Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 117 (1999)

Heft: 43

Artikel: Erdbeben in der Westtürkei vom 17. August 1999: Erkundungsmission der Schweizer Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik

Autor: Schweizer Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-79813

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 29.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Schweizer Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik (SGEB)

Erdbeben in der Westtürkei vom 17. August 1999

Erkundungsmission der Schweizer Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik

Die SGEB führte vom 7. bis 13. September 1999 eine Erkundungsmission im Schadengebiet durch. Im Gegensatz zu früheren SGEB-Erkundungsmissionen lag der Schwerpunkt der Untersuchungen diesmal auf dem Verhalten von Lifelines und Industrieanlagen. Dabei stand nicht der einzelne Schaden, sondern das Systemverhalten im Vordergrund, da in diesem Bereich der Handlungsbedarf in der Schweiz besonders gross ist. Im weiteren galt es, die Ursachen für die aussergewöhnlich umfangreichen Schäden an moderner Bausubstanz zu ergründen.

Am 17. August 1999 um 03:01 Uhr Ortszeit (00:01 UTC) ereignete sich in der Westtürkei ein schweres Erdbeben mit einer Magnitude von 7,4 M_w (Moment-Magnitude). Das Epizentrum lag 11 km südöstlich der Industriestadt Izmit, die wiederum 90 km südöstlich von Istanbul liegt. Das nationale Erdbeben-Informationszentrum des «U.S. Geological Survey» hat folgende Herdparameter berechnet [1]:

- Epizentrum: 40,702° Nord, 29,987° Ost
- Herdtiefe: 17 km
- Magnitude: 7,8 M_s (Oberflächenwellen-Magnitude); 7,4 M_w
- Seismisches Moment: $1{,}4 \cdot 10^{20}$ Nm
- Herdmechanismus: rechtssinnige Horizontalverschiebung

Das Kocaeli-Erdbeben ereignete sich am nördlichen Ast der nordanatolischen Bruchzone, die sich über 1500 km vom Van-See im Osten der Türkei bis zum Marmarameer südlich von Istanbul erstreckt. Diese Bruchzone steht im unmittelbaren Zusammenhang mit den komplexen Kollisions-, Überschiebungs- und Scherprozessen zwischen der arabischen und afrikanischen Platte im Süden, der anatolischen Mikroplatte und der eurasischen Platte im Norden. In den vergangenen 300 Jahren traten entlang des nördlichen Astes dieser Bruchzone mindestens sieben Schadenbeben auf (Bild 1).

Das Erdbeben vom 17. August 1999 verursachte zwischen Gölcük im Westen und Hendek im Osten auf einer Länge von 120 km spektakuläre Brüche mit generell rechtssinnigen Horizontalverschiebungen von bis zu 4,2 m. Ebenso wurden entlang der Bruchzone Vertikalverschiebungen von bis zu 2 m beobachtet, wobei sich generell der nördliche Teil der Bruchzone senkte.

Das «General Directorate of Disaster Affairs» betreibt seit 1973 ein nationales türkisches Starkbeben-Messnetz mit 119 analog bzw. digital registrierenden Messstationen [1], [2]. Bild 2 zeigt die korrigierten Beschleunigungs-, Geschwindigkeits- und Verschiebungs-Zeitverläufe sowie die elastischen Antwortspektren der Horizontalkomponenten der Starkbeben-Messstation Izmit vom 17. August 1999 (Distanz Station–Bruchzone: 14 km). Die beobachteten maximalen Horizontalbeschleunigungen im gesamten Distanzbereich (3 bis 485 km) überschreiten 36% g nicht.

Geologisch/geotechnische Gegebenheiten

Das Hauptschadengebiet liegt beidseitig des Golfs von Izmit und in dessen Verlängerung bis zum Becken von Adapazari. Die Gegend besitzt eine dem schweizerischen Mittelland ähnliche Topographie mit einem recht komplexen geologischen Aufbau. In Küstennähe finden sich vorwiegend unkonsolidierte, locker gelagerte Alluvione, in Industriezonen und Wohngebieten zum Teil auch Auffüllungen. In den Hügelzonen ist der Fels wenig überdeckt. Das Becken von Adapazari ist einer mit weichen Sedimenten gefüllten Schüssel ähnlich, analog Mexiko-City.

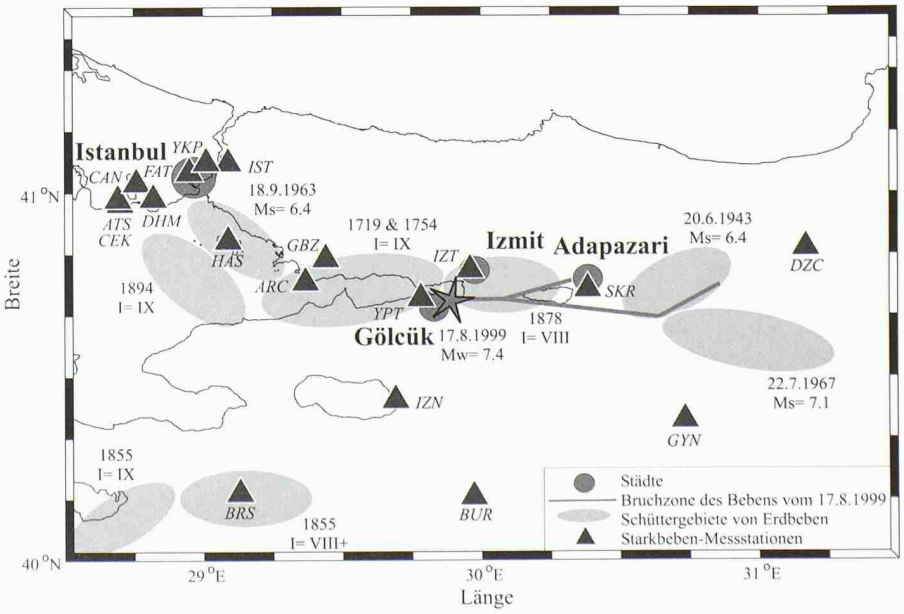
Gebäudeschäden

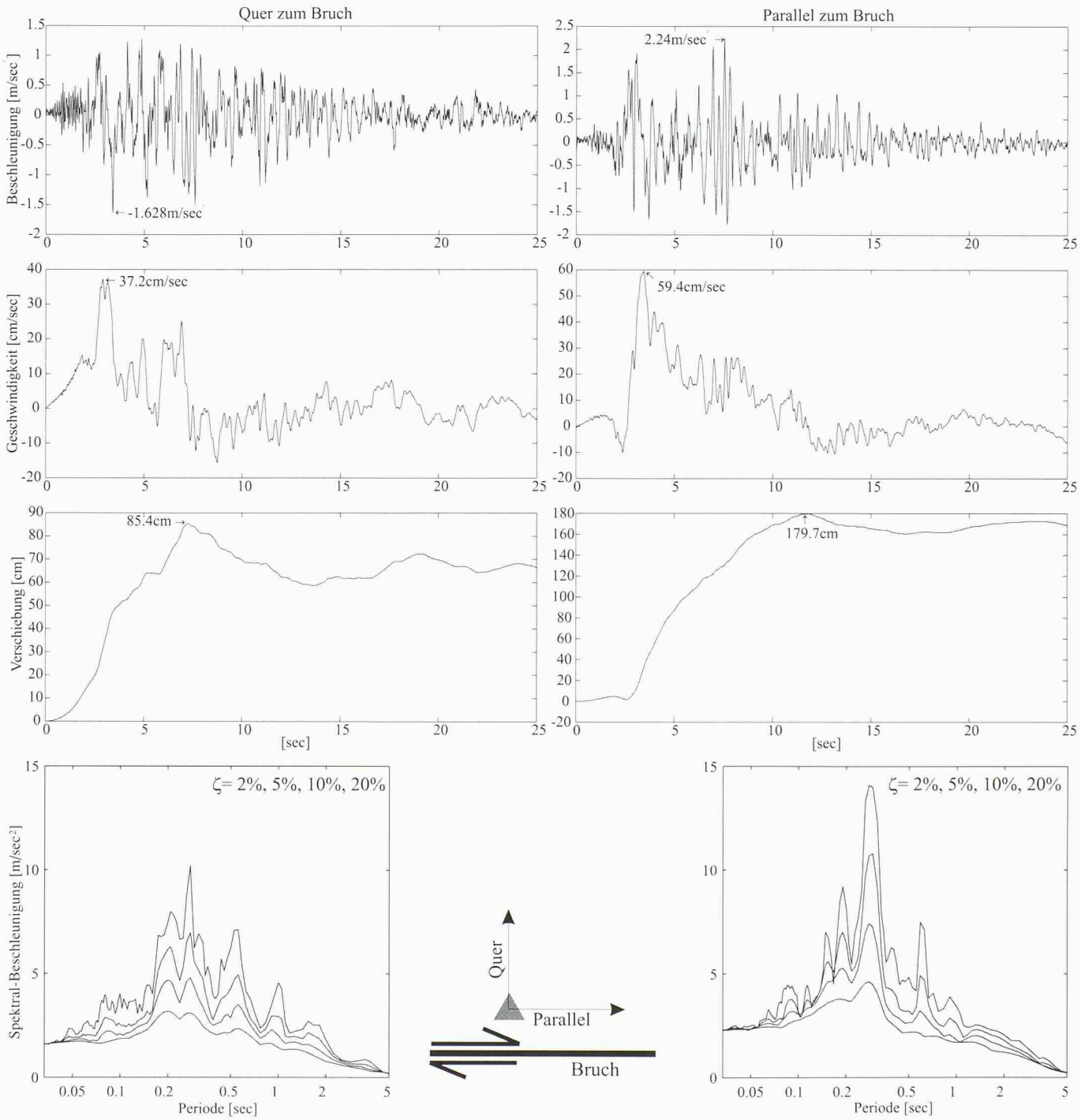
Bauweise

Neben mangelnder Tragfähigkeit des Baugrunds ist die Hauptursache für den grössten Teil der Zerstörungen in der Bauweise zu sehen. Prinzipiell wurden alle mehrstöckigen Gebäude als Stahlbetonskelettbauten mit Mauerwerkausfachungen gebaut. Diese Bauweise reagiert unter Erdbebeneinwirkung nicht besonders günstig und führt zu typischen Schadenbildern. Dies können z.B. kreuzförmige Risse im Mauerwerk sein (Bild 3). Bei sehr vielen Gebäuden fiel das Mauerwerk heraus. Die Folge ist eine starke Reduzierung der horizontalen Aussteifung der Struktur, was zum Kollaps führen kann. Häufig sichtbares Beispiel ist der «soft storey»-Effekt (Bild 4). Hierbei versagt ein einzelnes Stockwerk, meist das unterste, wegen ungenügender Aussteifung.

1

Bruchzone des Bebens vom 17. August 1999, Schüttergebiete von Schadenbeben der vergangenen 300 Jahre und herdnahe Starkbeben-Messstationen, die die Bodenbewegungen während des Hauptstosses registrierten





2

Korrigierte Beschleunigungs-, Geschwindigkeits- und Verschiebungs-Zeitverläufe sowie elastische Antwortspektren der Horizontal-Komponenten der Starkbeben-Messstation Izmit vom 17. August 1999 (Distanz Station–Bruchzone: 14 km). Die Zeitverläufe entsprechen der Bodenbewegungen quer bzw. parallel zum Bruch

Wird das ganze Gebäude horizontal ungenügend ausgesteift, kann auch das gesamte Gebäude zusammenstürzen, ein typischer und häufig vorgekommener Schaden (Bild 5). Bei Öffnungen im Mauerwerk (z.B. Fenstern) oder ungünstigem Bruchverlauf kann es zu «short column»-Mechanismen kommen, wobei die Stützen dann wegen starker Verdrehung versagen. Im Weiteren ist die konstruktive Durchbildung in vielen Fällen mangelhaft. Hierbei ist vor allem die nicht genügende Verbügelung in Zonen hohen lokalen Duktilitätbedarfs zu nennen. Der Abstand zwischen den Bügeln ist zu gross und die Verankerung der Bügel ungenügend (Bild 6).

Eine schlechte Bauausführung hat ausserdem manchmal Kiesnester und fehlende Betonüberdeckung zur Folge. Prüfungen der Betonfestigkeit vor Ort wiesen in den meisten Fällen eine ausreichende Qualität aus. Eine an der ETH Zürich getestete Probe eines türkischen Bewehrungsstahls zeigte eine niedrige Fliessgrenze, aber hervorragende Duktilitätseigenschaften.

Auffallend war ausserdem, dass Gebäude mit etwa vier bis sieben Stockwerken am stärksten von Schäden betroffen waren.

3
Kreuzrisse in einer nichttragenden Mauerwerkswand

4
Totalschaden infolge zu schwach ausgesteiften Erdgeschosses («soft storey»-Schaden)

5
Komplettes Versagen eines Gebäudes («pancake»-Schaden)

Schadengebiete

Das Ausmass der Schäden variierte stark. So war in einem Bereich der Innenstadt von Izmit die Beschädigung relativ leicht (Bild 7), während benachbarte Viertel stark beschädigt waren. Als Beispiel für typische Schadenbilder sind hier die Städte Gölcük und Adapazari beschrieben.

Gölcük

Gölcük liegt sehr nahe am Epizentrum, und es gibt wenige Gebäude, die keine Schäden aufweisen. In der Innenstadt sind einzelne Bereiche weitgehend zerstört (Schadengrad 3 bis 5), andere benachbarte Viertel dagegen weisen lediglich geringe Schäden auf (Schadengrad 1 und 2). Die Werte aus Bild 7 sind als Durchschnitt zu sehen. Gölcük liegt an der Küste des Marmarameeres. Direkt an der Küste traten Rutschungen auf, was zu Schäden und Einstürzen führte (Bild 8).

Adapazari

Die Stadt Adapazari wurde auf einem Sumpfgebiet erbaut, der Grundwasserspiegel der Stadt liegt bei einem Meter Tiefe. Bodenverflüssigung führte zu sehr vielen Schäden: Die Gebäude versinken wegen ihrer Masse im nicht mehr tragfähigen Boden, während die leichten Gehwege und Strassen auf der alten Höhe bleiben, infolge Materialumlagerungen sogar eher noch angehoben werden (Bilder 9 und 10).

Neue Normung

In den 70er Jahren war in der Türkei eine Erdbebennorm eingeführt worden, die Anfang der 90er Jahre revidiert wurde. Seit 1998 gilt eine neue Erdbebennorm. Die Türkei ist in fünf seismische Zonen aufgeteilt. Izmit befindet sich in der am stärksten gefährdeten Zone 1. Die effektive Bodenbeschleunigung für den Bereich um Izmit beträgt 0,4 g.

Bild 11 zeigt Bemessungsspektren für weiche Böden in diesem Gebiet. Der Einfluss der plastischen Verformungen ist durch einen Lastreduktionsfaktor R berücksichtigt. Für Stahlbetontragwände mit nomineller Duktilität beträgt dieser Wert 4. Das inelastische Spektrum entspricht bis zur oberen Eckfrequenz dem elastischen Spektrum, dividiert durch R. Zum Vergleich sind die Bemessungsspektren der Norm SIA 160 für Zone 3b und mittelsteife Böden dargestellt. Das inelastische Bemessungsspektrum ist mit einem Verformungsbeiwert $K = 2{,}5$ konstruiert. Trotz des grösseren Reduktionsfaktors liegen die Bemessungswerte der türkischen Norm deutlich höher als die der Schweiz.

In Bild 11 ist ausserdem das Antwortspektrum der gemessenen Beschleuni-

gung in Izmit für 5% Dämpfung dargestellt. Die Stadtbehörden untersuchen ausserdem, ob die Anzahl der Stockwerke gesetzlich begrenzt werden sollte.

Schäden an Industrieanlagen

Wirtschaftliche Bedeutung

Die Region Kocaeli hat sich, begünstigt durch eine gut ausgebaute Infrastruktur und die Nähe zum Meer, in den letzten zwei Jahrzehnten neben Istanbul zum wichtigsten industriellen Zentrum der Türkei entwickelt. Zahlreiche nationale und internationale Unternehmen haben sich angesiedelt. Die vorherrschenden Industriezweige sind:

- Autoindustrie (nationaler Markt, Export)
- Petrochemie (nationaler Markt)
- Textilindustrie (vorwiegend Export)
- Gummiverarbeitung und Reifenherstellung (nationaler Markt, Export).

Die Region Kocaeli leistet mit Istanbul zusammen einen Beitrag von rund einem Drittel zum Bruttosozialprodukt der Türkei von 200 Mia. USD (1998). Der gesamte ökonomische Verlust aus dem Ereignis wird je nach Quelle auf 20 bis 30 Mia. USD geschätzt, wogegen nur rund 3 Mia. USD dieser Schäden versichert sind. Es wird damit gerechnet, dass das Bruttosozialprodukt 1999 um 1%, im Jahr 2000 sogar um 2% reduziert wird. Anderseits werden der zu erwartende Boom in der Bauwirtschaft und die aus dem Ausland zufliessenden Mittel diese Verluste teilweise kompensieren.

Vom Erdbeben wurden nach Schätzungen rund 8000 Betriebe betroffen. Am stärksten geschädigt wurden kleine und mittlere Betriebe. Diese Unternehmen bewegen sich oft in einem hoch kompetitiven Umfeld, weshalb ihr Marktanteil bei einem Produktionsausfall stark gefährdet ist. Grosse Schäden an den Produktionsanlagen verhindern die Betriebsaufnahme. Ausserdem haben zahlreiche Betriebe Mitarbeiter in Schlüsselfunktionen verloren. Diese Unternehmen sind vielfach nicht versichert.

Grosse nationale und internationale Betriebe sind in der Regel gegen direkte Erdbebenschäden versichert. Für die ökonomischen Folgen des Produktionsausfalls wurde jedoch nur in Ausnahmefällen Deckung gekauft. Auch für diese Unternehmen gilt es daher, die Produktion so rasch wie möglich wieder aufzunehmen.

Generelle Beobachtungen

Ein breites Spektrum von Industrieanlagen, die vorherrschend aus eingeschossigen Industriehallen von 8 bis 10 m Höhe mit unterschiedlichsten Konstruktionsweisen bestehen, wurde besichtigt. Diese Bauten sind durch die beschränkte Geschosszahl und Höhe nur mässig schadenempfindlich. Zudem handelt es sich in der Regel um Bauten, die durch Ingenieure bemessen worden sind. Nur sehr vereinzelt kam es deshalb zu einem Einsturz. Die gleichwohl beträchtlichen Gebäudeschäden konzentrieren sich auf Betriebe auf ungünstigem Untergrund in Meeresnähe. Dort sind Schäden am Tragwerk und insbesondere an nichttragenden Bauteilen infolge lokaler Setzungen zu beobachten. Weitere häufige Schadenbilder sind:

- Kollisionsschäden infolge mangelhafter Planung und Ausführung von Trennfugen zwischen Gebäudeabschnitten oder Nachbargebäuden.
- Lokales Versagen der Tragstruktur von hochliegenden, schweren Anlagenteilen infolge mangelnder Aussteifung.
- Versagen von Fundationen von schweren Anlageteilen und Maschinen. Besonders betroffen wurden Landungsbrücken und darauf installierte Pipelines für den Güterumschlag. Unzählige Flanschverbindungen wurden undicht.
- Abscheren von Leitungsanschlüssen. Bei mehreren grossen Stehtanks wurde die Hauptzuleitung abgeschert, was in der Regel einen Totalverlust des Tankinhalts zur Folge hatte. Ausgelaufene Stoffe flossen verschiedentlich direkt ins Meer.

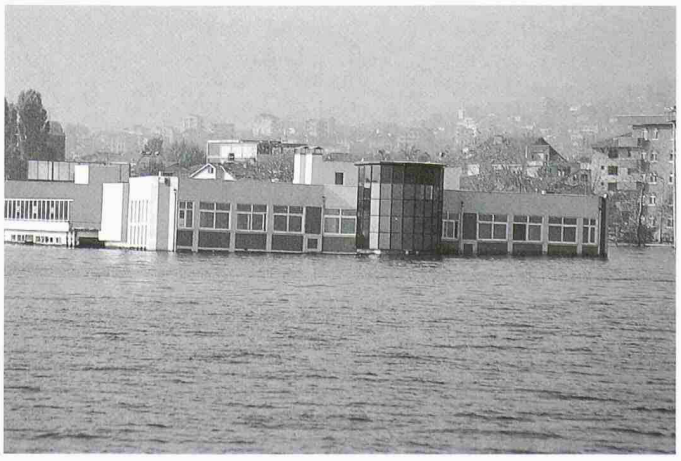
Schadenbeispiele

- Raffinerie: Die besuchte Anlage produziert etwa ein Viertel der in der Türkei verbrauchten Mineralölprodukte. Direkt an

6
Konstruktionsdetail: Verbindung Stütze–Balken

7
EMS-Schadengrade für zwei Stadtviertel in Gölcük und Izmit. Schadengrade von 1 (leichte Schäden) bis 5 (Einsturz)

Schaden-klasse	Gölcük (Zentrum)	Izmit (Zentrum)
1	5%	45%
2	30%	40%
3	25%	10%
4	15%	4%
5	25%	0%



8
Rutschungen in der Küstenzone bei Gölcük

9
Adapazari: Fundationsversagen infolge Bodenverflüssigung

die Küste gebaut, wurden verschiedene Anlageteile Opfer der vorherrschenden schlechten Fundationsbedingungen. Die wichtigste Pieranlage kann infolge grosser Setzungen und Deformationen nicht mehr genutzt werden. Ein 120 m hoher Stahlbetonkamin ist in rund 20 m Höhe auseinandergebrochen. Der nachfolgende Einsturz in eine Produktionseinheit führte zu einem sofortigen Brandausbruch (Bild 12).

Bei der Mehrheit der Tanks mit Schwimmdächern sanken die Dächer auf den Grund ab. Insgesamt sechs solcher Tanks gerieten in Brand, gemäss lokaler Angabe infolge Funkenschlags. Die Betriebswasserversorgung aus zwei Pipelines (50 und 30 cm Durchmesser) aus dem 35 km entfernten Sapanca-See wurde mehrfach unterbrochen, was sich verheerend auf die Brandbekämpfung auswirkte. Erst nach drei Tagen konnte eine aus dem Ausland eingeflogene Pumpe den Löschwasserbedarf mit Meerwasser decken. Die Leitungen selber waren nach drei Wochen erst auf einer Länge von 5 km repariert.

▪

Motorfahrzeugfabrikation: Die etwa zwei Jahre alte Anlage ist für einen Jahresausstoss von 60 000 Fahrzeugen konzipiert. Die Produktionsanlagen sind in drei grossvolumigen Stahlhallen untergebracht. Im Gegensatz zu vielen flach fundierten Nachbarbetrieben waren bei diesen Gebäuden, die auf rund 3000 Reibungspfählen ruhen, keinerlei Setzungsschäden zu beobachten. Die Schäden an den Gebäudehüllen sind gering, die Tragkonstruktion wurde während des Bebens allerdings grossen Deformationen ausgesetzt. Alle vorgespannten Schrauben im Dachbereich müssen ersetzt werden. Hochliegende Medienleitungen wurden vielerorts abgeschert: Elektrizität, Brennstoffe, Gas, Luftbehandlung und Sprinklerleitungen. Der grösste Schaden resultiert jedoch aus den vom Auge nicht wahrnehmbaren Deformationen von Fliessbändern und Roboteranlagen. Es wird mit einem mehrmonatigen Produktionsausfall gerechnet.

▪

Textilfabrikation: Der mittelgrosse Betrieb mit rund 200 Angestellten stellt aus Jeansstoffen Kleidungsstücke her. Für die grossflächigen Hallen war eine vorfabrizierte Betonrahmenkonstruktion gewählt worden, die keine ausgeprägten sekundären Tragelemente in Längsrichtung aufweist (Bild 13). Auf Grund der fehlenden Aussteifung in Längsrichtung kollabierten die Gebäude teilweise. Grosse Teile des Maschinenparks wurden durch herabfallende Trümmer zerstört. Sämtliche Hallen müssen abgebrochen werden. Der Neubau von besser ausgesteiften Hallen ist bereits im Gang. Die Firma muss innert kürzester Zeit wieder auf dem Markt präsent sein, da sie sonst ihren Marktanteil verliert.

Lifelines

Verkehrswege

▪

Strassen: Die Verwerfung schneidet die Autobahn zwischen Adapazari und Istanbul an mehreren Stellen. An diesen Stellen wurde die Strasse durch Brüche und Öffnungen bis zu einem Meter Breite stark beschädigt. Eine Autobahnbrücke im Zugbereich der Verwerfung stürzte ein, und ein Reisebus fuhr mit voller Geschwindigkeit in die Trümmer, was zehn Menschen das Leben kostete. Die Strasse zwischen Izmit und Seymen war wegen eingestürzter Gebäude nicht passierbar.

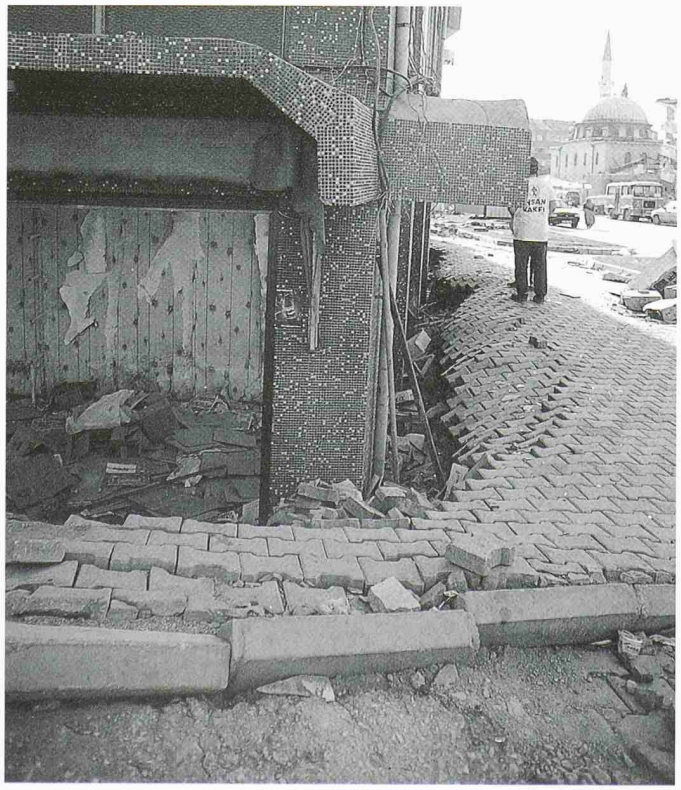
Im Allgemeinen sind die Strassen und Brücken zwar intakt geblieben, sie waren jedoch durch den Individualverkehr (Flucht usw.) in den Tagen nach dem Erdbeben überlastet, was die Rettungs-, Versorgungs- und Reparatureinsätze stark behinderte.

▪

Eisenbahn: Aufgrund der grösseren Bodenbewegungen, Setzungen und Rutschungen waren die Eisenbahnschienen an verschiedenen Stellen S-förmig versetzt (Bild 14), so dass die Strecke zwischen Adapazari und Istanbul vorübergehend unterbrochen war. Die Reparaturarbeiten wurden rasch aufgenommen. Nach einigen Tagen konnte die Bahnlinie wieder betrieben werden.

▪

Hafenanlagen, Wasserwege: Fast alle industriellen Betriebe am Ufer des Golfs von Izmit haben eigene Hafen- oder Wellen-



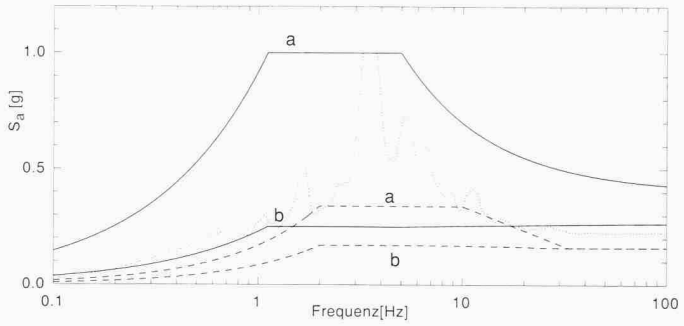
10
Adapazari: Einsinken eines Gebäudes und Aufwölben infolge Materialumlagerungen

brecheranlagen. Im Umkreis von 20 km um Gölcük erlitten alle Anlagen Schäden, die von Setzungen im Zentimeter-Bereich bis zum totalen Einsturz reichen. Die Hafenanlage der Marine in Gölcük, unter der die Verwerfung verläuft, wurde total zerstört. Der Hafen von Izmit erlitt nur leichtere Schäden, wie Setzungen und Abhebungen infolge der Bodenbewegungen, und konnte weiterbetrieben werden.

Das Erdbeben zerstörte auch die Hafenanlage in Yalova. Der Schiffsbetrieb wurde zuerst eingestellt und danach mit einer alternativen Anlage wieder aufgenommen. Im Hafen von Derince senkte sich der aufgeschüttete Bereich, und die mobilen Krane kippten. Die Wellenbrecher bei zwei Industrieanlagen versanken im Meer.

▪

Luftverkehr: Der internationale Flughafen Atatürk (Istanbul) befindet sich in Yesilköy, rund 90 km westlich des Epizentrums. Gemäss Angaben der Kandilli Rasathanesi [2] betragen die am Standort gemessenen Beschleunigungswerte 0,09 g in horizontaler und 0,06 g in vertikaler Richtung. Das Erdbeben beeinflusste die Bauten und Einrichtungen des Flughafens nicht.



Türkei: Seismic Zone 1, Class Site Z4
Norm SIA 160: Zone 3b, mittelsteife Böden
Gemessener Beschleunigungszeitverlauf in Izmit, 5% Dämpfung
a Elastisches Spektrum
b Inelastisches Spektrum

11
Vergleich türkischer und schweizerischer Antwortspektren (Station Izmit)

Stromversorgung

In weiten Teilen der Türkei war die Stromversorgung kurz nach dem Erdbeben unterbrochen, weil im zentralen 380-kV-Unterwerk in Adapazari Konnektorstäbe zwischen Haupt- und Nebenleitungen beschädigt wurden. Der Schaden konnte noch am selben Tag behoben werden. Da die 154-kV-Unterwerke nur unwesentliche Schäden erlitten und in der Schadenregion keine Kraftwerke liegen, konnte die türkische Elektrizitätsgesellschaft fast überall innerhalb weniger Tage wieder Strom liefern. Die Ausnahmen bilden die Stadtquartiere mit extremen Gebäudezerstörungen, wo nur die Strassenbeleuchtung als Notmassnahme wieder in Betrieb genommen wurde.

Speziell stromabhängige Anlagen wie Spitäler und Industriewerke setzten die vorhandenen Notstromaggregate ein. Die Elektrizitätsgesellschaft half vielerorts auch mit mobilen Notstromanlagen aus, z.B. in der Raffinerie Tüpras und bei der Kühlung von Eisfeldern zur Aufbahrung der Opfer.

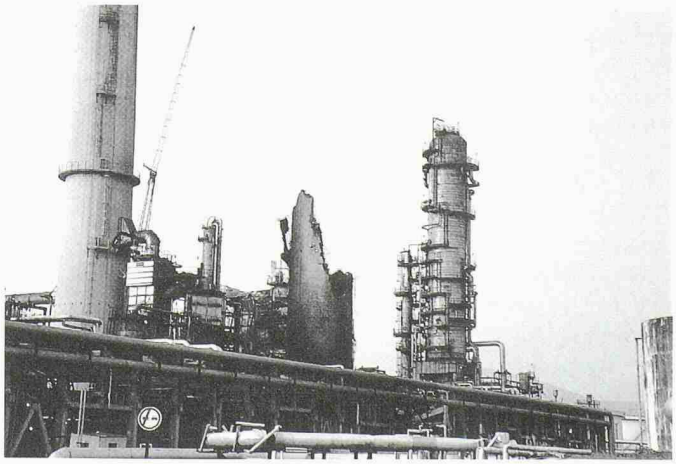
Wasserversorgung

Die Region wird von zwei Trinkwasserreservoirs (mit Erddämmen künstlich gestaute Seen) in den Bergen südlich des Golfs von Izmit gespeist. Die Anlagen – mit Dammkörper, Wasserfassungs- und Entlastungs- sowie Förderanlagen – überstanden das Beben praktisch schadlos, obwohl im grössten Stausee bis zwei Meter hohe Wellen beobachtet wurden.

Die Aufbereitungsanlagen und die Verteilsysteme blieben mehrheitlich intakt, mit Ausnahme der erwähnten Betriebswasserversorgung für die Raffinerie und der Versorgung in den stark zerstörten Stadtquartieren, wie z.B. in Gölcük und Adapazari, wo zahlreiche Leitungsbrüche zum Ausfall der lokalen Verteilsysteme führten. Die Bevölkerung wurde dort mit mobilen Tankwagen und mit Militärbooten versorgt.

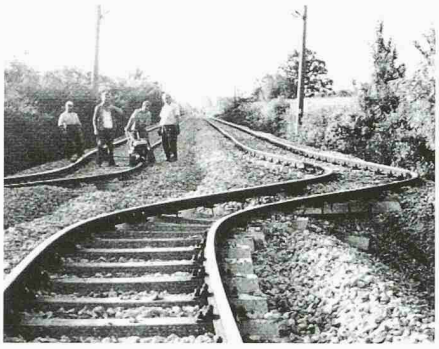
Telekommunikation

Kurz nach dem Erdbeben war die Telekommunikation in den direkt betroffenen und nahe liegenden Gebieten wegen grosser Auslastung blockiert. In Yalova waren die Batterie- und Energiesysteme



12
In der Mitte ist der rund 20 m hohe Rumpf des Hochkamins zu erkennen. Der 120 m hohe Kamin zerbrach in zwei Teile, die die umliegende Prozesseinheit weitgehend zerstörten

13
Die Querrahmen der vorfabrizierten Konstruktion scheinen weitgehend intakt. Sämtliche Rahmenstiele sind jedoch im untersten Drittel durch einen Schub-/Biegebruch irreparabel beschädigt



14
Eisenbahnlinie Nähe Adapazari [3]

gestört, in Eskisehir erlitten die Glasfaserkabel Schaden. In Düzce stürzte das Telekommunikationsgebäude ein, es wurde durch eine mobile Zentrale ersetzt. Die Reparaturequipen trafen wegen der Verkehrsstaus mit grossen Verspätungen ein.

Der Ausfall der Kommunikationssysteme behinderte das Katastrophenmanagement, so dass Lagebeurteilung, Notstandsmassnahmen und Rettungsarbeiten verzögert wurden.

Gasversorgung

In der Schadenregion bestehen nur kleinere lokale Gasversorgungssysteme. Gemäss der Information des Feuerwehrkommandanten von Izmit wurde die Gasversorgung in Izmit zur Vermeidung von Leckagen und Bränden unmittelbar nach dem Erdbeben automatisch abgestellt. Dieses Sicherungssystem wurde kürzlich aufgrund der Erkenntnisse durch das Erdbeben von Kobe (Japan, 1995) installiert und hat sich nun bewährt. Wegen einer Leckage an einer zerstörten Naturgasstation liessen die Behörden acht Dörfer in Altinova (240 km östlich von Istanbul) evakuieren.

Spitäler

Eines von vier Spitälern in Izmit wurde so stark beschädigt, dass es abgebrochen werden muss. Beim grössten staatlichen Spital in Izmit stürzten keine Gebäude ein. Die medizinischen Geräte überstanden das Beben schadlos, jedoch wurden einzelne Gebäude so stark beschädigt, dass der Betrieb vorübergehend ausgelagert wurde, teilweise in Zelte. Das Personal hatte Angst, in die beschädigten Bauwerke zurückzukehren und wartete noch nach vier Wochen auf Behördenentscheide. Auch andernorts zeigte sich, dass infolge zu später Beurteilung weitgehend intakte Gebäude nicht benutzt wurden, was den Betrieb von Institutionen unnötig erschwerte.

Nukleare Forschungsanlage

In Cekmece, rund 90 km westlich des Epizentrums, steht eine nukleare Forschungsanlage, deren Bauten und Einrichtungen das Beben unbeschädigt überstanden. Die am Gebäude gemessenen Beschleunigungswerte betragen 0,18 g in horizontaler und 0,06 g in vertikaler Richtung [2].

Lehren für die Schweiz

Zusammenfassend können die umfangreichen Schäden vier hauptsächlichen Schadenursachen zugewiesen werden:

- Ungenügende Berücksichtigung der lokalen Untergrundverhältnisse bezüglich Bebenverstärkung, Fundationsversagen (exzessive Setzungen, Bodenverflüssigung, z.B. in der Region von Adapazari) und Untergrundinstabilitäten wie Rutschungen in Uferzonen des Marmarameeres.
- Ungünstiger Gebäudelayout, insbesondere ungenügende horizontale Steifigkeit im Erdgeschoss oder über die gesamte Gebäudehöhe, was zu den unverhältnismässig vielen «soft storey»- und «pancaking»-Versagen führte.
- Nichtbeachten der geltenden Normen. Die Schäden an moderner Bausubstanz sind zum grossen Teil darauf zurückzuführen. In der Türkei, wie auch in der Schweiz, besteht kein rechtlicher Zwang, Normen einzuhalten.
- Ungenügende konstruktive Ausbildung, namentlich der Armierung: zu wenig oder ungenügende Bügelarmierung, ungenügende Betonqualität.

Diese vier Ursachen waren in unterschiedlichem Mass am Schadenbild beteiligt. Sie sind schon seit Jahrzehnten bekannt, werden aber in der Praxis leider immer noch zu wenig beachtet. In der Schweiz ist damit zu rechnen, dass der lokale Untergrund und ungünstiger Gebäudelayout sowie ältere Bausubstanz das Schadenbild im Falle eines Erdbebens massgeblich beeinflussten.

Daneben zeigte sich, vor allem bei Industrieanlagen und Lifelines, dass auch bei verhältnismässig geringen baulichen Schäden durch beschädigte Versorgungssysteme, Installationen oder Maschinen grosse Verluste infolge Produktionsausfällen oder Versorgungsengpässen auftreten können. In der Schweiz ist bei einem Erdbeben in diesen Bereichen mit grossen Verlusten zu rechnen, gerade bei kleinen und mittelgrossen Betrieben.

Eine schnelle Beurteilung von wichtigen Anlagen wie Spitälern oder Schulen mithilfe von vorbereiteten Checklisten und Gebäudebegehungen würde dazu beitragen, die Folgeschäden effizient zu reduzieren.

Literatur

[1]
General Directorate of Disaster Affairs, Earthquake Research Department, Ankara, Türkei. http://www.deprem.gov.tr

[2]
Bogaziçi University, Kandilli Observatory and Earthquake Engineering, Istanbul, Türkei. http://www.koeri.boun.edu.tr/earthqk/earthqk.html

[3]
Istanbul Technical University, Istanbul, Türkei. http://www.ins.itu.edu.tr

Adresse der Verfasser:
Jost Studer, Dr. dipl. Bauing. ETH, Studer Engineering, Thujastr. 4, 8038 Zürich, *Marc Badoux*, Prof. Dr. dipl. Bauing. ETH, IBAP, ETH Lausanne, 1015 Lausanne, *Martin Bertogg*, dipl. Bauing. ETH, Swiss Re, 8022 Zürich, *Ersan Göksu*, dipl. Bauing. ETH, Management & Engineering Group, 3186 Düdingen, *Paulina Isler*, dipl. Bauing., PartnerRe, 8022 Zürich, *Pierino Lestuzzi*, dipl. Bauing. EPFL, IBK, ETH Zürich, 8093 Zürich, *Patrick Smit*, Dr. dipl. Natw. ETH, Imperial College, London SW7 2BU, *Klaus Thiele*, dipl. Bauing. TU Darmstadt, IBK, ETH Zürich, 8093 Zürich, *Sener Tiniç*, dipl. Bauing. ITÜ, NOK, 5401 Baden, *Peter Zwicky*, dipl. Bauing. ETH, Basler & Hofmann AG, 8029 Zürich

Dank

Die Mission erforderte eine grosse Anzahl von Kontakten und Bewilligungen. Dabei wurde das Team von vielen schweizerischen und türkischen, staatlichen und privaten Organisationen unterstützt. Stellvertretend für alle möchten wir an dieser Stelle der Türkischen Botschaft in Bern und dem Schweizerischen Katastrophenhilfekorps danken.