



Agrarsysteme der Zukunft:

Fahrerkabine 4.0

Entwicklung einer beanspruchungsadaptiven
Nutzerschnittstelle für Landmaschinenbetreiber – Teilprojekt F

Sachbericht zum Verwendungsnachweis

Teil I: Kurzbericht und Teil II: Eingehende Darstellung

Laufzeit: 01.04.2019 bis 30.11.2024

- Universität Hohenheim
 - Institut für Agrartechnik (ATH), Fachgebiet Grundlagen der Agrartechnik 440a



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Förderung durch das
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
unter dem Förderungskennzeichen 031B0735F.

INHALTSVERZEICHNIS

| | | |
|----------|--|----|
| 1 | TEIL I: KURZBERICHT..... | 1 |
| 1.1 | Aufgabenstellung sowie wissenschaftlicher und technischer Stand zu Vorhabensbeginn | 1 |
| 1.2 | Ablauf des Verfahrens | 1 |
| 1.3 | Wesentliche Erkenntnisse | 2 |
| 2 | TEIL II: EINGEHENDE DARSTELLUNG | 4 |
| 2.1 | Resultate des Forschungsvorhabens | 4 |
| 2.1.1 | AP 1: Administration und Koordination | 4 |
| 2.1.2 | AP 2: ELSI (Ethical, Legal and Social Implications) | 4 |
| 2.1.3 | AP 3: Arbeitspsychologische Anforderungsanalyse | 5 |
| 2.1.4 | AP 4: Ableitung der Einsatzszenarien | 7 |
| 2.1.5 | AP 5: Personenzustandserfassung | 7 |
| 2.1.6 | AP 6: Eingabe-/Ausgabemodule (I/O-Module) | 8 |
| 2.1.7 | AP 7: Entwicklung adaptiver Handlungsempfehlungen | 9 |
| 2.1.8 | AP 8: Systementwicklung | 10 |
| 2.1.9 | AP 9: Demonstrator und Funktionskabine | 10 |
| 2.1.10 | AP 10: Probandenstudien zur Systemvalidität | 11 |
| 2.1.11 | AP 11: Probandenstudien zur Produktakzeptanz..... | 11 |
| 2.1.12 | AP 12: Feldstudien während der Ernte | 12 |
| 2.1.12.1 | Motivation | 12 |
| 2.1.12.2 | Methodik..... | 13 |
| 2.1.12.3 | Komponenten..... | 14 |
| 2.1.12.4 | Funktionen des reduzierten HMIs..... | 20 |
| 2.1.12.5 | Ergebnisse | 21 |
| 2.1.12.6 | Zusammenfassung..... | 24 |
| 2.1.13 | AP 13: Reflexion und Transfer | 24 |
| 2.1.14 | Messungen zur Ist-Situation der Fahrerbeanspruchung | 25 |
| 2.2 | Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises | 26 |
| 2.3 | Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten | 26 |
| 2.4 | Voraussichtliche Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses - auch konkrete Planungen für die nähere Zukunft - im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans..... | 26 |
| 2.5 | Während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordenen Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen..... | 27 |
| 2.6 | Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nummer 5 der NABF | 27 |

1 TEIL I: KURZBERICHT

1.1 Aufgabenstellung sowie wissenschaftlicher und technischer Stand zu Vorhabensbeginn

Die Leistungsfähigkeit eines Agrarsystems hängt immens von der Qualifikation und Motivation der Landwirte ab. Der demographische Wandel in Kombination mit stetig steigenden Anforderungen an die Vereinbarkeit von Privat- und Familienleben gelten als Hauptgründe, dass immer weniger Menschen zu dieser Berufsgruppe zählen. Die Bereitstellung eines attraktiven Arbeitsumfelds ist daher essentiell, um dem Landwirt dabei zu unterstützen, seine Arbeit effektiv und effizient erledigen zu können. Im Rahmen des Projekts „Fahrerkabine 4.0“ wurde eine adaptive Mensch-Maschine-Schnittstelle für Landmaschinen entwickelt, die in der Lage ist, das aktuelle Beanspruchungslevel des Nutzers zu detektieren. In beanspruchungsarmen Situationen (z.B. automatisierte Ernte) kann diese mit Handlungsempfehlungen reagieren, um beispielsweise Monotonie zu vermeiden. In stressreichen Phasen wird eine Überforderung des Nutzers erkannt und es erfolgt eine Informationsfokussierung auf zur Arbeit wesentliche Inhalte. Dies steigert sowohl Sicherheit als auch Effizienz. Aufgaben können vor Ort direkt erledigt werden und das System bietet Zugriff auf Managementsysteme des Hofes. Dies ermöglicht es den Nutzern, die Zeit auf der Maschine optimal zu nutzen, reduziert das Überstundenrisiko und verbessert die ökonomische Nachhaltigkeit. Damit kann das beanspruchungsadaptive HMI (Human Machine Interface) das Wohlbefinden der Nutzer steigern. Je höher der Automatisierungsgrad zukünftiger Maschinen, desto mehr Potential bietet der entwickelte Ansatz. Technologien wie Eyetracking und Augmented Reality sowie diverse Ein- und Ausgabegeräte kommen zum Einsatz, um die Interaktion mit dem Nutzer der Fahrerkabine so intuitiv und nutzerfreundlich wie möglich zu gestalten. Um den Ansatz zu testen, live erlebbar zu machen und Interessierten präsentieren zu können, wird ein Demonstrator entwickelt und aufgebaut.

Zum Zeitpunkt des Projektantrags waren dem Konsortium keine Forschungsaktivitäten und wissenschaftlichen Publikationen zum Antragsthema bekannt. Während der Bearbeitung des Forschungsprojekts wurde mit dem Projekt TANGO die Entwicklung eines thematisch verwandten Systems für die LKW-Branche bekannt.

1.2 Ablauf des Verfahrens

Zu Anfang wurden auf verschiedenen Betrieben und Maschinen Nutzerbefragungen durchgeführt, die zur Analyse grundsätzlicher Anforderungen an ein solches System verwendet wurden. Diese dienten als Basis für die Definition von Einsatzszenarien sowie von Personas, um die zukünftigen Nutzer zu charakterisieren. Ein Lastenheft für das System wurde erstellt. Im Anschluss wurden die Teilsysteme der Personenzustandserfassung, der virtuellen Assistenz und der Ein-/Ausgabemodule parallel entwickelt und einzeln getestet. In einem physischen Demonstrator konnten diese Teilsysteme zu einem Gesamtsystem zusammengeführt werden. Dieser wurde in Form einer begehbaren Kabine erstellt, was ein immersives Erlebnis ermöglicht. In dieser Demonstratorkabine konnte die Zustandserfassung validiert, die virtuelle Assistenz sowie das Gesamtsystem getestet und eine Produktakzeptanzstudie durchgeführt werden. Im Rahmen einer Feldstudie wurde die Übertragbarkeit des neuen HMIs auf aktuelle Maschinen getestet. Während der gesamten Projektlaufzeit wurden schrittweise Analysen zu ELSI-Kriterien durchgeführt. Diese Kriterien flossen als Leitlinien kontinuierlich in die Entwicklung des adaptiven HMIs ein. Interessierte konnten auf verschiedenen Messen und Events während einer Erntefahrt das entwickelte System der „Fahrerkabine 4.0“ begreifen.

1.3 Wesentliche Erkenntnisse

Als Einstieg ins Projekt wurden mehrere Mähdrescherfahrer interviewt, um Informationen Aussagen zum typischen Arbeitstag, zu Tätigkeiten sowie zum Stresslevel während der Arbeit mit dem Mähdrescher zu erhalten. Darüber hinaus zeigten Videoanalysen von typischen Bedienabläufen, welche zeitlichen Freiräume ohne Bedieneingaben bestehen. Des Weiteren wurde eine Onlinestudie durchgeführt, die mögliche Funktionen der Konzeptidee detaillierter abfragte. Diese Untersuchungen wurden durch den ZE ergänzt mit einer Umfrage in der Fachzeitschrift profi. Die Teilnehmer beantworteten Fragen rund um deren Mähdreschereinsatz sowie interessante mögliche neue Funktionen der Fahrerkabine 4.0. Die befragten Fahrer sind relativ jung, dafür trotzdem sehr erfahren und zum Großteil technikbegeistert. Viele sehen in Automatisierungssystemen moderner Mähdrescher eine große Entlastung und die Akzeptanz gegenüber hochautomatisierten Mähdreschern ist hoch. Jeder zweite Fahrer hat hin und wieder Langeweile. Um diese Zeiten besser auszunutzen, werden betriebsbezogene Tätigkeiten wie Wettercheck, Farmmanagement und Kommunikation bevorzugt. Private Tätigkeiten, Unterhaltung sowie Bürotätigkeiten sind für die Befragten weniger wichtig, die zu 50% ausschließlich für das Fahren der Mähdrescher angestellt sind. Haptische Bedienelemente sind den Probanden dabei sehr wichtig. Zur Bedienung der Maschine werden Gestensteuerung und Augmented Reality noch kritisch gesehen. Touchscreens und Dreh-Drück-Steller sind dagegen sehr gut akzeptiert.

Basierend auf den getätigten Umfragen wurden Nutzergruppen der „Fahrerkabine 4.0“ identifiziert und Personas als Prototyp für bestimmte Nutzer erstellt, die die verschiedenen Interessen greifbar machen. Daraus entstand eine Liste an Einsatzszenarien, die mögliche Abläufe beschreiben. Das entwickelte Lastenheft beschreibt technische und nicht-technische Forderungen an das entwickelte System.

Die Personenzustandserfassung wurde mittels maschineller Lernverfahren auf Basis von Laboruntersuchungen umgesetzt. Hierbei wird die kognitive Beanspruchung mit Daten eines Fitnesstrackers am Handgelenk und eines Eyetracking-Systems vorausgesagt. Dies ermöglicht eine nicht-invasive Aussage über den Beanspruchungszustand des Nutzers.

Eine Vielzahl an Handlungsempfehlungen wurden umgesetzt, die entweder vom Nutzer oder vom Algorithmus getriggert werden. Das Cognitive-Task-Load-Modell kommt zum Einsatz, um die Tasks zu klassifizieren und stets eine Handlungsempfehlung auszulösen, die die Situation verbessert.

Ein am Boden stehender Demonstrator in Form einer Fahrerkabine in Kombination mit einer Umgebungssimulation wurde als passendes System zur Validierung und Öffentlichkeitsarbeit ausgewählt. Ein neues, im Vergleich zu heutigen Fahrerkabinen deutlich schlankeres Design des Interieurs wurde entwickelt. Der Demonstrator enthält alle Komponenten des beanspruchungsadaptiven HMIs. Geeignete und erforderliche Ein- und Ausgabemodule wurden im Vorfeld identifiziert, bewertet und ausgewählt. Eine Bestellliste mit konkreten Komponenten und deren Quellen wurde erarbeitet. Diese Komponenten wurden beschafft, in den Demonstrator eingebaut und integriert. Ein Schaltschrank an der Rückseite der Kabine wurde geplant, angefertigt und installiert, der alle Komponenten zur Energieversorgung, für die Simulation und für den Algorithmus der virtuellen Assistenz enthält. Eine modifizierte Transportpalette sorgt für einen sicheren Transport des Demonstrators zu Messen und Feldtagen.

Unter Verwendung des Demonstrators wurden verschiedene Probandenstudien durchgeführt. Zum einen konnte der Algorithmus zur Nutzerzustandserfassung validiert und dessen Vorhersagegenauigkeit ermittelt sowie verbessert werden. Darüber hinaus wurden Studien zur virtuellen Assistenz durchgeführt. Hierbei wurden während einer Basis-Steuerungsaufgabe durch die virtuelle Assistenz weitere Nebenaufgaben eingespielt. Es konnte beobachtet werden, dass sich dadurch die Beanspruchung der Probanden positiv verändern ließ.

Der Demonstrator wurde außerdem für Messebesuche eingesetzt. Hierbei konnten Interessierte ein vorgefertigtes Szenario in der Fahrerkabine durchlaufen. Diese Messebesuche wurden betreut und Rückmeldungen eingesammelt, die in die Entwicklung des Systems eingeflossen sind.

Im Rahmen der Feldstudie wurde das entwickelte Konzept auf einen aktuellen Mähdrescher portiert. Dazu wurde das HMI reduziert und an die Gegebenheiten in heutigen Mähdrescherkabinen adaptiert. Dazu wurde die Interaktion mit dem Nutzer über Ein- und Ausgabemodule an den räumlichen und technischen Stand der Kabine angepasst. Außerdem wurde der Algorithmus der virtuellen Assistenz an die Kommunikationssysteme der Maschine angebunden, um Bedieneingaben und Maschinenparameter auswerten zu können. Praktische Feldtests beim Mähdrusch unter Verwendung des Institutmähdreschers lieferten Erkenntnisse zum User Experience sowie der Usability des beanspruchungsadaptiven Konzepts.

Während der gesamten Laufzeit des Projekts wurden im AP 2 ELSI (Ethische, rechtliche und soziale Implikationen) schrittweise auf Basis des MEESTAR-Modells die zentralen Dimensionen Fürsorge, Selbstbestimmung, Sicherheit, Gerechtigkeit, Privatheit, Teilhabe und Selbstverständnis bearbeitet und mit den Projekthalten verknüpft. Ziel dabei war es, Implikationen dieser Dimensionen auf Projektziele und das zu entwickelnde Konzept zu finden. Es sollte ein HMI entwickelt werden, das das Nutzererlebnis verbessert, indem es Über- und Unterbeanspruchung erkennt und Handlungsempfehlungen gibt. Hierbei sollten allerdings zum Beispiel Aufgaben stets frei priorisierbar sein, eine Deaktivierung des Systems ermöglicht werden, Datenschutz sowie Schutz der Privatsphäre gewährleistet werden und keine Benachteiligung durch den Einsatz des Systems erfolgen. Durch die Überprüfung der Einhaltung derartiger Anforderung wird sichergestellt, dass das Konzept ELSI-konform entwickelt wird.

2 TEIL II: EINGEHENDE DARSTELLUNG

2.1 Resultate des Forschungsvorhabens

2.1.1 AP 1: Administration und Koordination

Dieses AP betrifft hauptverantwortlich das KIT (Mobima). Hiermit wird auf deren Sachbericht verwiesen. Eine Beteiligung des ZEs ergab sich neben turnusgemäßen Treffen sowie regelmäßigen Meetings vor allem im Bereich der Öffentlichkeitsarbeit. Hier wurden Artikel in Fachzeitschriften veröffentlicht sowie Fachvorträge gehalten. Das Projekt wurde auf verschiedenen Messen (DLG-Feldtage, DeLuTa 2022, Agritechnica 2023) vorgestellt. Hierbei kam die Demonstratorkabine zum Einsatz, das Projekt und deren Inhalte sehr effektiv für Interessierte erlebbar zu machen. Neben allgemeiner Projektvorstellung konnten Interessierte hierbei innerhalb der „Fahrerkabine 4.0“ ein Szenario durchfahren, das das Konzept in komprimierter Form veranschaulicht. Darüber hinaus wurde bei Umfragen unterstützt, die zu verschiedenen Zeitpunkten wichtige Rückmeldungen von Nutzern lieferten, was in verschiedene APs direkt oder indirekt einfließen konnte.

2.1.2 AP 2: ELSI (Ethical, Legal and Social Implications)

AP 2.1: Aufstellen von ELSI-Kriterien

Um die verschiedenen Fragestellungen systematisch zu erörtern, wurde auf das MEESTAR-Modell zurückgegriffen. Das MEESTAR – Modell („Modell zur ethischen Evaluation soziotechnischer Arrangements“) ist ein Evaluationsinstrument, um mögliche Probleme, Bedenken und Konflikte, aber auch Chancen einer neuen Technologie zu identifizieren. Diese systematische Analyse liefert einen strukturierten Überblick über die wichtigen Themen, die im Rahmen des Projekts auftreten könnten. Das MEESTAR-Modell schafft dadurch eine Grundlage, auf der die verschiedenen Stakeholder des Projekts miteinander in Diskussion treten und aus verschiedenen Perspektiven mögliche Fragestellungen aufwerfen können.

In mehreren Workshops der beteiligten Projektpartner Mobima, ifab und ATH wurden zu unterschiedlichen Zeitpunkten ELSI-Kriterien erarbeitet und in Projektrelation gebracht. Dabei war das Ziel, möglichst frühzeitig ethische Vorbehalte für das Konzept zu identifizieren und zu berücksichtigen.

Die Dimension Fürsorge umfasst, dass die „Fahrerkabine 4.0“ Unter- und Überforderung des Nutzers vermeidet, um die Arbeitsbedingungen zu verbessern. Eine Anpassung des Designs der Fahrerkabine bietet Chancen bei der Optimierung von Komfort und User Experience. Das Gesamtkonzept sollte hierbei ebenfalls einen positiven Effekt auf die Work-Live-Balance haben, indem es nicht nur die Effizienz der Arbeit steigert und damit Freiräume schafft, sondern auch mehr freie Zeit zur Entspannung und Erholung bieten kann.

Die Dimension Selbstbestimmung betreffend wurden im Speziellen Bedenken über zusätzliche Aufgaben diskutiert. Aufgaben können im System angelegt werden. Es ergibt sich automatisch die Frage, wer diese anlegen kann und wie verbindlich diese Aufgaben sind. Hier kann es unterschiedliche Auffassungen zwischen Betriebsleiter und Fahrer geben, wobei dem Fahrer vornehmlich die Hoheitsrechte zugesprochen werden sollten, was ebenfalls für die Deaktivierung des Systems gilt. Es muss klar sein, welche Aufgaben verpflichtend sind und wie die Priorisierung ist.

Die Dimension Sicherheit warf die Fragestellung der Haftung bei Ablenkung durch das System auf. Hierbei ist der Automatisierungsgrad zu bewerten, der entscheidet, ob ein Abwenden von der reinen Fahraufgabe in bestimmten Situationen zulässig ist. Durch die Optimierung der

Aufmerksamkeit und eine Integration der Aufgabenbearbeitung in das kabinenseitige HMI bietet das Konzept aber grundsätzlich ein sehr hohes Potential, die Sicherheit zu steigern.

Hinsichtlich Gerechtigkeit ist sicherzustellen, dass keine Benachteiligung durch Nutzung des Systems entsteht, insbesondere gegenüber Nutzern von Standardkabinen. Stattdessen soll das System den möglichen Kreis der Nutzer erweitern, indem weniger geübte Fahrer durch die Assistenz befähigt werden, den Prozess auszuführen.

Vor dem Hintergrund der Dimension Privatheit wurde insbesondere über Datensicherheit diskutiert. Hierbei ist es relevant, welche Daten wie und wo gespeichert werden. Die Datennutzung muss in einer Weise gestaltet sein, die verhindert, dass für den Fahrer sensible Daten nach außen gelangen und zum Beispiel eine Arbeitskontrolle oder Leistungsbewertung erfolgen kann.

Mit Blick auf die Teilhabe wurde festgehalten, dass Möglichkeiten für den Nutzer bestehen müssen, um auf das System einwirken und eine individuelle Unterstützung erreichen zu können. Außerdem soll die Teilhabe am sozialen Leben verbessert werden, indem die Möglichkeit gegeben ist, eigenverantwortlich durch Aufgabenverdichtung bzw. deren zeitliche Verschiebung mehr freie Zeit zu erzielen sowie soziale Medien ins Bedienkonzept einzubinden.

Mit Bezug auf die Dimension Selbstverständnis wurde darauf hingewiesen, dass kein Zwang oder Druck zur Nutzung der Schnittstelle bestehen sollte und kein Gefühl der Bevormundung entsteht. Im besten Fall wird das Wohlbefinden des Fahrers gesteigert, indem Stress reduziert wird und der Fahrer stets ein Gefühl der Kontrolle behält.

AP 2.2: Überprüfung auf Einhaltung der ELSI-Kriterien

Schritt für Schritt erfolgte in mehreren Workshops eine Auseinandersetzung mit diesen Kriterien und den Folgen bzw. Rahmenbedingungen für den Projektinhalt. Die Workshops fanden auf mehrere Projekttreffen verteilt statt. Außerdem wurden sowohl auf den DLG-Feldtagen als auch auf der Agritechnica 2023 potentielle Nutzer interviewt, sodass der Blick von außen auf kritische Themen erfolgt ist. Im Laufe des Projekts wurde so regelmäßig kontrolliert, ob die aufgestellten Kriterien ins Konzept der „Fahrerkabine 4.0“ eingebunden wurden.

2.1.3 AP 3: Arbeitspsychologische Anforderungsanalyse

AP 3.1: Analyse des Nutzers und Nutzungskontextes

Zur Identifikation und Charakterisierung des zukünftigen Nutzers der „Fahrerkabine 4.0“ wurden Befragungen von Mähdrescherfahrern durchgeführt. Die Rückmeldungen der Probanden wurden mittels Interviews erfasst und eine Onlinestudie wurde durchgeführt. Für detaillierte Ergebnisse wird auf den Sachbericht von KIT (Mobima) verwiesen.

Diese Untersuchungen wurden durch den ZE ergänzt mit einer Praktikerumfrage in der Fachzeitschrift profi. Dazu wurde ein Online-Fragebogen erstellt, der über deren Portale gestreut wurde. Die Praktikerumfrage wurde von ATH ausgewertet. Ein Bericht in der Ausgabe April 2021 der Fachzeitschrift profi wurde koordiniert und veröffentlicht.

Teilgenommen haben 312 Personen, wovon 61 % zwischen 21 bis 30 Jahre alt waren. Dabei waren Erfahrungswerte zwischen einem Jahr und mehr als 28 Jahren dabei. Zwei Drittel hatten mehr als 5 Jahre Fahrerfahrung. Die befragten Fahrer sind also relativ jung, dafür dennoch sehr erfahren. Die Technikbegeisterung ist hoch. 84 % beschäftigen sich intensiv mit dem System und den technischen Hintergründen. Viele sehen in Automatisierungssystemen moderner Mähdrescher eine große Entlastung und die Akzeptanz gegenüber hochautomatisierten Mähdreschern ist hoch. Nur wenige lehnen Automatisierungssysteme im Mähdrescher ab.

Bewährte, haptische Bedienelemente zur Maschinenbedienung sind den Probanden sehr wichtig. Bei Head-Up-Displays und Sprachsteuerung sind sich die Befragten uneinig. Zur Bedienung der

Maschine werden Gestensteuerung und Augmented Reality noch kritisch gesehen. Touchscreens und Dreh-Drück-Steller sind dagegen sehr gut akzeptiert.

Jeder zweite Praktiker hat während der Mähdrusch-Tätigkeit hin und wieder Langeweile. 35 % empfinden die Phasen der Langeweile als angenehm. Um diese Zeiten besser auszunutzen, begrüßen zwei Drittel der Befragten die Möglichkeit, zusätzliche Tätigkeiten erledigen zu können. Vorteile sind dabei die Zeitersparnis am Tagesende sowie die Ablenkung vom Fahren und kurzzeitiges Entspannen. Kritisch sehen die Befragten, den Fokus vom Arbeitsprozess abzuwenden. Eine starke Fokussierung hierauf kann auch bei den priorisierten Tätigkeiten beobachtet werden. Bei den maschinenfremden Tätigkeiten werden vor allem betriebsbezogene Tätigkeiten wie Wettercheck (70 %), Farmmanagement (49 %) und Kommunikation (45 %) bevorzugt. Private Tätigkeiten, Unterhaltung sowie Bürotätigkeiten sind für die Befragten weniger wichtig. Die Hälfte gibt in diesem Zusammenhang an, ausschließlich für das Fahren der Mähdrescher angestellt sind.

Gefragt nach Überforderung während des Mähdruschs, hatten 32 % diese Situation noch nie. 53 % sehen die Überschneidung von Maschinenbedienung und Nebentätigkeiten als Grund für die Überforderung. Nur ein sehr geringer Teil sieht in der Bedienung oder den Nebentätigkeiten allein den Grund für die Überlastung. Ein System, das Kenntnis über die persönliche Beanspruchung hat und diese nutzt, um Langeweile und Überforderung zu vermeiden, bewerten zwei Drittel positiv. Unfallvermeidung, Warnung bei Müdigkeit sowie ein konstantes Arbeitsergebnis werden hier als Vorteile genannt. Dies zeigt klar, dass das Konzept des beanspruchungsadaptiven HMIs der „Fahrerkabine 4.0“ hier am richtigen Punkt ansetzt und durch die Kombination von Stresslevel-Tracking und der Integration von Nebentätigkeiten in das HMI einen Akzent setzt.

AP 3.2: Darstellung von Trends im Agrarsektor

Die Analyse von Trends im Agrarsektor wurde thematisch verteilt auf die Projektpartner. Hierzu wurde ein Bericht angefertigt. ATH übernahm die Untersuchung der Trends im Agrarsektor aus Sicht der Forschung im weiten Zeithorizont mit Schwerpunkt Mähdrescher. Als zentrale Trends wurden alternative Mähdrescherkonzepte und die Roboterisierung identifiziert. Im Bereich der Antriebstechnik halten die Elektrifizierung sowie Raupenfahrwerke Einzug. Im Bereich Elektronik und HMI sind die zunehmende Vernetzung, unter anderem mit 5G, als auch HMIs mit mehr freiblegbaren Bedienelementen zu nennen. Bei neuen Kabinenkonzepten werden Umfelderkennung, Eyetracking sowie Spiegelkameras eingesetzt.

AP 3.3: Einordnung des Systems in den Entwicklungszustand des Agrarsektors

Die Einordnung des Systems in den Entwicklungszustand des Agrarsektors wurde aufgeteilt auf die Projektpartner bearbeitet. Hierbei entstand ein Bericht, der im Wesentlichen die Marktanforderungen und -chancen der Fahrerkabine 4.0 behandelt. ATH begleitete hierbei den Bereich Kabine und Bedienung. Es wurde festgehalten, dass das Konzept des Demonstrators durch keinen aktuellen Trend negativ beeinflusst wird. Alle Trends sind entweder schon Teil des Konzepts, können einfach implementiert werden oder sind nicht konzeptrelevant. Joysticklenkung ersetzen die klassische Lenkung mit Lenkrad. Alle neueren Bedienkonzepte beinhalten ein Display als Anzeigeelement. Oft wird es ebenso als Bedienelement verwendet, um Parameter einzustellen oder Funktionen auszulösen. Des Weiteren fiel auf, dass eine kabinenfeste Seitenkonsole in aktuellen Bediensystemen zunehmend verschwindet. Die Bedienelemente auf der Seitenkonsole, bei denen sich große Relativbewegungen zwischen Fahrer und Kabine ergeben können, wandern auf die Bedienarmlehne oder werden in eine Display-Oberfläche integriert. So sind sie für den Fahrer ohne große Relativbewegungen bedienbar, was den Fahrkomfort steigern kann. Außerdem werden physikalische Anzeigen, beispielsweise für die

Geschwindigkeit im Bereich des Armaturenbretts durch virtuelle Anzeigen ersetzt. Dies erlaubt darüber hinaus auch eine Dynamisierung der Anzeige, da diese für weitere Visualisierungen verwendet werden kann.

Die Adressierung aller wesentlichen Kabinen-Trends beeinflusst v.a. AP 6 – „Ein- und Ausgabemodule“ und AP 8 – „Systementwicklung“. Innovative Ansätze im Bereich Entertainment, der Prozessorganisation sowie Predictive Maintenance wurden vorgeschlagen. Die Erkennung des Beanspruchungsniveaus und die Adaptivität der Aufgaben auf den Fahrerezustand verschaffen der „Fahrerkabine 4.0“ ein großes Potential, da sich keine Entwicklung mit vergleichbaren Funktionen aus den aktuellen Trends abzeichnet.

2.1.4 AP 4: Ableitung der Einsatzszenarien

AP 4.1: Definition der Einsatzszenarien

Für die Definition von konkreten Einsatzszenarien wurden zunächst Nutzergruppen und Personas beschrieben, da sie den Grundstein für die Einsatzszenarien bilden. Die Nutzergruppenbeschreibungen enthalten einige Eckdaten zu Demografie, Arbeitsalltag, Tätigkeitsmerkmalen sowie Meinungen zu Zusatzaufgaben, Zustandserfassung und zum HMI. Darauf aufbauend wird für jede Nutzergruppe eine sogenannte Persona beschrieben, die mit der „Fahrerkabine 4.0“ in Kontakt kommt. Eine Persona stellt dabei nur den Prototyp eines bestimmten Nutzers dar. Diese repräsentiert den späteren Nutzer mit seinen Wünschen und Anforderungen und es können spezifische Einsatzszenarien abgeleitet werden. Die Persona baut auf den Inhalten von AP 3 auf. Es wurden Betriebsleiter in der Rolle Landwirt, Betriebsleiter in der Rolle Lohnunternehmer sowie Angestellte Fahrer der beiden voneinander abgegrenzt, da diese Gruppen zueinander unterschiedliche, aber gruppeneinheitliche Anforderungen an die Fahrerkabine stellen.

Die Einsatzszenarien dienen dazu, die Ausführung einer Aufgabe genauer zu beschreiben. Dabei werden Akteur, Bedingungen, Ablauf sowie das Ergebnis betrachtet. Die Einsatzszenarien wurden in die Themenfelder Entspannung bzw. Wohlbefinden, private Tätigkeiten, Kommunikation, Hofmanagement sowie Maschineninfos unterteilt.

AP 4.2: Ableitung eines Lastenhefts an das adaptive HMI

Es wurde ein Lastenheft auf Basis der Einsatzszenarien aus SubAP 4.1 sowie den Ergebnissen aus AP 3 erstellt. Es listet die konzeptionellen Vorgaben in Bezug auf technische Anforderungen (Hardware, Schnittstellen oder Datenverarbeitung) als auch nicht-technischen Anforderungen (einzuhaltende Normen, gesetzliche Vorgaben) auf. Die Forderungen mit ihren Erläuterungen sowie dem gewünschten Ergebnis wurde in die Bereiche Zustandserkennung, Handlungsempfehlungen, Bedienung der Handlungsempfehlungen, Ein- und Ausgabe, Plattform, Datenmanagement, HMI sowie Kabine/Komfort gruppiert. Diese dienen als Grundlage für das darauf aufbauende Pflichtenheft (AP 5.2), das beschreibt, mit welchen Mitteln diese Anforderungen erfüllt werden.

2.1.5 AP 5: Personenzustandserfassung

AP 5.1: Recherche und Auflistung unterschiedlicher Methoden

Um eine geeignete Methode zu identifizieren, wie die mentale Beanspruchung im Rahmen der „Fahrerkabine 4.0“ ermittelt werden kann, wurden verschiedene Methoden recherchiert und deren

Eignung in Konzeptzusammenhang bewertet. Neben der Zuverlässigkeit/Robustheit und der Genauigkeit der jeweiligen Verfahren wurde speziell dem Grad der resultierenden Einschränkung des Nutzers Wichtigkeit zugemessen. Bei der Recherche von Erfassungssystemen für den Personenzustand konnte basierend auf den Einsatzerfahrungen (Proof-of-Concept-Ansatz) zum beschafften Messsystem unterstützt werden, das sich im Herbst 2019 im Ersteinsatz befand. Standardisierte Fragebögen stellen eine robuste Möglichkeit dar, Informationen über die subjektive Beanspruchung zu erhalten. Allerdings ermöglicht dies nur eine sehr eingeschränkte Datenrate und lenkt den Nutzer stark ab. Die Messung mittels physiologischer Reaktionen des Körpers boten hier deutlich mehr Möglichkeiten. Neben kardiovaskulären Parametern, also der elektrischen Aktivität des Herzens, können mit den okulomotorischen Parametern auch Merkmale des menschlichen Auges Rückschlüsse auf die mentale Beanspruchung zulassen. Die elektrodermale Aktivität ist Teil des sogenannten Lügendetektors und beschreibt die Veränderung der elektrischen Leitfähigkeit der Haut, die durch die Produktion von Schweiß hervorgerufen wird. Diese Reaktion geschieht nicht bewusst und kann nur sehr eingeschränkt gesteuert werden, wodurch sich sehr direkte Informationen generiert lassen. Damit können menschliche Reaktionen wie Freude, Wut oder Stress sehr objektiv gemessen werden.

AP 5.2: Konzeptionierung des Erfassungssystems

Basierend auf dem Lastenheft aus AP 4.2 wurde ein Pflichtenheft erarbeitet, das die konkrete Umsetzung der Forderungen in einer Weise definiert, dass das System in die Konzeptkabine integriert werden kann.

AP 5.3: Beschaffung der nötigen Komponenten

Das resultierende Erfassungssystem besteht aus einem Eyetracker sowie einem Fitnesstracker. Der Eyetracker Smart Eye Pro Dx ist ein Mehr-Kamera-System. Für den Einsatz in der Fahrerkabine mit weiten Blickfeldern wurden 4 Kameras eingesetzt. Es wurden mehrere Fitnesstracker beschafft. Bei dem Garmin Vivosmart und der Fitbit Charge 3 konnten allerdings keine Echtzeitdaten verwendet werden, weshalb das Armband wahoo TICKR beschafft wurde und so eine niedrige Signalverzögerung zum Algorithmus umgesetzt werden konnte.

AP 5.4: Umsetzung und Test der Zustandserfassung

Die Personenzustandserfassung wurde mittels maschineller Lernverfahren auf Basis von Laboruntersuchungen umgesetzt. Hierbei wird die kognitive Beanspruchung mit Daten eines Fitnesstrackers am Handgelenk und eines Eyetracking-Systems vorausgesagt. Dies ermöglicht eine nicht-invasive Aussage über den Beanspruchungszustand des Nutzers. Basis für die Datenerhebung sind Experimentalaufgaben, die sich in Hauptaufgaben und Nebenaufgaben unterteilen und ein Beanspruchungsniveau von gering bis sehr stark auslösen. Für detaillierte Erkenntnisse wird auf den Sachbericht des KIT (Mobima und ifab) verwiesen.

2.1.6 AP 6: Eingabe-/Ausgabemodule (I/O-Module)

Die Interaktion mit dem Nutzer findet mittels Ein- und Ausgabemodulen statt. Es sollten geeignete und erforderliche Ein- und Ausgabemodule identifiziert (AP 6.1 und 6.2), bewertet und ausgewählt (AP 6.3) werden. Nach der Beschaffung (AP 6.5) der Komponenten sollten diese in die Projektkabine integriert (AP 6.4) und getestet (AP 6.6) werden.

Anfang Mai 2021 übernahm ATH die ausstehenden SubAPs eines ausscheidenden Projektpartners sowie den Lead des APs. Nach der Identifikation der notwendigen Arbeitsschritte und des Erstellens eines Zeitplans wurden die Schnittstellen zu den Handlungsempfehlungen definiert. Eine Bestellliste mit konkreten Komponenten und deren Quellen wurde erarbeitet. Das Pflichtenheft für die Fahrerkabine 4.0 wurde angefertigt.

Bei der Hardwareauswahl konnten zum Teil auf HMI-Komponenten des Projektpartners Claas zurückgegriffen werden, die zum Teil modifiziert wurden. So wurden Schalter für die Aktivierung von Drusch- und Einzugsorganen integriert und es befindet sich ein CMotion-Fahrhebel auf der rechten Armlehne, der auf einen einachsigen Joystick gesetzt wurde. Die Anbindung des Multifunktionsgriffs konnte mit Serienkomponenten von Claas gelöst werden. Die Maschinenfunktionen werden über ein in die rechte Armlehne integriertes 5 Zoll Touchdisplay angezeigt und bedient. Außerdem befindet sich ein Dreh-Drück-Steller in Griffnähe der rechten Hand. Die linke Armlehne enthält einen einachsigen Joystick zur Lenkung der Maschine. Dieser ersetzt das Lenkrad inklusive Lenkturm in der Kabine. Der aufgesetzte Griff verfügt über mehrere Tasten. Ein 4,3 Zoll Touchdisplay in der linken Armlehne macht die virtuelle Assistenz sowie weitere Komfortfunktionen bedienbar. Eingelassen in die linke Armlehne kann die Sitzdrehung mittels Taster bedient werden. Ein Motor inkl. Lagereinheit und Steuerung sorgt für die rotatorische Bewegung sowie ein Verfahren des Sitzes in Fahrtrichtung. In einer Stufe im Dachhimmel sind 3 längliche Displays in der Größe 19“ integriert, die die Spiegelbilder sowie die Rückfahrkamera enthalten. Zwei weitere Displays derselben Größe wurden auf den A-Säulen positioniert. Ein Soundsystem bestehend aus Lautsprecher, Subwoofer und Endstufen sorgt für die akustische Interaktion mit dem Nutzer. Den Gegenkanal bildet ein Mikrophon. Darüber hinaus wurde die Energieversorgung der Komponenten anhand der Leistungsaufnahme geplant und die Komponenten in den Schaltschrank integriert.

Die erwähnten Komponenten wurden beschafft, in den Demonstrator eingebaut und integriert. Dies umfasst die Identifikation von Lieferanten sowie die Angebotsanfrage und die Koordination der Beschaffung einschließlich Reklamationsmanagement.

2.1.7 AP 7: Entwicklung adaptiver Handlungsempfehlungen

Im Rahmen dieses APs wurden eine Vielzahl adaptiver Handlungsempfehlungen identifiziert und in Klassen eingeordnet. Handlungsempfehlungen sind Aufgaben, Hinweise oder Vorgänge im System, die dem Nutzer vorgeschlagen werden oder die dieser sie selbst auslösen kann. Das verwendete Klassifizierungsschema basiert auf dem Cognitive-Task-Load-Modell (CTL-Modell). Dadurch kann abgeschätzt werden, welche Auswirkung ein bestimmter Task unter der aktuellen Belastungssituation auf den Beanspruchungszustand des Nutzers hat. Dazu werden neben bestimmten Bediensignalen weitere relevante Größen der Maschine ausgewertet. Das Ziel dabei ist, die Nutzersituation durch passende Handlungsempfehlungen zu verbessern. Die möglichen Aufgaben decken mit Lockerungsübungen, Multimedia, sozialen Medien, Officeanwendungen, Schulungsmöglichkeiten für Maschinenfunktionen, der Steuerung weiterer Maschinen und dem Zugang zu Farmmanagementsystemen einen breiten Bereich für den Anwender ab.

Die Handlungsempfehlungen wurden in Software umgesetzt, was sowohl einen Logik- als auch einen grafischen Interfaceteil beinhaltet. Außerdem wurden entsprechende Schnittstellen zur Maschine, zu relevanten Onlineinhalten und zu eingebundener Software entwickelt. Die Handlungsempfehlungen treten mit dem Nutzer in Form der virtuellen Assistentin „Fabia“ in Kontakt, die sowohl auf visueller GUI-Ebene als auch akustisch kommunizieren kann.

ATH unterstützte bei der Definition von Handlungsempfehlungen speziell im Bereich Hofmanagement. Für eine detaillierte Beschreibung der Erkenntnisse wird auf den Sachbericht des KIT (Mobima) verwiesen.

2.1.8 AP 8: Systementwicklung

In diesem AP wurde die Systemarchitektur entwickelt, um die Einsatzszenarien aus AP 4 in einer Kabine umsetzen zu können. Die Ein- und Ausgabemodule aus AP 6 wurden angebunden. Ein Konzept zur Visualisierung und Bedienung auf mehreren Monitoren wurde erstellt. Dabei verteilt ein Compositor die einzelnen Anzeigen. So wird beispielsweise ermöglicht, dass Informationen über eine Umgebungssimulation gelegt werden können. Außerdem wurde eine Sitzpositioniereinheit integriert, die den Fahrersitz sowohl translatorisch in Fahrtrichtung als auch rotatorisch um die Hochachse bewegen kann. Ein Soundsystem sorgt für die akustische Kommunikation zum Nutzer.

Für detaillierte Erkenntnisse wird auf den Sachbericht des KIT (Mobima) und InMach verwiesen.

2.1.9 AP 9: Demonstrator und Funktionskabine

Im Rahmen von AP 9 wurde der Demonstrator umgesetzt. Die zu Anfang des Projekts zusätzlich geplante Funktionskabine wurde zu Gunsten des Demonstrators verworfen. Hier hätte sonst eine Überschneidung der Inhalte stattgefunden und zeitliche und kapazitive Probleme konnten gelöst werden. Speziell die Anbindung einer neuen Kabine an einen bestehenden Mähdrescher inklusive der Erfüllung relevanter Sicherheitsbestimmungen hätten keinen Vorteil für das Projekt geboten. Das Konzept eines bodenfesten Demonstrators in Form einer Kabine dagegen ermöglichte nicht nur mehr Freiheiten bei der Gestaltung und Umsetzung des Gesamtkonzepts, sondern erlaubte auch die ganzjährige Verwendung für Probandenstudien sowie zur Öffentlichkeitsarbeit, beispielsweise auf der Agritechnica 2023.



Bild 1: Demonstrator der „Fahrerkabine 4.0“ auf der Agritechnica 2023

In einem Workshop beim Projektpartner BID im Mai 2021 wurde das Demonstrator-Konzept substantziell konkretisiert. Ein Interieur-Design wurde von BID erstellt und in Zusammenarbeit mit Claas, Mobima und InMach realisiert. Als Basisstruktur dient eine modifizierte Claas-Serienkabine, die mit eigenem Interieur und erforderlicher Hardware ausgestattet wurde, siehe AP 6 und AP 8.

Eine Simulation im Landwirtschafts-Simulator 22 von GIANTS Software wurde verwendet, um die Inhalte der beiden Seitenscheiben und der Frontscheibe sowie Blicke nach hinten zu realisieren. Kartenmaterial konnte modifiziert und das verwendete Fahrzeug an das Konzept angepasst

werden. Die in die Kabine integrierten Bedienelemente zur Steuerung der Maschine wurden an die Software angebunden und relevante Parameter zwischen Spiel und Kabinensoftware ausgetauscht. Hierbei wurde außerdem unter Einbindung der Joysticklenkung eine Lenksteuerung umgesetzt, die den virtuellen Mähdrescher auf Spur hält und so eine Automatisierungsmöglichkeit in den Untersuchungen bietet. Um den abzubildenden Automatisierungsgrad zu erhöhen, wurde eine Verlust- und Prozesskomponentensimulation umgesetzt, die den Prozess des Mähdruschs und dessen Parameter realitätsnah nachbildet. Die Simulationsbilder werden mittels Beamer auf spezielle Scheiben projiziert. In die Scheiben wurde eine Folie einlaminiert, die in der Lage ist, durch Anlegen elektrischer Energie die Transparenz von opak milchig bis transparent zu variieren.

Auf der Rückseite der Kabine wurde von ATH ein Schaltschrank geplant, angefertigt und montiert. In diesem Raum konnten alle Komponenten untergebracht werden, die für einen Betrieb des Demonstrators notwendig sind. Dies umfasst zwei Rechner, die Energieversorgung, Soundtechnik und Netzwerkkomponenten. Zur Wärmeabfuhr wurden mehrere Lüfter integriert. Ein Stahlgestell bildet die Grundstruktur und ermöglicht mehrere Regalebenen. Die Tischplatte dient als Ablage und Arbeitsfläche für das Betreuungspersonal während Messen und Probandenstudien. Der Schaltschrank wurde ebenso wie die Kabine abschließbar ausgeführt. Darüber hinaus wurden Verkleidungen für Beamerhalterungen angefertigt. Eine Transportpalette wurde im Stahlbau modifiziert, um den Demonstrator ladungssicher und beschädigungsfrei per LKW transportieren zu können.

Der Demonstrator schafft durch Kombination von Simulation, Kabinendesign und Userinterface eine immersive Umgebung, in der Nutzer die geschaffene Umgebung als real empfinden können. Es konnte beobachtet werden, dass praktische Mähdrescherfahrer sich wie in einem realen Mähdrescher fühlen. Dies zeigte sich sehr eindrücklich auf Messen wie der Agritechnica 2023, wenn Probanden ein praktisches Szenario durchfuhren und am Anfang sowie Ende des Durchlaufs den Übergang zwischen Messehalle und teilvirtueller Umgebung als sehr eindrucksvoll beschrieben.

2.1.10 AP 10: Probandenstudien zur Systemvalidität

Es wurden Probandenstudien zur Nutzerzustandserfassung sowie zur virtuellen Assistenz durchgeführt. Hierbei wurde zum einen die in AP 5 entwickelte Nutzerzustandserfassung in der Demonstratorkabine validiert. Bei unterschiedlichen Beanspruchungslevels, die durch Aufgabenvariation erzielt wurden, wurden Daten erfasst und ausgewertet. Verschiedene Modelle zur Beanspruchungsprädiktion wurden verglichen. Zum anderen wurde getestet, ob die virtuelle Assistentin „Fabia“ die Beanspruchung von Probanden während dem virtuellen Mähdrusch beeinflussen kann.

Für detaillierte Erkenntnisse wird auf den Sachbericht des KIT verwiesen.

2.1.11 AP 11: Probandenstudien zur Produktakzeptanz

Um die Akzeptanz potentieller Nutzer abzufragen und bei Bedarf nachzubessern, wurden Probandenstudien im Demonstrator durchgeführt. Dafür wurde ein komprimiertes Szenario entwickelt, das alle relevanten Blicke auf die Konzeptideen beinhaltet. Mittels Fragebogen wurden Rückmeldungen zu Komponenten über Interfacemethoden bis hin zum Gesamteindruck erfasst. An zwei verschiedenen Standorten (Claas Harsewinkel sowie BID Münster) wurde der Demonstrator eingesetzt und Befragungen durchgeführt. Probanden wurden dabei von Claas, BID und ATH akquiriert.

Gemäß der Nutzergruppen können den Probanden Rollen zugeordnet werden. Die Stichprobe von 54 Probanden enthält 26 Claas-Mitarbeiter, 6 Betriebsleiter Landwirt, 4 Betriebsleiter Lohnunternehmen, 19 angestellte Fahrer sowie 1 Sonstige. Ein Drittel gab an, mehr als 6 Wochen

pro Jahr im Mähdrusch tätig zu sein. Ein weiteres Drittel drischt mehr als 2 Wochen, der verbleibende Teil weniger als 14 Tage.

Die Probanden gaben mittels User Experience Questionnaire Rückmeldung zu verschiedenen Parametern. Hierbei wurde das Konzept bei Attraktivität, Stimulation und Originalität mit „exzellent“ bewertet. Bei Effizienz und Steuerbarkeit ergab sich das Ergebnis „gut“ und die Durchschaubarkeit wurde mit „durchschnittlich“ bewertet.

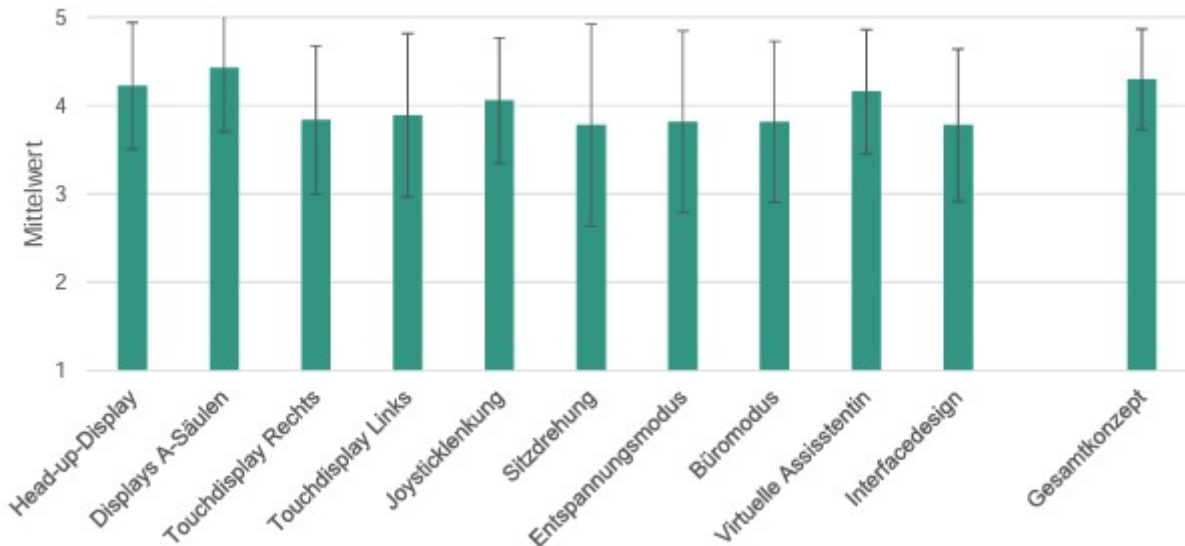


Bild 2: Bewertung von Komponenten und Gesamtkonzept

Darüber hinaus wurden verschiedenste Komponenten der „Fahrerkabine 4.0“ von den Probanden auf einer Skala von 1 (überhaupt nicht gut) bis 5 (sehr gut) bewertet. Dabei wurden die Komponenten durchweg sehr positiv bewertet, was ebenfalls für das Gesamtkonzept gilt. Speziell die verbesserte Sicht wurde als besonders positiv genannt, weil das üblicherweise große Display bei der „Fahrerkabine 4.0“ auf A-Säulendisplay, Head-Up-Display und Touchdisplay aufgeteilt wurde und die Lenksäule verschwunden ist. Verbesserungswürdig fanden die Probanden die teilweise zwischen mehreren Modulen springende Bedienung der virtuellen Assistentin. Die Reaktivität der Touchdisplays wurde ebenfalls als störend bemerkt. Diese Rückmeldungen fließen als Verbesserungsmaßnahmen in den Demonstrator ein. Im weiteren Verlauf des Projekts wurde aufgrund von zahlreichen Probandenaussagen eine schwarz lackierte und gebogene Designer-Fußstütze in die Kabine eingebaut.

2.1.12 AP 12: Feldstudien während der Ernte

Dieser Bericht enthält detaillierte Informationen zum Aufbau des HMI, der Umsetzung von Komponenten und der Durchführung von Feldtests sowie deren Ergebnisse.

2.1.12.1 Motivation

Im Verbundprojekt Fahrerkabine 4.0 wurde ein neuartiges, adaptives HMI für den Mähdrusch entwickelt, dessen Einsatz bisher aber nur bei der virtuellen Fahrt im Demonstrator stattfinden konnte. Zur Überprüfung der Übertragbarkeit auf eine reale Maschine wird eine Feldstudie durchgeführt. Ziel war es, die User-Experience und Usability des neuen HMI im realen Einsatz zu untersuchen. Ein- und Ausgabemöglichkeiten der virtuellen Assistentin mussten an das vorhandene Seriensystem adaptiert werden. Dieses HMI wurde auf den Institutsmähdrusch CLAAS LEXION 750 MONTANA montiert und in Feldeinsätzen validiert.



Bild 3: Versuchsmähdrescher CLAAS LEXION 750 MONTANA

Abgesehen von der Lenkautomatisierung (siehe 2.1.12.3) verfügt der Mähdrescher ausschließlich über Maschinen-Assistenzsysteme wie beispielsweise eine Schneidwerksregelung AUTO CONTOUR, aber über keine weitere Prozessautomatisierung wie CEMOS AUTOMATIC.

2.1.12.2 Methodik

Der Serienstand der Versuchsmaschine erfordert die Ableitung eines minimalisierten Systems, das Vorschläge macht und den Fahrerzustand im Blick hat. Die Informationssysteme der realen Maschine wurden mit der virtuellen Assistenz verbunden. Erforderliche Trigger (Warnung, Information) wurden implementiert. Ein realer Druscheinsatz erfolgte während der Ernten 2023 und 2024 mit der Versuchsmaschine CLAAS LEXION 750 MONTANA. Eine Abfrage der aktuellen Nutzerbeanspruchung wurde integriert. Aufgrund von Erfahrungen in der Ernte 2023 wurde die Nutzerbeanspruchung in der Ernte 2024 als haptisches Bedienelement ausgeführt und nicht mehr als virtuelle Handlungsempfehlung zeitgesteuert implementiert. Die maschineneigene Anzeigeeinheit CEBIS wurde versetzt, um die Erreichbarkeit der Aktionsflächen für die Handlungsempfehlungen sicherzustellen. Ein Touch-Rechner übernahm hierzu die Interaktion mit der virtuellen Assistenz. Die Bedienung der virtuellen Assistenz war analog zum Demonstrator auf der linken Armlehne angeordnet. Hierzu wurde ein mobiles Endgerät verwendet. In die linke Armlehne wurde außerdem eine Joysticklenkung integriert, um zum Demonstrator vergleichbare Bedingungen zu schaffen. Ein Rechner führt den Algorithmus der virtuellen Assistenz aus und bindet diesen an die Informationssysteme der Maschine an. Die CAN-Bus-Anbindung des Systems erfolgte mittels Skript in MATLAB von The MathWorks, Inc. Die Signale der Maschine wurden auf dem CAN-Bus mitgelesen und mussten entsprechend der vorgesehenen Datenstruktur umstrukturiert werden. Ein CAN-Datenlogger zeichnete relevante Signale auf. Die Einsatzorte des Mähdreschers waren der Ihinger Hof bei Renningen (bearbeitete Fläche 60,8 ha) sowie der Meiereihof in Hohenheim (bearbeitete Fläche 18,3 ha). Während die effektive, durchschnittliche Feldgröße auf beiden Standorten bei etwa 4 ha liegt, waren nur auf dem Ihinger Hof Schlaggrößen von über 10 ha anzutreffen. Geerntet wurden Wintergerste, Raps, Sommergerste, Winterweizen und Triticale.

2.1.12.3 Komponenten

Bild 4 zeigt die relevanten Komponenten der Feldstudie in der Kabine der Serienmaschine. Details zu den Komponenten werden in den Unterkapiteln erläutert.



Bild 4: Komponenten für die Feldstudie

VISUALISIERUNGSMODULE DES HMIS

Die Visualisierungsmodule umfassen nach Bild 4 die Komponenten (8) Convertible-Rechner mit Touch-Funktion, (5) Mobiles Endgerät für VA-Bedienung und (1) Externes Display zur Anzeigenerweiterung.



Bild 5: Ansicht des HMIs aus Fahrerperspektive

(8) Convertible-Rechner mit Touch-Display

Der Convertible-Rechner (8) mit Betriebssystem Windows hat ein 12,5 Zoll Touch-Display. Die Ethernet-Anbindung ans F4P0-Netzwerk erfolgt mittels USB-Ethernet-Adapter. Auf dem Rechner können dann mittels Browser die Interfaces aufgerufen werden. Dabei werden parallel die Seiten „io“, „Compositor“ sowie „debug“ geöffnet. „io“ muss ständig mindestens im Hintergrund geöffnet sein, um erforderliche Kommunikationskanäle bereitzustellen. Das Interface „debug“ wurde vorrangig dafür benötigt, die Datenerfassung für die Feldstudie zu starten und zu beenden.

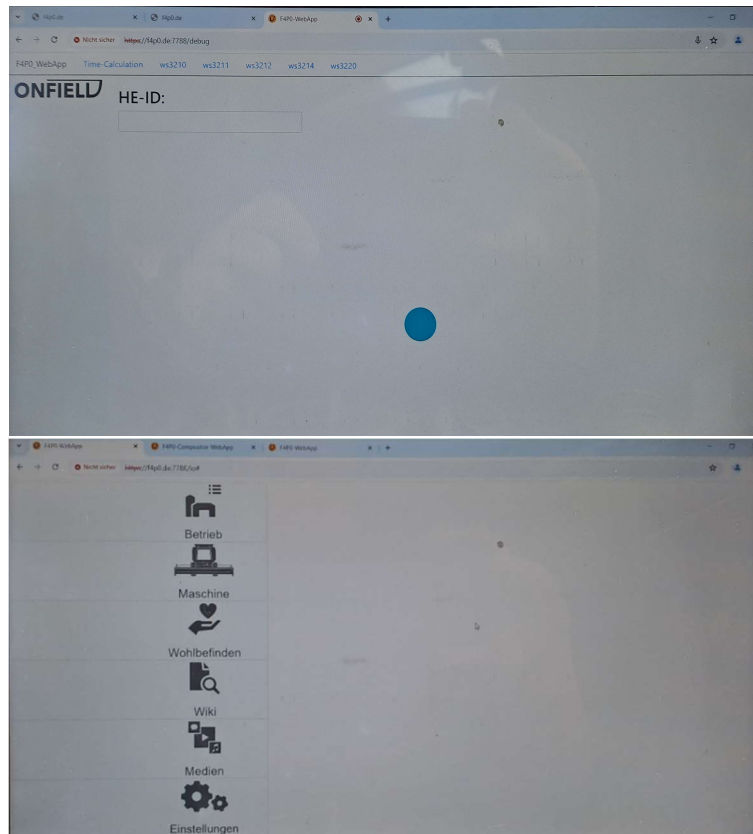


Bild 6: VA-Interfaces debug und io

Durch das Touchdisplay ist hierbei auch eine Eingabe und Bedienung von Handlungsempfehlungen möglich. Der Touchrechner wurde so platziert, dass schnell und mit kurzen Wegen zwischen Fahrhebel bzw. Armlehne und Touch umgegriffen werden kann. Die Größe des Displays schränkt die Sicht auf das Schneidwerk nur wenig ein. Allerdings musste es dafür möglichst tief platziert werden.

Das CEBIS-Display (Komponente (2) in Bild 4) wurde dazu an die A-Säule versetzt. Es enthält die Mähdreschereinstellungen. Hier erfolgten keine weiteren Änderungen. Die Bedienung per Dreh-Drück-Geber auf der Armlehne funktioniert trotz Positionsveränderung und mehr Distanz zur Bedieneinheit nach wie vor einwandfrei und intuitiv.

(5) Mobiles Endgerät für VA-Bedienung

Zur Interaktion mit der virtuellen Assistenz (VA) dient ein Touchdisplay auf der linken Armlehne, siehe Bild 10. Dazu wird ein Smartphone mit 4,7 Zoll großem Bildschirm verwendet, das über USB und die Software spacedesk von datronicsoft an den Convertible-Rechner angebunden wird. Damit ist der Bildschirm wie eine weitere Anzeige in Windows verfügbar und es kann das Interface

„Compositor_consoleleft“ mittels Browser geladen werden. Das Smartphone wird über das USB-Kabel nebenbei ständig geladen, was lange Einsatzzeiten garantiert. Das Interface konnte sehr flüssig bedient werden.

(1) Externes Display zur Anzeigenerweiterung

Ein Zusatzdisplay (1) ASUS MB16ACM mit 15,6 Zoll in FHD 16:9 wird über USB angebunden. Es dient der reinen Anzeige. Dabei wird in der oberen Hälfte die Hauptanzeige dargestellt. Die Hauptanzeige enthält die Maschinensilhouette mit allen Einstellparametern, die Motorauslastung, Fahrgeschwindigkeit, den Status der Lenkautomatisierung sowie die Verlust- und Überkehranzeigen. Die Parameter der Grain Quality Cam standen bei der Serienmaschine nicht zur Verfügung, siehe Bild 7. Die Position ist damit sehr ähnlich zum Demonstrator, der diese in der Frontscheibe integriert hat. Allerdings ist diese in der Größe reduziert.

In der unteren Hälfte des Displays wird die Informationsleiste angezeigt, die im Demonstrator ebenfalls unterhalb der Silhouette positioniert ist. Diese ist im Bild gerade leer.

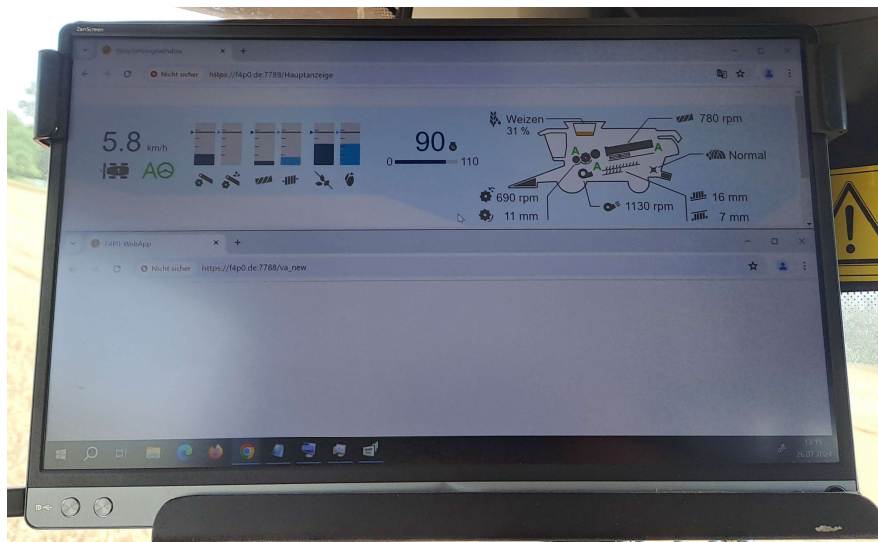


Bild 7: Inhalt des Erweiterungsdisplays

F4P0-NETZWERK

Das F4P0-Netzwerk verfügt über Internetanbindung und verbindet folgende Komponenten:

- (3) F4P0-Router (Adressauflösung)
- (9) Rechner für VA-Server
- (8) Convertible-Rechner für VA-System
- (10) Lenksystem-Tablet (Internetanbindung für Korrekturdatenabruf)

Der Kern des Netzwerks ist der F4P0-Router, der die Adressauflösung für den VA-Server macht, alle angeschlossenen Geräte als Switch verbindet und die Internetanbindung per Ethernet (Router für satellitenbasiertes Internet) sowie WLAN (Mobilfunkstick als Rückfallebene) aufbaut. Die übrigen Komponenten sind per Ethernetkabel verbunden.



Bild 8: F4P0-Router in der Fahrerkabine

SERVER DER VIRTUELLEN ASSISTENZ

Der Algorithmus der virtuellen Assistenz ist MATLAB-basiert und wird auf einem Laptop ausgeführt. Wichtig war ordentlich RAM und gute Prozessor-Performance, um die Latenzen bei der Ausführung gering zu halten. Positioniert wurde der Laptop (9) rechts neben dem Fahrersitz. So konnten die Maßnahmen des Algorithmus beobachtet werden, falls dies notwendig war. Eine konstante Überwachung der Ausführung ist allerdings nicht notwendig.

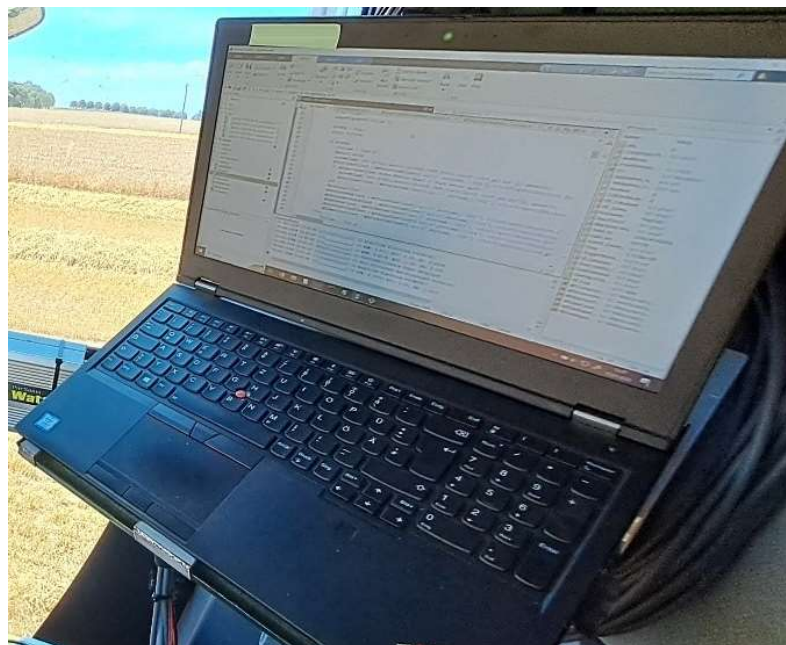


Bild 9: Rechner für VA-Server

DATENGATEWAY

Auf dem Rechner wird eine weitere MATLAB-Instanz ausgeführt, die als CAN-Gateway Daten zwischen dem Fahrzeug-CAN-Bus und mehreren WebSockets austauscht. Dazu wird das CAN-Interface NI USB-8502 mittels USB angebunden. Ein entwickeltes Gateway-Skript liest die CAN-Daten, entschlüsselt relevante Signale und schickt diese über WebSockets zur VA-Anwendung. Dies umfasst Bediensignale wie Tastenbetätigungen (z.B. Schneidwerksführung, Haspel), Maschinenparameter (z.B. Fahrgeschwindigkeit, Motorauslastung), Prozesseinstellungen (Dreschwerk, Rotoren, Reinigung) und Performanceparameter (Kornverluste, Überkehranzeige). Außerdem werden die RSME- und UserCondition-Daten (siehe Beanspruchungserfassung) vom CAN-Bus gelesen und auf WebSocket übersetzt, sodass die virtuelle Assistenz die Beanspruchung des Nutzers als Eingangsgröße erhält.

JOYSTICKLENKUNG UND BEANSPRUCHUNGSERFASSUNG

Ähnlich zur Fahrerkabine 4.0 kann der Mähdrescher über eine alternative Lenkeingabe auf der linken Armlehne gesteuert werden. Hierbei wird allerdings kein einachsiger Joystick verwendet, sondern ein Drehrad (Bild 10 in dunkelgrau). Das Drehrad ist federbelastet und rückstellend. Der Lenkwinkel der Räder folgt dabei dem Drehrad linear bis zu den Anschlägen links und rechts. Wird das Drehrad losgelassen, fährt die Lenkachse die Geradeaus-Stellung an. Mittels grünem Taster wird zwischen Drehrad und GNSS-Lenkensystem AgOpenGPS umgeschaltet. Für das System soll der Begriff Joysticklenkung verwendet werden, um die Analogie zur Fahrerkabine 4.0 herzustellen. Bei Verwendung der Joysticklenkung wird die Lenksäule nach vorne geklappt, sodass das Lenkrad sich nicht mehr im Hauptsichtbereich auf das Schneidwerk befindet.



Bild 10: Linke Armlehne mit Joysticklenkung, RSME-Erfassung und VA-Bedienung

Die Erfassung der Beanspruchung des Fahrers wurde in der Saison 2023 als Handlungsempfehlung umgesetzt. Hierbei fragte das System jede Minute den RSME-Wert (Rating Scale Mental Effort) sowie den SAM-Wert (Self-Assessment Manikin) sowohl akustisch als auch visuell auf dem linken Touchdisplay (Smartphone) ab. Die Daten gelangten über WebSockets zur virtuellen Assistenz, der auf Basis der Beanspruchung und weiterer Parameter passend reagiert.

Diese Handlungsempfehlung unterbrach dadurch regelmäßig die gerade aktive Handlungsempfehlung, also beispielsweise das Nachschauen von Wetterprognosen, was sich negativ auf den Ablauf und die User Experience des Systems auswirkte. Deshalb wurde für die Saison 2024 eine haptische Erfassung inklusive Kontrollanzeige umgesetzt, siehe Bild 10. Hierbei wird der RSME-Wert über den Schieberegler rechts der Armlehne eingestellt. Der SAM-Wert wird nicht mehr erfasst. Auf den Segmentanzeigen werden sowohl der aktuell eingestellte RSME-Wert als auch ein Kontrollwert für die User Condition (UC) angezeigt, um den aktuell eingegebenen Wert einfacher verstehen und richtig der aktuellen Beanspruchung zuordnen zu können. Die folgende Auflistung zeigt die Auflösung von RSME zu UC:

- UC 1: RSME 0...2 unterfordert
- UC 2: RSME 3...13 unterfordert
- UC 3: RSME 14...25 unterfordert
- UC 4: RSME 26...37 unterfordert
- UC 5: RSME 38...57 optimal
- UC 6: RSME 58...71 optimal
- UC 7: RSME 72...85 überfordert
- UC 8: RSME 86...102 überfordert
- UC 9: RSME 103...112 überfordert
- UC 10: RSME 113...150 überfordert

Der RSME-Wert wird alle 10 Sekunden über den Maschinen-CAN versendet. Das Datengateway auf MATLAB-Basis wandelt diesen Wert in die WebSocket-Datenstruktur um. Wenn der RSME-Wert innerhalb von 60 Sekunden nicht verändert wird, gibt das Gateway einen akustischen Hinweis aus, indem es den Nutzer auffordert, die gefühlte Beanspruchung per RSME-Schieberegler anzupassen, falls dies erforderlich ist. Hierbei wurde eine Sprachausgabe mit dem Text „Wie ist deine Beanspruchung?“ gewählt, um den Nutzer so wenig wie möglich von den visuellen Aufgaben abzulenken, aber gleichzeitig einen Kontrast zu akustischen Warnhinweisen des Mähdreschers zu schaffen.

LENKAUTOMATISIERUNG

Das GNSS-Lenkensystem AgOpenGPS ist eine Open-Source-Anwendung und dient der Lenkautomation des Mähdreschers. Es werden Spurlinien in Form von Geraden oder Kurven abgefahren, um eine effiziente Bearbeitung des Feldes sicherzustellen. Damit beschränkt sich die manuelle Fahrt zum Großteil nur noch auf die Wendevorgänge. Hierbei kann das Lenkrad oder die Joysticklenkung, siehe Bild 10, verwendet werden.



Bild 11: Lenksystem-Bedienoberfläche „AgOpenGPS V6“

2.1.12.4 Funktionen des reduzierten HMIs

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Die Funktionen des reduzierten HMIs umfassen alle Handlungsempfehlungen, die auch im Demonstrator der Fahrerkabine 4.0 implementiert sind. Zum einen kann der Nutzer HEs auslösen, wenn beispielsweise das Wetter nachgeschaut werden soll. Zum anderen schöpft die VA aus einem Pool an HEs, um den Nutzerzustand anhand des CTL-Modells zu optimieren.

TRIGGER FÜR KORNTANKFÜLLSTAND UND VERLUSTE

Darüber hinaus wurden Trigger implementiert, die dem Nutzer akustische Hinweise in kritischen oder wichtigen Situationen geben:

- Korntankfüllstand 70%, 90% und 100%
- Verluste Sieb und Rotor, jeweils 2 Schwellenwerte
- Überkehrfüllung sowie Kornanteil mit jeweils unterschiedlichen Schwellenwerten

Hierbei wurden vorhandene, aber vorrangig visuelle Hinweise mit Ton, wie beispielsweise die „Korntank 100%“-Warnung, gedoppelt, siehe Bild 12. Die Handlungsempfehlung gibt dann einen vordefinierten Text per Sprachausgabe aus, sodass über den auditiven Kanal ohne Abwenden vom Überwachungsprozess bereits die Information beim Nutzer eingeht.



Bild 12: Warnmeldung auf dem CEBIS

2.1.12.5 Ergebnisse

RSME-VERTEILUNG

Zur Bewertung der korrekten Funktion der VA kommen vorrangig vier Druschtage in 2024 in Frage, da davor die Implementierung des Datenaustauschs nicht fehlerfrei war.

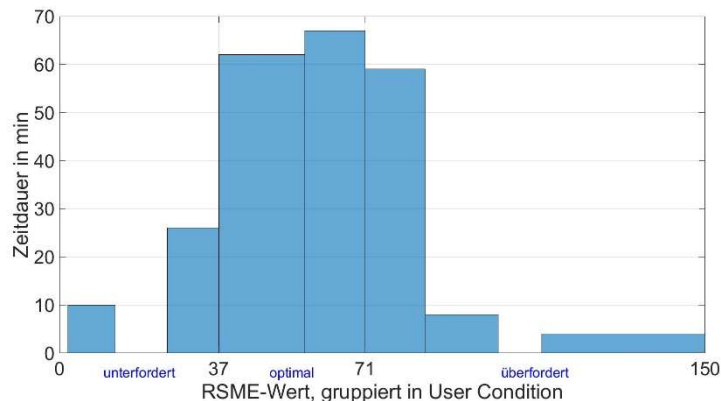


Bild 13: Messung 34, 30.07.2024: Sommergerste

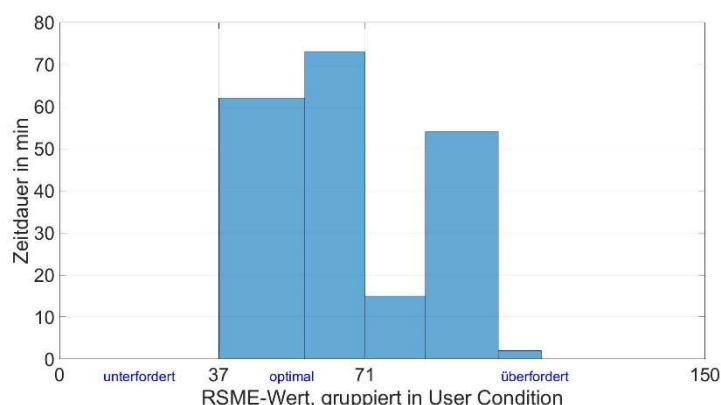


Bild 14: Messung 38, 31.07.2024: Triticale, Sommergerste

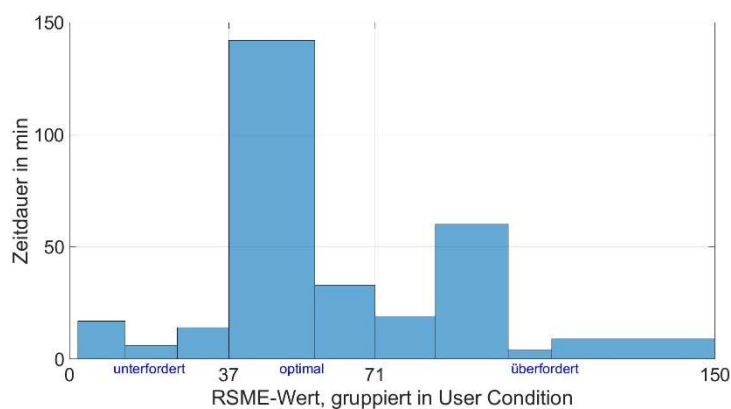


Bild 15: Messung 44, 09.08.2024: Weizen, Weizen (Bio), Weizen

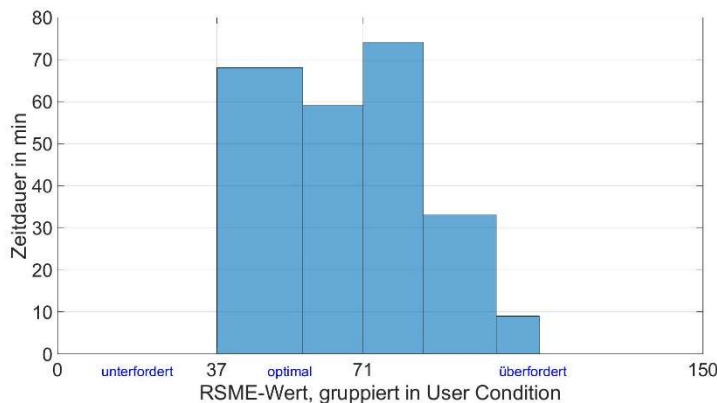


Bild 16: Messung 47, 10.08.2024: Weizen (Bio), Triticale (Bio)

Bild 13 bis Bild 16 zeigen die Zeitanteile des RSME-Werts in verschiedenen Klassen in Minuten. Hierbei wurden ausschließlich die Zeitbereiche mit laufenden Prozessorganen bei oberer Motordrehzahl ausgewertet, sodass Nebenzeiten (Umsetzen des Mähreschers, Rüstzeiten) nicht berücksichtigt sind. Es ist darauf hinzuweisen, dass die Eingabe keine kontinuierliche Messung darstellt, sondern der Nutzer die Beanspruchung selbst meldet. Es kann vorkommen, dass durch Aufmerksamkeitsfokus auf Fahr- und Maschinenfunktionen die RSME-Erfassung nicht verändert wurde, obwohl sich die subjektive Beanspruchung veränderte.

Es zeigt sich, dass bei den Einsätzen im Süden Deutschlands (Renningen sowie Hohenheim) vorrangig ein mittleres, optimales Beanspruchungsniveau (RSME zwischen 37 und 71) anzutreffen ist. Die Tendenz geht eher zur leichten bis mittleren Überforderung (RSME ab 71). Zeitbereiche mit Langeweile (RSME unter 37) sind sehr wenig vertreten. Messung 34 und 44 zeigen leichte Zeitanteile an Unterforderung, allerdings vorrangig absichtlich verursacht, um die Reaktion der virtuellen Assistenz zu testen.

Eine zahlenmäßige Bewertung der Ergebnisse, speziell des richtigen Verhaltens der virtuellen Assistenz, gestaltet sich aufgrund der wenigen relevanten Druschtage schwierig. Darüber hinaus konnten allerdings viele subjektive Eindrücke gewonnen werden.

SUBJEKTIVE ERKENNTNISSE

Die CAN-Bus-Anbindung des Systems war simpel umsetzbar. Das CAN-WebSocket-Gateway funktionierte zuverlässig. So konnten dem Algorithmus alle relevanten Parameter zur Verfügung gestellt werden. Bei der Auswahl der Parameter war eine Iterationsschleife notwendig. Es wurde festgestellt, dass einige Signale in der realen Maschine zum Demonstrator unterschiedlich umgesetzt wurden. Dadurch wurde der VA eine Änderung des Parameters suggeriert, was eine höhere Belastung durch die Bedienung der Maschine und in weiterer Folge eine Verzerrung der Beanspruchungssituation verursachte.

Der Serienstand schränkt einige Features der „Fahrerkabine 4.0“ ein. Speziell die steuerbare Transparenz der Scheiben als Kernfeature von Headup-Displays konnte nicht genutzt werden. Die Integration von zusätzlichen Bedien- und Anzeigesystemen in die Serienkabine konnte erfolgreich umgesetzt werden. Das Versetzen des CEBIS hatte keinen Einfluss auf die Übersichtlichkeit in der Kabine. Die Größe des Touchdisplays, das an dessen Stelle sitzt, erhöht das Risiko der Einschränkung der Sicht auf relevante Bereiche, beispielsweise das Schneidwerk. Hier war auf eine möglichst tiefe, den Sichtbereich wenig beeinflussende Position zu achten. Die klassische Lenksäule mit Lenkrad führt zu einer Verschlechterung der Sicht auf das Schneidwerk. Das Lenken des Mähreschers mittels alternativer Lenkeingabe, beispielsweise Joysticklenkung, funktionierte ausreichend gut, um im Feld auf das klassische Lenkrad verzichten zu können.

Akustische und visuelle Hinweise des Systems in kritischen Situationen sind ein echter Mehrwert für den Fahrer. Durch Bespielen der akustischen Ebene der Informationsverarbeitung gelingt es, auch ohne den Blickkontakt zur visuellen Meldung den Überblick zu behalten. Speziell akustische Hinweise entlasten in stressigen Situationen, in denen der Blickfokus nach vorne gerichtet ist.

Insbesondere für unerfahrene Fahrer oder in Zusammenarbeit mit Trainern verbessert die Maschinen-Silhouette die Übersichtlichkeit über alle relevanten Maschinendaten, nicht zuletzt durch die exponierte Lage im oberen Bereich der Frontscheibe.

Latzen durch die Internetanbindung können bei reinen Online-Systemen problematisch werden, da Anfragen des Systems nicht schnell genug beantwortet werden. Daher wurde ein lokales System mit zeitweisem Online-Zugriff aufgebaut, was die Performance erheblich verbessern konnte. Die Internetanbindung erfolgte situationsabhängig sowohl mit Mobilfunk als auch satellitenbasiertem Internet.

Eine optimale Assistenz lässt sich vor allem durch Verknüpfung mit den Managementsystemen des Betriebs umsetzen, sodass der Nutzer jederzeit Zugriff auf betriebsrelevante Informations- und Steuerungssysteme wie Getreideanlage, Fütterung oder Logistik hat. Eine praktische Erprobung im Rahmen der Feldstudie war aufgrund einer Schnittstellenproblematik nicht möglich. Die Einbindung eines Koordinierungssystems für die Abfahrlogistik wäre allerdings des Öfteren vorteilhaft gewesen. Allerdings konnte gezeigt werden, dass speziell während der Kampagne 2024 nur wenige Zeitbereiche mit Langeweile bestanden, sodass zusätzliche Aufgaben eher zu einer Ablenkung und weiteren Beanspruchungserhöhung geführt hätten.

Die Reaktion der virtuellen Assistenz auf eine Variierung des Beanspruchungszustands konnte ausschließlich subjektiv bewertet werden. Hierbei ergeben sich folgende, zentrale Aussagen:

- In weiten Zeitbereichen lag die Beanspruchung in einem mittleren, optimalen Bereich. Dabei herrscht ein ausgewogenes Verhältnis von Automatisierungsgrad (Lenksystem) und Belastung durch Bedienung und Überwachung. Darüber hinaus konnten aber sowohl Unter- als auch Überforderung getestet werden, indem der Schieberegler in passenden Situationen in die entsprechende Richtung geschoben wurde.
- Der Fall der Unterforderung ist wenig vertreten, da der Mähdrescher auf eher kleinstrukturierten Betrieben im Einsatz war oder die Beerntung eine erhöhte Aufmerksamkeit erforderte. Der Aufmerksamkeitsbedarf auf die Überwachung und Steuerung des Mähdreschers war speziell bei stark verunkrauteten und lagernden Beständen zusätzlich erhöht.
- Wenn eine Unterforderung durch RSME-Werte unter 37 ausgelöst wurde, konnte beobachtet werden, dass die VA korrekt mit einer Handlungsempfehlung reagiert, die den Nutzerzustand durch Aktivität in den optimalen Bereich bringen soll. Beispielsweise wurde hier ein Minispiel vorgeschlagen. Bedingung dafür ist, dass der Mähdrescher seine Arbeit ohne Eingriff des Fahrers erledigen kann, also wenig Bedieneingaben erfolgen.
- Bei Überforderung wurde durch die VA vorrangig keine zusätzliche Tätigkeit vorgeschlagen, da sehr oft parallel dazu Bedieneingaben für Schneidwerk und Haspel notwendig waren und so die Tätigkeitsschwelle bereits erfüllt ist.

Es konnte also beobachtet werden, dass die virtuelle Assistenz richtig auf unterschiedliche Beanspruchungsstufen reagiert. Hierbei ist vor allem das Zusammenspiel von Beanspruchungseinschätzung durch den Fahrer (RSME-Wert) und den Bedienhäufigkeiten für Maschinenfunktionen relevant.

2.1.12.6 Zusammenfassung

Ein minimalistisches HMI konnte erfolgreich aus dem „Fahrerkabine 4.0“-System abgeleitet und in der Serienkabine umgesetzt werden. Dazu waren Anpassungen in Hardware und Software, aber auch in Punkto Internetanbindung beim strukturellen Aufbau des Konzepts notwendig.

Die manuelle Eingabe der Beanspruchung durch den Fahrer selbst ist nur ein Kompromiss, da sie Aufmerksamkeit fordert und eine stetige Eingabe nicht immer gewährleistet werden kann. Dies kann durch die Integration der kontinuierlichen Echtzeit-Zustandserfassung aus AP 5 verbessert werden.

Die virtuelle Assistenz reagierte auf Unter- und Überforderung stets angemessen. In der vorherrschenden Situation „optimale Beanspruchung“ erfolgte keine weitere Interaktion mit dem Nutzer. Die Reaktion der virtuellen Assistenz kann deshalb als sehr positiv und richtig bewertet werden.

Insgesamt zeigte sich in der Feldstudie, dass die Interaktion mit dem System das Wohlbefinden des Fahrers steigern kann, da eine Assistenz erlebbar ist. Einen großen Beitrag dazu leisten insbesondere akustische Warnmeldungen und Hinweise. Weiteres Optimierungspotential verspricht die Verknüpfung mit den hofeigenen Managementsystemen wie Getreideanlage, Fütterung oder Logistik.

2.1.13 AP 13: Reflexion und Transfer

Dieses AP untersucht die Übertragbarkeit und Möglichkeiten der Anwendung von im Projekt entwickelten Technologien und Methoden auf Bereiche außerhalb des Agrarsektors. Hierbei wurde die Übertragbarkeit von wesentlichen Komponenten der „Fahrerkabine 4.0“ untersucht.

Die virtuelle Assistenz nutzt eine breite Palette an Interaktionsformen, wobei speziell die Kombination und Machart den großen Vorteil darstellen. Neben klassischer visueller Interaktion bietet die auditive Zusammenarbeit mittels Sprachein- und -ausgabe die Möglichkeit, den Fahrer weniger abzulenken. Dieses Prinzip ist auf weitere Maschinentypen auf Schiene, beim Bau und im Forst übertragbar. Darüber hinaus könnte dieselbe Methode auch an Büroarbeitsplätzen und Maschinenleitständen einen Vorteil für den Nutzer generieren.

Der entwickelte Algorithmus zur Zustandserfassung verwendet Eyetracking und einen Fitnesstracker, um die mentale Beanspruchung des Nutzers vorauszusagen. Die Übertragung der Methode auf andere Fahrzeuge und Maschinen mit Fahrerkabine ist naheliegend, da hier sehr ähnliche Bedingungen vorherrschen und der Nutzer sich auch in unterschiedlichen, den Arbeitsprozess beeinflussenden Beanspruchungszuständen befinden kann. Auch in Leitständen, in denen Prozesse und Maschinen überwacht werden müssen, ist es relevant, dass der Nutzer sich in einem Zustand befindet, in dem er die geforderte Tätigkeit zuverlässig erfüllen kann. Sollte die Erkennung das Gegenteil feststellen, können entsprechende Gegenmaßnahmen eingeleitet werden. Eine Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit des Algorithmus bietet die Chance, den klassischen Totmannschalter in Schienenfahrzeugen zu ersetzen.

Die Art der Visualisierung von Informationen in der „Fahrerkabine 4.0“, bei der eine Kombination aus Touchdisplay, Scheibendisplay sowie A-Säulen-Displays zum Einsatz kommen, könnte auch für andere mobile Arbeitsmaschinen, Baumaschinen und Maschinenleitstände vorteilhaft sein. Gerade die Einblendung relevanter Informationen in Kabinenscheiben basierend auf dem Blickbereich des Nutzers kann die Übersichtlichkeit erhöhen und den Grad der Ablenkung reduzieren. Dies stellt eine Erweiterung und Verbesserung der aus dem PKW-Bereich bekannten Head-Up-Displays dar.

Freie Visualisierungsmöglichkeiten in Kombination mit einer Sitzdrehung bieten in der „Fahrerkabine 4.0“ die Möglichkeit, die Kabine mit verschiedenen Arbeitsmodi auszustatten. Dadurch ist neben dem Fokus auf die Maschinenbedienung auch eine Nutzung als Entspannungs- oder Büroumgebung möglich. Das ist speziell relevant, wenn ein Arbeitsprozess in weiten Teilen der Zeit automatisiert abläuft. Ähnliche Bedingungen wie in hochautomatisierten Mähreschern können beispielsweise in Bohrgeräten, industriellen Anlagen oder Werkzeugmaschinen identifiziert werden. Der Grad der Trennung verschiedener Modi ist dabei

abhängig vom Arbeitsprozess und kann mit Drehwinkel und Visualisierung gesteuert werden. Soll eine Überwachung parallel zu anderen Prozessen möglich sein, muss eine Teilsichtbarkeit des Prozesses gewährleistet bleiben.

Das entwickelte Gesamtkonzept kann durch die Nutzung von Echtzeit-Wetterdaten und die Einbindung relevanter Sensoren den Anbau und die Ernte optimieren, was nicht nur ökonomische Vorteile hat, sondern auch die Biodiversität fördert. Ähnlich wie bei den Komponenten kann auch das Gesamtkonzept durch Kombination dieser einen Vorteil in der Kommunaltechnik, bei Bau- und Forstmaschinen und bei Nutzfahrzeugen haben. In mobilen Leitständen ist so eine Überwachung und Steuerung von autonomen Fahrzeugen, einzeln und im Schwarm, möglich.

2.1.14 Messungen zur Ist-Situation der Fahrerbeanspruchung

Von ATH wurden Messungen zur Ist-Situation der Fahrerbeanspruchung während der Getreideernte 2020, 2021 und 2022 unter Verwendung des institutseigenen Mähdreschers durchgeführt. Die Untersuchung der Fahrerbeanspruchung soll über alle relevanten Szenarien von Überlastung bis Monotonie stattfinden. Es soll der Status Quo festgehalten, Potentiale der Automatisierung ermittelt und Einflussgrößen auf die Fahrerbeanspruchung festgestellt werden. Die Untersuchungen wurden neben der Einsatzregion Mecklenburg-Vorpommern auch in Süddeutschland durchgeführt, um die Situation bezüglich Schlaggeometrie und Wirtschaftsweise zu variieren. Das Projekt „Fahrerkabine 4.0“ zielt auf zukünftige Mähdrescher ab, die aus heutiger Sicht über einen hohen Automatisierungsgrad verfügen, was die Fahrerbeanspruchung nachhaltig reduziert. Um diese Zustände relativ hoher Automatisierung erfassen zu können, sollten möglichst große und lange Schläge bearbeitet werden. Zum anderen stellte dies eine ausreichende Erntefläche sicher, um genug Variation der Fahrerbeanspruchung zu ermöglichen und eine umfassende Datenbasis zu erreichen. Diese Datenbasis wird durch Messungen im kleinstrukturierten südlichen Baden-Württemberg ergänzt. Um eine möglichst vollständige Lenkautomatisierung zu erreichen, wurde ein GNSS-basiertes RTK-Lenksystem mit Hydraulikventil nachgerüstet.

Neben den maschineneigenen Datensystemen (CAN-Bus, Lenkautomatisierung) wurden die Daten des im Rahmen des Projekts beschafften Messsystems aufgezeichnet. Dies umfasst ein CAPTIV-System von TEA Ergo, das eine Bewegungserfassung (Motion), ein EKG (ECG) sowie ein Hautleitfähigkeitssystem (GSR) zusammenfasst. Des Weiteren kommt eine Eye-Tracking-Brille VPS16 von Viewpointssystem GmbH sowie ein EEG-System B-Alert X10 von Advanced Brain Monitoring Inc. zum Einsatz. Außerdem trägt der Fahrer ständig ein Fitnessarmband des Typs Charge 4 von Fitbit am Arm, das die Herzrate des Probanden ermittelt und speichert. Die erfassten Daten werden zusammen mit den Maschinendaten gespeichert. Zur Aufzeichnung der Maschinen-eigenen Parameter wie Fahrgeschwindigkeit, Position im Feld und Informationen über Bedieneingaben wird ein CAN-Logger von Vector Informatik GmbH verwendet, der die Daten mehrerer CAN-Busse der Maschine erfasst und speichert.

Da die Aufzeichnung von Maschinendaten des Mähdruschs saisonabhängig ist und diese ausschließlich während der Haupterntemonate Juli und August erfolgen kann, stellt die Erfassung der Ist-Situation einen wichtigen Schritt dar, um einzelne SubAPs mit Daten, Erkenntnissen und Erfahrungen zu unterfüttern. So wird der Nachteil der Saisonalität von Mähdruschuntersuchungen abgeschwächt. Durch den Zugang zu Versuchsbetrieben der Uni Hohenheim, aber auch externen Kontakten zu Landwirten in Deutschland ist es möglich, den am ATH vorhandenen Mähdrescher Claas Lexion 750 Montana für Feldversuche einzusetzen. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, Eindrücke und Erfahrungen aus diesem praktischen Druscheinsatz in das Projekt zu integrieren. Die Gewinnung von Fahr- und Bedienpraxis sowie das Einbringen dieses Wissens stellt eine essentielle Grundlage für die Akzeptanz des entwickelten Systems bei den späteren Nutzern dar. Das Erlangen eines Situationswissens für den Mähdrusch in den Zielgebieten des Projekts ermöglicht ein tiefes Systemverständnis im Hinblick auf die Haupttätigkeiten eines Mähdrescherfahrers. Darüber hinaus können Zusammenhänge zwischen der Beanspruchung und physiologischen Parametern untersucht werden. Eine vorausgehende Literaturrecherche ergab, dass die Herzrate keine signifikante Informationsquelle für die Beanspruchung darstellt.

Ein Ziel der Auswertung ist die Überprüfung dieser These. In diesem Zusammenhang soll auch verstärkt auf die Daten der Bewegungserkennung zurückgegriffen werden, sodass der Einfluss von Bewegung und/oder kognitiver Belastung identifiziert werden kann. Darüber hinaus ist es möglich, einen Vergleich von unterschiedlichen Erfassungstechniken für die Herzrate durchzuführen. Die Voruntersuchungen lieferten hier gute Korrelationen zwischen dem Arm-basierten Fitness-Tracker und dem Elektroden-basierten CAPTIV ECG. Für die Erkennung von außerordentlichen Stresssituationen durch Gefahr oder starke Emotionen verspricht die Hautleitfähigkeitsmessung als Emotionserkennung ein hohes Potential. Hier konnten Stresssituationen mit dementsprechend hohen Ausschlägen bei der Hautleitfähigkeit in Verbindung gebracht werden. Die weitere Zusammenführung und Auswertung der Daten ist zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht abgeschlossen. Die Aufbereitung, Analyse und Dokumentation der Ergebnisse ist Bestandteil einer Promotion am ATH, die nicht innerhalb der Projektlaufzeit abgeschlossen werden kann.

2.2 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Insgesamt wurden 285.000,77 € verwendet. Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises umfassen Personalmittel für wissenschaftliche Mitarbeiter (E12-E15), Investitionen sowie Dienstreisen. Der wesentliche Teil der Kosten entstand durch Personalmittel. Mit den Personalmitteln wurde wissenschaftliches Personal angestellt, um die Personenmonate zu bedienen, die für die Erfüllung der Antragsziele in diversen APs erforderlich sind. Die Investitionen beziehen sich vorwiegend auf Messtechnik-Komponenten für physiologische Größen, die für Untersuchungen zum Nutzerzustand angeschafft wurden.

| | |
|--------------------------|--------------|
| Personalausgaben E12-E15 | 180.035,11 € |
| Investitionen | 57.625,30 € |

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Die durchgeführten Projektarbeiten waren für die Erfüllung der definierten Arbeitspakete notwendig und angemessen, da die formulierten Aufgaben erfolgreich bearbeitet werden konnten. Die geplanten Ziele wurden erreicht.

Im Laufe des Projekts wurden durch eine Änderung in der Zielsetzung (Verzicht auf Erstellung einer Funktionskabine) Personenmonate frei, weshalb das Projekt kostenneutral auf 5 Jahre verlängert und andere, wichtige Arbeiten durchgeführt werden konnten. Eine Aufstockung der ATH-Mittel war dadurch nicht erforderlich.

2.4 Voraussichtliche Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses - auch konkrete Planungen für die nähere Zukunft - im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

ATH beabsichtigt keine wirtschaftliche Verwertung der Projektergebnisse. Eine wissenschaftliche Verwertung erfolgte und erfolgt auf mehreren Ebenen. Projekterkenntnisse fließen in zukünftige Publikationen ein. Die Feldmessungen zu den physiologischen Messgrößen während des Mähdruschs sowie dafür relevante Projektergebnisse sollen in einer Promotion des beteiligten Mitarbeiters verwendet werden. Projekthinhalte konnten in die Lehre im Bereich der Agrartechnik an der Uni Hohenheim eingebunden werden. Studentische Arbeiten wurden im Zusammenhang mit dem Projekt durchgeführt und die Aus- und Weiterbildung von Studierenden unterstützt. Methodik und Knowhow werden vom wissenschaftlichen Nachwuchs in die Öffentlichkeit getragen.

Eine künftige Verwertung der Ergebnisse durch und in Folgeprojekte(n) des Instituts für Agrartechnik ist beabsichtigt. Insbesondere die Details der Feldmessungen zur Ist-Situation der Fahrerbeanspruchung beim Mähdrusch sollen in einer Promotion des beteiligten Mitarbeiters verwendet und damit der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden.

Aus den Ergebnissen des Forschungsprojekts „Fahrerkabine 4.0“ wird aktuell ein Nachfolgeprojekt „OnField 2.0“ angestrebt, das eine Steuerzentrale für die Landwirtschaft erforscht. Das Projekt „Fahrerkabine 4.0“, wie auch das geplante Projekt „OnField 2.0“ zielen darauf ab, die Arbeitszeiten in der Landwirtschaft angenehmer zu gestalten, die Vereinbarkeit von Familie und Beruf zu sichern und die Attraktivität des landwirtschaftlichen Berufs für den Nachwuchs zu steigern. Darüber hinaus ermöglicht eine Steuerzentrale den Landwirten, Hofsysteme und Maschinen von überall aus zu überwachen und zu steuern, was den Ressourcenverbrauch optimiert und die landwirtschaftlichen Prozesse insgesamt nachhaltiger gestaltet. Dies führt zu einer gesteigerten Nachhaltigkeit durch die Förderung der Biodiversität, die Umsetzung nachhaltiger Energiemanagementpraktiken und eine artgerechte Tierhaltung. Das Projekt hat somit das Ziel, langfristig umweltfreundliche und nachhaltige landwirtschaftliche Praktiken zu fördern und die Zukunft des Agrarsektors im Einklang mit den ökologischen und sozialen Bedürfnissen zu sichern.

Derzeit befinden sich die beiden durch die CLAAS Selbstfahrende Erntemaschinen GmbH angemeldeten Patente EP23153458A2 und EP23153499A1 in Prüfung beim Europäischen Patentamt.

2.5 Während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordenen Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Während der Projektlaufzeit wurde das Projekt TANGO abgeschlossen. Es zielt auf die Verbesserung des Nutzererlebnisses und der Akzeptanz von automatisierten Fahrfunktionen im LKW ab. Dabei wurde ein Aufmerksamkeits- und Aktivitätsassistent entwickelt, der Nebenaufgaben basierend auf dem aktuellen Fahrerzustand, der Fahrsituation, des Assistenzlevels und des verwendeten Interaktionskanals ermöglicht.

Während der Durchführung des Projekts ist dem ZE kein relevanter Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens für den Agrarbereich bei anderen Stellen bekannt geworden.

2.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nummer 5 der NABF

- Ernst, V.; Schempp, T.; Böttinger, S.: Beanspruchungsadaptives HMI für die vernetzte Landwirtschaft. In: HMI in mobilen Arbeitsmaschinen, Ulm 05.12.2019.)
- Wilmer, H.: Arbeitsplatz Mähdescherkabine, Umfrage der Uni Hohenheim. In: profi 04 2021, S. 100-104, Münster 2021.
- Metzger, S.; Lehr, P.; Ernst, V.; Geimer, M.: Entwicklung einer adaptiven Benutzerschnittstelle zur Optimierung des kognitiven Benutzerzustands. 23. Arbeitswissenschaftliches Kolloquium, 8./9. März 2022, Potsdam. In: Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (Hrsg.): Arbeit unter einem DA-CH – Der Landwirt im 4.0-Modus, S. 79-90
- Wilmer, H.: OnField Fahrerkabine 4.0: Der Arbeitsplatz der Zukunft? In: profi 06 2022, S. 86-87, Münster 2021.
- Messeauftritt DLG Feldtage, Mannheim, 14.06. – 16.06. 2022
- Metzger, S.; Ernst, V.: Fahrerkabine 4.0 – Entwicklung einer beanspruchungsadaptiven Nutzerschnittstelle für Landmaschinenbetreiber. Bundesverband Lohnunternehmen e.V., DeLuTa 2022, Bremen 08.12.2022.
- Messeauftritt DeLuTa, Bremen, 07.12. – 08.12. 2022
- Messeauftritt Agritechnica 2023, Hannover, 12.11. – 18.11.2023