

CCEM-Retrofit : 3D-Messtechnik bei der energieeffizienten Sanierung von Altbauten

Autor(en): **Knabl, T. / Gottwald, R.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement =
Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire =
Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio**

Band (Jahr): **106 (2008)**

Heft 11

PDF erstellt am: **23.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-236551>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

CCEM-Retrofit – 3D-Messtechnik bei der energieeffizienten Sanierung von Altbauten

In Zeiten der Energieverknappung und des -preisanstiegs wird versucht, das Energiesparpotenzial vermehrt auszuloten. Das CCEM-Retrofit-Projekt versucht dies im Gebäudesektor, welchem ein sehr grosses Energiesparpotenzial zugeschrieben wird. Um diese Möglichkeiten ausschöpfen zu können, wird unter anderem die Gebäudehülle von Altbauten mit vorgefertigten Elementen neu eingekleidet. Unumgänglich ist dabei die präzise sowie zuverlässige Erfassung und Bereitstellung von 3D-Planungsdaten. Hier setzt die Geomatik an, welche innerhalb des CCEM-Retrofit-Projekts einen wichtigen Beitrag zur künftigen Energieeinsparung im Gebäudebereich leistet.

A l'époque de la raréfaction de l'énergie et de l'augmentation de son prix on tentera de mieux exploiter son potentiel d'économie. Le projet Retrofit CCEM s'y emploie dans le secteur du bâtiment auquel on attribue un très grand potentiel d'économie d'énergie. Afin d'exploiter ces possibilités l'on revêt entre autres les enveloppes d'anciens bâtiments d'éléments préfabriqués. A cet effet il est indispensable de saisir et de mettre à disposition des données 3D de façon précise et fiable. C'est là que la géomatique intervient qui, par le truchement du projet Retrofit CCEM fournit une contribution importante en vue des futures économies d'énergie.

In tempi di penuria energetica e aumento dei prezzi si cerca di sfruttare al massimo il potenziale energetico. Il progetto CCEM-Retrofit cerca di applicare questo principio al settore immobiliare, rivestendo con elementi prefabbricati l'involucro dei vecchi edifici. Al riguardo, sono indispensabili un rilevamento preciso e affidabile dei dati 3D di progettazione. È qui che interviene la geomatica che, nell'ambito del progetto CCEM-Retrofit fornisce un importante contributo per il risparmio energetico futuro in campo immobiliare.

Th. Knabl, R. Gottwald

1. Das Projekt CCEM Retrofit

Mitte 2006 wurde im ETH Competence Center Energy and Mobility (CCEM) mit dem Titel «Advanced Energy-Efficient Renovation of Buildings» (Kurztitel «CCEM-Retrofit») ein grosses Verbundprojekt zur energieeffizienten Renovation von Altbauten als nationales Teilprojekt im IEA ECBCS Annex 50 – mit Forschungspartnern aus zehn europäischen Ländern – bewilligt. Bis ins Jahre 2050 werden in der Schweiz über 90% des Gebäudeenergie-

bedarfs durch Bauten verursacht, die vor dem Jahre 2000 erstellt wurden (Abb. 1). Diese Tatsache zeigt, dass im Bereich der Altbauten ein enormes Energiesparpotenzial vorhanden ist. Erklärtes Projektziel ist deshalb, zusammen mit kompetenten Industriepartnern Detailkonzepte für eine umfassende Sanierung von Altbauten (vornehmlich Mehrfamilienhäuser) zu erarbeiten und umzusetzen. Nach einem umfassenden Erneuerungsprogramm werden die Sanierungsobjekte die Standards von MINERGIE® oder MINERGIE-P®¹ erfüllen.

Zur Erreichung der gesteckten Ziele (30–50 kWh/m²a für Heizung, Kühlung und Warmwasser, Nutzung der Sonnen-

energie, guter thermischer Komfort, Lärmschutz, gute Luftqualität und Tageslichtnutzung sowie schnelle Bauprozesse mit zuverlässiger Kostenprognose) wurde ein Basisrenovationskonzept mit einer Reihe von aufeinander abgestimmten vorfabrizierbaren Sanierungsmodulen (Retrofits) für Fassade, Dach und Gebäudetechnik entwickelt (Abb. 2).

Zur Erarbeitung des Detailkonzeptes und seiner Umsetzung an verschiedenen ausgewählten Demonstrationsobjekten haben sich im schweizerischen Projekt Forschungspartner² unter der Federführung der EMPA³ der grossen Herausforderung dieses Projekts gestellt. Das Projekt ist zudem in das nationale Kompetenznetzwerk Gebäudetechnik und Erneuerbare Energien (brenet) eingebettet, wird unterstützt durch das Bundesamt für Energie (BFE) und teilfinanziert durch die Kommission für Technologie und Innovation (KTI)⁴. Die praxis- und umsetzungsorientierte, multidisziplinäre Projektbearbeitung wird durch die Mitarbeit von 20 Industriepartnern aus den Bereichen Fassaden-, Dach- und Fensterbau, Wärmedämmung, Solar- und Haustechnik, der Immobilienbewirtschaftung sowie der 3D-Messtechnik sichergestellt. Die sozio-ökonomische Begleitung des Projekts dient dazu, Marktpotenziale zu markieren, investitionsbezogene Hindernisse zu identifizieren und so Massnahmen zu einer beschleunigten, nachhaltigen Gebäudeerneuerung zu definieren (Abb. 3). Die Projektdauer ist auf vier Jahre veranschlagt (2007–2010), die Kosten für das Gesamtprojekt (ohne Demonstrationsobjekte) liegen bei ca. 5 Mio. CHF.

2. Die Idee aus Sicht der Messtechnik

Analysiert man heute die Prozessabläufe Messtechnik bei grossen Bau- und Sanierungsprojekten, stellt man in der Regel

Gekürzte Fassung eines Artikels aus der Zeitschrift «Flächenmanagement und Bodenordnung» FUB 10/2008.

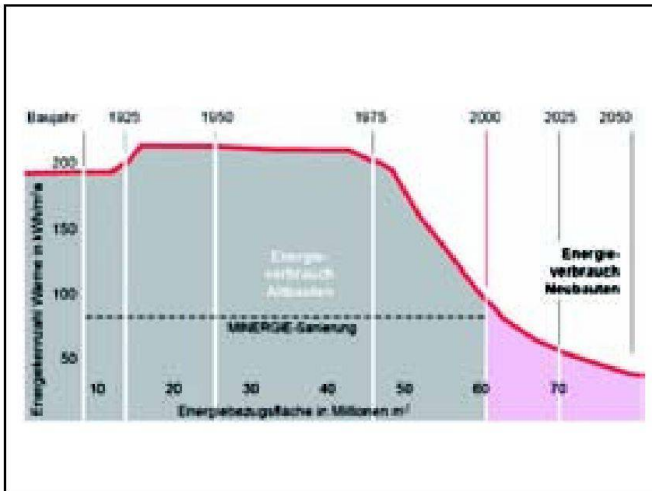


Abb. 1: Energieverbrauch bestehender Gebäude in Beziehung zum Erstellungsjahr (Kanton Zürich, aus Energieplanungsbericht Zürich, 2002).

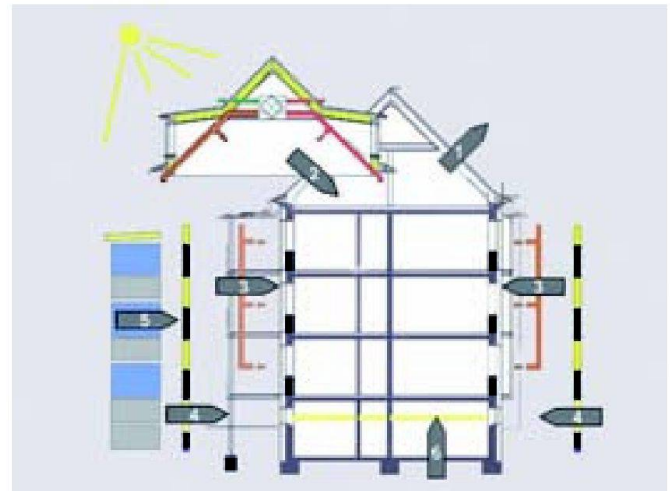


Abb. 2: Das CCEM-Retrofit-Basisrenovationskonzept: Ersatz altes Dach inkl. Heizung, Lüftung, Warmwasser, Wärmepumpe und Solarkollektoren (1+2), Lüftungsverteilung von aussen (3), Fassadenelemente (4) und ggf. Wintergarten (5), Kellerisolation (6) (aus CCEM-Retrofit, 2006).

fest, dass alle Projektbeteiligten die für die Bearbeitung ihres spezifischen Projektteils notwendigen Massangaben selbst erheben bzw. erheben lassen. Dies ist vor allem in der aktuellen Rechtssituation begründet, wonach die Planungsinstitutionen keinerlei Gewähr für die Bemessung der Plangrundlagen übernehmen und die Verantwortung für diese auf die Ausführungsinstitutionen abwälzen. Zum anderen besteht nach wie vor eine fundamentale Unkenntnis über die heutigen Möglichkeiten einer präzisen messtechnischen dreidimensionalen Erfassung solcher Objekte und einer zentralen Datenbewirtschaftung und -nutzung.

Im allgemeinen Projektbescheid wurden für das Teilprojekt 3D-Messtechnik folgende Ziele definiert:

- Erarbeitung eines Konzepts, welches sicherstellt, dass geometrische Daten eines Sanierungsobjektes in genügender Genauigkeit dreidimensional zur Verfügung stehen und als zuverlässige Basis von der Planung bis hin zur Produktion und Montage dienen (Hauptziel).
- Definition der geforderten Datenqualität, des Datenumfangs und der Schnittstellen für einen Datentransfer in weiterverarbeitende Systeme.
- Erstellung eines «Werkzeugkoffers» für die Kosten-Nutzen optimierte Datenerfassung und -aufbereitung sowie das Datenmanagement (Geometriedatenfluss).

fassung und -aufbereitung sowie das Datenmanagement (Geometriedatenfluss).

- Konzeption des Workflows von der Aufnahme (3D-Geometrie) über die Planung zur Produktion (Qualitätssicherung) bis zur Montage der Retrofits.
- Implementierung der notwendigen Extraktionsmechanismen und Werkzeuge, die dem Anwender eine einfache,

korrekte und schnelle Entnahme der für seine Retrofit-Teilkomponenten benötigten Geometrieinformationen ermöglicht. Ziel ist eine signifikante Reduktion des summativen messtechnischen Aufwands und eine nichtredundante zentrale Datenverwaltung mit Zugriffsmöglichkeiten für alle Projektbeteiligten durch eine möglichst intelligente Web-Lösung.

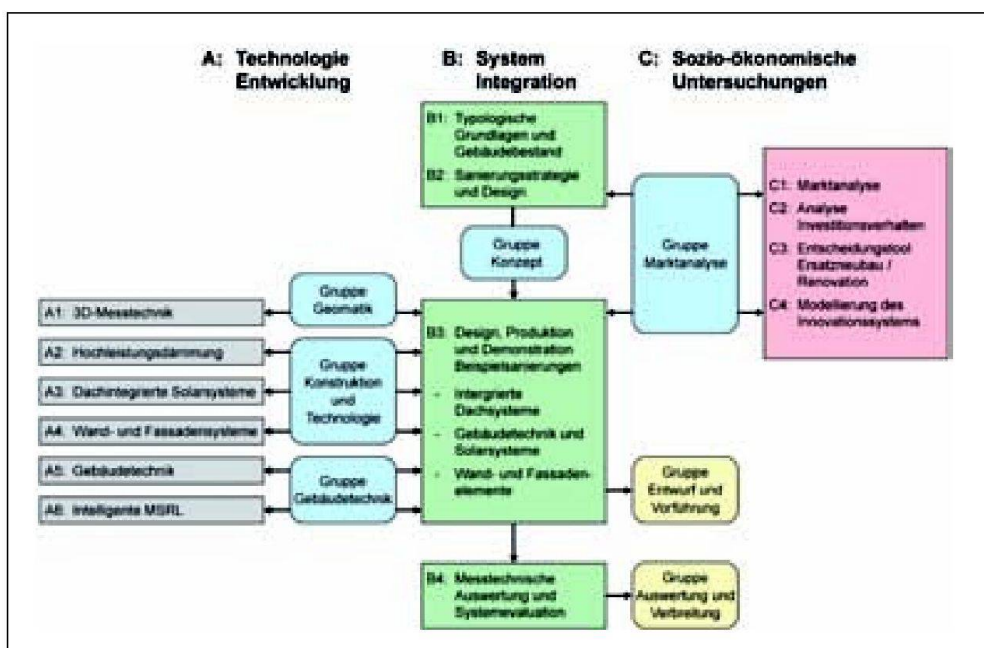


Abb. 3: Die CCEM-Retrofit-Projektstruktur (aus CCEM-Retrofit, 2006).

3. Die Umsetzung

3.1 Problemstellung

Bei einer Objektsanierung mit vorfabrizierten Retrofits (z.B. Fassaden- oder Dachmodule inkl. Lüftungs- und Elektroinstallationen, Wärmepumpe, Solarpaneele usw.) ist die zuverlässige Erfassung der Gebäudegeometrie bzw. des Istbestandes unverzichtbare Grundlage für eine reibungslose Projektabwicklung. Eventuell noch vorhandene Bau- und Architektenpläne reichen in der Regel als Basis nicht aus (Vollständigkeit, Differenzen zwischen Planung und Bau, zwischenzeitlich nicht erfasste Modifikationen am Gebäude usw.).

Mit dem vorgeschlagenen ganzheitlichen Ansatz müssen die verschiedenen Projektbeteiligten wie Holz-, Fassaden-, Fensterbauer, Architekten, Isolationshersteller u.a. wesentlich enger zusammenarbeiten als bisher. Das erfordert als Projektbasis eine umfangreichere und präzisere Planung. Die Anforderungen an die geometrische Erfassung des Sanierungsobjektes sind umfassend. Sie müssen den unterschiedlichen Spezifikationen bzw. Detailierungen der Sanierungskomponenten hinreichend genügen, damit die gesteckten Projektziele vollumfänglich erreicht werden können.

Eine erste Detailanalyse des für die ganzheitliche Sanierung zu erhebenden Da-

tensatzes ergibt zusammenfassend folgendes Bild:

- Fassadenstruktur
- Fenster
- Türen
- Balkone
- Dach
- Treppenhaus
- Wohnungen (Raumstruktur, Bodenhöhen, tragende Elemente, bestehende Steigleitungen)
- Umgebung (DGM)

Die benötigte Genauigkeit (1σ) liegt im Bereich der Fenster (in Nachbarschaft, relativ) bei ± 4 mm und im Bereich Dach/Fassade (im Gesamtbereich, absolut) bei ± 7 mm.

Die Zusammenstellung des Datensatzes und die Genauigkeitsansprüche lassen erahnen, dass sich ein Widerspruch zwischen dem nötigen Arbeitsaufwand und der anzustrebenden Wirtschaftlichkeit ergeben wird. Aufgrund der verschiedenen für Planung und Produktionssteuerung verwendeten CAD-Lösungen der beteiligten Projektpartner zeigen sich nicht zu unterschätzende Problemzonen in einem vereinheitlichten Transfer der Geometriedaten (Schnittstellenproblematik).

3.2 Lösungsansatz

Vor Beginn der Planungsarbeiten und damit auch vor Beginn der geometrischen Erfassung des Objektes muss dieses

grundlegend auf seine Sanierungstauglichkeit hin untersucht werden. Im IEA Annex50 wird dazu ein Tool – der Retrofit-Advisor – entwickelt, mit dem der Ist-Zustand des Objekts aufgenommen, die vorgesehenen Sanierungsmassnahmen geplant und die Sanierungstauglichkeit des Objekts auf objektiver Basis festgestellt werden kann.

Aufgrund dieser relativ umfangreichen Objektanalyse und der ins Auge gefassten Sanierungsmassnahmen kann der für die geometrische Erfassung des Objekts notwendige Datensatz inkl. Genauigkeitsspezifikation abgeleitet und für die Planung der Objekterfassung sowie für die Kostenkalkulation verwendet werden.

3.3 Der messtechnische Werkzeugkoffer

Um die relativ komplexen und unterschiedlichen Anforderungen an die 3D-Geometrisierung eines Sanierungsobjektes möglichst wirtschaftlich erfüllen zu können, muss auf eine Palette verschiedener Sensoren zugegriffen werden.

Terrestrisches Laserscanning (TLS):

Das TLS mit seiner Eigenschaft der flächenhaften und objektweisen Erfassung erlaubt eine schnelle Aufnahme der Objektgeometrie (und weniger der Elementgeometrie). Anwendungsmöglichkeiten finden sich vor allem in der Dokumenta-



Abb. 4: CCEM-Retrofit-Testobjekt 1 (links Ansicht, rechts Teilansicht 3D-Punktwolke).



Abb. 5: Bildplan.

tion von Gebäuden, archäologischen Fundstätten und Industrieanlagen, bei der Inspektion von Bauwerken wie Tunnels sowie bei der Generierung von virtuellen Modellen. Der Praxiseinsatz beschränkt sich momentan noch auf Anwendungen, für welche neue spezifische Prozessabläufe bereits erarbeitet wurden und somit wirtschaftlich eingesetzt werden können. Die Problematik des TLS liegt bekanntermaßen in der Weiterverarbeitung und Objektextraktion.

Nahbereichsphotogrammetrie:

Die Nahbereichsphotogrammetrie bietet durch die schnelle photographische Erfassung eine gute Alternative für die Ausenaufnahmen von Gebäuden. Dabei können zusätzlich zum terrestrischen Fall auch luftgestützte Aufnahmen mit Hilfe von Mikrodrohnen erstellt werden, welche Aufnahmeperspektiven zulassen, die mit dem terrestrischen Laserscanning nicht möglich sind. Die Photogrammetrie (terrestrisch und luftgestützt) bietet eine gute Ergänzung zum terrestrischen Laserscanning.

Tachymetrie, Einzeldistanzen:

Für die einzelpunktorientierte Erfassung hat die klassische elektronische Tachymetrie durchaus ihre Einsatzberechtigung. Dabei kann die Aufnahme zusätzlich mit hilfreichen Softwaretools für den Feldeinsatz ergänzt, vereinfacht und beschleunigt werden. Zur Ergänzung von Aufnahmen mit den o.a. Technologien oder für die Generierung von Kontrollmassen, für einzelne Ergänzungen oder Messungen

von teilweise verdeckten Objektteilen könnte auch ein Handheld-Distanzmesser zum Einsatz kommen. Eine gesamthafte Kosten-Nutzen optimierte Objektaufnahme wird sich auf der Basis der Projektanalyse nur durch eine sinnvolle Kombination und Ergänzung dieser Technologien (→ messtechnischer Werkzeugkoffer) bewerkstelligen lassen.

4. Erste Erfahrungen

Als erstes Sanierungsobjekt für Grundlagengestudien und Tests wurde ein typisches, sanierungsbedürftiges Mehrfamilienhaus herangezogen (Abb. 4). An diesem konnten die verschiedenen Methoden, Verfahren und Instrumente und deren Kombination praxisnah und grundlegend erprobt werden. Die ersten Resultate bzw. Produkte wurden anschliessend für die Detaildiskussion und -spezifikation sowie die Erprobung von Prozessabläufen mit den beteiligten Projektpartnern verwendet.

Mittels TLS wurden Fassade, Treppenhäuser, Dachboden sowie ausgewählte Innenräume erfasst (zum Einsatz kam ein Leica HDS 3000). Ergänzt wurden diese Scans durch photogrammetrische Aufnahmen (terrestrisch, Mikrodrohne) und Einzelpunktmessungen (Tachymeter). Im Folgenden werden einige Möglichkeiten und Anwendungen, welche mit dem beschriebenen Werkzeugkoffer möglich sind, diskutiert.

4.1 Bildplanerstellung

Die Entzerrung von Bildern durch Vorgabe einer ebenen Fläche im Bild kann als ein einfaches und zeitsparendes Verfahren zur Generierung von Grundlageplänen angesehen werden (Abb. 5). Die damit erreichbaren Genauigkeiten hängen dabei sehr stark von der Kamera, deren Kalibrierung sowie der Abweichung der Fassadenoberfläche von der definierten Fläche ab. Seit einiger Zeit sind auch Tachymeter mit integrierter Bilderfassung auf dem Markt, welche die Bildaufnahme und Referenzpunktbestimmung zusammenfassen.

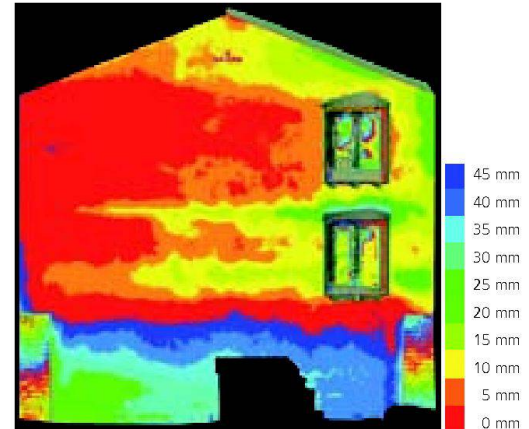


Abb. 6: Ebenheitsanalyse: jeder Farbwechsel stellt eine Differenzänderung zwischen der Fassade und einer virtuellen vertikalen Ebene von 5 mm dar – Farbverlauf in der Legende wiederholt sich ausserhalb des Bereichs.

4.2 Photogrammetrische Auswertung

Die drohnengestützte Nahbereichsphotogrammetrie bietet eine Ergänzung bei der Schliessung von Löchern (z.B. Dachflächen, Fensterbänke und Balkontüren), welche durch Abschattungen bzw. Unzugänglichkeit beim Laserscanning entstanden sind. Erste Resultate haben gezeigt, dass eine solche Kombination durchaus möglich ist. Aufgrund der beschränkten Nutzlast der Mikrodrohne (md4-200) muss eine handelsübliche Kompaktdigitalkamera verwendet werden, wodurch die Auflösung für Detailauswertungen (z.B. bei Fenstern) zur Zeit noch nicht ausreicht. Bei der Bildmessgenauigkeit lassen sich durch eine Selbstkalibrierung durchaus Werte unter einem Pixel erreichen. Auch die kombinierte Auswertung mit Laserscanningdaten ist nicht zu vernachlässigen. Für das CCEM-Retrofit Projekt muss sowohl der hohe Aufwand für die Orientierung der Bilder als auch die notwendige zeitintensive Interpretation und die damit verbundene Vereinfachung der Objektgeometrie bei der Rekonstruktion kritisch beurteilt werden.

4.3 Laserscanning Auswertung

Die Auswertungen haben gezeigt, dass das terrestrische Laserscanning für Ebenheitsanalysen von Fassaden (evtl. Dä-

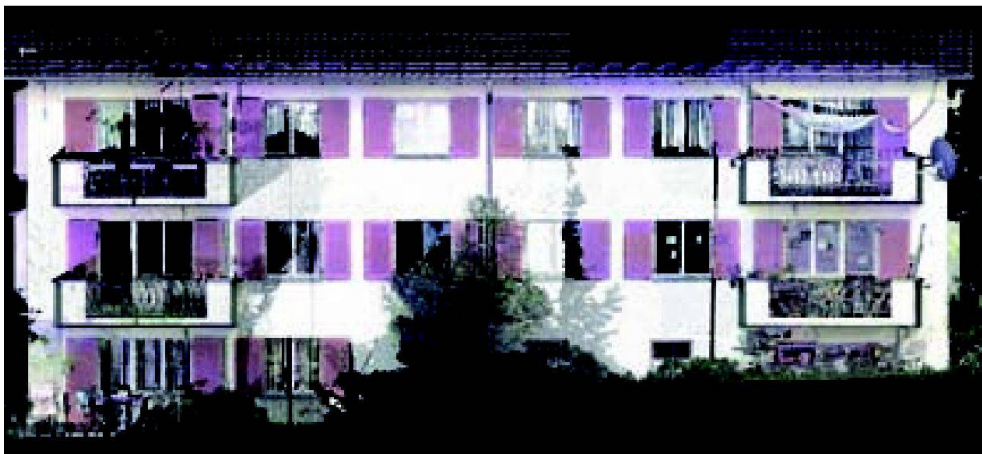


Abb. 7: Orthophoto aus Punktwolke.

chern) sehr gut eingesetzt werden kann (Abb. 6). Auch die Orthophotogenerierung ermöglicht es, einfach und schnell erste Planungsgrundlagen zu erzeugen (Abb. 7). Der Aufwand zur kompletten Extraktion aller nötigen Geometrieelemente eines Modells ist jedoch sehr hoch und erreicht je nach Produkt ein Vielfaches der für die Feldaufnahme benötigten Zeit. Weitere Möglichkeiten bieten auch die Generierung von einzelnen Schnitten durch die Punktwolke oder das Fitting von primitiven Geometrien. Dabei liegt eine extrem hohe Informationsdichte vor. Der Bearbeitungsaufwand ist jedoch hoch und die Interpretation führt teilweise zur «Verfälschung» der real vorhandenen Geometrie. Die Genauigkeit liegt dabei in der Regel unter der Einzelpunktbestimmungsgenauigkeit, hängt aber sehr stark von der Möglichkeit der Approximation des gewählten virtuellen Geometrieelements an die Realität ab.

4.4 Laserscanning – Reverse Engineering

Das Reverse Engineering wird im Bereich des Maschinenbaus, der Medizin oder auch der Kunst schon seit längerem eingesetzt. Dabei werden bestehende oder von Hand erstellte Objekte digitalisiert (z.B. Freiformflächen), um sie digital bearbeiten, anpassen und fertigen zu können. Bei diesem Ansatz sind Parallelen zum CCEM-Retrofit-Projekt erkennbar. Bei beiden geht es um real bestehende, meist nicht «regelkonform» erstellte Ob-

jekte (nicht absolut senkrecht, waagrecht, eben, etc.), welche nun modifiziert werden sollen. Deshalb wird eine Überführung der Gebäude-Punktwolke in echte dreidimensionale polygonale Netze oder NURBS-Modelle versucht (Abb. 8). Damit könnte den Planern ein digitales Abbild generiert werden, auf welchem sie die Detailplanung aufbauen können. Der Aufwand ist dabei bedeutend kleiner als bei der interaktiven 3D-Geometrisierung, und die Informationsdichte der Punktwolke kann weitgehend erhalten bleiben. Die erreichbare Genauigkeit liegt dabei in der Grössenordnung der 3D-Punktbestimmungsgenauigkeit und wäre somit ausreichend.

5. Fazit und Ausblick

Bereits in der Planungsphase eines Sanierungsprojekts nach dem Konzept CCEM-Retrofit müssen möglichst detailliert und präzise die Bedürfnisse aller Projektbeteiligten in Bezug auf die Erfassung der 3D-Geometrie des Sanierungsobjektes definiert werden, um eine Kosten-Nutzen optimierte Erfassung und Datenaufbereitung durchführen zu können. Der im Projekt entwickelte Retrofit-Advisor ist ein probates Hilfsmittel zur Grunddatenerhebung.

Erste Erfahrungen mit den Testobjekten haben gezeigt, dass sich das objektbasierte Aufnahmeverfahren des TLS für die Geometrisierung von Sanierungsobjekten eignet. Interessant ist dabei vor allem

die Informationsdichte, welche es ermöglicht, ein nicht «regelkonformes» Objekt, wie es ein Gebäude in der Regel darstellt, detailliert und mit der benötigten Genauigkeit zu beschreiben. Schlussendlich wird jedoch kaum ein Weg daran vorbeiführen, eine Kombination von Instrumenten aus dem Werkzeugkoffer zu verwenden, um die gesteckten Ziele zu erreichen.

Die Akzeptanz eines zentralen Datenzugriffs durch alle Projektbeteiligten und die Extraktion der benötigten Daten mit geeigneten benutzerfreundlichen Werkzeugen muss sichergestellt sein. Dies ist das Schlüsselement zum Erfolg oder Misserfolg des vorgestellten Projekts. Intensive Diskussionen mit den beteiligten Industriepartnern aus der Baubranche lassen hier aber eine berechtigte Hoffnung aufkeimen.

Anmerkungen:

- ¹ MINERGIE ist eine in der Schweiz geschützte Marke für energieeffizientes Bauen (www.minergie.ch).
- ² Fachhochschule Nordwestschweiz, Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik (FHNW, HABG), Hochschule Luzern – Technik & Architektur (FH Zentralschweiz), ETH Lausanne, Laboratoire d'énergie solaire et de physique du bâtiment (LESO-PB), ETH Zürich, Centre for Energy Policy and Economics (CEPE) sowie das Paul Scherrer Institut (PSI).
- ³ Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt – Building Technologies.
- ⁴ Förderagentur für Innovation im Bundesamt für Berufsbildung und Technologie.

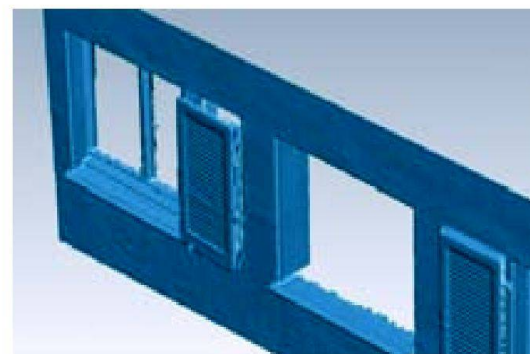


Abb. 8: Vermaschung als digitales Abbild der Punktwolke – Fassadenschnitt.

Literatur:

Bastian, A., Schleinkofer, M. (2005): Bauteilerkennung unter Zuhilfenahme künstlicher neuronaler Netze. Forum Bauinformatik 2005. Lehrstuhl für Bauinformatik, Brandenburgische Technische Universität Cottbus, ISBN 3-934934-11-0.

CCEM-Retrofit (2006): F&E Programm Nachhaltige Wohnbaurerneuerung – Europaweites Programm zur Werterhaltung im Gebäudebestand. Projekt-Info-Flyer. Version 11/2006.

CCEM-Retrofit (2007): F&E Programm Nachhaltige Wohnbaurerneuerung – Europaweites Programm zur Werterhaltung im Gebäudebestand. Retrofit-Advisor. Version 5/2007.

Gottwald, R., Knabl, Th. (2007): 3D-Mess-technik bei der energieeffizienten Sanierung von Altbauten unter besonderer Berücksichtigung des Laserscanning. In: Barth, W., Foppe, K., Schäfer, Th. (Hg.): Terrestrisches Laserscanning (TLS 2007). Ein Messverfahren erobert den Raum. Augsburg: Wissner-Verlag. 173–185. ISBN 978-3-89639-607-5.

Herrmann, J., Möser, M. (2008): Reverse Engineering – Vom Objekt zum Modell. In: Allgemeine Vermessungs-Nachrichten 5/2008: 185–187.

Kern, F. (2003): Automatisierte Modellierung von Bauwerksgeometrien aus 3D-Laserscanner-Daten. Fachbereich Bauingenieurwesen der Technischen Universität Carolo-Wilhemina zu Braunschweig, Braunschweig, ISBN 3-926146-14-1.

Schäfer, Th., Schleinkofer, M. (2005): Vom Laseraufmass zum Stoffflussmanagement für Altbauten. Bayforrest Vorhaben F248. Abschlussbericht. <http://www.inf.bauwesen.tu-muenchen.de/forschung/bayforrest248>.

Wiedemann, A. (2004): Handbuch Bauwerksvermessung. Birkhäuser Verlag, Basel, ISBN 3-7643-6722-9.

Dipl. Ing. (FH) Thomas Knabl
Prof. Dr. Reinhard Gottwald
Fachhochschule Nordwestschweiz
Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik
Institut Vermessung und Geoinformation
Gründenstrasse 40
CH-4132 Muttenz
thomas.knabl@fhnw.ch
reinhard.gottwald@fhnw.ch

**IMPRES
Energy System**

motcom

communication everywhere

MOTOROLA

Motcom Communication AG
Max Högger-Strasse 2
8048 Zürich
T 044 437 97 97
info@motcom.ch

www.motcom.ch