

Risikobewertung, Sicherheitskonzept und Durchführung einer 3D-Vermessung für eine historische Gewässerverrohrung

Risk Assessment, Safety Concept and Realization of a 3D Survey for a Historic Water Tunnel

Benjamin Haske | Tobias Rudolph | Bodo Bernsdorf | Marius Koppe | Christoph Uphues

Zusammenfassung

Der Artikel beschreibt die 3D-Vermessung einer historischen Gewässerverrohrung unter der Henrichshütte in Hattingen. Aufgrund der schwierigen Bedingungen wie schnell wechselndem Wasserstand, Dunkelheit und baulicher Instabilität wurde zuvor ein umfassendes Sicherheitskonzept entwickelt. Das Projekt umfasste umfangreiche Vorarbeiten sowie die Durchführung von Laserscans und Polygonzugmessungen. Die Daten wurden zur Erstellung präziser digitaler Modelle verwendet, um die baulichen Zustände zu dokumentieren und zukünftige Sanierungsmaßnahmen zu planen. Die Zusammenarbeit zwischen Forschung und öffentlicher Verwaltung führte zu genauen Messergebnissen und einem sicheren Arbeitsumfeld.

Schlüsselwörter: Vermessung, Sicherheitskonzept, Laserscan, Tunnel

Summary

The article describes the 3D surveying of a historical water tunnel under the Henrichshütte in Hattingen. Due to challenging conditions such as fast changing water levels, darkness, and structural instability, a comprehensive safety plan was developed. The project involved extensive preliminary work and the execution of laser scans and polygonal surveys. The data was used to create precise digital models to document the structural conditions and plan future rehabilitation measures. The collaboration between research and public administration resulted in accurate measurements and a safe working environment.

Keywords: surveying, safety concept, laser scanning, tunnel

1 Einleitung

Der Paasbach ist ein linker Nebenfluss der Ruhr und fließt durch das Bergische Land bis zur Stadt Hattingen. Sein Einzugsgebiet, einschließlich aller Zuflüsse, umfasst etwa 33,6 km² (It.nrw 2024). Seit dem Bau der Henrichshütte – eines der größten Hüttenwerke des Ruhrgebiets – im Jahr 1854 war der Wasserbau aufgrund der beengten Flächen entlang der Ruhr stets eine Herausforderung. Im Zuge der Erweiterung des Stahlwerks wurde der Bach mehrfach verlegt, kanalisiert und letztendlich verrohrt, wobei der bedeutendste Umbau zwischen 1882 und 1894 stattfand (Rauterkus 1954; Westfälische Berggewerkschaftskasse 1880, 1912).

Im Laufe verschiedener Hüttenerweiterungen, Baumaßnahmen sowie der Ruhrverlegung in den 1950er Jahren wurden weitere Umbauten und Verlegungen vorgenommen, die jedoch, wenn überhaupt, nur ungenau dokumentiert wurden. Zusätzlich befindet sich der Tunnel in einem baulich sehr schlechten Zustand, was zusammen mit dem unklaren Verlauf und vor allem den unbekanntem Abständen zur Geländeoberfläche ein hohes Risiko für die über- und untertägige Infrastruktur birgt. Weitere erhebliche Beschädigungen durch das Starkregenereignis im Sommer 2021 haben die Stadt Hattingen dazu veranlasst, aufgrund dieses unklaren Verlaufes sowie des schlechten baulichen Zustandes eine Interessenbekundung für die exakte Vermessung der Verrohrung auszuschreiben, auf die sich mehrere Unternehmen gemeldet haben. Keines der interessierten Unternehmen platzierte jedoch ein Angebot auf

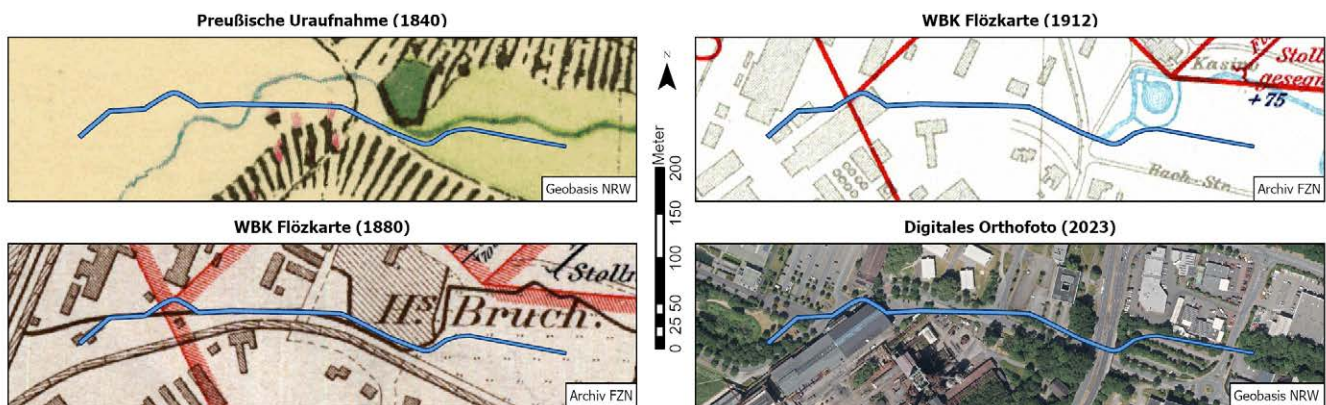


Abb. 1: Historischer Verlauf des Paasbaches in Hattingen-Welper vor und nach Bau der Henrichshütte. In Blau: der heutige Verlauf der Verrohrung, auch 1880 schon als Kanal erkennbar. Eigene Darstellung aus Daten von (Geobasis NRW 2024) sowie den Flözkarten der Westfälischen Berggewerkschaftskasse (WBK) von 1880 und 1912.

die darauffolgende Leistungsausschreibung zur 3D-Vermessung des Tunnels. Die Herausforderungen wurden spätestens bei der detaillierten Aufgabenbeschreibung oder nach einer initialen Begehung klar.

Eine sichere Begehung der heutigen Verrohrung ist nur bei niedrigen Wasserständen möglich. Aufgrund des großen Einzugsgebiets im Bergischen Land mit seinen speziellen meteorologischen Bedingungen (advektive Niederschläge) steigt die Wasserführung auch bei Niederschlägen im Hinterland schnell an. Durch einen erheblichen Zufluss von Grubenwasser aus verschiedenen Erbstollen (Engel 2023) ist die Durchflussmenge auch in regenarmen Zeiten relativ hoch, die Zeitfenster für eine Vermessung des fast 600 m langen Tunnelabschnittes sind daher sehr kurz und schwer vorherzusagen. Zusätzlich erschweren Dunkelheit, hohe Luftfeuchtigkeit, schlechte Wegsamkeit, niedrige Temperaturen, mögliche Schadstoffeinträge (MKULNV 2014) und ungeklärte hygienische Verhältnisse die Arbeiten für Menschen und Geräte enorm.

Bei der weiteren Suche nach Unterstützung für die Vermessung stieß der Fachbereich Tiefbau auf die Aktivitäten des Forschungszentrums Nachbergbau (FZN) an der Technischen Hochschule Georg Agricola (THGA) in Bochum. Das FZN verfolgt einen interdisziplinären Ansatz, um langfristig die Folgen des Bergbaus zu erforschen und Lösungen für die vielfältigen Herausforderungen anzubieten. Neben markscheiderischer und geodätischer Expertise verfügt das Team dabei unter anderem auch über Bergbauingenieure und Sicherheitsexperten, die sich gemeinsam mit studentischen Hilfskräften, dem Fachbereich Tiefbau und der Feuerwehr Hattingen der Aufgabe angenommen haben. Von besonderem Interesse für das FZN war außerdem die Möglichkeit, Forschungsansätze in der Praxis zu testen und neue Lösungen zu entwickeln.

Das Projekt wurde dazu in zwei Teile geteilt: Einerseits wurde die Tunnelvermessung geplant und andererseits wurde sichergestellt, dass in der beschriebenen Umgebung der höchste denkbare Sicherheitsstandard für die eingesetzten Teams umgesetzt wird, um Unfälle während der Arbeiten in der unsicheren Umgebung zu vermeiden. Nach einer kurzen Beschreibung des Sicherheitskonzepts werden in diesem Artikel vor allem die Vermessungsarbeiten erläutert und die Datenauswertung beschrieben.

2 Vorarbeiten

Um das anspruchsvolle Vermessungsprojekt trotz der schwierigen Bedingungen sicher und mit hoher Genauigkeit durchführen zu können, waren umfangreiche Planungen und Vorarbeiten notwendig. Neben der Erstellung und Umsetzung des Sicherheitskonzeptes wurden sowohl im Innen- als auch im Außenbereich der Verrohrung die notwendigen Vorbereitungen für den späteren, beidseitig angeschlossenen Polygonzug und die anschließenden Laserscans durchgeführt.

2.1 Sicherheitskonzept

Eine Kampagne wie die Vermessung einer untertägigen Strecke von rund 575 m in Dunkelheit, die von einem Bach aktiv durchflossen wird, muss vorab einer Gefährdungsanalyse unterliegen. Neben der eigentlichen Vermessungsaufgabe mussten verschiedene Vorbereitungen (Konsolenmontage, Metrierung) durchgeführt werden. Geplant war, Arbeiten zu parallelisieren, um die untertägige Aufenthaltsdauer zu minimieren. In Spitzenzeiten waren daher bis zu 14 Kolleginnen und Kollegen in der Verrohrung geplant.

Bei einer ersten Begehung fanden die Autoren eine komplexe bauliche Situation vor. Im Allgemeinen war die Höhe der Verrohrung angenehm für die Begehung, sieht man von einigen Unterzügen ab, die bei höherem Wasserstand gegebenenfalls zu einem Hindernis werden könnten. Demgegenüber war der Boden problematisch, da neben einigen Auskolkungen mit höherem Wasserstand Schotter des Paasbaches mit Sandbänken und schlammigen Bereichen abwechseln. Auch unsachgemäß entsorgter Müll machte das Vorankommen problematisch. Der unsichere Gang wurde durch die absolute Dunkelheit verstärkt, da die mitgeführten Helm- und Handlampen den Weg nicht immer optimal ausleuchteten.

Für die potenzielle Rettung verletzter Personen in einer Schleifkorbtrage ergaben sich schwierige Bedingungen. Als wesentliche Konsequenz ergab sich, dass bei allen weiteren Begehungen und spätestens bei der Vermessungsarbeit eine Möglichkeit zur Kommunikation mit der Außenwelt bestehen muss, um etwa Notrufe absetzen zu können. Denn nach wenigen Metern gab es keinen Mobilfunk-Kontakt mehr. Mit 575 m Länge zwischen den Mundlöchern könnte bereits ein verstauchter Fuß zur Herausforderung werden.

Als Konsequenz wurden weitere Begehungen mit Unterstützung der RAG Grubenwehr, der Feuerwehr Hattingen und des Fachbereichs Tiefbau der Stadt Hattingen durchgeführt. Alle brachten sich mit großer Kompetenz und Engagement in die Sicherheitsplanungen ein.

Im Projekt wurden intrinsische Gefahren erkennbar (Knorr 2010, Schneider 2016). Folgende Aspekte waren in der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen:

- Kommunikation/Notruf
- Beleuchtung/Lichtverhältnisse
- Untergrund/Wegsamkeit
- Fließendes Wasser (physikalische Gefahren)
- Hygienische Verhältnisse (chemische und biologische Gefahren)
- Atmosphäre/Wetter (Atemgifte)
- Temperatur/Wassertemperatur
- Handwerkliche Arbeiten/Baumaterialien/Werkzeuge
- Lange Wegstrecke (Materialtransport/Menschenrettung)
- Zuwegung/Restfahrten
- Eingesetztes Personal

Tab. 1: Projektspezifisches Wertesystem für Risikoklassen

Wahrscheinlichkeit	Schadensausmaß	Risikoklasse
1 – fast ausgeschlossen	1 – gering	Werte aus Multiplikation: 1–5 Risiko gering: keine Maßnahmen erforderlich 6–10 Risiko vorhanden: Maßnahmen zur Risikominderung erforderlich 11–25 Risiko hoch: Maßnahmen der Risikominderung unverzüglich/umfassend durchführen
2 – sehr unwahrscheinlich	2 – mittel	
3 – unwahrscheinlich	3 – hoch	
4 – wahrscheinlich	4 – sehr hoch	
5 – sehr wahrscheinlich	5 – katastrophal	

Im Sicherheitskonzept wurden diese Themen detailliert ausgearbeitet, da sie einzeln und besonders in Kombination zu einem hohen Schadensausmaß führen können. Im Wesentlichen ging es dabei um die Verletzungsgefahren und bleibende Schädigungen der eingesetzten Kräfte. Nach umfassender Bewertung wurde ein Todesrisiko ausgeschlossen, da beispielsweise nicht von einem (Teil-)Einsturz der Verrohrung während der Arbeiten ausgegangen wurde.

Alle erkannten Gefahren (Knorr 2010, Schneider 2016) wurden in dieser Art beschrieben und in einer umfassenden Beurteilungsmatrix integriert (Tab. 1). Jede Gefahr, die sich während der Arbeiten zu einem großen Risiko (hohe Eintrittswahrscheinlichkeit und im Ereignisfall hohes Schadensausmaß, Risikoklassen 12 bis 25 (Renn et al. 2007)) auswachsen kann, wurde daraufhin bewertet, ob sie mit Gegenmaßnahmen in eine akzeptable Risikoklasse eingestuft werden kann. Mit der Anwendung umfassender Sicherheitsmethoden, die zwischen dem FZN, der Feuerwehr Hattingen und der RAG Grubenwehr erarbeitet wurden, konnte dies erreicht werden. Beispiele sind eine entsprechende persönliche und spezielle Schutzausrüstung, redundante Beleuchtung, truppweises Vorgehen, ein ausführliches Kommunikations- und Funkkonzept sowie die unmittelbare Begleitung durch Rettungskräfte der Feuerwehr Hattingen während der Arbeiten und umfassende Schulungen/Übungen im Vorfeld.

Mit wenigen Einschränkungen konnte das Konzept im Wesentlichen umgesetzt werden. Die wichtigste Abweichung betraf den Bereich der Kommunikation, die aufgrund der Notwendigkeit, jederzeit Notrufe absetzen zu können, als essentiell eingestuft wurde. Im mittleren Bereich der Verrohrung ergaben sich unerwartet Probleme mit der Funkverbindung. Nicht allein der Kontakt zu den übertägigen Kräften, sondern auch zu denjenigen in der Verrohrung war betroffen. Ein Grund dafür wurde im deutlich höheren Wasserstand als bei den Vorbereitungen gesehen. Dadurch ergaben sich andere Reflexions- und Absorptionsbedingungen mit Auswirkung auf die gewählte 2 Meter-Kommunikation. Diese wurden durch die deutlich engeren Durchlässe unter mehreren Unterzügen verstärkt. Als Reaktion wurden die Teams auf längere Strecken in der Verrohrung verteilt und eine Melderkette aufgebaut. Explizit wurde auf die Fallback-Lösung, d. h. die Nutzung von Signalpfeifen als Teil der Persönlichen Schutzaus-

rüstung (PSA) im Notfall, hingewiesen. Durch eine zusätzliche Übertageposition konnte zudem eine weitere Tagesöffnung durch die Feuerwehr Hattingen besetzt werden. Dadurch konnte die Kommunikation sichergestellt werden.

Als Fazit ist zu ziehen, dass eine derartige Vermessungskampagne nicht nur fachlich, sondern auch sicherheitstechnisch extrem gut vorbereitet werden muss. Nur dann lässt sich der Arbeitsschutz in der ungewohnten Arbeitsumgebung sicherstellen. Die Kampagne konnte ohne Unfall durchgeführt werden, weil sich alle eingesetzten Kräfte gut auf die Situation vorbereitet (bspw. in Funkübungen oder dem Anlegen und der Nutzung der PSA) und das Konzept verinnerlicht hatten.

2.2 Vermessungsarbeiten im Außenbereich

Im Zuge der ersten Begehung 2021 wurde mit einer Vermessungsdrohne vom Typ DJI Phantom 4 RTK ein Raster abgeflogen, um sich ein Bild von der übertägigen Situation sowie der Umgebung der beiden Tunnelportale zu verschaffen. Mit Hilfe gängiger Photogrammetrie-Software konnte dann per Structure-from-Motion (Westoby et al. 2012) ein hochaufgelöstes Orthofoto erstellt werden, das als Basislayer für spätere Kartenprodukte dient. Die Bodenauflösung ist hierbei mit 2,5 cm/px deutlich besser als die ohnehin schon sehr guten Daten von Geobasis NRW (10 cm/px) (Geobasis NRW 2024).

Zur Vorbereitung der Vermessung im Tunnelinneren wurden im Außenbereich der beiden Portale mehrere Anschlusspunkte mittels GNSS und SAPOS-Verbindung (Geobasis NRW 2024) eingemessen und fest vermarktet. Durch eine Mehrfachmessung mit entsprechend vielen Epochen zu unterschiedlichen Zeitpunkten und anschließender Ausgleichung der Ergebnisse konnte eine zufriedenstellende Genauigkeit erreicht werden. Da sich beide Tunnelportale in tiefen, stark bewachsenen Geländeinschnitten befinden, wurden zur Kompensation der schwierigen Sichtverhältnisse mehr Punkte als notwendig vermarktet. So konnte bereits bei der ersten Stationierung und Orientierung des Tachymeters für den Polygonzug und die spätere Ausgleichsrechnung eine Überbestimmung erreicht werden.

2.3 Vermarkung im Innenbereich

Innerhalb des Tunnels wurden von verschiedenen Trupps unter hohen Sicherheitsvorkehrungen verschiedene Arten von Punkten vermarktet. Um vor allem im Notfall, aber auch für die späteren Vermessungsarbeiten die Orientierung und die Weitergabe der eigenen Positionen zu erleichtern, wurde zunächst an der rechten Tunnelwand (in Fließrichtung) ein Längenmaß per Messband aufgenommen. Diese Metrierung wurde alle 10 m als Meißelzeichen und alle 50 m als Bolzen mit Metermarke markiert (siehe Abb. 2). Die dabei manuell gemessene Tunnellänge von 574,57 m konnte durch spätere Tachymetermessungen bestätigt werden.



Abb. 2: Als Bolzen vermarkter und mit Plakette gekennzeichnete Messpunkt der Metrierung. Die verschiedenen Baumaterialien aus der Tunnelhistorie sind gut erkennbar.



Abb. 3: Messung des Polygonzuges in der Gewässerverrohrung mit beweglichen Konsolen in entsprechender Schutz-ausstattung

Zusätzlich zu den Messpunkten wurden an der gegenüberliegenden Tunnelwand weitere Messbolzen als Passpunkte angebracht, um eine spätere direkte Georeferenzierung des Laserscans durch direktes Aufhalten des GeoSLAM ZEB Horizon zu verbessern. Als Backup wurden zusätzliche 2D Scantargets angebracht und eingemessen, die im Post-Processing jedoch nur noch zur Validierung dienten.

Zur Vorbereitung des Polygonzuges wurden auch die späteren Tachymeter-Standpunkte erkundet. Da die Tunnelsohle aufgrund von Sedimenten wenig stabil und nicht konstant ist, wurden die Standpunkte als Wandkonsolen ausgeführt. Aufgrund der Auflage, dass keine Objekte dauerhaft in den Tunnel ragen dürfen, um einen Wasser-rückstau bei Starkregenereignissen zu vermeiden, wurden Konsolen mit abnehmbaren Armen verwendet (siehe Abb. 3). Im Falle eines Messfehlers oder eines plötzlichen Abbruchs während der Messung wäre der Polygonpunkt daher nicht ohne weiteres exakt wiederherstellbar. Zumindest konnten aber die Aufnahmeplatten in der Messvorbereitung fest fixiert werden. Zusammen mit den Experten des Fachbereichs Tiefbau der Stadt Hattingen wurden außerdem die zu erfassenden Schäden, Zuläufe, querende Leitungen und andere Sonderpunkte nummeriert und für die Einmessung markiert.

3 Vermessungsarbeiten im Tunnel

Aufgrund des sehr feuchten Frühjahrs und Sommers 2023 und des damit verbundenen hohen Wasserstandes des Paasbaches hatte sich der Beginn der Vorbereitungen und Vermessungen im Tunnel immer wieder verzögert. Ende August konnte jedoch ein kurzes, trockeneres Zeitfenster von wenigen Tagen identifiziert und für die Umsetzung des Projektes genutzt werden. An jeweils drei Tagen wurden die bereits beschriebenen Vorarbeiten, die Polygonzugmessung im Tunnel und die anschließenden Laserscans unter hohen Sicherheitsauflagen durchgeführt.

3.1 Polygonzug

Zur hochgenauen Erfassung aller Pass- und Sonderpunkte sowie der Tunnelgeometrie wurde ein beidseitig angeschlossener Polygonzug mit Zwangszentrierung durchgeführt. Eine besondere Herausforderung stellte neben den schwierigen Sichtverhältnissen und dem unebenen Gelände die Kommunikation des Messtrupps auch über Funk dar. Daher wurden alle Abläufe (Wechsel der Konsolenarme, Auf- und Abbau der Reflektoren und des Tachymeters, Horizontierung und Orientierung, Polaraufnahme der Neupunkte) im Vorfeld detailliert einstudiert.

So konnten trotz aller Herausforderungen von 10 Standpunkten aus insgesamt 25 Passpunkte, 38 Sonderpunkte, 54 größere Schäden, 10 Wasserzuläufe sowie 60 Decken-, Wand- und Sohlenpunkte gemessen und dokumentiert werden.

3.2 Laserscans

Die 3D-Laserscans wurden mit einem mobilen Laserscanner der Firma GeoSLAM (heute: FARO) vom Typ ZEB Horizon durchgeführt, der explizit für schwierige

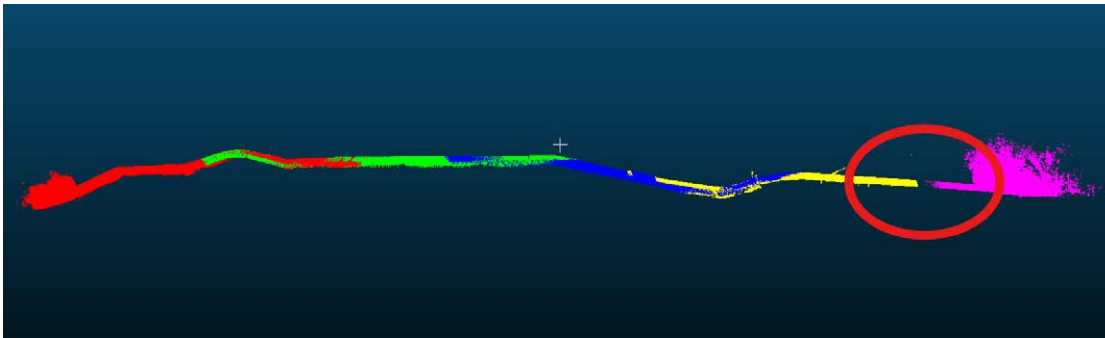


Abb. 4: Darstellung der überlappenden Einzelscans sowie der Scanlücke im Bereich der Betonröhren (rote Markierung)

Umgebungen wie den Berg- und Tunnelbau entwickelt wurde. Der Einsatz eines terrestrischen Laserscanners schied aufgrund des unebenen Untergrundes und der geringen Tragfähigkeit der Konsolhalterungen in den porösen Tunnelwänden aus.

Zur Kompensation der Drift des SLAM-Algorithmus (Simultaneous Localization and Mapping) (Magnabosco und Breckon 2013) wurde die Erfassung des Tunnels in vier Abschnitte mit mindestens 30 % Überlappung und jeweils genügend Passpunkten aufgeteilt. Die einzelnen Scans wurden zur Erhöhung der Genauigkeit als Schleifen mit gleichem Start- und Endpunkt durchgeführt. Eine besondere Herausforderung stellte ein 170 m langer, als Betonröhre ausgeführter Abschnitt am Tunnelleingang dar. Aufgrund der langgestreckten Geometrie und der Homogenität der Oberfläche konnte der SLAM-Algorithmus auch mit zusätzlichen Objekten als Referenzen keine geschlossene Punktwolke erzeugen, sodass noch eine Nachmessung sowie Interpolation der Ergebnisse für eine etwa 20 m große Lücke durchgeführt werden musste (siehe Abb. 4).

4 Datenauswertung

Zur Auswertung der Daten wurden diese zunächst in den (meist proprietären) Softwareprodukten der Geräteherstel-

ler vorverarbeitet. Als erstes Ergebnis lagen Punktkoordinaten der GNSS- und Polygonzugmessungen sowie georeferenzierte und vorgefilterte Laserpunktwolken vor. Die GNSS- und Tachymetermessungen wurden anschließend mit Hilfe von Cremer CAPLAN ausgeglichen und damit die Güte der Punktkoordinaten verbessert. Die Filterung, Registrierung und Ausrichtung der Punktwolken wurde mit der freien Software CloudCompare durchgeführt. Eine Herausforderung war dabei ein Drift der Laserpunktwolken in Z-Richtung, der vermutlich durch die fehlende untere Grenzfläche (Wasserreflexion) verursacht wurde. Durch eine hohe Überlappung und genügend Passpunkte konnte dies jedoch größtenteils korrigiert werden. Die für die Sanierungsplanung wichtigen Querprofile wurden anschließend in PointCab erstellt. In Abb. 6 ist das hohe Rauschen des Laserscans zu erkennen, das durch die schwierigen Bedingungen in der Verrohrung (hohe Luftfeuchtigkeit, Staub, Insekten, Wasserreflexionen) verursacht wurde.

Zur Erstellung von CAD- und GIS-fähigen Produkten wurden die verschiedenen Datensätze des Weiteren in Esri ArcGIS Pro fusioniert und umfangreiche räumliche Analysen durchgeführt (siehe Abb. 5). Beispielhaft sei hier der Verschnitt der Tunneldecke mit dem öffentlich bereitgestellten digitalen Höhenmodell genannt. Hieraus konnte sowohl eine flächige Darstellung des Abstandes von Tunneldecke zu Geländeoberkante sowie durch Interpolation der Tunnelsohle auch ein Längsschnitt erstellt werden.

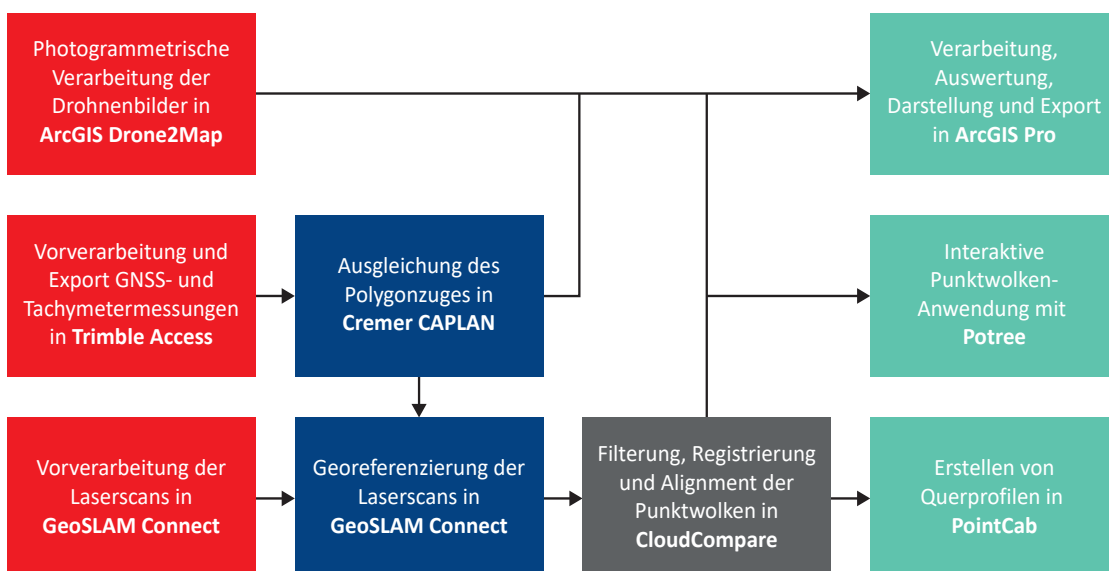


Abb. 5: Workflow zur Erstellung verschiedener Geodatenprodukte auf Basis der erfassten Rohdaten

5 Vermessungstechnische Produkte und ihre Verwendung

Neben der Dokumentation der verschiedenen Einzelpunkte mit Koordinaten, Beschreibung und Foto konnten der Stadt Hattingen zur weiteren Planung diverse Unterlagen übergeben und vor dem Ausschuss »Bauen und Wohnen« vorgestellt werden. Neben den verschiedenen Rohdaten, Querprofilen (siehe Abb. 6) und Dokumentationen waren dies vor allem CAD- und GIS-fähige Produkte, die die 3D-Geometrie der Verrohrung sowie ihrer Schäden und sonstiger Objekte georeferenziert im Landeskoordinatensystem darstellen. Mit dem digitalen Orthofoto als Basislayer und weiteren Daten aus dem Kataster sind zusätzlich einfache, druckfähige Kartenwerke mit verschiedenen Schwerpunkten und thematischen Symbolisierungen erstellt worden. Außerdem wurde auf Basis der freien Software Potree ein Standalone-Viewer programmiert. Mit diesem können die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Stadtverwaltung ohne Zusatzsoftware den gescannten Tunnel in 3D untersuchen, Maße nehmen und über die Intensitätsdarstellung sogar weitere Schadstellen identifizieren. Schäden wie Betonabplatzungen mit korrodierter Bewehrung, korrodierte Stahlträger und Durchfeuchtungen der Decken und Wände mit Ausblühungen sowie querende Leitungen und Zuläufe können genau lokalisiert und die Anzahl und Flächen der Schäden einfach erfasst werden. Mit den vorliegenden vermessungstechnischen Produkten werden derzeit weitere Untersuchungen zum Zustand der Gewässerverrohrung sowie hinsichtlich statischer und konstruktiver Aspekte und einer hydraulischen Berechnung durchgeführt. Darauf aufbauend werden weitere bauliche Maßnahmen zur Gewässerverrohrung geplant und Möglichkeiten einer Sanierung entwickelt. Als Sofortmaßnahme wurde die Straße, unter der der Tunnel größtenteils

verläuft, für den genehmigungspflichtigen Schwerlastverkehr gesperrt.

6 Fazit und Ausblick

Die Forschungsfragen des Projektes (3D-Lokalisierung von Schadstellen, Zuflüssen und Querungen, Geländeüberdeckung, Querprofile, Deformationen) konnten im Zusammenspiel zwischen Wissenschaft und öffentlicher Verwaltung gemeinsam beantwortet werden. Obwohl im Rahmen der Forschungskoopeation keine Anforderungen dieser Art gefordert waren, erreichten die Messungen des Forschungszentrums Nachbergbau trotz schwieriger Bedingungen hohe Genauigkeiten. Neben den verarbeiteten Messergebnissen konnte der Stadt Hattingen auch ein tragfähiges Sicherheitskonzept sowie fest vermarkte Anschlusspunkte innerhalb des Tunnels übergeben werden, die für kommende Sanierungsplanungen und -arbeiten nutzbar sind.

Die Zusammenarbeit soll außerdem in einer weiteren Forschungskoopeation fortgeführt und vertieft werden. Ziel ist die Entwicklung eines neuartigen Ansatzes für ein BIM-konformes 3D-Modell des Tunnels auf Basis der vorherigen Vermessungen. Gleichzeitig soll hierbei eine erste bautechnische Beschreibung des Bauwerkes erfolgen, so dass diese Ergebnisse direkt in das BIM-Modell einfließen können.

Danksagungen

Die Autoren danken allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern und studentischen Hilfskräften des Forschungszentrums Nachbergbau sowie des Fachbereichs Tiefbau der Stadt Hattingen für die Unterstützung des Projektes über

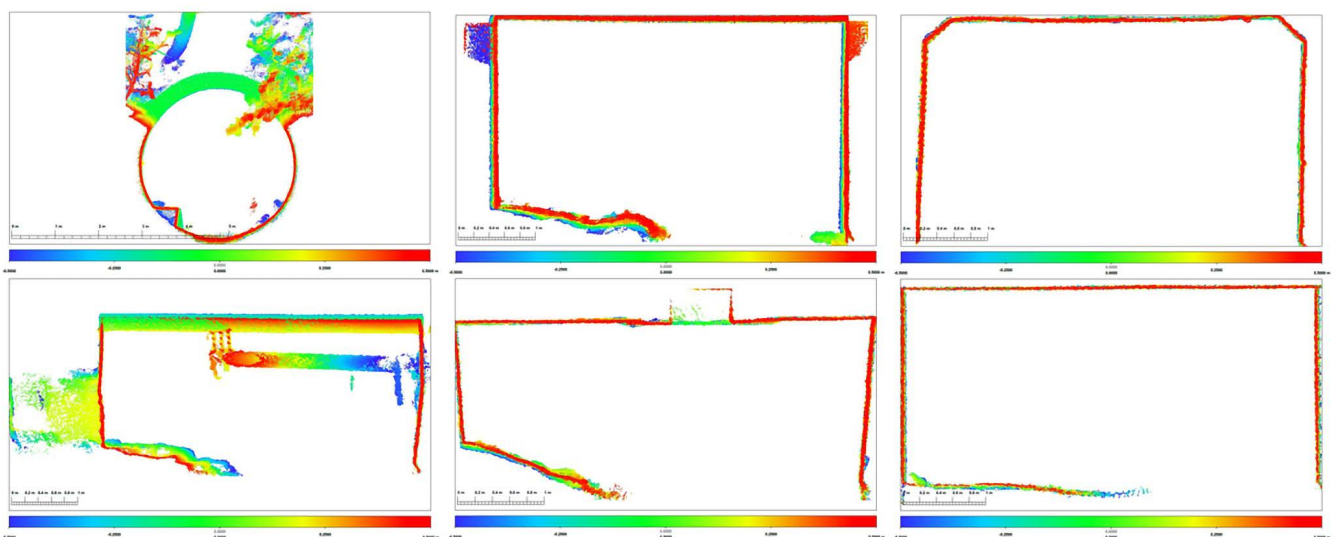


Abb. 6: Beispielhafte, 1 m breite Querprofile des Tunnels, extrahiert aus der zusammengesetzten Punktwolke. Die Farbskala von Blau bis Rot zeigt die Position der Punkte innerhalb des Profils in Blickrichtung. Punkte in Blau sind weiter entfernt vom Beobachter (+50 cm von der Mitte des Profils), während Punkte in Rot näher am Beobachter liegen (-50 cm). Die Deformation des Tunnels, das Fehlen der unteren Grenzfläche (Wasser) und die Streuung des Scanners sind gut erkennbar.

und unter Tage sowie bei der Verarbeitung der Ergebnisse. Besonderer Dank geht an die Feuerwehr Hattingen und die Grubenwehr der RAG AG für die Unterstützung bei der Erstellung und Umsetzung des Sicherheitskonzeptes sowie den Mitarbeitern des Bachelorstudiengangs Vermessungswesen der THGA für die Bereitstellung von Vermessungsgeräten und Unterstützung bei der Datenauswertung.

Literatur

- Engel, D. (2023): Dokumentation der Erbstollen im südlichen Ruhrgebiet. Unveröffentlichte Projektdokumentation. Forschungszentrum Nachbergbau, Technische Hochschule Georg Agricola.
- Geobasis NRW (2024): www.bezreg-koeln.nrw.de/geobasis-nrw/produkte-und-dienste, letzter Zugriff 02/2024.
- It.nrw (2024): www.elwasweb.nrw.de/elwas-web/index.xhtml, letzter Zugriff 06/2024.
- Knorr, K.-H. (2010): Die Gefahren der Einsatzstelle. 8., überarb. und erw. Aufl. Stuttgart: Kohlhammer.
- Magnabosco, M., Breckon, T.P. (2013): Cross-spectral visual simultaneous localization and mapping (SLAM) with sensor handover. In: *Robotics and Autonomous Systems* 61 (2), S. 195–208. DOI: 10.1016/j.robot.2012.09.023.
- Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV) (Hg.) (2014): Steckbriefe der Planungseinheiten in den nordrhein-westfälischen Anteilen von Rhein, Weser, Ems und Maas. Oberflächengewässer und Grundwasser – Teileinzugsgebiet Rhein/Ruhr.
- Rauterkus, H. (1954): Ein Jahrhundert Henrichshütte Hattingen. 1854 bis 1954. Darmstadt: Hoppenstedt.
- Renn, O., Schweizer, P.-J., Dreyer, M. (2007): Risiko. Über den gesellschaftlichen Umgang mit Unsicherheit. München: Oekom-Verl.
- Schneider, K. (2016): Kommentar zum BHKG NRW. 9. erweiterte und überarbeitete Auflage. Kohlhammer. Stuttgart.
- Westfälische Berggewerkschaftskasse (WBK) (1880): Flötzkarte [sic] des Westfälischen Steinkohlenbeckens. Kartenarchiv des Forschungszentrum Nachbergbau.
- Westfälische Berggewerkschaftskasse (WBK) (1912): Flözkarte des Westfälischen Steinkohlenbeckens. Kartenarchiv des Forschungszentrum Nachbergbau.
- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N.F., Hambrey, M. J., Reynolds, J.M. (2012): »Structure-from-Motion« photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. In: *Geomorphology* 179, S. 300–314. DOI: 10.1016/j.geomorph.2012.08.021.

Kontakt

Dipl.-Ing. Univ. Benjamin Haske, M.Eng. | Prof. Dr. Tobias Rudolph | Dr. Bodo Bernsdorf | Marius Koppe, B. Eng.
Forschungszentrum Nachbergbau
Technische Hochschule Georg Agricola
Herner Straße 45, 44787 Bochum
benjamin.haske@thga.de | tobias.rudolph@thga.de | bodo.bernsdorf@thga.de | marius.koppe@thga.de

Christoph Uphues, M. Sc.
Stadt Hattingen – Fachbereich Tiefbau
Engelbertstraße 3-5, 45525 Bochum
c.uphues@hattingen.de

Dieser Beitrag ist auch digital verfügbar unter www.geodaesie.info.