

Erdbebentauglichkeit traditioneller Bauweisen in Zentralasien

Jochen Schwarz, Matthias Raschke und Horst Schroeder, Weimar

Vorbemerkung

Die Region Zentralasiens gehört zu den seismisch aktivsten Gebieten der Erde. Bautechniken und -konstruktionen müssen deshalb den Prinzipien des erdbebengerechten Bauens folgen, um im Falle eines Bebens Verluste an Menschenleben zu verhindern und Schäden an baulichen Anlagen zu begrenzen. Der private und nichtstaatliche Wohnungsbau führt mit der Orientierung auf traditionelle Bauweisen zu dicht besiedelten Regionen, die gegenüber der hohen Erdbebengefährdung unzureichend ertüchtigt sind. Bestehende Probleme werden nachfolgend am Beispiel der usbekischen Hauptstadt Taschkent dargelegt. Der Beitrag basiert auf durchgeführten Projekten [1] bis [5] bzw. den vor Ort durchgeführten Recherchen [6], [7] sowie auf den Vorarbeiten im Rahmen bestehender Forschungskontakte [8], [9].

Die Zonenkarte der ehemals für das gesamte Gebiet der Sowjetunion geltenden Erdbebenbaunorm SniP ist der *World List of Earthquake Resistant Regulations* (u.a. 1984,1988) zu entnehmen. Über Probleme der Gefährdungseinschätzung und die Folgen deren wiederholter Überarbeitungen wird u.a. in [8], [9] am Beispiel der Ostkasachischen Erdbeben 1990 berichtet. Beobachtete Bauwerksschäden konnten danach auch auf die Fehleinschätzung (Unterbewertung) der seismischen Gefährdung zurückgeführt werden. Analoge Feststellungen sind für das Spitak-Beben (Armenien, 1988: $I_{obs} = 9 - 10$ zu $I_{code} = 7 - 8$) oder auch für das Neftegorsk-Beben (Sachalin,1995: $I_{obs} = 9$ zu $I_{code} = 7$) bzw. weitere Beben in Zentralasien zu treffen [10]. Schadensbeben auf dem Territorium Usbekistans traten in Nähe der durch die Erdölproduktion bekannten Stadt Gazli auf [11], [12]. Obwohl bereits schwere Beben in den Jahren 942 bzw. 1390 überliefert sind, galt diese Region nach alter Norm mit der Intensität 5 als aseismisch, so daß Erdbebenvorkehrungen gänzlich fehlten.

Zur seismischen Gefährdung und Normensituation

Tabelle 1 Beben in der Region Gazli und zugehörige Gefährdungsparameter der jeweils geltenden Normen für Gazli und andere usbekische Städte

Beben: Magnitude	Intensität beobachtet I_{obs}	Norm	Referenzintensität der Zonenkarte		Region
			I_{code}	T_R [a]	
08.04.1976: M = 7.0; $I_o = 8^+$		SNiP-P-A-12-69	5		Gazli
17.05.1976: M = 7.3; $I_o = 9^+$					
05.06.1978: M = 6.4; $I_o = 6-7$					
19.03.1984: M = 7.2; $I_o = 9$		SNiP-P-7-81	7		
		KMK 2.01.03-96	7	50	Gazli
			8	100	
			7	25	
			8	100	
			7	50	Buchara
			8	100	
			7	150	
			8	500	
			9	1000	

I_o - Epizentralintensität nach makroseismischen Erhebungen

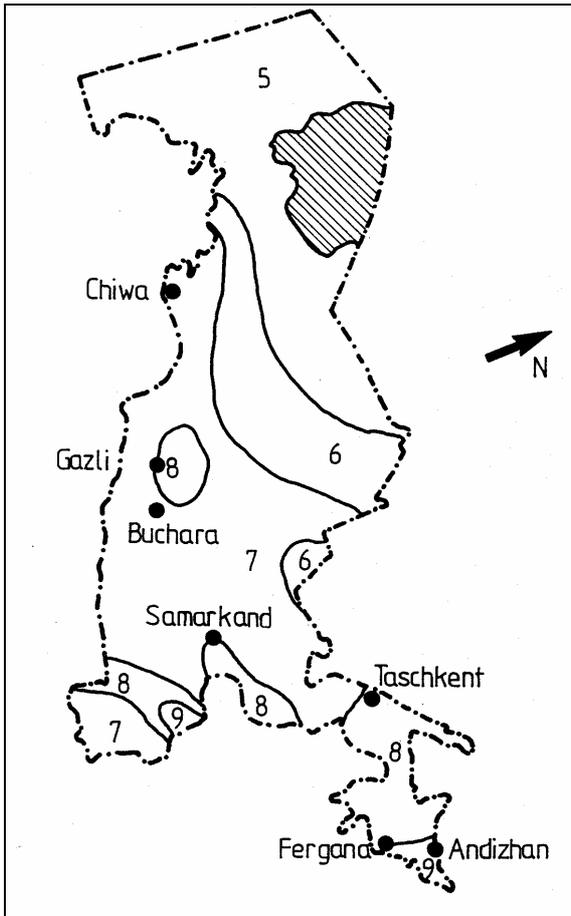


Bild 1. Zonenkarte der aktuellen usbekischen Norm KMK 2.01.03-96 (Entwurf)

Bei den beiden Beben 1976 wurde die Stadt Gazli nahezu vollständig zerstört. Die nach diesen Ereignissen erfolgte Zuordnung in Intensitätszone 7 erwies sich in den Folgejahren 1978 bzw. 1984 erneut als unzureichend.

Während eines NATO-workshop in Almaty, Oktober 1996, wurden Szenarien für die zentralasiatischen Hauptstädte im Falle von Beben der Intensität 9 entwickelt. Für die usbekische Hauptstadt Taschkent werden bei gegenwärtig 2.7 Mio. Einwohnern 135.000 Tote prognostiziert, für Almaty, der kasachischen Hauptstadt, bei 1.5 Mio. Einwohner 75.000 Tote [10].

Aus Sicht der Autoren sind in diesem Zusammenhang gegenwärtig folgende Tendenzen zu erkennen und bei der Ableitung von kurzfristigen Sofortmaßnahmen bzw. von mittel- und langfristig greifenden Projekten (mit internationaler Unterstützung) zu berücksichtigen:

1. Derzeit sind in den zentralasiatischen Republiken Aktivitäten zu verzeichnen, die ehemalige sowjetische Norm an die regionalen Besonderheiten anzupassen. Dabei werden gezielt Normenentwicklungen in Europa verarbeitet (EC 8, Vorschriftenentwurf für Territorium der DDR). Stellvertretend sei auf die usbekische Norm KMK 2.01.03-96 hingewiesen. Sie weist dem Ort Gazli eine Referenzintensität $I_{code} = 7$ mit einer Wiederholungsperiode $T_R = 50$ Jahren und eine Intensität 8 mit $T_R = 100$ Jahren zu. Die aktuelle Zonenkarte ist in Bild 1 reproduziert. Tabelle 1 kennzeichnet zudem die Gefährdungszonen von Städten entlang der „Seidenstraße“, deren kulturhistorische Bausubstanz zum Weltkulturerbe zählt [3], [4], [5].

2. Es fehlen finanzielle Mittel und Materialien, um erdbebensichere Bauweisen in größerem Umfang durchsetzen oder auch die Normenentwicklung praxiswirksam vorantreiben zu können.

3. Der private Wohnungsbau konzentriert sich zunehmend in städtischen Randgebieten und ist vorwiegend durch traditionelle Bauweisen bzw. Techniken mit lokal verfügbaren Materialien gekennzeichnet. Gemäß der Europäischen Makroseismischen Skala EMS-92 [13] sind diese Bauweisen der Vulnerabilitätsklasse A (ev. B) zuzuordnen. Für Beben der Intensität 9 gilt folgende Schadensersparnis: *Many buildings of class A and a few of class B suffer damage of grade 5* (Schadensgrad 5 bedeutet Kollaps). Bauten in traditioneller Bauweise können somit Beben mit der Stärke der Zonenintensitäten nicht versagensfrei überstehen. In der seismischen Verstärkung der Bauweisen und der Entwicklung kostengünstiger Verstärkungstechniken steckt demzufolge neben der sozialen Dimension auch der Ingenieursanspruch und die wissenschaftliche Herausforderung der Themenstellung.

Bei der Beurteilung der Erdbebentauglichkeit der vorhandenen Bauweisen in der Region Zentralasien zeichnet sich bei sachlicher Ist-Stands-Analyse somit eine komplizierte Situation ab: mit wenigen Ausnahmen ist die gesamte Bausubstanz gegenüber künftigen Ereignissen unzureichend erdbebentauglich.

Zur Spezifik seismischer Einwirkungen

Im Entwurf zur usbekischen Norm KMK 2.01.03-96 werden Antwortspektren für drei Untergrundklassen (1/2 - Fels, steifer Boden; 3 - weicher B.) und vier Erdbebenregionen gegeben. Bild 2 zeigt die auf die Bodenbeschleunigung normierten Spektren der einzelnen Regionen für Bodenklasse 1/2. Zum Vergleich sind auch die Spektren nach EC 8 (Bodenklassen A und B) aufbereitet. Zur Verdeutlichung der Spezifik der seismischen Einwirkungen wurden die Komponenten des Bebens von Gazli 1984 herangezogen (M = 7.2; R = 10 km). Bild 3 gibt den Vergleich zwischen den Normspektren der Region 4 und den Komponentenspektren (H-Res: resultierendes Horizontalspektrum, V: Vertikalkomponente).

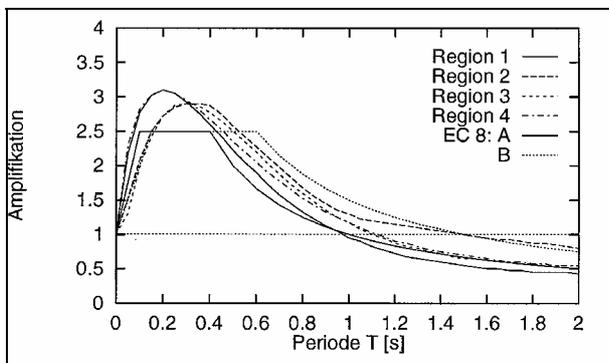


Bild 2. Normspektren nach KMK 2.01.03-96

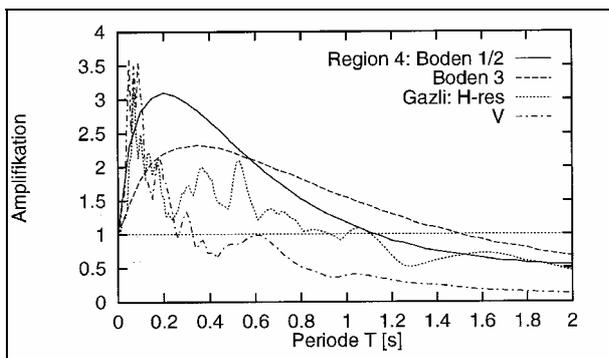


Bild 3. Vergleich der Normspektren mit Spektren des Gazli - Bebens (1984)

Um eine Einordnung der gemessenen Bodenbewegungen in europäische Datensätze vornehmen zu können, wurden gemäß der Untersuchungen in Bild 4 die Mittelwertspektren aktueller statistischer Auswertungen herangezogen.

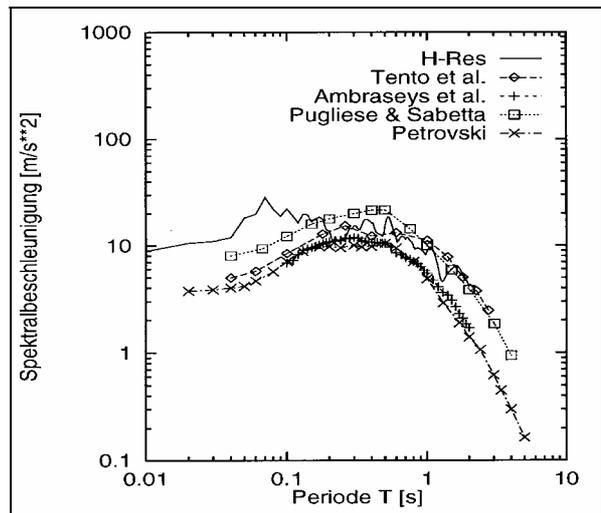


Bild 4. Spektren des Gazli-Erdbebens (1984)

Ergebnisse flossen in die Auswahl der Bebenaten für die Standortanalyse bzw. Herausarbeitung lokaler Bodenverstärkungen in Taschkent ein. Entlang einer NO-SW- Achse durch die Hauptstadt wurden sechs charakteristische Profile analysiert und mögliche Anregungsbedingungen für die vorherrschende Bausubstanz ermittelt [6].

Analyse und Dokumentation der vorhandenen Wohnbausubstanz aus traditionellen Bauweisen in Taschkent

Im Rahmen eines mehrwöchigen Aufenthalts in Taschkent wurde die vorhandene Bausubstanz nach typischen Bauweisen klassifiziert und hinsichtlich der Hauptabmessungen, Grundrißlösungen, Öffnungsstruktur, Tragelemente (Dach, Decken, Wand, Foundation) und Anschlußlösungen katalogartig beschrieben. Durch Aufmaße, Fotodokumentation bzw. Detaildarstellungen wurde angestrebt, mögliche Schwachstellen der Bauweisen und typische Versagensmuster unter Erdbebeneinwirkungen aufzudecken. Die Bausubstanz wurde kartiert, durch Aussagen zur Bebauungsgeschichte (Alter, Gültigkeit von Normen u.ä.) ergänzt und ihre Erdbebentauglichkeit bewertet. Auf dieser Grundlage konnten mögliche Maßnahmen der Verstärkung abgeleitet werden. In weiteren Untersuchungen wurde Taschkent in Mezzonen unterteilt und nach Standortanalysen Schadensszenarien in Abhängigkeit von der Bebenstärke entwickelt [6].

Bauweise	Kompakter Haustyp	Länglicher/L-förmiger Haustyp	Neubauten
Lehmsteinmauerwerk LMW	+++	+	+
Fachwerk FW	+	+++	+
Lehmwurfwände LWW	-	-	+++
Ziegelmauerwerk ZMW	+++	+	++
Verbreitung	+++ stark	++ mittel	+ gering (vereinzelt)
Grundrisse: <i>Bewertung:</i>	kompakt +++	länglich/L-förmig --	unregelmäßig --
Etagenanzahl: <i>Bewertung:</i>	1 (selten Toretagenanbau) +	1-2 (-)	Toretagen/hohe Kellergeschosse -
Höhe der Wände:	3m (2,5-3,5m)	3m (2,5-3,5m)	3m (2,5-3,5m)
Länge der Wände: <i>Bewertung:</i>	(3m-) 6m --	(3m-) 6m (bis 8m) (--)	(3m-) 6m --
Breite der Fenster <i>Bewertung:</i>	1,2m (selten darüber) ++	1,2-1,6m (selten darüber) (-/+)	1,4-1,6m (selten darüber) --
Breite der Wandpfeiler: <i>Bewertung:</i>	0,8-1,2m (und größer) -/+	0,8-1,2m (und größer) (-/+)	1,2m (und größer) +
Bausubstanz	+	--	++
Bewertung von	+++ gut	bis	-- schlecht

Tabelle 2. Bewertung der traditionellen Bauweisen in Taschkent nach [6]



Bild 9. Altstädtische Bebauung (Zentrum)
Bild 11. Fachwerkartige Bauweise (*sintsch*)

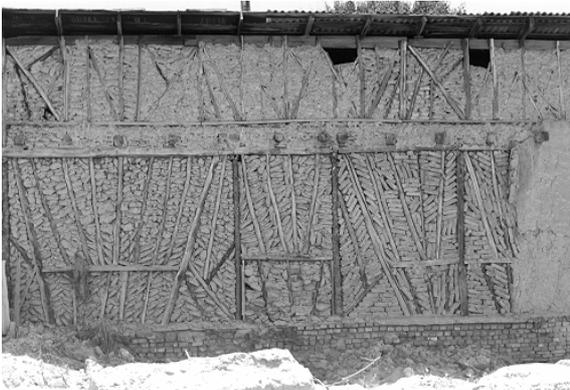


Bild 10. Fachwerkartige Bauweise: L-Typ
Bild 12. Neubau in LWW (mit ZMW)



Soweit dies möglich war, wurden auch die nach den Beben erfolgten Wiederaufbau-maßnahmen bzw. gewählten Verstärkungstechniken verfolgt und in ihrer Effektivität nachvollzogen.

Schadenserwartung auf der Grundlage der makroseismischen Intensität

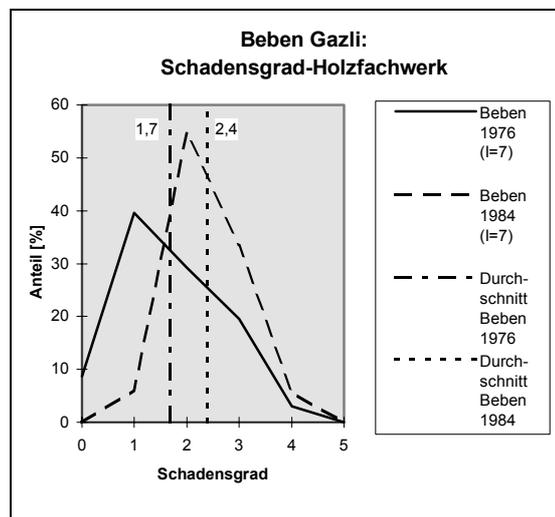
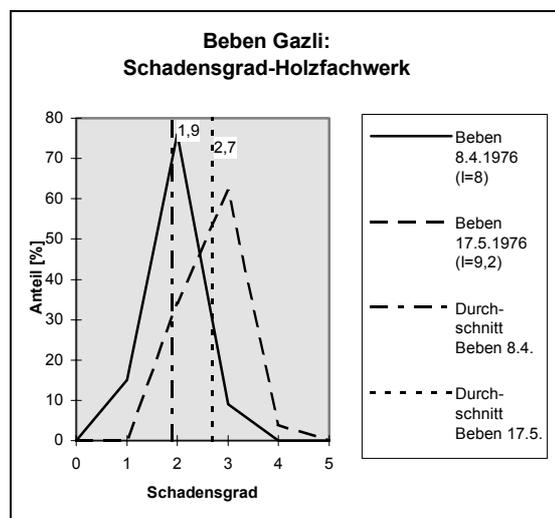
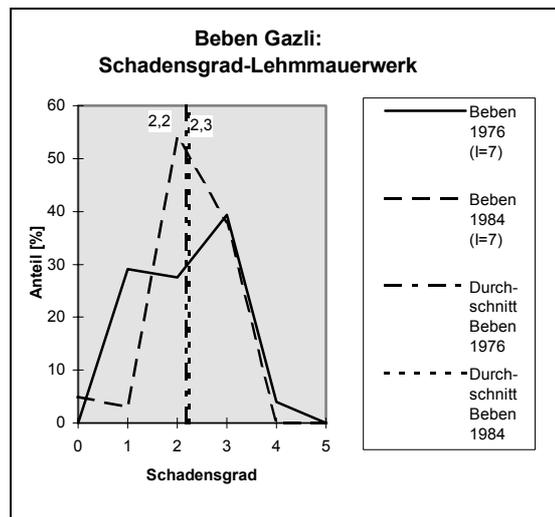
In den zentralasiatischen Ländern stellt die Intensität die maßgebende Gefährdungskenngröße dar. Nach Beben wurden z.T. ausführliche und vorbildhafte makroseismische Auswertungen durchgeführt. Dabei wurde von den Bauweisen der MSK-81 (Typen A, B, C) ausgegangen und das Intensitätskonzept durch Differenzierung der Bauweisen weiterentwickelt. In den makroseismischen Skalen MSK-64 / MSK-81 oder der EMS-92 wird von fünf Schadensgraden ausgegangen (d1- *slight damage* bis d5 - *destruction*). Um die Schadenssituation durch einen bauweisenbezogenen singulären Parameter zu kennzeichnen, wird häufig ein mittlerer Schadensgrad d definiert:

$$d = \sum (n_i \times d_i) / n$$

(n_i , n - Anzahl der Gebäude mit Schadensgrad d_i bzw. Gesamtbestand; bezogen auf eine Bauweise)

Die Bilder 13 zeigen die Schadenssituation für Holzfachwerk „sintsch“ und Lehm-mauerwerk nach den beiden Gazli-Beben 1976 bzw. den Beben 76 und 84 (vgl. Tabelle 1). Unter Nutzung der vorliegenden Daten konnte eine intensitätsabhängige Schadens-erwartung für die lokal vorherrschenden traditionellen Bauweisen vorgelegt werden (Bild 14). Die herausgearbeiteten Bauwerkstypen lassen sich in Empfindlichkeits-funktionen bzw. in die Vulnerabilitätsklassen der makroseismischen Skala EMS-92 [13] einordnen.

Bilder 15 a/b bzw. 10 und 11 illustrieren die begrenzt erdbebentaugliche traditionelle Bauweise „sintsch“ im Schadensfall (Gazli) bzw. in verschiedenartigen Ausführungen (Randgebiete von Taschkent). Varianten bzw. bauliche Regeln sind u.a. Bild 6 zu entnehmen.



Bilder 13. Makroseismische Schadensauswertung der Beben von Gazli 1976 und 1984 für unterschiedliche traditionelle Bauweisen nach [11], [12]; (Klammerwerte geben die jeweils ermittelten Intensitäten).

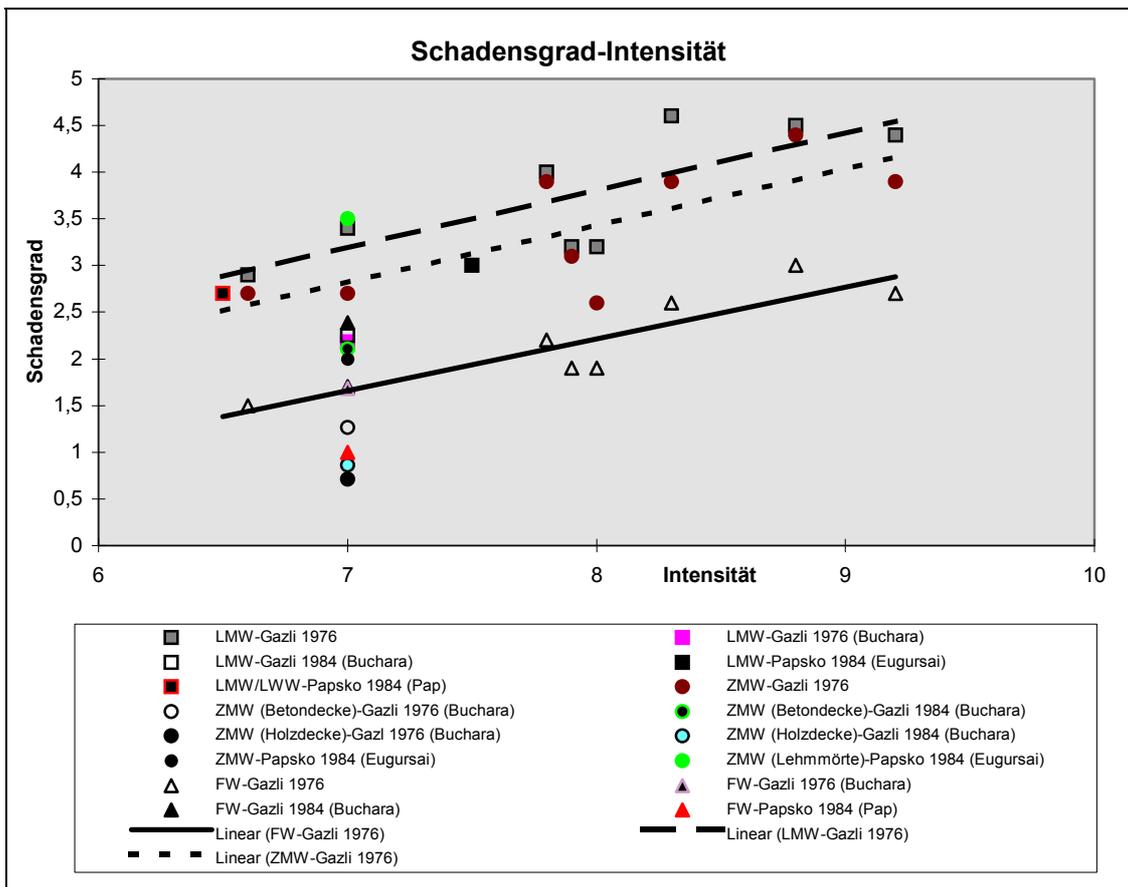


Bild 14. Ergebnisse makroseismischer Erhebungen nach Beben in Usbekistan [6], [11], [12]

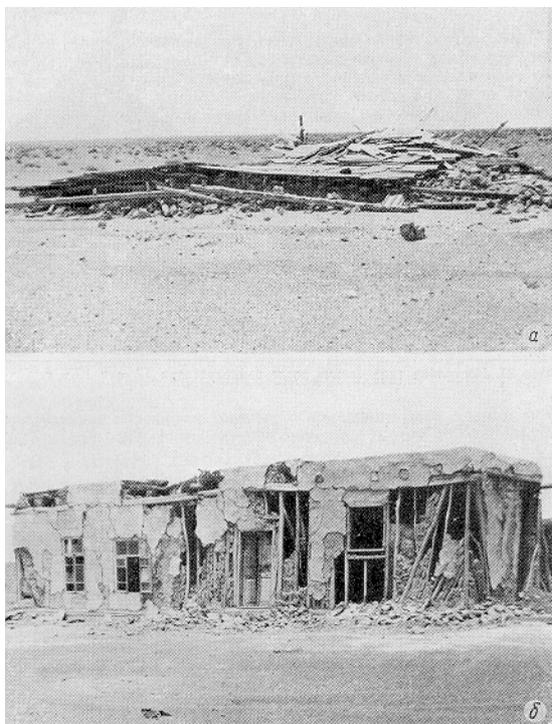


Bild 15 Schadensprogression eines „sintsch“-Bauwerks nach den beiden Gazli-Beben 1976 (unten: 08.04; oben: 17.05.76) [11].

Wie Bild 14 zu entnehmen ist, weisen einige Bauweisen auch bei hohen Intensitäten einen nicht zu vernachlässigenden Grad der Erdbebenwiderstandsfähigkeit auf. Bild 16 gibt den Vergleich von Empfindlichkeitsfunktionen nach Schadenerhebungen und Definitionen makroseismischer Skalen (hier: MSK-81) und veranschaulicht in analoger Weise den empirischen Zusammenhang zwischen Bebenstärke (Intensität) und Schadenerwartung für ausgewählte traditionelle Bauweisen.

Zielstellungen und Maßnahmen zur seismischen Verstärkung

Die erarbeitete Dokumentation soll zur Ableitung kostengünstiger Lösungen des Wohnungsneubaus mit traditionellen Bautechniken in Zentralasien beitragen. Setzt man als Kriterium für die Verstärkung eine obere Schadensschwelle bei Schadensgrad 3 bzw. 4 an, scheint es möglich, traditionelle Bautechniken auch in den seismisch aktiven Gebieten ($I \geq 9$) einsetzen zu können.

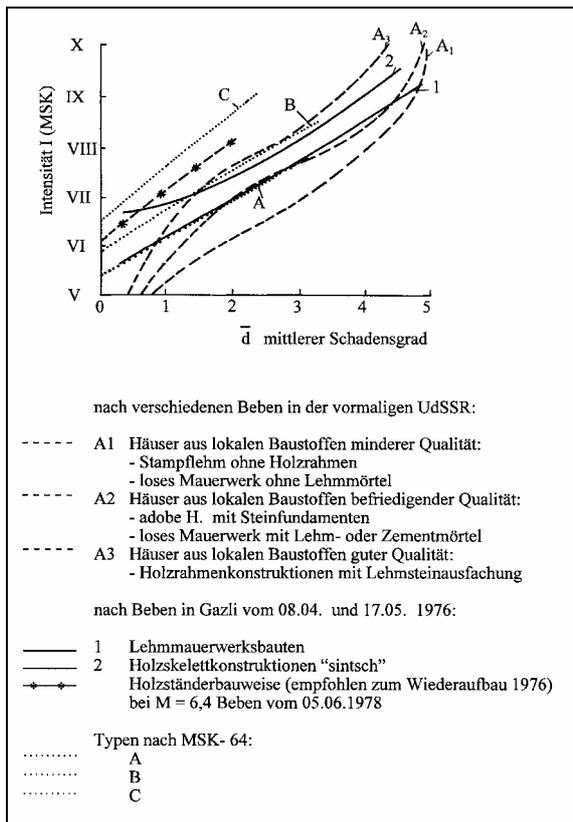


Bild 16. Intensitätsabhängige Schadenserwartung für ausgewählte traditionelle Bauweisen Empfindlichkeitsfunktionen nach Schadenserhebungen [11], [14]

Aus den Untersuchungen war zu schlußfolgern, daß aufgrund der allgemein zu teuren Ziegelbauweise verstärkt auf die „sintsch“-Bauweise zu orientieren ist. Für diese Bauweise wäre zugleich eine Massenproduktion unter Einschaltung der Vorfertigung wesentlicher Tragelemente anzustreben. Die Realisierung derartiger Zielstellungen sind aus Sicht der Autoren an die Einrichtung eines Zentrums für Angepaßte Technologien zu binden, in dem u.a. die Bautechniken für den privaten Wohnungsbau geschult werden [1], [2], [7]. In diesem organisatorischen Rahmen scheint es weiterhin möglich, Musterbauten in den seismisch aktivsten Zonen zu errichten und das Verhalten unter realen Bedingungen zu verfolgen (z.B. in Fergana, vgl. Bild 1). Desweiteren könnten die einzelnen Bauweisen bzw. Verstärkungstechniken und Baustoffzusätze einer experimentellen Prüfung unterzogen werden.

Literatur:

- [1] Schroeder, H.; Schwarz, J.: Projektvorschläge zum erdbebengerechten Bauen in Zentralasien. Bericht im Auftrage des Deutschen IDNDR-Komitees im Ergebnis einer Reise nach Zentralasien 8 bis 23.11.1993. Weimar/Bonn, Januar 1994.
- [2] Schwarz, J.; Schroeder, H.: Partnerschaftsbeziehungen zwischen dem Deutschen IDNDR-Komitee und den zentralasiatischen Republiken Kirgistan/ Usbekistan. Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik, *Mitteilungsblatt* Nr. 11/1994, 22-24.
- [3] Schroeder, H.; Schwarz, J.: Uzbek-German Workshop on the "Seismic-resistant Strengthening of Tilakari Madrasah at Registan Square, Samarkand"- Review by the Organizers. In: Historic Monuments in Seismic Regions, Wiss. Z. Bauhaus-Universität Weimar 42 (1996) 1, 9-16.
- [4] Schroeder, H.; Schwarz, J.: Schäden an Kulturdenkmälern in Zentralasien. *Bautechnik* 71(1994) 7, 431-432.
- [5] Schroeder, H.; Schwarz, J.: Usbekisch-deutsches Seminar Erdbebengerechte Sanierung einzelner Gebäude des Registan-Platzes in Samarkand. 29/30. März 1995. Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik, *Mitteilungsblatt* Nr. 15/1995, 23-25
- [6] Raschke, M.: Probleme des erdbebengerechten Bauens mit traditionellen Bauweisen in Zentralasien. Diplomarbeit. Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, Bauhaus-Universität Weimar, 1996.
- [7] Schwarz, J.; Schroeder, H.: Workshop "Erdbebengerechtes Bauen mit lokal verfügbaren Materialien in Zentralasien" im Rahmen der Deutsch-Usbekischen Kulturwochen der BRD in Zentralasien. Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik, *Mitteilungsblatt* Nr. 16/1996.
- [8] Kenjebaev, E.T.; Taubaev, A.S.; Schmidt, H.-G.; Schwarz, J.: Ingenieurseismologische Aspekte der Erdbeben in Ostkasachstan. *Bauplanung-Bautechnik* 45 (1991) 5, 195 - 204.
- [9] Taubaev, A.S.; Kenjebaev, E.T.; Hampe, E.; Schwarz, J.; Schmidt, H.-G.: Engineering analysis of earthquake damage in catalogue-like form: Case-study of East Kazakh earthquakes. Proceed. 10th WCEE Madrid, Vol. I, 39 - 48.
- [10] Lessons for Central Asia. Strategies for Urban Earthquake Risk Management for the Central Asian republics. GeoHazards International, Stanford 1997.
- [11] Dshurajev, A.: Wirkungen der Gazli-Erdbeben in Abhängigkeit von den Untergrundbedingungen Akademie der Wissenschaften der Usbekischen SSR. Institut für Seismologie. FAN-Verlag, Taschkent, 1985, 83. S.
- [12] Martemjanov, A.; Aleksenkov, D. Kilimnik, L.: Das Gazli-Beben von 1984. Akademie der Wissenschaften der UdSSR. Verlag „Nauka“, Moskau 1988, 157 S. (wie [11] Übersetzung des Titels aus dem Russ. durch die Autoren).
- [13] Grünthal, G.; Musson, R.; Schwarz, J.; Stucchi, M.(eds.): European Macroseismic Scale 1992 (up-dated scale). Cahiers du Centre European de Geodynamique et de Seismologie, Volume 7, Luxembourg 1993.
- [14] Kenjebaev, E.T: Proposals for up-dating of the MSK intensity scale. In: Thoughts and Proposals for Up-dating of the MSK Intensity Scale, compiled by G. Grünthal, Central Institute for Physics of the Earth Potsdam, Dec. 1989, 50-57. European Seismological Commission. Working Group Macroseismic Scales.