

# **Dokumentation und Analyse von Erbebenschäden an Gebäuden mit Hilfe eines Geo-Informationssystems**

Steffen Volz und Monika Sester

## **1. Einführung**

Der grundlegende Ansatz des von der Volkswagen-Stiftung unterstützten Projektes zum Thema „Dokumentation und Analyse von Erbebenschäden mittels Geo-Informationssystemen“ bestand darin, die Schadenserfassung und –auswertung von beeinträchtigten Gebäudestrukturen durch den Einsatz digitaler Techniken effizienter zu gestalten. Hiermit sollte ein Beitrag dazu geleistet werden, die Folgeerscheinungen bzw. Folgeschäden von Naturkatastrophen dieser Art soweit wie möglich zu minimieren.

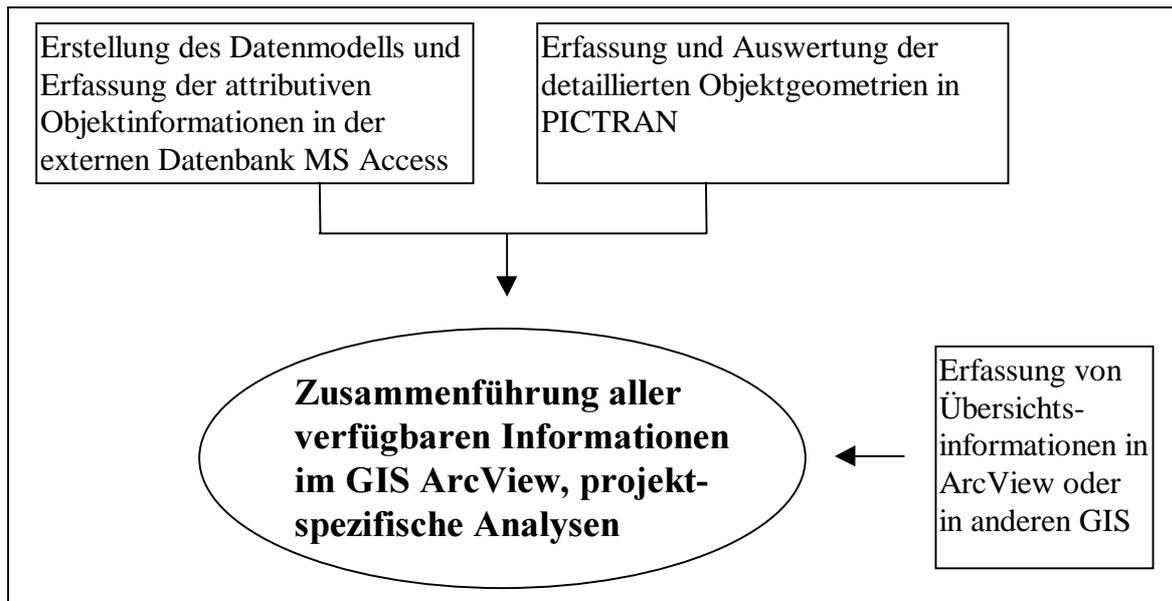
Für die Umsetzung dieser Zielsetzung konnte eine neue Methodik entwickelt werden, die sich durch die Kombination digitaler photogrammetrischer Prozeduren zur Erfassung der Schäden mit dem Einsatz eines Geo-Informationssystems zum Zwecke der Schadensauswertung und -dokumentation auszeichnet.

In der ersten Projektphase lag das Gewicht auf der Erstellung eines Datenmodells sowie auf der Entwicklung eines durchgängigen Konzeptes zur Zusammenführung und Auswertung der erfaßten Daten innerhalb des GIS. Dahingegen stand im zweiten Projektabschnitt die Optimierung der Vorgehensweise im Hinblick auf die in der Praxis aufgetauchten Problematiken, insbesondere der Digitalisierung von Objektstrukturen, im Vordergrund. Außerdem wurden in dieser Phase auch neue Techniken einbezogen, von denen man sich eine weitere Verbesserung der Methodik erhofft. In erster Linie ist hier die Integration der dritten Dimension zu nennen.

## **2. Die Aufgaben der ersten Projektphase**

Die Beschreibung von Objekten und damit die Erstellung eines Datenmodells ist die Voraussetzung für die Arbeit mit Geo-Informationssystemen. Demzufolge stellte diese Aufgabe auch einen wichtigen ersten Schritt bei der Bearbeitung des Projektes dar. Darüber hinaus mußte auf die Erfassung der geometrischen Information mittels photogrammetrischer Methoden (über das System photogrammetrische Auswertesystem PICTRAN) und deren Überführung in das GIS (ArcView) eingegangen werden. Nach der Zusammenführung aller Daten innerhalb des Geo-Informationssystems (vgl. Abbildung 1) konnte schließlich eine Vorgehensweise zur Schadensanalyse innerhalb des eingesetzten Systems ArcView entwickelt werden.

Die folgenden Ausführungen sollen kurz noch einmal auf die Grundprinzipien bei der Entwicklung der Methodik im ersten Förderungszeitraum eingehen.



**Abbildung 1: Überblick über die Integration von geometrischer und thematischer Gebäudeinformation in einem GIS.**

## 2.1 Erstellung des Datenmodells zur Gebäude- und Schadensdokumentation

Die Beschreibung der aufzunehmenden Objekte mußte der Aufgabenstellung des Projektes entsprechend eine sehr hohe Auflösung erreichen, d.h. die Gebäudeobjekte mußten sehr detailliert über Attribute definiert werden. Dies erforderte zunächst eine intensive Zusammenarbeit mit türkischen Bauingenieuren, mit deren Hilfe sämtliche zur Kennzeichnung der verschiedenen Objekte heranzuziehenden Sachdaten ausfindig gemacht wurden.

Grundsätzlich gesehen mußte im Rahmen der Untersuchung ein Datenmodell integriert werden, das die Beschreibung der verschiedenen Gebäudetypen sowie der an ihnen auftretenden Schadensmerkmale ermöglicht. In erster Linie wurde dabei ein analoger Schadenserfassungsbogen, welcher bei der Dokumentation der Gebäudeschäden in der Beispielregion Anwendung gefunden hatte, in digitale Form übertragen. Alle Abfragen sowie die Möglichkeiten zur Berechnung der Schadenswerte von Konstruktionselementen und einzelnen Gebäuden, die innerhalb dieses Formulars angeboten wurden, sollten dadurch auch innerhalb des Geo-Informationssystems realisiert werden können. Um die Übertragbarkeit des Erhebungsbogens in das GIS zu erreichen, wurde er gemäß des Objektklassenprinzips modelliert und in eine schlüssige Tabellenstruktur überführt. Auf dieser Grundlage konnte dann die Datenaufnahme durchgeführt werden, die zwecks einer besseren Handhabung mittels einer externen Datenbank (MS Access) realisiert worden ist.

## 2.2 Die photogrammetrische Datenerfassung

Zum Zwecke der photogrammetrischen Erfassung und Auswertung von beschädigten Gebäuden mußte ein Objekt nach der Paßpunktbestimmung von allen umgebenden Seiten fotografisch aufgenommen werden. Zusätzlich wurden signifikante Schadensmerkmale in detaillierterem Maße aufgenommen.

Die anschließende Auswertung der Schäden erfolgte durch das Softwarepaket PICTRAN. Hierfür mußte zunächst die äußere Orientierung der Aufnahmestandorte mittels der

Bündelblockausgleichung berechnet werden, die das Programm automatisiert durchführen kann. Die photogrammetrische Analyse der relevanten Gebäude- bzw. Schadensstrukturen umfaßte dann deren Messung sowie die Berechnung abgeleiteter Größen (z.B. Neigungs- und Verschiebungsvektoren), die Anfertigung von Deformationskurven und ähnliches. Diese Informationen mußten schließlich in das GIS transferiert werden, indem sowohl Geometrie als auch Thematik der Objekte im ArcView- bzw. in einem für ArcView lesbaren Format zur Verfügung gestellt wurden.

### 2.3 Die Analyse der erfaßten Daten im GIS

Nachdem sämtliche notwendigen Daten innerhalb des GIS zusammengeführt werden konnten, war die Voraussetzung für die Entwicklung einer Vorgehensweise zur Analyse der Informationen entsprechend der jeweiligen Fragestellung gegeben. Zum einen sollten dabei Übersichtsinformationen in ihrem räumlichen Zusammenhang präsentiert werden; beispielsweise wurde eine Darstellung sämtlicher Gebäude entsprechend ihrer Schadensgrade innerhalb des digitalen Stadtplanes gewünscht. Diese generellen Auswertungen konnten mit den standardmäßig angebotenen Werkzeugen des GIS problemlos umgesetzt werden.

Der Schwerpunkt der Untersuchung lag jedoch auf der Analyse der Gebäudeinformation. So sollte ein Konzept zur Analyse und Berechnung der Gebäudeschäden sowohl die Berechnungsmethoden auf Basis der attributiven Daten als auch die räumlichen Analysen, die zu einer Kategorisierung der Schäden notwendig sind, integrieren. Die Anpassung des GIS an die projektspezifischen Anforderungen konnte mit Hilfe der ArcView-internen Programmiersprache „Avenue“ verwirklicht werden. Grundsätzlich erfolgte hierbei die Gewichtung von Schadensmerkmalen an Konstruktionselementen über ausgewählte Indikatoren. Die jeweilige Wertung dieser Schadensanzeiger basierte dabei nicht nur auf der Sondierung der attributiven Information, sondern es wurden auch räumliche Analysen einbezogen. Insgesamt konnte schließlich ein Konzept erarbeitet werden, das eine durchgängige und automatisierte Auswertung der Schäden und als Resultat eine Zuweisung eines Schadensgrades („ohne Schäden“ bis „schwere Schäden“) zu einem Gebäude erlaubt (siehe Abbildung 2).

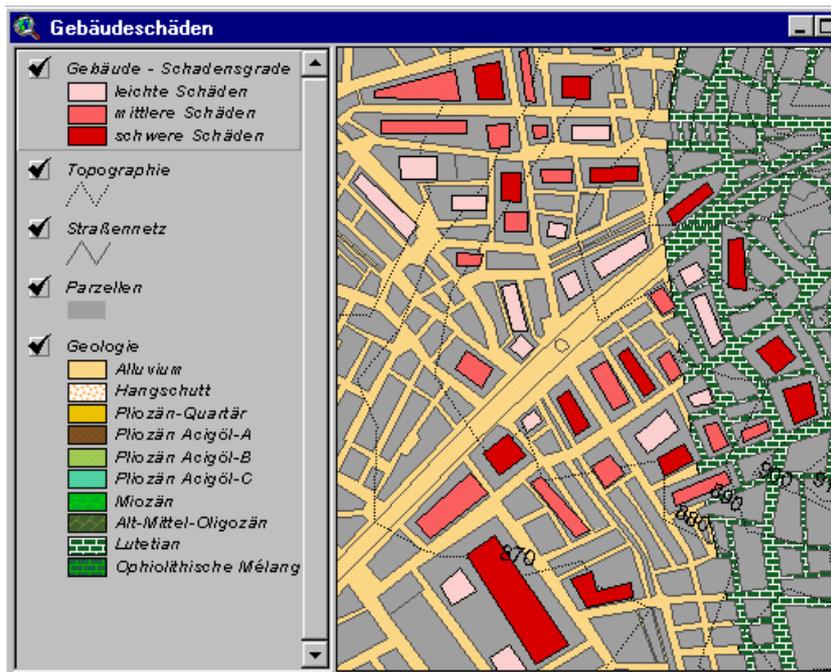


Abbildung 2: Visualisierung der Schadensgrade von Gebäuden

### **3. Die Aufgaben des abschließenden Förderungszeitraums**

Innerhalb der vergangenen, abschließenden Projektphase wurde versucht, die entwickelte Vorgehensweise zur Dokumentation und Analyse von Erdbebenschäden an Gebäuden unter Verwendung weiteren Datenmaterials, das u.a. im Zuge eines erneuten, verheerenden Bebens in der Stadt Adana/Türkei (27. Juni 1998) erhoben wurde, im praktischen Einsatz zu testen. Wie erwartet stieß man hierbei auf das Problem, daß die detaillierte Erfassung der Gebäudestrukturen und der Gebäudeschäden in der Praxis noch nicht schnell genug erfolgen kann. Die Methodik muß also besonders im Bereich der Objekterzeugung innerhalb des Geo-Informationssystems, d.h. der Vektorisierung der relevanten Konstruktionselemente von Gebäuden und der zugehörigen Schadensmerkmale, weiter optimiert werden. Zu diesem Zweck sind die Module „Spatial Analyst“ und „Image Analyst“ des ArcView-GIS herangezogen worden, die eine digitale Bearbeitung der in PICTRAN orientierten und photogrammetrisch ausgewerteten Bilder erlauben. Mit Hilfe dieser Module besteht eine Möglichkeit zur semi-automatischen Extraktion erkennbarer Objekte aus dem digital vorliegenden Bild des Gebäudeobjektes. Durch einen standardmäßig angebotenen Algorithmus zur Raster-Vektor-Transformation können die so erkannten Rasterobjekte schließlich in Vektorform umgewandelt werden. Daneben wurde im Rahmen einer Diplomarbeit [M. Celikoyan] ein Verfahren zur semi-automatischen Linienverfolgung entwickelt und implementiert.

Im weiteren Verlauf der Untersuchungen wurde darüber hinaus versucht, die Integration der dritten Dimension ansatzweise zu verwirklichen, die ja besonders bei der Beschreibung und Analyse von Gebäuden von Bedeutung ist. Mit dem 3D-Analyst ArcViews steht dabei ein Werkzeug zur Verfügung, das eine sehr gute Voraussetzung zur Verbesserung der Schadensauswertung und des visuellen Eindrucks beschädigter Gebäude bietet.

Bisher konnten nun einige vielversprechende Ansätze zur weiteren Optimierung der Vorgehensweise verfolgt werden, auf die im folgenden näher eingegangen werden soll. Sowohl auf dem Gebiet der Objekterzeugung, als auch bei der Einbeziehung der dritten Dimension ist jedoch nur ein Anfang gemacht worden und folglich besteht weiterer Untersuchungsbedarf, der über die Terminierung des Projektes hinausreicht.

#### **3.1 Ansätze zur Optimierung der Objekterzeugung**

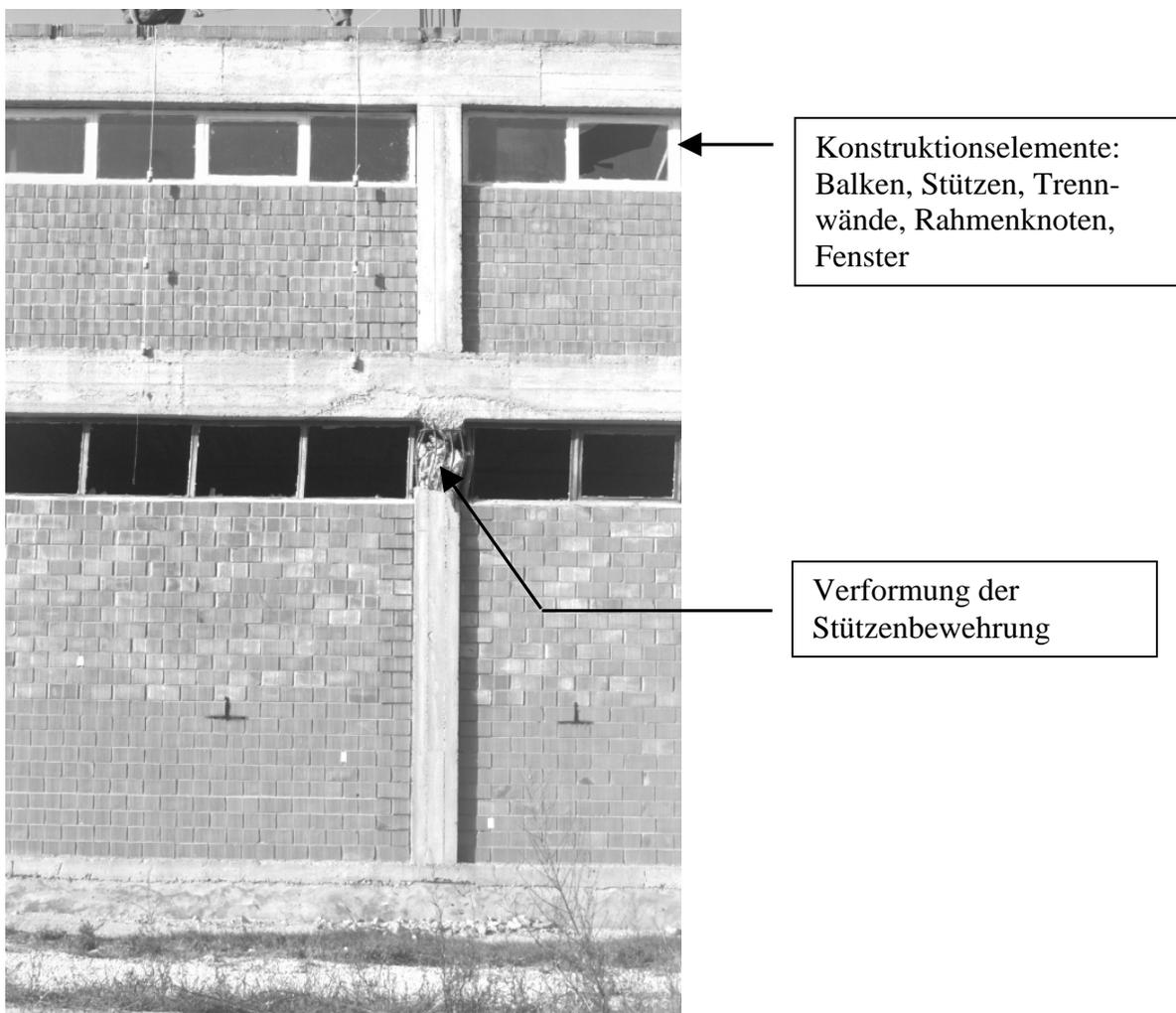
Die grundlegende Problematik bei der Erzeugung von Objekten in der Vektorwelt besteht in einem relativ hohen Digitalisierungsaufwand, der umso höher ist, je mehr Objekte aufgenommen bzw. je detaillierter die Objekte erfaßt werden müssen. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung ist es notwendig, sehr viele verschiedene Objekte (von den Konstruktionselementen, wie z.B. Säulen, bis hin zum einzelnen Riß) zu erfassen und dabei eine relativ hohe Auflösung der Objekte zu erreichen. Erst auf Basis der Generierung dieser Objekte ist eine umfassende und durchgängige Schadensanalyse im GIS möglich. Als Zielsetzung muß es daher gelten, den zeitlichen Aufwand bei der Digitalisierung weitgehend zu verringern. Zur Verwirklichung dieser Vorgabe wurden nun drei Ansätze entwickelt, die in Kombination einen sehr vielversprechenden Lösungsweg aufzeigen. Grundsätzlich wird dabei folgendermaßen vorgegangen: die digitalen Bilder der Gebäudefassaden werden innerhalb des photogrammetrischen Analyseprogramms PICTRAN wie bisher orientiert und entzerrt. Die Messung der Objektgeometrien erfolgt anschließend durch Anwendung von Bildanalyseverfahren. Da die Bilder entzerrt worden sind, liegen die Messungen direkt im Gebäudekoordinatensystem vor.

##### **3.1.1 Die interaktive, halbautomatische Objektgenerierung**

Der Grundgedanke dieses Ansatzes bestand darin, die manuelle Vektorisierung von Objekten soweit wie möglich zu umgehen und statt dessen mit Bildanalyseoperationen eine automa-

tisierte Objekterzeugung auf Basis der Rasterbildvorlage durchzuführen. Durch das ArcView-Modul „Image Analyst“ bietet das GIS eine Möglichkeit zur digitalen Bildverarbeitung und damit auch zur Extraktion von Strukturen auf der Grundlage ihres Grauwertes an. Die Extraktion der Objekte funktioniert dabei um so besser, je homogener der Grauwert eines Objektes ist bzw. je deutlicher die Abgrenzung gegenüber umgebenden Strukturen zu erkennen ist. Der erste Schritt bei der Bildbearbeitung muß es daher sein, die benötigten Objekte so gut wie möglich „herauszupräparieren“, d.h mit den geeigneten Bildverarbeitungsprozessen dafür zu sorgen, ein Bild in weitgehend einheitliche Strukturen zu unterteilen. Daraufhin können in einem weiteren Schritt die Objektstrukturen erkannt und in Vektorform transformiert werden, wobei verschiedene Varianten zur Erkennung der Strukturen angeboten werden. Das theoretisch skizzierte Verfahren soll zur besseren Anschaulichkeit anhand eines Beispiels aufbereitet werden:

Die folgende Abbildung 3 zeigt einen Ausschnitt von der Fassade eines Gebäudes, das während des Erdbebens in Adana mittelgroße Schäden erlitt:



**Abbildung 3: Gebäudestruktur, sowie Schäden an einem Gebäude in Adana.**

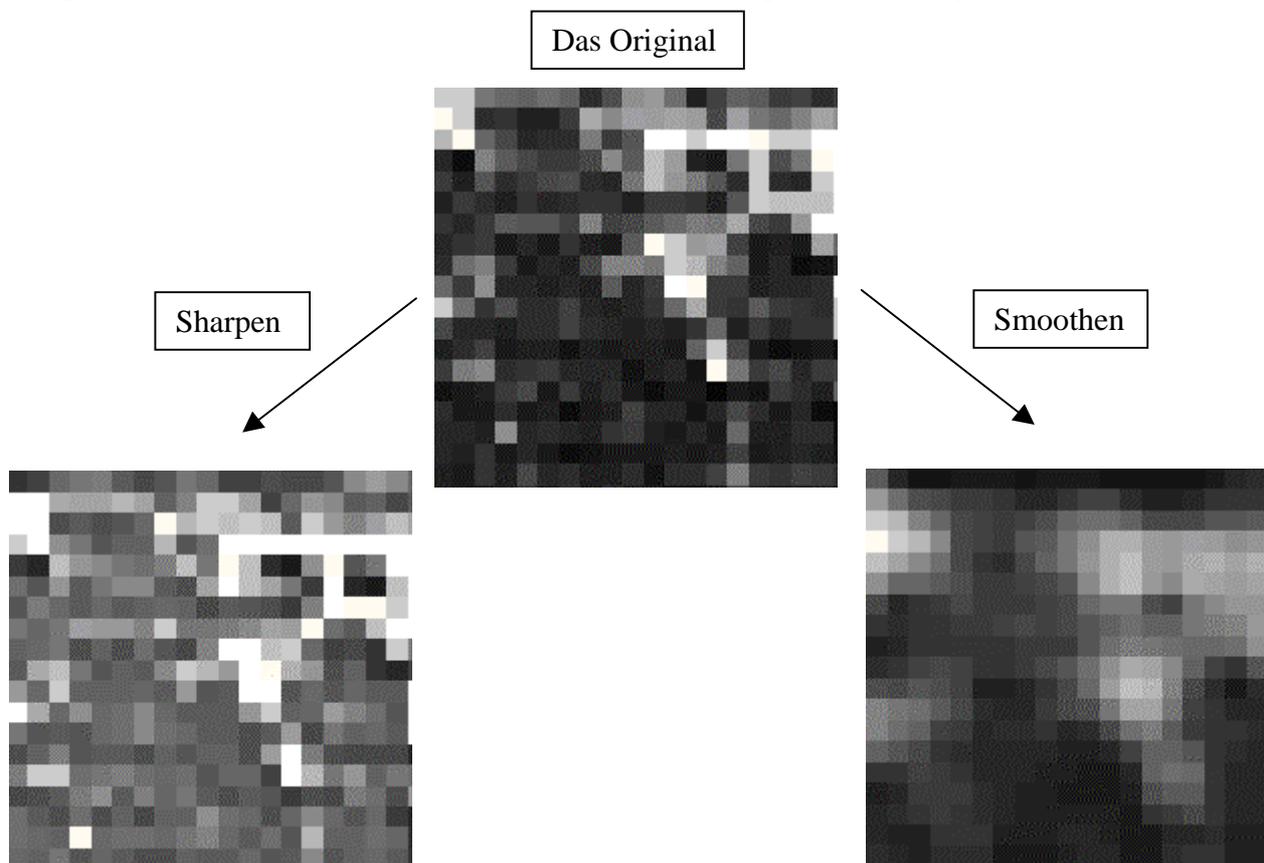
Aufgabe soll es nun sein, aus diesem Bild Objektstrukturen abzuleiten, die für das Projekt von Bedeutung sind. Beim vorliegenden Gebäude vom Typ „Stahlbetonrahmen“ handelt es sich u.a. dabei um die Konstruktionselemente

- Stahlbetonstützen,
- Stahlbetonbalken,
- Rahmenknoten,

- Füllwände,
- Öffnungen (Fenster, Türen),

sowie um die Schadensmerkmale „Risse“. Sämtliche Objekte sind im vorliegenden Bild deutlich zu erkennen. Das Ziel ist es nun, die einzelnen Objekte über Prozeduren der digitalen Bildverarbeitung zu extrahieren und sie anschließend in Vektorform zu überführen. Zunächst ist es dazu sinnvoll, die einzelnen Einheiten in homogenere Grauwertbereiche umzuwandeln, denn die automatische Objekterkennung stößt naturgemäß dort an ihre Schranken, wo Pixel mit stark voneinander abweichenden Grauwerten einem bestimmten Objekt zugehörig sind. Zu diesem Zweck werden innerhalb des ArcView Image Analyst einige Prozeduren standardmäßig angeboten. Neben den homogenen Punktoperationen ist es ferner möglich, den visuellen Eindruck eines Bildes über die Anpassung von Helligkeits- und Kontrasteinstellungen gemäß der Fragestellung zu manipulieren.

Zur weiteren Bildbearbeitung besteht weiterhin die Möglichkeit, die Grauwerte eines Bildes über Kantenverstärkung bzw. Glättung (Sharpen und Smoothen) so umzugestalten, daß Objektstrukturen leichter erkennbar sind. Hierzu ein Beispiel (Abbildung 4):



**Abbildung 4: Kantenverstärkende bzw. glättende Bildoperatoren.**

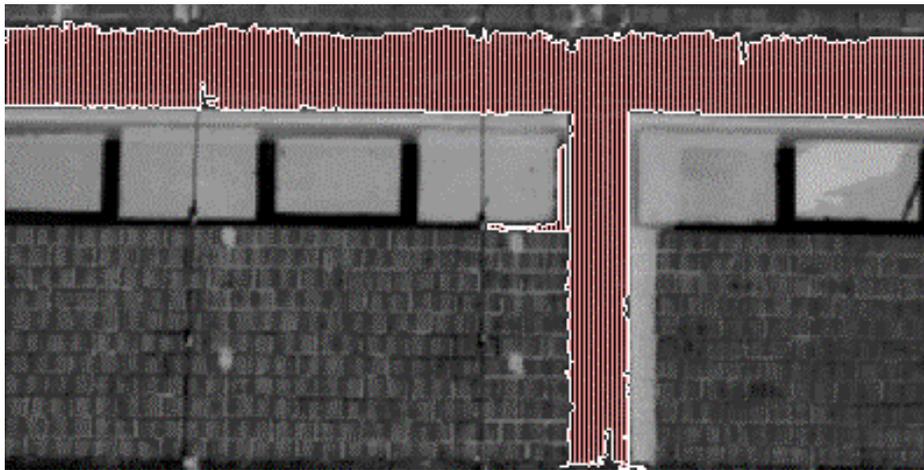
Wie anhand des dargestellten Vergleichs sehr gut zu erkennen ist, fördert die Prozedur „Smoothen“ eher die Homogenität der Pixel und führt aus diesem Grund zu einer verbesserten Signifikanz der Objekte im Bild. Hat man das Rasterbild nun mit den entsprechenden Verfahren vorbereitet, so kann mit der Extraktion der Objekte begonnen werden.

Bildanalyseverfahren lassen sich prinzipiell in regionenorientierte und kantenbasierte Verfahren unterscheiden. Im ersten Fall wird angenommen, daß die Objekte sich aus

homogenen Grauwerten zusammensetzen, während die Prämisse im zweiten Fall ist, daß Objekte durch Kanten begrenzt sind.

### 3.1.2 Regionenbasierter Ansatz

Für die regionenbasierte Objektbildung steht im Programm Image Analyst ein sog. Bereichswachstumsverfahren zur Verfügung, welches operateursgestützt abläuft. Dabei kann der Anwender über die Auswahl eines oder mehrerer Pixel einen Merkmalsraum bzw. ein Wertebereich definieren, dessen Inhalt die Grundlage für die Objektbildung des resultierenden Polygons darstellt. Will man nun mittels dieser Methode Stützen und Balken aus dem oben gezeigten, der Smooth-Operation unterzogenen Bild des beschädigten Gebäudes extrahieren, so zeigt sich folgendes Ergebnis (Abbildung 5).

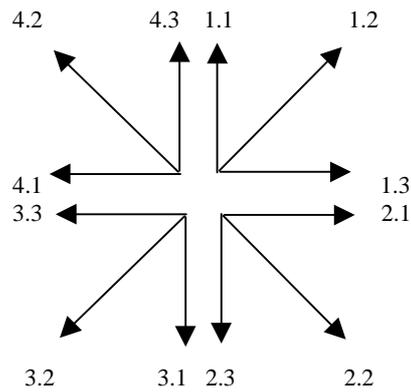


**Abbildung 5: Extraktion von Stützen und Balken.**

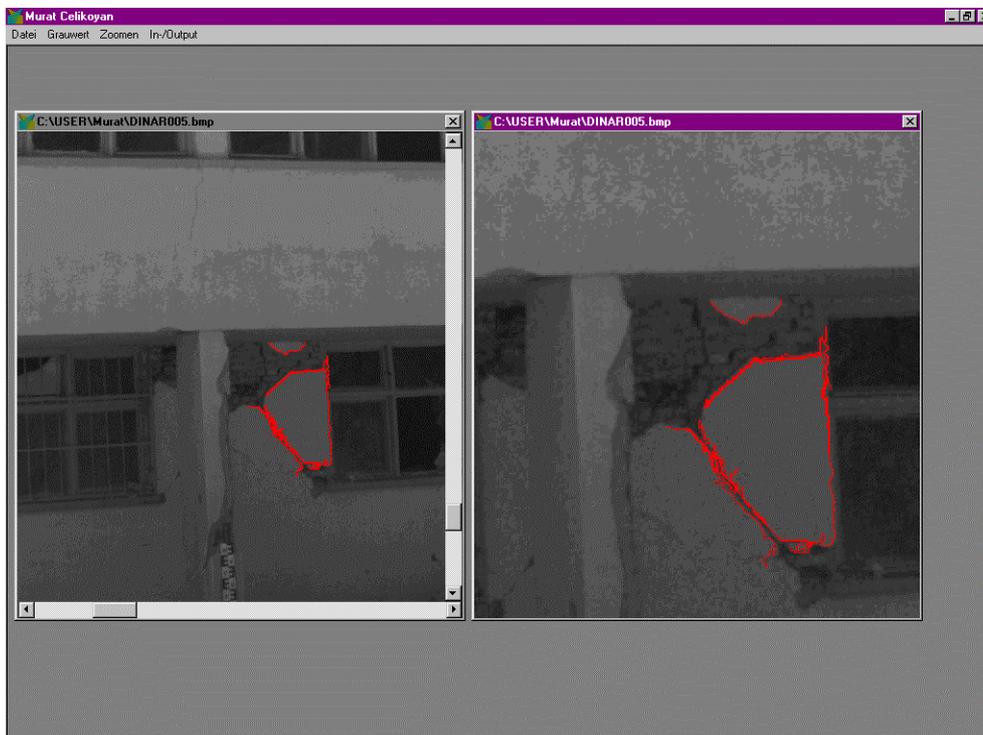
Da es sich um verhältnismäßig einheitliche Bereiche handelt, erscheint auch die Objektstruktur relativ deutlich, obwohl auch hier naturgemäß Unregelmäßigkeiten in Erscheinung treten. Besonders an jenen Stellen, an denen unterschiedliche Strukturen gleicher äußerer Erscheinung, d.h. gleichen Grauwerts im Bild, sich schneiden, kommt es zu Fehlern. So wurde im obigen Beispiel etwa ein Teil eines Fensterrahmens dem Säulenobjekt hinzugerechnet. Bei sehr heterogenen Strukturen, die zum gleichen Objekt gehören, stellt sich das Problem in anderer Weise. Tritt an einem Gebäude beispielsweise ein Riß auf, der in sich eine sehr hohe Bandbreite von Grauwerten aufweist, so kann das Objekt als ganzes nur schwerlich über automatisierte Prozesse erkannt werden, weshalb mehrere Polygone für den bezeichneten Riß produziert werden müssen, die anschließend zu einem einzigen zu vereinigen sind.

### 3.1.3 Kantenbasierter Ansatz

Im Rahmen einer Diplomarbeit [M. Celikoyan] wurde darüber hinaus ein Verfahren zur interaktiven Kantenfindung bzw. Linienverfolgung entwickelt. Der Operator gibt dabei einen sog. Saatpunkt vor – einen Punkt, der im zu messenden Objekt liegt. Anschließend sucht das System die Umgrenzungen des Gebiets. Der Algorithmus kann als „Viermal Dreier-Nachbarschaft“ bezeichnet werden. Auf diese Weise kann erreicht werden, daß eine einmal eingeschlagene Suchrichtung auch beibehalten wird. Beim Prinzip „Viermal Dreier-Nachbarschaft“ wird die Suchrichtung wie in untenstehender Abbildung realisiert.



Die erste Zahl gibt hier die primäre Suchrichtung an, die zweite ist der Index für den Nachbarn. Wurde in einem Viertel ein Kantenpixel gefunden, so beginnt die weitere Suche mit dem ersten Nachbarn dieses Viertels. Erst wenn hier keine weiteren Kantenpixel gefunden werden können, erfolgt ein Übergang in ein anderes Viertel. Abbildung 6 zeigt die Anwendung des Programms zur Messung der Begrenzung eines Mauerstücks.



**Abbildung 6: Semi-automatische Kantenverfolgung zur Messung eines Mauerstücks.**

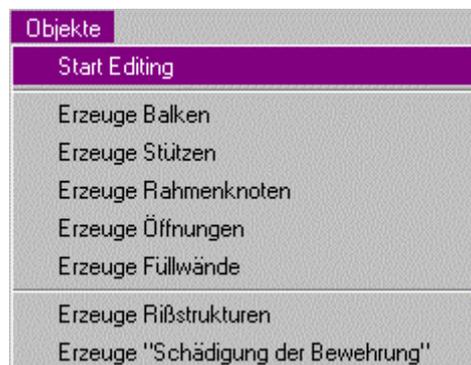
### 3.1.4 Die vereinfachte On-Screen- Digitalisierung innerhalb des GIS

Die Abbildung des beschädigten Gebäudes von Adana läßt die verschiedenen Konstruktionselemente sehr deutlich erkennen. Dies stellt jedoch einen Sonderfall dar, denn meistens sind die Strukturen der Konstruktionselemente anhand der Fotografie einer Gebäudefassade wegen des Verputzes nur schwer auszumachen, d.h. sie können in keinem Fall über automatisierte Verfahren vektorisiert werden (siehe Abbildung 7). Aus diesem Grund müssen dem Nutzer des Informationssystems Funktionalitäten zur Verfügung gestellt werden, die eine schnelle Digitalisierung von Strukturen am Bildschirm ermöglichen.



**Abbildung 7: Stark beschädigtes Gebäude, bei dem die Identifikation der Konstruktionselemente schwierig ist.**

Der Bauingenieur kann aufgrund seines Fachwissens den Verlauf der Konstruktionselemente anhand der Gebäudestruktur nachvollziehen und soll daher in die Lage versetzt werden, diesen Verlauf auch leicht und zügig digital nachzeichnen zu können. Zu diesem Zweck wurde ein in ArcView eine neue Funktionalität integriert, die über ein Zusatzmenü erreichbar ist und das Anlegen von verschiedenen relevanten Themen und das Erzeugen von Objekten innerhalb dieser Themen erleichtert (siehe Abbildung 8).



**Abbildung 8: Menü zur Erzeugung von Objekten.**

Möchte man beispielsweise ein Gebäude digitalisieren und zunächst die Balkenelemente erzeugen, so kann man das einfach über die Menüfunktion „Erzeuge Balken“ erreichen. Besteht das Thema innerhalb des entsprechenden Views noch nicht, so wird es automatisch erzeugt. Dabei wird der jeweiligen Objektgruppe bereits der passende Objekttyp (Polygon, PolyLine oder Point) zugewiesen. Ist das Thema jedoch schon vorhanden, wird es direkt in den Editiermodus versetzt. Veränderungen innerhalb eines Themas können nach Abschluß der Bearbeitung auf Anfrage abgespeichert werden. Beim Umgang mit sämtlichen Funktionalitäten wird der Benutzer über Dialogboxen gesteuert. Abbildung 9 visualisiert die Menü-gestützte Digitalisierung.



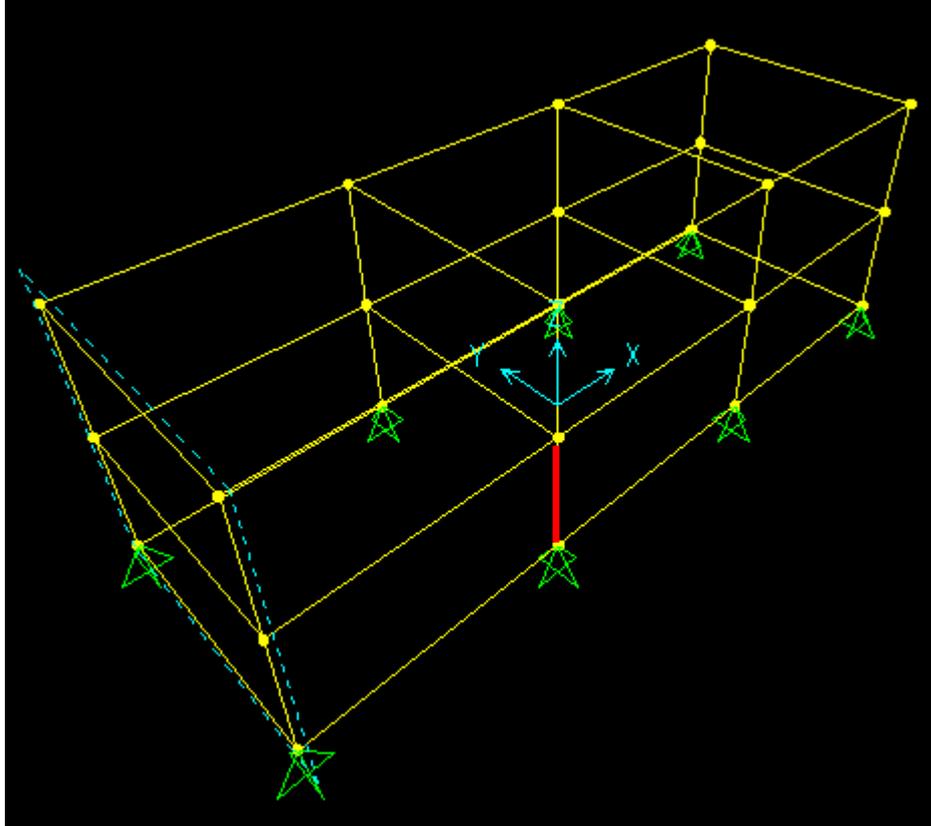
**Abbildung 9: On-Screen Digitalisierung von Konstruktionselementen**

### 3.1.5 Die Erzeugung von generalisierten Gebäudemodellen

Ein weiterer Ansatz zur Beschleunigung der Vorgehensweise bestand darin, für bestimmte Gebäudetypen wie z.B. Stahlrahmengebäude, die in ihrem Aufbau meist sehr regelmäßig sind,

1. vordefinierte Fassaden zu erstellen, die bei Gebäudetypen dieser Art häufig mit einer ähnlichen Struktur in Erscheinung treten und bei denen sich folglich Schadensausprägungen in ähnlichem Maße manifestieren und auswirken.
2. mit Hilfe eines Programms eine Möglichkeit bereitzustellen, die Gitterstruktur von Stahl- und Stahlbetonrahmengebäuden entsprechend der Verteilung von bzw. der Abstände zwischen Rahmenknoten, Säulen und Balken sowie über die Angabe ihrer Maße, des Grundrisses und der Geschoß- und der Gebäudehöhe abzubilden. Zur Veranschaulichung soll folgendes Beispiel dienen, in dem bereits ein solches Modell in 3D-Form erzeugt wurde.

Auf Basis dieses Gebäudemodells ist jede Struktur einzeln anzusprechen, wie z.B. die rot gekennzeichnete Stütze in der Abbildung. Die Strukturen sind hier lediglich als Drahtmodell repräsentiert – für die Messung eines konkreten Objekts wären die jeweiligen Ausdehnungen der Objekte (Stützenstärke, etc.) noch anzugeben. Diese Darstellung der Balken und Stützen konnte jedoch noch nicht verwirklicht werden. Natürlicherweise ergeben sich bei komplexeren, ungewöhnlichen Gebäudestrukturen Probleme bei der Erstellung des Modells. Für einfachere Bauten stellt dieses Vorgehen der Bereitstellung bzw. der automatischen Generierung eines Gebäudemodells aber durchaus eine sinnvolle Alternative dar, denn innerhalb des erzeugten Vektormodells müssen lediglich die Schadensmerkmale ergänzt werden, um die Schadensberechnung zu ermöglichen.

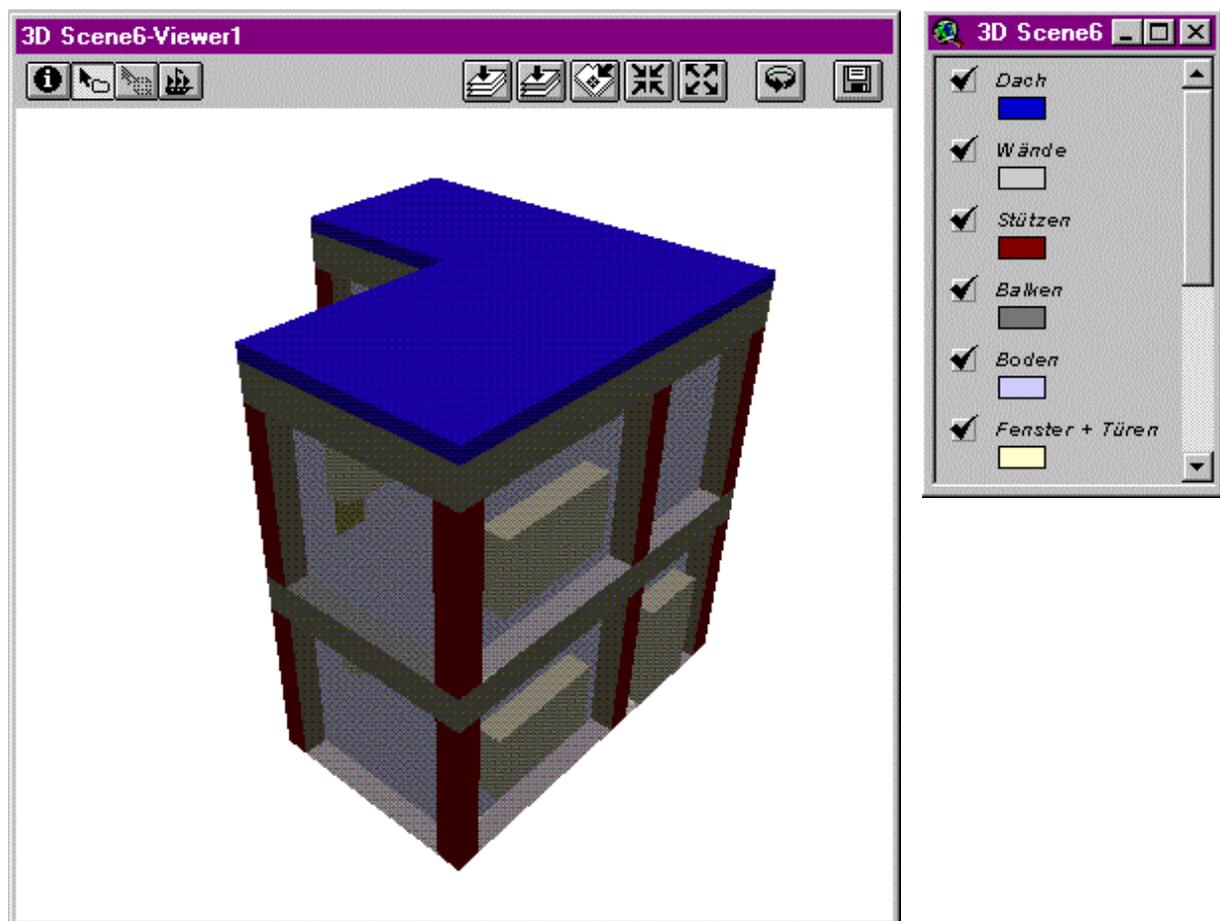


**Abbildung 4: Erzeugung von Gebäudestrukturen**

### **3.2 Die Integration der dritten Dimension**

Gerade bei der Darstellung und Untersuchung von Gebäuden ist es unerlässlich, die dritte Dimension mit einzubeziehen. Bisher konnte diese Problematik innerhalb von Geo-Informationssystemen jedoch noch nicht befriedigend gelöst werden, da fast alle GIS-Produkte bislang lediglich auf 2D-Daten arbeiten. Im bisherigen Ansatz wurden daher die Objekte jeweils in einzelne Fassadenebenen, und damit in eine 2D-Repräsentation, projiziert. Mit dem ArcView 3D-Analyst bietet die Firma ESRI nun aber einen Aufsatz an, der vielversprechende Möglichkeiten auf dem Gebiet der Integration von 3D-Objekten in Aussicht stellt. Hiermit ist nicht nur eine visuelle Präsentation der Objekte in der dritten Dimension möglich, sondern es können auch räumliche Abfragen integriert werden. Daher stellt die Einbeziehung des Moduls einen wichtigen Schritt bei der Optimierung der Dokumentation und Analyse von Gebäudeschäden dar. Bislang konnte ein exemplarischer Datensatz erzeugt werden, der sämtliche relevanten Gebäudestrukturen enthält und mit dessen Hilfe die Analysefunktionalitäten im dreidimensionalen Raum untersucht wurden.

Der ArcView 3D-Analyst bietet grundsätzlich zwei Arten an, wie dreidimensionale Objekte modelliert werden können: zum einen die Darstellung als polygonale Struktur mit z-Komponente, zum anderen aber auch als Volumen. Im ersten Fall lassen sich lediglich Objektblöcke erzeugen, indem ein 2D-Polygon um die z-Komponente „in die Höhe gezogen“ wird, d.h. es entstehen keine echten 3D-Objekte, die Darstellung ist primär für Visualisierungszwecke geeignet. Im Falle der Darstellung von Objekten als Volumen lassen sich – gemäß dem Prinzip der Randdarstellung – beliebige Volumina erzeugen (Abbildung 11). Die Erzeugung von 3D-Objekten benötigt allerdings einen hohen zeitlichen Aufwand. Die Integration der dritten Dimension in die praktische Arbeit bei der Dokumentation und Analyse von Gebäudeschäden kann daher nur gelingen, wenn eine (semi-) automatisierte Generierung von 3D-Objektstrukturen erreicht wird.



**Abbildung 11: 3D-Modellierung eines Gebäudes.**

In Abbildung 12 wird eine räumliche Analyse in der dritten Dimension dargestellt: die Abfrage hatte zum Ziel, jene Risse zu selektieren, die die Stütze in der Bildmitte schneiden; es wurden die blau markierten Risse selektiert. Insbesondere die Schnitt-Prozeduren und die Pufferbildungen im 3D-Raum sind für die Auswertung von Gebäudeschäden sehr hilfreich. Allerdings sind die Analyseprozeduren bislang noch nicht vollständig im 3D-Analyst realisiert: Schnitte und Puffer werden lediglich in der 2D-Projekten, in der x/y-Ebene berechnet. An der Erweiterung der Analysefunktionalität wird jedoch derzeit bei ESRI gearbeitet.

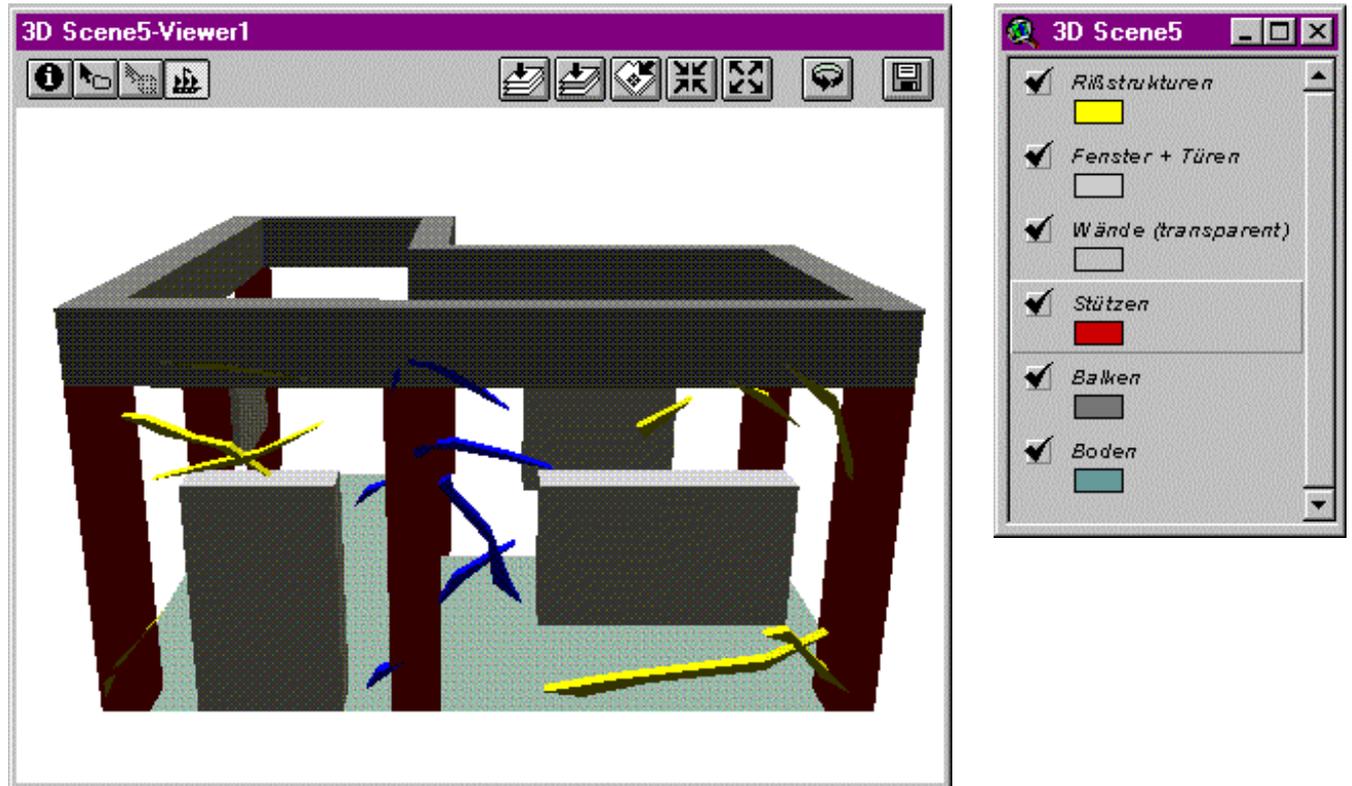


Abbildung 12: Visualisierung von Rißstrukturen in 3D.

#### 4. Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend läßt sich festhalten, daß im Rahmen des Projektes ein sehr vielversprechendes Konzept realisiert wurde, um den besonderen Anforderungen der Aufgabenstellung einer schnellen Datenerfassung und Auswertung gerecht zu werden. Diese läßt sich durch die im Projekt integrierten Komponenten erreichen: Photogrammetrie als berührungslose, schnelle Meßmethode wird ergänzt durch das GIS, welches eine strukturierte Datenerfassung ermöglicht, und die anschließende umfassende Datenanalyse erlaubt. Um die Messung zu beschleunigen, wurde in der zweiten Projektphase der Schwerpunkt auf Automationsmöglichkeiten in der Objektbildung gelegt. Hierzu wurden sowohl bestehende Bildverarbeitungsmethoden eingesetzt, als auch neue Funktionalitäten entwickelt. Diese Funktionalität konnte im Projektzeitraum lediglich exemplarisch gezeigt werden. Weitere Arbeiten zielen darauf ab, die Meßprozesse weiter zu standardisieren bzw. zu automatisieren und damit zu erleichtern.

#### 5. Literatur

Volz, S. [1997], Versuch zur Optimierung der Dokumentation und Analyse von Erdbebenschäden an Gebäuden mittels eines Geo-Informationssystems am Fallbeispiel der Stadt Dinar/Türkei, Diplomarbeit, Geographisches Institut/Institut für Photogrammetrie, unveröffentlicht.

Altan, M., Fritsch, D., Külür, S., Seker, D., Sester, M., Volz, S. & Toz, G. [1998], Photogrammetry and GIS for the acquisition, documentation and analysis of earthquake damages, in: Dokumentation und Analyse von Erdbebenschäden mittels Geo-Informationssystemen 11 `Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering, April 20-22', Eisenstadt, Austria.

D. Seker, M. Sester, S. Volz, S. Külür, G. Toz, O. Altan and D. Fritsch [1998], Modeling and analyzing earthquake induced building damages in a GIS, in: D. Fritsch, M. English and M. Sester, Hrsg., „GIS – between Visions and Applications“, ISPRS Commission IV-Symposium, Stuttgart.

M. Celikoyan: Linienverfolgung zur Extraktion von Erdbebenschäden aus Bildern, Diplomarbeit, Institut für Photogrammetrie, Technische Universität Istanbul, 1999.

O. Altan, M. Altan, D. Fritsch, M. Sester & S. Volz [1998] Photogrammetry and GIS for the acquisition, documentation and analysis of earthquakes, 11<sup>th</sup> European Conference on Earthquake Engineering, Balkema, Rotterdam.