der Agrar- und Forstwirtschaft, wie zum Beispiel Echtzeitdaten zu geplanten oder aktuell laufenden Arbeitseinsetzen und die Vereinfachung des Datenaustausches mit Ordnungsbehörden. Mit diesen Funktionen verbanden die Teilnehmenden den Wunsch einer vereinfachten Kommunikation und die Erlangung möglichst aktueller Informationen aufgrund der dynamischen Arbeitsplanung in der Agrar- und Forstwirtschaft. In Bezug auf Ordnungsbehörden steht eine Verbesserung des Informationsaustausches zum Beispiel durch die Bereitstellung von Reviergrenzen zur Bestimmung der Zuständigkeit bei Wildunfällen im Fokus.

Diskussion. Die Ergebnisse dieser Onlineumfrage zeigen, dass Jäger*innen bereits digitale Hilfsmittel im Rahmen ihrer jagdlichen Tätigkeit nutzen. Bisher stehen diese Systeme noch am Anfang ihrer Entwicklung. Ein durchgängiges digitales System zwischen allen drei Entitäten (Agrar-, Forstwirtschaft und Waidwerk) konnte im Rahmen dieser Studie nicht identifiziert werden, wird aber von Seitens der Jäger*innen gewünscht. Durch diese Verknüpfungen kann der digitale Zwilling in der Agrar- und Forstwirtschaft deutlich umfassender und mit Blick auf den Einfluss des Wildes präziser ausgestaltet werden.

Praxisfazit. Im Waidwerk vollzieht sich eine digitale Transformation. Eine Einbindung dieser Stakeholdergruppe in die weitere Entwicklung cyber-physischer Systeme in der Agrar- und Forstwirtschaft ist mit Blick auf die gesetzliche und traditionelle Verknüpfung der drei Bereiche anzustreben. Durch den intensiven Datenaustausch zwischen allen Entitäten können Prozesse vereinfacht und effektiver gestaltet werden und damit die Arbeitsbelastung bei gleichzeitiger Steigerung des Arbeitserfolgs gesenkt werden.

Deskriptoren: Jagd, Waidwerk, Digitalisierung, cyberphysikalische Systeme

Abstract

Background. Hunting is an integral part of agriculture and forestry. In their legally enshrined function, hunters care for game and are thus responsible for the protection of agricultural and forest areas. In the course of the increasing digitalisation of agriculture and forestry, it is important to find out whether and how hunting can be integrated into this digital development.

Objective. The aim of this study was to investigate the state of digitalisation in the German hunting sector and to identify relevant functions of an app-based interface for hunters to the cyber-physical systems of agriculture and forestry.

Methodology. Based on two in-depth interviews with hunters, a questionnaire with 33 questions was developed, which was divided into three topics (demographic and hunting data, use of digital tools for hunting and evaluation of potential functions of an app-based interface to cyber-physical systems of agriculture and forestry). The questionnaire was implemented in Sosci-Survey and collected between January and February 2021. The distribution was done via email and Facebook appeals in relevant user groups. A total of

409 people accessed the survey. 198 persons agreed to participate in the study (recruitment rate 48.4%) and 111 complete questionnaires were collected (completion rate 56.1%).

Results. A total of 111 questionnaires could be evaluated (16.2% female; average age 41.44 years; average 13.6 years of hunting; regular smartphone users). 20% of the participants already use digital applications to create a "digital twin" of the hunting ground on a smartphone. With regard to the app-based interface design, functions that promote the organisation, documentation and exchange of information within a hunting ground were desired. Other relevant functions included the integration of process information from agriculture and forestry, such as real-time data on planned or current work operations and the simplification of data exchange with regulatory authorities. The participants associated these functions with the desire to simplify communication and to obtain the most up-to-date information possible due to the dynamic work planning in agriculture and forestry. With regard to law enforcement agencies, the focus is on improving the exchange of information, for example by providing district boundaries for determining responsibility in the event of wildlife accidents.

Discussion. The results of this online survey show that hunters already use digital tools in their hunting activities. So far, these systems are still at the beginning of their development. An integrated digital system between all three entities (agriculture, forestry and hunting) could not be identified in this study, but is desired by hunters. Through such linkages, the digital twin in agriculture and forestry can be made much more comprehensive and more precise with regard to the influence of game.

Practical conclusion. A digital transformation is taking place in the hunting sector. The integration of this stakeholder group in the further development of cyber-physical systems in agriculture and forestry is to be strived for in view of the legal and traditional linkage of the three areas. Intensive data exchange between all entities can simplify processes and make them more effective, thus reducing the workload while increasing the success of the work.

Keywords: *Hunting, Digitalization, cyber-physical systems*

1 Einleitung

Die stetig steigenden Kosten bei einem zunehmenden Kostendruck auf Handels- und Verbraucherseite führen in der Agrar- und Forstwirtschaft dazu, dass eine fortwährende Optimierung der Prozesse und Abläufe vorgenommen wird, um die Kostenstruktur zu verschlanken und potentielle Risiken in Folge von Umwelteinflüssen (Wetterbedingungen, Bodenbeschaffenheiten, etc.) zu minimieren. Die Digitalisierung in Form Cyber-physischer Systeme (CPS) ist dabei ein zentrales Element. Mittels dieser Systeme kann in der Agrar- und Forstwirtschaft die notwendige Datengrundlage zur Schaffung digitaler

Zwillinge geschaffen werden. Mittels dieser können der Aufwuchs und die damit verbundenen Prozesse digital vorausgeplant und mittels Simulationen optimiert werden. Im Ergebnis kann maßgeschneidertes Saatgut für den Acker, als auch Aussaat-, Dünge- oder Erntezeitpunkte optimiert und vorausgeplant werden, um den Ertrag der Anbauflächen maßgeblich zu steigern. Durch die digitale Anbindung von Landmaschinen, kann neben einer Arbeitsplanung auch der Ressourceneinsatz, beispielsweise von Düngemitteln, optimiert werden. Ein Aspekt der in diesen digitalen Systemen zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht berücksichtigt wird, ist das Waidwerk, als dritte Komponente neben der Agrar- und Forstwirtschaft.

Die Jagd ist eine seit Jahrtausenden ausgeübte Tätigkeit, welche auch in unserer heutigen Zeit eine wichtige Aufgabe zu kommt. Jägerinnen und Jäger sind in Deutschland per Gesetz mit dem Schutz von agrar- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen betraut (Ammer et al. 2010). Der Stellenwert der Jagd in der deutschen Agrar- und Forstwirtschaft und damit der Versorgungsstrukturen in Deutschland hat jüngst die Corona Pandemie gezeigt. Selbst in Phasen des vollständigen öffentlichen Lockdowns war die Jagdausübung im Zuge der Einschätzung als systemrelevante Tätigkeit erlaubt.²

Trotz des damit offensichtlichen Stellenwerts der Jagd in den Augen des Gesetzgebers, berücksichtigen die gängigen digitalen Systeme der Agrar- und Forstwirtschaft die Jagd nicht. Eine telefonische Befragung von neun Unternehmen und Forschungseinrichtungen der Agrar- und Forstwirtschaft ergab, dass lediglich das vom RIF Institut für Forschung und Transfer e.V. in der Entwicklung befindliche System zur Schaffung eines digitalen Zwillings von Forstflächen die Jagd in Form von Datenerhebungen, wie beispielsweise Verbisschäden, berücksichtigt.³ Trotz dieses Ergebnisses wurde von allen befragten Anbietern oder Expert*innen die Einbindung des Waidwerks und damit auch jagdlich relevanter Daten als vorteilhaft bewertet.

Parallel zu dieser Entwicklung in der Agrar- und Forstwirtschaft zeigt sich, dass auch das Waidwerk eine Digitalisierung durchläuft. Die Anzahl an Softwareprodukten für die Schaffung eines digitalen Zwillings eines Jagdreviers steigt stetig. Die Informationen dieser Zwillinge reichen dabei von einem Lageplan der Ansitzeinrichtungen über die Dokumentation des Anblicks mittels Text, Fotos oder gar Videos bis hin zur Hinterlegung von getätigten Abschüssen. Hierbei kann dieser digitale Zwilling mit den Mitjäger*innen geteilt und gemeinschaftlich editiert werden.

² Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2017). Daten und Fakten der Landwirtschaft. Online abgerufen am 01.03.2021 unter https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Daten-und-Fakten-Landwirtschaft.pdf?__blob=publicationFile&v=6#:~:text=Die%20landwirtschaftlich%20genutzte%20Fl%C3%A4che%20betrug,der%20Getreideanbau%20die%20gr%C3%B6%C3%9Fte%20Bedeutung.

³ Die telefonische Befragung erfolgte im Januar 2021. Es wurden zwei Landmaschinenhersteller (Claas / 365Farmnet; New Holland / PLM Viewer), zwei Saatgut- & Düngemittelhersteller (Bayer / CropScience; BASF / xarvio HEALTHY FIELDS) und drei spezialisierte Softwareanbieter (Farmblick, Top Farmplan, My Data Plant) und jeweils ein Experte der Vergleichsplattform support-farm.de und des RIF Institut für Forschung und Transfer e.V. befragt.

Ausgehend von diesen Entwicklungen, war es das Ziel dieser Studie den aktuellen Stand der Digitalisierung von Jäger*innen in Deutschland zu ergründen und die Machbarkeit der digitalen Anbindung von Jägerinnen und Jägern an die bestehenden cyber-physischen Systeme der Agrar- und Forstwirtschaft zu bestimmen.

2 Material und Methoden

2.1 Design

Zur Untersuchung der oben genannten Forschungsfragen wurde eine offene, selbstgewählte, webbasierte Umfrage konzipiert. Die Umfrage wurde in deutscher Sprache entworfen und für deutschsprachige Internet-Nutzer entwickelt. Eine webbasierte Umfrage wurde verwendet, da sie eine geeignete Möglichkeit ist, Personen mit bestimmten Eigenschaften oder Interessen, d. h. die Gruppe der Jägerinnen und Jäger, in kurzer Zeit und ohne räumliche Einschränkungen zu erreichen (Baur und Blasius 2014; Best und Krueger 2004). Ausgehend von den Forschungsfragen bestand der Hauptzweck der Umfrage darin den aktuellen Stand der Digitalisierung im Zuge der Jagdausübung zu bestimmen und Daten zu den erwarteten Produkteigenschaften einer digitalen Anbindung von Jäger*innen an die cyber-physischen Systeme der Agrar- und Forstwirtschaft zu erheben. Die Erwartungshaltung hinsichtlich der Produkteigenschaften wurde mittels des KANO-Modells untersucht (Kano et al. 1984). Dieses Modell ist eine Präferenzklassifizierungstechnik zur Identifizierung von Nutzeranforderungen und -erwartungen in der frühen Produktentwicklungsphase (Mikulić und Prebežac 2011). Eine ausführliche Darstellung der KANO-Methode und den damit verbundenen Berechnungsmethoden kann Rasche et al. entnommen werden (Rasche et al. 2018).

Demographische Angaben

Zu Beginn des Fragebogens haben alle Teilnehmenden demographische Angaben getätigt. Im Zuge dieser wurde das Geschlecht (m/w/d), das Alter, die Anzahl an Jagdjahren und die Nutzungshäufigkeit eines Smartphones erfragt. Weiterhin wurden Fragen zur Charakterisierung der Jagdmöglichkeiten der Teilnehmenden gestellt.

Stand der Digitalisierung

Im zweiten Teil des Fragebogens wurde der Stand der Digitalisierung des jagdlichen Alltags der befragten Jäger*innen ermittelt. Hierzu wurden offene Fragen formuliert in welchen die Art und Weise der Dokumentation jagdlicher Informationen (Anblick von Wild, Abschüsse, etc.) abgefragt wurden. Weitere offene Fragen behandeln die Informationen und die Weise wie diese innerhalb der Gemeinschaft von Mitjäger*innen bezogen auf die Jagdmöglichkeit ausgetauscht werden. Abschließend wurden geschlossene Fragen zum Einsatz von Drohnen und Wildkameras und der Nutzung von sogenannten Jagd-Apps

gestellt. Unter Jagd-Apps wurden hierbei solche verstanden, welche dazu genutzt werden können, einen digitalen Zwilling des Jagdreviers anzufertigen.

Gestaltung der Anbindung an cyber-physische Systeme

Im dritten und abschließenden Teil des Fragebogens wurden mittels des KANO-Modells 16 potentielle Funktionen einer Schnittstelle zu den cyber-physischen Systemen der Agrar- und Forstwirtschaft randomisiert abgefragt. Die 16 Funktionen wurden aufbauend auf zwei tiefen Interviews mit Jäger*innen entwickelt und durch zwei weitere Jäger*innen im Zuge der Fragebogenentwicklung hinsichtlich des Verständnisses und der Sinnhaftigkeit geprüft. Zur Stärkung des Verständnisses wurden die Funktionen in drei thematische Blöcke (Dokumentation und Kommunikation; Anbindung an CPS der Agrar- und Forstwirtschaft & Einsatz von künstlicher Intelligenz) eingeteilt. Tabelle 1 stellt die untersuchten Funktionen thematisch gruppiert dar.

Tabelle 1. Übersicht der untersuchten Funktionen

Gruppe	Funktion
Dokumentation	F1 – Digitale Revierkarte
	F2 – Liveansicht belegter Ansetzeinrichtungen
	F3 – Wildanblick in einer App dokumentieren
	F4 – Foto des Wildanblicks in der App dokumentieren
	F5 – Autom. Speicherung von Wetterdaten bei Eintragen eines Wildanblicks
Prozessunterstützung	F6 – Funktion zur automatisierten Erstellung eines Jagdtagebuchs
	F7 – Automatisierte Generierung der Streckenliste und digitale Weitergabe an die Behörde
	F8 – Meldung von Wildsichtung durch freigegebene Dritte
	F9 – Erfassung von Stücken mit Wildkrankheiten und Meldung an zuständige Behörde
	F10 - Erfassung von Stücken mit Wildkrankheiten und Meldung an Jäger:innen der Nachbarreviere
Kommunikation	F11 – App fungiert als Funkgerät beim Ansitz
	F12 – App beinhaltet einen Instant Messenger

Verknüpfung mit CPS und Dritten

F13 – Laufende oder geplante Tätigkeiten von relevanten Dritten im Revier einsehen

F14 – Der Reifegrad von Feldfrüchten tagesgenau anzeigen lassen

F15 – Reviergrenzen können an die Polizei und andere Behörden freigegeben werden

Künstliche Intelligenz

F16 – Einsatz künstlicher Intelligenz zur Vorhersage von Wildanblick

2.2 Datenerhebung

Die Daten wurden zwischen dem 27. Januar und dem 28. Februar 2021 erhoben. Der Fragebogen wurde auf einer Sosci-Survey Website programmiert und zur Verfügung gestellt. Die Umfrage wurde als Studie vorgestellt, die die Digitalisierung des Waidwerks untersucht. Alle Teilnehmenden wurden über die Dauer der Befragung, die Datenspeicherung und die Kontaktdaten des leitenden Wissenschaftlers im Vorfeld der Teilnahme informiert. Jeder Teilnehmende entschied sich durch Anklicken des Links zur Umfrage freiwillig für die Teilnahme. Es wurden keine Anreize für die Teilnahme angeboten. Die Umfrage wurde von zwei unabhängigen Personen in Bezug auf Formulierung und technische Funktionalität geprüft. Die Umfrage umfasste 33 Fragen, verteilt auf über 20 verschiedene Seiten. Die Teilnehmenden konnten ihre Eingaben jeweils pro Seite überprüfen, bevor die Antworten abgespeichert wurden.

2.3 Rekrutierung

Die Umfrage richtete sich an Jägerinnen und Jäger in Deutschland. Es wurden keine Ausschlusskriterien oder Screening Fragebögen verwendet. Zur Rekrutierung wurden verschiedene Rekrutierungskanäle genutzt, um ein breites Spektrum an potenziellen Teilnehmenden für diese offene Umfrage zu erreichen. Das Stichprobenverfahren war nicht probabilistisch und die Befragten wurden auf der Grundlage ihrer freiwilligen Teilnahmebereitschaft ausgewählt (Best und Krueger 2004). Die webbasierte Umfrage wurde in einer Facebook-Gruppe für Jägerinnen und Jäger mittels eines Aufrufes zur Teilnahme beworben (Titel der Gruppe: „Junge Jäger“; ca. 22 400 Gruppenmitglieder) und mittels einer E-Mail an befreundete Jäger:innen (ca. 90 Personen) verteilt.

Insgesamt besuchten $n=409$ Einzelpersonen die Website der webbasierten Umfrage. Die Identifizierung der verschiedenen Personen wurde mittels der Sosci-Survey-Software auf der Grundlage des Internet Protokolls (IP) und der Cookie-Funktion durchgeführt. $N=198$

von diesen 409 Besucher*innen haben die Umfrage begonnen. Insgesamt haben 111 Besucher*innen die Umfrage abgeschlossen und den gesamten Fragebogen ausgefüllt. Die Rekrutierungsquote lag somit bei 48,4 % und die Ausschöpfungsquote bei 56,1 %. Die durchschnittliche Dauer für das Ausfüllen der Umfrage betrug etwa 10 Minuten.

2.4 Statistik

Die Daten wurden mit SPSS 27 (IBM, USA) und MatlabR2017b (The MathWorks, USA) analysiert. Die untersuchten Produktmerkmale wurden nach dem KANO-Modell der entsprechenden Kategorie (Begeisterungsmerkmal, Leistungsmerkmal, Basismerkmal, unerhebliches Merkmal, zurückweisendes Merkmal und widersprüchliches Merkmal) zugeordnet. Darüber hinaus wurden die Kategoriestärke und die Gesamtstärke jedes Produktmerkmals berechnet. Für den Fall, dass die Anwendung der Kategorie- und Gesamtstärke-Regel zu einer indifferenten Kategorisierung führte, wurde der Fong-Test durchgeführt. Darüber hinaus, wurden Kundenzufriedenheitskoeffizienten berechnet, um die untersuchten Produktmerkmale hinsichtlich ihres Beitrags zur Zufriedenheit der Nutzenden mit dem potentiellen Produkt zu analysieren.

3 Ergebnisse

3.1 Teilnehmende

Insgesamt konnten 111 Teilnehmer*innen auf Grund eines vollständig ausgefüllten Fragebogens in die Auswertung aufgenommen werden. 16,2% weibliche Teilnehmende konnten rekrutiert werden (16,2 % (18/111) Teilnehmerinnen; 83,8 % (93/111) Teilnehmer). Das Durchschnittsalter betrug 41,44 Jahre, mit einem angegebenen minimalen Alter von 21 Jahren und einem maximalen von 83 Jahren. Im Durchschnitt betrug die Anzahl der Jagdjahre 13,6 Jahre, wobei eine große Spannbreite rekrutiert werden konnte (Min. 0 Jahre; Max. 60 Jahre). Alle Teilnehmer*innen verwenden der eigenen Angabe nach in regelmäßigem Abstand von mindestens allen 2-3 Tagen ein Smartphone.

Hinsichtlich der Jagdgelegenheit gaben 85 der 111 befragten Personen (76,6%) an, dass sie über eine feste Jagdgelegenheit verfügen (16,2 % sind Revierinhaber:innen; 31,5 % gehen in einem Revier mit; 34,2 % verfügen über einen Begehungsschein). 13 Teilnehmende (11,7 %) gaben an, dass sie über keine Jagdgelegenheit verfügen würden und sieben Teilnehmende (6,3 %) gaben an, dass sie lediglich Gesellschaftsjagden besuchen würden.

Von den 85 Teilnehmenden mit Jagdgelegenheit jagen 43,2% in einem Hochwildrevier. Im Durchschnitt beträgt die Anreisezeit zur Jagdgelegenheit 37 Minuten mit einem Minimum von keiner Anreisezeit, da im Revier wohnend, bis hin zu einem Maximum von fünf Stunden. Im Durchschnitt fahren die Teilnehmenden 6,26 Mal pro Monat zur Jagd in die Jagdgelegenheit (Min. 0,2 Mal pro Monat; Max. 25 Fahrten pro Monat).

3.2 Stand der Digitalisierung

Im Rahmen der Abfrage des Stands der Digitalisierung des jagdlichen Alltags von Jägerinnen und Jägern, wurden die offenen Antworten durch einen Experten kodiert. Es zeigte sich, dass die Streckenliste in einem Revier maßgeblich handschriftlich dokumentiert wird (30,6 %, 31/101), gefolgt von einer digitalen Dokumentation mittels Microsoft Excel (22,8 %, 23/101) oder einer Jagd-App (19,8 %, 20/101). Hinsichtlich der Dokumentation des Anblickes von Wild gaben nur wenige Teilnehmende eine explizite Rückmeldung. 12,9 % (13/101) gaben an, dass sie diese Informationen nicht dokumentieren. Weitere 12,9 % (13/101) gaben an, dass sie hierfür eine Jagd-App nutzen würden. Weitere genannte Arten der Dokumentation umfassten, handschriftliche Notizen, Fotos oder Videos, Posten in einer Whats-App-Gruppe oder die mündliche Weitergabe der Information.

Bezogen auf die Kommunikation zeigte sich, dass der Anblick von Wild oder das Fährten des selbigen die maßgebliche Information ist, die Jäger*innen untereinander austauschen (55,4 %, 56/101). Gefolgt vom Austausch von Informationen zu geplanten Ansitzen oder anderen jagdlichen Absprachen (43,5 %, 44/101). Weitere Informationen, die untereinander ausgetauscht werden, sind allgemeine Informationen zum Revier (Wildunfälle, Wildschäden, etc.) mit einer Häufigkeit der Nennung von 27,7 % (28/101), Abschüsse mit einer Häufigkeit der Nennung von 23,7 % (24/101) und Absprachen von Revierarbeiten oder anderen Arbeitseinsätzen mit einer Häufigkeit der Nennung von 17,8 % (18/101). Als häufigstes Kommunikationsmittel wurden Instant Messaging Dienstleister (Whats-App, etc.) von 81,1 % (90/101) der Teilnehmenden genannt. Gefolgt vom persönlichen Gespräch (66,7 %, 74/101), dem Telefonat (56,8 %, 63/101) und dem Austausch via einer gemeinsam genutzten Jagd-App (Jagdgefährten, etc.) (16,2 %, 18/101). Bezogen auf den Personenkreis, mit welchem Informationen ausgetauscht werden, gaben 85,6 % (95/101) der Teilnehmenden an, dass Sie sich mit anderen Jäger*innen über jagdliche Informationen austauschen würden. Gefolgt wurde diese Personengruppe von denen der in der Land- und Forstwirtschaft tätigen Personen mit 62,0 % (61/101), Eigentümer*innen der bejagten Flächen mit 41,4 % (46/101) und Freunden, Verwandten und Bekannten mit 41,4 % (46/101).

Auf die geschlossene Frage des Einsatzes von Drohnen gaben 24,8 % (25/101) der Befragten an, dass sie diese bereits für die Kitzrettung einsetzen. 8,9 % (9/101) gaben an, dass sie Drohnen für die Bestimmung von Wildschäden einsetzen würden. Weitere 7,9 % (8/101) gaben an, dass sie Drohnen auch zur Bestätigung von Wild, beispielsweise im Maisfeld, einsetzen würden.

Bei der geschlossenen Frage nach dem Einsatz von Wildkameras und Kirmeldern gaben 63,4 % (64/101) der Teilnehmenden an, dass Sie Wildkameras mit Speicherchip einsetzen würden. 39,4 % (39/101) der Befragten setzen bereits Wildkameras ein, bei welchen die Bilder automatisch versandt werden. Lediglich 5,1 % (5/101) der Teilnehmenden gab an, dass sie einen Kirmelder einsetzen würden.

Im Zusammenhang mit der Nutzung von Apps im jagdlichen Kontext gaben 93,1 % (94/101) der befragten an, dass sie eine Wetter-App verwenden würden. 70,3 % (71/101) gaben an eine Mondphasen-App zu verwenden und 28,0 % (28/101) gaben an eine Jagd-App zum Reviermanagement zu nutzen. Weitere Apps im jagdlichen Kontext waren Apps zur Verbindung mit einer Wildkamera (7,9 %, 8/101), Apps zur Bereitstellung von digitalem Kartenmaterial (6,9 %, 7/101) oder zur Entfernungsmessung (3,9 %; 4/101).

3.3 Gestaltung der Anbindung an cyber-physische Systeme

Mittels des KANO-Modells konnten alle 16 untersuchten Funktionen eindeutig einer der sechs KANO-Kategorien zugeordnet werden (Begeisterungsmerkmal, Leistungsmerkmal, Basismerkmal, unerhebliches Merkmal, zurückweisendes Merkmal und widersprüchliches Merkmal). Tabelle 2 zeigt die Zuordnung zu den einzelnen Kategorien.

Tabelle 2. Darstellung der Zuordnung der Funktionen zu den KANO-Kategorien

Gruppe	Funktion	KANO-Kategorie
Dokumentation	F1 – Digitale Revierkarte	Leistungsmerkmal
	F2 – Liveansicht belegter Ansinzeinrichtungen	Leistungsmerkmal
	F3 – Wildanblick in einer App dokumentieren	Leistungsmerkmal
	F4 – Foto des Wildanblicks in der App dokumentieren	Unerhabliches Merkmal
	F5 – Autom. Speicherung von Wetterdaten bei Eintragen eines Wildanblicks	Leistungsmerkmal
Prozessunterstützung	F6 – Funktion zur automatisierten Erstellung eines Jagdtagebuchs	Leistungsmerkmal
	F7 – Automatisierte Generierung der Streckenliste und digitale Weitergabe an die Behörde	Leistungsmerkmal
	F8 – Meldung von Wildsichtung durch freigegebene Dritte	Leistungsmerkmal
	F9 – Erfassung von Stücken mit Wildkrankheiten und Meldung an zuständige Behörde	Leistungsmerkmal
	F10 - Erfassung von Stücken mit Wildkrankheiten und Meldung an Jäger:innen der Nachbarreviere	Leistungsmerkmal

Kommunikation

F11 – App fungiert als Funkgerät beim Ansitz	Unerhebliches Merkmal
--	-----------------------

F12 – App beinhaltet einen Instant Messenger	Unerhebliches Merkmal
--	-----------------------

Verknüpfung mit CPS und Dritten

F13 – Laufende oder geplante Tätigkeiten von relevanten Dritten im Revier einsehen	Leistungsmerkmal
--	------------------

F14 – Der Reifegrad von Feldfrüchten tagesgenau anzeigen lassen	Leistungsmerkmal
---	------------------

F15 – Reviergrenzen können an die Polizei und andere Behörden freigegeben werden	Leistungsmerkmal
--	------------------

Künstliche Intelligenz

F16 – Einsatz künstlicher Intelligenz zur Vorhersage von Wildanblick	Unerhebliches Merkmal
--	-----------------------

Alle 16 Funktionen wurden mittels der Entscheidungskriterien des KANO-Modells (Kategoriestärke, Gesamtstärke und Fong-Test) eindeutig zugeordnet. Es zeigte sich, dass die Funktionen zur Kommunikation und die Funktion zur Dokumentation des Wildanblicks mittels eines Fotos für die Teilnehmenden unerhebliche Merkmale waren, welche im Falle einer Implementierung sehr wahrscheinlich nicht genutzt werden würden. Auch der angedachte Einsatz künstlicher Intelligenz zur Vorhersage des Wildanblicks und einem damit einhergehenden Optimierungspotential des Ansitzes wurde als unerheblich kategorisiert. Abbildung 1 stellt die ermittelten Kundenzufriedenheitskoeffizienten der einzelnen Funktionen dar. Ein Wert größer $|0,5|$ stellt einen relevanten Ausschlag in die jeweilige Richtung dar. Da alle grün hinterlegten Funktionen als Leistungsmerkmale identifiziert wurden, zeigt der jeweilige Kundenzufriedenheitskoeffizient, welcher subjektive Gewinn oder Verlust an Kundenzufriedenheit durch die Präsenz oder das Fehlen der jeweiligen Funktion in der Schnittstelle zu erwarten wäre. Die Funktionen zur Gestaltung des Digitalen Zwillinges eines Jagdreviers weisen die höchsten Koeffizienten auf.

Bezogen auf das bevorzugte Endgerät zur Nutzung der Schnittstelle gaben 97,2 % (106/109) der Teilnehmenden an, dass sie hierfür gerne das Smartphone nutzen würden. Weitere 31,2 % (34/109) gaben an, dass Sie die Schnittstelle auch gerne auf einem Computer oder Laptop nutzen wollen würden.

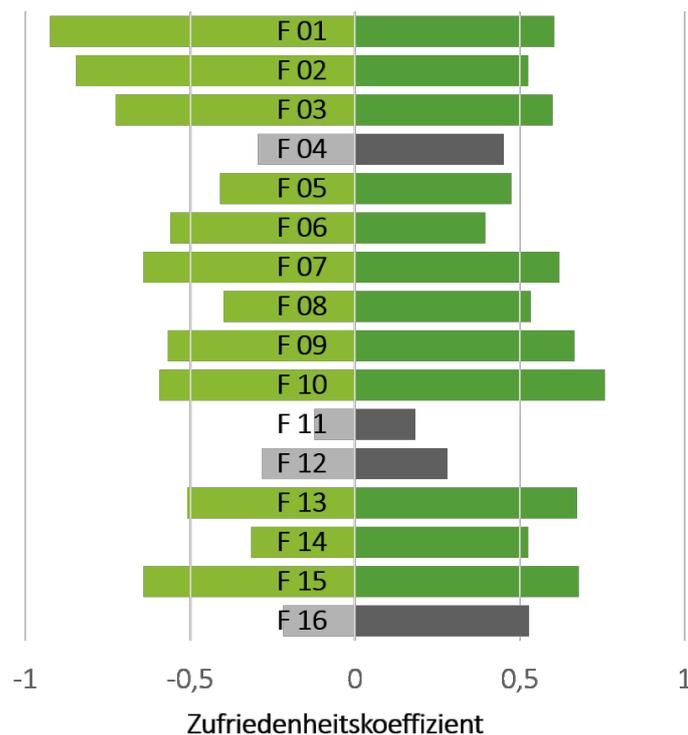


Abbildung 1. Darstellung der ermittelten Kundenzufriedenheitskoeffizienten der einzelnen Funktionen

4 Diskussion

Im Rahmen dieser offenen, selbstgewählten, webbasierten Umfrage unter deutschsprachigen Jägerinnen und Jägern wurde die Frage des Stands der Digitalisierung des jagdlichen Alltags untersucht und ein Konzept zur Gestaltung der Schnittstelle zwischen dem Waidwerk und der Agrar- und Forstwirtschaft mittels des KANO-Modells untersucht.

Die primären Ergebnisse der Umfrage zeigen, dass Jägerinnen und Jäger bereits digitale Hilfsmittel in ihrer jagdlichen Praxis nutzen. Als zentraler Baustein dient Jägerinnen und Jägern das Smartphone, über welches sie mittels geeigneter Apps jagdlich relevante Informationen abrufen (Wetter und Mondphasen; Informationen zur aktuellen Lage im Revier) oder aber auch mittels Instant Messaging Diensten teilen. Ein Drittel der befragten Jägerinnen und Jäger nutzte bereits Jagd-Apps, wie beispielsweise Jagdgefährten oder ähnliches, um mittels eines digitalen Zwillings des Jagdreviers den jagdlichen Alltag zu vereinfachen oder auch zu optimieren. Ein flächendeckender Einsatz dieser Art von Apps konnte nicht identifiziert werden. Ebenso wenig die gemeinschaftliche Nutzung derartiger Systeme durch Jagd-, Agrar- und Forstwirtschaft. Perspektivisch ist jedoch eine Verknüpfung durch die jeweilige digitale Reife der drei Bereiche als möglich zu bewerten.

Bezogen auf die Gestaltung einer solchen Schnittstelle zwischen Jagd-, Agrar- und Forstwirtschaft zeigte sich, dass keines der bisher zur Verfügung stehenden Systeme von Seiten der Agrar- oder Forstwirtschaft das Jagdwesen konsequent einbindet. Lediglich im Bereich der Forstwirtschaft konnte aufbauend auf dem forschungsgetriebenen System

des RIF Institut für Forschung und Transfer e.V. eine initiale Verknüpfung identifiziert werden.

Befragt nach der Ausgestaltung einer app-basierten Schnittstelle zwischen dem Waidwerk und der Agrar- und Forstwirtschaft gaben Jägerinnen und Jäger an, dass diese Schnittstelle primär die Dokumentation jagdlicher Informationen (Wildsichtungen, Abschüsse, Krankheiten, etc.) und den Austausch dieser Informationen mit Grundstückseigentümer*innen und Beschäftigten der Agrar- und Forstwirtschaft vereinfachen sollte. Weiterhin sollte die Schnittstelle so aufgebaut sein, dass relevante Informationen zu im Jagdrevier stattfindenden Arbeitsprozessen mit Bezug zur zugehörigen Agrar- und Forstwirtschaft tagesaktuell geteilt werden. Dies umfasst beispielsweise Termine der Aussaat oder Ernte und zugehörige Terminaktualisierungen durch potentielle Lohnunternehmen, aber auch Informationen zum Reifegrad der Feldfrüchte.

4.1 Limitationen

Die hier beschriebene Studie ist mit mehreren Limitationen versehen ausgehend von ihrem Design und der Durchführung. Durch den explorativen Forschungsansatz in Form der webbasierten selbstgewählten offenen Umfrage, konnte keine zuvor definierte Stichprobe erhoben werden. Entsprechend sind die Altersstruktur, räumlich-geographische Verteilung und auch das Geschlecht mit Blick auf den Ergebnisgehalt dieser Studie als einschränkende Faktoren zu nennen. Eine erneute Befragung könnte ggfs. bei einem differenzierten Rekrutierungsweg zu einem anderen Ergebnis kommen. Weiterhin gilt es die Studie auf die Personengruppe derer in der Agrar- und Forstwirtschaft tätigen angepasst zu erweitern, um ein umfassenderes und abgestimmtes Bild der jeweiligen Digitalisierungsreifegrade zu erhalten und eine Verknüpfung der Bereiche umfassender bewerten zu können. In diesem Zusammenhang ist die Rekrutierung von Personen aus der Agrar- und Forstwirtschaft mit Jagdschein interessant, da sie beide Perspektiven kennen und daher gezielter potentielle Schnittstellen und deren Ausgestaltung aufzeigen könnten. Weiterhin wurden im Rahmen dieser Studie keine technischen, wirtschaftlichen oder organisatorischen Aspekte auf Seiten der cyber-physischen Systeme der Agrar- und Forstwirtschaft untersucht. Es bleibt daher unklar, welches reale Optimierungspotential durch eine digitale Verknüpfung der Agrar-, Forst- und Jagdwirtschaft erzielt werden kann. Abschließend gilt es das eingesetzte KANO-Modell zu diskutieren. Das Abfragekonzept des KANO-Modells war wahrscheinlich für etwa 40 % der Abbrüche der Befragung verantwortlich („Warum soll ich die gleiche Frage zweimal beantworten“). Bei weitergehenden Untersuchungen könnte diesem Problem durch eine eingehendere Erläuterung der Befragungsmethode oder aber durch eine andersartige technische Gestaltung des Fragebogens begegnet werden.

5 Fazit und Ausblick

Zusammenfassend zeigte diese offene, selbstgewählte, webbasierte Umfrage unter 111 deutschsprachigen Jägerinnen und Jägern, dass diese digitale Hilfsmittel im jagdlichen Alltag nutzen. Ausgehend von der digitalen Transformation der Agrar- und Forstwirtschaft kann damit auch dem dritten mit diesen engverknüpften Bereich dem Waidwerk eine digitale Transformation bescheinigt werden. Es scheinen damit alle Voraussetzungen gegeben zu sein, um die „offline“ bereits vorliegende starke Kooperation und Zusammenarbeit zwischen der Agrar-, Forst- und Jagdwirtschaft auch digital abzubilden. Im Rahmen der Untersuchung wurde eine solche Verknüpfung sowohl von befragten der Agrar- und Forstwirtschaft, als auch Jägerinnen und Jägern als positiv bewertet.

Zum jetzigen Zeitpunkt konnte jedoch kein durchgängiges cyber-physisches System identifiziert werden, welche eine durchgehende Verknüpfung der drei Bereiche ermöglicht. Auf Seiten der Agrar- und Forstwirtschaft sind umfassende Systeme mit spezifischem Nutzen für diese Gruppen durch Saatgutanbieter, Landmaschinenhersteller oder aber auch unabhängige Dritte in der Entwicklung. Auf Seiten der Jägerinnen und Jäger sind es vornehmlich unabhängige Softwareanbieter, welche Lösungen für die Digitalisierung des jagdlichen Alltags bereitstellen. Es ist hierbei zu beobachten, dass eine Fokussierung auf jeweils eine Nutzergruppe stattfindet. Entsprechend stellt die Interoperabilität der Systeme eine der maßgeblichen Herausforderungen für eine digitale Prozess- und Datenlandschaft zwischen der Agrar-, Forst- und Jagdwirtschaft dar. Zu beachten ist hierbei auch die sehr heterogene Gruppe potentiell Nutzender. In der Agrar- und Forstwirtschaft werden die im Einsatz befindlichen Systeme vornehmlich in einem betrieblichen Kontext genutzt, wohingegen die Systeme der Jagdwirtschaft vornehmlich von Privatpersonen eingesetzt werden.

Die künftige Entwicklung wird zeigen, ob die digitalen Systeme der drei Bereiche in Folge eines zunehmenden Reife- und Professionalisierungsgrads zusammenwachsen werden. Dieser Prozess konnte durch die Entwicklung neuartiger Produkte und Sensorik (Digitale Ferngläser, etc.) beschleunigt werden. Aber auch der zunehmende Druck zur stetigen Optimierung der Wirtschaftlichkeit von Prozessen und Abläufen könnte das digitale Zusammenwachsen der Bereiche vorantreiben.

Abschließend bleibt festzuhalten, dass die diversen cyber-physischen Systeme in der Agrar-, Forst- und Jagdwirtschaft aktuell maßgeblich für den jeweiligen Nutzendenkreis entwickelt und ausgestaltet werden. Ein durchgängiges digitales System zwischen allen drei Entitäten (Agrar-, Forst- und Jagdwirtschaft) oder aber die Vereinbarung klarer Schnittstellen konnte im Rahmen dieser Studie nicht identifiziert werden. Nichtsdestotrotz kann weiter festgehalten werden, dass neben den bereits vielfach untersuchten Agrar- und Forstwirtschaft auch die Jagdwirtschaft einer digitalen Transformation unterliegt, welche durch Jäger*innen im Einzelnen oder im jagdlichen Verbund der Jagdreviere vorangetrieben wird. Ziel des Einsatzes der digitalen Produkte ist es, Arbeitsprozesse zu vereinfachen und den Informationsaustausch zwischen Personen zu fördern.

Acknowledgement

Peter Rasche would like to thank the State of North Rhine-Westphalia's Ministry of Economic Affairs, Innovation, Digitalization, and Energy as well as the Exzellenz Start-up Center.NRW program at the REACH – EUREGIO Start-Up Center for their kind support of his work.

Literaturverzeichnis

Ammer, Christian; Vor, Torsten; Knoke, Thomas; Wagner, Stefan (2010): Der Wald-Wild-Konflikt-Analyse und Lösungsansätze vor dem Hintergrund rechtlicher, ökologischer und ökonomischer Zusammenhänge: Universitätsverlag Göttingen.

Baur, Nina; Blasius, Jörg (2014): Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung: Springer.

Best, Samuel J.; Krueger, Brian S. (2004): Internet data collection: Sage (141).

Kano, Noriaki; SERAKU, Nobuhiko; TAKAHASHI, Fumio; TSUJI, Shinichi (1984): Attractive Quality and Must-Be Quality. In: Journal of The Japanese Society for Quality Control 14 (2), S. 147–156. DOI: 10.20684/quality.14.2_147.

Mikulić, Josip; Prebežac, Darko (2011): A critical review of techniques for classifying quality attributes in the Kano model. In: Managing Service Quality 21 (1), S. 46–66. DOI: 10.1108/09604521111100243.

Rasche, Peter; Mertens, Alexander; Brandl, Christopher; Liu, Shan; Buecking, Benjamin; Bliemel, Christopher et al. (2018): Satisfying Product Features of a Fall Prevention Smartphone App and Potential Users' Willingness to Pay: Web-Based Survey Among Older Adults. In: JMIR mHealth and uHealth 6 (3), e75. DOI: 10.2196/mhealth.9467.

Arbeitszeitbedarf und Arbeitserledigungskosten eines teilautonomen Feldroboters für die Saat und das Hacken von Biozuckerrüben

Working time requirement and labour costs of a semi-autonomous field robot for sowing and mechanical weed control in organic sugar beet production

Moritz Jungwirth*, Franz Handler

HBLFA Francisco Josephinum Wieselburg, Rottenhauser Straße 1, A-3250 Wieselburg

*E-Mail: moritz.jungwirth@josephinum.at

Zusammenfassung

Feldroboter zur Aussaat und mechanischen Beikrautregulierung bieten aufgrund rechtlicher Vorgaben für den unbeaufsichtigten Einsatz oft nur geringe Schlagkraft. Bedingt durch die teilautonome Arbeitsweise ist jedoch die Anwesenheit der Bedienperson nicht durchgehend erforderlich. Diese Arbeitszeiteinsparung kann allerdings nicht die, im Vergleich zur Traktormechanisierung, höheren Kosten des Robotereinsatzes kompensieren. Erst die verbesserte mechanische Beikrautregulierung des Roboters und die damit verbundene Reduktion des Handarbeitsbedarfes kann zu reduzierten Arbeitserledigungskosten in der Biozuckerrübenproduktion führen.

Deskriptoren: Feldroboter, Saat, Beikrautregulierung, Biozuckerrübe, Arbeitszeitbedarf, Arbeitserledigungskosten

Abstract

Field robots for sowing and mechanical weed control often operate with low operating speeds in order to meet legal requirements. Caused by the semi-autonomous operation mode of field robots, the presence of the operator is not necessary all the time. These time savings cannot compensate the higher costs of the robot compared to conventional mechanical weed control methods with tractor-pulled implements. Only the improved mechanical weed control of the robot can reduce the required manual labour and the costs of weed control in organic sugar beet production.

Keywords: field robot, seeding, mechanical weed control, organic sugar beet, working time requirement, labour costs

1 Einleitung

Der stetig wachsende Bedarf an ökologisch erzeugten Lebensmitteln [Fi21] ist einer der Innovationstreiber in der Landtechnik. Eine der großen Schwierigkeiten stellt dabei die mechanische Beikrautregulierung dar. Um die Konkurrenz zur Kulturpflanze gering zu halten, darf der Beikrautdruck nicht zu hoch werden. Speziell in Reihenkulturen können aber traktorgezogene Geräte systembedingt nicht die gesamte Fläche zwischen den Kulturpflanzen bearbeiten. Die Regulierung der Beikräuter im dadurch entstehenden unbearbeiteten Band entlang der Pflanzenreihen bleibt meist Handarbeit. Dies zieht hohe Personalkosten nach sich. Einige Startups beschäftigen sich daher mit dem Thema der mechanischen Beikrautregulierung und gehen dabei den Schritt weg vom Traktor hin zu autonomen Feldrobotern um durch technische Innovationen den Handarbeitsbedarf zu reduzieren. Dabei ergeben sich stark differenzierte Arbeitszeitbedarfe der Bedienpersonen von Roboter und herkömmlicher Traktormechanisierung. Auch die Maschineneinsatzzeiten gestalten sich aufgrund der teilautonomen Arbeitsweise des Roboters anders als beim Traktoreinsatz. Da Literaturrecherchen unterschiedlicher Autoren [Ma19, Lo20] ergeben haben, dass arbeitswirtschaftliche Daten für eine ökonomische Bewertung von Feldrobotern fehlen, werden nachfolgend die Arbeitszeitbedarfe der Bedienperson und des Roboters untersucht. Des Weiteren erfolgt ein Vergleich zur herkömmlichen Traktormechanisierung für das Säen und Hacken von Biozuckerrüben.

2 Material und Methoden

Basis der nachfolgenden Arbeitszeitbedarfssimulation bildet die Ablaufanalyse des Einsatzes des 6-reihig arbeitenden Feldroboters Farmdroid FD20 bei der Saat und mechanischen Beikrautregulierung von Biozuckerrüben. Der elektrisch angetriebene Farmdroid des gleichnamigen dänischen Herstellers bezieht seine Energie über vier Photovoltaikmodule, die das „Dach“ des Roboters bilden. Bei günstigen Witterungsbedingungen erzeugen diese nicht nur genügend Strom für den Betrieb des Roboters, sondern auch einen Überschuss, welcher in zwei Lithium-Ionen-Akkus gespeichert wird. Damit kann nach Sonnenuntergang weitergearbeitet werden, was bis zu 24 Stunden durchgehenden Betrieb ermöglicht. Die Orientierung am Feld erfolgt mittels zweier GNSS-Empfänger und des RTK-Korrektursignals der mitgelieferten Basisstation zentimetergenau. Diese exakte Positionierung bildet die Grundlage der Arbeitsweise des Farmdroid FD20. Nach dem Aufnehmen der Eckpunkte des Schlages wird im System des Roboters ein Aussaatmuster berechnet, anhand dessen das Saatgut ausgebracht wird. Um eine möglichst exakte Ablage zu gewährleisten, fallen die vereinzelt Rübenpillen zunächst auf das sogenannte Säventil knapp über dem Boden. Beim Erreichen der errechneten Aussaatposition werden diese Säventile geöffnet und das Saatgut im vorgeformten Säschlitz abgelegt. Für die nachfolgende mechanische Beikrautregulierung sind Umbauarbeiten am Roboter erforderlich. Im Wesentlichen können die Säelemente, aber am Gerät verbleiben. Die gespeicherte Position jeder einzelnen Pflanze ermöglicht bei der Beikrautregulierung

nicht nur zwischen den Pflanzenreihen, sondern auch zwischen den Pflanzen in den Reihen zu arbeiten. Dazu wird ein Hackschar mittels Servomotor in die Pflanzenreihen ein- und ausgeschwenkt. Zwischen den Reihen bearbeiten Hackdrähte den Boden.



Abbildung 1: Farmdroid FD 20 bei der Zuckerrübensaat

Zum Schutz vor Schäden, ist der Farmdroid FD20 mit einer umlaufenden Sicherheitsleine ausgestattet. Bei Kontakt stoppt der Roboter sofort und informiert die Bedienperson via Mail. In Verbindung mit der geringen Fahrgeschwindigkeit von maximal 950 m/h und einem sogenannten Geofence ist dies, laut Herstellerangaben, für ein unbeaufsichtigtes Arbeiten rechtlich ausreichend. Einsetzender Regen wird mit Hilfe eines Regensensors erkannt. Wird der einstellbare Niederschlagsgrenzwert überschritten, unterbricht der Roboter die Arbeit. Für das Umsetzen zwischen verschiedenen Einsatzorten wird ein Anbaurahmen für den Traktor mitgeliefert.

Die Ablaufanalyse und die anschließenden Arbeitszeitmessungen aus der Sicht des Roboters und der Bedienperson erfolgten im Zuge von Arbeitsbeobachtungen beim Einsatz des Farmdroid FD20 in Biozuckerrüben auf ebenen Flächen. Die Basis der Unterteilung der Arbeitsteilvorgänge bildete die von Winkler und Frisch 2014 [WF14] vorgestellte Gliederung. Aufgrund dieser erhobenen Daten wurden Simulationen zur Ermittlung des Einflusses von Schlaggröße und Schlagform angestellt.

Für den Vergleich des Arbeitszeitbedarfes zu herkömmlicher Traktormechanisierung bei Aussaat und maschineller Hacke wurden die Werte für die Traktormechanisierung aus dem KTBL-Feldarbeitsrechner [KT21] herangezogen.

Die Berechnung der Arbeiterledigungskosten erfolgte auf Basis der eigenen Erhebungen, der Datensammlung Betriebsplanung Landwirtschaft 2020/21 [KT20] und der ÖKL-Richtwerte 2021 [ÖK21].

3 Ergebnisse und Diskussion

Für den Transport des Roboters vom Hof zum Einsatzort wird ein sogenannter Feldtransportrahmen mitgeliefert. Dieser wird am 3-Punkt-Hubwerk eines Traktors angebaut und der Farmdroid daran befestigt. Der Roboter kann so angehoben und transportiert werden. Der Arbeitszeitbedarf für das An- bzw. Abbauen liegt im Mittel bei 3,20 AKmin. Aufgrund der Breite von über 3,5 m darf der Transport in dieser Form nicht auf öffentlichen Straßen erfolgen. Dazu hält der Hersteller einen sogenannten Straßentransportrahmen bereit. Dieser wird wiederum am Traktor angebaut, jedoch erfolgt dabei die Verladung des Roboters, im Gegensatz zum Feldtransportrahmen, quer zur Fahrtrichtung. Nach dem Einklappen des Vorderrads und dem ordnungsgemäßen Verzurren an speziellen Zurrpunkten, ist so ein gesetzeskonformer Transport auf öffentliche Straßen möglich. Das Auf- bzw. Abladen erfordert rund 20 AKmin.

Wird der Farmdroid FD20 auf einem neuen Schlag eingesetzt, so muss im ersten Schritt die Schlaggrenze digital erfasst werden. Dazu werden die Eckpunkte nach einander mit dem am Feldtransportrahmen angebauten Roboter angefahren und die vordere GNSS-Antenne des Roboters über dem jeweiligen Eckpunkt positioniert. Zur Punktaufnahme muss vom Traktor abgestiegen und zum Bedienpult des Farmdroid gewechselt werden. Nach dem Abspeichern des Punktes kann der nächste Punkt angefahren werden. Gebogene Schlaggrenzen müssen in gerade Teilstücke zerlegt werden. Hierbei ist ein Kompromiss zwischen Präzision und Zeitbedarf einzugehen.

Der Zeitbedarf für das digitalisieren der Schlaggrenze setzt sich aus der Fahrzeit zwischen den Punkten und dem Zeitbedarf für das Erfassen der einzelnen Punkte zusammen. Die Fahrzeit ist vom Umfang des Schlages und dieser wiederum von dessen Größe und Form abhängig.

	Rechteck (Seitenlänge 1:4)		rechtwinkeliges Dreieck (Kathetenlänge: 1:4)	
	1	10	1	10
Schlaggröße [ha]	1	10	1	10
Schlagumfang [m]	500	1581	645	2040
Arbeitszeitbedarf pro Schlag [AKmin]	33,50	36,74	25,94	30,12
Anteil Fahrzeit [%]	4	13	7	20
Arbeitszeitbedarf bezogen auf Schlagumfang [AKmin/km]	67,00	23,24	40,20	14,76
Arbeitszeitbedarf bezogen auf Schlaggröße [AKmin/ha]	33,50	3,67	25,94	3,01

Tabelle 3: Arbeitszeitbedarf für die Erstellung des virtuellen Schlages

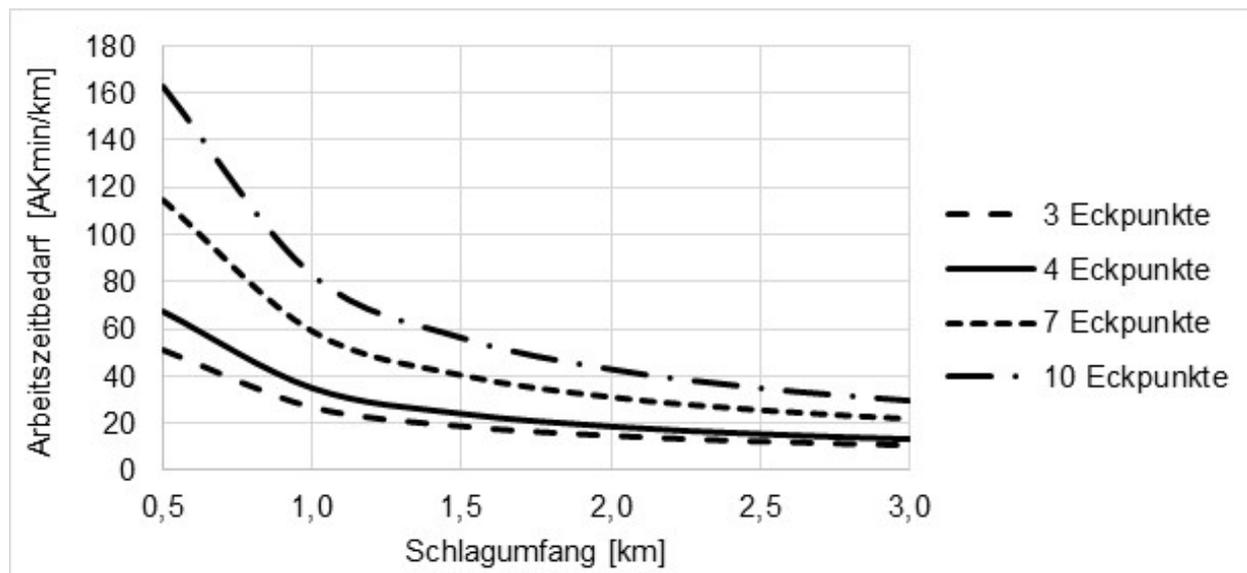


Abbildung 5: Arbeitszeitbedarf der Bedienperson für die Erstellung des virtuellen Schlages

Befinden sich Hindernisse im Feld, so müssen diese in gleicher Weise wie die Schlaggrenze erfasst werden.

Sind alle Schlaggrenzen und Hindernisse erfasst, kann der Farmdroid FD20 in der Nähe des Startpunktes abgesetzt werden. Vor Beginn der Aussaat müssen noch eine Referenzlinie und weitere Einstellungen, wie die Anzahl der Vorgewendespuren und Saatabstand, im System definiert werden. Eines der Schlaggrenzensegmente bildet die Referenzlinie. Dies ist bereits beim Erfassen der Schlaggrenze zu berücksichtigen. Parallel zur Referenzlinie erfolgt die Aussaat im Feldinneren. Für das Wenden am Feldende ist immer mindestens eine Vorgewendespur erforderlich. Nach dem Festlegen aller Parameter wird im System des Farmdroid FD20 das Aussaatmuster berechnet. Nach der Freigabe durch die Bedienperson fährt der Roboter zum definierten Startpunkt und beginnt mit der Aussaat. Sobald die Säelemente vollständig abgesenkt sind, beschleunigt er auf die Aussaatgeschwindigkeit von 720 m/h. Nach Beginn der Arbeit muss, wie auch bei herkömmlicher traktorangebauter Sätechnik, die Ablage kontrolliert und gegebenenfalls angepasst werden. Dazu stehen verschiedene elektronische und mechanische Einstellmöglichkeiten zur Verfügung. Der Arbeitszeitbedarf für das Einstellen und die Kontrolle beträgt im Mittel eine Arbeitskraftstunde pro Schlag.

Für eine 90°-Wendung werden im Mittel 1,44 min benötigt. Bei einer 180°-Wendung steigt der Zeitbedarf im Mittel auf 1,93 min an.

Die Ergebnisse der Simulationen in den folgenden Abbildungen beziehen sich auf rechteckige Schläge mit einem Verhältnis von Breite zu Länge von eins zu vier. Die Flächenleistung des Roboters ist auf die Gesamtzeit bezogen, welche alle Teilvorgänge von der Abfahrt am Hof bis zur Rückkehr am Hof beinhaltet. Es ist eine mittlere Feld-Hof-Entfernung von 2 km, die mit durchschnittlich 30 km/h zurückgelegt wird, unterstellt. Die Fahrgeschwindigkeit beim Säen beträgt 720 m/h. Des Weiteren sind pro Hektar Einsatzfläche

zwei fünfminütige Kontrollen via Fernüberwachung angenommen. Die Erfahrungen der Bedienperson bezüglich funktioneller Störungen bei der Aussaat ist mit 0,20 h/ha für den Roboter und 0,10 AKh/ha für die Bedienperson berücksichtigt. Im Zuge der Behebung von funktionellen Störungen wird auch Saatgut nachgefüllt.

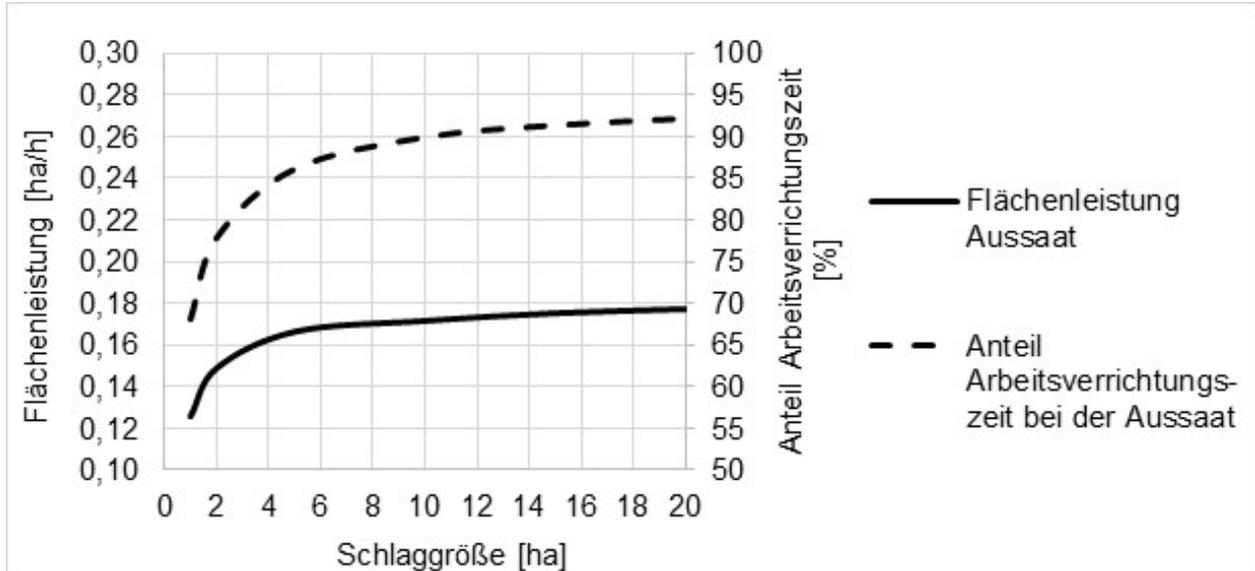


Abbildung 3: Flächenleistung des Roboters und Anteil der Arbeitsverrichtungszeit an der Gesamtarbeitszeit des Roboters bei der Aussaat

Bedingt durch den Aufwand für die Arbeitskontrolle und Einstellung zu Beginn der Arbeit, fällt die Flächenleistung und der Anteil der Arbeitsverrichtungszeit bei Schlaggrößen unter 6 ha deutlich ab (siehe Abb. 3).

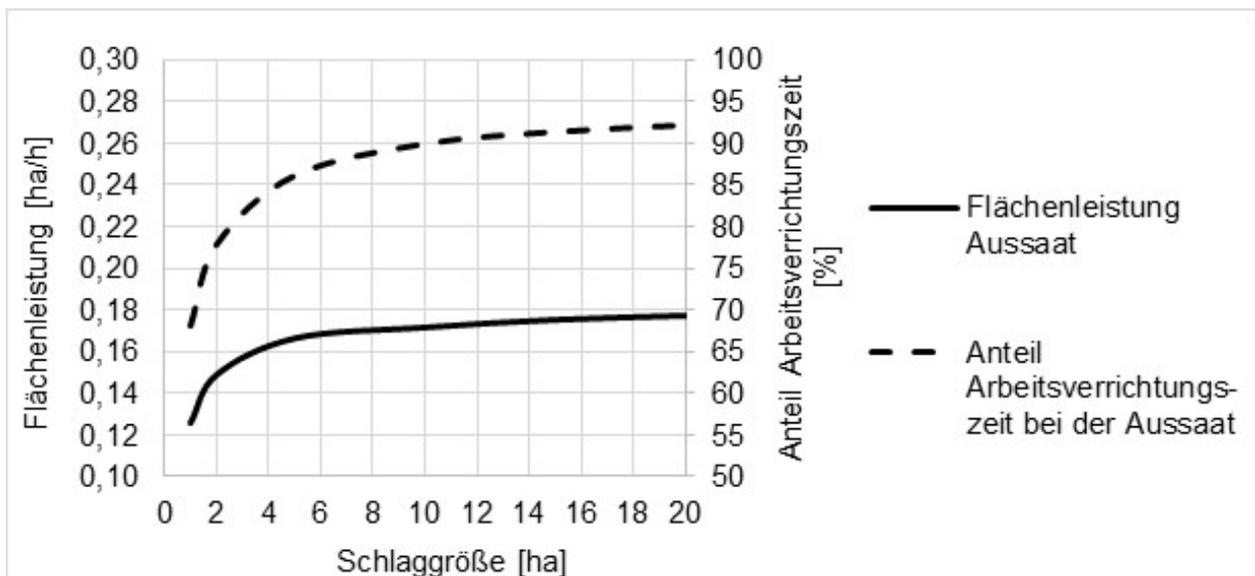


Abbildung 4: Arbeitszeitbedarf der Bedienperson des Roboters und der Traktormechanisierung für die Aussaat pro Schlag

Trotz der Möglichkeit den Farmdroid FD20 unbeaufsichtigt arbeiten lassen zu können, fällt der Arbeitszeitbedarf der Bedienperson, im Vergleich zur herkömmlichen Traktormechanisierung höher aus. Bis 20,7 ha Schlaggröße bietet die unterstellte 12-reihige Aussaat mittels Einzelkornsämaschine und Traktor eine so hohe Schlagkraft, dass der Betreuungsaufwand für den Roboter die Einsatzzeit der Traktorbedienperson übersteigt (siehe Abb. 4).

Für den Hackeinsatz sind Umbauarbeiten erforderlich. Die Säeinheiten müssen dabei nicht demontiert, sondern nur hochgestellt werden. Daher beträgt der Arbeitszeitbedarf für die gesamte Umrüstung mit dem Montieren der Hackwerkzeuge 0,75 bis 0,95 AKh. Der Arbeitszeitbedarf für ein erneutes Umrüsten auf den Sämodus bewegt sich im selben Bereich.

Auch beim Hackeinsatz wird eine Fahrgeschwindigkeit von 720 m/h erreicht. Der Zeitbedarf für eine 90°-Wendung ist beim Hacken gleich wie beim Säen. Es sind im Mittel 1,44 min erforderlich. Bei einer 180°-Wendung erhöht sich der Zeitbedarf im Mittel auf 2,23 min.

Der Zeitbedarfe für den Transport des Roboters vom und zum Schlag sowie für Kontrollen während des Hackens sind ident zur Aussaat. Die beim Hackeinsatz aufgetretenen Störungen können nicht in Relation zur Fläche gesetzt werden und werden daher in den folgenden beiden Abbildungen nicht berücksichtigt.

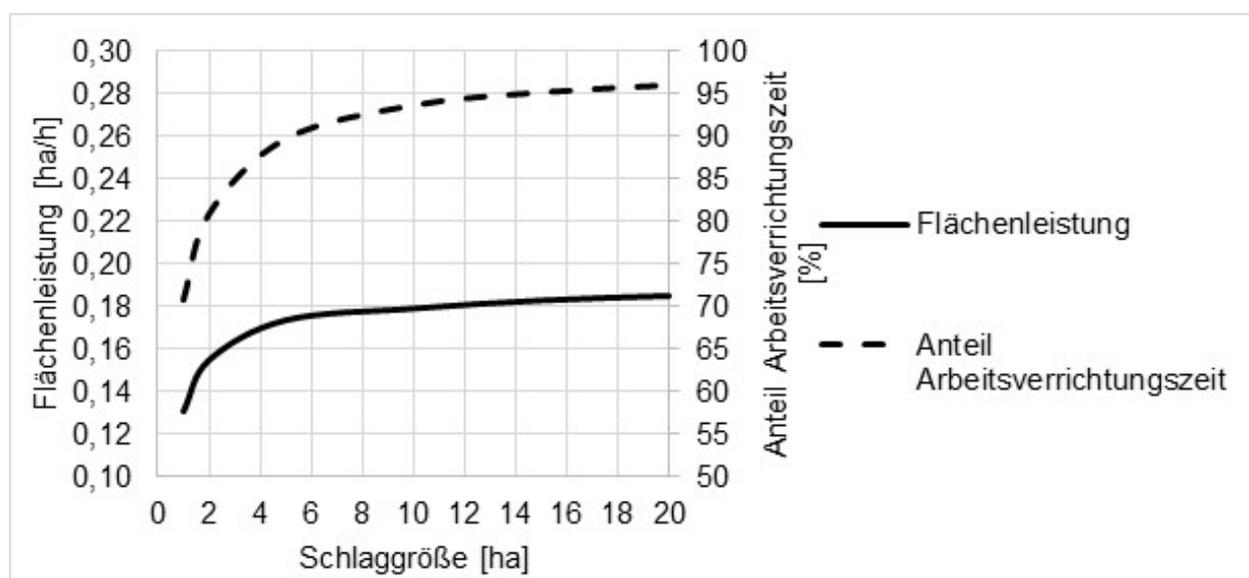


Abbildung 5: Flächenleistung des Roboters und Anteil der Arbeitsverrichtungszeit an der Gesamtarbeitszeit des Roboters beim Hacken

Begründet durch die höhere Störanfälligkeit bei der Aussaat, fällt die Flächenleistung und auch der Anteil der Arbeitsverrichtungszeit an der Gesamtzeit beim Hackeinsatz, trotz gleicher Fahrgeschwindigkeit, höher aus (siehe Abb. 5) als bei der Saat. Da die Steuerung der Hackschare für das Hacken in der Reihe auf RTK-GNSS-Basis erfolgt, ist die exakte Positionierung bei Arbeitsbeginn zu prüfen. Systembedingt kann ein Versatz von

wenigen Zentimetern zwischen virtueller und tatsächlicher Pflanzenposition bestehen. Dies könnte zu hohen Verlusten der Kulturpflanze führen, weshalb ein Ausgleich im System des Roboters erfolgen muss. Wie auch bei herkömmlicher Hacktechnik, gilt es einen Kompromiss zwischen unbearbeiteter Fläche um die Kulturpflanzen und Kulturpflanzenverluste zu finden. Dazu sind die Hackwerkzeuge entsprechend einzustellen. In Summe erfordern diese Arbeitsschritte im Mittel etwa eine AKh pro Schlag. Hierbei gilt es viele Faktoren wie das Wachstumsstadium der Kultur und die Bodenverhältnisse zu berücksichtigen. Im Einsatz können 85 % der Schlagfläche durch die Hackdrähte zwischen den Reihen bearbeitet und die Beikräuter mechanisch bekämpft werden. Weitere 5–6 % werden von den gesteuerten Hackscharen in der Reihe bearbeitet. Der Farmdroid FD20 bietet zudem die Möglichkeit die Fahrtrichtung bei jedem Hackdurchgang zu wechseln. Dadurch können weitere 3 % der Fläche mechanisch bearbeitet werden. In Summe werden so im Vergleich zur herkömmlichen traktorgezogenen Hacktechnik 8–9 % mehr Fläche mechanisch bearbeitet. Dies ermöglicht die Einsparung eines Teiles der 92–280 AKh/ha [Ag21, Re04, SB18, KV21], welche bei traktorgezogenen Hackgeräten jährlich für die Handhacke anfallen können.

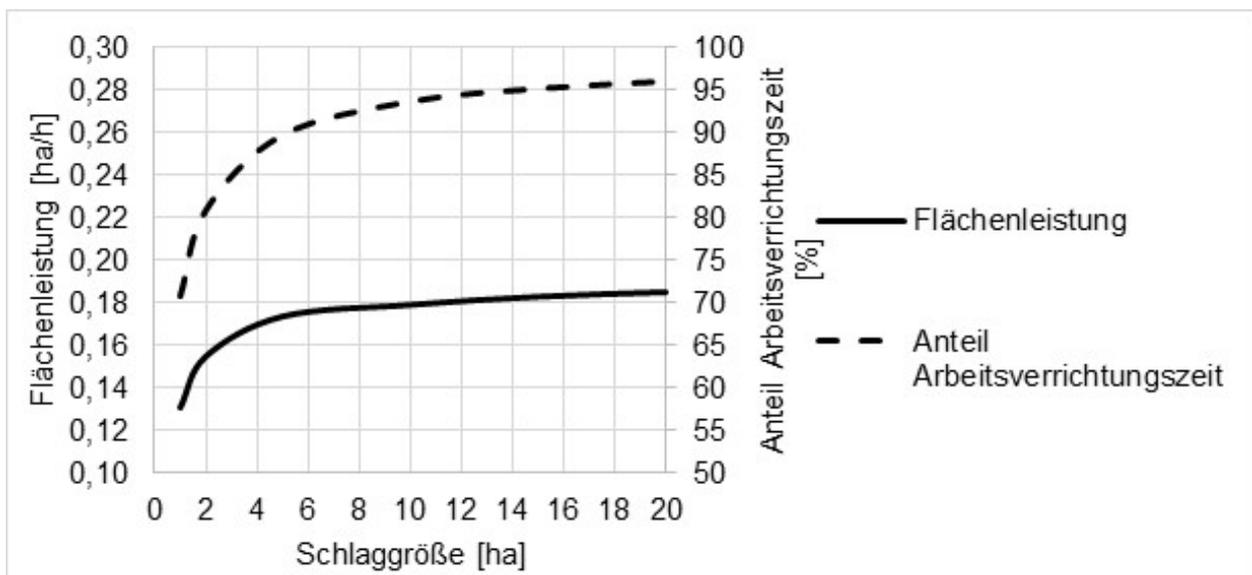


Abbildung 6: Arbeitszeitbedarf der Bedienperson von Roboter und 12-reihiger Traktormechanisierung für das viermalige Hacken pro Schlag

Bei viermaliger maschineller Hacke kommt ab 6 ha Schlaggröße die autonome Arbeitsweise des Roboters zum Tragen. Ab dieser Schlaggröße fällt der Arbeitszeitbedarf der Bedienperson des Roboters geringer als jene der Traktorbedienperson aus (siehe Abb. 6).

In Abbildung 7 werden an Hand eines Beispiels die Arbeiterledigungskosten für Aussaat, maschinelles Hacken und Handhacke bei herkömmlicher 12-reihiger Traktormechanisierung und dem 6-reihig arbeitenden Roboter verglichen. Die Arbeiterledigungskosten der

Traktormechanisierung sind als Fläche im Hintergrund dargestellt. Die Säulen im Vordergrund geben die Arbeiterledigungskosten für den Robotereinsatz bei unterschiedlicher Arbeitszeiteinsparung für die Handhacke durch den Roboter wieder. Dabei sind eine Gesamteinsatzfläche von 20 ha verteilt auf 5 Schläge sowie vier maschinelle Hackdurchgänge und bei herkömmlicher 12-reihiger Traktormechanisierung ein Arbeitszeitbedarf für die Handhacke von 200 AKh/ha unterstellt. Der Kalkulation der Maschinenkosten des Roboters liegen ein Neuwert von € 80.000,- bei 10 Jahren Nutzungsdauer, 1,5 % Verzinsung und 20 ha jährliche Einsatzfläche zu Grunde. Die Versicherungskosten belaufen sich auf € 1.000,- pro Jahr und die mittleren Reparaturkosten betragen 37,00 € pro Hektar und Überfahrt. Die Maschinenkosten der Traktormechanisierung belaufen sich für den Transport des Roboters auf 19,58 €/h, für die 12-reihige Aussaat auf 100,95 €/h und für das 12-reihige Hacken auf 40,89 €/h. Die Lohnkosten der Roboter- und Traktorbedienperson betragen 26,00 €/h.

Die teilautonome Arbeitsweise kann die hohen Maschinenkosten beim Robotereinsatz nicht ausgleichen. Bei der Aussaat bedingen die geringe Schlagkraft und der hohe Betreuungsaufwand, dass der Arbeitszeitbedarf der Bedienperson des Roboters und somit deren Kosten, jene bei der Traktormechanisierung übersteigen. Beim Hacken mittels Roboters sind bei entsprechender Schlaggröße die Lohnkosten geringer als bei der Traktormechanisierung. Die Maschinenkosten des Roboters verursachen dennoch höhere Arbeiterledigungskosten. Um die für Säen und Hacken in Summe höheren Arbeiterledigungskosten der Robotermechanisierung ausgleichen zu können, muss durch die verbesserte Wirkung der mechanischen Beikrautregulierung im Vergleich zur Traktormechanisierung Handarbeit eingespart werden.

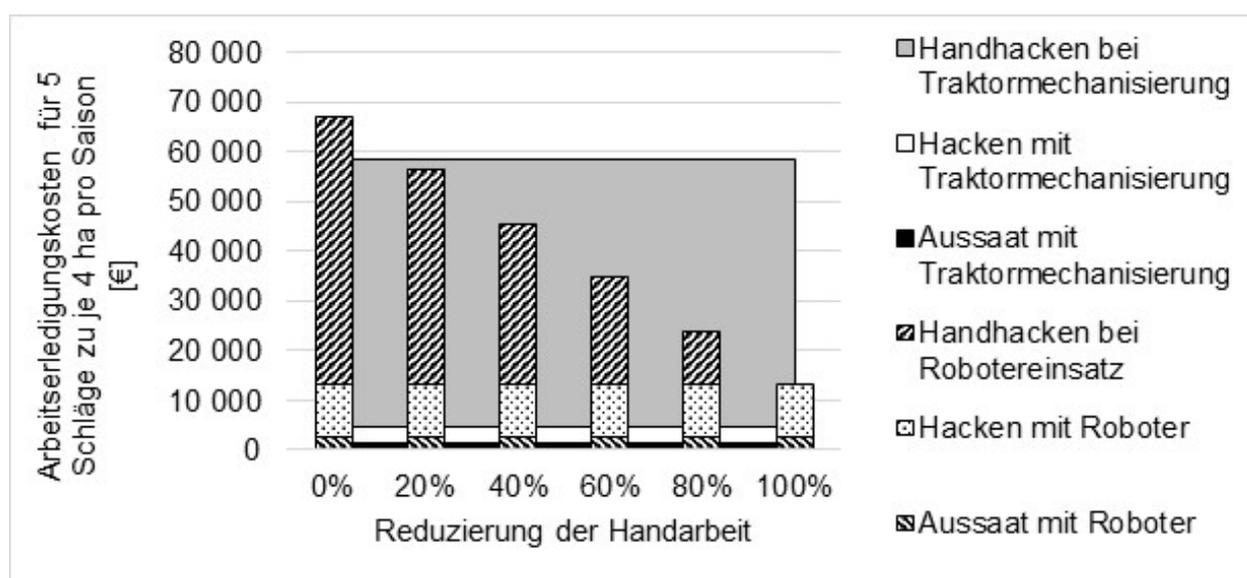


Abbildung 7: Jährliche Arbeiterledigungskosten für Aussaat und mechanische Beikrautregulierung in 20 ha Biozuckerrüben

Bei Lohnkosten der Handarbeitskräfte von 13,50 €/h ist zum Ausgleich der erhöhten Arbeitserledigungskosten bei Aussaat und maschineller Hacke durch den Roboter eine Einsparung des Handarbeitsbedarfs von 32 - 35 AKh/ha erforderlich. Bei einem Handarbeitsbedarf der Traktormechanisierung von 200 AKh/ha entspricht dies einer Reduktion von 16 %. Wie Irla et al. [Ir05] feststellten ist der Handarbeitsbedarf beim Einsatz traktorangebauter Hackgeräte wesentlich von den Standortbedingungen, der eingesetzten Hacktechnik und dem damit verbundenen unbearbeiteten Band sowie den Pflanzenabständen der Kultur abhängig. In Bezug auf die Standortbedingungen wird zur Minderung des Handarbeitsbedarfes eine effiziente „Unkrautkur“ hervorgehoben. Diese umfasst alle Maßnahmen zwischen Ernte der Vorfrucht und Aussaat der Folgefrucht, die der Minderung des Beikrautdrucks dienen. Da sich der Robotereinsatz nur durch die Reduktion des Handarbeitsbedarfes rechnen kann, sind diese genannten Faktoren bei einer betriebsindividuellen Wirtschaftlichkeitsbeurteilung zwingend zu berücksichtigen.

Nichtsdestotrotz bildet die Roboteraussaat beim Farmdroid FD20 die Grundlage für das Hacken in der Reihe. Dies wiederum ermöglicht die Einsparung an Handarbeit und somit einen in Summe wirtschaftlichen Feldrobotereinsatz in Biozuckerrüben.

Dieser Beitrag entstand im Rahmen der Innovation Farm (www.innovationfarm.at), die von Bund, Ländern und der Europäischen Union im Rahmen des ländlichen Entwicklungsprogrammes LE 14–20 unterstützt wird.

Literaturverzeichnis

- [Ag21] Agroscope: LabourScope – Der Arbeitsvoranschlag für Land- und Hauswirtschaft. Web-Anwendung unter www.arbeitsvoranschlag.ch abgerufen am 20.10.2021.
- [Fi21] FiBL Statistics: Data visualisation – Crops Land use: Organic Area Forecast World 2019. Web-Anwendung unter www.statistics.fibl.org/visualisation/crops.html abgerufen im Dezember 2021.
- [Ir05] Irla, E., Spiess, E., Heusser, J.: Verbesserung der Anbau- und Unkrautregulierungstechnik bei Biozuckerrüben. In FAT-Bericht Nr. 633, Agroscope FAT Tänikon, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, Ettenhausen 2005.
- [KT20] KTBL: Betriebsplanung Landwirtschaft 2020/21. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., 64289 Darmstadt, 27. Auflage, 2020.
- [KT21] KTBL: Feldarbeitsrechner. Web-Anwendung unter www.ktbl.de/webanwendungen/feldarbeitsrechner abgerufen im August 2021.
- [KV21] Kopfinger, S., Vinzent, B.: Erprobung und Bewertung eines autonomen Feldroboters. In Tagungsband Gesellschaft für Informatik in der Landwirtschaft e.V., Bonn 2021, Seite 175–180.

- [Lo20] Lowenberg-DeBoer, J., Huang, I.Y., Grigoriadis, V., Blackmore, S.: Economics of robots and automation in field crop production. *Precision Agriculture* (2020) 21: 278–299, doi:10.1007/s11119-019-09667-5.
- [Ma19] Marinoudi, V., Sørensen, C. G., Pearson, S., Bochtis, D.: Robotics and labour in agriculture. A context consideration. *Biosystems Engineering*, Volume 184, August 2019, Pages 111–121.
- [ÖK21] ÖKL: ÖKL-Richtwerte für die Maschinenselbstkosten. Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung, 1040 Wien, Auflage 2021.
- [Re04] Redelberger, H.: *Management-Handbuch für die ökologische Landwirtschaft*. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Darmstadt 2004, Seite 135.
- [SB18] Staub, S.; Brell, S.: Automatische Steuerungssysteme zur effizienten mechanischen Beikrautregulierung. In *Tagungsband Angewandte Forschung und Entwicklung für den ökologischen Landbau in Bayern*, Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising-Weihenstephan 2018, Seite 167–170.
- [WF14] Winkler, B.; Frisch, J.: Weiterentwicklung der Zeitgliederung für landwirtschaftliche Arbeiten. In *Tagungsband 19. Arbeitswissenschaftliches Kolloquium*, Bornimer Agrartechnische Berichte, Heft 83, Potsdam-Bornim 2014, Seite 14–21.

Ablaufbedingte Wartezeit in komplexen transportverbundenen Arbeitsverfahren am Beispiel Mähdrusch

Recurring waiting time in complex transport processes on the example of combine harvesting

Dipl.-Ing. Winfried Fechner*, Dr. agr. Norbert Uebe

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Julius-Kühn-Straße 23, D-06112 Halle (Saale)

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

Zusammenfassung

Die Getreideernte ist in vielen Landwirtschaftsbetrieben auf Grund hoher logistischer Anforderungen ein Schwerpunkt im betrieblichen Ablauf. Die Transportkette soll dabei ein stillstandsfreies Arbeiten der Mähdröschler gewährleisten. Bei bestimmten Kombinationen aus Betriebsgröße und Transportverfahren kann dies aber nur mit einer höheren Anzahl an Transporteinheiten und gleichzeitig umfangreichen Wartezeiten erreicht werden. Die Ursachen für diese ablaufbedingten Wartezeiten sind vielfältig.

Es wird ein Lösungsansatz vorgeschlagen, der sich dem Zusammenspiel der Ernte- und Transporttechnik widmet. Besonderes Augenmerk liegt auf der Nachvollziehbarkeit der Zusammenhänge durch den Landwirt, der unter seinen spezifischen betrieblichen Bedingungen aus der Anzahl an Transportverfahren und Transportfahrzeugen eine Lösung finden muss.

Auf der Basis der Berechnung von Lademassenzkluszeit und wartezeitfreier Umlaufzeit wird es möglich, ablaufbedingte Wartezeiten bei den Transportfahrzeugen zu klassifizieren. Einerseits treten unvermeidbare druschleistungsabhängige ablaufbedingte Wartezeiten auf, andererseits müssen durch die Gestaltung des Verfahrens oder eine bessere Organisation druschleistungsunabhängige Wartezeiten vermieden werden.

Abstract

On many farms the grain harvest is a major task due its complex logistical requirements. The transport chain should allow the combine harvester to operate without any stoppage time. In some cases this can only be achieved with a large number of transport vehicles which, for various reasons, may in turn experience significant waiting times.

Here a solution to this problem is proposed which looks at the interplay between harvest and transport technology. Special care was taken to ensure that a farmer, who must find a solution based on the number of transport methods and vehicles available to him, can make use of this interplay.

Based on calculations of the cycle time of the load masses and the turn-around time without waiting time, it is possible to quantify waiting times for the transport vehicles. There are unavoidable waiting times caused by the harvesting capacity of the combine. Waiting times not caused by that must be avoided by a better planning and organization of the harvest process.

Keywords: Harvest, transport, procedure, waiting time, performance, loading masses cycle time, turnaround time

1 Einleitung

Mit steigenden Kapazitätsanforderungen nimmt die vertikale und horizontale Arbeitsteilung zu. Eine hohe Schlagkraft kann durch den gemeinsamen Einsatz von mehreren Erntemaschinen und den erforderlichen Transportfahrzeugen auf einem Schlag erreicht werden. Da eine ideale Leistungsabstimmung zwischen Ernte und Transport nur theoretisch möglich ist (wechselnde Erntebedingungen, sich ändernde Verkehrsbedingungen u.a.), kommt es zu ablaufbedingten Wartezeiten.

Auch wenn in Zukunft autonome Maschinen im Einsatz sein werden, ist durch die Verfahrensgestaltung die ablaufbedingte Wartezeit möglichst gering zu halten. Dazu sind Lösungen zu schaffen, die in Abhängigkeit vom aktuellen Erntemaschinendurchsatz und der Transportsituation eine optimale Gestaltung der Transportprozesse möglich machen.

Der Optimierung landwirtschaftlicher Ernte- und Transportprozesse widmen sich u.a. folgende Autoren [1–7]. Unterschiedliche Methoden der Optimierung, Simulation und Pfadplanung werden angewandt.

Im folgenden Beitrag wird ein Lösungsansatz vorgestellt, der sich dem Zusammenspiel der Ernte- und Transporttechnik am Beispiel des Mähdruschs widmet. Besonderes Augenmerk liegt auf der Nachvollziehbarkeit der Zusammenhänge durch den Landwirt. Das unterstützt ihn, bei der Vielzahl an Transportverfahren und Transportfahrzeugen, günstige Lösungen für die betrieblichen Spezifika zu finden.

2 Ablaufbedingte Wartezeit durch Leistungsdifferenzen

Die ablaufbedingte Wartezeit kann in Zeitstudien erfasst werden. Sie repräsentiert den Zeitraum, bei dem Teile des Erntekomplexes auf andere warten müssen. Im Folgenden sollen aber nur die sich regelmäßig wiederholenden Wartezeiten betrachtet werden, zufällige Störungen bleiben unberücksichtigt.

Unter der Annahme, dass die Erntemaschinen und Transportfahrzeuge die gleiche Einsatzzeit haben, ergibt sich unter Vernachlässigung einer An- und Auslaufphase bei der Aberntung eines Schlages die ablaufbedingte Wartezeit aus der Differenz der wartezeitfreien Arbeitszeiten von Erntemaschinen und Transportfahrzeugen (Gl. 1).

$$t_{B6} = \frac{m_{ges}}{n_{EM} \cdot \dot{m}_{EM}} - \frac{m_{ges}}{n_{TE} \cdot \dot{m}_{TE}} \quad (1)$$

t_{B6}	ablaufbedingte Wartezeit
m_{ges}	Erntemenge
n_{TE}	Anzahl Transportfahrzeuge
\dot{m}_{TE}	Transportleistung
n_{EM}	Anzahl Erntemaschinen
\dot{m}_{EM}	Durchsatz einer Erntemaschine

Die Differenz der Arbeitszeiten für die Erntetechnik und die Transportfahrzeuge lässt sich durch Umstellung der Gleichung in einen Term für den Wartezeitanteil und einen Term für die Arbeitszeit der Transportfahrzeuge umformen (Gl. 2):

$$t_{B6} = \left(\frac{n_{TE} \cdot \dot{m}_{TE}}{n_{EM} \cdot \dot{m}_{EM}} - 1 \right) * \frac{m_{ges}}{n_{TE} \cdot \dot{m}_{TE}} \quad (2)$$

In Gleichung 2 ist das Leistungsvermögen der Ernte- und Transportfahrzeuge ohne etwaige Wartezeiten einzusetzen. Die Leistung eines Transportfahrzeuges berechnet sich dann aus dem Quotienten von Lademasse zu Umlaufzeit (Gl. 3). Für die Umlaufzeit werden Beladezeit, Lastfahrzeit, Entladezeit, Leerfahrtzeit aufsummiert.

$$\dot{m}_{TE} = \frac{m_L}{t_{Umlauf}} \quad (3)$$

\dot{m}_{TE}	Leistung der Transporteinheit
m_L	Lademasse
t_{Umlauf}	Umlaufzeit

In analoger Weise wird die Leistung der Erntemaschine bestimmt (Gl. 4). Die Erntemenge im Bunker wird zur notwendigen Arbeitszeit zwischen zwei Startzeitpunkten des Abbunkerns abzüglich Wartezeit ins Verhältnis gesetzt.

$$\dot{m}_{EM} = \frac{m_B}{t_{Ru}} \quad (4)$$

\dot{m}_{EM}	Leistung der Erntemaschine
m_B	Bunkermasse
t_{Ru}	Rundenzeit

Beispiel:

Von einem Abbunkervorgang des Mähreschers bis zum nächsten vergehen ohne Warten 24 Minuten, der Bunker fasst 8 t. Die Umlaufzeit des Transportfahrzeugs mit 24 t Lademasse beträgt 60 Minuten. Die Leistung des Mähreschers beträgt 20 t/h, die des Transportfahrzeuges 24 t/h.

$$\dot{m}_{EM} = \frac{8t}{24 \text{ min}} = 20t/h \quad \dot{m}_{TE} = \frac{24t}{60 \text{ min}} = 24t/h$$

Daraus ergibt sich eine ablaufbedingte Wartezeit der Transportfahrzeuge von 12 Minuten.

$$t_{B6} = \left(\frac{24 \text{ t/h}}{20 \text{ t/h}} - 1 \right) * \frac{24 \text{ t}}{24 \frac{\text{t}}{\text{h}}} = 12 \text{ min}$$

3 Ablaufbedingte Wartezeit bei Erntekomplexen mit ungleichartigen Transportfahrzeugen

Unter den konkreten Bedingungen eines Landwirtschaftsbetriebes kommen häufig ungleichartige Transportfahrzeuge zum Einsatz, die zu unterschiedlichen Belade- und Umlaufzeiten führen. Diese Unregelmäßigkeiten beeinflussen den Rhythmus der Ankunft auf dem Feld und damit die individuellen ablaufbedingten Wartezeiten der Transportfahrzeuge.

Da die Transportleistung in Abhängigkeit vom Fahrzeugtyp und seinen Eigenschaften differiert, sind die Gleichungen 1 und 2 nicht anwendbar.

In Abbildung 1 wird beispielhaft die zeitliche Abfolge der Transporteinheiten bei der Korn-ernte dargestellt. Die 4 Transportfahrzeuge besitzen unterschiedliche Lademassen und Fahrgeschwindigkeiten. Vorausgesetzt wird, dass trotz ungleicher Umlaufzeit sich die Reihenfolge der Beladung der Transporteinheiten nicht ändert.

Zu Beginn fährt Transporteinheit TE 1 den ersten Mähdrescher MD1 (orange) auf dem Feld an. Es folgt die direkte Kornübernahme während des Dreschens (MD1, grün). Danach werden die beiden anderen Mähdrescher im Erntekomplex angefahren und ihr Erntegut übernommen. Es folgen die Lastfahrt, das Entladen, die Leerfahrt und ein Warten auf den nächsten Anfahrprozess zu den Mähdreschern. Die Transportfahrzeuge TE2 bis TE4 folgen versetzt, wenn die drei Mähdrescher wieder ausreichend Korn geerntet haben.

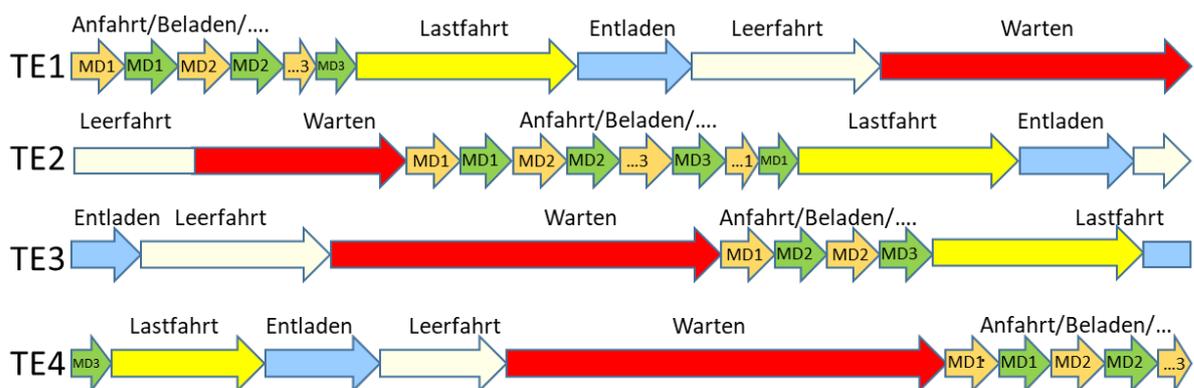


Abbildung 1: Ablaufdiagramm bei direkter Anfahrt der Mähdrescher durch vier Transporteinheiten mit unterschiedlicher Lademasse

Die Zeiten für die Anfahrt zu den Mähdreschern, die Erntegutübernahme, die Last- und Leerfahrt und das Entladen lassen sich unter konkreten Bedingungen gut vorausberechnen. Die dazu notwendige Zeit soll als „wartezeitfreie Umlaufzeit“ bezeichnet werden (Abbildung 2).

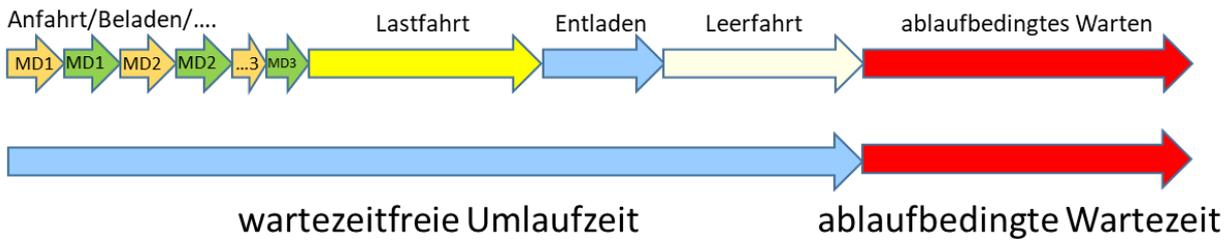


Abbildung 2: Ablaufbedingte Wartezeit und wartezeitfreie Umlaufzeit einer Transporteinheit

Im Folgenden soll, ausgehend von der Gleichung für die notwendige Anzahl an Transporteinheiten (Gl. 5) in der Transportkette, ein Berechnungsalgorithmus für die individuelle ablaufbedingte Wartezeit bei ungleichartigen Transportfahrzeugen abgeleitet werden. Die notwendige Anzahl an Transportfahrzeugen ergibt sich aus dem Quotienten von Umlaufzeit zu bedarfsbestimmender Zeit (Gl. 5).

$$n_{TE} = \frac{t_{Umlauf}}{t_{Bedarf}} \quad (5)$$

n_{TE}	Anzahl benötigter Transporteinheiten
t_{Umlauf}	Umlaufzeit einer Transporteinheit
t_{Bedarf}	bedarfsbestimmende Zeit

Die bedarfsbestimmende Zeit gibt an, nach wieviel Minuten die nächste Transporteinheit benötigt wird. Beim Mähdrusch entspricht dies der Dauer, die die Mährescher ernten müssen, um diese Transporteinheit zu befüllen (Gl. 6).

$$t_{Bedarf} = \frac{m_L}{n_{EM} * \dot{m}_{EM}} \quad (6)$$

m_L	Lademasse der Transporteinheit
n_{EM}	Mährescheranzahl
\dot{m}_{EM}	Mährescherdurchsatz

Die Gleichung (5) für die notwendige Anzahl an Transportfahrzeugen wird nach der Umlaufzeit umgestellt.

$$t_{Umlauf} = t_{Bedarf} * n_{TE} \quad (7)$$

Wenn man statt einer berechneten Anzahl die tatsächlich verwendete Anzahl Transporteinheiten in die Gleichung (7) für n_{TE} einsetzt und mit der bedarfsbestimmenden Zeit multipliziert, ergibt sich die Umlaufzeit inklusive Wartezeit. Diese soll als Lademassenzykluszeit bezeichnet werden, die für alle Transportfahrzeuge vorgegeben und identisch ist. Erst wenn alle Transporteinheiten einmal beladen wurden, kann ein Transportfahrzeug erneut beladen werden (Die Reihenfolge der Beladung wird nicht verändert.).

$$t_{LMZ} = \frac{m_L * n_{TE}}{n_{EM} * \dot{m}_{EM}} \quad (8)$$

t_{LMZ}	Lademassenzykluszeit
m_L	Lademasse der Transporteinheit
n_{EM}	Mährescheranzahl
\dot{m}_{EM}	Mährescherdurchsatz
n_{TE}	Anzahl genutzter Transporteinheiten

Die Gleichung (8) gilt für Transportfahrzeuge mit einheitlicher Lademasse. Bei Transporteinheiten mit unterschiedlichen Lademassen muss im Nenner anstelle des Produktes von Anzahl und Lademasse ($m_L \cdot n_{TE}$) die Summe der Lademassen aller Transportfahrzeuge ($\sum m_L$) verwendet werden (Gl. 9).

$$t_{LMZ} = \frac{\sum m_L}{n_{EM} \cdot \dot{m}_{EM}} = \frac{\sum m_L}{\sum \dot{m}_{EM}} \quad (9)$$

t_{LMZ} Lademassenzykluszeit
 $\sum m_L$ Lademasse aller Transportfahrzeuge
 $\sum \dot{m}_{EM}$ Gesamtdurchsatz aller bedienter Mähdrescher

Ist die individuelle wartezeitfreie Umlaufzeit (Beladen und Entladen sowie Anfahrt, Last- und Leerfahrt) bekannt, kann die individuelle Wartezeit der Transportfahrzeuge aus der Differenz von Lademassenzykluszeit und der wartezeitfreien Umlaufzeit bestimmt werden (Gl. 10 und 11).

$$t_{B6i} = \frac{\sum m_L}{\sum \dot{m}_{EM}} - t_{Anfi} - t_{Beli} - t_{Lasti} - t_{Entli} - t_{Leeri} \quad (10)$$

$$t_{B6i} = t_{LMZ} - t_{wartezeitfreie\ Umlaufzeit\ i} \quad (11)$$

- | | |
|--|--|
| <p>t_{B6i} individuelle ablaufbedingte Wartezeit
 i Index der Transporteinheit
 $\sum m_L$ Lademasse aller Transportfahrzeuge
 $\sum \dot{m}_{EM}$ Gesamtdurchsatz der Mähdrescher</p> | <p>t_{Anfi} individuelle Anfahrtzeit
 t_{Beli} individuelle Beladezeit
 t_{Lasti} individuelle Lastfahrtzeit
 t_{Enti} individuelle Entladezeit
 t_{Leeri} individuelle Leerfahrtzeit</p> |
|--|--|

In Tabelle 1 und Abbildung 3 sind die Ergebnisse beispielhaft dargestellt. Abhängig von der Umlaufzeit ergeben sich unterschiedliche individuelle ablaufbedingte Wartezeiten. Die Größe der Wartezeit wird von der Lademassenzykluszeit bestimmt.

Tabelle 1: Beispiel für Lademassen, wartezeitfreie Rundenzeiten und ablaufbedingte Wartezeiten für ungleichartige Transportfahrzeuge im Erntekomplex bei einer Lademassenzykluszeit von 56,3 min ($\sum m_L=77t$, $\sum \dot{m}_{EM}=82t/h$).

	TE1	TE2	TE3	TE4	Einheit
Lademasse je TE	19	25	14	19	t
Anfahrt MD	4,5	6,0	3,0	4,5	min
Beladezeit	3,9	5,2	2,9	3,9	min
Lastfahrtzeit	11,8	13,4	11,8	9,8	min
Entladezeit	11,0	8,0	8,5	8,0	min
Leerfahrtzeit	11,1	12,2	11,1	9,3	min
wartezeitfreie Umlaufzeit	42,3	44,8	37,3	35,5	min
individuelle Wartezeit	14,0	11,5	19,0	20,8	min

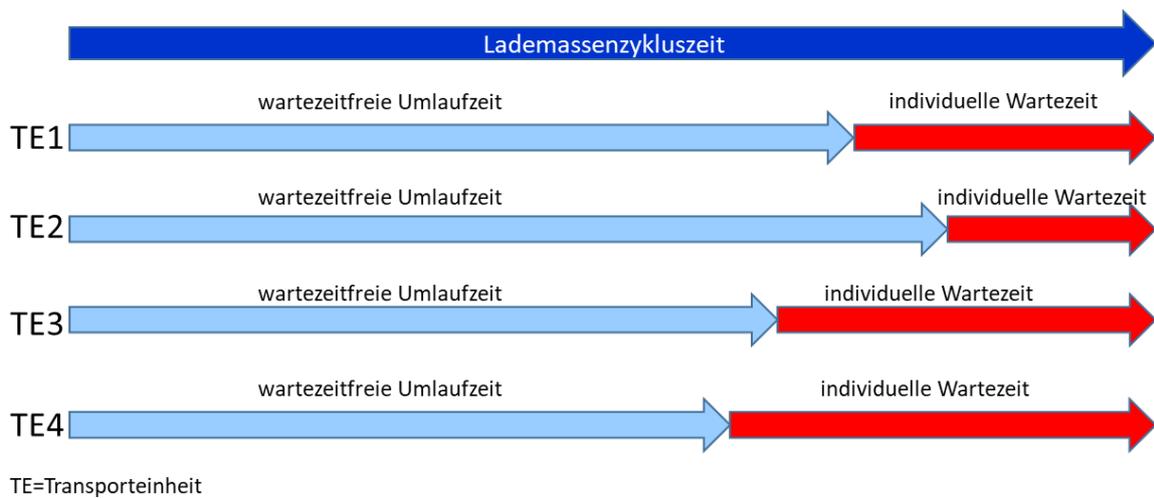


Abbildung 3: Beispiel für individuelle Wartezeiten bei unterschiedlichen Transporteinheiten (Differenz von Lademassenzykluszeit und wartezeitfreier Umlaufzeit)

Für die operative Planung des Landwirts, ist vor allem die Transporteinheit mit der geringsten Wartezeit zu betrachten.

Durch den Abzug einer Transporteinheit reduziert sich die Lademassenzykluszeit. Um Standzeiten bei der Erntetechnik auszuschließen, muss gewährleistet werden, dass die individuellen wartezeitfreien Umlaufzeiten der Transportfahrzeuge kleiner sind als die verbliebene Lademassenzykluszeit.

Abbildung 4 zeigt das Resultat der Verkleinerung des Erntekomplexes um eine Transporteinheit:

1. Die Lademassenzykluszeit verkürzt sich um den Zeitanteil, der zur Beladung des abgezogenen Transportfahrzeuges notwendig gewesen wäre.
2. Die wartezeitfreie Umlaufzeit der Transporteinheit 1 ist unabhängig von der Anzahl der Transportfahrzeuge des Komplexes und im Beispiel zufällig gleich der Lademassenzykluszeit.
3. Die Umlaufzeit der Transporteinheit 2 ist im Vergleich zu der der anderen Transportfahrzeuge durch ihre beispielhaft größere Lademasse bzw. der damit verbundenen längeren Beladezeit größer. Die Transporteinheit käme regelmäßig verspätet auf dem Feld an und würde Stillstandszeiten der Mähdrescher verursachen.
4. Die Transporteinheit 3 kann dagegen auf Grund ihrer beispielhaft höheren Fahrgeschwindigkeit, der relativ kurzen wartezeitfreien Umlaufzeit, regelmäßig am Feldrand warten.

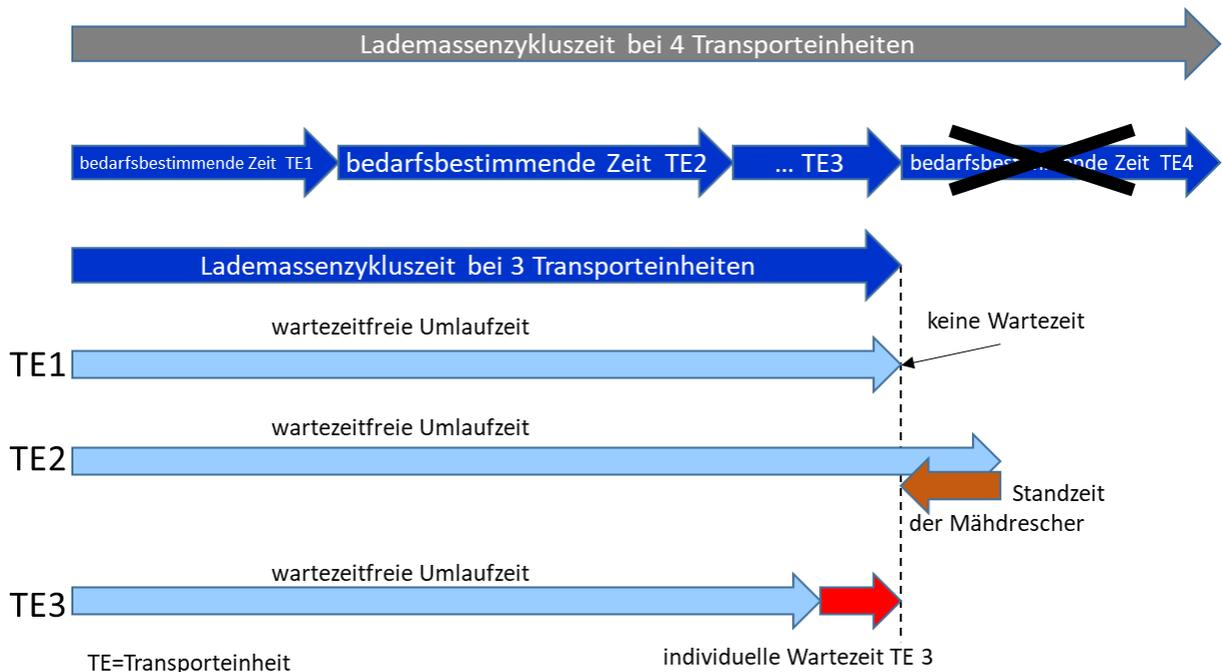


Abbildung 4: Mögliche Auswirkungen einer Verkleinerung des Erntekomplexes um eine Transporteinheit (bei unterschiedlichen Lademassen)

4 Druschleistungsabhängige und -unabhängige ablaufbedingte Wartezeiten

Unvermeidbare druschleistungsabhängige ablaufbedingte Wartezeiten

Die bisher im Beitrag dargelegten ablaufbedingten Wartezeiten treten als Folge von Leistungsunterschieden zwischen den Mähdreschern und den Transportfahrzeugen auf.

Steigen z.B. die Durchsätze der Mähdrescher, werden die Transportfahrzeuge schneller beladen, die Lademassenzykluszeit verkürzt sich und die ablaufbedingten Wartezeiten der Transportfahrzeuge nehmen ab. Solange noch für die Transporteinheiten Wartezeiten entstehen, müssen keine weiteren Transportfahrzeuge eingesetzt werden. Bei längeren Wartezeiten ist zu prüfen, ob eine Transporteinheit eingespart werden kann.

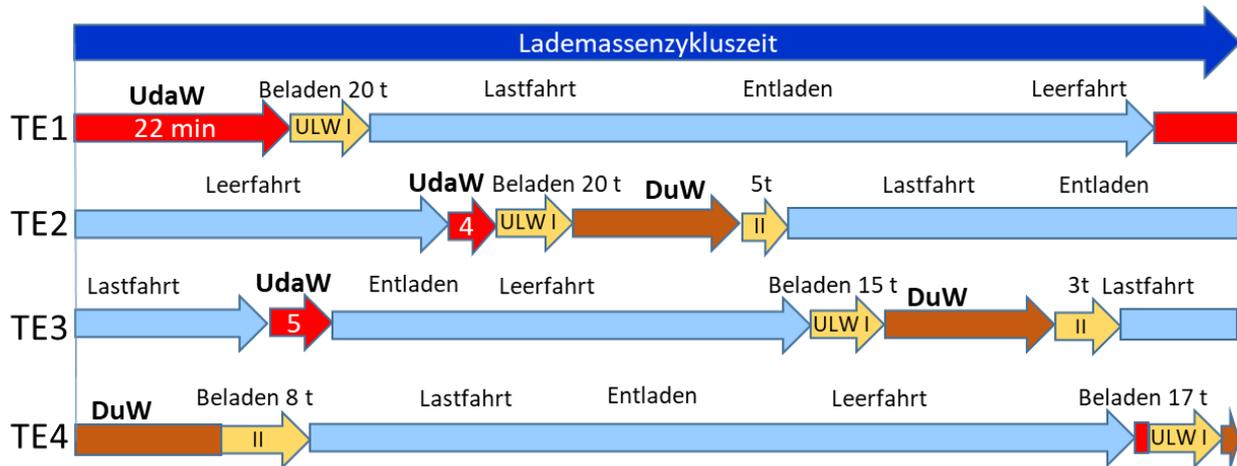
Die Leistungsminderung durch ablaufbedingtes Warten bei den Transportfahrzeugen entspricht nur ihrem Leistungsüberschuss gegenüber den Mähdreschern. Diese ablaufbedingten Wartezeiten sind unvermeidbar und bezogen auf die Mähdruschleistung neutral.

Druschleistungsunabhängige Wartezeiten

Beim Umlauf der Transportfahrzeuge treten aber auch vom Leistungsbedarf unabhängige Wartezeiten durch unplanmäßig lange Aufenthalte beim Landhandel, Verkehrsstörungen usw. auf. Diese verlängern die Umlaufzeit, reduzieren die Transportleistung und müssen durch Einsatz eines zusätzlichen Transportfahrzeuges kompensiert werden. Die Zeiteinbußen durch Landhandel und Verkehrsstörungen könnten z.B. durch flexible Wahl des Einlagerungsortes minimiert werden.

Besonderes Augenmerk sollte dem Einsatz von Überladewagen gelten. Kann durch einen Beladevorgang des Überladewagens die Transporteinheit nicht vollständig befüllt werden, muss das Transportfahrzeug warten, bis der Überladewagen ein weiteres Mal gefüllt ist. Die damit verbundenen ablaufbedingten Wartezeiten können die Transportleistung und die Mähdruschleistung beeinträchtigen.

In Abbildung 5 sind diese zusätzlichen, unabhängig von der Druschleistung auftretenden Wartezeiten, beispielhaft abgebildet.



ULW I: erster Überladevorgang des Überladewagens, II : zweiter Überladevorgang

TE: Transporteinheit, Beladen 20 t: TE übernimmt 20 t Erntegut (am Feldrand)

UdaW: unvermeidbare druschleistungsabhängige Wartezeit

DuW: druschleistungsunabhängige Wartezeit

Abbildung 5: Ablaufdiagramm bei der Beladung von vier Transporteinheiten mit unterschiedlicher Lademasse durch einen Überladewagen in der Getreideernte mit druschleistungsunabhängiger Wartezeit (DuW) und unvermeidbarer druschleistungsabhängiger Wartezeit (UdaW).

Transporteinheit TE1 kann mit einer Überladung (20 t) befüllt werden. Es fallen keine druschleistungsunabhängigen Wartezeiten (DuW) an. Die unvermeidbare druschleistungsabhängige Wartezeit (UdaW) kennzeichnet mit 22 Minuten eine hohe Leistungsreserve der Transporteinheit (Abbildung 5). Bei den 3 anderen Transporteinheiten geht diese Reserve fast vollständig durch deren druschleistungsunabhängige Wartezeit (DuW) verloren, da diese bis zum zweiten Überladevorgang ca. 15 min auf den Überladewagen warten müssen.

Ein weiteres Beispiel zeigt Tabelle 2. Im günstigen Fall 1 werden 3 Transporteinheiten benötigt. Die unvermeidbare druschleistungsabhängige Wartezeit wird mit 6,3 min berechnet. Bei Einsatz von 4 Transporteinheiten steigt die ablaufbedingte Wartezeit (Zeitreserve) auf 25 min an. Wird dann im Fall 3 die Umlaufzeit der Transporteinheit durch ein Warten auf den Überladewagen um 20 Minuten verlängert, sinkt die unvermeidbare druschleistungsabhängige Wartezeit (Reserve) auf 5 min. Im 4. Fall bei 3 Transporteinheiten

und 20 min druschleistungsunabhängige Wartezeit kommt es zu Standzeiten bei den Mähdreschern durch eine verspätete Ankunft der Transporteinheiten um 13,8 min.

Tabelle 2: Anzahl eingesetzter Transporteinheiten sowie deren Lademassenzykluszeit, Umlaufzeit und druschleistungsabhängige Wartezeiten bei unterschiedlicher druschleistungsunabhängiger Wartezeit (Mähdrescherleistung 80 t/h)

	Fall 1	Fall 2	Fall 3	Fall 4	
Anzahl Transporteinheiten	3	4	4	3	Stück
Lademasse	25	25	25	25	t
Lademassenzykluszeit	56,3	75,0	75,0	56,3	min
wartezeitfreie Umlaufzeit	50	50	50	50	min
druschleistungsunabhängige Wartezeit	0	0	20	20	min
unvermeidbare druschleistungsabhängige Wartezeit	6,3	25,0	5,0	-13,8*	min

* Verspätung der Transporteinheiten

Literaturverzeichnis

- [1] Busato, Patrizia, Alessandro Sopegno, Niccolò Pampuro, Luigi Sartori, und Remigio Berruto. „Optimisation tool for logistics operations in silage production“. *Biosystems Engineering* 180 (2019): 146–60.
- [2] Deeken, Henning, Thomas Wiemann, und Joachim Hertzberg. „A spatio-semantic approach to reasoning about agricultural processes“. *Applied Intelligence* 49, Nr. 11 (1. November 2019): 3821–33.
- [3] He, P., und J. Li. „A joint optimization framework for wheat harvesting and transportation considering fragmental farmlands“. *Information Processing in Agriculture* 8, Nr. 1 (2021): 1–14.
- [4] Heizinger, Valentin. „Algorithmische Analyse von Prozessketten in der Agrarlogistik“, Technische Universität München, 2014.
- [5] Herrmann, Andreas. „Modellierung verfahrenstechnischer Bewertungskriterien bei unterschiedlicher Verknüpfung von Ernte- und Transportarbeitsgängen“. Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI (VDI-MEG): 335. Selbstverlag, 1999.
- [6] Jensen, Martin, Andreas Falk, Dionysis Bochtis, Claus Grøn Sørensen, Morten Rufus Blas, und Kasper Lundberg Lykkegaard. „In-field and inter-field path planning for agricultural transport units“. *Computers & Industrial Engineering* 63, Nr. 4 (2012): 1054–61.

[7] Wörz, Sascha Kirsten. „Entwicklung eines Planungssystems zur Optimierung von Agrarlogistik-Prozessen“. Technische Universität München, 2017.

Framework zur Abschätzung von Wegstrecken beim Einsatz von Feld- und Schwarmrobotern am Beispiel der Ernte

Framework for estimating route distances when using field- and swarm robots using the example of harvesting

Michael Mielewczik*, Katja Heitkämper

Agroscope, Strategische Forschungsbereich Nachhaltigkeitsbewertung und Agrarmanagement, Arbeitsgruppe Sozioökonomie, Tänikon 1, CH-8356 Ettenhausen

**E-Mail: michael.mielewczik@agroscope.admin.ch*

Zusammenfassung:

In den letzten Jahren sind vermehrt Konzepte zum Einsatz von Feld- und Schwarmrobotern aufgekommen. Diese sollen außer zu einer Reduktion des Arbeitszeitbedarfs auch zur Erreichung von anderen Nachhaltigkeitsindikatoren, wie beispielsweise einer verringerten Bodenverdichtung, beitragen. Der Einsatz dieser automatisierten Einheiten hat jedoch, insbesondere bei der Ernte, sehr deutliche Auswirkungen auf die Arbeitswege auf dem Feld und die dadurch verursachten Arbeits- und Maschinenzeiten. In arbeitswissenschaftlichen Kalkulationsprogrammen fehlen bislang automatisierte Frameworks und Routinen, welche diese Auswirkungen für typische Feldformen berücksichtigen können. Außerdem sollen iterativ auch verschiedene Maschinengrößen bei verschiedenen Feldmanagementstrategien verglichen werden können. Der vorliegende Beitrag präsentiert beispielhaft ein Framework, mit dem verschiedene relevante Dimensionen des Grades der Mechanisierung sowie der Komplexität Feldarbeiten beschrieben werden können. In Form einer beispielhaften Implementierung zeigen wir, wie sich mit einigen einfachen Parameter zur Mechanisierung eine erste Abschätzung zu deren dynamischem Einfluss auf die Wegstrecken und die Anzahl der zu absolvierenden Wendemanöver auf dem Feld ermitteln lässt. Diese können dann abschließend für die Berechnung von szenario- und feldspezifischen Arbeits- und Maschinenzeiten genutzt werden.

Deskriptoren: Feldarbeitssystem, Arbeitswege, Feldform, Modellkalkulation

Abstract

In recent years, more and more concepts for the use of field and swarm robots have emerged. In addition to potential reducing the workload, those concepts are also intended to contribute to achieve sustainability indicators such as the reduction of soil compaction. However, the use of these automated harvesting units has a very clear impact on the working routes in the field and the resulting working- and machine-times especially in

harvesting procedures. Up to now, there have been no automated frameworks in calculation programs for labour science that can consider these effects for typical field shapes. Furthermore, it should be possible in such routines to iteratively compare different machine sizes and field management strategies. The paper presents a general framework that allows to describe different relevant dimensions for the degree of mechanization and the complexity of agricultural field systems. Using an exemplary implementation, we show how simple parameters for mechanization units allow to calculate the dynamic influence of mechanization on distances and the number of turning maneuvers in the field and scenario- and field-specific working and machine times.

Keywords: *Field operation system, work paths, field form, model calculation*

1 Einleitung

Im Pflanzenbau zielte die Mechanisierung von Ernteverfahren in der Vergangenheit oftmals auf die Erhöhung der Schlagkraft durch die Etablierung größerer, schwerer und leistungsstärkerer Maschinen ab (Keller et al. 2019; Renius 2001; Schjønning et al. 2015). Im Zeitalter der Digitalisierung richtet sich das Augenmerk vermehrt auf elektronische Steuerungs- und Fahrerassistenzsysteme, welche eine zunehmende Verbreitung finden (Sabelhaus et al. 2015; Baillie et al. 2018; Groher et al. 2020a & 2020b). Die einzelnen Dimensionen eines Feldbewirtschaftungssystems weisen aufgrund technischer Entwicklungen einen unterschiedlichen Grad der Komplexität auf. Die zunehmende Größe der Traktoren oder die wachsende Elektrifizierung sind typische Beispiele eines unidirektionalen Verlaufes. In manchen Dimensionen verläuft dieser Grad jedoch nicht immer nur von einer geringeren in Richtung einer höheren Komplexität und Leistung, sondern hin zu einer zunehmenden Diversifizierung. In den letzten Jahren sind vermehrt Konzepte zum Einsatz von autonomen Feld- und Schwarmrobotern aufgekommen (siehe z. B. Johnson et al. 2009; Schwich et al. 2018; Hillerbrand et al. 2019), die durch ihr geringeres Gewicht auch dazu beitragen könnten, die zunehmende Bodenverdichtung zu minimieren (Fechner & Uebe 2020). Hinsichtlich der Bedeutung von Feld- und Schwarmrobotern ist anzumerken, dass es ein wachsendes Interesse an derartigen Lösungen gibt. Dies zeigt sich beispielsweise auch daran, dass die Zahl der Firmen, die an der Entwicklung derartiger Robotiklösungen arbeiten, in den letzten Jahren deutlich zugenommen hat (Hillerbrand et al. 2019). Auffallend ist, dass sich die Entwicklungsbestrebungen für Feldroboter vorwiegend auf die Einsatzgebiete Düngung, Pflanzenschutz (Kopfinger & Vinzent 2021), Sensorsysteme und im Besonderen mechanisierte Unkrautbekämpfung fokussieren.

Ernte-Roboter, Pflück- und Sammelroboter oder Multi-Use Plattformen sind dagegen noch immer seltenere Automatisierungsansätze (Hillerbrand et al. 2019). Mögliche Gründe hierfür sind beispielsweise die logistischen Herausforderungen an die Routen auf dem Feld in Zusammenhang mit Kapazitätsbegrenzungen, aber auch technische spezifische Herausforderungen, welche sich vor allem bei speziellen Ernterobotern bei der Ernte ergeben. Zum einen interagieren derartige Roboter direkt mit der Umwelt, so dass

hier besondere Sicherheitsmaßnahmen berücksichtigt werden müssen (Oksanen 2007; Zhang & Noguchi 2017), zum anderen ergeben sich bei kleineren mechanischen Einheiten mit großen Erntemengen mechanische Herausforderungen im Ernteprozess, die sich beispielsweise bei der Ernte von Silo-Mais- oder den verschiedenen Getreidearten und einer generell geringeren Traktion zeigen können. Ökonomische und arbeitswissenschaftliche Analysen zu Feldrobotern in Ernteverfahren gerade in diesem Bereich fehlen noch weitestgehend (Gaus et al. 2017), wobei hier nicht nur grundsätzliche Fragen zu Maschinenkosten bei Kleintechnikszenerarien berücksichtigt werden müssen, sondern insbesondere auch erhöhter Wartungsaufwand und Fehleranfälligkeit Beachtung finden müssen. Zudem können Spitzen in der saisonalen Arbeitsbelastung Investitionen in derartige automatisierte Systeme verhindern.

In Szenarien, in denen diese Limitierungen eine geringere Rolle spielen, zudem auch Überhänge von Arbeitswegen bestehen können z. B. weil keine Vorgewende erstellt werden müssen und im Besonderen auch bei Kulturen, in denen manuelle Arbeiten einen begrenzenden Einfluss besitzen, haben automatisierte Erntesysteme möglicherweise das größte Potenzial. Dies könnte beispielsweise beim Einsatz von Ernte-, Pflück- und Sammelrobotern im Obst und Gemüsebau der Fall sein, für welche bereits eine ganze Reihe von Konzeptmodellen vorgestellt worden sind (siehe z.B. Geyer 2019; Mao et al. 2022). In vielen Kulturverfahren ist der praktische Nutzen von Feld- und Schwarmrobotern bei der Ernte dagegen immer noch nicht im Detail noch nicht bekannt. Die Arbeitswissenschaft nimmt eine zentrale Rolle ein, wenn solche Technologiepfade für die zukünftige Transformation der Landwirtschaft evaluiert werden sollen. In solchen Zukunftsszenarien stellt die Koordination zwischen verschiedenen Maschinen und den sich verändernden Arbeitsabläufen für das Personal, das die Steuerung der Roboter überwacht, eine neue Herausforderung dar. Diese Koordination wird vor allem durch Kenntnis über die zurückgelegten Wegstrecken ermöglicht. Parameter, welche die Wegstrecken, die auf dem Feld zurückgelegt werden müssen, im Wesentlichen beeinflussen, sind die Größe, Abmessung und Form des Feldes, die Anzahl der zu berücksichtigenden Wendemanöver, die Anzahl der eingesetzten Roboter, das jeweilige Ladevolumen und die jeweilige Arbeitsbreite, die Arbeitsrichtung und schließlich die zu erwartende Erntemenge. In dem vorliegenden Beitrag wird ein Framework vorgestellt, in dem diese Parameter zur Berechnung der Wegstrecken berücksichtigt werden. Die Bodenbelastung spielt eine besondere Rolle beim Einsatz von Feld- und Schwarmrobotern, weil bei zunehmender Feldgröße die Anzahl benötigter Roboter steigt und es zu wiederholtem Befahren einzelner Erntespuren kommen kann. Wegstrecken, Wendemanöver und Bodenverdichtung sind zwar bereits in arbeitswissenschaftlichen Einzelbetrachtungen auch mathematisch beschrieben und analysiert worden (Handler & Blumauer 2020), bislang steht aber kein Framework zur Verfügung, mit welchem sich die Zusammenhänge dieser Aspekte im Rahmen arbeitswissenschaftlicher Modellierung einfach abschätzen lassen. Neben den vorgeschlagenen Einzelfallbetrachtungen beschränkten sich arbeitswissenschaftliche Ansätze bislang auf die Optimierung von Maschinen- und Arbeitszeiten auf einem einzelnen Feld (Seyyedhasani & Dvorak 2017, 2018a, 2018b).

Im Folgenden präsentieren wir ein Framework, mit dem sich verschiedene Dimensionen des Grades der Mechanisierung und Automatisierung in der Landwirtschaft und der Komplexität von Feldarbeitssystemen, insbesondere bei Erntearbeiten, beschreiben lassen. An Anhand einer beispielhaften Implementierung zeigen wir, wie Wegstrecken innerhalb von arbeitswissenschaftlichen Kalkulationsprogrammen automatisch, auch unter Berücksichtigung von logistischen Problemstellungen, ermitteln lassen.

2 Allgemeines Framework zur Analyse der Komplexität von Feldarbeiten

Landwirtschaftliche Routenplanungs-Systeme (LRPS) haben die Aufgabe, die optimale Route auf dem Feld zu bestimmen, der eine Maschine zu folgen hat. Es gibt unzählige generelle und auf spezielle Betriebszweige und Tätigkeiten ausgerichtete Lösungsansätze, Algorithmen und Programme, die in LRPS zur Verfügung stehen. Die verschiedenen Ansätze und Algorithmen unterscheiden sich jedoch teilweise erheblich in der von ihnen beschriebenen und abgebildeten Komplexität (Clarke & Wright 1964; Bochtis & Sørensen 2009 & 2010; Bochtis & Vougioukas 2008). Die allgemeine Vorgehensweise bei solchen LRP-Konzepten ist es, Routen mathematisch zu berechnen, wobei dies meist als Gleichungssystem zur Lösung eines speziellen Vehikel Routing Problems (VRP) erfolgt (Seyyedhasani & Dvorak 2017). Beim VRP-Ansatz wird das zu beschreibende Feld in Form eines Netzwerk-Graphen mit Knotenpunkten beschrieben, welche einzelne Punkte auf den Fahrgassen repräsentieren, wobei die jeweiligen Fahrgassen durch die in gerade Linie verbundenen Punkte einer Fahrgasse beschrieben (Bochtis & Sørensen 2009 & 2010; Seyyedhasani & Dvorak 2017; Utamima & Djunaidy 2022). Punkte auf den Endpunkten dieser die Gassen repräsentierenden Feldlinien werden durch zusätzliche Bögen (bzw. Wendemanöver) verknüpft (Ebd.). Für dieses System werden mögliche Lösungen ermittelt, mit denen die Knotenpunkte dieser Graphendarstellung verbunden werden können (Ebd.). Mit Hilfe von Optimierungsalgorithmen kann dann der optimale Pfad bzw. die Route ermittelt werden (siehe z.B. Zhang et al. 2022). Ziel der Kostenfunktion ist dabei üblicherweise die minimale Wegstrecke zu ermitteln, daneben können prinzipiell aber auch andere Zielindikatoren, wie beispielsweise Maschinen- und Arbeitszeiten angestrebt werden (Seyyedhasani & Dvorak 2017). Für autonome Navigations- und Steuerungssysteme muss das Graphensystem der optimalen Route auf das Koordinatensystem des echten Feldes übertragen und in eine kinematische Steuerungssequenz für das landwirtschaftliche Vehikel übertragen werden (siehe z.B. Tu 2013; Sabelhaus 2015).

Im Kontext arbeitswissenschaftlicher Betrachtungen und auf unterschiedliche Mechanisierungen bezogen stellt sich die Frage, welche Komplexität des LRPS tatsächlich benötigt wird, wenn bei einer umfassenden Betrachtung von Nachhaltigkeitsindikatoren neben arbeitswissenschaftlichen auch andere soziale, ökonomische und ökologische Aspekte berücksichtigt werden sollen. Durch die sehr unterschiedlichen Ladekapazitäten von Ernteeinheiten haben sich LRPS weg von reinen Routenplanungs-Algorithmen hin zu Logistik-Algorithmen entwickelt. Die Routenplanung innerhalb der Feld-Logistik und die darin verwendeten LRP-Algorithmen sind verwandt mit Systemen, wie sie beispielsweise in der

Warenhauslogistik zum Einsatz kommen (siehe Abb. 1; vgl. De Koster et al. 2007; Goetschalckx & Ashayeri 1989). Auf einer strategischen Ebene wird das Feld-System dabei analog durch einzelne Feldeigenschaften sowie die Mechanisierung bestimmt. Die Feldeigenschaften ergeben sich aus der Länge, Breite und Form des betrachteten Feldes und der Höhe, auf der abgeerntet werden muss. Hier wird beispielsweise zwischen der Ernte von Bodenfrüchten, von Kulturen, die auf einer vordefinierten Höhe abgeerntet werden und von Früchten, bei denen die Arbeitshöhe variabel ist, unterschieden. Die Mechanisierung ergibt sich wiederum durch eine Reihe von Parametern, unter anderem durch den Automatisierungsgrad, die Maschinengröße oder die Art und Anzahl der Maschinen, die für den Arbeitsvorgang benötigt werden. Der Ablauf der Feldoperationen (diskret oder kontinuierlich) ist ein weiterer Bestimmungsfaktor. Bei Bedarf können weitere Dimensionen auf der strategischen Ebene betrachtet werden. Dazu gehören beispielsweise der Grad der Digitalisierung, der Grad der Elektrifizierung der Maschinen, der Grad der Vernetzung oder auch die Arbeitsbreite. Auch die Verarbeitung von Informationen im Verlauf von einzelnen Arbeitsschritten während des Arbeitsvorgangs (also ob diese statisch oder dynamisch erfolgen) kann sich zwischen verschiedenen Systemen unterscheiden (Seyyedhasani & Dvorak 2018).

Auf der operationellen Ebene wird der Grad der Komplexität eines Feldbewirtschaftungssystems vor allem von drei weiteren Dimensionen beeinflusst. Analog zum Warenhaus-system mit einzelnen oder mehreren Gängen und Lagerebenen (De Koster et al. 2007) sind dies die Einrichtung von Zonen in die das Feld eingeteilt werden kann, die Ladeverfahren und die Routenplanung. Das Vorhandensein von Zonen wie ökologischen Feldrändern oder Intercropping-Streifen, oder auch das Anlegen von Wendestreifen im Feld während der Ernte kann wiederum die Routenplanung beeinflussen.

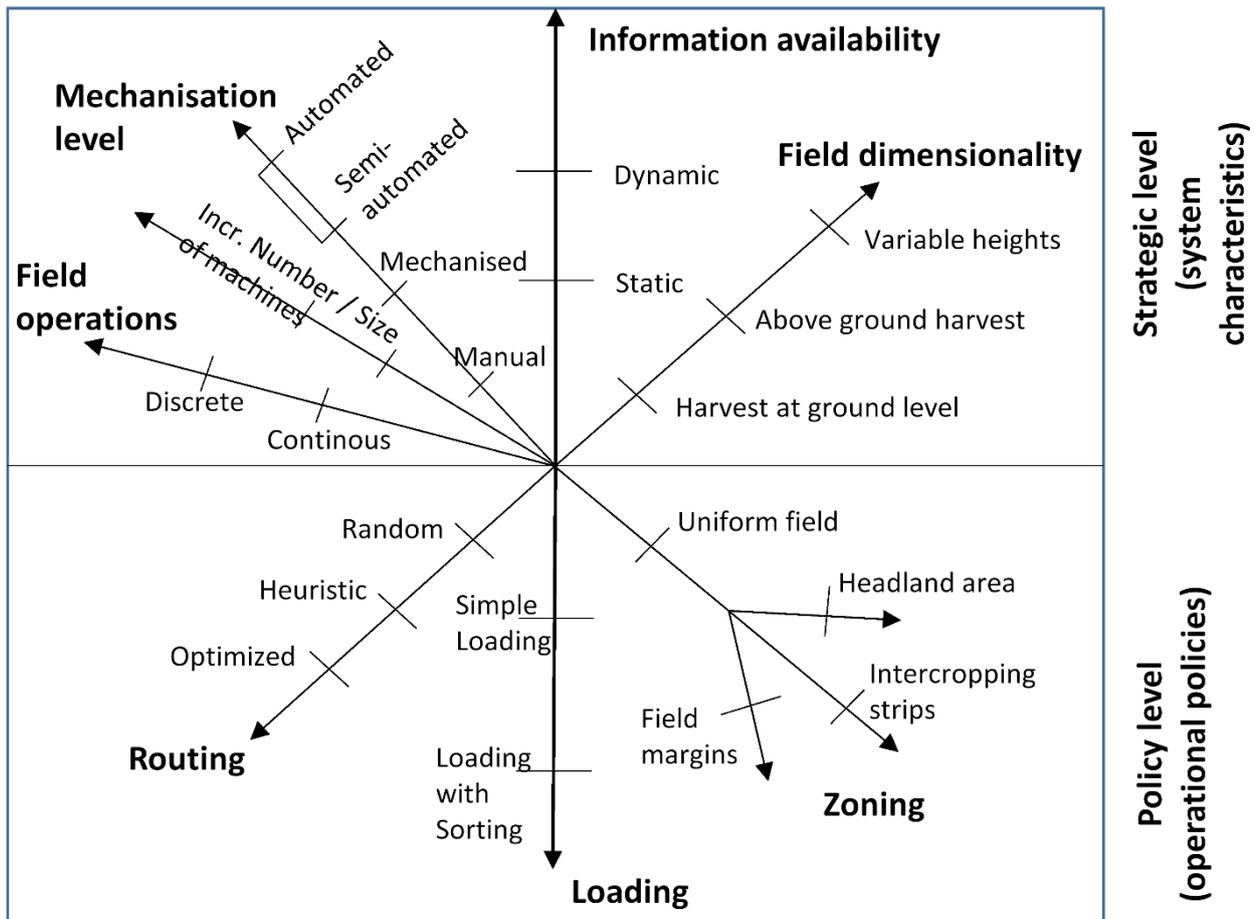


Abbildung 1: Komplexität eines Feldarbeitssystems. (Modifiziert nach einem Konzept zur Darstellung der Komplexität eines Kommissionierungssystems eines Warenhaltungssystems von De Koster et al. 2007 auf Basis der Darstellung durch Goetschalckx & Ashayeri 1989).

3. Landwirtschaftliche Routenplanung

Die Planung von Routen für die Feldarbeit unter Einsatz mechanischer Einheiten hat sich in den letzten Jahren in ein sehr aktives Gebiet der angewandten aber auch theoretischen Forschung entwickelt (Fevgas et al 2022; Utamima & Djunaidy 2022; Bochtis & Vougioukas 2008; Bochtis & Sørensen 2009 & 2010). Ein Grund hierfür sind zum einen Bestrebungen, logistische Herausforderungen bei der Feldarbeit weiter zu optimieren, zum anderen die zunehmende Verbreitung von elektronischen Steuerungs- und Fahrerassistenzsystemen, welche inzwischen zum Standard moderner mechanischer Einheiten gehören, die von kommerziellen Herstellern angeboten werden.

In seiner einfachsten Beschreibung kann das Routenproblem als spezieller Fall des «Problems des Handlungsreisenden» definiert werden. Die Aufgabe besteht darin, die Reihenfolge mehrerer Orte so festzulegen, dass alle Orte konsekutiv exakt einmal besucht werden und zwar so, dass die gesamte Reisedistanz des Händlers möglichst kurz ist und er zuletzt an den Ausgangspunkt zurückkehrt. Die einzelnen Zielpunkte sind dabei

frei auf einer planen Fläche verteilbar. Durch die zunehmende Verbreitung von semiautomatischen und automatischen Fahrerassistenzsystemen haben derartige Routenplanungssysteme eine verstärkte Beachtung gefunden. Zahlreiche mehr oder weniger speziell ausgerichtete Algorithmen wurden vorgestellt, mit denen die optimale Route für verschiedene Felder ermittelt werden kann (siehe z.B. Bochtis & Sørensen 2009 & 2010). Unterschiedliche Routen und Einzelschritte können auch genutzt werden, um für das jeweilige Feld Einsparpotentiale und Optimierungspotentiale zu ermitteln, z.B. durch Minimierung der Arbeits- und Maschinenzeiten, die zur Abarbeitung eines Feldes benötigt werden (Seyyedhasani & Dvorak 2017; 2018a & b).

Hier gilt allerdings, dass anstelle der Optimierungsalgorithmen oftmals verschiedene Aspekte- und Strategien der Mechanisierung in unterschiedlichen Szenarien verglichen werden sollen. Interessant sind hierbei beispielsweise Szenarien mit kleineren, vollautomatisierten mobilen Feldeinheiten wie oben beschrieben, mit unbemannten Drohnen (z.B. UAVs) oder Erntekampagnen mit Hilfe multipler Schwarmroboter, wobei letzteres die Algorithmen zur Routenplanung auf Grund von Kapazitätsbeschränkungen zu einem logistischen Algorithmenproblem verändert.

Vor diesem Hintergrund ergeben sich in arbeitswirtschaftlichen Untersuchungen andere Anforderungen an die Erstellung eines Frameworks für Routenplanungen. Auch hier können zwar Optimierungs-Algorithmen von Interesse sein, primär stehen aber andere Eigenschaften im Vordergrund, wie beispielsweise Nebenzeiten und ablaufbedingte Wartezeiten von mechanischen Einheiten oder die Behandlung logistischer Probleme, wie sie beispielsweise durch begrenzte Ernte- und Ladekapazitäten kleinerer mobiler mechanischer Einheiten entstehen können. Statt optimierter Routen für alle denkbaren Felder genügt es hier, verschiedene typische Beispielfelder mit typischen Routen für Analysen zu implementieren. Anhand dieser Beispielfelder können auf die Größe der mobilen Einheiten bezogene Wendemanöver und nicht- arbeitsgebundenen Teilrouten ermittelt werden, während gleichzeitig auch Zonierung sowie Biodiversität fördernde Feldaufteilungen konfiguriert und beachtet werden können. Ein direktes Mapping der Koordinaten einzelner Punkte auf die virtuelle oder reale Feldfläche wird nicht zwingend benötigt, da hierfür im Gegensatz zu einem Fahrerassistenzsystem diese Punkte nicht wirklich sequentiell auf der kürzesten ermittelten Route angesteuert werden müssen. erfüllt sind. Zu den wichtigsten Anforderungen gehören im Einzelnen die Möglichkeiten zur: 1) Berechnung der Route zur Erstellung des Vorgewendes (falls benötigt), 2) Berechnung der zurückzulegenden Distanz in jedem Schlag, 3) Die Berechnung der benötigten Distanzen für die Wendemanöver ausgehend von der Größe und Eigenschaften des Vehikels, 4) Logistische Korrekturen basierend auf Kapazitätsbegrenzung, wobei sich die Einzelschritte des Algorithmus entsprechend einem Pseudo-Code beschreiben lassen (Tabelle 1). Die vorgeschlagene Lösung für die Ermittlung der zurückzulegenden Strecken gilt dabei für alle Felder mit parallelen kontinuierlichen Fahrgassen bzw. Fahrspuren mit einer der vorgegebenen, auszuwählenden Feldformen mit definierter Breite und Länge des Feldes, bei denen die Ernte in ein einzelnes Depot am Feldrand abgebunkert wird.

4 Entwicklung eines Pseudo-Codes

4.1 Schritt 1: Feld definieren

Im ersten Schritt wird das Feld F definiert, für welches der Algorithmus eine einfache Abschätzung der Arbeitsdistanz abliefern soll. Im einfachsten Fall wird ein Feld lediglich durch drei Parameter bestimmt: Die Feldlänge L_F , die Feldbreite B_F und die Form des Feldes. Entspricht diese nicht einem Rechteck so müssen die einzelnen Längen der Fahrgassen als Array angegeben oder zunächst durch weitere Angaben in Form zusätzlicher Winkel und Kantenlängen berechnet werden. Für die Auswahl der Form des Feldes stehen acht verschiedene vereinfachte Optionen zur Verfügung (siehe Abb. 2).

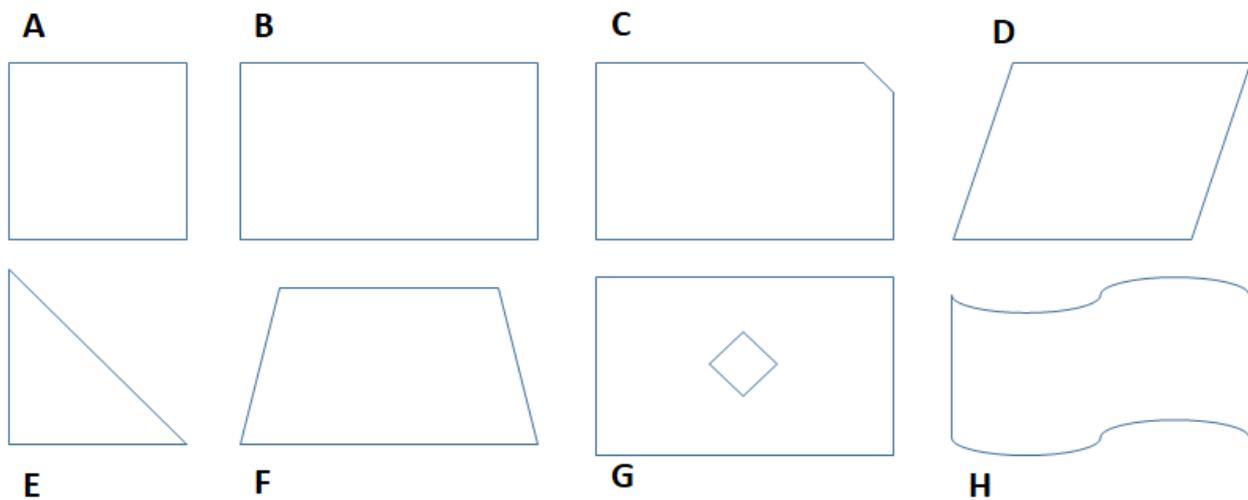


Abbildung 2: Grundformen A–H für das zu untersuchende Feld. Neben der Form werden alle Felder durch die Länge und Breite der Fläche definiert. Im Falle der Feldformen E und F wird eine zusätzliche Feldkantenlänge zur Felddefinition benötigt. Für die Feldformen A, B, D und H entspricht die jeweilige Länge einer Reihe der Länge des Feldes. Im Falle der Feldformen C, E, F und G verändert sich die Reihenlänge entlang der Feldbreite. Die Länge für einzelne Reihen müssen daher mittels einer Matrix berechnet werden. Komplexere Feldformen (z.B. G mit zusätzlichem Hindernis) benötigen eventuell bei der Berechnung eine komplexere Zonierung.

Tabelle 1: Pseudo-Code für die Ermittlung von Wegstrecken in arbeitswirtschaftlichen Kalkulationssystemen.

Individuelle Schritte	Algorithmus
1. Feld definieren	<ul style="list-style-type: none"> – Feldform (F) auswählen – Länge (L_F) und Breite (B_F) des Feldes bestimmen
2. Eigenschaften der Erntemaschine (D) definieren	<ul style="list-style-type: none"> – Arbeitsbreite (AB) des Arbeitsgerätes bestimmen – Radius des minimalen Wendekreises (r_{min}) bestimmen – Ladekapazität (K_M) in Gewichtseinheiten bestimmen – Optional: <ul style="list-style-type: none"> – Länge (L_V) und Breite (B_V) des Vehikels bestimmen – Achsenabstand (AB_{Achsen}) und Achsenanzahl (n_{Achsen}) bestimmen
3. Vorgewende und Zonen auf dem Feld festlegen und Art des Wendemanöver auf dem Vorgewende bestimmen	<ul style="list-style-type: none"> – Vorgewende ja/nein/beidseitig – Bestimmen der Breite des Vorgewendes B_{Vor} – Form des Wendemanövers (W_F) auswählen – Zonen (z. B. Hindernisse) ja/nein
4. Fläche der Vorgewende und Zonen berechnen; Strecke für das Anlegen des Vorgewendes berechnen	<ul style="list-style-type: none"> – Wenn Vorgewende ja, Fläche (A_{Vor}) des Vorgewendes bestimmen – Wenn Zone ja, Fläche (A_Z) der Zone(n) bestimmen – Wenn Vorgewende, Zonen = ja, L_{Vor} von L_F oder B_{Vor} von B_F subtrahieren
5. Länge (l_i) und Anzahl der Fahrgassen (n_i) berechnen und Reihenfolge festlegen	<ul style="list-style-type: none"> – Fahrtrichtung auf dem Feld bestimmen – Arbeitsbreite (AB_f) bestimmen – AB resp. AB durch L_F oder B_F resp. $L_{F,korr}$ oder $B_{F,korr}$ dividieren – Wenn Zonen = ja, Fahrgassen für jede Zone (n_{GZ}) berechnen – Berechnung der Anzahl der Fahrgassen mit Hilfe der Arbeitsbreit
6. Wegstrecke (s_F) auf dem Feld bei der Ernte berechnen	<ul style="list-style-type: none"> – Länge aller Fahrgassen l_i addieren
7. Wegstrecke (s_W) für Wendemanöver (W_F) berechnen	<ul style="list-style-type: none"> – Anzahl der Wendemanöver (n_W) berechnen – n_W mit s_W multiplizieren

Fortsetzung Tabelle 1: Pseudo-Code für die Ermittlung von Wegstrecken in arbeitswirtschaftlichen Kalkulationssystemen.

8. Nicht-Arbeits-Wegstrecken (NAS) berechnen	<ul style="list-style-type: none"> – Ernteertrag ($E(FG_i)$) pro Flächeneinheit bestimmen – Anzahl erforderlicher Abladevorgänge für das gesamte Feld N_j berechnen – Wegstrecke (s_i) und Feld in Teilstrecken (s_j), die aufgrund der begrenzten Ladekapazität (K_M) wiederholt zurückgelegt werden müssen, aufteilen und bestimmen – Wegstrecke (s_T) vom Punkt, an dem die maximale Ladekapazität erreicht ist, zum Depot, wo das Erntegut abgeladen wird, berechnen. – Berechnung der NAS aus den NAS für Fahrgassen NAS (FG), s_W, s_{Vor}, $s_{Ausweich}$, $s_{Zufahrt}$ und s_{Depot}.
9. Gesamte Wegstrecke (s) für das Arbeitsverfahren berechnen	<ul style="list-style-type: none"> – s_F und NAS addieren
10. Arbeitszeitbedarf (AKh, Th) für s berechnen	<ul style="list-style-type: none"> – Fahrgeschwindigkeiten während der Ernte (v_E), für Wendemanöver (v_W), für Transportfahrten auf dem Feld (v_T) und für Leerfahrten (v_L) bestimmen – Fahrgeschwindigkeit (v_i) mit der jeweiligen Wegstrecke (s_i) multiplizieren – Produkte addieren

4.2 Schritt 2: Eigenschaften der Maschinen definieren

Im zweiten Schritt werden die Eigenschaften der Erntemaschine bzw. eines oder mehrerer Feldroboter konfiguriert, welche für die Ernte im untersuchten Szenario genutzt werden sollen. Die grundlegenden Eigenschaften des Vehikels sind dabei vor allem die Arbeitsbreite des Geräts AB , der Radius des minimalen Wendekreises r_{min} und die Ladekapazität der Erntemaschine in Masseeinheiten K_M . Weitere Parameter wie die Zahl und Abstände der Achsen, der maximale Einschlagwinkel, Länge und Breite des Vehikels und das Gewicht der Ernteeinheit können optional angegeben werden, um weitere Berechnungen durchzuführen, wie beispielsweise solche zur Bodenverdichtung aber auch zur Berechnung des minimalen Wendekreises, wenn dieser nicht vorgegeben ist.

4.3 Schritt 3: Vorgewende und Zonen festlegen und Wendemanöver bestimmen

In der Praxis ist es häufig notwendig, einen Feldbereich für das Vorgewende zu präparieren, in welchem später die Wendemanöver stattfinden. Das Vorgewende kann auf einer

oder beiden Seiten des Feldes eingerichtet werden. Die Breite des Vorgewendes sollte so gewählt sein, dass sie dem gewählten Wendemanöver entspricht (siehe Abb. 3).

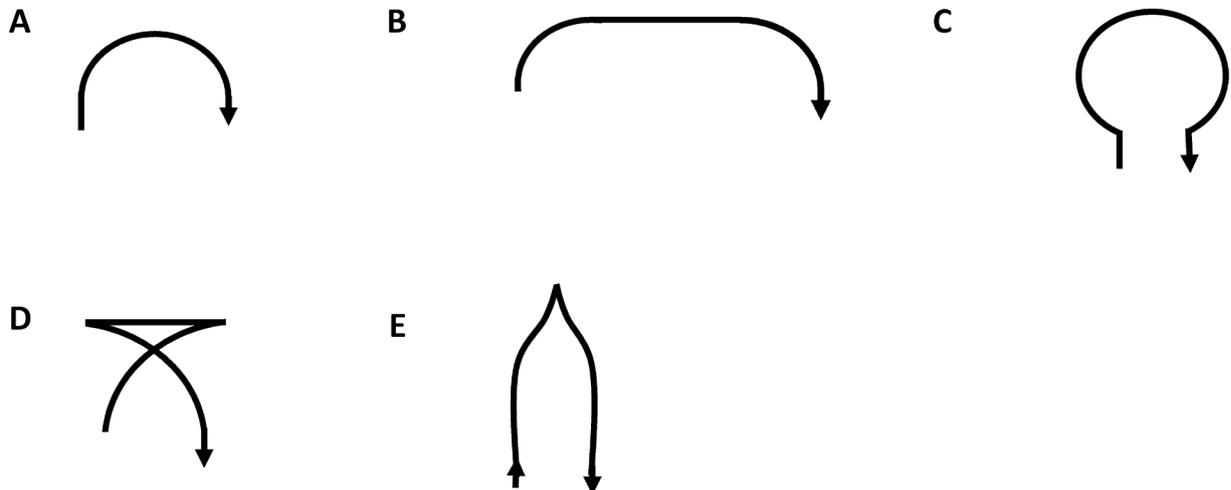


Abbildung 3: Verschiedene Arten von Wendemanövern auf dem Feld: A) klassischer U-Turn, B) Flat U-Turn, C) Omega-Wende, D) T-Turn (Fischschwanz-Manöver) und E) Kielbogenmanöver

4.4 Schritt 4: Fläche der Vorgewende und Zonen auf dem Feld berechnen sowie Strecke für das Anlegen des Vorgewendes berechnen

Wenn Vorgewende auf dem Feld angelegt werden sollen, müssen die entsprechenden Flächen berechnet und die Fläche des Feldes korrigiert werden. Gleiches gilt für andere Zonen. Im Falle eines einfachen U-Turn-Manövers entspricht die minimale Breite des Vorgewendes B_{Vor} der Arbeitsbreite AB oder dem minimalen Wendekreis der Ernteeinheit, je nachdem welcher Wert grösser ist. Ausgehend von der Breite des Vorgewendes B_{Vor} wird die Länge $L_{F, korr}$ und Fläche $A_{F, korr}$ des Feldes korrigiert:

$$L_{F, korr} = L_F - B_{Vor} \quad [1]$$

bzw.

$$A_{F, korr} = (L_F - B_{Vor}) * B_F \quad [2]$$

Anschließend wird die Strecke s_V berechnet, welche zur Vorbereitung des Vorgewendes benötigt wird. Diese setzt sich im Detail aus der Zufahrt zum Vorgewende s_a , der Breite des Feldes B_F , der Strecke für ein einfaches Wendemanöver s_w und der Rückfahrstrecke s_b zusammen:

$$s_V = s_a + 2(B_F - r_{min}) + s_w + s_b \quad [3]$$

Diese Formel gilt für $2 \cdot r_{min} < B_{Vor}$. In anderen Fällen kann kein einfaches U-Turn-Manöver gefahren werden. Hierfür müssen Sonderfälle mit alternativen Wendemanövern gewählt werden (siehe Abb. 3). Die Berechnung der Strecke s_w erfolgt analog wie in Schritt 7 für die regulären Wendemanöver beschrieben. Aus der maximalen Ladekapazität des Erntefahrzeugs ergibt sich, ob weitere Korrekturen an s_v vorzunehmen sind. Gibt es Kapazitätsbegrenzungen, so müssen auch diese analog zu den Berechnungen für das reguläre Feld (siehe Schritt 8) beachtet werden.

4.5 Schritt 5: Länge und Anzahl der Fahrgassen berechnen und Reihenfolge festlegen

In der Praxis entspricht die Fahrtstrecke oft der längeren Feldkante (Oksanen, 2007). Gerade im Fall des Einsatzes von kleineren mechanischen Ernteeinheiten gilt diese Regel jedoch nicht grundsätzlich. In manchen Situationen wird die kürzere Feldseite als Hauptarbeitsrichtung gewählt, vor allem, um Kapazitätsprobleme zu minimieren (vgl. Oksanen, 2007). Die Anzahl der abzufahrenden Fahrgassen n_G ergibt sich aus der Länge L_F resp. $L_{F,korr}$ oder Breite B_F resp. $B_{F,korr}$ des jeweiligen Feldes dividiert durch die Arbeitsbreite des jeweiligen Gerätes AB . Bei der Ernte entspricht die theoretische Arbeitsbreite in der Regel der effektiven Arbeitsbreite, bei anderen Arbeiten können die beiden Werte je nach Mechanisierung voneinander abweichen.

Abgestimmt auf die Feldform F wird anschließend die Reihenfolge, in welcher einzelne Fahrgassen abgearbeitet werden sollen, festgelegt. Wenn auf dem Feld Zonen oder Hindernisse definiert wurden, wird die Länge und Anzahl der Fahrgassen im Bereich der jeweiligen Zonen n_{GZ} zusätzlich berechnet.

4.6 Schritt 6: Wegstrecke s_F auf dem Feld bei der Ernte berechnen

Die auf dem Feld zur Erledigung der eigentlichen Arbeitsaufgabe (Ernte) abzufahrende Strecke s_F ergibt sich aus der Summe der Längen der einzelnen Fahrgassen l_1 bis l_n :

$$s_F = l_1 + l_2 + \dots + l_n = \sum_{i=1}^n l_i \quad [4]$$

wobei l_i jeweils der Länge der i ten Fahrgasse entspricht. Abhängig von der zuvor gewählten Feldform, muss Formel [4] mit Korrekturfaktoren k_i angepasst werden:

$$s_{F,korr} = k_1 * l_1 + k_2 * l_2 + \dots + k_n * l_n = \sum_{i=1}^n k_i * l_i \quad [5]$$

Wird das untersuchte Feld in einem Intercropping-Szenario bewirtschaftet, so werden die einzelnen Ernteverfahren getrennt voneinander berechnet, wobei nur die jeweils relevan-

ten Fahrgassen berücksichtigt werden. Bei Schwarmrobotern gelten für jedes Gerät lediglich die Fahrgassen, welche der jeweiligen Ernteeinheit zugewiesen wurden. Für jede Einheit müssen die anschließenden Berechnungen der Reihen separat durchgeführt werden.

4.7 Schritt 7: Wegstrecken für Wendemanöver berechnen

Die genaue Route des Wendemanövers ist Teil vieler Optimierungsalgorithmen (Bochtis & Vougioukas 2008). Während die Optimierung der Wendemanöver für die Feinoptimierung der Routen eines Feldes von Bedeutung sind, spielen diese für übergeordnete Vergleiche verschiedener Erntestrategien nur eine untergeordnete Rolle. Deshalb wird hier angenommen, dass die einzelnen Wendemanöver zwischen den einzelnen Fahrgassen nahezu gleich lang sind und sich Variationen lediglich aus der Form des Wendemanövers und Differenzen zwischen der Länge einzelner Fahrgassen an einer Feldseite ergeben. Die Wendemanöver selbst lassen sich entsprechend der Form Ihres Kurvenverlaufs definieren. Hierzu muss in der Konfiguration für das gesamte Feld zunächst ein Wendemanöver aus der Liste (siehe Abb. 3) ausgewählt werden. Die üblichsten Arten des Wendemanövers sind der U-Turn, der Ω -Turn und der T-Turn (Bochtis & Vougioukas 2008; Sabelhaus et al. 2013; Filip et al. 2020). Der U-Turn ist in jedem Fall die kürzeste und somit auch schnellste Form eines Wendemanövers (Filip et al. 2020). Die Berechnung der zurückzulegenden Strecke ergibt sich dabei aus dem aus dem Radius r abgeleiteten halben Umfang (U) eines Wendemanövers:

$$sw(U - Turn)_{x,x+1} = \frac{1}{2}U = \frac{(2\pi r)}{2} = \pi r \quad [6]$$

Im Idealfall entspricht der Radius r dabei der Arbeitsbreite AB . Die Verwendung eines einfachen U-Turn-Wendemanövers zur direkten Nachbarfahrspur ist jedoch nur möglich, wenn der minimale Wendekreis der Ernteeinheit kleiner als AB ist (Filip et al. 2020). Ist dies nicht der Fall, so muss ein alternatives Wendemanöver ausgewählt werden (siehe Abb. 3). Eine Möglichkeit sind hierbei beispielsweise die Verwendung eines Omega-Wendemanövers oder eines rangierenden T-Turn-(Fischschwanz)-Manövers, welche jedoch mehr Zeit und Fahrstrecke benötigen (Bochtis & Vougioukas 2008; Zhang & Noguchi 2017). Im Fall des Omega-Wendemanövers kann die benötigte Strecke aus dem Umfang des Kreises U , die Öffnungsbreite des Omegas o und die Länge der zusätzlichen Geraden (l_a und l_b) am Fuß des Omegas sowie dem Radius des minimalen Wendekreises des Vehikels bestimmt werden:

$$sw(\Omega - Turn)_{x,x+1} = U - \frac{o}{r_{min}} 2\pi r_{min} + l_a + l_b = 2\pi r_{min} - \frac{AB}{r_{min}} 2\pi r_{min} + 2 * l_a \quad [7]$$

Das Omega- oder Schlüsselloch-Wendemanöver entspricht dabei in Näherung der Dubins-Kurve mit rückwärtigen Pfaden, welche seit langem für die Planung von Wendemanövern von Traktoren genutzt werden (Dubins 1957; Reeds & Shepp 1990; Sabelhaus 2015).

Alternativ besteht die Möglichkeit, einzelne Fahrgassen zunächst zu überspringen (Bochtis & Sørensen 2009). In diesem Fall verursacht der minimalen Wendekreis eines Erntefahrzeuges keine direkten Einschränkungen, allerdings verlängert sich das Wendemanöver relativ zur Zahl der übersprungenen Fahrgassen v ausgehend von der aktuellen Fahrgasse i und der Arbeitsbreite AB korrigiert entsprechend des minimalen Wendekreises des Vehikels r_{min} :

$$sW_{x,x+v} = \pi r_{min} - 2 * r_{min} + v * AB \quad [8]$$

Handelt es sich nicht um ein explizit rechtwinkliges Feld, so ist es darüber hinaus notwendig, die unterschiedlichen Längen der einzelnen Fahrgassen (l_{Gx} und l_{Gx+v}) zu berücksichtigen:

$$sW_{x,x+v} = \pi r_{min} - 2 * r_{min} + v * AB + (l_x - l_{x+v}) \quad [9]$$

Werden die Fahrgassen einfach sequentiell abgearbeitet, ergibt sich die gesamte Wegstrecke für die Wendemanöver s_W aus der Summe der für das jeweilige Vehikel typischen veranschlagten Strecke jedes Wendemanövers s_w :

$$s_W = sW_1 + sW_2 + \dots + sW_n = sW_1 + sW_2 + \dots + sW_{n-1} = \sum_{i=1}^{n-1} sW_i \quad [10]$$

Die Anzahl der Wendemanöver entspricht hierbei der um 1 verminderten Anzahl der Fahrgassen n .

4.8 Schritt 8: Nicht Arbeits-Wegstrecken berechnen

Neben der zurückzulegenden Strecke während des Erntevorgangs sind sogenannte Nicht-Arbeits-Wegstrecken (NAS) (Utamima & Djunaidy 2022) zu berücksichtigen. Diese NAS ergeben sich aus den logistischen Parametern und bestehen im Wesentlichen aus drei Komponenten, 1) Wendemanövern, 2) Transportfahrten in der Fahrgasse zum Depot, sowie 3) Transportfahrten vom Rand der jeweiligen Fahrgasse zum Depot. 2) und 3) werden durch die Ladekapazität der Ernteeinheiten und die Erntemengen bestimmt.

Um zu ermitteln, wie viele Transportfahrten $n(TG)$ von jeder Fahrgasse zum Depot am Feldrand durchgeführt werden müssen, wird zunächst die durchschnittliche Erntemenge $E(FG)$ für jede Fahrgasse aus der angenommenen Gesamterntemenge H bestimmt, wobei n der Anzahl der Fahrgassen entspricht:

$$E(FG_i) = \frac{H}{n} \quad [11]$$

Danach wird die jeweilige Erntemenge jeder Fahrgasse E_F mit den Korrekturfaktoren k_i bestimmt, wobei i der jeweils untersuchten Fahrgasse entspricht:

$$E(FG_i)_{korr} = k_i * E(FG_i) \quad [12]$$

Die Anzahl der benötigten Transportfahrten jeder Fahrgasse n_j ergibt sich aus der Ladekapazität K_M der jeweiligen Ernteeinheiten sowie der angenommenen Erntemenge $E(FG_i)$ der jeweiligen Fahrgasse:

$$n_j = \frac{E(FG_i)}{K_M} \quad [13]$$

Gerade im Fall des Einsatzes kleiner Ernte- bzw. Schwarmroboter, ist die Ladekapazität K_M gering und die Kapazitätsgrenze schneller erreicht, als bei konventionellen Ernteverfahren mit großen Maschinen. Transport- und Leerfahrten sind daher häufiger. Ausgehend davon, dass hierbei keine Fahrgassen befahren werden dürfen, die noch nicht abgeerntet sind, ergibt sich, dass jeweils zwei nacheinander befahrene Fahrgassen berücksichtigt werden müssen. In der einzelnen Fahrgasse entspricht die zurückzulegende Strecke für den Transport $NAS(FG_i)$ der Summe der Transportfahrten s_T und Leerfahrten s_L in dieser Gasse entsprechend der Anzahl der Teilstrecke n_j zunächst:

$$NAS(FG_i) = \sum_{j=1}^{n_j} (s_T + s_L) * j \quad [14]$$

wobei j der Teilstrecke für die Ernte in dieser Fahrgasse FG_i entspricht (siehe Abb. 4 & Abb. 5). Im Fall $j=1$ muss die Teilstrecke s_{T1} also genau einmal zum Entladen an den Feldrand zurückgefahren werden und später einmal leer an den Ausgangspunkt im Feld zurückgefahren werden. Abschließend wird n_j auf die nächste ganze Zahl nach unten gerundet und der Rest jeweils in einer Hilfsvariablen m gespeichert. Diese Hilfsvariable dient der Berechnung von Strecken unter Beachtung von Kapazitätsbegrenzungen und des Übertrages m auf die nächste Fahrgasse.

Für die letzte Teilstrecke in der Fahrgasse wird schließlich angenommen, dass diese vollständig abgeerntet werden kann und bis zum Erreichen der maximalen Ladekapazität der Ernteeinheit in der letzten Fahrgasse weiter geerntet wird, wobei die Ernteeinheit in dieser Reihe die Strecke $s_{Rest=l_i-m}$ zurücklegen kann. Für Fahrten auf dem Feld Richtung Depot bis zum Feldrand kann dann angenommen werden, dass einschließlich der Rückfahrt vom Feldrand die zusätzlich zu fahrende Strecke s_i wie folgt berechnet werden kann:

$$s_i = (l_i - m) * 2 = s_{Rest} * 2 \quad [15]$$

$$NAS(FG_i)_{korr} = NAS(FG_i) + s_i \quad [16]$$

Die Nicht-Arbeits-Strecke $NAS(FG_i)$ wird korrigiert, um zu berücksichtigen, dass in der folgenden Fahrgasse auf die vorherige Fahrgasse ausgewichen werden muss, so dass die vorherige Fahrgasse nach diesen Manövern erneut mehrfach befahren werden muss:

$$NAS(FG_i) = \sum_{j=1}^{n_j} (s_T + s_L) * j + \left(\sum_{j=1}^{n_{jx}} (s_T + s_L) * jx \right) - m + (2 * s_{Ausweich} * n_{jx}) \quad [17]$$

Die Anzahl der vollständigen Teilstrecken n_{jx} auf der folgenden Fahrgasse muss neu berechnet werden unter Berücksichtigung des Übertrags m . Die Strecke für das Ausweichmanöver $s_{Ausweich}$ kann bspw. aus dem minimalen Wendekreis des Vehikels und der AB berechnet werden.

$$s_{Ausweich} = \pi * r_{AB} \quad [18]$$

Die Korrektur mit dem Radius der AB muss dabei erfolgen, da für die Rückfahrt auf die vorhergehende Spur ausgewichen werden muss (siehe Abb. 4). Da für die Berechnung die Fahrt entlang der Fahrgasse schon berücksichtigt ist, muss hierfür keine Korrektur für ein ganzes Wendemanöver erfolgen, sondern lediglich zweimal die Arbeitsbreite des Arbeitsgeräts modifiziert durch den Radius und Pi berücksichtigt werden.

Diese Berechnung wird für alle Fahrgassen mit den entsprechenden Teilstrecken wiederholt. Die gesamte Nicht-Arbeits-Wegstrecke NAS für das Feld für logistische Aufgaben in allen Fahrgassen beträgt dann:

$$NAS_{gesamt} = \sum_{i=1}^n NAS(FG_i) + \sum_{i=1}^{n-1} s_w + \sum_{i=1}^n s_{Depot} + \sum_{j=1}^{N_j} s_{Ausweich} \quad [19]$$

Wobei N_j der Gesamtsumme aller Teilstrecken und s_{Depot} der Strecken zwischen dem Feldrand und dem Depot für jede Fahrgasse entspricht (Seyyedhasani & Dvorak 2017). Ist die Anzahl der Fahrgassen ungerade, muss die Gesamtstrecke außerdem durch die Rückfahrt zum Depot sowie weitere Korrekturen für das Vorgewende sowie für Nicht-Arbeits-Strecken beim Anlegen des Vorgewendes ergänzt werden (siehe auch Kap. 4.4):

$$NAS_{gesamt,korr} = NAS_{gesamt} + s_{Zufahrt} + sv \quad [20]$$

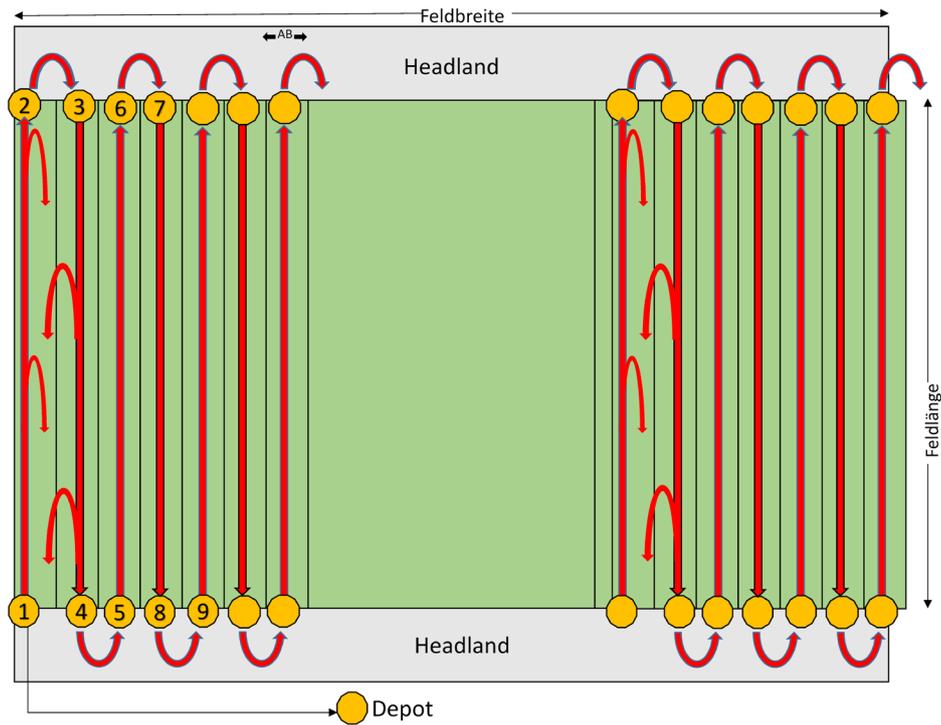


Abbildung 4: Schematische Darstellung eines Ernteverfahrens mit kleineren, leichten Erntemaschinen mit geringer Ladekapazität. Die zusätzlich benötigten Spurwechsel sind in der Darstellung nur in den Fahrgassen 1–2 und 3–4 angegeben.

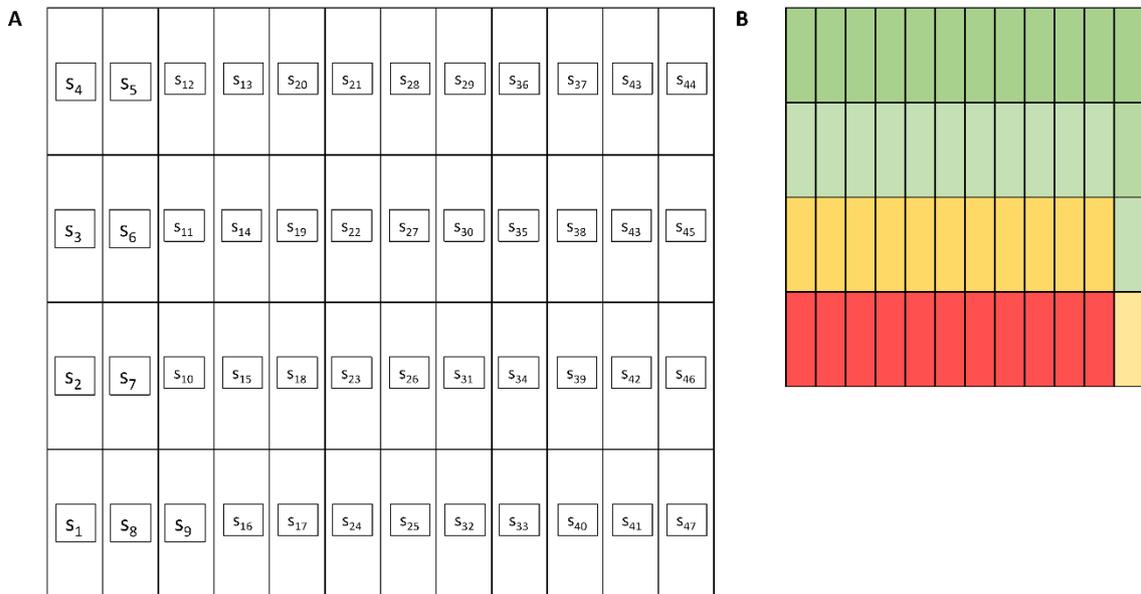


Abbildung 5: Einfache Feldaufteilung in multiple Teilstrecken s_n in n Fahrgassen für kleine Erntemaschinen. A) Feldaufteilung und B) Heatmap des Feldes entsprechend der Anzahl an Überfahrten.

4.9 Schritt 9: Berechnung der gesamten Wegstrecke des Arbeitsverfahrens

Die Strecke, die insgesamt während der Erntearbeit zurückgelegt wird, ergibt sich aus der Summe der Strecken im Feld s_F sowie den Transport- und Leerfahrten NAS .

$$s_{gesamt} = s_F + NAS_{gesamt} \quad [21]$$

4.10 Schritt 10: Arbeitszeitbedarf für die Wegstrecken des Arbeitsverfahrens berechnen

Aus der Gesamtstrecke können die Maschinen [Th]- und Arbeitszeiten [AKh] berechnet werden. Für die Berechnung der Hauptzeit t_H werden die jeweiligen Wegstrecken s_E mit der Arbeitsgeschwindigkeit der Erntemaschine v_E multipliziert.

$$t_H = s_E * v_E \quad [22]$$

Analog werden für Nebenzeiten t_N die Arbeitszeit für Wendemanöver, Transportfahrten zum Abbunkern sowie für Leerfahrten ermittelt und summiert. Wenn auf dem Feld mehrere Ernteeinheiten parallel im Einsatz sind, müssen die Zeiten für die einzelnen Einheiten separat berechnet werden. Gegebenenfalls sind ablaufbedingten Wartezeiten t_W beim Abladen zusätzlich zu berücksichtigen.

5 Diskussion

Multiple Feldeinheiten, wie Schwarm- und Feldroboter für die Ernte, stellen durch ihre vergleichsweise begrenzte Kapazität, die Größe und Anzahl der benötigten Vehikel sowie die Verladestrategien hohe Anforderungen an das Flottenmanagement. Derartige Systeme erreichen nicht immer die Effizienz von konventionellen Ernteverfahren. Durch einen höheren Anteil an Transport- und Leerfahrten kann es rasch zu einem höheren Arbeitszeitbedarf kommen (siehe z.B. Jensen et al. 2015). Gleichzeitig können kleinere Einheiten aber auch positive Auswirkungen haben, die ihren Einsatz rechtfertigen. Im Hinblick auf eine Transformation der Landwirtschaft, bei der nachhaltigen Produktionsverfahren eine besondere Rolle zukommt, rücken Themen wie die Bodenverdichtung oder kleinstrukturierte Fluraufteilungen zur Förderung der Biodiversität stärker in den Fokus. Um für solche Szenarien unterschiedliche Optimierungsstrategien zu entwickeln, ist es daher hilfreich, wenn arbeitswirtschaftliche Kalkulationsmodelle die Besonderheiten von Arbeitsverfahren mit multiplen Feldeinheiten abbilden können. Zwar gibt es bereits zahlreiche Algorithmen und Strategien, mit den sich die Routenpläne für die Ernte und andere Feldarbeiten optimal für ein spezifisches Felder ermitteln lassen, allerdings sind diese oft speziell für den Einsatz in Fahrassistenzsystemen oder in Farmmanagementsoftware ausgerichtet. In diesen Anwendungen können auch komplexere mathematische Herausforderungen wie Kapazitätsbegrenzungen, Vehikel-Eigenschaften, der Einsatz mehrere Ernteeinheiten oder hoch-technologisierter Ladevorrichtungen beachtet werden. Hierbei steht jedoch stets die spezifische Feinoptimierung für einzelne Felder im Vordergrund.

Fahrassistenzsysteme setzen zudem voraus, dass kinematische Aspekte des Fahrvorgangs realistisch abgebildet werden so dass zum beispielweise reale Lenkmanöver berechnet werden können (siehe z.B: Sabelhaus et al. 2013, 2015 & Sabelhaus 2015).

Das Ziel neuerer arbeitswissenschaftlicher Untersuchungen hingegen ist es, zukünftige Technologien, die in nachhaltigen Produktionssystemen eingesetzt werden sollen, zu evaluieren. Für entsprechende Modellkalkulationssysteme ist es von Bedeutung, dass neben bereits vorhandenen Einflussgrößen wie Mechanisierungsparametern und Ladekapazitäten, detailliertere Feldeigenschaften, insbesondere die Feldform, berücksichtigt werden können. In der vorliegenden Studie wird ein einfaches Framework vorgestellt, für das gezielt einzelne Berechnungsschritte aus der Optimierung von Feldrouten aufgegriffen wurden. Dementsprechend zeigt das Framework selbst auch erhebliche Übereinstimmungen mit anderen Frameworks. Durch spezifische Modellannahmen kann jedoch auf den Einsatz von komplexeren Routenplanungssystemen verzichtet werden. Auf die eigentliche Darstellung von realistischen Fahrmanövern, das Mapping auf reale Koordinaten, Sicherheitsrouten, Optimierungsalgorithmen für Routenplanung kann daher innerhalb der arbeitswissenschaftlichen Kalkulationsprogramme weitestgehend verzichtet werden, soweit nicht explizit derartige Aspekte berücksichtigt werden sollen.

Für die Ermittlung einer optimalen Route gilt üblicherweise, dass eine mechanische Feld-einheit 1.) die gesamte Feldfläche abdeckt, 2.) sich Pfade nicht überlappen, 3.) sich Teilrouten auf dem Feld nicht wiederholen, 4.) der Roboter alle Hindernisse vermeiden muss, 5.) einfache Trajektionslinien in Form von Linien oder Kreisen angewendet werden und 6.) dass unter den gegebenen Bedingungen und Beschränkungen tatsächlich ein optimaler Pfad gefunden werden kann. Darüber hinaus gilt, dass nicht immer alle Parameter erfüllt werden können (Cao et al. 1988; Oksanen 2007).

Im vorgeschlagenen Framework wird auf diese Bedingungen nur partiell eingegangen - zwar ist die gesamte Fläche für die gegebenen Feldformen komplett abgedeckt, Teilrouten können sich jedoch wiederholen und die entsprechenden Pfade überlappen. Des Weiteren bleibt im vorgeschlagenen Algorithmus die Behandlung von Hindernissen resp. die Strecke für ein zusätzliches Ausweichmanöver unberücksichtigt. Auch die ursprüngliche Bedingung einfacher Trajektionslinien ist im vorliegenden Algorithmus nur unvollständig erfüllt. Diese Einschränkungen sind jedoch beabsichtigt, um die Komplexität der Parametrisierung zu minimieren und gleichzeitig die benötigte Rechenleistung zu verringern. Weitere Parameter wie die Anzahl und Abstände der Achsen, der maximale Einschlagwinkel, Länge und Breite des Vehikels und das Gewicht der Ernteeinheit können optional angegeben werden, um zusätzliche Berechnungen durchzuführen, wie beispielsweise zur Bodenverdichtung. Insgesamt stellt das vorgestellte Framework eine hilfreiche Ergänzung zu Kalkulations-tools für den Arbeitszeitbedarf wie beispielsweise PROOF (Schick, 2008) dar, die bislang über kein eigenes Modul verfügen, mit denen die Auswirkungen verschiedener Arbeitswege bei verschiedenen Feldformen während der Ernte oder anderen Arbeiten direkt bestimmt werden können. Damit können potentielle zukünftige

tige Technologiepfade zusätzlich zu Maschinen- und Arbeitszeiten auch speziell hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Arbeitswege im Feld untersucht werden. Dies gilt für Technologieszenarien, bei denen sehr unterschiedlichen Maschinengrößen oder Erntemengen (beispielsweise bei unterschiedlichen Kulturpflanzen) verglichen werden sollen. Letzteres ist insbesondere in Szenarien von Bedeutung, wo geringe Erntekapazitäten bei Feldrobotern mit großen Erntemengen einhergehen.

Limitierend sind die Vereinfachung in diesem Wegstrecken-Algorithmus dahingehend, dass komplexe Feldformen nicht oder nur bedingt abgebildet werden können. Praktische Ansätze sind hier beispielsweise die Kombination von einfacheren Feldformen zu komplexeren Feldformen (siehe z.B. Jin & Tang 2010; Oksanen & Visala 2009).

Grundsätzlich gilt, dass der Einsatz multipler kleinerer Ernteeinheiten gegenüber größeren semiautomatischen Traktor-basierten Ernteeinheiten nicht zwangsläufig zu einer Arbeitszeiterparnis führt, sondern je nach Szenario und unter Umständen auf Grund von Kapazitätsbegrenzung sogar zu einer erheblichen Erhöhung der Arbeitszeit führen kann (Handler & Blumauer 2020). In der Gesamtkomplexität der Mechanisierung können je nach Szenario jedoch auch solche Strategien interessant sein, da zum Beispiel die Verfahrenskosten bei der Getreideernte überwiegend von den Maschinenkosten bestimmt werden (Fechner & Uebe 2020). Ergäben sich aus dem Einsatz von Feldrobotern z.B. Vorteile bei anderen ökologischen Nachhaltigkeitsindikatoren wie beispielsweise eine geringere Bodenverdichtung oder hinsichtlich der Biodiversität durch unterschiedliche Zonierung, wie sie beispielsweise durch Feldränder oder auch bei Intercropping-Szenarien auftreten, so könnten diese im Rahmen von Nachhaltigkeitszahlungen bzw. von Natural Capital-Konzepten auch zu ökonomisch und ökologisch nachhaltigen Szenarien führen.

Danksagung

Teile der Arbeiten für diesen Tagungsbeitrag wurden im Rahmen des SALBES Projekts durch den 2017–2018 Joint BiodivERsA-Belmont Forum Call on „Scenarios of Biodiversity and Ecosystem services“ (Grant: BiodivScen-157) unterstützt.

Literaturverzeichnis

Albiero, D., Garcia, A. P., Umezu, C. K. & de Paulo, R. L. (2022). Swarm robots in mechanized agricultural operations. A review about challenges for research. *Computers and Electronics in Agriculture* 193: 1–17.

Baillie, C.P., Lobsey, C.R., Antille, D.L., McCarthy, C.L. & Thomasson, A.J. (2018). A review of the state of the art in agricultural automation. Part III: Agricultural machinery navigation systems. *ASABE Paper No. 1801591*: 1–8.

Bochtis DD & Vougiokas SG (2008). Minimising the non-working distance travelled by machines operating in a headland field pattern. *Biosystems Engineering* 101(1): 1–12.

- Bochtis DD & Sørensen, C.G. (2009). The vehicle routing problem in field logistics part I. *Biosystems Engineering* 104: 447–457.
- Bochtis DD & Sørensen, C.G. (2010). The vehicle routing problem in field logistics part II. *Biosystems Engineering* 105: 180–188.
- Cao, Z.L., Huang, Y. & Hall, E.L. (1988) Region filling operations with random obstacles avoidance for mobile robots. *Journal of Robotic Systems* 5: 87–102.
- Clarke, G. & Wright, J.W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research* 12(4): 568–581.
- De Koster, R., Le-Duc, T. & Roodbergen, K. J. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research* 182(2): 481–501.
- Dubins, L.E. (1957). On curves of minimal length with a constraint on average curvature and with prescribed initial and terminal positions and tangents. *American Journal of Mathematics* 79: 497–516.
- Fechner W & Uebe N (2020) Arbeitsverfahren zum Einsatz von Feldrobotern in der Ernte. *Agroscope Science* 94: 29-37.
- Fevgas, G., Lagkas, T. Argyriou, V. & Sarigiannidis, P. (2022). Coverage Path Planning Methods Focusing on Energy Efficient and Cooperative Strategies for Unmanned Aerial Vehicles. *Sensors* 22(3): 1235.
- Filip, M., Zoubek, T., Bumbalek, R., Cerny, P. Batista, C.E., Olsan, P., Bartos, P., Kriz, P., Xiao, M., Dolan, A. & Findura, P. (2020) Advanced Computational Methods for Agriculture Machinery Movement Optimization with Applications in Sugarcane Production. *Agriculture* 10(10): 434.
- Gaus, C.-C., Minssen, T.-F., Urso, L.-M-, de Witter, T. & Wegener, J. (2017): Mit autonomen Landmaschinen zu neuen Pflanzenbausystemen. Schlussbericht. BÖLN.
- Geyer, M. (2019). Nutzung von 4.0 Technologien im Gartenbau. In: Walter Dirksmeyer & Klaus Menrad (eds.): Aktuelle Forschung in der Gartenbauökonomie Digitalisierung und Automatisierung – Welche Chancen und Herausforderungen ergeben sich für den Gartenbau? Tagungsband zum 3. Symposium für Ökonomie im Gartenbau am 15. November 2019 in Freising / Weihenstephan: 5–17.
- Goetschalckx, M. & Ashayeri, J. (1989). Classification and design of order picking systems. *Logistics World* (June) (198): 99–106.
- Groher, T., Heitkämper, K., Umstätter, C. (2020a). Nutzung digitaler Technologien in der Schweizer Landwirtschaft. *Agrarforschung Schweiz* 11: 59–67.
- Groher, T., Heitkämper, K., Umstätter, C. Walter, A., Liebisch, F. & Umstätter, C. (2020b). Status quo of adoption of precision agriculture enabling technologies in Swiss plant production. *Precision Agriculture* 21: 1327–1350.

- Handler F & Blumauer F (2020) Nebenzeiten und ablaufbedingte Wartezeiten beim Einsatz von Feldrobotern. *Agroscope Science* 94: 19–27.
- Hillerbrand F., Treiber M., Bauerdick, J. & Bernhardt H. (2019): Robotik in der Aussenwirtschaft. Entwicklungskonzepte und tendenzielle Einflussmöglichkeiten auf die Prozesssteuerung durch den Landwirt. *Lecture Notes in Informatics (LNI)*, Gesellschaft für Informatik, Bonn 2019: 77–82.
- Jensen, M.F., Norrenmark, M., Busato, P., Sorensen, C.G. & Bochtis, D. (2015). Coverage planning for capacitated field operations, Part I: Task decomposition. *Biosystems Engineering* 139: 136–148.
- Jin, J. & Tang, L. (2010). Optimal Coverage Path planning for Arable Farming on 2D Surfaces. *Transactions of the ASABE* 53(1): 283–295.
- Johnson, D.A., Naffin, D.J., Puhalla, J.S., Sanchez, J. & Wellington, C.K. (2009). Development and Implementation of a Team of Robotic Tractors for Autonomous Peat Moss Harvesting. *Journal of Field Robotics* 26(6-7): 549–571.
- Keller, T., Sandin, M., Colombi, T., Horn, R. & Or, D. (2019). Historical increase in agricultural machinery weights enhanced soil stress levels and adversely affected soil functioning. *Soil & Tillage Research* 194: 104293.
- Kopfinger, S. & Vinzent, B. (2021). Erprobung und Bewertung eines autonomen Feldroboters. In: A. Meyer-Aurich et al. (eds.): *Informations- und Kommunikationstechnologien in kritischen Zeiten*, *Lecture Notes in Informatics (LNI)*, Gesellschaft für Informatik, Bonn 2021: 175–180.
- Mao, W, Liu, H., Hao, W., Yang, F. & Liu, Z. (2022): Development of a Combined Orchard Harvesting Robot Navigation System. *Remote Sensing* 14: 675.
- Oksanen, T. & Visala, A. (2007) Path Planning Algorithms for Agricultural Machines. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript ATOE 07 009. Vol. IX, July, 2007: 1–19.
- Oksanen, T. & Visala, A. (2009). Coverage Path Planning Algorithms for Agricultural Field Machines. *Journal of Field robotics* 26(8): 651–668.
- Oksanen, T. (2007): Path Planning Algorithms for Agricultural Field Machines. Helsinki University of Technology. Automation Technology Laboratory. Series A: Research Reports No. 31.
- Reeds, J.A. & Shepp, L.A. (1990). Optimal paths for a car that goes forwards and backwards. *Pacific Journal of Mathematics* 145: 367-
- Renius, K. T. (2001). Entwicklungstendenzen in der Traktortechnik. In: Georg Wendl (Hrsg.): *75 Jahre Bayerische Landesanstalt für Landtechnik*. Technische Entwicklungen für eine nachhaltige Landwirtschaft in Bayern. *Landtechnik-Schrift* Nr. 12: 93–110.

- Sabelhaus, D., Röben, F., Meyer zu Hellig, L. P. & Lammers, P. S. (2013). Using continuous-curvature paths to generate feasible headland manoeuvres. *Biosystems Engineering* 116: 399–409.
- Sabelhaus, D. (2015). Fahrspur- und Routenplanung für teilautonome, GNSS-gestützte Landmaschinen. Dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- Sabelhaus, D., Lammers, P.S., Meyer zu Hellig, L. P. & Röben, F. (2015). Path planning of headland turn manoeuvres. *Landtechnik* 70(4): 123–131.
- Schick, M. (2008): Dynamische Modellierung landwirtschaftlicher Arbeit unter besonderer Berücksichtigung der Arbeitsplanung. Habilitationsschrift. Stuttgart, Ergonomia-Verlag, 1. Auflage.
- Schjøning, P., van den Akker, J. J. H., Keller, T., Greve, M. H., Lamandé, M., Simojoki, A., Stettler, M., Arvidsson, J. & Breuning-Madsen, H. (2015). Driver-pressure-state-impact-response (DPSIR) analysis and risk assessment for soil compaction – a European perspective. *Advances in Agronomy* 133: 183–237).
- Schwich, S., Stasewitsch, I., Fricke, M. & Schattenberg, J. (2018). Übersicht zur Feld-Robotik in der Landwirtschaft. *Jahrbuch Agrartechnik 2018. Digitalisierung und Automatisierung Assistenzsysteme*: 1–11.
- Seyyedhasani, H., & Dvorak, J. S. (2017). Using the Vehicle Routing Problem to reduce field completion times with multiple machines. *Computers and Electronics in Agriculture*, 134, 142–150.
- Seyyedhasani, H., & Dvorak, J. S. (2018a). Reducing field work time using fleet routing optimization. *Biosystems engineering*, 169, 1–10.
- Seyyedhasani, H., & Dvorak, J. S. (2018b). Dynamic rerouting of a fleet of vehicles in agricultural operations through a Dynamic Multiple Depot Vehicle Routing Problem representation. *Biosystems Engineering*, 171, 63–77.
- Tu, X. (2013) Robust navigation control and headland turning optimization of agricultural vehicles. Thesis, Iowa State University, Ames, Iowa.
- Utamima, A. & Djunaidy, A. (2022). Agricultural routing planning: A narrative review of literature. *Procedia Computer Science* 197: 693–700.
- Zhang, C. & Noguchi, N. (2017). Development of a multi-robot tractor system for agriculture field work. *Computers and Electronics in Agriculture* 142: 79–90.
- Zhang, H., Ge, H., Yang, J. & Tong, Y. (2022). Review of Vehicle Routing Problems: Models, Classification and Solving Algorithms. *Archives of Computational Methods in Engineering* 29: 195–221.
- Zhou, K., Jensen, A.L., Sørensen, C.G, Busato, P., & D.D. Bochtis (2014). Agricultural operations planning in fields with multiple obstacle areas. *Computers and electronics in Agriculture* 109: 12–22.