

Bundesamt für Luftschutztruppen

Das Loma Prieta Erdbeben vom 17. Oktober 1989

Daniel Schuler



Bundesamt für Luftschutztruppen

Das Loma Prieta Erdbeben vom 17. Oktober 1989

Daniel Schuler

Adresse des Verfassers:

Daniel Schuler, Bürkel Baumann Schuler, Ingenieure und Planer AG,
Neuwiesenstrasse 2, 8400 Winterthur

Bern, August 1990

Vorwort

Neben der Möglichkeit zur humanitären Hilfe bieten die im Rahmen der Rettungskette durchgeführten Einsätze der Ls Trp einmalige Gelegenheiten, Erfahrungen bezüglich der Organisation und der Ausrüstung der Ls Trp zu sammeln. Für die optimale Vorbereitung der Ls Trp auf ihre Aufgaben ist es notwendig, von solchen Erfahrungen zu profitieren. Es gilt für mich der Grundsatz, dass nur derjenige, der über Erfahrungen und Informationen verfügt, zu überzeugen vermag und in der Lage ist Entscheide zu treffen. Die Erkenntnisse, gezogen aus Berichterstattungen von Katastropheneinsätzen, haben deshalb für mich eine grosse Bedeutung.

Die bisherigen Erfahrungen haben gezeigt, dass eine umfassende und objektive Berichterstattung schwierig ist, wenn das Geschehen im Katastrophengebiet und die Aktionen der Rettungsorganisationen nicht von einem von Führungs- und Rettungsaufgaben unbelasteten Berichterstatter beobachtet werden können. Das Erdbeben, welches sich kurz vor der Astt U 89, am 17. Oktober 1989 in der Gegend von San Francisco ereignete, bot die Gelegenheit, erste Erfahrungen für ein neues Berichterstattungskonzept zu sammeln. Der in meinem Astt eingeteilte D. Schuler fragte mich an, ob er kurzfristig von der Astt U 89 dispensiert werden könne, um im Zusammenhang mit seiner beruflichen Tätigkeit als Teilhaber eines auf Schutzbauten spezialisierten Ingenieurbüros die Auswirkungen des Erdstosses auf Bauten zu untersuchen. Ich habe ihn dabei gebeten mir auch seine Eindrücke aus der Sicht eines luftschutzn-technisch unbelasteten Beobachters bekanntzugeben.

Im Erdbebengebiet hatte D. Schuler die Gelegenheit sich als Experte "anheuern" zu lassen, um Zugang zu den hermetisch abgesperrten Schadenplätzen zu erhalten. Sein dabei entstandener praxisorientierter Bericht enthält so viele interessante Aspekte, dass ich mich entschlossen habe, ihn als Sonderdruck für die mit dem BALST zusammenarbeitenden Dienst- und Kommandostellen sowie für die Instuktoren der Ls Trp herauszugeben. Ich bin überzeugt, dass dadurch Denkanstösse für unsere Einsatzvorbereitung vermittelt werden.

Bern, August 1990



Waffenchef Ls Trp



Brigadier P. Bieder



Daniel Schuler

Inhaltsverzeichnis

| | Seite |
|---|-----------|
| Zusammenfassung | 1 |
| 1 Einleitung | 3 |
| 1.1 Das Erdbeben | 3 |
| 1.2 Magnitude, Häufigkeit und Schadenwirkung von Erdbeben | 5 |
| 2 Schadenplätze | 7 |
| 2.1 San Francisco | 7 |
| 2.2 Oakland | 9 |
| 2.3 Santa Cruz und Watsonville | 11 |
| 3 Schadenbilder bei Hochbauten | 13 |
| 3.1 Uebersicht über die Bebauung | 13 |
| 3.2 Holzbauten | 14 |
| 3.3 Backsteinbauten | 20 |
| 3.4 Stahl- und Stahlbetonbauten | 25 |
| 3.5 Schäden an Einbauten | 27 |
| 3.6 Schadenbilder - Zusammenfassung | 30 |
| 4 Schäden an Verkehrsanlagen | 31 |
| 4.1 Uebersicht | 31 |
| 4.2 Interstate Freeway I-880 | 34 |

| | |
|---|-----------|
| 5 Versorgung und Infrastruktur | 38 |
| 5.1 Wasserversorgung und Abwasserentsorgung | 38 |
| 5.2 Elektrizitätsversorgung | 42 |
| 5.3 Gasversorgung | 43 |
| 5.4 Medizinische Versorgung | 44 |
| 5.5 Kommunikationseinrichtungen | 45 |
| 5.6 Industrielle Anlagen | 47 |
| 6 Rettungs- und Sicherungsarbeiten | 48 |
| 6.1 Allgemeines | 48 |
| 6.2 Organisation der Schadenplätze | 55 |
| 6.3 Einsatz am Interstate Freeway I-880 | 60 |
| 6.4 Brandbekämpfung | 69 |
| 6.5 Einsatz von Armeeeinheiten und -mitteln | 70 |
| 7 Schadenbeurteilung von Bauten | 71 |
| 7.1 Uebersicht | 71 |
| 7.2 Beurteilungskriterien | 72 |
| 7.3 Pacific Garden Mall in Santa Cruz | 75 |
| 8 Erkenntnisse und Lehren | 81 |
| 8.1 Erdbebenwiderstandsfähiges Bauen | 81 |
| 8.2 Ereignisszenarien | 82 |
| 8.3 Erkenntnisse für Führungsstäbe | 84 |

Zusammenfassung

Der Besuch der wichtigsten Schadenplätze in Nordkalifornien kurz nach dem Erdbeben vom 17. Oktober 1989 hat aufschlussreiche Informationen zum Ablauf der Rettungsarbeiten, zu den Schäden an Bauten und zur Versorgungssituation gebracht. Es wurde aber klar, dass eine umfassende Berichterstattung nur durch eine sehr rasch eingeleitete Informationsbeschaffung möglich ist. Im kalifornischen Erdbebengebiet, wo der Verfasser zwei Tage nach dem Ereignis eintraf, waren die Massnahmen zur Katastrophenbewältigung ausserordentlich schnell angelaufen, und neben den Rettungsaktivitäten waren schon an zahlreichen Schadenplätzen Instandstellungsarbeiten im Gang. Auch wenn die Bebauung im Bebengebiet nicht überall mit derjenigen in der Schweiz vergleichbar ist, so sind der Lebensstandard und die Infrastruktur ähnlich und es bestehen vor allem hinsichtlich den Hilfeleistungen nach der Katastrophe Parallelen zu unseren Verhältnissen. Der enorme zur Katastrophenbewältigung notwendige organisatorische Aufwand sowie die grosse Zahl der eingesetzten personellen und technischen Mittel muss dabei erwähnt werden.

Die schweren Schäden an Hochbauten waren vorwiegend auf ältere wenig erdbebenwiderstandsfähige Bauten beschränkt. Die angesichts der latenten Erdbebengefährdung in Kalifornien zu berücksichtigenden Bauvorschriften, nach welchen neue Bauten bemessen werden, haben sich bei diesem Ereignis als zweckmässig erwiesen. Von besonderer Bedeutung sind die auch bei neueren Gebäuden aufgetretenen ausgedehnten Schäden an den nicht zum Tragwerk gehörenden Einbauten und am Mobiliar sowie die Versorgungs- und Betriebsunterbrüche, die massgeblich zu der gesamthaft grossen Schadenssumme beitrugen. Längerdauernde Unterbrüche in der Wasser-, Strom- und Gasversorgung waren aber nur in den lokal begrenzten Schadengebieten zu bewältigen. Sie stellten keine ernsthaften Probleme für die Bevölkerung dar. Der Versorgungsausfall wegen des beschädigten Wasserversorgungsnetzes wurde örtlich durch eine gut funktionierende Notversorgung überbrückt. Die erwarteten Probleme infolge der Schäden am Wasserversorgungsnetz traten jedoch bei der Brandbekämpfung auf. Es

muss als Glücksfall gewertet werden, dass es nur zu verhältnismässig wenigen Brandausbrüchen kam und dass die Brände vergleichsweise rasch unter Kontrolle gebracht werden konnten.

Auch wenn die Schadenmechanismen im nachhinein offensichtlich erscheinen, besteht eine wichtige Erkenntnis darin, dass die konkreten Auswirkungen eines Erdbebens nur schwer vorherzusagen sind. Obwohl schon 1971 beim San Fernando Beben viele Autobahnbrücken einstürzten, ist der Einsturz des Interstate Freeways 880 in Oakland das erste Versagen eines Brückentragwerks dieser Bauweise. Ebenso erstaunlich sind die lokal sehr unterschiedlich grossen Schäden, wie sie speziell in den fast 100 Kilometer vom Epizentrum entfernten Städten San Francisco und Oakland auftraten. Die Einflüsse des Untergrundes sind seit langem bekannt. Sie haben bei diesem Beben eine dominierende Rolle gespielt.

Für Führungsstäbe muss aus diesen Erfahrungen die Erkenntnis gezogen werden, dass die Massnahmen zur Katastrophenbewältigung nicht zu stark auf festgelegte allenfalls unsichere Ereignisszenarien abzustimmen sind. Die zu planenden Vorsorgemassnahmen sollten vielmehr möglichst breit abgestützt werden. Für die Bewältigung von Katastrophen ist es notwendig, dass auf umfassende Mittel und speziell auch auf solche von privater Seite zurückgegriffen werden kann. Das Beispiel von den Rettungsarbeiten an den Trümmern der eingestürzten Hochstrassenbrücke in Oakland macht diese Notwendigkeit deutlich.

1 Einleitung

1.1 Das Erdbeben

Am 17. Oktober 1989 um 17.04 Ortszeit erschütterte ein Erdbeben der Magnitude $M = 7,1$ das Gebiet der Bucht von San Francisco (Bild 1). Das rund 15 Sekunden dauernde Beben war damit das drittstärkste in den U.S.A. in diesem Jahrhundert. Stärker waren nur das grosse Beben von 1906, welches San Francisco vor allem durch die nachfolgenden Brände in Schutt und Asche legte und rund 700 Opfer forderte, sowie das Beben von Alaska 1964, welches mit einer der höchsten je gemessenen Magnituden von $M = 8,5$ registriert wurde.

Das Epizentrum des Bebens lag rund 80 Kilometer südlich von San Francisco in den Bergen zwischen den Städten Santa Cruz und San Jose. Nach dieser Region wurde das Beben von den Seismologen Loma Prieta Beben benannt. Stark vom Beben betroffen wurde der mehr als fünf Millionen Einwohner zählende Ballungsraum von San Francisco und Oakland sowie die weiter südlich gelegene Gegend unter anderem mit den Städten San Jose, Santa Cruz, und Watsonville. Die Erschütterungen wurden aber noch 400 Kilometer nordöstlich in Reno (Nevada) und in Los Angeles, 750 Kilometer südlich, verspürt.

Unerwartet kam das Erdbeben vom 17. Oktober 1989 nicht. Es reiht sich in eine lange Liste von schwächeren und stärkeren Bebenereignissen an der Westküste des amerikanischen Kontinents ein, welche durch eine Bruchzone ausgelöst werden, die sich über 1200 km entlang der Pazifikküste erstreckt. Entlang dieser Bruchzone verschiebt sich die Pazifische Erdkrustenplatte gegenüber der Nordamerikanischen Platte jährlich um rund einen Zentimeter nach Norden. Das Epizentrum des Loma Prieta Bebens lag bei der berühmtesten und längsten von vier grossen Verwerfungen im Norden Kaliforniens - der San Andreas Verwerfung.

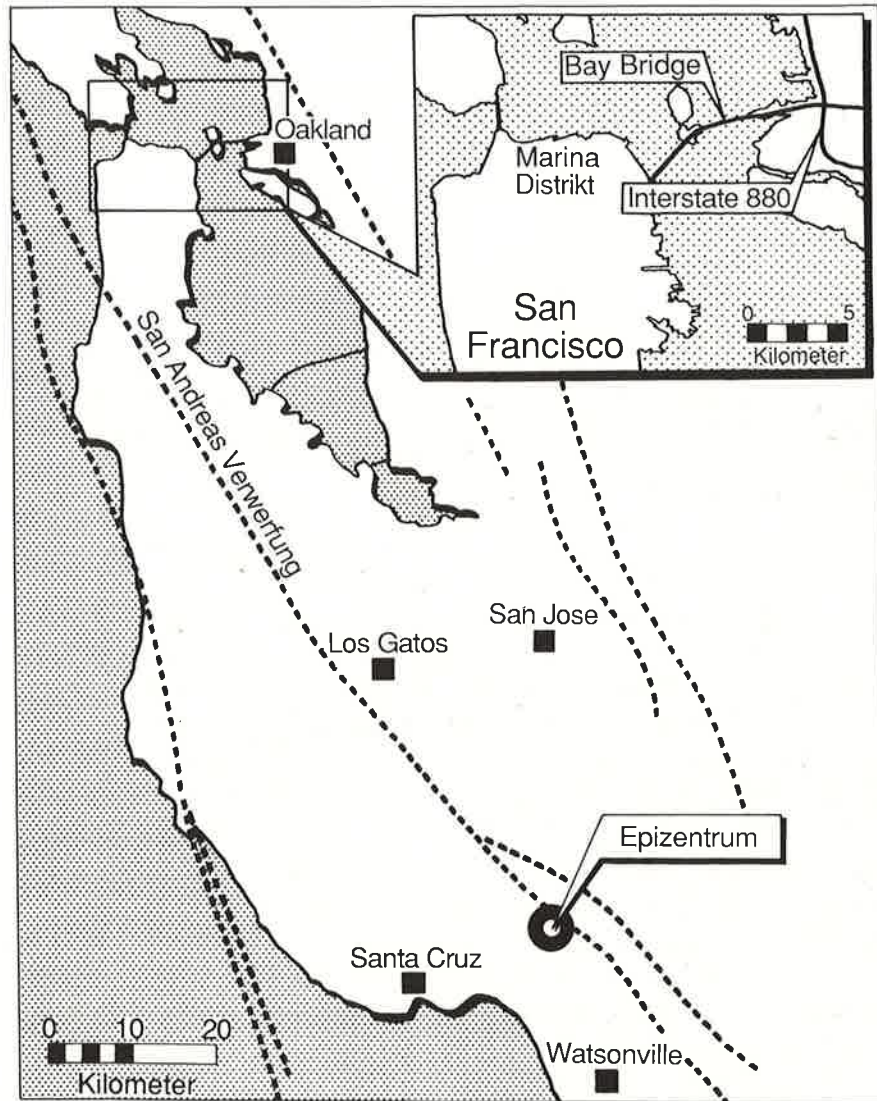


Bild 1, Das Erdbebengebiet und die wichtigsten Schadenplätze

1.2 Magnitude, Häufigkeit und Schadenwirkung von Erdbeben

Die Magnitude eines Erdbebens ist ein Mass für die beim Beben freigesetzte Energie*. Bei dem mit Magnitude $M = 7,1$ registrierten Beben vom 17. Oktober 1989 wurde über 60-mal weniger Energie freigesetzt als beim grossen Beben 1906, welches mit einer Magnitude von $M = 8,3$ registriert wurde. Bei der oft zitierten Richterskala unterscheiden Seismologen differenzierter zwischen Magnituden, welche aus den Erdbebenwellen an der Erdoberfläche (Oberflächenwellen) resultieren, und solchen, welche die Stärke der Wellen im Erdinnern (Körperwellen) beschreiben. Richter's Originalskala war ein Mass für die lokale Magnitude. Bei der für das Loma Prieta Beben gemachten Angabe von $M = 7,1$ handelt es sich um die Magnitude aus den Oberflächenwellen, welche im Erdbebeningenieurwesen die gebräuchliche Grössenbeschreibung für Schadenbeben ist.

Aus dem Vergleich mit vergangenen Bebenereignissen geht hervor, dass die Schadenwirkung eines Erdbebens keineswegs nur von seiner Magnitude abhängig ist (Bild 2). Während das Loma Prieta Beben 67 Menschenleben forderte, wird die Zahl der Opfer beim mit einer ähnlichen Magnitude registrierten Beben in Armenien 1988 mit 24'000 angegeben, inoffiziell aber auf gegen 50'000 geschätzt. Erdbeben mit dieser Stärke werden weltweit etwa 30-mal im Jahr registriert. Beben wie dasjenige von El Salvador 1986, bei welchem rund 200-mal weniger Energie freigesetzt wurde, das aber trotzdem 1000 Todesopfer forderte und zu schweren Schäden führte, treten demgegenüber etwa 1000-mal jährlich auf.

* Zusammenhang zwischen Magnitude M und Energiefreisetzung E in [erg]:
 $\log E = 11,8 + 1,5 \cdot M$ (1000 T = 1 kT TNT entsprechen $4,2 \cdot 10^{19}$ erg)

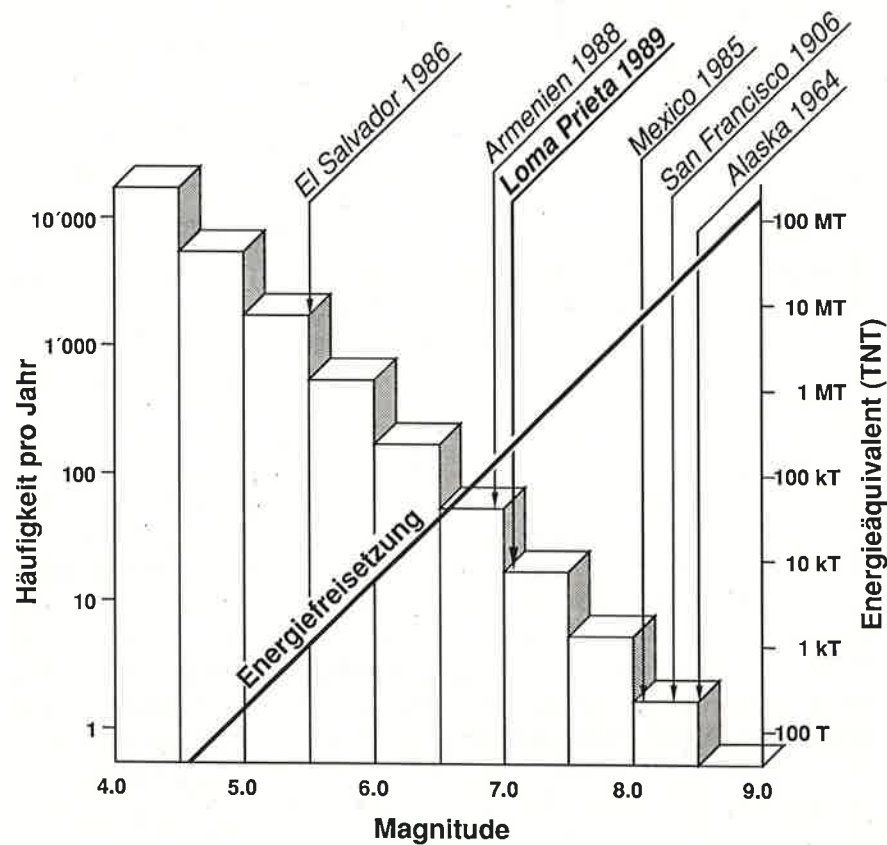


Bild 2, Häufigkeit und Energiefreisetzung von Erdbeben in Relation zur Magnitude. Der Vergleich des Loma Prieta Bebens mit anderen Schadenbeben zeigt, dass die Wirkungen eines Erdbebens nicht nur von dessen Stärke abhängig sind

2 Schadenplätze

In der Zeit vom 19. bis 25. Oktober 1989 besuchte der Autor die wichtigsten Schadenplätze im Erdbebengebiet. Auffallend war, dass grössere Erdbebenschäden nur sehr lokal anzutreffen waren und sich das Leben ausserhalb dieser Schadenplätze - speziell aber auch in den Grossstädten San Francisco und Oakland - schon zwei bis drei Tage nach dem Beben wieder weitgehend normalisiert hatte.

2.1 San Francisco

In San Francisco wurde das im Norden der Halbinsel gelegene Quartier Marina schwer betroffen. Dieses Wohnquartier, welches nach dem grossen Beben von 1906 entstand, ist geprägt von zwei- bis fünfgeschossigen Holzbauten. In dem 6 auf 6 Blocks (ca. 600 x 800 Meter) grossen, zwischen Baker- und Fillmore-Street und Chestnut-Street und Marina Boulevard gelegenen Schadengebiet wurden über 20 Bauten vollständig zerstört oder so schwer beschädigt, dass sie abgerissen werden mussten. Das gesamte Schadengebiet war nach dem Beben von der Polizei vollständig abgesperrt worden.

Auf dem übrigen Stadtgebiet traten mit Ausnahme der Hafengebiete nur vereinzelte Schäden an Tragwerken von Hochbauten auf. Die in den letzten 20 Jahren gebauten Hochhäuser im Geschäftszentrum von San Francisco überstanden das Erdbeben praktisch alle schadlos. Häufig waren hingegen Schäden an nicht zum Tragwerk gehörenden Einbauten. Vor allem an Gebäuden entlang der berühmten Market-Street waren solche Erdbebenschäden, wie beispielsweise abgebröckelter Verputz, zerbrochene Fensterscheiben oder heruntergefallene Deckenverkleidungen häufig. Da nicht alle Schäden in den ersten Tagen nach dem Beben sofort beurteilt werden konnten, blieben einige Bauten für die Ueberprüfung der Tragsicherheit vorübergehend geschlossen. Stellenweise waren Trottoirabschnitte gesperrt, um Passanten nicht einer Gefährdung durch herabfallende Fassadenteile auszusetzen.

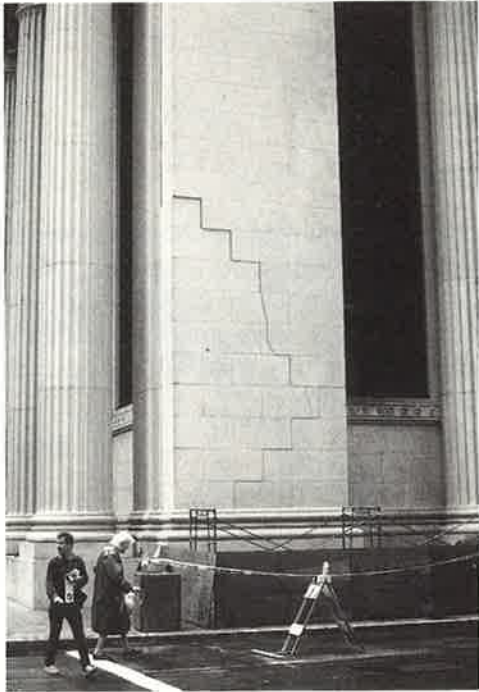


Bild 3, Erdbebenschaden mit Absperrung im Zentrum von San Francisco



Bild 4, Durch das Erdbeben schwer beschädigtes Mauerwerksgebäude in mitten unbeschädigter Hochhäuser im Finanzviertel von San Francisco

Im Gebiet der östlichen Hafenanlagen in San Francisco wurden neben vereinzelt älteren Hochbauten auch einige Hochstrassenbrücken des Autobahnnetzes schwer beschädigt und in der Folge geschlossen. Die doppelstöckige Bay Bridge, welche San Francisco mit Oakland verbindet, war nach dem Erdbeben unpassierbar. Infolge der horizontalen rund 20 cm betragenden Verschiebung des östlichen Brückenabschnitts rutschten während des Bebens zwei der übereinander liegenden 15 m langen Fahrbahnplatten von den nur rund 12 cm breiten Auflagern und fielen in die Tiefe. Die San Francisco-Oakland Bay Bridge, welche die wichtigste Strassenverkehrsverbindung zum Stadtzentrum von San Francisco darstellt, war in der Folge dieses Einsturzes für mehrere Wochen gesperrt. Durch den Absturz der Fahrbahnplatten wurde zudem eine über die Brücke führende Transportwasserleitung und mehrere Leitungen der Elektrizitätsversorgung sowie Fernmeldeleitungen unterbrochen.

2.2 Oakland

Das Zentrum des öffentlichen Interesses nach dem Erdbeben lag in Oakland, wo der Einsturz eines Teilstücks des Interstate Freeways I-880 etwa 60 Opfer forderte. Beim zerstörten Autobahnteilstück handelt es sich um eine rund 1,5 km lange in Nord-Süd Richtung verlaufende doppelstöckige Brückenkonstruktion mit je vier Fahrstreifen. Infolge der schwierigen Trümmersituation waren die Rettungsarbeiten an diesem Schadenplatz auch mehrere Tage nach dem Erdbeben noch im Gang.

Im Zentrum von Oakland traten vereinzelt Schäden an grösseren Hochbauten auf. Ein Flügel des historischen ehemaligen Hotels Oakland, eines 7-geschossigen Backsteinbaus, erlitt schwere Schäden und musste geschlossen werden (Bild 5). Das vor sieben Jahren erbaute Trans Pacific Center, ein modernes Bürogebäude der AT&T (American Telephone and Telegraph) Company musste vollständig geräumt werden, da das Beben vor allem an den nicht zum Tragwerk gehörenden Einbauten schwere Schäden verursachte (Bild 6).



Bild 5, Hotel Oakland, ein aus der Jahrhundertwende stammender als Altersheim genutzter Backsteinbau



Bild 6, Trans Pacific Center in Oakland mit Schäden an den nicht zum Tragwerk gehörenden Einbauten wie Verglasungen und Deckenverkleidungen

2.3 Santa Cruz und Watsonville

Im weitem Epizentralgebiet, zwanzig bzw. dreissig Kilometer südlich des Epizentrums, gehörten die beiden Kleinstädte Santa Cruz mit 35'000 und Watsonville mit 25'000 Einwohnern zu den am schwersten betroffenen Ortschaften der Region. Die Einwohner dieser Städte leben mehrheitlich in eingeschossigen Holzbauten (Bild 7), welche durch das Beben zum Teil schwer beschädigt wurden. Dank dem Umstand, dass sich Holzkonstruktionen bei Erdbebenbelastungen ausserordentlich günstig verhalten, waren kaum Totaleinstürze festzustellen. Die Erdbebenopfer in diesen Städten waren in den Stadtzentren zu beklagen, wo beim Einsturz mehrerer Backsteinbauten 6 Menschen getötet wurden. Dabei zeigte sich einmal mehr die grosse Erdbebengefährdung solcher Bauten. Die Hauptschadenplätze, wie die Pacific Garden Mall, eine Einkaufsstrasse in Santa Cruz wurden vollständig abgesperrt.

In den umliegenden Regionen findet sich die gleiche Bebauungsstruktur mit meist eingeschossigen Holzbauten und die Schadenbilder waren die selben wie in den Städten. Vor allem in den steilen und dicht bewaldeten Bergen bei Santa Cruz waren solche Häuser aber schwer zu finden. Zudem waren die Zufahrtswege im nahen Epizentralgebiet durch Rutsche (Bild 8) oft schwer beschädigt oder verschüttet. Der durch die Berge führende Abschnitt des State Highways 17, welcher Santa Cruz mit dem übrigen kalifornischen Autobahnnetz verbindet, war mehrere Tage nach dem Erdbeben noch unpassierbar.



Bild 7, Typisches in Holzbauweise erstelltes Wohnhaus in der Gegend von Santa Cruz



Bild 8, Durch das Erdbeben ausgelöste Rutschung in den Bergen von Santa Cruz

3 Schadenbilder bei Hochbauten

3.1 Uebersicht über die Bebauung

Die Bauweise der Hochbauten im Erdbebengebiet ist typisch für die Westküste der U.S.A. Neuere Bauten mit mehr als vier Stockwerken sind praktisch nur in den Zentren der Grossstädte San Francisco und Oakland zu finden. Diese meist als Bürobauten genutzten Gebäude sind als Stahlbeton-, meistens aber als Stahlbauten ausgeführt. Bei den im Bau befindlichen Bauten handelte es sich ausschliesslich um Stahlbauten.

Neben den neuen in den letzten 20 Jahren erstellten Bauten sind ältere Backsteinbauten sehr verbreitet. Dabei handelt es sich bei den grösseren oftmals fünf und mehr Stockwerke hohen Gebäuden in den Grossstädten um Bauten mit Stahltragwerken, welche mit Backsteinwänden ausgesteift sind. Nach der Jahrhundertwende erstellte kleinere Bauten mit unverstärkten Tragwänden aus Backstein sowie Dach- und Deckenkonstruktionen aus Holz sind in Kleinstädten wie Santa Cruz häufig anzutreffen. Diese Bauweise war in ganz Kalifornien bis 1930, als erste Baubestimmungen erlassen wurden, üblich.

Beim überwiegenden Teil der Wohnbauten im Erdbebengebiet handelt es sich um kleine ein-, allenfalls zweigeschossige Holzbauten. Diese viktorianischen Häuser, welche in den Ortschaften nahe beim Epizentrum sehr häufig sind, haben typischerweise keine Kellergeschosse und sind auf Holzstützen fundiert, so dass die Hinterlüftung des Fussbodens gewährleistet ist.

Ausserhalb der Geschäftszentren sind Holzbauten auch in den Städten San Francisco und Oakland häufig. Das nach dem grossen Beben 1906 entstandene schwer betroffene Wohnquartier Marina in San Francisco ist von meist drei- oder vierstöckigen ebenfalls in dieser Bauweise erstellten Gebäuden geprägt.

3.2 Holzbauten

Im Epizentralgebiet waren Erdbebenschäden an Holzbauten weit verbreitet. Die festgestellten Schäden an den älteren Wohnhäusern in Santa Cruz, Watsonville und Los Gatos zeigten alle ein sehr einheitliches Schadenbild, welches mit der Konstruktion dieser Bauten zusammenhängt. Aufgrund der ungenügenden Steifigkeit in horizontaler Richtung sowie fehlender Verankerungen versagten in vielen Fällen die durchschnittlich einen Meter hohen Stützenkonstruktionen zwischen den Gebäudefundationen und den Erdgeschossböden (Bild 9). Die dabei resultierenden seitlichen Gebäudeverschiebungen betrug zum Teil mehr als einen Meter, wenn diese Stützkonstruktionen ihre Stabilität verloren und ganz versagten (Bild 10). Diese Versagensart war bei den über 50-jährigen Bauten sehr häufig. In Watsonville versagten in einzelnen Strassenzügen nahezu alle Bauten auf diese Weise. In der Myrtle Street in Santa Cruz wies rund ein Viertel der Holzbauten solche Schäden auf.

Vor allem in Santa Cruz war die lokal auf einzelne Strassen begrenzte Konzentration der Erdbebenschäden auffällig. Diese Gebiete befinden sich zwischen einer Lagune, dem Meer und dem San Lorenzo River. Es kann daraus mit grosser Sicherheit geschlossen werden, dass neben den ungenügend dimensionierten Gebäudefundationen auch die ungünstigen Baugrundbedingungen in diesem Gebiet für die Schäden verantwortlich waren.

Erstaunlich war, dass die Häuser den Fall von den Stützen oftmals praktisch unbeschädigt überstanden, so dass in vielen Fällen nicht einmal Glasbruch entstand (Bild 10). Grundsätzlich bestätigte sich damit, dass Holzkonstruktionen infolge ihres zähen Materialverhaltens eine sehr gute Erdbebenwiderstandsfähigkeit aufweisen und Total-einstürze sehr unwahrscheinlich sind. Menschenleben wurden deshalb in diesen Bauten auch kaum gefährdet.

Weitere typische Schadenbilder der viktorianischen Holzhäuser waren aufgrund von Gebäudeverschiebungen eingestürzte Vordächer von Eingängen und Veranden (Bild 11). Häufige Schadenquellen stellten auch gemauerte Cheminées und Kamine dar, welche wegen des gegenüber Holz wesentlich spröderen Materialverhaltens auch bei sonst unbeschädigten Bauten anzutreffen waren (Bild 12).



Bild 9, Beschädigte Stützenfundation eines Wohnhauses und Sicherungsmassnahme (Myrtle Street, Santa Cruz)



Bild 10; Beim vollständigen Versagen der Stützen betrug die seitlichen Gebäudeverschiebungen oftmals weit über einen Meter. Man beachte die Eingangstreppe vorne rechts (Myrtle Street, Santa Cruz)



Bild 11, Infolge der seitlichen Gebäudeverschiebung eingestürztes Vordach (Watsonville)



Bild 12, Einstürze von gemauerten Kaminen sind überaus häufige Erdbebenschäden

Rund 100 Kilometer vom Epizentrum entfernt kam es im Marina Quartier in San Francisco zur grössten Konzentration von Hochbauschäden. Es handelt sich dabei um ein Gebiet, welches zu einem grossen Teil um 1915 für die Panama Pazifik Ausstellung aufgefüllt wurde. Diese Auffüllung erwies sich beim Erdbeben als ungünstig.

Die Ein- oder Mehrfamilienhäuser im Marina Quartier sind Holzbauten, welche in der Zeit um 1920 erstellt wurden (Bild 13). Infolge der grossen Bodenbewegungen in diesem Gebiet (Bild 14) kam es beim Grossteil der Gebäude zu leichten Schäden, wie beispielsweise Risse im Verputz. Schwer betroffen wurden vor allem aber die drei- und vierstöckigen Bauten. Als Gründe für die auffallende lokale Konzentration der Erdbebenschäden und die Einstürze einiger grösserer Bauten sind die ungünstigen Baugrundbedingungen sowie spezielle Gegebenheiten der Baukonstruktion zu nennen.

Während in der Gegend von Santa Cruz nahe dem Epizentrum des Bebens horizontale Bodenbeschleunigungen von rund 0,6 g gemessen wurden, lagen die Beschleunigungswerte in San Francisco und Oakland bei felsigen und allgemein festen Böden in der Grössenordnung von 0,1 g. Demgegenüber waren die Spitzenbodenbeschleunigungen in den gleichen Gebieten auf den weichen Böden, wie sie am Rande der Bucht von San Francisco zum Teil vorhanden sind, 2- bis 3-mal höher¹⁾. Diese Verstärkung der Bodenbewegungen ist mit ein Grund für die lokale Konzentration von Schäden im Marina Quartier.

Vor allem höhere drei- oder vierstöckige Gebäude wurden durch das Beben stark in ihren Grundfrequenzen angeregt. Wegen den bei diesen Bauten meistens vorhandenen Garagen weisen die Erdgeschosse zudem nur eine geringe horizontale Steifigkeit auf, da die Seitenwände durch die Einfahrten an vielen Stellen durchbrochen sind (Bild 15). Diese gegenüber den Obergeschossen wesentlich "weicheren" Erdgeschosse (soft storey) versagten teilweise ganz. Viele der eingestürzten Bauten waren zudem Eckhäuser (Bild 16), bei denen die Erdgeschosswände auf mehreren Seiten durch Zufahrten und Zugänge geschwächt waren, und welche nicht oder nur einseitig an Nachbargebäude angebaut waren.

1) Earthquake Engineering Research Center: Preliminary report on the seismological and engineering aspects of the October 17, 1989 Santa Cruz (Loma Prieta) earthquake, University of California at Berkeley, Report No. UCB/EERC-89/14, October 1989



Bild 13, Marina Quartier in San Francisco mit meist drei- oder viergeschossigen Holzbauten



Bild 14, Durch das Erdbeben aufgeschobener Strassenbelag im Marina Quartier



Bild 15, Schubriss in der gemauerten Seitenwand eines durch Garageneinfahrten "geschwächten" Erdgeschosses ("soft storey") im Marina Quartier



Bild 16, Komplette eingestürztes nur einseitig angebautes Eckhaus (Ecke Cervantes Boulevard - Fillmore Street, Marina Quartier, San Francisco)

3.3 Backsteinbauten

Die Erdbebenopfer im Epizentralgebiet waren vor allem in den historischen Zentren der Kleinstädte zu beklagen. In der Pacific Garden Mall von Santa Cruz verloren sechs Personen durch den Einsturz von unverstärkten um die Jahrhundertwende erbauten Backsteingebäuden ihr Leben.

Für die verbreiteten Schäden an Backsteinbauten können zwei Hauptursachen genannt werden. Zum einen sind dies die oftmals schlechten Verbindungen der Holzdecken- und Dachkonstruktionen mit den gemauerten Tragwerkswänden und zum andern das allgemein wenig duktile Verhalten von Backsteintragwerken. Bei einigen Bauten mit fast gänzlich fehlenden Verbindungen zwischen der Aussenwand und den Holzbalkendecken kippten sich über die gesamte Bauwerkshöhe erstreckende Wandpartien nach aussen (Bild 17). Sehr häufig anzutreffende Schadenbilder waren im Dachbereich eingestürzte Brüstungen (Bild 18) oder in den oberen Stockwerken gelegene Wandpartien, welche aus dem Mauerverbund fielen. Typisch waren solche Schäden bei Gebäudeecken (Bild 19) oder unterhalb der Dachtraufe bei den Auflagern des Dachstuhls zu finden (Bild 20). Bei den schwer beschädigten Bauten stürzte darum das Dach ein.

Eingestürzte Fassadenbereiche fanden sich häufig bei Fenstern, wo eine durch die Fensteröffnung bedingte Schwächung des Mauertragwerks vorhanden ist (Bild 19). Deutlich waren an solchen Stellen auch die infolge der Kerbwirkung immer von den Fensterecken ausgehenden Schubrisse zu erkennen. Aus dem Umstand, dass diese Mauerwerksrisse ausschliesslich entlang den Mörtelfugen verliefen, kann auch auf eine oftmals ungenügende Mörtelqualität geschlossen werden (Bild 15, 73). Geschwächte Bereiche des Mauerwerkverbunds, welche häufige Schadenquellen darstellen, verursachten auch die Kamine, welche oft zwischen zwei Steinlagen in den Aussenwänden hochgezogen sind.

Analog dem Schadenmechanismus im Marina Quartier in San Francisco wurden generell die Gebäude mit "weichen" Erdgeschossen, beispielsweise mit Läden und grossen Schaufensterflächen, am schwersten betroffen. Wegen den fehlenden Schubwänden im Erdgeschoss weisen solche Bauten in horizontaler Richtung oftmals eine zu geringe Festigkeit auf und sind deshalb stark Erdbebengefährdet (vgl. auch Kap. 7.3).



Bild 17, Wegen der ungenügenden Verbindungen mit der Holzbalkendecke eingestürzte Wand (Pacific Garden Mall, Santa Cruz)



Bild 18, Abgestürzte Mauerwerksbrüstung eines Backsteingebäudes im Zentrum von Watsonville



Bild 19, Im Bereich der Gebäudeecke und einer Fensteröffnung schwer beschädigtes Backsteingebäude (Pacific Garden Mall, Santa Cruz)



Bild 20, Unterhalb der Dachtraufe abgestürzte Mauerwerkspartie. Das abgebildete Cooper Building wurde eine Woche nach dem Erdbeben abgerissen (Pacific Garden Mall, Santa Cruz)

Grosse Backsteinbauten mit mehr als drei- oder vier Stockwerken, wie sie in den grossen Städten San Francisco und Oakland verbreitet sind, wurden in den meisten Fällen mit einem Tragwerk in Stahlskelettbauweise erstellt. Diese Bauten hielten früheren Erdbeben in Kalifornien besser stand, als die unverstärkten kleineren Bauten mit Tragwänden aus Backstein²⁾. Obwohl keines der Gebäude mit Stahlskelett und Mauerwerksaussteifungen einstürzte, verursachte das Beben vom 17. Oktober 1989 vergleichsweise schwerwiegende finanzielle Schäden an diesen Bauten. Das Herausfallen von Sichtmauerwerk über grosse Fassadenbereiche und ausgedehnte Rissbildungen waren typische Schadenbilder (Bild 21).



Bild 21, Ausgedehnte Schubrisse in den aussteifenden Backsteinwänden eines 8-stöckigen Stahlskelettbaus in Oakland

Die Wucht und Zerstörungswirkung, welche schon relativ geringe Trümmermengen haben können, ist aus den folgenden Bildern 22 und 23 ersichtlich.

²⁾ EQE Engineering Inc.: The October 17, 1989 Loma Prieta Earthquake - A Quick Look Report, San Francisco, October 1989



Bild 22, Eingestürzte Mauerwerkswand eines älteren Backsteingebäudes im Zentrum von Oakland



Bild 23, Durch die abstürzenden Mauerwerkstrümmer zerstörte Fahrzeuge

3.4 Stahl- und Stahlbetonbauten

Erdbebenschäden an den Tragwerken von Stahl- und Stahlbetonbauten traten weitaus seltener auf als bei Mauerwerksbauten. Obwohl keines der in dieser Bauweise erstellten Gebäude einstürzte, traten aber bei einigen älteren Stahlbetonbauten schwere die Tragsicherheit gefährdende Schäden auf. Betroffen waren dabei Gebäude, die vor 1970 erstellt wurden, und deren Bewehrung für den Erdbebenfall konstruktiv fehlerhaft ausgelegt oder nur ungenügend dimensioniert war. Solche Gebäude fanden sich in der Erdbebenregion selten. Wie schon bei früheren Erdbeben, bestätigte sich die überaus gute Erdbebenwiderstandsfähigkeit von Stahlskelettbauten.

In Santa Cruz wies das Palomar Hotel, ein 7-stöckiger Stahlbetonbau an der Pacific Garden Mall, ausgedehnte Risse an allen Schubwänden im zweite Stockwerk auf (Bild 24). Zum Teil sind diese Schäden auf die ungünstigen in der Nähe des San Lorenzo Rivers vorherrschenden Baugrundbedingungen zurückzuführen (vgl. Bild 34). Bei den neueren Bauten auf dem Gelände der Universität von Kalifornien in Santa Cruz, welches sich auf wesentlich festerem Untergrund befindet¹⁾, kam es demgegenüber kaum zu Schäden.

Nahezu 100 Kilometer vom Epizentrum entfernt im Geschäftszentrum von Oakland wurde ein in den frühen 60-iger Jahren erbautes 15-stöckiges Bürogebäude schwer beschädigt. Die Schubtragwände aus Leichtbeton im Erdgeschoss wurden durch die Einwirkung der horizontalen Erdbebenlasten so schwer beschädigt, dass die Bewehrung freigelegt wurde (Bild 25). Dank dem Stahlskelettragwerk dieses Gebäudes kam es aber zu keinen schwereren Schadenfolgen²⁾.

¹⁾ Earthquake Engineering Research Center: Preliminary report on the seismological and engineering aspects of the October 17, 1989 Santa Cruz (Loma Prieta) earthquake, University of California at Berkeley, Report No. UCB/EERC-89/14, October 1989

²⁾ EQE Engineering Inc.: The October 17, 1989 Loma Prieta Earthquake - A Quick Look Report, San Francisco, October 1989

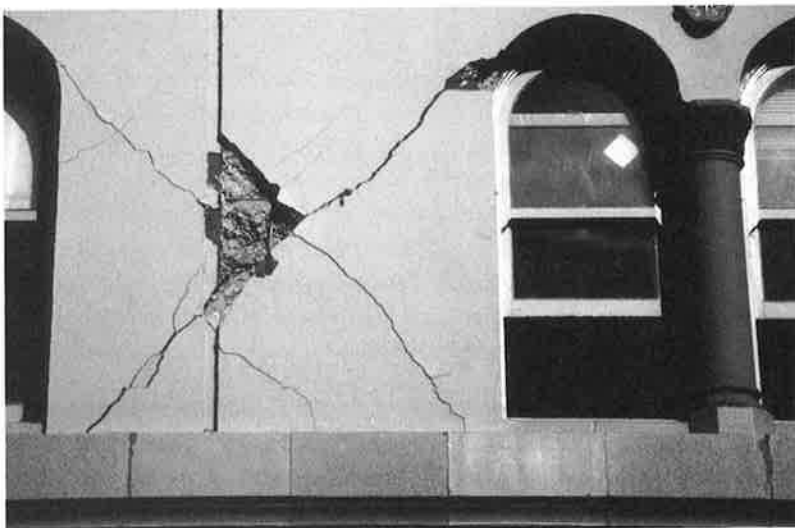


Bild 24, Für horizontale Erdbebenbelastung typische Schrägrisse an den Schubwänden des 7-stöckigen in Stahlbeton ausgeführten Palomar Hotels in Santa Cruz. Betonabplatzung im Bereich der Gebäudedilatation



Bild 25, Betonabplatzungen an den Schubwänden im Erdgeschoss eines 15-stöckigen Bürogebäudes im Zentrum von Oakland. Dank des Stahlskelettragwerks dieses Baus kam es zu keinen schwereren Schäden

3.5 Schäden an Einbauten

An den zum grossen Teil älteren Bauten im Epizentralgebiet waren die Schäden an den nicht zum Tragwerk gehörenden Einbauten (non-structural-elements) aufgrund des allgemein geringen Ausrüstungsstandards dieser Gebäude auf Schäden an den Gipsverputzen, an den Verglasungen und am Mobiliar beschränkt (Bild 26). Diese Schäden waren aber ausserordentlich verbreitet und betrafen fast alle Bauten an den beschriebenen Schadenplätzen. Bei abgehängten Akustikdecken, wie sie in einigen Geschäften an der Pacific Garden Mall in Santa Cruz eingebaut waren, fielen die Deckenplatten aus ihren Halterungen (Bild 27). Obwohl sich solche Schäden konstruktiv einfach und ohne Mehraufwand vermeiden liessen, scheinen sie bei einem Erdbeben die Regel zu sein.

Auch ausserhalb des Epizentralgebiets waren Erdbebenschäden an den abgehängten Decken von modernen Bauten häufig. So beispielsweise in der Eingangshalle des Internationalen Flughafens von San Francisco (Bild 28). Im Kontrollturm des Flughafens wurden zwei Mitarbeiter der Flugsicherung durch Deckenelemente verletzt. Der Flugbetrieb musste für mehrere Stunden eingestellt werden, weil Apparaturen durch die herabgefallenen Deckenplatten beschädigt wurden.

Vor allem in den modernen Grossstädten ist die grosse Zahl solcher Schäden an Einbauten mit ein Grund für die hohen Kosten, welche auch vergleichsweise schwache Erdbeben verursachen können. Das erst vor sieben Jahren erstellte Trans Pacific Center der American Telephone & Telegraph (AT&T) in Oakland musste für die Instandstellung der ausgedehnten Schäden an den Einbauten für mehrere Monate vollständig geräumt werden. Der 6-stöckige Gebäudekomplex (Bild 29) mit nahezu 30'000 m² Geschossfläche erlitt zudem schwere Wasserschäden wegen Erdbebenschäden an den sanitären Anlagen und der Sprinkleranlage.

Häufige durch das Beben hervorgerufene Erdbebenschäden an den Fassaden von neueren und grösseren Bauten waren zerbrochenen Fensterverglasungen und Schäden an den Fassaden im Bereich von Gebäudedilatationen, hervorgerufen durch das Aneinanderschlagen von benachbarten unterschiedlich schwingenden Bauten (Bild 30). Vereinzelt waren ungenügende Befestigungen der Grund für Erdbebenschäden (Bild 31). Es wurden jedoch keine Bauten gefunden, bei denen ein Befestigungsversagen den Absturz von Fassadenplatten zur Folge hatte.



Bild 26 und 27, Erdbebenschäden am Verputz und an abgehängten Decken in Bauten an der Pacific Garden Mall in Santa Cruz



Bild 28 und 29, Schäden an den nicht zum Tragwerk gehörenden Einbauten in der Eingangshalle des Internationalen Flughafens von San Francisco (links) und am AT&T Gebäude in Oakland (rechts)



Bild 30, Fassadenschaden im Bereich der Gebäudedilatation, hervorgerufen durch das Aneinanderschlagen von verschieden hohen und dadurch unterschiedlich schwingenden Bauten



Bild 31, Wegen ungenügenden Befestigungen abgestürztes Vordach in Oakland

3.6 Schadenbilder - Zusammenfassung

Die typischen durch das Erdbeben verursachten Schäden an Hochbauten sind im Bild 32 synoptisch dargestellt. Im Epizentralgebiet und in der Region von San Francisco und Oakland waren Tragwerksschäden vor allem bei älteren Holz- und Backsteinbauten häufig. Die durch die Konstruktionsweise der Bauten geprägten Schadenformen sind dabei grob in Schadengrade gegliedert.

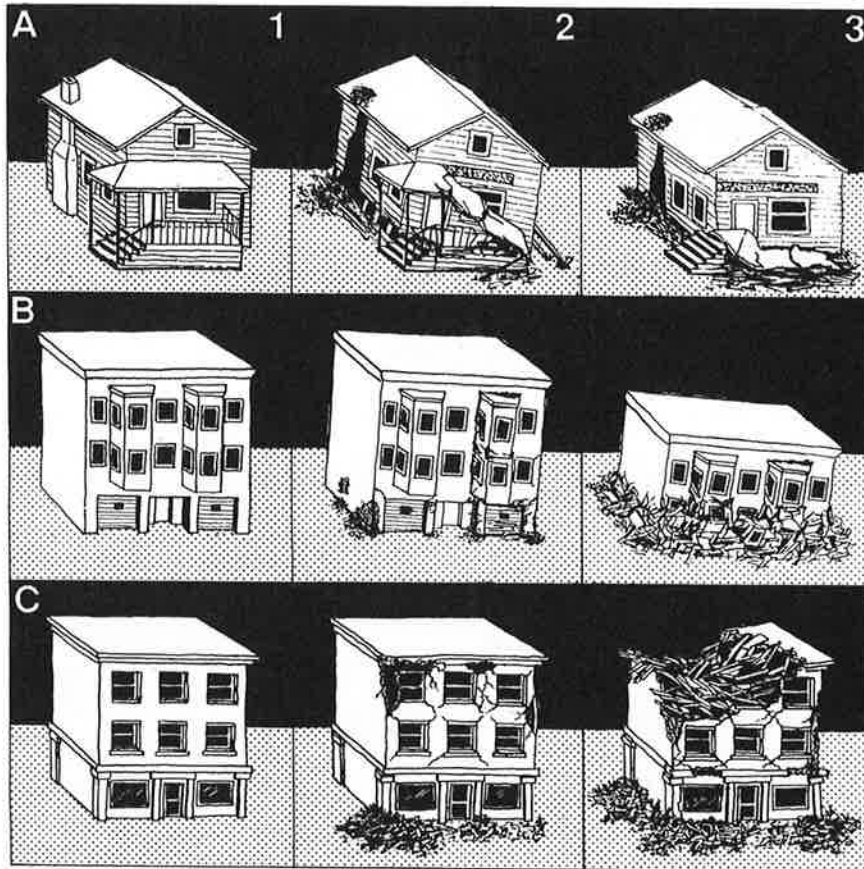


Bild 32, Typische Schadenbilder an Hochbauten im Erdbebengebiet

Bautyp: A=Viktorianische Holzhäuser (Santa Cruz, Watsonville)
 B=Holzbauten San Francisco (Marina Quartier)
 C=Unverstärkte Backsteinbauten bis 1930 (ganzes Bebengebiet)

Schadengrad: 1=Keine Tragwerksschäden (Schäden an Einbauten)
 2=Mittlere Schäden; Kamine, Deformationen, teilweiser Einsturz
 3=Schwere Schäden (Totalschäden); Tragverlust, Kollaps

4 Schäden an Verkehrsanlagen

4.1 Uebersicht

Neben Hochbauten wurden beim Erdbeben auch zahlreiche Verkehrsanlagen beschädigt. Betroffen wurden dabei in erster Linie Strassenbauten. In der Folge traten vor allem in den Grosstädten San Francisco und Oakland einige Verkehrsprobleme auf. Der Bahn- sowie der Flugverkehr funktionierte nach Kontroll- und kleinen allenfalls notwendigen Reparaturarbeiten wenige Stunden nach dem Beben praktisch wieder uneingeschränkt.

Die Schnellbahn Bay Area Rapid Transit (BART), welche San Francisco über einen Tunnel unter dem Meeresgrund mit den umliegenden Regionen verbindet, wurde nach dem Beben überprüft. Dabei wurden am erdbebenwiderstandsfähig gebauten, mit Schockabsorbern ausgerüsteten Tunnel keine Schäden festgestellt. Die Bahn nahm ihren Betrieb kurze Zeit nach dem Erdbeben wieder auf. Da die San Francisco Bay Bridge als wichtigste Strassenverbindung nach Oakland unterbrochen war (durchschnittlicher täglicher Verkehr 260'000 Fz), wurde die BART in den Wochen nach dem Beben mit erhöhter Transportkapazität betrieben.

Im internationale Flughafen von San Francisco wurde der Flugbetrieb 13 Stunden nach dem Beben, nachdem die Stromversorgung wieder vollumfänglich hergestellt und die marginalen Schäden im Kontrollturm (vgl. Kap. 3.6) behoben waren, wieder aufgenommen. Schwerere Schäden wies der Flughafen von Oakland auf. Aufgrund des wenig steifen Untergrunds in der Nähe der Küste kam es dort zu Setzungen. Teilweise traten auch Bodenverflüssigungserscheinungen auf¹⁾. Die

1) Earthquake Engineering Research Center: Preliminary report on the seismological and engineering aspects of the October 17, 1989 Santa Cruz (Loma Prieta) earthquake, University of California at Berkeley, Report No. UCB/EERC-89/14, October 1989

Flugpiste erlitt dadurch Belagsschäden, so dass sie nicht mehr auf der ganzen Länge benutzt werden konnte.

In San Francisco mussten einige Autobahnabschnitte im Osten der Stadt gesperrt werden. Schäden am Tragwerk der meistens als Brücken gebauten oftmals zweistöckigen Stadtautobahnen erlitten vor allem die in Nord-Süd Richtung entlang den Hafengebieten verlaufenden Streckenabschnitte. Diese lokale Konzentration der Schäden kann zum Teil wiederum auf die ungünstigen in Küstennähe vorherrschenden Baugrundbedingungen zurückgeführt werden. Die folgenden Autobahnen in San Francisco waren nach dem Beben geschlossen:

- Interstate Freeway I-280 auf einer Länge von 6 km vom U.S. Highway 101 bis in die Innenstadt (schwere Tragwerksschäden)
- Highway 101 auf einer Länge von 600 m
- State Highway 480 (Embarcadero) auf der ganzen Länge von 3 km inkl. alle Autobahnzufahrtsrampen (schwere Tragwerksschäden)

Sowohl beim Freeway I-280 als auch beim Highway 480 handelt es sich um ähnliche Brückenkonstruktionen wie beim eingestürzten Freeway I-880 in Oakland (vgl. Kap. 4.2). Bei beiden Brücken waren auch analoge Schadenmechanismen zu beobachten. Die notwendige Sperrung dieser Strassenverbindungen, insbesondere aber die nach dem Einsturz eines Fahrbahnabschnitts unpassierbare San Francisco-Oakland Bay Bridge, hatte neben den für die Erneuerung anfallenden Kosten auch schwerwiegende wirtschaftliche Konsequenzen.

Im Epizentralgebiet in den Bergen von Santa Cruz wurden mehrere Strassen durch vom Erdbeben ausgelöste Rutsche verschüttet oder beschädigt. 10'000 Einwohner waren in der Folge von der Aussenwelt abgeschnitten. Die wichtigste betroffene Strassenverbindung war der durch die Berge führende Highway 17, welcher Santa Cruz mit Los Gatos und San Jose verbindet. Diese Autobahn wurde nach mehreren Erdbeben mit Längen bis zu einem Kilometer unpassierbar. Wegen eines Brückeneinsturzes war zudem ein Abschnitt des der Pazifikküste entlang führenden Highway 1 gesperrt. Daneben wiesen in der Region von Santa Cruz und Watsonville unzählige Strassen Belagsschäden auf (Bild 33). Auffallend war wiederum die Konzentration der Schäden in Gebieten nahe von Flussläufen oder des Pazifiks mit wenig stabilen oftmals sandigen Untergrundverhältnissen (Bild 34).



Bild 33, Bodenverschiebungen, welche annähernd einen halben Meter betragen, sind an dem auseinander gerissenen Strassenbelag gut sichtbar



Bild 34, Setzung infolge des wenig stabilen sandigen Untergrunds in der Nähe des San Lorenzo Rivers in Santa Cruz

4.2 Interstate Freeway I-880

In Oakland, nahezu 100 Kilometer vom Epizentrum des Bebens entfernt, forderte der Kollaps des Nimitz-Freeways (Cypress structure), einer doppelstöckigen Hochstrassenbrücke des Interstate 880, die meisten Erdbebenopfer. Die Konstruktion dieser und der konstruktiv ähnlichen Brücken in San Francisco geht auf die 50-iger Jahre zurück. Der Nimitz Freeway wurde 1957 dem Betrieb übergeben. Er hat mit je vier Fahrstreifen auf der oberen und auf der unteren Fahrbahnebene eine Breite von knapp 20 Meter. Die obere Fahrbahn befindet sich rund 15 Meter über Grund. Die darunterliegende Fahrbahnebene liegt etwa 8 Meter über dem Boden (Bild 35). Die Fahrbahnen werden von Stahlbetonrahmen getragen. Die Spannweite zwischen den Tragrahmen beträgt rund 25 Meter.

Im Lauf der rund 15 Sekunden dauernden Erschütterungen, bei denen geschätzte Spitzenbodenbeschleunigungen von nahezu 0,3 g erreicht wurden¹⁾, knickten die Stahlbetonstützen, welche die höher gelegene Fahrbahn tragen, an den Knotenpunkten aus. Die oberen Fahrbahnplatten stürzten in der Folge auf einer Streckenlänge von über 1,5 Kilometer auf die unteren (Bild 36). Die Verkehrsteilnehmer auf den untenliegenden Fahrstreifen wurden von den praktisch senkrecht und ohne seitliches Wegkippen nach unten stürzenden Hohlkastenkonstruktionen verschüttet. Die Tragwerkrahmen und Fahrbahnplatten der unteren Fahrbahn hielten diesem Aufprall zum grossen Teil stand, so dass oftmals kaum sichtbare Schäden zu erkennen waren.

Neben der relativ hohen Erdbebenbelastung, welche aus der Verstärkung der Bodenbewegungen in den küstennahen Gebieten mit wenig steifem Baugrund resultierte, waren es vor allem konstruktive Mängel, die für den Kollaps der Brückenkonstruktion verantwortlich waren. Während die Bewehrung der Tragwerkrahmen der unteren Fahrbahn zur Aufnahme hoher Momentenbelastungen dimensioniert waren, wiesen die oberen Rahmen nur einen geringen Tragwiderstand in horizontaler Richtung auf. Sie versagten wegen den ungenügend

¹⁾ Earthquake Engineering Research Center: Preliminary report on the seismological and engineering aspects of the October 17, 1989 Santa Cruz (Loma Prieta) earthquake, University of California at Berkeley, Report No. UCB/EERC-89/14, October 1989

steifen Rahmenecken bzw. der mangelnden Bewehrung in den Stützen, speziell aber in den Knotenpunkten. Die Tragwerksstützen waren vertikal mit 60 mm (2 1/4") Stählen bewehrt. Die Umschnürungsbe- wehrung mit 6 mm (1/4") Bügeln und Bügelabständen von rund 30 cm war jedoch mangelhaft. Neben Stützen, bei denen die schwache Ver- bügelung anhand der vollständig aus dem Beton "geschälten" Vertikal- bewehrung gut sichtbar war (Bild 37), waren aber auch viele der ausge- knickten Stützen praktisch unbeschädigt (Bild 38). Aus diesem Umstand lässt sich schliessen, dass der Kollaps der Cypress Hochstrasse primär auf die ungenügend dimensionierten Rahmenecken zurückzuführen ist, und die beobachteten Schadenbilder an den Stützen nur die Folge dieses Versagens sind.

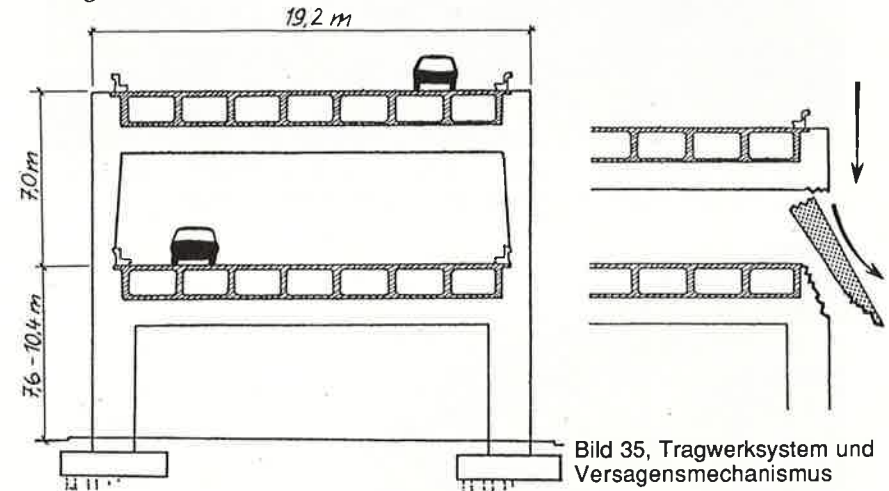


Bild 35, Tragwerksystem und Versagensmechanismus

Die bezüglich der Erdbebenwiderstandsfähigkeit vorhandenen konstruktiven Mängel älterer Autobahnbrücken waren seit dem Erdbeben 1971 im kalifornischen San Fernando Valley bekannt. Damals stürzten einige Strassenbrücken ein. In der Folge dieses Ereignisses wurden verbesserte Bemessungsvorschriften für solche Konstruktionen erlassen. Zudem waren im Rahmen eines Sanierungsprogramms wie bei einer Vielzahl anderer Brücken auch an der Cypress Brücke Verstärkungen vorgenommen worden. Diese betrafen jedoch die Fahrbahnplatten, welche mit Stahlkabeln verbunden und gegen das Wegrutschen von den Auflagern gesichert wurden. Verstärkungen der Stahlbetontragrahmen, deren Schwachpunkte den Verantwortlichen seit Jahren bekannt waren, wurden wegen den hohen Kosten immer wieder hinausgeschoben.



Bild 36, Auf einer Länge von über 1,5 Kilometer eingestürzte Hochstrassenbrücke (Cypress structure) des Interstate Freeways 880 in Oakland



Bild 37, Der Grund für das Versagen der Cypress Brücke ist die ungenügende Bewehrung der Stützen und Rahmenecken



Bild 38, Der Versagensmechanismus der Stahlbetonrahmen ist an den Stellen, an denen die Stützen selbst nicht versagten, gut zu erkennen



Bild 39, Die zweistöckige Hochstrassenbrücke hielt dem Beben nur auf einem kurzen 25 Meter langen Autobahnabschnitt stand

5 Versorgung und Infrastruktur

Die Versorgung mit Elektrizität, Wasser und Gas war an den meisten Orten im Erdbebengebiet wenige Tage nach dem Ereignis wieder vollständig hergestellt. An den beschriebenen Schadenplätzen führten Schäden an Versorgungsleitungen aber zu längerdauernden Ausfällen der Strom-, Wasser- und Gasversorgung. Ebenso waren in abgelegenen Gebieten durch Verzögerungen der Instandsetzungsarbeiten zum Teil längerfristige Versorgungsengpässe vorhanden.

5.1 Wasserversorgung und Abwasserentsorgung

Im ganzen Bebengebiet waren unzählige Wasserleitungsbrüche zu verzeichnen (Bild 40 und 41). Neben der grossen Zahl von kleineren Versorgungs- und Hausanschlussleitungen waren davon in einigen Ortschaften auch Hauptleitungen betroffen. In Los Gatos wurde eine Leitung zur Versorgung von annähernd 30'000 Einwohnern leck. Die Reparatur einer Hauptleitung mit einem Durchmesser von 60" ($\approx 1,5$ m) in El Sobrante dauerte etwa eine Woche, da Rohre mit grosser Nennweite im allgemeinen schwer zu ersetzen und die entsprechenden Rohrdurchmesser nicht unbeschränkt lagerhaltig sind. In Watsonville entleerte sich das für die Wasserversorgung wichtigste Reservoir der Stadt mit 34'000 m³ Inhalt in der Folge von Leitungsbrüchen. In San Francisco blieb die Wasserversorgung bis auf das Marina Quartier mehrheitlich intakt. Die Reservoirs wurden durch das Beben nicht beschädigt. Im Marina Quartier wurde die Notversorgung durch freiwillige Helfer mit der Abgabe von Wasser in Kunststoffkanistern aufrecht erhalten (Bild 42).

Aus Angst vor Verunreinigungen im Leitungswasser durch die zahlreichen kleineren Leckstellen wurden in allen Gemeinden zwischen Santa Cruz und San Francisco Anweisungen publiziert, das Leitungswasser nicht als Trinkwasser zu verwenden (Bild 43). Im speziellen bezogen sich diese Warnungen auf Wasser, das nicht unter normalem

Druck von den Hähnen floss oder auf getrübtetes Leitungswasser. In Zeitungen, über die Medien und mittels angeschlagenen Bekanntmachungen an den Haustüren wurden Empfehlungen abgegeben, das Trinkwasser zu kochen oder mit chlorhaltigen Mitteln zu entkeimen. Für die Chlorierung wurden hypochloridhaltige Entkeimungsmittel (Markenbezeichnungen "Clorox" und "Purex") empfohlen. Für die Dosierung dieser Mittel wurde im Fall von klarem Netzwasser 8 Tropfen pro Gallone, was ca. 2 Tropfen pro Liter entspricht, angegeben. Bei getrübtetem Wasser lautete die Empfehlung, dieses zuerst mit sauberen Kleidern zu filtern und danach mit der doppelten Chlormenge - ca. 4 Tropfen pro Liter - zu entkeimen. Nach diesen Angaben entkeimtes Wasser musste vor dem Gebrauch mindestens 30 Minuten stehen gelassen werden.

Die Behörden riefen in einigen Gemeinden dazu auf, konsequent Wasser zu sparen. Neben den Hinweisen, auf das Waschen von Fahrzeugen und die Bewässerung von Gärten zu verzichten, wurden auch Tips publiziert, wie beispielsweise der Wasserbedarf von Toilettenspülungen durch mit Steinen beschwerte Kunststoffflaschen im Spülkasten verringert werden kann. In Santa Cruz wurde die Bevölkerung ermahnt, den Wasserverbrauch auf 75 Liter pro Tag und Person zu senken.

Vier Tage nach dem Beben wurde die Kochanweisung und die Empfehlungen zur Entkeimung von Netzwasser mit wenigen Ausnahmen in den meisten Ortschaften aufgehoben.

Ueber Erdbebenschäden an Abwasserleitungen wurde wenig bekannt. Das kann zum Teil daran liegen, dass solche Schäden im allgemeinen schwerer zu entdecken sind. Einen kleinen Störfall meldete die Abwasserreinigungsanlage in Oakland (ARA der "East Bay Municipal"). Durch den erdbebenbedingten Stromausfall war es dort zu einem Ausfall der Sauerstoffversorgung und dadurch zum Absterben der biologischen Klärstufe gekommen. Aus diesem Grund wurde während rund zwei Tagen nur unvollständig gereinigtes Abwasser ins Meer geleitet.



Bild 40, Infolge der grossen Bodenverschiebungen kam es im Marina Quartier von San Francisco zu unzähligen Wasserleitungsbrüchen und einem Ausfall der örtlichen Wasserversorgung



Bild 41, Zur Reparatur der Rohrbrüche notwendiges Leitungsbaumaterial im Marina Quartier vier Tage nach dem Erdbeben



Bild 42, Notwasserversorgung mit Kunststoffkanistern, welche durch freiwillige Helfer verteilt werden (Marina Quartier, San Francisco)

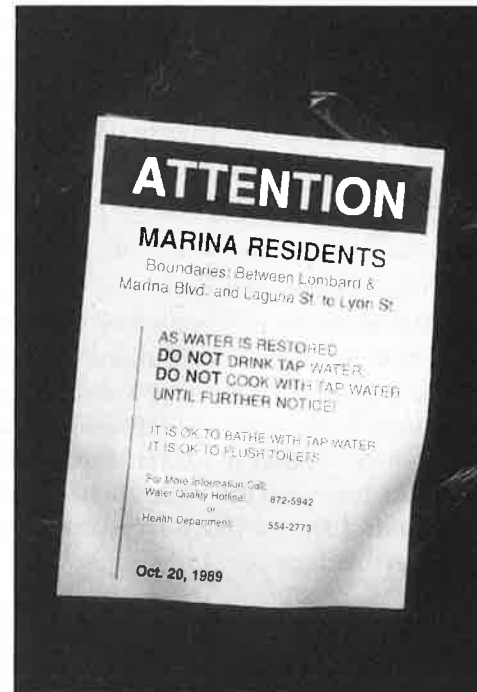


Bild 43, Im Marina Quartier an den Haustüren angeschlagene Anweisung, das Netzwasser nicht als Trinkwasser zu verwenden

5.2 Elektrizitätsversorgung

Ungefähr eine Million Einwohner wurde durch das Erdbeben von Stromausfällen betroffen. Die elektrische Energieversorgung war aber am Donnerstag, zwei Tage nach dem Beben, grösstenteils wieder hergestellt, so dass 98% aller Bezüger zu diesem Zeitpunkt wieder Strom hatten. Zu längeren Versorgungsunterbrüchen wegen Schäden an Verteilleitungen und Hausanschlüssen kam es lediglich im stark betroffenen Marina Quartier in San Francisco sowie in abgelegenen Gebieten in den Bergen von Santa Cruz. Bei Santa Cruz verursachte ein durch das Erdbeben umgeworfener Leitungsmast einen Stromunterbruch.

Erdbebenschäden an Anlagen für die elektrische Energieversorgung, wie sie 1971 beim Beben im San Fernando Valley häufig waren, traten kaum auf. Die kalifornischen Kernkraftwerke arbeiteten normal. Die Erdbeben-Normen der U.S. Nuclear Regulatory Commission, die seit 1973 beim Bau solcher Anlagen angewendet werden, haben sich mindestens für das aufgetreten Beben als ausreichend und zweckmässig erwiesen.

Die Stromunterbrüche in der Nacht und am Tag nach dem Beben waren zu einem grossen Teil auch darauf zurückzuführen, dass die Pacific Gas and Electric Company (PG&E) die Versorgung unterbrach. Dabei handelte es sich um eine im Rahmen der Katastrophenplanung vorgesehene Massnahme, um die Brandgefahr durch elektrische Funken zu verringern.

Neben einer grossen Anzahl von Liften, welche steckenblieben, wurden von den Stromunterbrüchen vor allem auch die elektronischen Medien und Datenverarbeitungsanlagen betroffen. Die Fernsehstationen informierten in der Nacht nach dem Erdbeben für amerikanische Verhältnisse ungewohnt dürftig und strahlten immer die gleichen Bilder der Brände im Marina Distrikt, der eingestürzten Autobahn in Oakland und der beschädigten Bay Bridge aus. Am deutlichsten trat die Verletzlichkeit der modernen Kommunikationsgesellschaft aber bei der Rekordzahl von Zusammenbrüchen von Computernetzen zutage.

In Watsonville, der landwirtschaftlichen Metropole südlich von San Francisco, kam es in der Folge des Stromausfalls zu Schäden in den Kühlhäusern, weil Kühlprodukte auftauten.

5.3 Gasversorgung

Im Erdbebengebiet wurden ca. 50'000 Einwohner durch Ausfälle der Gasversorgung betroffen. Wie bei der Stromversorgung unterbrach die PG&E in San Francisco auch die Gasversorgung unmittelbar nach dem Beben. Auch dabei handelte es sich um eine Katastrophenschutzmassnahme zur Verhinderung von Bränden. Es war auch auffallend, wie der Grossteil der Bevölkerung über die im Erdbebenfall von lecken Gasleitungen ausgehende grosse Brandgefährdung informiert war. Die meisten Hausbewohner wissen, wo sich die Hausanschlussleitung mit dem Absperrventil befindet. Zudem tragen die schwächeren in Kalifornien immer wieder registrierten Beben (im August wurde ein $M = 5,4$ Beben in der gleichen Region verspürt) dazu bei, dass man sich in der ganzen Bevölkerung der latenten Erdbebengefahr bewusst ist. Die bei solchen Ereignissen regelmässig abgegebenen Empfehlungen der Behörden, bei einem Erdbeben die Strom- und Gasleitungen abzustellen, sowie die dazu notwendigen Hilfsmittel, wie beispielsweise Schraubenschlüssel bereitzuhalten, werden deshalb auch beherzigt. Beim Besuch des Marina Quartiers, vier Tage nach dem Erdbeben, konnte trotzdem stellenweise noch deutlicher Gasgeruch wahrgenommen werden.

Abgesehen von den Reparaturarbeiten an den Leitungen dauerte die Wiederherstellung der Gasversorgung länger als bei der Wasserversorgung. Dies u.a. deshalb, weil vor der Wiederinbetriebnahme die Hausanschlüsse und Hausinstallationen aller Gasbezüger durch Mitarbeiter der Gaswerke kontrolliert wurden. Monteure der PG&E begannen kurz nach dem Erdbeben mit der zeitaufwendigen Ueberprüfung der Gasinstallationen in sämtlichen Haushaltungen im Bebengebiet. Obwohl die Werkmitarbeiter dabei von Fachleuten aus weiten Teilen der U.S.A. unterstützt wurden, dauerte es zum Teil mehrere Wochen, bis die Gasversorgung aller Haushaltungen überprüft und wieder hergestellt war.

5.4 Medizinische Versorgung

Die medizinische Versorgung hat nach einer Katastrophe allgemein eine grosse Bedeutung. Wie in anderen Bereichen war Kalifornien auch hier durch die Ereignisse beim San Fernando Beben 1971 vorgewarnt. Obwohl das Beben damals schwächer war, kam es damals zu ausgedehnten Schäden an Spitalbauten.

Im ganzen Erdbebengebiet wurden gesamthaft rund 3000 Personen verletzt. Verglichen mit der Grösse und Einwohnerzahl des Ballungsraums San Francisco ist das wenig, so dass auch nie ernsthafte Probleme bei der medizinischen Versorgung auftraten. Im General Hospital in San Francisco und im Highland Hospital in Oakland wurden nur je etwa 50 Erdbebenverletzte in die Notfallstationen eingeliefert. Aerzte und Krankenschwestern, die sich freiwillig in diesen Spitälern für einen Einsatz meldeten, konnten nicht eingesetzt werden. Im übrigen waren die meisten Erdbebenverletzungen wie Brüche, Quetschungen und Schnittwunden eher leichter Art. Es wurden zudem viele Personen mit "Nervenzusammenbrüchen" eingeliefert.

Die Spitalbauten überstanden das Erdbeben mit Ausnahme des Laguna Honda Hospitals in San Francisco ohne Schäden. Im allgemeinen waren die Spitäler sowohl technisch wie ausbildungsmässig gut auf die Erdbebenkatastrophe vorbereitet. Das wichtige General Hospital in San Francisco beispielsweise ist mit drei Wasserversorgungsnetzen ausgerüstet, welche an jeweils drei verschiedenen Stellen an die Wasserversorgung angeschlossen sind. Die Notstromversorgungsanlagen, welche einmal wöchentlich getestet werden, konnten die Spitäler sofort mit elektrischer Energie versorgen. Allerdings wurde im Highland Hospital in Oakland die ungenügende Notstromleistung bemängelt, da ein uneingeschränkter Betrieb aller Diagnostikgeräte, wie Röntgenapparate oder Hirntomographen, nicht möglich war. Aufgrund blockierter Lifte und ausgefallener interner Telefonnetze traten in der ersten Zeit nach dem Beben vorübergehend spitalinterne Kommunikationsschwierigkeiten sowie Probleme bei der Medikamentenverteilung auf.

Diese Erfahrungen zeigen eindrücklich die Empfindlichkeit und Abhängigkeit der modernen Medizin von der Technik. Wenn man bedenkt, dass Szenarien für San Francisco nach einem Beben mit der Magnitude

$M = 7,5$ mit 5000 Toten und 30'000 Schwerverletzten rechnen, stellt sich die Frage, ob die Ausbildung in der Katastrophenmedizin konsequent und realistisch ist. Nach dem Loma Prieta Beben wurden deshalb Stimmen laut, welche eine bessere Triage-Ausbildung der Aerzte forderten.

5.5 Kommunikationseinrichtungen

Die Anlagen der Telekommunikation zählen zu den wichtigen Infrastruktureinrichtungen, welche bei vergangenen Erdbeben immer wieder stark betroffen wurden. Während des San Fernando Bebens 1971 wurden die Schaltanlagen einer Telefonzentrale schwer beschädigt³⁾. Demgegenüber wurden die Telefonverbindungen im Schüttergebiet des Loma Prieta Bebens mit Ausnahme einiger lokal begrenzter Unterbrüche im Marina Quartier, in Santa Cruz und in Watsonville kaum betroffen. Die Telefonzentralen, wie diejenigen in Watsonville, wo maximale Bodenbeschleunigungen von 0,39 g horizontal und 0,66 g vertikal gemessen wurden, konnte nach dem Stromausfall mit Hilfe der Notstromversorgung (Diesel und Batterie) weiterbetrieben werden²⁾. Die grosse Anzahl von Gesprächen hatte jedoch zeitweise eine Ueberlastung der Netze zur Folge, so dass die Telefongesellschaften Gespräche unterbrechen mussten, um Linien freizuhalten. In den ersten Stunden nach dem Beben wurden rund 50 Millionen Ferngespräche, nahezu drei mal mehr als normal, geführt.

Bei der Polizei und der Feuerwehr hatten Ausfälle von Computern, welche zur Registrierung von Notfallanrufen eingesetzt werden, zur Folge, dass die Anrufe mit Papier und Bleistift aufgenommen werden mussten. Einige Notfallanrufe gingen dabei verloren.

Für die von Unterbrüchen betroffene Bevölkerung stellte die Pacific Bell Telephone Company mobile öffentliche Sprechstationen bereit. In den schwer betroffenen Gemeinden konnte von diesen Anschlüssen aus kostenlos auch Ferngespräche geführt werden. Im Bild 45 macht die über 80% mexikanische Bevölkerung in Watsonville von dieser Möglichkeit regen Gebrauch.

³⁾ Lew, H. S. et al.: Engineering Aspects of the 1971 San Fernando Earthquake, U. S. National Bureau of Standards, Building Science Series 40, Dec. 1971

²⁾ EQE Engineering Inc.: The October 17, 1989 Loma Prieta Earthquake - A Quick Look Report, San Francisco, October 1989



Bild 44, Aufgrund der relativ kleinen Zahl von Erdbebenverletzten konnte die medizinische Versorgung im ganzen Bebengebiet nach Grundsätzen der "Friedensmedizin" problemlos bewältigt werden



Bild 45, Öffentliche Sprechstation der Pacific Bell Company in einem Park in Watsonville, von wo kostenlos telefoniert werden konnte

5.6 Industrielle Anlagen

An den industriellen Anlagen im Erdbebengebiet entstanden im allgemeinen keine oder nur geringe Schäden. Die Elektronikhersteller im Silicon Valley südlich von San Francisco beispielsweise stellten den Betrieb nur kurz ein und arbeiteten einen Tag nach dem Beben wieder normal. Glücklicherweise kam es auch an keinem Ort zu schwerwiegenden Folgeschäden, beispielsweise durch die Freisetzung gefährlicher Stoffe in Chemieanlagen.

Im Rahmen der Inspektionen, welche nach dem Beben durchgeführt wurden²⁾, konnten aber trotzdem einige industrielle Anlagen mit Erdbebenschäden eruiert werden. Dabei waren in einer Vielzahl von Fällen Tankanlagen vom Erdbeben betroffen. In der Region von Santa Cruz und Watsonville wurden vor allem Einrichtungen der Landwirtschaft und der Lebensmittelindustrie beschädigt. Typische Schäden waren gebeulte Silo- und Tankanlagen. Bei mehreren nicht oder nur ungenügend befestigten Tanks wurden Verschiebungen festgestellt. In der Getränkeindustrie führten solche Schäden bei einigen Tanks zu Leckagen. In den Kühlhäusern von Watsonville kam es wegen umgestürztem Lagergut, aus den Kältemaschinen ausgelaufenem Ammoniak und als Folge von Stromausfällen zu beträchtlichen Schäden an den eingelagerten Lebensmitteln.

Vereinzelte Erdbebenschäden an Tankanlagen wurden auch bei Treibstofflagern registriert. Beim grössten Schaden in Richmond wurde ein über 2000 m³ fassender Tank leck. Mit Ausnahme einiger weniger Tankstellen, welche wegen Schäden oder zur Ueberprüfung der erdverlegten Tankanlagen geschlossen waren, funktionierte die Treibstoffversorgung weitgehend normal. Bei den Erdölpipelines, welche beim Beben abgeschiebert wurden, kam es zu keinen Schäden. Die grossen Erdölfirmen, wie die Chevron Company in San Francisco, verzeichneten keine massgeblichen Betriebsunterbrüche. Einzig im Santa Cruz County kam es zu vereinzelten Versorgungsengpässen in der Treibstoffversorgung, da der Strassentransport wegen den zum Teil gesperrten Zufahrtswegen nicht vollumfänglich funktionierte (vgl. auch Kap. 4.1).

²⁾ EQE Engineering Inc.: The October 17, 1989 Loma Prieta Earthquake - A Quick Look Report, San Francisco, October 1989

6 Rettungs- und Sicherungsarbeiten

Der Ablauf der Rettungs- und Sicherungsarbeiten nach einem Schadenbeben ist neben dem Ausmass der Schäden einerseits von der Bebauungsstruktur und damit von den Trümmerbildern und andererseits vom Ausbildungs- und Ausrüstungsstandard der Einsatzdienste abhängig. Im nachfolgenden Kapitel 6.1 sind generelle teilweise aus der Literatur stammende Hinweise zum Ablauf der Rettungsarbeiten nach einem Erdbeben angegeben. Unter Einbezug der Beobachtungen und Erfahrungen von den besuchten Schadenplätzen im Bebengebiet in Nordkalifornien ist im weiteren der zeitliche Ablauf der Rettungen schematisch dargestellt. In bezug auf die Trümmerbilder ist diese Darstellung auf die charakteristische im Raum San Francisco und Santa Cruz vorherherrschende Bebauung bezogen (vgl. auch Kap. 3.6).

In den weiteren Kapiteln sind Informationen zur Organisation und zum Ablauf der Rettungs- und Sicherungsarbeiten an den besuchten Schadenplätzen in San Francisco, Oakland und Santa Cruz angegeben. Insbesondere die nach dem Beben vom 17. Oktober 1989 mehrere Tage dauernde Rettungsphase an der eingestürzten Hochstrassenbrücke in Oakland ist im Kapitel 6.3 ausführlich beschrieben.

6.1 Allgemeines

Die Rettung von Verschütteten aus eingestürzten Stahlbetonbauten ist für die Ereignisdienste von besonderem Interesse. Aufgrund der allgemein schwierigen Trümmersituation kann sich die Rettungsphase auf solchen Schadenplätzen über längere Zeiträume erstrecken, wobei spezialisierte mit entsprechenden Mitteln ausgerüstete Rettungsteams zum Einsatz kommen. Die Erfahrungen aus den Erdbeben von Mexiko 1985 und El Salvador 1986 zeigen, dass ausländischen Rettungsequipen, wie die Rettungskette Schweiz, welche jeweils 48 Stunden nach dem Ereignis im Bebengebiet eintrafen, mehrheitlich auf Schadenplätzen mit eingestürzten Stahlbetonbauten eingesetzt werden. Vor allem voll-

ständig eingestürzte Stahlbetonrahmentragwerke weisen schwierig zu bewältigende Trümmerbilder auf, wenn die Stahlbetondecken geschichtet aufeinander liegen ("Sandwich"). Die Rettung von Verschütteten aus solchen Trümmern ist in vielen Fällen nur mit schweren Mitteln möglich. Aufgrund der auch in der Schweiz sehr verbreiteten Stahlbetonbauweise ist der Einsatz an geschichteten Stahlbetontrümmern auch für die Ls Trp von besonderem Interesse⁴⁾.

Der zeitliche Ablauf der Rettung in Stahlbetontrümmern ist im Bild 46 schematisch dargestellt. Die Angaben stützen sich auf die Untersuchung von Krimgold⁵⁾, in welcher die Rettung aus solchen Trümmersituationen nach dem Beben von Mexiko 1985 beschrieben ist. Die Rettungsphase wird dabei in "spontane" (selbst oder gegenseitig) und "professionelle" Rettungen unterteilt. Leicht Verschüttete, welche sich nahe der Oberfläche oder in den Randbereichen der Trümmer befinden, können sich, falls sie nur leicht verletzt sind, in vielen Fällen selbst befreien. Sofern für die Rettung keine oder nur gängige für jederman leicht verfügbare Mittel und Werkzeuge notwendig sind, werden Leichtverschüttete, die sich nicht selbst befreien können, von anderen Betroffenen und Passanten gerettet. Das Absuchen der Schadenstelle und das Wegräumen von Trümmern von Hand ist typisch für diese Rettungsphase. Diese als "spontan" bezeichneten Selbstbefreiungen und gegenseitigen Rettungen, finden grossenteils kurz nach dem Bebenereignis statt. Für die später auf dem Schadenplatz eintreffenden Rettungskräfte sind sie im allgemeinen ohne grosse Bedeutung, da die meisten Leichtverschütteten zu diesem Zeitpunkt bereits geborgen sind.

Als "professionell" werden diejenigen Rettungsarbeiten bezeichnet, die von Einsatzkräften durchgeführt werden, welche für solche Einsätze ausgerüstet und ausgebildet sind. Dabei kann natürlich sowohl der Ausbildungs- als auch der Ausrüstungsstandard sehr stark differieren. Krimgold unterteilt diese Rettungsphase in die der leichten professionellen Rettungen mit dem Einsatz von Suchhunden und Handwerkzeug und die der schweren professionellen Rettungen ab dem fünften

4) Porro, B.: Auswertung von Berichten über Einsätze der Rettungskette und Daten von Versicherungen über Erdbebenschäden an Hochbauten, BALST, Bern, 1989

5) Krimgold, F.: Search and Rescue in Collapsed Reinforced Concrete Buildings, Proceedings of Ninth World Conference on Earthquake Engineering, August 2-9, 1988, Tokyo-Kyoto, Vol. VII, p. 693

Tag nach dem Ereignis. Ab diesem Zeitpunkt werden spezielle Mittel zur Ortung und Bergung von Verschütteten eingesetzt. In der zitierten Untersuchung über die Rettungsarbeiten in Mexiko ist die Anzahl Geretteter während zwei Wochen nach dem Beben aufgezeichnet. Am zweiten Tag nach dem Ereignis, zum Zeitpunkt als professionelle Rettungsteams auf dem Schadenplatz eintrafen, ist eine gegenüber dem Vortag leicht erhöhte Zahl von Lebendrettungen erkennbar. Ebenfalls mehr Rettungen wurden am fünften Tag nach dem Beben verzeichnet. Dies war der Zeitpunkt, an dem ausländische Spezialteams mit schweren Mitteln auf dem Schadenplatz eintrafen.

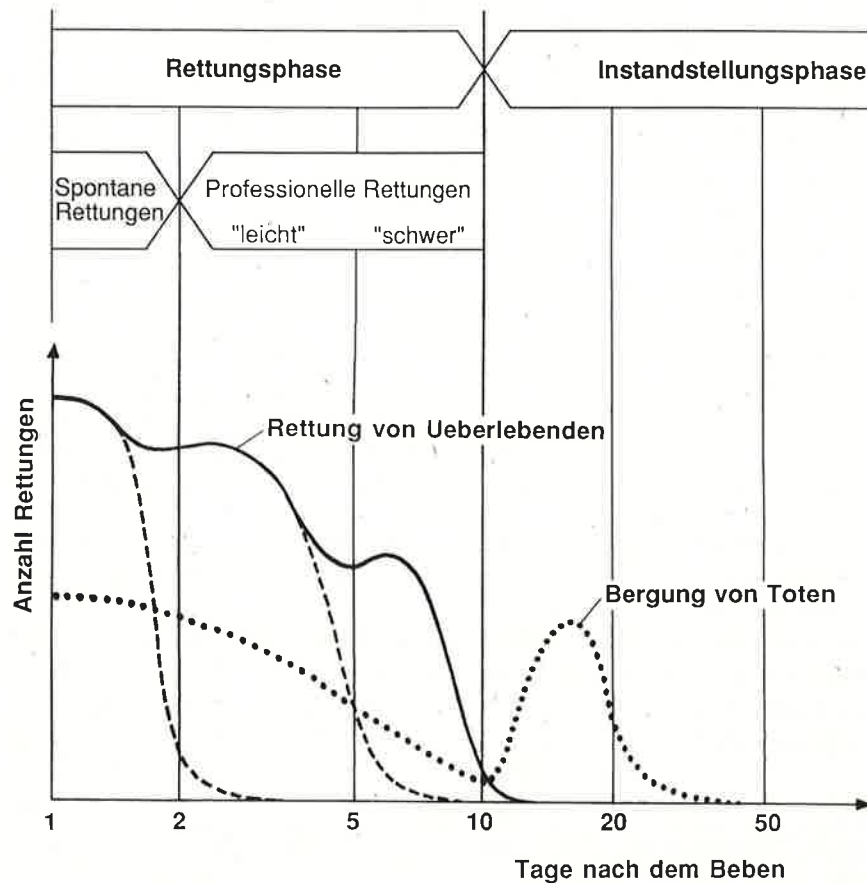


Bild 46, Ablauf der Rettung bei Stahlbetonhochbauten (Schematische Darstellung nach Angaben von Krimgold, 1988)

Fünf Tage nach einem Erdbeben sinken die Aussichten auf Lebendrettungen stark. Nach zehn Tagen sind kaum mehr Lebendrettungen denkbar. Zudem sinkt auch die Ueberlebenswahrscheinlichkeit von Personen, welche erst nach langer Zeit aus Trümmern geborgen werden können. Porro⁴⁾ zitiert Angaben, nach denen nur noch 10% der Geretteten überleben, welche am fünften Tag geborgen werden. Ein in Oakland vier Tage nach dem Einsturz aus den Trümmern der Cypress Brücke geretteter Mann, verstarb vier Wochen später im Spital.

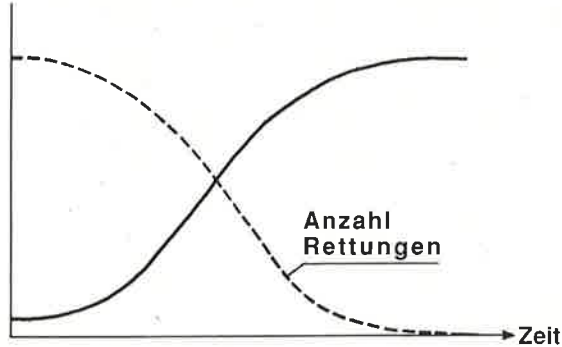
Die Anzahl der Toten, welche aus geschichteten Stahlbetontrümmern geborgen werden, nimmt mit zunehmender Zeitdauer ebenfalls ab. Bei grossen total eingestürzten Stahlbetonbauten muss damit gerechnet werden, dass viele Opfer erst nach Ablauf der Rettungsphase, wenn die Trümmer mit schweren Mitteln abgehoben werden, geborgen werden können. In den eingestürzten Hochhäusern in Mexiko wurden viele Opfer erst drei und mehr Wochen nach dem Beben geborgen, als die Treppenhäuser und Liftschächte freigelegt wurden. Bedeutend mehr Personen hätten gerettet werden können, wenn es möglich gewesen wäre innert nützlicher Frist in diese Trümmerbereiche einzudringen. Rettungen in geschichteten Stahlbetontrümmern sind jedoch ausserordentlich schwierig und zeitaufwendig.

Im Bild 47 ist der zeitliche Ablauf von Rettungen bezüglich ihrem Schwierigkeitsgrad, der Anzahl und Zusammensetzung der Retter sowie den bei den Rettungsarbeiten eingesetzten technischen Mitteln zusammengefasst und qualitativ dargestellt. Anhand der ebenfalls eingezeichneten Anzahl der Rettungen, welche trotz gesteigertem Aufwand abnimmt, erkennt man, dass die Effizienz von Rettungseinsätzen mit zunehmender Zeitdauer sehr stark abnimmt.

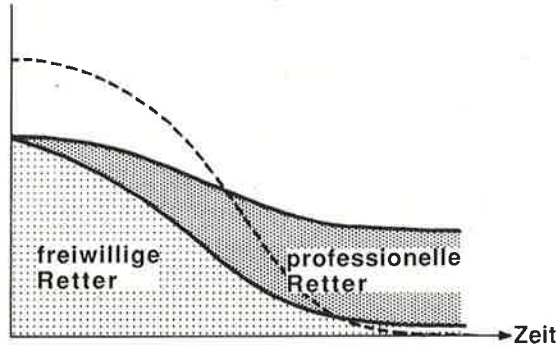
An den besuchten Schadenplätzen im Erdbebengebiet in Nordkalifornien erfolgte der Uebergang von den "spontanen" zu den "professionellen" Rettungen äusserts schnell. Schon am Tag nach dem Beben waren nur noch professionelle Rettungskräfte mit den entsprechenden Mitteln auf den von der Polizei geräumten und abgesperrten Schadenplätzen im Einsatz.

4) Porro, B.: Auswertung von Berichten über Einsätze der Rettungskette und Daten von Versicherungen über Erdbebenschäden an Hochbauten, BALST, Bern, 1989

Schwierigkeitsgrad der Rettungen



Anzahl der beteiligten Retter



Eingesetztes Rettungsmaterial

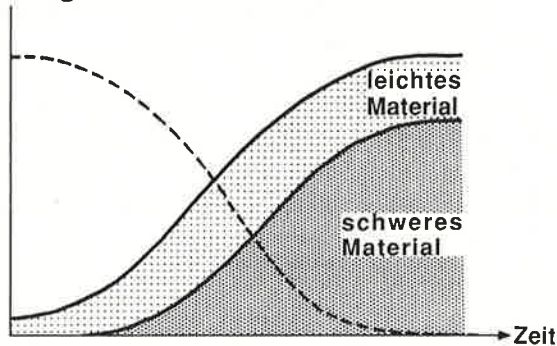


Bild 47, Schwierigkeitsgrad von Rettungen, Ausbildungs- und Ausrüstungsstandard der Retter (schematische Darstellung)

Im Bild 48 ist der zeitliche Ablauf der Rettung für verschiedene Trümmerbilder qualitativ aufgezeichnet. Neben der Rettung in den schwer zu bearbeitenden geschichteten Trümmerbildern von Stahlbetonbauten, wie sie vorn beschrieben wurden, sind zum Vergleich die Längen der Rettungsphasen für andere Trümmersituationen aufgezeichnet. Es handelt sich dabei um die typischen Trümmerbilder, wie sie bei den schwer beschädigten oder vollständig eingestürzten Bauten im kalifornischen Erdbebengebiet angetroffen wurden.

Sowohl bei Mauerwerksbauten als auch bei Bauten mit Holztragwerken ist die Rettung von Verschütteten im allgemeinen leichter und weniger zeitaufwendig als bei Stahlbetonbauten. Der Anteil an spontanen Rettungen ist bei solchen Trümmersituationen bedeutend grösser. Bei den zu einem Trümmerhaufen zusammengestürzten Mauerwerksbauten (Bild 48, Mitte) lassen sich die Trümmer zur Rettung von Verschütteten oft von Hand wegräumen. In Randtrümmern Verschüttete können aber trotz der geringen Trümmermengen in diesen Bereichen nur schlecht auffindbar sein, weshalb vor dem Einsatz von Maschinen ein sehr sorgfältiges und damit auch zeitaufwendiges Absuchen und Abräumen der Trümmer notwendig ist⁶⁾.

Bei Holzbauten sind Totaleinstürze aufgrund des duktilen Materialverhaltens von Holz wenig wahrscheinlich. Bei den kleinen viktorianischen Holzbauten in der Region von Santa Cruz (vgl. Kap. 3.2) waren deshalb auch kaum Rettungen notwendig. Bei den grösseren Holzbauten, wie sie im Marina Quartier in San Francisco anzutreffen waren und die wegen ihrer weichen Erdgeschosses versagten ("soft storey" Kollaps, Bild 48, unten), gestalten sich die Rettungsarbeiten etwas schwieriger. Um in die Trümmer einzudringen, und um diese wegzuräumen, sind aber allgemein nur leichte Mittel notwendig. Im Vergleich zu Stahlbetontrümmern sind die Rettungen darum auch in solchen Trümmernlagen mehrheitlich einfach und wenig zeitaufwendig.

⁶⁾ Maack, P.: Systematik der Schadenstellen - Merkblatt für die Rettung von Verschütteten und Eingeschlossenen, Hamburg 1960 (BSO PTT Feu- und Pionierdienst, Die Schadenelemente - Leitfaden für die Instruktion, 3. 8. 1967)

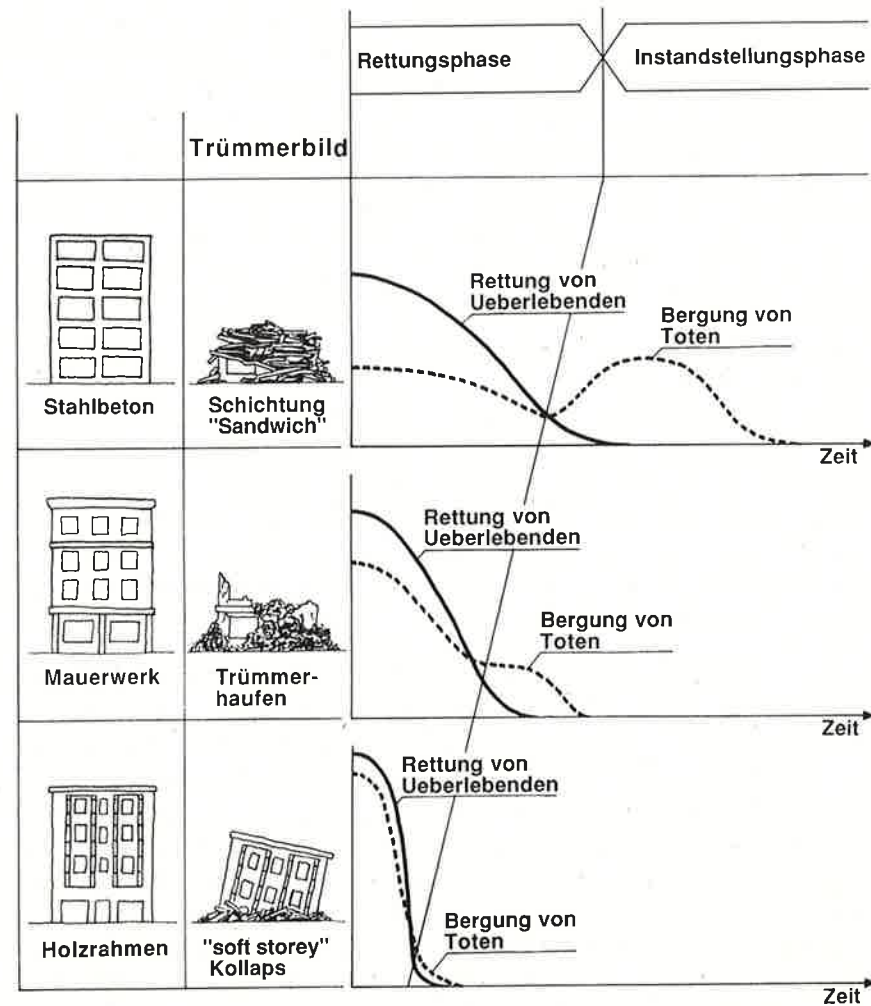


Bild 48, Quantitativer Vergleich des zeitlichen Ablaufs der Rettungsarbeiten bei verschiedenen Trümmerbildern

6.2 Organisation der Schadenplätze

Die grossen Schadenplätze im Marina Quartier in San Francisco, an der Cypress Hochstrasse in Oakland und in der Pacific Garden Mall in Santa Cruz waren nach dem Erdbeben von Polizeieinheiten vollständig abgeriegelt worden. Auch mehrere Tage nach dem Beben war das Betreten dieser Schadenplätze nur mit einer Bewilligung über die von der Polizei permanent bewachten Zugänge möglich. Die zahllosen kleineren Schadenstellen wurden mit Absperrbändern und Signalständern markiert. Um Passanten an solchen Schadenstellen nicht durch Trümmer bzw. durch weitere Einstürze im Fall von Nachbeben zu gefährden, wurden mit der gleichen Massnahme auch einzelne Strassenabschnitte für den Verkehr gesperrt.

Im Industriegebiet entlang der Cypress Street wurde der Schadenplatz von der schnell eintreffenden Polizei noch am Abend nach dem Beben konsequent geräumt. Für die Einsatzdienste konnte so eine relativ ungehinderte Zufahrt geschaffen werden. Der betroffene Teil des Wohnquartiers Marina in San Francisco wurden erst am Tag nach dem Beben abgeriegelt. Viele Bewohner verbrachten die Nacht nach dem Ereignis in ihren Häusern. In Marina waren zahlreiche Freiwillige an der Brandbekämpfung beteiligt, indem sie beim Aufbau temporärer Löschwassernetze halfen (vgl. Kap. 6.4). Sofort nach dem Beben wurde die Bevölkerung von den Polizeikräften mit Lautsprecherwagen und zu Fuss mit Megaphonen über Verhaltensmassnahmen informiert (Bild 49). Dabei wurde sie ermahnt, die Gasleitungen zu schliessen, die verbleibende Stunde mit Tageslicht für vorsorgliche Massnahmen zu nutzen und sich auf einen mehrtägigen Unterbruch der Wasser- und Stromversorgung vorzubereiten. Bevor die ersten Berichterstattungen zum Erdbebenereignis ausgestrahlt wurden, sendeten die verschiedenen Fernsehstationen Durchsagen der örtlichen Polizei, in denen vor Plünderungen gewarnt wurde und dafür schwere Strafen angedroht wurden. Späteren Presseberichten zufolge mussten nur etwa 50 Personen wegen solchen Vergehen festgenommen werden.

Die drei Hauptschadenplätze mit Flächen von 0,5 km² im Marina Quartier von San Francisco, 1 km² an der Cypress Street in Oakland und knapp 0,2 km² an der Pacific Garden Mall in Santa Cruz wurden von der Polizei während über einer Woche rund um die Uhr bewacht (Bild 50). Der Zutritt wurde nur Personen gewährt, welche sich mit

dafür ausgestellten Bewilligungen ausweisen konnten. Die Absperrmassnahmen wurden äusserst konsequent gehandhabt, und eine Erlaubnis zum Betreten der Schadenplätze wurde nur den beteiligten Helfern erteilt (Bild 51). Bewohner erhielten die Erlaubnis, ihre Häuser für beschränkte Zeit und in Begleitung zu betreten. Der Autor erhielt die Möglichkeit, die Schadenplätze als fachtechnischer Beobachter und Berater zu besuchen. Am Beispiel der Presse, welche kaum zu den Schadenplätzen zugelassen wurde, zeigt sich wie restriktiv die Zutrittsbewilligung von den Behörden gehandhabt wurde.

An vielen Stellen war nur ein Absperrring aufgebaut worden. Aus verkehrstechnischen Gründen war an einigen Orten ein zusätzlicher, meist um einen Block (ca. 100-200m) weiter entfernter äusserer Absperrring vorhanden. Diese Strassenperren waren von der Polizei jedoch nicht besetzt und konnten zu Fuss überquert werden. Knapp eine Woche nach dem Erdbeben wurde in Santa Cruz damit begonnen, die provisorischen Absperrungen mit Kunststoffbändern durch stabilere rund zwei Meter hohe Drahtgitterzäune zu ersetzen (Bild 52). Diese Massnahme wurde getroffen, um die Polizei personell in ihren Bewachungs- und Kontrollaufgaben zu entlasten.

Neben den sehr effektiven Sperrungen führte die Polizei auf den Schadenplätzen dauernd Kontrollen durch. Vor allem beim eingestürzten Interstate Freeway 880 in Oakland, wo die Rettungsarbeiten mehrere Tage nach dem Beben noch im Gang waren, wurde der Schadenplatz ununterbrochen von Polizeipatrouillen überwacht (Bild 53). Dabei wurde speziell darauf geachtet, dass sich die wenigen fachtechnischen Beobachter nicht ausserhalb der erlaubten Orte aufhielten, um so deren Sicherheit zu gewährleisten, und um die Rettungsarbeiten nicht zu stören. Der Autor wurde während des Aufenthalts auf diesem Schadenplatz mehrere Male aufgehalten und musste seine von der Polizei ausgestellte Bewilligung vorweisen.

Am Tag nach dem Erdbeben wurden in allen betroffenen Gemeinden der Region sowie bei den Hauptschadenplätzen, Einsatz- und Auskunftszentralen in öffentlichen Gebäuden eingerichtet. Im Marina Quartier befand sich diese Zentrale im Gebäude der Marina Middle School, in Santa Cruz in der Garage des Feuerwehrgebäudes. Für freiwillige Helfer und Hilfeleistungen wurden in den Medien die Telefonnummern und Adressen dieser Zentralen bekanntgegeben. Die Aufgaben dieser

Stellen bestanden neben der Erteilung von Auskünften und der Ausstellung von Zutrittsbewilligungen hauptsächlich in der Koordination der Hilfsleistungen. Für Hilfsdienste meldete sich eine grosse Zahl von Volontären aus der Bevölkerung. Problematisch war jedoch, dass viele dieser Freiwilligen keine speziellen Kenntnisse besaßen und deshalb nur schwer eingesetzt werden konnten. Vor allem die Beurteilung von Bauten bezüglich ihrer Tragsicherheit (vgl. Kap. 7) bedingte einen sehr grossen personellen und organisatorischen Aufwand. Es waren zu wenig qualifizierte Fachleute vorhanden, um diese Aufgabe zu übernehmen. Die Bedeutung der zahlreichen Freiwilligen ist trotzdem nicht zu unterschätzen. Sie verpflegten beispielsweise die Rettungskräfte auf den Schadenplätzen oder waren im Marina Quartier für die Verteilung von Trinkwasser zuständig (vgl. Kap. 5.1).

Der Besuch des Bebengebiets durch den amerikanischen Präsidenten Georg Bush am 20. Oktober erforderte einen grossen zusätzlichen organisatorischen Aufwand. Nach Aussagen des Leiters der Einsatzzentrale in Santa Cruz musste ein Arbeitstag für die Organisation sicherheitstechnischer Massnahmen und die Gewährleistung eines reibungslosen Ablaufs der Besichtigung durch den Präsidenten aufgewendet werden.



Bild 49, An den Schadenplätzen informierten Polizeikräfte die Bevölkerung über die nach dem Beben zu treffende Verhaltensmassnahmen



Bild 50, Die Schadenplätze waren von der Polizei konsequent abgesperrt worden (Marina Quartier, San Francisco)



Bild 51, Der Schadenplatz an der Cypress Street in Oakland wurde weiträumig abgesperrt. Der Zutritt wurde nur den Rettungskräften gewährt



Bild 52, Um die Polizeikräfte bei ihren Bewachungsaufgaben zu entlasten, wurden die provisorischen Absperungen mit Kunststoffbändern durch Drahtgitterzäune ersetzt (Santa Cruz)



Bild 53, Polizeikontrollen am eingestürzten Interstate Freeway 880 in Oakland

6.3 Einsatz am Interstate Freeway I-880

Am 20. Oktober, zweieinhalb Tage nach dem Erdbeben, konnte der Autor den Schadenplatz am Interstate Freeway 880 an der Cypress-Street in Oakland besuchen. Rettungs-, Sicherungs- sowie auch schon erste Abbrucharbeiten an der über eine Länge von mehr als 1,5 Kilometer eingestürzten Autobahnbrücke waren zu diesem Zeitpunkt in vollem Gang. Bis zu diesem Zeitpunkt war erst rund die Hälfte der Verschütteten geborgen worden. In Anbetracht der Grösse des Schadenplatzes waren auffallend wenige Personen an den Rettungsarbeiten beteiligt. Die professionellen Einsatzkräfte verfügten über umfangreiche Mittel und setzten in grossem Mass schwere Geräte und Baumaschinen ein. Die eingesetzten Baumaschinen stammten grösstenteils aus privaten Beständen. Die Rettungsarbeiten verliefen ruhig und sehr gut koordiniert. Der Betrieb auf dem Schadenplatz war vergleichbar mit dem auf einer gut organisierten Baustelle (Bild 54).

Bei den in der ersten Stunde nach dem Einsturz erfolgten spontanen Rettungen konnten vor allem Verkehrsteilnehmer, welche sich auf der oberliegenden Fahrbahn befunden hatten, gerettet werden. An diesen Rettungen waren zuerst Freiwillige aus den umliegenden Industriebetrieben beteiligt, welche sich mit hohen Leitern und grossen Gabelstaplern Zugang auf die Trümmer verschafften. Diese Rettungsarbeiten wurden aber schon nach kurzer Zeit von den schnell eintreffenden Feuerwehren übernommen. Die Polizei, welche sofort alle Zufahrtsstrassen absperren hatte, räumte danach die Cypress Street konsequent. Passanten wurden strikte weggeleitet. Die weiter eintreffenden Rettungskräfte und die Ambulanzen konnten dadurch relativ ungehindert zum Schadenplatz gelangen. Einige weniger schwer Verschüttete auf den unteren Fahrstreifen konnten von seitlich zwischen den Fahrbahnplatten in die Trümmer eingedrungenen Rettern geborgen werden. Mehrere Fahrzeuge, welche von den herabgestürzten Betonplatten verschüttet wurden, waren jedoch in Brand geraten. Die Hohlräume in den Trümmern waren deshalb stellenweise völlig verqualmt. Die Bekämpfung dieser Fahrzeugbrände durch die Feuerwehr gestaltete sich äusserst schwierig, da an vielen Stellen kaum Möglichkeiten bestanden, zu den Brandherden vorzudringen.

Die meisten auf der unteren Fahrbahn vom Erdbeben überraschten Verkehrsteilnehmer wurden so unglücklich verschüttet, dass sich ihre

Bergung aus den Trümmern der Stahlbetonkonstruktion äusserst schwierig gestaltete. Einige Autofahrer stoppten ihre Fahrzeuge beim Beginn des Beben absichtlich unter den Tragwerksrahmen der Brücke in der Hoffnung, an diesen Stellen (wie unter einem Türrahmen) am besten vor herabfallenden Trümmern geschützt zu sein. Wegen den massiven Querbalken der Tragkonstruktion hatten die Rettungsmannschaften praktisch keine Möglichkeit, an diese Stellen vorzudringen. Obwohl die Rettungsarbeiten (Bild 55) von professionellen Kräften intensiv Tag und Nacht vorangetrieben wurden, waren nach über zwei Tagen erst 23 Opfer geborgen. Man war zu diesem Zeitpunkt noch immer im Ungewissen, wieviele Verschüttete sich noch in den Trümmern befanden. An den professionellen Rettungen war eine auffallend grosse Zahl Elementen aus privaten Firmen beteiligt. Sie waren für den Einsatz der ebenfalls von privater Seite stammenden Maschinen und Geräte verantwortlich. Daneben übernahmen die Feuerwehren vielfältige Aufgaben. Mit Hilfe ihrer Fahrzeugen ermöglichten sie an vielen Stellen den Zugang zu den schwer erreichbaren gegen 10 Meter über dem Boden gelegenen Trümmern (Bild 56). Die ebenfalls für diese Zwecke eingesetzten "Sky Worker" erwiesen sich dabei als ausserordentlich geeignete Hilfsmittel (Bild 57).

Für die Nacharbeit stand eine grosse Zahl von Beleuchtungsanhängern mit Teleskopmasten zur Verfügung (Bild 58). Einheiten mit elektrischen Leistungen von 2 bis schätzungsweise 10 kW und Masthöhen bis zu 8 Metern ermöglichten dabei das Arbeiten unter günstigen Beleuchtungsverhältnissen ohne grosse Schlagschattenbildung (vgl. auch Bild 16). Beidseits entlang der Autobahn waren zahlreiche schwere fahrbare Krane im Einsatz (Bild 59). Nachdem mit deren Hilfe die Fahrzeuge auf der oberen Fahrbahn geborgen worden waren, hoben sie die Abbaugeräte und Maschinen zur Bergung der Verschütteten auf die Trümmer. Um zu den unter den Fahrbahnplatten georteten Fahrzeugen vorzudringen, setzten die Bergungsmannschaften schwere hydraulische und pneumatische Abbaugeräte wie an Baggern angebaute Hydraulikhämmer ein (Bild 60 und 61). Sie drangen damit von oben in die Trümmer ein, wobei über den georteten Fahrzeugen ca. 2 x 2 Meter grosse Durchbrüche geschaffen wurden. Bewehrungsstähle wurden dabei mit mechanischen Trenngeräten durchtrennt (vgl. Bild 62). Zur Bergung der in den Fahrzeugen eingeklemmten Opfer wurden die Fahrzeugdächer mit hydraulischen Scheren und Spreizern geöffnet.

Grosse Probleme schien die Ortung von Verschütteten zu bieten. Von Rettern, welche zwischen die aufeinanderliegenden Fahrbahnplatten krochen, wurden die Fahrzeuge lokalisiert. Da ein Vordringen zu den Fahrzeugen aber nicht immer möglich war, konnten nicht alle Wagen untersucht werden. Es blieb deshalb bis zum Freilegen der Fahrzeuge von oben oft unsicher, ob sich Verschüttete darin befanden. Der Einsatz von fiberoptischen Kameras zur Untersuchung solcher Fahrzeuge und nicht begehbaren Hohlräumen wurde deshalb diskutiert. Die Angaben über geortete Fahrzeuge - ihre Lage und Entfernung vom Fahrbahnrand - wurden jeweils mit Sprayfarben gut sichtbar direkt auf die Trümmer gespritzt (Bild 56 und 64). Gleich gekennzeichnet wurden schon abgesuchte Streckenabschnitte. Die Retter benutzten dazu spezielle Farben mit fluorisierenden Eigenschaften, damit die Markierungen auch in der Nacht bei der Arbeit mit Scheinwerferlicht gut sichtbar waren.

Am Freitagabend wurden die Arbeiten auf dem Schadenplatz vorübergehend eingestellt, weil eine Gefährdung der Rettungsmannschaften durch einen weiteren Einsturz der Trümmer befürchtet wurde. Arbeiten zur Stabilisierung des Freeways waren zwar parallel zu den Rettungsarbeiten im Gang, doch war zeitweise nicht genügend Material vorhanden, um die Brückenkonstruktion zusätzlich abzustützen. Nachdem die Fahrbahn in den ersten Tagen mit Stahlrohrstützen oder ebenen Holzfachwerken (Bild 56 und 60) gesichert wurde, kamen ab Donnerstag auch schwere Stahlträger zum Einsatz, mit denen die Sicherungsarbeiten schneller vorangetrieben werden konnten (Bild 63). Drei Tage nach dem Beben waren aber nicht mehr genügend Träger verfügbar. Die schweren Strassentransporte mit weiterem Trägermaterial waren am Freitagabend noch einige Fahrstunden vom Schadenplatz entfernt.



Bild 54, Der Betrieb auf dem Schadenplatz an der eingestürzten Cypress Hochstrasse verlief ausserordentlich ruhig. Dieses zweieinhalb Tage nach dem Beben gemachte Bild zeigt erste Aufräumarbeiten, obschon gleichzeitig die Rettungen noch in vollem Gang waren



Bild 55, Rettungskräfte bei der Arbeit auf den Trümmern der oberen abgestürzten Fahrbahnen der Cypress Hochstrasse



Bild 56, Drehleiter der Feuerwehr für den Zugang zu den hochgelegenen Trümmern. Man erkennt auch den durch die Fahrzeugbrände nach dem Beben geschwärzte Brückenrand. Die Brücke ist durch ein Holzfachwerk gesichert



Bild 57, Sky Worker sind flexibel einsetzbare Hilfsmittel für Rettungsarbeiten an hochliegenden schwierig zu erreichenden Trümmerstellen



Bild 58, Zahllose Beleuchtungsanhänger mit Teleskopmasten ermöglichten, dass die Rettungsarbeiten im Schichtbetrieb auch in der Nacht weitergeführt werden konnten



Bild 59, Die Einsatzdienste verfügten über umfangreiche schwere Mittel, welche aus privaten Beständen stammten



Bild 60, Um in die Trümmer einzudringen, setzten die Rettungskräfte Baumaschinen, wie Bagger mit angebauten Hydraulikhämmern ein. Gut sichtbar sind die Stützkonstruktionen zur Sicherung der beschädigten Hochstrasse



Bild 61, Hydraulischer Abbauhammer auf leichtem Fahrwerk mit einer externen auf einem Lastwagen aufgebauten Oeldruckanlage



Bild 62, Schweres Abbruchgerät vor den Trümmern der Cypress Hochstrasse



Bild 63, Sicherung der Stahlbetonkonstruktion mit schweren auf Holzbalken aufgelegten Stahlträgern

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der Rettungseinsatz in den Trümmern der Cypress Brücke des Interstate 880 in Oakland ausserordentlich schwierig war. Die Trümmersituation ist zum Teil mit derjenigen von eingestürzten Stahlbetonhochbauten (Schichtung) vergleichbar. Obwohl optimal mit einer Vielzahl von Mitteln ausgerüstete professionelle Retter im Einsatz standen, war der Aufwand zur Bergung der Schwerverstütteten sehr hoch. Anhand der Zahl der auf dem Schadenplatz tätigen Retter kann er auf weit über 100 Mannstunden pro Opfer geschätzt werden. Dieser Wert liegt trotz der sehr viel besseren Ausrüstung um rund eine Grössenordnung höher als die aus dem zweiten Weltkrieg stammenden für die Rettung von Schwerverstütteten gemachten Angaben. Diese Erkenntnis deckt sich auch mit den aus den Einsätzen der Rettungskette gewonnenen Erfahrungen. Es scheint deshalb fraglich, ob die Zeitangaben aus dem zweiten Weltkrieg auch noch bei den "Sandwich"-Trümmerbildern moderner Stahlbetonbauten Gültigkeit haben.



Bild 64, Rettungen in geschichteten Stahlbetontrümmern sind ausserordentlich schwierig. Bei der eingestürzten Cypress Brücke in Oakland mussten die Retter von der Seite in die kleinen Hohlräume zwischen den aufeinander liegenden Fahrbahnplatten kriechen, um die verschütteten Fahrzeuge zu lokalisieren. Um später von oben zu den Verschütteten vorzudringen, wurde die Distanz vom Fahrbahnrand mit Farbspray auf den Brückenrand aufgespritzt. An der abgebildeten Stelle befindet sich in 20' (ca. 6 m) Entfernung ein verschüttetes Fahrzeug.

6.4 Brandbekämpfung

Sofort nach dem Beben wurden Brandausbrüche im Marina Quartier gemeldet. Bei der Brandbekämpfung mussten die Feuerwehrkräfte auf unabhängige Löschwasserentnahmestellen zurückgreifen, da das normale Wasserleitungsnetz an vielen Stellen zerstört war (vgl. Kap. 5.1). Dabei wurde unter anderem ein Löschwassersystem eingesetzt, welches von der Feuerwehr von San Francisco für den Erdbebenfall entwickelt worden ist. Mit diesem System, bestehend aus Löschfahrzeugen, welche mit 800 Meter 5-Zoll-Schlauch und mobilen Hydranten ausgerüstet sind, konnte eine Löschwasserversorgung aufgebaut werden, indem Meerwasser aus der Bucht von San Francisco gepumpt wurde. Zusätzlich stand den Ereignisdiensten auch ein Feuerlöschboot zur Verfügung, mit dem Wasser aus der Bucht gepumpt wurde. Die Feuerwehr brachte die heftigen Brände aber erst nach Stunden unter Kontrolle. Als Glücksfall muss gewertet werden, dass nach dem Beben praktisch Windstille herrschte. Auch in anderen Gemeinden brachen nach dem Beben Brände aus. In Watsonville wurden vier Brandausbrüche gemeldet. Drei Häuser brannten dabei vollständig nieder.



Bild 65, Ein nach dem Erdbeben ausgebroches Feuer zerstörte dieses Wohnhaus in Watsonville

6.5 Einsatz von Armeeinheiten und -mitteln

In den Städten San Francisco und Oakland sowie in den umliegenden Gemeinden wurde sofort nach dem Erdbeben Grossalarm für die Polizei, die Feuerwehren und die übrigen Ereignisdienste ausgelöst. Während die Polizeikräfte sehr schnell die Schadenplätze absperreten, übernahmen die Feuerwehren vielfältige Aufgaben und beteiligten sich neben der Brandbekämpfung an der Rettung von Verschütteten. Neben den zivilen Ereignisdiensten wurden über das Pentagon auch Armeeeinheiten mobilisiert.

Die kalifornische Nationalgarde (California National Guard) begann zwanzig Minuten nach dem Ereignis über 20'000 Mann zu mobilisieren. Truppen kamen aber nur vereinzelt zum Einsatz. So übernahm beispielsweise die Militärpolizei im Marina Quartier Aufgaben der Verkehrsregelung. Für Beobachter überraschend wurden Militärspitäler der Region für die Zivilbevölkerungen geöffnet. Die Armee unterstützte die zivilen Behörden auch bei der Versorgung. Für die Notwasserversorgung lieferte die vor Oakland in der Bucht von San Francisco gelegene Naval Station Alameda Wasserkanister. Im Hafen von San Francisco lagen drei Kriegsschiffe vor Anker, welche bereit waren, mit Hilfe ihrer Wasseraufbereitungsanlagen die Notwasserversorgung zu unterstützen. Im weitern stellte die Armee den zivilen Führungsstäben militärische Transporte und mobile Notstromversorgungsanlagen zur Verfügung.

Die amerikanische Regierung schenkte in den letzten Jahren den Armeeeinsätzen zur Katastrophenhilfe vermehrte Beachtung. Die schnelle Reaktion des Militärs ist unter diesem Gesichtspunkt nicht erstaunlich. Die angebotenen umfangreichen Hilfeleistungen wurden jedoch kaum in Anspruch genommen. Dabei ist aber zu beachten, dass das Ausmass der Katastrophe kurz nach dem Beben nicht klar erkennbar war. Das war mit ein Grund für das vorsorgliche übergrosse Aufgebot an Einheiten und Mitteln.

7 Schadenbeurteilung von Bauten

7.1 Uebersicht

Um die Einsturzgefährdung von beschädigten Bauten zu beurteilen und sich ein genaues Bild über die Schadenlage machen zu können, leiteten die Behörden der betroffenen Gemeinden kurz nach dem Beben Schadenbeurteilungen ein. Die Bauten wurden dabei von spezialisierten Ingenieuren in bezug auf Erdbebenschäden untersucht und entsprechend ihrer Tragsicherheit klassifiziert. Mit Anschlägen an den Haustüren wurden die beurteilten Bauten gekennzeichnet (Bild 66), wobei drei Gruppen unterschieden wurden: Als "inspected" (grün) wurden Gebäude gekennzeichnet, bei denen keine Schäden festgestellt wurden und die ohne Einschränkungen betreten werden durften. Mit "limited entry" (gelb) wurden Bauten gekennzeichnet, bei denen im Fall von Nachbeben oder anderen Einwirkungen weitere Schäden auftreten konnten. Bei solchen Gebäuden war der Zutritt eingeschränkt und nur befugten Personen erlaubt. Als "unsafe" (rot) eingestufte Bauten durften nicht mehr betreten werden, da ein Einsturz zu befürchten war. Einzig die Bewohner solcher Gebäude erhielten die Bewilligung, ihre Wohnungen in Begleitung eines Gebäudeinspektors für einige Minuten zu betreten, um so ihre wichtigsten Utensilien zu retten. Diese an allen Schadenplätzen sofort nach dem Beben durchgeführte grobe Klassifikation der Bauten in drei Sicherheitsklassen wurde im ganzen Erdbebengebiet gleich durchgeführt. Es handelte sich dabei um eine durch das "Office of Emergency Services" (OES) des Gouverneurs von Kalifornien geplante und vorbereitete Massnahme zur Katastrophenbewältigung. Auffallend war, dass diese Beurteilung sehr streng gehandhabt wurde, um keine zusätzlichen Risiken einzugehen.

Die restriktive Sperrung vieler Wohnbauten hatte zur Folge, dass eine grosse Zahl von Bewohnern in den zu Katastrophengebieten erklärten Schadenplätzen nicht in ihre Häuser zurückkehren konnten und obdachlos waren. Allein in Santa Cruz übernachteten 2000 Personen in Zelten auf dem Baseballfeld. Für die Entscheidung über die weitere

Nutzung musste darum die Tragsicherheit der vom Erdbeben beschädigten Bauten möglichst schnell genauer beurteilt werden. Sowohl im Marina Distrikt in San Francisco wie auch in der Pacific Garden Mall in Santa Cruz standen für diese Aufgaben nicht genügend fachkundige Ingenieure zur Verfügung. Obwohl sich Erdbebeningenieurere aus ganz Kalifornien und sogar ausländische Experten an den Schadensschätzungen beteiligten, mussten sehr viele Bewohner mehrere Tage warten, ehe ihre Häuser beurteilt wurden. Die für die Schadensschätzungen vorbereiteten Beurteilungsgrundlagen sowie die entsprechende Aufnahmeprotokolle wurden vom Staat vorgegeben (vgl. Kap. 7.2). Trotzdem bedingte die Koordination der Gebäudebeurteilungen einen unerwartet grossen organisatorischen Aufwand.

Gebäude mit irreparablen Schäden wurden zum Teil wenige Tage nach dem Erdbeben abgebrochen (vgl. Bild 20). Die Stadtverwaltungen hatten ein vitales Interesse daran, solche Arbeiten schnell auszuführen, da in den zu Katastrophengebieten erklärten Schadengebieten gewisse Kosten vom Staat übernommen wurden. Im übrigen war die langdauernde konsequente Absperrung der innerstädtischen Schadengebiete nur mit einem sehr grossen personellen Aufwand seitens der Polizei möglich (Kap. 6.2). Eine schnelle Normalisierung der Verhältnisse wurde auch unter diesem Aspekt angestrebt.

7.2 Beurteilungskriterien

Die Kriterien, nach denen Hochbauten und auch Verkehrsbauten bezüglich Erdbebenschäden beurteilt werden, sind vom Staat Kalifornien festgelegt. Das "Office of Emergency Services" (OES) schreibt zu diesem Zweck die Verwendung standardisierter Schadenformulare vor. Die im ganzen Bebengebiet mittels dieser Formulare durchgeführte Schadenbeurteilung garantiert einen im wesentlichen einheitlichen Massstab bei der Einschätzung der Schäden. Dadurch ist auch eine Auswertung möglich, welche einen Ueberblick über die gesamte Schadensituation gibt. Aus Gründen der Effizienz und der Auswertbarkeit sind die vorbereiteten Schadenprotokolle relativ kurz gehalten. Die Einteilung in die verschiedenen Schadensgrade lehnt sich zudem stark an die in den

gebräuchlichen Intensitätsskalen (z.B. MSK-Skala*) verwendeten Klassifikationen an. Die Kriterien, wie sie in den verwendeten Schadenprotokollen aufgeführt sind und nach denen die Hochbauten im Erdbebengebiet beurteilt wurden, sind im folgenden zusammengefasst:

Bauwerksbeschreibung und -nutzung

- ◇ Generelle Angaben (Anzahl Ober-/Untergeschosse, Baujahr)
- ◇ Bauweise/Tragwerksart (Holz, Stahl, Stahlbeton, Mauerwerk u.a.)
- ◇ Primäre Nutzung (Oeffentl. Bau, Verwaltung, Industrie, Hotel, Wohnbau u.a.)

Tragwerkschäden

- ◇ Schadensgrad (0: keine Schäden (0%); 1: marginale Schäden (1-10%); 2-3-4: mittlere Schäden (11-40%); 5: schwere Schäden (41-60%); 6: Totalschaden (über 60%))
- ◇ Genereller Zustand des Gebäudes (Schäden am ganzen Tragwerk, kompletter/teilweiser Einsturz/Kollaps, Bauwerks-/Stockwerksneigung)
- ◇ Beschädigte Tragwerkteile (Foundation, Dach, Böden, Stützen, Rahmen, Knotenpunkte, Wände, Schubwände u.a.)

Schäden an nicht zum Tragwerk gehörenden Bauteilen

- ◇ Beschädigte Bauteile (Brüstungen, Kamine, Liftanlagen, Treppen, Innen-/Trennwände, Decken, Beleuchtung, techn. Einbauten u.a.)

Beurteilung des Baugrunds

- ◇ Baugrundversagen (Setzung, Bodenverflüssigung, Rutschung, Verwerfung)

Schadenschätzung

- ◇ Bauwerkgrösse (Geschossfläche)
- ◇ Schadenhöhe (Prozentual, Reparaturkosten bzw. Wertverlust)

Zusammenfassung und Empfehlungen

- ◇ Vorhandene/empfohlene Klassifikation (Inspected, Limited Entry, Unsafe)
- ◇ Notwendige Massnahmen (Absperrungen, weitere Beurteilungen, keine)

Kommentare, Fotografien, Skizzen

*Seismische Intensitätsskala nach Medvedev-Sponheuer-Karnik, 1964. Intensitätsskalen geben die Erdbebenstärke aufgrund der Wirkung auf Personen, Bauten und die Natur an. In den U.S.A. ist die Verwendung der ähnlichen 1931 entwickelten MM-Skala (Modified Mercalli) üblicher.



Bild 66, Anschlag an der Haustüre eines Gebäudes, welches nach der Schadenbeurteilung nur noch beschränkt genutzt werden durfte (limited entry)



Bild 67, Ein Team von Gebäudeinspektoren aus Los Angeles und der Autor (links, stehend) in der Pacific Garden Mall in Santa Cruz

7.3 Pacific Garden Mall in Santa Cruz

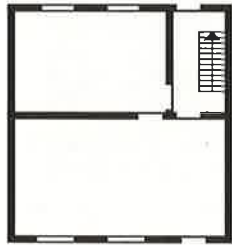
In der Pacific Garden Mall, dem im Stadtzentrum gelegenen Hauptschadenplatz von Santa Cruz, lief die Beurteilung der Gebäudeschäden knapp eine Woche nach dem Erdbeben an. Nach Abschluss der Rettungs- und der ersten Aufräumarbeiten war das ganze Gebiet weiträumig abgesperrt worden. Die Tragsicherheit der beschädigten Bauten konnte bis zu diesem Zeitpunkt nur sehr grob beurteilt werden. Die meisten dieser Gebäude waren vorerst als "unsafe" klassifiziert worden. Fünf Tage nach dem Beben begann der Autor in einem Team von Ingenieuren, welche aus dem Süden Kaliforniens, hauptsächlich aus Los Angeles, angereist waren, mit der Beurteilung der Gebäudeschäden in der Pacific Garden Mall (Bild 67).

Die zur Katastrophenbewältigung zuständige Einsatzzentrale in Santa Cruz koordinierte die Schadenbeurteilungen. Den Ingenieuren wurden dort die zu beurteilenden Bauten zugewiesen. Die Mitarbeiter der Stadtverwaltung führten die auswärtigen Spezialisten zu den entsprechenden Schadenplätzen. Die Teams wurden zudem mit Sofortbildkameras ausgerüstet, um die Schäden zusätzlich zu dokumentieren. Die Beurteilungen wurden anhand der Schadenprotokolle der OES, welche im Kapitel 7.2 beschrieben sind, durchgeführt. Die ausgefüllten Protokolle wurden anschliessend in der Einsatzzentrale zur Weiterbearbeitung auf EDV Anlagen gespeichert.

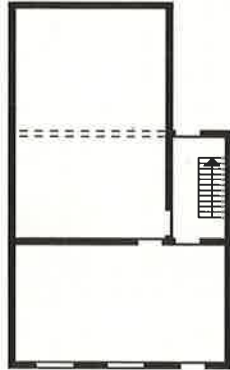
Bei den zu beurteilenden Bauten handelte es sich fast ausschliesslich um ältere vor 1930 erstellte Mauerwerksbauten mit Holzbalkendecken. In vielen dieser Gebäude waren die Erdgeschosse als Ladenlokale genutzt worden. Auf der Gebäuderückseite sind deshalb oftmals eingeschossige Anbauten zur Vergrößerung der Laden- oder Lagerflächen erstellt worden. Einige neuere dieser Anbauten waren in Stahlbeton ausgeführt. Grundsätzlich beeinflussen solche Anbauten die Erdbebenwiderstandsfähigkeit ungünstig, da das Verformungsverhalten der beiden Baukörper infolge der unterschiedlichen Bauwerkshöhen sowie der verschiedenen Baumaterialien nicht gleich ist. Die aussteifenden Gebäuderückwände wurden bei solchen Umbauten meistens abgebrochen und die Erdgeschosse dadurch geschwächt (Bild 68, mitte). Wegen der Ladennutzung fehlten oftmals auch andere Querwände, welche bei horizontaler Erdbebenbelastung eine Scheibentragwirkung

erzielt hätten. Oftmals wurde mit grossen Schaufensteröffnungen auch die Gebäudefront stark geschwächt (Bild 68, rechts).

Ursprünglicher Zustand mit drei Wandscheiben in Querrichtung



Eingeschossiger Anbau an Gebäuderückseite, Abbruch der hinteren Aussenwand



Abbruch der aussteifenden innern Querwand, Vergrösserung der Schaufenster

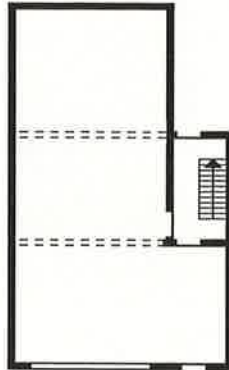


Bild 68, Typischer Um- und Ausbau eines Gebäudes mit einem Laden, welcher zu einem "weichen" Erdgeschoss (soft storey) führt

Der im Bild 68 dargestellte Grundriss ist für viele der untersuchten Bauten an der Pacific Garden Mall typisch. Neben den schon im vorhergehenden Kapiteln erwähnten ungünstigen Untergrundbedingungen dürften die aus einer solchen Grundrissgestaltung resultierenden "weichen" Erdgeschosse mit ein Grund für die grosse Konzentration von Gebäudeschäden an der Pacific Garden Mall in Santa Cruz sein.

Die rückseitigen Erdgeschossanbauten selbst erlitten meistens keine grossen Schäden. Bei einigen der untersuchten Anbauten war jedoch das Flachdach oder im Dach eingebaute Oberlichtfenster von Trümmern durchschlagen worden (Bild 68), so dass im Innern von sonst unbeschädigten Gebäudeteilen ganz überraschend oftmals stark vertrümmerte Räume vorgefunden wurden (Bild 69 und 71).



Bild 69 und 70, Erdgeschossräume von gebäuderückseitigen Anbauten, bei denen die Decke (links) oder das Oberlicht (rechts) von Trümmern durchschlagen wurde (Pacific Garden Mall, Santa Cruz)



Bild 71, Von den Trümmern eines benachbarten höheren Gebäudes durchschlagenes Flachdach (Pacific Garden Mall, Santa Cruz)

Bei den meisten an der Pacific Garden Mall beurteilten Mauerwerksbauten konnten die für solche Tragwerke charakteristischen Erdbebenschäden festgestellt werden. Bei den in ihrer Ebene als Scheiben beanspruchten Mauerwerkswänden entstanden die für Erdbebenbeanspruchung typischen Schräg- oder Schubrisse, wenn die Festigkeit des Mauerwerks überschritten wurde (Bild 72). Fensteröffnungen beeinträchtigen die Scheibenwirkung von Wänden. Die Spannungskonzentrationen an den Ecken von Mauerwerksöffnungen begünstigen die Rissbildung. Zudem sollten Fenster möglichst weit von den Gebäudeecken entfernt sein. Diese Grundsätze des Erdbebeningenieurwesens wurden bei der Beurteilung der Bauten immer wieder bestätigt. Die in den Bildern 4 und 19 und abgebildeten Gebäude weisen schwer beschädigte Mauerwerkswände auf, welche wegen den im Bereich der Gebäudeecken vorhandenen Schwächungen durch Fensteröffnungen vollständig abstürzten. Bei einer etwas längere Beibendauer wäre das gleiche Versagen auch bei dem im Bild 72 abgebildeten Gebäude eingetreten. Man beachte die von den Ecken des Fensters ausgehenden und bis zur Gebäudeecke laufenden Schrägrisse. Die in beiden Richtungen unter 45° verlaufenden Schubrisse deuten auf die wechselnde Richtung der Bodenbewegungen hin.

Während die in der Ebene beanspruchten Wände typische Schubrisse aufwiesen, war bei den senkrecht zu ihrer Ebene als Platten beanspruchten Wänden einiger Bauten ein Abreißen von den Querwänden zu beobachten (Bild 72). Solche Erdbebenschäden traten bei ungenügenden Wandverbindungen und speziell bei stumpfgestossenen und nicht im Verband gemauerten Wandanschlüssen auf. Solche Schäden sind als besonders gefährlich einzustufen, da bereits bei geringen Einwirkungen über mehrere Stockwerke reichende Wandpartien abstürzen können (Bild 17). Die Gefahr ist speziell gross, wenn die Wände von den Decken nicht genügend gehalten werden und wenn keine aussteifenden quer zur Wandebene angeordneten Innenwände vorhanden sind. Bei der Beurteilung der Tragsicherheit wurde speziell auf solche Abrisse geachtet. Das in einem untersuchten Gebäude aufgenommene Bild 74 zeigt den über die ganze Raumhöhe führenden Abriss einer Aussenwand. Bei einem stärkeren Nachbeben ist bei dieser Wand damit zu rechnen, dass sie sich ganz von den Querwänden löst und nach aussen kippt. Bei dem im Bild 17 abgebildeten Erdbebenschaden stürzte die Aussenwand über die ganze Gebäudehöhe ein, da sie von der unbefestigten nur auf das Mauerwerk aufgelegten Holzbalkendecke kaum ausgesteift wurde.



Bild 72, Schwer beschädigtes Mauertragwerk an der Pacific Garden Mall in Santa Cruz. Man erkennt die für Erdbebenbelastungen typischen von den Ecken der Fenster ausgehenden Schubrisse und links den Abriss der Seitenwand (Querwand)



Bild 73, Schadenbeurteilung durch die Expertengruppe im Innern des oben abgebildeten Gebäudes



Bild 74, Im Innern sichtbarer über die ganze Raumhöhe führender Abriss einer Gebäudedefrontwand (Pacific Garden Mall, Santa Cruz)



Bild 75, Die meisten Bauten an der Pacific Garden Mall in Santa Cruz wiesen schwere Erdbebenschäden auf - einige Gebäude stürzten vollständig ein

8 Erkenntnisse und Lehren

Das Erdbeben vom 17. Oktober 1990 forderte verhältnismässig wenige Opfer, verursachte jedoch Milliarden Schäden und zeigte damit eindrücklich die Verletzbarkeit einer modernen Industriegesellschaft. Zahllose Erdbebenschäden an nicht zum Tragwerk gehörenden Einbauten und die Empfindlichkeit von Versorgungs- und Infrastruktureinrichtungen können mit als Gründe für das grosse Schadensausmass genannt werden. Offensichtlich wurde aber auch, dass sich die Auswirkungen eines solchen Ereignisses durch vorsorgliche Massnahmen stark reduzieren lassen. Neben den viel beachteten baulichen Sicherheitsmassnahmen, welche dazu beitrugen, dass an den neueren Hochbauten nur marginale Schäden auftraten, wurde aber auch die Bedeutung vorsorglicher organisatorischer Massnahmen für den Fall der Katastrophenbewältigung klar. Für Führungsstäbe, welche sich für solche Ereignisse vorbereiten müssen, lassen sich aus diesen Erfahrungen grundlegende Schlüsse ziehen. Man erkennt aber auch die begrenzten Möglichkeiten bei der Vorhersage von Katastrophenszenarien, womit die Notwendigkeit einer umfassenden Vorbereitung auf die Bewältigung solcher Ereignisse klar wird.

8.1 Erdbebenwiderstandsfähiges Bauen

Die Vorschriften und Normen, welche im Bauwesen seit rund 20 Jahren angewendet werden, und welche die Erdbebenwiderstandsfähigkeit von Hoch-, aber auch von Verkehrsbauten garantieren sollen, haben sich weitgehend bewährt. Vergleiche mit anderen Erdbeben ähnlicher Stärke, welche verheerende Schäden zur Folge hatten (vgl. auch Kap. 1.2) belegen dies eindrücklich. Die modernen Hochbauten in den Stadtzentren von San Francisco und Oakland erlitten kaum Tragwerkschäden und zeigten das erwartete gute Erdbebenverhalten. Die verbreiteten Schäden an den nicht zum Tragwerk gehörenden Einbauten, welche massgeblich zu der immensen Schadenssumme von schätzungsweise 10 Milliarden Franken beitrugen, zeigen, dass in diesem Bereich

noch Lücken vorhanden sind. Mit Ausnahme der speziellen Vorschriften für Kernkraftwerke, ist die Sicherheit solche Elemente heute in den Erdbebennormen nicht behandelt. Die ausgedehnten Erdbebenschäden am Trans Pacific Center in Oakland (vgl. Kap. 3.5) zeigen aber, dass solche Vorschriften wertvoll wären. Dies vor allem auch unter dem Aspekt, dass sich viele der typischen Schäden, beispielsweise an abgehängten Decken, durch einfachste konstruktive Massnahmen und ohne jeglichen Mehraufwand vermeiden liessen. Die mit dem zunehmenden Ausrüstungsstandard moderner Hochbauten wachsende Verletzlichkeit ist mit ein Grund, dass der Erdbebenwiderstandfähigkeit auch über die Tragstruktur hinaus vermehrte Beachtung geschenkt werden muss.

Die unterschiedlich starken Bodenbewegungen, die auch in benachbarten Gebieten aufgezeichnet wurden, beeinflussten die Höhe der Erdbebenschäden massgeblich. Der überaus starke Einfluss, den der Untergrund auf die auftretenden Bodenbeschleunigungen bzw. die Frequenz der Bodenbewegungen haben kann, war schon 1985 beim Erdbeben von Mexiko für das grosse Schadenausmass mitverantwortlich⁷⁾. In San Francisco und Oakland traten hohe Bodenbeschleunigungen als Folge des dort vorherrschenden wenig steifen Untergrunds vor allem in den küstennahen Gebieten auf. Bei der Beurteilung von Erdbebenrisiken und der Erarbeitung von Ereignisszenarien ist deshalb der Untergrundeinfluss verstärkt zu berücksichtigen. Am Beispiel von San Francisco's China Town, wo trotz der allgemein wenig erdbebenwiderstandsfähigen Bebauung nur vereinzelte Schäden auftraten (Bild 76), erkennt man, dass die Abschätzung der Erdbebenrisiken in städtischen Gebieten nur unter Einbezug sehr detaillierter lokaler Kenntnisse der jeweiligen Untergrundbedingungen möglich ist.

8.2 Ereignisszenarien

Am oben erwähnten Beispiel von China Town, einem Distrikt, welchem das "Office of Emergency Services" von San Francisco bei ihren Erdbebenszenarien grosse Beachtung schenkte, wird klar, dass Prognosen von Ereignisszenarien mit grossen Unsicherheiten behaftet sind. Das

⁷⁾ Ammann, W., Vogt, R., Wolf, J.: Das Erdbeben von Mexiko vom 19. September 1985, Schweizer Ingenieur und Architekt 13/86, 1986, p. 272-281

Beben vom 17. Oktober 1989 hatte glücklicherweise relativ geringe Auswirkungen, und schwere Schäden traten nur lokal auf. Demgegenüber rechnen verschiedene Studien für den Fall des erwarteten "grossen Bebens" mit einer Magnitude der Grössenordnung $M \approx 8,0$ mit erheblich schwereren Auswirkungen und bis zu 10'000 Opfern. Ein von der "Division of Mines and Geology" erstelltes Szenario prognostiziert bei einem von der Hayward Verwerfung ausgehenden $M = 7,5$ Beben 4'000 Tote und 3-mal mehr Verletzte, als dass die medizinische Versorgung bewältigen könnte. Aufgrund der Erfahrungen bei der Bewältigung der Folgen des Loma Prieta Bebens, das an die Einsatzdienste, vor allem aber an die Koordinationsstellen, erhebliche Anforderungen stellte, muss damit gerechnet werden, dass die Katastrophenhilfe bei einem solchen schwereren Beben zumindest zeitweise zusammenbricht. Vorbereitungsmassnahmen sollten deshalb weniger auf unsichere Ereignisszenarien aufbauen, sondern vielmehr breit abgestützt sein und nicht zu optimistisch auch mit einer Ueberforderung der Ereignisdienste rechnen.



Bild 76, China Town in San Francisco, welches entgegen den Befürchtungen nur schwach betroffen wurde

8.3 Erkenntnisse für Führungsstäbe

Eine adäquate möglichst realistische Vorbereitung auf Katastrophenereignisse ist nur möglich, wenn frühere Ereignisse analysiert und die Lehren daraus gezogen werden. Im Bereich des baulichen Erdbebenschutzes ist dieses Vorgehen üblich. Die ingenieurtechnischen Aspekte eines solchen Ereignisses wurden schon bei früheren Beben immer sehr detailliert ausgewertet (z.B. 3)). Für den Verantwortungsbereich von Führungsstäben, welche primär organisatorische Vorsorgemaßnahmen zu treffen haben, sind vermehrt Erfahrungen über den Ablauf und die Schwierigkeiten bei der Katastrophenhilfe zu sammeln.

Obwohl das Loma Prieta Beben vom 17. Oktober 1989 nur begrenzte Auswirkungen hatte, nur lokale Schadenplätze mit Katastrophenbedingungen zu bewältigen waren und obwohl die Ereignisdienste in Kalifornien auf den "Fall Erdbeben" ausserordentlich gut vorbereitet sind, stellte dieses Ereignis hohe Anforderungen an die Führungsstäbe. Bei der Vorbereitung aufgrund vorgegebener Szenarien sollte man sich deshalb keinen Illusionen hingeben und zu stark auf eingespielte Übungen abstellen. Führungsstäbe müssen sich vielmehr bewusst sein, dass sich schwere Ereignisse nur mit Hilfe aller, auch privater Mittel, bewältigen lassen. Sie sollten daher über möglichst breit gefächerte vorsorglich beschaffte Informationen bezüglich personeller und materieller Mittel verfügen. Im Ereignisfall müssen diese Mittel effizient mobilisiert und koordiniert werden können. Am Schadenplatz des Interstate Freeways 880, wo sich die Rettungsarbeiten äusserst schwierig gestalteten (vgl. Kap. 6.3), kamen grösstenteils private in einem Pool organisierte Mittel zum Einsatz.

Führungsstäbe sollten im weitem auf die Koordination und Führung von freiwilligen Helfern vorbereitet sein. Die Spontanhilfe nach einem Ereignis sollte jedoch möglichst schnell in organisierte Hilfeleistungen überführt werden können. Die jüngsten Erfahrungen in Kalifornien liessen die Schwierigkeit erkennen, dass viele nicht für solche Aufgaben ausgebildete Freiwillige kaum einsetzbar waren. Führungsstäbe sollten deshalb die notwendigen Selektionskriterien für eine effiziente Auswahl der Helfer vorbereiten.

3) Lew, H. S. et al.: Engineering Aspects of the 1971 San Fernando Earthquake, U. S. National bureau of Standards, Building Science Series 40, Dec. 1971