

# VR-unterstützte Tunnelbauüberwachung

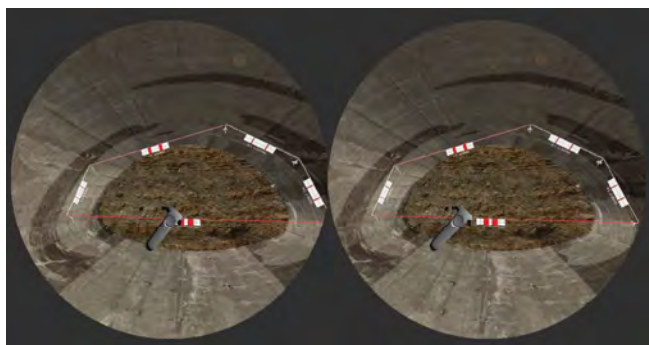
## Einleitung

In unserem Vortrag stellen wir das Virtual Reality System „Geotunnel“ zur Überwachung von Tunnelbauprojekten vor. Es wurde vom VRVis in enger Zusammenarbeit mit Geodata entwickelt und ermöglicht eine immersive visuelle Analyse von Bauprozessen gemeinsam mit geotechnischen und sonstigen Mess- und Sensordaten im 3D-Raum. „Geotunnel“ basiert auf der Echtzeit-Entwicklungsplattform Unity und bezieht seine Daten aus dem Tunnelinformationssystem Kronos von Geodata. Gegenwärtiger Anwendungsfokus ist die Unterstützung des geotechnischen Monitorings mit dem Ziel einer Verbesserung des Verständnisses von kritischen Ereignissen und Entwicklungen während des Vortriebs. Gegenwärtig wird an der BIM-Anbindung des VR-Systems gearbeitet sowie an der Möglichkeit, Monitoring- und Bauprozessdaten in Echtzeit zu visualisieren.

## 3D-Monitoring

Zentrale Elemente der 3D-Szene sind Tunnelmodelle, die aus georeferenzierten Plänen oder auf der Basis von Laserscans oder Photogrammetrie erstellt werden. Der Baufortschritt wird durch das Vorrücken der Ortsbrust bzw. des Bohrkopfes der Tunnelbohrmaschine (TBM) dargestellt. Im Falle des Tübbingausbaus wird selbst die Errichtung der einzelnen Tübbinge zeitlich nachvollziehbar. Sämtliche Messungen und Sensoren sind korrekt georeferenziert. Animationen zeigen die zeitliche Entwicklung von Messwerten, wobei Zeitreihen mit unterschiedlichen Frequenzen berücksichtigt werden können.

Benutzer können durch die 3D-Szene navigieren und dabei die Geschwindigkeit und Richtung der Wiedergabe steuern. Mittels VR-Brille werden die wahren Dimensionen baulicher Objekte wahrgenommen und ein Gefühl für reale Entfernungen entwickelt (Abbildung 1).



**Abb. 1: Monitoring in VR mittels Controller-Interaktion.**

## Datengesteuerte Navigation

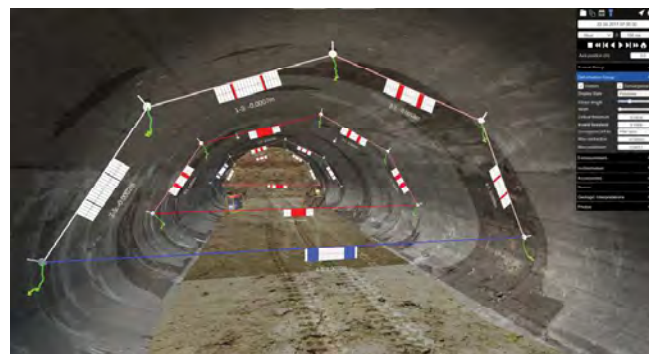
Das System unterstützt eine automatische Navigation zu Orten, an denen kritische Werte gemessen wurden. Dabei werden die Benutzer sanft an die entsprechende Position geführt. Das Datum der Szene wird auf den Zeitstempel des kritischen Wertes gesetzt, um eine konsistente Visualisierung zu garantieren. Dies ermöglicht eine genaue Inspektion und Analyse der Kritikalität.

Der kontinuierliche Wechsel zwischen solchen Orten unterstützt ein besseres Verständnis der räumlichen Verteilung von kritischen Werten im Tunnel.

## Vorteile der 3D-Visualisierung

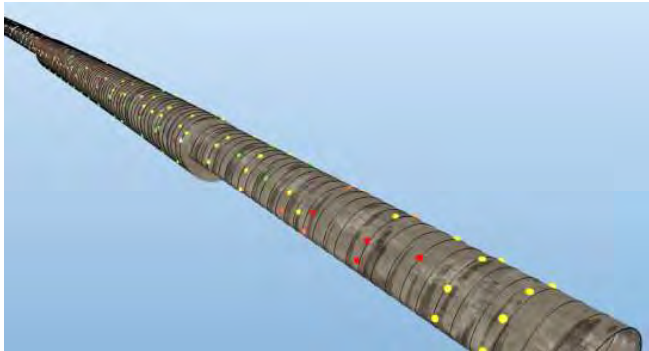
Die Perspektive des 3D-Raums erlaubt die gleichzeitige Darstellung vieler verschiedener Messungen, die im geographischen Kontext besser wahrnehmbar und daher verständlicher ist. Dadurch werden Vergleiche verschiedener Sensorwerte an einem Ort effizienter und auch die Erkennung von Korrelationen und Zusammenhängen zwischen Messdaten und Bauprozessen erleichtert.

Abbildung 2 zeigt 3D-Verschiebungsvektoren von Reflektoren der Tunnelwand in Kombination mit daraus berechneten Konvergenzen zwischen den Reflektoren. Die Vektoren sind als farbkodierte Linienzüge dargestellt, die aus den korrekt verorteten Reflektorzentren ragen. Für die Konvergenzen werden farbkodierte Linien und Balkendiagramme verwendet (Expansionen sind blau und Kontraktionen rot). Diese illustrativen Visualisierungen werden bei der Wiedergabe animiert und zeigen so die Dynamik der Messwerte.



**Abb. 2: Kombinierte Visualisierung von Deformations- und Konvergenzwerten.**

Das System bietet auch aggregierte Visualisierungen für verschiedene Messmethoden. Dadurch kann ein längerer Tunnelbereich überblickt werden. Häufungen kritischer Messdaten aber auch Ausreißer werden so leichter erkennbar. Abbildung 3 zeigt die aufgetretene Gesamtverschiebung mittels farbkodierter Kugeln an der Außenseite der Tunnelwand. Eine Häufung von kritischen Werten im ersten Tunnelsegment ist sofort erkennbar (rote Kugeln).



**Abb. 3: Aggregierte Darstellung von Verformungsmessungen.**

Darüber hinaus unterstützt die Kontrolle der Wiedergabegeschwindigkeit und -richtung die Interpretation der Dynamik von Messungen und deren Beziehungen zu den Vortriebsdaten. Dies funktioniert auch in der Kombination mit aggregierten Visualisierungen. Damit lässt sich z.B. im Zeitraffer die Entwicklung mehrerer heterogener Messwerte über längere Bauabschnitte und Bauphasen verständlich darstellen.