

Virtuelle Realität (engl. Virtual Reality, VR)

Definition

Als Virtuelle Realität (engl. Virtual Reality, VR) wird eine in Echtzeit computergenerierte, interaktive virtuelle Umgebung zur Darstellung und gleichzeitigen Wahrnehmung einer künstlichen Wirklichkeit und ihrer Eigenschaften bezeichnet.

(Jerald 2015, S. 30)



Anwendungsfall

Anwendungsbereich

- Immersive ortsunabhängige interaktive Visualisierung von Objekten und Umgebungen
- Intuitive visuelle ortsunabhängige 3D-Inspektion von Objekten und Umgebungen
- Virtuelle Durchführung kostspieliger oder gefährlicher Inspektionsszenarien zu Übung- oder Ausbildungszwecken
- Virtuelle Besprechungen am digitalen Objekt



Rahmenbedingungen

- Hardware: Spezialisierte VR-Hardware wie VR-Brille (engl. Head-Mounted Display (HMD)) oder eine Cave Automatic Virtual Environment (CAVE) ist notwendig
- VR-Brille: Es werden VR-Komponenten wie eine VR-Brille und VR-Controller und ggf. ein Personal Computer (PC) benötigt, abhängig von der Art der VR-Brille. Autarke VR-Brillen können ohne PC betrieben werden und beinhalten neben der Optik bereits Recheneinheiten, Datenspeicher und andere essenzielle Hardware oder stellen nur die Optik zur Verfügung und erfordern ein eingesetztes Smartphone. Autarke Systeme sind bezüglich des Anwendungsortes flexibel, jedoch weniger performant als rechnergebundene VR-Brillen. Mit leistungsfähiger PC-Hardware ermöglichen PC-gebundene VR-Brillen häufig höher aufgelöster und flüssigere Visualisierungen der virtuellen Umgebung und steigern so die Erkennbarkeit von Details und die Immersion.
- VR-CAVE: Es wird ein dedizierter Raum mit rundum angeordneten speziell beschichteten Leinwänden, mehreren hochauflösenden Projektoren und einem leistungsfähigen Sound- sowie Tracking-system benötigt. Die Anzahl der Komponenten skaliert mit der Größe des Raumes. Zum Betrieb des Systems sind spezialisierte Software und leistungsstarke Rechencluster eine Voraussetzung.
- Daten: Für die virtuelle Visualisierung und Inspektion realer Objekte oder Szenen müssen diese zuvor erfasst, ggf. dreidimensional modelliert und dem VR-System zur Verfügung gestellt werden. Die Detailierung der VR-Umgebung hängt maßgeblich von der Qualität der erfassten Daten ab.
- Bewegungsraum: Für Fortbewegungen und Interaktionen in der VR-Umgebung sind entsprechende freie Bewegungsräume /-flächen in der Realität notwendig
(Sherman & Craig 2018 S. 116ff. / LaValle 2016 S. 39ff. / Cruz-Neira et al. 1992)



Technischer Hintergrund

Erläuterung der Funktionsweise

Ein Ziel von VR ist einen hohen Grad an Immersion zu erzeugen, d.h. Nutzer/innen möglichst gut in die virtuelle Umgebung einzubetten, so dass die künstliche Wirklichkeit als real empfunden wird. Einige Anforderungen dazu sind zum Beispiel, dass die virtuelle Welt plausibel erscheint und interaktiv ist, d.h. dass Aktionen Einfluss auf die Welt haben. Für eine hohe Immersion werden in der Regel VR-Brillen oder eine VR-CAVE eingesetzt.

- VR-Brille: Üblicherweise wird mit zwei hochauflösenden Bildschirmen (Stereo) eine 3D-Wahrnehmung geschaffen, indem die Bildschirme in bestimmten Abständen vor den Augen und zueinander platziert sind. Auf den Bildschirmen werden in Echtzeit und in Abhängigkeit von der Translation und Rotation (*Pose*) der VR-Brille Bilder der virtuellen Welt ausgegeben. Die *Pose* wird mit Hilfe von *Pose-Trackingsystemen*, die beispielsweise in der realen Umgebung installiert werden oder in der VR-Brille integriert sind, bestimmt. Interaktionen mit der virtuellen Welt werden durch Eingabegeräte in der physischen Realität -oft handgetragene Controller- umgesetzt. Mit den Controllern können abhängig von den implementierten Funktionalitäten Objekte bewegt, Teleportationen durchgeführt oder virtuelle Werkzeuge, wie Messwerkzeuge, bedient werden.
- VR-CAVE: Eine Cave Automatic Virtual Environment (CAVE) ist ein dedizierter mit rundum angeordneten speziell beschichteten Leinwänden, mehreren hochauflösenden Projektoren und einem leistungsfähigen Sound- sowie Trackingsystem ausgestatteter Raum. Die Projektoren visualisieren abhängig von Interaktionen die virtuelle Umgebung auf den Flächen des Raumes. Bewegungen werden von einem im Raum installierten *Pose-Trackingsystem* erfasst. Das Akustiksystem ergänzt das Visuelle durch Musik, Klänge und Töne. Interaktionen mit der virtuellen Welt werden durch Eingabegeräte in der physischen Realität - oft handgetragene Controller - umgesetzt
- VR-Brille/VR-CAVE: Beide VR-Systeme können als immersiv angesehen werden. Die Wahl des Systems ist abhängig vom Anwendungsfall. Während VR-Brillen vergleichsweise kostengünstig und zugänglich sind, benötigt das CAVE-System spezialisierte Hardware und ist daher kostspielig. Vorteilhaft bei der VR-CAVE sind die Kollaborationsmöglichkeiten mit anderen Nutzern/innen. Je nach Aufbau der Systeme ist der Raumbedarf in etwa ausgeglichen.

(Slater 2009 / Sherman & Craig 2018 S. 7ff. / LaValle 2016 S. 249ff. / Cruz-Neira et al. 1992)

Mehrwert

Erreichbarkeit / Arbeitssicherheit

- Immersive interaktive Visualisierung und Inspektionen der realen Gegebenheiten, ohne physische Präsenz, erleichtern die Einhaltung von Vorschriften zur Arbeitssicherheit
- Virtuelle Durchführung kostspieliger oder gefährlicher Inspektionsszenarien zu Übung- oder Ausbildungszwecken



Zeitersparnis Inspektion



- Die Zeitersparnis liegt vor allem in der ortsunabhängigen digitalen Arbeitsweise. Nach der initialen Erfassung der realen Objekte oder Umgebung, können Inspektionen virtuell in beliebiger Anzahl und Dauer, unabhängig von der physischen Realität, durchgeführt werden.
- Der zeitliche Aufwand für An- und Abfahrtswege entfällt
- Effiziente Fortbewegungsmethoden wie Teleportation verkürzen die Begehungszeit am Objekt
- (Semi-)Automatische Methoden zur Unterstützung der Inspektion und digitale Dokumentation verkürzen die Inspektions- und Nachbearbeitungszeit

Kosten



- Die Kostenersparnis liegt vor allem in der ortsunabhängigen digitalen Arbeitsweise. Nach der Erfassung der realen Objekte oder Umgebung, können Inspektionen virtuell in beliebiger Anzahl und Dauer unabhängig von der Realität durchgeführt werden. Beispielsweise entfallen die Kosten für An- und Abfahrtswege
- Durch effiziente Fortbewegungsmethoden wie Teleportation und (semi-)automatische Methoden zur Unterstützung der Inspektion und digitale Dokumentation, können Inspektionen effizienter durchgeführt und Personalkosten gespart werden
- VR-Hardware
 - VR-Brille:
 - Autarke Smartphone-basierte VR-Brille: ca. 50 - 100,- EUR + Smartphone ca. 500 - 1500,-EUR (Marktrecherche 2022)
 - Autarke VR-Brille inklusive VR-Controller: ca. 500,-EUR (Marktrecherche 2022)
 - PC-gebundene VR-Brille inklusive VR-Controller und Trackingsystem: ca. 1300,-EUR + PC ca. 3.000 - 10.000,-EUR (Marktrecherche 2022)
 - VR-CAVE: ab ca. 80.000€ (Marktrecherche 2022)
 - VR-Software: ca. 2.000,- bis 20.000,- EUR (abhängig vom Leistungsumfang, Marktrecherche 2022)
 - Personalkosten für die initiale Erfassung und ggf. Modellierung der realen Objekte
 - Personalkosten für virtuelle Auswertungen

Datenqualität



- Eine hohe Qualität der Daten ist die Basis für eine hochwertige VR-Umgebung. Der Geometrie- und Farb- bzw. Texturdetailgrad definiert die visuelle Darstellung von Objekten in VR und beeinflusst die Erkennbarkeit von Details sowie den Immersionsgrad.

Voraussetzungen

Hardware



- Mit der Leistungsfähigkeit der Hardware steigt auch der Granularität und die Performanz der Visualisierung. Beispielsweise können 3D-Modelle mit mehr Details gerendert und Bewegungen oder Animationen flüssiger dargestellt werden. Einflussreiche Aspekte sind die Bildauflösung und *Bildrate*.
- Spezialisierte VR-Hardware, wie VR-Brille inklusive VR-Controller und ggf. externem VR-Trackingsystem oder VR-Raum, wie eine VR-CAVE
- Ggf. Smartphone oder leistungsstarker PC (z.B. i7-Prozessor, NVIDIA GeForce RTX 3080 TI, 32 Gigabyte Arbeitsspeicher, 1.000 Gigabyte Datenspeicherplatz (Solid-State-Drive, SSD) für VR-Brille oder ein professionelles Visualisierungscluster (z.B. 24 gekoppelte leistungsstarke Rechner mit insgesamt 48 CPU, 48 GPU und ca. 4.600 Gigabyte Arbeitsspeicher (siehe z.B. aixCAVE, <https://www.itc.rwth-aachen.de/cms/IT-Center/Forschung-Projekte/Virtuelle-Realitaet/Infrastruktur/~fgqa/aixCAVE>))

Vorbereitung Untersuchungsobjekt



- Zur Darstellung und Inspektion in VR müssen visuelle Daten des realen Objekts digital vorliegen, zum Beispiel als Punktwolke oder 3D-Modell (Building Information Modeling (BIM)-Modell). Für die initiale Erfassung des realen Objektes ist die Präparierung ggf. mit (kodierten) Zielzeichen Bestandteil der Arbeiten vor Ort

Vorbereitung Datenerhebung



- Erfassung des realen Objektes vor Ort, beispielsweise mit massenpunkt-basierten Verfahren (z.B. *Laserscanning*) als 3D-Punktwolke (siehe Blankenbach et al. (2021) und Witte et al. (2020)) und ggf. Modellierung als 3D-Modell (BIM-Modell)
- Import der Daten in die VR-Umgebung

Umweltbedingungen



- Für die initiale Erfassung des Objektes ist normales Tageslicht ausreichend; ggf. muss künstliche Beleuchtung vorgehalten werden. Trockene Witterung nicht zwingend erforderlich
- Inspektionen in VR sind unabhängig von Wetter und Tageszeiten. Für Bewegungen und Interaktionen in der virtuellen Welt sind Bewegungsräume in der physischen Realität notwendig.
- Die VR-Trackingsysteme werden beispielsweise durch Reflektionen und Sonnenlicht beeinflusst, daher sollten Räume ohne reflektierende Flächen (z.B. Glas) und größeren Fenstern vermieden werden

Erforderliche Genehmigungen



- Genehmigungen sind nicht erforderlich

Umsetzung

Datenerhebung



- VR-Applikation starten und VR-Brille, VR-Controller und ggf. weitere Hardware anziehen
- Navigation durch die virtuelle Umgebung zu Inspektionsstellen
- Virtuelle Inspektion des Objekts
- Visuelle Überprüfung
- Einsatz von digitalen Werkzeugen, beispielsweise Messwerkzeug, um Ausmaß der Verformungen, Schäden, etc. zu erfassen oder digitale Fotos zu machen
- Ggf. digitale Dokumentation

Datenprozessierung



- Die erfassten Daten liegen nach der Inspektion in der VR-Umgebung bereits digital vor. Objekte werden üblicherweise in einem 1:1-Verhältnis zur Realität dargestellt. Maße können daher intuitiv beispielsweise im Metrischen Einheitssystem aufgenommen und problemlos in reale Dokumente übertragen werden

Kompatibilität mit anderen innovativen Methoden



- VR ist erfolgversprechend mit der erweiterten Realität (engl. Augmented Reality, AR) kombinierbar, um beispielsweise die Vorteile ortsunabhängiger virtueller Inspektionen und physischer Vor-Ort-Inspektionen zu vereinen. Während beispielsweise in VR-Umgebungen höher gelegene Objekte mit Hilfe von Teleportation oder einem „Flug-Modus“ erreicht oder Wände problemlos passiert werden können, erlauben AR-Umgebungen ergänzende Daten vor dem Hintergrund der Realität zu betrachten und so in VR verdeckte Details zu erfassen.

Output

Informationen



- In VR erfasste Inspektionsdaten, wie
 - Maße
 - Fotos
 - Notizen

Dateiformate



- Maße, Notizen, etc.: Textformat (ASCII)
- Fotos in Standard-Rasterdatenformaten (i.d.R. JPG)
- Konvertierbarkeit in beliebige, andere Datenformate generell möglich

Referenzen

Beispielanbieter



- Geodätisches Institut der RWTH Aachen (gia, <http://www.gia.rwth-aachen.de>)
- TEMA Technologie Marketing (<https://www.tema.de>)
- Kompetenzzentrum Saarbrücken (<https://kompetenzzentrum-saarbruecken.digital/technologieradar-vrmi>)
- VR-Dynamix (<https://vr-dynamix.com>)

Beispielanwendungen



- VR-Umgebung Neue Schleuse Trier (Geodätisches Institut RWTH Aachen 2019)
- BMWK-gefördertes Forschungsprojekt energyTWIN (Geodätisches Institut RWTH Aachen 2022)
- BMWK-gefördertes ZIM-Forschungsprojekt Bauwerksinspektor XR (Geodätisches Institut RWTH Aachen 2022)

Quellen



- Akenine-Möller, T., Haines, E., & Hoffman, N. (2019). Real-time rendering. AK Peters/crc Press.
- Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. Presence: teleoperators & virtual environments, 6(4), 355-385.
- Blankenbach, J., Schwermann, R., Becker, R. (2021). Bauwerksvermessung und BIM. In: Borrmann, A., König, M., Koch, C., Beetz, J. (eds) Building Information Modeling. VDI-Buch. Springer Vieweg, Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-33361-4_25
- Bowman, D. A., and Hodges, L. (1997). An Evaluation of Techniques for Grabbing and Manipulating Remote Objects in Immersive Virtual Environments. In ACM Symposium on Interactive 3D Graphics2 (pp. 35–38). ACM Press. 327, 332, 344, 351
- Cruz-Neira, C., Sandin, D. J., DeFanti, T. A., Kenyon, R. V., & Hart, J. C. (1992). The CAVE: audio visual experience automatic virtual environment. Communications of the ACM, 35(6), 64-73.
- Jerald, J. (2015). The VR book: Human-centered design for virtual reality. Morgan & Claypool.
- LaValle, S. (2016). Virtual reality. Cambridge University Press.
- Sherman, W. R., & Craig, A. B. (2018). Understanding virtual reality: Interface, application, and design. Morgan Kaufmann.
- Slater, M. (2009). Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 364(1535), 3549-3557.

- Witte, Bertol; Sparla, Peter; Blankenbach, Jörg (2020). Vermessungskunde für das Bauwesen mit Grundlagen des Building Information Modeling (BIM) und der Statistik.

Glossar:

Bildrate:	Die Bildrate wird beim Echtzeitrendering häufig auch als Bilder pro Sekunde (engl. Frames per Second, FPS) angegeben und definiert die Anzahl der ausgegebenen Einzelbilder in einem Zeitintervall. Für VR-Anwendungen werden mindestens 90 FPS empfohlen. (Akenine-Möller 2019, S. 1)
Erweiterte Realität:	Die erweiterte Realität (engl. Augmented Reality, AR) ist die interaktive Erweiterung der physischen Umgebung durch die Integration zusätzlicher virtueller Informationen. Es zeichnet sich durch drei Hauptmerkmale aus: (1) Es kombiniert reale und virtuelle Elemente, (2) Es vereint virtuelle und reale Objekte im dreidimensionalen Raum, (3) Es ist in Echtzeit interaktiv. (Azuma 1997)
Fortbewegung in VR:	Etablierte Fortbewegungsmethoden in VR-Umgebungen sind Flug-Modi und Teleportationen. Beide Fortbewegungsarten erfolgen durch Eingaben an einem physischen Controller. Für Flüge werden die Gravitationseigenschaften der virtuellen Welt deaktiviert, so dass frei durch die Welt navigiert werden kann. Teleportationen werden durch Auswahl von Zielpositionen, zu denen gesprungen werden kann, realisiert. (Bowman and Hodges 1997)
Laserscanning:	Beim Laserscanning werden Laserstrahlen verwendet, um Oberflächen zeilen- oder rasterartig abzutasten und diese beispielsweise in Form einer 3D-Punktwolke abzubilden. (Blankenbach et al. 2021)
Pose:	Als Pose wird die reale Position und Rotation, d.h. der Standpunkt und die Ausrichtung bezeichnet. Die Pose der VR-Brille ist die Position und Rotation in einem lokalen Koordinatensystem im realen Raum. (LaValle 2016 S. 264)
Pose-Trackingsystem:	Das Pose-Trackingsystem bestimmt die Pose der VR-Brille in Echtzeit in einem lokalen vom Trackingsystem aufgespannten Koordinatensystem und überträgt diese auf die virtuelle Kamera in der VR-Umgebung. Bewegungen im physischen Raum werden so 1:1 in den virtuellen Raum übertragen. (LaValle 2016 S. 249ff.)
Punktwolke:	Eine Punktwolke ist eine Menge an räumlich erfasster (Mess)Punkte. Einzelne Punkte können neben ihrer Koordinate ebenfalls weitere Attribute, wie Farbwerte enthalten (Blankenbach et al. (2021) und Witte et al. (2020)).
Zielzeichen:	Mit Zielzeichen (Zielmarken) werden Objekte bzw. Objektpunkte künstlich signalisiert. Üblich sind kreisförmige, kugelförmige und linienhafte Zielzeichen, optional mit retro-reflektierenden Eigenschaften. Künstliche Zielzeichen sind häufig mit einem eindeutigen Muster für die Kodierung der Punktnummer ausgestattet, was die automatische Punktidentifizierung ermöglicht. (Witte et al. 2020)