

<b>Zeitschrift:</b>	Schweizerische Bauzeitung
<b>Herausgeber:</b>	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
<b>Band:</b>	95 (1977)
<b>Heft:</b>	12
<b>Artikel:</b>	Das Erdbeben im Friaul zwischen dem 6. Mai und dem 15 September 1976: Charakterisierung der Erschütterungen, Verhalten von bebengeschädigten Bauwerken bei erneuten Erdstößen
<b>Autor:</b>	Heimgartner E. / Glauser, E.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-73350">https://doi.org/10.5169/seals-73350</a>

### Nutzungsbedingungen

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

### Conditions d'utilisation

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

### Terms of use

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

**Download PDF:** 08.02.2026

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

## Die Erdbeben im Friaul zwischen dem 6. Mai und dem 15. September 1976

### Charakterisierung der Erschütterungen, Verhalten von bebengeschädigten Bauwerken bei erneuten Erdstößen

Von E. Heimgartner und E. Glauser, Zürich

Am 15. September 1976 ist die norditalienische Region Friaul erneut von einem starken Erdbeben mit einer Epizentralintensität IX (MSK) betroffen worden. Um den Mechanismus der Schadensausweitung sowie die Auswirkungen von Reparaturmaßnahmen an den am 6. Mai 1976 beschädigten Gebäuden zu untersuchen [1], wurde Ende September das Schadengebiet ein zweites Mal besichtigt. Zwischen dem 6. Mai und dem 15. September 1976 ist das Friaul von 18 Erdstößen mit Magnituden  $M \geq 3,8$  betroffen worden. Diese Erdstöße wurden außer von den europäischen seismologischen Stationen auch vom italienischen Starkbebenregistriernetz der nationalen Elektrizitätsgesellschaft, sowie teilweise von den nachträglich installierten acht mobilen Stationen aufgezeichnet. Die Beschleunigungs- aufzeichnungen der Messstationen wurden ausgewertet und die Geschwindigkeitsverläufe, die Verschiebungsverläufe sowie die Fourier- und Verhaltensspektren berechnet. Die Schadensausweitung wurde nur an den Bauwerken untersucht, die vom ersten Aufenthalt her genau bekannt waren. Daraus ergab sich, dass die erneuten Starkbeben vom 15. September 1976 die Gebäudebeschäden im wesentlichen erheblich ausgeweitet haben, in einzelnen Fällen führten sie sogar zu lokalen bis vollständigen Einstürzen. Reparierte Gebäude konnten sich nur weiteren Beschädigungen entziehen, wenn die Reparaturen mit erheblichen Verstärkungen der Tragstruktur verbunden waren.

### Ausgangslage

#### Das Beben vom 6. Mai 1976

Am 6. Mai 1976 wurde die oberitalienische Region Friaul von einem starken Erdbeben mit der Magnitude  $M = 6,5$  (Mass für freigesetzte Energie) heimgesucht. Die epizentrale Intensität  $I_0$  hatte die Stufen IX bis X auf der XII-teiligen MSK-Skala (Medvedev-Sponheuer-Karnik) erreicht. Die Auswirkungen dieses Erdstosses auf die Bauwerke der Region waren verheerend.

Anfangs Juni 1976 besuchte eine Gruppe von schweizerischen Ingenieuren das Schadengebiet. Ihre Untersuchungen sowie die bei der Auswertung gewonnenen Erkenntnisse wurden in einem ausführlichen Bericht [2] mit reich dokumentierter Schadenbeschreibung zusammengestellt. In einem weiteren Beitrag [1] wurden insbesondere die geophysikalischen Eigenarten des Bebens, die Ursachen der Gebäudeschäden sowie das Verhalten einzelner Bauteile unter Bebenbelastung beschrieben.

Dem Beben vom 6. Mai 1976 folgte eine beträchtliche Anzahl von Nachbeben. So wurden innerhalb der ersten zwei Monate an die 150 Nachstöße mit Epizentralintensitäten  $I_0 \geq IV$  (MSK) beobachtet.

- Starkbebenmessstationen der ENEL, vor dem 6. Mai in Betrieb
- Starkbebenmessstationen der ENEL und der CNEN, nach dem 6. Mai in Betrieb

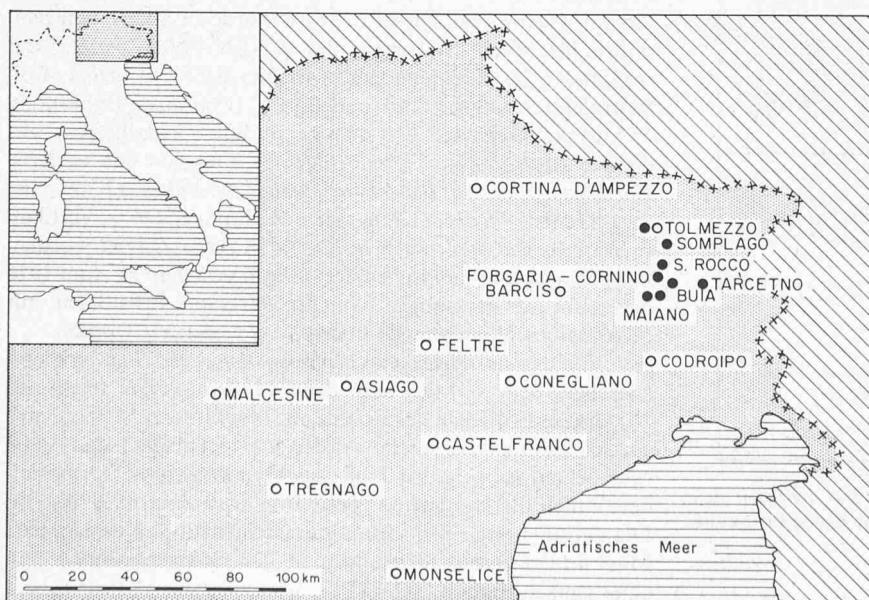


Bild 1. Starkbebenaufzeichnungsstationen der CNEN und der ENEL in Nordostitalien. Vor dem 6. Mai war im Friaul die Station Tolmezzo in Betrieb, nach dem ersten Starkbeben wurden acht weitere mobile Stationen installiert

## Erneute Starkbeben vom 11. und 15. September 1976

Am 11. Sept. 1976 wurde die Gegend nach länger dauernder relativer Ruhe von einem weiteren Beben der Epizentralintensität VII (MSK) heimgesucht. Dieses Schadbeben wurde am 15. September noch übertroffen von zwei weiteren, starken Stößen mit annähernd gleicher Intensität wie das vom 6. Mai 1976. Das Beben um vier Uhr morgens erreichte eine Intensität von VIII (MSK). Kurz nach zehn Uhr folgten sogar Stöße der Intensität IX (MSK). Um die während der ersten Schadenuntersuchungen gewonnenen Eindrücke zu ergänzen, wurde im Anschluss an die beiden Erdbeben im September das Schadengebiet erneut besichtigt.

### Ziel der zweiten Schadenaufnahme

Der zweite Aufenthalt im Erdbebengebiet des Friauls dauerte vom Freitag, 24. Sept., bis Sonntag, 26. Sept. 1976. Die Felduntersuchungen sowie die anschliessenden Auswertungen verfolgten folgende Ziele:

- Abklärung der Mechanismen der Schadenausweitung an erdbebenbeschädigten Bauwerken
- Auswirkungen unterschiedlicher Reparaturmassnahmen auf das Gebäudeverhalten bei erneuter Bebenbelastung.

Um die Beschädigungen und Zerstörungen der beiden Starkbebenserien vom Mai und September 1976 voneinander unterscheiden zu können, wurden nur die Bauwerke untersucht, die vom ersten Aufenthalt her genau bekannt waren. Die mittelalterlichen Gebäude in den Dorf- und Stadtzentren waren bereits nach dem Mai-Beben meist so stark zerstört (vgl. auch [3]), dass auf die Untersuchung weiterer Bebenbeschädigungen verzichtet werden konnte.

## Die Starkbeben vom 6. Mai bis zum 15. September 1976

### Aufzeichnungen

Das Erdbeben vom 6. Mai 1976 wurde in Italien ausser von den seismologischen Stationen verschiedener Universitäten auch von den Starkbebenmessstationen der CNEN (Comitato

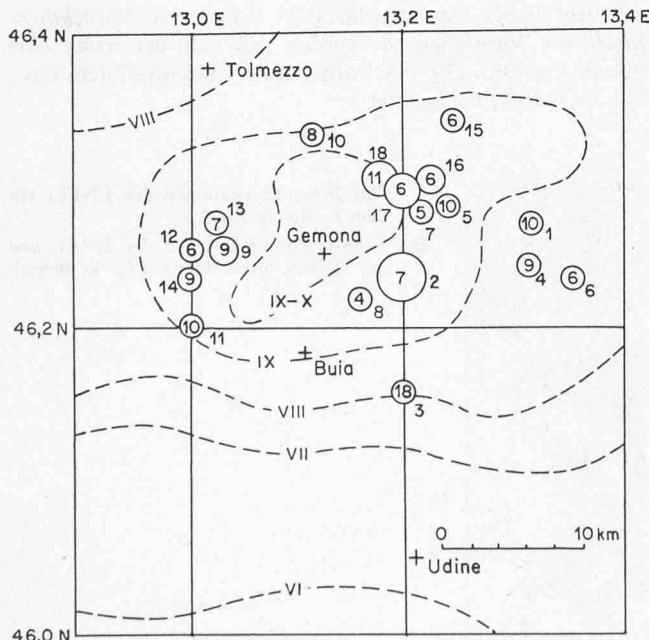


Bild 2. Epizentrenkarte der 18 Starkbeben ( $M \geq 3,8$ ) zwischen dem 6. Mai und dem 15. Sept. 1976 [5]. Die Isoseisten der makroseismischen Untersuchungen sind gestrichelt gezeichnet

② Tiefe in Kilometern

2 Nummer des Bebens aus Tabelle 1

Tabelle 1. Kenndaten der 18 Starkbeben ( $M \geq 3,8$ ).

Nr.	Datum	Zeit (GMT) h min s	Lat. N	Long. E	Tiefe km	Magnituden				
						Roma	M. Porzio	Trieste	Paris	Strasbourg
1	Mai 6.	19 59 05,7	46.27	13.32	10	4,5				
2	Mai 6.	20 00 12,6	46.23	13.20	7	6,2	6,5	6,5		
3	Mai 6.	21 49 41,5	46.16	13.20	18	3,9	3,9	3,8 ± 0,2	4,1	
4	Mai 7.	00 23 49,3	46.24	13.32	9	4,9	4,6	5,5 ± 0,4	4,9	5,3
5	Mai 8.	03 10 05,8	46.28	13.23	10	4,5	4,1	3,9 ± 0,3	3,5	4,4
6	Mai 9.	00 53 44,1	46.23	13.36	6	5,5		5,9 ± 0,4	5,0	5,5
7	Mai 10.	04 35 52,3	46.28	13.22	5	4,7	4,4	4,3 ± 0,1	4,3	4,7
8	Mai 11.	05 31 56,2	46.22	13.16	4	3,9	4,0	4,0 ± 0,1	3,6	4,4
9	Mai 11.	22 44 00,9	46.25	13.03	9	5,3	4,8	5,9 ± 0,5	5,0	5,5
10	Mai 12.	03 01 16,8	46.33	13.12	8	3,6	3,6	3,6 ± 0,2	3,0	3,9
11	Mai 13.	13 04 50,2	46.20	13.00	10	4,3	3,7	4,1 ± 0,1	3,6	4,5
12	Mai 17.	16 13 16,1	46.25	13.00	6	4,5	4,2	4,1 ± 0,1	4,1	4,8
13	Mai 18.	01 30 08,8	46.27	13.03	7	4,3	3,7	4,0 ± 0,3	3,7	4,6
14	Juni 11.	17 16 40,3	46.23	13.00	9	4,4	4,2	4,3 ± 0,1	4,3	4,8
15	Juli 14.	05 39 33,6	46.34	13.25	6	4,2	4,2	4,1 ± 0,1	4,2	4,5
16	Sept. 11.	16 31 11,4	46.30	13.23	6	5,5	5,1	5,7 ± 0,4	5,1	5,5
17	Sept. 15.	03 15 19,8	46.29	13.20	6	6,1	5,9	5,7 ± 0,3	5,9	6,2
18	Sept. 15.	09 21 19,0	46.30	13.18	11	6,0	6,1	6,2 ± 0,2	6,3	6,6

Die Beben ereigneten sich zwischen dem 6. Mai und dem 15. September 1976. Sie wurden ausgewertet von europäischen seismologischen Instituten [5]. Die beiden starken Schadbeben sind besonders hervorgehoben.

Nazionale per l'Energie Nucleare) und der ENEL (Ente Nazionale per l'Energie Elettrica) aufgezeichnet. Von diesem über ganz Italien verteilten Registrationsnetz befindet sich die Station Tolmezzo in unmittelbarer Nähe des Epizentralgebietes [4]. Sie ist mit einem Starkbebenaufzeichnungsgerät des Typs Teledyne RTF-250 ausgerüstet.

Nach dem ersten Starkbeben wurden im Gebiet mit den stärksten Bebenerschütterungen acht mobile Starkbebenaufzeichnungsstationen (Bild 1) mit Geräten des Typs Kinemetrics SMA-1 installiert [4]. Die beiden Gerätetypen unterscheiden sich in ihren wesentlichen Auslegungsdaten nicht und können, basierend auf Vergleichsversuchen der ENEL, als gleichwertig betrachtet werden.

Am 6. Mai 1976 wurde in der etwa 15 km vom Epizentrum entfernten Station Tolmezzo eine Spitzenbodenbeschleunigung von 0,37 g gemessen. Dieser Erdstoss wurde zusätzlich von zehn norditalienischen Stationen des CNEN-ENEL-Netzes mit maximalen Beschleunigungen zwischen 0,02 g (Cortina, Epizentralentfernung 85 km) und 0,09 g (Codroipo, Entfernung 35 km) aufgezeichnet. Mit dem nachträglich installierten, sehr dichten Messnetz im Epizentralgebiet, sind von den weiteren Erdstössen mehrere Bebenbeschleunigungsverläufe (Time History-Records) in drei orthogonalen Richtungen (N-S, Vertikal, E-W) mit Maximalwerten bis zu 0,4 g aufgezeichnet worden. Beispielsweise sind zwischen dem 7. Mai und dem 11. Juni 1976 insgesamt 35 Messungen von 16 stärkeren Erdstössen mit Maximalbeschleunigungen über 0,01 g registriert worden.

Von den mitteleuropäischen seismologischen Stationen sind zwischen dem 6. Mai und dem 15. Sept. 1976 insgesamt 18 stärkere Erdbeben des Friauls mit Magnituden  $M \geq 3,8$  aufgezeichnet und ausgewertet worden [5]. In Tabelle 1 und Bild 2 sind neben der genauen Lage des Hypozentrums (Erdbebenherd) auch die Herdzeiten dieser Erdstössen zusammengestellt. Die von den einzelnen seismologischen Instituten errechneten Magnituden zeigen Streuungen in der Größenordnung von einer ganzen Einheit (vgl. [1]).

## Auswertungen und Ermittlung der Verhaltensspektren

Für die ingenieurseismischen Auswertungen wurden die photographisch festgehaltenen Messresultate der Starkbebenregistrierstationen der CNEN und ENEL digitalisiert und ergaben die «unkorrigierten Beschleunigungs-Zeitverläufe» [6, 7]. Für die weiteren Auswertungen wurden durch Integration die Geschwindigkeits-Zeit-Verläufe sowie die Weg-Zeitverläufe ermittelt. Da im Normalfall die errechneten Bewegungsgrößen am Ende eines Erdstosses nicht den – ungestörten – Ausgangswerten entsprechen, wurden die Messdaten einer «Nulllinienkorrektur» unterzogen. Damit werden sowohl Instrumentenfehler als auch Unzulänglichkeiten und Ungenauigkeiten der photographischen Aufzeichnungen und der Digitalisierung ausgemerzt. Die unkorrigierten Beschleunigungs- aufzeichnungen der ersten Sekunden des Bebens vom 6. Mai 1976 der Station Tolmezzo wurden bereits in [2] dargestellt. In Bild 3 dieses Berichtes sind alle Bewegungsgrößen desselben Erdstosses, also *Beschleunigung, Geschwindigkeit und Verschiebung für die Nord-Süd-Richtung unter Berücksichtigung der Nulllinienkorrektur* dargestellt.

Die maximale Beschleunigung in horizontaler Richtung betrug 0,37 g (N-S-Komponente). In vertikaler Richtung wurden 0,26 g gemessen. Die maximalen Geschwindigkeiten errechneten sich zu 0,32 m/sec in E-W-Richtung und zu 0,11 m/sec in vertikaler Richtung. Die grössten Bodenverschiebungen erreichten 11 cm in E-W-Richtung und 8 cm in vertikaler Richtung.

Aus den Bewegungs-Zeitverläufen wurden in einem weiteren Berechnungsschritt die *Verhaltensspektren* ermittelt. Sie beschreiben die maximale Beschleunigung von durch das Beben erregten gedämpften Einmassenschwinger in Abhängigkeit ihrer Eigenschwingungszeit. In Bild 4 ist das *Beschleunigungsspektrum* für verschiedene Strukturdämpfungen des in Tolmezzo aufgezeichneten Erdstosses vom 6. Mai 1976 dargestellt. Die Form der Verhaltensspektren ist charakteristisch für den Bebenverlauf und die Schwingungseigenschaften des Bodens und stellt neben den Bewegungs-Zeitverläufen eine weitere Möglichkeit dar, die *Bebenbelastung für die Ermittlung der Bauwerksbeanspruchung* zu beschreiben.

## Vergleich mit Bemessungsspektren

Für die *Auslegung von Bauwerken, insbesondere von Kernkraftwerken*, werden üblicherweise *idealisierte Verhaltensspektren* verwendet, für die eine Vielzahl von Aufzeichnungen von verschiedenen Erdstössen ausgewertet wurden (beispielsweise [8]). Die unterschiedlichen Schwingungseigenschaften des Bodens, im wesentlichen charakterisiert durch seine Scherwellengeschwindigkeit, bestimmen die Form der *Verhaltensspektren* in starkem Masse. Eine grobe Einteilung nach den Bodeneigenschaften [9] führt zu verschiedenen Formen von

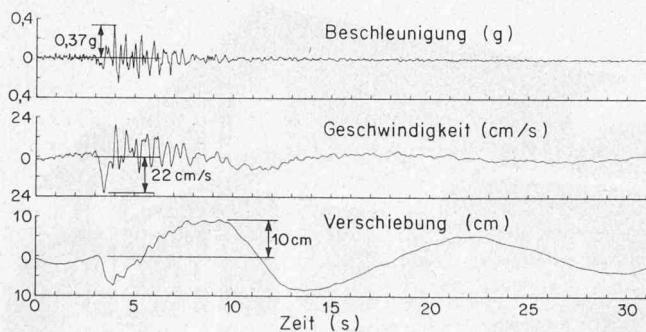


Bild 3. Beschleunigung, Geschwindigkeit und Verschiebung des Bodens während des Erdbebens vom 6. Mai (20 h 00 15 s GMT) in Nord-Süd-Richtung, aufgezeichnet in Tolmezzo

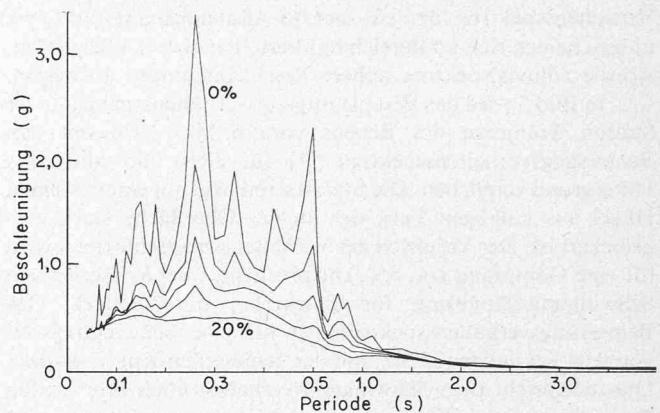


Bild 4. Beschleunigungsverhaltensspektren des Bebens vom 6. Mai für die Nord-Süd-Richtung, aufgezeichnet in Tolmezzo für Strukturdämpfungswerte von 0 %, 2 %, 5 %, 10 % und 20 %

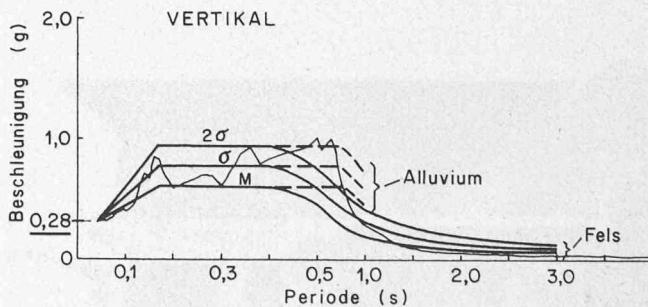
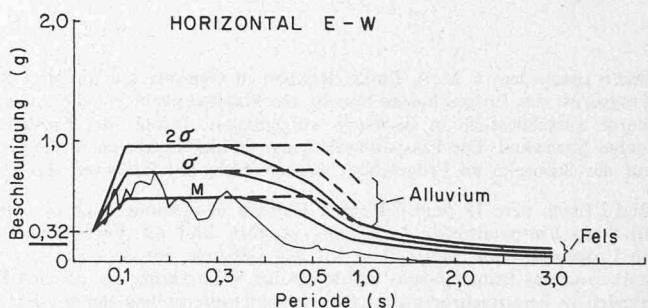
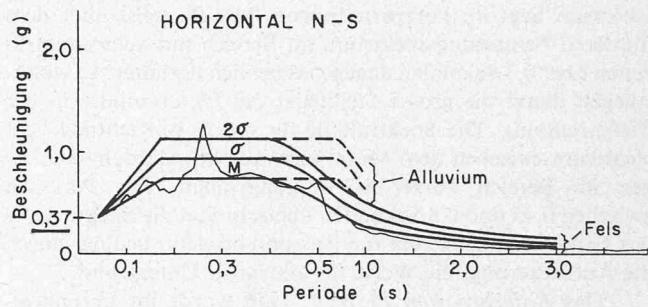


Bild 5. Beschleunigungsverhaltensspektren für 5 % Dämpfung des Bebens vom 6. Mai, aufgezeichnet in Tolmezzo. Zum Vergleich sind die Mittelwerte sowie die Kurven für eine und zwei Standardabweichungen der Bemessungsspektren nach WASH 1255 [9] eingetragen

Verhaltensspektren für Fels- und für Alluviumstandorte. Diese unterscheiden sich im Bereich mit Perioden über 0,4 Sekunden, wo die Alluvialspektren höhere Beschleunigungen aufweisen.

In Bild 5 wird das Beschleunigungsverhaltensspektrum der Station Tolmezzo des Bebens vom 6. Mai 1976 mit den Bemessungsverhaltensspektren [9] für Fels und alluvialen Untergrund verglichen. Die Messstation liegt auf einem kleinen Hügel aus kalkigem Fels, der an der Oberfläche stark aufgelockert ist. Der Vergleich der Verhaltensspektrenformen wird für eine Dämpfung von 5%, entsprechend einer konservativen Schwingungsdämpfung für Bauwerke, durchgeführt. Das Bemessungsverhaltensspektrum ist für eine Schwingungszeit von 0,04 Sekunden (25 Hz) mit der gemessenen Kurve skaliert. Dies entspricht dem Schwingungsverhalten eines sehr steifen Bauwerkes, dessen Eigenschwingverhalten vernachlässigt werden kann und daher direkt die Bewegungen des Untergrundes erfährt.

Um den unterschiedlichen Einfluss verschiedener Erdstöße auf die Bemessungsspektren aufzuzeigen, sind außer dem Mittelwert zusätzlich die Kurven für ein Vertrauensintervall von 84,1% (Mittel + 1 Standardabweichung  $\sigma$ ) und 97,7% (Mittel + 2 Standardabweichungen) aufgeführt. Der Vergleich zeigt, dass das Verhaltensspektrum für die horizontale N-S-Richtung im Bereich des mittleren Bemessungsspektrums für Fels liegt. Im Bereich einer Schwingungsperiode von 0,26 Sekunden dagegen ist eine Erhöhung über zwei Standardabweichungen zu beobachten. Das vertikale Verhaltensspektrum liegt im kurzperiodischen Bereich meist über dem mittleren Bemessungsspektrum, im Bereich mit Schwingungszeiten über 0,3 Sekunden dagegen erheblich darunter. Es widerspiegelt damit die grosse Steifigkeit des Untergrundes in der Tiefenrichtung. Die Spektrallinie für die E-W-Richtung liegt wiederum zwischen dem Mittel und zwei Standardabweichungen im Bereich kurzer Schwingungszeiten. Für Perioden zwischen 0,45 und 0,8 Sekunden überschreitet die Spektrallinie das Bemessungsspektrum für Fels und erreicht, bedingt durch die Auflockerung, die Werte für alluvialen Untergrund.

Das Erdbeben vom 15. Sept. 1976 wurde im Epizentralgebiet von mehreren Stationen auf unterschiedlichen Boden-

verhältnissen aufgezeichnet. Die Verhaltensspektren der auf einer rund 10 Meter dicken alluvialen Lockergesteinsschicht aus Kies, Sand und Schlamm gelegenen *Station Forgaria-Cornino* unterscheiden sich erheblich von den Verhaltensspektren der auf Mergel und Sandstein des Miozäns gelegenen *Station S. Rocco*. Die auf der Lockergesteinsschicht aufgezeichneten Verhaltensspektren zeigen gegenüber den auf Fels ermittelten eine starke, für diese Baugrundverhältnisse charakteristische Erhöhung im Bereich von 0,5 Sekunden Schwingungsdauer [4].

### Verhalten von bebengeschädigten Bauwerken bei starken Erdbeben

Ein erster, oberflächlicher Augenschein im Schadengebiet lässt den Eindruck entstehen, durch die starken Erdstöße der ersten Septemberhälfte seien alle Gebäude vollends zerstört worden, die das erste Beben noch überstanden hatten. Insbesondere stürzten wiederum in den Zentren viele Häuser ein. Dagegen waren wenige zusätzliche Opfer zu beklagen, da der Grossteil der Bevölkerung in Zelten oder Wohnwagen lebte.

Die bei den verschiedenen Untersuchungen beobachteten Bauwerkschäden sind nur beschränkt mit einzelnen der Grosszahl von Erdstößen in Verbindung zu bringen. Bereits bei den ersten Felduntersuchungen wurden Schäden von Gebäuden analysiert, die zusätzlich zum ersten Starkbeben noch von einer Serie von Nachbeben bis zur Intensität  $I_0 = VII$  betroffen wurden. Beben dieser Stärke sind bereits mit beachtlichen Gebäudeschäden an intakten Strukturen verbunden (vgl. Schadenbeschreibung der seismischen Intensitätsskala MSK 1964). Bereits beschädigte und demzufolge geschwächte Bauelemente werden durch diese Beben weiter beansprucht. Nach den Starkbeben am 11. und 15. Sept. 1976 waren die Untersuchungen noch stärker von dieser Unsicherheit in der Zerstörungsgeschichte belastet. Es ist offensichtlich, dass mit dem Vergleich zweier Untersuchungen nicht im Detail festzustellen ist, in welchem Masse die weiteren Schäden von den zahlreichen schwächeren Nachbeben herrühren oder von den drei starken Erdstößen Mitte September verursacht wurden. Aus

Bild 6 (nach dem 6. Mai). Links: Rohbau in Gemona mit auf drei Seiten offenem Erdgeschoss und darüberliegendem Wohngeschoss. Das Traggerüst des Erdgeschosses besteht aus Stahlbetonstützen, die auf einer Schmalseite mit Backsteinwänden ausgefacht sind. Das Obergeschoss wurde ausschliesslich in Backstein aufgemauert. Infolge der Erdbebenbelastung verdrehte sich das Gebäude im Erdgeschoss um die ausgefachte Stirnwand. Die Einspannstellen der Stahlbetonstützen in die Keller- und Erdgeschossdecke wurden stark beschädigt. Die Backsteinwände auf der Stirnseite im Erdgeschoss wurden leicht durchgerissen, das Obergeschoss blieb unbeschädigt

Bild 7 (nach dem 15. Sept.). Rechts: Rohbau in Gemona nach erneuter Bebenbeanspruchung. Die Stahlbetonstützen des Erdgeschosses wurden an ihren Einspannstellen vollständig zerstört, und die Verbindung wird nur noch durch die Armierung hergestellt. Die massive Abstützung im Erdgeschoss aus Holzbalken hat das Gebäude vor dem Einsturz während des zweiten Starkbebens bewahrt. Die bereits beschädigte Backsteinwand des Erdgeschosses wurde infolge Verstärkung des offenen Erdgeschossbereiches vermehrt beansprucht. Der breite Backsteinfensterpfosten ist herausgebrochen, und die Stahlbetonfensterstützen wurden von ihren Lagern heruntergerüttelt



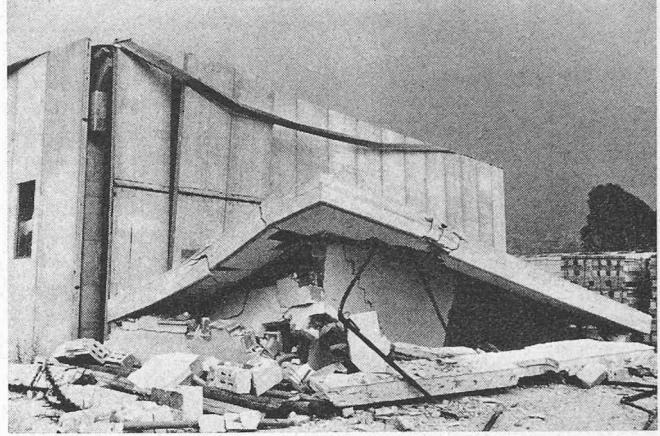


Bild 8 (nach dem 6. Mai). Links: Vorfabrizierte Halle mit Backsteinanbau in Gemona. Das Tragskelett der Halle ist unbeschädigt, dagegen wurden die Betonelemente der Seitenwand beim Aufprall an den steifen Anbau leicht eingedrückt. Die Kunststoffmasse der Wandfugen wurde infolge der grossen Verformungen zerrissen. Das Dach des Anbaus ist durch die Impulsbelastung des Anpralls infolge ungenügenden Bauwerkabstandes auf Fensterhöhe abgeschert und weggeschoben worden

Bild 9 (nach dem 15. Sept.). Rechts: Vorfabrizierte Halle mit eingestürztem Anbau. Das Tragskelett der Halle erfuhr infolge der erneuten Bebenbelastung Schäden an den Einspannstellen der Stützen und den Auflagern der Riegel. Die Fassadenplatten der Seitenwand wurden durch den erneuten Anprall stark eingedrückt, der Anbau selber stürzte ein. Die gegenüber dem ersten Beben grösseren Verschiebungen sind auf die verminderte Struktursteifigkeit infolge der Zerstörung einer Betonhohlsteinwand und der Fassadenfugen zurückzuführen

verschiedenen Beobachtungen und den Auskünften der Bewohner ergab sich jedoch, dass der Grossteil der weiteren Zerstörungen den Starkbeben zuzuordnen ist und den Einfluss der Nachbeben demgegenüber vernachlässigt werden kann. Für die nachfolgenden Beurteilungen wird deshalb angenommen, dass die beim zweiten Aufenthalt beobachteten Veränderungen vor allem auf die Starkbeben vom 11. und 15. Sept. zurückzuführen sind.

#### Verhalten von unveränderten Bauwerken

Während des ersten Erdstosses wurden die Bauwerke in sehr unterschiedlichem Masse beansprucht. Ein Teil der Gebäude hat infolge ihrer Bauart keine sichtbaren oder höchstens leichten Schäden erlitten, andere erfuhren weitergehende Zerstörungen bis zum lokalen oder vollständigen Einsturz. Eine *Beschädigung* bedeutet aber in jedem Falle eine *Schwächung* des Bauwerkes und demzufolge ein *ungünstigeres*

*Verhalten unter erneuter Bebenbeanspruchung*. Zur Beobachtung der Schadenausweitung wurden daher im September eine Reihe von Gebäuden untersucht, die nach der ersten Bebenbeanspruchung unverändert belassen wurden.

Die Gebäude, die beim ersten Starkbeben *keine Schäden* oder *nur geringfügige Verputzrisse* erlitten, zeigen keine weiteren Beschädigungen oder höchstens einzelne Mauerrisse. Ihre Tragkonstruktion ist dieser Erdbebenbelastung gewachsen und kann für solche Beben auch weiterhin als *ausreichend erdbebensicher* betrachtet werden. Die Gebäude mit *durchrisse*n *Backsteinwänden* erlitten infolge ihrer Schwächung in den meisten Fällen stärkere Mauerwerksschäden (Bild 6, 7), die bei Skelettbauten zu Überbeanspruchungen und damit zur Beschädigung der Tragstruktur führen konnten. Auch *durchrisse*nes Mauerwerk von Füllwänden bedeutet daher eine *Verschlechterung des Tragverhaltens* und eine erhöhte Einsturzgefahr des Bauwerkes. Das Tragverhalten wurde aber auch

Bild 10 (nach dem 6. Mai). Links: Wohnhaus mit Werkstatt bei Artegna mit Kellergeschoss in Stahlbeton und zwei Stockwerken in Betonhohlsteinen. Die Stirnwände der Eingangsseite erlitten infolge der hohen Schubbeanspruchung kreuzförmig verlaufende klaffende Diagonalsrisse, die teilweise zu Mauerwerkeinbrüchen führten. Die hochbeanspruchten Fensterpfosten der Längsfassade wurden stark durchgerissen

Bild 11 (nach dem 15. Sept.). Rechts: Wohnhaus mit Werkstatt bei Artegna nach erneuter Bebenbeanspruchung. Infolge der weiteren Bebenbelastung stürzte die Stirnwand im Mittelgeschoss ein. Die Tür- und Fensterpfosten der Längswände wurden zermalmt und brachen teilweise ein. Die Schubfestigkeit dieser Betonhohlsteinwände war gering, da der Mörtel in den Lagerfugen keine Verzahnung der übereinanderliegenden Schichten bewirkte



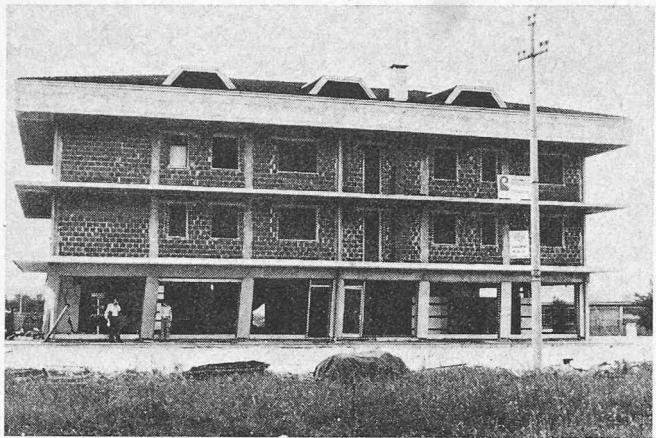


Bild 12 (nach dem 6. Mai). Links: Wohnhaus mit Verkaufslokal bei Artegna. Stahlbetonskelettbau mit Backsteinfüllwänden in den zwei Obergeschossen, im dreiseitig offenen Erdgeschoss sind nur die hintere Längswand und das Treppenhaus ausgefacht. Die Zerstörungen sind auf das Erdgeschoss konzentriert, in dem eine Drehbewegung um den Treppenhauskern mit rund 40 cm Maximalverschiebung auftrat. Die Backsteinwände des Treppenhauses wurden stark zerstört, diejenigen des Obergeschosses blieben unbeschädigt

Bild 13 (nach dem 15. Sept.) Rechts: Trümmer des Wohn- und Geschäftshauses bei Artegna. Das Gebäude ist während des Bebens vom 11. Sept. 1976 im beschädigten Erdgeschoss zusammengebrochen. Durch den Aufprall stürzten auch die unbeschädigten Wohngeschosse in sich zusammen. Die zerstörten Einspannstellen der Stahlbetonstützen im Erdgeschoss sowie die durchrissenen Backsteinwände des Treppenhauses genügten nicht, die erneute starke Bebenbeanspruchung zu übernehmen. Die Fachleute hofften, das Gebäude trotz der Bedenken des Besitzers noch reparieren zu können

durch die *Zerstörung energieabsorbierender Bauteile* wie Kittfugen (Bild 8, 9) erheblich verschlechtert, wodurch das Bauwerk eine kleinere Dämpfung erfuhr und unter der erneuten Bebenbeanspruchung daher *grössere Verformungen* erlitt. Die Gebäude mit *schwer zerstörten Backsteinwänden* oder *Schäden an der Tragstruktur* zeigten eine stark verminderte Tragfähigkeit unter erneuter Erdbebenbelastung. Die Gebäude erfuhren weitergehende Verschiebungen der zerstörten Bauteile, die oft zu lokalen Einbrüchen führten (Bild 10, 11), oder es stürzte sogar das ganze Gebäude ein (Bild 12, 13).

#### Verhalten von reparierten Gebäuden

Nach dem ersten starken Beben wurden viele Gebäude mit geringfügigen oder leichten Beschädigungen repariert. Dabei standen die für das Weiterleben dringend notwendigen Bauwerke, beispielsweise das Spital in Tolmezzo zur Versorgung der Kranken, sowie Industrie- und Gewerbegebäude zur Wiederaufnahme der Produktion und Erhaltung von Arbeitsplätzen, im Vordergrund. Durch die Starkbeben im September wurden die Wiederaufbauarbeiten unterbrochen. Dadurch ergab sich einerseits die Gelegenheit, die verschiedenen Reparaturarbeiten zu beurteilen, andererseits den weiteren Wiederaufbau unter dem Gesichtspunkt weiterer starker Bebenbedrohung zu planen.

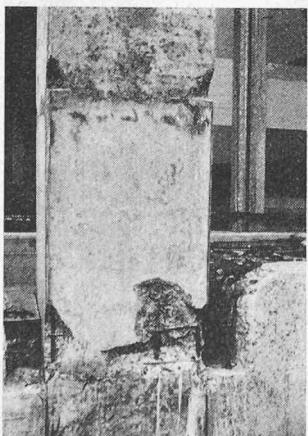


Bild 14 (nach dem 15. Sept.). Stützenfuss der Möbelfabrik Fanconi in Rivoli di Osoppo. Mit der Reparatur des durchrissenen Stützenfusses wurde eine Wiederherstellung der ursprünglichen Tragfähigkeit angestrebt. Die erneute Bebenbelastung bewirkte gleichartige Schäden wie beim ersten Erdstoss, die reparierten Einspannstellen der Stützen wurden neu durchrisse, und der Beton platze in den höchstbeanspruchten Bereichen ab



Die Art der Reparaturarbeiten war entsprechend der Vielzahl von Gebäudearten und Bebenbeschädigungen sehr verschieden. Deshalb zeigten sich bei erneuter Bebenbeanspruchung, entsprechend den getroffenen Massnahmen, sehr grosse Unterschiede.

*Oberflächenreparaturen:* Die Fassaden- und Verputzrisse, aber auch kleinere Mauerrisse wurden oberflächlich repariert, indem der Verputz ausgeflickt und die Wand neu überstrichen oder tapeziert wurde. Diese Oberflächenreparaturen überdecken aber nur die bei Mauerrissen vorhandenen Schwächen. Durch die erneute Bebenbelastung traten daher wieder gleichartige Fassadenbeschädigungen auf. Im Bereich von nicht reparierten Mauerrissen waren wegen der vorhandenen Schwächung in verstärktem Ausmass Schäden zu beobachten.

*Wiederherstellung:* Bei lokal begrenzten Schäden an der Tragstruktur sowie durchrissenen Backsteinwänden wurde mit der Reparatur eine Wiederherstellung des ursprünglichen Zustandes angestrebt (Bild 14). Dadurch sollte nicht nur das Bauwerk wieder benutzbar, sondern auch die ursprüngliche Tragfähigkeit gegenüber Erdbebenbelastung wiederhergestellt werden. Eine Verbesserung des Tragverhaltens war mit diesen Reparaturmaßnahmen nicht beabsichtigt, der vorhandene Schutz gegenüber Erdbeben wurde als genügend beurteilt. Durch die erneute Bebenbelastung konzentrierte sich die stärkste Beanspruchung naturgemäß wieder auf die gleichen Bauteile, und es resultierten wieder gleichartige Schäden (Bild 14). Die durchgeföhrten Reparaturarbeiten bewirkten jedoch, dass das Bauwerk nicht weitergehende Zerstörungen erlitt und damit genügenden Schutz gegen Einsturz bot.

*Verbesserung des Tragverhaltens:* Für Bauwerke, die während der ersten Bebenbeanspruchung sehr weitgehende Schäden erlitten und vor ihrer Wiederverwendung infolge langwieriger Reparaturarbeiten während längerer Zeit unbenutzbar waren, ist in vielen Fällen eine Verbesserung des Tragverhaltens angestrebt worden. Dadurch sollte gegenüber dem ursprünglichen Zustand die Einsturzgefahr des Gebäudes oder materielle Verluste infolge Unbenutzbarkeit bei weiteren Erdbeben verringert werden. Die Verbesserung des Tragverhaltens eines Bauwerkes kann durch verschiedene, prinzipiell unterschiedliche Massnahmen erfolgen, die allein oder kombiniert angewendet werden.

Durch die *Erhöhung der Tragfähigkeit* der stärkst-

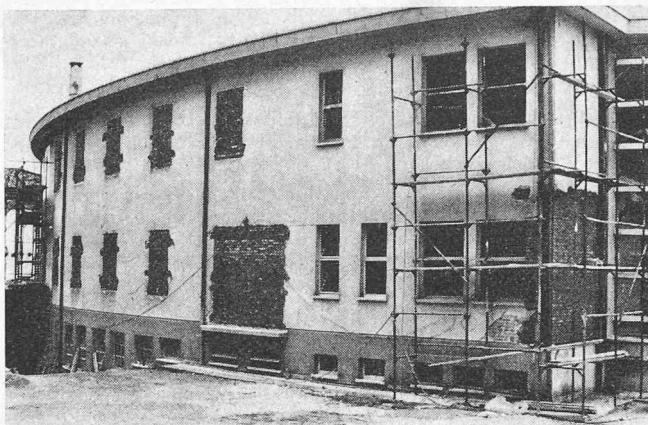


Bild 15 (nach dem 15. Sept.). Geschäftshaus SBUELZ in Tricesimo. Zur Verstärkung des Tragverhaltens wurden die Tür- und Fensteröffnungen ausgemauert. Das Schwingungsverhalten des Gebäudes wurde derart verbessert, dass bei der erneuten Bebenbeanspruchung, im Gegensatz zu den Zerstörungen während des Bebens vom 6. Mai 1976, kaum weitere Schäden auftraten

beanspruchten Bauteile ergibt sich ein vergrösserter Widerstand gegenüber erneuter Bebenbelastung. Diese Tragfähigkeitserhöhung kann durch Ersatz der Tragstruktur mit Elementen aus hochfesteren Baumaterialien erreicht werden, in den meisten Fällen wird aber eine Verstärkung der beanspruchten Bauteile durch Querschnittsvergrösserung (Bild 17) näherliegen. Gleichzeitig werden damit aber die Steifigkeitsverhältnisse verändert, und ein erneutes Beben wird daher andere Bauteile verstärkt beanspruchen.

Mit der *Veränderung des Schwingungsverhaltens* bietet sich dagegen die Möglichkeit an, die Beanspruchung einzelner Bauteile zu ändern und hochbeanspruchte Bauteile auf Kosten anderer, weniger stark beanspruchter Bauteile zu entlasten. Nebst der Bauwerksdämpfung (vgl. Bild 8, 9) beeinflussen vor allem die Steifigkeits- und Massenverhältnisse des Bauwerkes das Schwingungsverhalten unter Bebenbelastung sehr stark. Durch das Ausmauern der Öffnungen in der Rückwand eines im Grundriss gewölbten Gebäudes (Bild 15) wurden beispielsweise die Steifigkeitsverhältnisse grundlegend verändert und damit das Schwingungsverhalten dieses Bauwerkes derart verbessert, dass die während des Bebens im Mai stärkstbeanspruchten Bauteile bei den erneuten Erdstößen keine Schäden

erlitten. Die durchgeführten Reparaturen haben demzufolge wesentlich zur Verbesserung des Tragverhaltens beigetragen. Die Verbesserung des Schwingungsverhaltens ergibt den zuverlässigsten Schutz gegenüber erneuter Bebenbeschädigung und ermöglicht eine optimale, ausgewogene Verstärkung unter Berücksichtigung der Konstruktionsart und des verwendeten Baumaterials.

Eine *Verminderung der Bebenbelastung* ist vor allem durch die Gewichtsreduktion nichttragender Bauelemente zu erwarten. Die Gewichtsverminderung sekundärer Bauelemente und Einrichtungen bewirkt die fast proportionale Herabsetzung der Tragwerksbeanspruchung und damit eine erhöhte Tragkapazität bei erneuter Bebenbeanspruchung. Bei einer Industriehalle (Bild 16, 17) wurden beispielsweise die schweren Fassadenplatten aus armiertem Beton durch Wände in leichter Stahlbauweise ersetzt. Nebst der Verstärkung der Stützen trug die Verminderung der Bebenbelastung wesentlich dazu bei, dass das Gebäude bei den Erdstößen im September unbeschädigt blieb.

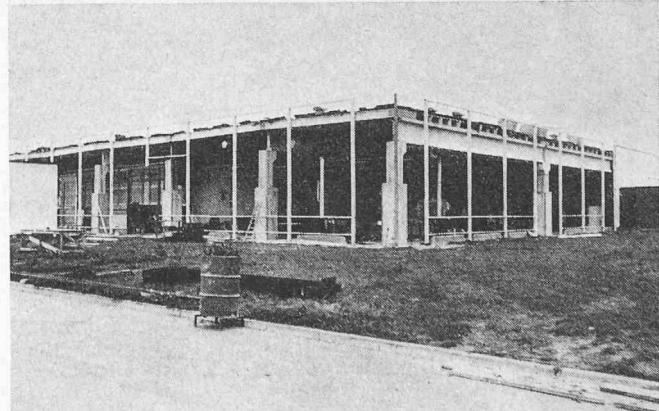
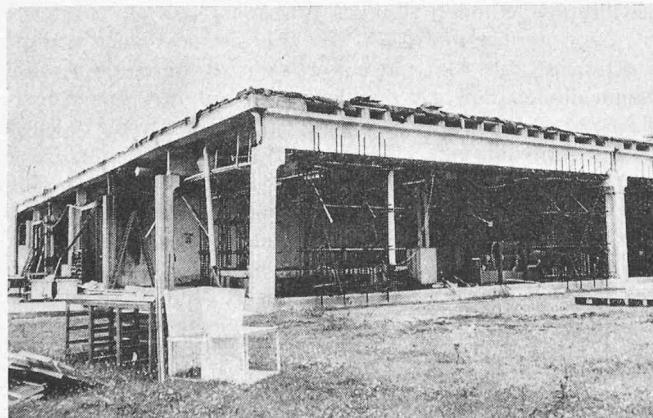
Es ist offensichtlich, dass der Bauingenieur für Reparaturen beschädigter Bauwerke und für neu zu errichtende Gebäude die Erdbebenbelastung in die Berechnung und Konstruktion miteinbezieht. Wie das günstige Verhalten der neueren Gebäude im Gebiet von Tolmezzo gezeigt hat, bietet die Auslegung entsprechend der gültigen italienischen Erdbebennorm genügend Sicherheit für das Leben der Bewohner. Gleichzeitig ist aber zu beachten, dass damit Beschädigungen am Bauwerk akzeptiert werden und der Schutz der Bewohner nur während einer begrenzten Anzahl von starken Bebenereignissen gewährleistet ist. Ist die Funktionstüchtigkeit des Gebäudes auch nach dem Beben erforderlich (z.B. Spitäler, Versorgungseinrichtungen), so genügen die üblichen Gebäude-erdbeben-normen nicht, sondern es ist eine dynamische Analyse des Gebäudeverhaltens durchzuführen und das Bauwerk auf die effektiv bei einem Beben auftretenden Belastungen zu bemessen. Als Grundlage zur Wahl der massgebenden Bebenstärke kann dabei eine *Erdbebenrisikostudie* dienen.

#### Verdankungen

Die Untersuchungen der Gebäudebeschädigungen im Friuli erfolgten im Auftrag der Abteilung für die Sicherheit der Kernanlagen und mit der Unterstützung der Kernkraftwerke Leibstadt AG, der Kernkraftwerke Kaiseraugst AG, der Bernischen Kraftwerke AG sowie der l'Energie de l'Ouest-Suisse SA.

Bild 16 (nach dem 6. Mai). Links: Fabrikationshalle bei Artegna. Starke Verschiebungen des vorgefertigten Stahlbetonskelettes verbunden mit Fundamentverdrehung und Schiefstellung einer Eckstütze. Eine Grosszahl der nur leicht befestigten Fassadenelemente aus armiertem Beton wurden abgeworfen

Bild 17 (nach dem 15. Sept.). Rechts: Fabrikationshalle bei Artegna, nach Reparatur ohne erneute Erdbebenschäden. Zur Verstärkung des Tragverhaltens wurden die Betonstützen mit einem 15 cm starken Betonmantel umgeben. Die Bebenbelastung wird reduziert, indem die schweren Betonfassadenelemente durch eine leichte Metallfassade ersetzt wird



## Literaturverzeichnis

- [1] E. Glauser, H. Gugerli, E. Heimgartner, B. Rast, R. Sägesser: «Das Erdbeben im Friaul vom 6. Mai 1976 – Beanspruchung und Beschädigung von Bauwerken». Schweiz. Bauzeitung, H. 38, 1976.
- [2] Basler & Hofmann: «Erdbeben Friaul – 6. Mai 1976 – Schäden an Bauwerken», 9. Juli 1976.
- [3] A. Parducci (coordinatore): «Il terremoto del 6 Maggio 1976 nel Friuli». Estratto della rivista «L'industria Italiana del Cemento», Luglio/Augosto 1976.
- [4] Commissione CNEN-ENEL: «Contributo allo studio del terremoto del Friuli del Maggio 1976». Novembre 1976.
- [5] European Mediterranean Seismological Centre: «Revised Hypocenters and Magnitude Determinations of Major Friuli Shocks 1976». Working Group, Strasbourg 1976.
- [6] CNEN-ENEL: Terremoto del Friuli, prima registrazioni della rete di stazioni accelerometriche fisse dell'ENEL e delle stazioni accelerometriche mobili del CNEN». Roma, 18 Maggio 1976.
- [7] CNEN-ENEL: «Uncorrected accelerograms». Rome, July 1976.
- [8] USAEC Regulatory Guide: «Design Response Spectra for Seismic Design of Nuclear Power Plants». Rev. 1, 12/1973, US Atomic Energy Commission.
- [9] WASH-1255-Newmark N. (Consulting Engineer Services): «A study of vertical and horizontal earthquake spectra». Directorate of Licensing U.S. Atomic Energy Commission, Washington D.C., April 1973.

Adresse der Verfasser: Basler & Hofmann, Ingenieure und Planer AG, Forchstrasse 395, 8029 Zürich.

## Ändert die Strahlung der Sonne?

Von Claus Fröhlich, Davos

Am 4. März ist in Davos das 70jährige Bestehen des Physikalisch-Meteorologischen Observatoriums (PMOD) gefeiert worden. Gleichzeitig wurden die neuen Räume im umgebauten, alten Schulhaus von Davos Dorf offiziell übergeben, in die das PMOD mit dem ihm seit 1971 angegliederten Weltstrahlungszentrum letztes Jahr einziehen konnte.

Das PMOD war im Jahre 1907 durch Carl Dorno (1865 bis 1942) gegründet worden. Der wohlhabende Kaufmann und spätere Privatgelehrte aus Königsberg war durch die Krankheit seiner Tochter in die Lage versetzt worden, sein Leben in Davos zubringen zu müssen. Sein vielseitiges wissenschaftliches Interesse galt dem Klima der Landschaft Davos. Mit der Erforschung der Heilwirkung des Hochgebirgsklimas wurde Dorno zu einem der Begründer der Bioklimatologie. Seine private Mess- und Forschungsstation in der «Villa Dora» ging im Jahre 1926 in die Stiftung «Schweiz. Forschungsinstitut für Hochgebirgsklima und Medizin» über. In seiner medizinischen Abteilung befasste sich das Institut vorerst mit der Erforschung der Tuberkulose. Heute, nach dem drastischen Rückgang dieser Seuche, steht die immunologische Abwehr allergischer Krankheiten im Vordergrund der Institutsarbeit.

Nach dem Rückzug Dornos übernahm im Jahre 1929 Walter Mörikofer (1892–1976) die Leitung des Observatoriums. Er trieb die Entwicklung der Strahlungsmessungen (inkl. Bau und Eichung einschlägiger Instrumente) vorwärts. Seinem Ansehen dürfte es zu verdanken sein, dass die Meteorologische Weltorganisation in Genf eines ihrer beiden



Strahlungszentren – das andere befindet sich in Leningrad – in Davos einrichten wollte.

Das Weltstrahlungszentrum (World Radiation Center) hat im Jahre 1971 seine Tätigkeit aufgenommen. Material wird es vom Bund, dem Kanton und der Landschaft Davos unterstützt. Es befasst sich mit der Messung der Sonnenstrahlung und ihrer Wechselwirkung mit der Atmosphäre, der Entwicklung moderner Präzisionsinstrumente zur Strahlungsmessung, der Ausarbeitung von Messmethoden und der Veranstaltung von Kursen, an denen international die Standard-Strahlungsmessinstrumente verglichen werden. Der folgende Artikel ist der Schrift entnommen, die aus Anlass der Festlichkeiten erschienen ist. Sein Verfasser ist der Direktor des PMOD und des Weltstrahlungszentrums. Die Festschrift enthält außerdem einen Abriss der Geschichte des Observatoriums, geschrieben vom Präsidenten der Stiftung, Felix Suter.

-yer

Praktisch die ganze Energie, die der Erde zur Verfügung steht, kommt als Strahlung von der Sonne. Deshalb ist die Frage, ob diese Energiequelle konstant oder variabel ist, von allgemeinem Interesse. Die physikalische Klimatologie z.B. bemüht sich, einen Zusammenhang zwischen globalen Klimänderungen und eventuellen, langsamem Änderungen der Strahlungsenergie der Sonne zu finden. Aber auch kurzfristige Schwankungen der Sonnenstrahlung können z.B. das tägliche Wetter beeinflussen, weil ein nicht geringer Anteil der Sonnenenergie in der Atmosphäre absorbiert wird und die globale Zirkulation der Luftmassen antreibt. Die Frage nach Klimaänderungen und deren Ursachen, insbesondere auch als Folge zivilisatorischer Belastungen der Atmosphäre, ist heute besonders aktuell. In diesem Zusammenhang ist es äusserst wichtig zu wissen, welcher Anteil im Strahlungshaushalt der Erde sich natürlich verändert und welcher Anteil von der menschlichen Zivilisation verändert wird.

Von der Sonne wissen wir, dass sie mehr oder weniger «aktiv» ist. Die Aktivität äussert sich z.B. durch die Anzahl Sonnenflecken, die als dunkle Stellen auf der Sonnenoberfläche beobachtet werden können: eine grosse Anzahl bedeutet grosse Aktivität, eine kleine Anzahl geringe Aktivität. Diese Aktivität ändert sich innerhalb eines 11jährigen Zyklus. 1969 war das letzte Maximum, 1980 wird das nächste erwartet. Das letzte Maximum wurde eben durchlaufen. Es drängt sich auf, die Gesamtausstrahlung der Sonne in einen Zusammenhang mit dieser Aktivität zu bringen. Falls es gelingen sollte, eine Formel dafür zu finden, könnte durch einfache Beobachtung der Sonne auf deren Gesamtausstrahlung geschlossen werden, und es könnte die Sonnenstrahlung auch für vergangene Zeiten noch bestimmt werden, da Sonnenfleckenbeobachtungen von