

Seismische Risikoanalysen in Zentralasien

*Stefano Parolai, Angelo Strollo, Dino Bindi, Claus Milkereit, Matteo Picozzi, Domenico Di Giacomo, Marc Wieland, Massimiliano Pittore, Morgan Mayfield, Huyan Liu, Marco Pilz und Jochen Zschau
Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam*

Central Asia was identified as one of the regions of the world with the highest seismic hazard and risk. However, the actual lack and heterogeneity of available seismological and vulnerability data make any possible seismic risk scenario highly uncertain. In order to improve seismic risk assessment in Central Asia efforts must be carried out to both increase the seismological knowledge in the area and to update and harmonise the existing vulnerability data set in the different countries. To this regard, within the Central Asia Cross-Border Natural Disaster Prevention (CASCADE) project, financed by the German Federal Foreign Office, a cross-border seismological and strong motion network in Central Asia (CAREMON) was installed. Microzonation studies in the capitals of Kyrgyzstan and Uzbekistan were started, and those for Kazakhstan, Tajikistan and Turkmenistan were triggered. The collection of a harmonised (in terms of the European Macroseismic Scale EMS) building vulnerability data base was also achieved, and a capacity building and training program accompanied all the different tasks of the project. All these activities were carried out within the framework of, and supported by, the Global Change Observatory Central Asia (GCO-CA). The digital data collected by the CAREMON network will allow to improve localisation of the seismicity in the area and to improve completeness of earthquake catalogues necessary for sound seismic hazard assessment at regional scale. The results of the microzonation will be exploited for improving the seismic hazard and risk assessment in the capitals. Attempts were already carried out for Bishkek. Follow-up activities, including the establishment of a vertical array of accelerometer in Bishkek, are foreseen for further improving seismic hazard and risk analysis in Central Asia.



Erdbeben und Bausubstanz: Zentralasiens hohe Vulnerabilität

Nach Ergebnissen des Global Seismic Hazard Assessment-Programms (GSHAP, Zhang et al., 1999) zählt Zentralasien zu den Regionen mit der höchsten seismischen Gefährdung weltweit. Die Untersuchung des städtischen Erdbebenrisikos der beiden zentralasiatischen Städte Bischkek, Kirgistan (865 500 Einwohner im Jahre 2009) und Taschkent, Usbekistan (2 180 000 Einwohner im Jahre 2008) war Inhalt eines NATO Science for Peace-Projekts im Jahr 2001 (Erdik et al., 2005). Im Rahmen dieses Vorhabens wurde die seismische Gefährdung der beiden Städte bewertet, Standorteffekte bestimmt, die Gebäudevulnerabilität quantifiziert und aus diesen Daten das städtische Erdbebenrisiko berechnet. Das Projekt ermittelte eine erwartete Anzahl von bis zu 34 000 Toten in Bischkek bei einer Spitzenbodenbeschleunigung mit der Wahrscheinlichkeit von 2 % des Auftretens in 50 Jahren. Zudem würden etwa 90 000 Verletzte erwartet, die im Krankenhaus behandelt werden müssten. Darüber hinaus kann ein starkes Erdbeben in der Nähe einer Großstadt auch hohe Schäden an Wirtschaftsstandorten sowie Verkehrs- und Infrastruktureinrichtungen verursachen.

Aus diesen Gründen ist es wichtig, lokale Behörden und Entscheidungsträger über die zu erwartenden Konsequenzen eines großen Erdbebens zu informieren. Ein solcher Wissenstransfer kann das Ausmaß der Folgen eines Erdbebens, wie Material- und Personenschäden, Sekundärgefahren wie Erdrutsche, die ihrerseits industrielle, chemische oder nukleare Einrichtungen und Orte von Bedeutung für die nationale Sicherheit betreffen können, verringern. Für eine zielgerichtete Beratung lokaler Akteure müssen seismische Gefahrenabschätzungen für die Region optimiert und zudem realistische Erdbebenrisikoszenarien berechnet werden.

Dazu ist es notwendig, die Gefahrenabschätzung erst nach vorheriger Kalibrierung der benötigten empirischen Gleichungen zur Bodenbewegung mit vor Ort aufgenommenen Daten durchzuführen. Zuvor sollten zudem auch die Eigenschaften oberflächennaher Gesteinsschichten und Böden bezüglich ihres Einflusses auf die Veränderung der Bodenbewegung im Fall eines Erdbebens berücksichtigt werden. Verlässliche Erdbebenrisikoabschätzungen sollten ferner auf hochwertigen und aktuellen Daten zur Gebäudevulnerabilität beruhen.

CASCADE-Projekt

Das durch das deutsche Auswärtige Amt finanzierte und vom GFZ geleitete CASCADE-Projekt (Central Asia Cross-Border Natural Disaster Prevention) verfolgte daher das Ziel, im seismisch stark gefährdeten Zentralasien ein grenzübergreifendes seismologisches und Starkbeben-Netzwerk für Untersuchungen zur Mikrozonierung in den Hauptstädten Kirgistans und Usbekistans zu etablieren und damit die Voraussetzungen für die erforderlichen Untersuchungen in Kasachstan, Tadjikistan und Turkmenistan zu schaffen. Auch eine harmonisierte Datenbank der Gebäudevulnerabilität (in Bezug auf die Europäische Makroseismische Skala EMS) wurde aufgebaut. Weitere Ziele des Projekts waren Maßnahmen zur Personal- und Organisationsentwicklung vor Ort und ein Trainingsprogramm. Die Aktivitäten wurden im Rahmen des Global Change-Observatoriums Zentralasien des GFZ durchgeführt. Im Folgenden werden ausgewählte Ergebnisse der Aktivitäten in Zentralasien zusammengefasst und zukünftige Entwicklungen vorgestellt.

CAREMON – seismisches Netzwerk

Im Rahmen des CASCADE-Projekts hat das GFZ gemeinsam mit InWEnt (Internationale Weiterbildung und Entwicklung gGmbH in Berlin) eine Kooperation zwischen den zentralasiatischen Ländern initiiert. Diese ermöglichte erstmals auf diesem Gebiet einen engen Kontakt und interdisziplinären Austausch der Ministerien, Institutionen und Universitäten der teilnehmenden Länder und damit eine Basis für die Installation eines neuen regionalen sowie zwischenstaatlichen seismischen Netzwerks. Das bereits installierte Central-Asian Real-Time Earthquake Monitoring Network (CAREMON) setzt sich aus sechs digitalen seismischen Stationen zusammen, die sowohl mit Breitband- als auch mit Bodenbeschleunigungssensoren (Abb. 1) ausgestattet sind. Die Echtzeit-Kommunikation wird entweder über eine Satellitenverbindung oder über eine Internetverbindung gewährleistet. Die Stationen wurden in Kasachstan (Podgornoe und Ortau), Kirgistan (Talas und Sufy-Kurgan), Turkmenistan (Ashgabat) und in Tadjikistan (Djerino) installiert (Abb. 2). Eine weitere Station in Taschkent (Usbekistan) ist in Vorbereitung. Gemeinsam mit den seismischen Stationen wurde die am GFZ entwickelte SeisComp3-Software im Datenzentrum des jeweiligen Partners installiert. Die Software ermöglicht es, den kontinuierlichen Datenstrom aller Stationen zu empfangen, zu analysieren und zu archivieren. Außerdem ist das Netzwerk in das Echtzeit-Streaming von globalen Netzwerken (z. B. IRIS und GEOFON) eingebunden und berücksichtigt weitere Stationen in Zentralasien (z. B. Kabul, Afghanistan).

Die digitalen Daten dieses Netzwerks ermöglichen eine bessere Lokalisierung der seismischen Aktivität in der Region und tragen so zu einer Vervollständigung der Erdbebenkataloge bei, die für eine fundierte seismische Gefährdungsanalyse auf regionalem Maßstab erforderlich sind.



Kontakt: Stefano Parolai
(parolai@gfz-potsdam.de)

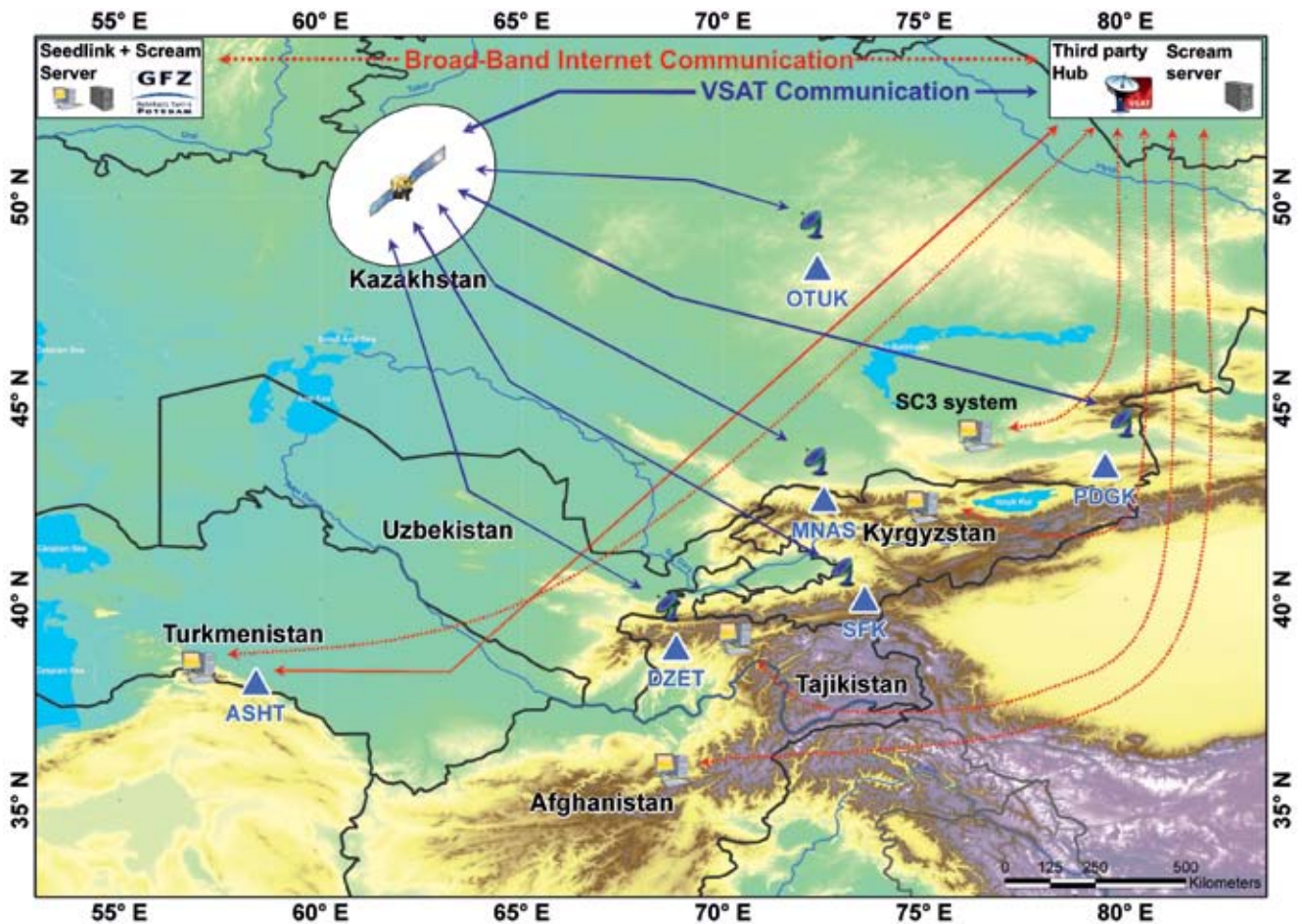


Abb. 1: Karte der CAREMON-Stationsstandorte und der Kommunikationssysteme. Die blauen Dreiecke stellen die seismischen Stationen im Gelände (Remote-Stationen) dar. Blaue Linien: Satellitenverbindung zwischen der Remote-Station und dem Datenverteiler in Almaty (Kasachstan); rote Linien: Internetverbindungen zwischen dem Verteiler und den Datenzentren in den verschiedenen Ländern. Wegen Beschränkungen der Satellitenkommunikation in Turkmenistan erfolgt die Kommunikation zwischen der Remote-Station in Ashgabat und dem Datenverteiler im Gegensatz zu den anderen Stationen über eine Internetverbindung.

Fig. 1: Map showing the station locations and describing the chosen communication system. The blue triangles represent the remote stations. The blue lines represent the satellite link between the remote stations and the hub in Almaty (Kazakhstan); the red lines indicate the internet connections among the hub and the data centres installed in different countries. Differently from the others, the communication from Ashgabat station and the hub is performed via internet due to restrictive rules in Turkmenistan about satellite communication.

Evaluierung der seismischen Gefährdung

Für die Mikrozonierung der Hauptstädte Zentralasiens wurden innerhalb des CASCADE-Projekts und des GCO-CA-Programms zunächst zwei Orte ausgewählt, Bischkek und Taschkent. In naher Zukunft sollen auch Untersuchungen in Almaty durchgeführt werden. Die Geräte, die Software und das technische Know-how hierfür wurden dem dortigen seismologischen Institut überlassen, um die Mikrozonierung in allen weiteren Hauptstädten durchführen und anschließend die Ergebnisse vergleichend analysieren und auswerten zu können.

Für die Untersuchung von Standorteffekten in Bischkek wurde von August bis Dezember 2008 ein zusätzliches temporäres Netzwerk mit 19 seismologischen Stationen im Stadtgebiet installiert. Die Analyse der Aufzeichnungen von 56 Beben und von fast 200 Messungen des seismischen Rauschens (Parolai 2010a) ermöglichte es, die räumlichen Unterschiede für das Auftreten von Standorteffekten in der Stadt abzuschätzen und eine Karte der Resonanzfrequenz

des Untergrundes zu erstellen (Abb. 3). Man erkennt auf dieser Karte, bei welcher Frequenz die Bodenbewegung im Fall eines Erdbebens verstärkt wird. Stimmen die Frequenzen des Untergrundes mit der Eigenfrequenz der Gebäude überein, ist es sehr wahrscheinlich, dass im Fall eines Erdbebens Schäden auftreten werden. Der Abschätzung von Standorteffekten liegt die Bestimmung der Spektralverhältnisse einerseits zwischen der horizontalen und der vertikalen Seismometerkomponente und andererseits hinsichtlich einer Referenzstation, die nahe der Stadt am nordwestlichen Rand des Tian Shan-Gebirges installiert wurde, zugrunde.

Mit diesen Ergebnissen der Mikrozonierung lassen sich die seismische Gefährdungsabschätzung und die Risikovorsorge erheblich verbessern (Bindi et al., 2010a). Hervorzuheben ist dabei, dass mit Unterstützung des Global Change-Observatoriums Zentralasien im Rahmen der Mikrozonierung von Bischkek ein neues, drahtloses seismisches Messsystem entwickelt wurde, das vor allem für Messungen des seismischen Rauschens in dicht besiedelten Gebieten geeignet ist (Picozzi et al., 2010).

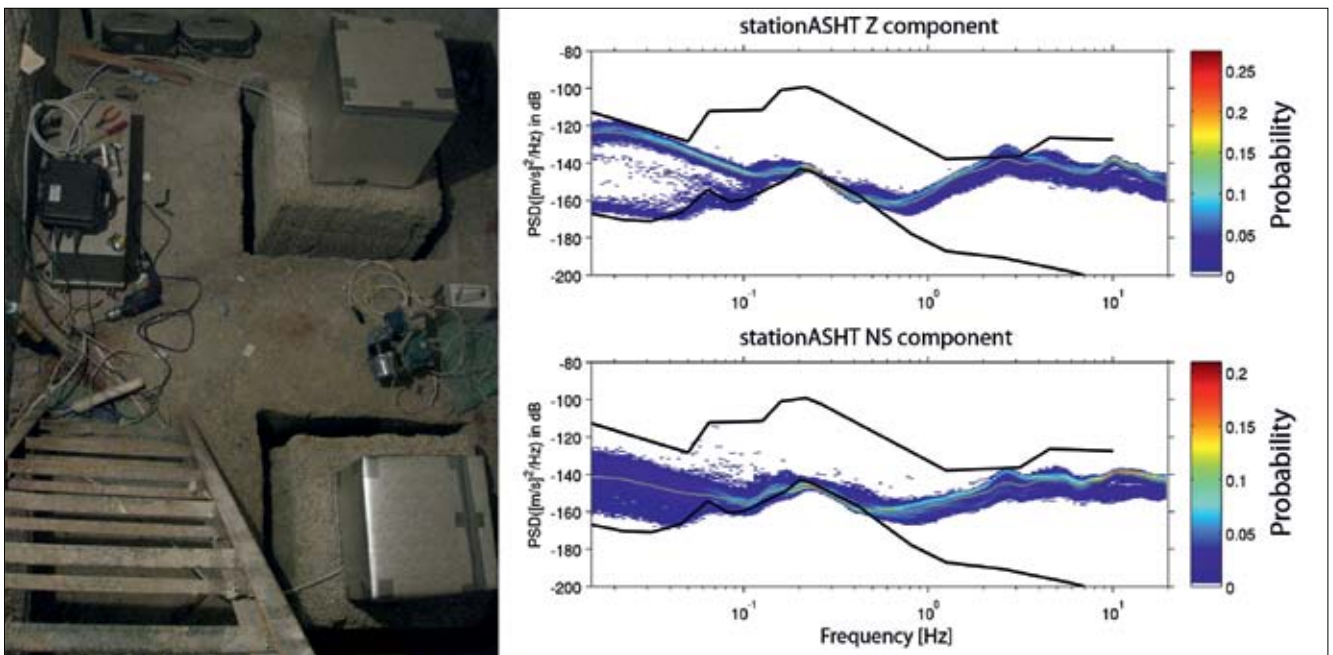


Abb. 2: Links: Seismische Station in Ashgabat als Beispiel einer Installation. Rechts: Spektraldichte des seismischen Rauschens (in Farbe) gegenüber dem Minimal- und Maximalmodell von Peterson

Fig. 2: Left: Example of installation: the Ashkabat station. Right: Power Spectral Density of seismic noise (in color) versus the Minimum and Maximum Noise Model of Peterson

Seismische Vulnerabilität

Innerhalb des CASCADE-Projekts wurden in Zusammenarbeit mit dem Karlsruher Institut für Technologie KIT Daten zur seismischen Vulnerabilität der Gebäude in den unterschiedlichen Staaten zusammengetragen. Gemeinsam mit lokalen Partnern vor Ort konnte hierbei eine Harmonisierung der Vulnerabilitätsklassifizierung nach EMS-98 erreicht werden. Die bisher verwendeten lokalen Klassifizierungen unterscheiden sich teilweise sehr stark. Die Ad-hoc-Klassifizierung auf der Basis eines einheitlichen Verfahrens wird als ein nächstes Ziel angestrebt. In naher Zukunft sollen erste Schritte in diese Richtung unternommen werden. Um das enorme Wachstum der Städte adäquat zu berücksichtigen, sollen zukünftig satelliten- und bodenbasierte Fernerkundungsmethoden kombiniert werden. Die Daten sollen in zukünftige Kooperationen mit weiteren lokalen Partnern für eine verbesserte Abschätzung des seismischen Risikos in Zentralasien einfließen.

Eine erste Abschätzung der Qualität der Risikoszenarien auf Grundlage der gesammelten Daten wurde von Bindi et al. 2010a für Bischkek durchgeführt und belegt, dass geologische Standorteffekte maßgeblich für die räumliche Verteilung der Schäden an Infrastrukturen verantwortlich sind.

Folgerungen und Ausblick

Erste Erdbebenrisikoabschätzungen mit verbesserten Eingabedaten auf Stadtebene wurden bereits für verschiedene Städte Zentralasiens durchgeführt. Die hier vorgestellten Erdbebenrisikoszenarien für Zentralasien sollen zukünftig weiter optimiert werden. Insbesondere die seismischen Kataloge,

d. h. die historisch und instrumentell aufgezeichnete Seismizität, sollen räumlich und zeitlich vervollständigt werden. Wegen fehlender Aufzeichnungen starker Bodenbewegungen konnten beispielsweise ortsspezifische Gleichungen für die Vorhersage der Bodenbewegung in der Vergangenheit nicht berechnet werden. Die Installation eines grenzüberschreitenden CASCADE-Netzwerks wird auf lange Sicht zur Lösung dieses Problems beitragen. Kurzfristige Abhilfe könnten numerische Simulationen (unter Verwendung der wenigen verfügbaren Datensätze) schaffen, wozu entsprechende Untersuchungen geplant sind. Aktuelle Karten der seismischen Gefährdung Zentralasiens werden derzeit erstellt.

Das Auftreten von Standorteffekten und die damit im Fall eines Erdbebens zu erwartenden größeren Schäden und Verluste in Bischkek stellen deutlich die Wichtigkeit seismischer Untersuchungen für weitere große Städte in Zentralasien heraus. Denn nur über ein besseres Verständnis der Bodenbewegung während starker Erschütterungen kann die Risikoabschätzung optimiert werden. Zu diesem Zweck sollen mit Unterstützung des Global Change-Observatoriums Zentralasien mehrere Bodenbeschleunigungsmessgeräte für einen vertikalen Array in Bischkek installiert werden; erste Erfahrungen mit einer solchen Versuchsanordnung wurden bereits bei ähnlichen Experimenten erfolgreich für die Metropole Istanbul gesammelt (Parolai et al., 2009; Parolai et al., 2010b; Bindi et al., 2010b). Die Messgeräte sollen bis in eine Tiefe von 150 m unter der Erdoberfläche installiert werden, um das Verhalten des Untergrunds während des letzten Teils der Wellenausbreitung zu beobachten. Auch nichtlineare Effekte können mit einer solchen Versuchsanordnung erkannt und ihre Ursachen analysiert werden. Ebenso können die geotechnischen Eigenschaften des Untergrunds vor Ort abgeschätzt werden. Die aufgezeichneten

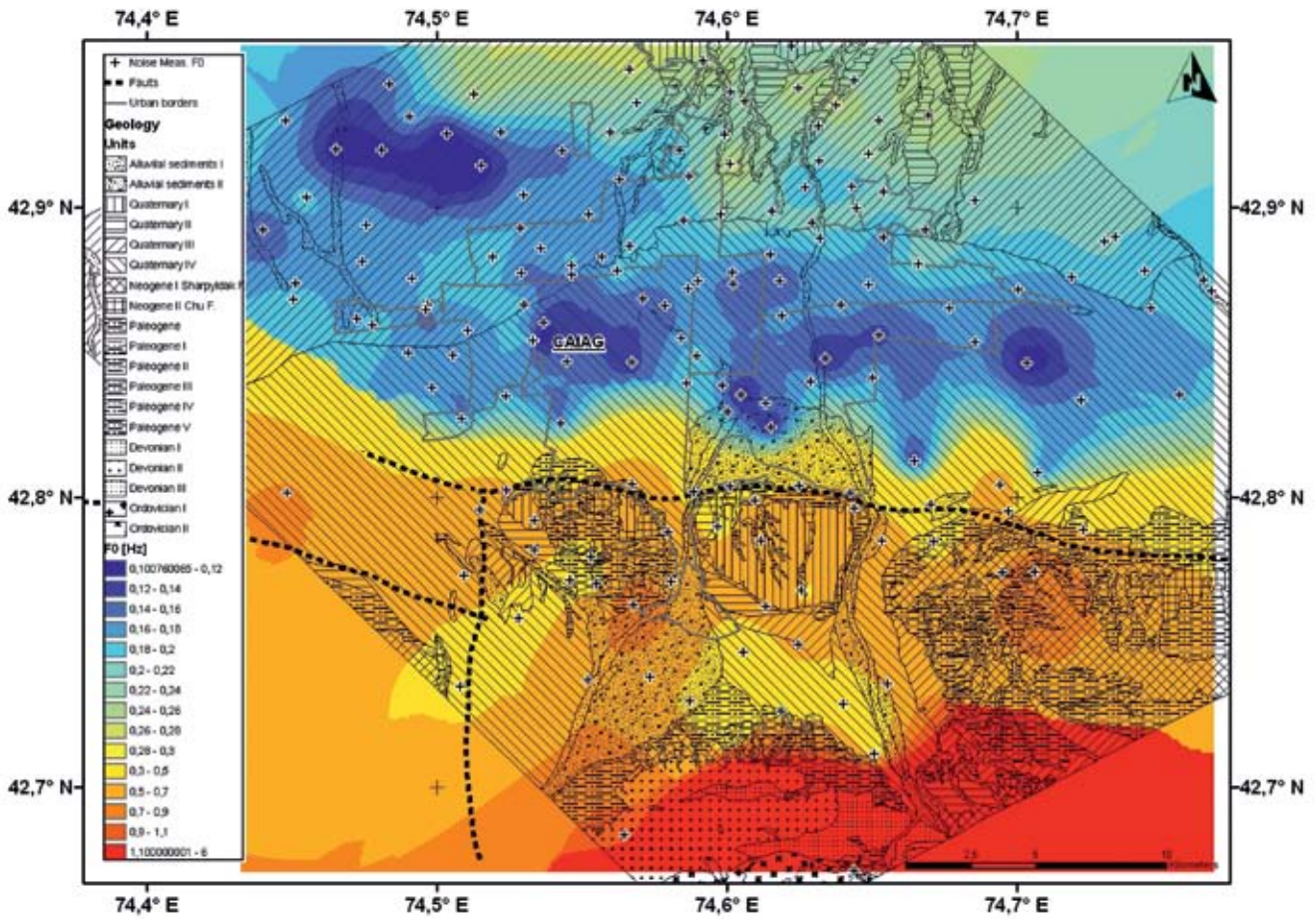


Abb. 3: Resonanzfrequenz des Untergrunds für Bischkek (Kirgistan). Die Ergebnisse beruhen auf Messungen des seismischen Rauschens im Stadtgebiet und der Umgebung.

Fig. 3: Map of the fundamental frequency of resonance estimated from noise measurements for the area around Bishkek (Kyrgyzstan).

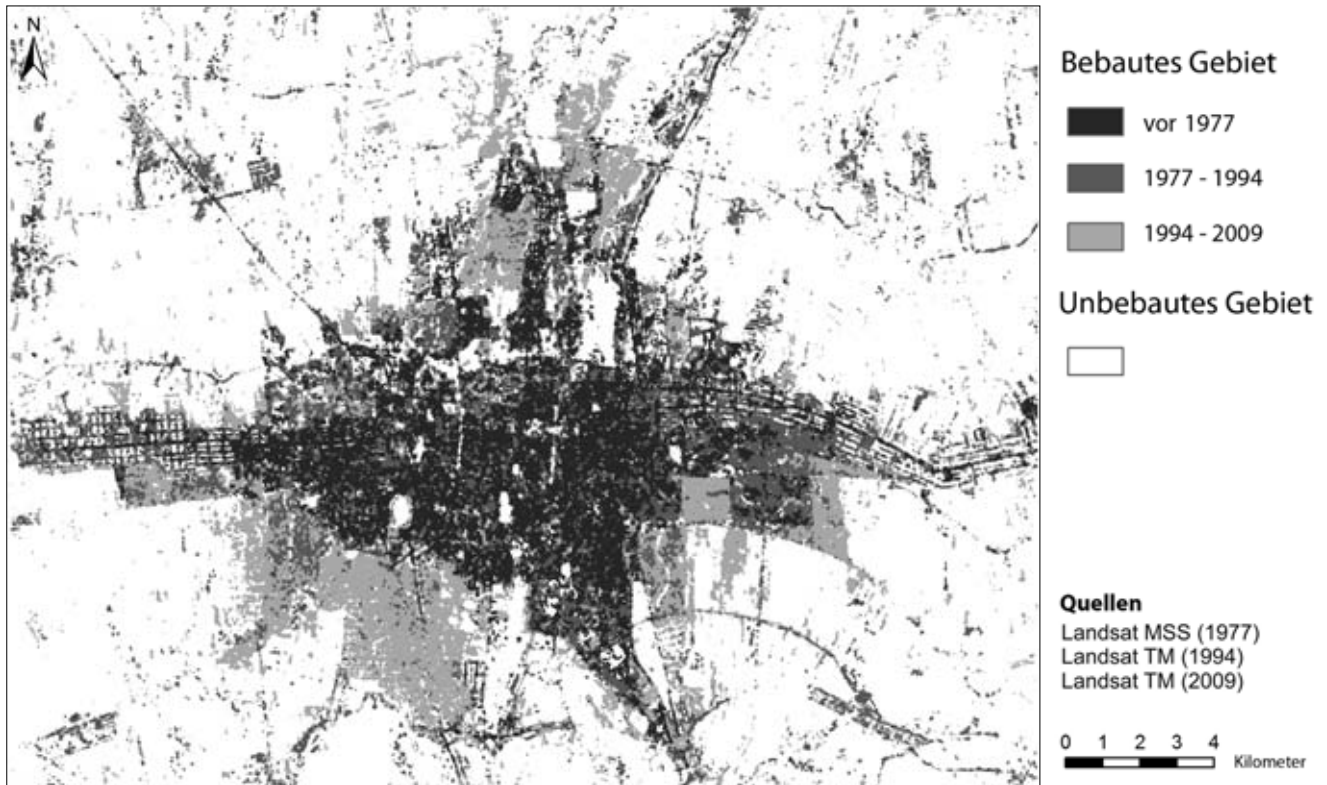


Abb. 4: Stadtentwicklung von Bischkek (Kirgistan) im Zeitraum von 1977 bis 2009. Die Daten basieren auf der Analyse von Landsat MSS und TM-Bildern.

Fig. 4: Map of the urban growth of Bishkek (Kyrgyzstan) from 1977 to 2009. Based on multitemporal change detection analysis of Landsat MSS and TM images.

Daten können über das Internet in Echtzeit zum GFZ und zum Zentralasiatischen Institut für angewandte Geowissenschaften (ZAIAG) übertragen werden. Die Analyse und der Vergleich der im Gelände und im nahegelegenen ZAIAG aufgezeichneten Daten ermöglicht außerdem, Wechselwirkungen zwischen den Gebäuden und dem Untergrund sowie das genaue Verhalten der Gebäude während eines Bebens vollständig zu erfassen.

Es ist zudem vorgesehen, für die Region Zentralasien an der zur Installation des vertikalen Array nötigen Bohrung einen Forschungsstandort einzurichten, an dem Verfahren der angewandten Geophysik getestet und weiterentwickelt werden können. Ein weiteres Vorhaben ist die Aktualisierung der Vulnerabilitätsdatensätze für Bischkek. Nach amtlichen Schätzungen soll die Anzahl der Gebäude in Bischkek seit der letzten Volkszählung im Jahr 2000 um rund 20 % gestiegen sein. Diesem enormen Wachstum kann nur mit neuen, schnellen Verfahren zur Abschätzung der Vulnerabilität Rechnung getragen werden. Abb. 4 zeigt den Ansatz des GFZ, Veränderungen der Siedlungsstruktur in Bischkek mit Satellitenbildern zu erfassen und auszuwerten. Da Satellitenbilder allein jedoch nicht alle notwendigen Informationen für eine verlässliche Abschätzung der seismischen Vulnerabilität liefern können, wird ein erweiterter Ansatz entwickelt, dem eine gleichzeitige Analyse von Satellitenbildern und Panoramakameraaufnahmen zugrunde liegt. Erste Studien werden hierzu bereits in Bischkek durchgeführt.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass verlässliche seismische Risikoszenarien für Zentralasien erfolgreich entwickelt werden konnten. Weitere Untersuchungen sollen die Ergebnisse aus Standortstudien zu einem großräumigen Gesamtbild zusammenfügen und damit auch die Qualität der Befunde weiter verbessern. Insbesondere ist eine noch intensivere fachübergreifende Zusammenarbeit von Experten der Seismologie, Geophysik, Geographie und von Bauingenieuren erforderlich, um verlässliche Ergebnisse zu erhalten, wie der in CASCADE verwendete Ansatz eindrucksvoll und erfolgreich belegt.

Literatur

- Bindi, D., Mayfield, M., Parolai, S., Tyagunov, S., Begaliev, U. T., Abdrakhmatov, K., Moldobekov, B., Zschau, J. (2010): Towards an improved seismic risk scenario for Bishkek, Kyrgyz Republic. – *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31, 3, 521-525, 10.1016/j.soildyn.2010.08.009
- Bindi, D., Parolai, S., Picozzi, M., Ansal, A. (2010): Seismic Input Motion Determined from a Surface-Downhole Pair of Sensors: A Constrained Deconvolution Approach. – *Bulletin of the Seismological Society of America*, 100, 3, 1375-1380, 10.1785/0120090306
- Erdik M., Rashidov, T., Safak, E., Turdukulov, A. (2005): Assessment of seismic risk in Taschkent, Uzbekistan and Bischkek, Kyrgyz Republic. – *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 25, 7-10, 473-486, 10.1016/j.soildyn.2004.11.002
- 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
- Parolai, S., Orunbaev, S., Bindi, D., Strollo, A., Usupaev, S., Picozzi, M., Di Giacomo, D., Augliera, P., D'Alema, E., Milkereit, C., Moldobekov, B., Zschau, J. (2010): Site Effects Assessment in Bishkek (Kyrgyzstan) Using Earthquake and Noise Recording Data. – *Bulletin of the Seismological Society of America*, 100, 6, 3068-3082, 10.1785/0120100044
- Parolai, S., Bindi, D., Ansal, A., Kurtulus, A., Strollo, A., Zschau, J. (2010): Determination of shallow S-wave attenuation by down-hole waveform deconvolution: a case study in Istanbul (Turkey). – *Geophysical Journal International*, 181, 2, 1147-1158, 10.1111/j.1365-246X.2010.04567.x
- Picozzi, M., Milkereit, C., Parolai, S., Jäckel, K. - H., Veit, I., Fischer, J., Zschau, J. (2010): GFZ Wireless Seismic Array (GFZ-WISE), a Wireless Mesh Network of Seismic Sensors: New Perspectives for Seismic Noise Array Investigations and Site Monitoring. – *Sensors*, 10, 4, 3280-3304, 10.3390/s100403280
- Zhang P., Yang, Z., Gupta, H. K., Bhatia, S. C., Shedlock, K. M. (1999): Global seismic hazard assessment program (GSHAP) in continental Asia. – *Annali di Geofisica*, 42, 6, 1167-90