

Seismische Instrumentierung mehrgeschossiger Stahlbetonbauwerke – ein Beitrag zum SERAMAR Projekt

Jochen Schwarz, Dominik H. Lang & Lars Abrahamczyk

*Earthquake Damage Analysis Center (EDAC), Institut für Konstruktiven Ingenieurbau,
Bauhaus-Universität Weimar, Marienstrasse 13, D-99421 Weimar, Deutschland*

Werner Bolleter

Syscom Instruments SA, Kornhausstrasse 15, CH-8037 Zürich, Schweiz

Murat Bikce, Cemal M. Genes & Selcuk Kacin

Mustafa Kemal University, Faculty of Engineering, Antakya/Hatay, Türkei

ZUSAMMENFASSUNG: Im Rahmen einer auf sozioökonomische Fragestellungen erweiterten seismischen Risikostudie in der Südtürkei wird gemeinsam mit den lokalen Institutionen die ehrgeizige Zielstellung verfolgt, für eine (nach wissenschaftlichen Erkenntnissen) besonders exponierte Region vor einem Schadensereignis Vorsorgemaßnahmen regional differenziert zu begründen und durch Kartierungsarbeiten (GIS-Format) geeignete Entscheidungs- bzw. Argumentationshilfen bereitzustellen. Der Beitrag konzentriert sich auf den Teilaspekt der Verletzbarkeitsanalyse auf der Grundlage instrumenteller Bauwerksuntersuchungen. Kriterien der Bauwerksauswahl, Geräte und technische Realisation werden vorgestellt. Es wird eine Übersicht zu den bisher registrierten Ereignissen gegeben aus denen bereits Aussagen zur Bauwerkscharakteristik, zum Erdbebenverhalten bzw. zu lokalen Standortbedingungen sowie zur Boden-Bauwerk-Interaktion abgeleitet werden können. Im Wechselspiel zwischen instrumentellen Daten und analytischer Reinterpretation der Gebäudereaktion wird ein aufwandsreduziertes *Seismic Building Monitoring* System entwickelt, das neben der aktuellen Zustandsbewertung und auf der Grundlage von wiederholt auftretenden Beben moderater Stärke eine Schadensprognose ermöglichen soll.

1. VORBEMERKUNGEN ZUM SERAMAR-PROJEKT

Die speziell in jüngster Vergangenheit aufgetretenen Erdbeben zeigen, dass die Türkei zweifellos zu den Haupterdbebengebieten weltweit und insbesondere im eurasiatischen Raum zählt. Die regionale Verteilung der türkischen Erdbeben der letzten 15 Jahre (Erzincan 1992, Dinar 1995, Adana/Ceyhan 1998, Kocaeli 1999, Düzce/Bolu 1999, Sultandağı 2002, Bingöl 2003) allein gibt Aufschluss darüber, dass nahezu das gesamte Gebiet der Türkei seismisch gefährdet ist und schadenverursachende Erdbeben in fast allen der 81 Provinzen zu erwarten sind. Dennoch konzentrieren sich nahezu alle internationalen Forschungsprojekte auf das westliche Segment der Nordanatolischen Verwerfungszone und hier insbesondere auf den Großraum İstanbul. Ein Blick auf die in Abbildung 1 dargestellte Zonenkarte der türkischen Erdbebennorm (TMPS, 1998)

verdeutlicht die forschungsstrategische Notwendigkeit, sich auch jenen Regionen und Städten zuzuwenden, die nicht im aktuellen Fokus der Öffentlichkeit stehen.

Zu diesen zählt aus verschiedenen, u.a. auch sozioökonomischen Gesichtspunkten die Stadt Antakya (histor. *Antiochia*), heute Hauptstadt der südtürkischen Provinz Hatay, die als Testgebiet für das im Jahr 2004 initiierte SERAMAR-Projekt ausgewählt wurde. Unter Berücksichtigung der historisch dokumentierten Seismizität, nicht zuletzt verursacht durch die Lage dieser Region inmitten des Ostanatolischen Verwerfungssystems (EAF), besitzt die Stadt Antakya ein beträchtliches Gefährdungspotential mit einer hohen Auftretenswahrscheinlichkeit von schadenverursachenden Starkbeben.

Im Rahmen des SERAMAR-Projektes (*Seismic Risk Assessment and Mitigation in the Antakya-Maras Region (Southern Turkey) on the Basis of Microzonation, Vulnerability and Preparedness Studies*) wird die ehrgeizige Zielstellung verfolgt, für eine (nach wissenschaftlichen Erkenntnissen) besonders exponierte Region v o r dem Schadensereignis Vorsorgemaßnahmen regional differenziert zu begründen und durch Kartierungsarbeiten (GIS-Format) geeignete Entscheidungs- bzw. Argumentationshilfen bereitzustellen. Durch geotechnische, seismologische, ingenieurrelevante und soziologische Erhebungen werden Grundlagen für globale Schadensszenarien entwickelt (Lang *et al.*, 2006). Die Ergebnisse erheben den Anspruch, n a c h dem Ereignis überprüfbar und verifizierbar zu sein.

Zu den entscheidenden Aufgaben gehört die Aufnahme und Bewertung der Verletzbarkeit der vorhandenen Bauwerkssubstanz und die Bereitstellung vertrauenswürdiger Basisdaten, um konkrete Maßnahmen begründen und in Form der durch soziologische Studien fundierten Akzeptanzanalyse verallgemeinern zu können. Das interdisziplinär angelegte Forschungsprojekt sieht die Durchführung einer seismischen Risikokartierung und Verlustabschätzung für einen städtischen Ballungsraum im Vorfeld eines schadenverursachenden Ereignisses vor, um geeignete Vorsorgestrategien und katastrophenvorbeugende Maßnahmen vorzuschlagen und mittelfristig umzusetzen zu können (EDAC, 2004). Als ein aus Ingenieursicht anspruchsvoller Beitrag zum Vorhaben wird eine international neuartige Vorgehensweise der Bauwerksinstrumentierung erprobt, die die Implementierung gemessener Bauwerksreaktionen und die Kalibrierung der Berechnungsmodelle einschließt (Schwarz *et al.*, 2006).

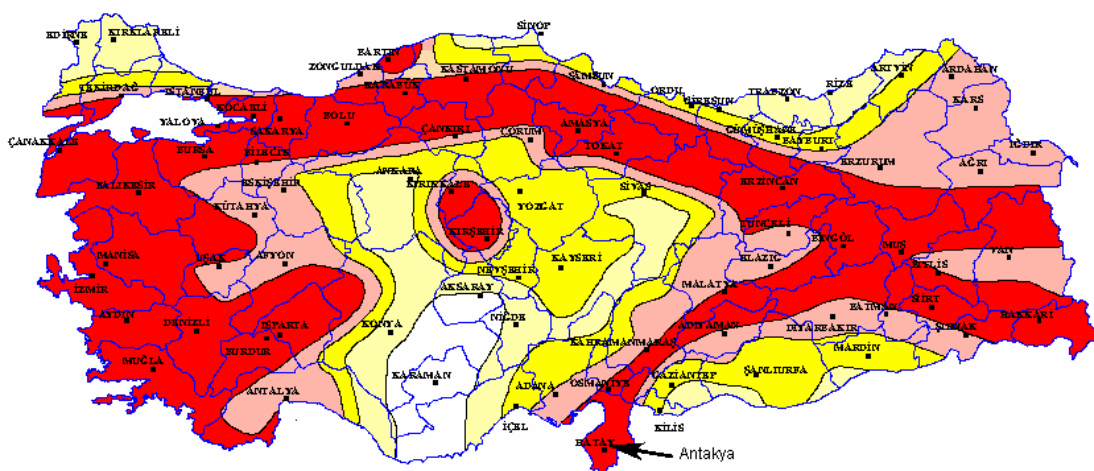


Abbildung 1: Zonenkarte der türkischen Erdbebennorm (TMPS, 1998) und Einordnung der Stadt Antakya



a) Tägliche Einsatzbesprechung



b) Anwendung der Erhebungsbögen

Abbildung 2: Schulung von künftigen Bauingenieuren (Studenten der MK-Universität Antakya) bei der Aufnahme und Bewertung der Gebäude nach Verletzbarkeitsklassen

Neben den soziologischen Erhebungen auf unterschiedlichen Organisationsebenen der Gesellschaft (vgl. EDAC, 2004, 2005) wurden Schulungsmaßnahmen der lokalen Partner, z.B. zur Aufnahme und Bewertung des Bauwerksbestandes durchgeführt (vgl. Abbildung 2). Nicht zuletzt durch solide Grundlagenarbeiten im Ingenieurbereich soll eine Vertrauensbasis erworben werden, die die Akzeptanzmaßnahmen befördert bzw. ihre Umsetzung überhaupt erst ermöglicht.

Der Beitrag konzentriert sich auf den Teilaspekt der Verletzbarkeitsanalyse auf der Grundlage der instrumentellen Bauwerksuntersuchungen. Das Wechselspiel zwischen Messung und Analyse soll den Einstieg bieten, um wesentliche Eingangsparameter für eine realistische Prognose des Gebäudeverhaltens bereitzustellen. Nach der zunächst auf drei Jahre veranschlagten Betriebszeit sollte die verfügbare Datenbasis Aussagen über die Reaktion repräsentativer Gebäudevertreter unter unterschiedlichen Einwirkungsbedingungen ermöglichen. Gleichzeitig werden durch die systematische Auswertung der Reaktionskenngrößen grundsätzliche Erkenntnisse zum Verhalten von Geschossbauwerken und daraus abzuleitenden Anforderungen an die Bauwerksauslegung erwartet. Von besonderem Interesse ist dabei für mitteleuropäische Erdbebengebiete die Klärung der effektiven Einwirkungen und Reaktionen im Falle moderater Erdbebenstärken.

2. BAUWERKSINSTRUMENTIERUNG

2.1 KRITERIEN FÜR DIE BAUWERKSAUSWAHL

Für die Auswahl der Gebäude wurde ein Kriterienkatalog entwickelt, der ausgehend von den bisher international bekannten Beispielen (nach CSMIP, 2005) auch die Motivation der gewählten Instrumentierung und das dafür als erforderlich betrachtete Schema der Sensoren kritisch hinterfragt. Es wurde entschieden, sich auf eine Mindestausstattung zu beschränken und somit die Quantität der Aufnehmer zu begrenzen und durch die Qualität der begleitenden wissenschaftlichen Untersuchungen zu ersetzen, und damit letztlich auch zur Attraktivität einer kosteneffizienten (*low budget*) Instrumentierung beizutragen (Schwarz *et al.*, 2006).

Eine Prioritätenliste für die in Kalifornien zu instrumentierenden Bauwerke wird von Çelebi *et al.* (1985) aufgestellt, die neben der Gefährdung und den Standortbeding-

ungen (Entfernung zu potentiellen Herden bzw. aktiven Verwerfungen, Verstärkungseffekte aus den Untergrundbedingungen usw.) auch die Bauwerkseigenschaften (Bauweise und –zeit) und spezifische Nutzeranforderungen (Bedeutung) berücksichtigt.

An diese Vorgehensweise prinzipiell anknüpfend konnten im Ergebnis der notwendigen Vorauswahl in Antakya 11 mehrgeschossige Stahlbetonrahmentragwerke als geeignet identifiziert werden. Anhand der modifizierten Prioritätenliste erfolgte anschließend die Abarbeitung eines eigens dafür entwickelten Kriterienkataloges (EDAC, 2006). Das abschließende Ranking basiert auf einer Aufsummierung der einzelnen, mit Wichtungsfaktoren ausgestatteten Kriterien, wobei ergänzend die Realisierbarkeit einer Freifeldstation berücksichtigt wurde (EDAC, 2006). Das Vorgehen weicht hier von Çelebi *et al.* (1985) ab, die die Standortbedingungen mit einem Faktor von 0.25 und die Bauwerkseigenschaften mit 0.75 belegen. Tabelle 1 gibt die Bewertung für die letztendlich ausgewählten Gebäude. Abbildung 3 zeigt die instrumentierten Gebäude, die wie folgt zu kennzeichnen sind:

- Das 3(4)-geschossige Schulgebäude (Abb. 3a) repräsentiert ein in der Türkei weit verbreitetes Typenprojekt für Bildungseinrichtungen.
- Bei dem 6-geschossigen Krankenhaus handelt es sich um ein partiell verstärktes Stahlbetongebäude, dessen Antwortverhalten durch Schubwände beeinflusst wird.
- Das in Abb. 3c dargestellte 5-geschossige Wohngebäude gilt als charakteristisch für das Stadtgebiet von Antakya.
- Im Ranking waren zwar einige Objekte als „Wunschkandidaten“ besser platziert; kurzfristig auftretende Hinderungsgründe konnten jedoch nicht ausgeräumt werden.

Tabelle 1: Auswahlkriterien für die instrumentierten Gebäude (Auszug; EDAC, 2006)

Nr.	Bauwerk (Beschreibung)	Bewertung der Auswahlkriterien						
		TP	U	RK	BW	N	RP	TR
02	Akdeniz Apartman (Wohngebäude)	●	●	●	●	◐	●	●
07	Hatay Devlet Hastanesi (Krankenhaus)	◐	●	●	●	●	●	●
08	H. Özbugday Lisesi (Schule)	●	●	●	●	●	◐	●

● günstig, gut (max. 1.0) ◐ noch geeignet (0.5) ○ ungeeignet, ungünstig (0)

TP = Topographie U = Umgebung RK = Regularität; Komplexität
 BW = Bauweise; N = Nutzung RP = Repräsentativität für den Bestand
 TR = technische Realisierbarkeit



(a) SM-1: Hüseyin Özbuğday Lisesi (Schule)



(b) SM-2: Hatay Devlet Hastanesi (Krankenhaus)

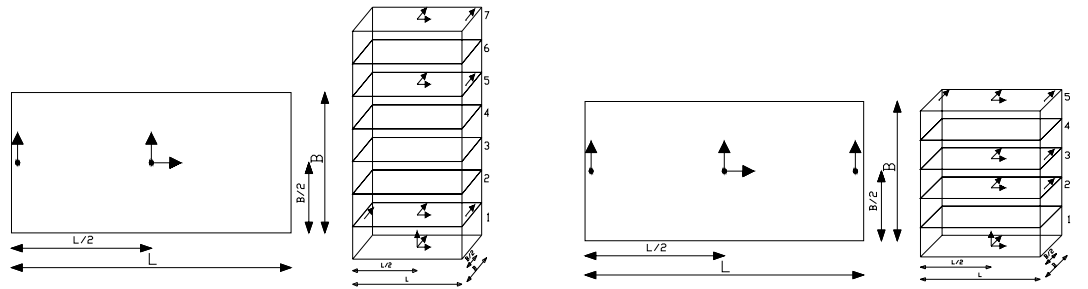


(c) SM-3: Akdeniz Apartman (Wohngebäude)

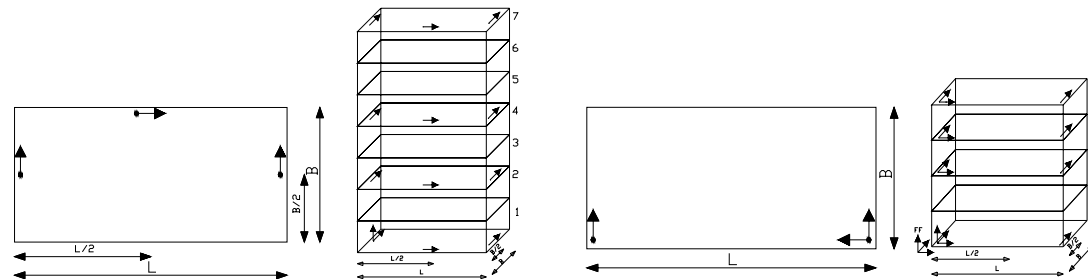
Abbildung 3: Übersicht zu den instrumentierten Gebäuden

2.2 SCHEMA DER INSTRUMENTIERUNG

Neben Fachbeiträgen zu Einzelobjekten vermittelt insbesondere die Datenbasis CSMIP (2005) einen ausgezeichneten Überblick zum internationalen Stand der seismischen Instrumentierung. Ausgehend von ersten Zusammenstellungen registrierter Bauwerkschwingungen (Naeim, 2000) bieten die daraus hervorgegangenen Datenbanken heute einen komfortablen Zugang zu den instrumentierten Gebäuden sowie gewonnenen Registrierungen und lassen gleichzeitig Rückschlüsse auf Entwicklungstendenzen zu.

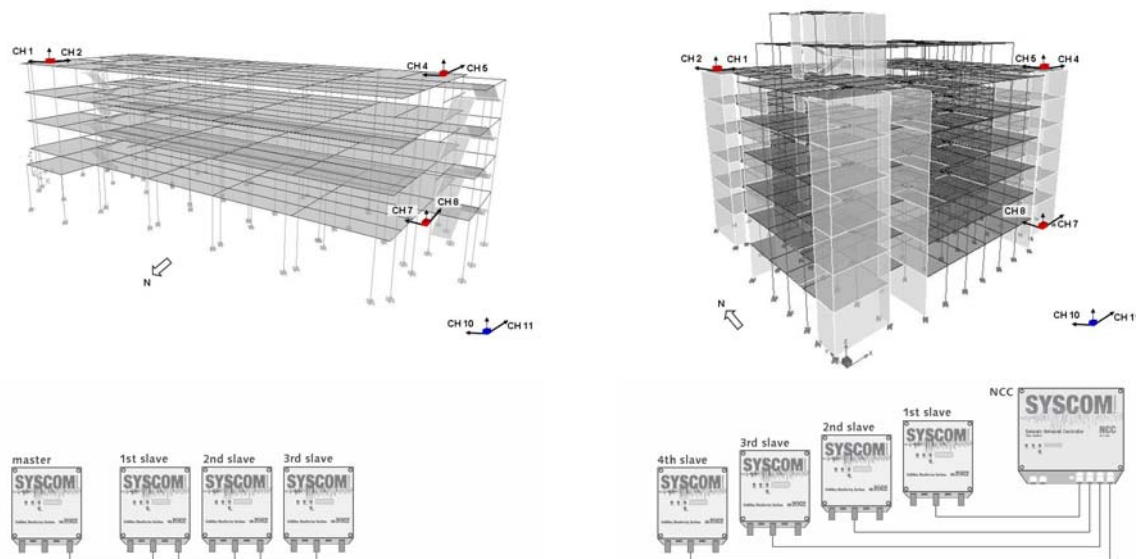


a) Empfehlung nach UBC-1997



b) weitere Varianten

Abbildung 4: Beispiele für die Anordnung der Sensoren in bereits instrumentierten Gebäuden mit 4 bis 7 Geschossen nach CSMIP (2005)



a) Bsp. Schulgebäude (*daisy-chain topology*) b) Bsp. Krankenhaus (*star topology*)

Abbildung 5: Verwendete Messkonfigurationen (Topologien) und Lage der Sensoren

Registrierungen, mit denen – wie im Falle des Imperial County Office Buildings 1979 – die Schädigungsgeschichte nachvollzogen werden kann (vgl. Schott *et al.*, 2002), liegen jedoch nicht vor. Eine Systematisierung der instrumentierten Gebäude kann auf der Grundlage der Anzahl der Sensoren im Dachgeschoss (3 oder 4) sowie deren Anordnung (mittig und/oder dezentral) erfolgen. Abbildung 4 zeigt einige Grundtypen der Gebäudeinstrumentierung, wobei beispielhaft das durch den UBC 1997 empfohlene Schema a) und weitere Varianten b) wiedergegeben werden. Nach CSMIP-3DV(2005) wurden von den insgesamt 68 instrumentierten Gebäuden in Kalifornien 15 (hier vornehmlich diejenigen mit > 8 Geschossen) mit einer Freifeldstation ausgestattet.

In Antakya werden zwei unterschiedliche Messkonfigurationen (Topologien) erprobt (vgl. Abbildung 5, unten) die sich auf die Vernetzung der einzelnen Sensoren untereinander beziehen und somit unterschiedliche Triggerlogiken ermöglichen. Die Anordnung der Sensoren bleibt in beiden Fällen gleich: Neben der Freifeldstation (MR4) werden jeweils zwei Sensoren in diagonalen Gebäudeecken auf Dachgeschosebene (MR1, MR2) und ein Sensor im Erdgeschoss (MR3) montiert. Abbildung 5 (oben) veranschaulicht die Lage der Sensoren in den für die Analyse vorbereiteten Bauwerksmodellen.

2.3 TECHNISCHE REALISATION

Im Vordergrund der technischen Umsetzung steht neben der Installation eines dauerhaft, funktionstüchtigen Systems, die Sicherheit und der Schutz der Geräte. Diese wird vor Ort durch die folgenden Maßnahmen erreicht (EDAC, 2006):

- Unzugänglichkeit (Installation auf dem Dach und in ungenutzten Gebäudenischen),
- Verschießbaren Boxen bestehend aus Edelstahl (für Freifeldstationen) oder Aluminium (innerhalb/auf dem Gebäude) zum Schutz vor Umwelteinflüssen sowie
- weitestgehend geschützte, unzugängliche Verlegung der Kabel.

In Abbildung 6 werden verschiedene Fotos aufgeführt, die einen Eindruck von den Phasen der technischen Realisation vermitteln sollen. Abbildungen 6a zeigen die Erstellung der Freifeldstationen, b) die Installation der Sensoren im Gebäude und c) sonstige Arbeiten wie z.B. die Versiegelung der Schutzboxen gegen mögliches Eindringen von Wasser, Schneidarbeiten zur Verlegung der Kabel unterhalb der Straße und die Installation einer GPS-Antenne.

3. ERDBEBENAKTIVITÄT IN DER REGION

Eingangs war den Fragen nachzugehen, mit welchen Ereignistypen, welcher Anzahl von Beben und welchen Bebenstärken im geplanten Messzeitraum gerechnet werden kann. Die einfache Wiederholung der Bebenstätigkeit im Zeitraum 1990 bis zur Gegenwart im 200-km-Umkreis um Antakya berechtigt zu der Erwartung, auch stärkere Beben und Ereignisse in unterschiedlicher Entfernung aufzuzeichnen. Nach einer gewissen Laufzeit sollten infolge des Datenanfalls bereits belastbare Aussagen über die Reaktion der Gebäude unter sehr unterschiedlichen Einwirkungsbedingungen abgeleitet werden können. Tabelle 2 gibt eine Übersicht zu den Kenngrößen der bis zum Juni 2007 aufgezeichneten Erdbeben am Schulgebäude (vgl. Abbildungen 3a bzw. 5a). Die gegenwärtig vorliegenden Ereignisse im Magnitudenbereich von 3.0 bis 4.3 (KOERI, 2007) sind aufgrund der Entfernung nicht in der Lage, im Gebäude (schwere) Schäden zu verursachen.



a) Montage der Freifeldstationen auf Betonfundamenten



b) Installation der Sensoren und der zentralen Akquisitionseinheit im/auf dem Gebäude



c) Sonstige Montagearbeiten

Abbildung 6: Dokumentation der technischen Realisation

Ungeachtet dessen ist zu konstatieren, dass die Gebäude während ihrer Standzeit bereits verschiedenen seismischen Ereignissen ausgesetzt gewesen sein dürften, so dass hier eine gewisse Schadensprogression (Steifigkeitsabfall und somit Veränderung der dynamischen Charakteristik) zu unterstellen ist.

Tabelle 2: Kenngrößen der aufgezeichneten Erdbeben am Schulgebäude; max. Bodenbeschleunigung PGA an der Freifeldstation (Sensor MR-4)

Nr.	Datum	Zeit (lokal)	Herdtiefe h [km]	Magnitudo M	R _e [km]	PGA [cm/s ²]		
						NS	EW	V
1	19.09.06	03:28:52	22	3.8	53.2	1.29	1.24	1.82
2	09.10.06	08:01:34	39	4.3	75.0	1.18	1.11	1.10
3	07.01.07	13:10:35	20	3.9	101.7	0.25	0.23	0.20
4	25.01.07	10:04:03	17	3.0	25.8	0.21	0.34	0.22
5	02.02.07	01:04:15	12	3.6	48.1	0.51	0.57	0.60
6	03.02.07	09:03:00	27	3.6	104.1	0.21	0.22	0.29
7	11.03.07	22:11:47	6	3.8	45.0	0.31	0.33	0.25
8	14.03.07	22:18:31	4	3.2	38.6	0.29	0.28	0.25
9	12.05.07	16:06:40	8	3.8	50.2	0.81	0.69	0.65
10	15.05.07	05:16:31	5	3.1	40.8	0.27	0.28	0.25

4. AUSWERTUNG UND INTERPRETATION DER MESSDATEN

4.1 IDENTIFIKATION DER BAUWERKSPERIODEN

Die Vertrauenswürdigkeit der Messungen ist nach diversen Geräte- und Signalkontrollen gewährleistet. Abbildung 7 gibt die Registrierungen der beiden Horizontalkomponenten für das stärkste bisher aufgezeichnete Beben der Magnitude 4.3 (Nr. 2 in Tabelle 2) am bzw. im Krankenhausgebäude wieder. Die aus den Zeitverläufen berechneten Spektren verdeutlichen, dass sich tatsächlich eine charakteristische Bauwerksperiode und somit die übliche Bauwerksreaktion (Amplitudenerhöhung über die Bauwerkshöhe) in den Signalen widerspiegelt. Es wird nun darauf ankommen, in der Sequenz der verschiedenen Ereignisse die Übereinstimmung zwischen Messung und Berechnung bzw. die mögliche Zustandsänderung der Gebäude durch die Antwortgrößen nachzuweisen.

Die registrierten Beschleunigungsaufzeichnungen werden zunächst über Antwortspektren (Abbildung 8) und spektrale Verhältnisse (Abbildungen 9 bis 11) ausgewertet. Abbildung 9 illustriert die Amplifikation der horizontalen Bauwerksreaktion an der Bauwerksspitze (MR1 mit Channel CH 1 & CH 2; MR2 mit CH 4 & CH 5) exemplarisch wiederum für das Beben Nr. 2. Die Lage der dominanten Bauwerksperiode stellt sich demzufolge als markanter *Peak* innerhalb der Relation zwischen den Spektralbeschleunigungen von Dach (Sensor MR1) und Erdgeschoss (MR3) dar, wobei Schwingungen in Bauwerkslängs- (Channel CH 1 bzw. CH 4) und -querrichtung (CH 2 & CH 5) getrennt zu betrachten sind. Abbildung 10 bestätigt, dass sich unter den verschiedenen Erdbeben die Amplitudenspitzen (*Peaks*) in der spektralen Relation ähnlich ausbilden, die Amplifikation jedoch unterschiedlich ist. Ebenso deutlich werden die Unterschiede in der Charakteristik von Schule und Krankenhaus.

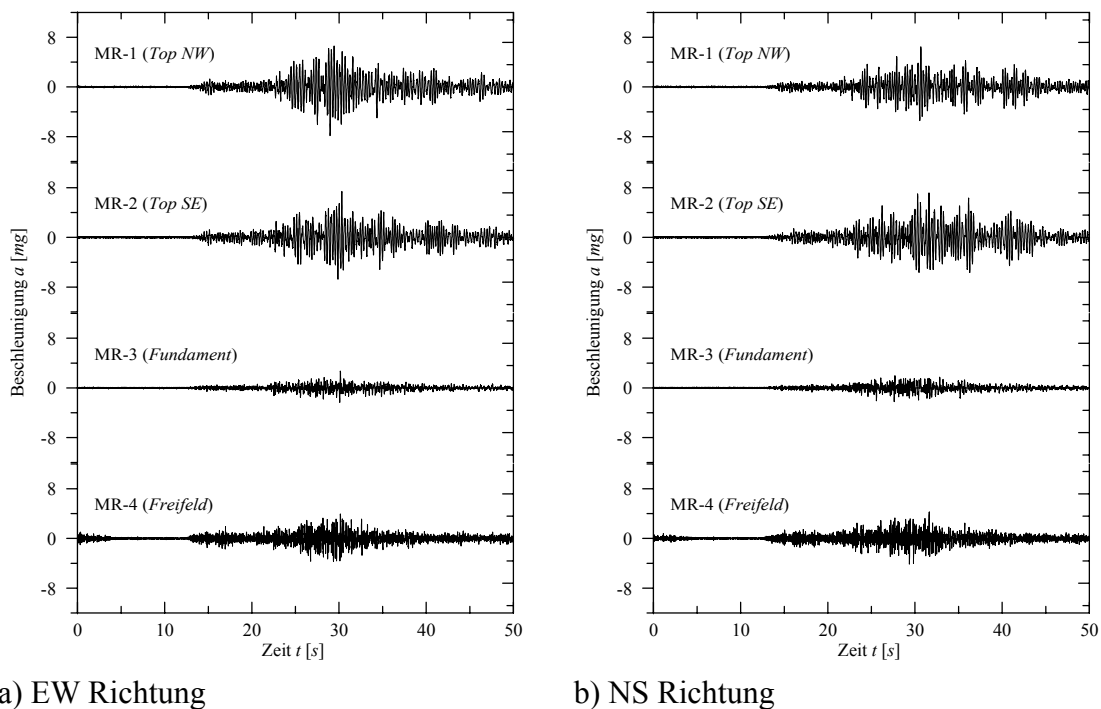
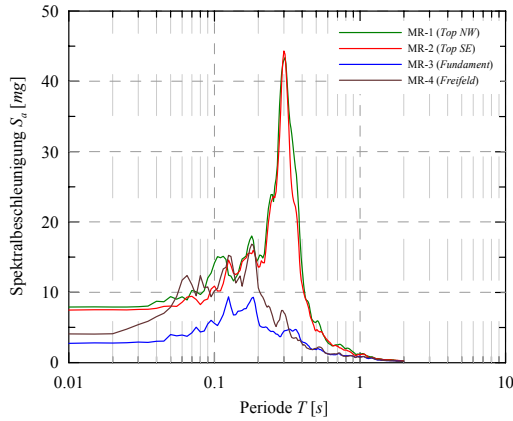
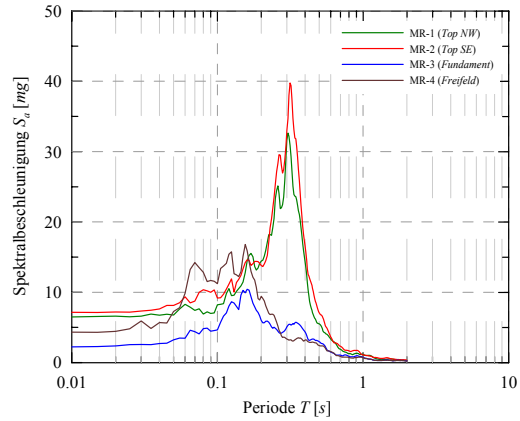


Abbildung 7: Beschleunigungszeitverläufe für das Beben Nr. 2 (M4.3) am Krankenhaus

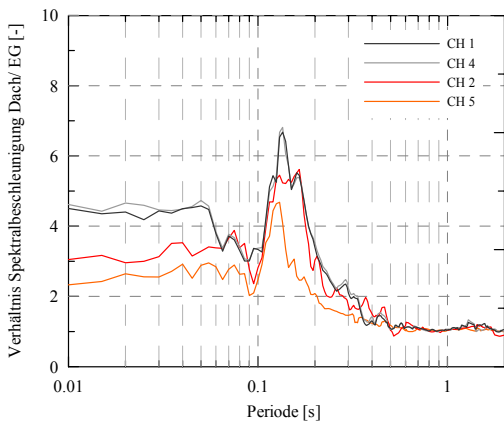


a) EW Richtung

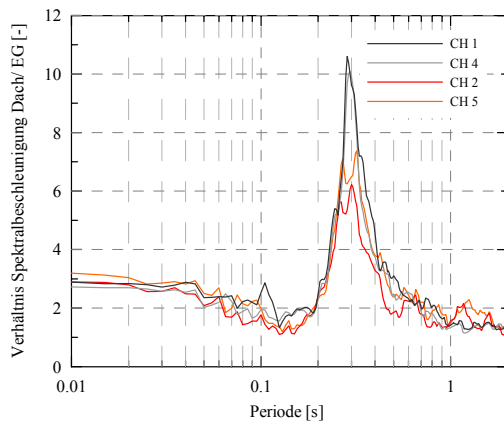


b) NS Richtung

Abbildung 8: Vergleich der Antwortspektren für das Beben Nr. 2 (M4.3) aus den im bzw. am Krankenhaus gewonnenen Registrierungen der Sensoren MR1 bis MR4

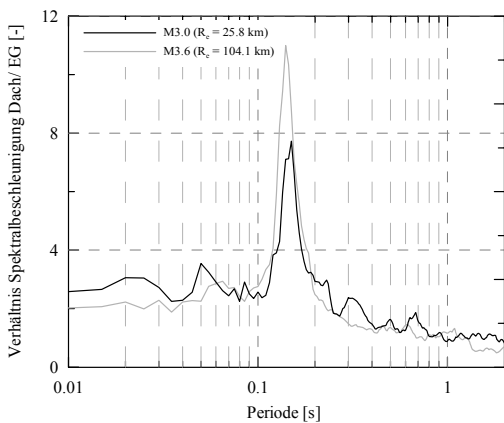


a) Schulgebäude

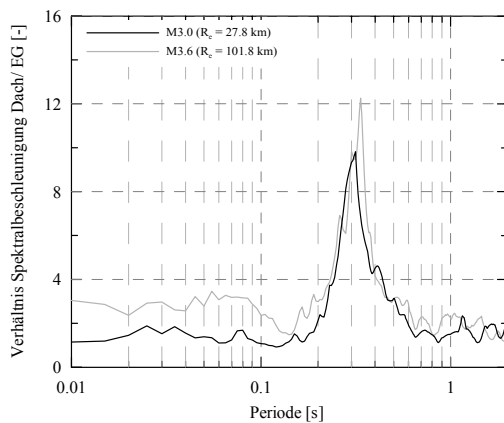


b) Krankenhaus

Abbildung 9: Relation der Spektralbeschleunigungen (Amplifikation) zwischen Bauwerksspitze und Erdgeschoss für das Beben Nr. 2 (M4.3) in NS-Richtung (Channel CH 2 & CH 5) und EW-Richtung (Channel CH 1 & CH 4)



a) Schulgebäude



b) Krankenhaus

Abbildung 10: Relation der Spektralbeschleunigungen (Amplifikation) zwischen Bauwerksspitze und Erdgeschoss für die Beben Nr. 4 und Nr. 6 nach Tabelle 2

4.2 IDENTIFIKATION DER DOMINANTEN SCHWINGUNGSFORMEN

Aufgrund der Anordnung von zwei Sensoren in den jeweils gegenüberliegenden Eckpunkten des Dachgeschosses (MR1, MR2) ist prinzipiell die Identifikation der Grundschwingungsformen möglich. Diese kann anhand der Beschleunigungszeitverläufe als auch über die Relation der Spektralbeschleunigungen der beiden Sensoren für gleiche Richtungskomponenten erfolgen. Um sich dem Antwortverhalten anzunähern, wird die Reaktion an den Messpunkten aus den beiden Horizontalkomponenten als Partikelbewegung aufgetragen. Dies erfolgt in Tabelle 4 für die Beschleunigungskomponenten und für das Beben Nr. 1 auch aus den abgeleiteten Schwingwegen (Verschiebungen) des Schulgebäudes; Beispiele für die räumliche Reaktion des Krankenhauses sind analog Tabelle 3 zu entnehmen. Ohne hier bereits endgültige Schlussfolgerungen ableiten zu können, muss das eher irreguläre (chaotische), eben räumliche Verhalten mit dennoch erkennbar singulären Amplitudenspitzen gewürdigt werden.

Um die Reaktionscharakteristik besser verfolgen zu können, wird der zeitliche Verlauf unterschiedlich eingefärbt, wobei Bereiche der (Quasi-)Einschwing- bzw. Reaktionsaufbauphase, die Starkbewegungsphase und Phasen des Ausklingens bzw. Ausschwingens unterschieden werden. - Eine richtungsdominante translatorische Reaktion über die gesamte Erdbebendauer ist a priori nicht abzulesen.

Tabelle 3: Beispielhafte Darstellung der Schwingungscharakteristik anhand der Messdaten am Krankenhaus (vgl. Abbildungen 3c bzw. 5b)

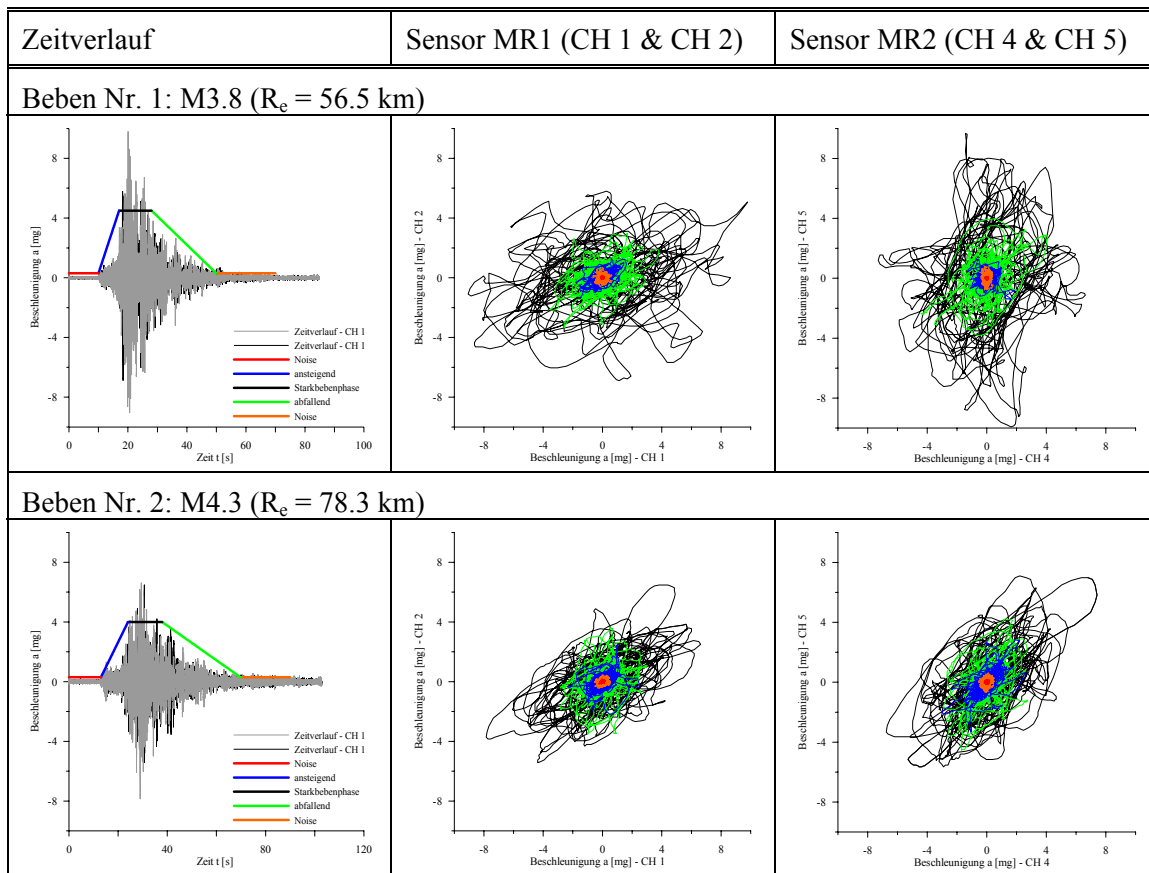
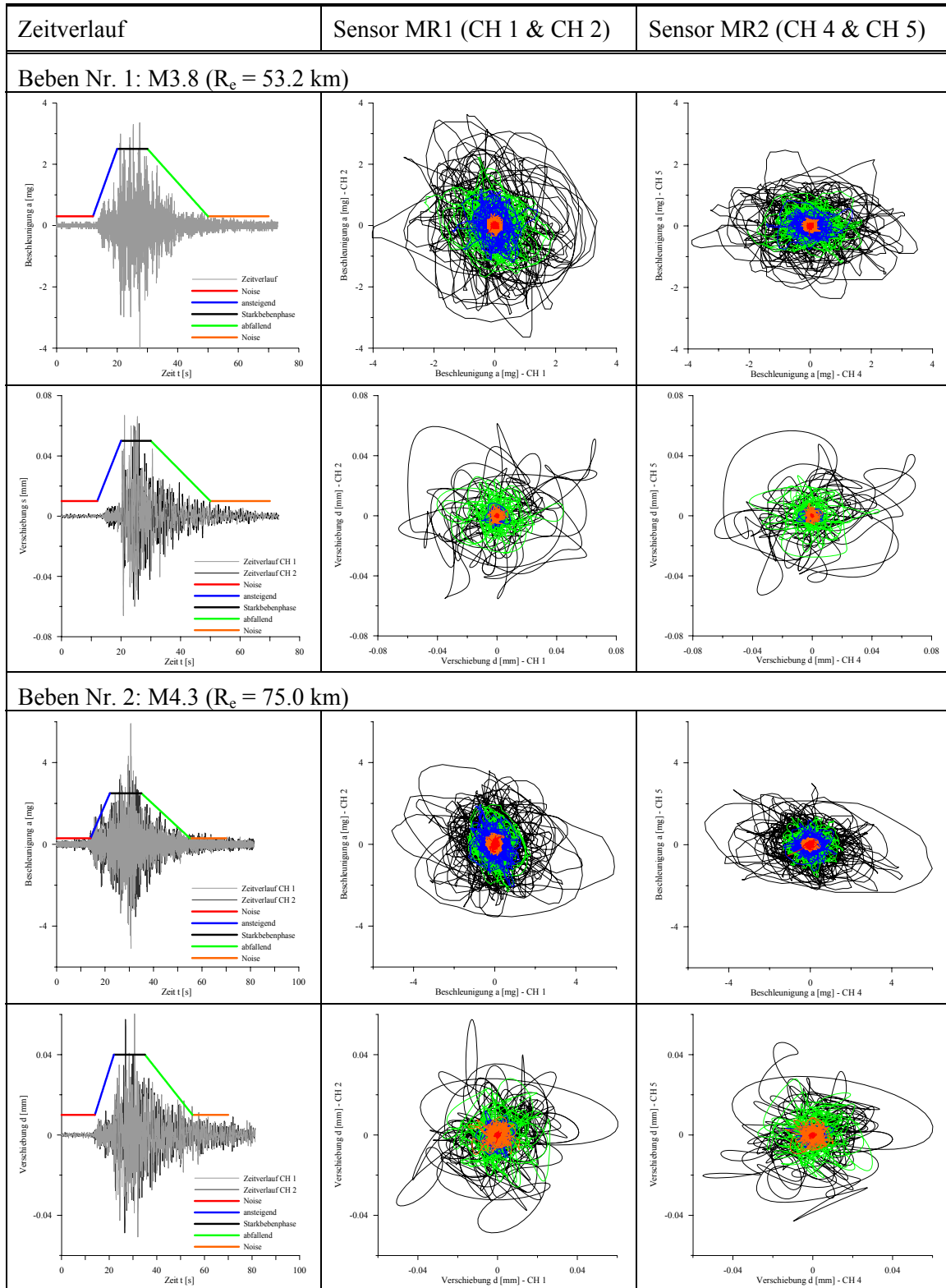


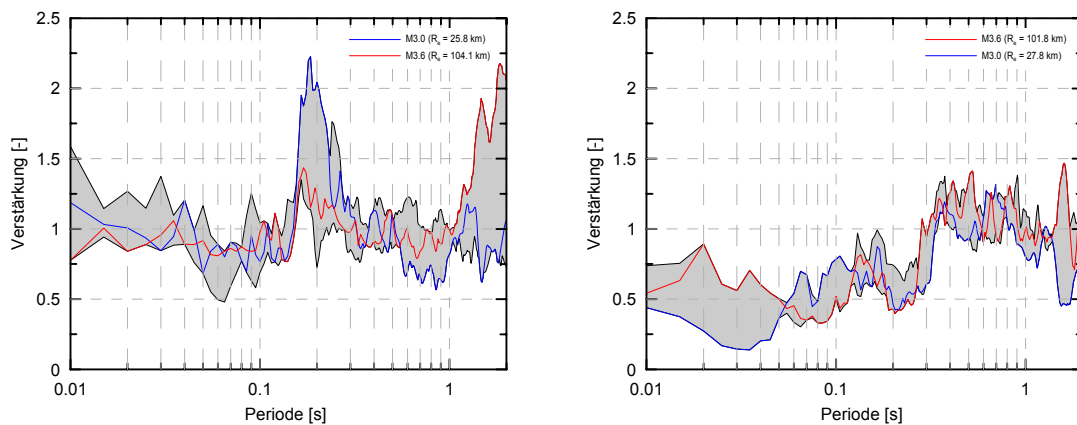
Tabelle 4: Beispielhafte Darstellung der Schwingungscharakteristik anhand der Messdaten am Schulgebäude (vgl. Abbildungen 3a bzw. 5a)



4.3 EFFEKTE AUS DER BODEN-BAUWERK-INTERAKTION

Freifeldmessungen sollen Effekte infolge der am Bauwerksstandort vorherrschenden Untergrundbedingungen ohne den störenden Einfluss des Bauwerkes, d.h. ohne die Veränderungen des seismischen Signals infolge des Energieaustausches zwischen Bauwerk und Baugrund implizieren. Diese Veränderungen sind auch Ausdruck der dominanten Bauwerksschwingung, die in dieser Form insbesondere bei mehrgeschossigen Bauwerken zu beobachten ist.

Erste Aussagen zur Boden-Bauwerk-Interaktion werden über die Relation der Spektralbeschleunigungen zwischen Fundament (Station) und Freifeld abgeleitet. Die in Abbildung 11 grau hinterlegten Bereiche kennzeichnen die Streubreiten nach Auswertung der Erdbeben Nr. 1 bis 6 (Tabelle 2). Deutlich zu erkennen sind Überhöhungen im Bereich von 0.1 bis 0.2 s (Schulgebäude, hier besonders auffällig) bzw. 0.25 bis 1 s (Krankenhaus). Unterschiede zwischen den Freifeld- und Fundamentbeschleunigungen sind bei den Nachrechnungen entsprechend zu berücksichtigen.



a) Schulgebäude

b) Krankenhaus

Abbildung 11: Verhältnis der Spektralbeschleunigungen von Fundament (Sensor MR3) und Freifeld (Sensor MR4) für die EW-Komponenten (Channel CH 7 bzw. CH 10)

5. AUSBLICK

Die gegenwärtig vorliegenden Ereignisse bestätigen, dass in der Region um Antakya mit stärkeren Ereignissen zu rechnen ist, so dass in einem relativ kurzen Zeitfenster (geplant sind drei Jahre) eine Datenbank gewonnen werden kann, die neben der Interpretation der dynamischen Bauwerkscharakteristik auch fundierte Aussagen zum Erdbebenverhalten, zum Einfluss der Boden-Bauwerk-Interaktion bzw. zu den lokalen Standortbedingungen ermöglicht. Im Wechselspiel zwischen der instrumentell und analytischen Reinterpretation der Gebäudereaktion wird ein aufwandsreduziertes *Seismic Building Monitoring* System entwickelt, das neben der aktuellen Zustandsbewertung auf Grundlage von wiederholt auftretenden Beben moderater Stärke eine Schadensprognose ermöglichen soll.

Das hybride, nach Zusammenschau der international üblichen Vorgehensweise als neuartig zu bezeichnende Konzept, ein aufwandsreduziertes *Seismic Building Monitoring* System zur Zustandsbewertung und Schadensprognose eines Gebäudebestandes einzusetzen, erfordert in den nächsten Grundlagentritten die Aufbereitung analy-

tischer Bauwerksmodelle und den Abgleich der instrumentellen (realen) mit den modellseitig bestimmten Reaktionskenngrößen.

Im weiteren Projektverlauf werden aus diesem Grunde ergänzende instrumentelle Untersuchungen durchgeführt. Die langfristige seismische Instrumentierung der ausgewählten Bestandsgebäude wird mittelfristig durch einfache Schwingungsanregungen mittels Unwuchterreger weiter ergänzt, wobei auch hier das Antwortverhalten an verschiedenen Bauwerkspunkten in Echtzeit aufgezeichnet wird. Dies insbesondere um eine Kalibrierung der Bauwerksmodelle und der getroffenen Materialannahmen zu ermöglichen.

Die Kalibrierung des Modells hat den Initialpunkt der Messungen und die nicht auszuschließende Schadensprogression durch künftige Ereignisse sequentiell zu verfolgen. Die ingenieurseitige Herausforderung besteht in der Extrapolation des Gebäudeverhaltens auf Starkbebenereignisse. Die Verletzbarkeit wird über die Verschiebungsgrößen (Kapazitätskurven) beschrieben.

6. DANKSAGUNG

Die eingesetzten seismischen Messsysteme werden von der Firma SYSCOM unentgeltlich zur Verfügung gestellt, die auch die Arbeiten am Gesamtprojekt fördernd begleitet. Zu danken ist weiterhin der Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit (DEZA) für die Unterstützung der sozioökonomischen Untersuchungen und zur Durchführung von Schulungsveranstaltungen, um auf diesem Wege Partner im universitären und institutionellen Bereich an die Bauwerksaufnahme und Herausarbeitung der vorherrschenden Gebäudetypen heranzuführen.

Das es in sehr kurzer Zeit gelungen ist, die allgemein der Instrumentierung im Wege stehenden Hindernisse zu überwinden, ist neben der Zusammenarbeit mit der Mustafa Kemal Universität vor allem der Unterstützung durch die lokale Ingenieurkammer zu verdanken.

An den Bauwerkserhebungen vor Ort und der Datenaufbereitung haben seitens des Erdbebenzentrums Dipl.-Ing. Tobias Langhammer, Dipl.-Ing. Mathias Leopold, Dipl.-Ing. Christian Kaufmann sowie Dipl.-Ing. Sindy Riedel mit großem Engagement mitgewirkt. Die messtechnische Anbindung der Sensoren wurde vor Ort durch Herrn Jens Schurwanz der Fa. BARTEC, Bad Mergentheim sichergestellt. Für die Klärung technischer Fragestellungen stand in der Phase der Gerätemontage Herr Cosmas Savary (Fa. SYSCOM, Zürich) zur Verfügung.

SCHRIFTENVERZEICHNIS

- Çelebi, M., Brady, G., Rojahn, C., Iwan, W., Hart, G., Pardo, G., Schoelkopf, L., Haskell, R., Topping, K., Safak, E., Maley, R., 1985. Report on recommended list of structures for seismic instrumentation in San Bernardino County, California. Open-File Report 85-583, U.S. Department of Interior – Geological Survey, 15 pp.
- CSMIP-3DV, 2005. Instrumented Building Response Analysis and 3D Visualization System, California Geological Survey. John A. Martin & Associates, Inc. CD Rom, California Department of Conservation, Edition 2005

- EDAC, 2004. Turkish-German-Swiss Joint Project on Seismic Risk Assessment and Mitigation in the Antakya-Maraş Region on the basis of Microzonation, Vulnerability and Preparedness Studies (SERAMAR) – Project description. Earthquake Damage Analysis Center, Bauhaus-Universität Weimar, October 2004.
- EDAC, 2005. Seismic Risk Assessment and Mitigation in the Antakya-Maraş Region on the basis of Microzonation, Vulnerability and Preparedness Studies (SERAMAR) – Internal progress report of the field mission in Sept/Oct 2005. Earthquake Damage Analysis Center, Bauhaus-Universität Weimar, 9 pp.
- EDAC, 2006. Instrumentation of Multi-story Structures in Turkey with Seismic Building Monitoring Systems (BMS) in the Framework of the Project SERAMAR. Internal annual status report – instrumentation, Earthquake Damage Analysis Center, Bauhaus-Universität Weimar, 22 pp.
- International Conference of Building Officials ICBO, 1997. Uniform Building Code (1997-UBC). Whittier/CA, United States of America, 492 pp., 1997.
- Lang, D.H., Schwarz, J., Abrahamczyk, L., Langhammer, T., Geenen, E.M., Bikce, M., Kacin, S., Genes, M.C., Mazmanoglu, C., Güllkan, P., Tschurr, S., 2006. Seismic risk assessment and mitigation in the Antakya-Maras region (Southern Turkey) on the basis of microzonation, vulnerability and preparedness studies (SERAMAR). International Disaster Reduction Conference, Davos, Switzerland, August 27 - September 1, 2006.
- Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute (KOERI), 2007. Latest Seismicity In Turkey. <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/map/en/index.html>, Boğaziçi University.
- Naeim, F., 2000. Learning from structural and nonstructural seismic performance of 20 extensively instrumented buildings. Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland/New Zealand, 2000.
- Schott, C., Swain, Th., Schwarz, J., 2002. Simulation of the damage progression of an instrumented building using recorded response motion. Proceedings of the 12th European Conference on Earthquake Engineering, London, UK 2002, Paper no. 278.
- Schwarz, J., Lang, D.H., Abrahamczyk, L., Bolleter, W., Savary, C., Bikce, M., Genes, M.C., Kacin, S., 2006. Seismic Building Monitoring of Multistory RC Structures in Turkey – A Contribution to the SERAMAR Project. 1st European Conference on Earthquake Engineering and Seismology (ECEES), Geneva, Switzerland, 2006.
- Schwarz, J., Abrahamczyk, L., 2007. Instrumentation of Multistory Structures in Turkey with Seismic Building Monitoring Systems (BMS) in the Framework of the Project SERAMAR. Internal status report. Earthquake Damage Analysis Center, Bauhaus-Universität Weimar, 9 pp.
- Turkish Ministry of Public Works and Settlement (TMPS), 1998. Specification for Structures to be built in Disaster Areas. Part III – Earthquake Disaster Prevention (Chapter 5-13). Effective from 1.1.1998. English translation, 84 pp., 1998.