



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

- InMach Intelligente Maschinen GmbH

Gefördert durch:



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 maßgeblich von qualifizierten und motivierten Landwirten ab. Aufgrund des demographische Wandel und der höhere Anforderungen an die Vereinbarkeit von Privat- und Familienleben ergreifen immer weniger Menschen diesen Beruf. Die Generierung eines attraktives Arbeitsumfeld, wie es das Projekt „Fahrerkabine 4.0“ zum Ziel hat, kann dazu beitragen dieser Entwicklung entgegenzuwirken. Das Projekt „Fahrerkabine 4.0“ entwickelt eine adaptive Mensch-Maschine-Schnittstelle für Landmaschinen, die das Beanspruchungslevel des Nutzers erkennt und versucht den Fahrer während seiner Arbeit optimal zu unterstützen und in stressigen Situationen das wichtige in den Forderungen zu stellen was die Effizienz und Sicherheit erhöhen soll. Die Schnittstelle ermöglicht es Landwirten, ihre Zeit auf der Maschine optimal zu nutzen und Aufgaben die direkt zu erledigen. Sie kann auch zur Steuerung von Hofsystemen verwendet werden, was zur ökonomischen Nachhaltigkeit beiträgt und Überstunden reduziert. Das Projekt zieht die immer weitere Automatisierung der landwirtschaftlichen Maschinen in Betracht und entwickelt Technologien, die Über- und Unterforderung vor allem in diesen Szenarien vermeidet. Technologien wie Eyetracking und Augmented Reality kommen zum Einsatz, um eine möglichst intuitive und nutzerfreundliche Interaktion zu ermöglichen. Ein Demonstrator wird entwickelt, um das System ausgiebig zu testen und interessierten Stellen zu präsentieren.

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

1.2 Ablauf des Vorhabens

Am Anfang des Projekts erfolgten zuerst Anforderungsanalysen auf verschiedenen Betrieben und Maschinen. Aufbauend darauf wurden Einsatzszenarien und Persona definiert sowie ein Lastenheft erstellt. Anschließend wurden die einzelnen Teilsysteme Zustandserfassung, virtueller Assistent, I/O-Module und das Hardware-Backbone parallel entwickelt. Nach erfolgreichem Abschluss der Einzelsystemtests wurden diese in eine Demonstratorkabine eingebaut. Mit dieser Kabine 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

Als Einstieg ins Projekt wurden durch mehrere Interviews von Mähdrescherfahrern und Online-Studien Zusatzaufgaben identifiziert, 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.

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

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

Eine Vielzahl an Handlungsempfehlungen wurden umgesetzt, die durch den Nutzer oder vom Assistenten getriggert werden können. Das Cognitive-Task-Load-Modell kommt zum Einsatz, um die Tasks zu klassifizieren und eine Handlungsempfehlung auszuwählen, welche die Cognitive-Task-Load des Fahrers verbessert.

Ein am Boden stehender Demonstrator in Form einer Fahrerkabine in Kombination mit einer Umgebungssimulation wurde als passendes System zur Validierung und Öffentlichkeitsarbeit ausgewählt. Ein neues, im Vergleich zu heutigen Fahrerkabinen deutlich schlankeres Design des Interieurs wurde entwickelt. Der Demonstrator enthält alle Komponenten des beanspruchungsadaptiven HMI. Geeignete und erforderliche Ein- und Ausgabemodule wurden im Vorfeld identifiziert, bewertet, ausgewählt und beschafft. Anschließend wurden sie in den Demonstrator eingebaut und in das Gesamtsystem integriert. Ein Schaltschrank an der Rückseite der Kabine wurde angebracht in dem alle Komponenten zur Energieversorgung, für die Simulation, den Virtuellen Assistenten sowie die Ansteuerung der Displays und Bussysteme untergebracht wurden. Eine modifizierte Transportpalette sorgt für einen sicheren Transport des Demonstrators zu Messen und Feldtagen.

Unter Verwendung des Demonstrators wurden verschiedene Probandenstudien durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Studien wurden zusammengefasst und die Rückmeldungen der Teilnehmer zur neuen Fahrerkabine analysiert. Die überwiegende Mehrheit der Probanden empfand die Fahrerkabine als ansprechend und nützlich. Anleitungen durch den virtuellen Assistenten wurde von vielen Nutzern als positiv für die Interaktion und die Nutzung des Systems betrachtet, solange die diese auch wirklich hilfreich sind und den Nutzer positiv unterstützen. Andernfalls besteht die Gefahr, dass die Nutzer diesen zu schnell abschalten. Die Integration von neuen Technologien und interaktiven Elementen in die Fahrerkabine wurde positiv bewertet. Insbesondere wurden hier das Lenken mittels Joysticks, die großen Scheibendisplays und die verschiedenen HMI's als performante Unterstützung des Nutzers bewertet.

Der Demonstrator wurde außerdem für Messebesuche eingesetzt. Hierbei konnten Interessierte ein vorgefertigtes Szenario in der Fahrerkabine durchlaufen. Die Messebesuche waren immer durch Befragungen begleitet wobei die Rückmeldungen der Besucher auch in die weitere Entwicklung des Systems eingeflossen.

Im Rahmen der Feldstudie in den Jahren 2023 und 2024 wurde das entwickelte Konzept auf einen aktuellen Mähdrescher portiert. Dazu wurde das HMI reduziert und an die Gegebenheiten in der Kabine angepasst. Dazu wurde die Interaktion mit dem Nutzer über Ein- und Ausgabemodule an den räumlichen und technischen Stand der Kabine angepasst. Zudem der virtuellen Assistenten an die Kommunikationssysteme der Maschine angebunden, um Bedieneingaben und Maschinenparameter auswerten zu können. Praktische Feldtests lieferten wertvolle Erkenntnisse zur User Experience sowie der Usability des beanspruchungsadaptiven Konzepts.

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 Nutzern 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 identifiziert.



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

- InMach Intelligente Maschinen GmbH

Gefördert durch:



Förderung durch das

Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR)
unter dem Förderungskennzeichen 031B0735A.

2. Eingehende Darstellung

2.1 Resultate des Forschungsvorhabens

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

AP 1 – Administration und Koordination

Die Administration und Koordination des Projekts wurde seitens des Mobima koordiniert und organisiert. Themen wie die Implementierung einer Koordinations-, Kommunikations- und Eskalationsstrategie wurden hier im Team erarbeitet. Dazu kamen die Organisation von Workshops, die Planung und Durchführung von Projekttreffen inkl. virtueller Telefonkonferenzen. Das Mobima organisierte zudem die Zusammenarbeit mit der Koordinierenden Stelle der Agrarsysteme der Zukunft und koordinierte mit dem Projektteam die Teilnahme an Statusseminaren und an relevanten Meetings. Etwaige Änderungen im Projekt wie z.B. den coronabedingten Austritt von R3DT oder die zeitlichen Veränderungen im Projekt wurden ausgearbeitet und umgesetzt. Implikationen bzgl. Projektfinanzierung wie z.B. Aufstockungsanträge für die verlängerte Projektlaufzeit wurden ausgearbeitet, im Projektteam finalisiert und eingereicht. Ein Nachfolgeantrag „OnField 2.0“ wurde seitens Mobima vorentwickelt und mit benannten Kooperationspartnern finalisiert und eingereicht.

Zur Planung und zum Austausch sowie Speicherung von Daten wurde eine MS Share Point Plattform aufgebaut, sodass ein kontinuierlicher Informationsfluss zwischen den Projektpartnern jederzeit gegeben war.

Im Bereich der Öffentlichkeitsarbeit wurden die Besuche verschiedener Messen wie den DLG-Feldtagen, der DeLuTa und der Agritechnica in 2023 genutzt, um die Demonstratorkabine und das Projekt zu präsentieren. Spezielle Messeszenarien erklärten den Nutzern das System und zugleich war dies auch live zu erleben. Durch die Interviews als auch die Interaktion der Nutzer mit der Kabine auf dem jeweiligen Messestand, konnte wertvolles Feedback der Nutzer eingeholt werden.

Eine Beteiligung seitens InMach ergab sich neben turnusgemäßen Treffen sowie regelmäßigen Meetings vor allem im Bereich der Öffentlichkeitsarbeit. Das Projekt wurde auf verschiedenen Messen (DLG-Feldtage, DeLuTa 2022, Agritechnica 2023) vorgestellt. Hierbei kam die Demonstratorkabine zum Einsatz, wodurch das Projekt und deren Inhalte sehr effektiv für Interessierte erlebbar gemacht wurde. Neben der allgemeinen Projektvorstellung konnten Interessierte hierbei innerhalb der „Fahrerkabine 4.0“ ein Szenario durchfahren, welches das Konzept in komprimierter Form veranschaulicht.

AP 2 – ELSI (Ethical, Legal and Social Implications)

Dieses AP betrifft hauptverantwortlich das KIT (ifab). Eine Beteiligung von InMach gab es hier nur während der Projekttreffen wo verschiedene Aspekte von ELSI bezogen auf das Projekt erarbeitet wurden.

AP 2.1: Aufstellen von ELSI-Kriterien

In einem Workshop (Mobima, ATH und ifab) wurde zunächst auf Basis des MEESTAR-Modells eine erste Aufstellung der wichtigsten Themenfelder und Kriterien erarbeiten. Anschließend wurden die Ergebnisse des Workshops mit dem Konsortium abgeglichen und finalisiert. Es wurden die Kriterien Fürsorge, Selbstbestimmung, Sicherheit, Gerechtigkeit, Privatheit, Teilhabe und Selbstverständnis untersucht und bewertet.

Zu den ersten beiden Punkten Fürsorge und Selbstbestimmung gab es keine weiteren Anmerkungen. Zum Thema Sicherheit wurde ergänzt, dass die Qualität der Maschine einen großen Einfluss auf die subjektive Sicherheit des Fahrers hat. In ein hochwertiges Produkt habe man mehr Vertrauen – gleiches gelte auch bei der Gestaltung der Fahrerkabine. Zu den darauffolgenden Punkten Gerechtigkeit, Teilhabe und Selbstverständnis gab es seitens des Konsortiums ebenfalls keine Ergänzungen. Lediglich zum Punkt Privatheit wurden zwei Punkte ergänzt. Zum einen wurde darauf hingewiesen, dass personenbezogene Daten getrennt von Maschinendaten ausgewertet werden sollten. Zum anderen sollte durch den Punkt Privacy by Design bereits durch technische Gegebenheiten gewährleistet werden, dass nur ein Minimum an personenbezogenen Daten gesammelt wird. Weitere Details sind dem Bericht der ELSI Arbeitsgruppe ifab, Mobima und ATH zu entnehmen.

AP 2.2 Überprüfung auf Einhaltung der ELSI-Kriterien

In diesem Arbeitspaket wurden die aufgestellten Kriterien überprüft und für die kritischen Bereiche der Fahrerkabine 4.0 überarbeitet. Dazu fanden verschiedene Bewertungen im November 2020 und im September 2021 durch das Projektteam statt.

In der Diskussion zeigte sich, dass viele kritische Punkte in der Fahrerkabine 4.0 bereits umgesetzt sind. So z.B. eine Entlastung durch die Fahrerkabine, indem Unter,- und Überforderung vermieden wird, eine beherrschbare und einfache Bedienung sowie die Tatsache der freiwilligen Nutzung durch den Fahrer. Als mögliche kritische Punkte wurde gesehen, dass die Handlungsempfehlungen nicht zu einer Arbeitsverdichtung führen dürfen und die FahrerInnen bevormundet werden. Insgesamt konnte ein positives Fazit zur Berücksichtigung der Kriterien gezogen werden.

Auf den DLG-Feldtagen im Jahr 2022 wurden 35 FahrerInnen mit direkter Praxiserfahrung zu ihrer Einschätzung der Fahrerkabine mit Blick auf Chancen und Risiken befragt. Insgesamt wurde die Fahrerkabine positiv aufgenommen. Durch die Gespräche mit den Projektbeteiligten und die Fahrt im Demonstrator konnten Besucher sich einen guten Einblick in den Demonstrator verschaffen und somit konnten auch etwaige Vorbehalte wie Komplexität der Bedienung, ein totaler Systemausfall oder Bevormundung des Nutzers, geklärt werden.

Beim Projekttreffen im Jahr 2023 wurden die Themen Sicherheit und Privatheit betrachtet. In der Fahrerkabine wurden Lösungen implementiert, um private Daten nicht zu speichern, sodass weder Betriebsleiter noch andere Personen darauf Zugriff haben und diese somit auch nicht auswerten können. Ziel ist es, dass der Fahrer die Handlungshoheit behält. 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.

Auf der Agritechnica im Jahr 2023 wurde das Thema Gerechtigkeit mittels einer Befragung unter BesucherInnen bewertet. Eine Mehrheit der Befragten (62%) würden von angestellten FahrerInnen erwarten, dass sie die betrieblichen Aufgaben, die der virtuelle Assistent vorschlägt, bearbeiten, anstatt private Angelegenheiten. 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. Weitere Details sind auch hier dem Bericht der ELSI-Arbeitsgruppe zu entnehmen.

AP 3 – Arbeitspsychologische Anforderungsanalyse

AP 3.2: Darstellung von Trends im Agrarsektor

Trends, welche im Agrarsektor Einzug finden, sind neben der Elektrifizierung der Anbaugeräte, die Konnektivität zwischen den einzelnen Gespannen und der Farm wie auch eine Weiterentwicklung der Sensorik, die an den einzelnen Maschinen und Anbaugeräten verbaut sind. Um die sensorisch erfassten Daten weiter zu verarbeiten, finden auch Technologietrends zur Big Data Analyse wie z.B. Deep learning und Maschine learning Algorithmen Anwendung. Um die Daten für den Nutzer zugänglich zu machen, wurde die Anwendbarkeit von Augmented Reality Ansätzen geprüft.

Die o.g. Themenblöcke wirken Hand in Hand und sind für eine zuverlässige Elektrifizierung der Anbaugeräte nötig, um eine verbesserte Konnektivität zwischen Anbaugerät und Maschine, der

Konnektivität innerhalb eines Flottenverbunds oder auf der Maschine selbst herzustellen. Hier werden Ansätze wie ISOBUS / High-Speed ISOBUS (<https://www.aef-online.org/de/home.html>) immer weiter vorangetrieben. Von diesen systematisch erfassten Daten wurden dann Handlungsempfehlungen abgeleitet, welche direkt an die Maschine weitergeleitet wurden, so dass kein Eingreifen des Maschinenführers verlangt wird. Hierfür wurden Head Up Displays eingesetzt, mit denen die Ergebnisse der Datenanalyse direkt in die Umgebung eingeblendet werden konnten (AR Vision).

In weiteren Details wurden Fortschritte im Bereich hochautomatisierte und vernetzte Systeme, Robotik und Schwarmrobotik, Precision Farming und Service untersucht. Für zukünftige Maschinenkonzepte lassen sich sowohl eine Vergrößerung als auch eine Verkleinerung der Maschinengröße und -leistung erkennen: Zum einen werden immer größere und leistungsfähigere Maschinen entwickelt, zum anderen halten Schwarmprinzipien mit kleinen Einheiten Einzug.

Die Vergrößerung von Maschinen, vor allem im Bereich der selbstfahrenden Erntemaschinen wie Mähdrescher, Feldhäcksler oder Rübenroder, wird aktuell vor allem durch rechtliche Bestimmungen wie die STVZO begrenzt. Experten rechnen dennoch mit steigenden Marktanteilen, da es einfacher ist, eine Maschine zu warten und zu überwachen, als eine Gruppe aus 20 kleinen Einheiten.

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. Seitens INMACH wurde das Thema Software/Elektronik Kabine und Bedienung bearbeitet.

Durch eine übersichtliche Gruppierung von Bedienbereichen ist die Bedienung einer Erntemaschine ergonomisch optimiert worden. Nach Bedienhäufigkeiten und Prioritäten wurden die Bedienelemente so angeordnet, dass das Fahren und Ernten mit einer solchen Maschine möglichst einfach erlernbar ist und der Experte sich darauf wohl fühlt.

In Abb. 1 ist eine grobe Erklärung der Funktionen und Gruppierungen der Armlehne dargestellt.



Satellit-Variante Mähdrescher



Abb 1: Erklärung der Funktionen und Gruppierungen der Armlehne

Folgenden Funktionen der Fahrerkabine 4.0 wurden erarbeitet:

Entertainment

- eher leichte, auditive Tätigkeiten (z.B. Musik hören)
- Filme schauen (schwierig, da auditive und visuelle Ablenkung)

Laufende Prozessorganisation (operativer Prozess)

- Erntelogistik (Abfahrer, Lager, ...)

- Maschinenlogistik

Ein Fahrer überwacht/steuert andere Mähdrescher

- Maschinensynchronisation
- M2M-Kommunikation
- Digitale Datenablage und -zugang (strategischer Prozess)

Farmmanagementsysteme Digitale Dokumentation (z.B. aktueller Auftrag)

- NEXT Farming
- Exatrek
- 365FarmNet

Zugang zu „Hof-PC“ Officeumgebung (z.B. für Emails, Stallplanung)

Predictive Maintainance

- Organisation der Wartung parallel zum Betrieb der Maschine
- Sobald Maschinenhersteller diese Funktion umsetzen, sollte die FK4.0 diese Funktion auch unterstützen

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Konzept der Handlungsempfehlungen inklusive der Nutzerüberwachung weiterhin dem Ziel der Fahrerunterstützung und der Verbesserung der Situation Awareness entgegensteuert. Aktuelle Zweifel durch Betriebsleiter lassen sich wissenschaftlich entkräften.

AP 4 – Ableitung der Einsatzszenarien

AP 4.1: Definition von Einsatzszenarien

Für die Definition von konkreten Einsatzszenarien wurden zunächst Nutzergruppen und Personas beschrieben, da sie den Grundstein für die Einsatzszenarien bilden. Die Nutzergruppenbeschreibungen enthalten einige Eckdaten zu Demografie, Arbeitsalltag, Tätigkeitsmerkmalen sowie Meinungen zu Zusatzaufgaben, Zustandserfassung und zum HMI.

Darauf aufbauend wurde für jede Nutzergruppe eine sogenannte Persona beschrieben, die mit der „Fahrerkabine 4.0“ in Kontakt kommt. Eine Persona stellt dabei nur den Prototyp eines bestimmten Nutzers dar. Diese repräsentiert den späteren Nutzer mit seinen Wünschen und Anforderungen und es können spezifische Einsatzszenarien abgeleitet werden. Die Persona baut auf den Inhalten von AP 3 auf. Es wurden Betriebsleiter/Landwirt, angestellte Fahrer des Betriebsleiters und Lohnunternehmer definiert.

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

AP 4.2: Ableitung eines Lastenhefts an das adaptive HMI

Basierend auf den Einsatzszenarien aus SubAP 4.1 sowie aus den Ergebnissen aus AP 3 wurde zusammen ein Lastenheft für das HMI erstellt. Es beinhaltet die konzeptionellen Vorgaben für die technischen Anforderungen wie Hardware, Schnittstellen und Datenverarbeitung aber auch nicht-technische Anforderungen (Normen, gesetzliche Vorgaben). Daraus ergaben sich Anforderungen für die Bereiche Zustandserkennung, Handlungsempfehlungen, Bedienung der Handlungsempfehlungen, Ein- und Ausgabe, Plattform, Datenmanagement, HMI sowie Kabine/Komfort gruppiert. Diese dienen als Grundlage für das darauf aufbauende Pflichtenheft für die Personenzustandserfassung in SubAP 5.2.

AP 5 – Personenzustandserfassung

Dieses AP betrifft hauptverantwortlich das KIT (ifab) bei dem InMach keinen nennenswerten Beitrag geleistet hat. Hiermit wird auf deren Sachbericht verwiesen.

AP 6 – Eingabe-/Ausgabemodule (I/O-Module)

Ursprünglich war keine Mitwirkung von InMach in diesem AP geplant, nach dem Ausstieg von R3DT aus dem Forschungsprojekt half InMach bei der Recherche von unterschiedlichen Arten von I/O-Modulen, wie Displays, Touchscreens, Joysticks, Taster, Mikrophone, Motoren, etc., welche anschließend im Hinblick auf Kompatibilität, Verfügbarkeit, Kosten, Integrationsaufwand und Zukunftssicherheit bewertet wurden. Darauf basierend wurden die geeigneten Module ausgewählt und beschafft.

AP 7 – Entwicklung adaptiver Handlungsempfehlungen

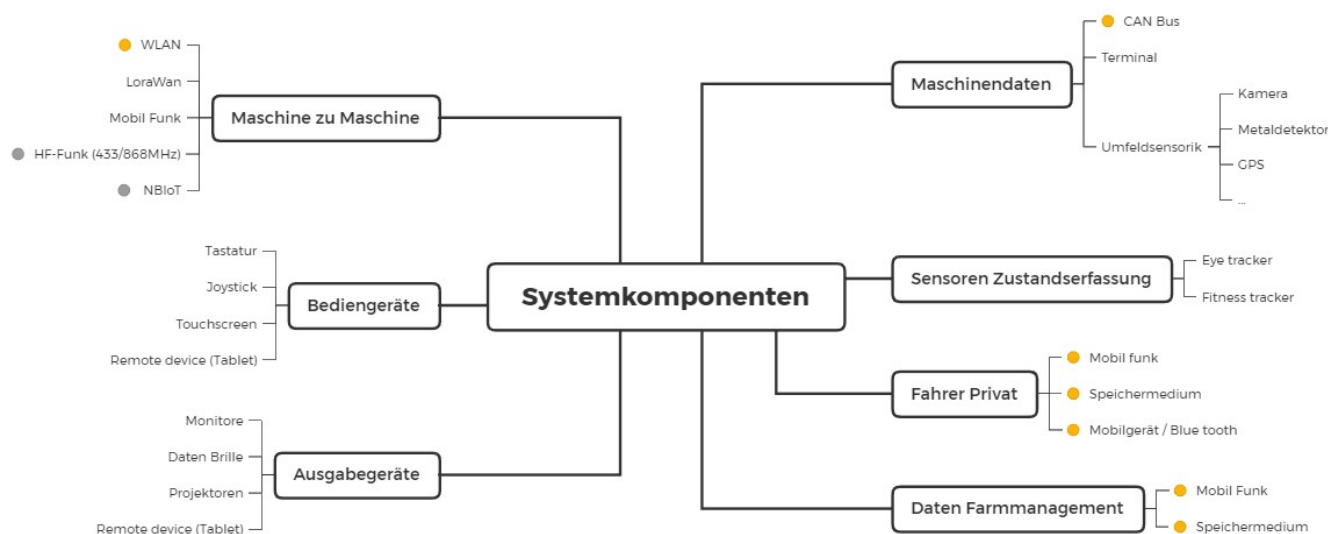
Dieses AP betrifft hauptverantwortlich das KIT (Mobima) bei dem InMach keinen nennenswerten Beitrag geleistet hat.. Hiermit wird auf deren Sachbericht verwiesen.

AP 8 – Systementwicklung

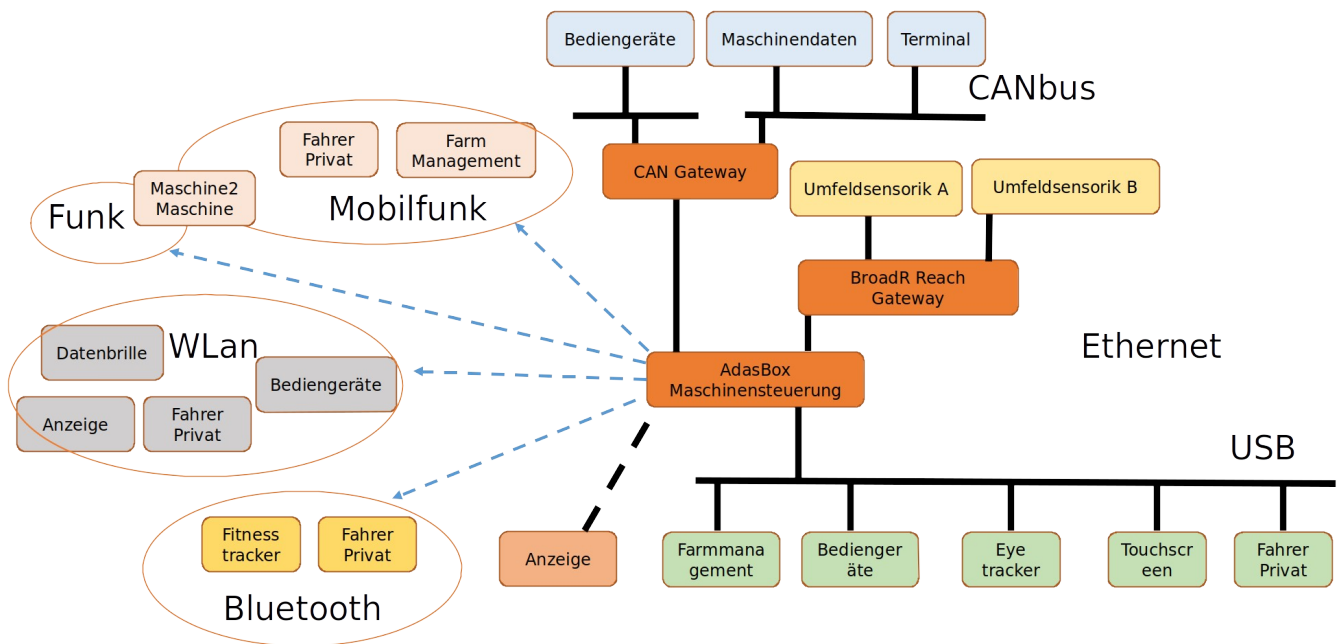
AP 8.1: Planung der Systemarchitektur, Komponenten und Schnittstellen

Ausgehend von den Ergebnissen der Trendanalyse und der Zielentwicklung wurden in AP 4 die Einsatzszenarien abgeleitet. Basierend darauf wurden in AP 8 die einzelnen Komponenten (siehe Abbildung 1) definiert. Zu diesen Komponenten gehören neben den typischen Maschinen-ECUs, über welche die Maschinenparameter ausgelesen werden, auch die projektspezifischen Komponenten. Dazu zählen vor allem die Sensorik zur Zustandserfassung, unterschiedliche Ausgabegeräte so wie die Komponenten der Umfeldsensorik. Unter Zuhilfenahme dieser Komponentenliste wurde die Systemarchitektur definiert (siehe Abbildung 2). Des Weiteren wurden die benötigten Schnittstellen abgeleitet und durch geforderte Funkschnittstellen ergänzt. Diese sind vor allem für die Interaktion mit dem Fahrer aber auch für die Maschinen zu Maschinen Kommunikation wichtig.

Als physikalische Schnittstelle zum Fahrzeug dient der CAN-Bus, welcher in allen modernen Maschinen zum Einsatz kommt. Für die Anbindung der Umfoldsensorik kommt vorwiegend 100BASE-T1 Ethernet (BroadR-Reach) und 100BASE-X Ethernet zum Einsatz. Die Zustandserfassung wird über USB angebunden. WLAN dient als Schnittstelle für Mobilgeräte des Fahrers und kann auf dem Hof eingesetzt werden um das Fahrzeug mit dem Internet zu verbinden. Auf dem Feld kommt Mobilfunk/Funk zum Einsatz welches auch für die Maschine zu Maschine Kommunikation verwendet wird.

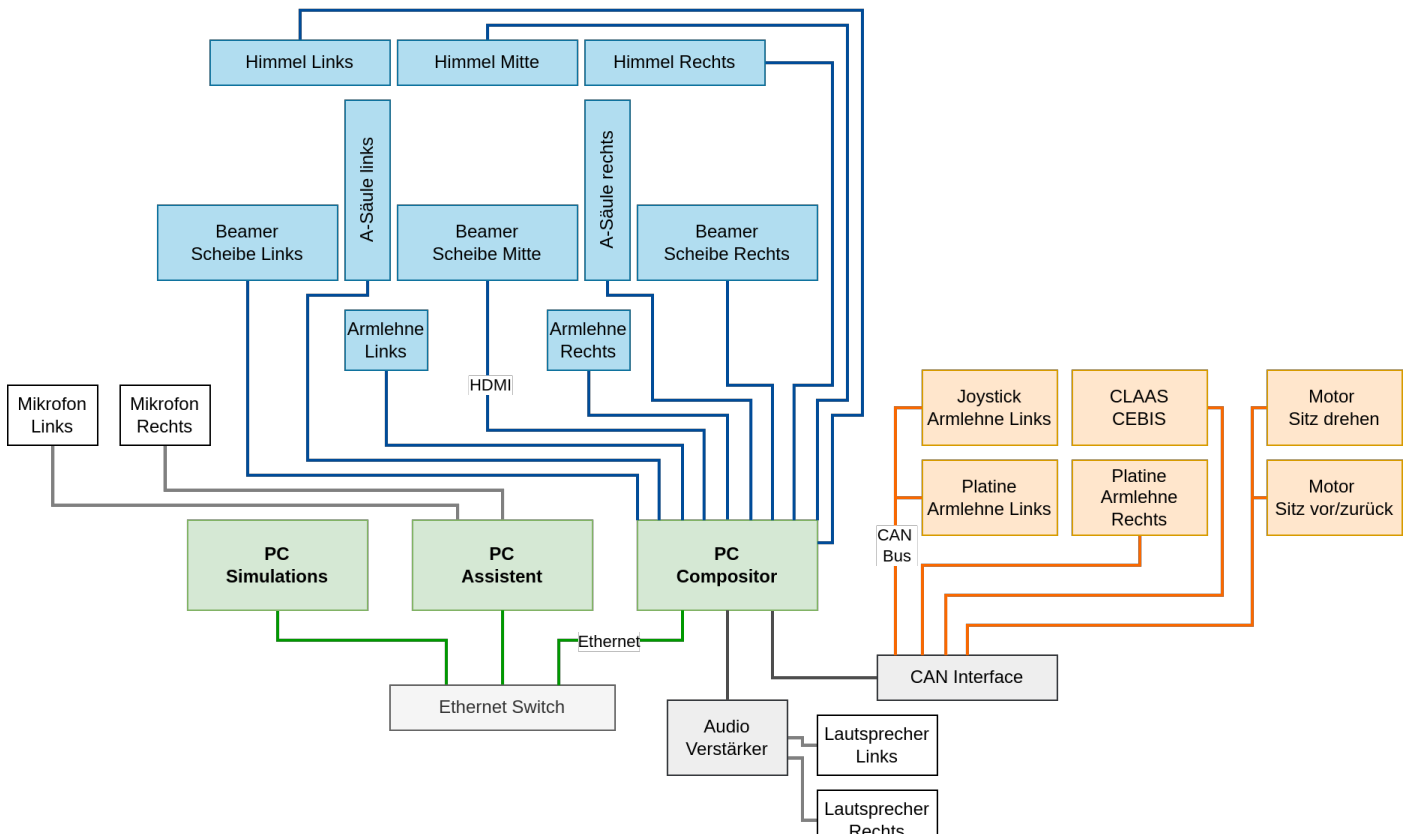


Anhand der Systemarchitektur wurden die Anforderungen an die Hardware abgeleitet auf welcher die Anwendungen der Fahrerkabine4.0 abgebildet werden sollten. Basierend auf der InMach eigenen ADAS Plattform wurden erste Hardwareentwürfe bzw. Hardwareerweiterungen erarbeitet. So wurden mögliche Funkmodule und weitere wichtige Systembausteine identifiziert die benötigt werden um die komplette Systemarchitektur abzubilden.



In AP 4 wurde klar, dass der Aufbau einer komplett funktionsfähigen Funktionskabine mit dem angestrebten Bedienkonzept zum jetzigen Zeitpunkt nicht realisiert werden kann und dass es für das Projekt zielführender ist das Bedienkonzept und somit auch das Potential einer Fahrerkabine 4.0 in einer Demonstratorkabine zu untersuchen. Deshalb wurden bei der weiteren Systementwicklung die speziellen Anforderungen des Demonstrators berücksichtigt, jedoch wenn möglich Komponenten verwendet welche direkt oder ohne großen Aufwand in eine Funktionskabine überführt werden können.

Der Systemaufbau des Demonstrators ist in Abbildung 3 zu sehen. Zentral sind die 3 Rechner welche für die unterschiedlichen Aufgaben im Demonstrator zuständig sind. Der Großteil der Peripherie ist dabei an den Compositor PC angeschlossen, dessen Aufgabe es ist die 7 Displays + 3 Beamer, die Bedienelemente in den Armlehnen, die Sitzaktuatoren sowie das Soundsystem anzusteuern.

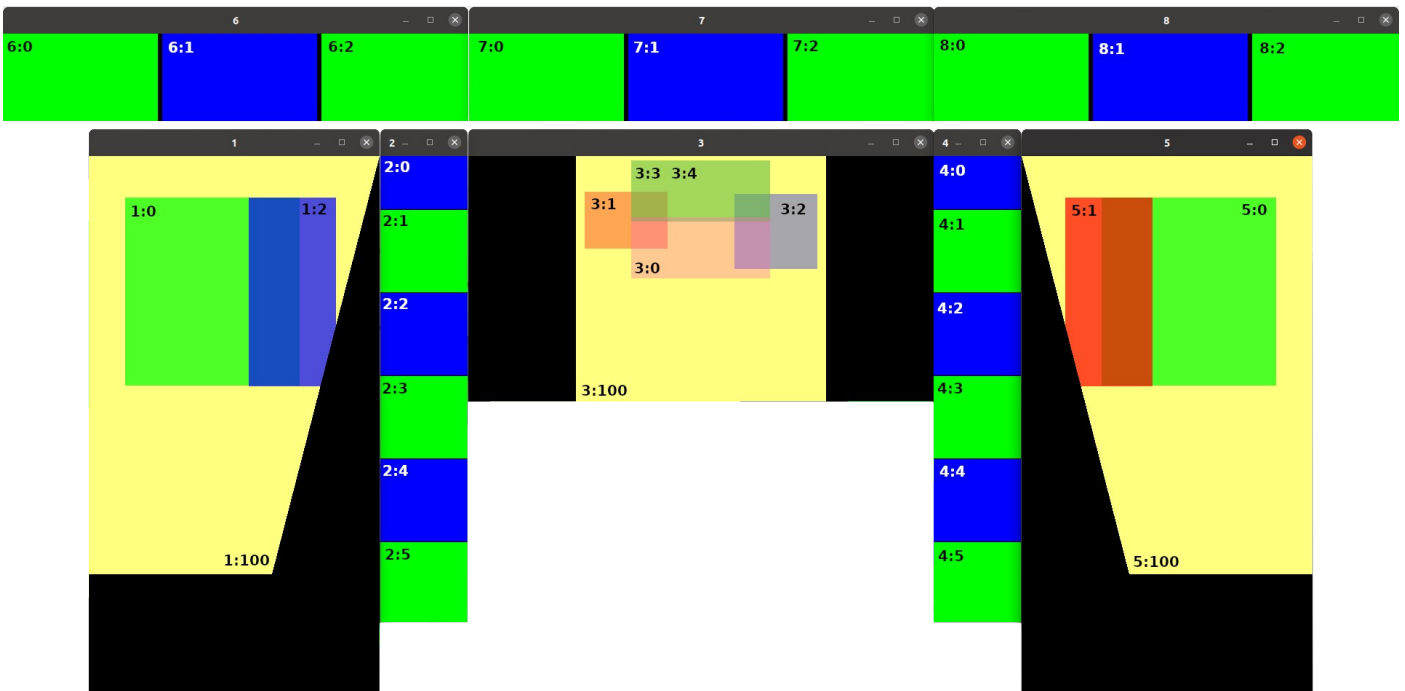


AP 8.2: Hardware-/Elektronikentwicklung

Im SubAP 8.2 wurden Komponenten für den Demonstrator entwickelt um das angestrebte Bedienkonzept umzusetzen. Dazu wurde das Platinendesign für eine CAN IO ECU erstellt und umgesetzt. Diese ECU setzt unterschiedliche digitale Eingänge sowie Ausgänge auf ein CAN Protokoll um, sodass aus der Steuerungssoftware die unterschiedlichen Peripheriegeräte angesteuert bzw. ausgelesen werden können. Im weiteren Projektverlauf wurde zusätzlich die nötige Firmware für die ECU umgesetzt.

AP 8.3: Ausarbeiten der Software-Infrastruktur

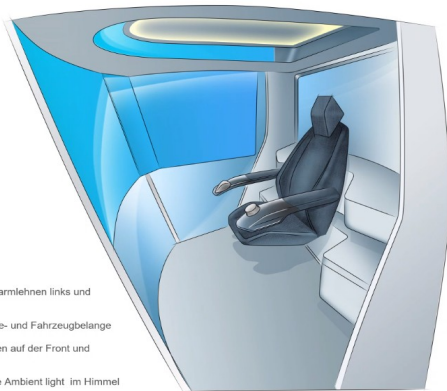
Zusammen mit den Projektpartnern konnten erste Konzepte der adaptiven HMI erarbeitet werden. Eine besondere Herausforderung hierbei ist die Darstellung der Informationen auf dem Multi-Monitor-System, welches die Fahrerkabine 4.0 auszeichnet. Hier wurde eine Software-Infrastruktur basierend auf einem Custom Wayland Compositor, welcher auf dem QT Anwendungs-Framework aufsetzt erarbeitet. Im nächsten Schritt wurden mit den Projektpartnern die Aufteilung der unterschiedlichen Anwendungsoberfläche im System durchgesprochen und erarbeitet (siehe Abbildung 4). Des Weiteren wurde ein Industrie-PC zur Ansteuerung des Multi-Monitor-Systems ausgewählt, welcher nicht nur Industriestandards, sondern auch die besonderen Herausforderungen der Fahrerkabine erfüllt.



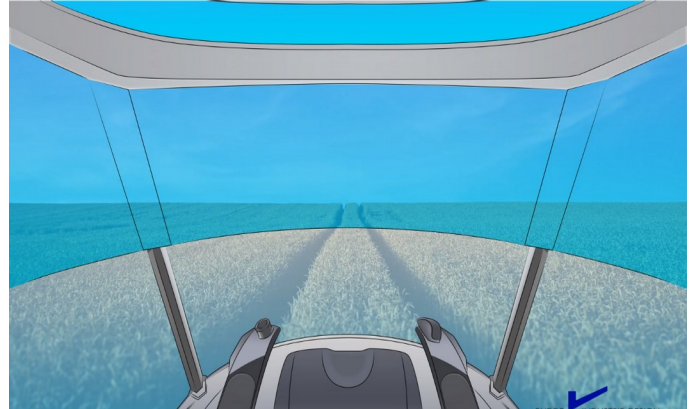
AP 8.4: Konzeptionierung und Programmierung der Nutzeroberfläche

Im Projektverlauf wurden zuerst die Trends im Agrarsektor aus technischer Sicht analysiert und zusammengefasst. Des Weiteren wurden Befragungen durchgeführt und mit all diesen Erkenntnissen ein vorläufiges Lastenheft erstellt. Aus diesem ergab sich, dass eine sehr hohe Flexibilität der HMI benötigt wird. So wurden mehrere Ein- und Ausgabegeräte sowie die Darstellung auf einer großen Anzahl an Displays definiert. Des Weiteren dienen als HMI nicht nur klassische Eingabe- und Ausgabegeräte, sondern auch eine Sprachsteuerung. Die Darstellung auf den Displays soll in einem gewissen Umfang vom User selbst individuell gestaltet werden können. Inhalte sollen jedoch nicht komplett frei positioniert werden können sondern sind auf bestimmte, vorher definierte Anzeigebereiche beschränkt. Wichtig ist, dass die Anzeige von funktionskritischen Werten immer gut ersichtlich und für den User präsent sind.

Die im Demonstrator angestrebte Nutzeroberfläche umfasst zehn dedizierte Displays auf den in festgelegten Bereichen Informationen (von unterschiedlichen Applikationen) angezeigt werden. Die Hauptdisplays (Nummer 1, 3, 5) sind auf den Scheiben der Kabine angebracht, an den beiden A-Säulen sind jeweils zwei Hochformat Displays (Nummer 2, 4) angebracht werden. Unter dem Dach befinden sich 3 Querformat Display (Nummer 6, 7, 8). Zuletzt befinden sich in der Konsole jeweils links und rechts ein Touch Display (Nummer 10, 11). Alle Anzeigen werden vom zentralen Compositor-Rechner angesteuert. Der Compositor koordiniert auch die Darstellungen der Applikationen auf den einzelnen Displays sowie deren Zusammenspiel.



- Schwenkbarer Fahrersitz mit Bedienarmlehnen links und rechts
- Rückseitig Stauräume für Persönliche- und Fahrzeugbelange
- Transparent schaltbare Displayflächen auf der Front und den Seitenscheiben
- Bedien- und Anzeigenbereiche sowie Ambient light im Himmel



AP 8.5: Integration der Algorithmen zur Nutzerzustandserkennung und Handlungsempfehlung

Die Algorithmen der Nutzerzustandserkennung, sowie der Handlungsempfehlung werden je auf einer eigenen Recheneinheit abgebildet. Dieser Aufbau erlaubt eine separate Entwicklung der einzelnen Komponenten von unterschiedlichen Projektpartnern und vermeidet eine aufwändige Integration der Teilkomponenten auf einem Rechner. Die drei Hauptkomponenten Compositor, Nutzerzustandserkennung und Handlungsempfehlung sowie alle weiteren Applikationen kommunizieren über TCP/IP bzw. WebSocket. Hierfür wurden von InMach eine JsonRPC Schnittstelle definiert, welche es erlaubt Applikationen zu starten und Anzeigeflächen zuzuweisen. Des weiteren können Applikationen auf unterschiedliche Anzeigeflächen verschoben oder wieder beendet werden. Darüber hinaus werden Funktionen zur Sitzsteuerung und anderer Peripherie angeboten.

Über die vom KIT definierten Schnittstellen ist es möglich aktuelle (simulierte) Maschinendaten zu empfangen und Einstellungen an der Maschine vorzunehmen, die auch in der Simulation berücksichtigt werden.

AP 8.6: Integration, Verarbeitung und Speicherung von Maschinen- und Prozessdaten

Aufgrund der auf AP 4 basierenden Entscheidung keine Funktionskabine zu bauen sondern den Fokus auf eine Demonstratorkabine zu legen wurden die in AP 8.1 betrachteten Teile bzgl. der Speicherung von Maschinen- und Prozessdaten nicht weiter ausgearbeitet und umgesetzt sondern der hier geplante Aufwand wurde für die neu dazugekommen Aufgaben aufgewendet.

AP 8.7: Connectivity: In-Cabin, In-Field, Remote

Aufgrund der auf AP 4 basierenden Entscheidung keine Funktionskabine zu bauen sondern den Fokus auf eine Demonstratorkabine zu legen wurden die in AP 8.1 betrachteten Teile bzgl. der Connectivity nicht weiter ausgearbeitet und umgesetzt sondern der hier geplante Aufwand wurde für die neu dazugekommen Aufgaben aufgewendet.

AP 8.8: Integration und Test der Hard- und Softwaremodule

Die Maschinendaten werden über CAN angebunden und alle wichtigen Informationen auf den unterschiedlichen Anzeigeflächen angezeigt. Beim Aufbau des Demonstrators wurden alle Displays so wie die Teile der CEBIS Bedienkonsolen von CLAAS angebunden. Dafür wurden von CLAAS Testhardware und eine Protokollbeschreibung bereitgestellt. Des Weiteren wurden die Lineareinheit und Dreheinheiten des Sitzes bei InMach in Betrieb genommen und in das Gesamtsystem integriert, sodass auch dies von der zentralen Bedieneinheit aus benutzt werden kann.

AP 9 – Demonstrator und Funktionskabine

AP 9.1: Planung und Aufbau Demonstrator

Die Kabine wurde bei Budde unter Mitwirkung aller Projektpartner aufgebaut, wobei jeder Firma unterschiedliche Aufgaben zukamen. InMach war für die Anbindung aller Displays, sowie der Elektronik im Sitz, zu denen auch die Bedienkonsolen von CLAAS gehören, verantwortlich. Da auf dem Markt kein Fahrersitz, welcher der Ästhetik sowie dem Bedienkonzept der Fahrerkabine entspricht vorhanden war, wurde von Budde ein Sitzprototyp entworfen und gefertigt. InMach setzte hier die Ansteuerung der elektronischen Drehung sowie der linearen Verschiebung des Sitzes um. Nach dem Aufbau der Kabine wurde diese nach Karlsruhe zum KIT gebracht wo die restliche Installation und Inbetriebnahme der Elektronik sowie der Recheneinheiten abgeschlossen wurde. Dort erfolgen auch die Integration des Soundsystems und der Beamer.



Abbildung 7: Joystick Links



Abbildung 9: Aufbau Armlehne Rechts



Abbildung 8: Aufbau Armlehne

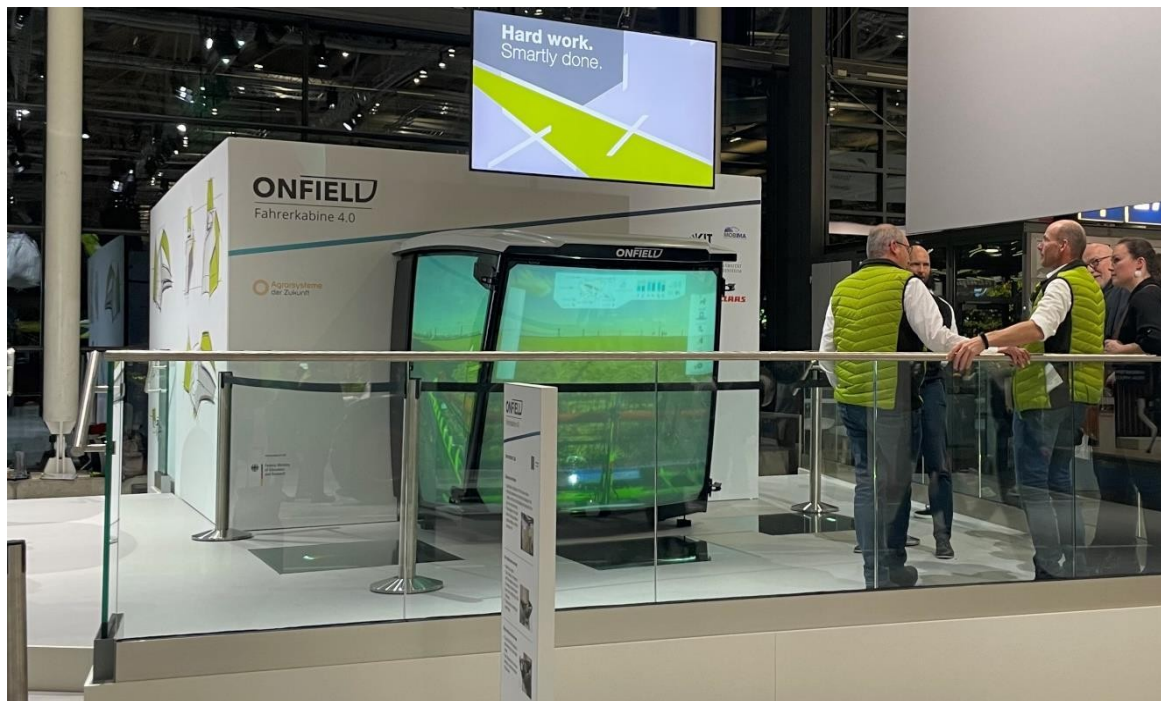


AP 9.2: Test des adaptiven HMIs mittels Demonstrator

Bei den Studien in Karlsruhe sowie bei Tests zeigten sich noch verschieden kleine Mängel die noch vor der Präsentation auf der Agritechnica 2023 behoben werden sollten. Dafür wurde bei einem Projekttreffen ein Aktionsplan ausgearbeitet.

Darauf basierend wurde die CPU des Compositor PCs ausgetauscht da hier, im Zusammenhang mit der Verwendung von vielen parallel geöffneten Applikationen, ein Performance-Engpass festgestellt wurde. Dieses Problem wurde verringert es gibt hier jedoch noch Potential für Verbesserungen. Des Weiteren wurde das zugrunde liegende Qt Framework auf die neueste Version aktualisiert um von den neuen Features und Bugfixes zu profitieren. Dadurch wurde es möglich den Ton vom Landwirtschaftssimulator zum Compositor zu streamen und diesen in der Kabine mit auszugeben wodurch ein noch immersiveres Erlebnis ermöglicht wird.

Ein Punkt, der des Öfteren bei Befragungen angemerkt wurde, war das Fehlen von Sonnenblenden. Deshalb wurde für die Agritechnica dieses Feature im Compositor implementiert. Nun ist es möglich die (virtuellen) Scheiben im oberen Bereich abzdunkeln. Zudem gab es noch verschiedene Bugfixes und kleinere Anpassungen an der UI zur Verbesserung der Useability. Dazu gehörte eine noch tiefere Integration des Dreh-/Drückgebers in das System um möglichst viele Funktionen ohne eine zusätzliche Verwendung des Touchscreens bedienen zu können.



AP 9.3: Bau einer Fahrerkabine 4.0

Der ursprünglich geplante Aufbau einer komplett funktionsfähigen Funktionskabine wurde verworfen, da sich während des Projektes gezeigt hat, dass das angestrebte Bedienkonzept zum jetzigen Zeitpunkt nur mit sehr großem Aufwand, bzw. nur eingeschränkt, in eine Funktionskabine überführt werden kann. Daher wurde beschlossen die Evaluierung mit der Demonstrorkabine durchzuführen. Dies hat den entscheidenden Vorteil, dass die Demonstrorkabine keinen strikten Sicherheitsbeschränkungen unterliegt und somit die Vision und das gesamte Potenzial der Fahrerkabine 4.0 umgesetzt und mit Probanden evaluiert werden kann.

Um dennoch Teile des Konzeptes der Fahrerkabine 4.0 im Feld zu erproben wurden diese für die Verwendung in einem aktuellen Mähdrescher des Projektpartners ATH angepasst und in Feldversuchen evaluiert. Hierfür wurde das HMI reduziert und die Interaktion mit dem Nutzer über Ein- und Ausgabemodule an den räumlichen und technischen Stand der Kabine angepasst. Zudem wurde der virtuelle Assistent an die Kommunikationssysteme der Maschine angebunden, um Bedieneingaben und Maschinenparameter auswerten zu können.

AP 10: Probandenstudien zur Systemvalidität

Dieses AP betrifft hauptverantwortlich das KIT bei dem InMach keinen nennenswerten Beitrag geleistet hat. Hiermit wird auf deren Sachbericht verwiesen.

AP 11: Probandenstudien zur Produktakzeptanz

Dieses AP betrifft hauptverantwortlich das KIT bei dem InMach keinen nennenswerten Beitrag geleistet hat. Hiermit wird auf deren Sachbericht verwiesen.

AP 12: Feldstudien während der Ernte

Dieses AP betrifft hauptverantwortlich das KIT und die ATH bei dem InMach keinen nennenswerten Beitrag geleistet hat. Hiermit wird auf deren Sachbericht verwiesen.

AP 13 – Reflexion und Transfer

AP 13.2: Einsatzszenarien abseits des Agrarsektors

Um das System noch zukunftsfähiger und erfolgsversprechender zu gestalten, wurden Aspekte der Übertragbarkeit stärker betrachtet werden. Dazu zählt die Übertragbarkeit auf andere Maschinen bzw. Anwendungen sowie die immer mehr in den Fokus rückende Biodiversität. Das System Fahrerkabine 4.0 bietet hierfür eine Methode, die nicht von der Größe oder der Art der Maschine abhängig ist, sondern stark vom Automatisierungslevel. Das System soll abhängig vom Automatisierungsgrad auf andere Maschinen und Anwendungsgebiete transferierbar sein. Außerdem wurde die Möglichkeit geprüft, Handlungsempfehlungen im Themengebiet des Precision Farmings hinzuzufügen. Im Hinblick auf eine steigende Robotisierung und Autonomisierung wurde zusätzlich eine Übertragbarkeit auf ein maschinenloses System geprüft werden. Eine über das Projekt hinausgehende Kooperation mit Partnerkonsortien aus den Agrarsystemen der Zukunft mit der Integration derer Systeme wurde ebenfalls diskutiert, um weiterführenden Projektideen zu ergänzen.

Ergebnisse der aktuellen Übertragbarkeit sowie im Zeithorizont von 5-10 Jahren:

1. Virtueller Assistent (aktuell): Speziell die Sprachausgabe ermöglicht es, den Fokus des Fahrers auf dessen Haupttätigkeit zu belassen, aber trotzdem Informationen zum Nutzer zu übertragen. Beispielsweise können Informationen, Fehlermeldungen oder Warnhinweise vorgelesen werden. Diese Funktion ist nicht nur auf die Fahrerkabine 4.0 beschränkt, sondern auch auf HMIs anderer Bereiche übertragbar, da sie technisch ausreichend entwickelt ist. Beispiele können Schienenfahrzeuge, Baumaschinen/mobile Arbeitsmaschinen, Forstmaschinen sowie Fahrzeuge zur Personenbeförderung sein. Des Weiteren ist das Konzept generell auch auf Büroarbeitsplätze und Maschinenleitstände anwendbar.

5-10 Jahre: Wird die Interaktion zwischen Nutzer und HMI bidirektional ausgebaut, können weitere Vorteile erzielt werden. Bei haptischer Interaktion, beispielsweise dem Quittieren von Fehlermeldungen oder der Auswahl von Möglichkeiten, ist bereits eine bidirektionale Interaktion umgesetzt. Schwieriger gestaltet sich

hierbei eine auditive Eingabe, auch Spracheingabe, mit der der Nutzer über den Sprachkanal mit dem HMI kommuniziert.

2. Zustandserfassung (aktuell): Das System der F4P0 mit einem stationären Eyetracker (und Fitnesstracker) könnte auch in der Montageindustrie angewendet werden. Auch eine Eyetracking-Brille in Kombination mit dem Fitnesstracker, auf die der Algorithmus, der in der F4P0 entwickelt wurde, angewendet wird, könnte in der Montageindustrie angewendet werden, um die Beanspruchung von Arbeitern zu messen. Der Einsatz des Echtzeitmesssystems der F4P0 in Verbindung mit einer Eyetracking-Brille und Fitnesstracker könnte auch für das Bedienen von Laufkränen relevant sein. Eine Vermeidung von Unter- und Überforderung ist hier besonders wichtig, um eine fehlerfreie Leistung zu garantieren. Die Übertragung der Zustandserfassung der F4P0 auf andere Fahrzeuge und Maschinen, die eine Fahrerkabine besitzen, ist naheliegend, da hier sehr ähnliche Bedingungen vorherrschen und der Bediener sich auch in unterschiedlichen Beanspruchungszuständen befinden kann, welche den Arbeitsprozess beeinflussen können.

5-10 Jahre: Im Bereich Schienenfahrzeuge könnte die Überwachung des kognitiven Zustands z.B. die Totmannschaltung ersetzen, z.B. in dem nach einer abgelaufenen Zeit, wo keine Reaktion erfolgt, ein Zwangsbremung erfolgt. Hier müsste allerdings die Detektionsgenauigkeit erhöht werden. Eine mögliche Weiterentwicklung hin zu einem mobilen System würde den möglichen Verwendungsumkreis sowie die Anwendungsvielfalt deutlich erweitern

3. Visualisierung (aktuell): Die Fahrerkabine 4.0 bietet im Vergleich zu Status-Quo-HMIs neue und deutlich erweiterte Möglichkeiten zur Visualisierung von Daten und Prozessen. Diese Prinzipien sind auf sehr viele Bereiche übertragbar. Beispielsweise können mobile Arbeitsmaschinen, Baumaschinen und Maschinenleitstände übersichtlicher gestaltet werden. Bei einem Mobilkran, bei dem der Blickwinkel des Fahrers vor allem von der Position des Kranhakens abhängt, könnten Statusinformationen auf geeigneten Anzeigegeräten mitwandern.

5-10 Jahre: Neben flexiblen, teildurchsichtigen Displays sind hierbei auch Projektionen in die Scheiben möglich. Großflächige Scheibendisplays ermöglichen eine Anpassbarkeit der Position von Informationen. Beispielsweise könnten bei einer Baumaschine Personen im Sicherheitsbereich detektiert und dargestellt werden. Der Vorteil von halbtransparenten Displays wäre, den Effekt von Augmented Reality zu erzielen, indem Informationen an dafür passenden Orten angezeigt werden. Die möglichen Bereiche, auf die sich dieses Prinzip übertragen lässt, sind vielfältig.

4. Verschiedene Arbeitsmodi (aktuell): Durch die drei Modi Entspannung/Einstieg, Fahren sowie Büro ist es möglich, die Konzentration des Nutzers auf verschiedene Teilprozesse zu lenken. Durch das Schwenken aus dem Fahrmodus kann es gelingen, den Fokus von der Fahraufgabe weg zu weiteren Tätigkeiten in der Fahrerkabine 4.0 zu lenken. Dieses Prinzip ist auf weitere Bereiche übertragbar. Grundlage dafür ist eine

ausreichende Automatisierung von Prozessen. Beispielweise können ähnliche Situationen bei Bohrgeräten oder industriellen Anlagen oder Werkzeugmaschinen gefunden werden. In der Zeit, in der die Maschine automatisiert arbeitet, können alternative Tätigkeiten durchgeführt werden. Die Verlagerung des Fokus kann hier helfen, ein ausreichendes Maß an angezeigt werden. Die möglichen Bereiche, auf die sich dieses Prinzip übertragen lässt, sind vielfältig.

5-10 Jahre: Grundlage für eine Verlagerung der Aufmerksamkeit weg vom Hauptprozess ist die ausreichende Automatisierung des Prozesses. Mit fortschreitender Entwicklungszeit an Systemen zur Umfelderkennung und Prozessautomatisierung sind weitere Verbesserungen bei der Gesamtautomatisierung zu erwarten, was dem HMI-Ansatz Tür und Tor öffnet.

5. Gesamtsystem (aktuell): In Bezug auf Biodiversität liegt eine bedeutende Möglichkeit zur Förderung dieser Ziele in der Integration von Agrarsystemen und dem Flottenmanagement von autonomen und nicht autonomen Fahrzeugen in die Fahrerkabine 4.0, die so eine Funktion als Leitstand abbilden kann. Durch die Nutzung von Echtzeit-Wetterdaten können Anbau und Ernte optimal geplant werden, was nicht nur Ernteverluste minimiert, sondern auch die Biodiversität fördert. Auch im Bereich Leitstände für autonome Maschinen/ Roboterschwärme wird eine Übertragung gesehen. In diesen Leitständen kann das System der Fahrerkabine 4.0 durch die Zustandserfassung sicherstellen, dass der Bediener in einem Zustand ist, in dem er seine Tätigkeit zuverlässig erfüllen kann. Der virtuelle Assistent kann auf wichtige Ereignisse hinweisen, Aufgaben priorisieren, Problemlösungsvorschläge anbieten und in Zeiten von geringer Aktivität andere Büro- oder entspannende Tätigkeiten vorschlagen.

Im Bereich Fahrzeugtechnik könnte der Assistent dem Fahrer beispielsweise Empfehlungen für Aktivitäten und Pausen während der Fahrt geben. Die Modalität (visuell oder akustisch) und Häufigkeit dieser Empfehlungen sollten individuell anpassbar sein, um sicherzustellen, dass der Fahrer das System nicht als bevormundend empfindet, sondern eher als unterstützend.

5-10 Jahre: Ein bedeutender Schritt in diese Richtung ist das Konzept der „Fahrerkabine 4.0“, das es Landwirten ermöglicht, Zeiträume während des Betriebs von landwirtschaftlichen Maschinen für andere Tätigkeiten zu nutzen. Die Planung von Schlägen erfordert einen enormen Dokumentations- und Planungsaufwand, der durch die „Fahrerkabine 4.0“ unterstützt werden kann. Eine virtuelle Assistenz, die mit diesem Planungsprozess und allen überwachten Parametern vernetzt ist, kann basierend auf einer Zustandserfassung Handlungsempfehlungen geben.

2.2 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Im Wesentlichen belaufen sich die Kosten auf die Bereiche Personalkosten im Bereich Engineering, Material Reisekosten wie folgt im Vergleich zur Vorkalkulation:

Personalkosten: 583.965 € (Vorkalkulation: 580.634 €)

Materialkosten: 6.091 € (Vorkalkulation 50.000 €)

Materialkosten: 9.425 € (Vorkalkulation 12.000 €)

Eine detaillierte Kostenbetrachtung ist dem Verwendungsnachweis zu entnehmen.

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Der heutige Beruf des Landwirtes steht unter einer enormen Herausforderung mit Blick auf lange Arbeitszeiten, permanente Verfügbarkeit, wechselnde Beanspruchung, Isolation auf der Maschine und nicht zuletzt die Work-Life-Balance. Weitere Einflußfaktoren sind die digitale Transformation, Roboterisierung sowie Maßnahmen im Sinne der Nachhaltigkeit / Biodiversität.

Ziel des Forschungsprojekts war es, die Beanspruchung von Nutzern auf hochautomatisierten Mähdreschern während der langen Arbeitszeiten im Erntebetrieb durch gezielte Handlungsempfehlungen konstant über den Verlauf des Tages zu halten.

InMach setzte hierfür seine Experten aus den Bereichen HMI / Software- und Elektronikentwicklung ein, welche neben Konzeptions- und Entwicklungstätigkeiten auch in der Kommunikation mit potentiellen Kunden und Endanwendern, wie beispielsweise am Demonstrator „Fahrerkabine 4.0“ am CLAAS Stand auf der Agritechnica 2024.

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

Das Projekt war aus technischer Sicht erfolgreich. Die Firma InMach hat unter anderem Erfahrung und Wissen in folgenden Bereichen erworben:

- Mensch-Maschine-Interaktion

- Entwurf von E/E Architekturen für mobile Arbeitsmaschinen, insbesondere auch im Kabinenbereich
- Entwurf eines verteilten HMI-Systems / Inhalten

Diese Kenntnisse werden in Zukunft auch in anderen Projekten von Nutzen sein, und haben InMach dabei geholfen sich aktiv in Arbeitsgruppen der vernetzten und autonomen Arbeitsmaschine im VDMA und der Agricultural Electronics Industry Foundation einzubringen und nachhaltig von den dort gemeinsam erarbeiteten Erkenntnissen zu profitieren.

Zudem wurde auf Basis der Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt FahrerKABINE 4.0 wurde ein Nachfolgeprojekt „OnField 2.0“ erarbeitet und beantragt. Ziel in diesem Projekt ist es, eine mobile Steuerzentrale für autonome Erntemaschinen zu entwickeln, die es ermöglicht, remote autonome Maschinen zu steuern und zu überwachen. Die Steuerzentrale soll auf der Farm, beim Lohnunternehmer, im Servicewagen oder auf einer Maschine zum Einsatz kommen. Das System soll dazu dienen, dem Landwirt/Lohnunternehmer mehr flexible Arbeitszeiten zu ermöglichen und dem Fachkräftemangel entgegenzuwirken. Dadurch kann die Vereinbarkeit von Familie und Beruf sowie die Attraktivität des landwirtschaftlichen Berufs gesteigert werden.

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

Die Ergebnisse des Forschungsprojekt Kabine 4.0 zeigen, dass z.B. die Konnektivität einer Kabine mit verschiedenen Teilnehmern anderer Bereiche immer wichtiger wird. So sind z.B. Wetterdaten, Informationen zum Schlag oder Hofdaten (z.B. 365Farmnet) über die Anbindung der Farm für die Nutzer von hohem Interesse. Seitens CLAAS wurde deshalb das System CLAAS connect entwickelt.

Das System CLAAS connect legt die digitale Grundlage eines Betriebes für Smart Farming und kann dazu genutzt werden, das Management von Betrieb und Fuhrpark zu vereinfachen, Prozesse zu optimieren und sich mit CLAAS Servicepartnern zu vernetzen. Die Plattform lässt sich sowohl über den Rechner als auch per App auf dem Smartphone nutzen.

Weitere Projekte in der Forschung waren das Projekt Tango, welches inhaltlich das Thema „Verbesserung des Nutzererlebnisses und die Akzeptanz von automatisierten Fahrfunktionen im LKW im Straßenverkehr“ behandelt. Das Projekt wurde im Jahr 2020 abgeschlossen und danach von 2020-2024 das Nachfolgeprojekt Rumba durchgeführt. Hier ist das Ziel der Entwicklung von Benutzeroberflächen für das

automatisierte Fahren. Im direkten Bezug auf Agrarsysteme sind keine weiteren Forschungsprojekte bekannt.

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

Präsentationsmöglichkeiten bestehen am Sitz des Unternehmens in Ulm sowie in folgenden Konferenz und Messebeiträgen des Projektteilnehmers InMach:

Konferenzbeiträge

Das Projektvorhaben „Fahrerkabine 4.0“ wurde im Rahmen des folgenden Konferenzbeitrages mit vorgestellt:

8. Fachtagung MOBILE MACHINES – Sicherheit und Fahrerassistenz für Arbeitsmaschinen, 18. Februar 2025, Karlsruhe

M. Strobel, Autonomes Fahren bei mobilen Arbeitsmaschinen – Aspekte funktionaler Sicherheit unter Einbezug leistungsfähiger KI Methoden (SafeAI)

Weitere Tagungs- und Konferenzbeiträge der Partner, u.a.

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.)

Messen

BAUMA 2025, München

IVT expo, Juni 2025, Köln

DEMOPARK, Juni 2025, Eisenach

AGRITECHNICA, November 2025, Hannover

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) report
3. title Agrar systems of the future: „drivers cabin 4.0 – development of a stress adapitve user innterface for agricultural machine operators – subproject C“	
4. author(s) (family name, first name(s)) Wopfner, Manuel Strobel, Matthias	5. end of project 30.11.2024
	6. publication date August 2025
	7. form of publication document
8. performing organization(s) (name, address) InMach Intelligente Maschinen GmbH, Nicolaus-Otto-Str. 4, 89079 Ulm	9. originator's report no.
	10. reference no. 031B0735C
	11. no. of pages 36
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references
	14. no. of tables
	15. no. of figures 14
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)	

18. abstract

In the project an adaptive human-machine interface (HMI) was developed that takes into account the farmer's current stress level and keeps it within an optimal range or shifts it there. This main goal was successfully demonstrated and proven.

The original plan to build a fully functional cabin was scrapped because it became clear during the project that the desired operating concept could only be implemented in a functional cabin with a great deal of effort or with limitations at this stage. It was therefore decided to carry out the evaluation using the demonstrator cabin. This has the decisive advantage that the demonstrator cabin is not subject to strict safety restrictions, meaning that the vision and full potential of the Driver Cabin 4.0 can be implemented and evaluated with test subjects. The functional cab, which is still to be developed, will then be limited exclusively to the basic functional components in order to enable subsequent validation in field use. This includes the integration of status detection and the action recommendation algorithm into the current machine of the project partner ATH.

During the project progress, trends in the agricultural sector were first analysed and summarized from a technical perspective. Furthermore, surveys were conducted and all of these findings were used to create preliminary specifications. These specifications revealed that a high degree of HMI flexibility was required. As a result, several input and output devices were defined, as well as display options on a large number of screens. Furthermore, the HMI not only uses classic input and output devices, but also voice control. The display on the screens should be customizable by the user to a certain extent. However, content should not be completely freely positionable, but rather limited to specific, predefined display areas. It is important that the display of function-critical values is always clearly visible and present for the user.

During system development, the specific requirements of the demonstrator were taken into account, but where possible, components were used that could be transferred directly or with minimal effort to a functional cabin. To this end, the system architecture with all interfaces to the individual components was defined in SubAP 8.1. It was decided that a CAN-bus would be used as the interface to the vehicle and that a link to the CEBIS system from CLAAS would be required. In SubAP 8.2, components were developed for the demonstrator in order to implement the desired operating concept. For this purpose, the circuit board design for a CAN IO ECU was created and implemented. This ECU converts various digital inputs and outputs to a CAN protocol. This allows the control software to control and read out the various peripheral devices. In the further course of the project, the necessary firmware for the ECU was also implemented.

The user interface envisaged in the demonstrator comprises ten dedicated displays on which information (from various applications) is shown in specified areas. The main displays (numbers 1, 3, 5) are mounted on the cabin windows, while two portrait displays (numbers 2, 4) are mounted on each of the two A-pillars. There are three landscape displays (numbers 6, 7, 8) under the roof. Finally, there is a touch display (numbers 10, 11) on the left and right of the console. All displays are controlled by a central compositor processing unit. The compositor also coordinates the display of the applications on the individual displays and their interaction.

The algorithms for user state recognition and action recommendations are each mapped to their own computing unit. This structure allows the individual components to be developed separately by different project partners and avoids the need for complex integration of the subcomponents on a single computer. The three main components—compositor, user state recognition, and action recommendation—as well as all applications communicate via TCP/IP or WebSocket. The machine data is connected via CAN and shown on the displays. When setting up the demo, all displays and CLAAS control consoles were connected. Plus, the linear unit and rotary units of the seat were integrated so that these can also be used from the central controls.

The cabin was built at Budde with the cooperation of all project partners, with each company performing different tasks. InMach was responsible for connecting all displays and the electronics in the seat, including the CLAAS control consoles. Since there was no driver's seat on the market that matched the aesthetics and operating concept of the driver's cab, Budde designed and manufactured a seat prototype. InMach implemented the control of the electronic rotation and linear movement of the seat. After the cabin was assembled, it was transported to KIT in Karlsruhe, where the remaining installation and commissioning of the electronics and computing units was completed. The sound system was also integrated there.

The studies in Karlsruhe and the tests revealed various minor shortcomings that needed to be remedied before the presentation at Agritechnica. An action plan was drawn up at a project meeting to address these issues.

Based on this, the CPU of the compositor PC was replaced, as a performance bottleneck was identified here in connection with the use of many applications opened in parallel. This problem has been reduced, but there is still potential for improvement. Furthermore, the underlying Qt framework was updated to the latest version to benefit from new features and bug fixes. This now makes it possible to stream the sound from the farming simulator to the compositor and output it in the cabin, enabling an even more immersive experience.

One point that was frequently mentioned in surveys was the lack of sun visors. That is why this feature was implemented in the compositor for Agritechnica. It is now possible to darken the (virtual) windows in the upper area. In addition, there were various bug fixes and minor adjustments to the UI to improve usability. This included even deeper integration of the rotary/push button into the system so that as many functions as possible can be operated without additional use of the touchscreen.

19. keywords

Agrar systems of the future, Human-machine-interface (HMI), Autonomous Machines, Cabin of the future, driver's state recognition, high-performance E/E - architectures

20. publisher

21. price

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Agrarsysteme der Zukunft: „Fahrerkabine4.0 – Entwicklung einer beanspruchungsadaptiven Nutzerschnittstelle für Landmaschinenbetreiber – Teilprojekt C“.	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Wopfner, Manuel Strobel, Matthias	5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.11.2024
	6. Veröffentlichungsdatum August 2025
	7. Form der Publikation Dokument
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) InMach Intelligente Maschinen GmbH, Nicolaus-Otto-Str. 4, 89079 Ulm	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 031B0735C
	11. Seitenzahl 36
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben
	14. Tabellen
	15. Abbildungen 14
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	

18. Kurzfassung

Im Projekt wurde eine adaptive Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI) entwickelt, die das jeweilige Beanspruchungsniveau des Landwirts berücksichtigt und dieses in einem optimalen Bereich zu halten bzw. dorthin zu verschieben. Dieses Hauptziel konnte erfolgreich demonstriert und nachgewiesen werden.

Der ursprünglich geplante Aufbau einer komplett funktionsfähigen Funktionskabine wurde verworfen, da sich während des Projektes gezeigt hat, dass das angestrebte Bedienkonzept zum jetzigen Zeitpunkt nur mit sehr großem Aufwand, bzw. nur eingeschränkt, in eine Funktionskabine überführt werden kann. Daher wurde beschlossen die Evaluierung mit der Demonstratorkabine durchzuführen. Dies hat den entscheidenden Vorteil, dass die Demonstratorkabine keinen strikten Sicherheitsbeschränkungen unterliegt und somit die Vision und das gesamte Potenzial der Fahrerkabine 4.0 umgesetzt und mit Probanden evaluiert werden kann. Die noch zu entwickelnde Funktionskabine beschränkt sich dann ausschließlich auf die grundlegenden funktionalen Komponenten um eine anschließende Validierung im Feldeinsatz zu ermöglichen. Dies umfasst eine Integration der Zustandserfassung sowie des Handlungsempfehlungsalgorithmus in die aktuelle Maschine des Projektpartners ATH.

Im Projektverlauf wurden zuerst die Trends im Agrarsektor aus technischer Sicht analysiert und zusammengefasst. Des Weiteren wurden Befragungen durchgeführt und mit all diesen Erkenntnissen ein vorläufiges Lastenheft erstellt. Aus diesem ergab sich, dass eine sehr hohe Flexibilität der HMI nötig ist. So wurden mehrere Ein- und Ausgabegeräte sowie die Darstellung auf einer großen Anzahl an Displays definiert. Des Weiteren dienen als HMI nicht nur klassische Eingabe- und Ausgabegeräte, sondern auch eine Sprachsteuerung. Die Darstellung auf den Displays soll in einem gewissen Umfang vom User selbst individuell gestaltet werden können. Inhalte sollen jedoch nicht komplett frei positioniert werden können, sondern sind auf bestimmte, vorher definierte Anzeigebereiche beschränkt. Wichtig ist, dass die Anzeige von funktionskritischen Werten immer gut ersichtlich und für den User präsent sind.

Bei der Systementwicklung wurden die speziellen Anforderungen des Demonstrators berücksichtigt, jedoch wenn möglich Komponenten verwendet welche direkt oder ohne großen Aufwand in eine Funktionskabine überführt werden können. Dazu wurde in SubAP 8.1 die Systemarchitektur mit alln Schnittstellen zu den einzelnen Komponenten definiert. So wurde entschieden, dass als Schnittstelle zum Fahrzeug ein CAN-Bus zum Einsatz kommt und eine Verknüpfung mit dem CEBIS System der Firma CLAAS benötigt wird. Im SubAP 8.2 wurden Komponenten für den Demonstrator entwickelt um das angestrebte Bedienkonzept umzusetzen. Dazu wurde das Platinendesign für eine CAN IO ECU erstellt und umgesetzt. Diese ECU setzt unterschiedliche digitale Eingänge sowie Ausgänge auf ein CAN-Protokoll um, sodass aus der Steuerungssoftware die unterschiedlichen Peripheriegeräte angesteuert bzw. ausgelesen werden können. Im weiteren Projektverlauf wurde zusätzlich die nötige Firmware für die ECU umgesetzt.

Die im Demonstrator angestrebte Nutzeroberfläche umfasst zehn dedizierte Displays auf den in festgelegten Bereichen Informationen (von unterschiedlichen Applikationen) angezeigt werden. Die Hauptdisplays (Nummer 1, 3, 5) sind auf den Scheiben der Kabine angebracht, an den beiden A-Säulen sind jeweils zwei Hochformat Displays (Nummer 2, 4) angebracht werden. Unter dem Dach befinden sich 3 Querformat Display (Nummer 6, 7, 8). Zuletzt befinden sich in der Konsole jeweils links und rechts ein Touch Display (Nummer 10, 11). Alle Anzeigen werden von einer zentralen Compositor Recheneinheit angesteuert. Der Compositor koordiniert auch die Darstellungen der Applikationen auf den einzelnen Displays sowie deren Zusammenspiel.

Die Algorithmen der Nutzerzustandserkennung, sowie der Handlungsempfehlung werden je auf einer eigenen Recheneinheit abgebildet. Dieser Aufbau erlaubt eine separate Entwicklung der einzelnen Komponenten von unterschiedlichen Projektpartnern und vermeidet eine aufwändige Integration der Teilkomponenten auf einem Rechner. Die drei Hauptkomponenten Compositor, Nutzerzustandserkennung und Handlungsempfehlung sowie alle Applikationen kommunizieren über TCP/IP bzw. WebSocket.

Die Maschinendaten werden über CAN angebunden und auf den Displays angezeigt. Beim Aufbau des Demonstrators wurden alle Displays so wie die Bedienkonsolen von CLAAS angebunden. Des Weiteren wurden die Lineareinheit und Dreheinheiten des Sitzes integriert, sodass auch dies von den zentralen Bedienelementen aus benutzt werden kann.

Die Kabine wurde bei Budde unter Mitwirkung aller Projektpartner aufgebaut, wobei jede Firma unterschiedliche Aufgaben zu kamen. InMach war für die Anbindung aller Displays, sowie der Elektronik im Sitz, zu denen auch die Bedienkonsolen von CLAAS gehören, verantwortlich. Da auf dem Markt kein Fahrersitz, der die Ästhetik sowie das Bedienkonzept der Fahrerkabine entspricht, vorhanden war wurde von Budde ein Sitzprototyp entworfen und gefertigt. InMach setzte hier die Ansteuerung der elektronischen Drehung sowie der Linearen Verschiebung des Sitzes um. Nach dem Aufbau der Kabine wurde diese nach Karlsruhe zum KIT gebracht und dort wurde die restliche Installation und Inbetriebnahme der Elektronik sowie der Recheneinheiten abgeschlossen. Dort erfolgte auch die Integration des Soundsystems.

Bei den Studien in Karlsruhe sowie bei Tests zeigten sich noch verschiedenen kleine Mängel die noch vor der Präsentation auf der Agritechnica behoben werden sollten. Dafür wurden bei einem Projekttreffen ein Aktionsplan ausgearbeitet.

Darauf basierend wurde die CPU des Compositor PCs ausgetauscht, da hier im Zusammenhang mit der Verwendung von vielen parallel geöffneten Applikationen ein Performance-Engpass festgestellt wurde. Dieses Problem wurde verringert es gibt hier jedoch noch Potential für Verbesserungen. Des Weiteren wurde das zugrunde liegende Qt Framework auf die neueste Version aktualisiert um von den neuen Features und Bugfixes zu profitieren. Dadurch ist es nun möglich den Ton vom Landwirtschaftssimulator zum Compositor zu streamen und diesen in der Kabine mit auszugeben was noch ein immersiveres Erlebnis ermöglicht.

Ein Punkt, der des Öfteren bei Befragungen angemerkt wurde, war das Fehlen von Sonnenblenden. Deshalb wurde für die Agritechnica dieses Feature im Compositor implementiert. Nun ist es möglich die (virtuellen) Scheiben im oberen Bereich abzudunkeln. Zudem gab es noch verschiedene Bugfixes und kleinere Anpassungen an der UI zur Verbesserung der Useability. Dazu gehörte eine noch tiefere Integration des Dreh-/Drückgebers in das System um möglichst viele Funktionen ohne eine zusätzliche Verwendung des Touchscreens bedienen zu können.

19. Schlagwörter

Agrarsysteme der Zukunft, Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI), Autonome Maschinen, Kabine der Zukunft, Nutzerzustandserkennung, Hochleistungsfähige E/E- Architekturen

20. Verlag

21. Preis