

clone:it - Revolutionierung der Bewehrungskontrolle auf der Baustelle durch interaktive Nutzung des BIM-Modells

Paul Wegerer, Liebhard Mattuschka
clone:it GmbH, Österreich

Timur Uzunoglu, Thomas Markus Laggner
convex ZT GmbH

KURZFASSUNG:

clone:it ist eine innovative Baustellen-App, die BIM-Modelle mit Augmented Reality (AR) verbindet, um die Bewehrungskontrolle auf der Baustelle zu revolutionieren. Durch die intuitive 3D-Visualisierung des BIM-Modells auf dem Handy oder Tablet können Bauleiter, Bauaufsichtspersonal und Ausführende sofort erkennen, ob die ausgeführte Bewehrung dem planmäßig angedachten Zustand entspricht. Abweichungen können direkt in der App am 3D-Modell markiert, dokumentiert und zur Nachbesserung übergeben werden, was die Qualität der Bewehrungsverlegung sichert sowie Zeit und Kosten spart. Die App bietet darüber hinaus Funktionen zur Erstellung von 3D-Scans der Baustelle, zur Verortung von Bauteilen und zur Verknüpfung von Informationen mit dem BIM-Modell. Dies ermöglicht eine lückenlose Dokumentation des Baufortschritts und eine effiziente Kommunikation aller Projektbeteiligten. Die clone:it App ist ein wertvolles Werkzeug für die Bauindustrie, dass die Qualitätssicherung und Effizienz auf der Baustelle deutlich verbessert.

1 Einleitung

Die Bauindustrie steht vor einem tiefgreifenden Wandel. Traditionelle, oft manuelle Prozesse werden zunehmend durch digitale Technologien ersetzt. Dieser Wandel wird durch die steigenden Anforderungen an Effizienz, Qualität und Nachhaltigkeit getrieben. Ein Schlüsselbereich dieser digitalen Transformation ist die Baustelle selbst. Während die Planung von Bauprojekten digital ist und zunehmend durch detaillierte Infos im Building Information Modeling (BIM) erweitert wird, hinkt die Ausführung auf der Baustelle hinterher.

Ein Bestandteil der digitalen Revolution des Bauens ist der Einsatz von Robotik (siehe bspw. [1]) sowie die Automatisierung bspw. durch modulare Werksfertigung wie in [2] gezeigt. Hierbei übernehmen die Maschinen immer komplexere Aufgaben und steigern so die Produktivität und Präzision auf der Baustelle. Doch die Digitalisierung geht noch weiter. Augmented Reality (AR) und Künstliche

Intelligenz (KI) eröffnen neue Möglichkeiten, um die Qualität des Bauens zu sichern, den Baufortschritt zu überwachen und Prozesse zu optimieren (vergleiche bspw. [3] und [4]).

Die clone:it App [5] nutzt diese Technologien, um eine digitale Bewehrungskontrolle zu realisieren. Durch die Projektion digitaler Modelle auf die reale Baustelle und die automatisierte Erkennung von Bewehrungseisen wird eine präzise und effiziente Qualitätskontrolle ermöglicht.

2 Revolutionierung der Bewehrungskontrolle und die papierlose Baustelle

Ein zentraler Aspekt der Qualitätssicherung im Stahlbetonbau ist die korrekte Ausführung der Bewehrung. Traditionell erfolgen die Verlegung sowie die spätere Kontrolle der Bewehrung anhand von zweidimensionalen Plänen. Komplexe Geometrien des Bewehrungskorbes oder die Reihenfolge der

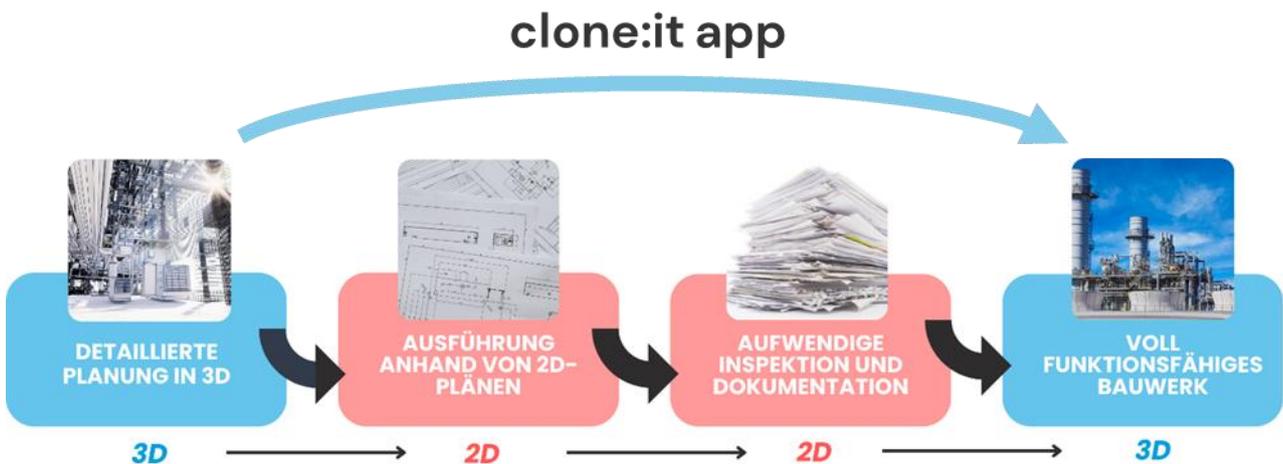


Abbildung 1 Prozess der Bewehrungsplanung zur Ausführung vom 3D-BIM-Modell zum realen Bewehrungskorb

Positionen zur Montage, werden manchmal in der Praxis, in den zu verwendenden 2D Plänen, nicht korrekt bzw. eindeutig beschrieben. In der Planung selbst ist mittlerweile der 2D Plan nur mehr das Nebenprodukt des Modells und darunter leidet auch die Qualität der Planerstellung, da ausfahrungsrelevante Informationen noch zusätzlich manuell beschriftet werden müssen und die Darstellung hinsichtlich Lesbarkeit und geltenden Standards überarbeitet werden muss. Gleichzeitig werden die komplexen Angaben, basierend auf den komplexeren Bauwerken teilweise auch durch die Ausführenden missinterpretiert, wodurch Baufehler entstehen. Gleichzeitig kann eine Eigenkontrolle des Baustellenpersonals nicht weiterhelfen, womit die externe Bewehrungsabnahme entscheidend ist. Diese anspruchsvolle Aufgabe der analogen optischen Überprüfung der Bewehrung vor Ort fordert Erfahrung und Konzentration des Aufsichtspersonals. Teilweise sind Stellen geometrisch nur zum Teil einsehbar und infolge des Zeitdrucks können Fehlstellen übersehen werden. Geeignetes erfahrenes Personal für die Bewehrungsabnahmen ist nur begrenzt verfügbar. Insgesamt bedeutet es, dass die bisherige Vorgehensweise mittels 2D Plänen und der analogen optischen Kontrolle fehleranfällig und zeitaufwendig ist.

Der Prozess der Bewehrungsplanung zur Ausführung vom 3D-BIM-Modell zum realen Bewehrungskorb ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt. Wie ersichtlich wird, sollte als Lösung des Problems die Ableitung von 2D Plänen und die papiermäßige Dokumentation eliminiert werden. Hierzu wird direkt von der 3D Bewehrungsplanung

über die AR-Visualisierung der clone:it App der reale räumliche Bewehrungskorb bauseits erstellt. Als Beispiel des digitalen AR-unterstützten Bewehrungsabgleichs mit der clone:it App wird in Abbildung 2 die Anwendung bei einer Bodenplatte in einem Industriebau gezeigt.

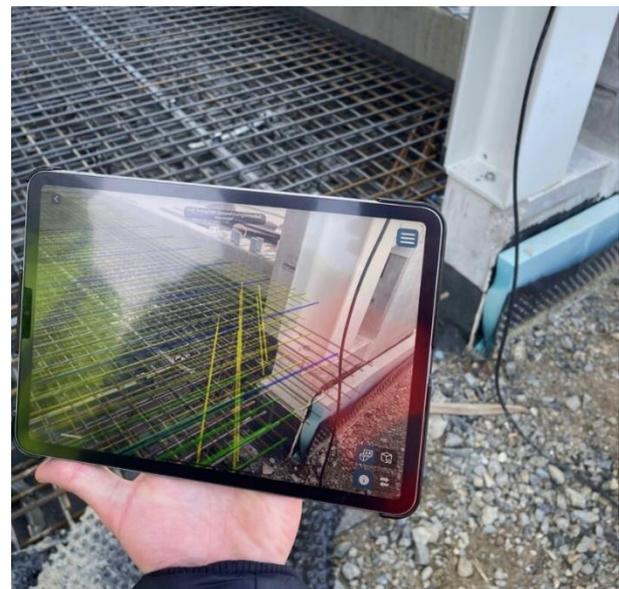


Abbildung 2 Beispiel zum digitalen AR-unterstützten Bewehrungsabgleich einer Bodenplatte in einem Industriebau

Es ist dabei zu beachten, dass als Grundlage für den Abgleich die 3D Planung des BIM Modells selbst gewissenhaft durchgeführt werden muss. Das Ziel ist eine papierlose (digitale) Baustelle und keine planlose Baustelle.

Die bisher anspruchsvolle Überprüfung und Dokumentation der Bewehrung vor Ort kann durch den Einsatz der clone:it App basierend auf der

Kombination von AR-Visualisierung und AI-Interpretation der Bilddaten wesentlich vereinfacht werden. Ebenso erfolgt diese in einer höheren Qualität. Entscheidend für den Erfolg dieses neuen Ansatzes ist, dass als Hardware nur handelsübliche Commodity-Geräte wie iPad oder iPhone benötigt werden (vergleiche Abbildung 2). Pilotprojekte haben den Einsatz von AR-Brillen untersucht, um das BIM-Modell in das Sichtfeld der Bauarbeiter und Führungskräfte zu bringen. Allerdings hat sich herausgestellt, dass diese Lösungen nicht praxistauglich sind. Schlechte Lichtverhältnisse oder Erschütterungen sind auf Baustellen alltäglich und machen diesen teuren Hardwaren zu schaffen. Smartphones und Tablets sind hingegen bereits auf Baustellen vorhanden und deren Umgang ist den meisten Personen vertraut. Eine Cloud-Lösung der App als Speicher ermöglicht einen einfachen Zugang zu den entsprechenden zu aktualisierenden Datensätzen. Hierbei werden unterschiedliche Zugangsberechtigungen bzw. Funktionen vergeben und nur einzelne Themengebieten den verschiedenen Akteuren freigegeben. Die für die KI notwendigen Berechnungen werden ebenfalls mittels Cloud Computing durchgeführt, um die Anforderungen an das Endgerät gering zu halten.

Folglich kann durch die simple Installation der clone:it App auch zusätzlich eine direkte Eigenkontrolle des Baustellenpersonals erfolgen. Die finale Abnahme der Bewehrung sollte aber auch in Zukunft von geeignetem externen Fachpersonal erfolgen. Hierbei kann die clone:it App als Unterstützung herangezogen werden und die durch das Bauen bedingten, immer vorhandenen Abweichungen, schneller aufzeigen. Die Experten müssen sich daher nicht mit der textlichen und bildlichen Dokumentation beschäftigen, sondern können ihre Kompetenz in die Bewertung und Lösung von aufgetretenen Problemen bzw. Abweichungen stecken. Die mit der clone:it App gewonnenen Scandaten, sichern die Qualität des Bauwerks und können darüber hinaus auch in zukünftigen Bauwerksadaptionen berücksichtigt werden.

Der nachfolgende Abschnitt beleuchtet die Funktionen der clone:it App sowie die Herausforderungen und Lösungen der papierlosen Baustelle, basierend auf aktuellen Entwicklungen und praktischen Erfahrungen aus Pilotprojekten.

3 Appfunktion clone:it

3.1 Inform

Das Modul Inform ermöglicht es, 3D BIM Modelle direkt auf der Baustelle im 3D-Viewer anzusehen oder mit AR in die Realität zu projizieren. Hierbei kann die AR-Projektion in der realen Modellgröße (Maßstab 1:1) oder in einem beliebigen Maßstab erfolgen (siehe Abbildung 3). Durch diese Visualisierung wird eine einfache, intuitive und präzise Informationsbeschaffung durch Interaktivität mit dem Modell ermöglicht.

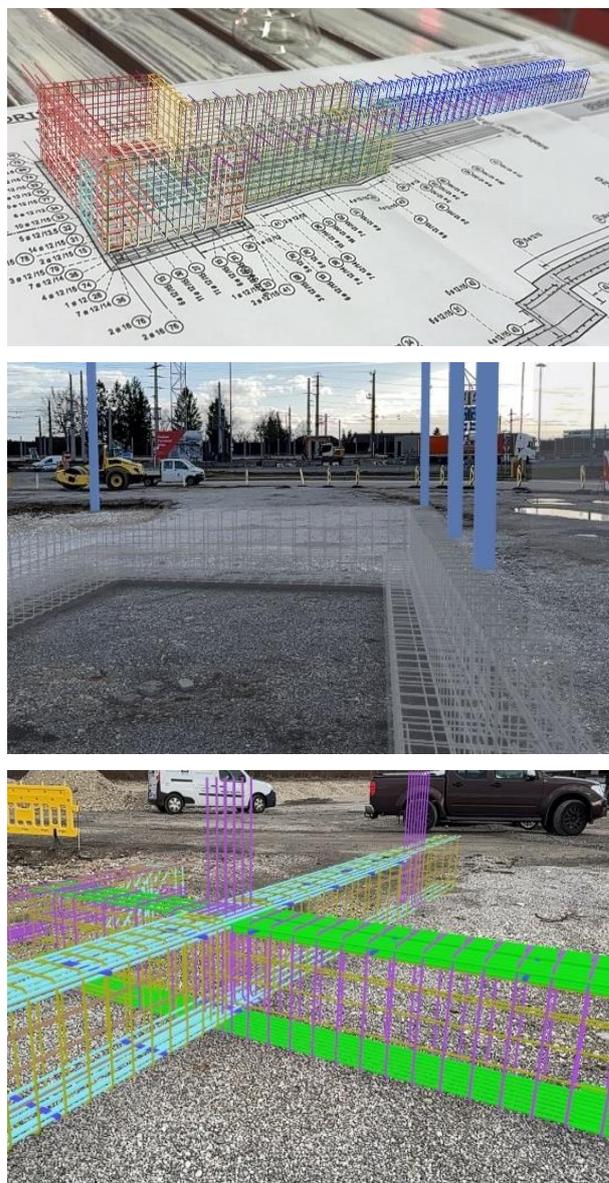


Abbildung 3 Beispiele für AR-Projektionen (oben: verkl. Maßstab auf den 2D-Plan; mittig & unten: 1:1 Modell auf der Baustelle)

Ausführungsrelevante Informationen wie Durchmesser, Anzahl, Abstand und Positionsnummer können durch einen Klick auf die Eisen abgerufen werden. Diese Lösung erleichtert somit das Verlegen der Bewehrung, indem die räumlichen Lagen dargestellt werden.

Das dreidimensionale BIM-Modell kann über eine Ordnerstruktur in der App oder über QR-Codes aus dem Cloudspeicher geöffnet werden. Die Pilotprojekte zeigen, dass der Zugriff über die Ordnerstrukturen, im speziellen bei Großprojekten, nicht für alle intuitiv gestaltet werden können. Vielmehr haben die QR-Codes Vorteile, da man direkt zum gewünschten Modell kommt. Bei bisher gewöhnlichen Baustellen mit Papierplänen, wird der QR-Code am Plankopf abgedruckt. Für die Entwicklung zur digitalen Baustelle wurde das Modellbuch als Booklet in Größe eines Smartphones entwickelt (vergleiche Abbildung 4). Jede Seite zeigt ein Bauteil und über den QR-Code kommt man zum richtigen stets aktuellen Planungsmodell. So hat jeder Facharbeiter und jede Führungsperson immer den aktuellen Planstand in der Hosentasche.



Abbildung 4 Modellhandbuch zur einfachen stets aktuellen Transmission der digitalen 3D BIM Modelle auf die Baustelle

3.2 Compare

Die clone:it Compare-Funktion dient vor allem der Bauaufsicht zur dokumentierten Abnahme und kann als Erweiterung der Funktion Inform gesehen werden. Mit AR wird das Planungsmodell mit der erstellten Konstruktion überlagert. Es erfolgt die augenscheinliche Kontrolle der Vollständigkeit und Lagerichtigkeit. In Abbildung 5 wird als Beispiel die Überlagerung der Bewehrung eines hochbewehrten Wandanschlusses gezeigt.



Abbildung 5 Vergleich des Soll-Zustandes mit dem Ist-Zustand bei einem Wandanschluss

Abweichungen zwischen Soll und Ist, können vom Fachpersonal direkt am BIM-Modell in der App, durch das Hinzufügen von Kommentaren dokumentiert werden. Abschließend wird automatisiert ein Bewehrungsabnahmeprotokoll erstellt (vergleiche Abbildung 6).

BEWEHRUNGSABNAHME PROTOKOLL

Projekt: _____
 Bauteil: _____
 Bauteilnummer: _____
 Datum/Zeit: _____
 Abgenommen durch: _____

5067 24052023

3D-Visualisierung

Durchgeführte Überprüfungen	Ergebnis
Vollständigkeit	✘
Durchmesser	✘
Abstände	✘
Winkligkeit	✘
Übergreifungslängen	✔
Ausparrungen	✔
Betondeckung	✔
Sauberkeit	✔

Positionsnummer	Anmerkung
1	Bewehrungsstab fehlt
1	Verdrehter Bewehrungsstab
1	Übergreifungslänge
17	Bewehrungsstab fehlt
17	Abstand zwischen Stäbe passt nicht

Unterschrift: _____
 Ort und Datum: _____

Seite 1 von 1

Abbildung 6 Beispiel eines möglichen Bewehrungsabnahmeprotokolls

3.3 Capture

Mit der clone:it Capture-Funktion erfolgt ein 3D-Scan mittels der Video- sowie Beschleunigungsdaten des Endgeräts. Hierfür wurden verschiedenen Technologien getestet, darunter der LiDAR-Scanner des iPhones. Jedoch zeigten die Tests, dass die NeRF-Technologie [6] (Neural Radiance Fields) in der Lage ist, die robustesten Punktwolken zur Erkennung von Bewehrungsstäben mit geringen Datenmengen, im speziellen bei schlechten Lichtverhältnissen, zu erzeugen. Durch die NeRF-Technologie können teilweise auch nicht einsehbare Flächen, durch die KI-basierte Berechnung konstruiert werden, was große Vorteile bei dichten verwinkelten Bewehrungskörben hat. Aus den berechneten 3D Punktwolken werden dann die semantischen Informationen rückabgeleitet. Die Entwicklung wurde in Kooperation mit dem außeruniversitären Forschungsinstitut VrVis GmbH [7] aus Wien sowie der SE3 Labs GmbH [8] aus München durchgeführt.

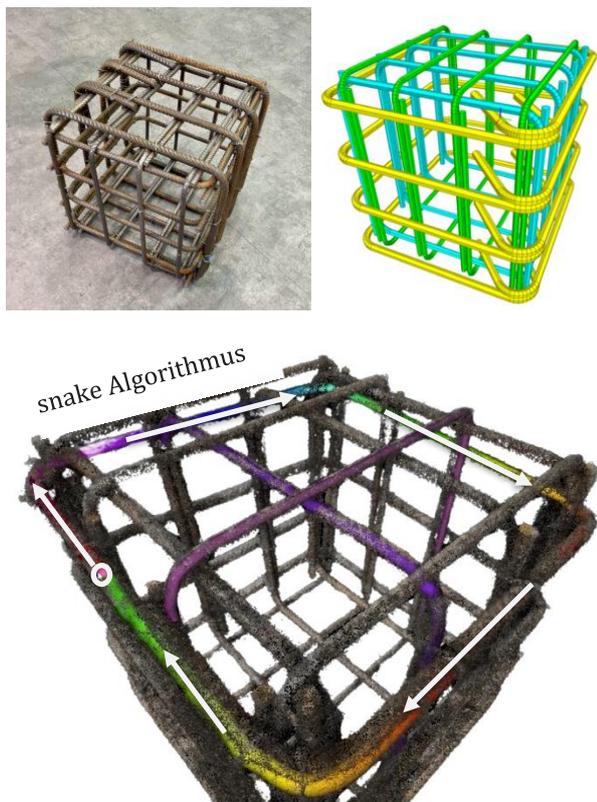


Abbildung 7 Beispiel Bewehrungswürfels (links oben: realer Würfel; rechts oben: BIM-Modell; unten: Punktwolke zur Rekonstruktion der semantischen Informationen via snake Algorithmus)

Als Beispiel für einen Scan mit der Funktion compare in der clone:it App, wird in Abbildung 7 ein Bewehrungswürfel dargestellt. Links oben ist dabei der Würfel als Foto der Realität zu sehen und rechts oben das 3D BIM Bewehrungsmodell (ifc-file). Unten mittig ist die durch den Scan berechnete 3D Punktwolke abgebildet. In dieser Punktwolke wird exemplarisch dargestellt, dass mit Hilfe eines eigens entwickelten snake Algorithmus, ein umlaufender Bügel erfasst wird und damit die semantischen Informationen wie Durchmesser, Längen, Form, Abstände und weiteres via einer KI-Dateninterpretation gewonnen wird. Dieser Ablauf ist in Tests bereits erfolgreich, muss aber noch für eine zuverlässige, schnelle, automatisierte und praktische Anwendung optimiert werden. Ziel ist es, dass die Funktion den Abgleich zwischen Realität bzw. berechneten Scan und dem digitalen 3D BIM Modell durchführt und Rückmeldungen zu Problemstellen gibt. Damit wird auch die Qualitätskontrolle der Bewehrung im digitalen Zeitalter angekommen sein.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Der vorliegende Beitrag zeigt, wie digitale Methoden auf der Baustelle genutzt werden können, um die Bewehrungsarbeiten zu revolutionieren. Traditionelle, optische Überprüfungen der Bewehrung mit papiermäßiger Dokumentation sind oft fehleranfällig und zeitaufwendig.

Die clone:it App stellt eine digitale Plattform als Lösung für die wesentlichen Herausforderungen mit effizienten Antworten dar. Durch die Projektion des digitalen BIM-Modells auf die reale Baustelle mittels AR ermöglicht die App eine direkte und interaktive Visualisierung der Bewehrung. Dies erlaubt eine präzise Überprüfung der Übereinstimmung zwischen Planung und Ausführung. Abweichungen können sofort erkannt und dokumentiert werden. Das Modellbuch dient als simpler Cloud-Zugang zu allen relevanten Modellen und Dokumenten, welche für die Bauarbeiten wesentlich sind.

Ein weiteres Highlight ist die Integration von künstlicher Intelligenz (KI) zur automatisierten Erkennung von Bewehrungsstrukturen anhand von 3D-Scans. Diese Technologie ermöglicht eine objektive und effiziente Qualitätskontrolle.

Zusammenfassend bietet die clone:it App eine umfassende Lösung für die Herausforderungen zur Digitalisierung der Bewehrungsarbeiten bzw. der Bewehrungskontrolle. Durch die interaktive Nutzung des BIM-Modells und dem Einsatz innovativer Technologien wie AR und KI wird ein neuer Standard für Qualität in der Bauindustrie gesetzt.

Durch die kontinuierliche Weiterentwicklung dieser Technologien und Methoden kann die papierlose Baustelle zukünftig noch effizienter und fehlerfreier gestaltet werden, was zu einer erheblichen Steigerung der Produktivität und Genauigkeit im Bauwesen führen wird.

In [9] wird aufgezeigt, dass man durch die ständige Beobachtung der Betoneigenschaften, die im EC 2 [10] fixierten Teilsicherheitsbeiwerte über die Wahrscheinlichkeitsbetrachtung reduzieren kann. Basierend auf einem Bewehrungsscan jedes Bauteils mitsamt der automatisierten Kontrolle der Lage lassen sich andere im EC 2 [10] definierte Sicherheitsbeiwerte, wie bspw. das Vorhaltemaß für Betondeckung oder ggf. auch teilweise die allgemeine Modellunsicherheit reduzieren.

Zukünftige Weiterentwicklungen der clone:it App werden folgenden Themen adressieren:

- Optimierung der Bilddaten

Ein Ziel ist es, die Größe der Bilddaten zu minimieren und dennoch dichte Punktwolken für die semantische Rekonstruktion zu erzeugen. Dies könnte die Rechenzeiten weiter verkürzen und die Anwendung auch auf größere Bewehrungsstrukturen ermöglichen, wodurch die praktische Anwendbarkeit der Technologie auf der Baustelle erhöht wird.

- Weiterentwicklung der NeRF-Methoden

Zukünftig sollen weitere NeRF-basierte Methoden evaluiert werden, die sich auf spezifische Anwendungsfälle spezialisieren, wie große und ungebundene Szenen, Bildqualität, wenige Eingangsbilder oder Online-Training. Diese Spezialisierungen könnten die Genauigkeit und Effizienz der Rekonstruktion weiter verbessern.

- Verbesserung der Benutzerführung

Ein weiterer Fokus liegt auf der Entwicklung von Benutzerführungen, die sicherstellen, dass alle relevanten Teile der Struktur erfasst werden. Visuelles

Feedback während der Aufnahme könnte eine gleichmäßige Verteilung der Kameraposen gewährleisten, was die Qualität der Datenerfassung und somit der 3D-Rekonstruktion verbessert.

5 Literatur

- [1] Hu, R., Pan W., Iturralde, K., Linner, T, Bock, T.: *Construction Automation and Robotics for Concrete Construction: Case Studies on Research, Development, and Innovations*, Proceedings of the 40th ISARC, Chennai, India, 2023
- [2] Lieb, H., Tue, N. V., Laggner, T. M.: *Modulare Konstruktionen im Hoch- und Brückenbau*, 5. Grazer Betonkolloquium 2022
- [3] Wegerer, P.: *Automatisierte Baufortschrittsüberwachung und eine Real-Time Terminplanaktualisierung*, Diplomarbeit, FH Joanneum, 2023
- [4] Mattuschka, L.: *Digitale Abrechnungsdokumentation – Entwicklung eines digitalen und transparenten Abrechnungsprozesses am konkreten Sanierungsbeispiel A9 Pyhrn Autobahn*, Diplomarbeit, FH Joanneum, 2023
- [5] clone:it GmbH: <https://www.cloneit.at>
- [6] Klenk, S., Koestler, L., Scaramuzza, D., Cremers, D.: *E-nerf: Neural radiance fields from a moving event camera*, In IEEE Robotics and Automation Letters, IEEE, volume 8, 2023
- [7] VRVis Zentrum für Virtual Reality und Visualisierung Forschungs-GmbH: <https://www.vrvis.at/>
- [8] SE3 Labs GmbH: <https://se3.ai/de/>
- [9] Tue, N. V., Hoang, K. H.: Mehr Wissen, größere Stichproben, 6. Grazer Betonkolloquium 2024
- [10] EN 1992-1-1, Eurocode 2: *Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*