

Satellitenbild-basierte Geovisualisierung mittels immersiver VR

FLORIAN HRUBY^{1,2} & RAINER RESSL²

Zusammenfassung: Besieht man sich rezente Fachliteratur aus dem Bereich der Geoinformationswissenschaften, so ist ein wachsendes Interesse an Datenvisualisierungen mittels Technologien immersiver virtueller Realität (VR) unverkennbar. Diesem Interesse stehen jedoch limitierte VR-Fähigkeiten von Geoinformations- und Fernerkundungssoftware gegenüber, die eine direkte Datenausgabe auf stereoskopischen VR-Headsets nur sehr eingeschränkt unterstützen. Vor diesem Hintergrund diskutiert vorliegender Beitrag eine Arbeitsmethode, mit welcher Geodaten immersiv dargestellt und erfahrbar gemacht werden können. Diese Arbeitsmethode soll am Beispiel zweier immersiver VR-Szenarien näher ausgeführt und illustriert werden.

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Während der vergangenen Jahrzehnte erlaubten die sich ständig weiterentwickelnden Fernerkundungstechnologien, Geodaten in immer größerer zeitlicher und räumlicher Auflösung zu erfassen und auszuwerten (FISHER et al. 2018). Satellitenbilder helfen also, Menschen räumlich entfernte Ereignisse und Plätze näher zu bringen. Gleichzeitig kann jedoch auch eine zunehmende Distanzierung und Entfremdung vieler Menschen von ihrer unmittelbaren und weiteren Umgebung beobachtet werden: Bereits 2002 stellten BALMFORM et al. in einer vielzitierten Studie fest, dass britische SchülerInnen mit Pokémon-Charakteren besser vertraut sind, als mit der heimischen Flora und Fauna. Dieses als *nature-deficit disorder* bekannt gewordene Phänomen (LOUV 2005) ist auch für den deutschsprachigen Raum dokumentiert: BRÄMER et al. (2016) konstatieren etwa im 7. *Jugendreport Natur*, dass auf die Frage nach heimischen Waldfrüchten auch Exotika wie Mangos genannt werden. Um diesen Widerspruch (unter Vorwegnahme auf Abschnitt 2) auf ein anschauliches Beispiel zu reduzieren, lassen sich also einerseits auf Grundlage hochaufgelöster Satellitenbilder Korallenriffe genau kartieren, während andererseits vielen Menschen völlig unbekannt ist, wie ein Riff aussieht und was seine ökosystemischen Funktionen sind.

Es kann nun als berechtigter Einwand vorgebracht werden, dass die Wissensvermittlung für ein breiteres Publikum kein primäres Ziel der Fernerkundung darstellt, und damit auch die eben genannte Distanzierung keine dringliche fachrelevante Fragestellung ist. Dennoch steht die Wissenschaft im Allgemeinen, und somit auch die Fernerkundung im Besonderen vor einer Reihe von Problemen, deren Lösung eine Einbeziehung der Öffentlichkeit voraussetzt, so dass aus vorhandenen Datenvolumina allgemein verständliche und zugängliche Information gewonnen werden

¹ National Commission for the Knowledge and Use of Biodiversity (CONABIO), Liga Periférico-Insurgentes Sur4903, MX-14010 Mexiko Stadt, E-Mail: [florian.hruby, rainer.ressl]@conabio.gob.mx

² Universität Wien, Institut für Geographie und Regionalforschung, Universitätsstr. 7, A-1010 Wien, Österreich, E-Mail: florian.hruby@univie.ac.at

muss. Der Klimawandel und seine verbreitete Wahrnehmung als räumlich, zeitlich und gesellschaftlich entferntes Phänomen ist das wohl prominenteste Beispiel einer solchen Frage, die einer erfolgreichen externen Wissenschaftskommunikation bedarf und zugleich ein auch für die Fernerkundung relevantes Problemfeld darstellt (SPENCE et al. 2012; LEISEROWITZ 2005).

Das zunehmende Interesse der Geoinformationswissenschaften an Datenvisualisierungen mit immersiver VR-Technologie stützt sich nun wesentlich auf die Annahme, räumliche Sachverhalte immersiv besser verständlich machen zu können als z.B. mit herkömmlichen desktop-basierten Anwendungen. Diese Annahme gründet sich wiederum auf Forschungen der Kognitions-wissenschaften, wonach NutzerInnen raumbezogene Probleme besonders gut begreifen, wenn sie sich im Problemraum anwesend fühlen und mit diesem so interagieren können, als ob sie wirklich dort wären. Man geht davon aus, dass ein solches Gefühl der Telepräsenz durch immersive VR-Technologie signifikant gesteigert werden kann (CUMMINGS & BAIENSON 2016).

Auf das bereits angesprochene und nachfolgend ausführlicher behandelte Thema eines Korallenriffs übertragen bedeutet das, dass wir selbiges auf Grundlage von Satellitenbilddaten nicht nur genau kartieren und durch Bodenbedeckungskarten beschreiben, sondern mithilfe dieser Informationen auch solche immersiven Visualisierungen erstellen können, die den NutzerInnen einen realistischen Eindruck vermitteln, in dem durch Fernerkundung erfassten Ökosystem anwesend zu sein.

1.2 Workflow

Vor dem Hintergrund der einleitend skizzierten Problemstellung soll im weiteren Verlauf des Artikels eine Arbeitsmethode präsentiert werden, mit welcher Fernerkundungsbasisdaten immersiv dargestellt werden können, d.h. in einem Format, das NutzerInnen erlaubt sich im visualisierten Raum anwesend zu fühlen. Die folgende Abbildung fasst diesen Arbeitsablauf graphisch zusammen und strukturiert somit auch den weiteren Aufbau des Beitrages.

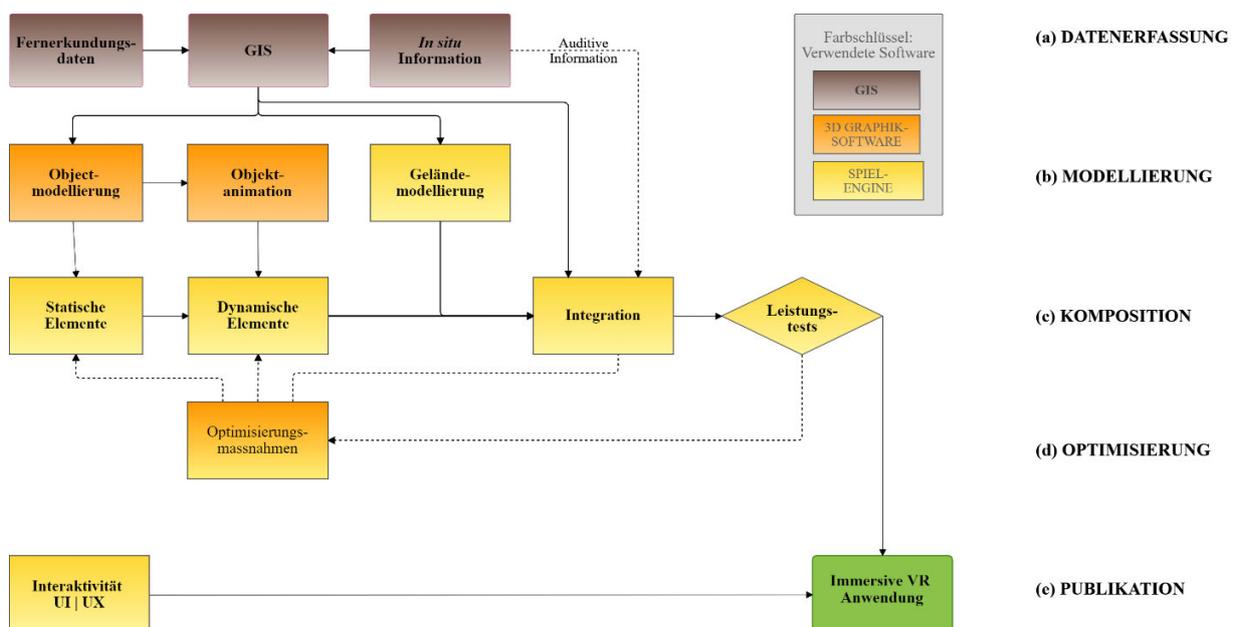


Abb. 1: Arbeitsschritte zur Erstellung satellitenbild-basierter Geovisualisierungen mittels immersiver VR

Auch wenn eine ausführliche Diskussion der Konzepte *Immersion* und *Telepräsenz* den Rahmen dieses Textes sprengen würde, sei explizit erwähnt, dass wir uns nur auf solche immersiven Geovisualisierungen im Maßstab 1:1 beziehen werden, in denen NutzerInnen Teil des dargestellten Raumes werden. Andere, kleinmaßstäbigere (1:x mit $x > 1$) immersive Anwendungen, in denen etwa Karten oder Globen zwar via *head-mounted display* (HMD) genutzt werden können (YANG et al. 2018), NutzerInnen aber außerhalb des dargestellten Raumes bleiben, werden in unseren Überlegungen nicht berücksichtigt, auch wenn Teile der hier erörterten Methode auch für diese Art immersiver Geovisualisierung gelten. Ebenso wenig werden solche Applikationen diskutiert, welche die NutzerInnen im virtuellen Raum auf vorgegebene 360° Ansichten beschränken (ZHAO & KLIPPEL 2019), da in diesen Fällen das oben genannte Kriterium einer interaktiven Erfahrbarkeit nicht bzw. nur eingeschränkt erfüllt wird.

Schließlich sei auch noch darauf hingewiesen, dass wesentliche Teile des skizzierten Arbeitsablaufs bereits von anderen AutorInnen veröffentlicht bzw. besonders an bebauten Umgebungen erprobt wurden (EDLER et al. 2018, KERSTEN et al. 2018), nachfolgend jedoch ergänzt bzw. am Beispiel zweier immersiver VR-Szenarien unbebauter Ökosysteme konkret illustriert werden.

2 Datenerfassung

Immersive Anwendungen sind mittlerweile für verschiedene Ökosysteme entwickelt worden: Einem Großteil dieser VR-Applikationen ist gemeinsam, dass sie anstelle eines realen, georeferenzierten Ortes einen Prototypen repräsentieren, und relevante Flora und Fauna ohne den Anspruch möglichst realistischer Darstellung modellieren (vgl. AHN 2016). Um jedoch eine detailgenaue Beschreibung der naturräumlichen Gegebenheiten (z. B. Topographie/Bathymetrie, Flora und Fauna, atmosphärische Bedingungen) in Form eines digitalen Zwillinges (*digital twin*) zu erreichen, der den NutzerInnen erlaubt, sich im Sinne einer Telepräsenz eine angemessene Vorstellung davon zu machen, wie es an dem dargestellten Ort aussieht, ist ein Rückgriff auf Geodaten unerlässlich. Die nachfolgend genannten Anwendungen wurden mit dem Ziel einer realistischen Abbildung der beiden benachbarten Ökosysteme *Korallenriff* und *Mangrovenwald* in einer immersiven virtuellen Umgebung erstellt, und basieren daher auf Geodaten, die mittels Fernerkundungstechniken, GIS-Datensätzen und *in situ* erfasst wurden.

2.1 Datenerfassung zu Szenario A - Korallenriff

Auf atmosphärische Störungen korrigierte World-View-2-Satellitenbilder waren die Grundlage für die Ableitung genauer Bathymetriedaten sowie der wichtigsten benthischen Habitate im Bereich des mesoamerikanischen Riffsystems. Die relativ klaren karibischen Küstengewässer erlaubten eine Erfassung der Meeresböden bis zu einer Tiefe von ca. 20 m, womit das gesamte Korallenriff sowie die zur Küste anschließenden marinen Ökosysteme abgedeckt werden konnten. Mit Hilfe eines biooptischen Modells wurde der Einfluss der Wassersäule auf das vom Satelliten gemessene Rückstreuungssignal ermittelt, was zu einem „sauberen“ Signal für den nachfolgenden Klassifizierungsprozess führte, innerhalb dessen sieben benthische Bereiche abgegrenzt wurden.

Diese Klassifikation wurde abschließend auf Kleinstobjekte (*salt-and-pepper* Effekt) gefiltert, aggregiert und in einer thematischen Habitatkarte (Maßstab 1:8000) abgebildet. Interessierte LeserInnen seien auf CERDEIRA et al. (2012) für weiterführende Information zur Datenerfassung und -

klassifikation verwiesen. Abb. 2 zeigt die genaue Lage des modellierten Gebietes, welches sich über einen Bereich von 3.5×3.5 km erstreckt, sowie die für diesen Bereich relevanten benthischen Klassen.

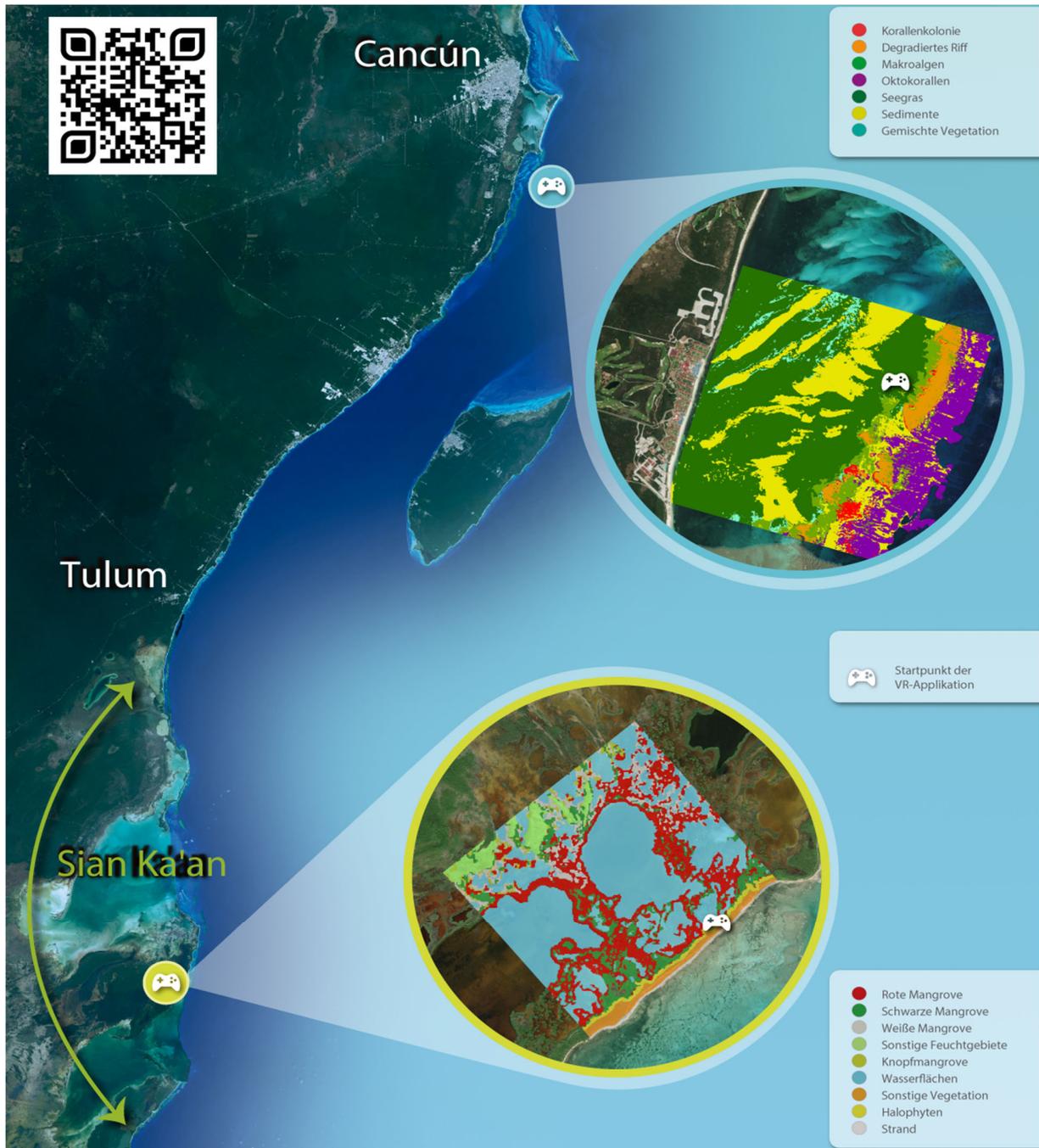


Abb. 2: Übersichtskarten zur Lage der beiden immersive visualisierten Ökosystemen samt der zugrundegelegten Bodenbedeckungsklassen

Die Fernerkundungsbasisdaten bzw. die daraus abgeleitete Klassifizierung wurden mit georeferenzierten Einträgen aus dem *Nationalen Informationssystem über Biodiversität (SNIB)* angereichert, welches mehr als 12 Mio. Beobachtungen zu mexikanischer Flora und Fauna umfasst (SARUKHÁN & JIMÉNEZ 2016). Um ein möglichst vollständiges Bild der örtlichen Gegebenheiten zu bekommen, wurde auch auf georeferenzierte Fotos und Videos zurückgegriffen, mit deren Hilfe später orts- (z.B. Wassertrübung und -färbung) und spezienspezifische (z.B. Wuchshöhen von Seegrass und Korallen) Parameter realistisch simuliert werden konnten (vgl. Abschnitt 4).

2.2 Datenerfassung zu Szenario B - Mangrovenwälder

Grundlage des virtuellen Mangrovenwaldes sind Sentinel-2A Daten, aus denen atmosphärische Einflüsse mit der *Sen2Cor*-Software der Europäischen Raumfahrtagentur (ESA) entfernt wurden. Diese Daten wurden anschließend mit *in situ* erhobenen Referenzwerten zur Bodenbedeckung trainiert und in einem überwachten Klassifikationsverfahren (*nearest neighbour*) zu den wesentlichen Vegetationstypen zusammengefasst. Bathymetrie bzw. Mikrotopographie konnten im Falle des virtuell modellierten Mangrovegebietes (2.5 × 2.5 km) aufgrund der geringen Reliefenergie vernachlässigt werden (Abb. 2).

Wiederum wurde diese Datengrundlage um SNIB-Einträge ergänzt bzw. durch *in situ* gewonnene Information angereichert. Aufgrund der terrestrischen Umgebung konnten, im Gegensatz zum Unterwasserszenario, auch hochaufgelöste Photoaufnahmen für Texturierung und Farbgebung von 3D-Modellen aus Fauna und Flora verwendet werden. Durch Audioaufnahmen wurde zudem versucht, das vielfältige akustische Ambiente eines Mangrovenwaldes wiederzugeben.

3 Modellierung

Da vektorbasierte GIS versuchen, räumliche Phänomene klassifiziert als zweidimensionale Punkte, Linien und Polygone zu beschreiben, müssen diese geometrischen Basiselemente für eine immersive Geovisualisierung in konkrete (d.h. nicht-klassifizierte) 3D-Objektmodelle der für die zugrundeliegende Klasse typischen Elemente übersetzt werden. Diese 3D-Objekte sind danach lagerichtig einem digitalen Geländemodell (DGM) zu überlagern, welches die reale Topographie in möglichst hoher vertikaler und horizontaler Auflösung wiedergibt, und meist in einem Rasterformat vorliegt. Entsprechend ergeben sich als zentrale Aufgaben der Gestaltung einer VR-Umgebung die 3D-Modellierung von Einzelobjekten sowie des zugrundeliegenden Geländes. Während die Geländemodellierung ein relativ einfacher Prozess ist, welcher direkt in der Spiele-Engine erfolgen kann und im wesentlichen aus den Rasterzellwerten des DGM ein dreidimensionales Dreiecksnetz erstellt, ist für die Modellierung von Einzelobjekten ein Rückgriff auf 3D-Graphiksoftware (in den vorliegenden Szenarien *Blender* und *SpeedTree*) erforderlich, welche nicht nur die Wiedergabe der Objektform, sondern im Falle dynamischer Agenten auch eine entsprechende Animation ermöglicht (Abb. 1).

3.1 Objektmodellierung

Die unmittelbarste Form der Modellierung eines 3D-Objektes im virtuellen Raum beruht auf einer (semi-)automatischen Vermessung des realen Referenten selbst. Eine solche kann beispielsweise durch Methoden der Nahbereichsphotogrammetrie erfolgen, wobei Oberflächen aus 3D-Punkt-

wolken (*Structure from Motion*, Laserscanning) berechnet und zugleich hochaufgelöste Texturen erfasst werden können (CARRIVICK et al. 2016; KERSTEN et al. 2018; ZAMBRANO et al. 2017). Andere bildgebende Verfahren (z.B. Tomographien) erlauben zusätzlich, auch die innere Struktur des abzubildenden Objektes dreidimensional zu beschreiben (TRAN & VU 2016).

Die eben genannten Methoden eignen sich für die Erfassung unbelebter bzw. unbewegter Räume (z.B. Gebäude); in belebten bzw. dynamischen Umgebungen, wie es die beiden hier beispielgebenden Ökosysteme sind, können jedoch die benötigten stabilen Aufnahmebedingungen oft nicht hergestellt werden. Unter solchen Umständen bieten sich (semi-)manuelle Modellierungsverfahren an, bei denen auf Grundlage von Referenzen des realen Objektes (z.B. Photos oder Zeichnungen) dessen Aussehen im digitalen Raum durch verschiedene Methoden (z.B. *box-modelling*, *sculpting*) rekonstruiert werden kann (Abb. 3).

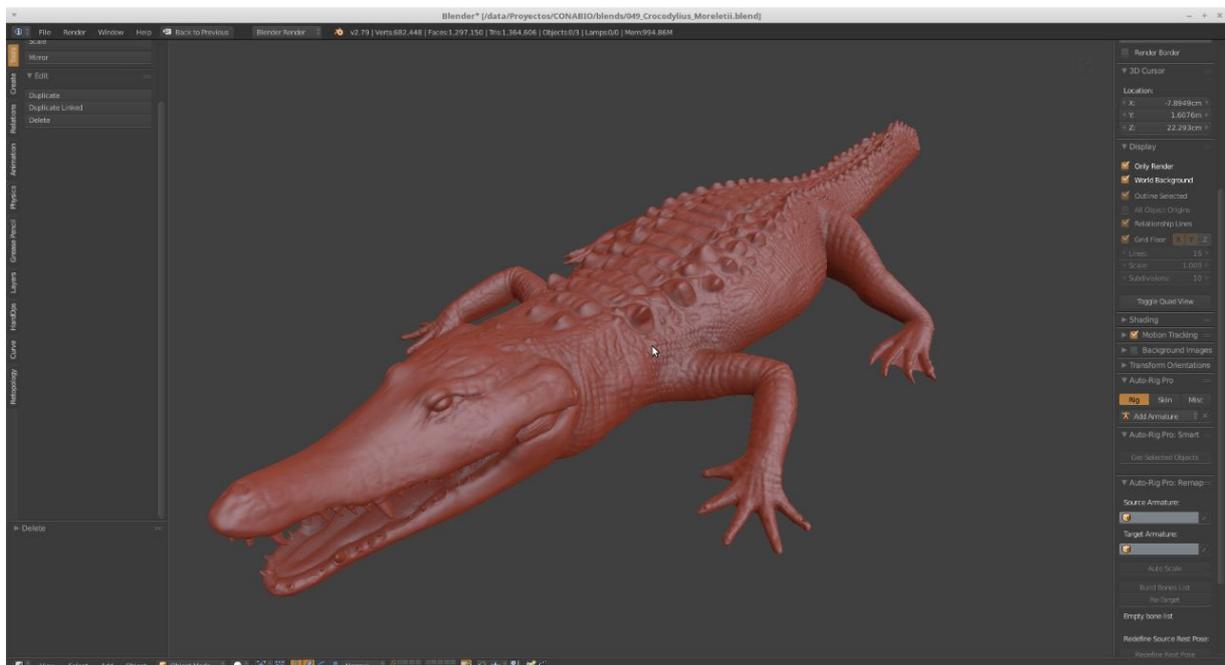


Abb. 3: 3D-Modellierung mittels Sculpting in Blender (Beulenkrokodil - *Crocodylus moreletii*)

3.2 Objektanimation

Vor dem Anspruch, einen geographischen Raum so zu repräsentieren, dass die NutzerInnen der entsprechenden Applikation das Gefühl der Anwesenheit am dargestellten Ort entwickeln können, ist es notwendig, nicht nur die entsprechenden Elemente dieses Raumes realistisch in Bezug auf ihre Form zu modellieren, sondern auch entsprechende motorische Muster von Fauna und Flora glaubhaft zu simulieren. Computeranimationstechniken (z.B. *rigging*, *vertex animation*) erlauben, die erstellten Objektmodelle auch komplexen Bewegungsabläufen zu unterwerfen (Abb. 4).

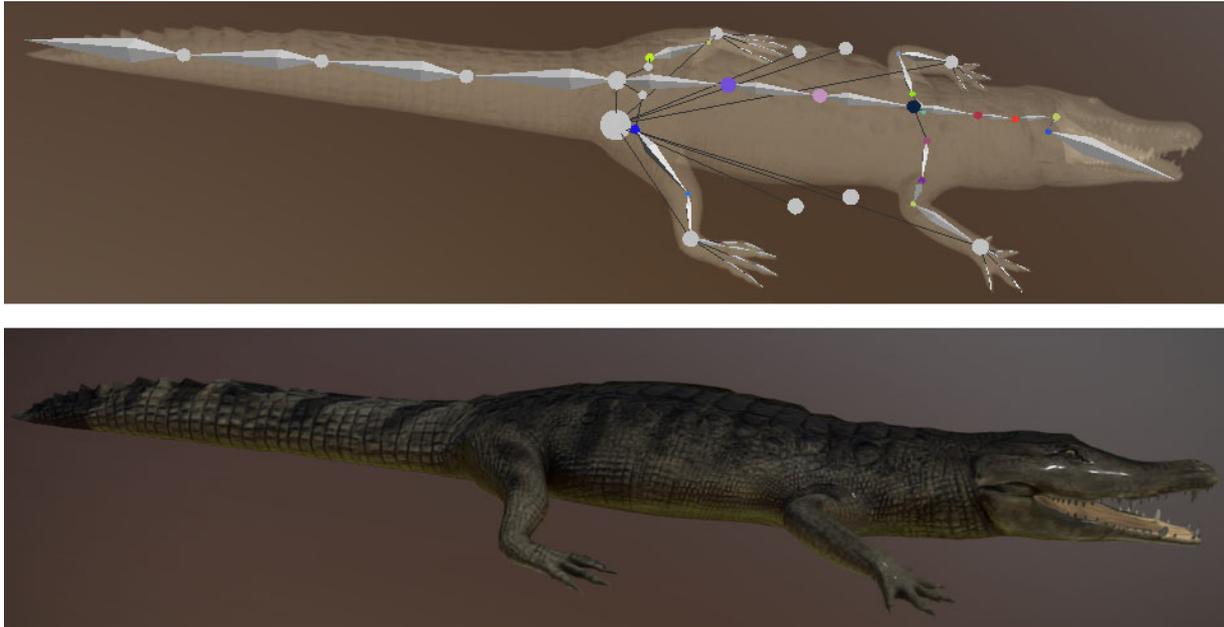


Abb. 4: Animationsrig (oben) und Render (unten) – Beulenkrokodil (*Crocodylus moreletii*)

4 Komposition

In den vorangegangenen Arbeitsschritten wurden aus Fernerkundungsbasisdaten sowohl Geländehöhenmodelle (Rasterformat) als auch Bodenbedeckungsklassen (Vektorformat) abgeleitet, und letztere in statische bzw. dynamische 3D-Modelle der wichtigsten Elemente von Fauna und Flora disaggregiert. Diese Bausteine können nun zu einem vollständigen virtuellen Ökosystem zusammengefasst werden. Um den Anforderungen einer interaktiven und immersiven Visualisierung gerecht zu werden, kann in diesem Arbeitsteil auf Spiele-Engines (im vorliegenden Fall: *Unreal Engine*) zurückgegriffen werden.

4.1 Distribution statischer Elemente

Auf dem bereits erstellten digitalen Geländemodell (vgl. Abschnitt 3) können alle statischen Objektmodelle lagerichtig verteilt werden. Dazu werden in einem Zwischenschritt die genannten Bodenbedeckungskarten dem Geländemodell als Texturen aufgebracht, um die für jede Klasse modellierten Objekt im VR-Raum entsprechend zu positionieren. Jede Bodenbedeckungsklasse wird also durch eine Reihe von Modellen der entsprechenden Flora (z.B. Mangrovenarten) und Fauna (z.B. Korallenarten) repräsentiert.

Um den unnatürlichen Eindruck gleichförmiger Objektverteilung zu vermeiden, werden neben einer Randomisierung von Speziesdichte und -häufigkeit auch zusätzliche Verteilungsparameter berücksichtigt, etwa um in Abhängigkeit von Seehöhe bzw. Wassertiefe die Wuchsgrößen und -formen relevanter Arten realistisch zu variieren. Weiters werden die in Bodenbedeckungskarten meist scharf abgegrenzten Klassen durch die Festsetzung von Übergangsgredienten zwischen benachbarten Kategorien in ein kontinuierliches und damit natürlicheres Verteilungsmuster gebracht (Abb. 5).

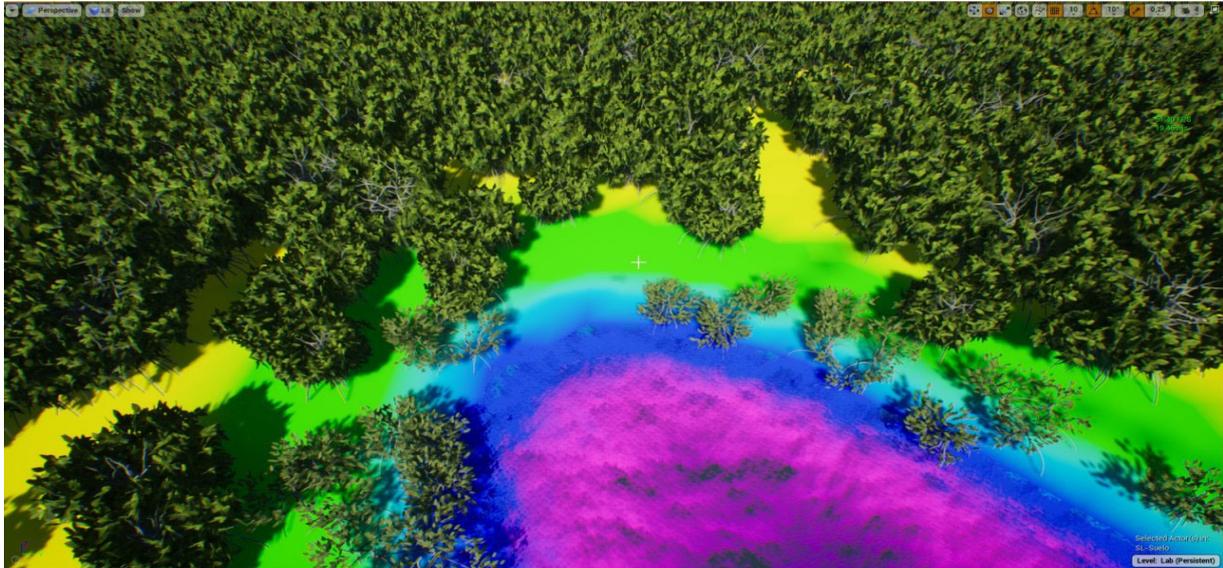


Abb. 5: Distribution von 3D-Modellen der Roten Mangrove (*Rhizophora mangle*) in Funktion der unterlegten Bodenbedeckungskarte. Der Übergang zu Wasserflächen (blau und violett gefärbt) wird durch entsprechend abnehmende Wuchsdichte und -höhe visualisiert

4.2 Distribution dynamischer Elemente

Während die Zuordnung statischer VR-Objekte auf Grundlage von GIS-Daten relativ einfach und im Grunde mit georeferenzierter Genauigkeit möglich ist, kann für die Verteilung dynamischer Agenten nicht ohne weiteres auf eine entsprechende Datengrundlage zurückgegriffen werden. Stattdessen lassen sich typische Lebensräume (z.B. von Fischen oder Vögeln) unter Zuhilfenahme von Fachliteratur und *in situ* gewonnener Information sowohl vertikal als auch horizontal (z.B. bekannte Flughöhen und Schwimmtiefen) abgrenzen.

Eine besondere Herausforderung besteht hierbei darin, nicht nur Bewegungen sondern auch Verhaltensweisen zu modellieren, im konkreten Fall etwa das Schwarmverhalten von Fisch- oder Vogelarten. Dies kann im einfachsten Fall durch manuell angelegte Animationspfade erfolgen, doch erfordern umfassendere Ökosysteme auch die Implementierung regel-basierter Bewegungsmuster, um komplexere Beziehungen (z.B. Räuber-Beute-Schemata) abbilden zu können.

4.3 Atmosphärische Gestaltung

Eine realistische Wiedergabe im virtuellen Raum ist nicht nur eine Frage von Objektmodellierung, -animation und lagetreuer -verteilung, sondern umfasst auch atmosphärische Faktoren, deren Berücksichtigung von GIS-Software nicht bzw. nur sehr eingeschränkt vorgesehen ist. Das Konzept einer Atmosphäre kann hier zunächst im engeren Sinn verstanden werden, so dass also auch Lichtverhältnisse, Wasser- und Lufttrübung, Wind- und Wellenbewegungen, etc. mit den Werkzeugen der Spiele-Engine modelliert werden.

Atmosphäre kann jedoch im Falle immersiver Geovisualisierung auch in einem weiteren Sinn berücksichtigt werden, nämlich in Bezug auf die Vermittlung einer raumspezifischen Stimmung. So können etwa verschiedene Lichtverhältnisse und Tageszeiten simuliert, Tierstimmen und Umweltgeräusche (auch raumakustisch) implementiert bzw. auch tageszeitspezifisch variiert werden, um somit das angestrebte Gefühl der Telepräsenz noch konkreter zu vermitteln.

5 Optimierung & Publikation

Aktuellen Marktanalysen zufolge erreichen immersive Systeme ein immer noch kleines, aber beständig wachsendes Publikum, welches sich v.a. der HMD von *Oculus Rift* und *HTC Vive* bedient (STEAM 2019). Beide VR-Visoren sind mit den Ausgabeformaten aktueller Spiele-Engines kompatibel. Neben der Verbreitung geeigneter HMD stellen die Anforderungen an Rechen- und Graphikleistung des von den NutzerInnen verwendenden Computers einen wesentlichen Faktor für eine erfolgreiche immersive Geovisualisierung dar. Werden die entsprechenden Anforderungen (im Falle der vorliegenden Applikationen mindestens 6 GB expliziter Graphik-speicher) nicht erfüllt, fällt die Bildfrequenz der in Echtzeit zu rendernden Stereoszenen in einen Bereich, in dem eine nur verzögert oder ungleichmäßig laufende Anwendung den Eindruck von Telepräsenz (zer)stören oder gar Unwohlsein (*motion sickness*) hervorrufen kann.

Entsprechend kann bereits in der Entwicklungsphase (v.a. im Rahmen der Modellierung) versucht werden, die VR-Anwendung hinsichtlich der geforderten Rechenleistung möglichst zu optimieren. Beispielsweise können die Anzahl von Polygonen eines 3D-Objekts bereits während dessen Modellierung minimiert (z.B. durch manuelle Nachbearbeitung automatisch erstellter Geometrien), sowie unterschiedliche Detaillierungsgrade (*levels of detail*) definiert werden, so dass in Abhängigkeit der jeweiligen Distanz zwischen NutzerIn und Objekt nur diejenige Anzahl von Polygonen gerendert wird, die für den Eindruck realistischer Darstellung notwendig ist. Unterschiedliche Ökosysteme können diesbezüglich verschiedene Anforderungen stellen: Während im Falle eines Unterwasserambientes die natürliche Wassertrübung auch den einsehbaren Bereich und damit die Anzahl der jeweils zu berechnenden Objekte reduziert, kann die große Sichtweite im Falle eines Überblicks auf einen Mangrovenwald die Menge der darzustellenden Modelle so sehr erhöhen, dass entfernte Objekte idealerweise nur mehr durch zweidimensionale Geometrien (*bill boards*) visualisiert werden, ohne dass die NutzerInnen diese Reduktion visuell wahrnehmen können.

Einige dieser möglichen Optimierungsmaßnahmen werden auch vom jeweils gewählten Publikationsformat abhängig sein: Sind die Hardware-Settings des geplanten VR-Systems vorab bekannt (etwa im Falle einer Installation innerhalb eines Science Centres), kann die Anwendung entsprechend entwickelt werden. Soll hingegen ein breites Publikum mit unterschiedlichen Hardwarekonfigurationen angesprochen werden, können etwa verschieden große geographische Ausdehnungen angeboten, oder aber auch kostengünstigere Hardware (z.B. *Oculus Go* oder *Cardboard*-artige Systeme) mit graphisch entsprechend reduzierten Applikationen bedient werden.

In Abhängigkeit des Publikationsformates ergeben sich schließlich auch unterschiedliche Kriterien zur Gestaltung von User Interface (UI) und User Experience (UX): Während die beiden hier besprochenen VR-Ökosysteme mit jeder handelsüblichen Xbox-Steuerungskonsole bedienbar sind, stellen die beiden Marktführer *HTC* und *Oculus VR* auch produktspezifische Controller zur Verfügung, die innerhalb des jeweiligen Systems getrackt und daher mit erweiterten Funktionalitäten ausgestattet werden können. Augensteuerung ist z.B. in smartphone-basierten VR-Systemen eine weitere wichtige Interaktionsform, die entsprechend spezifische Anforderungen an UI und UX stellt.



Abb. 6: Immersive VR-Geovisualisierung am Beispiel der karibischen Ökosysteme *Mangrovenwald* (oben) und *Korallenriff* (unten). Zur besseren Anschaulichkeit werden beide Szenen für diesen Beitrag hier als nicht-stereoskopische Render dargestellt

Das im Beitrag vorgestellte virtuelle Korallenriff wurde bereits kostenlos unter einer CC BY-NC-ND 4.0 Lizenz veröffentlicht (<http://www.biodiversidad.gob.mx/geoviz>), eine Beta-Version des virtuellen Mangrovenwaldes stellen wir auf Anfrage gerne zur Verfügung. Bislang wurden mehr als 100 Elemente aus Flora und Fauna (semi)manuell modelliert und animiert (Abb. 3 & 4), die größtenteils über die 3D-Web-Bibliothek *Sketchfab* (<https://sketchfab.com/conabio>) einsehbar sind. Entsprechende Geometrien und Texturen geben wir wiederum auf Anfrage gerne weiter.

6 Fazit & Ausblick

Vorliegender Beitrag beschreibt eine Arbeitsmethode, mit der kleinmaßstäbige Fernerkundungsdaten in 1:1 skalierte, immersive VR-Geovisualisierungen transformiert, und somit den NutzerInnen so nahe gebracht werden können, dass diese sich im dargestellten Raum anwesend fühlen. Zentrale Arbeitsschritte wurden anhand je eines terrestrischen und marinen Ökosystems ausgeführt und illustriert. Auch wenn die vorgestellte Methode einen gangbaren Weg aufzeigt, können wir damit nicht beanspruchen, die einfachste oder gar einzige Möglichkeit einer satellitenbild-basierten Geovisualisierung in VR präsentiert zu haben. Zukünftige Verbesserungen des hier skizzierten Prozesses sind bei allen Arbeitsschritten zu erwarten: Beispielsweise gestatten Softwareprodukte wie ESRI's City Engine bereits eine Plugin-gestützte Ausgabe von Geodaten in Spiele-Engines, so dass für zukünftige Generationen von GIS eine größere Kompatibilität (z.B. stereoskopisches Rendern) mit immersiven VR-Systemen erwartet werden kann.

Unabhängig der gewählten Erstellungsmethode bieten realistische immersive Geovisualisierungen eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten, die mit aktuellen GIS weder angedacht wurden noch umsetzbar scheinen. Als Beispiel sei hier die (derzeit auch unter Mitarbeit der Autoren) untersuchte Möglichkeit genannt, einen auf die selbständige Erkennung invasiver Spezien hin entwickelten Roboter nicht in einer physisch-realen, sondern stattdessen in einer (systematischer modulierbaren) VR-Replika dieses Raumes maschinell zu trainieren. Als weiteres Anwendungsbeispiel, in dem immersive VR verwendet wird, um eine reales räumliches Problem zu erklären, ist der Versuch, kollektives Verhalten von Tieren und Menschen zu simulieren und zu verstehen (KLEIN et al. 2019; MAGALLANES et al. 2018).

Um abschließend auf die eingangs skizzierte Problematik einer erfolgreichen externen Wissenschaftskommunikation zurückzukommen, sei auch noch auf die Möglichkeit hingewiesen, mit immersiven Geovisualisierungen nicht nur gegenwärtige Räume zu visualisieren, sondern auch vergangene und mögliche zukünftige Szenarien, z.B. die Folgen eines sich wandelnden Klimas, nicht nur numerisch-abstrakt zu beschreiben, sondern auch anschaulich erfahrbar zu machen.

7 Literaturverzeichnis

- AHN, S., BOSTICK, J., OGLE, E., NOWAK, K., MCGILLICUDDY, K. & BAILENSON, J., 2016: Experiencing nature: embodying animals in immersive virtual environments increases inclusion of nature in self and involvement with nature. *Journal of Computer-Mediated Communication* **21**(6), 399-419.
- BALMFORD, A., CLEGG, L., COULSON, T. & TAYLOR, J., 2002: Why conservationists should heed Pokémon. *Science* **295**(5564), 2367.
- BRÄMER, R., KOLL, H. & SCHILD, H.-J., 2016: 7. Jugendreport Natur 2016. https://www.wanderforschung.de/files/jugendreport2016-web-final-160914-v3_1903161842.pdf.
- CARRIVICK, J. L., SMITH, M. W. & QUINCEY, D. J., 2016: *Structure from Motion in the Geosciences*. John Wiley & Sons, Chichester.
- CERDEIRA-ESTRADA, S., HEEGE, T., KOLB, M., OHLENDORF, S., URIBE, A., MÜLLER, A., GARZA, R., RESSL, R., AGUIRRE, R., MARIÑO-TAPIA, I., SILVA, R. & MARTELL DUBOIS, R., 2012: Benthic habitat and bathymetry mapping of shallow waters in puerto morelos reefs using

- remote sensing with a physics based data processing. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 4383-4386.
- CUMMINGS, J. J. & BAILENSON, J. N., 2016: How immersive is enough? A meta-analysis of the effect of immersive technology on user presence. *Media Psychology*, **19**(2), 272-309.
- EDLER, D., HUSAR, A., KEIL, J., VETTER, M. & DICKMANN, F., 2018: Virtual reality (VR) and open source software: a workflow for constructing an interactive cartographic VR environment to explore urban landscapes. *Kartographische Nachrichten* **68**(1), 3-11.
- FISHER, J. R., ACOSTA, E. A., DENNEDY-FRANK, P. J., KROEGER, T. & BOUCHER, T. M., 2018: Impact of satellite imagery spatial resolution on land use classification accuracy and modeled water quality. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, **4**(2), 137-149.
- KERSTEN, T.P., TSCHIRSCHWITZ, F., DEGGIM, S. & LINDSTAEDT, M., 2018: Virtual Reality for Cultural Heritage Monuments – from 3D Data Recording to Immersive Visualisation. Euro-Mediterranean Conference 2018, Ioannides, M., Fink, E., Brumana, R., Patias, P., Doulamis, A., Martins, J. & Wallace, M. (Hrsg.), *Lecture Notes in Computer Science* **11197**, Springer, Cham, 74-83.
- KLEIN, K., SOMMER, B., NIM, H., FLACK, A., SAFI, K., NAGY, M., FEYER, S., ZHANG, Y., REHBERG, K., GLUSCHKOW, A. & QUETTING, M., 2019: Fly with the flock: immersive solutions for animal movement visualization and analytics. *Journal of the Royal Society Interface*, **16**(153), 20180794.
- LEISEROWITZ, A., 2005: American risk perceptions: is climate change dangerous? *Risk Analysis* **25**(6), 1433-1442.
- LOUV, R., 2005: Last child in the woods: saving our children from nature-deficit disorder. Algonquin Books, Chapel Hill.
- MAGALLANES GUIJÓN, G., HRUBY, F., RESSL, R., AGUILAR SIERRA, V., DE LA BORBOLLA DEL VALLE, G. & RODRÍGUEZ PAZ, O., 2018: Modelling of collective movement in immersive environments. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences* **42**(4), 397-402.
- SARUKHÁN, J. & JIMÉNEZ, R., 2016: Generating intelligence for decision making and sustainable use of natural capital in Mexico. *Current opinion in environmental sustainability* **19**, 153-159.
- SPENCE, A., POORTINGA, W. & PIDGEON, N., 2012: The psychological distance of climate change. *Risk Analysis* **32**(6), 957-972.
- STEAM, 2019: Steam Hardware & Software Survey. <https://store.steampowered.com/hwsurvey>
- TRAN, M. & VU, H., 2016: A Research on 3D Model Construction from 2D DICOM. IEEE Int. Conference on Advanced Computing and Applications (ACOMP), 158-163.
- YANG, Y., JENNY, B., DWYER, T., MARRIOTT, K., CHEN, H. & CORDEIL, M., 2018: Maps and globes in virtual reality. *Computer Graphics Forum* **37**(3), 427-438.
- ZAMBRANO, A., PADILLA, O., TOULKERIDIS, T., ZAPATA, J., ORDOÑEZ, E. & MATO, F., 2017: Software constraints for caves' virtual environments modeling. IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI), 1-5.
- ZHAO, J. & KLIPPELT, A., 2019: Scale-unexplored opportunities for immersive technologies in place-based learning. IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), 155-162.