



Berg Huettenmaenn Monatsh (2023) Vol. 168 (12): 608–613  
<https://doi.org/10.1007/s00501-023-01410-y>  
 © The Author(s) 2023

**BHM** Berg- und  
 Hüttenmännische  
 Monatshefte

## Triage Subsurface – Unter Tage Training für medizinische Ersthelfer in der virtuellen Welt

Birgit Harthum<sup>1</sup>, Helmut Schrom-Feiertag<sup>2</sup> und Robert Wenighofer<sup>3</sup>

<sup>1</sup>USECON – The Usability Consultants GmbH, Wien, Österreich

<sup>2</sup>AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Wien, Österreich

<sup>3</sup>Lehrstuhl für Subsurface Engineering, Montanuniversität Leoben, Leoben, Österreich

Eingegangen 25. Oktober 2023; angenommen 7. November 2023; online publiziert 15. Dezember 2023

**Zusammenfassung:** Großschadenslagen mit einem Massenansturm von Verletzten sind schon per se für Einsatzkräfte herausfordernd. Findet so eine Situation in einer Umgebung wie einem Tunnel statt, steigt die Komplexität dramatisch. Der Zugang ist schwieriger, die Bergung komplizierter, die Sicht oftmals beeinträchtigt und die Umgebung fordert die Gesundheit der Rettungskräfte zusätzlich durch Rauchentwicklung oder Kontamination durch chemische Stoffe. Koordination und (Zeit)-Management der Situation ist also unter Tage ein noch wichtigerer Faktor als sonst. Das Europäische Forschungsprojekt MED1stMR entwickelt eine Mixed Reality Trainingslösung, die medizinische Einsatzkräfte auf solche Situationen noch besser vorbereiten soll. Im Zuge des Projektes werden die Mixed Reality Trainingslösung und Realübungen verglichen, um Rückschlüsse auf die Gestaltung des Trainingssystems liefern zu können. Das Technologie-Forschungsprojekt besteht aus einem multidisziplinären Konsortium, geleitet vom AIT – Austrian Institute of Technology. Der Fokus ist, Technologie, Wissenschaft und End-Nutzer Rettungsorganisationen zusammenzubringen, um gemeinsam eine effiziente Trainingslösung entwickeln zu können. Zwei Jahre wurde gemeinsam an der Lösung gearbeitet, nun wird sie an sechs Standorten von Partner-Rettungsorganisationen getestet, um die Technologieakzeptanz zu erforschen und wissenschaftliche Daten der Einsatzkräfte zu erheben, die der Weiterentwicklung des Systems und diverser Algorithmen dienen. Auch zwei Realübungen sind Teil des Projektes. Eine der Realübungen fand an der Montanuniversität Leoben in den Tunnelanlagen des Zentrums am Berg statt und lieferten relevante Daten über die Gestaltung der virtuellen Szenarien sowie zu Stresssituation der

Einsatzkräfte in realer Umgebung. Realübungen sind teuer und werden daher seltener durchgeführt – die Umsetzung der Übung in der Anlage des Zentrums am Berg erleichterte die Durchführung und tragen damit ihren Beitrag zur Sicherheit von Tunnelanlagen. Die Realübung lieferte einen wesentlichen Beitrag für die Übertragung und Gestaltung der virtuellen Trainingszenarien unter Tage und ermöglicht es, ein immersives Trainingserlebnis zu schaffen, das die realen Bedingungen und Herausforderungen im Tunnel präzise wiedergibt und gleichzeitig die Trainingsziele effektiv erfüllt.

**Schlüsselwörter:** Straßentunnel, Eisenbahntunnel, Medizinische Ersthelfer, Einsatzkräfte Training, Virtuelle Welt, Trainingssimulation, Stress, Resilienz, Performance, Virtual Reality, Mixed Reality

**Triage Subsurface—Subsurface Training for First Responders in a Virtual World**

**Abstract:** Mass casualty incidents with a big number of injured people are already a challenge for emergency services per se. If such a scenario happens in a tunnel environment, the complexity is dramatically increased. The access is more difficult, the rescue more complex, the visibility is limited, and the environment endangers the health of the task forces additionally because of the emergence of smoke or the contamination by chemical substances. In subsurface areas, coordination and (time) management of the situation is an even more crucial factor than usual. The European research project MED1stMR develops a training solution of mixed reality, which should better prepare first responders for such situations. The mixed reality training solution and real exercises are compared in the project in order to draw conclusions for designing the training system. This technological research project is composed by a multidisciplinary consortium led by the AIT (Austrian Institute of Technology). Its focus is to bring together technology, science, and end user organisations of first respon-

R. Wenighofer (✉)  
 Lehrstuhl für Subsurface Engineering,  
 Montanuniversität Leoben,  
 Erzherzog Johann Straße 3,  
 8700 Leoben, Österreich  
 robert.wenighofer@unileoben.ac.at

ders so that an efficient training solution can be developed jointly. For the last two years, we have worked together for the solution, now it is tested at six locations of the first responder partners to research technology acceptance and to collect scientific data of emergency personnel, which serves the further development of the system and various algorithms. Part of the project are also two real-life exercises. One of the real-life exercises took place at the tunnel system Zentrum am Berg (ZaB) of the Montanuniversität Leoben and delivered relevant data for the design of virtual scenarios and the stress situation of the emergency personnel in the real environment. Real-life exercises are expensive and are thus carried out less frequently—the realisation of the exercise at the facility ZaB facilitated the accomplishment and consequently contributed to the tunnel safety. The real-life exercise contributed in an important manner to design subsurface virtual scenarios and to transmit them in this underground setting and it could generate an immersive training experience, which reflects the real conditions and challenges in a tunnel precisely and meets the training goals at the same time.

**Keywords:** Road tunnels, Railway tunnels, Medical first responders, First responder training, Virtual world, Training simulation, Stress, Resilience, Performance, Virtual reality, Mixed reality

## 1. Einleitung

Das EU-Forschungsprojekt MED1stMR befindet sich in der Endphase. Im Juni 2021 startete das Konsortium aus 19 Europäischen Partnern unter der Leitung des AIT – Austrian Institute of Technology, Center for Technology Experience, die Entwicklung einer Mixed Reality Trainings Lösung für medizinische Ersthelfer:innen. In den Monaten Juli 2023 bis Jänner 2024 wird die gemeinsam mit Technologiepartnern, wissenschaftlichen Institutionen und Endnutzer:innen entwickelte Trainingssimulation nun in sechs europäischen Rettungsorganisationen auf ihre Einsatztauglichkeit getestet und kontinuierlich verbessert. Neben sechs Wochen intensiven Mixed Reality Trainings werden auch zwei Realübungen durchgeführt, eine davon unter Tage, um Vergleichsdaten für die Weiterentwicklung und Bewertung der Trainingslösung zu sammeln.

## 2. Trainingsansatz und Technologie

Zur Verbesserung der Fähigkeiten und zur Vorbereitung auf reale Notfallsituationen ist das Training von Notfallsanitäter:innen unerlässlich. Dieses besteht typischerweise aus einer Kombination aus theoretischem Unterricht, praktischen Übungen bis hin zu Simulationstrainings, um reale Szenarien nachzustellen. Simulationen gibt es in vielen Ausprägungen, von einfachen papier-basierten Lösungen bis hin zu modernen Simulatoren mit fortgeschrittener Technologie. Einfache Simulationen sind dabei oft unrealistisch, realistische Simulationen wiederum sehr ressourcenintensiv. Hochskalierte Realübungen sind durch ihre

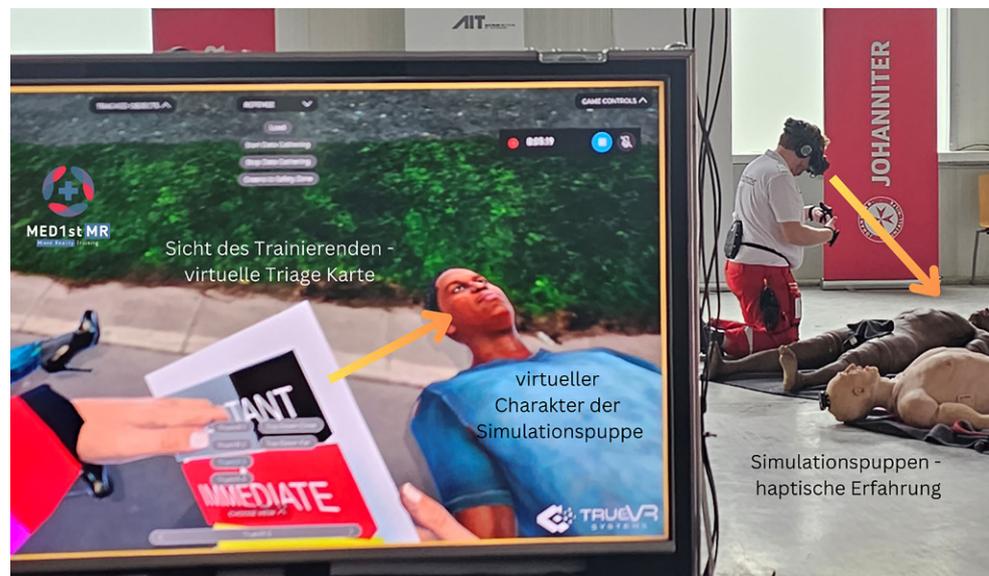
hohe Authentizität und den damit einhergehenden intensiven Lerneffekt gekennzeichnet. Jedoch bedürfen sie einer erheblichen Ressourcenbereitstellung sowohl in der Vorbereitungsphase, die mehrere Monate umfasst, als auch während der Durchführung, welche die Bereitstellung von Rollenspieler:innen, die Simulation von Verletzungen, die Präparation von Unfallfahrzeugen sowie die temporäre Sperrung von Anlagen beinhaltet. Auch die anschließende Nachbereitung erfordert Zeit und Mittel, insbesondere für die detaillierte Auswertung von aufgezeichnetem Material, was den Lerneffekt schmälert. Zugleich bleibt die tatsächliche Anzahl der Notfallsanitäter:innen beschränkt, die an einer solchen Übung teilnehmen können. Aufgrund dieser Begrenzung ist es schwierig, eine größere Anzahl von Einsatzkräften zu schulen, und führt dazu, dass Wiederholungen der Übung mit verschiedenen Teilnehmergruppen eine logistische Herausforderung darstellen. Trotz des hohen Wertes von Realübungen für die praxisnahe Ausbildung von Notfallsanitäter:innen, bleibt die Skalierbarkeit aufgrund dieser Einschränkungen eine zentrale Herausforderung. Aus diesem Grund wird vermehrt nach innovativen Lehrmethoden, wie der Integration von Mixed Reality-Trainingslösungen, gesucht, um den Lerneffekt zu maximieren und gleichzeitig die Ressourcen effizienter zu nutzen.

Das Projekt MED1stMR geht hier einen Schritt in die Zukunft und nutzt Mixed Reality als Technologie für das Training medizinischer Ersthelfer:innen. Dies bedeutet, dass neben der virtuellen Erfahrung für Nutzer:innen auch eine haptische Erfahrung mit realen Objekten ermöglicht wird. Im Falle von MED1stMR werden Patientensimulationspuppen interaktiv in die virtuelle Welt integriert. Im virtuellen Szenario einer Großschadenslage erlebt der Nutzer die Präsenz von Patient:innen durch Simulationspuppen. Dadurch können neben virtuellen Aspekten auch der Puls, die Atmung und die Lage der Gliedmaßen wahrgenommen werden. Die haptische Erfahrung intensiviert die sogenannte Immersion, wodurch die Erfahrung noch authentischer erscheint und der Lerneffekt letztlich gesteigert wird.

Im MED1stMR Trainingssystem ist ein drahtloses Headset und ein Ganzkörper-Trackingsystem integriert, um ein unvergleichliches Trainingserlebnis zu bieten. Das Ganzkörper-Trackingsystem gewährleistet eine präzise Abbildung jeder Bewegung in der virtuellen Umgebung und ermöglicht eine natürliche und realistische Interaktion in den Trainingsszenarien. Das drahtlose Headset ermöglicht eine mühelose Navigation und uneingeschränkte Exploration des virtuellen Raumes und schafft eine wahrhaft immersive Erfahrung, die Nutzer:innen vollständig in die Trainingsumgebung integriert. In den MR-Szenarien haben Trainierende die Möglichkeit sowohl den Puls und die Atemfrequenz virtueller Patienten, als auch physisch an den Simulationspuppen zu evaluieren. Zusätzlich können sie virtuell starke Blutungen mit Tourniquets stoppen und Triagekarten anlegen. In Abb. 1 sieht man den realen Trainierenden, seinen Blick auf die Simulationspuppe und die virtuelle Triagekarte in seiner virtuellen Hand am Bildschirm – wo die Sicht der Trainierenden für die Trainer visualisiert wird.

Die Lernziele innerhalb des MED1stMR-Projekts legen den Fokus auf die Triage bei Großschadenslagen mit zahlreichen Verletzten. Das System ermöglicht das Training die-

Abb. 1: Mixed Reality Trainings-sicht auf reale Umgebung und virtuelles Szenario



ses Prozesses zur Priorisierung und Klassifizierung von Patient:innen basierend auf der Dringlichkeit in einer virtuellen Umgebung. Das übergeordnete Ziel besteht darin, durch effektive Koordination und Einsatzleitung vor Ort die bestmögliche Versorgung unter begrenzten Ressourcen sicherzustellen. Zusätzlich zielt das Training darauf ab, das Situationsbewusstsein, die Widerstandsfähigkeit und die effiziente Leistungsfähigkeit zu verbessern.

### 3. Großschadenslage mit vielen Verletzten im Tunnel

Unfälle mit einer Vielzahl von Verletzten stellen stets eine herausfordernde Situation für Rettungsdienste, Polizei und Feuerwehr dar. Die klare Zuweisung von Aufgaben und die zeitliche Abstimmung sind entscheidend. Noch komplexer gestaltet sich die Bewältigung von Unfällen an schwer zugänglichen Standorten, wie beispielsweise in Tunneln. Umso wichtiger ist es, die Sicherheit im Tunnel zu gewährleisten.

Österreich zeichnet sich durch eine ausgeprägte Tunnelinfrastruktur mit vielen Straßen- und Eisenbahntunneln aus. Laut ASFINAG [1] gibt es aktuell 166 Straßentunnel in Österreich und in Tunnelanlagen auf Autobahnen und Schnellstraßen mit einer Länge über 500m ereigneten sich im Zeitraum 2006–2021 im Jahr durchschnittlich 87 Unfälle mit Personenschaden, mit durchschnittlich 143 verunglückten Personen und drei bis vier Getöteten [2]. Die Unfallursache in Tunneln ist meist Unachtsamkeit, Ablenkung, mangelnder Sicherheitsabstand, nicht angepasste Geschwindigkeit und Übermüdung. Bei Unfall oder Brand im Tunnel gilt es, schnell zu reagieren. Wenn Menschen eingeschlossen oder verletzt sind, zählt jede Sekunde, und bei den Einsatzkräften sollte jeder Handgriff sitzen. Bei Tunnelunfällen treten spezifische und oft schwerwiegende Verletzungen auf, darunter Atemwegsverletzungen durch Brandrauch oder Gase, die auch für die Einsatzkräfte eine erhebliche Gefährdung darstellen können.

Ein koordinierter Einsatz von Feuerwehr, Rettung und Polizei ist oberste Prämisse. Wichtig ist auch die Kommunikation mit der Einsatzzentrale und der aktuelle Überblick über die Situation, wie viele Personen wie schwer verletzt sind und in welcher Reihenfolge (Triage) sie von den Notfallsanitäter:innen versorgt werden müssen. Eine gründliche Schulung und Vorbereitung sind daher unerlässlich.

Für das MED1stMR Projekt war es daher klar, sich besonders diesem Thema im Training der Einsatzkräfte zu widmen. Der Projektpartner Zentrum am Berg (ZaB) der Montanuniversität Leoben in Österreich liefert im Projekt MED1stMR Wissen und Infrastruktur, um komplexe Situationen unter Tage besser trainieren zu können. Er betreibt am Steirischen Erzberg eine untertägige Forschungsanlage aus neu gebauten modernen Straßen- und Eisenbahntunneln und teils alten Bergbaustollen, umgebaut zu einer modernen und europaweit einzigartigen Tunnelanlage, die 1:1 österreichische Straßen- und Eisenbahntunnel abbildet. Die Versuchs- und Forschungsanlage besteht aus vier Tunneln mit einer Länge von jeweils rund 400 m. Geforscht wird hier vor allem zu Bau und Betrieb. Anlage wird jedoch immer öfter von Blaulichtorganisationen europaweit zum Training genutzt. Denn im Vergleich zu normalen Realübungen wie oben beschrieben, bietet sich hier in der Forschungsinfrastruktur der enorme Vorteil, dass kein Tunnel extra gesperrt werden muss und viele Umgebungsfaktoren, wie z. B. Unfall-Fahrzeuge und auch die Möglichkeit, mit brennenden Fahrzeugen zu trainieren, bereits vorhanden sind. Zudem stellen die Einrichtungen des ZaB die Möglichkeit bereit, umfangreiche Adaptierungen der Anlage und unterschiedliche technologische Systeme für die wissenschaftliche Dokumentation vorzunehmen und vorzubereiten, wo selten der Schwerpunkt großer Realübungen liegt.

Dem Zentrum am Berg kommen demnach im Projekt MED1stMR zwei Rollen zu. Einerseits liefern sie Wissen zu Trainingsdurchführung von Einsatzkräften unter Tage und dieses Wissen fließt in die Gestaltung der virtuellen Umgebungen, Objekte und Geräuschkulissen ein. Andererseits ist ein weiteres Projektziel die Durchführung von Real-

übungen, um Daten für den wissenschaftlichen Vergleich zwischen realem und virtuellem Training zu gewinnen und Grundlagen für die Gestaltung virtueller Szenarien für das Training von Großschadenslagen im Besonderen unter Tage zu generieren. Dies verhilft gerade dem wissenschaftlichen Vergleich zu höherer Aussagekraft, weil das in der Mixed Reality-Trainingslösung implementierte Triageszenario in den gesamten Verlauf einer Realübung samt der komplexen Interaktion unterschiedlicher Einsatzkräfte eingebettet ist.

#### 4. Realübung Zentrum am Berg im September 2023

Gemeinsam mit den Projektpartnern wurde ein virtuelles Unter-Tage Trainingsszenario, ein Busunfall mit zahlreichen Verletzten, entwickelt. Basierend darauf, ging es daran, eine Realübung mit denselben Trainingsparametern vorzubereiten. Die Vorbereitung dauerte einige Monate und Ziel war es, in Gruppen von 12 medizinischen Ersthelfern in drei Durchgängen einen Busunfall im Tunnel mit bis zu 36 Verletzten zu trainieren. Im Detail geplant von der Johanniter Österreich Ausbildung und Forschung gemeinnützige GmbH, wurde diese Übung gemeinsam von Einsatzkräften der Johanniter Österreich, der freiwilligen Feuerwehr Inzersdorf sowie der Polizei Gleinalm, in den Tunnelanlagen beim steirischen Erzberg durchgeführt (Abb. 2).

Um den zeitlichen und finanziellen Aufwand von Realübungen besser zu verteilen und deren Effizienz zu maximieren, wurden weitere interessierte Projekte NIKE-MED [3] und TeamAware [4] eingebunden. Dies ermöglichte eine umfassendere Gestaltung der Übung und erlaubte den beteiligten Projekten, ihre Technologien zu testen sowie relevante Aspekte der Realübung genauer zu untersuchen.

Es wurden drei Szenarien mit einem Busunfall für die Tunnelübung erstellt und die exakten Abläufe im Detail geplant. Die drei Szenarien verfolgten das Ziel einer steigenden Anzahl involvierter Rollenspieler und Einsatzkräfte und einer steigenden Komplexität einschließlich eines technischen Einsatzes der Feuerwehrkräfte. Der Busunfall war in den Szenarien jeweils an unterschiedlichen Posi-



Abb. 2: Realübung im Straßentunnel des ZaB mit Rollenspielern und Einsatzkräften

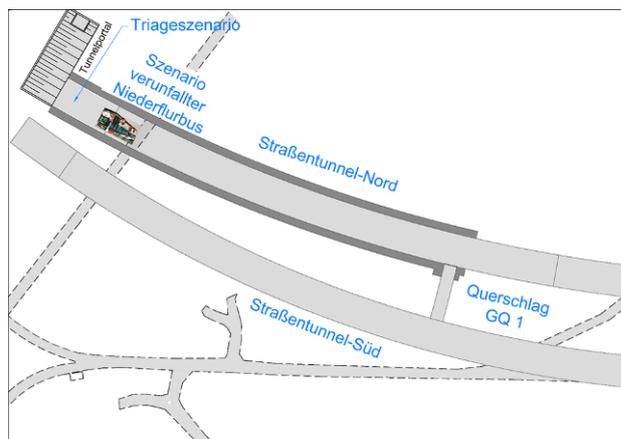


Abb. 3: Beispielskizze eines der drei Szenarien der Realübung am ZaB

tionen im Tunnel angeordnet, die Szenarien berücksichtigten einröhrige und zweiröhrige Straßentunnel unter Nutzung von Querschlägen (Abb. 3). Insgesamt waren mehr als 120 Personen in der Vorbereitung und Durchführung involviert. Während der Übung wurden die Stressbelastungen der Einsatzkräfte erhoben. Jeder Trainingsdurchgang wurde von umfassenden Fragebögen begleitet, und am Ende des Tages fand ein abschließendes Gruppeninterview statt. Das Forscherteam der Ruprechts-Karls-Universität Heidelberg analysiert nun im Anschluss die erhobenen Daten zur Stressbelastung der Teilnehmer:innen und die Universität Bern untersucht die Teamperformance während der Übungseinsätze. Die umfangreiche Aufzeichnung von Daten und die Auswertung der Fragebögen bedürfen noch mehrerer Wochen der Auswertung und Analyse für zuverlässige Ergebnisse.

Die Erkenntnisse aus dieser großangelegten Übung fließen anschließend in alle Forschungsprojekte ein und sollen in Zukunft das Training für Großschadenslagen und die Organisation vor Ort solcher herausfordernden Situationen für alle Einsatzkräfte verbessern. Die vorhandene Infrastruktur des ZaB bot optimale Bedingungen, wodurch die Übung wie geplant innerhalb der vorgesehenen Zeit erfolgreich abgeschlossen und die gewünschten Daten erhoben werden konnten.

#### 5. Übertragung der Realübung in die virtuelle Welt versus die virtuelle Welt in die Realübung

Die Realübung bietet eine reiche Quelle an praktischen Erfahrungen und Daten, die in die Konzeption, Entwicklung und Verbesserung von Mixed Reality-Trainings integriert werden können. Die Technologiereife gestaltet dabei das zu übende Realszenario mit. Die gewonnenen Erkenntnisse unterstützen die Schaffung authentischer Szenarien und Umgebungen in der MR. Dies trägt dazu bei, dass das MR-Training realistischer und praxisnäher ist. Beobachtungen aus der Realübung dienen auch als Vorlage dazu, realistische Interaktionsmöglichkeiten und Kommunikationswerkzeuge in MR zu entwickeln. Dies umfasst Aspekte wie die

Verwendung von MR-Headsets, Kommunikationsprotokolle und Teamzusammenarbeit in virtuellen Umgebungen.

Das Hauptziel der Realübung in Bezug auf MED1stMR war die Virtualisierung der herausfordernden Einsatzsituation im Tunnel. Die Übertragung der Realübung in die Mixed Reality (MR) erforderte eine sorgfältige Gestaltung des Ausschnitts sowie klare Vorgaben der Trainingsziele, um die eingeschränkten Bewegungsräume eines Mixed Reality-Trainings zu berücksichtigen. Dabei werden nur die für das Mixed-Reality Training relevanten Teile der realen Umgebung in die MR-Umgebung des zu beübenden Szenarios integriert und auf den begrenzten Bewegungsspielraum gezielt fokussiert. Der begrenzte Bewegungsspielraum ergibt sich aus der verwendeten Technologie der zu trackenden Personen und Gliedmaßen. Diese Maßnahmen ermöglichen es, ein immersives Trainingserlebnis zu schaffen, das die realen Bedingungen und Herausforderungen im Tunnel präzise wiedergibt und gleichzeitig die Trainingsziele effektiv erfüllt.

Ein weiteres zentrales Thema der Trainingslösung ist die Messung und Auswertung der Stressbelastung der Trainierenden. Der Trainer kann die Belastung auf einer Dashboard-Anzeige ablesen und entsprechend reagieren, das Szenario kann per Klick die Trainierenden mehr oder weniger Stressparametern aussetzen. Das Entscheidungsmanagement der Einsatzkräfte kann dadurch noch effizienter trainiert werden.

Gerade die gesteigerte Komplexität bei der Bewältigung von Unfällen in Tunneln verdeutlicht noch einmal die Dringlichkeit von Trainings in realistischen Umgebungen und unterstreicht die Notwendigkeit beider Trainingsansätze. Die Vergleichsdaten werden es ermöglichen, die virtuellen und realen Übungen zu verbessern und die Trainierenden noch besser auf reale Einsätze unter Tage vorbereiten zu können.

## 6. Zusammenfassung und nächste Schritte

MED1stMR soll medizinische Ersthelfer:innen durch den Einsatz einer Mixed Reality Trainingslösung besser auf stressige und hochkomplexe Einsatzsituationen, wie zum Beispiel Großschadenslagen unter Tage, vorbereiten. Die Trainingslösung umfasst die Trainingsumgebung für die Trainierenden inklusive haptischer Simulationspuppen, eine Dashboard-Ansicht für den/die Trainer:in und verschiedene Steuerungsoptionen. Die Trainingslösung ermöglicht zudem, eine leichte Austauschbarkeit der Trainingsumgebung, sodass zudem Unfälle im Freiland ohne Aufwand simuliert werden können, und der Verletzungsmuster oder erlaubt Modifikationen zur Berücksichtigung europäischer Länderspezifika. Zusätzlich werden Richtlinien entstehen, wie solch eine Trainingsmethode in den Organisationen integriert werden kann. Die finalen Projektergebnisse werden bei einer zweitägigen Konferenz im April 2024 in Ranst, Belgien der Öffentlichkeit präsentiert. Die entwickelte Trainingslösung kann auch ausprobiert werden. Einen Überblick über das Projekt findet man unter [www.med1stmr.eu](http://www.med1stmr.eu).

Übersicht der Projektpartner:

### Projektpartner

- AIT – Austrian Institute of Technology GmbH – Center for Technology Experience
- Ruprechts-Karls-Universität Heidelberg
- Umeå University
- Universität Bern
- Montanuniversität Leoben – Department Zentrum am Berg
- Refense AG
- Plux – Wireless Biosignals
- D2D – Medical-X
- IDENER SCIENTIFIC COMPUTING
- USECON – The Usability Consultants GmbH
- Mindconsole
- Hellenic Rescue Team
- Johanniter Österreich Ausbildung und Forschung gemeinnützige GmbH
- Servicio Madrilenio De Salud/SUMMA 112
- Universitätsklinikum Heidelberg
- Region Jämtland Härjedalen
- Johanniter International
- Campus Vesta
- Hochschule Furtwangen

**Förderung.** Dieses Projekt wird im Rahmen des Horizon 2020 Forschungs- und Innovationsprogramms der Europäischen Union gefördert (Fördervertrag Nr. 101021775). Der Inhalt gibt ausschließlich die Meinung des MED1stMRs-Konsortiums wieder. Die Europäische Exekutivagentur für die Forschung und die Europäische Kommission haften nicht für die Richtigkeit der hierin enthaltenen Informationen.



**Funding.** Open access funding provided by Montanuniversität Leoben.

**Open Access** Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

### Literatur

1. Tunnelsicherheit | ASFINAG. <https://www.asfinag.at/verkehr-sicherheit/tunnelsicherheit/>. Zugegriffen: 27. Sept. 2023
2. Schmied, S., Strnad, B.: Bericht über Brände und Unfälle in Tunnelanlagen KfV Sicherheit-Service GmbH, S. 1999–2021 (2022)

- 
3. NikeMed – Nachhaltige Interdisziplinarität in Komplexen Einsätzen – MEDical treatment. <https://www.kiras.at/geofoerderte-projekte/detail/nikemed>. Zugegriffen: 27. Sept. 2023
  4. TeamAware | Team Awareness Enhanced with Artificial Intelligence and Augmented Reality. <https://teamaware.eu/>. Zugegriffen: 27. Sept. 2023

**Hinweis des Verlags.** Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.