



Agrarsysteme der Zukunft:

Fahrerkabine 4.0

Entwicklung einer beanspruchungsadaptiven
Nutzerschnittstelle für Landmaschinenbetreiber – Teilprojekt A

Abschlussbericht Teil I: Kurzbericht

Laufzeit: 01.04.2019 bis 30.11.2024

- Karlsruher Institut für Technologie
 - Institutsteil Mobile Arbeitsmaschinen (Mobima)
Prof. Dr.-Ing. Marcus Geimer, Steffen Metzger, Patrick Lehr
 - Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation (ifab)
Prof. Dr.-Ing. Barbara Deml, Nadine-Rebecca Strelau



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Förderung durch das
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
unter dem Förderungskennzeichen 031B0735A.

1 Kurzbericht

1.1 Aufgabenstellung und wissenschaftlich technischer Stand zu Beginn des Vorhabens

Die Leistungsfähigkeit eines Agrarsystems hängt stark von qualifizierten und motivierten Landwirten ab. Der demographische Wandel und höhere Anforderungen an die Vereinbarkeit von Privat- und Familienleben führen dazu, dass immer weniger Menschen diesen Beruf ergreifen. Ein attraktives Arbeitsumfeld ist daher entscheidend. Das Projekt „Fahrerkabine 4.0“ setzte sich deshalb zum Ziel, eine adaptive Mensch-Maschine-Schnittstelle für Landmaschinen zu entwickeln, die das Beanspruchungslevel des Nutzers erkennt. In stressarmen Situationen können Handlungsempfehlungen gegeben werden, während in stressigen Phasen auf notwendige Informationen fokussiert wird, um Überforderung zu vermeiden. Dies soll die Effizienz und Sicherheit erhöhen. Die Schnittstelle ermöglicht es Landwirten, ihre Zeit auf der Maschine optimal zu nutzen und Aufgaben direkt zu erledigen. Sie kann auch zur Steuerung von Hofsystemen verwendet werden, was zur ökonomischen Nachhaltigkeit beiträgt und Überstunden reduziert. Das Projekt zielt auf hochautomatisierte landwirtschaftliche Maschinen ab und entwickelt Technologien, die Über- und Unterforderung vermeiden. Eine adaptive Mensch-Maschine-Schnittstelle soll die Arbeitsleistung und das Wohlbefinden der Nutzer verbessern. Technologien wie Eyetracking und Augmented Reality werden eingesetzt, um eine intuitive und nutzerfreundliche Interaktion zu ermöglichen. Ein Demonstrator wird entwickelt, um das System ausgiebig zu testen und interessierten Stellen zu präsentieren.

Zum Zeitpunkt des Projektantrages waren dem Antragssteller keine Forschungsaktivitäten und wissenschaftlichen Publikationen zum beantragten Thema bekannt. Während der Bearbeitung des Forschungsprojekts wurde die Entwicklung eines ähnlichen Systems für die LKW-Branche festgestellt (Laßmann, Fischer, et al., 2020; Laßmann, Reichelt, et al., 2020; Scatturin et al., 2019).

1.2 Ablauf des Vorhabens

Zu Beginn des Projekts erfolgten Anforderungsanalysen auf verschiedenen Betrieben und Maschinen. Darauf aufbauend wurden Einsatzszenarien und Persona definiert sowie ein Lastenheft erstellt. Anschließend wurden die einzelnen Teilsysteme Zustandserfassung, virtueller Assistent, I/O-Module und das Hardware-Backbone ausgearbeitet und getestet. Nach erfolgreichem Abschluss der Einzelsystemtests wurden diese in eine Demonstratorkabine eingebaut, wodurch das Gesamtsystem finalisiert wurde. Mit dieser Demonstratorkabine wurden Studien zur Validierung der Zustandserfassung, des virtuellen Assistenten und des Gesamtsystems sowie eine Produktakzeptanzstudie durchgeführt. Parallel zu den Simulationen wurden Feldtests mit einem vereinfachten System durchgeführt. Über die gesamte Projektlaufzeit wurde eine umfassende Analyse zu ELSI-Kriterien durchgeführt. Diese Kriterien dienten als Leitlinien zur Entwicklung des Systems „Fahrerkabine 4.0“. Auf verschiedenen Messen konnten BesucherInnen das System erleben und selbst eine Erntefahrt in einem Mähdrescher mit dem System „Fahrerkabine 4.0“ erleben.

1.3 Wesentliche Ergebnisse

Videoanalysen zeigten, dass Fahrer während der Erntezeit nur kurze Pausen machen, die durch Automatisierung verlängert werden könnten. Interviews und Online-Studien identifizierten Zusatzaufgaben, die zur Effizienz und Unterhaltung beitragen, jedoch auch Ablenkung oder Überlastung verursachen könnten. Die Erfassung des Fahrerzustands wurde als positiv für die Unfallvermeidung bewertet, wobei Bedenken hinsichtlich Datenschutz und Bevormundung geäußert wurden.

Verschiedene Nutzergruppen wurden identifiziert und Persona definiert. Ein Katalog spezifischer Einsatzszenarien für die Fahrerkabine 4.0 wurde erstellt. Ein System zur Erfassung der mentalen Beanspruchung wurde entwickelt, das mittels Fitnesstracker und Eyetracking die Beanspruchung vorhersagen kann. Ein maschineller Lernalgorithmus wurde trainiert, um die Beanspruchungsstufen basierend auf den gesammelten physiologischen Daten vorherzusagen.

Über 55 Handlungsempfehlungen wurden identifiziert und implementiert, und ein Klassifizierungssystem basierend auf dem Cognitive-Task-Load-Modell wurde entwickelt. Eine Benutzeroberfläche für die Interaktion mit der Datenbank wurde ermöglicht und Maschinensignale sowie externe APIs wurden integriert.

Systemkomponenten wie Maschinensteuerungen und spezifische Sensorik zur Zustandserfassung wurden definiert, und eine Systemarchitektur wurde erstellt. Hardwareanforderungen wurden abgeleitet und erste Hardwareentwürfe erstellt. Konzepte für ein adaptives Human-Machine Interface (HMI) wurden entwickelt und eine Software-Infrastruktur implementiert, um die Kommunikation zwischen den Systemkomponenten zu ermöglichen.

Nutzungsszenarien und Designkonzepte für die „Fahrerkabine 4.0“ wurden entwickelt. Eine Demonstratorkabine mit integrierten HMI und neuem Interface wurde als Validierungsplattform aufgebaut, um virtuell einen hochautomatisierten Mähdrescher zu steuern und Handlungsempfehlungen durch die virtuelle Assistentin „Fabia“ bereitzustellen. Die Simulationssoftware für die Umgebungssimulation wurde aufgesetzt, optische, haptische, kapazitive und akustische I/O-Module integriert und eine GPS-Steuerung sowie eigene Maschinensimulationen entwickelt.

Probandenstudien zur Nutzerzustandserkennung wurden durchgeführt, um einen Algorithmus zur Erfassung des Nutzerzustands in der Demonstratorkabine zu testen. An der Hauptstudie nahmen 40 Probanden teil, die während des Steuerns des Mähdreschers Aufgaben von der virtuellen Assistentin erhielten. Die Studien zeigten, dass die Beanspruchung der Probanden je nach Fahrweise und Frequenz der Aufgabenaufforderungen variierte, mit der höchsten Beanspruchung während des manuellen Fahrens mit vielen Nebenaufgaben und der geringsten während autonomer Fahrten ohne Nebenaufgaben. Der Algorithmus zur Zustandserfassung erreichte eine Vorhersagegenauigkeit von 50,83 %, die durch zusätzliches Training und den Einsatz von Entscheidungsbaum-Modellen verbessert werden konnte.

In einer weiteren Studie wurde der Einfluss von Handlungsempfehlungen der virtuellen Assistentin auf die Beanspruchung der Probanden untersucht. Alle Handlungsempfehlungen führten zu einer Reduzierung der Belastung nach hoch beanspruchenden Fahrten, wobei die Kategorie Unterhaltung besonders hervortrat. Videos und Dehnübungen erwiesen sich als sehr effektiv zur Entlastung, während das Spielen eines Spiels bei niedrig beanspruchenden Fahrten eine stärkere belastende Wirkung hatte als das Anschauen eines Videos. Zusätzlich wurde eine Pilotstudie zur Wirkung der virtuellen Assistentin auf die Attraktivität und Nützlichkeit der Fahrerkabine durchgeführt, in der die Probanden überwiegend positive Rückmeldungen zur Interaktion mit „Fabia“ gaben.

Die Ergebnisse der Probandenstudien wurden zusammengefasst und die Rückmeldungen der Teilnehmer zur neuen Fahrerkabine analysiert. Die überwiegende Mehrheit der Probanden empfand die Fahrerkabine als ansprechend und nützlich. Der direkte Kontakt mit der virtuellen Assistentin wurde als vorteilhaft für die Interaktion und die Nutzung des Systems betrachtet. Die Integration von neuen Technologien und interaktiven Elementen in die Fahrerkabine wurde positiv bewertet, und die Potenziale für Effizienzsteigerungen und Nutzerfreundlichkeit sind evident.

In den Jahren 2023 und 2024 wurde das System unter realen Bedingungen getestet. Ein minimalistisches System wurde in einem Claas Lexion 750 Montana installiert, um den Zustand des Fahrers zu detektieren und Warnungen und Informationen zu liefern. Ein erfahrener Fahrer gab qualitatives Feedback. Die Ergebnisse zeigten, dass die CAN-Bus-Anbindung kein Problem darstellte, einige Funktionen jedoch durch das vorhandene Seriensystem eingeschränkt waren. Akustische und visuelle Hinweise erwiesen sich insbesondere in Stresssituationen als wertvoll. Ein lokales System mit temporärem Online-Zugriff verhinderte Latenzzeiten. Zukünftige Verknüpfungen mit Managementsystemen können die Unterstützungsleistung verbessern.

Eine umfassende Analyse der ethischen, rechtlichen und sozialen Implikationen identifizierte zentrale ethische Dimensionen wie Fürsorge, Selbstbestimmung, Sicherheit, Gerechtigkeit, Privatheit, Teilhabe und Selbstverständnis. Der Fokus lag darauf, den Fahrern Komfort zu bieten und Überlastung zu vermeiden, wobei klare Optionen zur Priorisierung von Aufgaben und zur Deaktivierung des Systems entwickelt wurden. Sicherheit und Datenschutz wurden als zentrale Anliegen erkannt.



Agrarsysteme der Zukunft:

Fahrerkabine 4.0

Entwicklung einer beanspruchungsadaptiven
Nutzerschnittstelle für Landmaschinenbetreiber – Teilprojekt A

Abschlussbericht Teil II: Eingehende Darstellung

Laufzeit: 01.04.2019 bis 30.11.2024

- Karlsruher Institut für Technologie
 - Institutsteil Mobile Arbeitsmaschinen (Mobima)
Prof. Dr.-Ing. Marcus Geimer, Steffen Metzger, Patrick Lehr
 - Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation (ifab)
Prof. Dr.-Ing. Barbara Deml, Nadine-Rebecca Strelau



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Förderung durch das
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
unter dem Förderungskennzeichen 031B0735A.

2 Eingehende Darstellung

2.1 Resultate des Forschungsvorhabens

Im Folgenden werden die Arbeitspakete und deren Ergebnisse mit KIT-Beteiligung detailliert dargestellt.

AP 1: Administration und Koordination:

Die Koordination des Projekts umfasste die Implementierung einer Koordinations-, Kommunikations- und Eskalationsstrategie. Durch regelmäßige Erfolgskontrollen sowie die Planung und Durchführung von Projekt-treffen mit Workshops, Telefon- und Webkonferenzen wurde diese umgesetzt. Die Zusammenarbeit mit der Koordinierenden Stelle der Agrarsysteme der Zukunft war dabei ein kontinuierlicher Prozess, der durch die Teilnahme an Statusseminaren und an relevanten Meetings unterstützt wurde. Zudem wurden Strategien zur Kompensation von Projektänderungen, wie dem coronabedingten Austritt von R3DT, ausgearbeitet und umgesetzt. Zur Sicherstellung der Projektfinanzierung wurden Aufstockungsanträge für die verlängerte Projekt-laufzeit ausgearbeitet und eingereicht. Zudem wurde ein Nachfolgeantrag „OnField 2.0“ entwickelt und eingereicht.

Zur Unterstützung der Kommunikation und Wissensverwaltung wurde eine MS SharePoint Plattform aufgebaut, betreut und kontinuierlich gepflegt.

Im Bereich der Öffentlichkeitsarbeit wurden zahlreiche Artikel in Fachzeitschriften veröffentlicht und Fachvor-träge gehalten. Auf verschiedenen Messen, wie den DLG Feldtagen, der DeLuTa und der Agritechnica, wur-den die Demonstratorkabine und das Projekt präsentiert. Dabei wurden spezielle Messeszenarien entwickelt und implementiert, um den Besuchern das System näherzubringen. Umfragen wurden erstellt, durchgeführt und ausgewertet, um wertvolles Feedback zu sammeln. Zusätzlich wurde ein professionelles Informations-video erstellt und publiziert (Agrarsysteme der Zukunft, 2024).

AP 2 - ELSI – Ethical, Legal and Social Implications

AP 2.1: Aufstellen von ELSI-Kriterien

Zu Projektbeginn wurde ein Workshop der ELSI-Arbeitsgruppe (Mobima, ATH und ifab) durchgeführt, bei dem eine erste Aufstellung der wichtigsten Themenfelder und Kriterien erarbeitet wurde. Die Ergebnisse des Workshops wurden während des Treffens des Gesamtkonsortiums vorgestellt und ergänzt.

Um die verschiedenen Fragestellungen systematisch zu erörtern, wurde auf das MEESTAR-Modell („Modell zur ethischen Evaluation sozio-technischer Arrangements“) nach (Manzeschke, 2015) zurückgegriffen. Dieses ist ein Evaluationsinstrument, um mögliche Probleme, Bedenken und Konflikte, aber auch Chancen einer neuen Technologie zu identifizieren. Durch diese systematische Analyse erhält man einen strukturierten Überblick über die wichtigen Themen, die im Rahmen des Projekts auftreten könnten. Dabei ist das Ziel, möglichst frühzeitig ethische Vorbehalte zu identifizieren und zu berücksichtigen. Dabei werden sieben Dimensionen (Fürsorge, Selbstbestimmung, Sicherheit, Gerechtigkeit, Privatheit, Teilhabe und Selbstverständnis) auf einer vierstufigen Skala der ethischen Sensibilität bewertet.

Bezüglich der Dimension Fürsorge wurden verschiedene Aspekte für die Fahrerkabine 4.0 herausgearbeitet, die eine Rolle bei der Gestaltung der Fahrerkabine 4.0 spielen könnten. Ein wichtiges Ziel dabei ist die Vermeidung von Unter- und Überbelastung des zukünftigen Nutzers, um die Arbeitsbedingungen zu optimieren. Die Veränderung der Fahrerkabine bietet außerdem die Chance, den Komfort und die User Experience zu verbessern. Außerdem soll die Fahrerkabine 4.0 einen Nutzen für den Fahrer haben. Dies ist nicht nur in Bezug auf Unterstützung bei der Arbeit zu verstehen, sondern auch durch ein Mehr an Freizeit, da Aufgaben effizienter erledigt werden können.

Bei der Dimension der Selbstbestimmung wurden vor allem Bedenken bezüglich der Zusatzaufgaben erfasst. Zunächst muss der Aufgabenpool an möglichen Aufgaben festgelegt werden. Fraglich ist dabei, wer diese Aufgaben vorgibt. Kritisch könnte dabei eine Diskrepanz zwischen Wünschen des Betriebsleiters und des Fahrers sein. Des Weiteren sollte geklärt werden, wie die Priorisierung der Aufgaben erfolgt. Gibt es zum Beispiel Aufgaben, die verpflichtend erfüllt werden müssen oder in einer bestimmten Reihenfolge? Diese Frage stellt sich ebenfalls bei der Frage der Handlungshoheit. Ist beispielsweise eine Deaktivierung des Systems möglich oder können Handlungsempfehlungen ausgeblendet werden, um eine möglichst große Handlungsfreiheit zu gewährleisten?

Hinsichtlich der Sicherheit ist zu klären, wer im Falle eines Schadens, verursacht durch die Ablenkung der Zusatzaufgabe, haftet. Ebenfalls ist es wichtig, dass der Automatisierungsgrad auch wirklich ausreichend ist, um Zusatzaufgaben anzubieten und der Benutzer diesen auch korrekt einschätzen kann. Die Fahrerkabine 4.0 bietet bei erfolgreicher Umsetzung auch die Chance, die Sicherheit zu erhöhen, da die Aufmerksamkeit durch eine optimale Auslastung gesteigert werden könnte.

Beim Thema Gerechtigkeit war den Beteiligten wichtig, dass keine Benachteiligung (z.B. von Personengruppen, oder gegenüber Fahrern in Standard Mähdrescherkabinen) durch das System entsteht. Vielmehr soll die Einführung der Fahrerkabine 4.0 die Möglichkeit bieten, einen erweiterten Personenkreis als potentielle Fahrer mit einzubeziehen. Außerdem soll ein Anreiz geschaffen werden, damit Fahrer auch gewillt sind während der Fahrt noch Zusatzaufgaben zu erledigen.

Unter der Dimension Privatheit wurden vor allem kritische Punkte bezüglich Datensicherheit sowie Datenschutz und Privatsphäre identifiziert. Hier ist wichtig zu erarbeiten, welche Daten gespeichert werden und wie diese Daten gespeichert werden. Um die Privatsphäre der Fahrer zu gewährleisten, müssen die Daten datenschutzkonform gespeichert werden und geklärt werden, welche Personen Zugriff auf diese Daten hat. Hier ist eine Unterscheidung zwischen personenbezogenen Daten, der Zustandserfassung sowie Maschinendaten sinnvoll. Die Erfassung von Daten könnte dazu führen, dass sich die Fahrer durch ihre Arbeitgeber beobachtet und unter Druck gesetzt fühlen. Es soll deshalb vermieden werden, dass die Messungen in der Kabine zu einer Leistungsmessung oder Arbeitskontrolle genutzt werden.

In Bezug auf die Dimension Teilhabe wurde vor allem die adaptive Anpassung an den Nutzer als eine große Chance für die Unterstützung der Arbeitsfähigkeit gesehen. Des Weiteren soll der Nutzer aber auch eigenständig in der Lage sein, das System optimal auf ihn/sie einzustellen. Wünschenswert wäre eine Verbesserung der sozialen Interaktion, sowohl durch ein Mehr an Freizeit aufgrund der Arbeitsverdichtung oder auch durch die Möglichkeit zum Beispiel soziale Medien als „Zusatzaufgabe“ benutzen zu können.

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 ein Gefühl der Kontrolle behält.

AP 2.2 Überprüfung auf Einhaltung der ELSI-Kriterien

Die in Arbeitspaket 2.1 aufgestellten Kriterien wurden im Laufe des Projekts überprüft und kontrolliert, inwieweit die kritischen Punkte der Fahrerkabine 4.0 berücksichtigt wurden und erneuter Anpassungsbedarf besteht. Die Gestaltung der einzelnen Evaluationen richtete sich nach den aktuellen Themen im Projektverlauf sowie dem Veranstaltungsort. Dies ermöglichte eine ganzheitliche Betrachtung aller kritischen Punkte, sowohl durch das Konsortium, externe Experten, als auch durch Fachleute aus der Landwirtschaft und Forschung.

Im Rahmen der ersten Evaluation im November 2020 wurden die Kriterien „Selbstbestimmung“ und „Teilhabe“ näher betrachtet, da diese zu den damaligen Arbeiten in den Arbeitspaketen 5 (Nutzzustandserkennung) und 7 (Entwicklung adaptiver Handlungsempfehlungen) passten. In Gruppenarbeitsphasen wurden die Kriterien und kritischen Punkte diskutiert. In Bezug auf das Kriterium „Teilhabe“ stand während der Präsentation der Gruppenarbeitsergebnisse vorrangig die Nutzeradaptivität im Vordergrund. Für eine gerechte

Teilhabe der FahrerInnen wurde festgehalten, dass weniger Technik–affine oder –erfahrene Personen nicht durch das System ausgeschlossen werden dürfen. Das System müsse dementsprechend auf FahrerInnen eingestellt sein. Die drei Themen „Ermöglichung besserer sozialer Interaktion“, „Nutzeradaptivität“ und „Einflussnahme“ wurden als aus ethischer Sicht unbedenklich bzw. sensibel, aber mit entsprechender Berücksichtigung eingeordnet. Für das Kriterium „Selbstbestimmung“ wurden die Fragen aus AP 2.1 diskutiert, beispielsweise inwiefern eine Priorisierung oder Auswahl der zusätzlichen Aufgaben erfolgt und ob dabei Unterschiede zwischen Fahrern und Betriebsleitern bestehen. Diese Fragen wurden als sensibel eingestuft, finden jedoch in der Gestaltung der Fahrerkabine Berücksichtigung. Dies zeigt sich daran, dass die Fahrer selbst entscheiden können, ob sie die Handlungsempfehlungen annehmen, und diese Entscheidungen nicht an den Betriebsleiter weitergegeben werden.

Die nächste Evaluation fand im September 2021 im Rahmen des Projekttreffens statt und betrachtete die Kriterien „Fürsorge und „Selbstverständnis“. Zu Beginn des Workshops gab es einen Impulsvortrag zum Thema „Menschenbilder und Technikgestaltung“ von einem Experten auf dem Gebiet menschenzentrierter Technikgestaltung. Inhalt des Vortrags war unter anderem die kritische Auseinandersetzung mit der Zielgruppe der Fahrerkabine 4.0 und die Frage welche Werte, Wünsche und Eigenschaften die späteren NutzerInnen haben würden. Durch die Berücksichtigung von NutzerInnen ohne Vorerfahrung mit technisch komplexen Systemen wie der Fahrerkabine 4.0, soll von Anfang an ein möglichst nutzerfreundliches System konzipiert werden. Bei der Diskussion zeigte sich, dass viele kritische Punkte bereits umgesetzt oder zumindest in der Planung beachtet wurden. Dazu gehören z.B. eine Entlastung durch die Fahrerkabine, indem Unter – und Überforderung vermieden wird, eine beherrschbare und einfache Bedienung sowie die Tatsache, dass die FahrerInnen nicht zur Nutzung gezwungen werden. Als mögliche kritische Punkte wurde gesehen, dass die Handlungsempfehlungen nicht zu einer Arbeitsverdichtung führen dürfen und die FahrerInnen bevormundet werden. Dies verdeutlichte noch einmal die Bedeutung einer korrekten Zustandserfassung und den darauf aufbauenden geeigneten Handlungsempfehlungen. Die Handlungsempfehlungen wurden so implementiert, dass diese vom Fahrer nicht angenommen werden müssen und die Daten aus der Fahrerkabine nicht an Vorgesetzte weitergeleitet werden können. Hiermit wird eine Bevormundung und Arbeitsverdichtung vermieden. Insgesamt konnte ein positives Fazit zur Berücksichtigung der Kriterien gezogen werden.

Im Rahmen der DLG-Feldtage 2022 wurden FahrerInnen mit direkter Praxiserfahrung zu ihrer Einschätzung der Fahrerkabine interviewt. Dabei wurde auch nach den möglichen Chancen und Risiken gefragt, die die Fahrerkabine mit sich bringen. Unter den 35 Befragten war das am häufigsten genannte Risiko ein kompletter Systemausfall, gefolgt von Ablenkung durch das System und einer zu komplexen Bedienung. Auch die gesteigerten Kosten und das Risiko einer Überforderung der FahrerInnen wurde kritisch angemerkt. Einmal wurde auch die Überwachung der FahrerInnen als ethisch nicht vertretbar gesehen. Mögliche Chancen wurde vor allem in gesteigerter Effizienz, Komfort und der Entlastung der FahrerInnen gesehen. Insgesamt wurde die Fahrerkabine positiv aufgenommen. Durch die Gespräche mit den Projektbeteiligten und die Fahrt im Demonstrator konnten einige Vorbehalte geklärt werden.

Die Dimensionen Sicherheit und Privatheit waren Gegenstand beim Projekttreffen 2023. Hier wurde zunächst ein Vortrag von zwei Ethikexperten zum Thema „Forschung und Ethik“ gehalten und die Fahrerkabine in diesem Zusammenhang gemeinsam diskutiert. Im Bereich Sicherheit wurde über die Haftungsfrage bei einem Schadensfall diskutiert. Es wurde festgestellt, dass diese Frage nicht direkt für die Entwicklung der Fahrerkabine relevant ist und eher in den Zuständigkeitsbereich von Gesetzgebung und Versicherungen fällt, ähnlich wie bei autonomen PKWs. Ein weiteres Thema war der Umgang mit Personen oder Tieren auf dem Feld, jedoch wurde darauf hingewiesen, dass dies nicht unmittelbar in die Zuständigkeit der Fahrerkabine fällt, sondern vielmehr bei der Entwicklung der Automatisierung zu berücksichtigen ist. Ein weiteres sensibles Thema betrifft die Frage, ob die Fahrer sich von der Fahraufgabe abwenden können und dadurch abgelenkt sind. Hierbei ist es von besonderer Bedeutung, dass die Automatisierung der landwirtschaftlichen Maschinen in der Zukunft voll funktionsfähig ist, da das Konzept der Fahrerkabine ausschließlich für diese Aufgabe ausgelegt ist. Im Bereich Privatheit stand vor allem der Datenschutz und die Privatsphäre im Fokus. Die Frage, wer Zugriff auf die Daten hat und wie diese gespeichert werden, wurde als sensibel erachtet. Dies bezieht sich sowohl auf Daten der Zustandserfassung als auch personenbezogene Daten wie die private

Nutzung als auch auf mögliche Leistungsdaten (z.B. Youtube vs. Bürotätigkeiten). In der Fahrerkabine wurden jedoch Lösungen implementiert, um diese Daten nicht zu speichern, sodass weder Betriebsleiter noch andere Personen darauf Zugriff haben und diese somit auch nicht auswerten können. Es wurde zudem betont, dass das System nicht bestimmend, sondern unterstützend wirken soll, und der Fahrer die Handlungshoheit behalten sollte. Hierfür werden bestimmte Aufgaben und die Zustandserfassung deaktivierbar gemacht, um dem Fahrer die Kontrolle zu ermöglichen. Diese Selbstbestimmung wird weiterhin dadurch gesichert, dass es für den Arbeitgeber keine Möglichkeit gibt, die Daten der Zustandserfassung und der Nutzung des Systems zu analysieren, da diese nicht gespeichert werden.

Die Dimension Gerechtigkeit wurde mittels einer Befragung unter BesucherInnen der Agritechnica 2023 beurteilt. Interessierte BesucherInnen durchfuhren im Demonstrator ein Messeszenario, bei dem die wichtigsten Funktionen der Fahrerkabine 4.0 vorgestellt wurden und beantworteten anschließend einen kurzen Fragebogen. Eine Mehrheit der Befragten (62%) würden von angestellten FahrerInnen erwarten, dass sie die betrieblichen Aufgaben, die die virtuelle Assistentin vorschlägt, bearbeiten, anstatt private Angelegenheiten. Auf die Frage, ob diese Bearbeitung der Aufgaben mit einem persönlichen Nutzen einhergehen sollten, sprachen sich viele der Befragten dafür aus, ca. ein Drittel sprach sich allerdings dagegen aus. Ein sehr gemischtes Antwortmuster ergab sich dagegen bei der Frage, ob es als unfair angesehen wird, wenn manche Fahrer dann weniger persönlichen Nutzen erzielen können, wenn sie weniger betriebliche Aufgaben von der virtuellen Assistentin vorgeschlagen bekommen. Ca. 33% würden dies als unfair empfinden, 38% dagegen nicht. Die restlichen befragten beantworteten die Frage mit „weder noch“. Als ein möglicher Vorteil der Fahrerkabine 4.0 wurde angenommen, dass ein größerer Bewerberpool für angestellte Fahrer zur Verfügung steht. Hier ergab sich vor allem zwischen Lohnunternehmern und Betriebsleitern ein unterschiedliches Bild. Während ein großer Teil der Betriebsleiter (45%) angab, auch weniger erfahrene Fahrer einzustellen, stimmte ein Großteil der Lohnunternehmer (60%) dagegen. Insgesamt bewerteten die BesucherInnen die Fahrerkabine 4.0 mit einer durchschnittlichen Bewertung von 4.5 auf einer Skala von 1-5.

AP 3 - Arbeitspsychologische Anforderungsanalyse

AP 3.1: Analyse des Nutzers und Nutzungskontextes

Für die Anforderungsanalyse wurden eine Literaturanalyse, Videoanalysen, Interviews und eine Online-Studie durchgeführt.

Durch die Literaturanalyse wurde zunächst ein Überblick darüber gewonnen, welche Anforderungen künftig aufgrund der zunehmenden Automatisierung in der Landwirtschaft an Fahrer gestellt werden könnten. Zudem wurde untersucht, welche Einstellungen Landwirte und Angestellte gegenüber technologischen Neuerungen haben und welche Risiken sie dabei wahrnehmen.

Mittels der Videoanalyse sollte herausgefunden werden, ob es Phasen während der Ernte gibt, bei denen der Fahrer keine Einstellungen vornimmt und wie lange diese sind. Dafür wurden sieben Videoaufnahmen auf verschiedenen Betrieben in Nord- und Ostdeutschland Videoaufnahmen während der Erntesaison 2019 aufgenommen und daraus Tätigkeitsprofile erstellt. Die Anteile an der Fahrtzeit, bei denen die Fahrer keine Eingaben machen mussten, unterschied sich sehr zwischen den verschiedenen Videoaufnahmen. Die maximale zusammenhängende Zeit ohne Eingabe betrug durchschnittlich 1,23 Minuten. In Zukunft werden diese Zeitabschnitte ohne Eingabe durch zunehmende Automatisierung größer ausfallen.

Inhalt der Interviews war unter anderem die Beschreibung eines typischen Arbeitstages, Tätigkeiten oder das Stresslevel während der Fahrt auf dem Mähdrescher. Des Weiteren wurde nach anderen Tätigkeiten gefragt, die außerhalb der Arbeit auf dem Mähdrescher anfallen. Dies sollte dazu dienen, mögliche Zusatzaufgaben, die im Rahmen der Fahrerkabine 4.0 gestellt werden könnten, zu identifizieren. Auf Basis der Antworten aus den Interviews wurde eine Online-Studie erstellt, bei der 13 Personen mitmachten. Auch hier wurde nach den Tätigkeiten während der Fahrt, Tätigkeiten außerhalb des Mähdreschers der Möglichkeit für Zusatzaufgaben, der Zustandserfassung und der Gestaltung des HMI gefragt. Die Möglichkeit zur Bearbeitung von zusätzlichen Aufgaben wurde durchschnittlich mit 4,31 (SD = 1,98; auf einer Skala von 1 = „kann

ich mir überhaupt nicht vorstellen“ bis 7 = „kann ich mir sehr gut vorstellen“) bewertet. Gründe, diese Möglichkeit zu nutzen sind unter anderem effektiveres Zeitmanagement, Entlastung oder Zeit für Unterhaltung (lesen, Telefonate). Dagegen spricht, dass Konzentration und Aufmerksamkeit leiden könnten, wodurch das Risiko für Schäden steigt oder dass die Zusatzaufgaben zu einer „Doppelbelastung“ führen könnten. Am ehesten können sich die Befragten vorstellen Wettervorhersagen zu überprüfen ($M = 6,08$; $SD = 1,43$) oder Maschineninfos abzurufen ($M = 5,54$; $SD = 1,60$). Zusätzlich wurde gefragt, welche anderen Zusatzaufgaben in Betracht kommen. Hier wurde von fünf Befragten Tätigkeiten im Bereich Kommunikation vorgeschlagen (z. B. über E-Mail, WhatsApp, Funk oder Telefon). Des Weiteren wurden Management/Bürotätigkeiten (z. B. Ertragsdaten korrigieren, Abfahrlogistik) von vier Personen sowie Essen/Trinken von zwei Personen genannt. Auf die Frage, welche Tätigkeiten gar nicht in Frage kommen, wurden neben Unterhaltung (z. B. Fernsehen) allerdings ebenfalls vier Mal Bürotätigkeiten genannt. Besonders relevant bei der Auswahl der Zusatzaufgabe ist die Zeit, die für die Bearbeitung zur Verfügung steht ($M = 5,08$; $SD = 1,86$), die Auslastung des Fahrers durch die Fahrtätigkeit ($M = 5,38$; $SD = 1,50$), die Tätigkeitsmerkmale ($M = 5,23$; $SD = 1,67$) sowie der Ablenkungsgrad ($M = 5,54$; $SD = 1,94$).

Die Idee, während der Fahrt die Beanspruchung des Fahrers zu erfassen wurde mit 5,08 ($SD = 1,14$) bewertet. Als Begründung wurde angeführt, dass die Messung Hinweise über die Auslastung des Fahrers geben könnte und Unfälle (z. B. durch Übermüdung) vermieden werden könnten. Allerdings wurde z. B. auch angemerkt, dass Probleme beim Datenschutz entstehen könnten oder Beanspruchung auch andere Gründe als die Fahrt haben könne. Zusatzaufgaben auf Basis der Zustandserfassung vorzuschlagen wurde mit 3,77 bewertet ($SD = 1,92$). Der Hauptgrund dagegen ist, dass keine Bevormundung durch das System gewünscht wird. Dafür spricht, dass sie den Fahrer unterstützen könnten. Für die Zustandserfassung und die Kopplung an zusätzliche Aufgaben sei es generell wichtig, dass der reale Zustand des Fahrers erfasst wird (z. B. Müdigkeit, Aufmerksamkeit), dieser aber auch mit der Umgebung des Mähdreschers kombiniert wird (z. B. mit Vorfeldüberwachung). Des Weiteren sei eine wichtige Voraussetzung, dass die Automaten zu jeder Zeit optimal funktionieren, damit der Fahrer die Zeit für zusätzliche Aufgaben nutzen könne.

Bei der Bewertung von Interaktionsformen schnitten Dreh- und Drück-Regler ($M = 5,08$; $SD = 1,64$) sowie Head-up Displays ($M = 5,69$; $SD = 1,59$) am besten ab. Aus den Interviews hatten sich insgesamt sechs Aspekte ergeben, die bei der Gestaltung der Benutzerschnittstelle wichtig seien. Auch bei der Online Studie wurden die Aspekte „Keine Sichtfeldeinschränkung“, „Flexibilität“, „Übersichtlichkeit“, „Leichte Verständlichkeit“, „Bedienbarkeit“ und „intuitive Bedienung“ durchschnittlich mit 6,5 ($SD = 0,43$) bewertet.

AP 3.2: Darstellung von Trends im Agrarsektor

In AP 3.2 wurde von allen Projektpartnern eine Analyse von Trends im Agrarsektor durchgeführt. Von Seiten des KITs wurden die technischen Entwicklungen und Neuerungen der Hersteller sowie soziale und demographische Trends analysiert. Die Ergebnisse aller Partner wurden in einem Bericht zusammengefasst und intern geteilt.

Hierbei wurden die wirtschaftliche Bedeutung der Landwirtschaft sowie die Entwicklung der landwirtschaftlichen Betriebe hinsichtlich Anzahl und Größe, unter der Berücksichtigung regionaler Unterschiede, untersucht. Außerdem wurde die Alters- und Geschlechtsstruktur der Arbeitskräfte analysiert. Zusätzlich wurden die technologischen Entwicklungen in Mähdreschern und deren Auswirkungen auf die Arbeit des Fahrers betrachtet.

Hinsichtlich der technischen Entwicklungen und Neuerungen der Hersteller im Bereich der Landtechnik wurden insbesondere Fortschritte in den Bereichen Robotik, Precision Farming, Antriebstechnik, Elektronik und Human-Machine-Interface (HMI) analysiert. Diese Untersuchung bietet einen umfassenden Überblick über die neuesten Innovationen und deren potenzielle Auswirkungen auf die Effizienz und Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft.

AP 3.3 Einordnung des Systems in den Entwicklungszustand des Agrarsektors

Die Einordnung des Systems in den Entwicklungsstand des Agrarsektors wurde von mehreren Projektpartnern bearbeitet. Das KIT bearbeitete die Themen Personenzustandserfassung, sozial-demographische

Trends sowie Handlungsempfehlungen und adaptive Assistenz. Wie in AP 3.2 wurden die Ergebnisse aller Projektpartner in einem internen Bericht zusammengefasst.

Der Einsatz von Personenzustandserfassungen sowie die angewendeten Methoden in verschiedenen Anwendungsbereichen wurden untersucht. Im Agrarsektor gibt es bis jetzt jedoch noch keine vergleichbaren Systeme zur Erfassung des Nutzerzustands, die eine alltagstaugliche Lösung für den Einsatz in der Fahrerkabine bieten. Die bisherige Forschung sowie das notwendige technische Equipment liefern vielversprechende Ansätze für die adaptive Zustandserkennung.

Im Bericht wurde weiter der aktuelle Stand der Technik und Forschung im Bereich Handlungsempfehlungen und adaptive Assistenzsysteme detailliert beleuchtet und beschrieben. Dabei wurden sowohl die neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse als auch praktische Anwendungen und Entwicklungen analysiert. Besonderes Augenmerk lag auf der Integration von kognitiven Modellen und der Nutzung von Echtzeitdaten zur Optimierung der Nutzerinteraktion und -unterstützung. Diese umfassende Untersuchung bietet wertvolle Einblicke in die Fortschritte und Herausforderungen in diesem innovativen Forschungsfeld.

Hinsichtlich der Marktchancen der Fahrerkabine wurden die sozio-demographischen Entwicklungen in der Agrarindustrie berücksichtigt. Dabei zeigt sich, dass die Betriebe immer größer werden, was die Fahrerkabine besonders geeignet macht, da sie auf den Einsatz in hochautomatisierten Maschinen auf großen Flächen ausgerichtet ist. Zudem steigt das Durchschnittsalter der Arbeitskräfte in der Landwirtschaft, und die Fahrerkabine bietet durch die integrierte Zustandserkennung wichtige Unterstützung für ältere Fahrer. Gleichzeitig legen jüngere Arbeiter zunehmend Wert auf Digitalisierung, wobei die Fahrerkabine einen wesentlichen Beitrag zur digitalen Transformation und zur Verbesserung der Work-Life-Balance leisten kann. Problematisch könnte der Aspekt sein, dass die Arbeit immer häufiger von Dienstleistern wie Lohnunternehmen übernommen wird und diese externen Fahrer nicht in das Hofmanagement eingebunden sind und keine zusätzlichen Aufgaben erledigen müssen. Trotzdem kann die Fahrerkabine hier Möglichkeiten bieten, wie beispielsweise eine übersichtliche Darstellung, um Maschineninformationen abzurufen und zu kontrollieren oder die Möglichkeit nach Bedarf Lehrvideos einblenden zu können, um den Fahrer auf bestimmte technische Gegebenheiten hinzuweisen. Zusätzlich können Entspannungsmaßnahmen sowie private Tätigkeiten und Kommunikation als Freizeitausgleich angeboten werden.

Für einen gelungenen Markteintritt der Fahrerkabine 4.0, die zu den Wünschen und vor allem Anforderungen der Nutzergruppen passt, müsste das System für die unterschiedlichen Fahrer Zusatzaufgaben anbieten, die dem jeweiligen Tätigkeitsprofil entsprechen und für sie einen erkennbaren Mehrwert haben. Abschließend lässt sich sagen, dass die Fahrerkabine 4.0 großes Potenzial hat, den Trend der Zustandserfassung auch in den Nutzfahrzeugen weit voran zu bringen und die Arbeit der Fahrer zu erleichtern.

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 Eckdaten zu Demografie, Arbeitsalltag, Tätigkeitsmerkmalen, sowie Meinungen zu Zusatzaufgaben, Zustandserfassung und zum HMI. Darauf aufbauend wurde für jede Nutzergruppe eine sog. Persona beschrieben, die mit der Fahrerkabine 4.0 in Kontakt kommt. Eine Persona stellen dabei nur den Prototyp eines bestimmten Nutzers dar. So kann man sich den späteren Nutzer mit seinen Wünschen und Anforderungen besser vorstellen und spezifische Einsatzszenarien ableiten. Die Nutzergruppenbeschreibung und Persona bauen auf den Ergebnissen der Interviews und Online-Studie aus AP 3 auf. Es wurden folgende Nutzergruppen mit jeweils einer Persona definiert: Betriebs-/Landwirt, angestellter Fahrer sowie Lohnunternehmer.

Die Einsatzszenarien dienen dazu, die Ausführung einer Aufgabe genauer zu beschreiben. Dabei wurden Akteur, Bedingungen, Ablauf sowie das Ergebnis betrachtet. Zu den Einsatzszenarien wurden fünf Themenfelder definiert. (1) Entspannung und Wohlbefinden: Hierzu zählen unter anderem Entspannungs- und

Rückenübungen und Ruhephasen durch erhöhten Automatisierungsgrad bei hohem Stresslevel. (2) Private Tätigkeiten: das Handy kann mit der Fahrerkabine verbunden werden, um Musik abzuspielen, Musik kann direkt über Spotify in der Kabine abgespielt werden, Nutzung von sozialen Medien, Nachrichten anschauen, Planung und Organisation privater Tätigkeiten. (3) Kommunikation: private Kommunikation mit Freunden und Familien als auch betriebliche Kommunikation. (4) Hofmanagement/Organisation: unter anderem Abrufen von Wetterdaten und Feldinformationen, Ernte- und Maschinendokumentation, kaufmännische Tätigkeiten, Überprüfen des Arbeitsfortschritts, Einsatz- und Hofplanung, Erstellen von Einkaufslisten. (5) Maschineninfos abrufen: aktuelle Informationen abrufen und kontrollieren, Fehlermeldungen nachschauen, Erklärungen abrufen, Tutorials und Weiterbildungsvideos anschauen.

AP 4.2: Ableitung eines Lastenhefts an das adaptive HMI

Auf Grundlage der Ergebnisse in AP3 und AP4.1 wurde ein Lastenheft erstellt. Hier wurden sowohl technische Anforderungen, wie z. B. Hardware, Schnittstellen oder Datenverarbeitung, als auch nicht-technische Rahmenbedingungen wie z.B. einzuhaltende Normen und gesetzliche Vorgaben definiert. Es ergaben sich Anforderungen für die Bereiche Zustandserkennung, Handlungsempfehlungen, Bedienung der Handlungsempfehlungen, Ein- und Ausgabe, Plattform, Datenmanagement, HMI sowie Kabine/Komfort. Zuletzt wurden die Kostenziele abgeleitet. Diese Anforderungen flossen in die weiteren APs mit ein. Das Lastenheft diente als Grundlage für das darauf aufbauende Pflichtenheft (AP 5.2).

AP 5 - Personenzustandserfassung

AP 5.1: Recherche und Auflistung unterschiedlicher Methoden

Mentale Beanspruchung lässt sich über verschiedene Methoden messen. Um geeignete Methoden für die Nutzung in der Fahrerkabine 4.0 auszuwählen, wurden verschiedene Methoden recherchiert und hinsichtlich Zuverlässigkeit, physische Einschränkung des Nutzers oder die Leistungsanforderungen beurteilt. Eine Möglichkeit sind subjektive Maße wie zum Beispiel Fragebögen. Da in der Fahrerkabine 4.0 allerdings eine kontinuierliche Messung stattfindet und der Nutzer nicht eingeschränkt werden soll, eignen sich diese nicht. Als Alternative bieten sich physiologische Messungen an. Physiologische Reaktionen, die einen Hinweis auf die mentale Beanspruchung geben können, sind die kardiovaskuläre Aktivität, okulomotorische Funktionen und elektrodermale Aktivität.

Die beiden primären Maße für die Bestimmung der mentalen Beanspruchung über kardiovaskuläre Aktivität sind die Herzfrequenz sowie die Herzratenvariabilität. Die Erfassung der kardiovaskulären Aktivitäten kann sowohl über Elektroden auf der Haut erfolgen, als auch über mobile Geräte wie z. B. Fitnessarmbänder. Zwar ist die Messung über Elektroden sehr zuverlässig und ermöglicht die Analyse vieler verschiedener Maße, allerdings ist es nicht praktikabel, jedem Fahrer zu Beginn eines Arbeitstages mehrere Elektroden auf den Oberkörper zu kleben. Einfacher in der Handhabung wäre daher die Nutzung eines Fitnesstrackers. Diese können zwar weniger Signale aufzeichnen als professionelle EKGs, Fitnessuhren wurden allerdings in wissenschaftlichen Arbeit bereits erfolgreich eingesetzt und werden somit trotzdem als mögliche Alternative gesehen, um Rückschlüsse auf das Beanspruchungsniveau zu ziehen (Barrios et al., 2019). Im Hinblick auf einen großflächigen Einsatz bieten sich Fitnessuhren auch aufgrund der vergleichsweise geringen Kosten an. Die Recherche zeigte, dass es innerhalb der Fitnesstracker große Qualitätsunterschiede gibt. Dies trifft vor allem auf die Nutzung im wissenschaftlichen Kontext zu. Daher wurde bei der Auswahl der Uhren darauf geachtet, dass sie bereits in früheren Studien zufriedenstellende Ergebnisse zeigten. Um die für die Fahrerkabine zielführendste Uhr auszuwählen, wurde zunächst zwei Modelle ausgewählt, die getestet werden sollen. Konkret werden die Garmin Vivosmart HR+ sowie die Fitbit Charge 3 evaluiert, da diese in mehreren Tests sehr gut abgeschnitten haben (Bent et al., 2020; Pasadyn et al., 2019). Dabei dient der Biosignal-Recorder „Varioport“ als Referenz-Standard zur Erfassung der kardiovaskulären Aktivität mithilfe eines 3-Punkt EKGs. Der Varioport wurde bereits in wissenschaftlichen Studien benutzt und bietet eine verlässliche Referenz (Boris Brandherm & Michael Schmitz, 2004; Heine, 2018).

Okulare Parameter können mit verschiedenen Modellen erfasst werden. Einerseits gibt es sogenannte kopf-basierte Systeme. Dies sind zum Beispiel Brillenmodelle, in denen bereits eine Eyetrackingkamera integriert ist (Bsp: Dikablis, Pupil Laps). Nachteil dieser Variante ist, dass die Fahrer durch das Tragen dieser Brille eingeschränkt werden würden, da sie häufig als invasiv wahrgenommen wird, auf Dauer unbequem ist und leicht verrutschen kann. Eine Alternative stellen Eyetracking-Systeme dar, bei denen die Kameras in der Fahrerkabine befestigt werden und die Augenbewegungen auf Distanz gemessen werden. Hierbei gibt es verschiedene Modelle und Anbieter, die sich in Bezug auf Sichtfeld, Genauigkeit und Kalibrierungsprozess unterscheiden. Der Eyetracker Smart Eye Pro schneidet dabei in allen Bereichen sowie in der Software und Systemintegration überdurchschnittlich ab, weswegen er für den Einsatz in der Fahrerkabine ausgewählt wurde.

AP 5.2: Konzeptionierung des Erfassungssystems

Aufbauend auf den Erkenntnissen aus AP4, den Anforderungen der Kabine und den Schnittstellen zur Kabine wurde ein Pflichtenheft erstellt. Dabei wurden die Anforderungen an die folgenden Bereiche festgehalten: Zustandserkennung, Handlungsempfehlungen, Bedienung der Handlungsempfehlungen, Ein-/Ausgabe, Plattform, Datenmanagement, HMI, Kabine/Komfort sowie Kostenziele.

AP 5.3: Beschaffung der nötigen Komponenten

Für die Zustandserfassung wurden folgende Komponenten beschafft:

Eyetracker: Der Eyetracker Smart Eye Pro Dx wurde zunächst mit einem 2-Kamera-System gekauft. Um in der Mähdrescherkabine ein größeres Sichtfeld abzudecken wurden 2 weitere Kameras beschafft, so dass der Eyetracker mit insgesamt 4 Kameras betrieben werden kann

Fitnesstracker: Für die Versuche im Labor wurden zunächst die Fitnesstracker Garmin Vivosmart und Fitbit Charge 3 beschafft. Für die Zustandserfassung in der Mähdrescherkabine wurde zusätzlich das wahoo TICKR-Armband beschafft, da bei diesem die Herzfrequenzdaten in Echtzeit ausgelesen werden kann

AP 5.4: Umsetzung und Test der Zustandserfassung

Die Personenzustandserkennung wurde in zwei Schritten konzipiert.

1. Entwicklung der Experimentalaufgaben:

Eine genauere Darstellung der Entwicklung der Experimentalaufgaben und der Versuchsaufbauten findet sich in (Funk et al., 2022).

Es wurden Experimentalaufgaben entwickelt, die es ermöglichen, Beanspruchungsniveaus von gering bis sehr stark zu induzieren. Die Erfassung der Beanspruchung erfolgte dabei über die Rating Scale Mental Effort (RSME), bei der die Probanden ihre subjektive Beanspruchung auf einer Skala von 0 bis 150 bewerteten (Zijlstra, 1993). Die Experimentalaufgaben setzten sich aus einer Hauptaufgabe sowie zwei Nebenaufgaben zusammen. Die Entwicklung und Validierung der Aufgaben erfolgte im Rahmen von drei Studien mit 17, 8 und 21 Versuchspersonen.

Die Hauptaufgabe bestand aus einer bildschirmbasierten Überwachungstätigkeit, bei der die Versuchspersonen ein Video einer Mähdrescherfahrt sahen. Während des Videos wurden in zufälliger Reihenfolge die Buchstaben „W“, „A“ oder „D“ in fünf verschiedenen Frequenzstufen auf dem Bildschirm eingeblendet (alle 15, 10, 5, 3 oder 2 Sekunden, im Folgenden als Stufen 1-5 bezeichnet). Die Probanden sollten die Buchstaben so schnell wie möglich auf einer Computertastatur eingeben. Jede Frequenzstufe wurde für eine Dauer von zwei Minuten präsentiert.

Die Nebenaufgaben umfassten eine auditive und eine visuelle Komponente. Die auditive Nebenaufgabe bestand aus Fragen unterschiedlichen Schwierigkeitsgrades, die den Versuchspersonen über Kopfhörer gestellt wurden. Die Antworten wurden mittels eines Mikrofons aufgezeichnet. Die visuelle Nebenaufgabe bestand aus einer mentalen Rotationsaufgabe (Eggemeier & Wilson, 1991), bei der verschiedene Figurenpaare im Abstand von drei Sekunden randomisiert angezeigt wurden. Die Figurenpaare waren entweder lediglich

gedreht oder sowohl gedreht als auch gespiegelt. Die Versuchspersonen sollten angeben, ob es sich um eine Drehung oder um eine Drehung mit Spiegelung handelte.

Eine zweifaktorielle ANOVA mit den unabhängigen Variablen Frequenzstufen und Aufgabenkombinationen zeigte, dass die Frequenz, in der die Buchstaben eingeblendet wurden, einen signifikanten Effekt auf die RSME hatte ($F(4,80) = 18,265$, $p < 0,001$, partielles $\eta^2 = 0,477$). Bonferroni-Post-Hoc-Tests wiesen signifikante Unterschiede zwischen Stufe 5 und den restlichen Stufen sowie zwischen Stufe 1 und Stufe 3 sowie 4 nach. Auch die Aufgabenkombination beeinflusste die RSME signifikant ($F(2,40) = 54,834$, $p < 0,001$, partielles $\eta^2 = 0,733$), wobei die Kombination aus visueller und auditiver Nebenaufgabe zur Hauptaufgabe zu signifikant höheren RSME-Werten führte als die Nebenaufgaben alleine. Neben der subjektiven Beanspruchung wurden auch objektive Leistungsdaten wie Reaktionszeit und Fehler analysiert; die Ergebnisse können in (Funk et al., 2022) nachgelesen werden. Insgesamt konnten mit den verwendeten Experimentaufgaben unterschiedliche Beanspruchungsniveaus von geringer bis sehr hoher Beanspruchung erzeugt werden.

2. Trainieren und Validieren eines Algorithmus zur Zustandserfassung

Um den Algorithmus zur Zustandserfassung zu entwickeln, wurde eine Studie durchgeführt, bei der die Probanden zweimal im Abstand von drei Wochen an einem Experiment teilnahmen. Am ersten Termin wurden Daten erhoben, um den Algorithmus zu trainieren, während am zweiten Termin Daten gesammelt wurden, um den trainierten Algorithmus zu validieren. Insgesamt nahmen 42 Probanden an der Studie teil, allerdings konnten nur die Daten von 34 Personen aufgrund unvollständiger Datensätze verwendet werden. Die Experimentalaufgaben wurden den Probanden entweder 60 oder 120 Sekunden lang präsentiert, wonach sie ihre subjektive Beanspruchung auf der RSME-Skala bewerteten. Während des Experiments wurden okuläre Parameter mittels des Eyetrackers Smart Eye und die Herzfrequenz durch den Fitnessstracker Fitbit Charge 3 aufgezeichnet, wodurch zwei kardiovaskuläre und 18 okuläre Parameter erhoben werden konnten.

Der Algorithmus wurde für drei Beanspruchungsstufen trainiert: geringe Beanspruchung (RSME 0-37), mittlere Beanspruchung (RSME bis 71) und hohe Beanspruchung (RSME über 71). Zur Vorhersage der Beanspruchungsstufen wurden drei maschinelle Lernverfahren angewendet: der Naive Bayes-Algorithmus, Support Vector Machine und Lineare Regression. Jedes dieser Verfahren wurde auf drei verschiedene Weisen trainiert: individuell für jede Versuchsperson, für die Gruppen (60 bzw. 120 Sekunden) und für alle Probanden zusammen. Um eine Überanpassung der Modelle zu vermeiden, wurden die Prädiktorvariablen mittels Chi-Quadrat-Tests nach ihrer Relevanz sortiert und irrelevante Prädiktoren ausgeschlossen. Die verbleibenden Indikatoren wurden auf Kollinearität geprüft, um stark korrelierte Variablen auszuschließen. Die Vorhersagegenauigkeit der Modelle wurde durch den Vergleich der klassifizierten und tatsächlichen RSME-Bewertungen des zweiten Versuchsdatensatzes evaluiert. Das Gruppenmodell „Support Vector Machine 120“ erzielte mit einer mittleren Vorhersagegenauigkeit von 61 % das beste Ergebnis, wobei die Spannweite gering war, was auf eine hohe Konsistenz hinweist. Selbst im schlechtesten Fall lag die Vorhersagegenauigkeit bei 38 %, was besser als eine zufällige Entscheidung (33 %) ist.

AP 6 – I/O-Module

Nach einer umfassenden Recherche zu verschiedenen Arten an I/O-Module, inklusive solcher im Bereich XR, wurden diese im Hinblick auf Kompatibilität, Kosten, Verfügbarkeit, Zukunftssicherheit und Umsetzbarkeit analysiert und bewertet. So wurden die am besten geeigneten Module identifiziert und beschafft.

AP 7 – Entwicklung adaptiver Handlungsempfehlungen:

Verschiedene Handlungsempfehlungen (HEs) wurden identifiziert und ein allgemeingültiges Schema zur Klassifizierung und Vergleichbarkeit entwickelt. Dieses Schema basiert auf dem Cognitive-Task-Load-Modell (CTL-Modell) und dessen definierten Parametern, um eine spätere Beeinflussung des Nutzerzustands zu ermöglichen (Neerincx, 2003). Über definierte Schnittstellen kann der Nutzer mit der Datenbank interagieren, einzelne Handlungsempfehlungen einsehen, modifizieren und selbst starten. Insgesamt wurden über 55

verschiedene HEs implementiert, die dem Nutzer mehr als 169 verschiedene Interaktionsmöglichkeiten bieten. Die Bereitstellung der HEs wurde programmtechnisch umgesetzt und verifiziert.

Die Selektion der HEs hängt stark vom Nutzer- und Maschinenzustand ab. Schnittstellen für den Signalaustausch zwischen HE-Algorithmus und Maschine wurden vorbereitet und für definierte Szenarien umgesetzt. Eine Priorisierung der HEs anhand der Nutzerwünsche und -eigenschaften wurde implementiert, um die Selektion zu optimieren und eine Unterbrechung einer laufenden HE zu ermöglichen. Die Selektion der HEs anhand des Nutzerzustands wurde vorbereitet und in einem ersten Konzept verifiziert.

Eine ansprechende grafische Benutzeroberfläche (GUI) inklusive Sprachausgabe wurde erstellt, um dem Nutzer eine direkte Kommunikationsmöglichkeit mit dem Algorithmus zu ermöglichen. Die Möglichkeit der Sprachsteuerung wurde vorbereitet und teilweise implementiert. Die GUI zeigt eine virtuelle Assistentin namens „Fabia“ mit verschiedenen Anzeigestati, um dem Nutzer eine angenehme Interaktion zu gewährleisten. Die Interaktion mit dem virtuellen Assistenten ist auch über externe Geräte wie Tablets oder Handys möglich.

Die Einbindung von Maschinensignalen sowie APIs externer Dienstleister, wie 365FarmNet oder OpenWeatherMap, ermöglicht dem Handlungsempfehlungsalgorithmus bzw. dem virtuellen Assistenten weiteren Zugriff auf Datenquellen, wodurch der Funktionsumfang deutlich gesteigert werden kann. Eine standardisierte Kommunikationsschnittstelle zur Nutzererkennung, dem Landwirtschaftssimulator und dem Anzeigeverwalter wurde in Form eines WebSocket-Servers fertiggestellt, wodurch die technische Kommunikationsgrundlage finalisiert ist.

Um den Nutzer in einem kognitiv idealen Zustand zu halten, wurde ein an das CTL-Modell von Jeschke 2017 angelehntes Modell implementiert (Jeschke, 2017). Dieses Modell wird in Kombination mit dem gemessenen Nutzerzustand verwendet, um die Auswirkungen von Handlungsempfehlungen abschätzen zu können. Die wissenschaftlichen Ergebnisse wurden auf dem Arbeitswissenschaftlichen Kolloquium 2022 vorgestellt (Metzger et al., 2022). Zwei Modelle zur Prognose der dem Nutzer zur Verfügung stehenden Zeit wurden entwickelt. Das erste Modell nutzt vergangene Maschinensignale wie GPS und Nutzereingaben, während der zweite Ansatz Satellitenbilder zur Erkennung von Feldkonturen und Hindernissen integriert. Durch diese Modelle kann die Umgebung in den virtuellen Assistenten integriert werden.

Die virtuelle Assistentin und der Handlungsempfehlungsalgorithmus wurden um verschiedene Funktionen und Schnittstellen erweitert. Dazu gehören Instant-Messenger mit (Video-)Telefonie, Multimediadienste wie Internetradios und Spotify sowie weitere APIs, die den virtuellen Assistenten menschlicher erscheinen lassen und die Nutzerfreundlichkeit verbessern. Die Spracherkennung kann von den Nutzern ein- und ausgeschaltet werden, und verschiedene Handlungsempfehlungen wurden integriert, um die Probandenstudie zur Nutzerzustandserkennung flexibel durchführen zu können. Abschließend ist der virtuelle Assistent nun in der Lage, die englische Sprache zu erkennen und die visuelle und auditive Ausgabe dynamisch auf Englisch umzustellen. Diese Funktion war besonders für die Agritechnica 2023 relevant.

AP 8 - Systementwicklung:

Auf Grundlage der Ergebnisse der Trendanalyse und Zielentwicklung wurden in AP4 die Einsatzszenarien entwickelt. In AP8 wurden daraufhin die einzelnen Systemkomponenten definiert, darunter typische Maschinensteuerungen sowie projektspezifische Komponenten wie Sensorik zur Zustandserfassung, Ausgabegeräte und Umfeldsensorik. Diese Komponentenliste diente der Definition der Systemarchitektur und der Festlegung der Schnittstellen, einschließlich Funkschnittstellen. Diese Schnittstellen sind entscheidend für die Interaktion mit dem Fahrer und die Kommunikation zwischen Maschinen. Physikalische Schnittstellen umfassen CANbus für Maschinendaten, BroadR-Reach und Ethernet für Umfeldsensorik, USB für Zustandserfassung und Farmmanagement-Daten, WLAN für Bediengeräte und mobile Geräte des Fahrers sowie Mobilfunk/Funk für die Maschine-zu-Maschine-Kommunikation.

Basierend auf der Systemarchitektur wurden die Hardwareanforderungen abgeleitet. Diese Hardware bildet die Grundlage für die Anwendungen der Fahrerkabine 4.0. Erste Hardwareentwürfe und -erweiterungen

wurden auf Basis der InMach eigenen ADAS Plattform erarbeitet, darunter Funkmodule, die in die Plattform integriert werden sollen. Neue Hardwarekomponenten wie ein BroadR-Reach Gateway und ein CAN-Gateway wurden ausgewählt, um die Systemarchitektur abzubilden. Ein Marktüberblick unterstützte die Auswahl weiterer Hardwarekomponenten.

Zusammen mit den Projektpartnern wurden erste Konzepte der adaptiven HMI entwickelt. Eine besondere Herausforderung war die Darstellung der Informationen auf dem Multi-Monitor-System der Fahrerkabine 4.0. Eine Software-Infrastruktur basierend auf dem Custom Wayland Compositor und dem QT Anwendungs-Framework wurde entwickelt. Ein Industrie-PC zur Ansteuerung des Multi-Monitor-Systems wurde ausgewählt, der sowohl Industriestandards als auch die besonderen Anforderungen der Fahrerkabine erfüllt.

Die Systemarchitektur und alle Schnittstellen zu den einzelnen Komponenten wurden definiert. Der CAN-Bus dient als Schnittstelle zum Fahrzeugsimulator. Eine eigens angefertigte CAN IO Platine mit passender Firmware ermöglicht die Ansteuerung und Auslesung der Peripheriegeräte aus der Steuerungssoftware. Die Kommunikation zwischen den Systemen Maschinensimulation, Interface, virtueller Assistent und Zustandserfassung erfolgt über WebSockets. Eine zentrale Recheneinheit steuert alle Anzeigen in der Kabine und koordiniert die Darstellung der Applikationen auf den Displays sowie deren Zusammenspiel.

Die Verschiebe- und Dreheinheiten des Sitzes wurden integriert und können von den zentralen Bedienelementen und dem virtuellen Assistenten gesteuert werden. Auch das Soundsystem wurde in das Gesamtsystem integriert. Diese Entwicklungen treiben die Systementwicklung voran und gewährleisten eine umfassende und ansprechende Nutzererfahrung in der Landmaschinenkabine.

AP 9 - Demonstratorkabine:

Ein Kreativworkshop bei Budde Industrie Design wurde durchgeführt, um gemeinsam mögliche Nutzungsszenarien zu erarbeiten. Basierend auf den aktuellen Ergebnissen der verschiedenen Arbeitspakete wurden mittels verschiedener Kreativmethoden Szenarien aufgestellt und bewertet. Die daraus resultierenden Erkenntnisse und Entscheidungen ermöglichten es, Designkonzepte zu erarbeiten und zu vertiefen sowie den Aufbau des Demonstrators zu planen. Darüber hinaus trugen diese Grundlagen zur Definition der notwendigen I/O-Module bei und unterstützten somit die Detaillierung der technischen Anforderungen an das System.

In einer ersten Version wurde ein Simulator in Form eines realen aktuellen Fahrersitzes eines Mähdreschers aufgebaut. Das angeschlossene Display konnte via CAN-Bus angebunden und mit wichtigen Parametern gefüllt werden. Die Visualisierung erfolgte auf einem Bildschirm vor dem Fahrersitz und die Handlungsempfehlungen durch die virtuelle Assistentin wurde über ein Tablet realisiert.

Aufgrund der im Projektverlauf gewonnenen Erkenntnisse wurde im Rahmen des Aufstockungsantrages der Fokus auf den Bau einer Demonstratorkabine und weniger auf die Funktionskabine gelegt. Dies hat den entscheidenden Vorteil, dass die Demonstratorkabine keinen strengen Sicherheitsauflagen unterliegt. Zusätzlich ergab sich die Gelegenheit, unabhängig von der Erntezeit Probandenstudien durchzuführen. Die reproduzierbaren Rahmenbedingungen sichern die Vergleichbarkeit sowie die Validität der Ergebnisse über mehrere Studienreihen.

Durch die Demonstratorkabine mit allen Komponenten und Funktionen wurde eine realistische und interaktive Umgebung geschaffen, in der Landwirte und andere Interessierte die neu entwickelte, adaptive Mensch-Maschine Schnittstelle testen und erleben können.

Der Aufbau dieser Demonstratorkabine erforderte mehrere Schritte und Komponenten, um eine realistische Simulation zu gewährleisten. Zunächst wurden die erforderliche Simulationssoftware und Hardware angeschafft. Es wurde der Landwirtschaftssimulator 19 ausgewählt, der im weiteren Projektverlauf durch den Landwirtschaftssimulator 22 ersetzt wurde.

Nach der Beschaffung der Software und Hardware folgte die Erstellung bzw. Modifizierung eigener Karten und Fahrzeuge, um alle nötigen Einsatzszenarien abzudecken. Eine wichtige Modifikation des

Landwirtschaftssimulators war die Integration der haptischen Eingabemodule der Fahrerkabine zur Steuerung aller Systeme. Über einen Mikrocontroller können analoge und digitale Spannungssignale, CAN-Bus Signale, sowie Nachrichten über TCP/UDP verarbeitet werden. Über die analogen und digitalen Signale werden die Hauptschalter für die Dreschsysteme und Schneidwerk, sowie der Not-Aus betätigt. Via CAN-BUS sind die beiden Joysticks inklusive aller Tasten zur Steuerung des gesamten Schneidwerks, sowie der Fahrfunktionen des Mähdreschers angebunden. Über das Netzwerk erfolgt die Kommunikation mit der GPS-Steuerung und den Projektoren. Zusätzlich können Eingaben über ein Touchdisplay erfolgen, um über WebSockets die Einstellungen der Dreschsysteme zur Prozessoptimierung anzupassen.

Um die Realitätsnähe zu erhöhen, wurde eine GPS-Steuerung und eine eigene Maschinensimulation erstellt einschließlich der Rückmeldung über die Verstellung der Systeme sowie einer Simulation der Verluste, die es den Benutzern ermöglicht, die Auswirkungen ihrer Einstellungen auf den Dreschprozess zu beobachten und zu verstehen.

Die Kommunikation zwischen dem Simulator und der virtuellen Assistentin Fabia wurde ebenfalls implementiert. Auf diese Weise konnten die Benutzer auf der Grundlage der simulierten Daten und Szenarien maßgeschneiderte Handlungsempfehlungen erhalten, die direkt auf den Head-Up Displays eingeblendet werden.

Für Studien oder öffentliche Veranstaltungen wurden spezielle Szenarien entwickelt. Dies ermöglichte es BesucherInnen, sich mit verschiedenen Situationen vertraut zu machen und alle Systeme unter realitätsnahen Bedingungen zu testen.

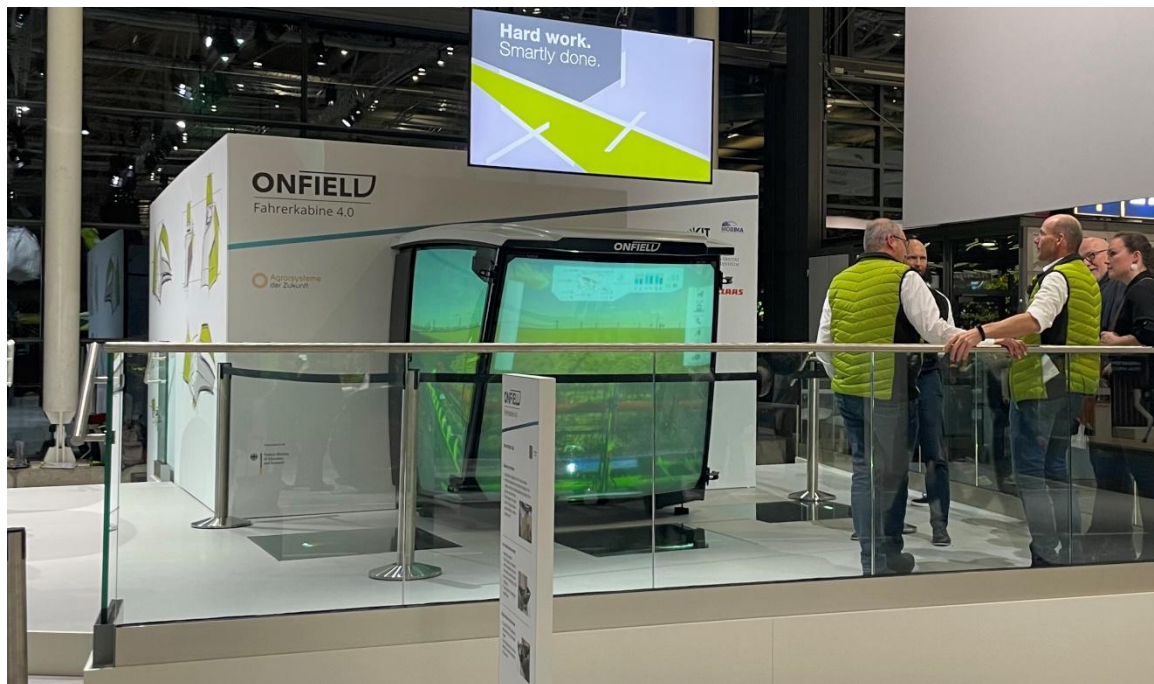


Abbildung 1: „Fahrerkabine 4.0“ auf der Agritechnica 2023

Ein Schaltschrank wurde als Hardwarebackbone für alle erforderlichen Komponenten hinten an die Fahrerkabine angebaut. Dies diente dazu, die Fahrerkabine ordnungsgemäß zu versorgen und die erforderliche Infrastruktur bereitzustellen.

Zur besseren Ausrichtung und zum Schutz der Projektoren wurden spezielle Halterungen konstruiert und montiert. Dadurch wurde eine optimale Projektion der simulierten Umgebung gewährleistet und Beschädigungen der Projektoren verhindert. Abbildung 1 zeigt die Fahrerkabine als Teil des Ausstellungsstandes der Firma Claas auf der Agritechnica 2023

AP 10 - Probandenstudien zur Systemvalidität

AP 10.1: Probandenstudien zur Nutzerzustandserkennung

Ziel der in diesem AP durchgeführten Studie war, den Algorithmus zur Nutzerzustandserfassung aus AP 5 in der Mähdrescherkabine zu testen. Hierfür wurden zunächst in 2 Vorstudien Aufgaben entwickelt, die die verschiedenen Beanspruchungsniveaus induzieren können, die in der Hauptstudie angewandt wurden.

An der Hauptstudie nahmen 40 Probanden (31 männlich, 9 weiblich) mit einem durchschnittlichen Alter von 25,8 Jahren ($SD = 3,7$) teil. Die Probanden steuerten den Mähdrescher entlang einer vordefinierten Route, während sie von der virtuellen Assistentin weitere Aufgaben erhielten. Diese Aufgaben beinhalteten, dass die Probanden Maschineneinstellungen nach vorgegebenen Anweisungen ändern mussten. Um die kognitive Beanspruchung zu variieren, wurde die Frequenz der Aufforderungen variiert, wobei Pausen von 0, 2, 5 und 10 Sekunden zwischen den Anweisungen eingelegt wurden. In Szenarien mit einer Pause von 2 Sekunden wurden zusätzlich Rechenaufgaben auf dem linken Touchdisplay eingeblendet, die die Probanden lösen sollten. Jedes Szenario dauerte zwei Minuten. Darüber hinaus gab es Phasen, in denen der Mähdrescher autonom fuhr und keine weiteren Aufgaben erledigt werden mussten (ebenfalls jeweils zwei Minuten). Nach jedem Szenario bewerteten die Probanden ihre Beanspruchung auf der RSME-Skala.

Während des Experiments wurden die okularen Parameter mit dem Smart Eye Pro Eyetracker mit einem 4-Kamera-System aufgezeichnet. Zusätzlich trugen die Probanden ein Fitnessarmband (wahoo TICKR), mit dem die Herzfrequenz aufgezeichnet wurde.

Die höchste mittlere Beanspruchung wurde für das Szenario gemessen, bei dem während der manuellen Fahrt die Maschineneinstellungen mit 2 Sekunden Pausen eingestellt werden mussten und gleichzeitig Rechenaufgaben gelöst werden mussten ($M = 83,43$; $SD = 25,76$). Die Beanspruchung wurde demnach als hohe Beanspruchung (siehe auch AP 5.4) klassifiziert. Eine hohe Beanspruchung wurde ebenso bei der manuellen Fahrt mit Maschineneinstellungen ohne Pausen erzielt ($M = 77,4$; $SD = 23,35$). Eine mittlere Beanspruchung wurde durch die manuelle Fahrt mit Maschineneinstellungen mit 5 Sekunden ($M = 64,93$; $SD = 19,84$) und 10 Sekunden ($M = 60,15$; $SD = 25,08$) Pause erzielt. Die manuelle Fahrt ohne zusätzliche Aufgaben ($M = 27,55$; $SD = 16,53$) sowie die autonome Fahrt ($M = 22,95$; $SD = 14,87$) wurden als gering belastend bewertet. Mit den Aufgaben kann somit zuverlässig verschiedene Beanspruchungsniveaus bei Probanden im Demonstrator induziert werden.

Der Algorithmus zur Zustandserfassung, der in AP 5 entwickelt wurde, wurde auf die hier erhobenen Daten angewandt. Mit den Daten des Eyetrackers und des Fitnesstrackers wurden die Beanspruchungsniveaus vorhergesagt. Anschließend wurden diese mit den tatsächlich bewerteten Beanspruchungsniveaus verglichen. Hier ergab sich eine Wahr-Positiv-Rate (TPR) von 50,83 %.

Dieses Ergebnis ist schlechter, als die Vorhersagegenauigkeit aus der Laborstudie (AP 5). Da in der Studie im Demonstrator ein anderes Fitnessarmband verwendet wurde und ein Kamera-System mit 4 Kameras (im Gegensatz zum Eyetracker im Labor mit 2 Kameras) wurde der Algorithmus mit den Daten aus der Studie neu trainiert. Hierfür wurde ein Modell in Form eines Entscheidungsbaum zur Klassifikation trainiert. Die ursprünglichen 22 Prädiktoren wurden mittels Chi-Quadrat-Methode bewertet und in der Anzahl gefiltert. Dadurch sind 22 Modelle entstanden mit den 1-22 wichtigsten Prädiktoren. Diese Modelle können nun statt nur drei Klassen zehn Klassen prädictieren. Die Hyperparameter „Coding“ und „MaxLeafSize“ wurden dabei mittels Bayes'scher Optimierung optimiert. Um verlässliche Hyperparameterwerte erhalten zu können, wurde die Optimierung mit einer Kreuzvalidierung ($kfold = 5$) durchgeführt. Mit diesem Vorgehen konnten deutlich bessere Ergebnisse erzielt werden. Das beste Modell verwendet die 19 wichtigsten Prädiktoren und erzielt eine durchschnittliche Wahr-Positiv-Rate (TPR) von 29,75 % ($SD = 0,96$). Überträgt man diese Vorhersagen in die drei Überklassen (Unterforderung, ideal, Überforderung) steigt die Wahr-Positiv-Rate (TPR) auf 62,86 % ($SD = 6,19$). Abbildung 2 und Abbildung 3 zeigen die entsprechenden Konfusionsmatrizen.

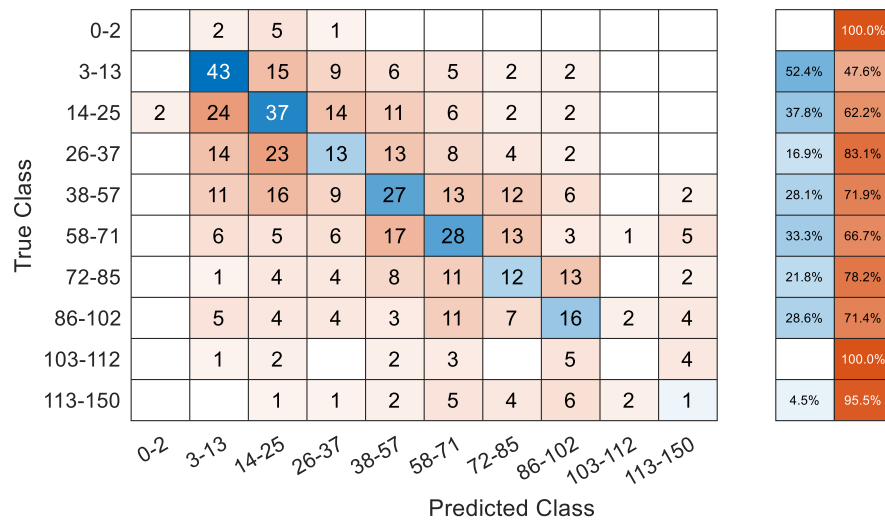


Abbildung 2: Konfusionsmatrix, Zehn Klassen

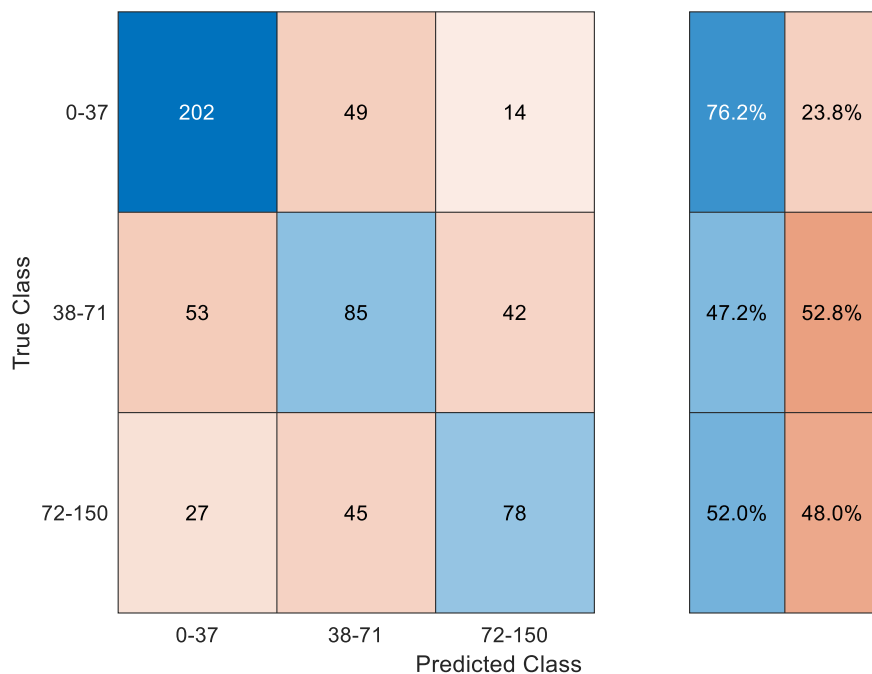


Abbildung 3: Konfusionsmatrix, Drei Klassen

AP 10.2: Probandenstudien zum virtuellen Assistenten

In der durchgeführten Studie in AP 10.2 wurde untersucht, ob mit Handlungsempfehlungen (HEs) der virtuellen Assistentin die Beanspruchung in der Mähdrescherkabine beeinflusst werden kann.

Die Probanden durchliefen mehrere Blöcke, bestehend aus Erntefahrten und darauffolgenden Handlungsempfehlungen (HE). Jede Erntefahrt dauerte zwei Minuten und wurde entweder als hoch beanspruchend (manuelle Fahrt mit der Anforderung, Maschineneinstellungen nach Aufforderung zu ändern, mit 2 Sekunden Pause zwischen den Aufforderungen, sowie dem parallelen Bearbeiten von Rechenaufgaben) oder als niedrig beanspruchend (autonome Fahrt ohne zusätzliche Aufgaben) durchgeführt. Nach jeder Erntefahrt wurde die empfundene Beanspruchung mittels der RSME-Skala gemessen. Im Anschluss daran schlug die virtuelle Assistentin verschiedene Handlungsempfehlungen vor. Sowohl in der hoch- als auch in der niedrig beanspruchenden Fahrt wurde jeweils eine HE aus den Kategorien Büro (Wetterbericht lesen oder Social-Media-Beitrag verfassen), Infotainment (Wikipedia-Artikel lesen oder Audiobeitrag anhören), Unterhaltung (Videos anschauen oder ein Spiel spielen) und Entspannung (Atem- oder Dehnübungen) gegeben. Die Probanden

wurden in zwei Gruppen eingeteilt, die sich in den vorgeschlagenen Handlungsempfehlungen unterschieden. Nach der hoch beanspruchenden Fahrt gab es zudem noch die HE autonome Fahrt. Jede Handlungsempfehlung dauerte eine Minute, und nach jeder wurde die Beanspruchung erneut über die RSME-Skala erhoben.

Alle Handlungsempfehlungen führten nach der hoch beanspruchenden Fahrt zu einer Reduzierung der Belastung. Bei der hohen Beanspruchung zeigten sich zwischen den beiden Gruppen keine signifikanten Unterschiede in den Auswirkungen der Handlungsempfehlungen der Kategorien Büro, Infotainment und Entspannung auf die Beanspruchung (gemessen als Differenz der RSME-Werte vor und nach der Handlungsempfehlung). Allerdings führte in der Kategorie Unterhaltung das Anschauen eines Videos zu einer signifikant stärkeren Reduktion der Belastung im Vergleich zum Spielen eines Spiels ($w = 427,5$; $p = 0,004$). Die größte Entlastung ergab sich durch das Anschauen von Videos ($\Delta RSME = -57,7$), Dehnübungen ($\Delta RSME = -55,6$), das Anhören eines Audiobeitrags ($\Delta RSME = -47,52$), das Lesen eines Wikipedia-Artikels ($\Delta RSME = -45,24$) sowie durch die Durchführung von Atemübungen ($\Delta RSME = -43,38$). Etwas geringere Effekte zeigten die Bürotätigkeiten wie das Ablesen des Wetterberichts ($\Delta RSME = -25,92$) oder das Verfassen eines Social-Media-Beitrags ($\Delta RSME = -29,18$) sowie das Spielen eines Spiels ($\Delta RSME = -32,4$).

Bei der niedrig beanspruchenden Erntefahrt zeigten sich innerhalb der einzelnen Kategorien Unterschiede im Einfluss der HEs auf die Beanspruchung. In der Kategorie Büro führte das Verfassen eines Social-Media-Beitrags zu einer signifikant geringeren Erhöhung der Beanspruchung im Vergleich zum Ablesen des Wetterberichts ($w = 378$, $p = 0,01$). In der Kategorie Entspannung erhöhte die Dehnübung die Beanspruchung signifikant stärker als die Atemübung ($w = 384$, $p = 0,04$). In der Kategorie Unterhaltung führte das Spielen eines Spiels zu einer signifikant stärkeren Beanspruchung als das Anschauen eines Videos ($w = 522,5$; $p < 0,001$). Im Gegensatz dazu zeigte sich in der Kategorie Infotainment kein signifikanter Unterschied zwischen dem Anhören eines Audiobeitrags und dem Lesen eines Wikipedia-Artikels ($w = 312$, $p = 0,273$). Die größte Differenz der Beanspruchung vor und nach den HEs wurde für das Spielen eines Spiels ($\Delta RSME = 19,60$) gemessen, gefolgt vom Ablesen des Wetterberichts ($\Delta RSME = 16,92$), dem Lesen eines Wikipedia-Artikels ($\Delta RSME = 10,16$), dem Verfassen eines Social-Media-Beitrags ($\Delta RSME = 7,19$), dem Anhören eines Audiobeitrags ($\Delta RSME = 6,38$), der Dehnübung ($\Delta RSME = 6,52$), der Atemübung ($\Delta RSME = 3,30$) sowie dem Anschauen eines Videos ($\Delta RSME = 0,22$). Die Studie zeigte somit, dass die Beanspruchung während der Fahrt in der Mähdrescherkabine durch die Handlungsempfehlungen der virtuellen Assistentin gezielt gesteigert oder gesenkt werden kann.

Zusätzliches AP: Probandenstudie zur Gesamtevaluation des Systems

Im Rahmen der kostenneutralen Verlängerung wurde eine zusätzliche Probandenstudie durchgeführt. Hierbei wurde das Zusammenspiel der Handlungsempfehlungen der virtuellen Assistentin mit der Nutzerzustandserfassung getestet. Abbildung 4 zeigt eine Übersicht über den Versuchsaufbau dieser Studie. Hierfür fuhren die Probanden jeweils dreimal eine Erntefahrt mit niedriger, mittlerer und hoher Belastung (siehe AP 10.1) in randomisierter Reihenfolge für 2 Minuten. Nach jeder Fahrt gaben sie ihre Beanspruchung mittels der RSME an. Die virtuelle Assistentin prüfte nach jeder Erntefahrt, ob der Proband in einem nicht-idealen Zustand war (mittels der Zustandserfassung aus AP 10.1 sowie dem Wert des aktuellen CTL-Modells). Falls dies der Fall war, wurde dem Proband eine Handlungsempfehlung vorgeschlagen, die für 2 Minuten ausgeführt werden sollte. Diese wurde dahingehend ausgewählt, dass sie nach dem CTL-Modell den Probanden in einen idealen Zustand bringen sollte. Wenn nach der ersten HE kein idealer Zustand hergestellt werden konnte, wurde eine weitere HE vorgeschlagen. Nach dieser oder wenn nach der ersten HE ein idealer Zustand erreicht wurde, kam die nächste Erntefahrt. Da die Zustandserfassung aus AP 10.1 mit einer Vorhersagegenauigkeit von etwas über 60% funktioniert, wurde bei einem Drittel der Probanden die angegebenen RSME-Werte anstelle der Werte der Zustandserfassung verwendet. Hiermit konnte sichergestellt werden, dass die Auswahl und Wirkung der HEs unabhängig von der Korrektheit der Zustandserfassung getestet werden konnte.



Abbildung 4: Überblick über den Versuchsaufbau "Gesamtevaluationstudie"

Die Ergebnisse zeigen, dass es sinnvoll war, die Studie in zwei Teile (Validierungsstudie (N=30) und Verifikationsstudie (N=10)) zu teilen, da die Zustandserfassung in der Studie nur eine Vorhersagegenauigkeit von 43,29 % erreichen konnte. Dies könnte damit zusammenhängen, dass die angegebenen RSME-Werte nur zu 66,92 % mit den, durch den Versuchsaufbau erwarteten Werten übereinstimmt. Der Versuchsaufbau und die Ergebnisse aus AP 10.1 konnten damit nicht ausreichend reproduziert werden konnten.

Unter Berücksichtigung der Zustandserfassung gelang es in der Validierungsstudie in 39,08 % der Fälle den Bediener aus einem kritischen Beanspruchungszustand in einen idealen Beanspruchungszustand zu wechseln. Dabei wurden nur die Erntefahrten betrachtet, bei denen die Zustandserfassung mit den angegebenen RSME-Werten übereinstimmten.

In der Verifikationsstudie wurden nur die angegebenen RSME-Werte der Probanden berücksichtigt und nicht die Zustandserfassung. So kann das System isolierter betrachtet und überprüft werden, ob das System in den kritischen Zustandsphasen wie vorgesehen reagiert. In der Verifikationsstudie gelang es in 63,24 % der Erntefahrten von einem kritischen Beanspruchungszustand in einen idealen Beanspruchungszustand zu wechseln. Betrachtet wurden dabei alle Erntefahrten, bei denen die Probanden einen kritischen Beanspruchungszustand angegeben haben. Dies war bei 68 von 90 Erntefahrten der Fall.

Zum Ersten konnte gezeigt werden, dass die Zustandserfassung noch keine zuverlässigen Vorhersagen liefern kann, es zum anderen aber durchaus möglich ist, den kognitiven Beanspruchungszustand der Maschinenbediener durch gezielte Handlungsempfehlungen zu manipulieren und zu optimieren.

AP 11 - Probandenstudien zu Produktakzeptanz

AP 11.1: Planung und Konzeptionierung der Studien zur Produktakzeptanz

Für die Studie wurde eine Versuchsstrecke im Demonstrator entwickelt. Diese bestand aus einer ca. 35-minütigen Fahrt, bei der die Probanden die Möglichkeit hatten, alle Komponenten der Fahrerkabine zu erleben und auszuprobieren. Nach Abschluss der Demonstrationsfahrt wurden die Probanden gebeten, in einem Interview mit der Versuchsleitung die Kabine anhand verschiedener Komponenten zu bewerten. Hierzu verwendeten sie eine Skala von 1 („gefällt mir überhaupt nicht“) bis 5 („gefällt mir sehr gut“). Nach jeder Bewertung wurden die Probanden dazu aufgefordert, ihre Gründe für die Bewertung anzugeben. Zusätzlich wurden sie gefragt, welche Komponenten ihnen besonders gut gefallen haben und welche unbedingt in der finalen Version umgesetzt werden sollten sowie nach Verbesserungspotenzial. Weiterhin wurden die Teilnehmer nach Umständen oder Bedingungen gefragt, unter denen sie die Kabine in Betracht ziehen würden, sei es

für die Nutzung oder den Erwerb. Im Anschluss an das Interview vervollständigten die Probanden die deutsche Version des User Experience Questionnaires (Laugwitz et al., 2008).

Zusammen mit den Projektpartnern Claas, Budde Industrie Design und ATH wurden Probanden akquiriert. Der Transport der Demonstratorkabine zu den Durchführungsorten der Studie (in den Räumlichkeiten von Claas und Budde Industrie Design) wurde geplant.

AP 11.2: Durchführung der Studien zur Produktakzeptanz

An der Studie nahmen insgesamt 54 Probanden teil, von denen 52 Personen männlich waren. Der Altersdurchschnitt betrug 41.2 Jahre (SD = 11.4). Die Stichprobe setzte sich zusammen aus Mitarbeitenden der Firma Claas (n = 26), angestellten Fahrern (n= 19), Betriebsleitern (n= 6), Lohnunternehmern (n= 4) und sonstige (n= 1). 31% der Probanden gaben an, durchschnittlich mehr als sechs Wochen pro Jahr zu dreschen. Für 33% betrug dieser Zeitraum drei bis fünf Wochen im Jahr, während 35% angaben, null bis zwei Wochen im Jahr mit dem Dreschen zu verbringen.

AP 11.3: Auswertung der Studien zur Produktakzeptanz

Auf dem User Experience Questionnaire wurden alle sechs Skalen positiv bewertet (Abbildung 5). Besonders hervorzuheben sind dabei die Skalen Attraktivität, Stimulation und Originalität, die im Vergleich mit der Benchmark, die für den UEQ angegeben wird (Schrepp et al., 2017), mit „exzellent“ (in den 10% der besten Resultate der Benchmark) bewertet werden. Die Skalen Effizienz und Steuerbarkeit werden im Vergleich mit der Benchmark „gut“ eingestuft (10% der Ergebnisse sind besser, 75% der Ergebnisse schlechter), die Skala Durchschaubarkeit über dem Durchschnitt (25% der Ergebnisse sind besser, 50% sind schlechter).

Das Gesamtkonzept der Fahrerkabine 4.0 sowie die einzelnen abgefragten Komponenten der Fahrerkabine wurden auch durchweg positiv bewertet (Abbildung 6).

Besonders positiv wurde beispielsweise die verbesserte Sicht hervorgehoben, da die Displays in den A-Säulen und das Head-up-Display sowie das fehlende Lenkrad die Sicht nach vorne nicht versperren. Auch die virtuelle Assistentin wurde als äußerst nützlich bewertet sowie die ausgewählten Informationen und deren Darstellung auf den verschiedenen Displays.

Aufgrund der Studienergebnisse wurde die Bedienungsführung des virtuellen Assistenten und die Reaktivität der Touchdisplays umfassend überarbeitet und verbessert. Die allgemeine Bedienoberfläche wurde weiterentwickelt und eine digitale Sonnenblende eingefügt. Außerdem wurde Englisch als alternative Interaktions- und Menüsprache eingeführt. Auf vielfachen Wunsch der Probanden wurde schließlich noch eine schwarz lackierte und gebogene Designer-Fußstütze in die Kabine eingebaut.

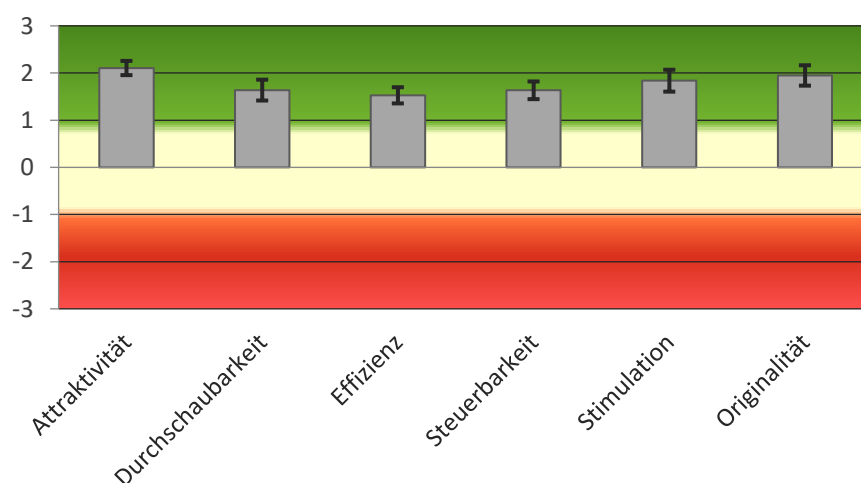


Abbildung 5: Bewertung der Fahrerkabine4.0 auf dem User Experience Questionnaire. (Skala: -3 sehr schlecht bis 3 sehr gut)

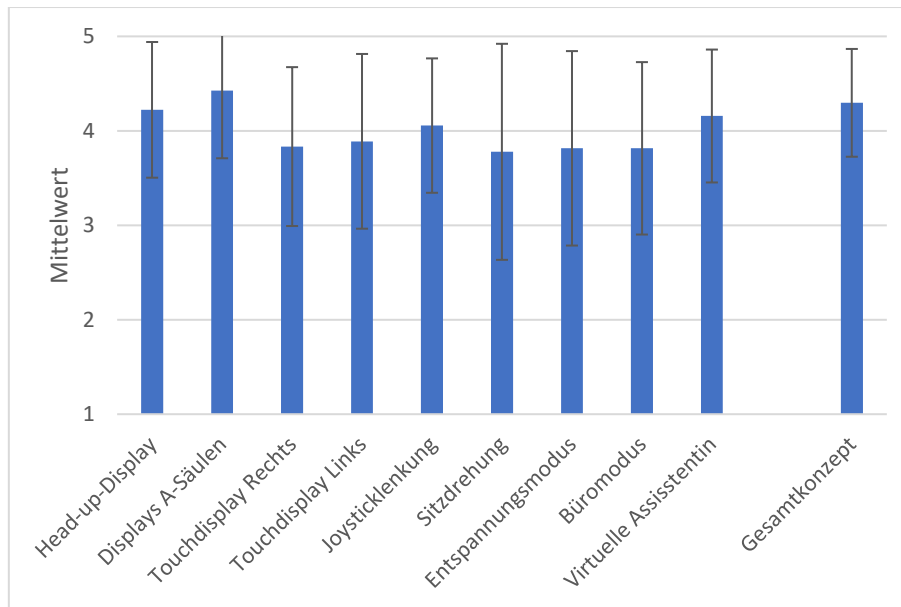


Abbildung 6: Bewertung der Komponenten auf einer Skala von 1-überhaupt nicht gut bis 5- sehr gut

AP 12 – Feldstudien:

Für die Feldstudie wurde das Assistenzsystem der Fahrerkabine 4.0 auf der Erntemaschine Claas Lexion 750 Montana installiert und mit den bestehenden Informationssystemen der Maschine verbunden. Das minimalisierte System wurde so entwickelt, dass es den Zustand des Fahrers überwacht und relevante Warnungen oder Informationen ausgibt. Während des Druscheinsatzes bei der Ernte 2023 und 2024 wurde zusätzlich eine Abfrage zur aktuellen Beanspruchung des Fahrers integriert, und alle relevanten Daten wurden aufgezeichnet, um die Funktionalität des Systems unter realen Einsatzbedingungen zu testen. Aufgrund ungünstiger Erntebedingungen im Jahr 2023 war die Datenbasis zur umfassenden Analyse der Fahrerbeanspruchungen (Unterforderung, Überforderung und optimale Beanspruchung) jedoch begrenzt, weshalb im Jahr 2024 eine zweite, abschließende Feldstudie durchgeführt wurde. Ein erfahrener Fahrer nahm an den Studien teil und lieferte qualitative Rückmeldungen, indem er seine Beobachtungen und Erfahrungen zur Nutzung des Systems schilderte. Diese Rückmeldungen bildeten die Grundlage für die gewonnenen Ergebnisse.

Die Ergebnisse zeigten, dass die CAN-Bus-Anbindung des Systems problemlos umsetzbar war. Allerdings schränkt das bestehende Seriensystem einige Funktionen der Fahrerkabine 4.0 ein. Akustische und visuelle Hinweise erwiesen sich in kritischen Situationen als besonders wertvoll, da sie die Fahrer unterstützten und entlasteten – insbesondere bei stressigen Bedingungen, in denen der Blick fokussiert nach vorne gerichtet war. Die übersichtliche Darstellung der Maschinensilhouette bot besonders für unerfahrene Fahrer und Trainer Vorteile. Um Latenzen zu vermeiden, die bei reinen Online-Systemen auftreten können, wurde ein lokales System mit zeitweisem Online-Zugriff eingerichtet. Eine weiterführende Verknüpfung mit betrieblichen Managementsystemen, wie etwa Getreideanlagen, Fütterung oder Logistik, könnte die Assistenzleistung zukünftig weiter optimieren.

AP 13 – Reflexion und Transfer:

AP 13.2: Einsatzszenarien abseits des Agrarsektors

Dieses Arbeitspaket zielt darauf ab, die Übertragbarkeit und Anwendungsmöglichkeiten der im Projekt entwickelten Technologien und Methoden, die ursprünglich für den Agrarsektor entwickelt wurden, auf andere Bereiche zu untersuchen. Nachfolgend ein Auszug aus dem erarbeiteten Bericht über die Einsatzszenarien abseits des Agrarsektors:

Der virtuelle Assistent der Fahrerkabine 4.0 erweitert die Interaktionsmöglichkeiten zwischen Mensch und Maschine. Neben visuellen und auditiven Signalen ermöglicht die Sprachsteuerung eine effizientere

Informationsübermittlung, ohne den Fokus des Nutzers von seiner Hauptaufgabe abzulenken. Diese Technologie ist nicht nur auf landwirtschaftliche Maschinen beschränkt, sondern kann auch in Schienenfahrzeugen, Baumaschinen, Forstmaschinen und sogar in Büroarbeitsplätzen und Maschinenleitständen eingesetzt werden.

Die Zustandserfassung in der Fahrerkabine 4.0 nutzt Eyetracking und Fitnesstracker, um die mentale Beanspruchung des Fahrers zu messen. Diese Technologie kann auch in der Montageindustrie und bei der Bedienung von Laufkränen eingesetzt werden, um die Arbeitsbelastung zu überwachen und zu optimieren.

Die Fahrerkabine 4.0 bietet erweiterte Visualisierungsmöglichkeiten durch die Nutzung von Touch-Displays und Scheibendisplays. Diese Technologie kann auf mobile Arbeitsmaschinen, Baumaschinen und Maschinenleitstände übertragen werden, um die Übersichtlichkeit und Effizienz zu verbessern.

Die Fahrerkabine 4.0 ermöglicht durch verschiedene Arbeitsmodi eine flexible Nutzung der Kabine. Dies kann auf andere Bereiche wie Bohrgeräte oder industrielle Anlagen übertragen werden, um die Konzentration des Nutzers auf verschiedene Teilprozesse zu lenken.

Das Gesamtsystem der Fahrerkabine 4.0 integriert verschiedene Technologien zur Verbesserung der Biodiversität, des Flottenmanagements und der Nutzfahrzeugtechnik. Diese Integration ermöglicht eine effizientere und nachhaltigere Nutzung von Ressourcen.

Biodiversität: Durch die Nutzung von Echtzeit-Wetterdaten und sensorbasierten Systemen können Anbau und Ernte optimiert und die Bodenqualität verbessert werden.

Leitstände für autonome Maschinen: In Leitständen können die Technologien der Fahrerkabine 4.0 zur Überwachung und Steuerung von autonomen Fahrzeugen und Roboterschwärmen eingesetzt werden.

Forstwirtschaft, Kommunalfahrzeuge, Baumaschinentechnik: Die Technologien können auch in diesen Bereichen eingesetzt werden, um die Effizienz und Sicherheit zu erhöhen.

Nutzfahrzeugtechnik: Das Projekt TANGO zeigt, wie automatisierte Fahrfunktionen im LKW-Bereich verbessert werden können. Die Ergebnisse des Projekts Fahrerkabine 4.0 können auf ähnliche Weise genutzt werden, um die Nutzererfahrung und Akzeptanz zu steigern.

Die Einführung der Fahrerkabine 4.0 erfordert ein höheres Maß an Digitalkompetenz und könnte die Arbeitsbedingungen und Attraktivität des Berufsbildes verändern. Schulungen und eine frühzeitige Einbeziehung der Mitarbeitenden sind entscheidend, um die Akzeptanz und Nutzung der neuen Technologien zu fördern.

Ausbildung: Die Ausbildungsinhalte sollten angepasst werden, um den Anforderungen der neuen Technologien gerecht zu werden.

Arbeitsplätze: Die Automatisierung könnte zu einer Reduzierung der benötigten Arbeitskräfte führen, bietet jedoch auch die Möglichkeit, Arbeitsabläufe zu optimieren und die betriebliche Produktivität zu steigern.

Attraktivität des Berufs: Die neuen Technologien könnten den Beruf des Landwirts attraktiver machen, insbesondere für junge Menschen, und somit zur Bekämpfung des Fachkräftemangels beitragen.

2.2 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises umfassen die Personalmittel für wissenschaftliche Mitarbeiter und studentische Hilfskräfte, sowie größere materielle Anschaffungen, die für den Aufbau der Demonstratorkabine und die Durchführung von Studien notwendig waren. Die folgende Übersicht enthält die wichtigsten Positionen, für eine detaillierte Auflistung wird auf den zahlenmäßigen Verwendungsnachweis verwiesen.

Personalausgaben wissenschaftl. Mitarbeiter	1.308.556,37 €
Personalausgaben stud. Hilfskräfte	148.737,70 €
Investitionen	128.568,65 €

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Der Beruf der Landwirt ist heute sehr unattraktiv, da die eingesetzte Technik als veraltet angesehen wird, die Arbeitszeiten sehr lang sind und eine permanente Verfügbarkeit erwartet wird. In der Branche arbeitenden Personen ist hingegen bekannt, dass erstgenannter Punkt schlichtweg falsch ist, denn es werden hoch automatisierte Maschinen mit neusten Steuerungsalgorithmen und GPS-gesteuerter Spurführung eingesetzt. Die täglichen Arbeitszeiten sind aber insbesondere in der Erntezeit tatsächlich sehr lang, da das optimale Erntefenster sehr kurz ist.

Im Forschungsprojekt „Fahrerkabine 4.0“ konnte gezeigt werden, dass Bediener in hoch automatisierten Maschinen über mehrere Minuten keine Bedieneingabe tätigt. Dies führt zu einer Unterforderung und Monotonie, so dass die FahrerInnen häufig mit dem Smartphone Nebentätigkeiten ausführen. Ziel des genannten Forschungsprojekts war es, diese Zustände zu erkennen und über eine virtuelle Assistenz sinnvolle Tätigkeiten vorzuschlagen. So können Aufgaben, die bisher nach der Ernte am Abend auf dem Hof erledigt werden mussten, schon auf der Maschine erledigt werden. Dazu wurde unter anderem ein Zugang zum Farmmanagementsystem geschaffen.

In Studien des Forschungsprojektes „Fahrerkabine 4.0“ konnte wissenschaftlich belegbar gezeigt werden, dass das Belastungsniveau von Fahrerinnen und Fahrern durch die Assistenz in der gewünschten Art beeinflusst werden kann. Das Wohlbefinden der Bediener konnte dadurch gesteigert werden. In einer virtuellen Umgebung, in der verschiedene Szenarien eines Mähdreschers simuliert werden können, konnte die Assistenz „erfahren“ werden. Ein wissenschaftlicher Nachweis der eingesetzten Methoden konnte so erfolgen. Nicht zuletzt hat das Feedback von potenziellen Nutzern gezeigt, dass ein solches System akzeptiert und sogar in zukünftigen Maschinen gewünscht wird.

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

Die das Projekt bearbeitenden wissenschaftlichen Mitarbeiter werden die wissenschaftlichen Ergebnisse des Projektes für Dissertationen nutzen und veröffentlichen. Verschiedene Ergebnisse aus dem Projekt sind bereits zur Laufzeit in Vorlesungen mit eingeflossen und werden nach Projektende weiter vertieft. Im Projekt beteiligten studentischen Mitarbeiter, sowie Abschlussarbeiter leisten nach ihrem Studium einen Transfer des gewonnenen Know-How in die Wirtschaft.

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.

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

Aufgrund der Recherche in den AP's 4, 5, 6, 7 und 9 mit Hilfe von Datenbanken sowie internen und öffentlichen Quellen wurde deutlich, dass die Fahrerkabine 4.0 dem aktuellen Stand der Technik und der voranschreitenden Digitalisierung und einer Automatisierung von (Teil-)prozessen der Arbeit entspricht. Dies spiegelt sich z. B. in der Implementierung der Nutzerzustandserfassung sowie dem Ausbau von Konnektivität oder Farmmanagementsystemen (Z.B. Einbindung von 365Farmnet) wider. Auch in der Forschung zum Straßenverkehr wurde der Trend zur effizienten Nutzung der automatisierten Fahrt in einem LKW bereits im Projekt TANGO aufgegriffen.

Das Projekt TANGO wurde 2020 abgeschlossen und hatte das Ziel, das Nutzererlebnis und die Akzeptanz von automatisierten Fahrfunktionen im LKW zu verbessern. Das Projekt zeigte, dass automatisierte Fahrzeuge die Verkehrssicherheit und -effizienz steigern, das Fahrerlebnis angenehmer machen und die sichere Nutzung von Informations- und Kommunikationssystemen ermöglichen können. Das Projekt konzentriert sich auf die Entwicklung eines Aufmerksamkeits- und Aktivitätenassistenten, der nutzer- und situationsangepasst verschiedene Nebenaufgaben ermöglicht (Scatturin et al., 2019). Ziel des Projekts ist die prototypische Realisierung und Integration des Assistenten in einen LKW, mit begleitenden Tests und Evaluationen im Simulator und Versuchsfahrzeug (Laßmann, Reichelt, et al., 2020). Dabei wurde auch die Auswahl geeigneter Nebentätigkeiten für die FahrerIn untersucht (Laßmann, Fischer, et al., 2020).

Das Projekt Rumba ist das Nachfolgeprojekt zum Forschungsprojekt TANGO mit dem Ziel der Entwicklung einer neuen Benutzeroberfläche für das automatisierte Fahren. Das Hauptziel des Projekts ist die Entwicklung eines neuen Fahrzeuginnenraums, der es FahrerInnen ermöglicht, mit ihrem Fahrzeug in einer natürlichen und intuitiven Art und Weise zu interagieren (Bieg et al., 2022). Das Projekt wurde 2024 abgeschlossen. Die Ergebnisse des Projekts werden für die Entwicklung neuer Benutzeroberflächen für Fahrzeuge mit automatisiertem Fahren verwendet.

Für die Agrarindustrie sind keine Ergebnisse von dritter Stelle bekannt, die einen vergleichbaren Ansatz der Fahrerkabine 4.0 beschreiben.

2.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 5 der NABF

Vorstellung Fahrerkabine 4.0 auf Off-Highway Tagung, Ulm Dezember 2019 (Valentin Ernst: Beanspruchungsadaptives HMI für die vernetzte Landwirtschaft. In: HMI in mobilen Arbeitsmaschinen, Ulm 05.12.2019.)

Seebauer, A.: Fahrerkabine 4.0: Automatisiertes Belastungsmanagement. Karlsruhe 08.07.2020. URL – https://www.kit.edu/kit/pi_2020_057_fahrerkabine-4-0-automatisiertes-belastungsmanagement.php

Jörger, L.: Revolutionieren Intelligente Systeme den Arbeitsalltag von Landwirten? – Auf eine Frage. In: LooKIT, 03/2020, Karlsruhe 2020, S. 23. URL - https://www.sek.kit.edu/3216_5910.php

ZAK: Colloquium fundamentale, Gemeinsamer Online-Vortrag food4future und Fahrerkabine 4.0 am 25.06.2020; <https://www.youtube.com/watch?v=z4H7BTVSnyo>

Raiser, G.: Kabine 4.0. – Im Gespräch mit Professor Marcus Geimer, Patrick Lehr und Steffen Metzger. In: Badische Bauernzeitung (Hrsg.): Wochenblatt Magazin, Bd. 6, S. 14-15.

Rath, A.: Wenn der Mähdrescher WhatsApp öffnet. In: LandInForm, 04/2020, S. 28. URL - https://www.netzwerk-laendlicher-raum.de/fileadmin/SITE_MASTER/content/PDFs/LiF/LandInForm_20_4.pdf

- Funk, Y., Haase, H. & Deml, B. (2021) Entwicklung und Validierung einer Experimentalumgebung zur Messung mentaler Beanspruchungszustände. In GfA, Dortmund (Hrsg.): Tagungsband 67. GfA-Frühjahrskongress Arbeit HUMAINE gestalten, Beitrag B.14.4, Bochum 03.03.-05.03.2021
- Wilmer, H.: Arbeitsplatz Mähdrescherkabine, Umfrage der Uni Hohenheim. In: profi, Bd. 04 2021, S. 100 – 104, Münster 2021.
- Metzger, S.; Lehr, P.; Geimer, M.: Beanspruchungsadaptive Nutzerschnittstelle für die vernetzte Landwirtschaft. ATZheavy duty 15 (2022) H. 1, S. 48-52.
- 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
- Metzger, S.; Lehr, P.; Geimer, M.: Stress-adaptive User Interface for the Networked Agriculture. ATZheavy duty worldwide 15 (2022) H. 1, S. 48-51
- Funk, Y., Haase, H., Deml, B. (2022) Echtzeiterfassung psychischer Beanspruchungszustände. In GfA, Dortmund (Hrsg.): Tagungsband 68. GfA-Frühjahrskongress Technologie und Bildung in hybriden Arbeitswelten, Magdeburg 03.03.-05.03.2022
- Funk, Y.A., Haase, H., Remmers, J. et al. Entwicklung und Validierung einer computerbasierten Aufgabe zur Induktion eines psychischen Beanspruchungsspektrums. Z. Arb. Wiss. (2022).
<https://doi.org/10.1007/s41449-022-00304-y>
- Wilmer, H.: OnField Fahrerkabine 4.0: Der Arbeitsplatz der Zukunft? Profi 6 (2022), S. 86-87.
Messeauftritt DLG Feldtage, Mannheim, 14.06. – 16.06. 2022
- Roth, L.: KIT-Professorin Barbara Deml: Das Zusammenspiel von Mensch und Maschine ist ihr Ding. Badische Neueste Nachrichten, 15.Oktober 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
- Metzger, S.: Fahrerkabine 4.0 – Automatisiertes Belastungsmanagement. VDI Fachnetzwerk Bau- und Landmaschinentechnik, TH Köln, Campus Deutz 22.03.2023.
- Lehr, P.; Metzger, S.; Geimer, M.; Budde, L.: Validierungsumgebung für ein neues Kabinenkonzept am Beispiel eines Mähdreschers. ATZheavyduty 16 (2023) H. 1, S.34-37
- Lehr, P.; Metzger, S.; Geimer, M.; Budde, L.: Validation Environment for a new Cab Concept Using the Example of a Combine Harvester. ATZheavyduty worldwide 16 (2023) H. 1, S.34-37
- Tastowe, F.: Feld-Arbeitsplatz: So sehen Fahrerkabinen von Landmaschinen in Zukunft aus. top agrar 6/2023, S. 96-97, Münster, 29.05.2023
- Messeauftritt Agritechnica, Hannover, 12.11. – 18.11. 2023
- Metzger, S.; Geimer, M.: Erkennung von Feldkonturen und Hindernissen für automatisierte Landmaschinen: Eine multitemporale Segmentierungsmethode basierend auf Sentinel-2 Satellitendaten. (2024)

2.7 Literaturverzeichnis

- Agrarsysteme der Zukunft (Regisseur). (2024, Mai 22). *Fahrerkabine 4.0 Porträtfilm* [Video recording]. <https://www.youtube.com/watch?v=RqrcjbMlwy0>
- Barrios, L., Oldrati, P., Santini, S., & Lutterotti, A. (2019). Evaluating the accuracy of heart rate sensors based on photoplethysmography for in-the-wild analysis. *Proceedings of the 13th EAI International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*, 251–261. <https://doi.org/10.1145/3329189.3329215>
- Bent, B., Goldstein, B. A., Kibbe, W. A., & Dunn, J. P. (2020). Investigating sources of inaccuracy in wearable optical heart rate sensors. *Npj Digital Medicine*, 3(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41746-020-0226-6>
- Bieg, H.-J., Strobel, S., Fischer, M. S., & Lasmann, P. (2022). Comparison of Video-based Driver Gaze Region Estimation Techniques. In *2022 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV): 4-9 June 2022* (S. 382–389). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IV51971.2022.9827145>
- Boris Brandherm & Michael Schmitz. (2004). Presentation of a Modular Framework for Interpretation of Sensor Data With Dynamic Bayesian Networks on Mobile Devices. In *Presentation of a Modular Framework for Interpretation of Sensor Data With Dynamic Bayesian Networks on Mobile Devices* (S. 9–10). ABIS.
- Eggemeier, F. T., & Wilson, G. F. (1991). Performance-based and subjective assessment of workload in multi-task environments. In *Multiple Task Performance*. CRC Press.
- Funk, Y. A., Haase, H., Remmers, J., Nussli, N., & Deml, B. (2022). Entwicklung und Validierung einer computerbasierten Aufgabe zur Induktion eines psychischen Beanspruchungsspektrums. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 1–17. <https://doi.org/10.1007/s41449-022-00304-y>
- Heine, T. (2018). *Vor-Sicht im Straßenverkehr—Experimentelle Untersuchung der somatischen Antizipation von Risiko*. <https://doi.org/10.5445/KSP/1000078302>
- Jeschke, P. (2017). *Entwicklung eines analytischen Modells zur Prognose der mentalen Beanspruchung in der Prozessführung*. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. <https://doi.org/10.21934/baua:bericht20171011>
- Laßmann, P., Fischer, M. S., Bieg, H.-J., Jenke, M., Reichelt, F., Tuezuen, G.-J., & Maier, T. (2020). Keeping the balance between overload and underload during partly automated driving: Relevant secondary tasks. In T. Bertram (Hrsg.), *Automatisiertes Fahren 2019: Von der Fahrerassistenz zum autonomen Fahren: 5. Internationale ATZ-Fachtagung* (S. 233–250). Springer Vieweg. https://doi.org/10.1007/978-3-658-27990-5_19
- Laßmann, P., Reichelt, F., Stimm, D., & Maier, T. (2020). User-Centered Design Within the Context of Automated Driving in Trucks – Guideline and Methods for Future Conceptualization of Automated Systems. In T. Ahram, W. Karwowski, A. Vergnano, F. Leali, & R. Taiar (Hrsg.), *Intelligent Human Systems Integration 2020: Proceedings of the 3rd International Conference on Intelligent Human Systems Integration (IHSI 2020): Integrating People and Intelligent Systems, February 19-21, 2020, Modena, Italy* (1st ed. 2020, Bd. 1131, S. 3–8). Springer International Publishing; Imprint Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39512-4_1
- Laugwitz, B., Held, T., & Schrepp, M. (2008). Construction and Evaluation of a User Experience Questionnaire. In A. Holzinger (Hrsg.), *HCI and Usability for Education and Work* (S. 63–76). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-89350-9_6
- Manzeschke, A. (2015). MEESTAR: Ein Modell angewandter Ethik im Bereich assistiver Technologien. In *Technisierung des Alltags: Beitrag für ein gutes Leben?* (S. 263–283). Franz Steiner Verlag.
- Metzger, S., Lehr, P., Ernst, V., & Geimer, M. (2022). Entwicklung einer adaptiven Benutzerschnittstelle zur Optimierung des kognitiven Benutzerzustands. In Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (Hrsg.), *Arbeit unter einem DA-CH: Der Landwirt im 4.0-Modus* (S. 79–90). https://opus4.kobv.de/opus4-slbp/files/17047/akal_2022.pdf#page=79
- Neerincx, M. A. (2003). Cognitive task load analysis: Allocating tasks and designing support. In E. Hollnagel (Hrsg.), *Handbook of Cognitive Task Design* (S. 283–305). Lawrence Erlbaum Associates.
- Pasadyn, S. R., Soudan, M., Gillinov, M., Houghtaling, P., Phelan, D., Gillinov, N., Bittel, B., & Desai, M. Y. (2019). Accuracy of commercially available heart rate monitors in athletes: A prospective study. *Cardiovascular Diagnosis and Therapy*, 9(4), Article 4. <https://doi.org/10.21037/cdt.2019.06.05>
- Scatturin, L., Erbach, R., & Baumann, M. (2019). Cognitive psychological approach for unraveling the take-over process during automated driving. In C. P. Janssen, S. F. Donker, L. L. Chuang, & W. Ju (Hrsg.), *Proceedings of the 11th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications: Adjunct Proceedings* (S. 215–220). ACM. <https://doi.org/10.1145/3349263.3351501>
- Schrepp, M., Hinderks, A., & Thomaschewski, J. (2017). Construction of a Benchmark for the User Experience Questionnaire (UEQ). *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, 4, 40–44. <https://doi.org/10.9781/ijimai.2017.445>

Zijlstra, F. R. H. (1993). *Efficiency in work behaviour: A design approach for modern tools*. Delft University Press. <http://resolver.tudelft.nl/uuid:d97a028b-c3dc-4930-b2ab-a7877993a17f>