|  |  |
| --- | --- |
| Case Study |  |

**Sehen, was kommt.**   
**Kamerasystem eröffnet Tunnelbohrmaschinen ganz neue Sichtweisen**

***Hochauflösende, in den Bohrkopf einer Tunnelbohrmaschine montierte Kameras ermöglichen eine strukturelle Analyse und geologische Dokumentation der Ortsbrust.***

Tunnelbohrmaschinen (TBM) werden zunehmend bei Großprojekten, wie beispielweise dem Brenner Basistunnel (BBT) in den Österreichischen Alpen, eingesetzt. Vollschnitt-TBM (Vollschnittmaschinen) sind mobile, elektronisch gesteuerte Bohrmaschinen, die zum Vortrieb beim Bau von Tunneln eingesetzt werden. Sie durchbohren den Felsen mit einem rotierenden Bohrkopf, entfernen das Ausbruchsmaterial (das abgebaute Material) und sichern je nach Bauart die gebohrte Tunnellaibung mittels Spritzbeton, Gebirgsanker und Gitterträger oder vorgefertigter Stahlbetonsegmente. Sie erlauben höhere Vortriebsraten als andere Vortriebsmethoden (z. B. Sprengen), geringe, die Bebauung an der Oberfläche beeinflussende Setzungen und bieten eine hohe Arbeitssicherheit für die Mineure. Etwa 70 % der Arbeiten am Brenner Basistunnel werden von bis zu sechs TBM gleichzeitig durchgeführt. (Siehe Brenner Basistunnel BBT SE, www.bbt-se.com/).

Trotz des häufigen Einsatzes von TBM ist die baugeologische Dokumentation der Ortsbrust, vor allem bedingt durch Sichtbehinderungen, im Vergleich zu konventionellen Tunnel-vortrieben weniger aussagekräftig. Beim konventionellen Tunnelbau erfolgt die geologische Kartierung im Allgemeinen durch den Geologen und wird nicht durch eine behinderte Sicht auf die Ortsbrust beeinträchtigt. Beim mechanisierten Tunnelbau wird die Sicht auf die Ortsbrust jedoch durch den Bohrkopf versperrt. Es gibt nur wenige Öffnungen im Bohrkopf wie den Räumer sowie Mannlöcher, was die Aussagekraft der geologischen Aufnahme der Ortsbrust einschränkt.

In Zusammenarbeit mit der Geodata GmbH, einem führenden Anbieter von Informationstechnologie für den Untertagebau, hat das Institut für Subsurface Engineering der Montanuniversität in Leoben, Österreich, ein Kamerasystem für Bohrmaschinen entwickelt, das bei Tunnelbauprojekten eingesetzt werden und zur Lösung dieses Problems beitragen kann. Das Projekt wurde in Kooperation mit dem Bildverarbeitungsexperten und Vertriebspartner von Allied Vision, Stemmer Imaging in Puchheim, Deutschland, realisiert.

**Projekt Brenner Basistunnel**Das Kamerasystem wird im Rahmen des aktuellen F&E-Projekts TBMonitor entwickelt und beim TBM-Vortrieb im Hartgestein des Brenner Basistunnels in der Praxis getestet. Den Zuschlag für dieses Baulos (Tulfes-Pfons) erhielt die Bietergemeinschaft ARGE Tulfes Pfons, bestehend aus der österreichischen Strabag AG und der italienischen Salini-Impregilo S.p.A. Das in die Scheibengehäuse montierte Kamerasystem liefert hochauflösende Bilder und farbcodierte Reliefdarstellungen der gesamten Ortsbrust. Die flächenmäßigen Anteile unterschiedlicher in der Ortsbrust vorkommender Lithologien, die räumliche Lage von Trennflächen, der Zerlegungsgrad sowie die Tiefe von Ausbrüchen können so bestimmt werden. All diese wichtigen Informationen ermöglichen eine geotechnische Bewertung der Ortsbrust sowie Überprüfung der Richtigkeit des angenommenen geologischen Modells, sodass ein für Auftraggeber und -nehmer gleichermaßen transparentes Verhalten der Ortsbrust ersichtlich und ein durch weniger Komplikationen behinderter Vortrieb gewährleistet ist.

**Kamerasystem**Um den erfassten Ortsbrustbereich zu vergrößern, wurde ein kamerabasiertes System entworfen, das leicht ist und flexibel in verschiedene Diskenkästen montiert werden kann. So können TBM ohne zusätzliche Kamera-Öffnungen mit dem Kamerasystem ausgerüstet werden. Nach Beendigung eines Bohrhubes muss der Bohrkopf der TBM jeweils ein paar Zentimeter zurückgezogen und das Ausbruchmaterial zwischen Bohrkopf und Ortsbrust abtransportiert werden, um zu verhindern, dass dieses Material durch die Räumer herunterfällt. Dieser Arbeitsschritt ist einerseits für die Arbeitssicherheit des Bedieners erforderlich und dient andererseits zur Vermeidung einer Beschädigung des Kamerasystems während des Einsatzes. Die Anzahl der Kameramontagen lässt sich individuell auf den jeweiligen Abstand einstellen, um den der Bohrkopf von der Ortsbrust zurückgezogen wird. Das Kamerasystem kann sowohl mit einer als auch mit mehreren Kameras angewendet werden.

Die Kamera-Einheit umfasst eine robuste Kamera, die für den Einsatz unter extremen Umgebungsbedingungen und schwankenden Lichtverhältnissen entwickelt wurde, zusammen mit einem 5-mm-Objektiv mit Festbrennweite. Die Prosilica GT2000 GigE Vision Kamera von Allied Vision mit einem 2,2-Megapixel-CMOS-Sensor bietet eine P-Iris-Objektivsteuerung (Präzisionssteuerung), die die Blendenöffnung, die Schärfentiefe, die Belichtungszeit sowie die elektronische Lichtverstärkung (Gain) für eine optimale Bildqualität präzise regelt, ohne dass zusätzliche Bedienelemente benötigt werden. Ausgerüstet mit der Power-over-Ethernet-Funktion (PoE) kann die Kamera mit einem einzigen Kabel sowohl für die Stromversorgung als auch für den Datentransfer betrieben werden, was die Integration des Kamerasystems in den Bohrkopf sehr einfach gestaltet.

In Verbindung mit Blendeneinstellungen bieten das Objektiv und ein speziell entwickelter LED-Ring ein breites Schärfentiefenspektrum von etwa 20 bis 200 cm. Der LED-Ring mit mehr als 10.000 Lumen ermöglicht eine gute Ausleuchtung von Ausbrüchen in der Ortsbrust von mehr als 1 m Tiefe. Er blitzt mit einer Dauer von 4 Millisekunden, die ausreicht, um Bewegungsunschärfe zu verhindern, die die photogrammetrische Auswertung der Bilder beeinträchtigen würde. Die Kamera ist auf eine kontinuierliche automatische Belichtung innerhalb des selektierten Bildbereichs (RoI) eingestellt. Die Belichtungszeit wird für jedes Bild aktualisiert, um so eine gleichmäßige Ausleuchtung der Bilder sowohl von den Hohlräumen als auch von der stabilen Ortsbrust zu gewährleisten. Damit wird vermieden, dass einzelne Abschnitte der Ortsbrust über- oder unterbelichtet werden. Die Bilder lassen sich durch eine Fotogrammetrie-Software somit gut auswerten.

Für die Bildaufnahme wird der Bohrkopf manuell um etwas mehr als 360° im Leerlauf gedreht. Danach werden die Kameras nach jeder Umdrehung herausgenommen und in einem weiteren Diskenkasten wieder installiert. Je nach Abstand zwischen Bohrkopf und Ortsbrust können die Abstände zwischen einzelnen Kameraspuren individuell gewählt werden.

**Steuereinheit**Die Steuereinheit besteht aus einem PC, der Stromversorgung und einem einachsigen Neigungssensor. Darüber hinaus bietet die Steuereinheit Schnittstellen zu mehreren Kameras, die parallel betrieben werden können, um so den Messvorgang gegebenenfalls beschleunigen zu können. Kamera und Steuergerät sind über ein Kabel der Kategorie 7 verbunden, so dass mehrere Aufnahmen pro Sekunde (10-Gigabit-Ethernet) übertragen werden können. Die Stromversorgung wird durch ein mehrpoliges Kabel gewährleistet.

Die Steuereinheit ist im Diskenkasten der Doppeldisken nahe dem Rotationszentrum des Bohrkopfes montiert. Die Kamera-Steuerung, die über den PC läuft, basiert auf dem Software Development Kit namens Vimba von Allied Vision. Dieses löst die Kamera mit einer festen Bildrate von 2 Bildern pro Sekunde aus, so dass eine ausreichende Bildüberlappung und ein Überschuss an Bildern gewährleistet sind. Die Steuereinheit ist so eingestellt, dass sie automatisch nach dem Hochfahren des PC die Bildaufzeichnung startet. Mit jedem Start der Bildaufzeichnung wird ein neues Verzeichnis erstellt, in dem die Bilder gespeichert werden. Um eine Interaktion mit der Kamerasteuerung unter den schwierigen Bedingungen des Bohrkopfes so weit wie möglich zu vermeiden, ist keine direkte Eingabe in das System erforderlich. Der PC kann mittels eines Android-Geräts (z. B. über ein Smartphone) ferngesteuert werden, um u. a. die Qualität der aufgenommenen Bilder zu prüfen.

Die Steuereinheit ist mit einem Neigungssensor ausgestattet, der ein gemeinsames Koordinatensystem für alle im Rahmen eines Messvorgangs aufgenommenen Bilder erstellt. Jedem Bild wird ein Winkelwert zugewiesen, der vom Neigungssensor abgerufen wird, sobald die Kamera den Event einer Bildaufnahme auslöst. Der Neigungswinkel und die bekannte Relativposition des Diskenkastens ermöglichen die Bestimmung der absoluten Position der Kamera im 3D-Referenzkoordinatensystem des Bohrkopfes, das wesentliche Informationen für die fotogrammetrische Auswertung liefert.

**Fotogrammetrische Auswertung**Zur genauen Bestimmung von Position und Form von Objekten in einem 3D-Raum wird eine fotogrammetrische Auswertung angewendet. Die Fotogrammetrie verwendet verschiedene Mess- und Auswertungsmethoden, um digitale Bilder zu analysieren und daraus ein 3D-Modell zu erstellen. Bei der fotogrammetrischen Prozessierung der Bilder entschied sich das Institut für Subsurface Engineering für PhotoScan von Agisoft LLC, da diese Software über eine Python-Programmierschnittstelle (Application Programming Interface) verfügt. Sie erlaubt einen hohen Automatisierungsgrad der Prozessierung. Ein Aufnahmevorgang der gesamten Ortsbrust kann aus mehr als tausend überlappenden Bildern bestehen. Mit Hilfe von PhotoScan lassen sich die vom Bediener manuell durchzuführenden Schritte auf die Auswahl von zwei Dateien reduzieren: einer Kamerakalibrierungsdatei und einer Textdatei, die Orientierungsdaten enthält, wie beispielsweise die Positionen, wo die Bilder im Bezug auf das Koordinatensystem aufgenommen wurden.

Am Ende des hochautomatisierten fotogrammetrischen Workflows wird nicht nur eine präzise 3D-Rekonstruktion der gesamten Ortsbrust berechnet. Ein hochauflösendes Orthofoto (verzerrungsfreie, maßstabsgetreue Darstellung der Oberfläche) mit gleichmäßiger Ausleuchtung, das sowohl die Ausbrüche als auch die standfesten Bereiche der Ortsbrust abbildet, zeigt nicht sichtbare Details, die hinter dem Bohrkopf liegen. Auf Grundlage dieses Bilds wird außerdem eine farbcodierte Reliefdarstellung der Ortsbrust erzeugt.

"Die digitale Bildgebung der Ortsbrust führt zu einer objektiveren geologischen Aufnahme, die eine unumstößliche Grundlage für die geologische Bewertung darstellt", sagt Robert Wenighofer, Projektassistent am Institut für Subsurface Engineering der Montanuniversität Leoben. "Nach mehr als einem Jahr der Anwendung des Kamerasystems hat sich die fotogrammetrische Auswertung als probates Mittel für die Dokumentation der Ortsbrust auch unter den schwierigen Umgebungsbedingungen eines TBM-Vortriebs im Hartgestein erwiesen. Das Kamerasystem bietet hochauflösende Orthofotos und Reliefdarstellungen der Ortsbrust, die eine objektive Basis für die geologische Kartierung darstellen", so seine abschließende Bewertung.

**Weitere Informationen:**

[www.subsurface.at](http://www.subsurface.at)  
www.bbt-se.com  
www.alliedvision.com

Profil von Allied Vision  
Seit mehr als 25 Jahren unterstützt Allied Vision Menschen dabei, mit dem Fokus auf das Wesentliche ihre Ziele zu erreichen. Das Unternehmen liefert Kameratechnologie und Bilderfassungslösungen für unterschiedlichste Anwendungsgebiete der industriellen Bildverarbeitung und für Embedded Systeme. Mit einem tiefen Verständnis für die Bedürfnisse seiner Kunden findet Allied Vision eine individuelle Lösung für jede Applikation. So wurde Allied Vision zu einem der weltweit führenden Kamerahersteller für den Machine Vision Markt. Das Unternehmen hat acht Standorte in Deutschland, Kanada, den USA, Singapur und China und wird von einem Netzwerk von Vertriebspartnern in über 30 Ländern vertreten. www.alliedvision.com

**Kontakt (Firmenzentrale):**Allied Vision Technologies GmbH | Taschenweg 2a | 07646 Stadtroda, Germany  
Tel.: +49 36428/677-0 | Fax: +49 36428/677-24 | [info@alliedvision.com](mailto:info@alliedvision.com) | [www.alliedvision.com](http://www.alliedvision.com)

**Ansprechpartner für die Medien:**Nathalie Többen

Allied Vision Technologies GmbH | Klaus-Groth-Str. 1 | 22926 Ahrensburg, Germany

Tel.: +49 4102/6688-194|Fax: +49 4102/6688-10|nathalie.toebben@alliedvision.com