

Die Erdbebenserie in der Emilia-Romagna im Mai 2012: Schäden an Industriehallen und geotechnische Aspekte

T. Wenk, M. Baur, B. Duvernay, A. Paparo

S 2

Zusammenfassung Im Mai 2012 wurde die Region Emilia-Romagna in Norditalien durch eine Erdbebenserie mit Magnituden bis zu $M_V = 5,9$ erschüttert. Neben zahlreichen Mauerwerksbauten sind auch Industriehallen in unerwartet großem Ausmaß beschädigt worden und Bodenverflüssigung trat in mehreren Ortschaften auf. Da die Erdbebengefährdung der betroffenen Region vergleichbar mit derjenigen der drei D-A-CH-Länder ist, können aus den Schadenbildern wertvolle Lehren gezogen werden, die für Industriehallen und geotechnische Aspekte in diesem Beitrag des SGEB-Erkundungsteams dargestellt werden.

1 Einleitung

Eine Woche nach dem Erdbeben vom 20. Mai 2012 mit einer Magnitude von $M_V = 5,9$ in der Region Emilia-Romagna in Norditalien begab sich eine vierköpfige Erkundungsmision der Schweizer Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik (SGEB) für drei Tage ins Hauptschadengebiet, um von typischen Schadenbildern Lehren für die Erdbebensicherung in der Schweiz zu ziehen. Die Erdbebengefährdung der betroffenen Region entspricht etwa derjenigen in den höheren Erdbebenzonen der drei D-A-CH-Länder und die Magnitude des Erdbebens erreicht etwa die Stärke des Bemessungsbebens in diesen Zonen, so dass sich die Beobachtungen und Erfahrungen gut übertragen lassen.

Im folgenden werden die Schäden an Industriehallen und geotechnische Aspekte, darunter insbesondere die Bodenverflüssigung, beschrieben. Beide Schadenarten sind in einem Ausmaß aufgetreten, das für diese Erdbebenstärke nicht erwartet worden ist. Der vorliegende Beitrag ergänzt den Beitrag des DGEB-Erkundungsteams, in dem seismologische Aspekte und Schäden an historischen und modernen Mauerwerksbauten zusammengefasst werden [1].

Dr. sc. techn. Thomas Wenk

Gehrenholz 2h, CH-8055 Zürich

Dr.-Ing. Michael Baur

Hochschule Luzern Technik & Architektur
CC Konstruktiver Ingenieurbau
Technikumstrasse 21, CH-6048 Horw

M.Sc. Blaise Duvernay

Koordinationsstelle des Bundes für Erdbebenvorsorge
Bundesamt für Umwelt (BAFU)
CH-3003 Bern

M.Sc. Alessandro Paparo

Earthquake Engineering and Structural Dynamics
Laboratory (EESD), ENAC, Ecole Polytechnique
Fédérale de Lausanne (EPFL)
CH-1015 Lausanne

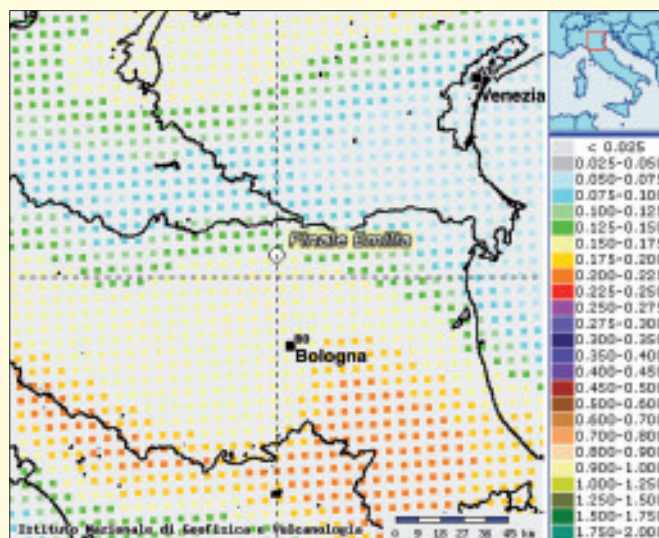


Bild 1. Erdbebengefährdungskarte der Region Emilia-Romagna mit dem Bemessungswert der horizontalen Bodenbeschleunigung für eine Wiederkehrperiode von 475 Jahren [2].

2 Erdbebenbestimmungen

Seit 2003 gilt für Italien eine kontinuierliche Erdbebenzonenkarte, die interaktiv abgefragt werden kann [2]. Bild 1 zeigt in einem Ausschnitt die Erdbebengefährdung in der Region Emilia-Romagna mit dem Bemessungswert der horizontalen Bodenbeschleunigung a_{gd} für eine Wiederkehrperiode von 475 Jahren, d.h. der maximalen Bodenbeschleunigung für Baugrundklasse A (Fels) und normale Bauten mit einem Bedeutungsfaktor von 1,0. Das Hauptschadengebiet ist im nördlichen Teil der Emilia-Romagna gelegen mit der Stadt Finale Emilia im Zentrum. Es befindet sich in einem Bereich mittlerer Seismizität, nämlich in der grünen Zone mit $a_{gd} = 1,25$ bis $1,5$ m/s^2 und der gelben Zone mit $a_{gd} = 1,5$ bis $1,75$ m/s^2 der italienischen Erdbebenzonenkarte, die etwa den beiden höchsten Erdbebenzonen Z3a und Z3b der Schweiz entsprechen.

Vor 2003 war der nördliche Teil der Emilia-Romagna als nicht seismische Zone eingestuft, in der keine Erdbebeneinwirkung zu berücksichtigen war. Deshalb sind die meisten Gebäude im Hauptschadengebiet ohne Erdbebenbemessung erstellt worden. Erdbebenertüchtigungen von vor 2003 gebauten Gebäuden konnten keine festgestellt werden. Seit 2008 gelten in Italien die Eurocodes als Tragwerksnormen, darunter der Eurocode 8 für die Erdbebenbemessung [3]. In Italien erfolgte die nationale Umsetzung der Eurocodes durch ein Ministerialdekret [4].

Für die Bemessung der horizontalen Verankerung von nicht tragenden Bauteile, wie z.B. Fassadenplatten, ist gemäß [4] ein Erdbebenbeiwert $S_a = a_{gd} S [3(1 + z/H) / (1 + (1 - T_a/T_1)^2) - 0,5]$ entsprechend Gleichung (4.25) im Eurocode 8 [3] zu berücksichtigen. Dabei ist S ein Bodenparameter, z/H das Höhenverhältnis zwischen der Höhenlage des nicht tragen-



Bild 2. Lagerhalle für Parmesan mit umgekippten schweren Fassadenplatten in Moglia (a, b). Detailansicht (c) der Oberkante der linken Fassadenplatte in (b).



Bild 3. Essigfabrik mit umgekippten schweren Fassadenplatten in Motta (a). In der Halle kippte ein Stahltank mit Essig um und lief aus (b). Die Stahltanks sind am Boden unverankert (c).



Bild 4. Lagerhalle mit umgekippten schweren Fassadenplatten in Cavezzo (a). In der mittleren Stahlbeton-Fertigteilstütze sind zwei Ankerschienen für Fassadenanker erkennbar (b). Ein daraus herausgerissener Fassadenanker ist im roten Kreis in (c) und im Detailfoto (d) ersichtlich.

den Bauteils und der Gebäudehöhe sowie T_a/T_1 das Schwingzeitenverhältnis zwischen nicht tragendem Bauteil und Gebäude. Für den mittleren Bemessungswert der Bodenbeschleunigung im Schadengebiet von $a_{gd} = 1,5 \text{ m/s}^2$ sowie Baugrundklasse C ($S = 1,15$) ergibt sich im ungünstigsten Fall ein Erdbebenbeiwert $S_a = 0,95$, wenn Resonanz zwischen nicht tragendem Bauteil und Gebäude angenommen wird, d.h. $T_a = T_1$ und $z = H$. Unter Berücksichtigung des Verhaltensbeiwerts für Fassadenbauteile $q_a = 2,0$ [3] erreicht die horizontale Verankerungskraft gerade etwa das halbe Gewicht der zu befestigenden Fassadenplatte.

3 Schäden an Industriehallen

Vor allem der westliche Teil der Emilia-Romagna ist stark industrialisiert, so dass bei der Serie von leicht schwächeren Nachbeben am 29. Mai mehr Hallen beschädigt wurden als beim Hauptstoß weiter östlich am 20. Mai, vergleiche dazu

die Karte der Epizentren im **Bild 2** des Beitrags des DGE-Beurkundungsteams [1].

3.1 Heruntergefallene Fassadenplatten

Heruntergefallene Fassadenplatten waren ein weit verbreitetes Schadenbild bei Industriehallen. Meist handelte es sich um schwere Fassadenplatten aus Beton mit schwacher Verankerung oder ohne erkennbare Verankerung für Horizontalkräfte am Tragwerk der Halle. Bild 2 zeigt eine Lagerhalle für Parmesan mit umgekippten Fassadenplatten in Moglia, Bild 3 zeigt die Halle einer Essigfabrik in Motta, wo durch die umgekippte Fassade ein Tank-Anhänger beschädigt wurde. Bei der neuen Lagerhalle in Cavezzo in Bild 4 lässt sich eine typische Verankerung der Fassadenplatten bei Konstruktionen aus Stahlbeton-Fertigteilen erkennen. In den Stahlbeton-Fertigteilstützen sind vertikale Ankerschienen für Fassadenanker eingelassen (Bild 4b). Der daraus herausgerissene schwache Fassadenanker in den Bildern 4c

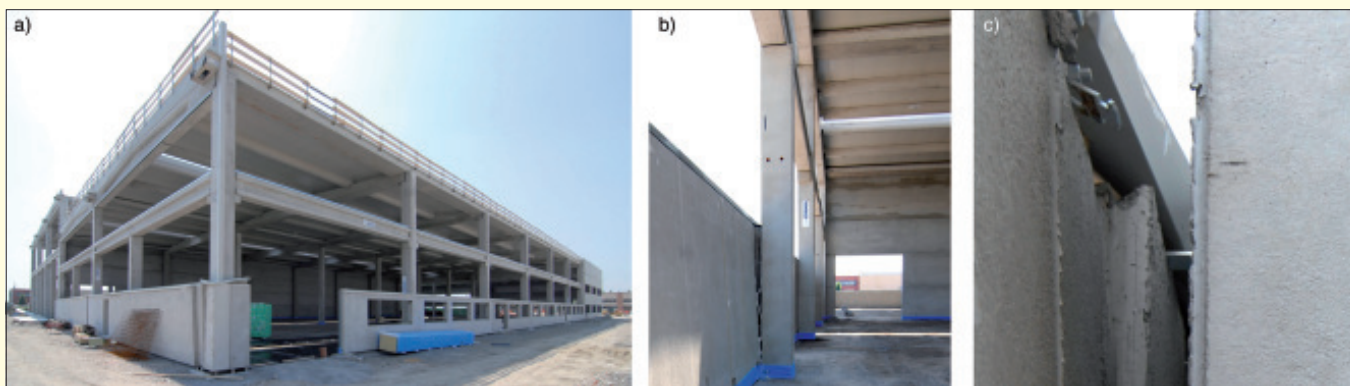


Bild 5. Neubau einer Lagerhalle aus Stahlbeton-Fertigteilen in Cavezzo. Innenansicht einer nach außen gekippten Fassadenplatte (b) der Querfassade in der Ansicht (a). Detailansicht des herausgerissenen Fassadenankers (c).



Bild 6. Eingestürzte Stahlhalle in Sant'Agostino (a) und eingestürzte Stahlbeton-Fertigteilhalle in Casumaro (b), in der als Folge des Erdbebens ein Brand ausgebrochen ist.

und 4d lässt vermuten, dass es sich dabei nur um eine Verankerung für die Horizontalkräfte infolge Wind und nicht für Erdbeben handelt.

Bild 5 zeigt eine beschädigte Halle aus Stahlbeton-Fertigteilen, die zur Zeit des Erdbebens noch im Bau war. Sie befindet sich im gleichen Industriegebiet von Cavezzo wie die Halle in Bild 4 und kann als typisches Beispiel für den vorherrschenden Konstruktionstyp der Fertigteilhallen in der Region betrachtet werden. Die schwachen Verankerungen der bereits montierten untersten Reihen von Fassadenplatten sind ausgerissen (Bild 4c) und die Fassadenplatten nach außen gekippt (Bild 4b). Auffallend ist ferner, dass in der Halle kein eigentliches Aussteifungssystem für horizontale Einwirkungen vorhanden ist. Jede Stahlbeton-Fertigteilstütze wirkt als im Fundament eingespannter vertikaler Kragarm ohne Rahmenwirkung über Fassadenriegel oder über Dachträger, da diese nur auf kurzen Stützenkonsolen aufgelegt sind (Bild 5a).

3.2 Dacheinstürze

Bei einigen Hallen stürzte das Dach ein. **Bild 6** zeigt Einstürze einer Stahlhalle in Sant'Agostino und einer Stahlbeton-Fertigteilhalle in Casumaro. Die Stahlbeton-Fertigteilhalle weist einen ähnlichen Konstruktionstyp auf wie die noch im Bau befindliche Halle in Bild 5. Die auf kurzen Konsolen der Fertigteil-Stützen aufgelagerten Dachträger sind infolge Auseinanderbewegung der Stützen in einer Art von Kartenhauseffekt herunter gestürzt. Die Stützen blieben zum größten Teil stehen. In dieser Halle ist als Folge des Erdbebens ein Brand ausgebrochen (Bild 6b). Bei den übrigen eingestürzten Hallen wurden keine Brandspuren gesehen.

3.3 Beschädigte Inhalte

Die Schäden an Maschinen, Lagergut und sonstigen Ausrüstungen in den Hallen waren meist größer als die Schäden an den Hallen selbst. Hinzu kommen Folgeschäden durch Produktionsausfall. Auch in den nicht eingestürzten Hallen entstanden große Schäden an den Inhalten infolge umgestürzte Lagerregale, wie z.B. in Bild 2 bei der Parmesan-Halle.

4 Bodenverflüssigung

Beim Hauptbeben der Magnitude 5,9 vom 20. Mai 2012 (Herdtiefe 6,3 km) traten primär in den beiden Ortschaften San Carlo und Mirabello, die 14 km und 18 km östlich vom Epizentrum liegen, großflächig verschiedene Effekte von Bodenverflüssigung auf.

4.1 Potential zur Bodenverflüssigung

Die betroffenen Ortschaften liegen in flachem Gelände in der Po-Ebene mit einem nur wenige Meter tiefen Grundwasserspiegel. Namhafte Schichten und Linsen von bodenverflüssigungsempfindlichen Böden, insbesondere lockere und wassergesättigte Sande, befinden sich vorwiegend entlang von heutigen und früheren Flussläufen [5], [6].

Die beobachtete Bodenverflüssigung in San Carlo und Mirabello steht in Zusammenhang mit dem früheren Flusslauf des Reno, der diese Orte in Richtung Nord-Ost bis Mitte des 18. Jahrhunderts durchquerte. Um einen besseren Schutz gegen immer wiederkehrende Hochwasser sicherzustellen, wurde der Reno in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts östlich von San Carlo kanalisiert. Das alte Flussbett wurde aufgeschüttet, um Verkehrswege und Bebauungen entlang

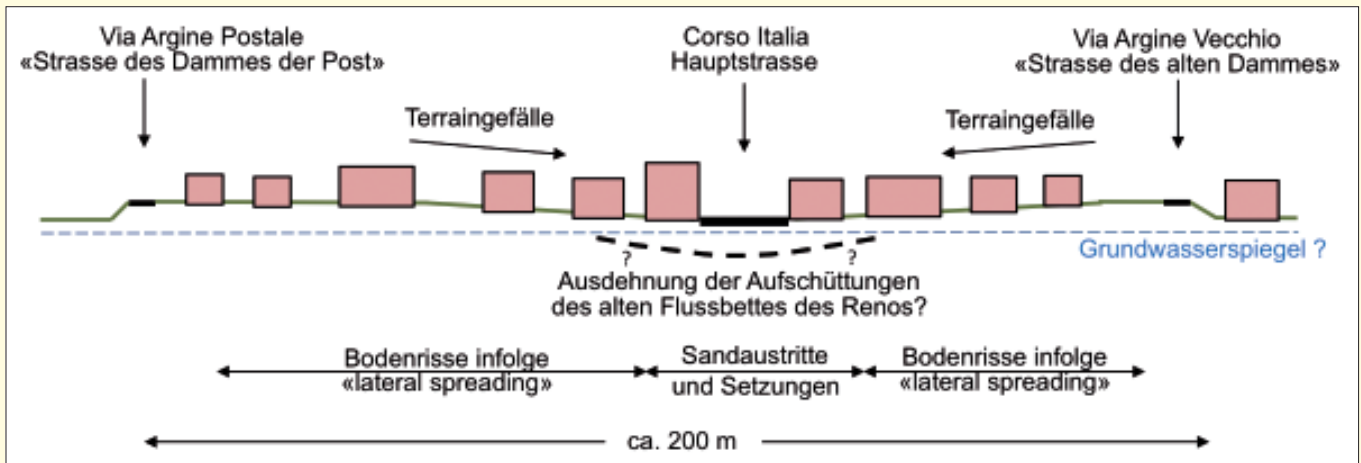


Bild 7. Schematischer Querschnitt durch das alte Flussbett des Reno quer zur Hauptstraße „Corso Italia“ mit der Verteilung der Bodenverflüssigungsphänomene in Mirabello



Bild 8. Bodenverflüssigung in Mirabello: Sandaustritt in einem Park (a), Trennris im Boden von der Bildecke rechts unten bis durch die Fassade im Hintergrund verlaufend (b), differentielle Setzungen zwischen Außenwand und Boden des Erdgeschosses im Eingangsbereich eines Wohnhauses (c).



Bild 9. Geringfügige Gebäudesetzungen und Bodenrisse infolge Bodenverflüssigung entlang der Hauptstraße in Mirabello: Setzungen eines dreistöckigen Geschäftshauses mit Aufwölbung des Trottoirs (a), Riss durch eine Querstraße infolge seitlicher Bodenverschiebungen (b).

des Flusslaufes zu ermöglichen [7]. Dadurch befinden sich große Teile des heutigen Siedlungsgebietes von San Carlo und Mirabello auf lockeren, wassergesättigten Sanden, die ein markantes Potential zur Verflüssigung aufweisen. Ähnliche Phänomene wurden bereits früher bei Erdbeben in der Po-Ebene beobachtet, wie z.B. im Jahre 1570 in Ferrara, als Gebäude auf Sanden in einem alten Flussbettes des Po starke differentielle Setzungen erfuhren [8], [9].

4.2 Mirabello

Der Ort Mirabello wurde auf dem aufgeschütteten Flussbett und den seitlichen Dämmen entlang dem ehemaligen Flusslaufes des Reno gebaut. Bild 7 zeigt einen schematischen Querschnitt durch das heute aufgeschüttete Flussbett des Reno quer zur Hauptstraße „Corso Italia“ mit der Verteilung der verschiedenen Bodenverflüssigungsphänomene in Mirabello (Bild 8 und 9). Sandaustritte an die Oberfläche, häu-



Bild 10. Sandaustritte durch Bodenrisse in San Carlo: in einem Feld (a), entlang der Viale Antonio Gramsci am Rande des abgesperrten Quartiers von San Carlo (b).

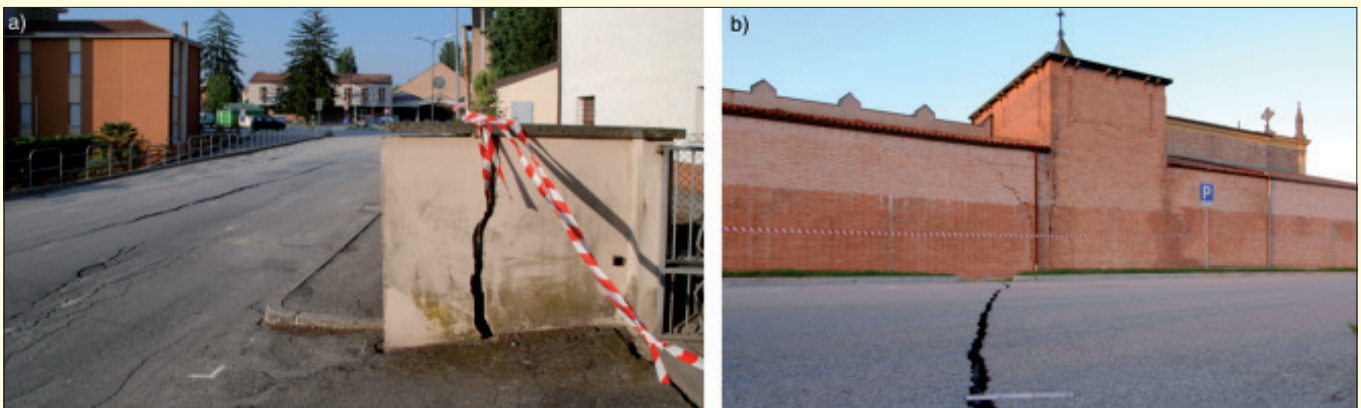


Bild 11. Risse durch Umfassungsmauern infolge Bodenverflüssigung in San Carlo: durch eine Gartenmauer in der Viale Antonio Gramsci (a), durch die Friedhofsmauer mit Fortsetzung als Bodenriss (b).

fig entlang Kanalisationsleitungen und bei Brunnen, konnten festgestellt werden (Bild 8a). Zur Zeit der SGEB-Erkundungsmision waren die resultierenden Sand-Ablagerungen in Mirabello zum größten Teil schon weggeräumt. Spuren zeigten, dass die Mächtigkeit dieser Ablagerungen lokal einige Dezimeter erreicht hatte. Bodenrisse mit einer Breite von einigen Zentimetern wurden an verschiedenen Orten parallel zur Hauptstraße „Corso Italia“ in Mirabello beobachtet (Bilder 8b und 9b). Diese wurden durch seitliche Bodenverschiebungen („lateral spreading“) auf verflüssigten Schichten in Richtung zur Mitte des ehemaligen Flussbettes verursacht. Bei einigen Gebäuden setzten sich die parallel zur Hauptstraße verlaufenden Risse infolge seitlicher Bodenverschiebungen als vertikale Trennrisse in den Fassadenwänden fort (Bild 8b).

Entlang der Hauptstraße traten bei einigen Gebäuden Setzungen im Bereich von wenigen Zentimetern auf, jedoch ohne nennenswerte strukturelle Schäden oder bleibende Schiefstellungen zu verursachen. Beim Mauerwerksgebäude im Hintergrund von Bild 8a musste ein Gewölbe infolge Setzungsschäden provisorisch abgestützt werden. Bei einem Wohngebäude waren differentielle Setzungen von einigen Zentimetern im Eingangsbereich des Erdgeschosses zu beobachten (Bild 8c). Um die Türe nach dem Erdbeben öffnen zu können, mussten die Bodenplatten entfernt werden. Das Gebäude hatte kein Untergeschoss und die vermutlich auf Streifenfundamenten fundierten Außenwände setzten sich gegenüber der Bodendecke des Erdgeschosses. Diese Bauweise ohne Untergeschoss ist repräsentativ für die Gegend.

Bild 9a zeigt geringfügige Gebäudesetzungen eines Geschäftshauses an der Hauptstraße in Mirabello, die an der Aufwölbung des Trottoirs zu erkennen sind. Das Aufschwimmen oder der Einsturz von Kanalisationsleitungen wurde nicht beobachtet. Ob unterirdische Leitungen beschädigt oder verstopft wurden, konnte vor Ort nicht festgestellt werden. Der einzige Totaleinsturz in Mirabello war derjenige der Kathedrale di San Paolo. Doch darf vermutet werden, dass die Bodenverflüssigung bei diesem Einsturz keine Rolle gespielt hat.

4.3 San Carlo

In San Carlo wurden ähnliche Schadenbilder (Bild 10 und 11) infolge Bodenverflüssigung wie in Mirabello beobachtet, jedoch tendenziell häufiger als in Mirabello. Andererseits war die Zuordnung der Bodenverflüssigungsphänomene zur Lage des alten Flussbettes des Reno weniger eindeutig als in Bild 7 für Mirabello dargestellt.

Ein Quartier von San Carlo wurde relativ stark von der Bodenverflüssigung betroffen. Es war am 29. Mai 2012 noch vollständig abgesperrt. Gemäß [10] und [11] sollen in dieser Zone größere Bodenrisse und Sandaustritte in Häusern bis zu 60 cm Mächtigkeit sowie größere horizontale Bodenverschiebungen aufgetreten sein. Einige Gebäude hätten größere strukturelle Schäden erlitten. Das Bild 10b zeigt einen Bodenriss mit Sandaustritt entlang der Straße „Viale Antonio Gramsci“ am Rande des abgesperrten Gebietes. Im Bild 11a ist an der gleichen Straße eine Gartenmauer infolge verflüssigungsbedingten Setzungen entzwei gebrochen. Weitere

Schäden aus seitlichen Bodenverschiebungen wurden beim Friedhof beobachtet, wo sich ein Bodenriss durch die Friedhofsmauer fortgepflanzt hat (Bild 11b).

Wie in Mirabello konnten auch in San Carlo keine Schäden im Boden verlegten Leitungsnetzen festgestellt werden. Jedoch erfolgte die örtliche Trinkwasserversorgung mit Tanklastwagen, was auf eine beeinträchtigte Wasserversorgung hinweist.

4.4 Bodenbewegungsgrößen und Bodenverflüssigung

Das Epizentrum des stärksten Nachbebens vom 29. Mai 2012 mit der Magnitude 5,8 und einer Herdtiefe von 10,2 km lag ca. 15 km weiter westlich von San Carlo und Mirabello als das Epizentrum des Hauptbebens. Nach dem Nachbeben wurden keine weiteren Anzeichen von Bodenverflüssigung in San Carlo und Mirabello beobachtet.

Die Erschütterungskarten des Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia [12] zeigen für das Gebiet San Carlo-Mirabello maximale horizontale Bodenbeschleunigungen von 0,12 bis 0,16 g für das Hauptbeben am 20. Mai und 0,05 bis 0,10 g für das Nachbeben am 29. Mai. Die Werte vom 20. Mai sind mit größeren Unschärfen behaftet, da die nächste Messstation (MRN) ca. 50 km entfernt von San Carlo in Mirandola lag. Am 29. Mai waren fünf temporäre Messstationen in einem Radius von 15 km um das Gebiet San Carlo-Mirabello im Einsatz mit der nächsten Station nur 5 km süd-westlich von San Carlo.

5 Geotechnische Bauwerke

Wegen der flachen Topographie gibt es in der Emilia-Romagna relativ wenige geotechnische Bauwerke. Zu erwähnen sind vor allem Flussdämme, kleine Dämme von Verkehrswegen und einige Stützbauwerke. Während der SGEB-Erkundungsmission wurden keine erwähnenswerten Schäden an solchen Bauwerken beobachtet.

6 Schlussfolgerungen

Das Ziel dieses Beitrags war es, typische Schadenbilder an Industriehallen und geotechnische Aspekte der Erdbebenserie in der Emilia-Romagna zusammenzutragen, mögliche Ursachen für die Schäden zu diskutieren und Lehren für die Schweiz daraus zu ziehen. Dabei sind die Lehren aus der Bodenverflüssigung besonders hervorzuheben:

- Analoge Situationen von bebauten Gebieten auf aufgeschütteten alten Flussläufen sind auch in der Schweiz vorhanden.
- Bereits bei Erdbeben mit einer Magnitude unter 6,0 und mit Bodenbeschleunigungen von ca. 0,15 g kann Bodenverflüssigung auftreten.
- Die Erschütterungen am 20. Mai 2012 in San Carlo und Mirabello erreichten vermutlich etwa den Bereich der Bemessungswerte der horizontalen Bodenbeschleunigung der höheren Erdbebenzonen Z2 bis Z3b in der Schweiz [13]. D.h., dass in diesen Zonen bei sensiblen Böden mit

Bodenverflüssigung zu rechnen ist. In der laufenden Teilrevision der Norm SIA 267 Geotechnik [14] soll ein entsprechender Grenzwert von 0,11 g eingeführt werden, unter welchem die Bodenverflüssigung nicht weiter zu untersuchen ist. Dieser aufgrund empirischer Ansätze aus [15] festgelegte Grenzwert ist nun durch die Beobachtungen in der Emilia-Romagna bestätigt worden.

Die großen Schäden an Industriehallen lehren, dass in Gebieten in denen Erdbebenbestimmungen erst vor wenigen Jahren eingeführt wurde, die Erdbebenertüchtigung bestehender Bauten unerlässlich ist und dass die Erdbebensicherung neben dem Tragwerk auch nicht tragende Bauteile und Inhalte umfassen muss.

Literatur

- [1] Rosin, J., Taddei, F., Schmitt, T.: Die Erdbebenserie in der Emilia Romagna im Mai 2012: DGE-Erkundungsmission, D-A-CH-Mitteilungsblatt, Bauingenieur 87 (2012), Heft 9.
- [2] INGV – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia: Dati online della pericolosità sismica in Italia (2012), <http://esse1.mi.ingv.it/>
- [3] Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, European Standard EN 1998-1, European Committee for Standardisation, Brussels, Belgium (2004).
- [4] Ministero delle Infrastrutture: Norme Tecniche per le Costruzioni, Decreto Ministeriale 14/01/2008.
- [5] Carta Geologica d'Italia alla Scala 1:50'000. www.isprambiente.gov.it
- [6] Romeo, R.W.: Emilia (Italy) M 5.9 earthquake on May 2012. An unusual pattern of liquefaction". Italian Journal of Engineering Geology and Environment, 2 (2012).
- [7] Barbieri, M.: Brevi note storico-geografiche sul Reno – www.protocogalliera.it. Quelle: Reno, campi e unomini, Rivista della pianura, Anno 1, n.1, giugno-dicembre 2003, www.pianurareno.org.
- [8] Berardi, R., Margottino, C., Molin, D., Parisi, A.: Soil liquefaction: case history in Italy. Technophysics, 193: 141–164 (1991).
- [9] Prestininzi, A., Romeo, R.W.: Earthquake-Induced Ground Failures in Italy. Engineering Geology, 58(3–4): 387–397 (2000).
- [10] Crespellani, T., Facciorusso, J., Ghinelli, A., Madaï, C., Renzi, S., Vannucchi, G.: Rapporto preliminare sui diffusi fenomeni di liquefazione verificati durante il terremoto in Pianura Padana Emiliana del maggio 2012, Università degli studi di Firenze, Dipartimento di ingegneria civile e ambientale, Sezione Geotecnica (2012).
- [11] Fioravante, V., Giretti, D.: Il Caso de San Agostino-San Carlo. Rapporto, Università degli Studi di Ferrara, Dipartimento di Ingegneria (2012).
- [12] Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia: Shake Maps, <http://shakemap.rm.ingv.it/shake/index.html> (2012).
- [13] Schweizer Norm SIA 261: Einwirkung auf Tragwerke. Schweizerische Ingenieur und Architekten-Verein, Zürich (2003).
- [14] Schweizer Norm SIA 267: Geotechnik. Schweizerische Ingenieur und Architekten-Verein, Zürich (2003).
- [15] Idriss, I.M., Boulanger, R. W.: Soil liquefaction during earthquakes. Earthquake Engineering Research Institute, MNO-12 (2008).