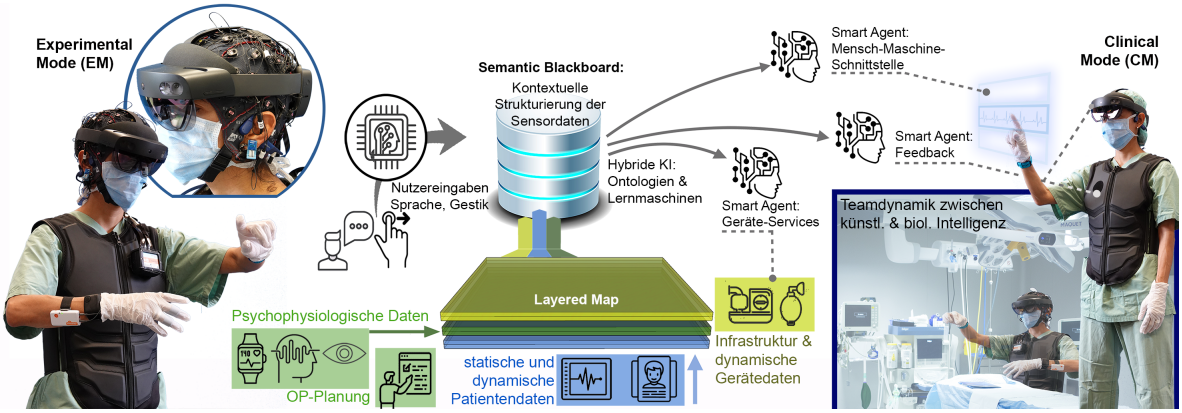
Sachbericht zum Verwendungsnachweis

Universität des Saarlandes (UdS)



DIGITAL SCRUBS:
Interpersonelles und multimodales Aufmerksamkeitsassistenzsystem zur kontextsensitiven, neuroergonomischen Mensch Maschine Interaktion in vernetzten Operationssälen

Teil I: Kurzbericht

Förderkennzeichen: 16SV9059

Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2022 - 31.01.2026

Teilvorhaben: Koordination, Digital Scrubs Modul und Neuroergonomie

Projektleitung:

Institut für Systemische Neurowissenschaften und Neurotechnologie
Prof. Dr. Dr. Daniel J. Strauss
Geb. 90.5
66421 Homburg/Saar

Institut für Klinisch-Experimentelle Chirurgie
Prof. Dr. Matthias Laschke
Geb. 65 / 66
66421 Homburg/Saar

Projektpartner:

semvox GmbH (SemVox)
ZeMA gGmbH - Zentrum für Mechatronik und Automatisierungstechnik (ZeMA)[1]
nexus Institut für Kooperationsmanagement und interdisziplinäre Forschung GmbH (NEX)
abat+ GmbH (abat+)

[1] 2026: Weiterentwicklung zum Saarland Engineering Institute (SEI)

1 Ursprüngliche Aufgabenstellung und Aktueller Stand der Technik

Moderne Operationssäle stellen chirurgische Teams aufgrund der zunehmenden Komplexität medizinischer Eingriffe, der Vielzahl verfügbarer Informationen und der hohen Anforderungen an Aufmerksamkeit und Entscheidungsfähigkeit vor große Herausforderungen. Trotz erheblicher Fortschritte im Bereich der Digitalisierung und der technischen Assistenzsysteme berücksichtigen bestehende Lösungen bislang nur unzureichend die neurokognitiven Zustände der Nutzer*innen. Aktuelle OP-Assistenzsysteme basieren überwiegend auf einzelnen Informationskanälen, beispielsweise visuellen oder auditiven Warnungen, und berücksichtigen weder die individuelle kognitive Belastung noch Umgebungsfaktoren wie Lärm, Ablenkung oder Arbeitsbelastung des gesamten OP-Teams.
Die ursprüngliche Zielsetzung des Teilvorhabens bestand daher in der Entwicklung eines KI-gestützten, interaktiven Assistenzsystems für den digitalen Operationssaal, das die neuroergonomische Situation des OP-Teams erfassen und situationsabhängig relevante Informationen über unterschiedliche Sinnesmodalitäten bereitstellen kann. Durch die Kombination aus psychophysiologischer Datenerfassung, KI-basierter Analyse und multimodaler Informationsübertragung sollte eine Reduktion der kognitiven Belastung und Ermüdung erreicht sowie langfristig eine Verbesserung der Prozessqualität und Patientensicherheit ermöglicht werden. Hierzu sollte ein Demonstrator auf Technology Readiness Level 5 aufgebaut werden, der verschiedene Sensor- und Interaktionssysteme integriert und sowohl im Experimental Mode mit umfassender neurophysiologischer Messtechnik als auch perspektivisch in einem Clinical Mode mit minimal-invasiver Sensorik betrieben werden kann.
Zu Projektbeginn befand sich die Forschung im Bereich Neuroergonomie im Operationssaal noch in einem frühen Entwicklungsstadium. Zwar existierten erste Ansätze zur Messung kognitiver Belastung und Aufmerksamkeit mittels EEG, Wearables oder verhaltensbezogener Parameter, jedoch fehlten standardisierte Konzepte zur Integration dieser Informationen in operative Assistenzsysteme. Ebenso waren multimodale Informationsübertragung und adaptive Mensch Maschine Interaktion in sicherheitskritischen medizinischen Umgebungen bislang nur unzureichend untersucht.
Im Rahmen des Projekts DIGITAL SCRUBS konnte diese Forschungslücke adressiert werden. Es wurde eine modulare Plattform entwickelt, die multimodale Sensorik, Echtzeit Datenverarbeitung, KI-basierte Analyseverfahren und verschiedene Interaktionsmöglichkeiten verbindet. Erste experimentelle Untersuchungen konnten zeigen, dass insbesondere multimodale Feedbackstrategien die Informationsverarbeitung unterstützen und gegenüber fehlender oder unimodaler Rückmeldung Vorteile hinsichtlich Reaktionszeiten und sicherheitsrelevanter Aufgabenbearbeitung bieten. Damit wurden wesentliche technische und wissenschaftliche Grundlagen für zukünftige adaptive Assistenzsysteme im digitalen Operationssaal geschaffen.

2 Ablauf des Vorhabens

Zum Erreichen des in diesem Projekt angestrebten Zieles wurden 6 Arbeitspakete (APs) abgearbeitet
AP1. Koordination Im Rahmen des Arbeitspakets wurden die organisatorischen und administrativen Voraussetzungen für die erfolgreiche Durchführung des Projekts geschaffen. Hierzu gehörten die Koordination der Projektpartner, die Durchführung regelmäßiger Konsortial- und Integrationstreffen sowie der Aufbau effizienter Kommunikations- und Datenaustauschstruk-

turen. Durch den kontinuierlichen fachlichen Austausch konnten die Entwicklungsarbeiten abgestimmt und die Zusammenarbeit zwischen den wissenschaftlichen, klinischen und industriellen Partnern während der gesamten Projektlaufzeit sichergestellt werden. Außerdem wurde Wert auf das Mentoring des wissenschaftlichen Nachwuchs gelegt.

AP2. DIGITAL SCRUBS Modul Im Rahmen dieses Arbeitspakets wurden die verschiedenen Sensor-, Mess- und Assistenzsysteme über eine gemeinsame Dateninfrastruktur miteinander verbunden und in die Serverarchitektur des Projekts integriert. Hierfür wurden Kommunikationsschnittstellen entwickelt, Datenströme synchronisiert und die Grundlage für die Echtzeitverarbeitung sowie den Datenaustausch zwischen den Projektpartnern geschaffen. Die entstandene Infrastruktur ermöglicht sowohl die Integration KI-basierter Assistenzfunktionen als auch die flexible Erweiterung des Systems um zusätzliche Sensoren und Interaktionskomponenten.

AP3. Digitaler Operationssaal Im Rahmen dieses Arbeitspakets wurde die technische Infrastruktur zur synchronisierten Erfassung, Verarbeitung und Visualisierung multimodaler Daten entwickelt und aufgebaut. Hierzu wurden verschiedene Mess- und Stimulationssysteme über ein gemeinsames Datenmanagement integriert, Schnittstellen implementiert sowie eine modulare Softwareplattform zur Steuerung der Experimente und Echtzeitverarbeitung der Daten entwickelt. Damit wurde die technische Grundlage für die Durchführung der neuroergonomischen Studien und die Entwicklung adaptiver Assistenzfunktionen im digitalen Operationssaal geschaffen.

AP4. geni:OS4OR Im Rahmen dieses Arbeitspakets wurde die Integration der entwickelten Sensor-, Mess- und Interaktionssysteme in die Assistenz- und Serverinfrastruktur der industriellen Projektpartner umgesetzt. Hierzu wurden Schnittstellen für den Austausch multimodaler Daten spezifiziert und implementiert sowie eine zentrale Infrastruktur zur Speicherung, Synchronisation und Verarbeitung der Daten aufgebaut. Die entwickelte Architektur ermöglichte die Zusammenführung heterogener Datenquellen aus dem digitalen Operationssaal und schuf die Grundlage für KI-basierte Analyse- und Assistenzfunktionen.
Im Projektverlauf wurden verschiedene Kommunikationskonzepte evaluiert und optimiert. Neben der initialen Umsetzung einer Kafka-basierten Datenverarbeitung (Open-Source-Event-Streaming-Plattform zur Erfassung, Speicherung und Verarbeitung von großen Datenströmen in Echtzeit) wurde insbesondere die Nutzung des Lab Streaming Layer (LSL)-Protokolls zur hochpräzisen Synchronisation unterschiedlicher Messsysteme etabliert. Die während der Messkampagnen erhobenen multimodalen Datensätze wurden für das Training und die Validierung KI-basierter Modelle genutzt, die anschließend auf der lokalen Serverinfrastruktur integriert und getestet wurden. Zusätzlich wurden erste sprach- und gestenbasierte Interaktionskonzepte umgesetzt, um eine intuitive Steuerung digitaler Assistenzfunktionen im Operationssaal zu ermöglichen.

AP5. Neuroergonomie Im Rahmen dieses Arbeitspakets wurden die entwickelten Assistenz- und Interaktionskonzepte in einer Reihe von Pilotstudien und einer umfassenden experimentellen Messreihe wissenschaftlich evaluiert. Dabei wurden verschiedene uni- und multimodale Informations- und Feedbackstrategien hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf Leistung, Aufmerksamkeit und kognitive Belastung untersucht. Die gewonnenen Daten bilden die Grundlage für

mehrere wissenschaftliche Publikationen und bestätigen das Potenzial multimodaler, adaptiver Assistenzsysteme zur Verbesserung der Mensch Maschine Interaktionen im digitalen Operationssaal.

AP6. Partizipation/ELSI Im Rahmen dieses Arbeitspakets wurden die klinischen Anwendungsfälle gemeinsam mit erfahrenen Operateur*innen des Universitätsklinikums des Saarlandes definiert und die ethischen Voraussetzungen für die Durchführung der Studien geschaffen. Der erforderliche Ethikantrag wurde erstellt, erfolgreich bewilligt und bildete die Grundlage für die Durchführung der experimentellen Untersuchungen im weiteren Projektverlauf und AP 5.

3 Wesentliche Ergebnisse

Im Rahmen des Projekts DIGITAL SCRUBS wurde eine modulare Plattform für die neuroergonomische Untersuchung und Unterstützung von Arbeitsteams im digitalen Operationssaal entwickelt. Die Plattform integriert verschiedene Sensor-, Mess- und Interaktionssysteme zur Erfassung physiologischer, verhaltensbezogener und umgebungsbezogener Daten sowie zur multimodalen Informationsübertragung über visuelle, auditive und haptische Kanäle.
Ein wesentliches Ergebnis ist die erfolgreiche technische Integration heterogener Hard- und Softwaresysteme unterschiedlicher Hersteller in eine gemeinsame Daten- und Serverinfrastruktur. Hierfür wurden Kommunikationsschnittstellen entwickelt, Datenströme synchronisiert und Verfahren zur Echtzeitverarbeitung multimodaler Daten etabliert. Dadurch konnte eine flexible Forschungs- und Entwicklungsplattform geschaffen werden, die zukünftige Erweiterungen um zusätzliche Sensorik, Interaktionsmethoden und KI-basierte Assistenzfunktionen ermöglicht.

Auf wissenschaftlicher Ebene konnte gezeigt werden, dass multimodale Informationsübertragung gegenüber unimodalen oder fehlenden Rückmeldungen Vorteile hinsichtlich der Reaktionsgeschwindigkeit und der Fehlerreduktion bietet. Die durchgeführten neuroergonomischen Untersuchungen lieferten zudem Erkenntnisse darüber, wie unterschiedliche Informationsmodalitäten die Aufmerksamkeit, kognitive Belastung und Entscheidungsprozesse beeinflussen.
Darüber hinaus wurden erste adaptive Assistenzkonzepte für den digitalen Operationssaal umgesetzt. Dazu gehören unter anderem KI-gestützte Datenanalyseverfahren, sprach- und gestenbasierte Interaktionsmöglichkeiten sowie die Integration von Wearables zur kontinuierlichen Erfassung physiologischer Parameter. Die entwickelten Methoden und die aufgebaute Infrastruktur schaffen damit die Grundlage für zukünftige intelligente Assistenzsysteme, die medizinische Teams situationsabhängig unterstützen, die kognitive Belastung reduzieren und langfristig zur Verbesserung der Patientensicherheit beitragen können.
Die Ergebnisse wurden auf nationalen und internationalen wissenschaftlichen Konferenzen präsentiert und bilden die Grundlage für mehrere wissenschaftliche Publikationen sowie weiterführende Forschungsarbeiten im Bereich Neuroergonomie, Mensch Maschine Interaktion und digitale medizinische Assistenzsysteme. Des weiteren wurden die Ergebnisse auch auf regionalen Veranstaltungen öffentlichkeitswirksam demonstriert und durch Beiträge medizinisch-technischen Online Magazinen (MEDICA Online Redaktion) und Printmedien (Krankenhaus Technik Management (KTM) Magazin) dargestellt.