

Schlussbericht zum Projekt UFO

„Einsatz neUrophysiologischer Schnittstellen und taktile unterstützter virtueller Realität zur Förderung von beruflicher InklusiOn“

Teilvorhaben Neurophysiologische Schnittstelle



Förderkennzeichen 16SV8725

NIRx Medizintechnik GmbH

Abschnitt 1 – Kurzdarstellung

Zusammenfassung

Nah-Infrarot Spektroskopie (**NIRS**) ermöglicht funktionelle Hirnbildgebung außerhalb abgeschirmter Messumgebungen. Neurotechnologische Schnittstellen wie fNIRS-Systeme werden zunehmend zur Erfassung kognitiver Zustände eingesetzt. Bisherige Systeme sind meist kabelgebunden, unhandlich und kaum kompatibel mit VR-Anwendungen – besonders für NutzerInnen mit besonderen Bedürfnissen, wie AutistInnen, fehlt es an praxistauglichen Lösungen. Ziel des Teilvorhabens war die Entwicklung einer tragbaren, VR-kompatiblen fNIRS-Schnittstelle zur Echtzeit-Erfassung mentaler Zustände für adaptives Lernen in virtuellen Trainingsumgebungen. Das Projekt sollte soziale Kompetenzen fördern und zur beruflichen Inklusion beitragen. **AutistInnen** wurden aktiv in Konzeption, Testung und Evaluation eingebunden.

Entwickelt wurden ein miniaturisiertes fNIRS-Sensorfeld, eine drahtlose Datenerfassungseinheit sowie eine softwareseitige API- und Echtzeitanalyse-Schnittstelle der AURORA fNIRS Datenerfassungs-Software. Nutzerzentrierte Anforderungen wurden durch Workshops, Zielgruppenbefragungen und Probandentests erhoben und umgesetzt. Die entwickelte Technologie erlaubt fNIRS-Messungen unter handelsüblichen VR-Brillen mit reduziertem Setup-Aufwand und verbessertem Tragekomfort. Ein finaler Demonstrator wurde implementiert und evaluiert.

Das Projekt **UFO** liefert eine Grundlage für inklusive, adaptive VR-Lernsysteme und stärkt Forschung und Innovation im Bereich tragbarer Neurotechnologie. Gewonnene Erkenntnisse sollen im Anschluss an das Projekt in neue Produkte umgesetzt werden und finden bereits in weiteren Forschungsprojekten, u. a. zur Verbesserung der Überwachung von Risikoschwangerschaften und gefährdeten Frühgeborenen statt. Die entwickelten Komponenten ermöglichen neue Ansätze in Training, Therapie und Forschung.

Aufgabenstellung

Ziel des Teilvorhabens der NIRx Medizintechnik GmbH im Verbundprojekt zum „Einsatz neurophysiologischer Schnittstellen und taktile unterstützter virtueller Realität zur Förderung von beruflicher Inklusion“ (**UFO**), FKZ: 16SV8725, war die Entwicklung einer innovativen, tragbaren **neurophysiologischen Schnittstelle auf Basis der funktionellen Nahinfrarotspektroskopie (fNIRS)** zur Anwendung in VR-Trainingsszenarien für Menschen mit besonderem Förderbedarf. Das System richtet sich insbesondere an Personen im Autismus-Spektrum und verfolgt das Ziel, die Erfassung

kognitiver Zustände in Echtzeit zu ermöglichen. AutistInnen wurden von Beginn an in die Konzeption und Entwicklung einbezogen. Diese Erfassung soll genutzt werden, um **adaptive, individuell zugeschnittene Lern- und Trainingsinhalte in der virtuellen Umgebung** situationssensitiv zu steuern. Über diese Mensch-Technik-Interaktion sollen alltagsrelevante Fähigkeiten – insbesondere im sozialen, emotionalen und interaktiven Bereich – erlernt, gestärkt und im Sinne der beruflichen Teilhabe angewendet werden können. Der Ansatz basiert auf dem Einsatz von Neurofeedback in Kombination mit VR-Technologien und stellt eine technikgestützte Maßnahme zur Stärkung personaler und sozialer Kompetenzen dar.

Voraussetzungen und Kontext

Das Projekt baut auf mehreren Vorarbeiten von NIRx auf, u. a. im Bereich der optischen Hirnbildgebung, tragbarer fNIRS-Technologien und Anwendungen in der kognitiven Forschung. In Kombination mit bereits erprobten VR-Technologien sollte eine Lösung entstehen, die **sowohl praxistauglich als auch wissenschaftlich fundiert** ist. Die Besonderheit des Projekts lag dabei in der Integration multipler Schnittstellen – visuell, taktil, neurophysiologisch – in eine mobile, modulare, adaptive Systemarchitektur. Die NIRx Medizintechnik GmbH brachte hierbei ihre Expertise in der Entwicklung von Sensorik, Detektor- und Lichtquellenoptoden, Signalverarbeitung und maschinellem Lernen in die Kooperation ein.

Die Durchführung des Vorhabens erfolgte in enger Abstimmung mit weiteren Verbundpartnern (Fraunhofer IAO, IAT und LLiS Universität Stuttgart, Sensovo und auticon GmbH) unter Nutzung bestehender Infrastrukturen und regelmäßiger interdisziplinärer Austauschformate.

Planung und Ablauf

Das Projekt war in sieben Arbeitspakete (APs) gegliedert, von denen NIRx primär für Aufgaben in den Arbeitspaketen AP 1 (Anforderungsanalyse), AP 3 (Entwicklung der neurophysiologischen fNIRS-Schnittstelle), AP 5 (Integration in Demonstrator) und AP 7 (Koordination, Dissemination, Vernetzung) verantwortlich war. Im Rahmen der Entwicklung wurde ein vollständiges **HD-fNIRS-Sensorpatch** entworfen, das durch **flexible Leiterplatten** und eine flache Gehäusekonstruktion die Integration und Nutzung unter ein handelsübliches VR-Headset (Oculus Quest) ermöglichte. Parallel dazu wurde eine **digitale Datenerfassungseinheit (DAU)** realisiert, die eine drahtlose, modulare Signalübertragung erlaubt.

Begleitend wurden neben Phantommessungen auch mehrere **Testreihen mit Probanden** durchgeführt, wobei auch Backup-Lösungen (modifiziertes Faceshield mit konventionellen fNIRS-Optoden) zur Anwendung kamen. Aufgrund personeller und materialbedingter Verzögerungen (z. B. pandemiebedingt eingeschränkte Lieferketten, Übergaben bei Personalwechsel) wurde eine **kostenneutrale Projektverlängerung um sechs Monate** beantragt und umgesetzt, wodurch alle geplanten Ziele und Meilensteine fristgerecht abgeschlossen werden konnten. Ausgenommen davon war lediglich die Entwicklung einer aktiven, elektronischen Signalbereinigung, die aufgrund von zwischenzeitlich durch Dritte angemeldete Schutzrechten durch die Exploration physikalischer Schirmungsansätze für kompakte fNIRS-Sensorik ersetzt wurde.

Technologischer Ausgangspunkt

Am technischen Ausgangspunkt wurden bereits verfügbare Einzelkomponenten (fNIRS-Sensoren, Lock-in-Verstärker, AURORA-Software, Satori/TurboSatori-Software) als Grundlage genutzt. Die zu Beginn des Projekts vorhandenen Geräte für die wissenschaftliche Forschung mit maximaler Konfigurationsvielfalt und Untersuchung unterschiedlichster Hirnregionen, waren jedoch in Bezug auf Nutzerfreundlichkeit für weniger spezialisierte Anwender, Zeitaufwand für die Vorbereitung der Messungen, Komfort insbesondere für AutistInnen und die Kombination mit handelsüblichen VR-Brillen nur eingeschränkt geeignet.

Das Projekt führte diese Elemente zu einer **VR-kompatiblen, tragbaren und miniaturisierten Plattform** zusammen. Die entwickelte Lösung integriert **optische, taktile und neuronale Rückmeldungen** und adressiert so mehrere sensorische Ebenen. Für eine bessere Signalqualität wurden mehrkanalige Patches und optomechanische Optimierungen realisiert. Echt-Zeit Signalanalyse wurde durch die Implementierung einer Satori/TurboSatori-Schnittstelle und einer programmierbaren API-Schnittstelle in der AURORA-Software zur Anbindung weiterer Steuerungs- und Analyseprogramme realisiert.

Schutzrechte und Literatur

Die Projektarbeit wurde kontinuierlich durch Markt-, Literatur- und Patentrecherchen (PubMed, Espacenet, etc.) begleitet. Ein regelmäßiger fachlicher Austausch mit internationalen Kooperationspartnern und Netzwerken fand ebenfalls statt. Während der Projektlaufzeit wurden keine eigenen Schutzrechte angemeldet. Die geplante Entwicklung aktiver elektronischer Rauschunterdrückung wurde aufgrund der Anmeldung von Schutzrechten durch Dritte, die dem

Vorhaben entgegenstanden durch die Exploration alternativer Verfahren zur **physikalischen Störabschirmung** ersetzt.

Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Zusammenarbeit innerhalb des Konsortiums war kooperativ, eng verzahnt und über die gesamte Projektlaufzeit hinweg sehr aktiv. Es fanden **wöchentliche virtuelle Meetings**, **halbjährliche Konsortialtreffen** (u. a. in Berlin und Stuttgart) sowie mehrere **gemeinsame Tests und Probandenstudien** statt. Die Partner tauschten sich zudem regelmäßig über technische Spezifikationen, Entwicklungsstände und Datenschnittstellen aus. NIRx unterstützte die Probandenstudien der Partner durch Anwenderschulungen, technische und wissenschaftliche Begleitung, Bereitstellung von Messgeräten und die Durchführung zusätzlicher Messsitzungen. Zudem stellten die Partner das Projekt gemeinsam auf Fachveranstaltungen wie und Diskussionsformaten wie LivingLab, XR-Expo und VAR2-Abschlusstreffen vor. Während der Konzeptionierung, Entwicklung und Evaluierung der Demonstratorkomponenten wurden insbesondere auch AutistInnen aktiv mit eingebunden, um einen stark nutzerzentriertes Designansatz zu realisieren.

Abschnitt 2 – Ergebnisse

Anforderungen & Spezifikationen

Bei der Erstellung der Anforderungsanalyse und der Systemspezifikationen der geplanten Demonstratorkomponenten wurden neben den technischen Anforderungen für die adequate Signalabnahme und physischen Einschränkungen durch die verwendete VR-Ausstattung insbesondere auch **nutzerzentrierte Anregungen und Wünsche** berücksichtigt. Hierzu wurden sowohl die Anwendungspartner als auch und vor allem AutistInnen von Beginn an aktiv durch gemeinsame Designworkshops, Zielgruppenbefragungen und die Evaluierung von Entwürfen, Mustern und Zwischenergebnissen in den Entwicklungsprozess mit eingebunden. Anregungen und Ergebnisse der LivingLab und VAR2 Veranstaltungen wurden ebenfalls berücksichtigt und in den fortlaufenden Entwicklungsprozess integriert. So wurden Konzepte für die verschiedenen Demonstratorkomponenten ausgearbeitet, optimiert und weiterentwickelt und Spezifikationen für maximale Nutzerfreundlichkeit bei wissenschaftlich fundierter und technisch solider Signalerfassung aufgestellt.

Digitale Datenerfassungseinheit

Die Arbeiten zur Entwicklung einer kompakten, digitalen Datenaufnahmeeinheit (DAU) wurden aufgrund personeller Veränderungen verzögert und der entsprechende Meilenstein ins 3. Projektjahr verschoben. Zum Ende des kostenneutralen Verlängerungszeitraums wurde eine stark **miniaturisierte, kabellose DAU** konstruiert und im Vergleich mit dem NIRSport2 mit dem flexiblen Sensorfeld oder konventionellen Einzeloctoden in Phantomstudien und Probandenmessungen evaluiert. Zusätzliche Messreihen zur weiteren Charakterisierung fanden auch im Anschluss an das Projekt im Rahmen einer Bachelor-Arbeit statt.

VR-kompatible fNIRS-Sensorik

Für fNIRS-Messungen in Kombination mit handelsüblichen VR-Brillen wurde ein flexibles, fNIRS-Sensorfeld mit abgeflachten Multidistanz-Optoden mit verbessertem **Tragekomfort** und deutlich verringerter **Set-up Zeit**, sowie stark vereinfachter **Kabelführung** entwickelt. Bei der Entwicklung des Sensorfeldes wurden Anwender und Zielgruppen aktiv eingebunden, um den besonderen Erfordernissen an Nutzerfreundlichkeit und Probanden-Verträglichkeit gerecht zu werden. Zu Vergleichsmessungen und als Rückfalllösung für parallele Messreihen während der Entwicklung wurde ein angepasstes face-shield zur Nutzung der VR-Brille (Oculus Quest) mit konventionellen Optoden konstruiert.

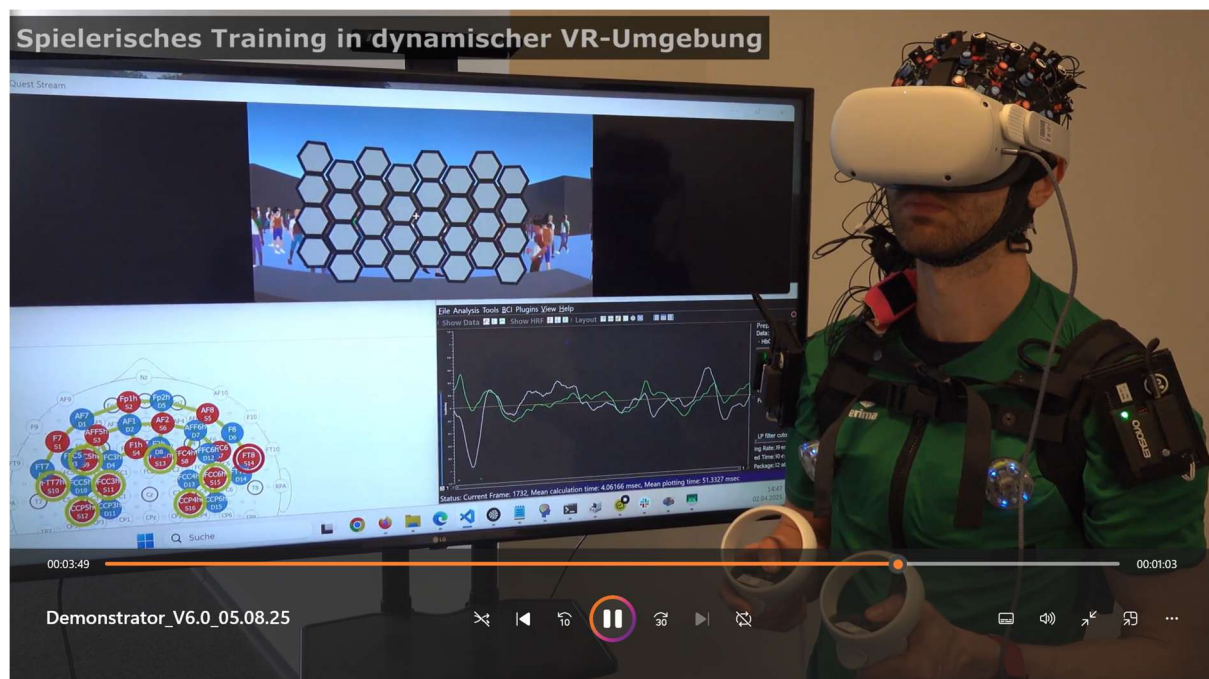


Störquellenminimierung

Die ursprünglich geplante Entwicklung einer automatischen, elektronische Signalbereinigung wurde aufgrund zwischenzeitlich durch Dritte angemeldeter Schutzrechte durch die Exploration physikalischer **Schirmungsmethoden für fNIRS-Optoden** ersetzt. Die Testreihen zur Evaluierung unterschiedlicher Ansätze für die Abschirmung von fNIRS-Optoden lieferte wertvolle Erkenntnisse für die Entwicklung hoch-miniaturisierter Optoden.

fNIRS-Softwareframework

Die Umsetzung eines fNIRS-Softwareframeworks zur **Echt-Zeit-Datenauswertung** für die Erkennung von mentalen Zuständen wurde durch die Implementierung der Nutzung von Satori/TurboSatori Signalanalyse, sowie der Einrichtung einer programmierbaren API-Schnittstelle in der AURORA-fNIRS-Software zur Anbindung von Steuerungssoftware und anderen Analyseanwendungen verwirklicht.



Finaler Demonstrator

Die Integration aller Komponenten in einem finalen Demonstrator wurde durch die Vorstellung der Komponenten zum VAR2-Abschlussstreifen, sowie die Erstellung eines Videos zur Vorstellung des finalen Demonstrators zum Projektende umgesetzt. Als Alternative zur Nutzung des fNIRS-

Sensorfeldes mit einer konventionellen Textilträgerhaube wurde hierfür zudem ein Textilträgerstirnband entwickelt.

Weitere Ergebnisse

Hervorzuhebende wissenschaftliche und technische Nebenergebnisse des Projekts sind die Erstellung von Test-Aufbauten und Test-Routinen für die Charakterisierung unterschiedlicher Photodetektortypen und deren Prüfung für die Eignung zum Einsatz in neuen fNIRS-Geräten, sowie die Erweiterung der eigenen Expertise von NIRx in den bearbeiteten Gebieten, wie Miniaturisierung, Smart-Textile-Technologien, User-Centered Design, Software, Firmware und maschinelles Lernen. Außerdem hervorzuheben sind die in der Zusammenarbeit mit den Projektpartnern und bei den Veranstaltungen von LivingLab und VAR2 geknüpften Kontakte und Netzwerke für zukünftigen Erfahrungs- und Wissensaustausch, wissenschaftliche und industrielle Zusammenarbeit.

Verwertung & Anschlussfähigkeit

Die im Projekt gesammelten Erkenntnisse haben bereits einen großen Beitrag zur Basis für 4 weitere momentan laufende **Forschungsprojekte** sowie **Master- und Bachelor-Arbeiten** und mehrere in der Beantragung befindliche Forschungsvorhaben geleistet. Neben den entwickelten Technologien finden beispielsweise auch die Erfahrungen im **User-Centric Design** für AutistInnen Anwendung bei der Entwicklung dedizierter Lösungen für die Überwachung von gefährdeten Schwangerschaften und frühgeborenen Säuglingen. Durch seinen interdisziplinären Ansatz, die Miteinbeziehung von Zielgruppen und die Entwicklung von Technologien zur Förderung der beruflichen und gesellschaftlichen Teilhabe liefert das Projekt einen starken Beitrag zur **Inklusion** von Minderheiten und zur **Demokratisierung** von Technologie und Wissenschaft. Zudem gibt es bei NIRx wichtige Impulse für die Weiterentwicklung bestehender und neuer **Produkte** und die Verbesserung der wissenschaftlichen und technischen Betreuung von Kunden. Darüber hinaus wurden durch die Zusammenarbeit mit den Projektpartnern, sowie die **Vernetzung** bei Veranstaltungen des Förderprogramms bestehende Partnerschaften gefestigt und neue Kontakte geknüpft. Zusammen mit dem erheblichen **Kenntnis- und Kompetenzgewinn** im Verlauf des Förderprojekts liefern diese konkreten und immateriellen Projektergebnisse einen großen Beitrag zur Festigung des Forschungs-, Innovations- und Wirtschaftsstandorts Berlin und zum Erhalt und Ausbau des Innovationsvorsprungs und Alleinstellungsmerkmals von NIRx als Premium-Hersteller in dem hoch kompetitiven und innovationsgetriebenen Forschungsmarkt und eröffnet Zugangsmöglichkeiten zu neuen und entstehenden Märkten. Der erfolgreiche Abschluss des Projekts UFO wirkt sich damit direkt und positiv

auf die Entstehung neuer Arbeitsplätze, z.B. in den Bereichen Innovationsmanagement, Forschung & Entwicklung, Produktion & Vertrieb, sowie die Wertschöpfung am Standort Berlin aus.

Insgesamt leistet das Projekt UFO einen überproportionalen Beitrag nicht nur zur **Inklusion** und Förderung von Individuen und der wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Stärkung der Projektpartner, sondern auch zur Verankerung von **Schlüssel- und Zukunftstechnologien** wie Mensch-Maschine-Interaktion, Brain-Computer-Interfaces, Augmented- & Virtual Reality, mobile funktionelle Hirnbildgebung und Digital Learning für die Bewältigung gesellschaftlicher Herausforderungen. Damit leistet das Projekt einen erheblichen Beitrag zur zukünftigen Sicherung des Innovations-, Bildungs- und Forschungsstandorts, des wirtschaftlichen Wohlstands, des gesellschaftlichen Zusammenhalts, der gesundheitlichen Versorgung, Resilienz und technologischen Souveränität, sowie der digitalen Umwandlung in der freien, pluralistischen Gesellschaft in Deutschland und Europa. Für diesen Beitrag möchten wir uns bei allen Projektpartnern, MitarbeiterInnen und Studierenden, sowie den autistischen und neurotypischen ProbandInnen und TeilnehmerInnen an Zielgruppenbefragungen und nicht zuletzt beim Projektträger VDI/VDE, dem Living Lab, dem Förderprogramm VAR2 und dem BMBF/BMFTR bedanken ohne deren Teilnahme und Unterstützung dieses Projekt nicht möglich gewesen wäre.

Schutzrechte, Veröffentlichungen & Fortschritte Dritter

Die vorläufigen Projektergebnisse und Demonstratorkomponenten wurden im Rahmen des Living Lab, sowie der XR-Expo und des VAR2 Abschlusstreffens 2024, sowie auf der Projekthomepage präsentiert. Die hohe Akzeptanz seitens Testpersonen und Fachpublikum bestätigt das Potenzial der entwickelten Komponenten. Zudem wurden Projektinhalte bei verschiedenen Fachkonferenzen, Kundenkontakten und Anwenderworkshops mit Nutzern diskutiert und so einem erweiterten Fachpublikum und der breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Von NIRx wurden keine Schutzrechte angemeldet. Die Anmeldung von Schutzrechten Dritter im Bezug auf aktive, elektronische Signalbereinigung hat zur Anpassung des entsprechenden Projektziels und der Exploration physikalischer optischer und elektromagnetischer Schirmungsmethoden zur Verbesserung der Signalqualität geführt. Zum Ende der Projektlaufzeit steht weiterhin keine geeignete Alternative anderer Anbieter zur Verfügung, die die Anforderungen des im Projekt entwickelten Demonstrators erfüllt.

Abschnitt 3 – Kurzfassung des Schlussberichts

Projektziel und Hintergrund

Das Projekt „UFO – Einsatz neurophysiologischer Schnittstellen und taktile unterstützter virtueller Realität zur Förderung von beruflicher Inklusion“ zielte auf die Entwicklung eines VR-Trainingsystems, das insbesondere AutistInnen auf ihrem Weg in berufliche Teilhabe unterstützt. Das Teilvorhaben der NIRx Medizintechnik GmbH verfolgte die technologische Entwicklung einer tragbaren neurophysiologischen Schnittstelle auf Basis der funktionellen Nahinfrarotspektroskopie (fNIRS). Durch die in Echtzeiterfassung kognitiver Belastung und emotionaler Zustände der NutzerInnen sollte die VR-Umgebung adaptiv auf individuelle Bedürfnisse reagieren. Die Trainingsszenarien zielten auf den Erwerb und die Anwendung alltags- und berufsrelevanter sozialer und emotionaler Fähigkeiten ab.

Projektumsetzung und technische Entwicklung

NIRx übernahm im Projektkonsortium zentrale Aufgaben im Bereich der Hard- und Softwareentwicklung, sowie der wissenschaftlichen und technischen Begleitung. In enger Abstimmung mit Projektpartnern (Fraunhofer IAO, IAT Universität Stuttgart, Sensovo und auticon GmbH) wurden tragbare fNIRS-Sensoren, eine digitale drahtlose Datenerfassungseinheit (DAU) sowie ein VR-kompatibles Sensordesign mit verbessertem Tragekomfort entwickelt. Dabei wurden NutzerInnen, insbesondere AutistInnen, aktiv in Konzeption, Design-Feedback und Tests eingebunden.

Die Schnittstelle wurde so konzipiert, dass sie unter handelsüblichen VR-Headsets (Oculus Quest) getragen werden kann. Neben einem mehrkanaligen Sensorfeld wurde ein flexibles Textilträgerstirnband entwickelt. Ergänzend wurde die fNIRS-Aufnahmesoftware AURORA um eine Schnittstelle zur Echtzeitverarbeitung mittels Satori/TurboSatori und API-Funktionalitäten erweitert, um Steuerung und Analyse zu ermöglichen.

Herausforderungen und Lösungen

Im Verlauf des Projekts kam es zu pandemiebedingten Lieferverzögerungen und personellen Veränderungen, die mit einer kostenneutralen Projektverlängerung um sechs Monate kompensiert wurden. Eine geplante elektronische Signalbereinigung konnte aufgrund neu angemeldeter Schutzrechte Dritter nicht realisiert werden und wurde durch physikalische Abschirmkonzepte ersetzt. Dadurch ergaben sich wertvolle Erkenntnisse für die Miniaturisierung künftiger Optodensysteme.

Ergebnisse und Verwertung

Im finalen Demonstrator wurden alle Komponenten erfolgreich zusammengeführt. Die Ergebnisse wurden auf Veranstaltungen wie der XR-Expo, LivingLab und dem VAR2-Abschlusstreffen präsentiert. Zusätzliche Testreihen im Rahmen einer Bachelorarbeit nach dem Projektzeitraum vertieften die technische Validierung.

Das Projekt führte zu einer deutlichen Erweiterung der Kompetenzfelder bei NIRx, u. a. im Bereich Miniaturisierung, Smart-Textiles, User-Centered Design, maschinelles Lernen und systemischer Softwareentwicklung. Die entwickelten Technologien und gewonnenen Erkenntnisse werden in der Folge des Projekts zur Entwicklung neuer Produkte beitragen und flossen bereits in mehrere laufende Forschungsprojekte mit ein – etwa im Bereich der Überwachung von Risikoschwangerschaften und Neugeborenen.

Gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Beitrag

Das Projekt UFO trägt signifikant zur Inklusion neurodivergenter Zielgruppen und zur Demokratisierung neuer Technologien bei. Durch die enge Zusammenarbeit mit Nutzergruppen und Partnern entstanden belastbare Netzwerke und Transferstrukturen. Das Projekt stärkte die Position der NIRx Medizintechnik GmbH als Innovator im Bereich tragbarer Neurotechnologien und lieferte Impulse für die Schaffung neuer Arbeitsplätze und die Weiterentwicklung des Forschungs- und Produktionsstandorts Berlin.

UFO

Einsatz neUrophysiologischer Schnittstellen
und taktil unterstützter virtueller Realität
zur Förderung beruflicher Inklusion



Projektbeteiligte

Forschung



Gefördert durch das



Hardware



Inter  weckt?
Kontaktieren Sie uns!

VR Entwicklung

auticon

www.ife.uni-stuttgart.de/file/forschung/ufo

