

Sekunden für Istanbul

Vorhersage der Erdbeben-Bodenbewegung

Birger-Gottfried Lühr ¹, Claus Milkereit ¹, Stefano Parolai ¹, Matteo Picozzi ¹, Heiko Woith ¹, Angelo Strollo ¹, Mustafa Erdik ², Atilla Ansal ², Jochen Zschau ¹

¹ Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, ² Bogazici University, Istanbul

The megacity Istanbul, the economical capital of Turkey, with more than 10 million inhabitants is exposed to a significant earthquake risk since the level of ground motion due to a possible earthquake in this area and the vulnerability of the building stock are high.

Therefore, several projects have focused their attention on the estimation of seismic hazard and seismic risk for Istanbul. Among others, the CEDIM: Megacity Istanbul project, the SAFER (Seismic eArly warning For EuRope), and EDIM (Earthquake Data Information system for the Marmara Sea, Turkey) contributed to improve seismic hazard assessment. In particular the application of the microzonation method allows both the estimation of the fundamental resonance frequency, and of soil velocity profiles by means of using seismic noise analysis. The results highlight areas that might be prone to ground motion amplification. The SAFER and EDIM projects allowed the development and installation of an innovative Self-Organising Seismic Early Warning Information Network (SOSEWIN) that also allows for monitoring of the vibration characteristics and dynamic properties of strategic civil infrastructures, as validated by performing tests on the Fatih Sultan Mehmet Bridge. With our improved knowledge a realistic earthquake scenario with strong ground motion can be derived, as a basis for predicting such movement during an earthquake and with the help of an early warning system the people of Istanbul can be warned before the strong S-waves arrive.



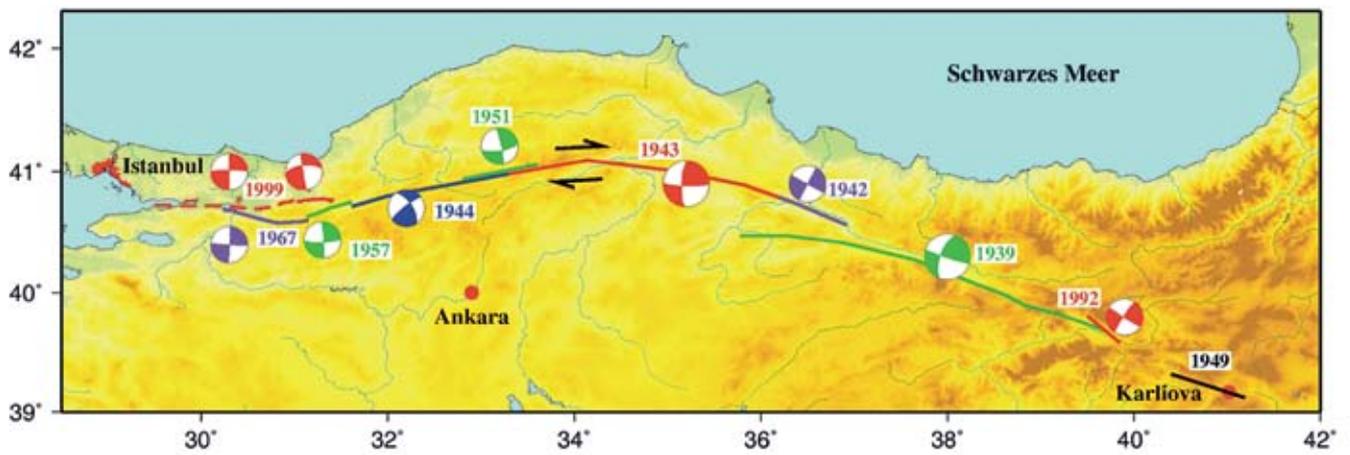


Abb. 1: Seit den 1930er-Jahren ereigneten sich starke Erdbeben entlang der Nordanatolischen Verwerfung, die wahrscheinlich nach Westen und damit auf Istanbul zu wandern. Es ist bekannt, dass Istanbul in der Vergangenheit von Erdbeben schwer getroffen wurde.

Fig. 1: Since the 30's of the last century a series of earthquakes have occurred along the North Anatolian Fault Zone apparently migrating from the east to the west towards Istanbul. It is known from history that Istanbul was hit by strong earthquakes in the past.

Istanbul zählt zu den derzeit über 30 Industriemetropolen der Welt mit mehr als fünf Millionen Einwohnern. Ende der 90er-Jahre lag die Einwohnerzahl schon bei neun Millionen. Zurzeit wächst dieses ökonomische und kulturelle Zentrum der Türkei um ca. 300 000 Einwohner pro Jahr. Aufgrund der Nähe der Metropole zur Nordanatolischen Verwerfung besteht ein hohes seismisches Gefährdungspotential. Die seismische Gefährdung in Verbindung mit der Vulnerabilität der Gesellschaft und ihrer Infrastruktur (Gebäude, Versorgungsleitungen, Tunnel, Brücken, etc.) ergibt ein hohes seismisches Risiko. Dies gilt es zu reduzieren, um zukünftig katastrophale Auswirkungen eines Erdbebens möglichst gering zu halten oder zu vermeiden.

Eine Herabsetzung der Vulnerabilität kann man erreichen, in dem einerseits Verhaltensmaßnahmen während eines Bebens und Hilfsmaßnahmen nach einem Ereignis vorbereitet und eingeübt werden, andererseits z. B. auf eine erdbebensichere Bausubstanz und Infrastruktur geachtet wird. Auch kann mit Frühwarnsystemen bei Erdbeben gewarnt werden. Der gewonnene zeitliche Handlungsspielraum ist nicht groß, es handelt sich vielleicht nur um Sekunden, die jedoch entscheidend sein können, um Menschenleben zu retten und die Schadenswirkung zu minimieren. Die Erfahrung zeigt, dass der primäre Schaden durch die Erschütterung selbst oft nur gering ist, im Vergleich zum sekundären Schaden, zumeist als Ergebnis von Bränden. Solange die zerstörerischen Bebenwellen noch nicht angekommen sind, ist die Infrastruktur noch intakt, so dass automatische Systeme beispielsweise Gasleitungen abschnittsweise sperren, Ampeln vor Brücken auf Rot schalten, Hochgeschwindigkeitsbahnen anhalten und gefährliche industrielle Prozesse herunterfahren können.

Erdbeben lassen sich mit unserem heutigen Wissen nicht vorhersagen, jedoch können Erdbebenherde schon sehr schnell

detektiert werden. Aus den registrierten ersten Wellenzügen eines Erdbebens lässt sich zudem die maximale Bodenbewegung für einen Ort an der Erdoberfläche abschätzen. Hierfür sind Kenntnisse der geophysikalischen Erdkrustenparameter in der Region sowie Informationen über die Reaktion des flachen Untergrunds auf durchlaufende Erdbebenwellen, d. h. die lokalen Standorteffekte, notwendig.

Betrachtet man die seismische Aktivität entlang der Nordanatolischen Verwerfung (NAFZ) über die letzten 70 Jahre, so zieht sich eine Serie starker Erdbeben vom Osten der Türkei westwärts wandernd (Abb. 1) bis hin zu den Erdbeben von 1999 östlich von Istanbul. Für den Abschnitt des Marmara-Meeress südlich von Istanbul ergibt sich danach eine seismische Lücke, die ein Erdbeben der Magnitude 7 bis 8 wahrscheinlich macht. Aufgrund der Komplexität des Verwerfungssystems im Marmara-Meer kann zum jetzigen Zeitpunkt jedoch nicht vorhergesagt werden, welche Magnitude das Beben letztendlich haben wird, auch nicht, wo das Epizentrum genau liegen und wie sich der Bruch ausbreiten könnte (Hergert & Heidbach 2010, vgl. dazu den Beitrag von Heidbach et al. in diesem Heft). Untersuchungen von Erdbebenszenarien für das Marmara-Meer ergaben, dass die seismische Gefährdung und damit die zu erwartenden Beschleunigungswerte bei einem starken Beben 0,4 g bis 0,6 g im Istanbul-Stadtgebiet erreichen können (Erdik & Durukal, 2007), weshalb unter den derzeitigen Gegebenheiten mit einigen Zehntausend Todesopfern und mit dem Zehnfachen an Verletzten gerechnet werden muss. Entsprechend groß ist auch der Schaden an Gebäuden und Infrastruktur sowie der Bedarf an neuen Unterkünften in diesem Szenario.

Da die Stärke des zu erwartenden Bebens nicht abgeschätzt werden kann, liefern Methoden wie die Mikrozonierung zur Bodenklassifizierung in der Großstadt, die Vorhersage der Gebäudereaktion während eines Erdbebens und die schnelle Bestimmung der Erdbebenstärke aus den P-Wellen für die Frühwarnung wichtige Daten zum Gefährdungspotenzial Istanbul.



Kontakt: Claus Milkereit
(claus.milkereit@gfz-potsdam.de)

Mikrozonierung und Erdbebenrisiko

Damit die Folgen eines starken Erdbebens für Istanbul abgeschätzt werden können, sind einerseits Maßnahmen zur Erfassung der Gebäude- und Infrastrukturgüte (Bommer et al., 2002) und andererseits zur Verbesserung der Datengrundlage für eine Berechnung lokaler Standorteffekte nötig. Standorteffekte beschreiben das Schwingungsverhalten des Untergrunds bei einem Erdbeben in Abhängigkeit von der lokalen Geologie und Morphologie. Die Variation der oberflächennahen Geologie im Stadtgebiet wird daher durch das Kandilli-Observatorium und die Stadt Istanbul in Kooperation mit internationalen Partnern kartiert und die elastischen Eigenschaften der oberflächennahen Sedimente z. B. durch flachgründige Bohrungen oder oberflächennahe geophysikalische Messungen ermittelt. Die Amplitude oder Stärke der Bodenbewegung an einem Ort der Erdoberfläche nimmt mit der Entfernung zum Bebenherd ab. Die maximal zu erwartende Amplitude der Bodenbeschleunigung an einem Ort, bezogen auf ein Beben einer bestimmten Magnitude, wird regional über empirische Beziehungen ermittelt, die aus Nachbebenaten der Deutschen Task Force für Erdbeben des GFZ nach dem Izmit-Erdbeben (Magnitude 7,4) vom 17. August 1999 für diese Region gewonnen werden konnten (Bindi et al., 2007). Diese makroseismischen Beziehungen gelten zwar nur eingeschränkt für Magnituden im Bereich 0,5 bis 5,9 und für den Frequenzbereich von 1 Hz bis 10 Hz, sie sind jedoch die derzeit fundiertesten für diese Region.

Nach dem Erdbeben von 1999 wurde eine lokal sehr unterschiedliche Schadensverteilung im Raum Istanbul festgestellt. So wurden insbesondere im westlichen Stadtteil von Istanbul Schäden beobachtet, die anscheinend auf Standorteffekte und nur zum Teil auf schlechte Bausubstanz zurückzuführen waren. Als Grundlage für eine realistische Einschätzung des lokalen seismischen Risikos wurde eine geophysikalische Klassifizierung der Sedimente im schon bebauten und geplanten Stadtgebiet vorgenommen. Mit dieser sogenannten

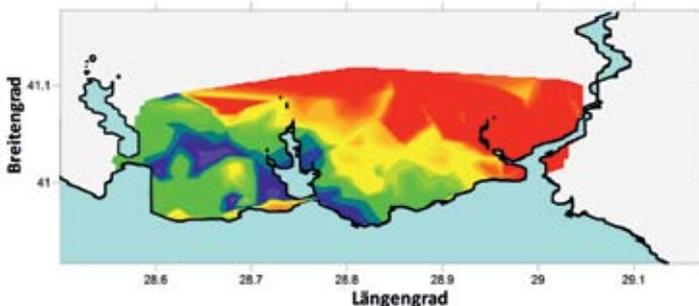


Abb. 2: Resonanzfrequenzen der Sedimente im westlichen Stadtgebiet von Istanbul, abgeleitet aus geophysikalischen Messungen der Bodenunruhe. Jede Messung dauerte ca. 30 Minuten. Schwarze Punkte stehen für Orte mit mehr als einer Resonanzfrequenz.

Fig. 2: Map of the resonance frequency of the soil sediments in the study area derived by seismic noise recordings. Measurements where multiple peaks are observed are also indicated (black dots).

Mikrozonierung wird lokal der geologische Einfluss auf durch Erdbeben verursachte Bodenerschütterungen erfasst.

Zur Überprüfung dieses Sachverhalts in Istanbul und zur Untersuchung der lateral inhomogenen Schadensverteilung bestimmten GFZ-Wissenschaftler an 192 Standorten die Bodenunruhe (Picozzi et al., 2009a) und leiteten daraus die Resonanzfrequenz der dortigen Sedimente ab (Abb. 2). Aus dem Resonanzverhalten des Untergrunds lässt sich wiederum eine Verstärkung der Schwingungsamplitude beim Durchlauf von Erdbebenwellen mit gleicher Frequenz ableiten. Die Bodenunruhe ist hierbei eine Messgröße, die mit Seismometern als Einzelstation oder in Array-Anordnung auch in urbanem Gelände gemessen werden kann und somit eine schnelle Kartierung der Standorteffekte erlaubt.

Die bisherigen Ergebnisse stimmen gut mit der Verteilung der Sedimente in Istanbul überein und zeigen eine Abnahme der Resonanzfrequenzen von Nordosten nach Südwesten. Im Nordosten steht meist festes Gestein an, im Südwesten dagegen reichen Lockersedimente bis in einige hundert Meter Tiefe.

Zur Verifizierung der Ergebnisse wurden an wichtigen Standorten die Geschwindigkeits-Tiefenfunktionen für Scherwellen mit Hilfe von Array-Messungen bis in 200 m Tiefe bestimmt. Die Ergebnisse zeigen akustische Impedanzkontraste im Untergrund, die zu Reflektionen der seismischen Energie innerhalb der Sedimente und somit zur Amplitudenverstärkung führen (Abb. 3). Die Kenntnis der Geschwindigkeitsverteilung erlaubt im Rückschluss die Berechnung der Resonanzfrequenzen der Sedimente. Im Vergleich zeigt sich eine gute Übereinstimmung von Beobachtung und Modell (Abb. 3, oben rechts).

Neben den Kartierungen an der Erdoberfläche wurde im Stadtteil Ataköy ein vertikales Array aus Bohrlochseismometern installiert, um die Ausbreitung von seismischen Wellen in tieferen Sedimentschichten zu erfassen (Parolai et al. 2009). Mit Sensoren in 25 m, 50 m, 75 m und 150 m Tiefe konnten auf- und abtauchende Wellen unterschieden sowie die mit dem Oberflächenarray ermittelten seismischen Geschwindigkeiten der Sedimente verifiziert werden. Weiterhin wurden P-Wellen in den Horizontalkomponenten nachgewiesen, was ein nicht vertikales Eintreffen von P- und S-Wellen sowie Wellenkonversion in den Sedimenten nahelegt und damit der vereinfachenden Annahme widerspricht, dass Bebenwellen in den obersten Sedimenten nur vertikal von unten nach oben laufen. Die bisherige Praxis, das an der Erdoberfläche beobachtete Wellenfeld über horizontal polarisierte S-Wellen in die Tiefe des Festgesteins zu berechnen, kann somit für die Berechnung des einfallenden Wellenfeldes vom Festgestein in die obersten Sedimente zu falschen Ergebnissen führen.

Auch wurden erhebliche Amplituden bei nach unten abtauchenden Wellen bis in Tiefen von 70 m nachgewiesen, ein Hinweis darauf, dass die gängige Praxis, Ergebnisse flacher



Mit Hilfe der Fernerkundung wurde die Art der Landnutzung sowie die Höhe von Gebäuden und deren Bautyp bestimmt. Diese Informationen wurden in Vulnerabilitätsangaben des Gebäudebestands umgerechnet und punktuell anhand detaillierter Untersuchungen von Gebäuden kalibriert. Dieser neue Ansatz eignet sich besonders für schnell wachsende Großstädte.

Berücksichtigt man die Ergebnisse der Mikrozonierung in der Erdbeben-Szenarien-Berechnung, so unterscheiden sich diese Ergebnisse für Istanbul von den makroseismischen Werten um eine Stufe auf der seismischen Intensität-Skala. Die Szenarien ergeben, dass insbesondere der westliche Teil von Istanbul stark betroffen sein könnte, wie schon die Schadensverteilung nach dem Izmit-Erdbeben von 1999 gezeigt hat.

Bohrlochmessungen zur Modellierung von Standorteffekten zu verwenden, zu falschen Ergebnissen führen kann.

Ein weiterer Schwerpunkt bei der Erhebung des seismischen Risikos in Istanbul war die Entwicklung neuer Verfahren zur Gebäude- und Infrastrukturcharakterisierung auf Basis von Satellitendaten in Zusammenarbeit mit dem Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology CEDIM und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR.

Frühwarnung vor Erdbebenwellen

Nach dem schweren Erdbeben von Mexiko 1985 begannen Wissenschaftler und Ingenieure Frühwarnsysteme zu konzipieren (Zschau & Küppers 2003). Aus der schnellen Erfassung der vorauslaufenden seismischen P-Wellen lassen sich Sekunden gewinnen, die zur Warnung vor den schadensträchtigen S-Wellen genutzt werden können. In Japan werden solche Warn-

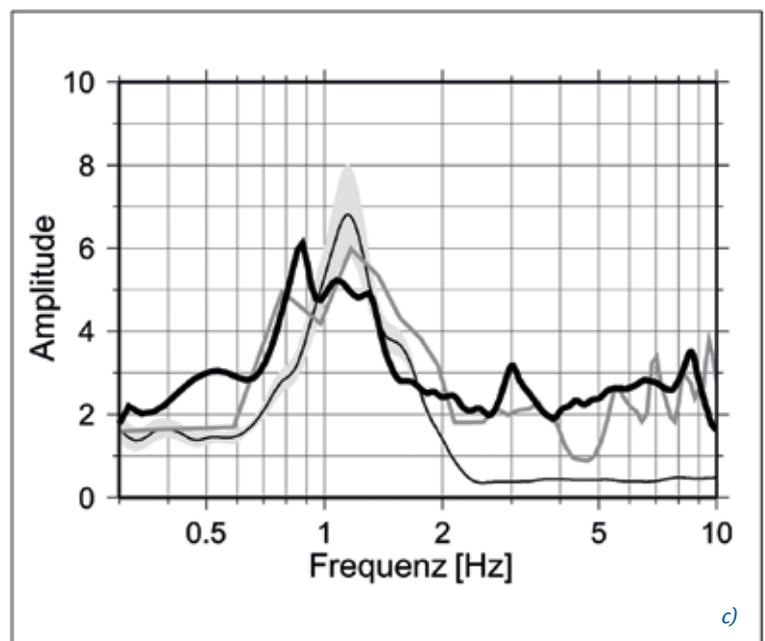
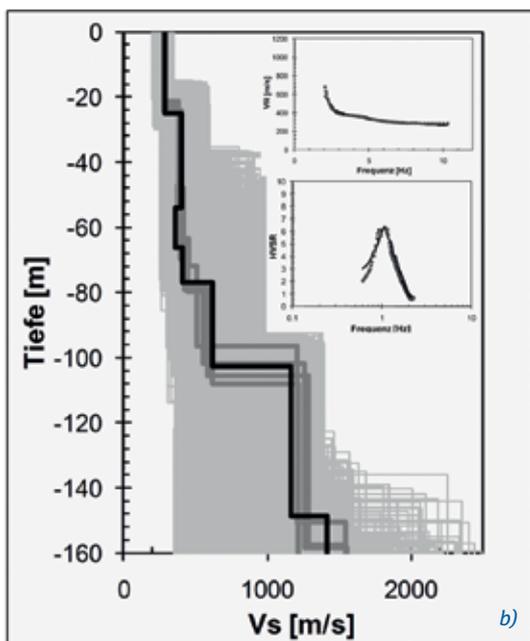


Abb. 3: Aus Array-Messungen (a) konnten an ausgewählten Standorten gezielt Geschwindigkeits-Tiefenfunktionen des Untergrunds ermittelt werden (b). Dabei wird aus dem Amplitudenverhalten der gemessenen Bodenunruhe mit hoher Genauigkeit auf die seismische Geschwindigkeit geschlossen. c) Amplitudenverhältnis (H/V), aufgetragen über der Frequenz, beispielhaft für die Station TOPK.

Fig. 3: Array measurements in Istanbul (a). b) Inversion results and fit to the dispersion and H/V ratio curves (insets). Shown are tested models (thin gray lines), the minimum cost model (black line), and the models lying inside the minimum cost model $\pm 10\%$ range (thick dark gray lines). Top inset show the observed phase velocities (black line) and the phase velocities for the minimum cost model (gray dots). c) Istanbul Earthquake Rapid Response System (IERRS) station TOPK. Average H/V spectral ratios from seismic noise (thin black line) $\pm 95\%$ confidence interval (gray area), H/V spectral ratios of an earthquake (dark gray line) with $M=4$ recorded by IERRS, H/V ratios (Thick black line) at the surface station from synthetic seismograms considering the model obtained by array A2.

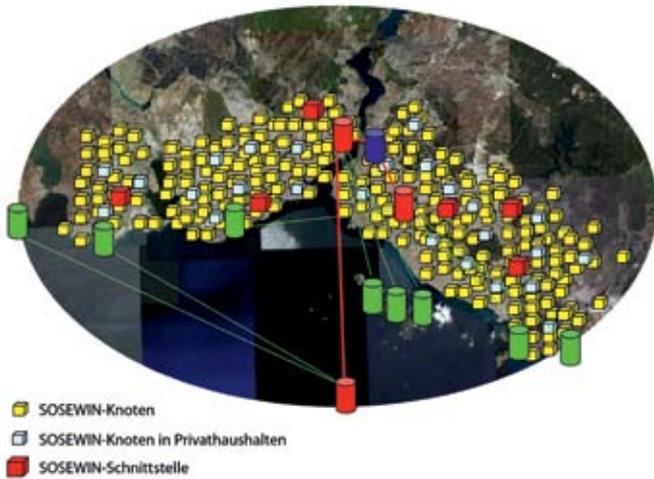


Abb. 4: Geplante SOSEWIN- und existierende IERREWS-Sensoren des Frühwarnsystems in Istanbul. Die IERREWS-Stationen (grüne und rote Zylinder) sind entlang der Küste nahe der Nordanatolischen Verwerfung installiert. Die SOSEWIN-Knoten sollen innerhalb der Stadt in Behörden (gelb) und Privathaushalten (hellblau) betrieben werden und dezentral eine seismische Frühwarnung ermöglichen.

Fig. 4: Planned SOSEWIN station net and installed standard network of the IERREWS (red, green and blue), Istanbul. The IERREWS consists of a relatively low number of stations linked to a central processing centre, either directly or via a „gateway“ station. In contrast SOSEWIN do not require a centralised centre to verify events. The SOSEWIN nodes may also be part of a public warning system (light blue boxes) or owned by members of the general public (yellow boxes). The yellow dots are a projection into the future, as only a prototype system is operational now.

systeme schon erfolgreich eingesetzt, in Taiwan, Kalifornien, Rumänien und der Türkei sind sie in Erprobung.

Für den Raum Istanbul wird, neben einem seismologischen Beobachtungsnetz um das Marmara-Meer, auch ein Beobachtungsnetz innerhalb des Stadtgebiets aufgebaut (Istanbul Earthquake Rapid Response and Early Warning System, IERREWS, Erdik et al., 2003b). Das IERREWS-Netz umfasst bisher zehn Strong Motion-Stationen, die nahe am nördlichen Ast der NAFZ installiert sind (Abb. 4). Melden drei benachbarte Stationen eine Erschütterung, entscheidet die Zentrale (blauer Zylinder, Abb. 4) am Kandilli-Observatorium, ob eine Alarmsituation vorliegt.

Seit Sommer 2008 wird dieses System mit einem am GFZ entwickelten dezentralen, sich selbst organisierenden Frühwarnsystem erweitert, das in Zusammenarbeit mit der Humboldt Universität zu Berlin entstand. SOSEWIN (Self-Organizing Seismic Early Warning Information Network) stellt den Prototyp eines drahtlos über WLAN kommunizierenden Sensornetzwerks dar, das auch dynamische Dienste auf TCP/IP-Basis unterstützt und eine echtzeitfähige Übertragung großer Mengen vorverarbeiteter Daten gewährleistet. Ein SOSEWIN-Knoten besteht aus einer Sensoreinheit und einem Mini-PC. Die Sensoreinheit beinhaltet einen Beschleunigungsaufnehmer, eine GPS-Einheit sowie einen Signalprozessor für die Datenaufbereitung. Wird an einem Knoten ein vorgegebener Grenzwert der Bodenbeschleunigung überschritten, so kommuniziert er mit den Nachbarknoten des Netzwerks. Zeigen diese im selben Zeitfenster eine vergleichbare Beobachtung, wird dezentral eine Frühwarnung ausgelöst. Das Netzwerk lässt sich unproblematisch durch hinzufügen neuer Knoten erweitern und ausgefallene Knoten können von bis zu 200 m entfernten Knoten kompensiert werden.

In einem neuen Ansatz sollen Einzelsensoren auch von privaten Haushalten und Betrieben erworben werden, damit sich diese an der Frühwarnung direkt beteiligen können. So könnten flächendeckend tausende Sensoren verteilt werden, um im Erdbebenfall in möglichst jedem Haus, jeder Etage oder



Abb. 5: (a) Lage der Fatih Sultan Mehmet-Brücke in Istanbul, die den Bosporus zwischen Hisarüstü (europäische Seite) und Kavacık (asiatische Seite) überspannt. (b), (c), und (d) zeigen beispielhaft Installationen der Sensoren während der Testmessungen im Juni 2008.

Fig. 5: Map with location of the Fatih Sultan Mehmet Bridge in Istanbul, Turkey. (b), (c), and (d) examples of some types of sensor installation during the test measurements in June 2008.

sogar jeder Wohnung die Boden- und Gebäudebewegung zu erfassen. Die vielen Daten erlauben die Darstellung der Bodenerschütterungen in detaillierten Karten und ermöglichen dem Katastrophenmanagement eine schnelle und realistische Einschätzung der Schadensverteilung.

Derzeit wird ein stationäres Netz aus 20 SOSEWIN-Knoten im Stadtbezirk von Ataköy betrieben, um Funktionalität und

Zuverlässigkeit der Systeme zu testen. Darüber hinaus ist SOSEWIN so ausgelegt, dass es neben der seismischen Überwachung weitere Umweltparameter erfassen kann, wie z. B. meteorologische Messgrößen, oder die Verkehrsdichte.

Das Netzwerk hat seine Zuverlässigkeit sowohl in Istanbul (Fleming et al. 2009) als auch im mobilen Einsatz im Rahmen einer Mission der GFZ-Task Force für Erdbeben gezeigt. Dazu gehört auch die Verfügbarkeit aller Daten am GFZ in Potsdam durch die Anbindung einzelner Knoten an das Internet. Neben dem Einsatz in Wohngebieten ist geplant, SOSEWIN auch zur Überwachung kritischer Infrastruktur, wie z. B. die den Bosphorus überspannenden Brücken, einzusetzen. Zu Testzwecken wurden deshalb Messungen an der nördlich gelegenen Fatih Sultan Mehmet-Brücke durchgeführt, um dynamische Eigen-

einzuschätzen und bei starken Abweichungen gegebenenfalls eine Sperrung zu veranlassen.

Ausblick

Selbstorganisierende Monitoring- und Informationssysteme wie SOSEWIN werden in Zukunft wahrscheinlich eine zunehmend wichtige Rolle in der Messwerterfassung und im Management von Ballungszentren übernehmen. Der Einsatz selbst-organisierender Sensornetze ist nicht auf seismologische Frühwarnung und das Katastrophenmanagement beschränkt, vielmehr ist ein weiterer Bereich an mobilen oder fest installierten Anwendungen denkbar, die das Management von Ballungszentren und Megacities erleichtern können.

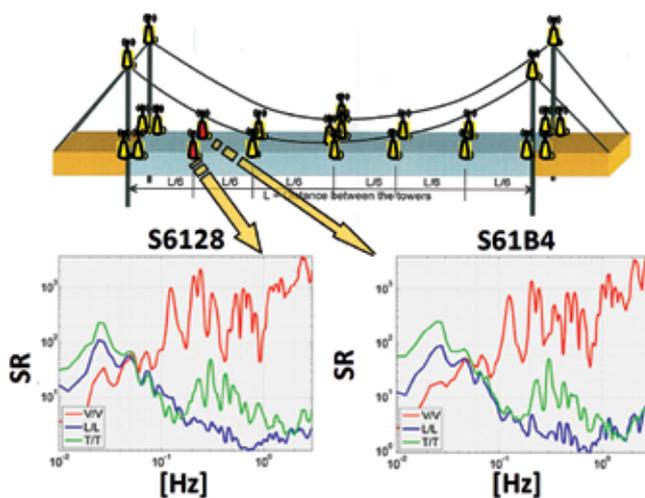


Abb. 6: Oben) Mögliche Installation eines zweiwegigen Frühwarnsystems mit 24 Sensorknoten zur Bestimmung der Schwingungseigenschaften der Fatih Sultan Mehmet-Brücke. Unten) Ergebnisse einer Testmessung der spektralen Schwingungseigenschaften in den Bewegungskomponenten Vertikal (rot), Longitudinal (blau) und Transversal (grün).

Fig. 6: Above) The possible double way early warning for the Fatih Sultan Mehmet bridge. The warning can be issued by a gateway from the bridge in case the notes detect anomalous bridge behaviour. The wireless network can receive earthquake early warnings from the IER-REWS. Below) Spectral ratio functions for the vertical (red), longitudinal (blue), and transversal (green) components of motion.

schaften wie das charakteristische Schwingungsverhalten der Brücke zu bestimmen. Parallel zu den seismischen Messungen konnte mit den Sensoren auch die auf die Struktur wirkende Windlast kontinuierlich registriert werden. Die ermittelten dynamischen Eigenschaften (Picozzi et al., 2009c) stimmen gut mit den Untersuchungen von Brownjohn et al. (1992) überein. Das Monitoring erlaubt somit eine permanente Kontrolle der dynamischen Parameter, so dass nach einer Erdbebenbelastung die ermittelten Daten mit denen verglichen werden können, die vor und während des Bebens aufgezeichnet worden sind, um den Gebäudezustand nach einem Beben richtig

Literatur

- Bindi, D., Parolai, S., Grosser, H., Milkereit, C., Durukal, E. (2007): Empirical ground-motion prediction equations for northwestern Turkey using the aftershocks of the 1999 Kocaeli earthquake. – *Geophysical Research Letters*, 34, L08305, 10.1029/2007GL029222
- Bommer, J., Spence, R., Erdik, M., Tabuchi, S., Aydinoglu, N., Booth, E., del Re, D., Peterken, O. (2002): Development of an earthquake loss model for Turkish catastrophe insurance. – *Journal of Seismology*, 6, 3, 431-446, 10.1023/A:1020095711419
- Brownjohn, J. M. W., Dumanoglu, A. A., and Severn, R. T. (1992): Ambient vibration survey of the Fatih Sultan Mehmet (Second Bosphorus) Suspension Bridge. – *Earthquake Engineering and Structural Dynamic*, 21, 10, 907-924, 10.1002/eqe.4290211005
- Erdik, M., Fahjan Y., Özel O., Alcik H., Mert A., Gul M. (2003): Istanbul Earthquake Rapid response and the early warning system. – *Bulletin of Earthquake Engineering*, 1, 1, 157-163, 10.1023/A:1024813612271
- Erdik M., Durukal E. (2007): Earthquake Risk and its mitigation in Istanbul. – *Natural Hazards*, 44, 2, 181-197, 10.1007/s11069-007-9110-9
- Fleming, K., Picozzi, M., Milkereit, C., Kühnlenz, F., Lichtblau, B., Fischer, J., Zulfikar, C., Özel, O., SAFER and EDIM working groups (2009): The Self-organizing Seismic Early Warning Information Network (SOSEWIN). – *Seismological Research Letters*, 80, 5, 755-771, 10.1785/gssrl.80.5.755
- Hergert, T., Heidbach, O. (2010): Slip-rate variability and distributed deformation in the Marmara Sea fault system. – *Nature Geoscience*, 3, 132-135, 10.1038/ngeo0739
- Parolai, S., Ansal, A., Kurtulus, A., Strollo, A., Wang, R., Zschau, J. (2009): The Ataköy vertical array (Turkey): insights into seismic wave propagation in the shallow-most crustal layers by waveform deconvolution. – *Geophysical Journal International*, 178, 3, 1649-1662, 10.1111/j.1365-246X.2009.04257.x
- Picozzi, M., Strollo, A., Parolai, S., Durukal, E., Özel, O., Karabulut, S., Zschau, J., Erdik, M. (2009): Site characterization by seismic noise in Istanbul, Turkey. – *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 29, 3, 469-482, 10.1016/j.soildyn.2008.05.007
- Zschau, J., Küppers, A. (Eds.) (2003): *Early warning systems for natural disaster reduction*, Berlin, Springer, 834 p.