

VR/AR in der medizinischen Simulation (2025–2030): Leitfaden für die strategische Planung

Ein Krankenpflegeschüler verwendet ein VR-Headset und Controller in einer simulierten klinischen Umgebung, um Szenarien für die Patientenversorgung zu üben. VR ermöglicht ein immersives Training in Situationen mit hohem Einsatz ohne Risiko für echte Patienten.

Virtual Reality (VR) und Augmented Reality (AR) verändern die medizinische Ausbildung und Simulation, indem sie immersive, risikofreie Lernerfahrungen bieten. Akademische Simulationszentren in ganz Europa – insbesondere in der DACH-Region (Deutschland, Österreich, Schweiz) und Großbritannien – setzen zunehmend VR/AR ein, um die Ausbildung von Medizin-, Krankenpflege- und verwandten Gesundheitsstudenten zu verbessern. Diese Einführung wird durch den Bedarf an fortschrittlichen Schulungsinstrumenten vorangetrieben, die die Patientensicherheit und die klinischen Fähigkeiten in einer kontrollierten Umgebung verbessern. Weltweit befindet sich der Markt für medizinische Simulationen auf einem rasanten Wachstumskurs (geschätzt auf **8,7 Milliarden US-Dollar im Jahr 2024**, prognostiziert auf **19,5 Milliarden US-Dollar bis 2030**), was auf starke Investitionen in High-Fidelity-Puppen, Software und VR/AR-Plattformen zurückzuführen ist. Europa spiegelt diese globalen Trends wider und trägt maßgeblich zu Forschung und Akzeptanz bei und legt gleichzeitig Wert auf Zusammenarbeit und Qualitätsstandards. Mit Blick auf die Jahre 2025 bis 2030 sind akademische Simulationszentren bereit, VR/AR noch tiefer in alle Fachgebiete zu integrieren, von der Chirurgie über die Notfallmedizin bis hin zur Krankenpflege, mit dem Ziel, besser vorbereitete Kliniker und eine sicherere Patientenversorgung hervorzubringen.

Trends und Innovationen in der medizinischen VR/AR-Simulation (2025–2030)

Immersives Training und Realismus: VR- und AR-Technologien stehen an der Spitze der medizinischen Simulationsinnovation und bieten hochgradig interaktive 3D-Umgebungen, die reale klinische Situationen genau nachahmen. Mit VR-Headsets können Lernende virtuelle Kliniken, Operationssäle oder Notfallszenen betreten, um die Entscheidungsfindung und technische Fähigkeiten an lebensgetreuen virtuellen Patienten zu üben. Bei diesen **virtuellen Patienten** handelt es sich um computergenerierte Avatare, die realistische Symptome und Reaktionen auf Interventionen darstellen, die durch KI-gesteuerte Physiologie und Verhaltensmodelle ermöglicht werden. Zum Beispiel kann ein Auszubildender in VR einen virtuellen Traumapatienten beurteilen, Interventionen durchführen und beobachten, wie sich der Zustand des Patienten basierend auf seinen Handlungen verbessert oder verschlechtert. AR hingegen überlagert digitale Elemente mit der physischen Welt – wie z.B. die Projektion eines holografischen Patienten oder von Vitalparametern in einen realen Simulationsraum über eine AR-Brille. Eine aufstrebende Praxis ist die **hybride Simulation**, bei der AR in Verbindung mit Puppen (z. B. zur Darstellung der inneren Anatomie oder wichtiger Messwerte an einer Schaufensterpuppe) verwendet wird, um den Realismus zu verbessern. Diese Ansätze erweitern

das Training **über die Grenzen physischer Simulationslabore hinaus** und ermöglichen das Üben "in jedem Szenario, überall" mit beispiellosem Realismus und Feedback.

Integration von KI und Haptik: Fortschrittliche Technologien konvergieren, um VR/AR-Simulationen effektiver zu machen. **Künstliche Intelligenz (KI)** wird zunehmend integriert, um die Dynamik von Szenarien zu steuern und adaptives Feedback zu geben. Anstelle von statischen, vorgefertigten Simulationen können KI-gesteuerte virtuelle Patienten oder Puppen die Aktionen der Lernenden in Echtzeit analysieren und ihre Reaktionen anpassen – zum Beispiel die Veränderung von Vitalparametern, das Stellen spontaner Fragen oder das Einführen von Komplikationen. Dies schafft eine lebenserechtere, ungeschriebene Erfahrung, die die Auszubildenden dazu zwingt, schnell zu denken, was realen klinischen Begegnungen sehr nahe kommt. Frühe Piloten von KI-fähigen Simulatoren berichten von einem verbesserten Engagement und Realismus der Studenten, da die Studenten genau wie bei echten Patienten auf unvorhersehbare Veränderungen reagieren müssen. **Haptisches Feedback** ist eine weitere wichtige Innovation: VR-Simulatoren für Eingriffe (wie Operationen oder Katheterisierungen) enthalten zunehmend haptische Geräte, die es den Lernenden ermöglichen, Interaktionen mit virtuellen Geweben und Instrumenten zu "fühlen". Zum Beispiel kann eine VR-Operationsplattform mit Handheld-Controllern und haptischen Handschuhen das taktile Gefühl des Nähens von Haut oder des Bohrens von Knochen simulieren und so das Muskelgedächtnis aufbauen. Diese haptischen Simulatoren werden mit KI-Coaching kombiniert – während der Lernende übt, kann das System die Leistung messen und sofortige Korrekturen oder maßgeschneiderte Schwierigkeitsanpassungen vornehmen.

Fortschritte bei der chirurgischen Simulation: Das chirurgische Training ist ein wichtiger Schwerpunkt für die VR/AR-Entwicklung. Der Druck wächst, Chirurgen effizienter und sicherer zu schulen, insbesondere bei komplexen Techniken wie minimalinvasiver und robotergestützter Chirurgie. Als Reaktion darauf **haben immersive VR-Operationssaalsimulationen** und Verfahrenstrainer bedeutende Innovationen erfahren. VR-Operationstrainingssysteme ermöglichen es Teams nun, Operationen Schritt für Schritt in einer realistischen OP-Umgebung zu üben, komplett mit virtuellen Patienten, chirurgischen Instrumenten und sogar anderen Teammitgliedern, die als Avatare dargestellt werden. Programme auf der ganzen Welt (darunter führende Universitätskliniken in DACH und Großbritannien) setzen diese Simulatoren ein, um traditionelle Ausbildungsmodelle zu ergänzen. Insbesondere **Roboter-Operationssimulatoren**, die VR verwenden, sind in chirurgischen Facharztpraxen üblich geworden. Eine systematische Übersichtsarbeit aus dem Jahr 2023 bestätigte, dass VR-Training die roboterchirurgischen Fähigkeiten erheblich verbessert und *genauso effektiv ist wieherkömmliche Trainingsmethoden*. Das bedeutet, dass chirurgische Assistenzärzte durch VR-Übungen Kenntnisse in der Bedienung von Robotersystemen erwerben können, die sich in der Praxis umsetzen lassen. Um den Zugang zu erweitern, entwickeln die Forscher auch erschwinglichere Schnittstellen – zum Beispiel mit modifizierten Gamecontrollern oder neuartigen kostengünstigen haptischen Geräten –, um die Abhängigkeit von teurer proprietärer Hardware für chirurgische VR zu verringern. Diese Trends deuten darauf hin, dass bis 2030 **VR-basierte chirurgische Proben** (für Eingriffe, die von laparoskopischen Operationen bis hin zu orthopädischen und kardiologischen Eingriffen reichen) zu einem Standardbestandteil der chirurgischen Ausbildung werden könnten, mit verbessertem Realismus und geringerem Risiko.

Simulation von Patientenversorgung und Pflege: VR revolutioniert auch die Ausbildung in der Notfallmedizin, Anästhesie, Krankenpflege und anderen Akutpflegeszenarien. Akademische Zentren nutzen VR-Plattformen für "virtuelle Krankenhäuser", auf denen Lernende simulierte Stationen oder Notfallszenen verwalten können. Zum Beispiel kann ein Auszubildender in der Notfallmedizin ein VR-Headset aufsetzen und sich in einer virtuellen Notaufnahme oder einem Krankenwagen wiederfinden, um mehrere Patienten zu triagieren und zu behandeln. In der Pflegeausbildung ermöglichen immersive VR-Simulationen (manchmal **auch als IVR – Immersive Virtual Reality bezeichnet**) den Schülern, alles zu üben, von Routineuntersuchungen bis hin zu Code-Blue-Wiederbelebungen mit hohem Einsatz. Ein Vorteil, den die Pädagogen hervorheben, ist die **Standardisierung** klinischer Erfahrungen: "Mit [immersiver VR] erhält jeder Pflegeschüler die gleiche hochwertige klinische Erfahrung – standardisiert, evidenzbasiert und jederzeit zugänglich." Im Gegensatz zu klinischen Rotationen, die sich in Qualität und Fällen unterscheiden, kann VR sicherstellen, dass jeder Student auf konsistente Weise auf kritische Szenarien (wie Sepsis-Management oder pädiatrische Notfälle) trifft. Diese Modalität ermöglicht auch **eine sofortige Wiederholung** – die Studierenden können ein Szenario mehrmals wiederholen, um sich zu verbessern, was bei standardisierten Patienten oder Schaufensterpuppen aufgrund begrenzter Ressourcen nicht möglich ist. Die ersten Ergebnisse sind vielversprechend: Studien zeigen, dass VR-basiertes Training das klinische Wissen, das Selbstvertrauen und den Kompetenzerwerb der Lernenden im Vergleich zu herkömmlichen Vorlesungen oder sogar einigen persönlichen Methoden erheblich steigern kann. Die Lernenden berichten oft, dass sie sich nach VR-Sitzungen "eingetaucht" und besser vorbereitet fühlen, und die Dozenten beobachten ein hohes Maß an Engagement (die Schüler *wollen* oft Szenarien wiederholen, um sich zu verbessern). Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit dem Ziel, die anhaltende Lücke zwischen dem Lernen im Klassenzimmer und der realen Praxis zu schließen, indem VR eingesetzt wird, um die Studierenden besser auf die unvorhersehbare Natur der Patientenversorgung vorzubereiten.

Augmented Reality-Potenzial: AR in der medizinischen Simulation ist etwas weniger ausgereift als VR, aber vielversprechend. Mit Geräten wie AR-Brillen oder Mixed-Reality-Headsets können Dozenten virtuelle Bilder mit realen Umgebungen überlagern – zum Beispiel, indem sie einen holografischen Patienten zeigen, mit dem ein Lernender in seinem eigentlichen Skills-Lab interagieren kann, oder indem sie während einer Schaufensterpuppenübung diagnostische Daten und Hinweise auf das Sichtfeld projizieren. Pilotprogramme in Europa und Asien experimentieren mit AR-gestützten Simulationen: Eine Studie aus dem Jahr 2024 in Taiwan ergab, dass das Hinzufügen von visuellen AR-Hinweisen zu pädiatrischen Pflegeszenarien das Wissen und die klinische Argumentation der Schüler verbesserte, indem die Theorie mit interaktiven Hinweisen zwischen Theorie und Praxis überbrückt wurde. Stellen Sie sich einen Auszubildenden vor, der eine Schaufensterpuppe durch eine AR-Brille betrachtet und dynamische Vitalparameter über der Schaufensterpuppe oder visuelle Highlights sieht, die anzeigen, wo eine Infusion platziert werden sollte – solche Hinweise können das Lernen verstärken. Einige europäische Zentren haben **HoloLens-basierten Unterricht getestet**, bei dem lebensgroße virtuelle Patienten (durch AR) in einem Klassenzimmer erscheinen, damit die Schüler sie beurteilen können, oder bei denen ein Dozent einen Eingriff aus der Ferne leitet, indem er das Sichtfeld des Lernenden sieht und Anmerkungen projiziert. Obwohl **die Einführung von AR derzeit hinter VR zurückbleibt** – vor allem aufgrund der höheren Kosten für AR-Hardware und der Komplexität der Entwicklung von Inhalten – könnte sich diese Lücke

bis 2030 schließen. Der Zeitraum 2025-2030 wird wahrscheinlich erschwinglichere, benutzerfreundlichere AR-Geräte bringen (z. B. investieren Tech-Giganten in AR-Brillen der nächsten Generation), was zu einer breiteren Nutzung führen könnte. Wenn technische und Kostenbarrieren fallen, könnte AR zu einer leistungsstarken Ergänzung der Simulation werden und physische Simulationen mit digitalen Schichten (manchmal auch *Mixed Reality* oder *MR* genannt) anreichern. Dies würde Möglichkeiten wie die Fernüberwachung durch Experten (durch AR-Telepräsenz) oder Schulungen in realen klinischen Umgebungen mit virtuellen Patienten zum Üben eröffnen. Simulationszentren sollten die AR-Entwicklungen genau beobachten – während VR derzeit weiter verbreitet ist, könnte AR als nächste *Welle* von Tools für erfahrungsorientiertes Lernen folgen.

Datengesteuertes Lernen: Sowohl VR- als auch AR-Simulationen generieren eine Fülle von Leistungsdaten, die für den Unterricht genutzt werden können. Moderne Simulationsplattformen verfolgen jede Aktion, die ein Auszubildender ausführt – von der Zeit bis zur Diagnose einer Erkrankung in einem VR-Szenario bis hin zur Präzision der Bewegungen in einer chirurgischen Simulation. Bis 2025 setzen viele Zentren **Cloud-basierte Simulationsmanagementsysteme ein**, die diese Daten speichern und Analysen bereitstellen. Für die Zukunft erwarten wir eine noch tiefere Datenintegration: automatisierte Bewertungssysteme, Kompetenz-Dashboards und KI-gesteuertes Feedback, das die Schwächen eines Lernenden identifiziert und Szenarien anpasst, um diese zu beheben. Zum Beispiel könnte ein KI-Tutor ein VR-Szenarioprotokoll überprüfen und feststellen, dass der Lernende ein kritisches Laborergebnis nicht überprüft hat. Das System könnte dann eine gezielte Überprüfung vorschlagen oder ein neues Szenario generieren, das sich auf diese Fähigkeit konzentriert. In der DACH-Region und in Großbritannien, wo die Rechenschaftspflicht in der Ausbildung hoch ist, entsprechen solche datengesteuerten Ansätze den Trends in der kompetenzbasierten medizinischen Ausbildung. Darüber hinaus ermöglicht die Akkumulation von Simulationsdaten über Kohorten hinweg den Programmdirektoren, Lehrplanlücken zu identifizieren (z. B. wenn viele Schüler mit einem bestimmten Szenario zu kämpfen haben, kann das Training in der realen Welt angepasst werden). **Interprofessionelles und kollaboratives Training** ist ein weiterer aufkommender Trend, der durch VR ermöglicht wird: Mehrere Lernende (aus verschiedenen Orten oder Fachrichtungen) können gemeinsam ein gemeinsames virtuelles Szenario betreten. Bis 2030 ist es plausibel, dass ein Medizinstudent in Zürich, ein Krankenpflegestudent in London und ein Sanitäter-Auszubildender in München gleichzeitig in einem virtuellen Massenansturm von Verletzten trainieren und in Echtzeit kommunizieren und zusammenarbeiten können. Diese Art der vernetzten Simulation könnte die Teamfähigkeit über Grenzen hinweg erheblich verbessern – eine Richtung, die europäische Programme (oft über EU-finanzierte Projekte) gerne erforschen möchten, aufbauend auf dem Schwerpunkt der Region auf institutionenübergreifender Zusammenarbeit.

Zusammenfassung der Trends 2025: Insgesamt gab es in den letzten Jahren (2023–2025) **robuste Innovationen in der medizinischen Simulation**, die das Training **immersiver, datengesteuerter und zugänglicher** denn je machen. High-Fidelity-Puppen mit KI, VR/AR-Systeme für eine Vielzahl von klinischen Schulungen, tragbare Technologien für den Realismus (wie VR-Anzüge oder Biometrie) und leistungsstarke Cloud-Plattformen verändern die Art und Weise, wie medizinisches Fachpersonal lernt. Europa hält mit diesen Entwicklungen Schritt und verbindet die Einführung von Technologien mit einem Fokus auf **Standards und Qualität** in der

simulationsbasierten Bildung. Damit sind die Voraussetzungen für die Jahre 2025 bis 2030 geschaffen, in denen VR und AR von neuartigen Pilotprojekten zur **Mainstream-Praxis** in akademischen medizinischen Zentren werden und die Ausbildung in allen Fachgebieten grundlegend verbessern.

Regionaler Fokus: Simulationszentren in der DACH- und UK-Region

Akademische medizinische Zentren in Deutschland, Österreich, der Schweiz (DACH) und dem Vereinigten Königreich sind führend bei der Einführung von VR/AR für die Ausbildung im Gesundheitswesen. Diese Regionen verfügen über ein starkes Gesundheitssystem und Universitätskliniken, die in Simulationen investieren, um die Bildungsergebnisse zu verbessern. Im Folgenden stellen wir regionale Trends, Beispiele und Initiativen vor:

- **Deutschland & DACH:** In Deutschland haben viele Universitäten Forschungsgruppen und Pilotprogramme für VR-Simulation ins Leben gerufen. So hat das Universitätsklinikum Würzburg ein VR-basiertes Trainingsprogramm für die Notfallmedizin (STEP-VR) entwickelt, um Medizinstudenten im Umgang mit akuten Szenarien zu schulen. Die Schüler üben in einer virtuellen Notaufnahme mit einem Headset, während die Dozenten die Nachbesprechungen moderieren. Eine Studie dieses Programms ergab eine **geringe Simulationskrankheit** und eine hohe Akzeptanz – die Studierenden bewerteten die VR-Umgebung als sehr realistisch und empfanden die praktische Übung als wertvoll. Bemerkenswert ist, dass Schüler, die aktiv an den VR-Szenarien teilnahmen (im Gegensatz zu nur beobachteten), von einer größeren Immersion, einem höheren wahrgenommenen Lernerfolg und einer gesteigerten Motivation nach dem Training berichteten. Solche Erkenntnisse unterstützen die Wirksamkeit von VR in deutschen medizinischen Curricula. Anderswo in der DACH-Region sind Schweizer Innovatoren bekannt: Das Schweizer Unternehmen *VirtaMed* produziert weltweit führende VR-Operationssimulatoren (für Arthroskopie, Endoskopie usw.), die von vielen Ausbildungskrankenhäusern in Europa eingesetzt werden. In der Schweiz und an den österreichischen Universitätsspitalen wird VR in ähnlicher Weise für chirurgische Skills Labs, den Anatomieunterricht (z. B. VR-Leichensimulationen) und sogar die Psychiatriebildung (VR-Szenarien zur Vermittlung von Kommunikation und Empathie) integriert. Die DACH-Region profitiert von einer starken Ingenieur- und Medizintechnikindustrie, die lokale Lösungen herstellt – zum Beispiel **hat VRmagic** (ein in Deutschland gegründetes Unternehmen) VR-Simulatoren für die Augenheilkunde entwickelt, und Universitäten in Zürich und München haben mit AR in der Anatomie- und interventionellen Radiologieausbildung experimentiert. Eine Herausforderung in der DACH-Region bestand darin, die Finanzierung für die groß angelegte Implementierung zu sichern, aber staatliche und EU-Forschungszuschüsse (z. B. im Rahmen des EU-Aktionsplans für digitale Bildung) haben in den letzten Jahren damit begonnen, Upgrades der Simulationstechnologie zu unterstützen. Der Trend in der DACH-Region geht zum **Mainstreaming der Simulation**: Traditionelle Skills Labs mit Schaufensterpuppen werden durch VR-Stationen ergänzt. Bis 2030 streben viele deutsche und schweizerische medizinische Fakultäten umfassende XR (Extended Reality) Trainingsplätze an. Wichtig

ist, dass die Zusammenarbeit zunimmt – die **Society for Simulation in Europe (SESAM)** und nationale Gruppen (z. B. die Deutsche Gesellschaft für Medizinische Simulation) fördern den Austausch von Best Practices zwischen den Zentren.

- **Großbritannien:** Der britische National Health Service (NHS) und die Universitäten haben Simulation und immersive Technologie als Schlüsselstrategien für die Entwicklung der Belegschaft angenommen. Der NHS hat sogar ein nationales **Programm für Simulations- und immersive Technologien ins Leben** gerufen, um die Einführung in der gesamten Gesundheitsausbildung zu unterstützen. Dazu gehören die Entwicklung von Leitlinien für die Implementierung von VR/AR in großem Maßstab und ein **dynamisches Einkaufssystem**, um NHS-Krankenhäuser und Universitäten bei der effizienten Beschaffung geprüfter immersiver Schulungslösungen zu unterstützen. Mehrere britische Universitäten und Lehrkrankenhäuser sind frühe Anwender von VR: So wurde beispielsweise **Oxford Medical Simulation (OMS)** – eine in Großbritannien ansässige VR-Plattform – an Institutionen wie Oxford, UCL und mehreren Krankenpflegeschulen eingesetzt, um virtuelle klinische Szenarien für Studenten bereitzustellen. In einem Fall berichtete die University of Lincoln (UK), dass sie *über 200 Stunden* an Arbeitszeit in ihrem Simulationslabor einsparte, indem sie einen Teil des Trainings mit dem OMS-System auf VR auslagerte. Die Schüler in diesen Programmen zeigten massive Fortschritte im Selbstvertrauen, wobei einer feststellte: "Sie können sich durch VR massiv verbessern... Am Ende fühlte ich mich wirklich gestärkt und ermutigt." Das Vereinigte Königreich ist auch führend bei **Start-ups für VR-chirurgische** Ausbildungen: *FundamentalVR*, ein in London ansässiges Unternehmen, entwickelte einen haptischen VR-Chirurgie-Trainer, der 2019 als erster vom Royal College of Surgeons of England eine Akkreditierung für Continuing Professional Development (CPD)-Punkte erhielt. Diese Akkreditierung – im Wesentlichen eine Bestätigung durch das chirurgische Royal College – war ein Meilenstein, der VR als legitimes Schulungsinstrument bestätigte. Seitdem haben viele chirurgische Ausbildungsprogramme in Großbritannien (z. B. in Orthopädie, laparoskopischer Chirurgie und Neurochirurgie) VR-Module integriert. Das Royal College of Surgeons und andere Einrichtungen evaluieren und unterstützen weiterhin Fortschritte bei der Simulation. So hat das RCS beispielsweise ein VR-Modul für das Training von Hüftgelenkersatz mit Haptik akkreditiert, und Health Education England hat Projekte finanziert, die AR in der Sanitäterausbildung erforschen. Bis 2025 gibt es an den meisten britischen medizinischen Fakultäten immersive Simulationszentren, die oft über Mehrzweck-VR-Labore verfügen. Der **NHS Long Term Workforce Plan** nennt ausdrücklich simulationsbasiertes Training und immersive Technologie, um klinische Fähigkeiten in großem Maßstab zu verbessern, und unterstreicht das Engagement auf hohem Niveau. Auch in Zukunft wird das Vereinigte Königreich die Simulation an die nationalen Lehrpläne und Kompetenzrahmen anpassen (z. B. die Ergebnisse von VR-Szenarien an die Ergebnisse der medizinischen Absolventen oder die Kompetenzstandards für Krankenpfleger des GMC anpassen). Der Fokus liegt auf der Gewährleistung eines gleichberechtigten Zugangs – um sicherzustellen, dass alle Schüler, unabhängig von ihrem Standort, von der gleichen hochwertigen Simulation profitieren können (VR hilft hier, indem es Fern- und On-Demand-Schulungen ermöglicht).

Gemeinsame regionale Themen: Sowohl in der DACH-Region als auch in Großbritannien wird die *evidenzbasierte Integration* von VR/AR geschätzt. Pädagogen verlangen den Nachweis, dass diese Technologien das Lernen wirklich verbessern – und bisher liefert eine wachsende Anzahl unabhängiger Studien (auch in diesen Regionen) diesen Nachweis. Eine Kosten-Nutzen-Analyse in Großbritannien ergab beispielsweise, dass VR-Simulationen ähnliche Bildungsergebnisse wie herkömmliche Simulationen zu deutlich geringeren Kosten liefern können. In Deutschland haben kontrollierte Studien (wie das Würzburger Projekt) einen pädagogischen Nutzen ohne nachteilige Auswirkungen gezeigt. Diese Ergebnisse helfen, Stakeholder (Universitätsdekane, Krankenhausdirektoren) davon zu überzeugen, in VR/AR zu investieren. Eine weitere Gemeinsamkeit ist der Trend zur **interprofessionellen Simulation** – beide Regionen nutzen VR für Teamtrainings in verschiedenen Disziplinen, was den teambasierten Ansatz ihrer Gesundheitssysteme widerspiegelt. Darüber hinaus ist die Sprachlokalisierung ein aufkommendes Thema: DACH-Einrichtungen verlangen manchmal deutschsprachige virtuelle Patienten oder Szenarioerzählungen, was die Anbieter dazu veranlasst, mehrsprachige Unterstützung oder die Erstellung lokaler Inhalte anzubieten (z. B. hat ein Schweizer Projekt französische und deutsche VR-Pflegeszenarien für den regionalen Einsatz erstellt). Wir gehen davon aus, dass die meisten akademischen Simulationszentren in der DACH-Region und in Großbritannien bis 2030 über ein gemischtes Simulationsökosystem verfügen werden: Wir werden weiterhin High-Fidelity-Schaufensterpuppen und persönliche Übungen für bestimmte praktische Fähigkeiten verwenden, während der Einsatz von VR/AR für Szenarien ausgeweitet wird, die von Immersion, Standardisierung und Skalierbarkeit profitieren oder im wirklichen Leben schwer zu reproduzieren sind.

Überlegungen zur strategischen Planung von Simulationszentren

Um VR/AR in den nächsten fünf Jahren effektiv in der medizinischen Simulation zu nutzen, sollten die Leiter von Simulationszentren eine sorgfältige strategische Planung vornehmen. Dieser Abschnitt bietet eine **SWOT-Analyse** der VR/AR-Integration, untersucht Zukunftsszenarien und untersucht wichtige Überlegungen wie Kosten-Nutzen-Verhältnis, Return on Investment (ROI) und Einhaltung von Regulierungs- und Akkreditierungsstandards in der EU und im Vereinigten Königreich. Ziel ist es, akademische Simulationszentren bei der Entwicklung einer zukunftsorientierten Strategie zu unterstützen, die Chancen maximiert und Risiken bei der Einführung von VR/AR-Technologien mindert.

SWOT-Analyse: VR/AR in der medizinischen Simulation

Um die strategische Entscheidungsfindung zu erleichtern, analysieren wir die **Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken** (SWOT), die mit der Implementierung von VR/AR in akademischen medizinischen Simulationszentren verbunden sind:

Stärken (interne Vorteile)	Schwächen (interne Herausforderungen)
<i>Immersives, realistisches Training</i> – VR/AR bietet High-Fidelity-Umgebungen für sicheres, praktisches Üben ohne Risiko für echte	<i>Hohe Anfangsinvestition</i> – Die Vorabkosten für VR/AR-Hardware- und Softwarelizenzen können die Budgets

Stärken (interne Vorteile)

Patienten. Die Auszubildenden können seltene oder komplexe Fälle in einer kontrollierten Umgebung erleben, was die Vorbereitung verbessert. *Standardisierung und Skalierbarkeit* – Jeder Lernende kann das **gleiche qualitativ hochwertige, evidenzbasierte Szenario erhalten**, wodurch die Konsistenz über alle Schulungskohorten hinweg gewährleistet wird. Die Simulationen können jederzeit wiederholt werden, so dass das Üben im Tempo des Lernenden möglich ist. *Verbessertes Engagement und Feedback* – Interaktive und spielähnliche Elemente erhöhen das Engagement und die Motivation der Lernenden. Die Systeme liefern **sofortiges Leistungsfeedback und Analysen und unterstützen** so das reflektierende Lernen (z. B. können KI-gesteuerte Nachbesprechungen Fehler aufzeigen). *Ressourceneffizienz* – Ein einziges VR-Setup kann mehrere physische Simulatoren ersetzen oder erweitern, wodurch möglicherweise viele Studenten mit weniger Fakultätsstunden geschult werden. **Die Kosten pro Nutzung** von VR können viel niedriger sein als bei herkömmlichen Simulationen (z. B. 2 bis 14 US-Dollar für VR vs. 28 bis 394 US-Dollar für Puppensitzungen), und VR-Simulationen können dem Dozenten Zeit sparen, indem sie selbstgesteuertes Lernen ermöglichen.

Chancen (externes Potenzial)

Technologische Durchbrüche – Schnelle Verbesserungen in der VR/AR-Technologie

Schwächen (interne Herausforderungen)

belasten, insbesondere für kleinere Zentren. Über Headsets hinaus benötigen Programme möglicherweise eine robuste IT-Infrastruktur und technischen Support. *Technische Probleme und Lernkurve* – VR-Plattformen erfordern technische Einrichtung, Wartung und regelmäßige Updates. Unerfahrene Dozenten können mit einer Lernkurve konfrontiert sein, wenn sie VR in die Lehrpläne integrieren. *Kleinere technische Störungen* (z. B. Softwarefehler oder Probleme bei der Gerätekalibrierung) können Sitzungen stören, wenn sie nicht behoben werden. *Benutzerkomfort und Einschränkungen* – Eine Untergruppe der Benutzer leidet unter **Reisekrankheit oder Unbehagen** in VR, insbesondere bei längeren Sitzungen, die bewältigt werden müssen (obwohl Studien über eine geringe Inzidenz mit modernen Systemen berichten). VR lässt in der Regel auch jeweils einen Lernenden eintauchen; Die Gruppenbeobachtung erfordert externe Displays und kann das Engagement für diejenigen verringern, die nicht "in" dem Szenario sind. *Lücken bei der Inhaltsabdeckung* – Während die Bibliotheken mit Szenarien wachsen, decken VR-Angebote möglicherweise noch nicht jedes Lernziel oder Fachgebiet ab. Einige hochgradig taktile Fähigkeiten (z. B. chirurgische Nahtfinesse) erfordern immer noch **körperliche Übung** oder eine fortgeschrittene Haptik, die nicht in allen Systemen verfügbar ist. Die Erstellung von benutzerdefinierten VR-Inhalten, die zu bestimmten Lehrplänen passen, kann zeitaufwändig sein und die Unterstützung des Anbieters oder technisches Know-how erfordern.

Bedrohungen (externe Risiken)

Budgetbeschränkungen und Nachhaltigkeit – Auf der anderen Seite der Finanzierung sehen sich

Chancen (externes Potenzial)

(leichtere kabellose Headsets, Grafiken mit höherer Wiedergabetreue, realistischere Haptik) werden die Akzeptanz erleichtern und das Erlebnis authentischer machen. Kommende AR/MR-Geräte könnten beispielsweise gemischte Simulationen mit weniger Volumen und Kosten ermöglichen und den Einsatz von AR ausweiten. Wenn Sie sich diese Innovationen zu eigen machen, können Sie den Fokus auf dem Neuesten halten. *Erweiterter Zugang und Zusammenarbeit* – VR ermöglicht **Remote- und verteilte Schulungen**, eine große Chance für die regionale Zusammenarbeit. Zentren können virtuelle Fälle teilen; Ein Netzwerk von Universitäten in der DACH-Region könnte gemeinsame Simulationsübungen in VR durchführen, um Fachwissen zu bündeln und die Ausbildung über Institutionen hinweg zu standardisieren. Dies trägt auch dazu bei, Lernende an abgelegenen Orten zu erreichen und die Chancengleichheit in der Bildung zu fördern. *Integration in Curricula und Bewertung* – Es besteht die Möglichkeit, VR formell in medizinische Curricula zu integrieren (z. B. als Teil von Kursanforderungen oder sogar Prüfungen, bei denen viel auf dem Spiel steht). Bis 2030 könnten die Aufsichtsbehörden VR-basierte Bewertungen für die Zertifizierung akzeptieren. Erste Schritte in diese Richtung (wie z. B. die Akkreditierung eines VR-Operationsmoduls durch ein Royal College für CPD-Punkte) deuten auf eine wachsende institutionelle Akzeptanz hin. Zentren, die strenge VR-Schulungsmodule entwickeln, können sich jetzt für den Fall positionieren, an dem **die digitale Bewertung** zum Mainstream wird. *Finanzierung und Partnerschaften* – Staatliche Initiativen (z. B. der EU-Aktionsplan für digitale Bildung, nationale Innovationszuschüsse) und private Partnerschaften stehen zunehmend zur Verfügung, um digitale Simulationen zu

Bedrohungen (externe Risiken)

viele Institutionen mit knappen Budgets konfrontiert. VR/AR-Programme könnten gekürzt oder gestoppt werden, wenn sich die wirtschaftlichen Bedingungen verschlechtern oder wenn die Führung ihre Prioritäten verschiebt. Der Nachweis eines klaren ROI ist unerlässlich, um die laufende finanzielle Unterstützung zu sichern. Darüber hinaus **stellen wiederkehrende Kosten** (Software-Abonnements, Geräte-Upgrades) eine langfristige Bedrohung dar, wenn sie nicht geplant sind. *Regulatorische Unsicherheit* – Das regulatorische Umfeld für Bildungstechnologie befindet sich noch in der Entwicklung. Das Fehlen klarer Standards für den Einsatz von VR für akkreditierte Schulungen oder Bewertungen könnte die Einführung verlangsamen. Wenn beispielsweise die Zulassungsbehörden virtuelle Schulungsstunden nur langsam anerkennen oder wenn simulationsbasierte Kompetenzen nicht formell anerkannt werden, zögern die Institutionen möglicherweise, stark zu investieren. Es besteht auch die Gefahr, dass zu strenge Vorschriften (z. B. in Bezug auf Datensicherheit oder Gerätezertifizierung) die Komplexität des Einsatzes von VR-Systemen im Gesundheitswesen erhöhen könnten. *Technologische Obsoleszenz und Vendor Lock-in* – Das Tempo des Wandels im Bereich VR/AR ist hoch; die heutigen Lösungen könnten bis 2030 veraltet sein. Zentren stehen vor der Gefahr, in eine Plattform zu investieren, die von neuen Marktteilnehmern überholt oder sogar eingestellt werden könnte. **Vendor Lock-in** ist eine damit verbundene Bedrohung – wenn sich ein Simulationsprogramm auf proprietäre Inhalte eines Anbieters verlässt und dieses Unternehmen scheitert oder seine Strategie ändert, könnte das Programm gestrandet sein. Die Risikominderung erfordert eine sorgfältige Überprüfung der Anbieter und die Aufbewahrung exportierbarer Szenariodaten, wo immer dies möglich ist. *Menschliche Faktoren und Resistenz* – Einige Pädagogen und Kliniker stehen VR/AR skeptisch gegenüber und bevorzugen traditionelle

Chancen (externes Potenzial)

unterstützen. Durch die Hervorhebung der Rolle von VR bei der Verbesserung der Patientensicherheit und der Bereitschaft des Personals können Zentren Finanzmittel gewinnen. Die Zusammenarbeit mit der Industrie (VR-Startups, Medizintechnikfirmen) bietet die Möglichkeit, gemeinsam Simulatoren zu entwickeln, die auf die Bildungsbedürfnisse zugeschnitten sind, möglicherweise zu reduzierten Kosten. Da der globale Simulationsmarkt jährlich um ~14,5 % wächst, werden die Anbieter daran interessiert sein, mit akademischen Führungskräften zusammenzuarbeiten – Zentren können dies nutzen, um neue Technologien zu testen.

Bedrohungen (externe Risiken)

Methoden. Eine festgefahrene Kultur kann eine Bedrohung für die Umsetzung darstellen ("Das haben wir schon immer so gelehrt"). Ohne effektives Veränderungsmanagement, Fakultätsentwicklung und den Nachweis von Ergebnissen könnte VR zu wenig genutzt oder sogar auf Widerstand stoßen. Darüber hinaus kann ein übermäßiges Vertrauen in die Simulation unbeabsichtigt den realen Patientenkontakt verringern, wenn es nicht gut ausbalanciert wird, was möglicherweise die Kritik hervorruft, dass die Auszubildenden "spielen", anstatt mit echten Patienten zu interagieren. Die Sicherstellung, dass VR als Ergänzung und nicht als Ersatz für die klinische Erfahrung eingesetzt wird, ist der Schlüssel, um diese Wahrnehmung zu vermeiden.

Wichtigste Erkenntnis: Die SWOT-Analyse zeigt, dass VR/AR zwar bemerkenswerte Stärken (Immersion, Standardisierung, Effizienz) und aufregende Möglichkeiten (technologische Fortschritte, neue Schulungsparadigmen) mit sich bringt, es aber auch nicht triviale Schwächen und Bedrohungen (Kosten, Änderungsmanagement, Unsicherheit) gibt, mit denen sich Simulationsleiter befassen müssen. Ein strategischer Plan sollte Stärken und Chancen nutzen – z. B. durch die Verwendung positiver Evidenz und ROI-Daten zur Sicherung der Finanzierung – und gleichzeitig die Schwächen und Bedrohungen aktiv abschwächen (z. B. Budgetierung für Aktualisierungen, Schulung von Lehrkräften und Anpassung an neue Standards).

Zukunftsszenarien und Prognosen (2025–2030)

Angesichts der Trends und Faktoren, die eine Rolle spielen, sollten Simulationszentren Szenarien planen, um sich darauf vorzubereiten, wie sich die VR/AR-Nutzung bis 2030 entwickeln könnte. Im Folgenden finden Sie zwei plausible Zukunftsszenarien – ein optimistisches und ein konservatives – mit ihren Implikationen:

- **Szenario A: "XR Ubiquity" (Optimistic) – VR/AR wird bis 2030 zum Mainstream, unverzichtbaren Werkzeugen** in der medizinischen Ausbildung. In diesem Szenario sind die technologischen Barrieren weitgehend überwunden: Erschwingliche Headsets sind weit verbreitet, AR-Brillen sind so verbreitet wie Tablets, und Inhaltsbibliotheken decken die meisten Fachgebiete und Kompetenzen ab. Nahezu jedes medizinische und pflegerische Programm in DACH und Großbritannien beinhaltet VR oder AR als obligatorisches Element der Ausbildung. Zu den Zulassungsprüfungen für Ärzte kann beispielsweise eine VR-simulierte Patientenbegegnung gehören, um die klinische Entscheidungsfindung objektiv zu bewerten. Klinische Abteilungen nutzen VR routinemäßig für Teamproben (chirurgische Trockenübungen, Notfallübungen), und Weiterbildungsmodule in VR sind für die berufliche Weiterbildung akkreditiert. Diese

Welt zeichnet sich durch eine umfassende **Vernetzung** aus – nationale oder europäische Plattformen ermöglichen den Austausch von Szenarien und Leistungsbenchmarks der Studierenden zwischen den Institutionen. Das Ergebnis ist eine hochqualifizierte Belegschaft, die unzählige Szenarien virtuell geübt hat, was das Vertrauen stärkt und die Fehlerquoten in der realen Praxis reduziert. Simulationszentren fungieren in dieser Zukunft als Knotenpunkte für Innovationen und aktualisieren die Szenarien ständig, um die neuesten klinischen Richtlinien und Technologien widerzuspiegeln. *Implikationen:* Die Zentren sollten sich darauf vorbereiten, indem sie in eine skalierbare Infrastruktur (Cloud-basierte Plattformen, robuste Wi-Fi/5G-Netzwerke, flexible VR-Labore) investieren und die Fakultät darin schulen, neue virtuelle Inhalte zu erstellen und zu integrieren. Der Schwerpunkt liegt auf Pädagogik und Lehrplanintegration – VR/AR muss in Lernziele und Bewertungsstrategien eingebunden werden. In diesem Szenario ernten diejenigen, die frühzeitig investieren, große Früchte in Bezug auf Bildungsergebnisse und den Ruf der Institution als Innovationsführer.

- **Szenario B: "Selektive Adoption" (konservativ) – VR/AR siehe schrittweise, begrenzte Adoption**, die auch im Jahr 2030 eher ergänzend als zentral bleibt. Hier geht es aufgrund von Budgetbeschränkungen, anhaltender Skepsis oder ungleichmäßigen Belegen für die Wirksamkeit in bestimmten Bereichen langsamer voran. Simulationszentren nutzen VR für bestimmte Nischen – z. B. schwer zu simulierende Fälle oder als *optionales* Übungswerkzeug – aber die traditionelle Simulation (Übungspuppen, persönliche Workshops) dominiert immer noch den Lehrplan. Die AR-Nutzung ist nach wie vor minimal, möglicherweise auf einige wenige technisch fortschrittliche Abteilungen beschränkt (z. B. die Verwendung von HoloLens für Anatomie-Demos). Faktoren wie hohe Gerätekosten, unzureichender IT-Support oder mangelnde Unterstützung der Fakultät halten viele Programme davon ab, VR über die Pilotphasen hinaus zu skalieren. Bis 2030 könnten eine Handvoll Vorzeigeeinrichtungen in der DACH/UK VR vollständig nutzen, aber andere haben sich nach ersten Versuchen zurückgezogen und nennen einen schlechten ROI oder logistische Herausforderungen. *Implikationen:* In diesem Szenario ist es für Simulationszentren von entscheidender Bedeutung, die wirkungsvollsten **Anwendungen** von VR/AR zu identifizieren und sich auf diese zu konzentrieren (wenn z. B. VR nachweislich die chirurgische Ausbildung drastisch verbessert, sollten Sie es dort einsetzen, auch wenn Sie es für einfachere Schulungen überspringen). Eine sorgfältige Kosten-Nutzen-Analyse und Pilotbewertungen würden Aufschluss darüber geben, wo VR einen Mehrwert bietet und wo nicht. Die Zentren könnten über Konsortien zusammenarbeiten, um teure Ressourcen oder Inhalte gemeinsam zu nutzen, anstatt dass jedes Zentrum stark investiert. Um sich auf dieses Szenario vorzubereiten, müssen *Sie sich Flexibilität bewahren* – geben Sie traditionelle Methoden, die funktionieren, nicht auf und setzen Sie VR/AR gezielt als Ergänzung ein. Sammeln Sie auch weiterhin Beweise; Dieses Szenario könnte sich ändern, wenn neue Forschungsergebnisse oder billigere Technologien auftauchen.

In Wirklichkeit wird die Zukunft wahrscheinlich irgendwo zwischen diesen Szenarien liegen. Die strategische Planung sollte **Prognosen unter Unsicherheit beinhalten** – die regelmäßige Überprüfung des technologischen Fortschritts und der Daten zu Bildungsergebnissen, um die Strategie Ihres Zentrums anzupassen. Es kann nützlich sein, eine stufenweise Roadmap (2025, 2027, 2030 Checkpoints) mit Entscheidungszielen wie "Wenn die Preise für VR-Headsets unter

X fallen und Inhalte für die Spezialeinheit Y verfügbar sind, dann leiten Sie eine breite Einführung in dieser Abteilung ein." Die Szenarioplanung stellt sicher, dass Sie nicht von schnellen Fortschritten (z. B. wenn ein großer Durchbruch AR im Jahr 2027 viel praktikabler macht) oder von Herausforderungen (z. B. eine Finanzierungskürzung – ein Plan zur Rechtfertigung von VR durch ROI-Nachweise) überrascht werden. Indem sie sowohl die hoffnungsvolle als auch die schwierige Zukunft antizipieren, können die Leiter von Simulationsprogrammen **adaptive Strategien formulieren**, die ihre Zentren widerstandsfähig und innovativ halten.

Kosten-Nutzen- und ROI-Überlegungen

Die Investition in VR/AR-Simulationen kann erhebliche Renditen bringen, aber das Verständnis des Kosten-Nutzen-Verhältnisses ist entscheidend für die Rechtfertigung und Nachhaltigkeit. Im Folgenden skizzieren wir die wichtigsten Kostenfaktoren und Vorteile, die durch aktuelle Studien gestützt werden:

- **Kostenfaktoren:** Die Implementierung von VR/AR in einem Simulationszentrum ist mit mehreren Kostenkomponenten verbunden. Zu den Vorabinvestitionen gehören der Kauf von VR-Headsets (und AR-Geräten, falls verwendet), Peripheriegeräten (z. B. haptische Controller, Tracking-Systeme) und Computerhardware zur Durchführung von Simulationen (Hochleistungs-PCs oder eigenständige Headset-Einheiten). Hinzu kommen **Softwarekosten** – Lizenzgebühren für kommerzielle VR-Simulationsplattformen oder Kosten für die Entwicklung benutzerdefinierter Szenarien. Viele Anbieter arbeiten mit einem Abonnementmodell pro Benutzer oder pro Szenariobibliothek. Zusätzliche Kosten können die Einrichtung von Räumen (dedizierter Raum für VR mit angemessener Sicherheit und Vernetzung), Wartung/Austausch (Geräte haben eine lange Lebensdauer und müssen kalibriert oder eventuell aufgerüstet werden) und Personalschulungen (sowohl für den technischen Support als auch für die Lehrkräfte, um die neuen Systeme zu erlernen) umfassen. Auf der AR-Seite sind Geräte wie HoloLens derzeit teuer und erfordern möglicherweise die Entwicklung benutzerdefinierter Apps, was ein Hindernis darstellen kann. Es ist wichtig zu beachten, dass die Preise nach unten tendieren: Standalone-VR-Headsets sind billiger als noch vor einigen Jahren, und da der Wettbewerb zunimmt, erwarten wir bis Ende der 2020er Jahre kostengünstigere Lösungen. Simulationszentren sollten auch **die Opportunitätskosten berücksichtigen** – zum Beispiel könnten Gelder, die für VR ausgegeben werden, bedeuten, dass der Ersatz einer alternden Schaufensterpuppe aufgeschoben wird, so dass Entscheidungen einen Vergleich der Auswirkungen auf die Bildung erfordern.
- **Direkte Vorteile (Effizienz und Einsparungen):** Einmal implementiert, können VR-basierte Schulungen pro Nutzung sehr kosteneffizient sein. Herkömmliche High-Fidelity-Simulationen sind arbeits- und ressourcenintensiv (sie benötigen Dozenten, Schauspieler oder Techniker, physische Verbrauchsmaterialien, Raumplanung). VR kann **diese Betriebskosten senken**. Eine Studie des York Health Economics Consortium verglich die Kosten und stellte fest, dass VR-Simulationen nur **2 bis 15 US-Dollar pro Sitzung kosten können**, während herkömmliche Simulationen zwischen 28 und 395 US-Dollar pro Sitzung lagen. Eine weitere Analyse zeigte, dass **VR-Szenarien ~22 % weniger Zeit für den Dozenten benötigen und 40 % günstiger sind** als gleichwertige physische

Simulationen. Die Einsparungen ergeben sich aus dem geringeren Personalbedarf (ein Dozent kann viele VR-Lernende asynchron statt eins zu eins betreuen), dem Verzicht auf physische Verbrauchsmaterialien (IV-Kits usw.) und einer flexibleren Planung (Reduzierung von Überstunden oder Ausfallzeiten im Labor). So sparte beispielsweise das Krankenpflegeprogramm der University of Lincoln *200 Dozentenstunden* ein, indem es einen Teil des Simulationslehrplans auf VR umstellte. Im Laufe der Jahre führen diese Effizienzgewinne zu erheblichen Kosteneinsparungen oder der Möglichkeit, mehr Schüler mit den gleichen Ressourcen auszubilden. Darüber hinaus kann VR **den Reise- und Platzbedarf minimieren**: Fernlernende können üben, ohne zu einem zentralen Simulationszentrum zu reisen, und bestehende Klassenzimmer können als VR-Labore genutzt werden, ohne dass für jedes Szenario vollständige klinische Mock-Suiten erforderlich sind. Aus Sicht des ROI sind die finanziellen Vorteile konkret, wenn ein VR-System es einem Programm ermöglicht, die Zahl der Schüler zu erhöhen oder die Einstellung zusätzlicher Pädagogen zu vermeiden.

- **Vorteile für die Ausbildung und die Patientenversorgung:** Neben direkten Kosteneinsparungen gibt es auch "nachgelagerte" Erträge aus verbesserter Schulung. Besser ausgebildete Ärzte können zu **besseren Patientenergebnissen und -sicherheit führen** und möglicherweise die mit medizinischen Fehlern verbundenen Kosten senken. Auch wenn es schwer zu quantifizieren ist, sollte man bedenken, dass ein immersives Training, das einen schwerwiegenden Fehler verhindert oder die Früherkennung eines kritischen Zustands in der Praxis verbessert, Leben retten und erhebliche Kosten im Gesundheitswesen verursachen könnte. Studien haben gezeigt, dass VR-Training **im Vergleich zu herkömmlichen Methoden zu einem gleichen oder besseren Kompetenzerwerb** führen kann – zum Beispiel haben Assistenzärzte, die in VR geschult wurden, ein höheres Selbstvertrauen und eine höhere Kompetenz in Notfällen gezeigt als diejenigen, die nur Vorlesungen hielten. Dies führt dazu, dass die Klinik schneller einsatzbereit ist, was möglicherweise den Bedarf an Nachschulungen oder erweiterter Supervision reduziert. Es gibt auch den Vorteil **der standardisierten Kompetenz**: Wenn jeder Auszubildende einen Herzstillstand in VR erfolgreich bewältigt hat, können Krankenhäuser mehr Vertrauen in die Grundkenntnisse haben, was möglicherweise die Einarbeitungsmaßnahmen nach der Einstellung von Absolventen reduziert. Einige zukunftsgerichtete Analysen versuchen, den ROI unter Berücksichtigung solcher Faktoren zu berechnen, und Berichte finden oft sehr hohe ROI-Prozentsätze für VR-Schulungen (eine vom Anbieter zitierte Analyse behauptete einen ROI zwischen 120 % und 3000 %, je nach Szenarioskala – diese Zahlen sollten zwar kritisch bewertet werden, veranschaulichen aber den wahrgenommenen Wert).
- **Immaterielle Vorteile:** Der ROI ist nicht rein monetär. Die Einführung von VR/AR kann den Ruf einer Institution als Innovationsführer verbessern und Studenten, Dozenten und Stipendien anziehen. Es kann auch die Zufriedenheit der Lernenden verbessern – die heutigen Generationen von Schülern, die Digital Natives sind, schätzen oft Schulen, die moderne Technologie einsetzen. Eine hohe Zufriedenheit kann sich in Programmevaluationen und Akkreditierungsreviews widerspiegeln. Darüber hinaus kann eine robuste Simulation (einschließlich VR) Schulen dabei helfen, die kompetenzbasierten Bildungsanforderungen zu erfüllen und die Ausbildungszeit für einige Fähigkeiten möglicherweise zu verkürzen (wenn die Schüler die Fähigkeiten durch

zusätzliche VR-Übungen schneller beherrschen, könnten klinische Rotationen optimiert werden). All diese Faktoren tragen zu einer breiteren Rendite der Bildungsinvestition bei.

- **Berechnung des ROI:** Wenn Sie VR/AR-Projekte Stakeholdern vorstellen, ist es nützlich, eine grundlegende ROI-Berechnung zu präsentieren. Der ROI kann ausgedrückt werden als **(Gewinn aus der Investition – Investitionskosten) / Investitionskosten**. Für VR in der Simulation sollte der "Gewinn" Kosteneinsparungen (z. B. geringerer Bedarf an zusätzlichen Dozenten, weniger Verbrauchsmaterialien), den Wert einer erhöhten Schulungskapazität (z. B. die Möglichkeit, X mehr Studenten aufzunehmen oder die Absage von Simulationen aufgrund fehlender Lehrkräfte zu vermeiden) und verbesserte Ergebnisse (auch qualitativ) umfassen. Wenn beispielsweise eine VR-Plattform 100.000 US-Dollar über 3 Jahre kostet, aber es einem Programm ermöglicht, 50 weitere Studenten auszubilden, die jeweils Studiengebühren oder Finanzmittel einbringen, und 500 Stunden an Fakultätszeit einspart (die für andere umsatzgenerierende Aktivitäten umgeschichtet werden kann), überwiegen die Gewinne leicht die Kosten. Einige konkrete Zahlen aus der Literatur: Eine Studie kam zu dem Schluss, dass VR **deutlich kostengünstiger ist und gleichzeitig ähnliche Leistungsergebnisse wie** physische Simulationen erzielt, und eine andere ergab, dass die Implementierung von VR für bestimmte Übungen etwa 34 % der Kosten einspart und gleichzeitig Zeit für die Fakultät spart. Zentren sollten Metriken nach der VR-Implementierung verfolgen (z. B. Fakultätsstunden pro Simulation, Anzahl der durchgeführten Simulationen, Ergebnisse der Kompetenzbewertung usw.), um den ROI im Laufe der Zeit empirisch zu demonstrieren. Diese Daten werden dazu beitragen, laufende oder erweiterte Investitionen zu rechtfertigen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass eine sorgfältige Finanzplanung rund um VR/AR unerlässlich ist. **Die Anschaffungskosten** können hoch sein, aber die **langfristigen Vorteile und Einsparungen** rechtfertigen oft die Investition, insbesondere in großem Maßstab. Ein stufenweiser Ansatz könnte klug sein: Beginnen Sie mit einem Pilotprojekt in einem Gebiet mit hoher Auswirkung (um die Anschaffungskosten zu minimieren) und sammeln Sie Daten über dessen Kosteneffizienz, um dann diese Daten zu nutzen, um für eine Expansion zu werben. Angesichts der sich häufenden positiven Evidenz – zum Beispiel senkt VR-Training nicht nur die Kosten, sondern verbessert auch *die Lernergebnisse und die Zufriedenheit* – sind die Aussichten für den ROI in VR/AR für Simulationen günstig. Indem sie sich sowohl auf den wirtschaftlichen als auch auf den pädagogischen Nutzen konzentrieren, können Simulationszentren eine starke Unterstützung für diese Innovationen bei Administratoren und Geldgebern aufbauen.

Regulierungs- und Akkreditierungsstandards (EU & UK)

Bei der Integration von VR/AR in die medizinische Ausbildung müssen Simulationszentren sich in der Regulierungs- und Akkreditierungslandschaft zurechtfinden, um die Einhaltung und Anerkennung ihrer Programme sicherzustellen. Im Folgenden finden Sie einen Überblick über relevante Normen und Überlegungen in der Europäischen Union und im Vereinigten Königreich:

- **EU-Regulatorisches Umfeld:** In der EU ist eine wichtige Frage, ob VR/AR-Schulungstools im Rahmen von Verordnungen wie der EU-Medizinprodukteverordnung (MDR) als "Medizinprodukte" gelten. Da diese Instrumente für die Aufklärung und nicht

für die Behandlung oder Diagnose von Patienten verwendet werden, werden sie im Allgemeinen **nicht als Medizinprodukte** im engeren Sinne eingestuft. Das bedeutet, dass VR-Simulationssoftware/-hardware keine CE-Kennzeichnung als Medizinprodukt benötigt, was die Bereitstellung vereinfacht. Sie müssen jedoch weiterhin die allgemeinen Produktsicherheitsrichtlinien (für elektronische Geräte) und alle relevanten Normen für die IT im Bildungswesen einhalten. Eine wichtige Regelung ist der **Datenschutz**: VR-Simulationen zeichnen häufig Leistungsdaten der Nutzer auf oder verwenden sogar Video/Sprache während der Szenarien. Zentren in der DACH-Region und in der gesamten EU müssen die Einhaltung der Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) beim Umgang mit personenbezogenen Daten von Auszubildenden sicherstellen. Dazu gehört die Einholung der Einwilligung zur Datennutzung, die Anonymisierung von Leistungsdaten, wenn sie in der Forschung verwendet werden, und die Sicherstellung, dass Cloud-Plattformen Daten auf konformen Servern speichern. Darüber hinaus hat die EU umfassende Initiativen zur Förderung der Qualität des digitalen Lernens ergriffen – so fördert beispielsweise der **EU-Aktionsplan für digitale Bildung (2021–2027)** die Einführung hochwertiger digitaler Tools und umfasst die Finanzierung innovativer Bildungstechnologien. Solche Rahmenwerke sind zwar nicht rechtsverbindlich, signalisieren aber politische Unterstützung für VR/AR im Lernen. Akademische Einrichtungen in Europa koordinieren sich auch über Netzwerke (wie die European University Association), um Best Practices im Bereich der digitalen Bildung auszutauschen, die zunehmend auch Simulationen umfasst. Da es sich um Hardware handeln kann, die von den Benutzern getragen wird, ist es notwendig, sicherzustellen, dass die Geräte die EU-Gesundheits- und Sicherheitsstandards (z. B. geringe Strahlung, sichere Materialien) erfüllen – in der Regel übernehmen die Anbieter dies, aber die Zentren sollten sicherstellen, dass ihre Einkäufe für die allgemeine Nutzung von Unterhaltungselektronik CE-zertifiziert sind.

- **Regulatorisches Umfeld in Großbritannien:** Das Vereinigte Königreich hat nach dem Brexit seine eigenen regulatorischen Überlegungen, orientiert sich aber weiterhin eng an hohen Standards. Die Regulierungsbehörde für Arzneimittel und Gesundheitsprodukte (MHRA) würde ein VR/AR-Tool nur dann als Medizinprodukt betrachten, wenn es einen klinischen Zweck hat (auch hier ist dies bei den meisten Bildungstools nicht der Fall). Das britische Datenschutzgesetz (und die britische DSGVO) schreibt in ähnlicher Weise den Schutz von Lerndaten vor, sodass Simulationszentren die digitalen Sicherheitsrichtlinien des NHS befolgen müssen, insbesondere wenn sie Cloud-basierte Systeme verwenden (z. B. sicherstellen, dass jede Plattform, die Daten verarbeitet, das NHS Data Security and Protection Toolkit oder ein Äquivalent erfüllt). Der **NHS und Health Education England (HEE)** haben proaktiv Leitlinien für die Simulation herausgegeben. Das Technology Enhanced Learning-Team der HEE hat einen **strategischen Rahmen für immersive Technologien** entwickelt, der Best Practices für die Beschaffung, Zugänglichkeit und Bewertung von VR/AR in der Ausbildung im Gesundheitswesen umfasst. Diese Richtlinien sind zwar keine "Regulierung" im rechtlichen Sinne, legen aber erwartete Standards fest (z. B. die Empfehlung von Benutzertests, die Anpassung an klinische Standards und die Sicherstellung, dass Produkte evidenzbasiert sind). Britische medizinische und pflegerische Schulen schauen auch auf ihre professionellen Akkreditierungsgremien: So haben beispielsweise der General Medical Council (GMC) und der Nursing and Midwifery Council (NMC)

Standards für Lehrpläne. Bisher waren diese Gremien offen für Simulationen – das GMC erlaubt ausdrücklich, dass ein Teil der klinischen Ausbildung in der Simulation durchgeführt wird –, aber sie erwarten, dass die Simulation (einschließlich VR) überwacht wird und von hoher Qualität ist. Die Sicherstellung, dass VR-Szenarien auf die Lernergebnisse abgestimmt sind und von qualifizierten Pädagogen beaufsichtigt werden, erfüllt diese Akkreditierungsanforderungen.

- **Akkreditierung von Simulationsprogrammen:** Sowohl in Europa als auch in Großbritannien ist die formelle Akkreditierung von Simulationszentren und -programmen ein Qualitätsmerkmal. Die Society for Simulation in Healthcare (SSH, mit Sitz in den USA) verfügt über internationale Akkreditierungsstandards, und Europa hat **die SESAM-Akkreditierung**. Das Akkreditierungsprogramm SESAM (Society in Europe for Simulation Applied to Medicine) bewertet Institutionen nach mehreren Kriterien, wie z. B. Bildungsdesign, Ethik, Mitarbeiterschulung und Evaluierungsmethoden. Die Integration von VR/AR in ein Simulationsprogramm sollte so erfolgen, dass diese Qualitätsmaßstäbe erfüllt werden. SESAM und SSH erwarten beispielsweise, dass jede Simulationsmodalität (Puppe, standardisierter Patient oder VR) mit einem soliden pädagogischen Rahmen verwendet wird (einschließlich Pre-Briefing und Debriefing, die in VR-Szenarien immer noch benötigt werden). Sie betonen auch den Nachweis einer kontinuierlichen Verbesserung – Zentren sollten Daten über die Wirksamkeit von VR-Schulungen sammeln und diese zur Programmverfeinerung verwenden. In Großbritannien gibt es noch keine einzige nationale Akkreditierung für Simulationszentren, aber viele Zentren streben eine SSH- oder SESAM-Akkreditierung an oder halten sich an die von der **Association for Simulated Practice in Healthcare (ASPiH) festgelegten Standards**. ASPiH hat einen simulationsbasierten Bildungsrahmen und einen Ethikkodex veröffentlicht, die den Einsatz von Technologie in angemessener Weise abdecken. Wenn Sie diese Richtlinien befolgen, sollte ein Zentrum sicherstellen, dass VR-Szenarien inklusiv sind (z. B. die Zugänglichkeit für behinderte Lernende berücksichtigen) und dass die psychologische Sicherheit der Lernenden gewahrt bleibt (einige VR-Szenarien können intensiv sein; Moderatoren müssen die Schüler genau wie in Live-Simulationen überwachen und unterstützen).
- **Standards für E-Learning und digitale Inhalte:** Da es sich bei VR/AR-Schulungsmaterialien im Wesentlichen um digitale Lerninhalte handelt, gelten allgemeine E-Learning-Qualitätsstandards. In Europa gibt es immer mehr Tendenzen, digitale Lernmodule zu zertifizieren oder zu validieren. Zum Beispiel kann das **European Credit Transfer System (ECTS)** auf simulationsbasierte Kurse angewendet werden – das heißt, wenn ein Student ein VR-Trainingsmodul absolviert, kann ihm ECTS-Punkte zugewiesen werden, wenn es die Kriterien der Universität erfüllt. Einige VR-Module (insbesondere für die Weiterbildung) werden von Berufsverbänden für Continuing Professional Development Credits akkreditiert (wie beim Royal College of Surgeons bei der Akkreditierung eines VR-Kurses zu sehen ist). Strategisch gesehen sollten Simulationszentren solche Akkreditierungen für ihre VR-Programme anstreben, da sie die Schulungsstunden formell anerkennen. Dazu muss möglicherweise eine Dokumentation über die Richtigkeit des Inhalts, das Unterrichtsdesign und die Bewertungsmethode bereitgestellt werden. Zentren könnten auch Standards wie **SCORM- oder xAPI-Konformität** für VR-Inhalte in Betracht ziehen, um sicherzustellen, dass die VR-Trainingsdaten in Learning Management Systeme (LMS)

integriert werden können und dass der Fortschritt der Lernenden nachverfolgbar und berichtspflichtig ist – dies ist besonders relevant, wenn VR-Module Teil des formalen Lehrplans oder der Abschlüsse sind.

- **Rechtliche Haftung und Sicherheit:** Ein weiterer regulatorischer Aspekt ist die Sicherstellung, dass der Einsatz von VR/AR keine Haftung mit sich bringt. Wenn ein Student mit einem VR-Gerät verletzt wird (z. B. bei Fahrten mit einem Headset), sollte die Institution über Sicherheitsprotokolle und eine Versicherung verfügen. In den meisten Zentren unterschreiben die Lernenden Verzichtserklärungen oder bieten Orientierung für eine sichere VR-Nutzung (Räumen des Spielbereichs usw.). Darüber hinaus sollten die Zentren einen gleichberechtigten Zugang sicherstellen – wenn ein Schüler VR nicht nutzen kann (z. B. aufgrund einer Behinderung oder schwerer Reisekrankheit), sollte im Rahmen der Gleichstellungsregelungen eine gleichwertige alternative Lernmethode angeboten werden, damit er nicht benachteiligt wird. Diese Überlegungen stehen im Einklang mit den Erwartungen an die Akkreditierung in Bezug auf Inklusivität und Sicherheit.

Fazit: Sowohl von den EU- als auch von den britischen Behörden gibt es eine starke Unterstützung für Innovationen mit digitalen Tools in der medizinischen Ausbildung, aber es wird erwartet, dass Qualitäts- und Sicherheitsstandards eingehalten werden.

Simulationszentren sollten ihre VR/AR-Initiativen proaktiv an diesen Standards ausrichten:

Akkreditierungsrahmen (wie die SESAM-Prinzipien) einführen, nationale Richtlinien befolgen, ihre Prozesse dokumentieren und durch den Austausch von Ergebnissen zur Gestaltung neuer Standards beitragen. Auf diese Weise stellen sie nicht nur die Einhaltung von Vorschriften sicher, sondern tragen auch dazu bei, dass VR/AR eine breitere Akzeptanz als glaubwürdiger, integraler Bestandteil der medizinischen Ausbildung erlangt.

Schlussfolgerung und Empfehlungen

Der Zeitraum von 2025 bis 2030 wird die medizinische Simulation verändern. VR- und AR-Technologien, die einst experimentell waren, reifen zu leistungsstarken Bildungsinstrumenten heran, die traditionelle Schulungen ergänzen und verbessern können. Für akademische medizinische Simulationszentren – insbesondere in technologiegetriebenen Regionen wie der DACH-Region und Großbritannien – ist der Auftrag klar: **Bereiten Sie sich auf eine XR-gestützte Zukunft vor.** Die Innovationen, die wir jetzt sehen (KI-gesteuerte Puppen, immersive virtuelle Patienten, haptische chirurgische Trainer, AR-Overlays) sind Bausteine für ein sichereres und intelligenteres Personal im Gesundheitswesen. Um daraus Kapital zu schlagen, bedarf es strategischer Maßnahmen.

Basierend auf den oben genannten Trends und Analysen finden Sie hier die wichtigsten Empfehlungen für Leiter von Simulationszentren und strategische Planer:

- **Integrieren Sie VR/AR in strategische Pläne:** Machen Sie immersive Technologie zu einer Säule Ihrer 5-Jahres-Simulationsstrategie. Identifizieren Sie spezifische Ziele (z. B. "bis 2027 werden 50 % der Simulationsszenarien eine VR-Option haben") und weisen Sie Budget und Personal entsprechend zu. Behandeln Sie VR/AR nicht als Gadgets,

sondern als **Bildungsmodalität**, die mit Schaufensterpuppen und standardisierten Patienten vergleichbar ist und dort eingesetzt werden kann, wo sie einen Mehrwert bietet.

- **Investieren Sie in die Schulung der Fakultät und in das Veränderungsmanagement:** Der Erfolg der VR/AR-Implementierung hängt von den Menschen ab. Entwickeln Sie ein Fakultätsentwicklungsprogramm, damit sich die Dozenten mit der VR-Moderation und -Nachbesprechung vertraut machen. Ermutigen Sie Early Adopters, andere als Mentoren zu betreuen. Beziehen Sie die Fakultät in die Auswahl der Inhalte und die Gestaltung von Szenarien ein, um die Akzeptanz zu steigern. Begegnen Sie Skepsis mit Beweisen – teilen Sie Erfolgsgeschichten und Daten (z. B. verbesserte Schülerergebnisse oder Effizienzsteigerungen), um die Vorteile zu veranschaulichen. Durch die Kultivierung interner Champions und die Bereitstellung von Support mindern Sie die Bedrohung durch "menschlichen Widerstand" und stellen sicher, dass die Technologie in vollem Umfang genutzt wird.
- **Klein anfangen, Erfolge demonstrieren, skalieren:** Pilotieren Sie VR zuerst in einem Zielbereich (z. B. ein VR-Wiederbelebungsszenario für Neugeborene in einer Pädiatrie-Rotation oder ein VR-Trainer für laparoskopische Fähigkeiten in der Famulatur). Überwachen Sie die Ergebnisse (Verbesserung der Fähigkeiten, Benutzerfeedback, Kosteneinsparungen). Nutzen Sie diese Ergebnisse, um den Ansatz zu verfeinern und für eine breitere Übernahme in der institutionellen Führung zu plädieren. Erfolgreiche Pilotprojekte können zusätzliche Finanzmittel freisetzen. Die Skalierung sollte iterativ sein – fügen Sie jedes Jahr weitere Szenarien oder Abteilungen hinzu, die auf den gewonnenen Erkenntnissen basieren. Kombinieren Sie die Technologieeinführung immer mit der Bewertung.
- **Nutzen Sie Kollaborationsnetzwerke:** Kein Zentrum muss dies alleine tun. Tauschen Sie sich mit Simulationsnetzwerken und -gesellschaften (SESAM, ASPIH, SSH) aus, um Wissen über Best Practices für VR/AR auszutauschen. Erwägen Sie, Konsortien mit anderen Universitäten zu bilden, um VR-Inhalte gemeinsam zu entwickeln oder zu teilen – besonders nützlich in DACH, wo sprachspezifische Inhalte benötigt werden können (z. B. könnte ein Konsortium deutscher medizinischer Fakultäten die Entwicklung eines VR-Notfallfalls auf Deutsch mitfinanzieren). In Großbritannien können Sie die NHS Immersive Technologies Community of Practice nutzen. In Europa EU-Zuschüsse für die Zusammenarbeit im Bereich der digitalen Bildung beantragen. Solche Partnerschaften senken nicht nur die individuellen Kosten, sondern fördern auch die Standardisierung (gemeinsame Szenarien, Bewertungsmetriken) zwischen den Institutionen.
- **Konzentrieren Sie sich auf Qualität und Akkreditierung:** Achten Sie bei Ihrer Innovation darauf, dass Ihre Programme an den Akkreditierungsstandards und Best Practices für den Bildungsbereich ausgerichtet sind. Entwickeln Sie klare **Lernziele** für jedes VR-Szenario und stellen Sie sicher, dass sie Ihrem Lehrplan entsprechen. Behalten Sie den Simulations-"Wrapper" bei – strenge Vor- und Nachbesprechungen rund um VR-Sitzungen –, um den Lernerfolg zu maximieren. Dokumentieren Sie Richtlinien für die VR-Nutzung, einschließlich Sicherheit und Inklusion. Streben Sie eine Akkreditierung (SESAM/SSH) an, um eine externe Bestätigung zu erhalten, dass Ihre Integration von VR den globalen Qualitätsstandards entspricht. Dies wird den institutionellen Führungskräften und Lernenden die Gewissheit geben, dass VR-Schulungen auf dem gleichen Niveau wie andere Methoden durchgeführt werden. Tragen Sie außerdem zur Gestaltung von Standards bei: Veröffentlichen Sie Ihre Ergebnisse in

Simulationszeitschriften (z. B. Advances in Simulation, BMJ STEL), damit das breite Feld von Ihren Erfahrungen lernt und sich gemeinsam für Richtlinien einsetzt, die VR/AR einbeziehen.

- **Überwachen Sie aufstrebende Technologien und passen Sie sich an sie an:** Der XR-Bereich entwickelt sich rasant weiter; etwas Besseres ist immer am Horizont. Gestalten Sie Ihre Strategie flexibel. Seien Sie zum Beispiel bereit, **neue AR-Geräte oder -Software zu testen**, wenn sie sich als effektiv erweisen (vielleicht mit einem kleinen Jahresbudget für neue Technologietests). Behalten Sie den Bereich der Verbrauchertechnologie im Auge – Verbesserungen dort (wie z. B. bessere Gaming-VR-Hardware) führen oft zu erschwinglichen Optionen für den Bildungsbereich. Achten Sie auch auf Entwicklungen in verwandten Technologien wie KI-Nachhilfesystemen, die sich in VR integrieren lassen, um intelligentes Mentoring zu ermöglichen. Wenn Sie anpassungsfähig bleiben, kann Ihr Zentrum ein früher Anwender von Durchbrüchen sein, die die Simulation weiter verbessern (was Ihnen einen Wettbewerbsvorteil bei den Trainingsergebnissen verschafft).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass VR und AR kein vorübergehender Trend sind, sondern ein Evolutionsschritt in der medizinischen Simulation. Sie bieten die Möglichkeit, "jedes Szenario, überall" mit Realismus und reichhaltigem Feedback zu üben – ein Konzept, das noch vor einem Jahrzehnt erstrebenswert schien. Die Nutzung dieser Werkzeuge als Teil eines ausgewogenen Simulationsprogramms wird medizinische Fakultäten und Lehrkrankenhäuser in die Lage versetzen, Kliniker hervorzubringen, die **besser ausgebildet, selbstbewusster und kompetenter sind**. Der letztendliche Gewinn wird sich in der Leistung dieser Ärzte und in der verbesserten Qualität der Patientenversorgung zeigen. Wie der Future Trends Report der Group treffend zusammenfasst, führt die Konvergenz von VR/AR, KI und fortschrittlichen Simulationstechnologien **zu einem neuen Standard in der Ausbildung im Gesundheitswesen** – einem, bei dem immersives Lernen alltäglich ist und sich kontinuierlich verbessert.

Akademische Zentren in der DACH-Region, in Großbritannien und darüber hinaus sollten diesen Moment nutzen, um innovativ zu sein und sicherzustellen, dass sie bei der Ausbildung des Gesundheitspersonals von morgen führend bleiben. Indem sie die in diesem Leitfaden beschriebenen strategischen Erkenntnisse und Planungsschritte befolgen, können Simulationsprogramme die Herausforderungen meistern und das transformative Potenzial von Virtual und Augmented Reality in der medizinischen Ausbildung voll ausschöpfen.