



MILKI-PSY



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Abschlussbericht zum Projekt MILKI PSY

*Multimodales Immersives Lernen mit künstlicher Intelligenz für
Psychomotorische Fähigkeiten*

| | |
|-------------------------------------|---|
| Zuwendungsempfänger: | Deutsche Sporthochschule Köln Am Sportpark Müngersdorf 6 50933 Köln |
| Projektleitung: | Prof. Dr. Roland Klemke |
| Projektmitarbeiter*innen: | Univ.-Prof. Stefanie Klatt Mai Geisen |
| Förderkennzeichen: | 16DHB4017 |
| Projektakronym: | MILKI-PSY |
| Vorhabenbezeichnung (Thema): | Multimodales Immersives Lernen mit künstlicher Intelligenz für Psychomotorische Fähigkeiten |
| Teilvorhabenbezeichnung: | Anwendungsfälle und Evaluation |
| Laufzeit des Vorhabens: | 01.03.2021 – 31.07.2024 |



Deutsche
Sporthochschule Köln
German Sport University Cologne

Einleitung

Das vorliegende Dokument stellt den Abschlussbericht des Vorhabens MILKI PSY (Multimodales Immersives Lernen mit künstlicher Intelligenz für Psychomotorische Fähigkeiten) dar.

MILKI PSY wurde durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF, FKZ 16DHB4017) gefördert. Dieser Abschlussbericht folgt dabei dem in der **Anlage 2 zum NKBF 2017** gegebenen Muster. In Kapitel 1 wird eine kurze Darstellung des Projektes gemäß Teil I gegeben, Kapitel 2 stellt die inhaltlichen Entwicklungen in einer eingehenden Darstellung gemäß Teil II des Musters dar. Teil III beinhaltet den Erfolgskontrollbericht. Die dargestellten Arbeiten umfassen alle von der Deutschen Sporthochschule Köln (DSHS) geleisteten Arbeiten im Vorhaben MILKI PSY.

Inhalt

| | |
|--|----------|
| Einleitung | 2 |
| Teil 1: Kurzbericht | 3 |
| 1.1. Aufgabenstellung | 3 |
| 1.2. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an dem angeknüpft wurde | 3 |
| 1.3. Ablauf des Vorhabens | 3 |
| 1.4. Wesentliche Ergebnisse und Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen | 4 |
| Teil 2: Eingehende Darstellung | 5 |
| 2.1. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises | 5 |
| 2.2. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten | 5 |
| 2.3. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans | 5 |
| 2.4. Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen | 6 |
| 2.5. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 5 der NKBF/NABF | 6 |
| Teil 3: Erfolgskontrollbericht | 7 |
| 3.1. Die Fortschreibung des Verwertungsplans | 7 |
| 3.2. Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung | 8 |
| 3.3. Berichtsblätter (each first author fills out, second authors copy it) | 8 |
| 3.4. Anlage: Im Rahmen der Konzeptionsphase entwickelte Konzepte für die Umsetzungsphase | 9 |

Teil 1: Kurzbericht

1.1. Aufgabenstellung

MILKI-PSY hat zum Ziel, KI-gestützte, immersive Lernumgebungen für das selbständige Erlernen psychomotorischer Fähigkeiten zu schaffen. Dabei entsteht ein domänenübergreifender Ansatz, der es ermöglicht, die Tätigkeiten von Experten multimodal aufzuzeichnen und diese Aufzeichnungen als Blaupausen für Lernende zu verwenden. Mit Hilfe KI-gestützter Analysen soll dabei der Lernfortschritt durch automatisierte Fehlererkennung und generiertes, individuelles Feedback unterstützt werden. So entstehen ganzheitliche, innovative Lernumgebungen für das Erlernen psychomotorischer Fähigkeiten, in denen personalisierte, KI-gestützte Lernunterstützung individuelle Lernprozesse auf Basis komplexer Datenanalysen ermöglicht. Das Teilvorhaben "Anwendungsfälle und Evaluation" an der DSHS hatte die Aufgabe, auf Grundlage des theoretischen Rahmenwerks von MILKI-PSY, spezifische Anwendungsfälle zu entwickeln. Es wurde sowohl die Basis für deren detaillierte Ausarbeitung als auch für die Planung und Durchführung der Evaluation geschaffen. Dabei kamen innovative Methoden für das psychomotorische Lernen in verschiedenen Sportarten zum Einsatz, die anschließend evaluiert wurden.

1.2. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an dem angeknüpft wurde

Das systematische entwickeln psychomotorischer Fähigkeiten ist Gegenstand langjähriger und vielfältiger Forschungsbemühungen, die zu Klassifizierungen psychomotorischer Tätigkeiten (Simpson, 1966), Lernstrategien für psychomotorische Fähigkeiten (Singer & Cauraugh, 1985), Frameworks für das Erlernen komplexer Fähigkeiten (Van Merriënboer et al., 2002) geführt haben. Ein Problem ist allen Lernansätzen in diesem Bereich gemein: die Lernprozesse sind aufwändig und erfordern einen hohen personellen Betreuungsaufwand für Instruktion, Beobachtung und Feedback. Die Bedeutung der psychomotorischen Fähigkeiten liegt in der Beeinflussung des Erlernens und der Verbesserung von motorischen Handlungen (Adam, Simion & Iconomescu, 2019). Insbesondere im Sport spielt die Aneignung und Optimierung von einzelnen Bewegungstechniken und -abläufen eine wichtige Rolle, um langfristig die sportliche Leistungsfähigkeit zu steigern (Hirtz & Hummel, 2003). Neue Technologien wie Sensor-Infrastrukturen, Augmented und Virtual Reality, innovative, immersive und spielerische Lernumgebungen sowie vor allem jüngste Erfolge in der künstlichen Intelligenz und im maschinellen Lernen lassen hoffen, dass das Lernen psychomotorischer Fähigkeiten in hohem Maße profitieren kann (Limbu et al., 2018; Schneider et al., 2015). In Studien wurden solche Technologien in verschiedenen Kontexten untersucht (z.B. Präsentationstraining, Wartungstraining und medizinische Ausbildung). Aus diesen Voruntersuchungen entstanden konzeptionelle und theoretische Modelle für das Erlernen psychomotorischer Fähigkeiten (Klemke et al., 2014; Schneider et al., 2015; Guest et al., 2017; Emmerich et al., 2017; Di Mitri et al., 2018; Limbu et al., 2019; Romano et al., 2019). Weitere Arbeiten fokussieren auf die Erkennung von Ablenkung, Müdigkeit oder emotionalen Zuständen der Lernenden (Bahreini et al., 2016; Bahreini et al., 2017), oder auf automatische, individuelle Feedback-Generierung. Eine Übertragung in die Hochschulbildung fand bisher kaum statt.

1.3. Ablauf des Vorhabens

Die DSHS hat aktiv an allen Arbeitspaketen des Verbundprojekts teilgenommen und sich an den Maßnahmen beteiligt. Der Stand des Vorhabens im Berichtszeitraum entspricht der in der Vorhabensbeschreibung der Antragstellung und Verlängerung. Die **DSHS** hat die erforderlichen Maßnahmen und Aktivitäten im **Arbeitspaket (AP) 6 (Anwendungsfälle und Evaluation)** entsprechend koordiniert. Das AP 6 hat in enger Abstimmung mit AP 1 die konkreten zu unterstützenden Anwendungsfälle entworfen und damit sowohl den Input für die konkrete Ausgestaltung der Anwendungsfälle als auch die Grundlage für die Planung und Durchführung der Evaluation geliefert. Es wurden innovative Methoden für das motorische Lernen in verschiedenen Sportarten entwickelt und evaluiert. Dazu gehört die Erarbeitung eines virtuellen Golfschlägers als Vorbild im Golfputttraining (Geisen et al., 2023a), die Entwicklung verschiedener Visualisierungsformen zur Echtzeit-Feedbackbereitstellung im Tanzsport (Geisen et al., 2023b, 2023c). Darüber hinaus wurde eine neue Auswertungsmethode für Motion-Capture-Daten in Zusammenarbeit mit der RWTH entwickelt (Geisen et al., 2024). Weitere Arbeiten beschäftigten sich mit der Nutzung von überlagerten Video-Darstellungen zur Bewegungsantizipation im

Basketball. In Zusammenarbeit mit der TH Köln und dem DFKI wurde Augmented Reality zur Unterstützung des Pitchtrainings im Golfsport integriert.

1.4. Wesentliche Ergebnisse und Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

Im Rahmen des Projekts fanden zusätzlich zur gesamten Projektzusammenarbeit gesonderte Kooperationen zwischen der DSHS und jedem einzelnen Projektpartner statt. So wurden gemeinsam mit dem DFKI alle Einzelheiten zu den jeweiligen Datenauswertungen ausgetauscht und Methoden festgelegt. In Zusammenarbeit mit der TH Köln wurde Hardware ausgetauscht, wodurch Pilotierungen und Datenerhebungen mit verschiedenen Systemen zur Bewegungserfassung stattfanden. Expertisen bezüglich weiterer sportartspezifischer Anwendungen, z.B. im Laufen, wurden besonders mit dem DIPF ausgetauscht. Im Rahmen von zwei Abschlussarbeiten, durchgeführt an der RWTH, wurden zum einen Bewegungsdaten, welche an der DSHS erhoben wurden, systematisch bearbeitet und Auswertungsmethoden erarbeitet. Zum anderen wurde eine an der RWTH entwickelte Webanwendung zum feedbackbasierten Bewegungstraining für Coaches und Lernende an der DSHS in Form von User-Tests untersucht. Darüber hinaus beschäftigte sich die DSHS gemeinsam mit der TH Köln und dem DFKI mit der Implementierung der im Laufe des Projekts erarbeiteten Methoden in das Pitchtraining im Golfsport. Konkret werden jungen AthletInnen visuelles Feedback über die Handgelenksbewegung im Pitch bereitgestellt. Dies erfolgt mithilfe eines Headsets zur Ermöglichung von erweiterter Realität.

In dem vom Konsortium durchgeführten Workshop MiLeS 2021 auf der EC-TEL Konferenz in Bozen-Bolzano, Italien, stellte die DSHS ein in der ersten Projektphase generiertes Studienkonzept zur Registrierung und Bereitstellung von Vorbildern für gezielte sportspezifische Bewegungsausführungen vor. Darauf aufbauend wurde eine Trainingsmethode speziell für den Golfsport entwickelt und im Rahmen von zwei internationalen Veranstaltungen, welche gemeinsam mit den Partnern besucht wurden, sowie einer nationalen Veranstaltung vorgestellt. Konkret wurde die Methodik auf der JTELSS 2022 in Sani, Halkidiki, Griechenland, im Rahmen eines selbst durchgeführten Workshops pilotiert. Das User-Feedback wurde anschließend zur Vorstellung im vom Konsortium durchgeführten Workshop MiLeS 2022 auf EC-TEL Konferenz in Toulouse, Frankreich, evaluiert. Die im Rahmen einer Studie erhobenen Daten zur Untersuchung der Auswirkung der Trainingsmethode auf die golfmotorische Leistung wurden auf dem dvs-Symposium Sportspiel 2022 in Lüneburg präsentiert. Ebenfalls aufbauend auf das im Workshop MiLeS 2021 vorgestellte Konzept wurden 2023 auf der Jahrestagung dvs-Sektion Trainingswissenschaft in Köln verschiedene Visualisierungsmethoden zum Echtzeit-Feedback und ihren Auswirkungen auf das Erlernen einer tänzerischen Bewegungsabfolge vorgestellt. Im Jahr 2023 war die Projektgruppe zudem gemeinsam bei zwei internationalen Veranstaltungen vertreten: JTELSS in La Manga, Spanien und EC-TEL 2023 in Aveiro, Portugal. Auf ersterer Veranstaltung unterstützte die DSHS hauptsächlich die TH Köln bei der Durchführung eines Workshops zur Vorstellung und Erprobung eines videobasierten Tanztrainings (IMPECT-Tool). Für den vom Konsortium durchgeführten Workshop MiLeS 2023 in Aveiro bereitete die DSHS eine Präsentation zur Vorstellung eines innovativen Feldstudienkonzeptes im Tanzsport vor. Im Jahr 2024 präsentierte die DSHS den möglichen Transfer des Konzepts aus MiLeS 2021 in die aktuell olympische Sportart Breaking (Olympische Spiele Paris 2024) auf dem Symposium Breaking und Olympia in Köln.

Die DSHS nahm an den Präsenz- und Online-Veranstaltungen (Projektmeetings und Workshops), die für alle Projektpartner organisiert wurden, regelmäßig teil. So fand seit dem Projektbeginn im März 2021 ein monatliches Online-Meeting für den regelmäßigen Austausch mit allen Projektpartnern statt. Zusätzlich wurden im ersten Jahr regelmäßige Online-Meetings zum Austausch zwischen den Promovierenden im Projekt sowie in allen Projektjahren Online-Meetings alle zwei Wochen speziell zu den im Anwendungsfeld Sport durchgeführten Use Cases realisiert. Darüber hinaus wurden 1-2 Projekttreffen pro Projektjahr in Präsenz durchgeführt. So traf das Projektkonsortium am 09.11.2021 in Köln zusammen und erkundete die bis zu dem Zeitpunkt im Projekt entstandenen Lernumgebungen in den Laborräumen der DSHS. Insgesamt fand eine Koordination des weiteren Projektverlaufs statt. Am 06.07.2022 wurde im Rahmen eines Präsenz-Treffens am DIPF in Frankfurt der Fortschritt und der zu dem Zeitpunkt aktuelle Stand im Projekt besprochen. Die DSHS stellte ihre bisherigen Entwicklungen für die Anwendungen im Sport vor und berichtete von den zu der Zeit laufenden Untersuchungen, zum einen hinsichtlich der Visualisierungsmethoden für Bewegungsabfolgen und zum anderen zum golfspezifischen Trainingstool. Mögliche Weiterentwicklungen wurden diskutiert und konkretisiert. Damit

einhergehend wurde die weitere Zusammenarbeit der verschiedenen Projektpartner geplant. Bei einem Präsenz-Treffen an der RWTH in Aachen am 12.12.2022 wurden die im vorherigen Konsortialtreffen geplanten Weiterentwicklungen und Untersuchungen überprüft. Konkret konnte die DSHS erste Einschätzungen anhand der durchgeführten Untersuchungen zum sportmotorischen Lernen liefern. Gemeinsam mit den Partnern wurden, angepasst an das Anwendungsfeld, Mess- und Visualisierungsmethoden sowie unterschiedliche Auswertungsmöglichkeiten der Daten diskutiert. Vom 12.-13.07.2023 traf das Projektkonsortium in Berlin (beim Projektpartner DFKI) zusammen und tauschte sich insbesondere über die bisher im Projekt entstandenen Lernumgebungen und deren Evaluationen aus. Insgesamt fand eine Koordination des weiteren Projektverlaufs statt. Die DSHS stellte ihre Studien und daraus entstandenen Publikationen für die Anwendungen im Sport vor und berichtete von den darauf aufbauenden neuen Entwicklungen und Untersuchungen. Damit einhergehend wurde die weitere Zusammenarbeit der verschiedenen Projektpartner geplant. Vom 27.-28.05.2024 fand das letzte Präsenz-Treffen in Köln (an der DSHS und der TH Köln) statt. Dieses diente vor allem der Gesamtevaluation des Projekts basierend auf den Entwicklungen und daraus entstandenen Prototypen sowie den einzelnen Studienerkenntnissen und damit verbundenen Publikationen. Damit einhergehend befasste sich das Konsortium mit der frühphasigen Planung des Abschlussberichts und einigte sich auf das weitere damit verbundene Vorgehen zur Zusammenarbeit.

Teil 2: Eingehende Darstellung

2.1. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

| Position | Bezeichnung | Verausgabte Mittel |
|-------------|---|---------------------|
| 0812 | Beschäftigte E12-E15 | 111.265,28 € |
| 0822 | Beschäftigungsentgelte | 52.982,17 € |
| 0831 | Gegenstände bis 800 € | 4.974,79 € |
| 0846 | Dienstreisen | 4.455,55 € |
| 0850 | Gegenstände und andere Investitionen > 800€ | 13.011,01 € |
| 0861 | Gesamtausgaben | 186.688,80 € |

Personalmittel

- Vergütung Wissenschaftler E 12 - E 15 von 03/2021 – 06/2024 = 111.265,28 €
- Vergütung Hilfskräfte von 03/2021 – 03/2024 = 52.982,17 €

Sonstige Kosten

- Reiseausgaben = 4.455,55 €
- Investitionen (< 800 €) = 4.974,79 €
- Investitionen (> 800 €) = 13.011,01 €

2.2. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Zur Erreichung der Projektziele war das Projekt, einschließlich seiner Verlängerung, in vollem Umfang notwendig. Die Ergebnisse hätten ohne die Förderung allein auf Basis der institutionellen Förderung der Verbundpartner nicht erreicht werden können. Die durchgeführten Arbeiten entsprechen den im Projektantrag dargestellten Absichten, den identifizierten Anforderungen und unseren Kapazitäten. Die im Rahmen des Projektes durchgeführten Aufgaben haben es ermöglicht, die gesetzten Ziele im Rahmen der zur Verfügung stehenden Projektlaufzeit und der zur Verfügung stehenden Mittel zu erreichen.

Durch verschiedene Umstände (Personalausfall, Personalwechsel) ergaben sich Änderungen und Verzögerungen im Projekt, die im Rahmen der Projektverlängerung aufgeholt werden konnten, um die ursprünglich geplanten Projektergebnisse zu erreichen.

2.3. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

2.3.1 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Die wirtschaftliche Perspektive des Forschungsprojekts beruht maßgeblich auf der langfristigen Nutzung und Weiterentwicklung der entwickelten Prototypen. Die Tools für psychomotorisches Lernen werden so optimiert, dass sie flexibel einsetzbar und vielseitig anpassbar bleiben, um ihre Wiederverwendbarkeit in unterschiedlichen Kontexten zu gewährleisten. Ziel ist es, die Prototypen kontinuierlich weiterzuentwickeln und auf künftige Anforderungen in der Sportpraxis auszurichten. Dies eröffnet vielfältige Marktchancen, da insbesondere Sportvereine stets auf innovative Lösungen für die Unterstützung des (psycho)motorischen Trainings angewiesen sind, um konkurrenzfähig zu bleiben. Damit bietet das Projekt ein erhebliches Potenzial, auch wirtschaftlich tragfähige Anwendungen zu schaffen, die erfolgreich in der Praxis eingesetzt werden können.

2.3.2 Wissenschaftliche Erfolgsaussichten

Die DSHS setzt darauf, die im Projekt entwickelten Lösungen, Prototypen und Konzepte auch über die Projektlaufzeit hinaus durch Forschungsstudien weiterzuentwickeln und langfristig nutzbar zu machen. Ein besonderer Schwerpunkt liegt dabei auf der Sicherstellung der Wiederverwendbarkeit und Anpassungsfähigkeit der Lösungen, um diese auf andere Wissens- und Anwendungsbereiche, wie sportwissenschaftlich verwandte Forschungsfelder oder zusätzliche Sportarten, übertragen werden können.

Die wissenschaftlichen Erfolgsaussichten unseres Forschungsprojekts werden durch gezielte Maßnahmen zur Weiterführung und Verbreitung der Ergebnisse nachhaltig gesichert. Bereits während der Projektlaufzeit konnten wir durch Kooperationen mit Institutionen, wie dem Institut für Medien- und Phototechnik der TH Köln sowie der Arbeitsgruppe für Personalisierte Digitale Gesundheit und Telemedizin des Universitätsklinikums Bonn, eine Grundlage für weiterführende Forschungsprojekte schaffen. Dabei stehen Themen wie maschinelles Lernen in praktischen Anwendungen, Motion-Capture-Technologien und der Einsatz moderner Sensortechnologien im Fokus. Um die Reichweite und Wirkung unserer Forschung zu maximieren, planen wir regelmäßige Veröffentlichungen in Fachzeitschriften sowie Präsentationen auf (inter)nationalen Konferenzen.

2.3.3 Wissenschaftlich - wirtschaftlich Erfolgsaussichten

Die wissenschaftlich-wirtschaftlich vielversprechenden Erfolgsaussichten unseres Projekts schaffen eine Grundlage für zukünftige Forschungen und Entwicklungen. Die im Rahmen von MILKI-PSY entwickelten Prototypen werden gezielt in Folgeuntersuchungen sowie in der Hochschullehre eingesetzt und dienen unter anderem als Basis für Abschlussarbeiten, die die Weiterentwicklung und Optimierung der Prototypen vorantreiben. Die im Projekt erzielten Ergebnisse finden direkte Anwendung im Hochschulbereich und bieten durch ihre vielseitige Einsetzbarkeit großes Potenzial für die Weiterbildung in beruflichen und betrieblichen Kontexten. Sie fördern eine intensive Zusammenarbeit zwischen Forschung und Praxis, wodurch der Austausch von Wissen gestärkt und praxisnahe Entwicklungen ermöglicht werden. Mit ihrem breiten Nutzen schaffen die entwickelten Lösungen einen Mehrwert für Wissenschaft und Wirtschaft und tragen langfristig zur Förderung von zukunftsorientierten Entwicklungen bei.

2.4. Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Eine bedeutende Entwicklung in der Wissenschaft entstand durch die Einführung von Large Language Models (LLMs), welche die Interaktion zwischen Mensch und Computer grundlegend verändert haben. Diese Modelle haben das Potenzial, Aufgaben zu übernehmen, die bisher menschliche Kreativität erforderten, und ermöglichen so eine kosteneffiziente Umsetzung vielfältiger Anwendungen im Bildungsbereich. Auch immersive Technologien, insbesondere durch neue VR- und AR-Headsets wie das Apple Vision Pro und Meta Orion, haben das Feld der Bildungstechnologie stark beeinflusst. Sie bieten neue Ansätze, um Lernprozesse interaktiver und individueller zu gestalten. Die Kombination von LLMs und immersiven Technologien könnte so das Bildungssystem in entscheidenden Aspekten verändern und erfordert fortlaufende Anpassungen sowie eine zukunftsorientierte Betrachtung.

2.5. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 5 der NKBF/NABF

In diesem Kapitel werden die zentralen Prototypen und theoretischen Beiträge des Gesamtvorhabens systematisch vorgestellt. Zu jedem Beitrag bieten wir eine prägnante Beschreibung und eine Liste relevanter Veröffentlichungen, die zur Vertiefung dienen. Dabei unterscheiden wir zwischen **Software/Hardware Prototypen** (mit IDs P1, P2, ...), die je nach Zielsetzung in die Kategorien *Task Preparation*, *Task Execution* und

Task Follow-up unterteilt sind, und **theoretischen Beiträgen** (mit IDs T1, T2, ...), die in den Bereichen *Infrastructural, Learning Theory, Software Systems, Immersive Learning Environments* und *Human-Robot Interaction* verortet sind. Die Beiträge sind entsprechend der chronologischen Entwicklung im Projekt sortiert.

Die **Prototypen** sind nach verschiedenen Anwendungsfällen gekennzeichnet, darunter *Sport, Human-Robot Interaction* und *Self-Regulated Learning*, und umfassen die Typen *Framework, Use Case / Application* sowie *Method*. Prototypen, die in der Kategorie "Task Preparation" markiert sind, unterstützen Lernende bei der Planung oder Einrichtung der Aufgaben, wobei Prototypen in der Kategorie "Task Execution" sich auf die unmittelbare Unterstützung während der Ausführung der Aufgabe, etwa durch Echtzeit-Feedback konzentrieren. Prototypen der Phase "Task Follow-Up", oder Nachbereitungs-Phase fokussieren sich auf die Analyse oder Bewertung der Leistung. Die **theoretischen Beiträge** decken eine Bandbreite an Typen ab, darunter *Systematic Literature Review, Editorial / Special Issue, Framework, Conceptual* und *Empirical*, was die Vielfalt der Forschung im Projekt verdeutlicht. Eine detaillierte Zuordnung der jeweiligen Beiträge finden sich in den folgenden Tabellen. Die grünen Häkchen in der Tabelle markieren die spezifischen Beiträge zu jeweiligen Kategorien.

Theoretische Beiträge (T1, T2, ...) - Teil 1 / 2

| | | | Topic | | | | | |
|------|------|---|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | | | Infrastructural | Learning Theory | Software Systems | Immersive Learning Environments | Human-Robot Interaction | Sports and Kinetics |
| T-ID | Type | Contribution Name | | | | | | |
| 1 | | Performance in Cognitive Switching Tasks | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2 | | Immersive multimodal environments for psychomotor skills training | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 3 | | Multimodal Immersive Learning with AI for Robot and Running applic | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4 | | Design Framework for AR-based training system for collaborative as | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5 | | Study design for the use of real-time visual feedback | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 6 | | Experts' Evaluation of a Proposed Taxonomy of Immersive Learning | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7 | | Mental Models in Human-Robot Collaboration | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8 | | From Sensor Data to Educational Insights | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9 | | Multimodal Learning Experience for Deliberate Practice | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 10 | | Considerations in Feedback and Periodization for the Multimodal Lea | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 11 | | AR robot motion intent communication in collaborative assembly | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 12 | | The Rise of Multimodal Tutors in Education | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 13 | | How Mental Factors Affect Psychomotor Skill Learning and Training ε | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 14 | | Leveraging Feedback Through Personalised Recommendations with | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Theoretische Beiträge (T1, T2, ...) - Teil 2 / 2

- Theoretical Contributions - Types**
- Systematic Literature Review
 - Editorial Contribution / Special Issue
 - Framework
 - Conceptual
 - Empirical

| T-ID | Type | Contribution Name | Topic | | | | | |
|------|------|---|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | | | Infrastructural | Learning Theory | Software Systems | Immersive Learning Environments | Human-Robot Interaction | Sports and Kinetics |
| 15 | | Novices Make More Noise! The D&K Effect 2.0? | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 16 | | MILSDeM | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| 17 | / | Beyond hard workout: A multimodal framework for personalised runn | | <input checked="" type="checkbox"/> | | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| 18 | / | Multimodal and immersive systems for skills development and educa | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| 19 | / | Visual and Tactile Information Provision in Golf | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 20 | / | Exploring ILEs in HRI Use Cases | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 21 | / | Feedback Latency across Edge-Cloud Spectrum for Psychomotor Le | <input checked="" type="checkbox"/> | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| 22 | / | MLOpsUse - End-User engagement in MLOps | <input checked="" type="checkbox"/> | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | |
| 23 | / | Virtual Virtuoso: A Systematic Literature of Immersive Learning Envir | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| 24 | / | Evaluating the Scope of Intelligent Tutoring Systems in Psychomotor | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | <input checked="" type="checkbox"/> |

Software/Hardware Prototypen (P1, P2, ...) - Teil 1 / 2

- Practical Contributions - Types**
- Framework
 - Use Case / Application
 - Method

| P-ID | TYPE | NAME | TASK PREPARATION | TASK EXECUTION | TASK FOLLOW-UP | USE CASES | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|---|---|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | | | Guidance | | Delayed Feedback | Sport | | | | | | | | | | HRI | | | | | | | |
| | | | Infrastructure Strategy / Cognitive & Affective aspects | Feed-Forward / Instructions | Task / Motion Capture | Task / Motion Analysis | Feedback Generation | Feedback Provision | Learning Evaluation / Analysis (possible / conceptual) Transfer to Practice | Running | Dance | Golf | Basketball | Fitness | Pilates | Martial Arts | Handball | Volleyball | Yoga | Industrial Robotic | Social Robots | Self Regulated Learning | |
| 1 | | Dynamic Movement Primitives | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | |
| 2 | | MILKI PSY Cloud | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 3 | | Edutex | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 4 | | Pilates Correction | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | | | | |
| 5 | / | Collaborative assembly AR/VR with robots | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | | | | | | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| 6 | | Yu & Mi | | | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | | | | | | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| 7 | | Flowmotion (Yoga Training) | | | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | | | | | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | |
| 8 | | Few-shot key pose detection | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | |
| 9 | / | Human <-> Robot object handover | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | | | | | | | | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | |
| 10 | | IMPECT-Sports - Wizard of Oz | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | | | | | |
| 11 | / | XR Golf Putt Trainer | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | | | | | | |
| 12 | | 3D Pose Estimation in Sports Broadcast | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | | IMPECT - Immersive Multimodal Psychomotor Environ | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 14 | / | IMPECT-Dance - Wizard of Oz | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | / | Echtzeit-Feedback für videobasiertes motorisches Lern | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | | | | | |
| 16 | | Gamification of Habit Forming in Distance Education | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | | | | | | | | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 17 | / / | Real-Time Posture Correction in Gym Exercises | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | | | | | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 18 | | Sensor-based Human Motion Comparison | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | <input checked="" type="checkbox"/> |

Software/Hardware Prototypen (P1, P2, ...) - Teil 2 / 2

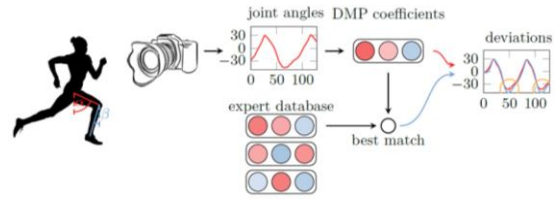
| P-ID | TYPE | NAME | TASK PREPARATION | TASK EXECUTION | | | TASK FOLLOW-UP | USE CASES | | | | | | | | | | | | |
|------|------|--|--|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | | | Guidance | Infrastructure | Task / Motion Capture | Task / Motion Analysis | Feedback Generation | Feedback Provision | Learning Evaluation / Analysis | (possible / conceptual) Transfer to Practice | | | | | | | | | | |
| | | | Strategy / Cognitive & Affective aspects | Feed- Forward / Instructions | | | | Running | Dance | Golf | Basketball | Fitness | Pilates | Martial Arts | Handball | Volleyball | Yoga | Industrial Robots | Social Robots | Self Regulated Learning |
| 19 | | Mathkinetics | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 20 | | Fitsight und IMPECT-POSE - Fitness Trainer | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 21 | | IMPECT robots for assembly and handover | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 22 | | Psychomotor Feedback Engine | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 23 | | Visualization Techniques Study | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 24 | | Peer-Assisted Exergame | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 25 | | XSens Motion comparison (DTW/Kabsch) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 26 | | IMPECT robots escape room | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 27 | | Preserving Privacy in Multimodal Learning Analytics with | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 28 | | Democratizing Golf Swing Analysis | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 29 | | Mental Training: Running VR | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 30 | | Motion skeleton superimposition in dancing/fitness (KIN) | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 31 | | Motion anticipation in basketball | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 32 | | Golfpitch visual/tactile feedback tool | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 33 | | Mental Training for Long-Distance Runners through VR | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 34 | | Feedback/Error Prioritisation | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 35 | | Dot Sensor Application | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Die folgenden Abschnitte beschreiben Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, die im Verlauf des Projekts durchgeführt und abgeschlossen wurden.

Diese Liste umfasst sowohl praktische als auch theoretische Beiträge. Diese umfassen sowohl praktische als auch theoretische Beiträge, welche wertvolle Erkenntnisse für das Forschungsprojekt liefern. Die gewonnenen Ergebnisse bilden eine solide Basis für die Weiterentwicklung der Forschungsrichtung und bieten wertvolle Impulse für zukünftige Anwendungen. In den folgenden Abschnitten werden die wesentlichen Ergebnisse der durchgeführten Arbeiten zusammengefasst, wobei der Fokus auf den allgemeinen Konzepten und Ansätzen liegt, die in zukünftigen Projekten und Forschungsinitiativen weiter untersucht und angewendet werden können. Diese Ergebnisse stellen wichtige Bausteine dar, die sowohl die theoretische Grundlage als auch die praktische Umsetzung neuer Technologien und Methoden in verschiedenen Anwendungsbereichen vorantreiben.

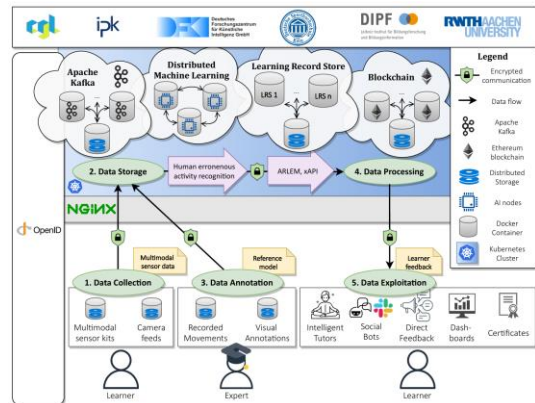
2021

[P1] Dynamic Movement Primitives (lead: DFKI) Wir haben verschiedene Methoden zur effizienten Darstellung und Vorhersage menschlicher Bewegungen untersucht und umgesetzt. Wir haben einen durch maschinelles Lernen unterstützten Ansatz zur Bereitstellung von Feedback vorgestellt. Für das Geh-Szenario haben wir evaluiert, wie Bewegungen verglichen werden können, um Abweichungen zwischen Schüler- und Experten-Bewegungen aufzuzeigen. Das DFKI stellte den Partnern auch erste Softwaremodule für die Bewegungsdarstellung und den Bewegungsvergleich zur Verfügung, um die Entwicklung von Prototypen zu unterstützen.



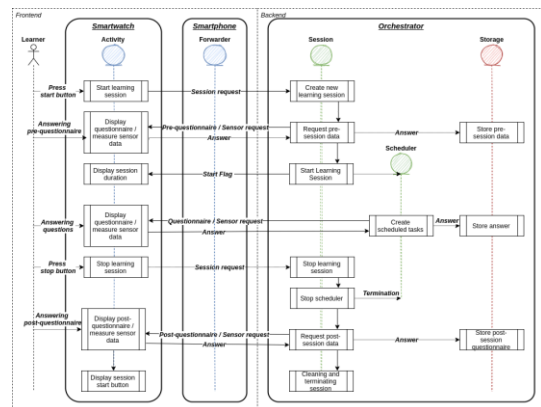
Paaßen, B., & Kravcik, M. (2021). *Teaching psychomotor skills using machine learning for error detection*. In Proc. of the First International Workshop on Multimodal Immersive Learning Systems (MILeS 2021) at the 16th European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 2021). CEUR Vol-2979.

[P2] MILKI PSY Cloud (lead: RWTH). Die Grundlage der MILKI-PSY-Cloud-Architektur ist die Erweiterung bestehender multimodaler Learning-Analytics-Ansätze und die Kubernetes-basierte Automatisierung des Einsatzes der Learning-Analytics-Infrastruktur aus einer Reihe von Forschungsprojekten. Die MILKI-PSY Cloud erleichtert die weitere Forschung und Entwicklung in diesem Bereich.



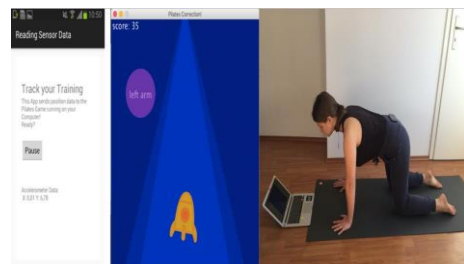
Slupczynski, M. P., & Klamka, R. (2021). *MILKI-PSY Cloud: Facilitating multimodal learning analytics by explainable AI and blockchain*. In Proc. of the First International Workshop on Multimodal Immersive Learning Systems (MILeS 2021) at the 16th European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 2021). CEUR Vol. 2979.

[P3] Edutex (lead: DIPF) Diese Software-Infrastruktur ermöglicht es den Akteuren im Bereich der Lernanalyse, Daten aus dem physischen Kontext der Lernenden zu nutzen. Edutex erreicht dies durch die Nutzung von Sensordaten von Smartphones und Smartwatches, zusammen mit Antwortdaten von Erfahrungs-Proben und Fragebögen, die über die Smartwatches der Lernenden gesammelt werden.



Ciordas-Hertel, G.-P., Rödling, S., Schneider, J., Di Mitri, D., Weidlich, J., & Drachsler, H. (2021). *Mobile Sensing with Smart Wearables of the Physical Context of Distance Learning Students to Consider Its Effects on Learning*. *Sensors*, 21(19), 6649. <https://doi.org/10.3390/s21196649>

[P4] Pilates Correction (lead: DIPF) Wir haben ein Spiel entwickelt, bei dem die Nutzer eine grundlegende Pilates-Übung ausführen können, wobei die Punktzahl davon abhängt, wie genau sie die Übung ausführen.

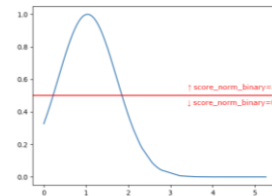


Meik, A., Schneider, J., & Schiffner, D. (2021). *Get your back straight! Learn Pilates with the Pilates Correction Game*. DELFI 2021, Die 19. Fachtagung Bildungstechnologien der Gesellschaft für Informatik e.V. <https://dl.gi.de/items/472f9a00-b1db-45b1-b3c2-d47812259dde>

[T1] Performance in Cognitive Switching Tasks. Mit Hilfe von Hautleitwert- und Herzfrequenz-Sensoren

untersuchten wir die Leistung des Aufgabenwechsels (task-switching).

Buraha, T., Schneider, J., Di Mitri, D., & Schiffner, D. (2021). *Analysis of the "D'oh!" Moments. Physiological Markers of Performance in Cognitive Switching Tasks*. In Technology-Enhanced Learning for a Free, Safe, and Sustainable World: 16th European Conference on Technology Enhanced Learning, EC-TEL 2021, Bolzano, Italy, September 20-24, 2021, Proceedings 16 (pp. 137-148). https://doi.org/10.1007/978-3-030-86436-1_11



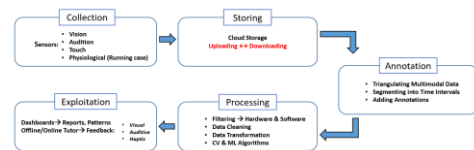
[P5] Collaborative assembly AR/VR with robots (lead: IPK). Ein Ansatz zur Gestaltung eines Rahmens für AR- und VR-basierte Trainingssysteme zum Erwerb psychomotorischer Fähigkeiten in einem kollaborativen Montage- Szenario.



Keller, T., Varney, V., & Richert, A. (2021). *WIP: Development of a design framework for the provision of multimodal content in an AR-based training system for the acquisition of psychomotor skills*. In Proc. of the First International Workshop on Multimodal Immersive Learning Systems (MILeS 2021) at the 16th European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 2021). CEUR Vol-2979.

[T2] Immersive multimodal environments for psychomotor skills training (lead: CGL).

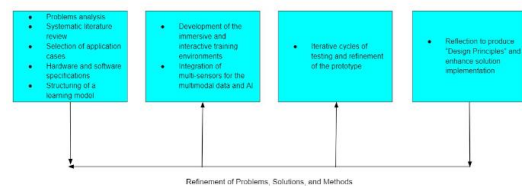
In dieser Veröffentlichung wird ein konzeptioneller Ansatz für die Entwicklung von immersiven Lernumgebungen vorgeschlagen, die eine Multi-Sensor-Einrichtung enthalten, um Lernende bei der Verbesserung ihrer psychomotorischen Fähigkeiten aus der Ferne zu unterstützen.



Mat Sanusi, K. A., & Klemke, R. (2021). *Immersive multimodal environments for psychomotor skills training*. In Proceedings of the 1st Games Technology Summit.

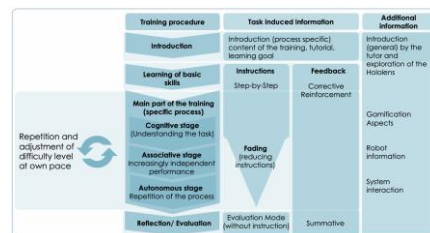
[T3] Multimodal Immersive Learning with AI for Robot and Running application cases (lead: DIPF).

Wir stellen Ideen für die MMLA-Datenerfassung durch verschiedene Sensoren und deren Speicherung, Kommentierung, Aufbereitung und Nutzung vor. Die vorgeschlagenen Ideen beziehen sich auf zwei Lernaufgaben: Laufen im Bereich des Sports und kollaborative Montage im Bereich der Mensch-Roboter-Interaktion.



Cardenas Hernandez, F. P., Romano G. & Drachsler H. (2021). *Multimodal Immersive Learning with Artificial Intelligence for Robot and Running application cases*. In Proc. of the First International Workshop on Multimodal Immersive Learning Systems (MILeS 2021) at the 16th European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 2021). CEUR Vol-2979.

[T4] Design Framework for AR-based training system for collaborative assembly (lead: IPK). Wir untersuchten den Gestaltungsrahmen mit dem Ziel, alle relevanten Inhalte für die Entwicklung eines AR-basierten Trainingssystems für die kollaborative Montage zusammenzufassen und zu strukturieren.



Keller, T., Varney, V., & Richert, A. (2021). *WIP: Development of a design framework for the provision of multimodal content in an AR-based training system for the acquisition of psychomotor skills*. In Proc. of the First International Workshop on Multimodal Immersive Learning Systems (MILeS 2021) at the 16th European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 2021). CEUR Vol-2979.

[T5] Study design for the use of real-time visual feedback (lead: DSHS). Ein Studiendesign für den Einsatz von

visuellem (virtuellen) Echtzeit-Feedback in einer immersiven Umgebung, welches es Lernenden ermöglichen soll, die Durchführung einer motorischen Aufgabe zu optimieren.

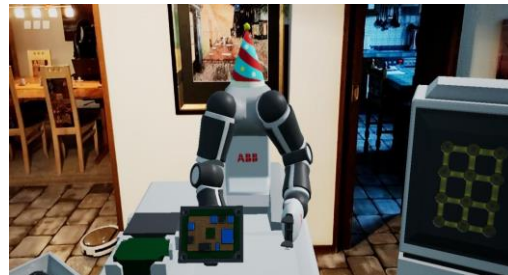
Geisen, M., Baumgartner, T., Riedl, N. & Klatt, S. (2021). *Real-time visual feedback on sports performance in an immersive training environment: Presentation of a study concept*. In Proc. of the First International Workshop on Multimodal Immersive Learning Systems (MILeS 2021) at the 16th European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 2021). CEUR Vol-2979.



[P6] Yu & Mi (lead: CGL). Eine AR-Anwendung für das Training der Mensch-Roboter-Interaktion, bei der ein Montagefall Schritt für Schritt in Zusammenarbeit mit einem virtuellen Roboter durchgeführt wird. Der virtuelle Roboter liefert Anleitungen und Feedback, um den Benutzer während des gesamten Montageprozesses zu unterstützen.

Mat Sanusi, K. A., Majonica, D., Künz, L., & Klemke, R. (2021, October). *Immersive training environments for psychomotor skills development: A student driven prototype development approach*. In Proc. of the First International Workshop on Multimodal Immersive Learning Systems (MILeS 2021) at the 16th European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 2021). CEUR Vol-2979.

<https://www.youtube.com/watch?v=WpyAbmnZzGc>



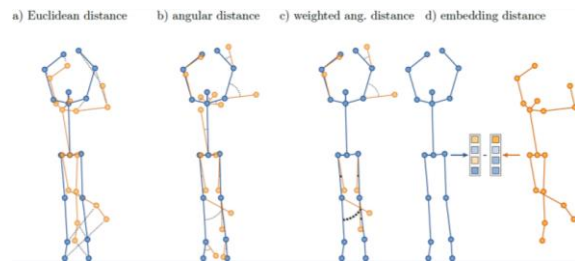
[P7] Flowmotion (Yoga Training Environment) (lead: CGL). Eine immersive Lernumgebung zum Erlernen grundlegender Yogastellungen mit einem kamerabasierten System, das das Skelett des Benutzers mit ThreeDPoseUnityBarracuda für die 3D-Positionsschätzung verfolgt. Ein virtueller Lehrer demonstriert die Haltungen, mit korrigierendem Feedback bei Fehlern und positivem Feedback in Form von Punkten.

Mat Sanusi, K. A., Majonica, D., Künz, L., & Klemke, R. (2021, October). *Immersive training environments for psychomotor skills development: A student driven prototype development approach*. In Proc. of the First International Workshop on Multimodal Immersive Learning Systems (MILeS 2021) at the 16th European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 2021). CEUR Vol-2979. https://www.youtube.com/watch?v=DOGVY3_ivtY



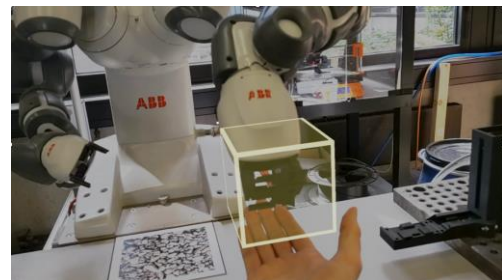
2022

[P8] Few-shot key pose detection (lead: DFKI). Wir haben Methoden zur automatischen Erkennung von SchülerInnenversuchen für Posen mit nur einer einzigen korrekten Lehrkraftdemonstration untersucht. Wir untersuchten Relevanzlernen, prototypische Netzwerke und Aufmerksamkeitsmechanismen, um einen robusten Ansatz für wenige Aufnahmen zu entwickeln, der für alle Schüler verallgemeinerbar ist. In einem Experiment mit einer Lehrkraft und 27 SchülerInnen, die eine Sequenz von Fitness- und Tanzbewegungen vorführten, zeigten wir, dass Prototypennetzwerke am besten in Kombination mit einem Aufmerksamkeitsmechanismus funktionieren.



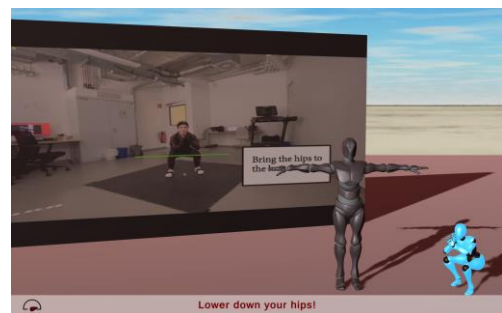
Paaßen, B., Baumgartner, T., Geisen, M., Riedl, N., & Kravčik, M. (2022). *Few-shot Keypose Detection for Learning of Psychomotor Skills*. In Proc. of the Second International Workshop on Multimodal Immersive Learning Systems (MILeS 2022) at the 17th European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 2022). CEUR Vol-3247.

[P9] Human <-> Robot object handover (lead: IPK). Ein Ansatz, um zu untersuchen, wie ein Roboter nonverbal Bewegungsabsichten in einer kollaborativen Arbeitsumgebung kommuniziert. Der vorgeschlagene Aufbau beinhaltet die Verbesserung einer kollaborativen Montagezelle mit dem zweiarmigen Roboter Yumi durch den Einsatz von Microsoft HoloLens.



Keller, T., Majonica, D., Klemke, R., & Richert, A. (2022). *Prerequisite Knowledge of Learning Environments in Human-Robot Collaboration for dyadic teams*. In Proc. of the Second International Workshop on Multimodal Immersive Learning Systems (MILeS 2022) at the 17th European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 2022). CEUR Vol. 3247.

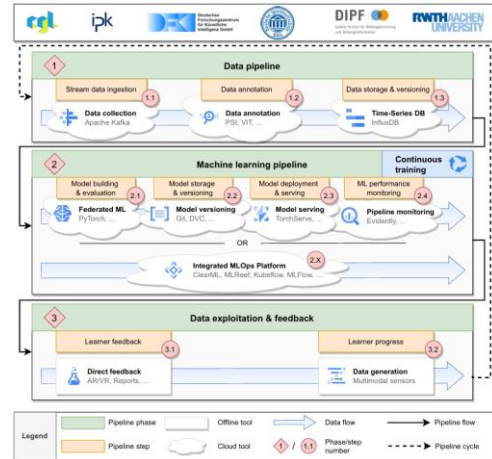
[P10] IMPECT-Sports - Wizard of Oz (lead: CGL). Dieser Prototyp nutzt IMPECT-Komponenten, eine immersive Lernumgebung für grundlegende Bewegungsabläufe, in der eine Wizard-of-Oz-Studie durchgeführt wurde, um dem Lehrer die Möglichkeit zu geben, Sitzungen vom lokalen Rechner aus zu steuern, indem er multimodales Feedback (z. B. visuell, auditiv) auslöst. Es verfügt über einen virtuellen Lehrer, dessen Bewegungen mit einem Motion-Capture-Anzug aufgezeichnet wurden, sowie über eine Echtzeit-Bewegungsaufzeichnung der Teilnehmer über Kinect.



Mat Sanusi, K. A., Slupczynski, M., Geisen, M., Iren, D., Klamma, R., Klatt, S., & Klemke, R. (2022, October). *IMPECT-Sports: Using an Immersive Learning System to Facilitate the Psychomotor Skills Acquisition Process*. In Proc. of the Second International Workshop on Multimodal Immersive Learning Systems (MILeS 2022) at the 17th European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 2022). CEUR Vol. 3247.

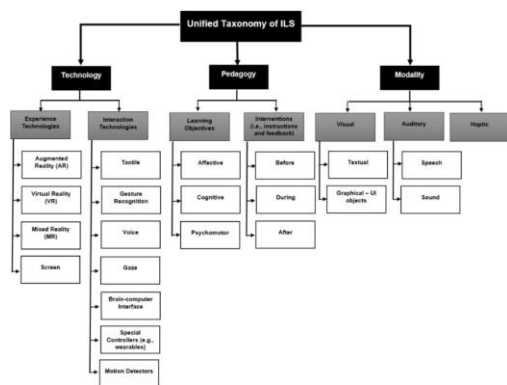
[P2] MILKI PSY Cloud (lead: RWTH). Die Fortsetzung der MILKI-PSY Cloud-Forschung ist eine kollaborative ML-basierte Cloud-Lösung für die Verarbeitung multimodaler Sensor- Datenströme und die Bereitstellung von Feedback in psychomotorischen Lernszenarien. Die Pipeline ist in drei Phasen gegliedert - Dateneingabe, maschinelles Lernen und Datenauswertung - und wendet MLOps-Ansätze an, um sowohl direktes als auch langfristiges Feedback zu liefern.

Slupczynski, M. P., & Klamma, R. (2022). *MILKI-PSY Cloud: MLOps-based Multimodal Sensor Stream Processing Pipeline for Learning Analytics in Psychomotor Education*. In Proc. of the Second International Workshop on Multimodal Immersive Learning Systems (MILeS 2022) at the 17th European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 2022). CEUR Vol. 3247.



[T6] Experts' Evaluation of a Proposed Taxonomy of Immersive Learning Systems (lead: CGL): Die Studie bewertete eine vorgeschlagene Taxonomie für immersive Lernsysteme durch eine qualitative Analyse, an der 42 Experten aus verschiedenen Bereichen beteiligt waren. Die Bewertung befasst sich mit den Stärken und Schwächen von ILS, identifiziert wiederverwendbare Komponenten und schlägt zusätzliche Komponenten für ILS vor.

Mat Sanusi, K. A., Iren, D., & Klemke, R. (2022, November). *Experts' evaluation of a proposed taxonomy for immersive learning systems*. In Intl. Conference on Games and Learning Alliance (pp. 247-257). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-22124-8_24



[P11] XR Golf Putt Trainer (lead: DSHS): Die Arbeiten rund um den XR Golf Putt Trainer konzentrierten sich auf die Entwicklung und Erforschung einer technologiegestützten Echtzeit-Feedback-Methode, die an das motorische Lernen im Golfsport angepasst ist; eine Sportart, bei der die technische Ausführung die sportliche Leistung wesentlich beeinflussen kann. Konkret wurde ein virtueller Golfschläger als Vorbild für das Erlernen des Golfputts entwickelt. Dieser wird in Echtzeit über die Microsoft HoloLens-Brille mit dem realen Golfschläger des Lernenden überlagert.



- Geisen, M., Nicklas, A., Baumgartner, T., & Klatt, S. (2023). *Extended Reality as a training approach for visual real-time feedback in golf*. IEEE Transactions on Learning Technologies, 17, 642-652. <https://doi.org/10.1109/TLT.2023.3322660>
- Geisen, M., Mat Sanusi, K. A., Baumgartner, T. & Klatt, S.. *XR Golf Putt Trainer: User Opinions on an Innovative Real-Time Feed-back Tool*. In Proc. of the Second International Workshop on Multimodal Immersive Learning Systems (MILeS 2022) at the 17th European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 2022). CEUR Vol. 3247.
- Geisen, M., Nicklas, A. & Klatt, S. (2022, September 22-24). *Extended Reality als Trainingsansatz für Echtzeit-Feedback im Golf*. Diversität im Sportspiel. 12. Sportspiel-Symposium, Lüneburg, Deutschland.
- Henrik Müller (2023). *Visuelle Rückmeldung mittels Extended Reality: Effekte eines Echtzeit-Feedbacktrainings zur Leistungsoptimierung einer motorischen Aufgabe im Golf*. Bachelorarbeit, DSHS Köln. Betreuerin: Univ.-Prof. Dr. Stefanie Klatt.
- Benedikt Mielke (2022). *Echtzeit-Feedback durch Extended Reality: Effekte einer innovativen Trainingsmethode zur Leistungsoptimierung einer motorischen Aufgabe im Golf*. Bachelorarbeit, DSHS Köln. Betreuerin: Univ.-Prof. Dr. Stefanie Klatt
- Max-Martin Stracke (2022). *Visuelle Rückmeldung mittels Extended Reality: Einfluss eines Echtzeit-Feedbacktrainings auf die Puttingleistung im Golf*. Masterarbeit, DSHS Köln. Betreuerin: Univ.-Prof. Dr. Stefanie Klatt.

[T7] Mental Models in Human-Robot Collaboration (lead: CGL)

Diese theoretische Arbeit untersucht die Konstruktion mentaler Modelle, die als Grundlage für flexible Mensch- Roboter-Interaktionen dienen und Fehlinterpretationen während der Zusammenarbeit minimieren sollen. Die Modelle werden speziell für ein industrielles Montageszenario konzipiert und bilden die Basis für die Entwicklung einer lernbasierten Prototypenwendung in zukünftigen Forschungsprojekten.

| | | | | |
|--|-----------------|-----------------------|---|---|
| Mental Models in Human-Robot-Interaction | Person Model | Robot | Physical | Actions that the robot can perform and the way they are performed |
| | | | Perceptual | What the robot can perceive and in which way (e.g. Environment, Task, Human) |
| | | | Cognitive | Degree of autonomy, Problem solving capabilities, Information about the environment, the task, the human |
| | | | Programmed Personality | Degree of support and openness, response times, Robustness of functions |
| | | | Transparency | Amount and selection of information that is communicated |
| | Situation Model | Interaction | Physical | Human → Robot joint actions e.g. Object transfers, inputs, screwing |
| | | | Human → Robot | joint actions e.g. Object transfers, inputs, screwing |
| | | | Human ↔ Robot | Communication channels and ways of communicating, way in which the human can communicate his goals to the robot |
| | | | Human → Robot | Communication channels and ways of communicating |
| | | | Human ← Robot | Meaning of communicated information from the robot |
| Self Model | Human | Declarative knowledge | Tools and parts required for the task, information about the properties of the finished product | |
| | | Procedural knowledge | Processing steps to achieve the objective of the task | |
| | | | Information about one's self | Motives, goals, abilities, (potential) emotions and limitations |

Keller, T., Majonica, D., Klemke, R., & Richert, A. (2022). *Prerequisite Knowledge of Learning Environments in Human-Robot Collaboration for dyadic teams*. In Proc. of the Second International Workshop on Multimodal Immersive Learning Systems (MILeS 2022) at the 17th European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 2022). CEUR Vol. 3247.

[T8] From Sensor Data to Educational Insights (lead: DIPF).

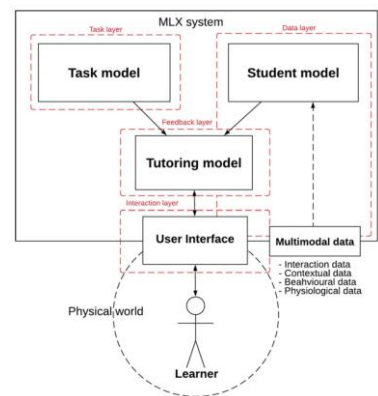
Diese Sonderausgabe (special Issue) rief zu Beiträgen auf, die sich mit der Umwandlung von Daten aus Sensoren, Wearables und IoT-Geräten in pädagogische Erkenntnisse befassen. Sie suchte auch nach Artikeln über Werkzeuge und Rahmenwerke zur Verwaltung dieser Geräte, um die Bildung zu verbessern. Der Schwerpunkt lag auf empirischen Fallstudien und experimentellen Methoden, die zeigen, wie diese Technologien Lehr- und Lernumgebungen verbessern können.



Ruipérez-Valiente, J. A., Martínez-Maldonado, R., Di Mitri, D., & Schneider, J. (2022). *From Sensor Data to Educational Insights*. *Sensors*, 22(21), 8556. <https://doi.org/10.3390/s2218556>

[T9] Multimodal Learning Experience for Deliberate Practice (lead: DIPF).

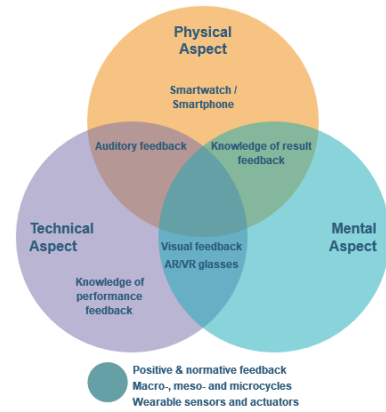
Obwohl digitale Bildungstechnologien Bildungsressourcen zugänglicher gemacht haben, wirken ihre Interaktionsmethoden oft unnatürlich für Lernende. Moderne sensorgestützte Systeme verbessern Mensch-Computer-Schnittstellen für multimodale Kommunikation. Fortschritte in der künstlichen Intelligenz helfen, Daten von diesen multimodalen und multisensorischen Geräten zu interpretieren, was gezieltes Üben mit personalisiertem Feedback durch multimodale Lernerfahrungen unterstützt. Dieses Kapitel behandelt Ansätze, Architekturen und Methoden in fünf Anwendungsfällen, die multimodale Lernanalyse für gezieltes Üben nutzen.



Di Mitri, D., Schneider, J., Limbu, B., Mat Sanusi, K. A., & Klemke, R. (2022). *Multimodal Learning Experience for Deliberate Practice*. In M. Giannakos, D. Spikol, D. Di Mitri, K. Sharma, X. Ochoa, & R. Hammad (Eds.), *The Multimodal Learning Analytics Handbook* (1st ed.). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-08076-0_8

[T10] Considerations in Feedback and Periodization for the Multimodal Learning Experience of Running via Wearable Devices (lead: DIPF). Wir geben einen Überblick über Definitionen und Klassifizierungen in Studien zur Psychomotorik und schlagen die Verwendung von tragbaren Geräten als Schlüsseltechnologie für die Analyse vor. Es werden die positiven Ergebnisse des Einsatzes von Wearables in diesem Forschungsbereich hervorgehoben. Außerdem werden wichtige Überlegungen zur Anwendung und Analyse von Feedback und Periodisierung beim Laufen und anderen psychomotorischen Fähigkeiten erörtert.

Cardenas Hernandez, F. P., & Schneider, J. (2022). *Considerations in Feedback and Periodization for the Multimodal Learning Experience of Running via Wearable Devices*. In Proc. of the Second International Workshop on Multimodal Immersive Learning Systems (MILeS 2022) at the 17th European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 2022). CEUR Vol. 3247.



[T11] AR robot motion intent communication in collaborative assembly (lead: IPK). Diese theoretische Arbeit entwirft ein Studiendesign, das den Einsatz von Augmented Reality (AR) zur Verbesserung der Kommunikation von Bewegungsabsichten in der Mensch-Roboter-Kollaboration untersucht. Drei AR-Anwendungen, darunter zwei bestehende Ansätze und eine neue Entwicklung, werden in einem kollaborativen Montageszenario mit der Microsoft HoloLens verglichen, um Unterschiede in der wahrgenommenen Interaktionsqualität und der Aufgabendauer zu analysieren.



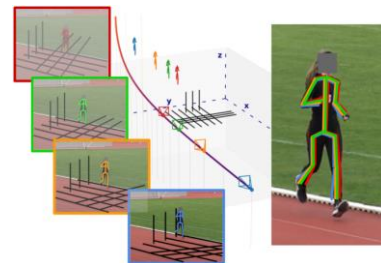
Fig. 1. Setup of the collaborative assembly

Workshop. Keller, T., Götze, F., Varney, V., & Richert, A. *AR robot motion intent communication in collaborative assembly: Presentation of a study concept*. In 5th International Workshop on Virtual, Augmented, and Mixed Reality for HRI, 2022

2023

[P12] 3D Pose Estimation in Sports Broadcast (lead: DFKI). Wir haben eine Methode zur Schätzung der globalen Geometrie von Leichtathletik-Stadionbildern anhand der Laufbahngrenzen vorgeschlagen. Durch Rückprojektion geschätzter 3D-Skelette in das Bild unter Verwendung dieser globalen Geometrie konnten wir zeigen, dass die aktuellen 3D-Methoden zur Schätzung der menschlichen Körperhaltung (noch) nicht genau genug sind, um in der Kinematikforschung verwendet zu werden.

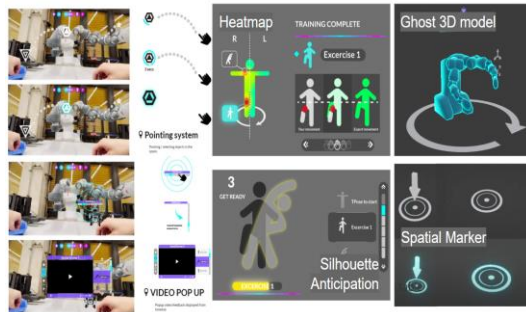
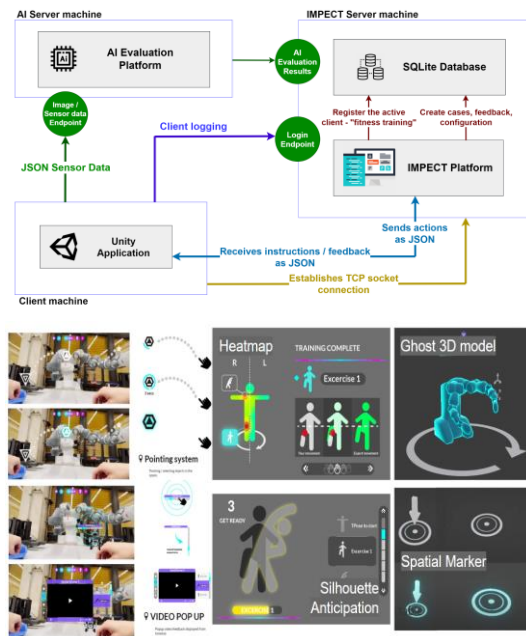
Baumgartner, T., Paassen, B. & Klatt, S. *Extracting spatial knowledge from track and field broadcasts for monocular 3D human pose estimation*. Sci Rep 13, 14031 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-41142-0>



[P13] Immersive Multimodal Psychomotor Environments for Competence Training (IMPECT) (lead: CGL)

Ein Trainings-Toolkit, das für das Training psychomotorischer Fähigkeiten entwickelt wurde und aus Feedback- und Lehrkomponenten besteht. Es umfasst das IMPECT-Frontend, eine Client-Anwendung, die als immersive Lernumgebung für das Training psychomotorischer Fähigkeiten dient, und den IMPECT-Server, einen Cloud-Server, der zur Navigation von Lernsitzungen und zur Erstellung von Feedback-Karten für die Client - Anwendung dient. Mehrere Front-End Client- Anwendungen können mit dem IMPECT-Server verbunden werden, um eine Reihe von psychomotorischen Fähigkeiten zu unterstützen (z. B. Tanz, Bewegung, Mensch-Roboter-Interaktion usw.).

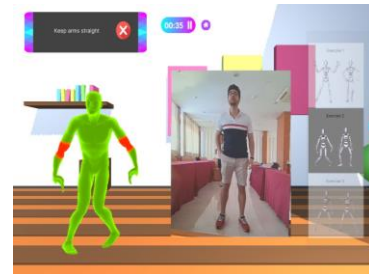
Mat Sanusi, K. A., Majonica, D., Handwerk, P., Biswas, S., & Klemke, R. (2023). *Evaluating an immersive learning toolkit for training psychomotor skills in the fields of human-robot interaction and dance*. In Proc. of the Second International Workshop on Multimodal Immersive Learning Systems (MILeS 2023) at the 18th European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 2023). CEUR Vol. 3499.



[P14] IMPECT-Dance - Wizard of Oz (lead: CGL)

Eine der Front-End-Client-Anwendungen von IMPECT, eine immersive Lernumgebung für eine vollständige Tanzroutine, die aus fünf Übungen mit einer Wizard-of-Oz-Studie besteht, bei der der Experte die Sitzungen mithilfe der IMPECT-Backend-Plattform lokal steuert. Sie bietet multimodales Feedback durch Feedback-Karten, einen virtuellen Lehrer mit aufgezeichneten Bewegungen aus einem Motion-Capture-Anzug und eine Live-Kameraansicht mit einer Webcam.

Mat Sanusi, K. A., Majonica, D., Handwerk, P., Biswas, S., & Klemke, R. (2023). *Evaluating an immersive learning toolkit for training psychomotor skills in the fields of human-robot interaction and dance*. In Proc. of the Second International Workshop on Multimodal Immersive Learning Systems (MILeS 2023) at the 18th European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 2023). CEUR Vol. 3499.



[T12] The Rise of Multimodal Tutors in Education (lead: DIPF).

Dieses Kapitel fasst die Erkenntnisse aus acht Studien zur multimodalen Lernanalytik zusammen. Dazu gehören eine explorative Studie zu physiologischen Daten und Lernleistung, eine Literaturübersicht und ein konzeptionelles Modell, eine Analyse der technischen Herausforderungen, ein technologischer Rahmen, ein Datenerfassungssystem, ein Tool zur Daten - Kommentierung, eine Fallstudie zum HLW-Training und eine Echtzeit-Feedbackstudie.

Di Mitri, D., Schneider, J., & Drachsler, H. (2023). *The Rise of Multimodal Tutors in Education*. In Handbook of Open, Distance and Digital Education (pp. 1037–1056). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-2080-6_58

The Rise of Multimodal Tutors in Education **60**
 Insights from Recent Research
 Daniele Di Mitri, Jan Schneider, and Hendrik Drachsler

| | |
|---|------|
| Contents | |
| Introduction | 1038 |
| An Historical Perspective on Education Technologies | 1040 |
| Outline of This Book Chapter | 1041 |
| Main Findings | 1042 |
| Research Study: Learning Paths | 1042 |
| Literature Study on Multimodal Data for Learning | 1043 |
| Position Paper: The "Big Five" Challenge | 1044 |
| Technical Implementation: The Multimodal Learning Hub | 1045 |
| Technical Implementation: The Visual Inspection Tool | 1046 |
| Position Paper: The Multimodal Practice | 1046 |
| Feasibility Study: Detecting CPM Minutes | 1047 |
| Research Study: Keep Me in the Loop | 1048 |
| Limitations | 1050 |
| Conclusion | 1052 |
| References | 1054 |

[T13] How Mental Factors Affect Psychomotor Skill Learning and Training and How to Measure Them: Running Case (lead: DIPF).

In dieser Publikation werden die mentalen Faktoren untersucht und beschrieben, die Laufexperten für wesentlich halten, und es werden gemeinsame Ansätze zu deren Bewertung vorgeschlagen. Außerdem werden einige psychologische Theorien und Rahmenwerke vorgestellt, die für die Forschung in diesem Bereich von Nutzen sein können.



Cardenas Hernandez, F. P., & Schneider, J. (2023). *How Mental Factors Affect Psychomotor Skill Learning and Training and How to Measure Them: Running Case*. In Proc. of the Third International Workshop on Multimodal Immersive Learning Systems (MILeS 2023) at the 18th European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 2023). CEUR Vol. 3499.

[T14] Leveraging Feedback Through Personalised Recommendations within Intelligent Tutoring Systems for Psychomotor Skill Development (lead: DIPF).

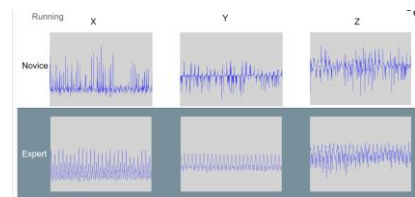
In den letzten Jahren wurden Intelligente Tutorensysteme (ITS) für das Training psychomotorischer Fähigkeiten entwickelt, jedoch bestehen drei Hauptprobleme: Erstens liefert das Feedback unzureichende Ergebnisse, und es fehlen Langzeitstudien zur Wirksamkeit. Zweitens wird nur das zugrunde liegende Modell bewertet, nicht das gesamte ITS. Drittens sind Aufgaben-, Schüler- und Lehrermodelle nicht klar definiert. Daher präsentieren wir eine Struktur zur Organisation von Übungen, die personalisierte Workouts auf Basis von Fähigkeiten empfiehlt und so die Entwicklung psychomotorischer Fähigkeiten fördert.



Romano, G., & Schneider, J. (2023). *Leveraging Feedback Through Personalised Recommendations within Intelligent Tutoring Systems for Psychomotor Skill Development*. In Proc. of the Third International Workshop on Multimodal Immersive Learning Systems (MILeS 2023) at the 18th European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 2023). CEUR Vol. 3499.

[T15] Novices Make More Noise! The D&K Effect 2.0? (lead: DIPF).

In dieser Studie untersuchten wir verschiedene Techniken, um den Unterschied zwischen den Leistungen von Experten und Anfängern auf der Grundlage von Aufzeichnungen von Beschleunigungsdaten zu bestimmen.

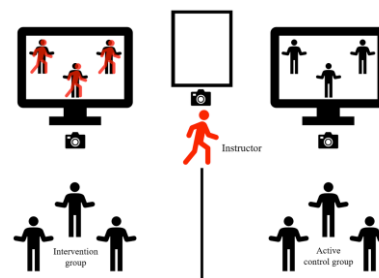


Schneider, J., Sanusi, K. A. M., Limbu, B., Schmitz, M., & Schiffner, D. (2023). *Novices Make More Noise! The D&K Effect 2.0?*. In CrossMMLA@ LAK (pp. 43-48).

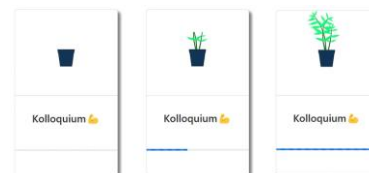
[P15] Echtzeit-Feedback für videobasiertes motorisches Lernen (lead: DSHS). Diese Arbeiten umfassen eine Visualisierungsmethode zum Echtzeit-Feedback beim Erlernen eines Bewegungsablaufs (z. B. im Bereich Tanz und Fitness). Die angestrebte Leistung (Lehrer) wird während des Lernens über einen Großbildschirm virtuell und proportional mit der tatsächlichen Leistung (Lernender) überlagert.



- Geisen, M., Meyer, J., & Klatt, S. (2024, March 9). *Innovative method for technical motion precision in breaking*. Symposium Breaking und Olympia: Auswirkungen der Entwicklung zur olympischen Sportart aus Perspektiven der Trainings- wissenschaft, Kulturwissenschaft und Schulsportforschung, Köln, Deutschland.
- Geisen, M., Riedl, N., & Klatt, S. (2023). *Real-time visual feedback on motor performance in a dance class: Presentation of a field study concept*. In Proc. of the Third International Workshop on Multimodal Immersive Learning Systems (MILeS 2023) at the 18th European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 2023). CEUR Vol. 3499.
- Geisen, M., Baumgartner, T., Riedl, N., & Klatt, S. (2023). *Echtzeit-Feedback für videobasiertes motorisches Lernen*. Optimizing Training in Sports, Exercise and Health. Jahrestagung dvs-Sektion Trainingswissenschaft, Köln, Deutschland.
- Geisen, M., & Klatt, S. (2023). *Erweiterte Realität in der Motorik- und Kognitionsforschung*. Zeitschrift für Sportpsychologie, 30(4). <https://doi.org/10.1026/1612-5010/a000414>
- Geisen, M. & Klatt, S. (2022). *KI im Sport: Wie werden Menschen durch den Einsatz von Avataren im sportlichen Training auf psychologischer Ebene beeinflusst?* Zeitschrift für Sportpsychologie, 29(1), 31-32. <https://doi.org/10.1026/1612-5010/a000356>
- Simon Müller (2022). *Innovative vs. herkömmliche Feedbackmethoden – Über die Effekte von Echtzeitfeedback in einer immersiven Trainingsumgebung auf den motorischen Lernprozess bei Anpassung an ein Bewegungsvorbild*. Masterarbeit, DSHS Köln. Betreuerin: Univ.-Prof. Dr. Stefanie Klatt.

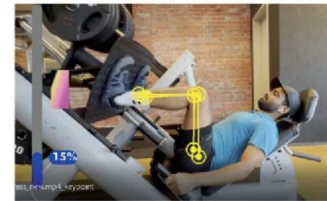


[P16] Gamification of Habit Forming in Distance Education (lead: RWTH). Das Ziel von dieser Bachelorarbeit war es, ein Web-Frontend zu entwickeln, welches Gamification-Elemente zur Förderung der Gewohnheitsbildung im Fernunterricht integriert. Durch die Darstellung von To-do-Listen als Pflanzenwachstum soll die Motivation der Lernenden langfristig gesteigert werden.



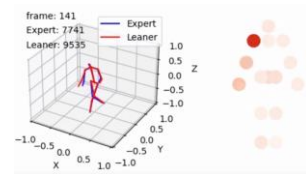
Silyu Li (2023). *Web Frontend for the Gamification of Habit Forming in Distance Education*. Bachelor Thesis, RWTH Aachen University. Supervisors: Prof. Dr. Stefan Decker, and Dr. René Reiners. Advisors: Michal Slupczynski, and Annika Martin. June 2023

[P17] Real-Time Posture Correction in Gym Exercises (lead: DFKI). Dieser Prototyp nutzt Computer-Vision-Technologien, um die Körperhaltung von Übenden während Fitnessübungen in Echtzeit zu erfassen und auf Basis von Expertenvorgaben automatisiertes Feedback zu geben. Die Pipeline kann dabei entweder durch Live-Demonstrationen oder aufgezeichnete Videos von professionellen Trainern lernen und so präzise Korrekturen zur Bewegungsoptimierung bereitstellen.



- Duong-Trung, N., Kotte, H., Kravčik, M. (2023). *Augmented Intelligence in Tutoring Systems: A Case Study in Real-Time Pose Tracking to Enhance the Self-learning of Fitness Exercises*. In: Viberg, O., Jivet, I., Muñoz-Merino, P., Perifanou, M., Papatoma, T. (eds) *Responsive and Sustainable Educational Futures. EC-TEL 2023. Lecture Notes in Computer Science*, vol 14200. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-42682-7_65
- Kotte, H. Kravčik, M., & Duong-Trung, N. (2023). *Real-Time Posture Correction in Gym Exercises: A Computer Vision-Based Approach for Performance Analysis, Error Classification and Feedback*. In Proc. of the Third International Workshop on Multimodal Immersive Learning Systems (MILeS 2023) at the 18th European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 2023). CEUR Vol-3499.

[P18] Sensor-based Human Motion Comparison (lead: RWTH). Ziel dieser Masterarbeit war ein System, mit dem die Variationen der Bewegungen bei der Ausführung verschiedener sportbezogener Bewegungen verglichen werden können. Im Wesentlichen besteht der Ansatz darin, Bewegungen über mehrere sensor- gestützte Aufzeichnungen hinweg zu vergleichen, um das selbstgesteuerte Lernen psychomotorischer Fähigkeiten zu erleichtern.



Chenhuan Gao (2023). *Web Frontend for the Gamification of Habit Forming in Distance Education*. Bachelor Thesis, RWTH Aachen University. Supervisors: Prof. Dr. Stefan Decker, and Prof. Dr. Stefanie Klatt. Advisors: Michal Slupczynski, and Mai Geißen. October 2023

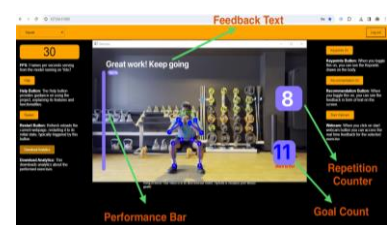
2024

[P19] Mathkinetics (lead: DIPF): Wir haben ein Videospiel entwickelt, das Posen- und Spracherkennung einsetzt und die Benutzer auffordert, Hindernisse zu überwinden und gleichzeitig Rechenaufgaben zu lösen.



Scarcella, D., Schneider, J., Kiesler, N., & Schiffner, D. (2024). *Mathkinetics: Solving Arithmetics While Running out of Breath*. Proceedings of the 16th International Conference on Computer Supported Education, 250–256. <https://doi.org/10.5220/0012536900003693>

[P20] Fitsight und IMPECT-POSE - Fitness Trainer (lead: DFKI). Wir stellen ein System zur Überwachung der Trainingsleistung und zur sofortigen Rückmeldung über die Körperhaltung während des Trainings vor. Diese Echtzeit-Anleitung erleichtert die Selbstkorrektur und steigert die Motivation, insbesondere ohne professionelle Betreuung. Fitsight ist ein zuverlässiges und ausgereiftes Werkzeug für selbstgesteuerte Fitnessreisen.



- Kotte, H., Daiber, F., Kravcik, M., & Duong-Trung, N. (2024, June). *FitSight: Tracking and Feedback Engine for Personalized Fitness Training*. In Proceedings of the 32nd ACM Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization (pp. 223-231).
- Samanta, A., Kotte, H., Handwerk, P., Asyraf Mat Sanusi, K., Geisen, M., Kravcik, M., & Duong-Trung, N. (2024, June). *IMPECT-POSE: A Complete Front-end and Back-end Architecture for Pose Tracking and Feedback*. In Adjunct Proceedings of the 32nd ACM Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization (pp. 142-147).

[P21] IMPECT robots for assembly and handover (lead: CGL). Diese Studie untersucht das immersive Lernen im Bereich der Mensch-Roboter-Interaktion (HRI). Wir untersuchen vier Kategorien von HRI-Fällen: robotergesteuert, menschen- gesteuert, autonom und kollaborativ. Für jeden Fall bewerten wir die potenziellen Risiken und die menschlichen Lernergebnisse. Unsere Erkenntnisse umfassen Interaktionsstile, die in der HRI angewandt werden können, sowie die Ausrichtung und (Multi-)Modalität dieser Interaktionsstile.



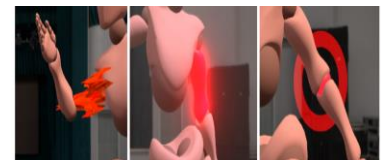
Majonica, D., Fanchamps, N., Iren, D., Klemke, R. (2024). *Exploring Immersive Learning Environments in Human-Robot Interaction Use Cases*. In: Dondio, P., et al. Games and Learning Alliance. GALA 2023. Lecture Notes in Computer Science, vol 14475. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-49065-1_26

[P22] Psychomotor Feedback Engine (lead: RWTH). Eine regelbasierte Feedback-Engine für psychomotorisches Lernen zur grafischen Erstellung von Regeln, die von Fachleuten eingegeben werden, um personalisiertes Feedback in Echtzeit zu geben. Das System wendet diese Regeln dynamisch an, basierend auf einer kontinuierlichen Analyse der Bewegungen, des Timings und der Genauigkeit des Nutzers, ohne sich auf fest kodierte Regeln oder markierte Datensätze zu verlassen.



Slupczynski, M., Nekhviadovich, A., Duong-Trung, N., & Decker, S. (2024). *Analyzing Exercise Repetitions: YOLOv8-enhanced Dynamic Time Warping Approach on InfiniteRep Dataset*. In iWOAR 2024 - 9th international Workshop on Sensor-Based Activity Recognition and Artificial Intelligence.

[P23] Visualization Techniques Study (lead: RWTH). Dieser Anwendungsprototyp untersucht eine vergleichende Analyse von Visualisierungstechniken für menschliche Bewegungen und ermöglicht es den Lernenden, verschiedene Visualisierungen von Körperbewegungen und Fehlerinformationen zu betrachten. Sie unterstützt die Anzeige einer Aktion zur gleichen Zeit und berücksichtigt gleichzeitig Veränderungen im Laufe der Zeit, um das Bewusstsein für Bewegungsdiskrepanzen zu verbessern und die Korrektur zu erleichtern.



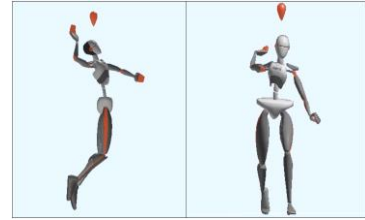
Shenyao Li (2024). *From Still to Dynamic: A Comparative Analysis of Visualization Techniques for Human Movements*. Bachelor Thesis, RWTH Aachen University. Supervisors: Prof. Dr. Stefan Decker, and Prof. Dr. Roland Klemke. Advisors: Michal Slupczynski, and Khaleel Asyraf Mat Sanusi. April 2024

[P24] Peer-Assisted Exergame (lead: RWTH). Ein Prototyp für ein Multiplayer-Exergame, bei dem zwei Spieler zusammenarbeiten, um ein Raumschiff durch Körperbewegungen zu steuern, durch ein Asteroidenfeld zu navigieren und Feinden zu entkommen. Das Spiel nutzt Human Pose Estimation, um Körperbewegungen in Echtzeit zu verfolgen, und erfordert somit keine spezielle Hardware bis auf handelsübliche Webcams.



Yorck Degens (2024). *Enhancing Physical Activity and Social Interaction through Peer-assisted Exergames*. Bachelor Thesis, RWTH Aachen University. Supervisors: Prof. Dr. Stefan Decker, and Prof. Dr. Roland Klemke. Advisors: Michal Slupczynski, and Khaleel Asyraf Mat Sanusi. July 2024

[P25] XSens Motion comparison (DTW/Kabsch) (lead: DSHS). Ein neuartiger Ansatz zur Identifizierung von Bewegungsunterschieden beim Sporttraining unter Verwendung von Sensoranzugsdaten zum visuellen Vergleich von Gelenkpositionen als Skelette mit Referenzwerten. Durch die Berechnung der mittleren quadratischen Abweichung (RMSD) quantifiziert er die Unterschiede in den Körperpositionen. Nach der manuellen Ausrichtung der Aufzeichnungen an den wichtigsten Bewegungspunkten passt der Kabsch-Algorithmus die Orientierung und Translation an, um die RMSD zu minimieren. Die Frame-by-Frame-Analyse der minimalen RMSD zeigt Bewegungsunterschiede auf.



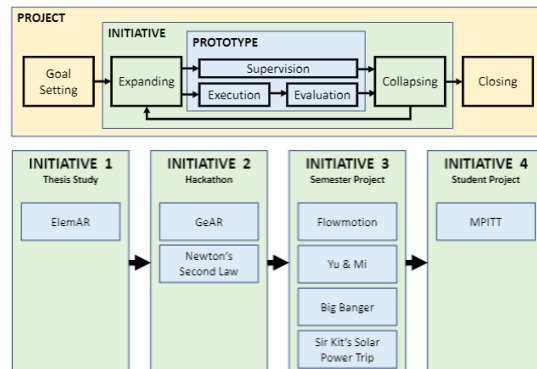
- Geisen, M., Seifriz, F., Fasold, F., Slupczynski, M., & Klatt, S. (2024). *A novel approach to sensor-based motion analysis for sports: Piloting the Kabsch algorithm in volleyball and handball*. IEEE Sensors Journal. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2024.3455173>
- Geisen, M., Seifriz, F., Fasold, F., & Klatt, S. (2024). *Einfluss unterschiedlicher Bälle auf die Bewegungstechnik beim Jump-Float Aufschlag im Volleyball: Eine Pilotstudie mit sensorbasierter Analyse*. 13. dvs-Sportspiel-Symposium "Ludo, ergo sum – vom Kinderspiel bis zum Leistungssport", Augsburg, Deutschland.

[P26] IMPECT robots escape room (lead: CGL). Diese Studie untersucht die Mensch-Roboter-Interaktion in einem pädagogischen Umfeld und legt den Schwerpunkt auf Vertrauen und kollaborative Entscheidungsfindung, die durch Augmented-Reality-Technologie (AR) erleichtert wird. Die Teilnehmer hatten die Aufgabe, Roboterkomponenten zu reparieren und in einer spielähnlichen Umgebung mit einem AR-Gerät zu navigieren. Ziel der Studie war es, zu verstehen, wie Vertrauen in der Interaktion mit autonomen Robotern aufgebaut und aufrechterhalten wird.



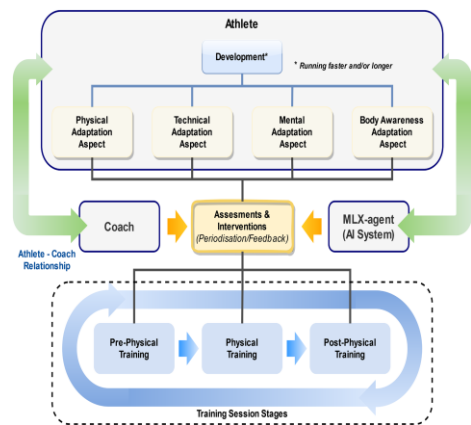
Majonica, D.; Fanchamps, N.; Iren, D.; and Klemke, R. (2024). *Building the Mental Model with Trust in Human-Robot Collaboration*. Extended Abstract published in EduRobotX Workshop of EC-TEL24

[T16] MILSDeM (lead: CGL): Dieser Artikel stellt die Verwendung von designbasierter Forschung zur Erstellung einer Methodologie für multimodale immersive Lernsysteme (MILSDeM) vor. Er beschreibt die Anwendung von MILSDeM durch ein vom Forschungsteam geleitetes Projekt, das vier Initiativen und acht Prototypen umfasst. Darüber hinaus führt der Artikel eine einheitliche Taxonomie ein und teilt Erkenntnisse aus einer qualitativen Analyse, bei der Experten aus verschiedenen Bereichen die Komponenten bewertet haben.



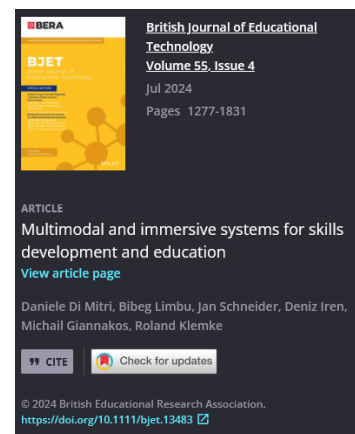
Mat Sanusi, K. A., Majonica, D., Iren, D., Fanchamps, N., & Klemke, R. (2024). *MILSDeM: Guiding immersive learning system development and taxonomy evaluation*. Education and Information Technologies, 1-34. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12479-4>

[T17] Beyond hard workout: A multimodal framework for personalised running training with immersive technologies (lead: DIPF). Diese Studie untersucht die Faktoren, die Lauftrainingsprogramme beeinflussen, und konzentriert sich auf die Vorteile und Herausforderungen personalisierter Pläne. Es wird untersucht, wie multimodale, immersive und KI-Technologien das personalisierte Training unterstützen können. Durch Interviews und Umfragen mit Lauftrainern identifiziert die Studie vier Schlüsselaspekte des Trainings: körperliche, technische, mentale und körperliche Wahrnehmung. Es wird ein Rahmen vorgeschlagen, um diese Technologien zu nutzen, um das personalisierte Training zu verbessern und es Trainern zu ermöglichen, Athleten effektiv zu führen.



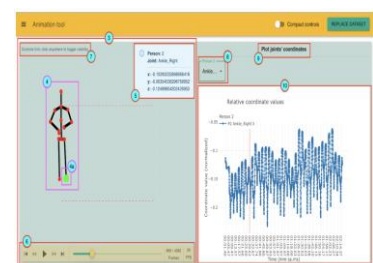
Cardenas Hernandez, F. P., Schneider, J., Di Mitri, D., Jivet, I., & Drachsler, H. (2024). *Beyond hard workout: A multimodal framework for personalised running training with immersive technologies*. *British Journal of Educational Technology*. <https://doi.org/10.1111/bjet.13445>

[T18] Multimodal and immersive systems for skills development and education (lead: DIPF). Das Konzept multimodaler und immersiver Lernsysteme zielt darauf ab, die Qualität und Authentizität von Bildungserfahrungen durch den Einsatz modernster immersiver Technologien und multisensorischer Systeme zu verbessern. Diese Systeme nutzen häufig Sensordaten, um menschliche Lernerfahrungen zu erkennen und leistungsstarke Funktionen und Schnittstellen (über KI- und ML-Algorithmen) zu ermöglichen. Neben den neuesten Innovationen in der multimodalen Interaktion und Rückmeldung schafft die aufkommende Mensch-KI-Symbiose neue Möglichkeiten für authentische Lernumgebungen, die ansprechender und effektiver sind als traditionelle computergestützte Systeme. Durch die Kombination mehrerer Interaktionsmodi, wie visuelles, auditives und haptisches Feedback, mit KI bieten diese Systeme den Nutzern ein umfassenderes und personalisiertes Lernerlebnis.



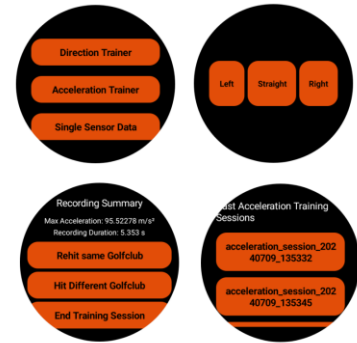
Di Mitri, D., Limbu, B., Schneider, J., Iren, D., Giannakos, M., & Klemke, R. (2024). *Multimodal and immersive systems for skills development and education*. *British Journal of Educational Technology*, 55(4), 1456–1464. <https://doi.org/10.1111/bjet.13483>

[P27] Preserving Privacy in Multimodal Learning Analytics with Visual Animation of Kinematic Data (lead: DIPF). Diese Studie befasst sich mit der Bedeutung des Schutzes persönlicher Daten in der Forschung, insbesondere in datenintensiven Bereichen wie der multimodalen Lernanalyse. Sie schlägt die Verwendung von Animationen anstelle von Videos zur Analyse multimodaler Daten vor, um die Privatsphäre zu wahren und gleichzeitig die Datenqualität zu erhalten. Die Prüfung dieser Methode mit der CPR-Performance ergab eine ähnliche Übereinstimmung der Bewerter für Video und Animation, was darauf hindeutet, dass Animationen eine brauchbare Alternative zu Videos sind.



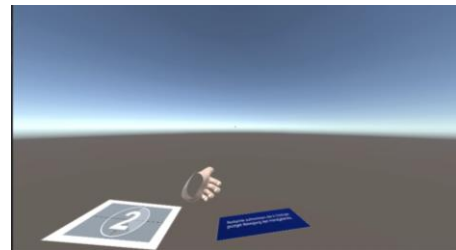
Di Mitri, D., Epp, A., Schneider, J. (2024). *Preserving Privacy in Multimodal Learning Analytics with Visual Animation of Kinematic Data*. In: Casalino, G., et al. *Higher Education Learning Methodologies and Technologies Online*. HELMeTO 2023. *Communications in Computer and Information Science*, vol 2076. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-0311-67351-1_45

[P28] Democratizing Golf Swing Analysis: Affordable Solutions with Smartwatch Sensors (lead: DIPF). Der Hauptbeitrag dieser Bachelorarbeit ist die Entwicklung der GolfApp, einer Anwendung, die Smartwatch-Sensoren für eine umfassende Schwunganalyse nutzt. Die App bietet drei Hauptfunktionen: den Richtungs-Trainer, den Beschleunigungs-Trainer und die Einzel-Sensor-Aufzeichnung. Diese Funktionen ermöglichen es Golfern, ihre Schwungmechanik durch datengestützte Einblicke und maßgeschneiderte Trainingseinheiten zu verbessern.



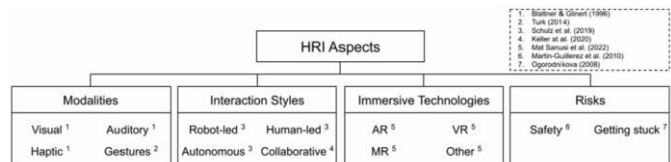
Wunder, A. C. (2024). *Democratizing Golf Swing Analysis: Affordable Solutions with Smartwatch Sensors*. Bachelor Thesis, Goethe Universität Frankfurt am Main. Supervisor: Prof. Dr. Hendrik Drachlser. Advisors: Jan Schneider.

[T19] Visual and Tactile Information Provision in Golf (lead: DSHS). Es wird ein Konzept zur visuellen und taktilen Informationsbereitstellung per XR Brille im Golf vorgestellt. Eine virtuelle Hand und das Handgelenk eines Experten sollen in Echtzeit durch die Microsoft HoloLens-Brille präsentiert werden. Die Bewegung wird begleitet von taktilen Signalen per Vibrationsmotor, welcher am Handgelenk der Lernenden befestigt wird. Diese sollen versuchen, der optimierten Handgelenkbewegung mithilfe der visuellen und taktilen Informationen sowohl in Zeitlupe als auch in normaler Geschwindigkeit zu folgen.



Geisen, M., Samantha, A., Mat Sanusi, K. A., Duong-Trung, N., Kravcik, M., & Klatt, S. (2024). *Visual and Tactile Information Provision in Golf: Conceptualization of a Training Application Incorporating Wearable Devices and Extended Reality*. International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training 2024.

[T20] Exploring ILEs in HRI Use Cases (lead: CGL). Diese theoretische Arbeit untersucht immersive Lernprozesse in der Mensch-Roboter-Interaktion (HRI) anhand von vier Interaktionskategorien: robotergesteuert, menschgesteuert, autonom und kollaborativ.



Dabei werden sowohl potenzielle Risiken wie Fehlkommunikation und Verletzungen als auch menschliche Lernergebnisse analysiert, um Interaktionsstile und deren Modalitäten zu erfassen.

Majonica, D., Fanchamps, N., Iren, D., Klemke, R. (2024). *Exploring Immersive Learning Environments in Human-Robot Interaction Use Cases*. In: Dondio, P., et al. Games and Learning Alliance. GALA 2023. Lecture Notes in Computer Science, vol 14475. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-49065-1_26

Work in Progress

Dieser Abschnitt beschreibt laufende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, die über den Projektzeitraum hinaus fortgeführt werden. Diese Liste umfasst sowohl praktische als auch theoretische Beiträge, die kurz vor ihrer Fertigstellung stehen und das Potenzial zur weiteren Anwendung und Erweiterung in zukünftigen Projekten und Forschungstätigkeiten bieten.

[P29] Mental Training: Running VR (lead: DIPF). Eine kognitiv-behavioral geprägte VR-Anwendung, die zwei wichtige mentale Aspekte des Laufens - Strategie und Motivation - in den Kontext von Langstreckenläufen integriert. Die für Head-Mounted-Displays konzipierte Anwendung ermöglicht es den Nutzern, typische Renn- Szenarien zu simulieren, ohne dass sie physisch laufen müssen.

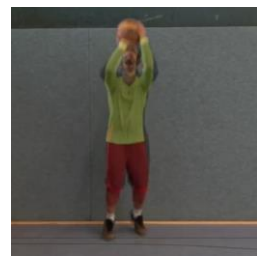


Cardenas Hernandez, F. P., Schneider, J., Di Mitri, & Drachsler, H. (under review). *On-your Marks, ready? Exploring the User Experience of a VR Application for Runners with Cognitive-Behavioral Influences*. 17th International Conference on Computer Supported Education, CSEDU 2025.

[P30] Motion skeleton superimposition in dancing/fitness (KINECT) (lead: DSHS). Visualisierungsmethode für Echtzeit-Feedback beim Erlernen eines Bewegungsablaufs (z. B. im Bereich Tanz und Fitness). Die angestrebte Leistung (Coach) wird während des Lernens über einen Großbildschirm virtuell und proportional mit der tatsächlichen Leistung (Lernender) überlagert.

Geisen, M., Baumgartner, T., Riedl, N., & Klatt, S. (under review). *Innovative motor learning with real-time feedback for video-based training* [Manuscript submitted for publication in Educational Technology Research and Development]. Institute of Exercise Training and Sport Informatics, German Sport University Cologne.

[P31] Motion anticipation in basketball (lead: DSHS). Überlagerte Videos helfen den Lernenden, Würfe und Täuschungen im Basketball zu antizipieren. In diesen Videos werden ein Wurf und eine Täuschung übereinander gezeigt, wobei kurz vor der Freigabe des Balls oder auf dem Höhepunkt der Täuschung angehalten wird, um das Ergebnis zu verbergen. Nach der Betrachtung erkennen die Lernenden, ob der Spieler in einem bestimmten farbigen Trikot einen Wurf oder eine Finte ausgeführt hat. Die überlagerten Bewegungen sollen den Vergleich und das Erkennen der Unterschiede zwischen den Aktionen erleichtern.



Bernhardt, F., Riedl, N., Geisen, M., Meyer, J., & Klatt, S. (in preparation). *Difficulty in distinguishing motion differences between shots and shot fakes in basketball: An exploration using an innovative approach*

[P32] Golfpitch visual/tactile feedback tool (lead: DSHS). Eine neuartige Lernmethode für das Golfplatz-Training beinhaltet erweiterte visuelle Informationen durch XR. Eine virtuelle Hand und das Handgelenk eines Experten werden in Echtzeit durch die Microsoft HoloLens-Brille gezeigt. Die Lernenden versuchen, der optimierten Handgelenksbewegung sowohl in Zeitlupe als auch in normaler Geschwindigkeit zu folgen.



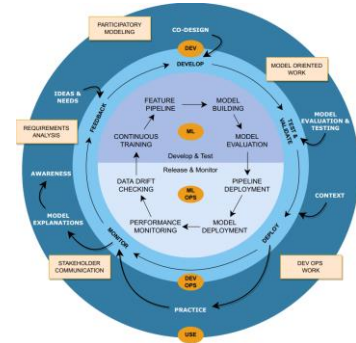
Geisen, M., Braun, T., Mat Sanusi, K. A., & Klatt, S. (in preparation). *Augmented visual information through Extended Reality: A novel method for golf pitch training*

[T21] Feedback Latency across Edge-Cloud Spectrum for Psychomotor Learning (lead: RWTH). Ziel dieser Studie ist es, den Einfluss der Latenzzeit auf die Effektivität von multimodalem Feedback innerhalb des Edge-Cloud-Spektrums in KI-gesteuerten Lernumgebungen zu untersuchen.

| Session | During Exercise | | | After Exercise |
|-------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------|
| Description | Synchronized with actions | Not synchronized with actions | After some actions or repetitions | After the session |
| Immediacy | Real-Time | Immediate | Delayed | Post-Session |
| Delay | 0 ms | ~70 ms | seconds | minutes |
| Concurrency | Online | Offline | | Delayed Offline |

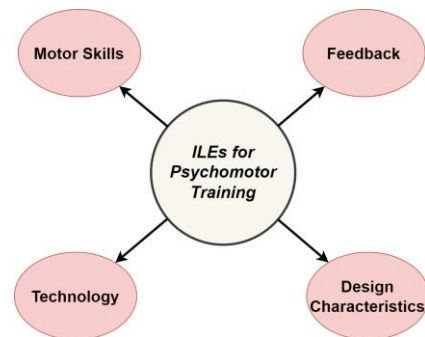
Slupczynski, M., Mat Sanusi, K. A., Klemke, R. & Decker, S. (in preparation). *Optimising Feedback Latency across the Edge-Cloud Spectrum for enhanced Psychomotor Learning*

[T22] MLOpsUse - End-User engagement in MLOps (lead: RWTH). Dieser Beitrag diskutiert einen infrastrukturellen Rahmen für die Integration von Endbenutzern in den ML-Lebenszyklus, der auf den Ergebnissen einer systematischen Literaturrecherche basiert. Er fasst die Anforderungen zusammen, die sich aus einem partizipativen Design der MLOps-Pipeline ergeben und die genutzt werden können, um die Benutzerakzeptanz zu erhöhen und das Vertrauen in die Entscheidungsfindung des Systems sicherzustellen.



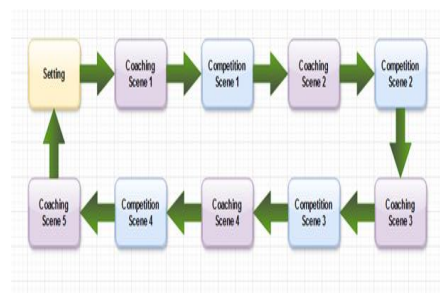
Slupczynski, M. & Decker, S. (in preparation). *Explainable MLOpsUse: Automated Analysis and Human Understanding of Multimodal Resources on the Web*

[T23] Virtual Virtuoso: A Systematic Literature Review of Immersive Learning Environments for Psychomotor Skill Development. (lead: CGL). Diese systematische Literaturübersicht untersucht die Forschung zu immersiven Lernumgebungen (ILEs) für die Entwicklung psychomotorischer Fähigkeiten und konzentriert sich dabei auf vier Dimensionen: Klassifizierung motorischer Fähigkeiten, Technologieintegration, Feedback- Mechanismen und Design virtueller Umgebungen. Frequenz- und Korrelationsanalysen zeigen positive Synergien zwischen ILE- Komponenten für das psychomotorische Training und identifizieren Forschungslücken durch negative Korrelationen.



Mat Sanusi, K. A., Iren, D., Fanchamps, N., Geisen, M., & Klemke, R. (under review). *Virtual Virtuoso: A Systematic Literature Review of Immersive Learning Environments for Psychomotor Skill Development.*

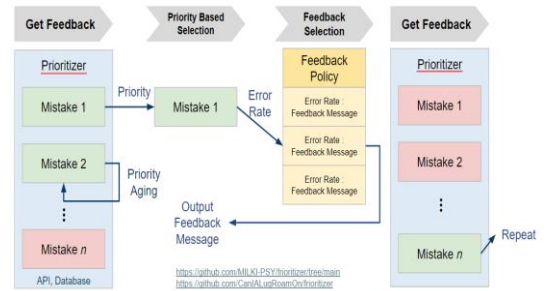
[P33] Mental Training for Long-Distance Runners through VR with Cognitive-Behavioral-Basis. (lead DIPF). Diese Studie untersuchte die Auswirkungen eines auf virtueller Realität basierenden mentalen Trainings auf Langstreckenläufer. Sechs Teilnehmer nahmen an zwei verschiedenen Rennen teil: das erste ohne mentales Training und das zweite nach Abschluss des VR-Trainings. Jeder Teilnehmer erhielt ein VR-Headset mit einer VR-Applikation, die Anweisungen zu Laufstrategien und Motivationstechniken wie Visualisierung und Selbstgespräche bot. Die Leistung in beiden Rennen wurde anhand von Smartwatch-Daten und Selbsteinschätzungen verglichen.



Cardenas Hernandez, F. P., Schneider, J., & Drachsler, H. (in preparation). *Mental Training for Long-Distance Running Development through VR with Cognitive-Behavioral-Basis: A Study on Strategy and Motivation.* Frontiers in Sports and Active Living, Digital Transformation in Sports Coaching: Enhancing Coach Learning and Athlete Development.

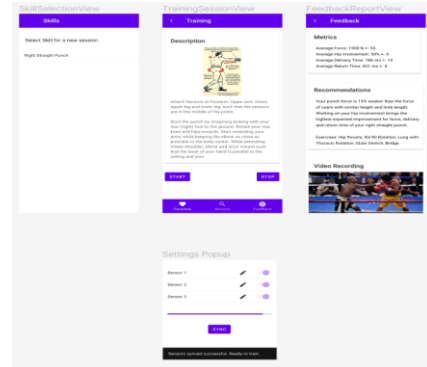
[P34] Feedback/Error Prioritisation (lead DIPF). Eine Implementierung mit REST-API zur Einrichtung und Planung von Feedback-Pipelines basierend auf voreingestellten Prioritäten.

Romano G. (*in preparation*)
<https://github.com/MILKI-PSY/frrioritizer>

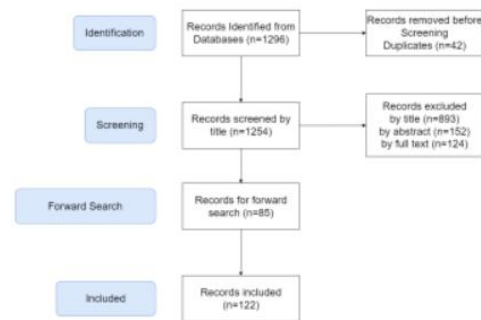


[P35] Dot sensor application (lead DIPF). [WIP] Dies ist eine mobile Anwendung, die menschliche Schlüsselpunkt-Schätzung und Sensoren verwendet, um eine geschwindigkeitsbasierte Trainingsmethode zur Verbesserung psychomotorischer Fähigkeiten zu implementieren.

Romano G. (*in preparation*)
<https://gitlab.educs-hosting.net/g.romano/sensei>



[T24] Evaluating the Scope of Intelligent Tutoring Systems in Psychomotor Skill Development (lead DIPF). Intelligente Tutorensysteme (ITS) für psychomotorische Fähigkeiten bieten im Vergleich zu Tutoren eine zugängliche, skalierbare und effiziente Lösung. Trotz früherer Erfolge scheint der Forschungsfortschritt zu stagnieren. Ein Teil der Gründe könnte darin liegen, dass ITS für eine sehr spezifische Fähigkeit oder Aufgabe entwickelt werden. Infolgedessen werden Fähigkeiten und deren Anwendungen nicht in ihrer Gesamtheit dargestellt. In einer systematischen Literaturübersicht haben wir festgestellt, dass es an der Berücksichtigung verschiedener Aufgaben zur Förderung der Fertigkeitenkompetenz mangelt. Die von ITS unterstützten Fähigkeiten sind hauptsächlich feine, geschlossene, intern getaktete, diskrete, individuelle und einfache Fähigkeiten. ITS konzentrieren sich hauptsächlich auf technische, also Koordinationsaspekte motorischer Fähigkeiten. Feedback und Wiederholung sind Schlüsselmethoden zur Förderung des Lernens psychomotorischer Fähigkeiten.



Romano, G., Schneider, J., Di Mitri D., Drachler, H. (Under Review): *There Is an AI for That: Evaluating the Scope of Intelligent Tutoring Systems in Psychomotor Skill Development*. International Journal of Artificial Intelligence in Education.

Teil 3: Erfolgskontrollbericht

Das Projekt wurde durch die DSHS in Kooperation mit dem Cologne Game Lab, TH Köln, dem Cologne Cobots Lab, TH Köln, dem DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation, der RWTH Aachen und dem DFKI | Deutschem Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz durchgeführt und unterteilte sich in 6 Arbeitspakete mit einer Gesamtlauzeit von 3 Jahren 4 Monaten (01.03.2021 – 31.07.2024). Die Struktur des Projekts ermöglichte es, dass die Arbeitspakete überwiegend parallel bearbeitet werden konnten. Die DSHS hat aktiv an allen Arbeitspaketen des Verbundprojekts teilgenommen und sich an den Maßnahmen beteiligt.

Ziel der vierten Förderrichtlinie im Forschungsfeld Digitale Hochschulbildung war es, die Bandbreite der Einsatzmöglichkeiten von Big Data und Künstlicher Intelligenz (KI) in der Hochschulbildung praxisnah zu erforschen. Ziel des Verbundprojekts MILKI-PSY war die Entwicklung und Erforschung einer KI-gestützten und datenintensiven Lernumgebung für das autonome Lernen psychomotorischer Fertigkeiten. In MILKI-PSY wurde ein domänenübergreifender Ansatz entwickelt, der es ermöglicht, die Aktivitäten von Expertinnen und Experten multimodal aufzuzeichnen und diese Aufzeichnungen als Blaupausen für Lernende zu nutzen. Mit Hilfe von KI-gestützten Analysen wird der Lernfortschritt durch automatisierte Fehlererkennung und individuell generiertes Feedback unterstützt. So entsteht eine ganzheitliche, innovative Lernumgebung für das Erlernen psychomotorischer Fähigkeiten, in der individuelle Lernprozesse auf Basis komplexer Datenanalysen personalisiert und KI-gestützt unterstützt werden.

AP 0 Projektkoordination, Dissemination, Ergebnistransfer

AP0 konzentrierte sich auf die Projektkoordination, die Verbreitung und den Transfer der Ergebnisse. Zu den wichtigsten Aktivitäten gehörten die Pflege der MILKI PSY-Website¹, die Organisation einer Reihe internationaler Workshops, MLeS (Multimodal Immersive Learning Systems), die zeitgleich mit den EC-TEL-Konferenzen (European Conference on Technology-enhanced Learning) in den Jahren 2021², 2022³, und 2023⁴ stattfanden, sowie die Ausrichtung mehrerer Konsortialtreffen vor Ort. Darüber hinaus hielt das Konsortium monatliche Online-Sitzungen ab, um die kontinuierliche Zusammenarbeit und den Fortschritt zwischen allen Projektpartnern zu gewährleisten.

Mit kontinuierlicher Beteiligung an der Projektkommunikation und ihrer fundierten Expertise in verschiedenen (psycho)motorischen Anwendungsfeldern und der Evaluation von (sportspezifischen) Trainingstools hat die **DSHS** maßgeblich zum Fortschritt des Projektes beigetragen.

AP 1 Anforderungen, theoretischer Hintergrund und Rahmenbedingungen

AP1 legte die theoretischen Grundlagen für das Projekt MILKI-PSY, einschließlich der Identifizierung von Anforderungen, theoretischer Forschung und Rahmenbedingungen für die Entwicklung immersiver Lernumgebungen mit der Integration von KI-Technologie, um psychomotorisches Ferntraining zu ermöglichen.

Die **DSHS** hat die Entwicklung des Rahmenkonzeptes mit der Bereitstellung sportwissenschaftlicher Expertise unterstützt. Dabei wurde besonders auf die mögliche Durchführung und Anwendung des Rahmenkonzeptes aus sportpraktischer Sicht geachtet. Konkret hat die DSHS zur Ermittlung der Anforderungen an sensor-gestützte multimodale Bewegungsaufzeichnung und an immersive, multimodale Lern- und Feedbackkomponenten in AR/VR mit der Bereitstellung sportwissenschaftlicher Expertise beigetragen. Sie brachte insbesondere den Blickwinkel des Anwendungsfalls der Verbesserung psychomotorischer Fähigkeiten im Sport in die fallübergreifende Anforderungserhebung und -systematisierung ein.

¹ <https://milki-psy.de/>

² <https://ceur-ws.org/Vol-2979/>

³ <https://ceur-ws.org/Vol-3247/>

⁴ <https://ceur-ws.org/Vol-3499/>

AP 2 Immersive Lernumgebung

In AP2 lag der Schwerpunkt auf der Entwicklung immersiver Lernumgebungen durch den Entwurf, die Implementierung und den Einsatz des IMPECT (Immersive Multimodal Psychomotor Environment for Competence Training) Toolkits (Mat Sanusi et al., 2022; Mat Sanusi et al., 2023). Das Toolkit basiert auf dem MILSDeM-Rahmenwerk und war das Ergebnis eines iterativen Entwicklungsprozesses, bei dem acht ILE-Prototypen im Rahmen von Studentenprojekten im Laufe von neun Monaten erstellt wurden. Diese Prototypen boten einen fruchtbaren Boden für Experimente, Erkundungen und Verfeinerungen und ermöglichten die systematische Integration von Instruktionsdesign, multimodaler Interaktion und Feedbackmechanismen in das IMPECT-Toolkit (Mat Sanusi et al., 2024). Unter der Leitung des CGL-Teams sollte eine innovative Lösung für das Training psychomotorischer Fähigkeiten entwickelt werden, die auf den Grundsätzen des MILSDeM-Rahmens beruht.

Die **DSHS** unterstützte die Erforschung und Entwicklung von immersiven Lernumgebungen mit der Bereitstellung sportwissenschaftlicher Expertise. Dabei wurde besonders auf die mögliche Durchführung und Anwendung des Projektes, speziell hinsichtlich einer passenden Trainingsumgebung, aus sportpraktischer Sicht geachtet.

AP 3 Sensor Integration und Datenfusion

Das DIPF hat die erforderlichen Maßnahmen und Aktivitäten im Arbeitspaket 3: Sensor Integration und Datenfusion (AP 3) betreffend koordiniert. Unser Fokus lag auf der Forschung und Entwicklung einer Sensordaten-Infrastruktur, die wichtige Leistungsmerkmale von Lehrenden und Lernenden erfassen kann, um Anleitung und Feedback zu geben, die zum Trainieren und Entwickeln ihrer psychomotorischen Fähigkeiten erforderlich sind. In den anderen Arbeitspaketen hat das DIPF mitgewirkt und an Maßnahmen des Verbundprojektes (monatliche Treffen, Projektmeetings, Workshops) teilgenommen.

Die **DSHS** unterstützte in Form von sportwissenschaftlicher Expertise, insbesondere in Bezug auf die Durchführbarkeit von Echtzeit-Feedback im Sport.

AP 4 Maschinelles Lernen für Performance-Analyse und Fehlerklassifikation

Das DFKI leitete AP4 und verfolgte das Ziel, maschinelles Lernen zur Leistungsanalyse und Fehlerklassifikation einzusetzen. Die KI in MILKI-PSY übernimmt im Wesentlichen folgende Aufgaben, die für den Lernprozess wichtig sind: Modellierung von Vorlagen und Bewegungsmustern zur Anleitung der Lernenden, Erkennung von Fehlern in der Bewegungsausführung der Lernenden und Generierung von hilfreichen Feedback für die Lernenden. Zunächst haben wir Methoden zur effizienten Darstellung und Vorhersage menschlicher Bewegungen untersucht. Außerdem haben wir Methoden zur automatischen Erkennung von Schülerübungen mit nur einer korrekten Lehrerdemonstration vorgeschlagen. Später entwickelten wir ein System zur Echtzeit-Haltungskorrektur bei Fitnessübungen. Schließlich evaluierten wir unser System Fitsight zur Überwachung der Übungsausführung und zur sofortigen Rückmeldung der Körperhaltung während des Trainings. Dabei haben wir auch zur Entwicklung einer kompletten Front-End und Back-End Architektur für Pose Tracking und Feedback beigetragen.

Die **DSHS** unterstützte das AP4, indem sie zur Entwicklung einer Methode für die Bestimmung der globalen Geometrie von Leichtathletik-Stadionbildern basierend auf Bahnbegrenzungen beitrug.

AP 5 Sichere und Skalierbare Cloud-Dateninfrastruktur

Im Rahmen von AP5 übernahm die **RWTH** die Führung beim Aufbau und der Wartung eines robusten Kubernetes-Clusters, der als Grundlage für die MILKI PSY Cloud (Slupczynski & Klamma 2021; Slupczynski & Klamma 2022; Slupczynski et al. 2023) dient und eine zentralisierte und skalierbare Infrastruktur zur Unterstützung der Projektaktivitäten bietet. Die RWTH initiierte den Aufbau des Kubernetes-Clusters und integrierte Ressourcen verschiedener Projektpartner, um eine kollaborative Umgebung zu schaffen. Dazu gehörte die Einbindung von Rechenknoten dieser Partner und die fortlaufende Unterstützung bei der Bereitstellung verschiedener Webanwendungen, um allen Mitgliedern des Projektkonsortiums eine nahtlose und effiziente Nutzung der Plattform zu ermöglichen.

Die **DSHS** unterstützte in Form von sportwissenschaftlicher Expertise, insbesondere indem sie User-Tests einer dort entwickelten Webanwendung für feedbackbasiertes Bewegungstraining durchführte und so zur Weiterentwicklung der Anwendung beitrug.

AP 6 Anwendungsfälle und Evaluation

Das AP6 wurde von der **DSHS** angeleitet und hat sich damit befasst, immersive Lernumgebungen zu entwickeln, die Lernenden helfen, sportmotorische Bewegungsabläufe präziser zu erlernen, insbesondere durch visuelles Echtzeit-Feedback. In der ersten Projektphase wurden systematisch Aufgabenbereiche erarbeitet, die in der zweiten Phase konkretisiert und in der dritten Phase abgeschlossen wurden. Daran anknüpfend sind erste Folgeuntersuchungen bereits gestartet. Alle Untersuchungen fanden in den Räumlichkeiten der DSHS statt. Die Ergebnisse wurden entweder bereits in Fachzeitschriften publiziert oder befinden sich derzeit in Begutachtung. Einige Arbeiten wurden zudem auf (inter-)nationalen Konferenzen vorgestellt.

Im Golfsport wurde eine neue Methodik für motorisches Lernen basierend auf Extended Reality entwickelt und erfolgreich evaluiert (Geisen et al., 2023a). Um verschiedene Visualisierungsmethoden für Echtzeit-Feedback miteinander zu vergleichen, wurden Untersuchungen im Tanz-Fitnessbereich durchgeführt (Geisen et al., 2023b; Geisen et al., under review). Ein innovatives Trainingskonzept für den Tanzsport bietet die Integration von visuellem Echtzeit-Feedback zur Bewegungspräzision in den Tanzunterricht (Geisen et al., 2023). Eine zusammenfassende Stellungnahme der Rolle dieser innovativen (für verschiedene Sportbereiche nützlichen) Methoden in der Motorik- und Kognitionsforschung wurde ebenfalls publiziert (Geisen & Klatt, 2023c). Zudem ist in Zusammenarbeit mit dem Projektpartner RWTH Aachen die Entwicklung und Erprobung einer neuartigen Auswertungsmethode für durch Motion Capture generierte sportspezifische Bewegungsdaten erfolgt (Geisen et al., 2024). Ein der Folgeuntersuchungen befasst sich mit der Wirkung überlagerter Video-Darstellungen auf die Antizipation von Wurf- und Täuschungsbewegungen im Basketball. Gemeinsam mit den Projektpartnern TH Köln und dem DFKI ist die Implementierung der im Projekt entwickelten Methoden in das Pitchtraining im Golfsport vorbereitet worden, bei dem visuelles Feedback über Handgelenksbewegungen mittels Augmented Reality bereitgestellt wird.

Im engen Austausch mit der Abteilung Wissens- und Technologietransfer der DSHS hat sich die Projektgruppe im Rahmen des Projekts mit dem Transfer der Forschungsergebnisse in die Praxis auseinandergesetzt. Dazu zählt die Teilnahme an Workshops und Events, welche verschiedene Aspekte des Wissenstransfers beleuchtet und im Rahmen dessen den TeilnehmerInnen wertvolle Werkzeuge zur praktischen Umsetzung an die Hand gegeben wurden: Promotoren ThinkTank zum Thema „Digitale Anwendungen für Bildung und Vermittlung im Sport“, EXIST-Women: Gateway EM*power, StarS Kader Veranstaltung „Auf die Plätze, fertig – PITCH!“.

3.1. Wissenschaftlich-technisches Ergebnis des Vorhabens

Die DSHS hat im Forschungsprojekt MILKI PSY entscheidend zur Entwicklung innovativer KI-gestützter, multimodaler Lernumgebungen für das selbstständige Erlernen psychomotorischer Fähigkeiten beigetragen. Im Mittelpunkt stand die Entwicklung von Technologien und Konzepten, die Lernende individuell und effektiv unterstützen. Die DSHS war maßgeblich an der Erarbeitung und Evaluation von Software- und Hardware-Prototypen sowie theoretischen Ansätzen beteiligt, die zu einer integrativen Lernarchitektur zusammengeführt

wurden. Diese Ergebnisse setzen neue Maßstäbe in der Sportwissenschaft und bieten vielseitige Anwendungsmöglichkeiten.

[[T5] umfasst ein Studiendesign der DSHS für den Einsatz von visuellem (virtuellem) Echtzeit-Feedback in einer immersiven Umgebung, welches es Lernenden ermöglichen soll, die Durchführung einer motorischen Aufgabe zu optimieren. Auf Basis dessen beinhalten [P15] und [P30] die praktische Umsetzung einer mit Visualisierungsmethode zum Echtzeit-Feedback beim Erlernen eines Bewegungsablaufs im Bereich Tanz und Fitness. Die angestrebte Leistung (Coach) wird während des Lernens über einen Großbildschirm virtuell und proportional mit der tatsächlichen Leistung (Lernender) überlagert.

In [P8] wurde die automatische Erkennung von SchülerInnenversuchen für Posen mit nur einer korrekten LehrerInndemonstration untersucht. Dabei wurden Relevanzlernen, prototypische Netzwerke und Aufmerksamkeitsmechanismen getestet, um einen robusten Ansatz für wenige Aufnahmen zu entwickeln, der auf alle SchülerInnen anwendbar ist. In einem Experiment mit einer Lehrkraft und 27 SchülerInnen, die Fitness- und Tanzbewegungen vorführten, zeigte sich, dass Prototypennetzwerke in Kombination mit einem Aufmerksamkeitsmechanismus am besten funktionierten.

Zum Erlernen und Präzisieren von Bewegungsfähigkeiten bietet IMPECT-Sports [P10] immersive Umgebungen für das Bewegungstraining an. Diese Systeme verfügen über virtuelle Coaches, multimodales Feedback und Wizard-of-Oz-Setups für Coaching-gesteuerte Lerneinheiten.

Die Arbeiten rund um den XR Golf Putt Trainer [P11] konzentrierten sich auf die Entwicklung und Erforschung einer technologiegestützten Echtzeit-Feedback-Methode, die an das motorische Lernen im Golfsport angepasst ist. Konkret wurde ein virtueller Golfschläger als Vorbild für das Erlernen des Golfputts entwickelt. Dieser wird in Echtzeit über die Microsoft HoloLens-Brille mit dem realen Golfschläger des Lernenden überlagert.

Mit [P12] wurde eine Methode zur Schätzung der globalen Geometrie von Leichtathletik-Stadionbildern anhand der Laufbahn- grenzen vorgeschlagen. Durch Rückprojektion geschätzter 3D-Skelette in das Bild unter Verwendung dieser globalen Geometrie konnten wir zeigen, dass die aktuellen 3D-Methoden zur Schätzung der menschlichen Körperhaltung (noch) nicht genau genug sind, um in der Kinematikforschung verwendet zu werden.

Es wurden fortschrittliche Verfahren wie die Zeitreihe-Vergleichsmethoden und der Kabsch-Algorithmus [P25] eingesetzt, um Bewegungsdifferenzen im Sporttraining zu identifizieren. Der Einsatz von Sensoranzügen und der Vergleich von Gelenkpositionen in Echtzeit ermöglicht eine präzise Analyse von Bewegungsfehlern, die anschließend durch computergestützte Verfahren visualisiert und quantifiziert werden. Diese detaillierten Analysen sind ein entscheidender Schritt hin zu einem personalisierten Lernansatz, der die Entwicklung von psychomotorischen Fähigkeiten fördert.

Im Rahmen von [T19] wird ein Konzept zur visuellen und taktilen Informationsbereitstellung per XR Brille im Golf vorgestellt. Eine virtuelle Hand und das Handgelenk eines Experten sollen in Echtzeit durch die Microsoft HoloLens-Brille präsentiert werden. Die Bewegung wird begleitet von taktilen Signalen per Vibrationsmotor, welcher am Handgelenk der Lernenden befestigt wird. Diese sollen versuchen, der optimierten Handgelenksbewegung mithilfe der visuellen und taktilen Informationen sowohl in Zeitlupe als auch in normaler Geschwindigkeit zu folgen. Darauf basierend wurde eine neuartige Lernmethode für das Golfplatz-Training entwickelt [P32]. Sie konzentriert sich auf das in [T19] erarbeitete visuelle Feedback per XR.

Überlagerte Videos helfen Lernenden, Würfe und Täuschungen im Basketball zu antizipieren [P31]. In diesen Videos werden ein Wurf und eine Täuschung übereinander gezeigt, wobei kurz vor der Freigabe des Balls oder auf dem Höhepunkt der Täuschung angehalten wird, um das Ergebnis zu verbergen. Nach der Betrachtung erkennen die Lernenden, ob der Spieler in einem bestimmten farbigen Trikot einen Wurf oder eine Finte ausgeführt hat. Die überlagerten Bewegungen sollen den Vergleich und das Erkennen der Unterschiede zwischen den Aktionen erleichtern.

Schließlich wurde ein umfassendes Rahmenwerk für die Entwicklung multimodaler immersiver Lernumgebungen geschaffen, das eine einheitliche Taxonomie, wichtige Leistungsindikatoren und iterative Entwicklungsprozesse umfasst und anhand von realen Projekten und Prototypen veranschaulicht wird [T23].

Insgesamt hat das Projekt MILKI PSY erfolgreich neue Technologien und Konzepte entwickelt, die die Möglichkeiten des multimodalen, immersiven Lernens mit KI im Bereich der psychomotorischen Fähigkeiten erweitern. Die Ergebnisse bieten nicht nur neue wissenschaftliche Erkenntnisse, sondern auch praxisorientierte Lösungen für das selbstständige Erlernen und Verbessern von Bewegungsfähigkeiten, was weitreichende Anwendungsmöglichkeiten in verschiedenen Bereichen der (sportwissenschaftlichen) Bildung eröffnet.

3.2. Erreichte Nebenergebnisse

Zu den sekundären Ergebnissen, die im Rahmen des MILKI-PSY-Projekts erzielt wurden, gehört die erfolgreiche Organisation der internationalen **Multimodal Immersive Learning Systems (MILeS)-Workshops** während der Europäischen Konferenz über technologiegestütztes Lernen in den Jahren 2021, 2022 und 2023. Diese Workshops ermöglichten es den Konsortialpartnern nicht nur, ihre Ergebnisse einer breiten Öffentlichkeit zu präsentieren, sondern zogen auch externe Forscher an, die ihre Ergebnisse auf demselben Forschungsgebiet vorgestellt haben. Die Workshops ermöglichten einen wertvollen Gedankenaustausch und förderten die Zusammenarbeit und Innovation unter den Teilnehmern.

In ähnlicher Weise organisierten einige Partner des Konsortiums den Workshop **Multimodal Artificial Intelligence in Education (MAIED 21)**, der im Rahmen der 22nd International Conference on Artificial Intelligence in Education stattfand. International Conference on Artificial Intelligence in Education veranstaltet wurde. Diese Teilnahme bot eine Plattform, um die Fortschritte des Konsortiums bei multimodalen KI-Anwendungen im Bildungsbereich zu präsentieren und ihre Präsenz in der akademischen Gemeinschaft weiter zu stärken.

Darüber hinaus haben einige Mitglieder des Konsortiums als Redakteure und Herausgeber an einer **Sonderausgabe** des British Journal of Educational Technology mit dem Titel „**Multimodal and Immersive Systems for Skills Development and Education**“ mitgewirkt. Diese Sonderausgabe beleuchtet Spitzenforschung und praktische Anwendungen multimodaler und immersiver Technologien im Bildungsbereich und bot Einblicke in ihr Potenzial zur Verbesserung von Lernerfahrungen und Kompetenzentwicklung.

Diese Aktivitäten dienen nicht nur der Verbreitung ihrer Ergebnisse, sondern trugen auch zu einem breiteren Diskurs über technologiegestütztes Lernen und die Integration von KI in die Bildung bei.

3.3. Gesammelte wesentliche Erfahrungen

Im Forschungsprojekt MILKI PSY konnten wir wesentliche Erfahrungen sammeln, die für die Entwicklung effektiver Lerntechnologien im Bereich psychomotorischer Fertigkeiten von zentraler Bedeutung sind.

Eine wichtige Erkenntnis war, dass der Ansatz „One App to Rule Them All“ – also die Entwicklung einer einzigen Anwendung für alle Lernbedarfe – nicht effizient ist. Jede Lernaktivität besitzt ihre eigenen spezifischen Kontexte, Anforderungen und Best Practices. Statt eine universelle Anwendung zu erstellen, die alle Bedürfnisse gleichermaßen adressieren soll, ist es weitaus effektiver, eine Suite spezialisierter Anwendungen zu entwickeln. Diese Anwendungen können gezielt auf die jeweiligen Lernanforderungen abgestimmt werden und erlauben eine größere Flexibilität sowie eine höhere Effizienz in der Umsetzung. Die Vielseitigkeit und Spezifität der einzelnen Lernaktivitäten verdeutlichen die Notwendigkeit, maßgeschneiderte Lösungen zu schaffen, die der Komplexität und den einzigartigen Anforderungen jeder psychomotorischen Fertigkeit gerecht werden.

Zudem zeigte sich, dass verschiedene psychomotorische Fertigkeiten, je nach Art und Ziel der Bewegung, unterschiedliche Technologien und Feedback-Komponenten erfordern. Die nötigen technischen Lösungen, wie etwa Sensoren oder Mechanismen für Visualisierung, variieren je nach Lerninhalt und Kontext. So benötigen etwa sportliche Fertigkeiten andere sensorische und visuelle Feedback-Elemente als Fertigkeiten im Bereich der Feinmotorik. Diese Erkenntnis unterstreicht die Bedeutung einer gezielten Auswahl an Technologien, die die spezifischen Anforderungen jeder psychomotorischen Fertigkeit unterstützen, und somit dem Lernenden passgenaue Rückmeldungen geben, um seine Bewegungen zu optimieren und Fortschritte zu erleichtern.

Unsere Arbeit hat auch die enorme Wirkungskraft immersiver, multimodaler Systeme für das Training psychomotorischer Fähigkeiten bestätigt. Die Integration mehrerer sensorischer Eingaben und Feedback-Kanäle in einer einzigen Anwendung ermöglicht es den Lernenden, Bewegungen intensiver und kontrollierter zu erleben. Menschen erkennen zunehmend das Potenzial solcher Technologien, da sie eine lebendigere und realistische Lernumgebung schaffen, die Motivation steigert und die Auseinandersetzung mit den jeweiligen Bewegungsanforderungen vertieft. Der Lernprozess wird durch die immersive Erfahrung gefördert, die eine enge Verknüpfung von Körperwahrnehmung, Bewegung und Kognition ermöglicht und Lernenden so eine tiefere, praxisnahe Aneignung ihrer Fertigkeiten ermöglicht.

Ein weiterer zentraler Punkt ist die komplexe Struktur der psychomotorischen Fähigkeiten selbst. Diese Fähigkeiten umfassen nicht nur rein physische Bewegungen, sondern erfordern auch eine Kombination aus mentaler, technischer und körperlicher Anpassung sowie ein Bewusstsein für den eigenen Körper. Um eine komplexe Bewegung präzise und kontrolliert auszuführen, müssen Lernende sowohl ihre kognitiven Prozesse als auch ihre motorischen Fähigkeiten koordinieren. Ein maßgeblicher Vorteil multimodaler, KI-gestützter Lerntechnologien besteht darin, dass sie diese verschiedenen Aspekte miteinander verbinden und den Lernenden ermöglichen, Bewegungen in Echtzeit zu analysieren und anzupassen. Dadurch wird die Entwicklung von Präzision und Kontrolle gefördert, was letztlich zu einer gesteigerten Lernqualität und einem nachhaltigeren Trainingserfolg führt.

3.4. Die Fortschreibung des Verwertungsplans

Die im Antrag zur KonzPh dargelegten Verwertungsinteressen können fortgeschrieben werden.

3.1.1. Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte, die vom AN oder von am Vorhaben Beteiligten gemacht oder in Anspruch genommen wurden, sowie deren standortbezogene Verwertung (Lizenzen u.a.) und erkennbare weitere Verwertungsmöglichkeiten

Im Rahmen des Projekts wurden alle entwickelten Prototypen unter der MIT-Lizenz veröffentlicht. Diese Lizenz gewährleistet, dass die Prototypen als Open-Source-Software frei zugänglich sind und sowohl genutzt, modifiziert als auch weiterverbreitet werden können. Durch diese Lizenzierung wird Transparenz gefördert und eine kollaborative Weiterentwicklung innerhalb der wissenschaftlichen und technologischen Gemeinschaft ermöglicht. Entwicklern und Forschern wird so die Gelegenheit gegeben, auf den erzielten Ergebnissen aufzubauen, Verbesserungen beizutragen und Innovationen zu teilen, was eine nachhaltige Verwertung sicherstellt.

3.1.2. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Auftragende (mit Zeithorizont) - z.B. auch funktionale/wirtschaftliche Vorteile gegenüber Konkurrenzlösungen, Nutzen für verschiedene Anwendergruppen/industrien am Standort Deutschland, Umsetzungs- und Transferstrategien

Derzeit bestehen keine unmittelbaren wirtschaftlichen Erfolgsaussichten nach Abschluss des Projekts. Zukünftige Entwicklungen und Fortschritte könnten jedoch neue Möglichkeiten eröffnen, sobald die Technologien weiter ausgereift sind und sich die Marktnachfrage entsprechend entwickelt. Die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten unseres Forschungsprojekts basieren maßgeblich auf der geplanten Weiternutzung und Erweiterung der entwickelten Prototypen über den Projektzeitraum hinaus.

3.1.3. Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Auftragende(mit Zeithorizont) - u.a. wie die geplanten Ergebnisse in anderer Weise (z.B. für weitere öffentliche Aufgaben, Datenbanken, Netzwerke, Transferstellen etc.) genutzt werden können. Dabei ist auch eine etwaige Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Firmen, Netzwerken, Forschungsstellen u.a. einzubeziehen

Wir werden die Weiterentwicklung multimodaler immersiver Lernsysteme in zukünftigen Projektvorschlägen vorantreiben, insbesondere im Bereich des Trainings psychomotorischer Fähigkeiten. Dabei werden fortschrittliche KI-gesteuerte Feedback-Mechanismen und Mixed-Reality-Systeme erforscht. Zudem streben wir die Zusammenarbeit mit anderen Institutionen,

Unternehmen und Forschungsnetzwerken an, um diese Lösungen in öffentliche und kommerzielle Sektoren zu integrieren. Eine bestehende Kooperation erfolgt bereits im Rahmen des aktuellen BMBF-Projekts HyTea, und weitere Kooperationen sind geplant.

3.1.4. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche notwendige nächste Phase bzw. die nächsten innovatorischen Schritte

Wir streben aktiv nach Finanzierungsmöglichkeiten durch verschiedene Quellen, darunter das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), das Horizon-Europe-Programm und die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG). Diese Förderungen sollen es uns ermöglichen, unsere Forschungsinitiativen weiter voranzutreiben, Innovationen zu fördern und zu bedeutenden wissenschaftlichen und technologischen Fortschritten beizutragen.

3.1.5. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Zu Beginn des Projekts hatten wir geplant, ein eigenes KI-Modell basierend auf unseren Daten zu trainieren. Allerdings stellte sich heraus, dass dies aufgrund der erheblich größeren Datenmengen, die für das Training eines Deep-Learning-Modells erforderlich sind, nicht umsetzbar war. Trotz Bemühungen zur Datenerfassung und -kennzeichnung erwies sich das Training eines eigenen Modells als nicht realisierbar. Daher änderten wir unsere Strategie und nutzten vor-trainierte KI-Modelle wie YOLOv8 oder MediaPipe, deren Ergebnisse wir für unsere Zwecke einsetzten. Zusätzlich untersuchten wir algorithmische und regelbasierte Ansätze, die eine praktikable Alternative darstellen, da sie nicht auf große Datensätze angewiesen sind.

3.1.6. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer - z.B. Anwenderkonferenzen

Wir planen, unsere Anwendungen potenziellen Nutzern im Rahmen einer Reihe von Veranstaltungen vorzustellen. Im Jahr 2025 sollen unsere Prototypen als Demos auf verschiedenen Konferenzen präsentiert werden, darunter die European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL), die Learning Analytics and Knowledge Conference (LAK), die Games and Learning Alliance Conference (GALA) und das Immersive Learning Research Network (iLRN). Diese Veranstaltungen bieten uns wertvolle Möglichkeiten, Feedback einzuholen, Kooperationen zu fördern und unsere Arbeit in der wissenschaftlichen und bildungsbezogenen Gemeinschaft weiter bekannt zu machen.

3.5. Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung

Im Laufe unseres Projekts stießen wir auf mehrere, unvorhergesehene Herausforderungen und Erkenntnisse, die eine Anpassung unserer Pläne und Zeitpläne erforderlich machten. Diese Herausforderungen wirkten sich auf verschiedene Aspekte des Projekts aus, u. a. auf die Teamdynamik, äußere Umstände, technische Hürden und sich entwickelnde interne und externe Erkenntnisse. Daher haben wir eine Verlängerung beantragt, um die Qualität und Gründlichkeit unserer Arbeit zu gewährleisten. Im Folgenden erläutern wir die Hauptgründe für diese Verlängerung, kategorisiert nach spezifischen Bereichen, die unseren Fortschritt maßgeblich beeinflusst haben.

Team-bezogene Herausforderungen

Das Projekt musste aufgrund unvorhergesehener personeller Herausforderungen erhebliche Verzögerungen hinnehmen. Der plötzliche Tod von Prof. Dr. Ralf Klamma, dem Projektleiter an der RWTH, war ein großer Rückschlag, der durch einen Unfall von Prof. Dr. Roland Klemke, dem Projektleiter am CGL und Gesamtkoordinator, noch verstärkt wurde. Zusätzlich wirkten sich Verzögerungen bei der Einstellung wichtiger Mitarbeiter auf den Zeitplan des Projekts aus, da kritische Aufgaben nicht wie geplant begonnen werden konnten.

Externe Umstände

Auch externe Faktoren trugen zu Verzögerungen bei. Die COVID-19-Pandemie führte zu erheblichen Unterbrechungen, u. a. bei der Bestellung von Hardware, bei der Organisation von persönlichen Treffen mit den Teilnehmern und bei der Planung von technischen Integrationstreffen. Darüber hinaus kam es aufgrund von Engpässen in der weltweiten Lieferkette zu Verzögerungen bei der Beschaffung wichtiger Hardware, was sich unmittelbar auf den Projektfortschritt auswirkte.

Interne Einsichten

Im Laufe des Projekts wurden aufgrund interner Erkenntnisse Änderungen an unseren Plänen erforderlich. Im Anwendungsfall Robotik verlagerte sich der Schwerpunkt vom psychomotorischen auf den affektiven Bereich. In ähnlicher Weise wurde der Anwendungsfall Sport von Tanzen und Laufen auf Golf verlagert, nachdem wir die Komplexität der Ermittlung der richtigen Techniken für Sportarten erkannt hatten. Unsere Expertenstudie ergab, dass selbst Fachleute sich oft nicht einig sind über die spezifischen Merkmale, die richtige und falsche Bewegungen unterscheiden. Dies führte zu der Erkenntnis, dass es keinen universellen Ansatz für die Vermittlung psychomotorischer Fähigkeiten gibt, sondern dass für jedes Szenario maßgeschneiderte Strategien erforderlich sind. So erwies sich das Nachahmungslernen beim Tanzen und Golfen als wirksam, beim Laufen jedoch als ungeeignet. Außerdem erfordert das Lernen in Sportarten wie dem Laufen einen ganzheitlichen Ansatz, der neben den körperlichen Fähigkeiten auch affektive und mentale Aspekte einbezieht.

Externe Einblicke

Das Aufkommen großer Sprachmodelle (LLMs) während der Projektlaufzeit veranlasste uns, einige Aspekte unserer Arbeit neu zu bewerten, um diese Fortschritte in unseren Forschungsrahmen zu integrieren.

Technische Probleme

Es traten mehrere technische Probleme auf, die sich auf unsere Studienpläne auswirkten. Erstens waren unsere VR-Geräte nicht mit Outdoor-Umgebungen kompatibel, was uns zwang, geplante Outdoor-Studien zu verschieben und die Rekrutierung von Teilnehmern erschwerte. Darüber hinaus behinderten Einschränkungen des Neuron Perception 3 Motion Capture Anzugs - wie z. B. magnetische Interferenzen, fehlende Dokumentation und schlechte Unterstützung durch das Neuron-Team - eine effiziente Datenerfassung. Es waren mehrere Demonstrationen und eine Studie erforderlich, um diese Probleme vollständig zu identifizieren. Auch das neue Kinect-Modul für die 3D-Bewegungserfassung erfüllte nicht unsere Qualitätserwartungen. Es hatte Probleme mit schnellen Bewegungen, versteckten Gliedmaßen und Fußverfolgung, was seine Anwendbarkeit für den Anwendungsfall Laufen besonders einschränkte.

Andere Herausforderungen

Andere unerwartete Probleme erschwerten die Projektdurchführung zusätzlich. Das Hacken des DIPF führte zu erheblichen Unterbrechungen, während der Austausch von Personal, darunter ein Doktorand an der DSHS und ein Postdoktorand am DFKI, zu zusätzlichen Anpassungen und Verzögerungen im Projektzeitplan führte.

3.6. Berichtsblätter

| | | |
|--|--|--|
| 1. ISBN, ISSN oder DOI: | 2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Veröffentlichung | |
| 3. Titel Real-time visual feedback on sports performance in an immersive training environment: Presentation of a study concept. | | |
| 4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Geisen, Mai Baumgartner, Tobias Riedl, Nina Klatt, Stefanie | 5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.07.2024 | 6. Veröffentlichungsdatum 2021 |
| | 7. Form der Publikation Online | |
| | 8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Deutsche Sporthochschule Köln Am Sportpark Müngersdorf 6 50933 Köln | |
| 9. Ber. Nr. Durchführende Institution | | 10. Förderkennzeichen 16DHB4017 |
| 11. Seitenzahl 5 | | 12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) Heinemannstraße 2, 53170 Bonn |
| 13. Anz. Literaturangaben 15 | | 14. Anz. Tabellen 0 |
| 15. Anz. Abbildungen 1 | | 16. Zusätzliche Angaben |
| 17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Proc. of the First International Workshop on Multimodal Immersive Learning Systems (MILeS 2021) at the 16th European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 2021), Bozen-Bolzano, Italien. | | |
| 18. Kurzfassung Das motorische Lernen wird besonders durch Rückmeldungen über Handlungen von Lernenden begünstigt. Die essentielle Rolle von Feedback wird besonders im Sport deutlich, wo sich wichtige Komponenten auf das Erlernen und Optimieren einzelner Bewegungstechniken und -abläufe beziehen. Mit Hilfe von Bewegungsfeedback können sowohl AthletInnen als auch AnfängerInnen die korrekte Bewegungskonzepte optimieren und erlernen sowie verinnerlichen, um ihre sportliche Leistung langfristig zu verbessern. Durch innovative, immersive Trainingsumgebungen ist es möglich, Menschen während der Bewegungskonzepte visuelles Feedback über Bildschirme zu geben, um Korrekturen beim motorischen Lernen in Echtzeit vorzunehmen. Dementsprechend wird in diesem Beitrag ein Studiendesign für den Einsatz von visuellem Echtzeit-Feedback in einer immersiven Umgebung vorgestellt, das ProbandInnen ermöglichen soll, ihre Leistung bei einer motorischen Aufgabe zu optimieren. Dieses Konzept wird insbesondere unter dem Aspekt der Verbesserung des psychomotorischen Lernens im Rahmen des Projektes MILKI-PSY erarbeitet und umgesetzt. | | |
| 19. Schlagwörter Echtzeit-Feedback, psychomotorisches Lernen, Bewegungsanpassung | | |
| 20. Verlag Frei Universität Bozen | 21. Preis Open Access | |

Abschlussbericht zum Projekt MILKI PSY

| | |
|--|--|
| 1. ISBN, ISSN oder DOI: 10.1109/TLT.2023.3322660 | 2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Veröffentlichung |
| 3. Titel Extended Reality as a training approach for visual real-time feedback in golf | |
| 4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Geisen, Mai Nicklas, André Baumgartner, Tobias Klatt, Stefanie | 5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.07.2024 |
| | 6. Veröffentlichungsdatum 2023 |
| | 7. Form der Publikation Online |
| 8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Deutsche Sporthochschule Köln Am Sportpark Müngersdorf 6 50933 Köln | 9. Ber. Nr. Durchführende Institution |
| | 10. Förderkennzeichen 16DHB4017 |
| | 11. Seitenzahl 11 |
| 12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) Heinemannstraße 2, 53170 Bonn | 13. Anz. Literaturangaben 54 |
| | 14. Anz. Tabellen 1 |
| | 15. Anz. Abbildungen 7 |
| 16. Zusätzliche Angaben | |
| 17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) IEEE Transactions on Learning Technologies | |
| 18. Kurzfassung Ziel dieser Studie war es, eine neuartige XR-basierte Methode des Echtzeit-Feedbacks für das Golf-Putt-Training zu untersuchen. Zweiunddreißig ProbandInnen wurden in eine XR-Gruppe und eine Technikinstruktionsgruppe eingeteilt, die jeweils drei Wochen lang trainierten, sowie eine Kontrollgruppe ohne Training. Das XR-Training beinhaltete einen virtuellen Schläger, der über die HOLOLens 2 in die reale Trainingsumgebung projiziert wurde. Es wurden Echtzeit-Informationen über die berechnete Geschwindigkeit und Ausrichtung des Schlägers bereitgestellt. Die TI-Methode umfasste schriftliche technische Anweisungen, die bereits beim Golf-Putt-Training verwendet werden. Vor und nach dem Training führten alle Probanden einen Prä-, Post- und Retention-Test sowie zwei Transfer-Tests mit kürzeren (2 m) und längeren (4m) Putt-Distanzen als während des Trainings (3m) durch. Die Ergebnisse zeigten einen signifikanten Anstieg der Anzahl der Treffer und eine signifikante Abnahme des Abstands zum Loch bei einem Nichttreffer nach dem Training in allen Gruppen. Die Anzahl der Treffer blieb während des Retentiontests und bei kürzeren Puttdistanzen gleich, nahm aber bei längeren Distanzen ab. Der Abstand zum Loch bei einem Nichttreffer nahm während des Retentiontests noch stärker ab und zeigte keinen Unterschied zwischen den Puttdistanzen. Unsere Studie zeigt, dass der Erwerb von Golf-Putting-Fähigkeiten nicht nur durch eine bewährte Technikinstruktion, sondern auch durch visuelles Echtzeit-Feedback über XR verbessert werden kann. | |
| 19. Schlagwörter Mixed Reality, Putten, Übung, Leistung, Feedback | |
| 20. Verlag IEEE Transactions on Learning Technologies | 21. Preis Closed Access |

Abschlussbericht zum Projekt MILKI PSY

| | |
|--|--|
| 1. ISBN, ISSN oder DOI: | 2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Veröffentlichung |
| 3. Titel XR Golf Putt Trainer: User Opinions on an Innovative Real-Time Feed-back Tool | |
| 4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Geisen, Mai Mat Sanusi, Khaleel Asyraaf Baumgartner, Tobias Klatt, Stefanie | 5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.07.2024 |
| | 6. Veröffentlichungsdatum 2022 |
| | 7. Form der Publikation Online |
| 8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Deutsche Sporthochschule Köln Am Sportpark Müngersdorf 6 50933 Köln Cologne Game Lab, TH Köln Schanzenstraße 28 51063 Köln | 9. Ber. Nr. Durchführende Institution |
| | 10. Förderkennzeichen 16DHB4017 |
| | 11. Seitenzahl 5 |
| 12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) Heinemannstraße 2, 53170 Bonn | 13. Anz. Literaturangaben 11 |
| | 14. Anz. Tabellen 0 |
| | 15. Anz. Abbildungen 1 |
| 16. Zusätzliche Angaben | |
| 17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Proc. of the Second International Workshop on Multimodal Immersive Learning Systems (MILeS 2022) at the 17th European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 2022). CEUR Vol. 3247, Toulouse, France. | |
| 18. Kurzfassung Bei Aufschlagsportarten wie Golf können eine bestimmte Haltung und Bewegung des Schlägers entscheidende Unterschiede in der Leistung der Spieler ausmachen. Die Bereitstellung von Feedback für die Lernenden zur Verbesserung einer solchen Bewegungsausführung ist entscheidend für ihre eigene Leistungsentwicklung. Videoaufzeichnungen wurden bisher verwendet, um visuelles Feedback zur Förderung des motorischen Lernens zu geben, werden aber in der Regel mit einer zeitlichen Verzögerung zur eigenen Bewegungsausführung des Lernenden gezeigt. Mit Hilfe neuer Technologien wie Extended Reality (XR) können Lernende über am Kopf befestigte Displays visuelles Feedback während der Bewegungsausführung für Echtzeitanalysen erhalten. Folglich wurde eine neue Echtzeit-Feedback-Methode unter Verwendung von XR zur Optimierung des Golf-Putts entwickelt und anschließend von den Teilnehmern der 16. EATEL- Summer School 2022 getestet. Von den Nutzern wurden Rückmeldungen zum XR-Golf-Putt-Trainer eingeholt, die in diesem Artikel aufgegriffen und analysiert werden, um weitere Anpassungen des Systems zu ermöglichen und es für zukünftige Anwendungen zu stärken. Die Trainingsmethode wurde insbesondere unter dem Aspekt der Verbesserung des psychomotorischen Lernens im Rahmen des Projektes MILKI-PSY entwickelt und umgesetzt. | |
| 19. Schlagwörter Direktes Feedback. Technologiegestütztes Lernen, JTELLSS 2022 | |
| 20. Verlag Universität Toulouse | 21. Preis Open Access |

Abschlussbericht zum Projekt MILKI PSY

| | | |
|--|--|--|
| 1. ISBN, ISSN oder DOI: | 2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Veröffentlichung | |
| 3. Titel Extended Reality als Trainingsansatz für Echtzeit-Feedback im Golf. Diversität im Sportspiel | | |
| 4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Geisen, Mai Nicklas, André Klatt, Stefanie | 5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.07.2024 | |
| | 6. Veröffentlichungsdatum 2022 | |
| | 7. Form der Publikation Online | |
| 8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Deutsche Sporthochschule Köln Am Sportpark Müngersdorf 6 50933 Köln | 9. Ber. Nr. Durchführende Institution | |
| | 10. Förderkennzeichen 16DHB4017 | |
| | 11. Seitenzahl 2 | |
| 12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) Heinemannstraße 2, 53170 Bonn | 13. Anz. Literaturangaben 2 | |
| | 14. Anz. Tabellen 0 | |
| | 15. Anz. Abbildungen 0 | |
| 16. Zusätzliche Angaben | | |
| 17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) 12. Sportspiel-Symposium, Lüneburg, Deutschland. | | |
| 18. Kurzfassung Visuelle Rückmeldungen zum Bewegungsablauf von Lernenden mittels Videoaufnahmen können motorisches Lernen fördern, erfolgen bislang jedoch meist zeitversetzt (Geisen & Klatt, 2021). Mithilfe von Extended Reality (XR) ist es Lernenden möglich, Rückmeldungen in Echtzeit zu bekommen, ohne sich dabei wie in ursprünglichen Trainingsmethoden auf die Perspektive eines Außenstehenden verlassen zu müssen. Einige wenige vielversprechende Ansätze solcher moderner Trainingsmethoden im Sport werden vorgeschlagen (z.B. Ikeda et al., 2018), jedoch bedarf es weiterer Forschung. Ziel dieser Studie war es, eine derart neue Methode im Golf, verglichen mit einer herkömmlichen Trainingsmethode, zu untersuchen, insbesondere in Bezug auf die Auswirkungen der Verarbeitung ungewohnter visueller Informationen und des Tragens einer XR-Vorrichtung auf das motorische Lernen. | | |
| 19. Schlagwörter Extended Reality, Echtzeit-Feedback, Golf | | |
| 20. Verlag Leuphana Universität Lüneburg | 21. Preis Open Access | |

Abschlussbericht zum Projekt MILKI PSY

| | |
|---|--|
| 1. ISBN, ISSN oder DOI: 10.1038/s41598-023-41142-0 | 2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Veröffentlichung |
| 3. Titel Extracting spatial knowledge from track and field broadcasts for monocular 3D human pose estimation | |
| 4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Baumgartner, Tobias Passen, Benjamin, Klatt, Stefanie | 5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.07.2024 |
| | 6. Veröffentlichungsdatum 2023 |
| | 7. Form der Publikation Online |
| 8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Deutsche Sporthochschule Köln Am Sportpark Müngersdorf 6 50933 Köln Deutsches Forschungszentrum für künstliche Intelligenz Alt-Moabit 91C 10559 Berlin | 9. Ber. Nr. Durchführende Institution |
| | 10. Förderkennzeichen 16DHB4017 |
| | 11. Seitenzahl 11 |
| 12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) Heinemannstraße 2, 53170 Bonn | 13. Anz. Literaturangaben 45 |
| | 14. Anz. Tabellen 1 |
| | 15. Anz. Abbildungen 3 |
| 16. Zusätzliche Angaben | |
| 17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Scientific reports | |
| 18. Kurzfassung Das Sammeln großer Datensätze für Untersuchungen zur menschlichen Fortbewegung ist ein teurer und arbeitsintensiver Prozess. Die Methoden zur 3D-Schätzung der menschlichen Körperhaltung in freier Wildbahn werden immer genauer und könnten schon bald ausreichen, um die Sammlung von Datensätzen für die Analyse der Laufkinematik aus Fernsehdaten zu unterstützen. Im Bereich der biomechanischen Forschung spielen kleine Unterschiede in den 3D-Winkeln eine wichtige Rolle. Konkret müssen die Fehlermargen bei der Datenerfassung kleiner sein als die erwarteten Unterschiede zwischen den SportlerInnen. In dieser Arbeit schlagen wir eine Methode vor, um die globale Geometrie von Leichtathletik-Stadionaufnahmen anhand von Bahnbegrenzungen zu ermitteln. Durch die Rückprojektion der geschätzten 3D-Skelette in das Bild unter Verwendung dieser globalen Geometrie zeigen wir, dass die aktuellen, dem Stand der Technik entsprechenden Methoden zur Schätzung der menschlichen 3D-Pose (noch) nicht genau genug sind, um in der Kinematikforschung verwendet zu werden. | |
| 19. Schlagwörter Human pose estimation, track and field, broadcasts | |
| 20. Verlag Scientific reports | 21. Preis Open Access |

Abschlussbericht zum Projekt MILKI PSY

| | | |
|--|--|--|
| 1. ISBN, ISSN oder DOI: | 2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Veröffentlichung | |
| 3. Titel Innovative method for technical motion precision in breaking | | |
| 4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Geisen, Mai Meyer, Johannes Klatt, Stefanie | 5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.07.2024 | |
| | 6. Veröffentlichungsdatum 09.03.2024 | |
| | 7. Form der Publikation Online | |
| 8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Deutsche Sporthochschule Köln Am Sportpark Müngersdorf 6 50933 Köln | 9. Ber. Nr. Durchführende Institution | |
| | 10. Förderkennzeichen 16DHB4017 | |
| | 11. Seitenzahl 1 | |
| 12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) Heinemannstraße 2, 53170 Bonn | 13. Anz. Literaturangaben 7 | |
| | 14. Anz. Tabellen 0 | |
| | 15. Anz. Abbildungen 0 | |
| 16. Zusätzliche Angaben | | |
| 17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Deutsche Sporthochschule Köln, Institut für Tanz und Bewegungskultur | | |
| 18. Kurzfassung Breaking wurde zum ersten Mal in das Programm der Olympischen Spiele 2024 aufgenommen. Die Bewegungstechnik ist ein zentrales Bewertungskriterium im Punktesystem der Jury. In vielen anderen olympischen Disziplinen ist es wissenschaftlich erwiesen, dass die Vermittlung von Feedback eine wichtige Rolle für die bewegungstechnische Präzision spielt. So kann eine gezielte Bewegungsausführung erlernt und langfristig verinnerlicht werden. Rückmeldung durch menschliche Experten oder ein technisches Gerät fördert das motorische Lernen. Bisherige Studien haben sich vor allem auf visuelles (videobasiertes) Feedback bezogen. Allerdings berücksichtigt das herkömmliche videobasierte Feedback bisher nicht ausreichend die Bereitstellung spezifischer und präziser Informationen zur optimierten Anpassung des eigenen Bewegungsverhaltens. Im Tanzen wird visuelles Feedback in Form von Videoaufzeichnungen gegeben, welche die eigene Bewegungsausführung von TänzerInnen wiedergeben. Forschungen haben gezeigt, dass extrinsische Informationen, insbesondere Diskrepanzinformationen, sportmotorische Lernprozesse positiv beeinflussen können. Diskrepanzinformationen beziehen sich auf die Abweichung einer aktuellen Bewegungsausführung (Ist-Wert) von einer gewünschten Bewegungsausführung (Soll-Wert). Beim Breaking sollte das technisch-motorische Training (basierend auf einer angepassten, bewährten visuellen Feedback-Methode) zur Präzisionsoptimierung mittels Motion Capture (kamerabasierte Bewegungserfassung) evaluiert werden. | | |
| 19. Schlagwörter Tanzen, Feedback, Bewegungslernen | | |
| 20. Verlag Scientific reports | 21. Preis Open Access | |

Abschlussbericht zum Projekt MILKI PSY

| | |
|--|--|
| 1. ISBN, ISSN oder DOI: | 2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Veröffentlichung |
| 3. Titel Real-time visual feedback on motor performance in a dance class: Presentation of a field study concept | |
| 4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Geisen, Mai Riedl, Nina Klatt, Stefanie | 5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.07.2024 |
| | 6. Veröffentlichungsdatum 2023 |
| | 7. Form der Publikation Online |
| 8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Deutsche Sporthochschule Köln Am Sportpark Müngersdorf 6 50933 Köln | 9. Ber. Nr. Durchführende Institution |
| | 10. Förderkennzeichen 16DHB4017 |
| | 11. Seitenzahl 5 |
| 12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) Heinemannstraße 2, 53170 Bonn | 13. Anz. Literaturangaben 16 |
| | 14. Anz. Tabellen 0 |
| | 15. Anz. Abbildungen 1 |
| 16. Zusätzliche Angaben | |
| 17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Proc. of the Third International Workshop on Multimodal Immersive Learning Systems (MILeS 2023) at the 18th European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 2023) | |
| 18. Kurzfassung Das motorische Lernen im Tanzen wird durch Rückmeldungen über die Handlungen des Lernenden verbessert. Mit Hilfe von Bewegungsfeedback können sowohl ExpertInnen als auch AnfängerInnen die gezielte Bewegungskorrektur einer Tanzchoreografie optimieren und erlernen sowie verinnerlichen, um ihre Tanzleistung zu verbessern. Neuartige immersive Trainingsumgebungen ermöglichen es, Lernenden über Bildschirme visuelles Feedback während der Ausführung einer Bewegung, d.h. in Echtzeit, bereitzustellen. In diesem Beitrag stellen wir ein Studienkonzept für den Einsatz von visuellem Echtzeit-Feedback in einem Tanzkurs vor, das speziell darauf abzielt, das Erlernen einer Tanzchoreografie zu erleichtern. Das Konzept wird unter dem Aspekt der Verbesserung des psychomotorischen Lernens im Rahmen des Projektes MILKI-PSY erarbeitet und umgesetzt. | |
| 19. Schlagwörter Echtzeit-Feedback, Psychomotorisches Lernen, Bewegungsanpassung | |
| 20. Verlag Universität Aveiro, Portugal | 21. Preis Open Access |

Abschlussbericht zum Projekt MILKI PSY

| | |
|--|--|
| 1. ISBN, ISSN oder DOI: | 2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Veröffentlichung |
| 3. Titel Echtzeit-Feedback für videobasiertes motorisches Lernen | |
| 4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Geisen, Mai Baumgartner, Tobias Riedl, Nina Klatt, Stefanie | 5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.07.2024 |
| | 6. Veröffentlichungsdatum 2023 |
| | 7. Form der Publikation Online |
| 8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Deutsche Sporthochschule Köln Am Sportpark Müngersdorf 6 50933 Köln | 9. Ber. Nr. Durchführende Institution |
| | 10. Förderkennzeichen 16DHB4017 |
| | 11. Seitenzahl 3 |
| 12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) Heinemannstraße 2, 53170 Bonn | 13. Anz. Literaturangaben 3 |
| | 14. Anz. Tabellen 0 |
| | 15. Anz. Abbildungen 2 |
| 16. Zusätzliche Angaben | |
| 17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Optimizing Training in Sports, Exercise and Health. Jahrestagung dvs-Sektion Trainingswissenschaft, Köln, Deutschland | |
| 18. Kurzfassung Videobasiertes Training hat sich für motorisches Lernen als nützlich erwiesen, ebenso wie Bewegungsfeedback. Die Integration von Echtzeit-Feedback in Trainingsvideos ist jedoch noch nicht ausreichend erforscht. Ziel dieser Studie war es, innovative Echtzeit-Feedback-Methoden für videobasiertes, motorisches Lernen zu entwickeln und zu untersuchen. Einbezogen wurden dabei u. a. Erkenntnisse zum positiven Einfluss von visuellen Diskrepanzinformationen über Soll-Ist-Wert-Vergleiche auf sportmotorische Lernprozesse. | |
| 19. Schlagwörter Echtzeit-Feedback, Psychomotorisches Lernen, Bewegungsanpassung | |
| 20. Verlag Deutsche Sporthochschule Köln | 21. Preis Open Access |

Abschlussbericht zum Projekt MILKI PSY

| | | | |
|---|--|--|--|
| 1. ISBN, ISSN oder DOI: 10.1026/1612-5010/a000414 | | 2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Veröffentlichung | |
| 3. Titel Erweiterte Realität in der Motorik- und Kognitionsforschung | | | |
| 4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Geisen, Mai Klatt, Stefanie | | 5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.07.2024 | |
| | | 6. Veröffentlichungsdatum 2023 | |
| | | 7. Form der Publikation Online | |
| 8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Deutsche Sporthochschule Köln Am Sportpark Müngersdorf 6 50933 Köln | | 9. Ber. Nr. Durchführende Institution | |
| | | 10. Förderkennzeichen 16DHB4017 | |
| | | 11. Seitenzahl 2 | |
| 12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) Heinemannstraße 2, 53170 Bonn | | 13. Anz. Literaturangaben 7 | |
| | | 14. Anz. Tabellen 0 | |
| | | 15. Anz. Abbildungen 0 | |
| 16. Zusätzliche Angaben | | | |
| 17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Zeitschrift für Sportpsychologie | | | |
| 18. Kurzfassung Erweiterte Realität (engl. „Extended Reality“ bzw. XR) hat in der Forschung in den vergangenen Jahren an Bedeutung gewonnen. Dies ist besonders auf die Verfügbarkeit von Technologien wie Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR) und Mixed Reality (MR) zurückzuführen. Die Technologien bieten ForscherInnen ein breites Spektrum an Studienmöglichkeiten in den Feldern der Motorik und Kognition. In diesem Beitrag werden verschiedene, von den Autorinnen erarbeitete XR-Anwendungen in den beiden Forschungsfeldern vorgestellt. | | | |
| 19. Schlagwörter Erweiterte Realität, Forschung, Motorik, Kognition | | | |
| 20. Verlag Zeitschrift für Sportpsychologie, Hogrefe Verlag | | 21. Preis Closed Access | |

Abschlussbericht zum Projekt MILKI PSY

| | | | |
|--|--|--|--|
| 1. ISBN, ISSN oder DOI: 10.1026/1612-5010/a000356 | | 2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Veröffentlichung | |
| 3. Titel KI im Sport: Wie werden Menschen durch den Einsatz von Avataren im sportlichen Training auf psychologischer Ebene beeinflusst? | | | |
| 4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Geisen, Mai Klatt, Stefanie | | 5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.07.2024 | |
| | | 6. Veröffentlichungsdatum 2022 | |
| | | 7. Form der Publikation Online | |
| 8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Deutsche Sporthochschule Köln Am Sportpark Müngersdorf 6 50933 Köln | | 9. Ber. Nr. Durchführende Institution | |
| | | 10. Förderkennzeichen 16DHB4017 | |
| | | 11. Seitenzahl 2 | |
| 12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) Heinemannstraße 2, 53170 Bonn | | 13. Anz. Literaturangaben 14 | |
| | | 14. Anz. Tabellen 0 | |
| | | 15. Anz. Abbildungen 0 | |
| 16. Zusätzliche Angaben | | | |
| 17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Zeitschrift für Sportpsychologie | | | |
| 18. Kurzfassung Mit den zunehmenden technologischen Entwicklungen in den vergangenen Jahren sind auch die Möglichkeiten innovativer Trainingsmethoden für den Sport gestiegen. Mittels künstlicher Intelligenz (KI) können immersive Trainingsumgebungen geschaffen werden, anhand derer Coaching, u.a. durch den Einsatz von Avataren, ohne die Anweisungen von externen Personen, möglich ist. In Form von Extended Reality-Brillen und virtuellen Großbildprojektionen können Bewegungen direkt beobachtet und simuliert werden. So findet sportliches Training mit Avataren in der Coaching-Funktion vermehrt Anwendung. Auch die mögliche Darstellung virtueller GegnerInnen zeigt sich als innovatives Trainingstool. Darüber hinaus können Avatare der eigenen Person erarbeitet und zur visuellen Selbstwahrnehmung genutzt werden. Dieser Beitrag beschäftigt sich mit dem Einsatz von Avataren (uns insgesamt von KI) im sportlichen Training und dessen Einfluss auf psychologischer Ebene. | | | |
| 19. Schlagwörter KI, Avatare, Sportpsychologie | | | |
| 20. Verlag Zeitschrift für Sportpsychologie, Hogrefe Verlag | | 21. Preis Closed Access | |

Abschlussbericht zum Projekt MILKI PSY

| | | |
|--|--|--|
| 1. ISBN, ISSN oder DOI: 10.1109/JSEN.2024.3455173 | 2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Veröffentlichung | |
| 3. Titel A novel approach to sensor-based motion analysis for sports: Piloting the Kabsch algorithm in volleyball and handball | | |
| 4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Geisen, Mai Seifriz, Florian Fasold, Frowin Slupczynski, Michal Klatt, Stefanie | 5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.07.2024 | |
| | 6. Veröffentlichungsdatum 2024 | |
| | 7. Form der Publikation Online | |
| 8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Deutsche Sporthochschule Köln Am Sportpark Müngersdorf 6 50933 Köln RWTH Aachen University Lehrstuhl Informatik 5 Ahornstr. 55, 52074 Aachen | 9. Ber. Nr. Durchführende Institution | |
| | 10. Förderkennzeichen 16DHB4017 | |
| | 11. Seitenzahl 10 | |
| 12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) Heinemannstraße 2, 53170 Bonn | 13. Anz. Literaturangaben 54 | |
| | 14. Anz. Tabellen 2 | |
| | 15. Anz. Abbildungen 7 | |
| 16. Zusätzliche Angaben | | |
| 17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) IEEE Sensors Journal | | |
| 18. Kurzfassung Eine genaue Bewegungsanalyse ist für das Sporttraining unerlässlich. Analyselösungen zur Klassifizierung von Bewegungsdaten stoßen auf Grenzen. Dynamic Time Warping normalisiert zeitliche Diskrepanzen innerhalb von Zeitserien, um Gemeinsamkeiten zu identifizieren, und löst so einzigartige Sequenzierungsmuster zwischen Bewegungen beim Vergleich auf. Sportmotorische Fähigkeiten erfordern eine präzise zeitliche Ausrichtung der Bewegungen von Körperteilen oder eine rhythmische Synchronisation, was eine besondere Berücksichtigung erfordert, um Zeitunterschiede effektiv zu normalisieren. Wir stellen einen neuartigen Ansatz zur Identifizierung von Bewegungsunterschieden vor, die sich aus den im Sporttraining verwendeten Bewegungsmanipulationen ergeben. Die Methode nutzt die Daten von Sensoranzügen, um Gelenkpositionen als Skelette visuell mit Referenzwerten zu vergleichen. Durch die numerische Quantifizierung dieser Positionen werden die Unterschiede anhand der quadratischen Wurzelabweichung berechnet. Nach der manuellen Ausrichtung der Aufnahmen an Schlüsselpunkten (Scheitelpunkt einer Bewegung) passt der Kabsch-Algorithmus die Orientierung und Translation der Skelette an, um die quadratische Abweichung (RMSD) als Maß für die Unterschiede in der Körperposition zu minimieren. Die Untersuchung der minimalen RMSD von Bild zu Bild zeigt den Grad der Unähnlichkeit zwischen den Bewegungen. In einer ersten Studie wurde die Durchführbarkeit der Methode für zukünftige Untersuchungen getestet, insbesondere im Hinblick auf die Auswirkungen von Manipulationen auf die Bewegungsausführung. | | |
| 19. Schlagwörter Bewegungserfassung, Präzision, Feedback, Training | | |
| 20. Verlag IEEE Sensors Journal | 21. Preis Closed Access | |

Abschlussbericht zum Projekt MILKI PSY

| | | |
|---|--|--|
| 1. ISBN, ISSN oder DOI: | 2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Veröffentlichung | |
| 3. Titel Einfluss unterschiedlicher Bälle auf die Bewegungstechnik beim Jump-Float Aufschlag im Volleyball: Eine Pilotstudie mit sensorbasierter Analyse | | |
| 4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Geisen, Mai Seifriz, Florian Fasold, Frowin Klatt, Stefanie | 5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.07.2024 | |
| | 6. Veröffentlichungsdatum 2024 | |
| | 7. Form der Publikation Online | |
| 8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Deutsche Sporthochschule Köln Am Sportpark Müngersdorf 6 50933 Köln | 9. Ber. Nr. Durchführende Institution | |
| | 10. Förderkennzeichen 16DHB4017 | |
| | 11. Seitenzahl 2 | |
| 12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) Heinemannstraße 2, 53170 Bonn | 13. Anz. Literaturangaben 1 | |
| | 14. Anz. Tabellen 0 | |
| | 15. Anz. Abbildungen 0 | |
| 16. Zusätzliche Angaben | | |
| 17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) 13. dvs-Sportspiel-Symposium "Ludo, ergo sum – vom Kinderspiel bis zum Leistungssport", Augsburg, Deutschland | | |
| 18. Kurzfassung Forschungen zeigen, dass bereits geringe Anpassungen in der Bewegungstechnik von VolleyballspielerInnen einen Einfluss auf die Ballbewegung haben. Dahingehend ist unklar, inwiefern sich bestimmte Balleigenschaften auf die Bewegungstechnik auswirken. Dies hat in der Form Relevanz, da im Volleyball auf verschiedenen Leistungsniveaus, unterschiedliche Bälle eingesetzt werden. AthletInnen spielen teils zeitgleich auf verschiedenen Niveaus. Diese Pilotstudie hat sich mit der Bewegungsanalyse beim Jump-Float Aufschlag mit unterschiedlichen Volleybällen beschäftigt. Es wurde eine neue Analyse-Methode zur bildlichen und numerischen Auswertung sensorbasierter Bewegungsdaten angewendet. | | |
| 19. Schlagwörter Bewegungserfassung, Präzision, Feedback, Training | | |
| 20. Verlag Universität Augsburg | 21. Preis Open Access | |

Abschlussbericht zum Projekt MILKI PSY

| | |
|--|--|
| 1. ISBN, ISSN oder DOI: | 2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Veröffentlichung |
| 3. Titel Visual and Tactile Information Provision in Golf: Conceptualization of a Training Application Incorporating Wearable Devices and Extended Reality | |
| 4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Geisen, Mai Samantha, Abhishek Mat Sanusi, Khaleel AsyraafDuong.Trung, Nghia, Krvacic, Milos Klatt, Stefanie | 5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.07.2024 |
| | 6. Veröffentlichungsdatum 2024 |
| | 7. Form der Publikation Online |
| 8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Deutsche Sporthochschule Köln Am Sportpark Müngersdorf 6 50933 Köln Deutsches Forschungszentrum für künstliche Intelligenz Alt-Moabit 91C 10559 Berlin Cologne Game Lab, TH Köln Schanzenstraße 28 51063 Köln | 9. Ber. Nr. Durchführende Institution |
| | 10. Förderkennzeichen 16DHB4017 |
| | 11. Seitenzahl 5 |
| 12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) Heinemannstraße 2, 53170 Bonn | 13. Anz. Literaturangaben 24 |
| | 14. Anz. Tabellen 1 |
| | 15. Anz. Abbildungen 4 |
| 16. Zusätzliche Angaben | |
| 17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training 2024 | |
| 18. Kurzfassung Das Erlernen und Optimieren komplexer Fähigkeiten in Disziplinen wie dem Golfsport basiert hauptsächlich auf der Arbeit menschlicher Trainer. Technologiegestützte Optionen wie Videoanalyse und Motion Capturing werden in einigen Fällen bereits zur nachträglichen Leistungsüberprüfung eingesetzt. Die technologischen Möglichkeiten des digitalen Zeitalters, wie zum Beispiel vielversprechende Technologien wie Extended Reality oder taktile Systeme, werden jedoch noch nicht voll ausgeschöpft. Es fehlt an methodischen Konzepten für den Einsatz solcher Systeme im Training. In diesem Artikel wird ein Konzept für das Golfplatztraining vorgestellt, das moderne technologische Möglichkeiten nutzt, um visuelle und taktile Informationen in Echtzeit bereitzustellen. Dazu gehört insbesondere die sensorbasierte Bewegungserfassung des Handgelenks zur Erstellung eines Bewegungsmodells (Sollwert) und die Aufzeichnung der Handgelenksbewegung des Lernenden (Istwert) zum späteren Vergleich. Extended Reality wird eingesetzt, um erweiterte Informationen zur optimalen Handgelenksbewegung zu visualisieren. Vibrationsmodule in Verbindung mit Zusatzhardware liefern taktile Detailinformationen. | |
| 19. Schlagwörter Bewegungserfassung, Augmented Reality, Taktile Informationen, Golftraining, Sensorisches Feedback | |
| 20. Verlag International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training 2024 | 21. Preis Open Access |

Abschlussbericht zum Projekt MILKI PSY

| | | |
|---|--|--|
| 1. ISBN, ISSN oder DOI: urn:nbn:de:0074-3247-1 | 2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Veröffentlichung | |
| 3. Titel IMPECT-Sports: Using an Immersive Learning System to Facilitate the Psychomotor Skills Acquisition Process | | |
| 4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Mat Sanusi, Khaleel Asyraaf Slupczynski, Michal Geisen, Mai Iren, Deniz Klamma, Ralf Klatt, Stefanie Klemke, Roland | 5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.07.2024 | |
| | 6. Veröffentlichungsdatum 22.10.2022 | |
| | 7. Form der Publikation Online | |
| 8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Cologne Game Lab, TH Köln Schanzenstraße 28 51063 Köln RWTH Aachen Lehrstuhl Informatik 5 Ahornstr. 55 52074 Aachen Deutsche Sporthochschule Köln Am Sportpark Müngersdorf 6 50933 Köln Open University of the Netherlands Valkenburgerweg 177 6419 AT Heerlen, Netherlands | 9. Ber. Nr. Durchführende Institution | |
| | 10. Förderkennzeichen 16DHB4017 | |
| | 11. Seitenzahl 5 | |
| 12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) Heinemannstraße 2, 53170 Bonn | 13. Anz. Literaturangaben 9 | |
| | 14. Anz. Tabellen 0 | |
| | 15. Anz. Abbildungen 3 | |
| 16. Zusätzliche Angaben | | |
| 17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Proceedings of the Second International Workshop on Multimodal Immersive Learning Systems (MILeS 2022) At the Seventeenth European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL 2022). Toulouse, France. September 12th-16th, 2022. | | |
| 18. Kurzfassung Psychomotorische Fähigkeiten werden in der Regel in einer physischen Lernumgebung vermittelt, da sie gezieltes Üben und Techniken erfordern, um erlernt zu werden. Das Fehlen von Feedback-Modalitäten im psychomotorischen Fernunterricht macht die Lernprozesse jedoch ineffektiv und ineffizient und kann den Fortschritt des Lernenden behindern. In diesem Beitrag schlagen wir ein immersives Lernsystem vor, das direktes multimodales Feedback für das Training psychomotorischer Fähigkeiten ermöglicht. Darüber hinaus wurden Umfragedaten zur Messung der wahrgenommenen Effektivität der einzelnen verwendeten Feedback-Modalitäten gesammelt und analysiert. Wir bieten ein theoretisches Feedbackmodell und seine praktische Umsetzung an. Erste Studienergebnisse zeigen eine vielversprechende Effektivität der eingesetzten Instruktions- und Feedbackmodalitäten. Diese Lösung könnte das multimodale Training von psychomotorischen Fähigkeiten auf zeitsparende Weise erleichtern. Weitere Untersuchungen müssen durchgeführt werden, um das System weiter zu testen. | | |
| 19. Schlagwörter immersive learning system, psychomotor skills, expert feedback, technology-enhanced learning | | |
| 20. Verlag CEUR-WS | 21. Preis Open Access | |

Referenzen

- Adam, A., Simion, G., & Iconomescu, T. (2019, September). Psychomotor capacities in the dancesport training. *The 4th International Conference of the Universitaria Consortium*. The impact of sport and physical education science on today's society, Iasi, Romania. https://www.researchgate.net/publication/338921089_Psychomotor_Capacities_In_The_Dancesport_Training
- Bahreini, K., Nadolski, R., & Westera, W. (2016). Data Fusion for Real-time Multimodal Emotion Recognition through Webcams and Microphones in E-Learning. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 32(5), 415–430. <https://doi.org/10.1080/10447318.2016.1159799>
- Bahreini, K., Nadolski, R., & Westera, W. (2017). Communication skills training exploiting multimodal emotion recognition. *Interactive Learning Environments*, 25(8), 1065–1082. <https://doi.org/10.1080/10494820.2016.1247286>
- Di Mitri, D., Schneider, J., Specht, M., & Drachsler, H. (2018). From signals to knowledge: A conceptual model for multimodal learning analytics. *Journal of Computer Assisted Learning*, 34(4), 338–349. <https://doi.org/10.1111/jcal.12288>
- Emmerich, F., Klemke, R., & Hummes, T. (2017). Design Patterns for Augmented Reality Learning Games. In J. Dias, P. A. Santos, & R. C. Veltkamp (Eds.), *Games and Learning Alliance* (Vol. 10653, pp. 161–172). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-71940-5_15
- Guest, W., Wild, F., Vovk, A., Fominykh, M., Limbu, B., Klemke, R., Sharma, P., Karjalainen, J., Smith, C., Rasool, J., Aswat, S., Helin, K., Di Mitri, D., & Schneider, J. (2017). Affordances for Capturing and Re-enacting Expert Performance with Wearables. In É. Lavoué, H. Drachsler, K. Verbert, J. Broisin, & M. Pérez-Sanagustín (Eds.), *Data Driven Approaches in Digital Education* (Vol. 10474, pp. 403–409). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-66610-5_34
- Hirtz, Peter, & Albrecht, H. (2003). Motorisches Lernen im Sportunterricht. In *Handbuch Bewegungswissenschaft—Bewegungslehre* (pp. 429–441). Hofmann Verlag. <https://www.bisp-surf.de/Record/PU200407002124/Reference>
- Klemke, R., Ternier, S., Kalz, M., Schmitz, B., & Specht, M. (2014). Immersive Multi-user Decision Training Games with ARLearn. In C. Rensing, S. De Freitas, T. Ley, & P. J. Muñoz-Merino (Eds.), *Open Learning and Teaching in Educational Communities* (Vol. 8719, pp. 207–220). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-11200-8_16
- Limbu, B. H., Jarodzka, H., Klemke, R., & Specht, M. (2018). Using sensors and augmented reality to train apprentices using recorded expert performance: A systematic literature review. *Educational Research Review*, 25, 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2018.07.001>
- Limbu, B., Vovk, A., Jarodzka, H., Klemke, R., Wild, F., & Specht, M. (2019). WEKIT.One: A Sensor-Based Augmented Reality System for Experience Capture and Re-enactment. In M. Scheffel, J. Broisin, V. Pammer-Schindler, A. Ioannou, & J. Schneider (Eds.), *Transforming Learning with Meaningful Technologies* (Vol. 11722, pp. 158–171). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29736-7_12
- Romano, G., Schneider, J., & Drachsler, H. (2019). Dancing Salsa with Machines—Filling the Gap of Dancing Learning Solutions. *Sensors*, 19(17), 3661. <https://doi.org/10.3390/s19173661>
- Schneider, J., Börner, D., Van Rosmalen, P., & Specht, M. (2015a). Augmenting the Senses: A Review on Sensor-Based Learning Support. *Sensors*, 15(2), 4097–4133. <https://doi.org/10.3390/s150204097>
- Schneider, J., Börner, D., Van Rosmalen, P., & Specht, M. (2015b). Presentation Trainer, your Public Speaking Multimodal Coach. *Proceedings of the 2015 ACM on International Conference on Multimodal Interaction*, 539–546. <https://doi.org/10.1145/2818346.2830603>
- Simpson, E. J. (1966). *THE CLASSIFICATION OF EDUCATIONAL OBJECTIVES, PSYCHOMOTOR DOMAIN*. (Classification No. ED 010 3613; p. 45). Illinois Univ., Urbana. <https://eric.ed.gov/?id=ED010368>
- Singer, R. N., Cauraugh, J. H., Lucariello, G., & Brown, H. J. (1985). Achievement in Related Psychomotor Tasks as Influenced by Learning Strategies. *Perceptual and Motor Skills*, 60(3), 843–846. <https://doi.org/10.2466/pms.1985.60.3.843>
- Van Merriënboer, J. J. G., & Sweller, J. (2005). Cognitive Load Theory and Complex Learning: Recent Developments and Future Directions. *Educational Psychology Review*, 17(2), 147–177. <https://doi.org/10.1007/s10648-005-3951-0>
- Wild, F., Klemke, R., Lefrere, P., Fominykh, M., & Kuula, T. (2017). Technology acceptance of augmented reality and wearable technologies. In Immersive Learning Research Network: Third International Conference, iLRN 2017, Coimbra, Portugal, June 26–29, 2017. Proceedings 3 (pp. 129–141). Springer International Publishing.