Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 115 (1997)
Heft: 44

Artikel: Das Erdbeben in Italien vom 26. September 1997
Autor: Wenk, Thomas / Dazio, Alessandro / Herrelendy, Paul
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-79339

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: 12.12.2025

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

Thomas Wenk, Alessandro Dazio, Paul Hertelendy, David Zimmerli, Zürich

Das Erdbeben in Italien vom 26. September 1997

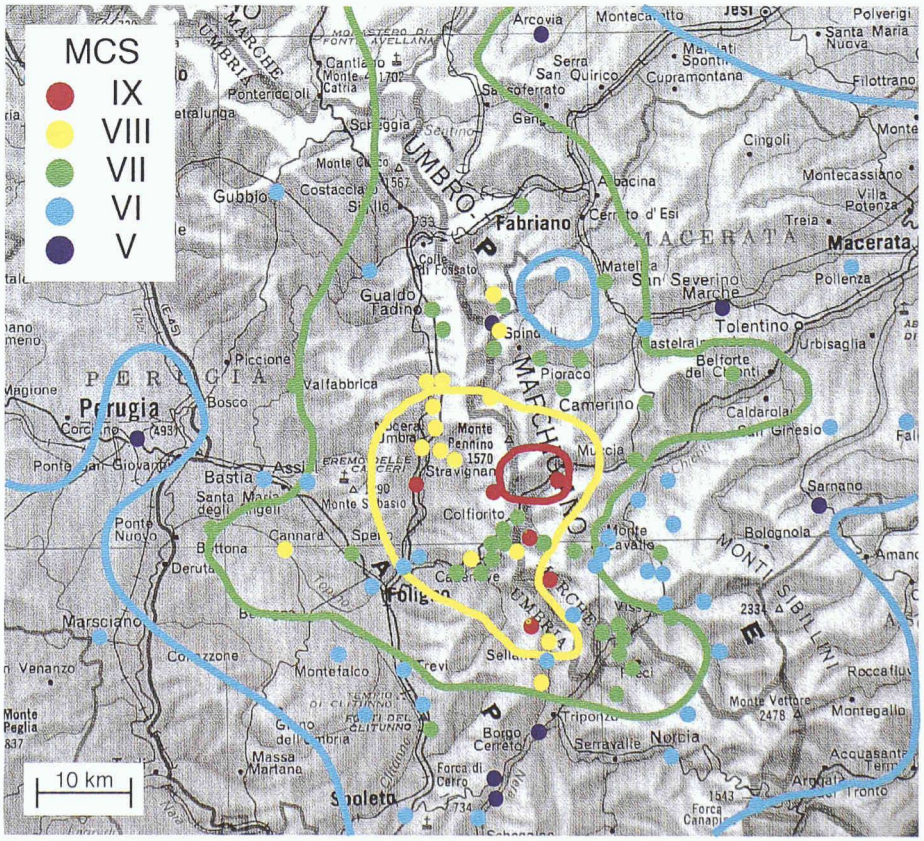
Ein Erkundungsteam der Schweizer Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik (SGEB) im SIA weilte zwei Tage im Schadengebiet, um sich vor Ort einen Überblick über die Erdbebenschäden zu verschaffen und anhand einzelner Fallstudien einen vertieften Einblick in das wirkliche Verhalten der Bauten bei einem Erdbeben zu erlangen. Die Erkundungsmission diente vor allem der Ausbildung junger Erdbebeningenieure.

Am 26. September 1997 wurde die Region Umbrien-Marken in Italien von zwei mittelstarken Erdbeben erschüttert, die einen ungewöhnlich hohen Personen- und Sachschaden anrichteten. Die beiden Erdbeben forderten 11 Todesopfer, 126 Menschen wurden verletzt, und 23 000 wurden obdachlos. Über 100 000 Menschen verliessen aus Angst ihr Zuhause und verbrachten in der Folge die Nächte in Armeezelten, Wohnwagen oder in ihren Autos. Insgesamt wurden 90 000 Gebäude beschädigt, die meisten davon nur leicht. Vor allem ältere Gebäude und historische Bauten von unschätzbarem kulturellem Wert, wie z.B. die Franziskus-Basilika von Assisi, waren betroffen. Vereinzelt wurden auch Schäden an Stromleitungen, Industriebauten sowie an Eisenbahnlinien verzeichnet. Nach ersten Schätzungen erreicht der gesamte volkswirtschaftliche Schaden über zwei Milliarden Franken, davon ist weniger als 5% versichert.

Seismologische Aspekte

Die Erdbebenserie begann am 26.9.1997 um 2.33 Uhr frühmorgens mit einem Stoss der Magnitude von 5,5 auf der Richterskala. Das Epizentrum lag in der Gegend von Colfiorito (Bild 1). Gut neun Stunden später um 11.40 Uhr ereignete sich etwas südlich davon ein noch stärkerer Stoss mit einer Magnitude von 5,8. Während der ersten Wochen nach den Hauptstössen vom 26.9.1997 blieb die Gegend seismisch überaus aktiv. Mehrere hundert Nachbeben, von denen etliche weitere Schäden anrichteten, konnten registriert werden. Bild 2 gibt eine Übersicht über die registrierten Beben mit einer Magnitude ≥ 4,0 und der zugehörigen MCS-Intensität.

Die beobachteten Intensitäten für den Hauptstoss M_l=5,8 sind in Bild 1 bezogen auf die in Italien gebräuchliche MCS-Skala (Mercalli-Cancani-Sieberg, 1930) dargestellt. Die Umrechnung in die in der Schweiz verwendete MSK-Skala (Medvedev-Sponheuer-Karnik, 1964) kann nach Bild 3 erfolgen. Die MSK-Intensitäten sind für den Bereich der Intensitätskarte von Bild 1 einen Punkt kleiner als die angegebenen MCS-Intensitäten. Beim Umrechnen ist ferner zu berücksichtigen, dass die MCS-Intensitäten aufgrund der grossen Verletzlichkeit der vorherrschenden älteren Bausubstanz eher hoch sind. Im engeren Epizentralgebiet (Bild 1) wurde folg-



1
Intensitätskarte bezogen auf die MCS-Skala (Mercalli-Cancani-Sieberg) für den Hauptstoss M_l= 5,8 vom 26.9.1997 um 11.40 Uhr [1]

2
Das Erdbeben vom 26.9.1997 und Nachbeben mit Magnitude ≥4,0 (Stand: 20.10.97) [2]

Datum	Zeit	Magnitude	MCS-Intensität
26.9.1997	02.33	M_L=5,5	VIII
26.9.1997	*11.40*	*M_L=5,8*	*VIII-IX*
26.9.1997	11.46	M_L=4,7	VII
26.9.1997	15.31	M_D=4,1	V-VI
27.9.1997	10.08	M_D=4,0	V
27.9.1997	21.56	M_D=4,0	V
28.9.1997	13.24	M_D=4,0	V-VI
2.10.1997	13.00	M_D=4,0	V-VI
3.10.1997	10.55	M_D=4,8	VII
4.10.1997	08.50	M_D=4,0	V-VI
4.10.1997	17.07	M_D=4,1	V-VI
4.10.1997	18.13	M_D=4,3	VI
4.10.1997	20.47	M_D=4,0	V-VI
7.10.1997	01.24	M_L=5,3	VII-VIII
7.10.1997	07.09	M_D=4,1	V-VI
12.10.1997	13.08	M_D=4,5	VI-VII
14.10.1997	17.23	M_L=5,4	VII-VIII
16.10.1997	00.53	M_D=4,0	V-VI
16.10.1997	06.53	M_D=4,1	V-VI
16.10.1997	14.00	M_D=4,1	V-VI
19.10.1997	18.00	M_D=4,1	V-VI
20.10.1997	03.28	M_D=4,0	V-VI

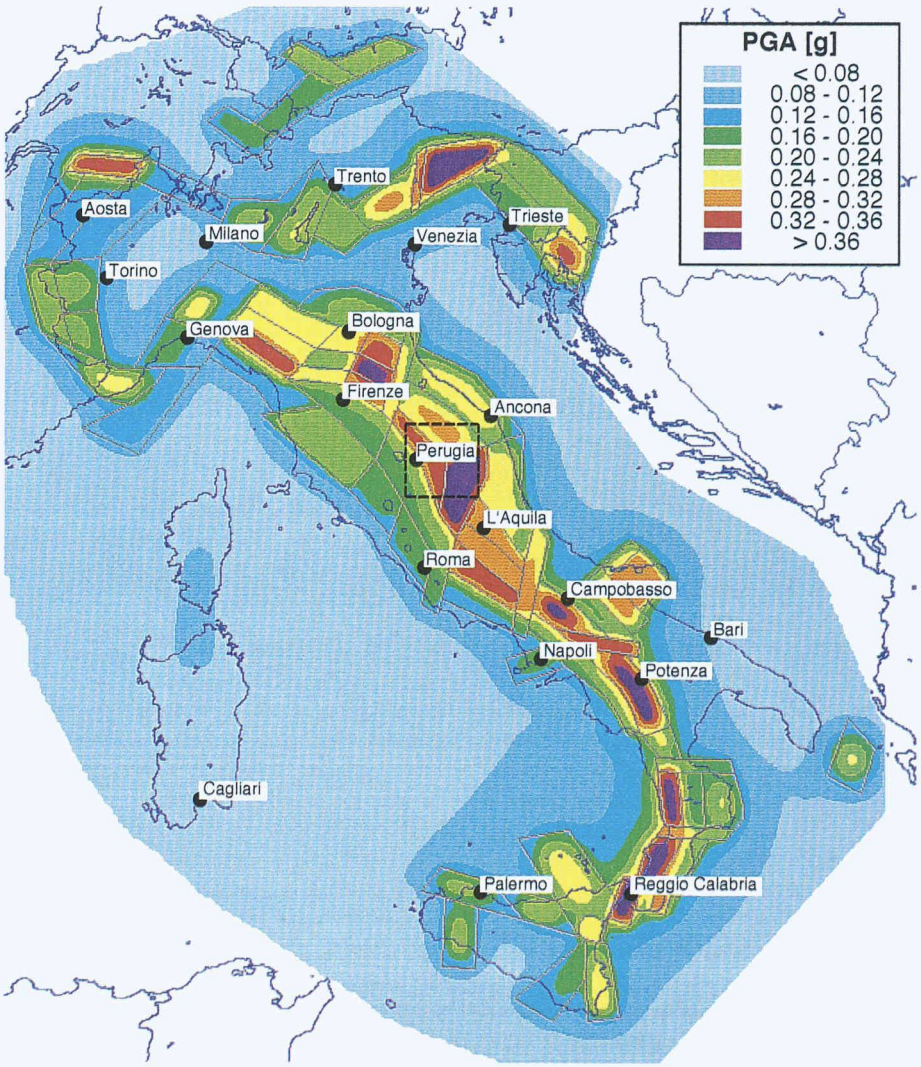
3
Vergleich zwischen der MCS- und der MSK-Intensitätsskala [3]

Skala	Intensitätsgrade											
MCS	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
MSK	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII

lich eine MSK-Intensität von VII bis VIII erreicht, was etwa dem Bemessungsbeben der Zone 2 nach der Norm SIA 160 entspricht.

Nach einer neuen probabilistischen Erdbebengefährdungskarte (Bild 4) liegt das Hauptschadengebiet nördlich einer stark gefährdeten Zone zwischen Perugia und L'Aquila. Bild 4 gibt die zu erwartenden Spitzenbodenbeschleunigungen (Peak Ground Acceleration PGA) in g für eine Wiederkehrperiode von 475 Jahren an, entsprechend einer Auftretenswahrscheinlichkeit von 10% in 50 Jahren [4]. Nach dieser Karte ist die Erdbebengefährdung des Wallis vergleichbar mit dem italienischen Erdbebengebiet; für beide Regionen beträgt der probabilistische Wert der Spitzenbodenbeschleunigung etwa 30% g (Bild 4). Der Kartenausschnitt des Hauptschadengebietes von Bild 1 ist in Bild 4 gestrichelt eingezeichnet.

Bedeutende historische Erdbeben mit einer MCS-Intensität ≥ IX sind in Bild 5 zusammengestellt [5]. Seit 200 Jahren haben sich im Schadengebiet keine starken Erdbeben mehr ereignet. In jüngster Zeit wurde im Jahre 1979 ein schwächeres Erdbeben mit einer MCS-Intensität bis zu VIII registriert.



4
Erdbebengefährdungskarte von Italien mit Spitzenbodenbeschleunigungen (PGA) für eine Wiederkehrperiode von 475 Jahren [4]

Geotechnische Aspekte

Das Hauptschadengebiet liegt im Apennin in Mittelitalien, einem typischen Erdbebengebiet, das sich entlang der Plattengrenze zwischen eurasischer und nordafrikanischer Platte erstreckt. Die Region östlich von Foligno kann als Flyschgebiet bezeichnet werden. Vorherrschend sind Kalkstein, mergeliger Kalkstein und Mergel. Ab einer Magnitude von 5,0 ist zwar erfahrungsgemäss mit Felssackungen, Erdrutschen und Rissen im Boden zu rechnen, es wurden jedoch keine ausgedehnten Rutschungen, Geländeverformungen oder Bodenverflüssigung beobachtet. Eines der wenigen Beispiele ist ein rund 200 m langer Riss in einer entlang der Talflanke steil ansteigenden Schotterstrasse oberhalb Bagnara, welche für Transporte einer Kalkfabrik täglich von mehreren schweren Lastwagen frequentiert wird. Bild 6 zeigt einen Detailausschnitt dieses Bodenrisses mit einem Sackmesser zum Grössenvergleich.

Gemäss [6] wurden an den bestehenden Costa-Cesi- und Monte-il-Castello-Monte-Tolagna-Kalkstein-Verwerfungen Verschiebungen von 3–7 cm gemessen. Eine Erklärung für die nicht eingetretenen ausgedehnten Geländeverschiebungen ist sicher die vor dem Beben vorherrschende Trockenheit.

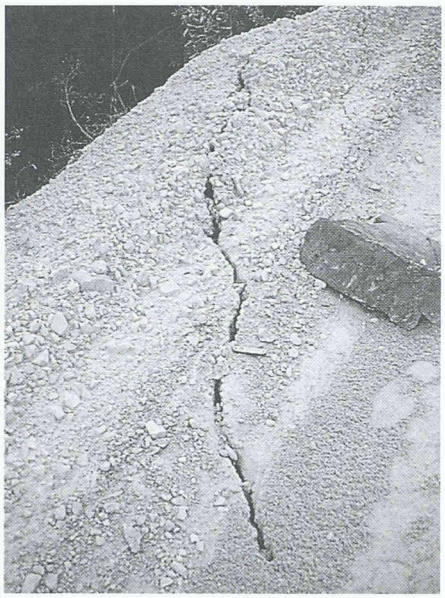
Schäden an historischen Gebäuden

Die weitaus grössten Schäden entstanden an älteren Bauten, darunter auch kulturhistorisch sehr wertvollen Gebäuden, während neuere oft beinahe unversehrt blieben. Der beobachtete Schadengrad älterer Bausubstanz war nicht nur vom geographischen Standort der Gemeinde abhängig, sondern variierte auch sehr stark innerhalb einzelner Ortschaften. So betrug z.B die MCS-Intensität im unteren Teil des Ferienortes Cesi, der südlich vom Epizentrum liegt, etwa IX, während im oberen Teil die Intensität mindestens zwei Stufen tiefer lag. Total zerstörte Häuser (Bild 7) aus sprödem Mauerwerk und solche mit geringen Schäden (zerstörte Kamine, Risse in Wänden) konnten wenige Meter auseinander stehen. Ohne aufwendige Detailstudien ist es nicht möglich abzuklären, ob die auf kleinstem Raum beobachteten grossen Schadenunterschiede der unterschiedlichen Verletzlichkeit der Bausubstanz oder den unterschiedlichen lokalen Baugrundverhältnissen zuzuordnen sind.

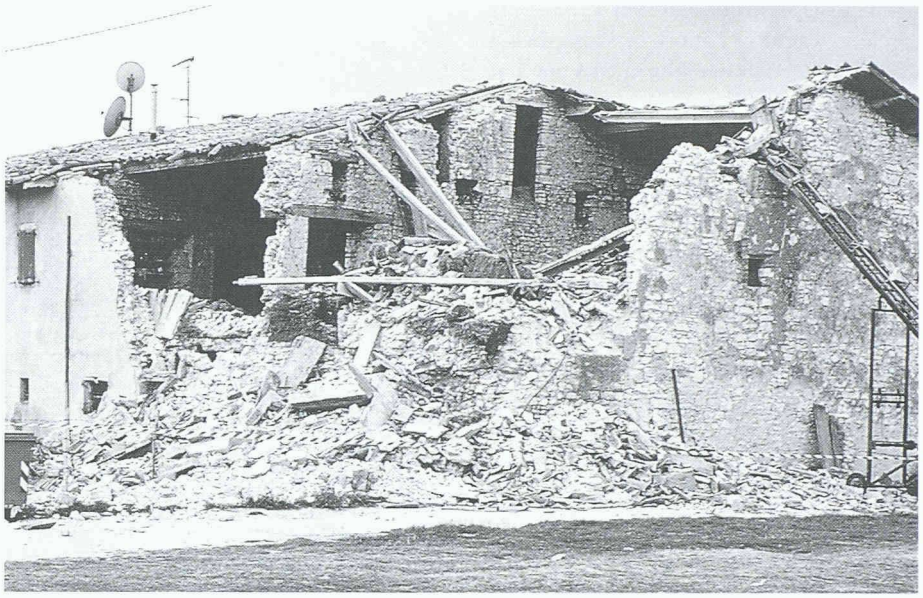
Eine ähnliche Problematik stellte sich bei den kulturhistorisch wertvollen Gebäuden, welche zum Teil weiträumig abgesperrt waren. In Assisi wurden an drei verschiedenen Standorten – am Fusse des Hügels, in der Mitte der Flanke und im Keller der Franziskus-Kathedrale – Messun-

5
Bedeutende historische Erdbeben in der gleichen Region in Umbrien und Marken mit MCS-Intensität [5]

Datum	MCS-Intensität
1279	X
1328	X
1703	X
1719	IX
1741	X
1747	IX
1791	IX



6
Bodenriss in Schotterstrasse



7
Eingestürztes älteres Bauernhaus

gen zur Bestimmung der lokalen Amplifikation während der auftretenden Nachbeben durchgeführt [7]. Die Messungen zeigen eine starke Amplifikation im Bereich von 0,1 Hz und 1 Hz für den Standort der Kathedrale.

Schäden an neueren Gebäuden

Neuere Gebäude wurden nur vereinzelt stärker beschädigt. Dies ist in erster Linie darauf zurückzuführen, dass einerseits die neueren Gebäude zum Teil auf Erdbeben bemessen waren, andererseits ihr Anteil an der gesamten Bausubstanz relativ gering war. Einige interessante Beobachtungen von einzelnen Schadenfällen konnten im Dorf Bagnara bei Nocera Umbra gemacht werden, wo eng nebeneinander unbeschädigte auf Erdbeben ausgelegte Neubauten, unbeschädigte nach dem letzten Erdbeben vor zehn Jahren verstärkte Bauten, beschädigte nicht auf Erdbeben ausgelegte Bauten aus den letzten 30 Jahren sowie eine stark beschädigte mittelalterliche Kapelle vorgefunden wurden (Bilder 8, 9 und 10). Bild 8 zeigt ein Hotel mit Restaurant, Baujahr 1960. Im Erdgeschoss wurden die kurzen Wände aus Natursteinmauerwerk zwischen Tür- und Fensteröffnungen durch X-förmige Risse stark beschädigt. Immerhin blieben die Gläser auf den gedeckten Mittagstischen im Restaurant stehen, ein Hinweis darauf, dass die Bodenbewegung nur mittelstark war.

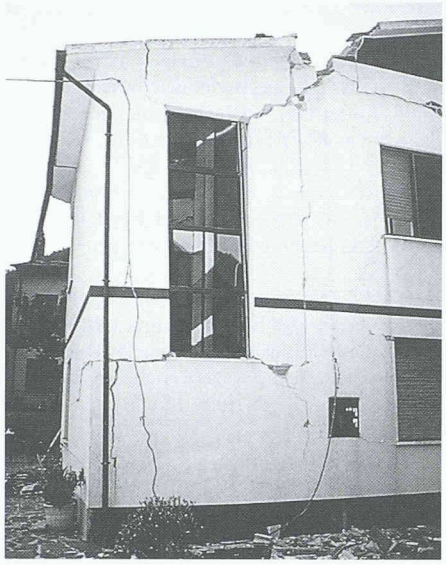
8
Hotel mit Restaurant: grobe X-förmige Risse in den kurzen Natursteinwänden im Erdgeschoss

Ein knapp zehn Jahre altes Einfamilienhaus, das ohne Erdbebenbemessung erstellt worden war, wurde um eine grosse Fensteröffnung und am Dach beschädigt (Bild 9). Bei einem Einfamilienhausneubau mit Stahlbetonrahmentragwerk fiel die Mauerwerksausfachung heraus (Bild 10).

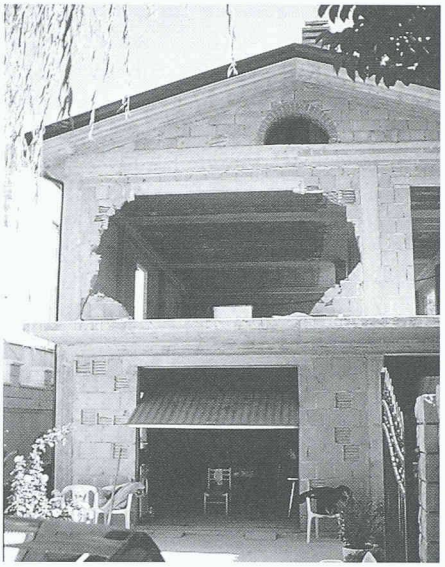
Besonders aufgefallen war die Tatsache, dass sich die Schäden in erster Linie auf den mittleren Bereich des Tales konzentrierten. An den Talflanken waren sie eindeutig geringer. Da keine Starkbebenmessresultate vorliegen, lässt sich vermuten, dass es sich dabei um einen typischen Standorteinfluss handelt. Die Bodenbewegung muss gerade bei den alluvialen Schichtdicken in Talmitte besonders im Bereich der Bauwerksfrequenzen niedriger Gebäude aufgeschaukelt worden sein. Zusätzlich konnte man feststellen, dass die Schäden an Tragelementen in Talrichtung systematisch stärker ausfielen als in Talquerrichtung.

Schäden an Industrieanlagen

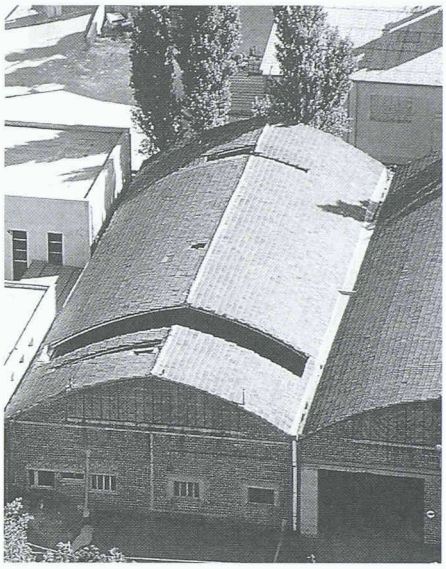
Am Dorfausgang von Bagnara befindet sich eine grössere Kalkfabrik. Infolge Stromausfall des Versorgungsnetzes ruhte die Produktion insgesamt vier Tage, davon fielen glücklicherweise zwei Tage aufs Wochenende. Bauwerkschäden traten nur an den älteren, nicht erdbebensicheren Bauten auf. Die Dachkonstruktion einer älteren Lagerhalle, eng nebeneinanderliegende unterspannte Stahlbetonbögen, stürzte teilweise ein (Bild 11). Die ganze Halle musste wegen akuter Einsturzgefahr abgesperrt werden. Die neueren Gebäude erlitten höchstens geringfügige Schäden, die die Produktion nicht behinderten. Die



9
Einfamilienhaus mit groben Rissen um grosse Fensteröffnung



10
Herausgefallene Mauerwerksausfachung eines Einfamilienhausneubaus



11
Ältere Lagerhalle mit teilweise eingestürztem Dach

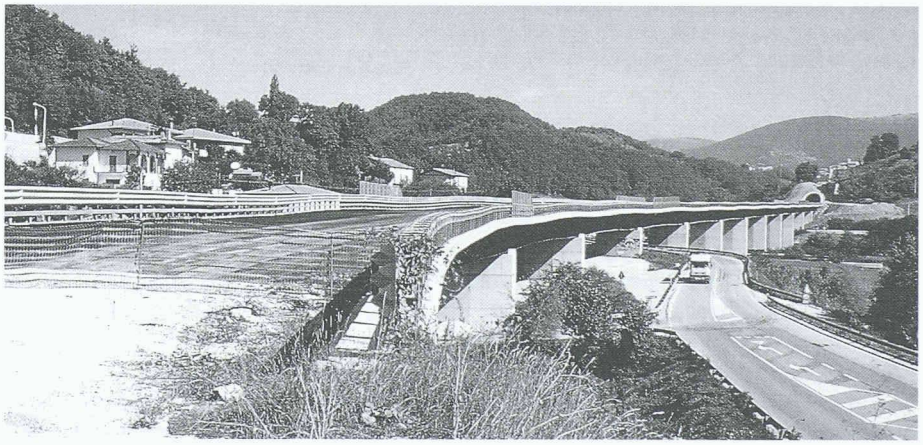
Produktionsanlagen sind zur Reduktion maschineninduzierter Schwingungen auf Schwingungsisolatoren gelagert, die sich auch positiv auf das Erdbebenverhalten auswirkten.

Schäden an neuer Strassenbrücke

Ein interessantes Schadenbild einer Balkenbrücke mit fester Lagerung in Längsrichtung konnte beim Viadotto Traone der Staatsstrasse Nr. 3 in der Nähe der Ortschaft Nocera Scalo zwischen Foligno und Nocera Umbra beobachtet werden (Bild 12). Die Brücke wurde erst vor kurzem fertiggestellt und ist noch nicht in Betrieb. Es handelt sich um eine 657 m lange Verbundbrücke, ausgebildet als Durchlaufträger über 12 Felder mit einer Regelspannweite von 54 m. Die ersten 4 Felder Seite Foligno liegen in einer leichten Kurve. Der Querschnitt des Brückenträgers ist in Bild 13a schematisch dargestellt. Die Fahrbahnplatte ist 12,05 m breit und besteht aus vorfabrizierten Betonelementen. Auf Höhe des Ober- und des Unterflansches der beiden Längsträger ist je ein horizontaler Windverband angeordnet.

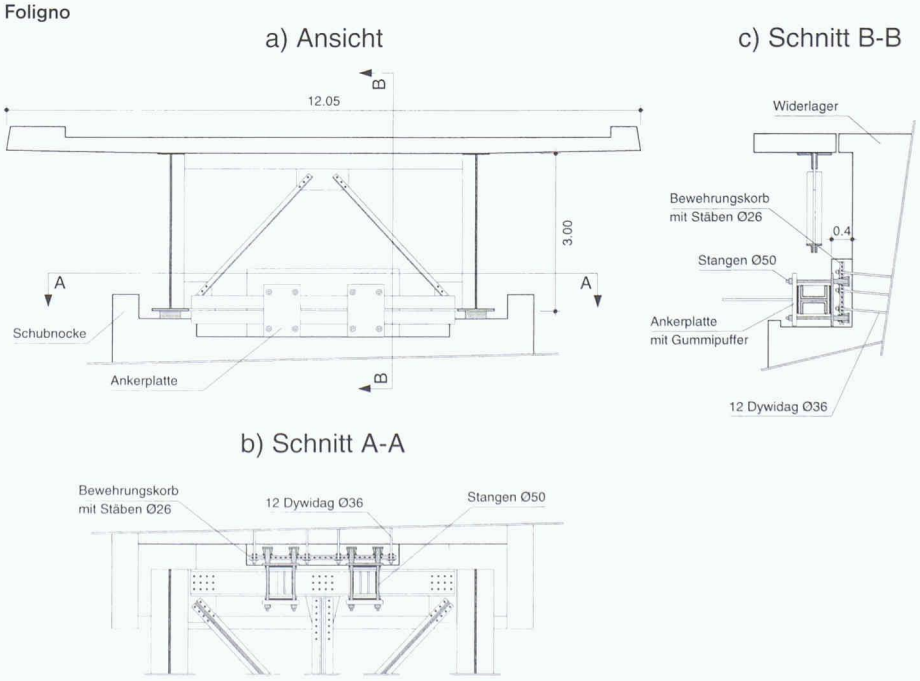
Lagerung in Brückenlängsrichtung

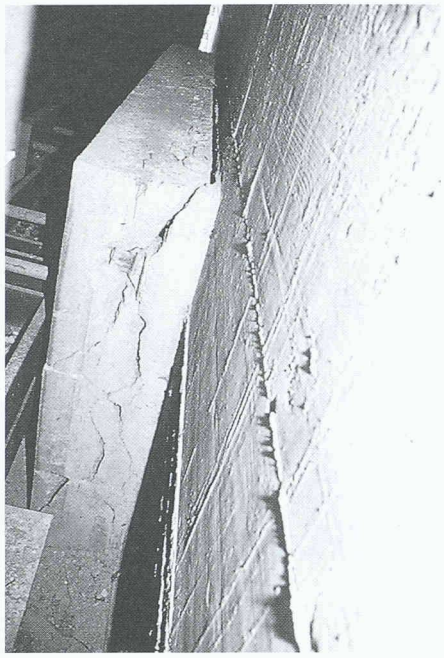
In Längsrichtung wird der ganze Brückenträger von 657 m Länge durch ein besonderes Horizontalkraftlager auf dem Widerlager Seite Foligno stabilisiert (Bild 13). Alle Neotopflager auf den Stützen und den beiden Widerlagern sind längsverschieblich ausgebildet. Massgebend für die Bemessung dieses Horizontalkraftlagers waren die Erdbebenkräfte in Brückenlängsrichtung. Es besteht aus zwei je mit vier schlaffen Stahlstangen Ø 50 mm ver-



12
Strassenbrücke Traone von der Widerlagerseite Foligno aus gesehen

13
Skizze der festen Verankerung für Horizontalkräfte in Brückenlängsrichtung auf Widerlagerseite Foligno





14
Beschädigte Stahlbetonscheibe des Horizontalkraftlagers in Brückenlängsrichtung auf Widerlagerseite Foligno. Blickrichtung wie in Bild 13c

sehenen Ankerplatten, die den unteren Fachwerkstab des Endquerträgers, eingebettet zwischen Gummipuffern, gegen das Widerlager zurückhalten (Bild 13b und c). Diese schlaffen Stahlstangen Ø 50 mm sind in einer an die Widerlagerrückwand anbetonierten Stahlbetonscheibe von 40 cm Dicke verankert (Bild 13c). Die Stahlbetonscheibe wiederum ist stark bewehrt und mit 12 Dywidag-Stangen Ø 36 mm im Widerlager rückverankert.

Lagerung in Brückenquerrichtung

Von den zwei Neotopflagern pro Stütze und Widerlager sind die Lager auf der einen Brückenseite jeweils allseitig verschieblich, auf der anderen Brückenseite hingegen nur in Längsrichtung. Die Horizontalkräfte werden folglich in Querrichtung durch je ein Neotopflager pro Stütze und pro Widerlager abgetragen. Zusätzlich sind sowohl bei den Stützen als auch bei den Widerlagern seitliche Schubnocken vorgesehen, die über den Unterflansch der Längsträger hinausreichen (Bild 13a). Diese Schubnocken sollen im Erdbebenfall den seitlichen Absturz des Brückenträgers verhindern.

Beobachtete Schäden

Unter der Wirkung des Erdbebens wurde die obenerwähnte Stahlbetonscheibe des Horizontalkraftlagers stark beschädigt (Bild 14). Der Brückenträger bewegte sich in der Folge ein paar Zentimeter vom Widerlager weg. Über den ersten Stützen Seite Foligno lag der Brückenträger nicht mehr zentrisch auf den Stützen, sondern schlug fast an den Schubnocken auf der Kurvenaussenseite an. Beide Beobachtungen deuten darauf hin, dass sich der Brückenträger etwas vom festen Widerlager weg und auf die Kurvenaussenseite bewegte.

Leider sind keine Messwerte der während des Erdbebens aufgetretenen Beschleunigungen in der Nähe der Brücke vorhanden. Aufgrund des Schadenbildes der Häuser unmittelbar neben der Brücke, wo einige Dächer einstürzten und zwei Häuser kurz vor dem Totaleinsturz stehen, kann man davon ausgehen, dass die Gegend um die Brücke vom Erdbeben relativ stark betroffenen wurde. Vermutlich wurde jedoch das Bemessungsbeben dieser neuen Brücke nicht erreicht. Es zeigt sich in diesem Fall deutlich, dass bei fester Lagerung auch schon bei kleinen Beben sehr grosse Kräfte auftreten können, die konstruktiv schwierig aufzunehmen sind [8].

Erdbebennormen

Nach dem Erdbeben von Messina in Sizilien im Jahre 1908 sind in Italien erstmals Erdbebenbestimmungen erlassen worden. Die heute gültigen Normen aus dem Jahre 1986 teilen Italien in drei Zonen von niedriger, mittlerer und hoher Seismizität ein. Die Region Umbrien-Marken liegt in der mittleren Zone, wo ein seismischer Koeffizient von 7% g vorgeschrieben ist. Die Erdbebenbemessung gewöhnlicher Stahl- und Stahlbetongebäude erfolgt nach dem Ersatzkraftverfahren mit Nachweisen nach der Methode der zulässigen Spannungen ohne Duktilitätsfaktoren, bei Gebäuden aus Mauerwerk hingegen werden keine rechnerischen Nachweise verlangt, sondern es sind konzeptionelle und konstruktive Massnahmen zu beachten [9].

Die letzte Fassung vom Januar 1996 dieser Normen sieht neu für Stahl- und Stahlbetongebäude auch einen Nachweis der Grenzzustände der Tragfähigkeit vor, in diesem Fall ist die Erdbebeneinwirkung mit einem Faktor 1,5 zu multiplizieren. Die in der Region Umbrien-Marken zu berücksichtigende Erdbebeneinwirkung ist ungefähr vergleichbar mit der Zone 3a nach Norm SIA 160 in der Schweiz.

Adressen der Verfasser:
Thomas Wenk, dipl. Bau-Ing. ETH/SIA, *Alessandro Dazio*, dipl. Bau-Ing. ETH/SIA, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, 8093 Zürich, *Paul Hertelendy*, dipl. Bau-Ing. ETH/SIA, PartnerRe Services, Weinplatz 10, 8022 Zürich, *David Zimmerli*, dipl. Bau-Ing. ETH/SIA, Studer Engineering, Thujastrasse 4, 8038 Zürich

Literatur

[1]
Istituto Nazionale di Geofisica: Campo macrosismico ed isosisme preliminari relativo ai comuni, Roma 1997. URL: http://ing712.ingrm.it/data_www/Macros/26set/26seti.html

[2]
Istituto Nazionale di Geofisica: Elenco degli eventi sismici dalle ore 02:33 del 26.9.97, Roma 1997. URL: http://io.ingrm.it/rms/elenco.html

[3]
Smit P.: Datenerfassung und Bestimmung der Abminderung der Bodenbewegung bei Erdbeben in der Schweiz. ISBM 3-260-05402-2. Publikation No. 108, Schweizerischer Erdbebendienst, ETH Zürich. Juris Druck+Verlag AG, Dietikon 1996

[4]
Slejko D.: Pericolosità Sisimica del territorio Nazionale. Documento consegnato al Sottosegretario per il coordinamento della protezione civile il 15.07.1996. URL: http://emidius.itim.mi.cnr.it/GNDT/PS.html#PERICOLOSITA"

[5]
Castelli V.: Principali terremoti storici dell'area umbro-marchigiana. Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma 1997. URL: http://emidius.itim.mi.cnr.it/GNDT/T19970926/schede1279-1879.html

[6]
Unità di ricerca ANPA-Roma, UNI Camerino: Effetti sul terreno della crisi sismica del 26 settembre 1997. Evidenze di fagliazione superficiale. Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma 1997. URL: http://emidius.itim.mi.cnr.it/GNDT/T19970926/faglie.html

[7]
Mucciarelli M., Monachesi G., Troiani L.: Effetti di sito e danni. Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma 1997. URL: http://www.geofisico.wnt.it/lastnews/970926/NAKADA.html

[8]
Somaini D., Bachmann H.: Erdbebenverhalten von Balkenbrücken mit fester Lagerung in Längsrichtung. Bericht Nr. 171, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich. Birkhäuser Verlag, Basel, 1989.

[9]
Benzoni G., Gentile C.: Italy. International Handbook of Earthquake Engineering: Codes, Programs and Examples, Paz M. (Hrsg.). Chapman & Hall, New York 1994

Dieser Bericht entstand im Rahmen einer Erkundungsmission der Schweizer Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik (SGEB) in Zusammenarbeit mit der PartnerRe Group.