

# Auswirkungen des Campano-Lucano-Erdbebens vom 23. November 1980

Autor(en): **Ammann, W. / Berger, E. / Mayer-Rosa, D.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **100 (1982)**

Heft 14

PDF erstellt am: **12.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-74784>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## Auswirkungen des Campano-Lucano-Erdbebens vom 23. November 1980

Von W. Ammann, E. Berger, D. Mayer-Rosa, F. Perraudin, B. Porro und J. Studer, Zürich

Das Erdbeben von Campano-Lucano (23. Nov. 1980; Magnitude 6,5) zählt zu den stärksten Beben, die in diesem Jahrhundert in Italien registriert worden sind, obschon es seismologisch gesehen keine Ausnahme bildet. Das Erdbebengebiet liegt im Bereich der apenninischen Gebirgsketten. Seine verheerenden Auswirkungen sind unter anderem durch die langandauernden Erschütterungen zu erklären, die durch mehrere kurz aufeinanderfolgende Bruchvorgänge verursacht wurden. Im weiteren waren die alte und qualitativ nicht hochwertige Bausubstanz sowie die topographischen Einflüsse für die ausgedehnten Schäden (viele Partial- und Totaleinstürze) und die vielen Menschenopfer verantwortlich.

Bei den neueren Gebäuden - vorwiegend Stahlbetonskelettbauten mit Backsteinausmauerung - waren Totaleinstürze bis zu einer Standortintensität I (MSK) = VIII selten. Im Falle von Einstürzen waren Entwurf und Ausführung oft sehr mangelhaft und die Bemessung in den wenigsten Fällen auf dynamische Beanspruchung ausgelegt. In der Regel überwogen aber Schäden an nichttragenden Bau-

teilen. Generell gelten diese Aussagen auch für neuere Gebäude an Orten mit der grössten beobachteten Standortintensität I (MSK) = IX, wobei sich hier die genannten Mängel noch viel stärker bemerkbar machten und der Einfluss von Asymmetrien in Grund- und/oder Aufriss den Durchschnittsschaden im Vergleich zu regelmässigen Bauten noch erhöhten.

Das Erdbeben hat einige grössere Hangrutschungen im Epizentralgebiet ausgelöst. Die grössten Schäden an alten und neuen Gebäuden verursachte eine Rutschung, die weite Teile des Städtchens Calitri erfasste. Begrenzte Bodenverflüssigungserscheinungen wurden ebenfalls beobachtet.

Die an Strassen beobachteten Schäden waren im allgemeinen nicht schwerwiegend. Im Epizentralgebiet jedoch führten Setzungen des Dammkörpers zu Rissen im Fahrbahnbelag und zu Niveauunterschieden bei Brückenwiderlagern. Mit wenigen Ausnahmen haben alte und neue Brücken sowie auch Untertagbauten (Tunnels) das Beben ohne sichtbare Schäden überstanden.

Bild 1. Flugaufnahme von Conza di Campania (Foto Schuppisser, Arch. SIA)



Le tremblement de terre de Campano-Lucano (Nov. 23, 1980, magnitude 6,5) compte parmi les plus forts enregistrés en Italie depuis le début du siècle; mais du point de vue sismologique, ce n'est pas un cas exceptionnel. Le tremblement de terre s'est localisé à la zone des Apennins. Son effet catastrophique tient à la longue durée de la secousse, laquelle a été causée par plusieurs processus de rupture en fonction du temps. Les matériaux de construction, vieux et de médiocres qualités, ainsi que la situation topographique furent responsables des grands dommages (effondrements partiels et totaux) et du grand nombre de victimes.

Les nouveaux bâtiments, principalement les constructions à squelettes en béton armé et mur en briques, furent rarement totalement effondrés jusqu'à une intensité I (MSK) = VIII. Projet et exécution étaient dans ces cas là souvent extrêmement défectueux et le dimensionnement dans très peu de cas fut calculé sous considération de sollicitations dynamiques. Mais les dégâts prédominèrent en règle générale sur les parties non portantes des constructions. En général

cela est aussi valable pour les endroits où l'on a observé la plus grande intensité I (MSK) = IX. Cependant tous les défauts ont eu dans ces cas là des conséquences beaucoup plus fortes. L'influence de l'asymétrie en plan ou/et en élévation augmentèrent énormément la moyenne des dégâts en comparaison d'un bâtiment normal.

Le tremblement de terre a provoqué dans la zone de l'épicentre quelques grands glissements de terrains. Un de ces glissements toucha d'importantes parties de la ville de Calitri et produisit de grands dégâts sur des anciens et nouveaux bâtiments. Quelques phénomènes de liquéfaction du sol ont également été observés.

Les dommages observés sur les routes étaient en général pas très grave. Pourtant dans la zone de l'épicentre des tassements du remblai conduisirent à des fissures dans le revêtement routier et à des différences de niveaux aux appuis des ponts. Les anciens et nouveaux ponts, ainsi que les constructions souterraines (tunnels), ont supporté à peu d'exceptions les secousses sans dommages visibles.

The Campano-Lucano earthquake (Nov. 23, 1980; magnitude  $M = 6.5$ ) belongs to the strongest earthquakes in Italy in this century, although it is no exception from a seismological point of view. The earthquake occurred in a region of the Apennine mountain range where bedrock predominantly consists of limestone and shale sediments. The devastating effects of the earthquake are accentuated by the fact that the duration of strong shaking was especially long due to multiple fault ruptures. The high degree of damage, the many partial and total failures of buildings and the large number of people killed is a result of the presence of many old buildings totally inadequate to withstand seismic loads. These old centers are often located on hill-tops where topographic effects intensified the shaking.

Many of the newer multiple story buildings consist of reinforced concrete frames with infill masonry walls. Total collapse of these buildings was seldom in areas with intensities up to I (MSK) = VIII. If such buildings collapsed, it could be attributed in most cases to poor

design and construction practices neglecting appropriate seismic design loads. Mostly, however, damage was contained to non-structural members. In general, these observations also apply to newer buildings in areas with highest seismic intensities I (MSK) = IX. However, the effects of the above mentioned design and construction deficiencies were much more pronounced.

In addition a few major landslides were caused by the earthquake in the epicentral region. In Calitri one of them resulted in substantial damage to old and new buildings. Limited soil liquefaction effects were also observed.

Damage to highways was generally light. However, in the epicentral region settlement of the embankment fill caused cracks in the road pavement or differences in the road level near bridge abutments. With a few exceptions both old and new bridges as well as underground structures such as tunnels withstood the earthquake with no or only minor damage.

Am 23. November 1980 wurde Süditalien um 19:34:53 Uhr Ortszeit von einem schweren Erdbeben der Magnitude 6,5 heimgesucht (Bild 1). Dieses Erdbeben, das inzwischen die Bezeichnung «Erdbeben von Campano-Lucano» erhalten hat, war Anlass für eine Gruppe von Schweizer Ingenieuren und Seismologen, während einer einwöchigen Begehung des Epizentralgebietes in der Zeit vom 15. bis zum 22. Dezember 1980 die Auswirkungen des Erdbebens auf Bauwerke und Umgebung zu untersuchen. Bei ihren Erhebungen im Schüttergebiet wurden die Autoren insbesondere von Prof. G. Panza von der Universität Bari (seit 1981 am Istituto di Geofisica, Università di Trieste) unterstützt.

Das Untersuchungsprogramm wurde unter Berücksichtigung folgender Zielsetzungen aufgestellt:

1. Einen groben Überblick über die Auswirkungen des Bebens gewinnen.
2. Bestimmung der im Epizentralgebiet aufgetretenen Standortintensitäten.
3. Untersuchung typischer Schäden an Hochbauten in Abhängigkeit von Bauart und Standortintensität.
4. Beobachtung und Interpretation geologischer und geotechnischer Aspekte (Geländerutschungen, Bodenverflüssigung usw.).
5. Ermittlung des intensitätsabhängigen Schadengrades von Hochbauten unter-

schiedlicher Bauweise (Schadenfunktionen).

Eine kurze Darstellung des Schadenereignisses wurde bereits zu einem früheren Zeitpunkt veröffentlicht [1]. Der vorliegende Artikel vermittelt eine ausführliche Übersicht über die Auswirkungen des Erdbebens unter besonderer Berücksichtigung seismologischer, bau- und geotechnischer Aspekte.

## Übersicht

### Lage, Gliederung und allgemeines Schadenausmass

Das vom Erdbeben unterschiedlich stark betroffene Gebiet ist in Bild 2 dargestellt. Es liegt grösstenteils östlich von Neapel und umfasst eine Fläche von über 20 000 km<sup>2</sup>. In 212 Gemeinden der Provinzen Neapel, Caserta, Benevento und insbesondere Salerno, Avellino und Potenza traten grössere Schäden auf. In einem am 10. Dezember 1980 vom Innenministerium veröffentlichten Bulletin werden 3114 Tote, 1575 Vermisste und 7671 Verletzte angegeben. Rund 300 000 Menschen wurden obdachlos. Neben den Ereignissen von Messina (1908 mit 75 000 Toten) und Avezzano (1915 mit 30 000 Toten) forderte dieses Erdbeben in diesem Jahrhundert in Italien am meisten Menschenleben. Schät-

zungen der totalen Schadensumme belaufen sich – unter Einbezug der Folgekosten durch Produktionsausfälle – gemäss [2] auf rund 15 Milliarden Dollar, was ungefähr 5 Prozent des italienischen Bruttosozialproduktes für das Jahr 1980 entspricht.

Aufgrund des allgemeinen Schadenausmasses lässt sich das betroffene Gebiet grob in drei Zonen unterteilen:

Die Zone A umfasst das engere Epizentralgebiet und fällt etwa mit der Fläche zusammen, die innerhalb der gestrichelt eingezeichneten Isoseiste (b) in Bild 2 liegt. Mehr als 70 Prozent aller Bauten sind hier sehr stark beschädigt, eine Vielzahl sogar eingestürzt oder zumindest stark einsturzgefährdet.

Die Zone B umfasst das Gebiet zwischen den in Bild 2 eingezeichneten Isoseisten I = VII und der gestrichelten Isoseiste (b). Ungefähr 30 Prozent aller Gebäude sind stark beschädigt, eingestürzt oder einsturzgefährdet. Die qualitativ sehr unterschiedlichen Bauten in dieser Zone (Dörfer mit z.T. nur Natursteinbauten im Gegensatz zu Avellino, einer Stadt mit vielen, bis zu 10stöckigen Stahlbetonskelettbauten) erschweren eine Typisierung des Schadenbildes.

Zone C umfasst das gesamte übrige Gebiet, in dem noch Schäden festgestellt wurden. Es liegt innerhalb der in Bild 2

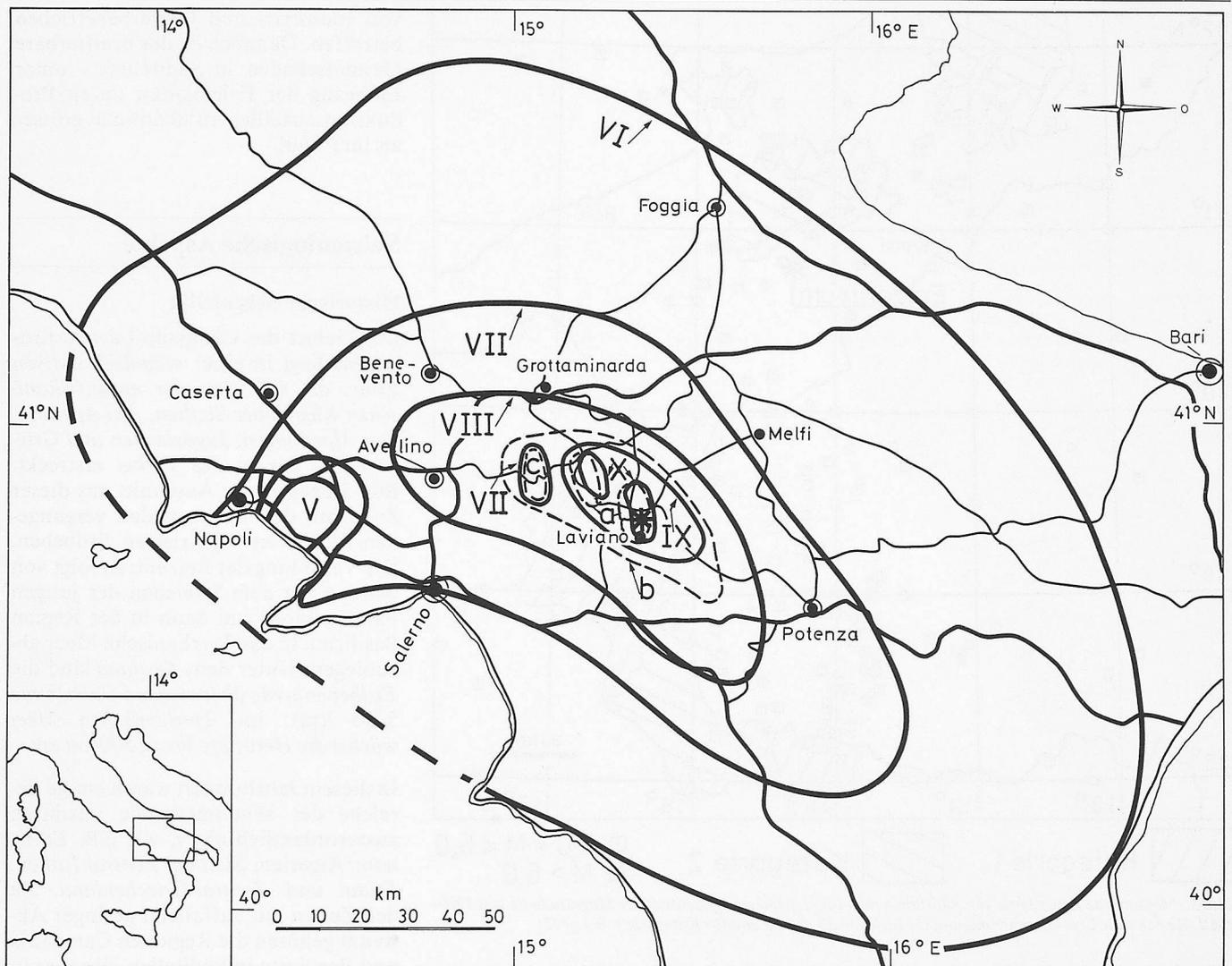


Bild 2. Übersichtskarte über das Erdbebengebiet mit den wichtigsten Städten und Verkehrswegen sowie den Isoseistenlinien nach [3]. Die Isoseistenlinien der Schweizerischen Gruppe für  $I=IX$  (a),  $I=VIII$  (b) und  $I=VII$  (c) sind gestrichelt eingezeichnet [1]

eingezeichneten Isoseisten  $I = VI$  und  $I = VII$ . Infolge der grossen Ausdehnung dieser Zone und der Heterogenität der Bausubstanz resultiert ein eher diffuses Schadenbild. Auch hier waren – insbesondere gegen die Zone B hin – vereinzelt Einstürze oder zumindest stark beschädigte Gebäude festzustellen. Im allgemeinen sind die Schäden aber mit relativ kleinem Aufwand reparierbar.

### Wirtschaft

Das Erdbeben hat eine der ärmsten und rückständigsten Regionen Italiens getroffen. In der Regione *Basilicata* mit einer Fläche von 10 000 km<sup>2</sup> und etwa 600 000 Einwohnern liegt das durchschnittliche jährliche Pro-Kopf-Einkommen bei rund 2 Millionen Lire im Gegensatz zur Lombardei mit 3,6 Millionen Lire. Weit über die Hälfte der Erwerbstätigen sind Bauern (Landesdurchschnitt 13 Prozent). Ein Drittel der Bevölkerung lebt im stark hügelig, bergigen Gebiet der Apenninen, wo das Pro-Kopf-Einkommen bis auf einen

Fünftel des regionalen Durchschnitts abfällt.

Die meisten *Industriebetriebe* sind in der Umgebung von *Neapel*, *Avellino* und *Potenza* konzentriert. Schwerpunkte bilden die *Stahlproduktion und -verarbeitung*, der *Schiffbau* und die *Chemie* sowie Unternehmungen des *Textil- und Nahrungsmittelsektors*.

Bei *Avellino* befinden sich Werke von *Alfasud* und *Italsider* mit 18 000 bzw. 8000 Arbeitsplätzen sowie bei *Grotto* ein *Fiat-Werk* mit 5000 Arbeitsplätzen. Beschädigt wurde unseres Wissens nur die Energiezentrale des *Fiat-Werkes*, das 1978/79 unter Berücksichtigung des Lastfalles Erdbeben erbaut wurde, da bereits 1963 in diesem Gebiet ein Beben kleinerer Intensität aufgetreten war.

Weitere Schäden an Industrieanlagen traten in *Potenza* auf, wo eine chemische Fabrik beschädigt wurde und ein Stahlwerk seinen Betrieb erst sechs Tage nach dem Beben wieder aufneh-

men konnte. Einen fünftägigen Produktionsausfall mussten die *Alfa-Werke* in *Pomigliano d'Arco* bei *Neapel* in Kauf nehmen. Hier waren in erster Linie einzelne Produktionsanlagen beschädigt worden.

### Infrastruktur

Der westliche Teil des Schadengebietes ist – wie aus Bild 2 hervorgeht – durch ein Netz von Autobahnen sehr gut erschlossen. Zwei weitere Autobahnen verlaufen als Verbindungsachsen zwischen *Tyrrhenischem* und *Adriatischem Meer* in west-östlicher Richtung von *Neapel* über *Avellino*, *Grotto* nach *Bari*, bzw. von *Salerno* nach *Potenza*. Das Epizentralgebiet liegt zwischen den zuletzt genannten Autobahnen im hügelig-bergigen Hinterland von *Salerno*. In den Tälern des *Ofanto* und des *Sele-Flusses* sind zwar gut ausgebauten Strassen vorhanden, die Zufahrtsstrassen zu den vielfach auf Hügeln und Bergkuppen liegenden Ortschaften hingegen sind oft steil, kurvenreich und in schlechtem Zustand.

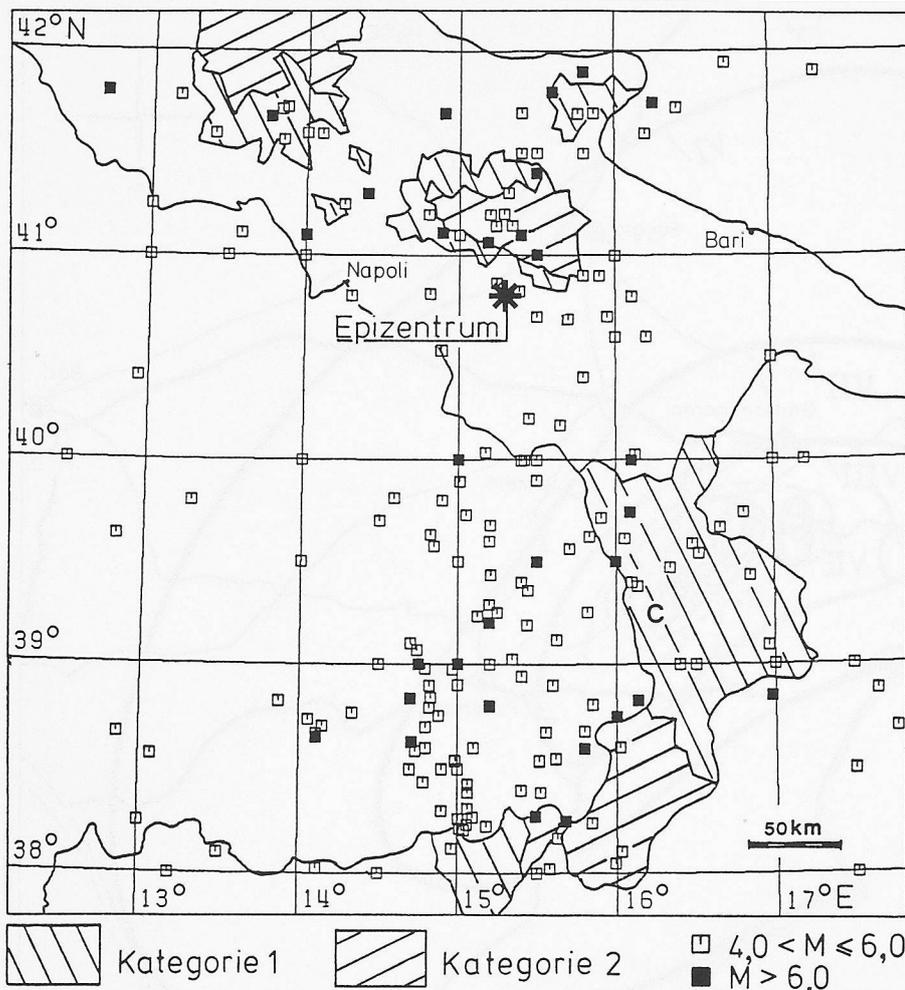


Bild 3. Seismische Zonenkarte von Süditalien mit eingezeichneten Epizentren der Magnitude  $\geq 4$  von 1900-1980. Horizontale Ersatzbeschleunigung für Kategorie 2: 0,07 g und für Kategorie 1: 0,1 g [12]

Die an Strassen aufgetretenen Schäden wurden eingehend untersucht. Hingegen musste aus Zeitgründen auf eine Untersuchung von Schäden an Versorgungs- und Entsorgungseinrichtungen und anderen Anlagen mit Lifeline-Charakter weitgehend verzichtet werden. Eine ausführliche Darstellung derartiger Schäden findet sich in [4].

#### Hilfeleistungen

Obwohl keine der betroffenen Ortschaften mehr als 60 km von der nächsten Autobahn entfernt liegt (Bild 2), waren auch nach fünf Tagen von den 212 Gemeinden rund ein Viertel praktisch noch ohne Hilfe. Die nasskalte Witterung mit Schnee und Eis, die praktisch vollständig lahmgelegten Kommunikationsmittel, Stromausfälle und vereinzelte, erdbebenbedingte Strassenunterbrüche erschwerten die Rettungsaktionen stark. Nach Zeitungsberichten standen in den am stärksten betroffenen Ortschaften *San Angelo dei Lombardi* und *Lioni* 24 Stunden nach dem Beben noch keine Räumgeräte zur Verfügung, obwohl mehrere grosse Wohnbauten total eingestürzt waren. Am 2. Dezember 1980, d.h. neun Tage nach dem Erdbeben, er-

reichte der offizielle Rettungseinsatz nach italienischen Angaben mit 43 000 Soldaten, Carabinieri, Zöllnern, Feuerwehrleuten und Beamten einen zahlenmässigen Höchststand. Dazu kamen unzählige Freiwillige und Angehörige ausländischer Hilfstrupps (Deutschland, England, Frankreich, Schweiz usw.).

#### Vergleich mit dem Friaul-Erdbeben vom 26. Mai 1976

Das Erdbeben im Friaul [5] hatte eine Magnitude von 6,2. Das Schadengebiet umfasste ungefähr 4500 km<sup>2</sup> mit rund 800 000 Einwohnern. Insgesamt wurden 1000 Tote, 1000 Verletzte und 100 000 Obdachlose gezählt. 20 000 Wohnbauten und 6000 Industrie- und Gewerbebetriebe wurden schwer beschädigt.

Der grösste Unterschied gegenüber dem Erdbeben von Campano-Lucano liegt in der Grösse der Zone B. Während im Friaul rund 75 000 Menschen in dieser Zone lebten, waren es in Süditalien rund 600 000. Auch die Zone C war viel kleiner. Hingegen wurde - bedingt durch den höheren Industrialisierungsgrad - im Friaul eine viel grössere Zahl

von Industrie- und Gewerbebetrieben betroffen. Dennoch ist der bezifferbare Gesamtschaden in Süditalien - unter Einbezug der Folgekosten durch Produktionsausfälle - rund dreimal grösser als im Friaul.

## Seismologische Aspekte

### Historische Seismizität

Das Gebiet des Campano-Lucano-Erdbebens liegt in einer *seismisch aktiven Zone*, die sich von der nordafrikanischen Küste über Sizilien, den Apennin, den Alpenbogen, Jugoslawien und Griechenland bis in die Türkei erstreckt. Bild 3 zeigt einen Ausschnitt aus dieser Zone mit den während den vergangenen 80 Jahren registrierten Erdbeben. Die Verteilung der Epizentren folgt von Norden her dem Streichen der jungen Faltengebirge, um dann in der Region Basilicata in das Tyrrhenische Meer abzubiegen. Unter dem Festland sind die Erdbebenherde überwiegend flach (etwa 5-30 km); im Tyrrhenischen Meer wächst die Herdtiefe bis zu 300 km an.

In diesem Jahrhundert waren einige Bereiche der Mittelmeerzone seismisch ausserordentlich aktiv, wie z.B. *El-Asnam/Algerien*, *Sizilien*, *Zentral-Italien*, *Friaul* und *Zentral-Griechenland*. Zu den Zonen mit auffallend geringer Aktivität gehören die Regionen Campania und Basilicata in Süditalien, die aber in früheren Jahrhunderten von mehreren sehr starken Beben heimgesucht wurden, deren Maximalintensitäten den Grad IX bis XI auf der MSK-Skala erreichten. Umgerechnet in Magnitude würden diese etwa den Werten 6,5 bis 7,5 entsprechen. *Verheerende Schäden* waren insbesondere zwischen 1847 und 1861 zu verzeichnen: am 14. August 1851 in *Rionero in Culture* mit Intensität X, am 9. April 1853 in *Caposele* und *Teora* mit Intensität IX sowie am 16. Dezember 1853 in *Montemurro* und *Polla* mit Intensität X. In Polla kamen damals 900 von 6600 Einwohnern ums Leben, vor allem im praktisch völlig zerstörten, topographisch etwas erhöht liegenden Stadtkern. Dies deckt sich in bemerkenswerter Weise mit dem Zerstörungsbild vieler Ortschaften nach dem Beben vom 23. November 1980.

### Herdparameter des Hauptbebens

Für die geographische Lage des Epizentrums und die Herdtiefe des Bebens liegen inzwischen Berechnungen von verschiedenen Datenzentren vor, deren Ergebnisse etwas von der verwendeten Verteilung und Anzahl der Registrierstationen abhängen (Tabelle 1). Das gleiche gilt auch für die Magnitude

(Energie) des Bebens, je nachdem sie aus Oberflächen- (Ms) oder aus Raumwellen (Mb) bestimmt wird.

Als *zuverlässigste* Angabe kann wohl die des P.F.G. [3] angesehen werden, da sie mit Hilfe relativ vieler naheliegender Stationen berechnet wurde. Die Herdtiefe lässt sich auch aus der Verteilung der makroseismischen Beobachtungen ableiten und beträgt 18 km [3] bzw. 10–12 km [6]. Die Ursprungszeit des Bebens war 19:34:53 Uhr M.E.Z.

Zum Zeitpunkt des Erdbebens waren im Umkreis von 200 km insgesamt 14 Seismographenstationen in Betrieb. Kurz nach dem Beben wurden weitere 30 installiert, um die zahlreichen Nachstöße zu registrieren. Eine genaue Analyse der Seismogramme dieser empfindlichen Registrierstationen hat ergeben, dass 2 Sekunden vor dem eigentlichen Hauptstoss ein schwächeres Beben zu verzeichnen war, dessen Epizentrum praktisch am gleichen Ort lag. Die Aufzeichnungen der zusätzlichen Beschleunigungsmesser haben weiterhin gezeigt, dass die für ein Beben ausserordentlich lange Dauer der starken Erschütterungen (80 Sekunden mit mehr als 10 cm/s<sup>2</sup>) darauf zurückzuführen ist, dass auf den Hauptstoss mindestens zwei weitere, etwa 10–20 Sekunden auseinanderliegende, unabhängige, starke Nachbeben folgten, deren Aufzeichnungen praktisch ineinander übergingen (Bild 7). Diese Tatsache ist sicher mit ein Grund für die grossen Schäden an den älteren Gebäuden.

Aus den Beschleunigungsaufzeichnungen kann geschlossen werden, dass die dem Hauptstoss folgenden Beben ihren Ursprung etwas weiter östlich hatten. An den Stationen in *Bagnoli* und *Sturmo* (NW von *Laviano*) traten nämlich die maximalen Beschleunigungen während des Hauptstosses auf, während in *Calitri* und *Rionero* (NO von *Laviano*) diese erst beim darauf folgenden Beben

gemessen wurden. In *Bisaccia* wiederum, das etwa gleich weit von den Epizentren der Beben entfernt ist, zeigte der Beschleunigungsmesser sehr ähnliche Maximalwerte für den Hauptstoss und den ersten Nachstoss. Die Herde der Nachbeben lagen übrigens mit 23 km etwas tiefer als beim Hauptstoss.

Der *Bruchmechanismus* des Bebens, abgeleitet aus der Verteilung der Ausschlagsrichtungen in den einzelnen Seismogrammen, lässt sich als *Abschiebungsvorgang* interpretieren (Bild 4), wobei die Bruchfläche etwa in west-nordwestlicher Richtung verläuft. Die Dimensionen der Bruchfläche in der Erdkruste lassen sich aus der räumlichen Verteilung der zahlreichen lokalisierten Nachbeben und aus der Magnitude des Hauptstosses abschätzen. Sie erreichten mindestens 40 km Länge mit 20 km Tiefenerstreckung. An der *Erdoberfläche* wurden *keine direkten Brucherscheinungen* festgestellt.

**Nachbebenverhalten**

In den ersten Stunden nach dem Beben wurde eine sehr grosse Zahl von schwächeren Nachbeben im Gebiet von *Potenza bis Grottaminarda* registriert. Die zeitliche Abfolge ist in Bild 5 dargestellt und folgt offensichtlich einer Exponentialfunktion. Von etwa 240 Ereignissen am 24. November nahm die Aktivität bis auf etwa 10 je Tag in der ersten Dezemberwoche ab, wobei nur Erdbeben mit Magnitude grösser als 2,5 (Spürbarkeitsgrenze) gezählt wurden. Dieser zeitliche Verlauf kann auch bei anderen grösseren Beben beobachtet werden. Allerdings ist das Verhältnis zwischen Anzahl starker und schwacher Nachbeben (Bild 6) eher unüblich. Das weltweit beobachtete lineare *Gesetz nach Gutenberg-Richter*

$$\log N = a - b \cdot M$$

wird zwar auch in diesem Fall bestätigt, aber der b-Wert von 0,94 ist praktisch gleich gross wie im langjährigen Mittel (0,9–1,0 nach [7]), während in anderen Gebieten der b-Wert während der Nachbebenphase praktisch immer zunimmt. Daraus muss u.a. geschlossen werden, dass die Spannungen in der Erdkruste schon kurz nach dem Hauptbeben wieder ihren «Normalzustand» erreichten und der Spannungsabfall während des Hauptbebens – gemessen am regional herrschenden Spannungszustand – relativ klein war.

**Makroseismische Auswirkungen**

Von verschiedenen italienischen Instituten wurden nach den Beben ausgedehnte Untersuchungen über die systematische Verteilung der aufgetretenen Schäden durchgeführt. In Bild 2 sind die sogenannten *Isoseisten* eingezeichnet,

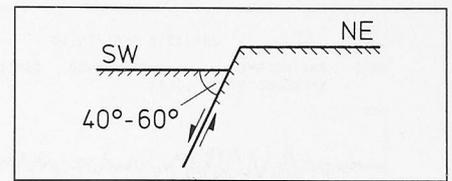


Bild 4. Vereinfachte Darstellung des Abschiebungsvorganges. Der Winkel der Abschiebung beträgt 40–60 Grad und die geographische Richtung des Bruches 120–130 Grad gegen Nord

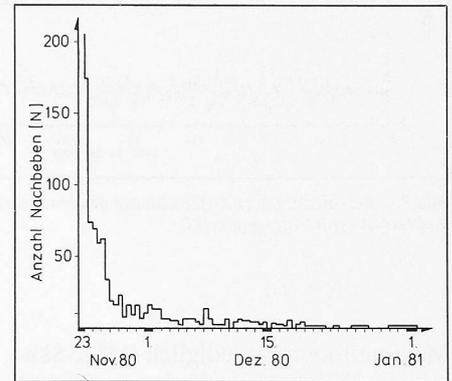


Bild 5. Anzahl und Verteilung der Nachstöße mit Magnitude ≥ 2,5 vom 23. Nov. 1980 bis zum 1. Jan. 1981. Dargestellt ist jeweils die Anzahl Beben je 12 Stunden

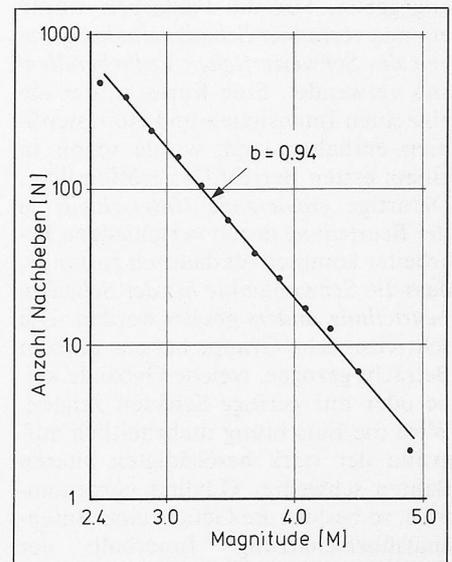


Bild 6. Kumulative Häufigkeit N in Abhängigkeit der Magnitude M ≥ 2,5 für die Nachbeben vom 23. Nov. 1980 bis 1. Jan. 1981

Tabelle 1. Zusammenstellung von Herdparametern des Erdbebens vom 23. Nov. 1980, ermittelt von verschiedenen Datenzentren

Lat N	Long E	Ms	Mb	H[km]	Agentur
40,91	15,37	6,9	6,0	10	U.S.G.S.
40,81	15,36	7,0	5,8	10	C.S.E.M.
40,76	15,30		6,5	18	P.F.G.

- Lat N, Long E: Geographische Koordinaten des Hauptbebens
- Ms : Magnitude, berechnet aus Oberflächenwellen
- Mb : Magnitude, berechnet aus Raumwellen
- H : Herdtiefe
- U.S.G.S. : U.S. Geological Survey, Boulder, CO
- C.S.E.M. : Centre Séismol. Européo-Méditerranéen, Strasbourg
- P.F.G. : Progetto Finalizzato Geodinamico, Roma

net, wie sie sich aufgrund dieser Untersuchungen ergaben. Eine Fläche von über 20 000 km<sup>2</sup> wurde demnach mit einer Intensität von VI oder grösser erschüttert. Das Gebiet mit I ≥ VII umfasste etwa 8000 km<sup>2</sup>, mit I ≥ VIII etwa 2700 km<sup>2</sup> und mit I ≥ IX etwa 600 km<sup>2</sup>. Im engeren Epizentralgebiet (etwa 100 km<sup>2</sup>) wurde von italienischer Seite [3] eine Maximalintensität von X angegeben.

Die Gruppe der schweizerischen Ingenieure und Seismologen hat einige Ortschaften in und um das Epizentralgebiet eingehend untersucht und festgestellt, dass nach ihren Massstäben die

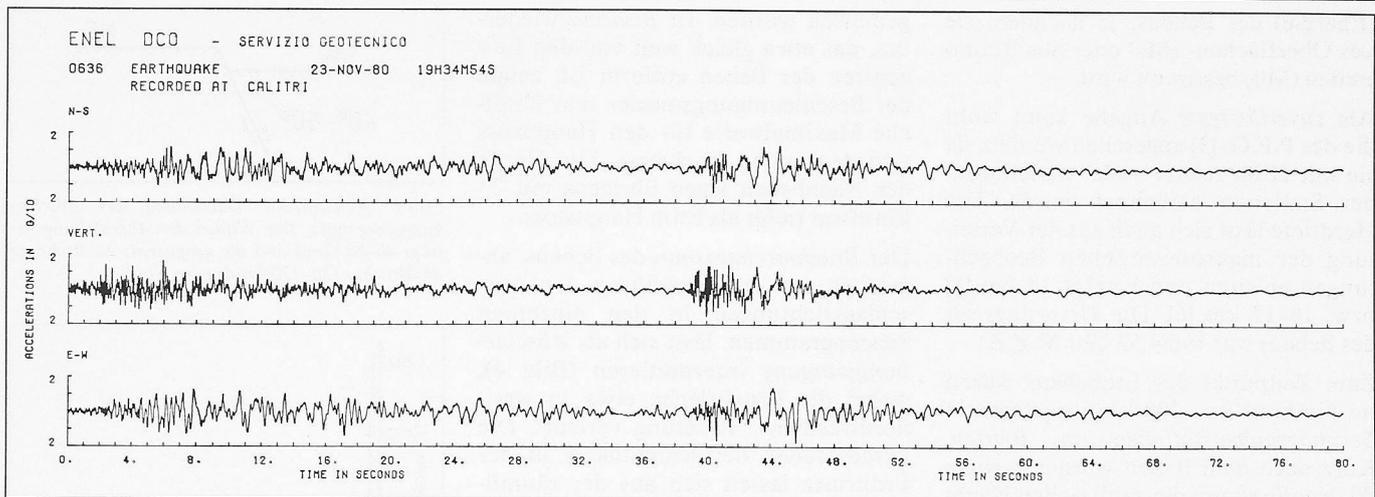


Bild 7. Beschleunigungs-Aufzeichnung des Hauptbebens vom 23. Nov. 1980 in der Station Calitri. Dargestellt sind die drei Komponenten in Nord-Süd-, Vertikal- und Ost-West-Richtung (aus [8])

Maximalintensität lediglich (MSK-Skala) mit IX bewertet werden kann und die Flächen mit Intensität IX und VIII in der Karte wesentlich kleiner sein müssen. Diese andere Interpretation der Bebenstärke ist in Bild 2 gestrichelt angegeben. Für die Feldarbeit wurde ein neu verfasster *Schadenerhebungsbogen des Schweizerischen Erdbebendienstes* verwendet. Eine Karte, in der die einzelnen Intensitäten und Isoseistenlinien enthalten sind, wurde schon in einem ersten Bericht [1] veröffentlicht. Derartige *gravierende Unterschiede in der Beurteilung* durch verschiedene Bearbeiter kommen oft dadurch zustande, dass die *Schwerpunkte bei der Schadenbeurteilung anders gesetzt* werden. Die schweizerische Gruppe hat u.a. auch in Betracht gezogen, welche Gebäude keine oder nur geringe Schäden zeigten. Wird die Einstufung mehrheitlich aufgrund der stark beschädigten älteren Bauten schlechter Qualität vorgenommen, so besteht die Gefahr einer Intensitätsüberschätzung. Innerhalb der *Europäischen Seismologischen Kommission* sind Bemühungen vorhanden, bessere Grundlagen für eine objektive Beurteilung zu schaffen.

Der *Schütterradius* des Bebens, d.h. die Distanz vom Epizentrum bis zur Grenze, zu der das Beben noch wahrgenommen werden konnte, liegt bei über 800 km, denn sowohl in der *Poebene* als auch im *östlichen Teil Siziliens* war das Beben deutlich spürbar.

### Beschleunigungs-Aufzeichnungen

In insgesamt 22 Stationen der Staatlichen Elektrizitätsgesellschaft (ENEL) konnte mit *Strong-Motion-Messgeräten* der zeitliche Verlauf der Beschleunigungen aufgezeichnet werden. Die Registrierung und erste Auswertungen

wurden bereits publiziert [8]. Als Beispiel sind in Bild 7 die drei Beschleunigungskomponenten für die Messstation *Calitri* dargestellt. Auffallend an der mehr als 80 Sekunden dauernden Aufzeichnung ist die Unterscheidung in einzelne Erschütterungsphasen, bedingt durch die sehr rasche Abfolge mehrerer Erdstöße mit unterschiedlichen Epizentren. In *Calitri* wurde die maximale Bodenbeschleunigung von 0,18 g (EW-Komponente) in der zweiten Phase gemessen. Sichtbar ist auch der tiefe Frequenzgehalt mit überwiegenden Frequenzen zwischen 0,5 Hz und 4 Hz.

Neben *Calitri* waren im Umkreis von 40 km um das Epizentrum sechs weitere Stationen (Bild 8), nämlich *Bagnoli-Irpino* (max. 0,19 g EW-Komponente), *Sturmo* (max. 0,33 g EW-Komponente), *Bisaccia* (max. 0,1 g NS- und EW-Komponente), *Auletta* (max. 0,06 g NS- und EW-Komponente) und *Brienza* (max. 0,22 g NS-Komponente) aufgestellt. Bei den Stationen im Epizentralgebiet lag der Maximalwert immer in Ost-West-Richtung. Dies wird in [8] mit einer gewissen *Kanalisation der Energie längs der angenommenen Bruchfläche* erklärt, wie auch der grösste gemessene Wert in *Sturmo*, obwohl dieser weiter vom Epizentrum entfernt registriert wurde als jener in *Calitri*. In *Sturmo* wurde eine Intensität von höchstens I = VII festgestellt [1]. Aus der *O'Brien-Formel* resultiert mit diesem Wert eine *maximale Bodenbeschleunigung von 0,1 g*. *Sturmo* ist somit ein weiterer Fall, der aufzeigt, wie fraglich eine Korrelation von Intensitäten bzw. Gebäudeschäden und maximalen Bodenbeschleunigungen ist. Die maximalen Bodenbeschleunigungen zeigten im weiteren keine signifikanten Unterschiede zwischen Fels- und Lockergesteinsstandorten [8].

## Geologische und geotechnische Aspekte

### Geologie und Topographie

Das Erdbebengebiet liegt im Bereich der südlichen Apenninischen Gebirgsketten. Die geologischen Verhältnisse im Epizentralgebiet [9] sind im Bild 8 schematisch dargestellt. *Südlich der Linie Avellino - Castelgrande* befinden sich vorwiegend *mesozoische* (Trias bis Kreide) *Kalkformationen*, deren markanteste Erhebungen der *M. Cervialto* (1809 m ü.M.) und der *M. Eremita* (1579 m ü.M.) sind. Diese Gebirgsketten stellen die Überreste der vor einigen Millionen Jahren unter Druck vom Tyrrhenischen Meer her ostwärts verschobenen und gefalteten Sedimentplatten dar. In jüngerer geologischer Zeit hat sich das Gebirge entlang ausgehnter Verwerfungszonen (Abschiebungen) in eine Serie von isolierten Blöcken unterteilt. Entlang einer solchen *west-nordwestlich verlaufenden Abschiebungszone* hat sich das Erdbeben von *Campano-Lucano* ereignet. Zwischen den Blöcken bildeten sich Täler wie z.B. jenes des *Sele-Flusses*, der von *Calabritto* aus gegen Süden fliesst.

Unmittelbar *nördlich der Linie Avellino-Castelgrande* erstreckt sich eine gegen das *Ofanto-Tal* hin abfallende Hügellandschaft, die durch verschiedenfarbige *oligozäne bis miozäne Ton- und Mergersedimente* charakterisiert ist. Diese Sedimente finden sich zum Teil auch zwischen den mesozoischen Kalkformationen. Daran anschliessend und vor allem an den Abhängen des *Ofanto-Tales* sind *jungpliozäne bis pleistozäne Mergersedimente* anzutreffen, die vor allem durch ihre grau-bläuliche Farbe gekennzeichnet sind. Westlich und östlich ist das Erdbebengebiet durch die

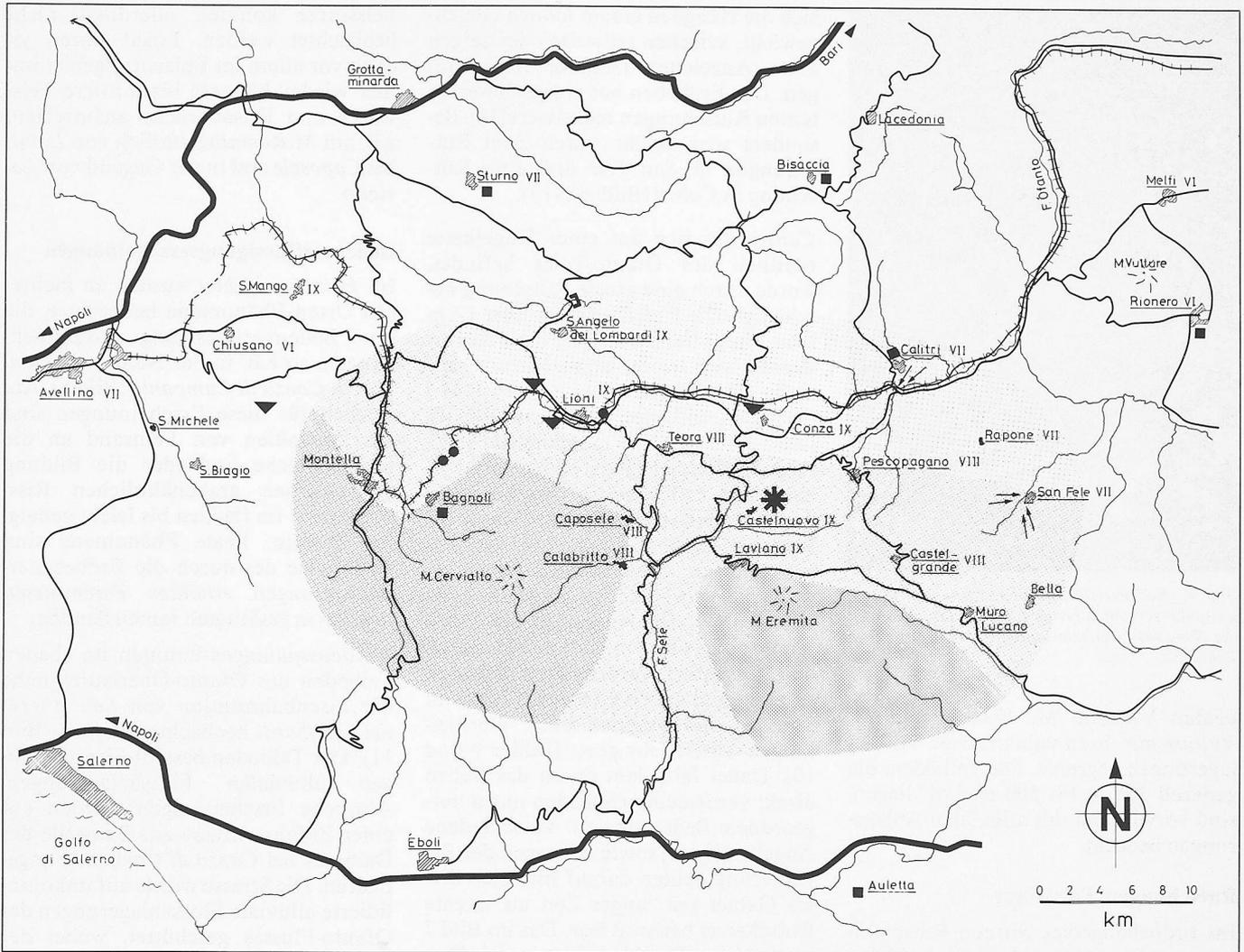


Bild 8. Übersichtskarte über das Epizentralgebiet mit den wichtigsten Ortschaften, Verkehrswegen, Flüssen und den grossräumigen geologischen Verhältnissen.

- Mesozoische Kalkformation
- Oligozäne bis miozäne Sedimente
- Jungpliozäne bis pleistozäne Sedimente
- IX Intensitäten (MSK) bestimmt durch die Schweizer Gruppe
- Standorte von Starkbebeninstrumenten im Epizentralgebiet
- ⇨ Hangrutschungen
- ▼ Bodenverflüssigungserscheinungen
- Schäden an Strassenbrücken
- Schäden an Eisenbahntunnels

Bild 9. Zerstörte Häuser über einer Anrissstelle der Rutschung in Calitri



Bild 10. Durch die Rutschung zerstörte Strasse unterhalb Calitri

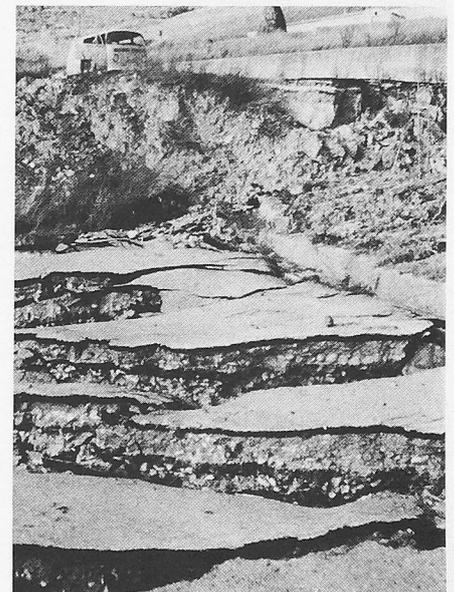




Bild 11. Bodenverflüssigungserscheinungen (Sandausspülungen) in alluvialen Flussablagerungen in der Nähe der Eisenbahnstation von San Angelo dei Lombardi

beiden Vulkane *M. Vesuvio* und *M. Vulture* mit ihren vulkanischen Tuffablagerungen begrenzt. Die Talböden, die generell 300 m bis 500 m ü.M. liegen, sind vorwiegend mit alluvialen Ablagerungen bedeckt.

### Rutschungen, Felsstürze

Im Erdbebengebiet wurden Rutschungen vor allem in Hanglagen der weichen Ton- und Mergelsedimente nördlich der Kalkalpen beobachtet. Hier ist das *Problem der Hanginstabilität* – bedingt durch *Erosion*, *Verwitterung* und eine *teilweise ungenügende Vegetation* – seit langer Zeit bekannt. Oft befinden

Bild 12. Typisches Mauerwerk aus Bollensteinen, die mit einem Sand-Ton-Gemisch vermörtelt sind



sich die Hänge in einem *labilen* Gleichgewicht, kriechen teilweise oder zeigen klare Anzeichen früherer Rutschungen. Das Erdbeben hat einige dieser latenten Rutschungen reaktiviert [10]. Besonders spektakulär waren zwei Rutschungen in *San Fele* und eine Rutschung in *Calitri* (Bilder 8–10).

*Calitri*, das sich auf einer Hügelkette nördlich des Ofanto-Tales befindet, wurde durch eine grosse Rutschung beschädigt. Die Rutschzone ist über 1 km lang, einige hundert Meter breit und erstreckt sich vom Stadtzentrum auf einer Hügelkuppe (etwa 650 m ü.M.) bis in den Talboden des Ofanto-Flusses (etwa 350 m ü.M.). Der Hang war nach Augenzeugenberichten einige Minuten nach dem Erdbeben an verschiedenen Stellen in unterschiedlichem Masse ins Rutschen geraten. An den obersten Anrissstellen im alten Stadtteil waren sowohl die vertikalen als auch die horizontalen Verschiebungen in der Grössenordnung von 1 m bis 3 m. Die durch die Rutschung verursachten Schäden an alten und neuen Gebäuden sowie an Strassen und unterirdischen Werkleitungen waren sehr gross (Bilder 9 und 10). Dabei fällt dem durch das Beben direkt verursachten Schaden nur untergeordnete Bedeutung zu. Verschiedene Angaben [9, 10] sowie Aussagen der Bevölkerung deuten darauf hin, dass dieses Gebiet seit langer Zeit als latente Rutschzone bekannt war. Das im Bild 7 gezeigte Beschleunigungs-Zeit-Diagramm wurde in der Nähe der obersten Anrissstelle der Rutschung registriert.

Zwei weitere Rutschungen von beträchtlichem Ausmass ereigneten sich in der Nähe von *San Fele*. Beide sind einige hundert Meter breit und bis zu einem Kilometer lang. Es scheint sich ebenfalls um rutschgefährdete Gebiete, die durch das Erdbeben reaktiviert wurden, zu handeln. Die Gegend wird – im Unterschied zu *Calitri* – weitgehend landwirtschaftlich genutzt. Aufgrund von Aussagen der Bevölkerung bezüglich des nach dem Beben eingetretenen Unterbruches der Strom- und Wasserzufuhr kann vermutet werden, dass beide Rutschungen einige Minuten nach dem Erdbeben ausgelöst wurden. Vereinzelt Bauernhöfe, die sich im Rutschgebiet befanden, wurden stark beschädigt bis total zerstört. Die Verschiebungen an einer Nebenstrasse, die eine der beiden Rutschungen durchquerte, liessen erkennen, dass sich der Hang zum Zeitpunkt der Besichtigung bereits mehr als 150 m hangabwärts bewegt hatte.

Der Geologie entsprechend traten Felsstürze vorwiegend in den Kalkformationen südlich der Linie *Avellino-Castelgrande* auf. Ausgesprochen grosse

Felsstürze konnten allerdings nicht beobachtet werden. Lokal waren jedoch vor allem im Epizentralgebiet immer wieder kleinere bis mittlere Felsstürze und Felsabbrüche anzutreffen, z.B. am *M. Ramatico* südlich von *Lioni*, bei *Caposele* und in der Gegend von *Laviano*.

### Bodenverflüssigungserscheinungen

Im *Epizentralgebiet* wurden an mehreren Orten Phänomene beobachtet, die mit Bodenverflüssigung zusammenhängen, so z.B. in der Nähe von *Lioni* und in *Conza di Campania* (Bild 8). Anzeichen für diese Erscheinungen sind das Ausspülen von Feinsand an die Erdoberfläche und/oder die Bildung von kleinen grabenähnlichen Rissstrukturen im flachen bis leicht geneigten Terrain. Beide Phänomene sind eine Folge des durch die Erdbebener-schütterungen *erhöhten Porenwasserdruckes* in gesättigten feinen Sanden.

*Sandausspülungen* konnten im ebenen Talboden des Ofanto-Oberlaufes nahe der Eisenbahnstation von *San Angelo dei Lombardi* beobachtet werden (Bild 11). Der Talboden besteht hier aus jungen alluvialen Flussablagerungen. Ähnliche Erscheinungen wurden auf einer Zufahrtsstrasse zur Baustelle des Dammes bei *Conza di Campania* angetroffen. Die Strasse wurde auf unkonsolidierte alluviale Flussablagerungen des Ofanto-Flusses geschüttet, wobei der Feinsand durch Risse im Strassendamm nach oben gespült wurde. In der *Piano del Dragone* sowie beim Strassenkörper der Umfahrungsstrasse von *Lioni* zeigten sich die typischen Rissstrukturen, die durch eine Reduktion der Scherfestigkeit im darunterliegenden gesättigten Untergrund infolge erhöhter Porenwasserspannungen entstanden.

### Aufschaukelungseffekte

Im Bebengebiet müssen zwei verschiedene Aufschaukelungseffekte unterschieden werden, nämlich eine *topographisch* bedingte Aufschaukelung und eine Aufschaukelung infolge *lokaler Untergrundverhältnisse*. Die Beobachtungen zeigten, dass in vielen Fällen die auf den Hügeln oder Bergkuppen errichteten Dörfer sehr stark beschädigt wurden, während Häuser am Fusse dieser Hügel bedeutend geringere Schäden aufwiesen. Dies kann sicher teilweise durch eine topographisch bedingte Aufschaukelung erklärt werden. Erscheinungen dieser Art traten u.a. in *Conza di Campania*, *Teora*, *Laviano*, *San Mango s. Calore* und *San Angelo dei Lombardi* auf.

Der Einfluss des Untergrundes konnte u.a. in *San Michele di Serino* (Bild 14)

in der *Ebene des Sarno-Flusses* südlich von Avellino festgestellt werden. Hier sind vor allem tonig-siltige Sande anzutreffen [9], die insbesondere bei Erdbebeneregungen mit Frequenzen kleiner als 3 Hz – wie sie bei diesem Beben in vermehrtem Masse auftraten – eine beachtliche Aufschaukelung bewirken.

## Schäden an Hochbauten

### Beschreibung der Bausubstanz

#### Natursteinbauten

Natursteine und Holz bildeten bis vor wenigen Jahrzehnten das traditionelle Baumaterial sämtlicher Bauten. Die Wohnbauten, die meist zwei, maximal drei Stockwerke umfassen, sind fast ausschliesslich aus Bruchsteinen (Bollensteinen) errichtet, die mit einem Sand-Tongemisch, selten mit Kalk oder gar Zement vermörtelt sind (Bilder 12, 14). Kirchenfassaden, Kirchtürme, alte Verwaltungsgebäude usw. sind oft mit behauenen Quadersteinen verkleidet.

Die Zwischendecken und das Dach sind vorwiegend aus Holz konstruiert, wobei an Stelle der tragenden Holzbalken auch Stahlprofile verwendet werden. An solchen Gebäuden recht häufig anzutreffende Bauteile aus Backsteinen oder Beton und insbesondere der Ersatz der Holzbalkendecken durch Hourdisdecken stammen aus nachträglichen Renovationen oder Erweiterungen. Das Dachgebälk ruht unmittelbar auf den Aussenmauern, die Dacheindeckung besteht vorwiegend aus Tonziegeln.

#### Stahlbetonskelettbauten

Die Tragstruktur der nach dem Zweiten Weltkrieg errichteten und bis zu zehn Stockwerken hohen Wohn- und Geschäftshäuser ist fast ausschliesslich als Stahlbetonskelett ausgebildet (Bild 13). Die Ausfachung der Stahlbetonskette erfolgt mit Backsteinwänden in ein- oder häufig auch zweischaliger Ausführung (Bild 15). Dabei werden die Backsteine oft liegend, d. h. mit waagrechter Lochung (Bilder 23, 15) eingesetzt. Tuffsteine oder Betonformsteine finden nur untergeordnete Verwendung als Ausfachungsmaterial. Die Treppenhäuser und Liftschächte sind ausschliesslich aus Backsteinen gemauert. Ausfachungen mit Stahlbetonscheiben wurden nicht beobachtet.

Infolge gewerblicher Nutzung fehlen häufig im Erdgeschoss und/oder im ersten Stock die Ausfachungen teilweise oder vollständig und sind durch grosse Schaufenster, Garagentore (Bilder 19, 20) usw. ersetzt. Da fast immer eine Kombination von Wohn- und Geschäftshaus vorliegt, sind Bauten mit



Bild 13. Stahlbetonskelettbau (im Hintergrund) in der Bauphase. Geschossdecken und Dachkonstruktion sind in Hourdis-Bauweise ausgeführt, die Ausfachung erfolgt mit Backsteinwänden. Unterschiede im Schädengrad waren auf kleinste Distanzen anzutreffen: während das 4stöckige Gebäude im Vordergrund total einstürzte, konnten beim hinteren Gebäude von aussen praktisch keine Risse festgestellt werden (Lioni)



Bild 14. Alter Dorfteil von S. Michele di Serino als typisches Schadenbild für Natursteinbauten bei einer Intensität VIII. Berge von Schuttmassen liegen in den Strassen und verunmöglichen einen raschen Rettungseinsatz

Bild 15. Schäden an einem U-förmigen Gebäude in Avellino bei einer Intensität VII. Die Schäden wurden wegen der aus Asymmetrie resultierenden Torsion verstärkt. Die Wände sind zweischalig ausgeführt, die Backsteine liegend versetzt





Bild 16. X-förmige Risse im Eingang eines 10stöckigen Stahlbetonskelettbauwerks in Avellino als typischer Schaden bei Intensität VII



Bild 17. Klaffende Risse an einem Stahlbetonskelettbau in S. Michele di Serino bei Intensität VIII

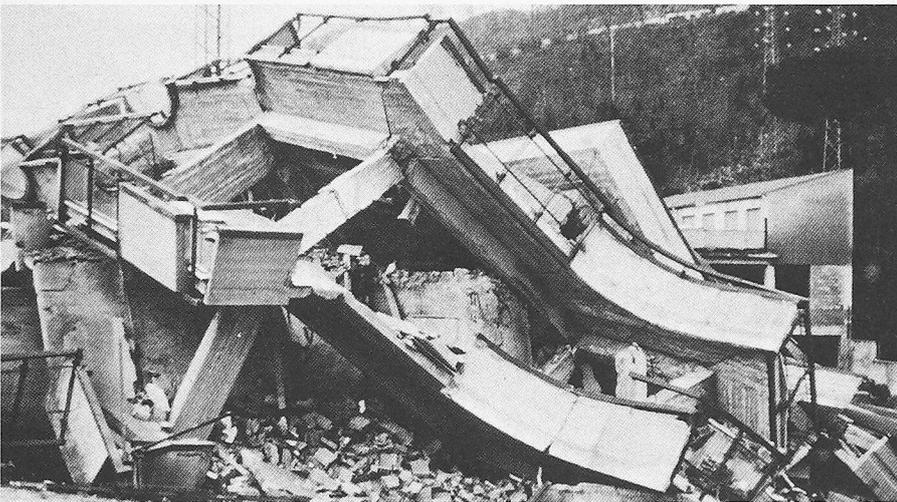


Bild 18. Total eingestürztes 4stöckiges Gebäude eingangs San Angelo dei Lombardi (Intensität IX)

Bild 19. Vollständig zerstörte Ausfachungs- und Zwischenwände im Erdgeschoss und im 1. Stock eines L-förmigen Gebäudes in San Angelo dei Lombardi (Intensität IX)



durchgehend ähnlicher Ausfachung (d. h. Steifigkeit) vom Erdgeschoss bis zum Dach sehr selten.

Die Geschosdecken und auch die geneigte, auf kurzen Stützenfortsätzen ruhende Dachkonstruktion sind praktisch immer als Hourdisdecken ausgebildet (Bild 13).

#### Übrige Bauten

Reine Mauerwerksbauten mit tragenden Wänden aus Backsteinen oder anderen Formsteinen sind selten und beschränken sich auf einige wenige zwei- bis viergeschossige Wohnbauten. Vorfabrikation bildet die Ausnahme und scheint erst in jüngster Zeit, besonders bei Fabrikbauten, Anwendung zu finden. Ein einziges Stahlskelett-Gebäude wurde in der Nähe von Avellino gesehen; offenbar wird Stahl kaum als Baumaterial verwendet.

#### Einteilung der Bauten

Unter Vernachlässigung der verschwindend kleinen Anzahl reiner Backsteinbauten, Stahl- und vorgefertigter Bauten lassen sich die Gebäude grob in zwei Bautypen einteilen:

*Bautyp 1: Natursteinbauten aus Bollensteinen oder (selten) behauenen Natursteinen mit schlechter Mörtelqualität. Sie stammen aus der Vorkriegszeit und überwiegen in den alten Dorfteilen.*

*Bautyp 2: Stahlbetonskelettbauten mit Ausfachungen aus Backsteinen. Seit dem Zweiten Weltkrieg gebräuchlicher Bautyp.*

Wie bei der Herleitung der Schadenfunktionen näher gezeigt wird, entfallen im Epizentralgebiet rund 75 Prozent aller Gebäude auf Bautyp 1, der Rest auf Bautyp 2.

#### Bauvorschriften

Die Gebiete, in denen Bauvorschriften im Sinne einer Norm zur Berücksichtigung von Erdbebenlasten angewendet werden müssen, gehen aus Bild 3 hervor. Daraus ist ersichtlich, dass nur einige wenige Gemeinden im nördlichen Teil des Schadengebietes gesetzlich [11] verpflichtet waren, die Erdbebennormen [12] anzuwenden. In den Vorschriften werden zwei Kategorien unterschieden:

*Kategorie 1: Gebiete grosser Erdbebenhäufigkeit und -stärke. Horizontale Ersatzbeschleunigung 0,1 g.*

*Kategorie 2: Gebiete geringerer Erdbebenhäufigkeit und -stärke. Horizontale Ersatzbeschleunigung 0,07 g.*

Die Zuteilung zu einer der beiden Zonen erfolgt auf behördliches Geheiss, wobei sich die Gemeinden aus wirtschaftlichen und anderen Gründen ge-

gen einen Einbezug wehren. Es ist nicht bekannt, wieviele Gebäude im Erdbebengebiet seit diesem Zeitpunkt errichtet und in welchem Ausmass die Vorschriften auch angewendet wurden. In einigen Fällen, wo es zum Einsturz neuester Stahlbetonskelettbauten kam, sind gerichtliche Untersuchungen zur Abklärung der Schadenursachen eingeleitet worden.

### Beschreibung der Bauwerkschäden

Die aufgetretenen Schäden an den zwei Bauwerktypen werden im folgenden für die Standortintensitäten VII, VIII und IX beschrieben.

#### Bautyp 1: Natursteinbauten

Bereits bei einer Intensität von VII stürzten rund ein Drittel aller Gebäude dieses Typs teilweise oder ganz ein, die übrigen wurden z. T. stark beschädigt. Die Intensitätsstufen VIII und IX unterscheiden sich nur durch den Prozentsatz der eingestürzten Gebäude, ohne wesentliche Veränderung des Schadenbildes gegenüber I = VII. Die aufgetretenen Schäden werden deshalb für alle Intensitäten gemeinsam diskutiert. Die grosse Anzahl von Totaleinstürzen bereits bei einer Intensität von VII war einer der Hauptgründe für die hohe Zahl der Toten und Verletzten.

Der *qualitativ sehr schlechte Mauerwerksverband* löste sich während der über 80 Sekunden anhaltenden Erschütterungen fast vollständig auf. Die Mauern stürzten in sich zusammen und bildeten Berge von Trümmern in den engen Gassen der alten Dörfer (Bilder 1, 14). Dorfteile, die sich überwiegend aus Bauten dieses Typs zusammensetzten, waren kaum mehr zugänglich und bildeten ein einziges Schuttfeld. Die vielfach zugeschütteten Fluchtwege erschwerten die Rettungs- und Aufräumarbeiten stark. Besonders betroffen waren Ortschaften auf Bergkuppen wie z. B. *Laviano*, *Conza di Campania* (Bild 1) und *San Mango sul Calore*. Neben den früher erwähnten Aufschaukelungseffekten kam bei diesen Ortschaften noch dazu, dass einstürzende Häuser infolge ihrer Hanglage dominoartig auch den Einsturz der tieferliegenden Häuser auslösten. Die ausserordentlich schlechte Mauerwerksqualität zeigte sich auch im Vergleich mit Häusern desselben Typs, aber mit erneuertem Verputz. Allein der bessere Verputz verhinderte weitgehend die Rissbildung in den Aussenmauern oder gar den Einsturz. In den Orten *Melfi*, *Caliri* und *Rionero in Vulture* waren im Anschluss an ein früheres Erdbeben vom 23. Juli 1930 viele Häuser mit *horizontalen Ankerstangen* saniert worden. Diese zusätzliche Versteifung der gesamten Konstruktion führte zu einem verbes-

serten Zusammenhalt der Wände und zu einer deutlichen Senkung des Schädengrades. Auch bei diesem Erdbeben bestätigte sich die Erfahrung, dass Türrahmen sehr stabil sind (Bild 12) und als Zufluchtort während des Bebens die Überlebenschancen deutlich erhöhen können. Als äusserst widerstandsfähig erwiesen sich auch die gemauerten Kellergewölbe, die nur selten in sich zusammenfielen.

#### Bautyp 2: Stahlbetonskelettbauten

Die aufgetretenen Schäden unterscheiden sich in den Intensitätsklassen I (MSK) = VII, VIII und IX im Gegensatz zum Bautyp 1 sehr stark und werden daher getrennt besprochen.

a) *Intensität VII*. Im allgemeinen waren von aussen nur geringe Schäden feststellbar. Sie beschränkten sich, sofern nicht zusätzliche asymmetrische Effekte mitspielten (Bild 15), auf einige Risse oder höchstens auf vereinzelt herausgebrochene Aussenmauern. Hingegen traten in den Treppenhäusern und in den Wohnzimmern – insbesondere in den beiden untersten Geschossen – z. T. beachtliche Schäden durch Risse in den Ausfachungs- und Zwischenwänden auf (Bild 16). Das Schadenausmass war so gross, dass viele Gebäude – mindestens vorübergehend – evakuiert werden mussten. Schäden an der Tragstruktur in Form von Betonabplatzungen oder grossen Rissen waren selten.

In *Avellino* wurde zwischen verschiedenen acht- bis zehnstöckigen Gebäuden ein ungenügender Abstand festgestellt. Der gegenseitige Aufprall benachbarter Gebäude während des Erdbebens führte zu Abplatzungen längs der Gebäudefugen. Zudem zeigte sich, dass bei zusammengebauten Häuserreihen die äussersten Gebäude stärkere Schäden aufwiesen als die dazwischenliegenden.

b) *Intensität VIII*. In dieser Intensitätszone traten signifikante Unterschiede im Schädengrad als Funktion der Bauwerkshöhe auf. Bei den zwei- bis dreistöckigen Gebäuden zeigten sich äusserlich nur unbedeutende Schäden, während ab etwa fünf Stockwerken auch an den Aussenmauern z. T. recht grosse Schäden auftraten (Bild 17). Die für die Erdbebenbeanspruchung typischen X-Risse waren bereits sehr deutlich ausgebildet und führten häufig unter fortschreitender Beanspruchung zum Ausbrechen ganzer Mauerwerksteile. Die Tragstruktur wurde hauptsächlich an den Stützenköpfen im Erdgeschoss bereits deutlich überbeansprucht, was sich an ausgeprägten Rissen und Betonplatzungen erkennen liess. Vereinzelt traten auch Totaleinstürze auf.

c) *Intensität IX*. In dieser Intensitätszone war der Einfluss der Gebäudehöhe, der Symmetrie in Grund- und Aufriss und insbesondere des Aussteifungsgrades im Erdgeschoss von entscheidender Bedeutung für die Art und das Ausmass der Schäden.

Ein- bis dreistöckige Gebäude mit gut ausgesteiftem Erdgeschoss zeigten wiederum geringe Schäden an der Tragstruktur. Bei den Ausfachungs- und Zwischenwänden wurden einzelne grössere Risse beobachtet.

Die mehrstöckigen Gebäude mit einem vielfach ungenügend ausgesteiften Erdgeschoss erlitten dagegen sehr grosse Schäden sowohl an der Tragstruktur als auch an den Ausfachungs- und Zwischenwänden. In *Lioni* und *San Angelo dei Lombardi* stürzten eine grössere Anzahl neuerer Gebäude ein (Bilder 13, 18), oder sie wurden dermassen beschädigt, dass sie abgerissen werden mussten (Bild 19).

In vielen Fällen brachen die Ausfachungs- und Zwischenwände sowie die Liftschacht- und Treppenhauswände im Erdgeschoss und teilweise im ersten Stock heraus (Bilder 19, 23). Die Tragstruktur zeigte z. T. grosse plastische Verformungen. Die stark überbeanspruchten Stützenköpfe wurden unter dem Einfluss des Horizontalschubes derart beschädigt, dass sie nur noch in beschränkter Masse Kräfte aus Eigen-gewicht oder allfälligen weiteren Erdbeben aufnehmen können.

### Schadenbeurteilung

Die Beurteilung der an den zwei Bautypen beobachteten Schäden macht deutlich, dass viele dieser Schäden ähnliche Gründe haben. Die Hauptursache für das ausserordentlich hohe Schadenausmass und die enorme Zahl von Toten und Verletzten liegt sicher in der dürftigen Qualität der Gebäude des Bautyps 1. Beim Bautyp 2 ist die Vernachlässigung oder nur beschränkte Berücksichtigung des Lastfalles Erdbeben bei der Bemessung und die häufig mangelhafte konstruktive Durchbildung der Tragelemente Hauptursache des Schadenausmasses. Bei gleicher Konstruktionsart wurden grosse Unterschiede in der Ausführungsqualität mit entsprechenden Folgen im Schadenbild festgestellt (Bild 13). Bei der Schadenbeurteilung müssen aber auch die Eigenheiten des Erdbebens und des Epizentralgebietes berücksichtigt werden. Nochmals sei darauf hingewiesen, dass es sich um ein tieffrequentes, sehr langandauerndes Erdbeben gehandelt hat. Die Beurteilung erfolgt wiederum getrennt nach den zwei Bautypen.

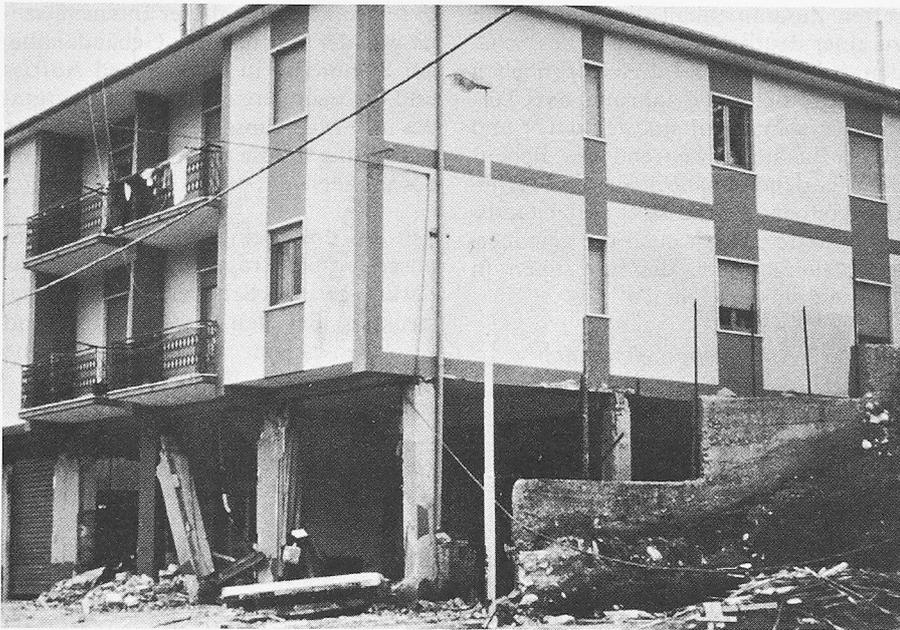


Bild 20. Starke Überbeanspruchung der Stützen im praktisch unausgesteiften Erdgeschoss infolge Auslenkung des steifen und massigen oberen Gebäudeteils (Laviano, Intensität IX)

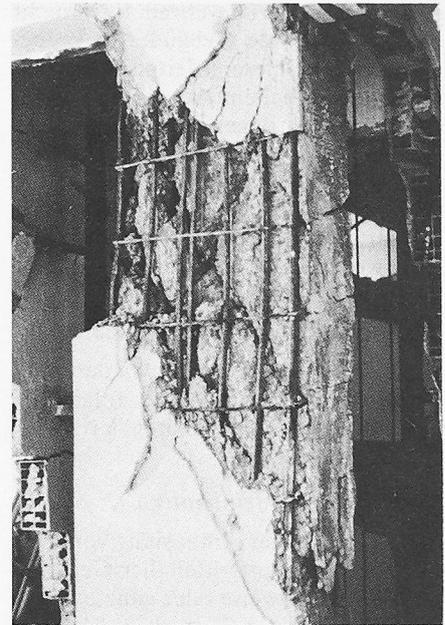


Bild 21. Ungenügende Bewehrung einer Stütze im 1. Stock des Gebäudes in Bild 19

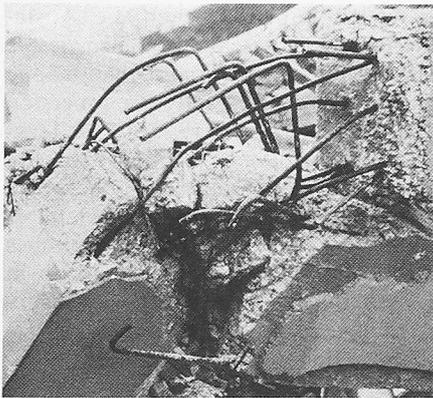


Bild 22. Mangelhafte konstruktive Durchbildung eines Knotenpunktes des eingestürzten Gebäudes in Bild 18. Vielfach werden noch Rundeseisen verwendet mit oft ungenügenden Verankerungslängen

#### Bautyp 1: Natursteinbauten

Die Natursteinbauten mit ihren dicken Mauern sind an sich sehr steif und weisen somit hohe Eigenfrequenzen auf, so dass sie durch das aufgetretene Beben eher wenig angeregt worden wären. Der Verbund im Mauerwerk war aber bei dieser schlechten Mauerwerksqualität derart klein, dass er bereits bei kleinster Beanspruchung verloren ging. Die langandauernden Erschütterungen führten zu einer vollständigen Lockerung der Steine, bis die Wände in sich zusammenfielen.

#### Bautyp 2: Stahlbetonskelettbauten

Tragstruktur. Wie bereits erwähnt, erwiesen sich bei dieser Bauweise die in

den meisten Fällen wenig ausgesteiften Erdgeschosse als sehr gefährdet. Die darüberliegenden, meist bedeutend besser ausgesteiften und damit im Vergleich zum Erdgeschoss praktisch starren oberen Stockwerke sitzen auf schlanken, weichen Stützen (Bild 20). Die durch das Beben induzierte horizontale Beanspruchung kann somit zu beachtlichen horizontalen Auslenkungen des steifen Oberbaus und damit der Stützen führen, was eine lokal starke Überbeanspruchung der Einspannstellen zur Folge hat. Die andauernde Energiezufuhr in diese nun noch viel weicher gewordenen Tragelemente verstärkt die Beanspruchung dieser lokalen Schwachstellen, während die steiferen Tragelemente nicht plastifiziert werden und somit keine Energie aufnehmen können. Dies führte in vielen Fällen zu Schäden, die sehr schwierig zu reparieren sind, oder hatte gar den Einsturz ganzer Gebäude zur Folge. Im weiteren sei erwähnt, dass diese zusätzliche Schwächung bei den meisten Gebäuden die Eigenfrequenzen zusätzlich reduzierte und diese immer stärker in einen möglichen Resonanzbereich tieffrequenter Erdbebenererschütterungen verschob. Dieses Phänomen kann teilweise das viel bessere Verhalten niedriger, im Erdgeschoss besser ausgesteifter Gebäude im Vergleich zu mehrstöckigen erklären.

*Symmetrie.* Die häufig anzutreffende asymmetrische Auslegung in Grund- und Aufriss, die eine unausgewogene Massen- und Steifigkeitsverteilung mit sich bringt, hat im Vergleich zu symmetrischen Gebäuden zu wesentlich höheren Schäden geführt. U- oder L-förmige Grundrissformen (Bilder 15, 19), un-

Bild 23. Vollkommen zerstörte Ausfachungs- und Zwischenwände im Erdgeschoss eines Gebäudes in Lioni (Intensität IX). Die Backsteine sind liegend eingesetzt. Die Stützenköpfe sind häufig stärker beschädigt als die -füsse



Tabelle 2. Zusammenstellung von Bautypenanteilen, Schadenssummen und globalen Zerstörungsgraden für verschiedene Ortschaften im Epizentralgebiet

	Intensität	Bautyp 1			Bautyp 2			globaler Zerstörungsgrad
		Schaden-grad	Bauten-anteil [%]	Schaden-summe [%]	Schaden-grad	Bauten-anteil [%]	Schaden-summe [%]	
San Angelo	IX	95	62	59	75	38	29	88
Lioni	IX	95	52	49	75	48	36	85
Laviano	IX	95	79	75	75	21	16	91
Teora	VIII	70	75	53	35	25	9	62
Calabritto	VIII	70	75	53	35	25	9	62
Pescopagano	VIII	70	85	60	35	15	5	65
Balvano	VIII	70	93	65	35	7	2	67
San Gregorio M.	VIII	70	46	32	35	54	19	51
Senerchia	VIII	70	80	56	35	20	7	63
San Andrea d.C.	VII	35	76	27	8	24	2	29
Montoro Sup.	VII	35	76	27	8	24	2	29
Muro Lucano	VII	35	74	26	8	26	2	28

gleichmässige Aussteifungen des Skeletts, asymmetrische Anordnung des Liftschachtes oder des Treppenhauses haben bekanntermassen ein Auseinanderklaffen von Massenschwerpunkt und Schubmittelpunkt zur Folge. Dies führt bei den unter Erdbeben auftretenden Horizontalbelastungen zu grossen Torsionsbeanspruchungen, die das Schadenausmass im Vergleich zu einem regelmässigen Tragsystem massgeblich erhöhen.

**Konstruktives.** In vielen Fällen wurde in den Stützen und insbesondere in den Rahmenecken und -knoten eine ungenügende Bügelarmierung festgestellt (Bilder 21, 22). Auch die Längsarmierung war vielfach zu schwach und häufig noch mit Rundstahl und ungenügender Verankerungslänge ausgeführt (Bild 22). Der dadurch verursachte schlechte Verbund führte zu grossen klaffenden Rissen (Bild 18). Die schlechte Betonqualität war augenfällig (Kornabstufung, Zementgehalt, Verdichtung).

**Ausfachungs- und Zwischenwände.** Die vorwiegend in Backstein ausgebildeten Ausfachungswände der Stahlbetonskelette verhalten sich gegenüber horizontalen Beanspruchungen in ihrer Ebene sehr steif und sind viel weniger verformungsfähig als die sie umgebende Stahlbeton-Rahmenkonstruktion. Eine horizontale Belastung wird daher primär von der Ausfachungswand aufgenommen. Da bei schlechter Ausführung praktisch kein Verbund zwischen Rahmen und Ausfachung besteht, muss jede einzelne Stütze die gesamte horizontale Kraft und nicht etwa nur die Hälfte über Schub aufnehmen, und zwar die eine Stütze am Stützenkopf, die andere am Stützenfuss [13]. Dies kann - vor allem in Verbindung mit einer zusätzlich auftretenden Momentenbeanspruchung - zu einer Überbeanspruchung der Stützen führen. Zusätzlich erfährt die Stütze, bei der die Schubbeanspruchung am Stützenkopf

wirkt, infolge der von ihr aufzunehmenden Zugkraft eine zusätzliche Reduktion der maximal möglichen Momenten-Schub-Beanspruchung. Diese Beanspruchungsunterschiede lassen sich oft daran erkennen, dass die Stützen am Kopf stärker beschädigt werden als am Stützenfuss (Bild 23).

Die Schubbeanspruchung in der Ausfachungswand führt zu Zugspannungen und schliesslich zu Rissen in Richtung der Druckdiagonalen. Bei zyklischer Belastung, d. h. wechselseitiger Beanspruchung des Rahmens und der Ausfachung, treten die bei Erdbeben typischen X-Risse auf (Bild 17). Der Widerstand der Wand kann im Verlaufe der Beanspruchungsphase soweit geschwächt werden, dass die gesamte Wand zusammenbricht (Bild 23). Dabei ist dieser Widerstand ohnehin durch Öffnungen wie Türen oder Fenster, schlechte Mörtel- und allenfalls auch Steinqualität beträchtlich geschwächt, was die Rissbildung zusätzlich begünstigt.

## Schadenausmass

### Schadenfunktionen

In den einzelnen Intensitätszonen wurden für die beiden Bautypen je ein mittlerer Schadengrad geschätzt und mit den in [14] publizierten Angaben in Bild 24 verglichen. Der Schadengrad wird in Prozenten ausgedrückt und stellt die aufgrund des Schadenbildes zu erwartenden Reparaturkosten in Relation zum Neuwert eines Gebäudes. Dabei wird angenommen, dass sich für ein Gebäude, dessen Reparaturkosten 70 Prozent des Neuwertes übersteigen, eine Reparatur nicht mehr lohnt und der Schadengrad hundert Prozent beträgt. Die in Bild 24 aufgeführten Werte für den Schadengrad sind Mittelwerte verschiedener Ortschaften mit jeweils gleicher Standortintensität.

Der Vergleich zeigt, dass der Schadengrad für den Bautyp 1 eindeutig über

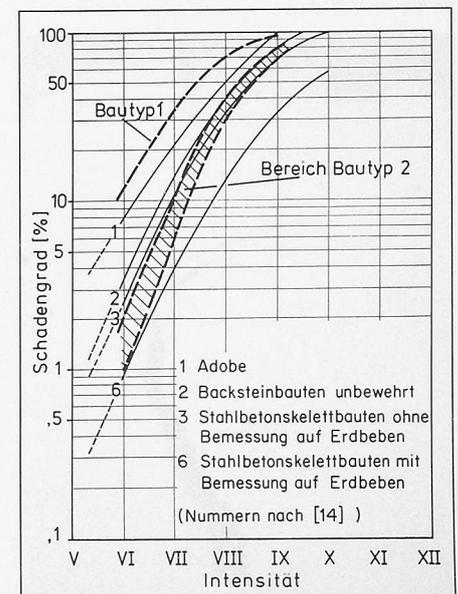
den entsprechenden Referenzkurven 1 und 2 aus [14] liegt, was die schlechte Qualität dieses Bautyps bestätigt und das sehr grosse Zerstörungsausmass auch in Ortschaften mit I=VII erklärt.

Für den Bautyp 2 konnte - z. T. bedingt durch unterschiedliche Bauqualität in den verschiedenen Ortschaften - kein eindeutiger Wert für den Schadengrad bestimmt werden. Deshalb wurde je Intensitätsstufe eine gewisse Bandbreite von rund 10 Prozent angegeben. Die Werte decken sich ungefähr mit der Referenzkurve 3 aus [14].

### Zerstörungsgrad

In [15] ist für verschiedene Ortschaften im Epizentralgebiet die Altersstruktur der Gebäude aufgeführt. Ordnet man grob alle Vorkriegsbauten Bautyp 1 und den Rest Bautyp 2 zu, so erhält man die in Tabelle 2 aufgeführten Bautenanteile. Multipliziert man diese mit dem intensitätsabhängigen Schadengrad aus Bild 24 und addiert sie über beide Bau-

Bild 24. Schadenfunktionen für die Bautypen 1 und 2 im Vergleich mit den entsprechenden Referenzkurven in [14]



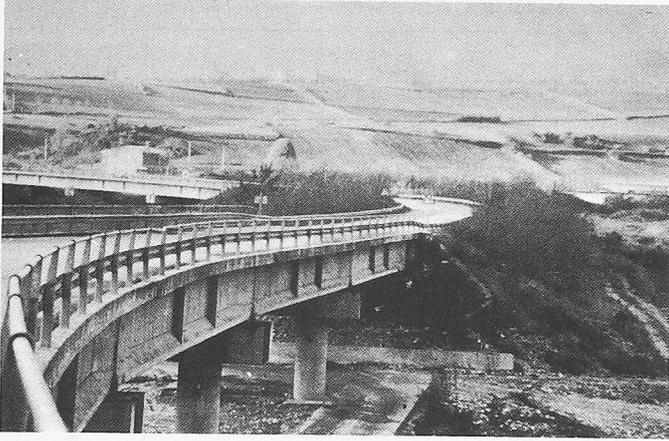


Bild 25. Brücke über den Ofanto-Fluss in der Nähe von Calitri. In der Regel werden die Brücken mit vorfabrizierten, einfachen Balken ausgeführt

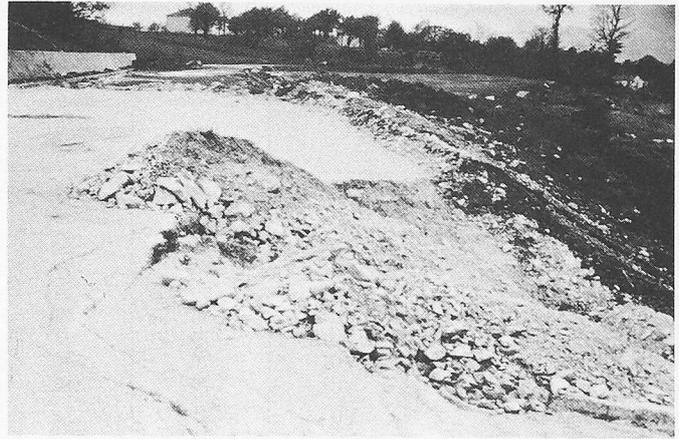


Bild 26. Risschäden in der Umfahrungsstrasse von Lioni

typen, erhält man den Zerstörungsgrad je Ortschaft. Die globalen Zerstörungsgrade als Mittelwerte aller Ortschaften mit gleicher Intensität betragen dann:

I=VII Zerstörungsgrad = 30 Prozent  
I=VIII Zerstörungsgrad = 60 Prozent  
I=IX Zerstörungsgrad = 85 Prozent

Der Beitrag des Bautyps 2 am globalen Zerstörungsgrad nimmt trotz gleichbleibendem Bautenanteil von 7 Prozent bei Intensität VII auf 30 Prozent bei Intensität IX zu. Diese Zahlen unterstreichen die höhere Schadenempfindlichkeit des Bautyps 1 mit zunehmender Standortintensität.

## Schäden an Brücken, Strassen, Tunnels und Spezialbauten

### Brücken und Unterführungen

Zahlreiche Strassen- und Eisenbahnbrücken unterschiedlichen Alters und unterschiedlicher Bauweise befinden sich im Epizentralgebiet. Die älteren

Bild 27. Abrutschen der Dammböschung an der im Bau befindlichen Strasse von Lioni nach Nusco



Brücken sind fast ausschliesslich *massive Bogenbrücken*, deren *Gewölbe und Stirnseiten mit behauenen Natursteinen oder Formsteinen gemauert* sind. Die neueren, teils mehrfeldrigen Brücken bestehen aus *vorfabrizierten, einfachen Stahlbeton- oder Spannbetonbalken auf massiven Pfeilern*. Die längste Brücke dieser Art im Epizentralgebiet befindet sich bei *Conza della Campania* und weist bei einer Gesamtlänge von rund 500 m 17 Felder auf.

Mit Ausnahme einer älteren Bogenbrücke in der Nähe von *San Angelo dei Lombardi* konnten an diesem Brückentyp keine oder nur geringe Erdbebenschäden beobachtet werden. Bei der Brücke in *San Angelo* war das Mauerwerk des mittleren Gewölbes und der Stirnseite gerissen und der Verkehr musste über eine auf die Fahrbahn gelegte Notbrücke geführt werden. Dieser Schaden war aber höchstwahrscheinlich durch ein Abgleiten des einen Bogenwiderlagers verursacht und in dem Sinne nur sekundär durch das Beben bedingt.

Bei den moderneren Brücken aus vorfabrizierten Trägern traten an der eigentlichen Konstruktion praktisch keine Schäden auf (Bild 25). Im Gegensatz zum Erdbeben im Friaul [16] wurden keine bleibenden Auflagerverschiebungen oder das Aufprallen der Brückenträger, auf die Widerlager festgestellt. Die Schäden beschränkten sich auf Setzungen des Hinterfüllungsmaterials beim Widerlager und des Zufahrtdamms, wie aus Bild 25 ersichtlich ist. Der zum Teil fehlende Einbau von Schleppplatten führte zu Niveaudifferenzen im Fahrbahnbelag von maximal 30 cm bis 40 cm. Durch sofortiges Aufschütten nach dem Erdbeben waren aber alle Brücken – allerdings mit erheblich reduzierter Geschwindigkeit – wieder befahrbar.

Gemäss [17] haben auch zwei *Hängebrücken für Rohrleitungen* in der Nähe von *Bagni di Contursi* keinen Schaden

genommen. Hingegen wird in derselben Quelle eine einfache Balkenbrücke in der Nähe von *Calitri* erwähnt, die Schäden an einem der Auflager erlitten haben soll.

An Strassen- oder Bahnunterführungen traten im allgemeinen keine bis nur sehr geringe Schäden auf, sofern diese in tragfähigem Untergrund fundiert wurden. Gelegentlich fielen an Mauerwerksbogen Steine heraus und in den Stützmauern von Betonunterführungen traten vereinzelt Risse auf. Eine Ausnahme bildete eine Flurwegunterführung durch den Damm der Umfahrungsstrasse von *Lioni*, deren massive Flügelmauern sich seitlich bis zu 20 cm verschoben haben. Diese Schäden dürften höchstwahrscheinlich mit einer Reduktion der Scherfestigkeit des wassergesättigten Untergrundes infolge der Erdbebenerschütterungen zusammenhängen.

### Strassen und Stützmauern

Ausser im Epizentralgebiet waren die an den Strassen beobachteten Schäden nicht schwerwiegend und beschränkten sich auf kleinere Risse im Strassenbelag. Im Epizentralgebiet waren die Strassenschäden bedeutender. Oft traten Längsrissen im Belag im Zusammenhang mit Abrutschungen längs des Strassenrandes infolge von Böschungsinstabilitäten auf. Bild 26 zeigt eine solche Abrutschung an der im Bau befindlichen Strasse von *Lioni nach Nusco*. Grosse Risschäden mit Rissweiten von 10 bis 15 cm entstanden im Belag der Umfahrungsstrasse von *Lioni* (Bild 27). Die Strasse führt auf einem etwa 6 m hohen Damm über wassergesättigte alluviale Ablagerungen des Ofanto-Flusses. Die Schäden sind höchstwahrscheinlich auf erdbebenbedingte horizontale Verschiebungen des Dammkörpers auf dem weichen Untergrund zurückzuführen. In Rutschgebieten waren die Strassen häufig sehr stark beschädigt und zum Teil nicht mehr befahrbar.

Bei den neueren, oft mehrere Meter hohen Stützmauern im Epizentralgebiet konnten praktisch keine Schäden festgestellt werden. Eine grosse Stützmauer beim Wärterhaus des Erddammes nahe bei *Conza della Campania* zeigte z. B. keine Schäden, obschon das Wärterhaus stark beschädigt wurde.

### Tunnels

An Tunnels ausserhalb des Epizentralgebietes konnten keine Schäden beobachtet werden. Dies gilt insbesondere für die *Strassentunnels* der *Autobahn Napoli-Bari* im Gebiet von *Avellino*, wo eine Intensität von ungefähr VII bei Epizentraldistanzen zwischen 40 km und 50 km festgestellt wurde. Diese Beobachtungen stimmen gut mit früheren Erfahrungen [18] überein (Bild 28), wonach bei Intensitäten kleiner als etwa VII-VIII keine Schäden an Tunnels zu erwarten sind.

Im Epizentralgebiet befinden sich *drei Eisenbahntunnels* an der lokalen *Linie von Avellino über Lioni nach Melfi*. Die Lage der drei Tunnels ist in Bild 7 eingetragen. Bei der Begehung der Tunnels wurden vereinzelte Abplatzungen am Steingewölbe festgestellt, wobei diese Schäden gegen den Portalbereich hin zunehmen. Die geschätzte Standortintensität für die zwei Tunnels bei *Bagnoli Irpino* beträgt etwa VIII. Mit einer Epizentraldistanz von ungefähr 20 km und der von einem Starkbebeninstrument in *Bagnoli* aufgezeichneten maximalen Bodenbeschleunigung von 0,20 g ergibt sich wiederum eine gute Übereinstimmung mit den Werten im Bild 28. Dasselbe lässt sich auch für den Tunnel bei *Lioni* sagen, obschon dort die Intensität höher als VIII gewesen sein dürfte und Abplatzungen häufiger waren als bei den beiden Tunnels in *Bagnoli Irpino*.

### Spezialbauten

Die zahlreichen *Wassertürme* im Erdbebengebiet sind meist *6stielige Stahlbetonrahmenkonstruktionen von rund 20 m Höhe und aufgesetztem Wasserbehälter* aus einer Stahlbeton/Backstein-Mischbauweise (Bilder 1 und 14). Trotz des dynamisch anfälligen Systems (umgekehrtes Pendel) verhielten sich diese Wassertürme sehr gut. Einige Risse und leichte Betonabplatzungen in den Rahmenecken waren die einzigen feststellbaren Schäden. Die mit drei Riegeln ausgesteiften Stützen verhielten sich

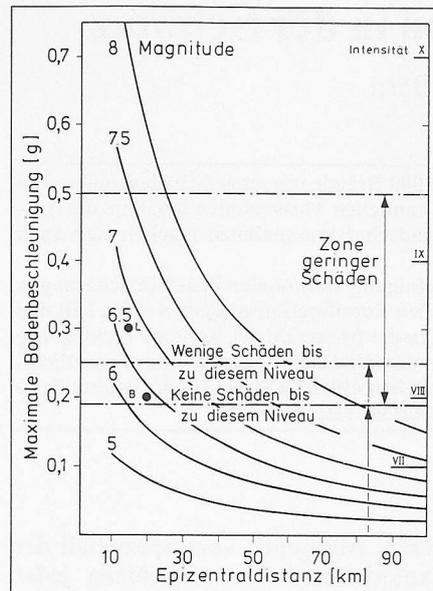


Bild 28. Beziehung zwischen Tunnelbeschädigungen und verschiedenen charakteristischen Grössen eines Erdbebens (nach [18]) (L = Lioni, B = Bagnoli)

anscheinend recht duktil, ohne dass die Verformungen zu gross wurden und sich daraus Schäden infolge des P-Delta-Effekts ergaben.

*Zementsilos* bei zwei Fabriken für Zementwaren in der Nähe von *Lioni* zeigten eindrücklich das unterschiedliche Verhalten je nach Art der *Verankerung* in den Fundamenten. Bei der einen Anlage wurden die Silos und gewisse Teile der Produktionsanlagen wegen mangelhafter Befestigung der Stahlstützen am Fundament umgeworfen und zerstört. Bei der anderen Anlage waren die Zementsilos gut in der Fundation verankert, was dazu führte, dass einzelne Stahlrohrstützen der Silos knickten oder zerrissen.

Zwei am Rande des Epizentralgebietes gelegene *kleinere Staudämme* sowie ein Damm bei *Conza della Campania*, der sich im Bau befindet, zeigten keine Schäden.

Adresse der Verfasser: *Walter Amman*, dipl. Ing. ETH, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich; *Dr. Ernst Berger*, dipl. Ing. ETH, Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG, Forchstr. 395, 8029 Zürich; *Dr. Dieter Mayer-Rosa*, Schweiz. Erdbebendienst, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich; *François Perraudin*, dipl. Geophysiker, Institut für Geophysik, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich; *Dr. Bruno Porro*, dipl. Ing. ETH, Schweiz. Rückversicherungs-Gesellschaft, Mythenquai 50/60, 8002 Zürich; *Dr. Jost Studer*, dipl. Ing. ETH, GSS Beratende Ingenieure AG, Witikonstr. 15, 8032 Zürich, vormals Institut für Grundbau und Bodenmechanik, ETHZ.

### Literaturverzeichnis

- [1] «Das Erdbeben in Süditalien vom 23. November 1980». Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 8, 1981
- [2] *Corriere della Sera*: Wöchentliche Wirtschaftsbeilage, 12. März 1981
- [3] Progetto Finalizzato Geodinamica, C.N.R. Roma (eine Arbeitsgemeinschaft von 13 italienischen Instituten und Organisationen, im Text mit P.F.G. abekürzt)
- [4] *Stratta, J. L., Escalante, L. E., Krinitzky, E. L., Morelli, U.*: «Earthquake in Campania-Basilicata, Italy, November 23, 1980, A Reconnaissance Report». National Research Council, Earthquake Engineering Research Institute, National Academy Press, Washington D. C., 1981
- [5] *Zamberletti, G.*: «Le tremblement de terre du Frioul et les moyens de communication dans la zone sinistrée». SIA-FBH-Fachtagung, Lausanne, 1980
- [6] Schweizerischer Erdbebendienst ETHZ, 1981
- [7] *Karnik, V.*: «Seismicity of the European Area». Part 1, 364 pp. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland, 1969
- [8] *Berardi, R., Berenzi, A., Capozza, F.*: «Terremoto Campano-Lucano del 23 Novembre 1980. Regisztrazioni accelerometriche della scossa principale e loro elaborazioni». Congresso annuale del progetto finalizzato geodinamica, Udine, 12-14 maggio 1981, CNEN-ENEL.
- [9] Servizio Geologico d'Italia, «Carta Geologica d'Italia, Foglio 186, S. Angelo dei Lombardi, und Foglio 185, Salerno» 1:100 000, I Edizione, Poligrafica e Cartevalori, Ercolano, Napoli, 1970
- [10] *Faccioli, E.*: «Engineering Seismology Aspects of the M = 6,5 Southern Italy Earthquake of November 23, 1980; a Preliminary Review». X Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Stockholm, 1981
- [11] Decreto ministeriale, 3.3.1975, publiziert in der *Gazzetta ufficiale* vom 8. April 1975
- [12] «Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche». Istituto poligrafico dello Stato, Roma, 1976
- [13] *Stratta, J. L.*: «Interaction of Infill Walls and Concrete Frames during Earthquakes». Bulletin of Seismological Society of America, Vol. 61, No. 3, pp 609-612, 1971
- [14] *Sauter, F. F., Shah, H. C.*: «Estudio de seguro contra terremoto». Instituto Nacional de Seguros, San José, Costa Rica, 1978
- [15] *Gazzetta del Popolo*, Torino, 28. November 1980
- [16] Contribution to the Study of Friuli Earthquake of May 1976. CNEN-ENEL Commission on Seismic Problems, Roma, November 1976
- [17] *Gürpınar, A., Vardanega, C., Ries, E. R.*: «The November 23, 1980 Irpinia Earthquake (Terremoto Campano Lucano), Observations of Soil and Soil-Structure Interaction Effects». Sixth International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology, Paper K5/10, Paris, August, 1981
- [18] *Rozen, A.*: «Response of Rock Tunnels to Earthquake Shaking». Master of Science Thesis in Civil Engineering at the Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA, 1976