Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 104 (1986)
Heft: 13

Artikel: Das Erdbeben in Mexiko vom 19. September 1985
Autor: Ammann, Walter J. / Vogt, Rudolf F. / Wolf, John P.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-76117

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: 16.12.2025

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

Das Erdbeben in Mexiko vom 19. September 1985

Von Walter J. Ammann, Rudolf F. Vogt und John P. Wolf, Zürich

Am 19. September 1985 erschütterte ein Erdbeben der Magnitude M_S = 8,1 ganz Mexiko. Das Epizentrum lag rund 400 km westlich von Mexico City in einem küstennahen Bereich, wo sich die Cocos-Platte entlang dem mittelamerikanischen Graben unter die nordamerikanische Platte schiebt.
Die Auswirkungen des Erdbebens waren vor allem in Mexico City verheerend. 265 Gebäude wurden dort zerstört oder sehr stark beschädigt. Dabei handelt es sich vorwiegend um höhere Gebäude mit bis zu 20 Stockwerken. Die Gründe hiefür sind in erster Linie in den Untergrundverhältnissen zu suchen.

Schäden

Das Zentrum der Stadt, wo auf einer Fläche von rund 50 km^2 die meisten Schäden konzentriert waren, liegt auf einer 30 bis 50 m mächtigen Tonschicht. In dieser Schicht wurde die Bodenbewegung bis zu einem Faktor 5 aufgeschaukelt und in ihrem Frequenzgehalt verändert, so dass ausgeprägte Resonanzerscheinungen bei den Gebäuden auftreten konnten. Bei den Gebäuden handelt es sich vorwiegend um Skelettbauten, deren Aussteifungen aus Mauerwerkwänden sowie Stahlbeton- oder auch Stahlfachwerken bestehen. Stahlbetonkerne fehlen praktisch überall. Die Schadenursachen - stets in Verbindung mit dem Resonanzphänomen - sind primär: Auflockerung und Zerstörung der aus Mauerwerk bestehenden Aussteifungswände, Versagen von Stützen, Durchstanzen bei Flachdekken, Zusammenstossen benachbarter Gebäude, Versagen der Fundation, differentielle Setzungen und Einfluss höherer Eigenfrequenzen.

Im Epizentralgebiet an der Pazifikküste dürfte die Intensität I_{MM} = VIII-IX nicht überschritten worden sein. Im Unterschied zu Mexico City zeigten auch niedrigere Gebäude ausgedehnte Schäden. Im Mündungsgebiet des Rio Balsas wurden ausgeprägte Bodenverflüssigungsphänomene beobachtet.

Besuch im Schadengebiet

Am 19. September 1985 wurde Mexiko um 07.17.44 Uhr Ortszeit (13.17.44 Uhr GMT) von einem sehr schweren Erdbeben der Magnitude M_S = 8,1 erschüttert. Die Autoren hatten Gelegenheit, Anfang November 85 während rund einer Woche verschiedene Schadengebiete in Mexiko zu besichtigen. Nebst den enormen Schäden in der Hauptstadt Mexico City (Bild 1) interessierte auch das im engeren Epizentralgebiet an der Pazifikküste und der angrenzenden Sierra Madre del Sur aufgetretene Schadenausmass (Bild 2).

Die Reise verfolgte folgende Ziele:

- Gewinnen eines Grobüberblicks über das Gesamtschadenausmass
- Studium des Einflusses des Untergrundes auf die resultierenden Bodenbewegungsgrössen
- Beobachtung und Interpretation typischer Schäden an Hochbauten in Abhängigkeit von Bauart (Tragsystem, Baumaterial, Bauqualität) und Standort (Boden-Bauwerk-Interaktion)
- Beobachtung und Interpretation geologischer und geotechnischer Aspekte (Geländerutschungen, Bodenverflüssigung, Fundationsversagen usw.)
- Beobachtung möglicher Schäden an Wasser- und Abwasserleitungen, Brücken, Staudämmen und anderen Einrichtungen mit sogenanntem Lifeline-Charakter (d.h. Einrichtungen, die während und vor allem nach einem Erdbeben für die Öffentlichkeit von Bedeutung sind).

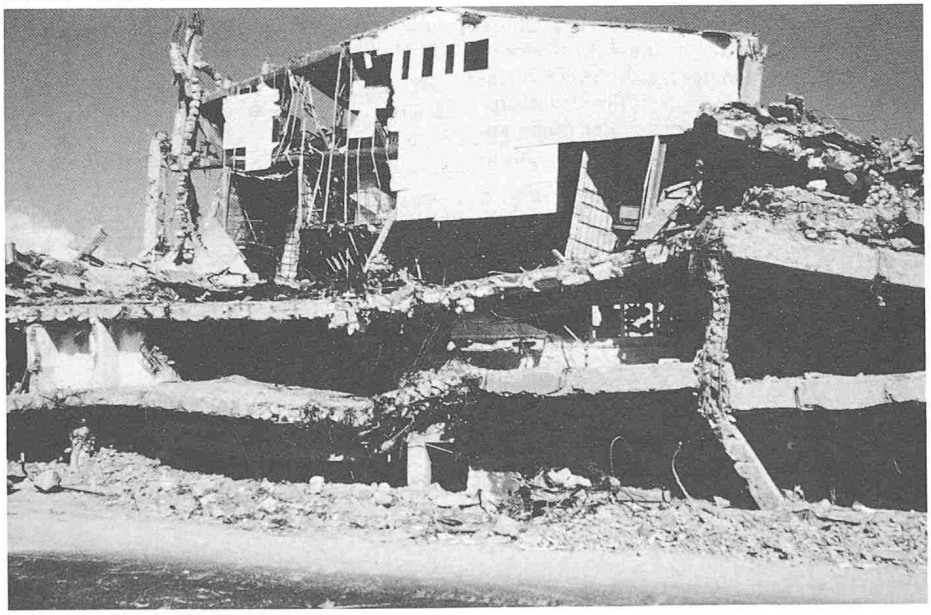
Einleitend ist festzuhalten, dass insbesondere in Mexico City die speziellen Untergrundverhältnisse dominieren, so dass das Schadenbild sehr spezifisch ist. Das Schadenausmass kann deshalb nicht unbesehen mit jenem anderer Erdbeben ähnlicher Magnitude verglichen werden. Auch die Folgerungen in bezug auf Schadenursachen sind sehr standortspezifisch.

Seismologische Aspekte

Plattentektonik und historische Seismizität

Die plattentektonische Situation in Zentralamerika und Mexiko geht aus Bild 2 hervor. Der Süden Mexikos und somit auch das Gebiet, in dem sich das Erdbeben vom 19. September 1985 ereignete, liegen in einem Bereich, wo sich die Cocos-Platte entlang dem mit-

Bild 1. Im Gebiet von Mexico City stürzten viele Gebäude ein. Linkes Bild: eingestürztes Theater (Stützendetail vgl. Bild 17). Rechtes Bild: Trümmer eines eingestürzten Hochhauses im Tlatelolco-Bezirk (analoges Gebäude im Hintergrund, vgl. Bild 13) *Foto SKH Schweizerisches Katastrophen-Hilfskorps*



telamerikanischen Graben mit einer Geschwindigkeit von durchschnittlich 64 mm/Jahr [1] in nordöstlicher Richtung unter die nordamerikanische Platte schiebt (Subduktionsvorgang).

Ebenfalls im Bild 2 sind die seit 1897 mit einer Magnitude $M_L > 7{,}0$ aufgetretenen Erdbeben eingezeichnet (M_L = Richter-Magnitude). Runde Punkte kennzeichnen Beben mit Herdtiefen bis 65 km, Dreiecke tieferliegende Bebenherde. In diesem Zeitraum sind in dem im Bild 2 dargestellten Bereich Mexikos über 40 Beben mit einer Magnitude $M_L > 7{,}0$ aufgetreten.

Die Energiefreisetzung entlang der Subduktionszone zwischen der Cocos-Platte und der nordamerikanischen Platte erfolgt nicht kontinuierlich (vgl. z. B. [2]), sondern schubweise in mehr oder weniger eng begrenzten Gebieten. Weil diese einzelnen Gebiete nur in Intervallen seismisch aktiv sind und dazwischen praktisch ruhig bleiben, spricht man auch von «seismischen Lücken» oder «Seismic Gaps». Wichtige Gaps entlang der mexikanischen Pazifikküste in Ost-West-Richtung sind der Tehuantepec-Gap, Oaxaca-Gap, Ometepec-Gap, Guerrero-Gap, Michoacan-Gap, Colima-Gap und der Jalisco-Gap (Bild 3, [1]).

Die Wiederkehrperiode für grosse Erdbeben liegt bei diesen Gaps im allgemeinen zwischen 30 und 50 Jahren, mit Ausnahme des Michoacan-Gap und des Tehuantepec-Gap, wo in diesem Jahrhundert und unter Umständen sogar im letzten Jahrhundert kein Erdbeben mit Magnitude $M_S > 7{,}4$ (M_S = Magnitude aus Oberflächenwellen) aufgetreten ist [2]. Das Erdbeben vom 19. September 1985 mit Magnitude $M_S = 8{,}1$ sowie das Nachbeben vom 21. September 1985 mit einer Magnitude $M_S = 7{,}5$ traten beide im Bereich des Michoacan-Gap auf (Bild 3).

Mexico City wurde schon in früheren Jahren wiederholt von Beben betroffen, deren Herd weit entfernt lag. Dabei fällt allerdings auf, dass nur die Erdbeben von 1957 und 1979 in Mexico City einigen Schaden zu verursachen vermochten, frühere Erdbeben ähnlicher Magnitude und vergleichbarer Epizentraldistanz jedoch nur wenig Schaden anrichteten [3].

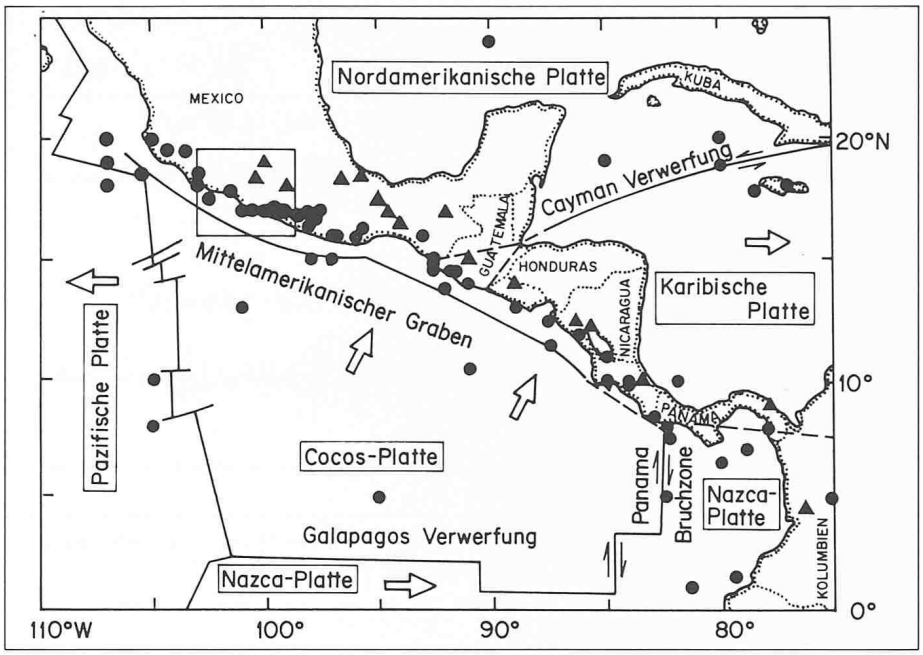
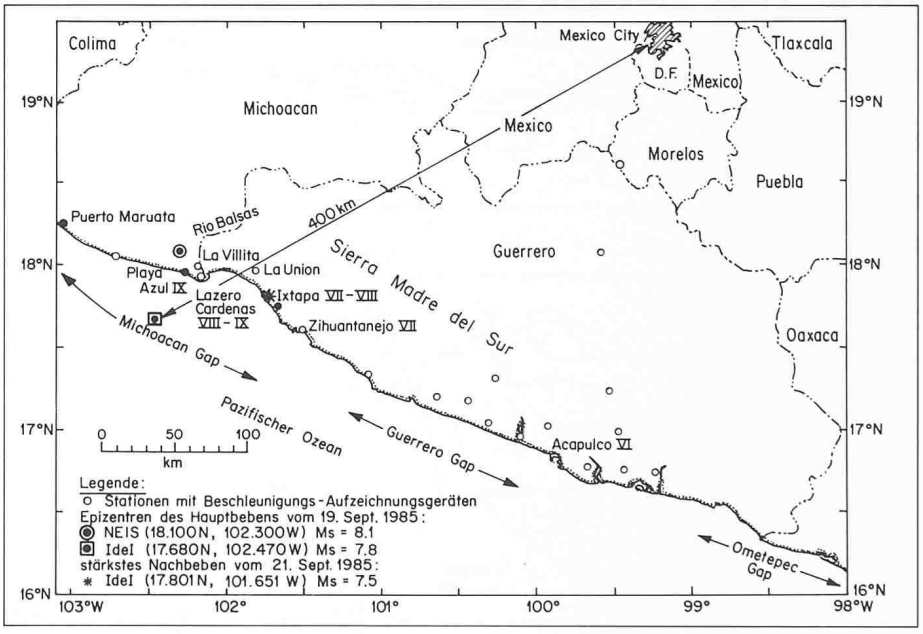


Bild 2. Platten- und seismotektonische Situation im mexikanisch-mittelamerikanischen Raum. Die in diesem Gebiet seit 1897 mit Magnitude $M_L > 7$ aufgetretenen Erdbeben konzentrieren sich entlang dem mittelamerikanischen Graben, wo die Cocos-Platte unter die nordamerikanische Platte und die karibische Platte taucht. Kreise kennzeichnen flachliegende Erdbebenherde mit einer Herdtiefe $H < 60$ km, Dreiecke solche mit $H > 60$ km (aus [4], M_L = local magnitude, Richter Magnitude)

Bild 3. Ausschnitt aus Mexiko (vgl. Rechteck im Bild 2). Eingezeichnet sind verschiedene seismische Gaps sowie die unterschiedlichen Lokalisationen des Epizentrums des Hauptbebens und des stärksten Nachbebens (nach [5]) sowie Orte mit Beschleunigungs-Aufzeichnungsgeräten (Kreise). Mexico City liegt rund 400 km vom Epizentrum entfernt. NEIS: National Earthquake Information Service, Golden, Colorado, USA; IdeI: Instituto de Ingeniería (UNAM), Mexico City



Herdparameter des Hauptbebens

Für die geographische Lage des Epizentrums liegen je nach Auswertungsinstitution bzw. Wahl der verwendeten seismologischen Aufzeichnungen unterschiedliche Angaben vor (Bild 3, [5]). Ähnliche Unterschiede können auch bei der Bestimmung der Magnituden festgestellt werden. Bis zum Vorliegen der endgültigen Werte kann eine Magnitude $M_S = 8{,}1$ als am besten abgesichert betrachtet werden [6]. Die geographische Lage des Epizentrums gemäss Bestimmung durch NEIS (National Earthquake Information Service, Golden, Colorado) liegt bei Lazero Cardenas im Mündungsgebiet des Rio Balsas. Gegen die Richtigkeit dieser Lokalisation spricht – zumindest teilweise – der Umstand, dass die in Lazero Cardenas beobachteten Schäden in keiner Weise einem Schadenbild entsprechen, wie es im Epizentrum eines Bebens mit Magnitude $M_S = 8{,}1$ auftritt. Für eine Lokalisation im Pazifik, wie sie durch IdeI (Instituto de Ingeniería, Universidad National Autónoma de Mexico, UNAM, Mexico City) ermittelt wurde, spricht eher die Beobachtung, dass im Küstenbereich bei Lazero Cardenas eine erdbebeninduzierte Wasserwelle, eine sogenannte Tsunami-Welle, von rund 2 m Höhe beobachtet wurde. In Acapulco erreichte die Welle noch eine Höhe von 0,4 m [7]. Über die genaue

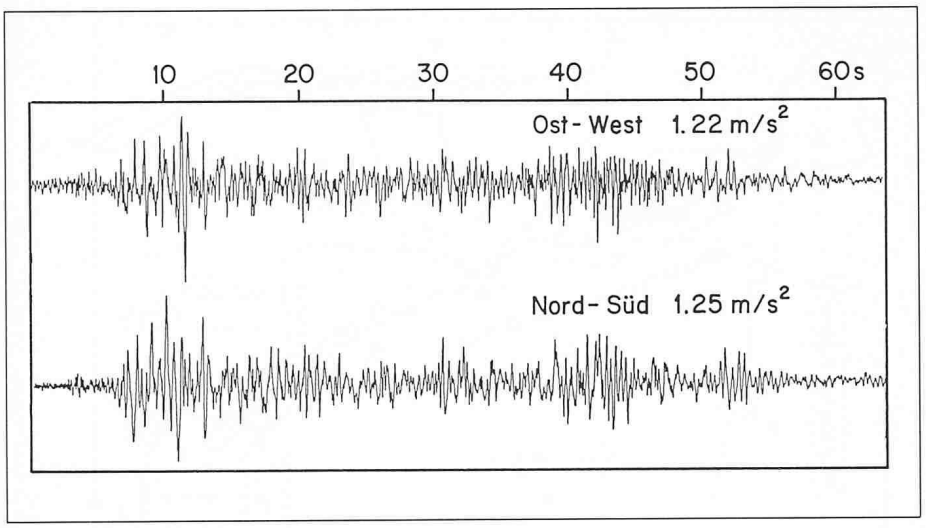
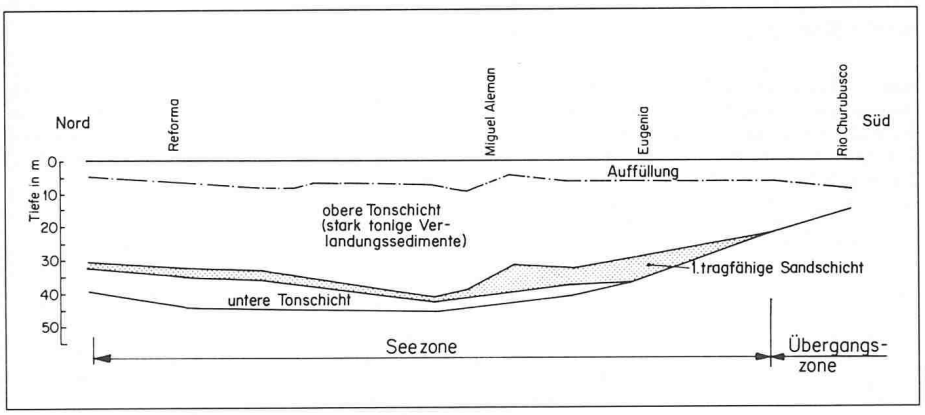


Bild 4. Verlauf der horizontalen Beschleunigungen des Hauptbebens vom 19. September 1985, aufgezeichnet in NS- und EW-Richtung in La Villita, 45 km vom IdeI-Epizentrum entfernt (aus [9])

Bild 6. Geotechnischer Schnitt durch Mexico City in NS-Richtung (genaue Lage vgl. Bild 5, aus [10])



Lage des Epizentrums kann erst nach Vorliegen weiterer Auswertungen eine eindeutige Aussage gemacht werden; die Autoren neigen jedoch zur Ansicht, dass die Lokalisation gemäss IdeI zutreffender sein dürfte.

Nachbebenverhalten

Kurzfristig wurden durch das Instituto de Geofísica, UNAM, Mexico City, im Epizentralgebiet 18 portable Seismographen zur Beobachtung des Nachbebenverhaltens installiert. Während die ersten Nachbeben nach dem Hauptstoss primär im Gebiet um Puerto Maruata und Lazero Cardenas auftraten, erfolgte mit dem stärksten Nachbeben am 21. September 1985 (01.37 Uhr GMT) eine Verlagerung südostwärts in das Gebiet zwischen dem Rio Balsas und Ixtapa (Bild 3). Die Magnitude dieses stärksten Nachbebens wurde von IdeI ursprünglich mit $M_S = 7{,}3$ angegeben. Nachträglich wurde die Magnitude auf $M_S = 7{,}5$ korrigiert [6].

Beschleunigungsaufzeichnungen

Zur Erfassung der Beschleunigungsverläufe auf Felsstandorten aus starken Subduktionserdbeben war bereits 1978 an einem internationalen Workshop [8] beschlossen worden, das Gebiet des Michoacan-Gap und des Guerrero-Gap mit Beschleunigungs-Aufzeichnungsgeräten (Strong-Motion-Geräten) zu instrumentieren. Im Bild 3 sind sämtliche Standorte, welche am 9. September 1985 funktionsbereit waren, mit Kreisen bezeichnet. Die eigentlichen Instal-

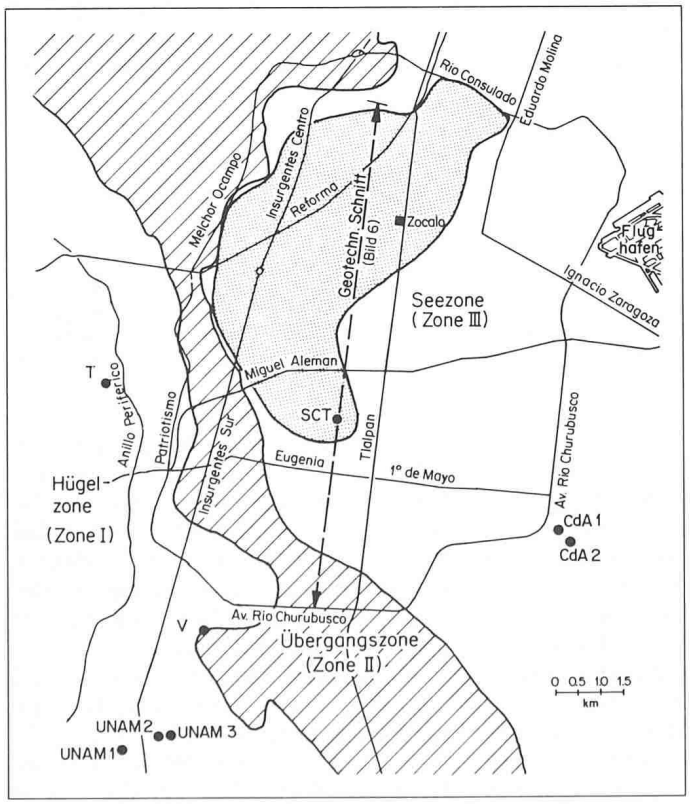
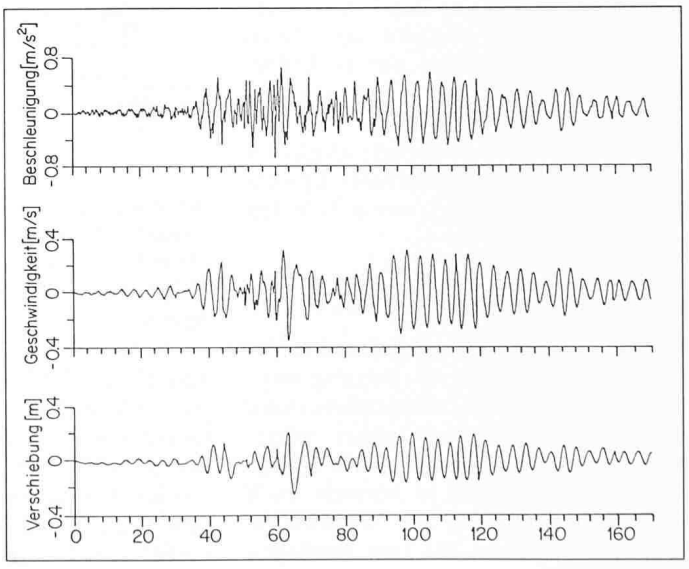


Bild 5 (links). Übersicht über Mexico City. Eingezeichnet sind die drei Zonen, das Gebiet der stärksten Schäden und die Stationen mit den Strong-Motion-Geräten (nach [10]). CdA: Central de Abastos; SCT: Secretaria de Communicaciones y Transportes; T: Tacubaya (Seismolog. Observatorium); UNAM: Universidad National Autónoma de Mexico; V: Viveros

Bild 7. Beschleunigungsverlauf des Hauptbebens und daraus durch Integration gewonnene Bodenbewegungsgrössen für die Station Central de Abastos (CdA1 im Bild 5, aus [15])



lationsarbeiten waren zu Beginn des Jahres 1985 begonnen worden. Zum Zeitpunkt des Erdbebens waren 20 digital aufzeichnende 3-Komponenten-Strong-Motion-Geräte eingerichtet (vgl. [9], [5]).

Die für das Hauptbeben im Epizentralgebiet registrierte maximale Beschleunigung betrug in horizontaler Richtung 1,7 m/s^2 (0,17 g, NS-Komponente) und wurde in La Union, d.h. in rund 75 km Entfernung vom Idel-Epizentrum, gemessen. Bild 4 zeigt den zeitlichen Beschleunigungsverlauf der NS- und EW-Komponente in La Villita, wo 1967 ein Steinschüttdamm errichtet worden war. Die maximale horizontale Beschleunigung betrug dort 1,25 m/s^2 (0,125 g, NS-Komponente). Die Aufzeichnung dauerte 64 s. Die vorherrschenden Perioden dürften etwa im Bereich von 0,5 s liegen.

Im Gebiet von Mexico City wurde das Erdbeben von insgesamt 8 digital aufzeichnenden 3-Komponenten-Strong-Motion-Geräten erfasst (Bild 5). Bevor auf diese Beschleunigungsaufzeichnungen näher eingegangen werden kann, müssen kurz die Untergrundverhältnisse von Mexico City dargestellt werden (vgl. auch [10]).

Wie das Bild 5 zeigt, kann das Stadtgebiet in bezug auf die Untergrundverhältnisse in drei verschiedene Zonen eingeteilt werden:

Hügelzone

Stark verfestigte Sedimente, zum grossen Teil von Lava überfahren, so dass der Untergrund Felscharakter erhält.

Seezone

Sehr locker gelagerte Verlandungssedimente im Bereich des früheren Texcoco-Sees. Ein geotechnischer Schnitt durch diese Zone ist im Bild 6 dargestellt. Unter einer Deckschicht und einer sehr locker gelagerten Tonschicht (Wassergehalt bis zu 400%, Scherwellengeschwindigkeit minimal rund 50 m/s) von 30 bis maximal etwa 50 m Mächtigkeit steht eine vergleichsweise stark verfestigte Sandzwischenschicht von wenigen Metern Mächtigkeit an.

Übergangszone

Übergang von der Seezone mit lockeren Verlandungssedimenten zur Hügelzone. Die fest gelagerte sandige Zwischenschicht steht bereits in 5 bis 20 m Tiefe an.

Entsprechend diesen stark variierenden Untergrundverhältnissen zeigen auch die in den drei Zonen registrierten Beschleunigungsverläufe grosse Unterschiede. Während in der Hügel- und Übergangszone (Stationen T, UNAM, V im Bild 5) maximale Beschleunigungen von nur 0,4 m/s^2 (0,04 g) registriert wurden, traten in der Seezone 4- bis 5mal grössere Maximalwerte, d.h. 1,7 m/s^2 (0,17 g, Station SCT in EW-Richtung) auf. Diese enormen Unterschiede können nur durch eine Aufschaukelung der Beschleunigungen im Bereich der locker gelagerten Tonschicht erklärt werden. Dieses Phänomen ist in Mexico City bereits seit dem Erdbeben von 1957 bekannt und kommt auch in der mexikanischen Erdbebennorm zum Ausdruck [11], [12], [13]. *Rosenblueth* [12] gibt z. B. für ein Erdbeben mit einer Wiederkehrperiode von 100 Jahren für horizontale Beschleunigungen in der Hügelzone 0,05 g und für die Seezone 0,14 g an. Für die Geschwindigkeit gibt er 20 cm/s bzw. 81 cm/s an; im Erdbeben vom 19. September 1985 betrugen demgegenüber die Maximalwerte in den beiden Zonen 14 cm/s bzw. 61 cm/s [14]. Ausser einer reinen Aufschaukelung der Beschleunigungen tritt auch eine starke Frequenzverschiebung auf. Bild 7 zeigt den Beschleunigungsverlauf der Station CdA1 in NS-Richtung und die daraus durch Integration gewonnenen Geschwindigkeits- und Bodenverschiebungsverläufe. Es sind knapp die ersten 3 Minuten dargestellt; die gesamte Aufzeichnungsdauer betrug hier rund 5 Minuten. Gegenüber dem Epizentralgebiet bedeutet dies eine Vervierfachung der Bebendauer. Der Verlauf ist bedeutend langperiodischer als bei der Station La Villita im Epizentralgebiet (Bild 4).

Diese Periodenverschiebung zeigt auch das Bild 8, wo die Beschleunigungsspektren aus drei Stationen in Mexico City dargestellt sind. Während in Tacubaya, der Station in der Hügelzone, Perioden bis etwa 1 Sekunde massgebend sind, verlängert sich die Periode umso mehr, je weiter ostwärts sich die Messstation befindet. Mit knapp 4 Sekunden weist die Station CdA1 noch eine um rund 1,5 Sekunden längere massgebliche Periode auf als die Station SCT.

Aufzeichnungen der Beschleunigungsverläufe und Spektren für die anderen Stationen sind in [16] und in [17] detailliert enthalten.

Auswirkungen des Erdbebens

Während sich das Erdbeben bezüglich Vielfalt der beobachteten Schäden im Bereich der Pazifikküste, d.h. im Epizentralgebiet, nicht von anderen Erdbeben ähnlicher Magnitude unterscheidet (sofern man das Idel-Epizentrum gemäss Bild 3 zugrunde legt), stellt Mexico City eine Ausnahmesituation dar, die im wesentlichen nur mit dem Hin-

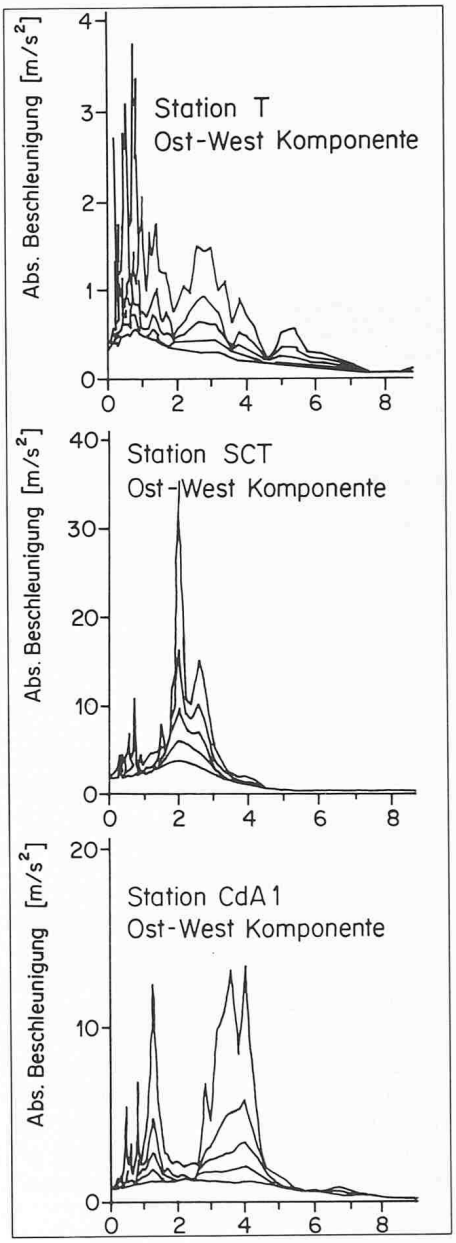


Bild 8. Beschleunigungsspektren für 0, 2, 5, 1 und 20% Dämpfung für die drei Stationen T (Tacubaya), SCT (Secretaria de Communicaciones y Transportes) und CdA1 (Central de Abastos) in Mexico City (nach [14])

Bild 9. Schäden am «Aristos»-Hotel in Ixtapa. Analoge Schäden waren bereits beim Erdbeben 1979 aufgetreten (vgl. [3])

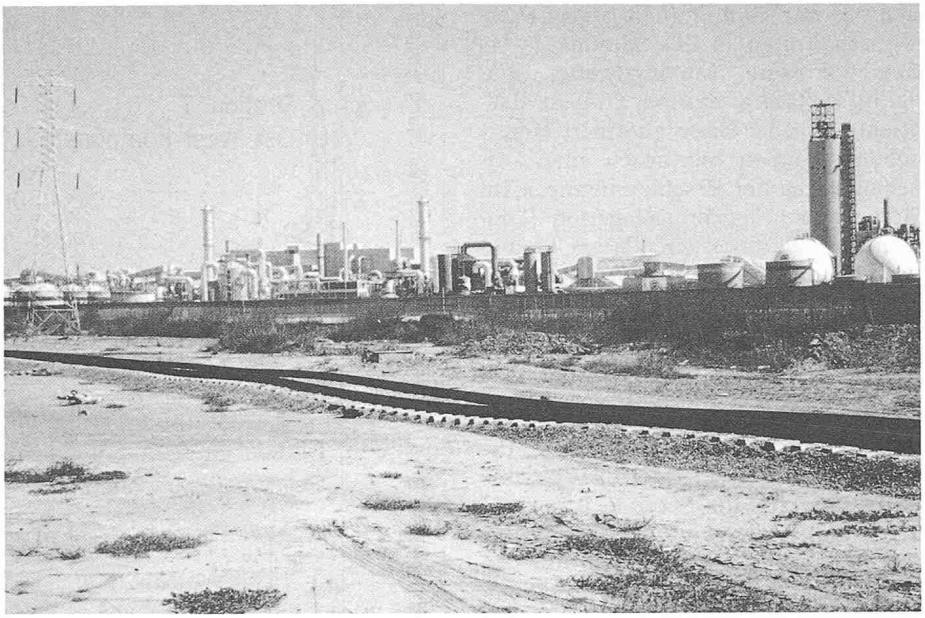


Bild 10. Schäden an einem Industriegeleise und einer Hochspannungsleitung als Folge der Bodenverflüssigung. Im Hintergrund die Industrie- und Hafenanlagen im Mündungsgebiet des Rio Balsas

Bild 11. Schäden an einer Brücke über den Rio Balsas bei Lazero Cardenas: Aufprall des Brückenträgers auf das Widerlager

weis auf eine ausgeprägte Wechselwirkung zwischen Untergrund und Hochbauten erklärbar ist.

Epizentralgebiet

Im eigentlichen Epizentralgebiet dürfte aufgrund des beobachteten Schadenbildes die Intensität I_{MM} = VIII–IX (entspricht I_{MSK} = VIII) kaum überschritten worden sein. Diese Feststellung stimmt überein mit den Angaben in [7]. Bereits in Zihuantanejo, einer Stadt rund 100 km vom Idel-Epizentrum entfernt (Bild 3), betrug die Intensität gemäss [7] nur noch I_{MM} = VII, in Acapulco noch I_{MM} = VI.

Als Unterschied zu Mexico City ist zu erwähnen, dass sich sowohl an niedrigen ein- und zweigeschossigen Gebäuden als auch an Gebäuden mit fünf und mehr Stockwerken Schäden zeigten. Eine Ausnahme stellt Ixtapa dar, ein Touristikzentrum rund 85 km vom Idel-Epizentrum entfernt, wo fast ausschliesslich mehrgeschossige Hotelbauten beschädigt wurden. Bild 9 zeigt entsprechende Schäden, wobei zu erwähnen ist, dass dieses Gebäude bereits beim Erdbeben vom 14. März 1979 mit Epizentrum 17.23°N, 102.20°W und Magnitude M_S = 7,6 analoge Schäden erlitten hatte [3]. In Ixtapa betrug die Intensität nach eigenen Beobachtungen etwa I_{MM} = VII–VIII, wobei unter Umständen auch hier im küstennahen Bereich der Untergrund für eine verstärkte Schadenwirkung an mehrstöckigen Gebäuden mitverantwortlich sein könnte; dies in Analogie zu Mexico City.

Neben den zahlreichen und verschiedenartigen Schäden an Gebäuden konnte im Epizentralgebiet eine Reihe interessanter Beobachtungen zum Verhalten anderer Bauwerke gemacht werden.

□ Bei La Villita staut der 60 m hohe José Maria Morelos-Steinschüttdamm den Rio Balsas auf (340 MW installierte Leistung). Auf der Krone wurde luftseitig ein Längsriss von rund 20 m Länge beobachtet. Auch hier traten beim Erd-

Konstruktionsart	Schaden	*Baujahr* vor 1957	1957–1976	nach 1976	*Anzahl Geschosse* ≤5	6–10	11–15	>15	*Total* eingestürzt oder sehr stark beschädigt
Stahlbeton-Rahmen	Einsturz	35	59	13	36	62	9	0	107
	sehr stark beschädigt	9	19	7	8	23	4	1	36
Stahl-Rahmen	Einsturz	5	4	0	4	2	1	2	9
	sehr stark beschädigt	1	0	0	0	0	1	0	1
Flachdecken	Einsturz	3	35	12	23	23	4	0	50
	sehr stark beschädigt	5	20	11	9	18	8	0	35
Mauerwerk	Einsturz	7	4	1	10	2	0	0	12
	sehr stark beschädigt	2	3	0	4	1	0	0	5
Andere	Einsturz	0	1	1	1	1	0	0	2
	sehr stark beschädigt	2	4	2	6	2	0	0	8
Total	Einsturz und sehr stark beschädigt	69	149	47	101	134	27	3	265

Tabelle 1 (links). Zusammenstellung der eingestürzten oder sehr stark beschädigten Gebäude in Mexico City, aufgeteilt nach Konstruktionsart und Baujahr, nach [10]

Tabelle 2. Prozentuale Aufteilung der eingestürzten oder sehr stark beschädigten Gebäude der ersten drei Konstruktionsarten 1), bezogen auf die jeweilige Gesamtzahl im engeren Schadengebiet (Bild 5), nach [10]

Gebäude bis 2 Stockwerke:	2%
Gebäude zwischen 3–5 Stockwerke:	3%
Gebäude zwischen 6–8 Stockwerke:	16%
Gebäude zwischen 9–12 Stockwerke:	23%
Gebäude mehr als 12 Stockwerke:	22%
Anzahl total	3%

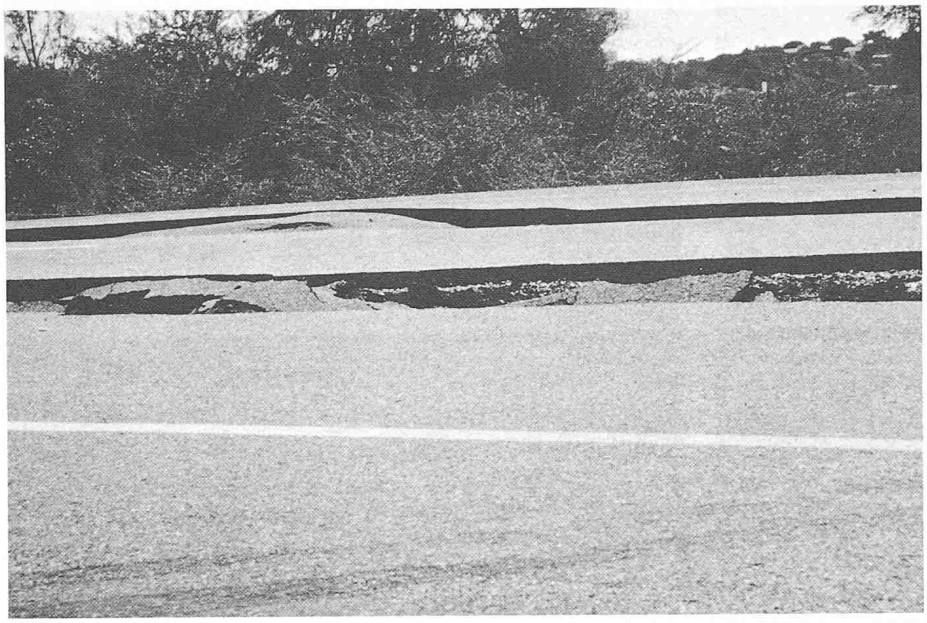


Bild 12. Risse im Strassenkörper im Anschluss an die Brücke über den Rio Balsas (vgl. Bild 11)

Bild 13. Stahlbetonskelett-Gebäude mit Aussteifungen mittels Stahlbetondiagonalen (ein analoges, direkt anschliessendes Gebäude stürzte ein, vgl. Bild 1a, Tlatelolco-Bezirk)

beben von 1979 bereits analoge Schäden auf (vgl. z. B. [18]). Unter Umständen wurde eine frühere Rutschfläche aktiviert. Auch einige der seitlichen Betonabschlusselemente auf der Dammkrone waren umgekippt. Bild 4 zeigt den Verlauf der horizontalen Beschleunigung des Hauptbebens auf Fels in unmittelbarer Nähe der Sperrstelle.

□ Im angrenzenden Mündungsgebiet des Rio Balsas bei Lazero Cardenas wurden ausgeprägte Bodenverflüssigungsphänomene beobachtet. Da sich in diesem Gebiet ausgedehnte Industrie- und Hafenanlagen (Bild 10) befinden, waren die mit diesen Phänomenen in Zusammenhang stehenden Schäden beträchtlich (differentielle Setzungen, Risse in Auskleidungen von Schmelzöfen usw.), allerdings nicht derart verheerend wie dies z. B. bei einem analogen Erdbeben im März 1985 in Chile der Fall war (vgl. z. B. [19]). Bild 10 zeigt als Folge der Bodenverflüssigung Schäden an einem Industriegeleise und an einer Hochspannungsleitung (Versagen der Pfahlfundation eines Stahlfachwerk-Leitungsmastes).

□ An einem Zwillings-Brückenübergang über den Rio Balsas rund 5 km nördlich von Lazero Cardenas traten infolge Aufprall des Überbaus aus vorfabrizierten Längsträgern auf das Widerlager die im Bild 11 gezeigten Schäden auf. Zusätzlich waren einige Stützen im Übergang zum Hammerkopf beschädigt.

□ Linksufrig war die über diese Brükke führende Strasse auf einer Länge von etwa 150 m stark beschädigt. Ausgedehnte breite Längsrisse im angeschütteten Strassenkörper deuten auf ein Versagen des Untergrundes hin (Bild 12).

Auswirkungen in Mexico City

Isoliert von den Auswirkungen im Epizentralgebiet müssen die Schäden in Mexico City betrachtet werden. Obwohl bereits 400 km vom Epizentrum

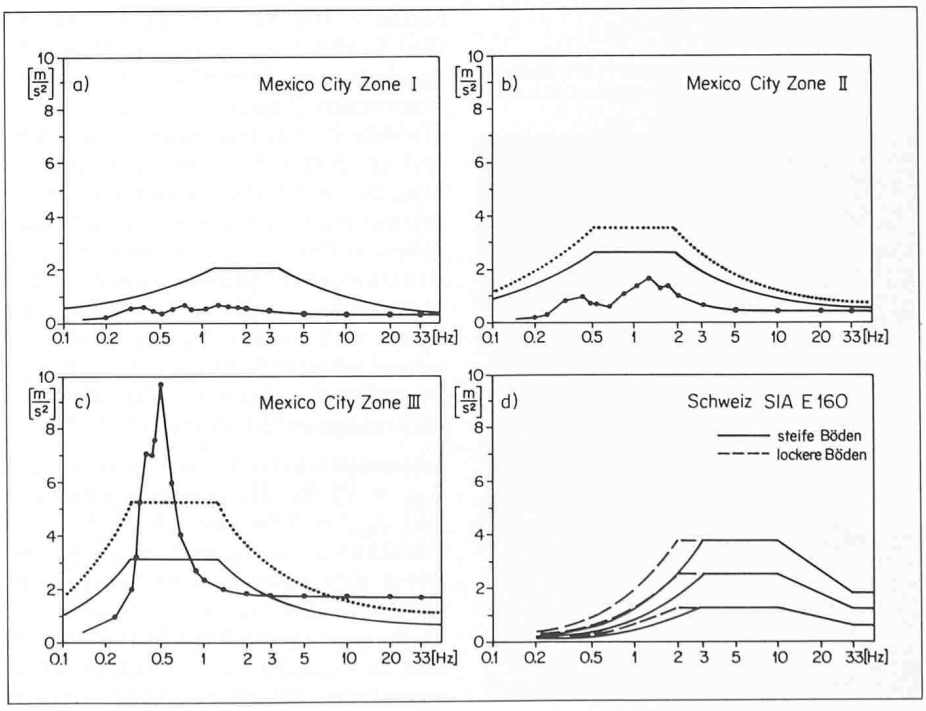


Bild 14. a, b und c): Beschleunigungsspektren für Mexico City

—— Bemessungsspektren entsprechend der Norm von 1976 [13] für Bauwerksklasse A (Spitäler, Schulen usw.)

–·–·– Aus Beschleunigungsaufzeichnungen in den entsprechenden Zonen I, II und III berechnete Spektren (g = 5 %) des Bebens vom 19. September 1985 (Stationen TI, VI und SCT, [14])

..... Provisorische Vorschrift vom Oktober 1985 [20]

d) Bemessungsspektren für die Schweiz gemäss Vernehmlassungsentwurf SIA E 160 (1985) [21]

Bild 15. Die zwei Parkhäuser hatten eine tiefe Eigenfrequenz und wurden durch die Schwingungen zum Einsturz gebracht, während die beiden älteren Gebäude links und rechts im Bild dank ihrer steifen Wände ohne sichtbare Schäden blieben

Bild 16. Durch das Erdbeben zerstörte nichttragende Mauerwerkwände, die zur Aussteifung des Gebäudes dienten

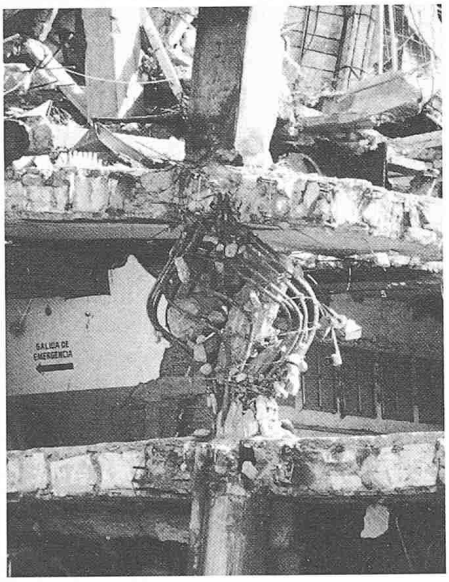
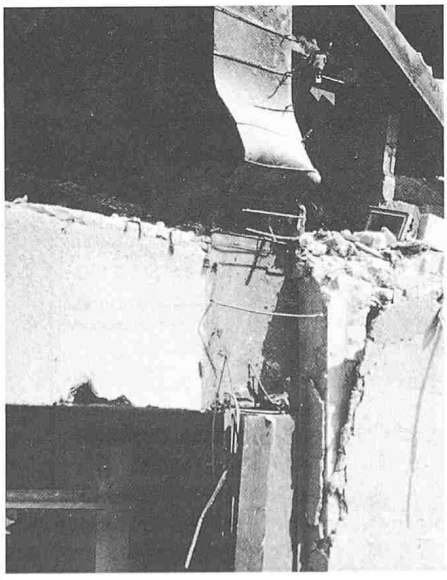


Bild 17. Versagen einer Stahlbetonstütze: Zerstörtes Betongefüge und Ausknicken der Längsbewehrung infolge ungenügender Umschnürung durch Bügel

Bild 18. Versagen einer Stahlstütze: Der Bruch der Längsschweissnaht ermöglichte das Ausknicken der einzelnen Wandbleche



entfernt, machen die Schäden in Mexico City ein Vielfaches derjenigen an der Pazifikküste aus. Trotzdem ist es schwierig, eine entsprechende Intensitätsangabe zu machen. Mexico City ist eine Stadt mit rund 1000 km^2 Ausdehnung. Flächenmässig nimmt sich mit rund 50 km^2 das im Bild 5 dargestellte engere Schadengebiet somit relativ bescheiden aus. Insgesamt sind aber nach einer Statistik des IdeI [10] 265 Gebäude zerstört oder sehr stark beschädigt worden (Tabelle 1). Es handelt sich dabei vorwiegend um höhere Gebäude mit bis zu 20 Stockwerken. Tabelle 1, die eine Unterscheidung der zerstörten und sehr stark beschädigten Gebäude nach Konstruktionsart und Baujahr macht, trägt diesem Umstand nur bedingt Rechnung, weil sie keine Angaben über die totale Anzahl der Gebäude in den einzelnen Kategorien enthält. Prozentual ist demnach eine bedeutend kleinere Anzahl Gebäude mit bis zu fünf Stockwerken betroffen. Dies geht deutlich aus einer ebenfalls [10] entnommenen Zusammenstellung hervor (Tabelle 2). Für das engere Schadengebiet ist dort eine prozentuale Aufteilung der beschädigten Gebäude bezogen auf die jeweilige Gesamtzahl angegeben, wobei nur die ersten drei Konstruktionsarten gemäss Tabelle 1 berücksichtigt wurden. Nur 3% aller Gebäude sind demnach eingestürzt oder weisen schwere Schäden auf, allerdings ist praktisch jedes vierte Gebäude mit mehr als neun Stockwerken betroffen.

Intensitätsschätzungen des IdeG [7] mit I_{MM} = VI für die peripheren Gebiete und I_{MM} = VIII oder IX dürften die Verhältnisse zutreffend wiedergeben. Nebst den ausgedehnten Schäden an Gebäuden nehmen sich die Schäden an Tiefbauten und anderen Einrichtungen eher bescheiden aus. Trotzdem sollen ausgedehnte Schäden am Wasserversorgungs- und insbesondere am Abwassernetz aufgetreten sein. Das U-Bahn-System war kurzfristig infolge Stromausfall lahmgelegt, wies im übrigen aber keine Schäden auf. Schwere Beeinträchtigungen traten im Fernmeldewesen infolge starker Beschädigung des Fernmeldezentrums durch das Erdbeben und eines nachfolgenden Feuerausbruchs auf. Über Schäden an Industrieanlagen konnte in Mexico City nichts in Erfahrung gebracht werden.

Schadenursachen an Hochbauten in Mexico City

Nach einem Überblick über die Bausubstanz, d.h. die verschiedenen Gebäude-Konstruktionsarten, und einer kurzen Erläuterung der heute gültigen Erdbebennormen soll auf mögliche Schadenursachen näher eingegangen werden.

Bausubstanz

Das Gebiet mit den grössten Schäden liegt im Zentrum der Stadt (Bild 5). Der Anteil an Gebäuden mit mehr als fünf Stockwerken ist hier am grössten. Viele moderne Geschäftshäuser weisen sogar 15 bis 20 Stockwerke auf. Daneben gibt es zahlreiche ältere Gebäude, die zum Teil noch aus der Kolonialzeit stammen, vorwiegend aus Mauerwerk und maximal drei bis vier Stockwerke hoch. Das Mauerwerk besteht aus behauenen Quadersteinen oder Ziegelsteinen und bildet in jedem Fall eine massige, sehr steife Struktur mit hoher Grundfrequenz.

Wie bereits der Tabelle 1 andeutungsweise entnommen werden kann, sind eine Vielzahl der neueren Gebäude Stahlbetonskelettbauten. Die bei uns übliche Aussteifung mittels eines Stahlbetonkerns (meist für Liftschacht und

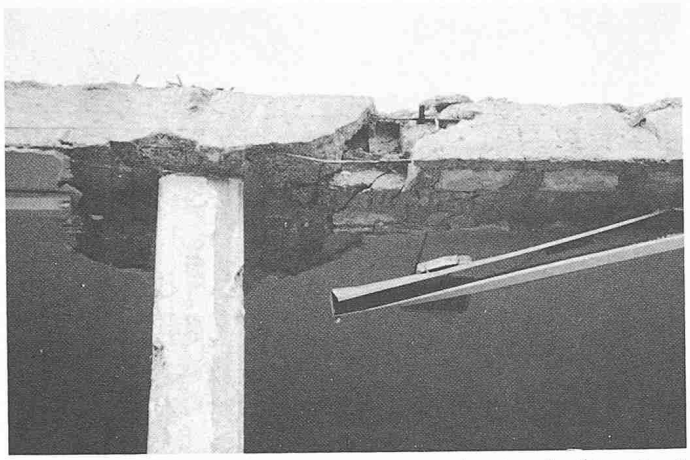


Bild 19. Die durchgehenden Risse infolge grosser alternierender Stützenkopfmomente reduzieren den Durchstanzwiderstand

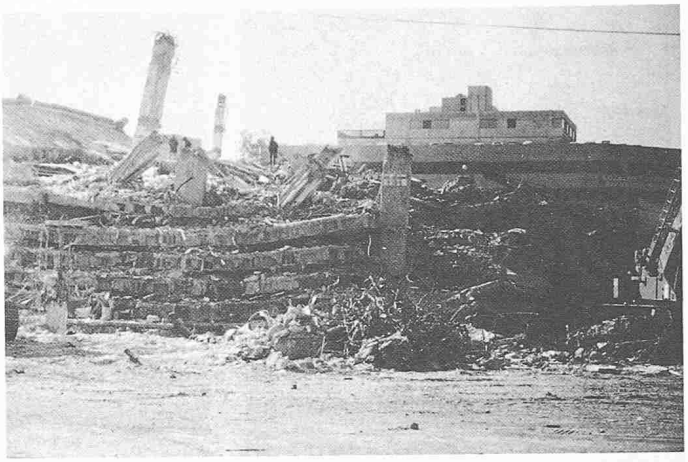


Bild 20. Das Durchstanzen der Decken führte zum totalen Einsturz dieses Gebäudes

Treppenhaus) zur Abtragung horizontaler Lasten wird jedoch in Mexico City praktisch nicht angewandt. Für diese Funktion sind stattdessen Ausfachungen mit Mauerwerkwänden oder mit Stahlbeton- oder Stahlfachwerken vorgesehen (Bilder 13, 16, 24). Als Deckenkonstruktion werden sowohl Flachdekken und Kassettendecken als auch eigentliche Unterzugkonstruktionen angewendet. Diese Rahmenkonstruktionen ergeben in der Regel sehr weiche Bauwerke mit tiefer Grundfrequenz. Tragstrukturen aus Stahl und Strukturen mit massiven Stahlbetonscheiben fehlen aus Kostengründen fast vollständig.

Erdbebennorm

Erste Vorschriften zum Lastfall Erdbeben reichen ins Jahr 1942 zurück. Das Erdbeben vom 28. Juli 1957 führte nur wenige Wochen danach zu einer dringlichen Revision der Norm. Weitere Modifikationen erfolgten 1966 und letztmals 1976 (vgl. [12], [13]). Die Norm [13] – und insbesondere die darin enthaltenen Spektren – gelten primär nur für Mexico D.F., den Distrito Federal (Mexico City).

Für die anzunehmende Erdbebenlast definiert die Norm elastische Antwortspektren, die Rücksicht nehmen auf die in den drei Zonen (Bild 5) massgeblich angeregten Perioden. Die in der Norm aufgeführten Zonen I, II und III entsprechen dabei der Hügelzone, der Übergangszone und der Seezone. Die Spektren sind für 5% Dämpfung definiert. In Abhängigkeit der Duktilität der Gebäude kann die Erdbebenlast abgemindert werden, wobei grundsätzlich Duktilitätsfaktoren bis zu 6,0 angewendet werden durften, jedoch selten von mehr als einem Faktor 4,0 Gebrauch gemacht wurde.

Im weiteren kennt die Norm von 1976 einen Wichtigkeitsfaktor. Für wichtige Gebäude wie Spitäler, Schulen, Theater usw. muss die Last um den Faktor 1,3 erhöht werden. Im Vergleich zur Bemessung für statische Lasten kann für Erdbebenlasten der Lastfaktor von 1,4 auf 1,1 gesenkt werden. Zusätzlich enthält die Norm zahlreiche Vorschriften zur konstruktiven Ausgestaltung.

Nachdem nun im Erdbeben vom 19. September 1985 derart gravierende Schäden auch an nach 1976 erbauten Gebäuden aufgetreten sind (Tabelle 1), veröffentlichte das Instituto de Ingeniería (UNAM) bereits wenige Wochen danach dringliche Massnahmen als Ergänzung oder in Abänderung zur beste-

Bild 21. Örtliche Beschädigung durch Zusammenstoss benachbarter unterschiedlich hoher Gebäude

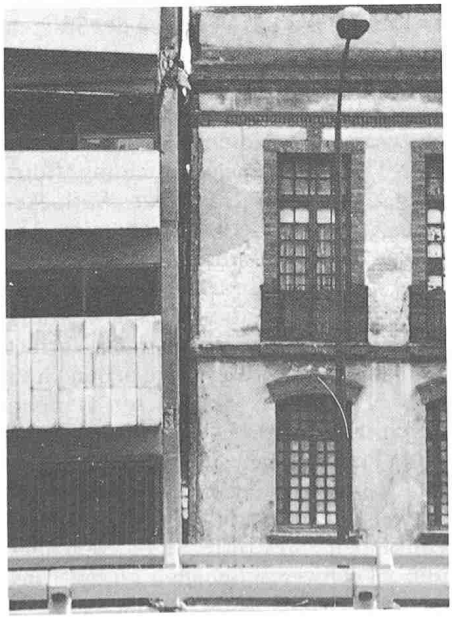


Bild 22. Dieses Gebäude kippte infolge Versagens der Reibungspfähle

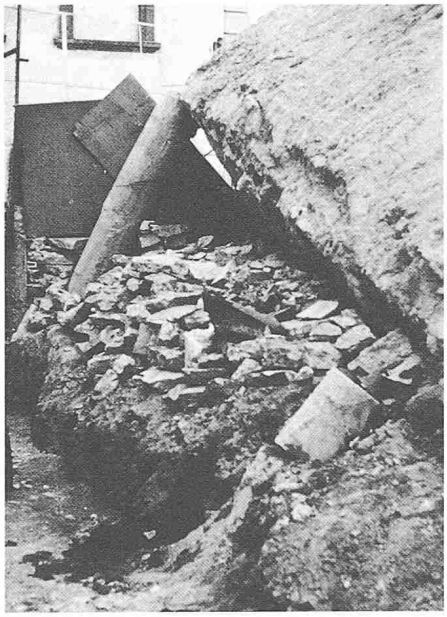


Bild 23. Beim Kippen des Gebäudes (Bild 22) wurden die Pfähle auf der einen Seite aus dem Boden herausgezogen

Bild 24. Obwohl die obersten Stockwerke total einstürzten, blieb die Tragstruktur der unteren Geschosse stehen

henden Norm von 1976 (Modificaciones de Emergencia [20]). Eine der wichtigsten Änderungen betrifft das Lastniveau. Die Bodenbeschleunigung wird in der Zone II von 0,045 *g* auf 0,054 *g* erhöht, in der Zone III von früher 0,06 *g* auf 0,10 *g*. Der spektrale Plateauwert steigt von 0,20 *g* auf 0,27 *g* in Zone II und von 0,24 *g* auf 0,40 *g* in Zone III. Zusätzlich wurden der Duktilitätsfaktor herabgesetzt und schärfere Bestimmungen in konstruktiver Hinsicht formuliert.

Um den Vergleich der in den drei Zonen gemäss der Norm 1976 und nach den neuesten Vorschriften anzuwendenden Antwortspektren zu erleichtern, sei auf Bild 14 verwiesen. Um einen Vergleich mit dem Vernehmlassungsentwurf SIA E 160 [21] zu ermöglichen, sind die Spektren in Funktion der Frequenz dargestellt. Im Bild 14 sind die Beschleunigungsspektren dargestellt, wie sie die Norm von 1976 für die Bauwerksklasse A (Spitäler usw.) vorschreibt, d.h. sie sind mit dem Faktor 1,3 multipliziert. Im Bild 14 sind Antwortspektren eingezeichnet, die aus Beschleunigungsaufzeichnungen des Hauptbebens vom 19. September 1985 in den entsprechenden Zonen für eine Bauwerksdämpfung von 5% berechnet wurden. Das gemessene Spektrum im Bild 14c zeigt, dass die Erdbebenbelastung in der Seezone zumindest lokal massiv über der Bemessungslast lag. Noch für 5% Dämpfung erreichte der Spektralwert annähernd 10 m/s^2 1.0 *g*. Zum Vergleich werden im Bild 14d die Bemessungsspektren des Vernehmlassungsentwurfes SIA E 160 [21] gezeigt. Es fällt auf, dass die Maximalwerte in Mexico City bei bedeutend tieferen Frequenzen (höheren Perioden) auftreten als in der Schweiz, dies – wie erwähnt – als Folge des sehr weichen Untergrundes von Mexico City. Dieser Vergleich soll nur die Grössenordnung der Lastannahmen zeigen (elastisches Verhalten der Struktur vorausgesetzt). Für die Bemessung sind im Einzelfall auch die unterschiedlichen Duktilitäts- und Lastkombinationsfaktoren zu berücksichtigen.

Schadenursachen

Für das Versagen der einzelnen Bauwerke gibt es verschiedene spezifische Gründe, die nachfolgend näher erläutert werden. Der Hauptgrund liegt aber in den meisten Fällen darin, dass die massgeblichen Bebenfrequenzen und die ersten Eigenfrequenzen eines Gebäudes sehr nahe beieinander lagen, so dass Resonanzeffekte auftreten konnten. Bild 14 zeigt, dass z. B. für den Standort SCT (Bild 5) diese Resonanzerscheinung bei etwa 0,5 Hz möglich war. So konnte hier ein Gebäude mit einer Grundfrequenz nahe bei 0,5 Hz (Periode $T = 2$ s) zu Schwingungen angeregt werden, die zum Einsturz des Bauwerkes führten. Ein Gebäude mit einer höheren Grundfrequenz dagegen wurde am gleichen Standort kaum angeregt und überstand das Beben ohne nennenswerte Schäden. Dies erklärt auch die Tatsache, dass an vielen Orten direkt neben einem eingestürzten Gebäude ein anderes praktisch unbeschädigt blieb (Bild 15). Im folgenden sollen einige bauwerkspezifische Schäden näher erläutert werden.

Zerstörung der Aussteifungswände aus Mauerwerk

Mauerwerkwände können beachtliche Horizontalkräfte aufnehmen, wenn sie durch vertikale Lasten genügend Druckspannung erhalten. Weil aber bei den Skelettbauten sehr oft nichttragende Wände als versteifende Ausfachung zwischen den Stützen gemauert sind und das Mauerwerk im Vergleich zu anderen Konstruktionsmaterialien eine nur sehr beschränkte Duktilität aufweist, vermochte die mehrfach wechselnde Horizontalbeanspruchung das Gefüge dieser Mauern so stark aufzulockern, dass die Wände herausbrachen (Bild 16). Bei manchen Gebäuden führte dieses Versagen der Aussteifung zum Einsturz des ganzen Bauwerks.

Versagen von Stützen

Eine häufige Einsturzursache von Skelettbauten war das Versagen der Stützen unter kombinierter Beanspruchung. Bei fehlender oder ungenügender Aussteifung (vgl. oben) treten in den Stützen grosse alternierende Biegemomente auf. Diese Überbeanspruchung führt bei Betonstützen zu einer Auflockerung des Betongefüges und zum Absprengen der Überdeckung. Bei ungenügender Umschnürung durch Bügelbewehrung kann die Druckbewehrung ausknicken, was vollständigen Verlust der Tragfähigkeit zur Folge haben kann (Bild 17). Auch Stahlstützen können durch eine lokale Überbeanspruchung ihre Tragfähigkeit vollständig verlieren. In einem Fall führte das Beulen geschweisster Hohlstützen (Bild 18) zum Umkippen eines 16stöckigen Gebäudes und zu schweren Schäden an zwei benachbarten analogen Gebäuden.

Durchstanzen

Die Einleitung grosser Stützenkopfmomente in Flachdecken bewirkt in der Decke grosse Schubspannungen, die sich jenen aus den vertikalen Lasten der Decke überlagern. Infolge der alternierenden Biegemomente können in der Decke rund um die Stütze breite Risse entstehen (Bild 19), die den Widerstand gegen Durchstanzen stark vermindern. Im Bild 20 sind stehengebliebene Stützen zu erkennen, welche die Decken durchgestanzt haben.

Zusammenstoss benachbarter Gebäude

Bauwerke mit unterschiedlichen Eigenfrequenzen werden durch ein Erdbeben zu unterschiedlichen Bewegungen angeregt. Die resultierenden Auslenkungen können durch den Effekt der Boden-Struktur-Interaktion noch vergrössert werden. Bei ungenügendem Abstand schlagen zwei benachbarte, entgegengesetzt schwingende Gebäude gegeneinander. In zahlreichen Fällen führte dies zu lokalen Schäden (Bild 21), vereinzelt verursachte dies auch den Einsturz eines Gebäudes.

Fundationsversagen

Im schlechten Baugrund im Zentrum der Stadt (Bild 6) bereitet bereits das Abtragen der statischen Lasten Probleme. Durch die Grundwasserentnahme aus den wasserführenden Sedimentschichten traten seit etwa 1950 in der oberen Tonschicht Setzungen im Meterbereich auf. Bauwerke, die bis auf die im Bild 6 eingezeichnete tragfähige Sandschicht fundiert sind, können die Setzung der Umgebung nicht mitmachen, sondern scheinen aus dem Boden herauszuwachsen. Um dies zu vermeiden, wurden sehr viele Gebäude auf schwimmenden Pfählen fundiert. Solche Reibungspfähle zeigten aber in diesem strukturempfindlichen Boden ein sehr schlechtes Verhalten unter dynamischer Belastung. Einige der auf diese Art fundierten Häuser haben während oder unmittelbar nach dem Erdbeben Setzungen von mehreren Dezimetern erlitten. Meist war damit auch eine gewisse Verkippung des Bauwerks verbunden. Im Fall von Bild 22 bzw. von Bild 23 führte das Versagen der Pfähle sogar zum Umkippen des ganzen Gebäudes.

Einsturz der obersten Stockwerke

Bei einer grossen Zahl von Gebäuden stürzten die obersten Stockwerke ein, während die unteren zwar stark beschädigt wurden, jedoch nicht total versagten (Bild 24). Solche Teileinstürze könnten durch folgende Gegebenheiten verursacht sein: Starke Reduktion des horizontalen Tragwiderstandes in den oberen Stockwerken (Weglassen der Aussteifung); Anregung der höheren Eigenschwingungen des Gebäudes; Überlastung der obersten Stockwerke durch Warenlager oder Archive, so dass der Widerstand der obersten Tragelemente bereits durch die statische Last voll ausgenützt war.

Adressen der Verfasser: Dr. sc. techn. *Walter J. Ammann*, dipl. Bauing. ETH/SIA, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich, und SKS Ingenieure AG, Goldauerstr. 47, 8006 Zürich; *Rudolf F. Vogt*, dipl. Bauing. ETH, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich; Dr. sc. techn. *John P. Wolf*, dipl. Bauing. ETH/SIA, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, Postfach, 8022 Zürich.

Den Aufenthalt der Gruppe in Mexiko ermöglichte ein Beitrag des Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung.

Bei den Schadenerhebungen in Mexico City wurde sie von Prof. *Emilio Rosenblueth* und seinen Mitarbeitern vom Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de Mexico (UNAM), sowie von der Schweizer Botschaft unterstützt.

Literatur

[1] *Singh, S.K., Astiz, L., Havskov, J.:* Seismic Gaps and Recurrence Periods of Large Earthquakes along the Mexican Subduction Zone: A Reexamination. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 71, No 9, June 1981, pp. 827–843

[2] *Singh, S.K., Rodriguez, M., Espindola, J.M.:* A Catalog of Shallow Earthquakes of Mexico from 1900 to 1981. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 74, No 1, Febr. 1984, pp. 267–279

[3] *Forell, N.F., Nicoletti, J.P.:* Mexico Earthquakes: Oaxaca 29 Nov. 1978, Guerrero 14 March, 1979. AN EERI Reconnaissance Report, EERI, Telegraph Av., Berkeley, Oct. 1980

[4] *Ohtake, M., Matumoto, T., Latham, G.V.:* Seismicity Gap near Oaxaca, Southern Mexico, as a Probable Precursor to a Large Earthquake. Pageoph, Vol. 115, 1977

[5] *Quaas, R., Prince, J., Oñate, M., Almora, D., Pérez, P., Velasco, J.M., Medina, S., Carrera, R., Vázquez, R., Anderson, J.G., Bodin, P., Brune, J.N.:* The Michoacan-Guerrero, Mexico Earthquake of September 1985: Preliminary Description of the Strong Motion Accelerographic Array. Preliminary Report GAA-1B, IdeG, UNAM, Oct. 11, 1985

[6] Mexican Quake Magnitude Update. EERI Newsletter, Vol. 19, No 12, Dec. 1985, p. 3

[7] El sismo del 19 Septiembre de 1985: Informe y evaluación preliminar. Instituto de Geofisica (IdeG) y Instituto de Ingeniería (IdeI), Universidad Nacional Autónoma de Mexico (UNAM), 25 Sept. 1985

[8] Strong Motion Earthquake Instrument Arrays. Proc. Int. Workshop on Strong Motion Earthquake Instrument Arrays, Hawaii, Ed. *W.D. Iwan*, May 1978

[9] *Anderson, J.G., Brune, J.N., Bodin, P., Prince, J., Quaas, R., Oñate, M., Almora, D., Pérez, P.:* Preliminary Presentation of Accelerogram Data from the Guerrero Strong Motion Accelerograph Array. Michoacan-Guerrero, Mexico, Earthquakes of 19 and 21 September, 1985. Preliminary Report GAA-1A, IdeG, UNAM, Oct. 10, 1985

[10] Effects of the September 19, 1985 Earthquake in the Buildings of Mexico City. Preliminary Report, Instituto de Ingeniería, UNAM, Oct. 1985

[11] *Rosenblueth, E.:* The Earthquake of 28 July 1957 in Mexico City. 2nd World Conference on Earthquake Engineering, Tokyo and Kyoto, Japan 1969, pp. 359 ff

[12] *Rosenblueth, E.:* Seismic Design Requirements in a Mexican 1976 Code. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 7, No 1, Jan.–Febr. 1979, pp. 49–61

[13] The Constructions Regulations for the Federal District of Mexico – 1977, in «Earthquake Resistant Regulations – A World List – 1984». International Association for Earthquake Engineering, Tokyo, Kyoto, July 1984

[14] *Prince, J., Quaas, R., Mena, E., Alcántara, L., Almora, D., Barreto, A., Carmona, C., Carrera, R., Chávez, G., Delgado, R., Medina, S., Oñate, M.A., Pérez, P., A. Torres, M., Vázquez, R., Velasco, J.M.:* Espectros de las componentes horizontales registradas por los acelerografos digitales de Mexico D.F., Sismo del 19 de Septiembre de 1985. Acelerogramas en Viveros y en Tacubaya. Informe IPS-10 D, Instituto de Ingeniería, UNAM, Oct. 1, 1985

[15] *Quaas, R., Prince, J., Mena, E., Torres, M., Alcántara, L., Pérez, A.P., Almora, D., Chávez, G., Delgado, R., Carmona, C., Oñate, M.A.:* Los dos acelerogramas del sismo de Septiembre 19 de 1985, obtenidos en la Central de Abastos en Mexico D.F. Informe IPS-10C, Instituto de Ingeniería, UNAM, Sept. 23, 1985

[16] *Prince, J., Quaas, R., Mena, E., Carmona, C., Almora, D., Pérez, A.P., Chávez, G., Alcántara, L., Delgado, R.:* Acelerogramas en Ciudad Universitaria del Sismo del 19 de Septiembre de 1985. Informe IPS-10A, Instituto de Ingeniería, UNAM, Sept. 20, 1985

[17] *Mena, E., Quaas, R., Prince, J., Almora, D., Pérez, A.P., Carmona, C., Torres, M., Delgado, R., Chávez, G., Alcántara, L., Oñate, M.A.* Acelerograma en el Centro SCOP de la Secretaria de Comunicaciónes y Transportes. Sismo del 19 de Septiembre de 1985. Informe IPS-10B, Instituto de Ingeniería, UNAM, Sept. 21, 1985

[18] Comportamiento de las presas El Infiernillo y La Villita, incluido el temblor de marzo 14, 1979. Comisión Federal de Electricidad, Mexico, Febr. 1980

[19] *Scholl, R., Bolt, B., Hays, W., Sozen, M., Whitman, R., Wyllie, L.:* Preliminary Evaluation of research Opportunities in Connection with the March 3, 1985 Earthquake in Chile. Earthquake Engineering Research Institute (Draft, July 1985)

[20] Modificaciones de emergencia al reglamento de construcciones para el Distrito Federal, Instituto de Ingeniería, UNAM, Oct. 1985

[21] SIA: Vernehmlassungsentwurf der SIA-Norm 160 (SIA E160): Einwirkungen auf Tragwerke. Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, Januar 1985