

## Erdbebensicherung mit Faserverbundwerkstoffen

### *Verstärkung eines Hotelgebäudes im Iran*

#### **Hotel Esteghlal, Teheran**

Das 5-Sterne-Hotel Esteghlal liegt im Norden von Teheran am Fuße des Elburz Gebirges. Es ist mit 542 Zimmern Irans größter Hotelkomplex. Im Jahr 1961 wurde das erste 15-geschossige Gebäude des damaligen Hilton Hotels errichtet und einige Jahre später um ein zweites, gleich großes Hochhaus erweitert (Bild 1). Ende der 1970er Jahre wurde mit dem Bau eines dritten Hotelturms begonnen, jedoch kamen die Arbeiten 1979 durch den Beginn der islamischen Revolution zum Erliegen. Nach der Revolution wurde das Hotel unter dem Namen Grand Hotel Esteghlal wieder eröffnet. Symbolisch für den politischen Wandel im Iran blieb die Stahlbetonskelettkonstruktion des südlichen Hotelturms nahezu 25 Jahre lang unvollendet.

Die zunehmende wirtschaftliche Entwicklung des Landes und die damit verbundene Nachfrage im gehobenen Hotelsegment der 8-Millionen-Metropole Teheran führte im Jahre 2003 zu der Entscheidung, die Arbeiten an dem dritten Hotelurm des Hotels Esteghlal wieder aufzunehmen. Zur Ausweitung der Hotelkapazitäten sollte das angefangene Gebäude um 4 Geschosse aufgestockt werden (Bild 2). Voruntersuchungen führten zu dem Ergebnis, dass wesentliche Teile der vorhandenen Stahlbetonkonstruktion aufgrund der erhöhten Lasten verstärkt werden mussten. Zusätzliche Anforderungen an die bestehende Stahlbetonkonstruktion ergaben sich zudem aus den modernisierten iranischen Vorschriften zur Erdbebensicherheit von Gebäuden.



Bild 1: Ansicht des Hotels Esteghlal



Bild 2: Aufstockung des Südturms

#### **Gefährdung durch Erdbeben**

Im Jahr 2003 führte ein starkes Erdbeben in der Provinz Kerman im Südosten des Iran dazu, dass über 20.000 Menschen ihr Leben verloren und die Stadt Bam nahezu vollständig zerstört wurde. Bereits 4 Jahre zuvor war vom iranischen *Building and Housing Research Center* eine aktualisierte Erdbebenkarte veröffentlicht worden (Bild 3). Hier wird Teheran in die Zone mit dem höchsten Gefährdungspotential „very high“ eingestuft, denn entlang des

Elburz Gebirgszuges, nördlich von Teheran, verläuft eine geologische Bruchstelle. Diese hat in der Vergangenheit immer wieder zu stärkeren Erdbebenaktivitäten geführt. Nach den aktuellen iranischen Vorschriften sind Gebäude, die in dieser Zone neu geplant und gebaut werden, für Beschleunigungswerte von 0,35 g auszulegen.

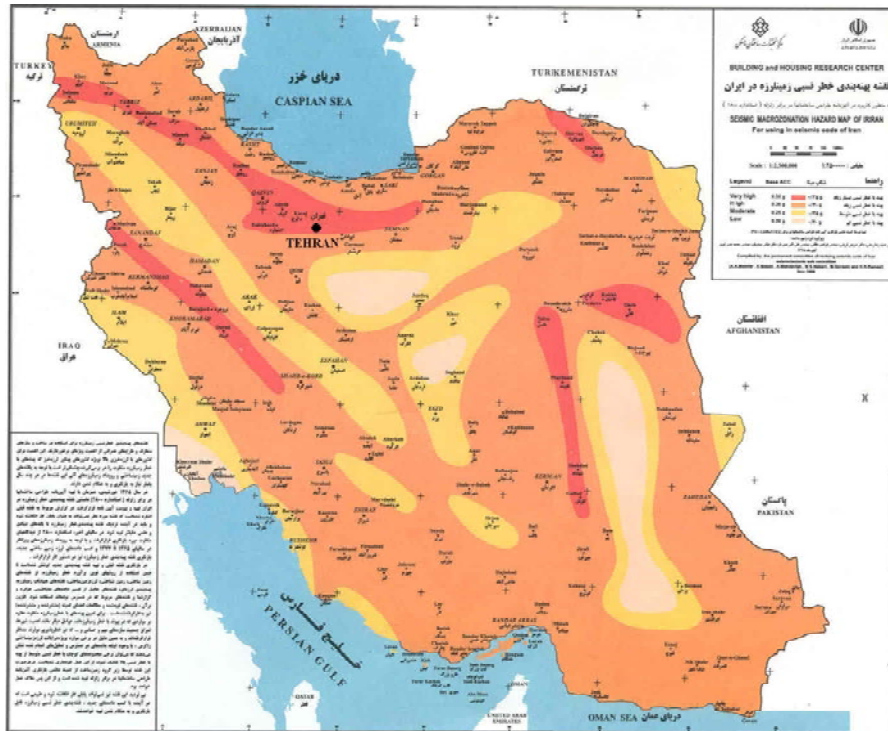


Bild 3: Karte der Erdbebenzonen im Iran

Ein schweres Erdbeben hätte für die Stadt Teheran verheerende Folgen, da erdbebensichere Bauweisen nur bei Neubauten in der jüngeren Vergangenheit Anwendung finden. Die Bestandsgebäude und insbesondere die Vielzahl der historisch wertvollen Bauwerke lassen sich kaum mit vertretbarem Aufwand ertüchtigen. Daraus resultieren immer wiederkehrende Überlegungen seitens iranischer Behörden, die Hauptstadt in ein Gebiet mit geringerer seismischer Aktivität zu verlegen.

Die folgenschweren Erdbeben im Iran in den letzten Jahrzehnten haben inzwischen zu einem verstärkten Interesse an erdbebensicheren Bauweisen in der wachsenden Metropole Teheran geführt. Seitens der Behörden und auch der Bauwirtschaft im Iran werden zunehmend Überlegungen angestellt, wie auch bestehende Gebäude gegenüber einer seismischen Beanspruchung verstärkt werden können. Dies führte letztlich auch bei der Erweiterung des Hotels Esteghlal zu der Entscheidung, die Stahlbetonkonstruktion des nicht vollendeten südlichen Hochhauses zu verstärken.

### Rechnerische Untersuchungen zur Erdbebensicherheit

Die rechnerischen Untersuchungen zur Analyse der bestehenden Stahlbetonkonstruktion und zur Erdbebensicherheit des Gebäudes wurden in Anlehnung an die Vorschriften der amerikanischen Federal Emergency Management Agency (FEMA) durchgeführt. Der Stand

der Technik zur Erdbebensicherheit von Gebäuden ist in der FEMA-Vorschrift 356 (Seismic Rehabilitation Prestandard) ausführlich dokumentiert und bietet auch eine hervorragende Grundlage für die Untersuchung von bestehenden Bauwerken in erdbebengefährdeten Gebieten.

Mit Hilfe eines 3-dimensionalen Stabwerkmodells wurde das Hochhaus dynamisch untersucht und die neuralgischen Punkte der Stahlbetonskelettkonstruktion analysiert. Im Rahmen einer Kapazitätsbemessung wurden die stark beanspruchten Bauteile und Anschlüsse näher betrachtet. Die FE-Analyse ergab, dass zahlreiche Bauteile hinsichtlich der zusätzlichen Belastung aus der Aufstockung des Gebäudes und der seismischen Beanspruchung einen nicht ausreichenden Tragwiderstand und gleichzeitig auch eine zu geringe Duktilität aufwiesen. Insbesondere bei den hoch beanspruchten Stahlbetonstützen in den unteren Geschossen des Gebäudes sowie bei den aussteifenden Wandscheiben zeigten sich erhebliche Defizite. Aber auch die Gründungsbauteile, denen hinsichtlich der Erdbebensicherheit durch das Zusammenwirken zwischen Bauwerk und Baugrund eine besondere Bedeutung zukommt, mussten in die weitere Planung mit einbezogen werden.

### Verstärkungsmaßnahmen

Bei der Untersuchung möglicher Verstärkungsmaßnahmen wurde u. a. eine Ertüchtigung der betroffenen Stahlbetonteile mit Faserverbundwerkstoffen in Erwägung gezogen. Insbesondere die positiven Erfahrungen aus Japan und den USA bei der Verstärkung von erdbebengefährdeten Bauwerken mit FRP (fibre reinforced polymer) führten letztlich zu der Entscheidung, neben klassischen Verstärkungsmaßnahmen erstmalig im Iran auch aufgeklebte Bewehrung aus Faserverbundwerkstoffen einzusetzen.



Bild 4: Umwicklung von Stützen mit Glasfasern



Bild 5: Schubverstärkung von Wänden mit Carbonfasern

In Zusammenarbeit mit der Firma S&P Clever Reinforcement aus der Schweiz und bow ingenieure aus Braunschweig wurden Konzepte für die Verstärkung von Stahlbetonstützen und aussteifenden Wandscheiben entwickelt, die i. W. die beiden folgenden Maßnahmen umfassten:

- Umschnürung von Stahlbetonstützen mit Glasfaser-Sheets zur Erhöhung der Tragfähigkeit und Verbesserung der Duktilität.
- Verstärkung von aussteifenden Wandscheiben mit unidirektionalen Carbon-Sheets zur Erhöhung der Schubtragfähigkeit.

Die Bilder 4 und 5 zeigen die einzelnen Maßnahmen während der Ausführungsphase. Darüber hinaus wurden auch zahlreiche konventionelle Verstärkungsmaßnahmen geplant, wie z.B. die zusätzliche Aussteifung von Treppenhaukernen durch Podestplatten und die Verstärkung der Wände im Gründungsbereich durch bewehrte Vorsatzschalen (Bild 6). Da einige Stützen bei starker Erdbebenbeanspruchung Zugkräften ausgesetzt sind, wurden diese Stützen zusätzlich mit Stahlrohren ummantelt, die jeweils im Deckenbereich durch hochfeste Anker miteinander verbunden wurden (Bild 7).



Bild 6: Wände mit Verbundankern für Vorsatzschale



Bild 7: Stahlbetonstütze mit Stahlmanschette

Die Ausführung von Verstärkungsmaßnahmen mit Faserverbundwerkstoffen war im Iran bisher technisches Neuland. So musste neben der Ausbildung iranischer Fach- und Führungskräfte ein umfangreiches Qualitätssicherungskonzept entwickelt werden. Die Verstärkungsarbeiten wurden vor Ort durch Mitarbeiter von bow ingenieure überwacht. Dazu gehörte auch die Überwachung von anderen Bauverfahren, die bisher im Iran kaum eingesetzt wurden, wie z.B. das Setzen von Anschlussbewehrung mit Hilfe von Verbundmörtel auf Epoxydharzbasis.

### Ausführung

Mit der Ausführung der Verstärkungsmaßnahmen wurde im Sommer 2004 begonnen. Nach einem mehrmonatigen Trainingsprogramm wurden unterschiedliche Teams gebildet, die die o. a. Maßnahmen ausführten. Da die bei der Planung zugrunde gelegten Bestandsunterlagen nicht immer mit der gebauten Wirklichkeit übereinstimmten, musste die Planung in mehreren Fällen angepasst oder durch konstruktive Verstärkungsmaßnahmen ergänzt werden.

Probleme bereitete darüber hinaus der schlechte Betonuntergrund. Wände mussten zum Teil großflächig mit PCC- und PC-Mörtel ausgeglichen werden. Bei den durchgeführten Haftzugprüfungen wurde nicht immer die geforderte Haftzugfestigkeit erreicht (Bild 8). In vielen Fällen konnte der Betonuntergrund für die Verstärkung mit Carbon-Sheets erst nach einer statistischen Auswertung der Prüfergebnisse freigegeben werden.



Bild 8: Prüfung der Haftzugfestigkeit



Bild 9: Stahlbetonstützen mit Glasfaserumschnürung

Für die Umschnürung der Stützen wurden ausschließlich Glasfasergewebe eingesetzt, wobei die Anzahl der Lagen sich jeweils nach der Beanspruchung der einzelnen Stützen richtete. Bild 9 zeigt einige Stützen während der Ausführungsphase.

Insgesamt wurden im Rahmen der Verstärkungsarbeiten in dem Gebäude 4.500 m<sup>2</sup> S&P C-Sheets 240 sowie 4.850 m<sup>2</sup> S&P G-Sheets 90/10 B verarbeitet. Als Kleber wurden ca. 11 Tonnen Laminierharz S&P Epoxy Resin 50 und 8 Tonnen S&P Resicem eingesetzt. Die Verstärkungsmaßnahmen wurden Ende 2004 abgeschlossen.

Inzwischen sind weitere Verstärkungsmaßnahmen mit Faserverbundwerkstoffen an bestehenden Gebäuden in Teheran in der Planung.

Peter Onken / Dirk Matzdorff / Wiebke vom Berg

Weitere Informationen: bow ingenieure gmbh, Breite Straße 15, 38100 Braunschweig  
fon: (05 31) 2 43 59 -0, fax: (05 31) 2 43 59 -51  
[www.bow-ingenieure.de](http://www.bow-ingenieure.de)