

# Entwicklung einer adaptiven Benutzerschnittstelle zur Optimierung des kognitiven Benutzerzustands

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

M.Sc. Steffen Metzger<sup>1\*</sup>, M.Sc. Patrick Lehr<sup>1</sup>, M.Sc. Valentin Ernst<sup>2</sup>,  
Prof. Dr.-Ing. Marcus Geimer<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Institutsteil Mobile Arbeitsmaschinen, Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe, Deutschland*

<sup>2</sup> *Institut für Agrartechnik, Universität Hohenheim, Hohenheim, Deutschland*

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

### **Zusammenfassung:**

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

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

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

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

### **Abstract**

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

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

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

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

## 1 Einleitung

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

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

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

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

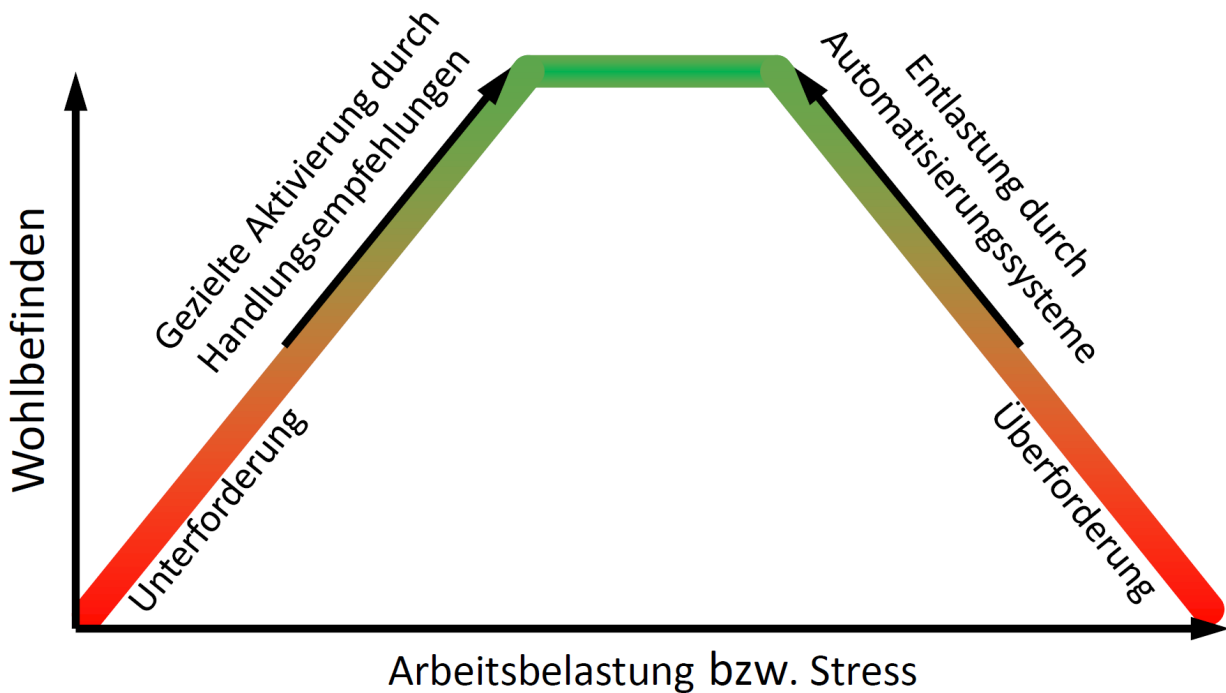


Abbildung 1: Prinzip der optimalen Beanspruchung nach de Waard [1]

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

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

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

## 2 Vorgehen und Stand der Forschung

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

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

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

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

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

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

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

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

### 3 Umsetzung des Algorithmus

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

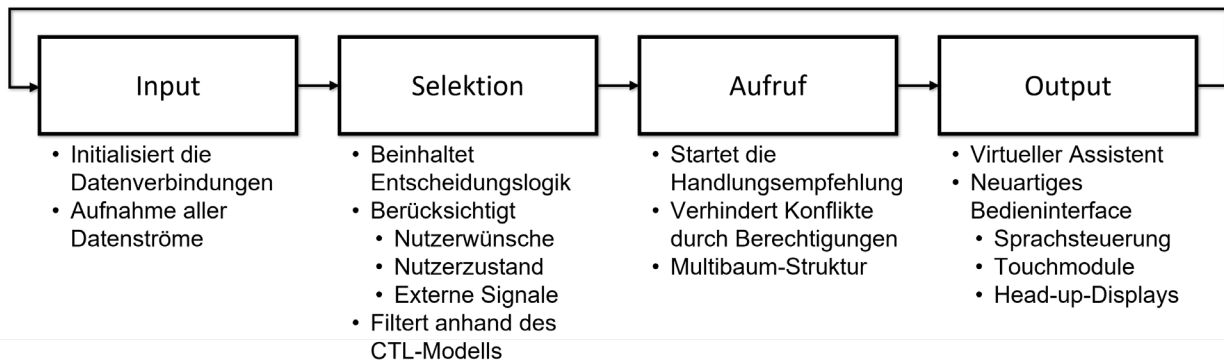


Abbildung 2: Vereinfachter Algorithmus-Ablauf

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

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

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

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

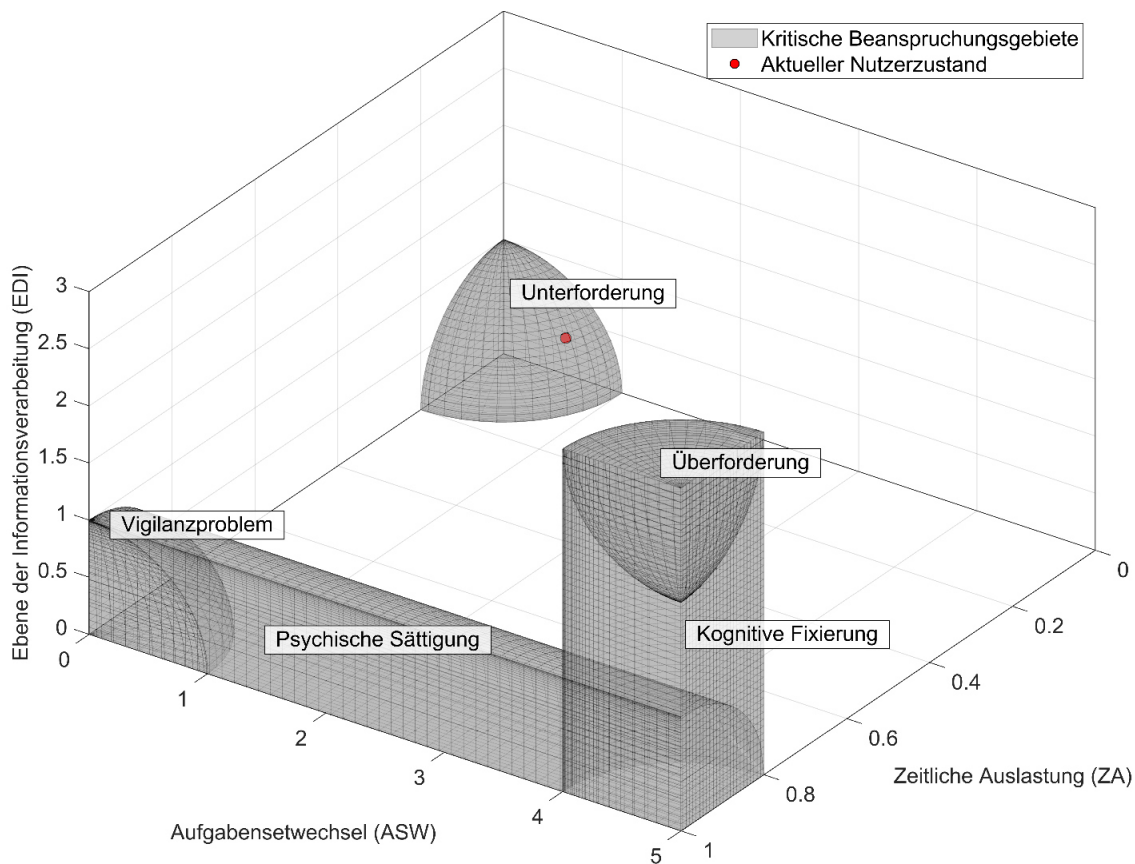


Abbildung 3: Belastungsraum des CTL-Modells nach Jeschke [3]



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

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

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

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

#### 4 Zusammenfassung und Ausblick

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

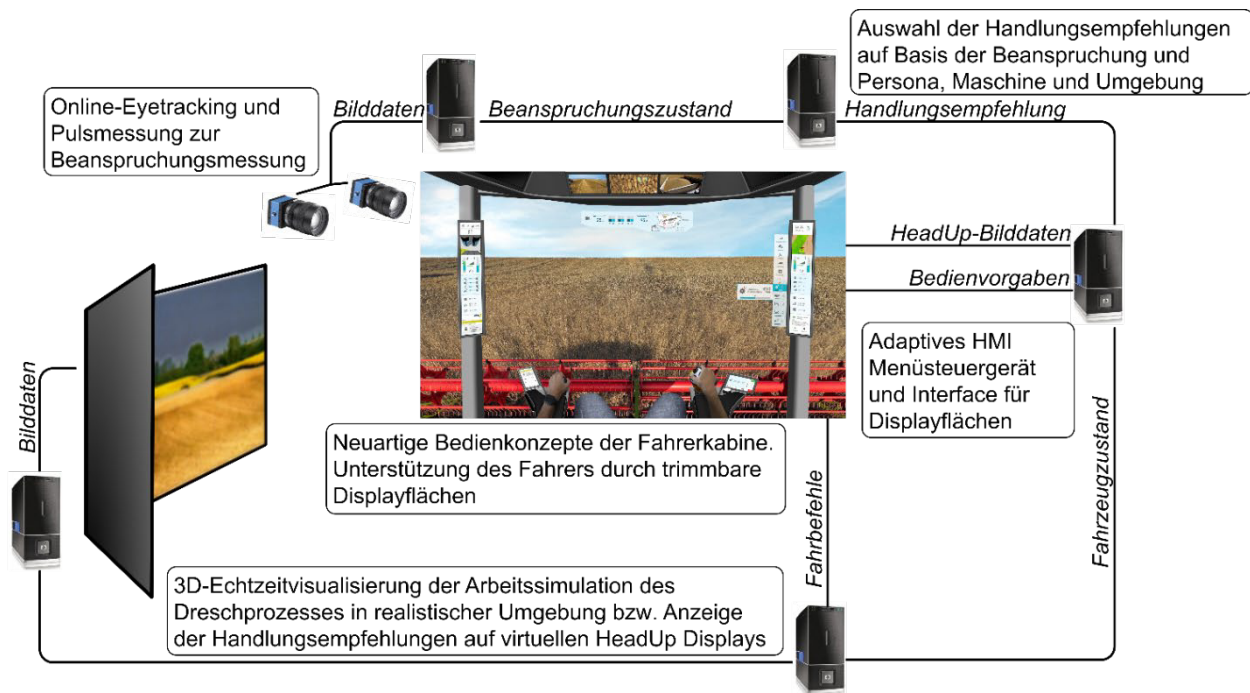


Abbildung 4: Gesamtsystem "Fahrerkabine 4.0"

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

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

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

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

## 5 Danksagung

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

## Literatur

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

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