

Scannen mit der Trimble VX Spatial Station

Wolfgang Huep

Zusammenfassung

Die Integration von scanfähigem, elektronischem Tachymeter und photogrammetrischem Bildmesssystem erschließt nicht nur neue Mess- und Auswertestrategien, sondern auch neue Anwendungen. Es wird über ein berührungsloses Verfahren zur Rissdokumentation bei Bauwerksschäden berichtet, wie es im Rahmen der Master's Thesis von Mario Bruschi an der HFT Stuttgart entwickelt wurde. Das Scannen des Objekts erfolgt vorwiegend im Messbild, während das Tachymeter der Georeferenzierung bzw. Bildrektifizierung dient. Anhand des miterfassten Oberflächenmodells werden Risse dreidimensional im Objektkoordinatensystem gerechnet, um sie zum Beispiel leicht wieder abstecken und somit Folgeschäden sicherer beurteilen zu können. Entsprechend wird ein durchgängiger elektronischer Workflow Akquisition-Modellierung-Dokumentation-Visualisierung grundsätzlich aufgezeigt.

Summary

The integration of scanning total station and photogrammetric camera not only provides new opportunities in measurement strategy, but also in application. It is reported how cracks at damaged structures can be remotely acquired and documented, the appropriate workflow development being the subject of the Master's Thesis of Mario Bruschi at HFT Stuttgart. Ob-

ject scanning basically is done in the image, whilst the total station is in charge of georeferencing and image rectification. By means of an also acquired surface model, cracks are computed in the 3D object space. This e.g. eases staking-out of the cracks, later on, for better studying the causes of subsequent damages. Hence, a consistent electronic workflow acquisition-modeling-documentation-visualization is presented.

1 Motivation

Mit dem Marktauftritt der Trimble VX Spatial Station ab 2007 wurde einmal mehr deutlich, dass nicht nur Messstrategien wie Tachymetrie und Satellitenmessung fusionieren, sondern zunehmend auch (Nahbereichs-)Photogrammetrie und Tachymetrie. Dabei stehen ein solcher Video-Tachymeter oder Image Assisted Total Stations (Juretzko 2004, Scherer 2007) bereits in einer längeren Tradition – begründet vor 20 Jahren durch Video-Theodolite (Image Assisted Theodolites), die in Vorwärtsschnittsystemen der Industrievermessung eingesetzt wurden (Huep, Kattowski 1988, Staiger 1992). Wenngleich z.B. der damalige Wild TM 3000V meist nur externe Laserspots über CCD beobachtete und damit den heutigen zielerfassenden Tachymetern vorauselte, war er zusätzlich mit einem ex-

zentrischen Weitwinkelobjektiv versehen, welches dann auch zur Erfassung und Auswertung nicht-signalisierter Objektstrukturen animierte (Roic 1996, Mischke 1998).

Einhergehend mit Weiterentwicklungen im Distanzmessbereich und höherer elektrooptischer Integration sind dann zunehmend Video-Tachymeter thematisiert worden (Juretzko 2004, Scherer 2007). Natürlich bieten deren Online-Zielbilder eine sinnvolle Unterstützung im Messjob und natürlich sind die abgespeicherten Aufnahmen eine wichtige Dokumentation später im Büro. Eine Herausforderung und ein neues Anwendungspotenzial zugleich ist jedoch die integrierte, kalibrierte Kamera einer VX Station, mit welcher man wirklich photogrammetrisch messen kann.

Ein neues Messsystem ruft nicht nur nach neuen Messstrategien, sondern auch nach neuen Anwendungsfeldern. An einer im Bauwesen profilierten Hochschule ist hin und wieder vermessungstechnische Expertise in der Verfahrensentwicklung auf dem Bausektor gefragt. Konkret scheint bei der Beweissicherung anlässlich von Bauwerksschäden nicht nur Modernisierungsbedarf zu bestehen, sondern Anforderungen (Genauigkeiten, Reichweiten) und Bedingungen (leicht rektifizierbare Flächen) kongruieren per se mit den Möglichkeiten einer VX Station. Entsprechende Untersuchungen zu möglichen Workflows waren dann Gegenstand einer Master's Thesis (Bruschi 2009), deren praktische Ergebnisse in diesem Beitrag mit dargestellt werden.

Betrachtet man die möglichen Übersetzungen des englischen »to scan«, so wird ein Video-Tachymeter wie die VX Station dem Verb doppelt gerecht: »Rastern« erzeugt das digitale Bild, in welchem häuslich die Koordinaten von Rissen gemessen werden. »Abtasten« erfolgt mit schrittweisem Verfahren von Alhidade und Fernrohr, um gegebenenfalls Objektpunkte für eine rektifizierende Oberfläche zu messen.

2 Beweissicherung bei Bauwerksschäden

2.1 Risse im Massivbau

Der Massivbau ist ohne Risse kaum denkbar: Entwürfe in Stahlbeton und Mauerwerk vernachlässigen die geringe Zugfestigkeit und berücksichtigen eine Risszugzone, innerhalb derer das Vorkommen von Rissen vorausgesehen wird. Daneben äußern sich auch tatsächliche Bauwerksschäden oft zunächst in Rissen. Sie werden beispielsweise verursacht durch Schwinden, Kriechen, Quellen, Austrocknen und thermisches Verhalten der verschiedenen Baustoffe, durch Umbau, Neubau oder Abriss von Bauwerken, durch Änderungen im Grundwasserspiegel, Bergsenkungen, tektonische Bewegungen in der Erdkruste und schließlich durch klimatische Einflüsse.

Die meisten Ursachen liegen in menschlichem Handeln, sodass häufig Haftungsfragen einschließlich notwendiger Beweissicherung auftreten. Solche Fragen können sich ferner stellen, wenn ein beschädigtes Bauwerk saniert wurde und sich erneut Risse bilden: War die Sanierung fachgerecht? Wirkt die ursprüngliche Ursache weiter? Ist die Gebäudestruktur beschädigt?

Die Bewertung von Bauwerksschäden hinsichtlich Ursachen und Maßnahmen ist Angelegenheit von Baugutachtern. Entstandene Risse sind zwar möglicherweise nur optisch störend, doch sollten sämtliche Risse zunächst möglichst früh dokumentiert werden. Nicht nur Länge und Verlauf von Rissen interessieren, sondern Rissbreiten und Risstiefen, um z. B. nach Fugenrissen, Zwischenrissen, Oberflächenrissen unterscheiden zu können. Ein wesentliches Element dieser Beweissicherung ist also die Aufnahme der Rissufer bzw. -flanken. Der Sachverständige muss die gesamte Struktur erkennen können, um nach tragenden oder abschüssigen Bauteilen sowie nach toten oder lebendigen Rissen zu unterscheiden. Grundsätzliches zu den hier genannten Aspekten wird beispielsweise in (Hahnkammer 2004) dargestellt.

Vielfach ist auch ein zeitliches Verhalten bestehender Risse zu erfassen. Das geschieht einerseits über klassische Wiederholungsmessungen, z. B. mit Rissbreitenlinealen. Alternativ werden quer über die Risse Gipsmarken oder



Abb. 1: Rissbreitenlineal und Rissmonitor

Rissmonitore angebracht, welche ebenfalls wiederholt in Augenschein genommen werden. Die Qualität dieser Art von Beweissicherung hängt neben Richtigkeit und Genauigkeit der geometrischen Aufnahmen davon ab, ob sie bereits recht früh nach Eintritt eines ersten Schadensereignisses einsetzt.

Ein weiterer Aspekt ergibt sich, wenn ein beschädigtes Bauwerk zwischenzeitig saniert wurde und aufgetretene Risse nicht mehr sichtbar sind, also im einfachsten Fall durch Übertapezieren: Bilden sich dann erneut Risse, stellt sich die Frage, ob diese mit der alten Beschädigung in Zusammenhang stehen, also die Bauwerksstruktur schon geschädigt und nicht durchgreifend saniert worden war. Damit ließe sich nicht nur eine mögliche Haftung klären, sondern vor allem eine nachhaltigere Sanierung entwerfen. Für die Beweissicherung bedeutet das nicht nur die geometrische Aufnahme des aktuellen Risses, sondern auch die geometrische Rekonstruktion der früheren Beschädigung möglichst auch direkt am Objekt – also den klassischen Fall einer Absteckung.

2.2 Überlegungen zu einem neuen Ansatz

Gegenstand der Betrachtungen sind Risse in Beton, Mauerwerk und Putz, also beispielsweise nicht im Stahlbau. Sie sollen auf dem Objekt mit einer Lagegenauigkeit von wenigen mm bestimmt werden. Wesentlich ist auch die Erfassung der Rissbreiten ab 1 bis 2 mm Stärke, möglichst auch im Submillimeterbereich. Zwar sind bei erwartbaren Feuchtigkeitsproblemen bereits 0,2 mm Rissbreiten zu erfassen (Stahlbetonbrücken, »weiße Wanne« usw.), was jedoch in den vorliegenden Untersuchungen keine unabdingbare Forderung ist.

Neben Lage und Breite ist auch die Risstiefe essenziell. Sie lässt sich mit dem zu untersuchenden Verfahrensansatz – vor allem aufgrund von Abschattungen – kaum erfassen, sodass hier punktuelle, manuelle Messungen weiterhin akzeptiert seien. Dem avisierten elektronischen Datenfluss sind die Risstiefen dann als Attribute beizugeben.

Die Beobachtungen sollen zunächst nur zu diskreten Zeitpunkten erfolgen.

Gegenüber den bisherigen unter 2.1 angedeuteten Vorgehensweisen soll ein neuer Ansatz folgende Forderungen erfüllen:

- a) Sämtliche Messungen sollen berührungslos und möglichst ohne Signalisierung erfolgen, d. h. Wohnungsmieter sollen nicht durch Gipsmarken und Rissmonitore beeinträchtigt werden und auch schlecht zugängliche Bereiche wie hohe Mauern sollen über Abstände bis 20 m beobachtbar sein.
- b) Die Messdauer vor Ort soll relativ kurz sein, bei einfacher Handhabbarkeit der Messausrüstung.
- c) Richtigkeit, Vollständigkeit und Genauigkeit der Messungen sollen verbessert und objektiv unterstützt werden.
- d) Die Risse sind digital und dreidimensional im Objekt-raum zu modellieren.
- e) Fotos dienen zusätzlich der analogen Dokumentation bzw. Interpretation.
- f) Es ist ein durchgängiger elektronischer Datenfluss zu realisieren, welcher – außerhalb der vorliegenden Untersuchung – auch an entsprechende Datenbanken zur Dokumentation angebunden sein soll.
- g) Gefordert ist ferner ein praktikables Verfahren, sanierte, nicht mehr sichtbare Risse im Falle erneuter Bauschäden wieder am Objekt visualisieren zu können.

Entsprechend geht es um die Erarbeitung und Verifizierung eines elektronischen Workflows »Erfassung – Modellierung – Dokumentation – Visualisierung«, wobei ein integrierter Lösungsansatz aus Tachymetrie und Photogrammetrie avisiert und auf seine Eignung zu untersuchen ist. Aufgrund der häufig geringen Rissbreiten wurde eine Risserfassung durch klassisches Scannen mit terrestrischem Laserscanner oder scanfähigem Tachymeter von vornherein ausgeschlossen.

3 Workflow mit Tachymeter und Digitalkamera

3.1 Setup

Der grundsätzliche Entwurf eines digitalen Workflows »Erfassung – Modellierung – Dokumentation – Visualisierung« gelingt bereits mit einem herkömmlichen Tachymeter und einer geeigneten Digitalkamera gemäß Abb. 2. Mit einem solchen »low cost«-Ansatz verfügt man zudem

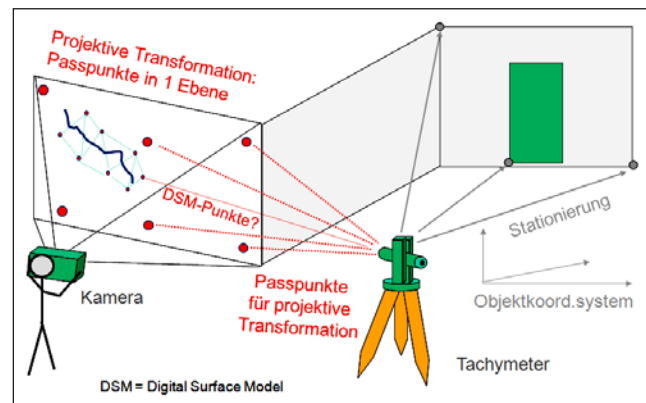


Abb. 2: Rissaufnahme mit Tachymeter und Digitalkamera

über eine Vergleichsbasis für die eigentliche Anwendung der höher integrierten VX Spatial Station in Kap. 4.

Die Digitalkamera dient der (punktweisen) Messung von Rissen und Passpunkten, welche büroseitig im Bild erfolgt. Es handelt sich also um Nahbereichsphotogrammetrie, wozu sich Methodisches in (Luhmann et al. 2006) findet. Die Aufnahmen werden ferner zur allgemeinen Dokumentation abgelegt. Das Tachymeter dient primär zur Entzerrung und Georeferenzierung, indem es zu ausgewählten Objektpunkten stationiert wird und danach die Passpunkte zur Rektifizierung der Aufnahme bestimmt. Der Distanzmesser des Tachymeters soll reflektorlos messen, also direkt und ohne Offset am Objekt.

In Abb. 4 sieht man die Aufnahme eines Gebäudeteils zur Risserfassung in Putz und Mauerwerk (Blendwerk), wie sie mit einer hochwertigen, digitalen Spiegelreflexkamera erfolgen kann. Vorteilhaft ist eine Kamera- und Objektivauswahl, bei welcher die Kamera eine vorhandene Objektivkennung ausliest und damit die Objektivverzerrung im Digitalbild bereits korrigiert. Die zweckmäßigerweise im (kamerabezogenen) raw-Format vorliegende Aufnahme ist dann in einem linearen und orthogonalen xy-Bildkoordinatensystem intern kalibriert.

3.2 Rektifizierung der Aufnahme

An Massivbauwerken können vorwiegend ebene Flächen vorausgesetzt werden, in denen dann Risse auftreten. Also kann es genügen, die xy-Bildebene auf eine x'y'-Wandebene zu transformieren (Abb. 3).

Es müssen einer solchen Projektivtransformation (mindestens) vier identische Punkte vorliegen, um die acht Koeffizienten in der Transformationsgleichung

$$x = \frac{a_0 + a_1 \cdot x' + a_2 \cdot y'}{1 + c_1 \cdot x' + c_2 \cdot y'}, \quad y = \frac{b_0 + b_1 \cdot x' + b_2 \cdot y'}{1 + c_1 \cdot x' + c_2 \cdot y'} \quad (1)$$

zu bestimmen. Die nötigen zweidimensionalen Passpunkte $P_i(x_i, y_i)$ sind mit dem Tachymeter zunächst im

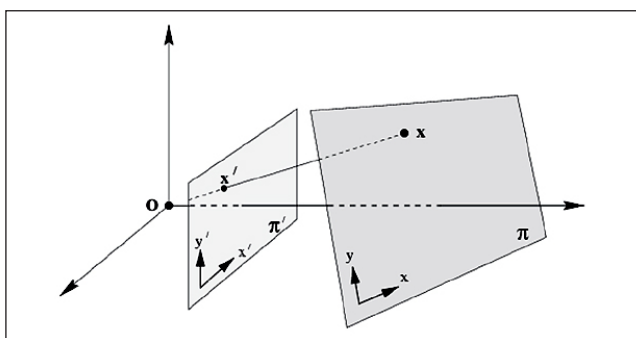


Abb. 3: Projektivtransformation, alle Abbildungsstrahlen durchlaufen O



Abb. 4: Projektivtransformation, entzerrte Kameraaufnahme (Bruschi 2009)

räumlichen XYZ-Objektkoordinatensystem zu bestimmen. Anhand dieser $P_i(X_i, Y_i, Z_i)$ ist eine ausgleichende Raumebene zu schätzen und die P_i werden auf diese projiziert. Abb. 4 zeigt eine Auswahl von Abbildungsstrahlen, um eine Wandaufnahme zu entzerren, hier mit Power Topo CE von Sierrasoft.

Wie in Abb. 2 und 4 erkennbar ist, kann man auch auf nicht ebene Oberflächen rektifizieren, indem eine entsprechende tachymetrische Punktaufnahme dreiecksvermascht und ein Digital Surface Model (DSM) verwendet werden. Dies bietet sich vor allem für Tachymeter mit Scan-Funktion an, siehe Kap. 4.

3.3 Zur Rissmodellierung

Die Aufnahme der Abb. 4 stammt von einer Canon Digitalkamera EOS 1000D mit einer Auflösung von 10 Megapixel. In 2m Abstand zur Wand bildet ein Pixel dann etwa 0,2mm ab. Mit einem geeigneten Schwellenwert

zur Unterscheidung der Graustufen (Adobe Photoshop) erfolgt dann die $x'y'$ -Bildmessung in einem CAD-System (hier: Power Topo CE), um Risse und Rissbreiten bis in den Submillimeterbereich zu bestimmen, siehe auch hierzu Kap. 4. Nach der Projektivtransformation gemäß Gl. (1) und Transformation von der Wandebene in den Objekt-raum erhält man schließlich ein echtes dreidimensionales Rissmodell, dessen Punkttopologie noch zu einem Vektormodell mit Breitenattributen vervollständigt werden kann.

Im Beispiel der Abb. 4 wurden auch die Ecken der Blendsteine im Bild ausgewertet; die ermittelten dreidimensionalen Koordinaten wurden dann mit Tachymeter und koaxialem Laserpointer wieder abgesteckt bzw. visualisiert. Erreicht werden hier maximale Positionsabweichungen von 3 mm, was für Nachweis und Identifikation einer Beschädigung ausreichend ist. Die Rissbreitenbestimmung als Relativmessung gelingt um eine Größenordnung besser.

4 Anwendung der Trimble VX Spatial Station

4.1 Aufnahmekonfiguration

Die Aufnahmekamera ist nun in die Totalstation koaxial integriert. Dies bedeutet: Die innere Orientierung sowie Objektivverzeichnungen sind bereits kameraintern kalibriert (Vogel 2006) und relativ langzeitstabil.

Ferner ist für jede Aufnahme sofort die äußere Orientierung verfügbar und zwar durch die Stationskoordinaten sowie über die Orientierungsrichtung des Horizontalkreises und den lotbezogenen Höhenindex zusammen mit den aktuellen Richtungsauslesungen. Eine Projektivtransformation gemäß Kap. 3.2 ist entsprechend robuster.

Vor Ort wird nur noch ein Messsystem verwendet, sodass der Ablauf einfacher und konsistenter ist: Wenn man beispielsweise wie in Abb. 5 eine Wand Bild für Bild aufnimmt, werden die Passpunkte en passant über die begleitenden Richtungs- und Distanzmessungen mit bestimmt. Aufgrund der motorischen Scan-Eigenschaften der Trimble VX lassen sich zusätzliche Oberflächen-

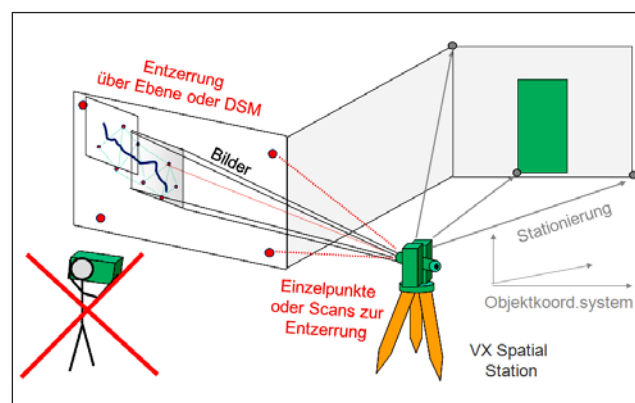


Abb. 5: Integrierte Rissaufnahme mit Video-Totalstation



Abb. 6:
Trimble VX Spatial
Station

punkte erfassen, wenn dies für ein DSM bei nicht ebenem Objekt sinnvoll ist. Schließlich wird die Trimble VX Station zusammen mit der RealWorks Survey Office Software vertrieben, sodass man – wie bei anderen Anbietern auch – Aufnahme, Georeferenzierung, Entzerrung, Mosaicking, Bildmessung und Modellierung in einem geschlossenem System erledigen kann.

Um bei Neuschäden früher aufgenommene Risse auf dem Objekt zu visualisieren, also abzustecken, ist natürlich eine motorisierte und mit Laserpointer ausgestattete Totalstation wie die verwendete ebenfalls sehr geeignet.

Das Sehfeld der Kamera wird mit $16,5^\circ \times 12,3^\circ$ angegeben, sodass in 2 m Wandabstand ein Bild von $0,58 \text{ m} \times 0,43 \text{ m}$ Objektausdehnung entsteht. Es sind also für einen längeren Riss mehrere Aufnahmen nötig. Der Aufnahmestandpunkt bleibt meist identisch, die Aufnahmen sind aber mit dem Fernrohr gegeneinander verschwenkt. Bevor sie wie in Abb. 7 zu einem Verband zusammengefügt werden (Mosaicking), sind zunächst die geänderten Orientierungsparameter (über die Teilkreisauslesungen) und dann die Entzerrung (z. B. Projektion auf eine gemeinsame Ebene) zu berücksichtigen.

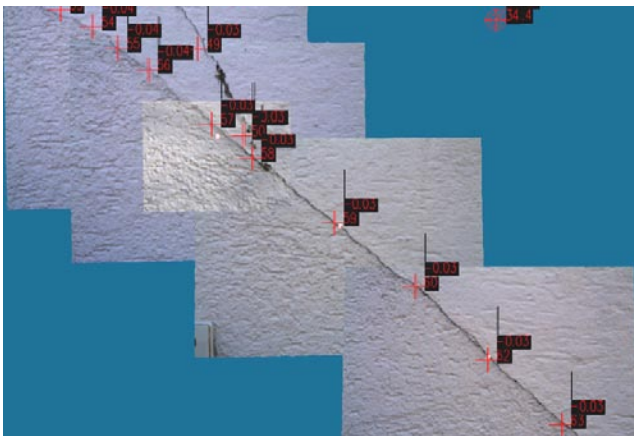


Abb. 7: Bildverband eines Risses, aufgenommen mit VX Spatial Station

4.2 Rissmessung im Bild

Um Rissufer und Rissbreiten sowie die Passpunkte lage-richtig zu identifizieren, werden die Bilddateien der Trimble VX gefiltert und zwar während der Entwurfsphase mit Adobe Photoshop. In Kombination von »Gaussian Blurring« (Gaußscher Weichzeichner) zur Reduktion des Bildrauschens und dem Plugin »Edge Detection« werden leichter auswertbare (leuchtende) »Glowing Edges« erzeugt, wie Abb. 8 im Vergleich zu Abb. 9 zeigt.



Abb. 8: Gerissene Kacheln, Rohbilder der Trimble VX Spatial Station

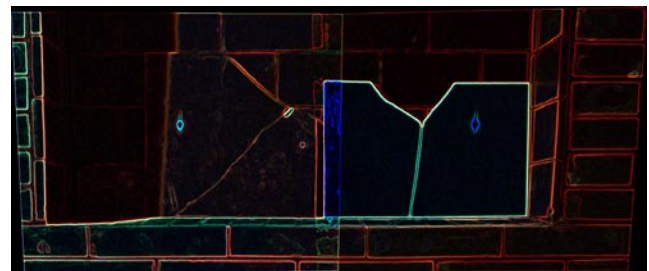


Abb. 9: Gerissene Kacheln, »Glowing Edges« nach Filterung

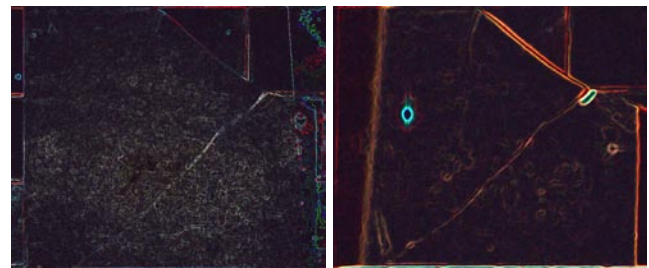


Abb. 10: Bildrauschen nach Filterung, links Canon, rechts Trimble

Grundsätzlich bleibt das Bild der Canon Digitalkamera stärker verrauscht als jenes der Trimble VX Station (Abb. 10), auch Variationen in den Filteransätzen ändern dies kaum. Die nun folgenden Bildmessungen zur Rissbestimmung sind also von höherer Qualität, wenn die VX Station eingesetzt wurde.

In den vorprozessierten Bildern lassen sich dann mit einer CAD-Software (hier wiederum Sierra Soft Power Topo CE) die Rissufer und Rissbreiten in Querprofilen digitalisieren. Hieraus sind dann Rissmitten und zugehörige

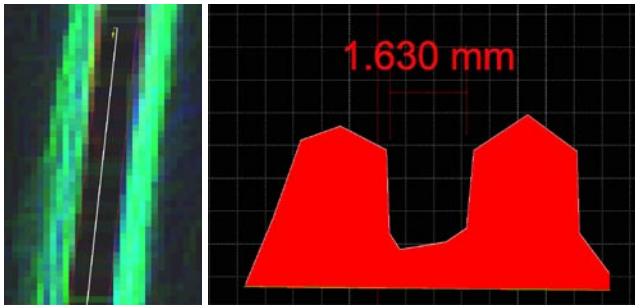


Abb. 11: Rissvektorisierung und Rissbreite im Querprofil

Polylinien ableitbar (Abb. 11). Das Trimble CCD-Array mit 2048×1536 Pixel löst mit 1 Pixel über eine 2 m Objektdistanz 0,3 mm auf; diese Größenordnung lässt sich auch in Testmessungen verifizieren.

4.3 Rektifizierung auf die Objektoberfläche

Die vektorisierte Rissituation wird im selben Softwarepaket wie oben in den XYZ-Objektraum überführt, entweder über Projektivtransformation und Raumebene gemäß Kap. 3.2 oder über Rektifizierung mittels Digital Surface Model (DSM).

Die Rektifizierung anhand eines digitalen Oberflächenmodells erfolgt für nicht ebene Bauwerkswände und entspricht der Herstellung von (True) Orthophotos. Mithilfe der Scan-Funktion der VX Station wird auf der betreffenden Wand reflektorlos eine Punktwolke erfasst und im XYZ-Objektraum dreiecksvermascht. Die in den Aufnahmen gemessenen $x'y'$ -Bildkoordinaten der Risse werden in Ablagewinkel ΔHz und ΔV umgerechnet (Juretzko 2004; Joeckel, Stober, Huep 2008), welche zusammen mit den Horizontal- und Vertikalkreisablesungen H_z und V ein Strahlenbündel zu den Objektpunkten P beschreiben. Die Schnitte dieser Geraden mit den ebenen Dreiecksflächen des erzeugten Triangular Irregular Network (TIN) liefern dann die dreidimensionalen Risspunktkoordinaten $P(X,Y,Z)$.

Das Ergebnis sind objektbezogene XYZ-Raumkoordinaten der Risse, welche frei von Stationierungen, Orientierungen und Bildebenen sind und jederzeit mit anderen Setups wiederhergestellt oder verknüpft werden können.

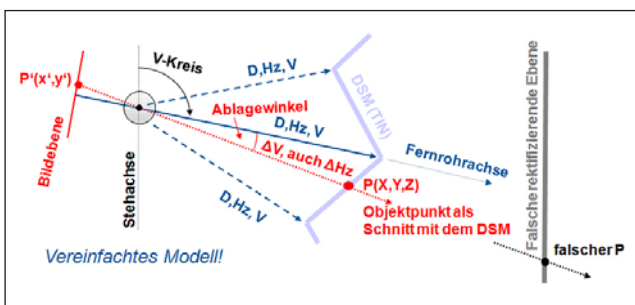


Abb. 12: XYZ-Objektpunkte im digitalen Oberflächenmodell

5 Absteckung zur Visualisierung früherer Risse

5.1 Absteckung korrekt rektifizierter Risse

Um einen früheren Riss zum Vergleich mit neuen Bauschäden wieder sichtbar zu machen, kann prinzipiell jede Totalstation verwendet werden, die über einen Laserpointer und Standard-Vermessungssoftware verfügt. Motorisierung für eine schnelle Absteckung ist von Vorteil.

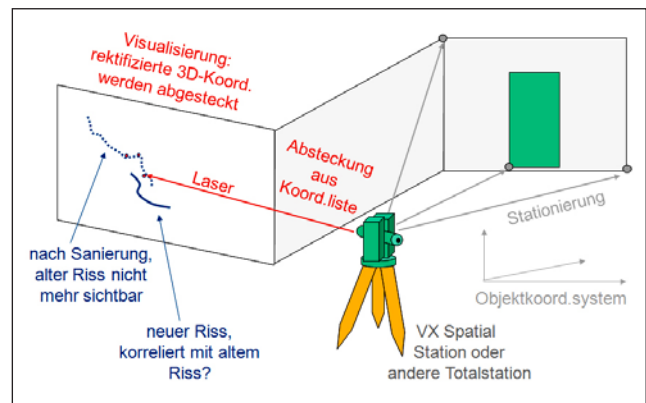


Abb. 13: XYZ-Objektpunkte im digitalen Oberflächenmodell

Das Tachymeter wird zunächst im vormals definierten Objektkoordinatensystem stationiert, in welchem die XYZ-Polylinien der früheren Risse abgespeichert sind. Aus dieser Koordinatenliste lassen sich die früheren Risse unmittelbar abstecken, wobei der Laserpointer den Riss punktwise auf der betreffenden Wand visualisiert (Abb. 13). Voraussetzung ist, dass die einstigen Aufnahmen korrekt entzerrt wurden und sich die Wandoberfläche seitdem nicht verändert hat.

5.2 Absteckfehler nach unrichtiger Rektifizierung

In Abb. 14 wurde auf eine ausgleichende Ebene (rechts) rektifiziert und eine Wandausbuchtung vernachlässigt, die richtigerweise mit einem Oberflächenmodell feiner modelliert worden wäre. Da bei der Absteckung eine flexible Instrumentenaufstellung möglich und auch die

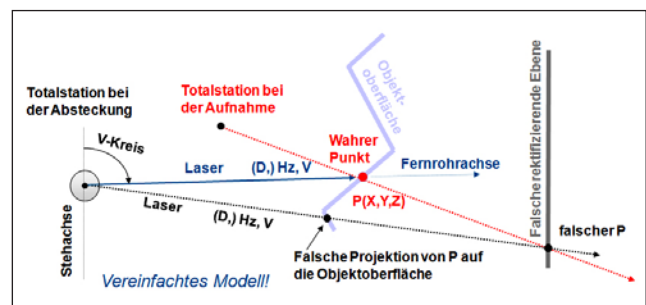


Abb. 14: Absteckfehler nach unrichtiger Rektifizierung der Risspunkte

damaligen Originalmessdaten nicht noch mitgespeichert sein sollten, sind die wahren Punkte P nun nicht mehr herstellbar. Der Laserspot würde in falscher Lage auf das Objekt projiziert.

Vergleichbares kann auch eintreten, wenn die erneut beschädigte Wand zwischenzeitlich durch Neuverputz, Verkleidung usw. verändert wurde. Die neue Oberfläche wäre dann zunächst mit der Totalstation neu zu erfassen, entweder mit wenigen Punkten als Raumbene oder auch scannend als DSM. In guter Näherung wären dann z. B. in den früheren Risspunkten Lote zu errichten und mit der aktuellen Oberfläche zur Absteckung zu schneiden. Dieses Vorgehen lässt sich auch anwenden, wenn beim Bau tiefliegende Versorgungsleitungen erfasst wurden und nun auf der verputzten bzw. verkleideten Wand wieder zu markieren sind.

6 Abschließende Bewertung

Zur Risserfassung im Massivbau wurde ein Workflow mit durchgängigem Datenfluss realisiert, welcher Bildaufnahmen (Photogrammetrie) und georeferenzierende Polarmessungen (Tachymetrie) integriert. Der Ansatz wurde zudem erweitert um den wichtigen Aspekt einer Rekonstruktion und Visualisierung früherer Risse am Objekt. Die Schadensaufnahme mit einem Video-Tachymeter wie der Trimble VX Spatial Station ist der komponentenweisen Lösung aus hochwertiger Digitalkamera und herkömmlichem Tachymeter vorzuziehen. Hierfür sprechen Handlichkeit, Schnelligkeit, all-in-one Datenfluss, robustere mathematische Lösungen, zusätzliche Scanfunktion für DSMs, gelegentliche videogestützte Direktmessungen von Rissen, immer verfügbare äußere Orientierung aller Bilddokumente sowie das gleichzeitig verfügbare Softwarepaket RealWorks für die Auswertungen.

Risse ab ca. 0,4 mm Breite lassen sich über Entfernungen bis zu 15 m richtig und sicher erfassen. Werden Risse später wieder rekonstruiert, lassen sie sich ohne besondere Maßnahmen auf 2 bis 3 mm genau abstecken. Die Eignung des Verfahrens in der Beweissicherung bei Gebäudeschäden wurde vom beteiligten Baugutachter testiert.

Der entworfene Workflow ist sicher softwareseitig weiter zu automatisieren, speziell hinsichtlich einer rissbezogenen Feature Extraction. Dies schließt auch die Weiterentwicklung für Permanentüberwachungen ein. Anwenderseitig stellt sich zudem die Aufgabe, für den schnellen und konsistenten Informationszugriff entsprechende Datenbanken aufzusetzen.

Literatur

- Bruschi, M.: Zum Einsatz einer Spatial Station bei der Beweissicherung für Gebäudeschäden. Master's Thesis Hochschule für Technik (unveröffentlicht), Stuttgart 2009.
- Bruschi, M.; Huep, W.: Crack Monitoring at Damaged Structures with Trimble VX Spatial Station. Trimble Dimensions Tagungsbeiträge, Las Vegas 2009.
- Hahnkammer, G.: Schäden an Gebäuden, Erkennen und Beurteilen. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln 2004.
- Huep, W.; Kattowski, O.: Theodolitsysteme für industrielle und geodätische Messungen. Technische Rundschau, Heft 39, Basel 1988.
- Joeckel, R.; Stober, M.; Huep, W.: Elektronische Entfernung- und Richtungsmessung und ihre Integration in aktuelle Positionierungsverfahren. 5. Auflage, Verlag Wichmann, Heidelberg 2008.
- Juretzko, M.: Reflektorlose Video-Tachymetrie – ein integrales Verfahren zur Erfassung geometrischer und visueller Informationen. Dissertation Ruhr-Universität Bochum, DGK, Reihe C, Nr. 588, München 2004.
- Luhmann, T.; Robson, St.; Kyle, St.; Harley, I.: Close-Range Photogrammetry. Whittles Publishing, Dunbeath 2006.
- Mischke, A.: Entwicklung eines Videotheodolit-Messsystems zur automatischen Richtungsmessung von nicht signalisierten Objektpunkten. Dissertation, TU Wien 1998.
- Roic, M.: Erfassung von nicht signalisierten 3D-Strukturen mit Videotheodoliten. Dissertation, Studienrichtung Vermessungswesen, TU Wien, Geowissenschaftliche Mitteilungen, Heft 43, Wien 1996.
- Scherer, M.: Nahe Verwandte des Laserscanners: Intelligente Totalstation und 3D-Kamera. In: Terrestrisches Laserscanning (TLS 2007). Ein Messverfahren erobert den Raum. Schriftenreihe des DVW, Band 53, Wißner-Verlag, Augsburg 2007.
- Staiger, R.: Automatische und dynamische Koordinatenmessung mit mobilen Sensorsystemen. Geodätische Messverfahren im Maschinenbau., Schriftenreihe des DVW, Band 1, Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart 1992.
- Vogel, M.: Vom Pixel zur Richtung. Die räumlichen Beziehungen zwischen Abbildungsstrahlen und Tachymeter-Richtungen. Dissertation, Schriftenreihe Fachrichtung Geodäsie. Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie TU Darmstadt, Heft 20, 2006.

Anschrift des Autors

Wolfgang Huep
Hochschule für Technik Stuttgart
Schellingstraße 24, 70174 Stuttgart
wolfgang.huep@hft-stuttgart.de