

Die Magnitude 6.4 Albanien und Kroatien Erdbeben Ingenieuranalyse der Erdbebenschäden und Erfahrungswerte für die Baunormung

Abrahamczyk, Lars; Penava, Davorin; Markušić, Snježana; Stanko, Davor; Hasan Luqman, Peshawa; Haweyou, Melad; Schwarz, Jochen

Source / Izvornik: **Bautechnik (Berlin, West, 1984), 2022, 99, 18 - 30**

Journal article, Published version

Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)

<https://doi.org/10.1002/bate.202100070>

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:133:805076>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-30**



GRAĐEVINSKI I ARHITEKTONSKI FAKULTET OSIJEK
Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek

Repository / Repozitorij:

[Repository GrAFOS - Repository of Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek](#)



Die Magnitude 6,4 – Erdbeben in Albanien und Kroatien

Ingenieuranalyse der Erdbebenschäden und Erfahrungswerte für die Baunormung

In 2019 und 2020 wurde die Balkanregion von zwei Erdbeben der Stärke $M_W = 6,4$ heimgesucht. Am 26. November 2019 erschütterte ein Erdbeben den Nordwesten Albanien. Es war das stärkste Erdbeben seit mehr als 40 Jahren. Städte wie Thumanë, Tirana und Durrës erlitten Schäden, wobei Durrës mit mehreren eingestürzten Gebäuden am stärksten betroffen war. Die Region Sisak-Moslavina in Kroatien, etwa 50 km südlich von Zagreb, wurde am 29. Dezember 2020 erschüttert. Auch hier war es das stärkste Erdbeben seit dem Pokupsko-Erdbeben vom 8. Oktober 1909 und das größte Erdbeben in der Region seit 140 Jahren. Es verursachte umfangreiche Schäden in den Städten Petrinja, Glina und Sisak sowie in zahlreichen benachbarten Kleinstädten und kleinen Siedlungen der Region. Die Schüttereffekte und Gebäudeschäden beider Erdbeben konnten im Rahmen von Feldeinsätzen untersucht und dokumentiert werden. In Durrës (Albanien) verursachte das Erdbeben erhebliche Schäden an Stahlbetonskelettbauten mit Ausfachungswänden. Schäden infolge des Erdbebens in Kroatien konzentrieren sich hingegen auf ältere und moderne Gebäude aus unbewehrtem Mauerwerk. Der Beitrag gibt einen Überblick über die erdbebeninduzierten Schäden in verschiedenen Gebäudetypen und deren Variationen. Die Ursachen der Schäden sowie die Konsequenzen für die schnelle Reaktion auf ein Erdbeben werden in engem Zusammenhang mit der Normung in moderat erdbebengefährdeten Gebieten in Europa diskutiert.

Stichworte Erdbebenschäden; Stahlbetonrahmentragwerke; Mauerwerksausfachungen; Mauerwerksgebäude; Normenentwicklung

1 Vorbemerkungen

Am 26. November 2019 ereignete sich in Albanien und am 29. Dezember 2020 in Kroatien jeweils ein Erdbeben der Magnitude $M_w = 6,4$. Die Erschütterungen der Beben wurden in benachbarten Gebieten in einer Entfernung von bis zu 200 km wahrgenommen. Beide Erdbeben verursachten erhebliche Schäden und Verluste in den betroffenen Regionen und Ländern, wobei sich die Größe der Einwirkungen (Spitzenbeschleunigungen) sowie der Bauwerksbestand in den am meisten betroffenen Regionen unterscheiden.

Das Albanien-Erdbeben verursachte erhebliche Schäden in der Stadt Durrës (ca. 17 km entfernt vom Epizentrum) an der vorherrschenden Stahlbetonrahmenbauweise. In Petrinja, Kroatien (ca. 5 km entfernt vom Epizentrum)

The Magnitude 6.4 – earthquakes in Albania and Croatia – engineering analysis of earthquake damage and lessons for standardization in Europe

In 2019 and 2020, the Balkan region was hit by two earthquakes of magnitude $M_W = 6.4$. On November 26, 2019, an earthquake struck Northwestern Albania. It was the strongest to hit Albania in more than 40 years. Cities such as Thumanë, Tirana, and Durrës suffered damage, but Durrës was the hardest hit with several buildings collapsed. On December 29, 2020, an earthquake occurred in the Sisak-Moslavina county of Croatia, located approximately 50 km south of Zagreb. Comparable to Albania, it was the strongest to hit in the Pokupsko-Petrinja seismic zone since the October 8, 1909 Pokupsko earthquake and the largest earthquake in the region in 140 years. It caused extensive damage in the cities of Petrinja, Glina, and Sisak as well as in numerous neighboring small towns and small settlements in the region. The shaking effects and building damage of both earthquakes could be investigated and documented during field operations. In Durrës (Albania), the most affected buildings by the earthquake damage were reinforced concrete (RC) frame buildings with infill walls. Whereas, the Croatia earthquake caused major damage on the older and modern unreinforced masonry buildings. The paper provides an overview of the earthquake-induced damage in different types of buildings and their variations. The causes of the damage as well as the consequences for rapid response to earthquake are discussed in close relation to the standardization in low to moderate seismic regions in Europe.

Keywords earthquake damage; RC structures; masonry infills; masonry buildings; code development

wurden vornehmlich ältere Mauerwerksgebäude z.T. schwer geschädigt. Anzumerken ist, dass dem Hauptbeben am Vortag ein Erdbeben der Stärke $M_1 = 5,0$ vorausging. Diese Vorwarnung führte zu einer vergleichsweise niedrigen Zahl an Verletzten.

Der Vergleich der aufgetretenen Einwirkungen mit den normativen Vorgaben beider Länder sowie die Interpretation der Schäden ermöglichen es, Lehren für die betroffenen Regionen als auch moderat erdbebengefährdete Gebiete in Europa in der Zusammenschau mit der aktuellen Normenentwicklung und ihrer Anwendung.

Im Januar 2020 konnte ein Erkundungsteam unter der Leitung des American Concrete Institute (ACI) insbesondere die Schäden an modernen Stahlbetongebäuden mit Mauerwerksausfachungen in Durrës untersuchen.

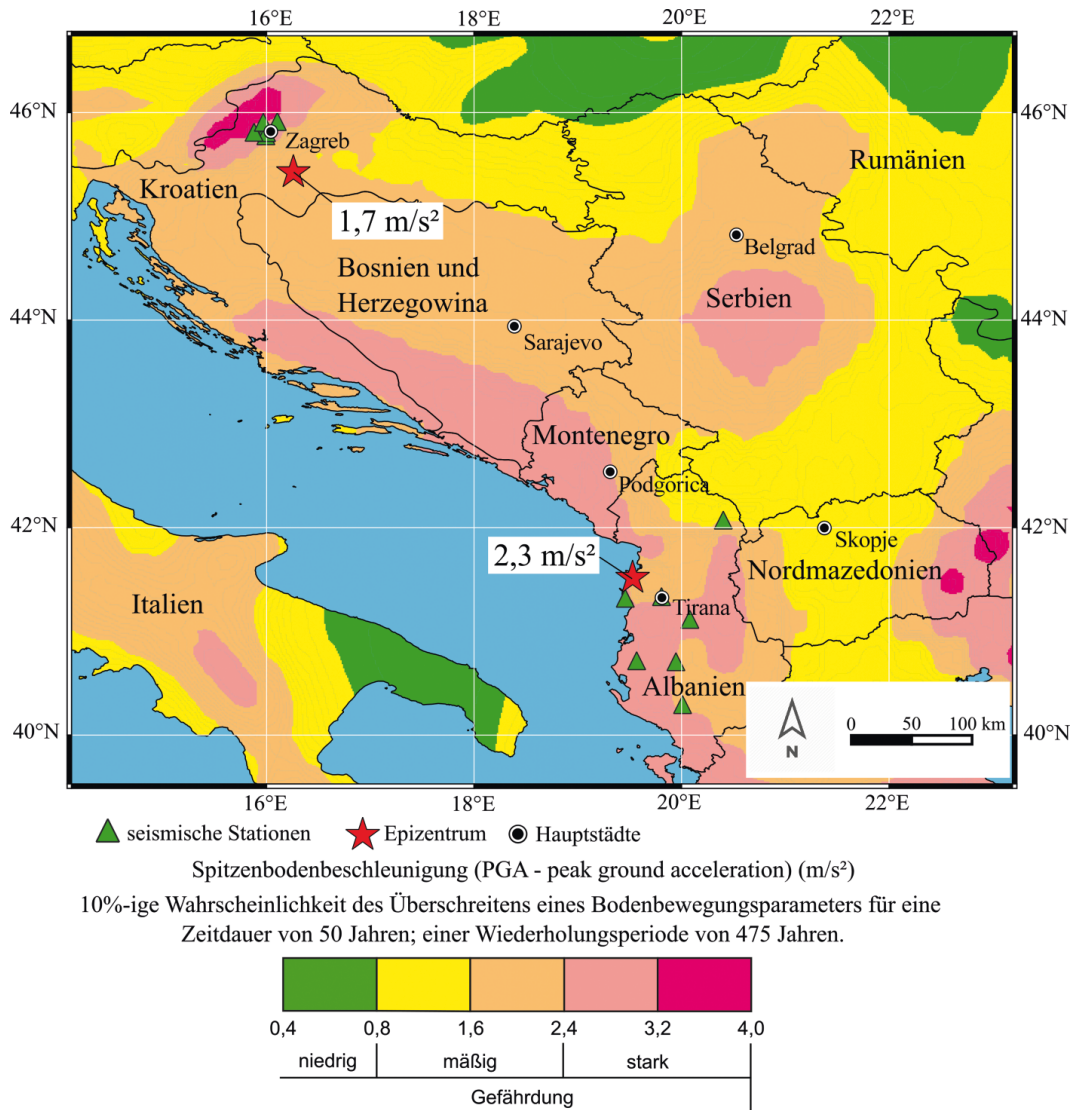


Bild 1 Betroffene Regionen in Europa und Kennzeichnung der untersuchten Gebiete [2]
 Effected regions in Europe and mapping of surveyed areas [2]

Das Schadensausmaß des Petrinja-Erdbebens 2020 wurde ebenfalls durch Vorortbegehung lokaler Ingenieure und Einordnung der beobachteten Schäden in Schadensgrade sowie der Zuweisung von Verletzbarkeitsklassen nach EMS-98 [1] dokumentiert.

2 Seismische Einwirkungen und Schüttergebiete

2.1 Kenngrößen der Erdbeben

Das Albanien-Erdbeben der Magnitude $M_W = 6,4$ vom 26. November 2019 um 3:54 Uhr Ortszeit verursachte erhebliche Schäden in den Regionen Durrës und Thumanë und wurde auch in Bulgarien, Italien, Serbien, Bosnien und Herzegowina sowie in Teilen Griechenlands gespürt. Das Epizentrum befand sich ca. 34 km nordwestlich der Hauptstadt Tirana. Die Herdtiefe wurde mit 22 km bzw. 39,5 km bestimmt [3]. Dem Haupterdbeben folgten am selben Tag ein Nachbeben der Stärke $M_W = 5,5$ und am 27. November ein Beben der Stärke $M_W = 5,3$. Insgesamt traten im Zeitraum bis

zum 12. Dezember 496 Nachbeben mit einer Magnitude $M \geq 2,5$ auf [4].

Am 29. Dezember 2020, um ca. 12:20 Uhr Ortszeit (11:20 Uhr UTC), ereignete sich in der Region Sisak-Moslavina in Kroatien ein Erdbeben der Moment-Magnitude $M_W = 6,4$ ($M_I = 6,2$ nach Angaben des Kroatischen Seismologischen Diensts der Universität Zagreb) 3 km südwestlich von Petrinja, 12 km südwestlich von Sisak und 47 km südlich von Zagreb (Bild 1). Dem Hauptbeben ging ein Vorbeben der Stärke $M_I = 5,0$ am 28. Dezember 2020 voraus [5]. Die Epizentren des Vor- und des Hauptbebens lagen fast an der gleichen Stelle, ~15 km südwestlich der regionalen Hauptstadt Sisak.

In Tab. 1 werden die Kenngrößen des Albanien- (2019) und des Kroatien-Erdbebens (2020) zusammen- und gegenübergestellt.

Tab. 1 Erdbebenparameter zu den Hauptbeben in Albanien und Kroatien
Parameters of the mainshock of the earthquakes in Albania and Croatia

Land	Datum	Zeit (UTC)	Lat. (°)	Long. (°)	M_w	M_l	Herdtiefe (km)
Albanien	26.11.2019	02:54:12	41.514 N	19.526 E	6,4	6,3	22 [35] 39,5 [3]
Kroatien	29.12.2020	~11:20	45.422 N 45.400 N	16.255 E 16.219 E	6,4	6,2	10 [35] 11 [5]

2.2 Erdbebenaufzeichnungen

Das Albanien-Erdbeben vom 26. November 2019 wurde an sieben Beschleunigungsmessstationen des albanischen seismischen Netzwerks in epizentralen Entfernungen zwischen 25 und 130 km aufgezeichnet. Bild 2a zeigt die Lage der seismischen Stationen sowie die Epizentren des Haupt- und der zwei Nachbeben mit Magnitude $M_w > 5,0$. Die Station DURR in Durrës zeichnete aufgrund einer Stromunterbrechung lediglich 15 s des Hauptbebens mit horizontalen Spitzenbodenbeschleunigungen (PGA) von 0,196g und einer spektralen Beschleunigung von $> 0,5g$ für 5% Dämpfung in einem Periodenbereich von 0,25 s bis 1 s auf (Bild 4a) [6].

Dem Kroatien-Erdbeben vom 29. Dezember 2020 gingen zwei Vorbeben mit einer Magnitude 5,2 bzw. 4,7 am 28. Dezember voran. Im Nachgang ereignete sich eine Vielzahl von Nachbeben mit Magnituden bis zu $M_l = 5,0$ (am 6. Januar 2021) [7]. Aufgezeichnet wurde das Erdbeben von seismischen Stationen verschiedener Organisationen (Seismological Service of Croatia, USGS, Seismic Network of Slovenia) im Umkreis von 250 km. Bild 2b zeigt die dem Epizentrum am nächsten gelegenen Stationen in Zagreb. In ca. 58 km Entfernung wurden an der Station QKAS eine Bodenspitzenbeschleunigung PGA von 0,248g und 9,59 cm/s als Bodenspitzenbeschleunigung PGV gemessen [8]. Zu berücksichtigen sind Verstärkungseffekte des Untergrunds in der Region Zagreb, da an den weiteren Stationen Werte zwischen 0,11g in ca.

50 km Entfernung (QZAG) und 0,04g in ca. 60 km Entfernung (QPTJ) gemessen wurden (Bild 4b). Für das Epizentral- und Hauptschadensgebiet um die Stadt Petrinja (ca. 5 km Entfernung) ergeben sich gem. [5] Bodenspitzenbeschleunigungen von 0,29g bis 0,43g je nach verwendetem Modell.

2.3 SHAKEMaps

Anhand von Schüttergebietskarten – sog. SHAKEMaps – können quasi in time erste Abschätzungen der wahrscheinlichen Schütterwirkungen und darauf aufbauend der zu erwartenden Schäden bzw. Verluste visualisiert und im Zuge des weiteren Informationsgewinns aktualisiert werden [9].

Bild 3a zeigt die Schüttergebietskarten für Albanien und Kroatien auf der Grundlage der Erdbebenkenngrößen (Magnitude, Herdtiefe, Lage des Epizentrums) unter Anwendung der Abnahmebeziehung gem. [10] bzw. Intensitätskonversionsbeziehung nach [12]. Im Vergleich werden in Bild 3b aktualisierte Schüttergebietskarten auf Grundlage der gefilterten beobachteten Schäden [11] dargestellt. Das EMSC (European-Mediterranean Seismological Centre) sammelt Datensätze von Intensitätsbeobachtungen auf der Grundlage von Online-Fragebögen von Augenzeugen ein. Insgesamt stehen für Albanien 3000 und für Kroatien 15.881 georeferenzierte Beobachtungen zur Verfügung, die vor der Anwendung hinsichtlich Entfernung

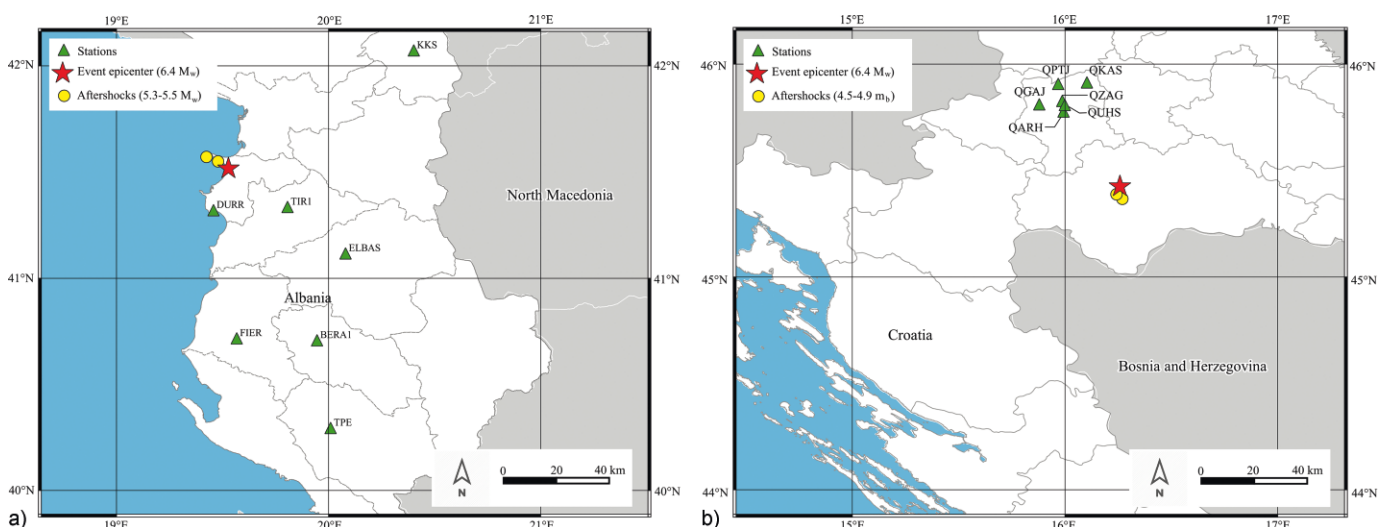


Bild 2 Karte der zum Epizentrum nächstgelegenen lokalen seismischen Stationen: a) Albanien, b) Kroatien
Map of local seismic stations nearest to the epicenter

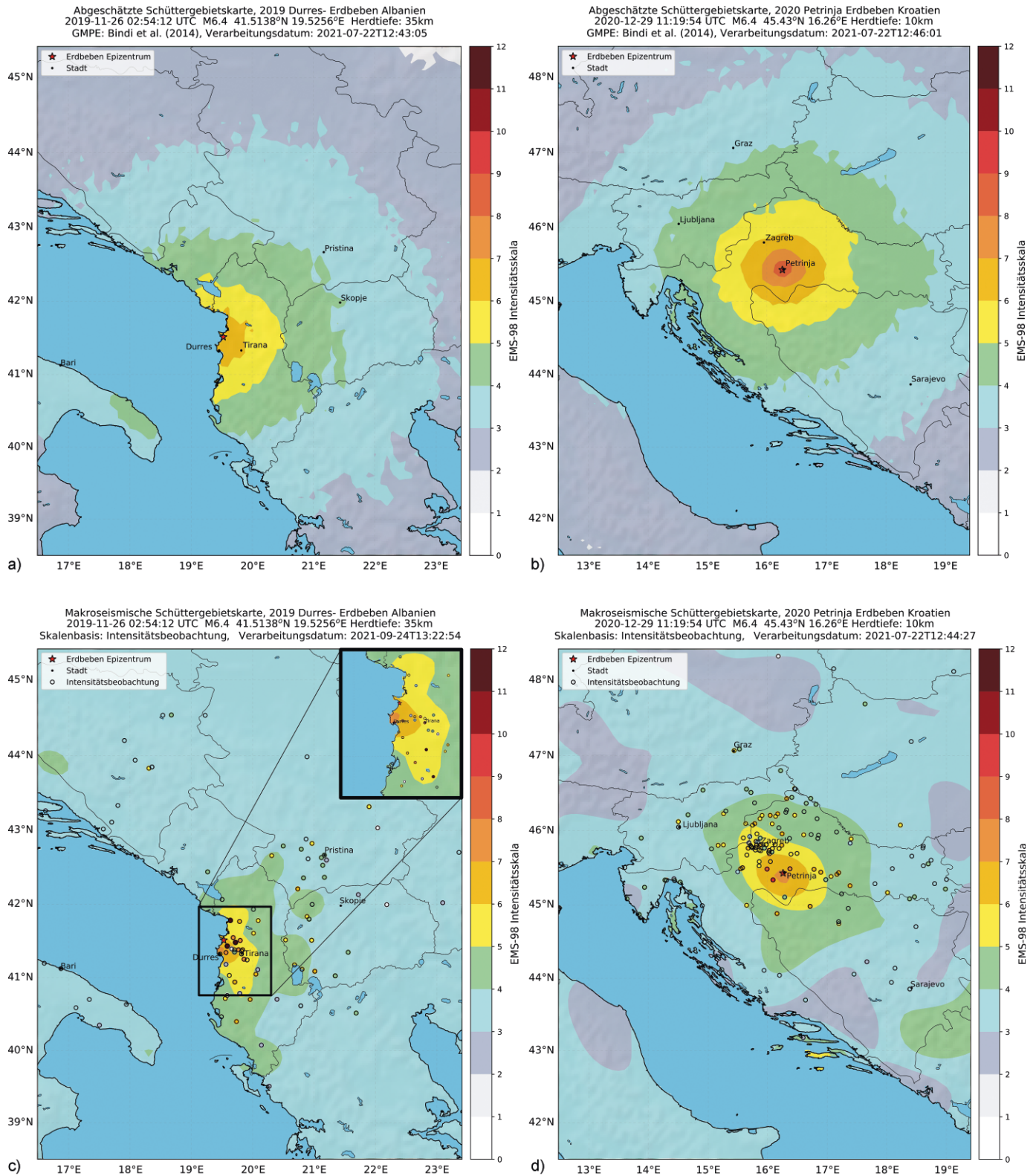


Bild 3 Makroseismische Schüttergebietskarten: initiale Schüttergebietskarten Albanien (a), Kroatien (b) auf der Grundlage von Erdbebenparametern und Verwendung der Abnahmebeziehung [10]; Schüttergebietskarten für Albanien (c) und Kroatien (d) auf der Grundlage der beobachteten Schäden gem. [11] Macro seismic shakemaps: a) Albania, b) Croatia based on earthquake parameters and GMPE acc. to [10]; c) Albania, d) Croatia based on observed damages acc. to [11]

(innerhalb eines Radius von 400 km) und einer Maximalintensität $I_{EMS} < X$ gefiltert werden. Intensitäten $I_{EMS} \geq X$ werden bei Erdbeben der Magnitude $M_W = 6,4$ als unwahrscheinliche Ausreißer (Falschmeldung) behandelt. Die Interpolation erfolgt abschließend mittels Kriging-Gauß-Modell [13].

Der Vergleich der SHAKEMaps zeigt einerseits den Einfluss der Herdtiefe und angesetzten Epizentralintensität auf die Ausdehnung der Schüttergebiete und andererseits den Einfluss der zugrunde liegenden Eingangsdaten.

Im Fall des Kroatien-Erdbebens überschätzt die initiale ($I_{EMS} = IX$) die beobachtete ($I_{EMS} = VIII$) Maximalintensität um eine Intensitätsstufe, was u. a. auf die hier angewendete Abnahmebeziehung zurückgeführt werden kann (Bild 4c). Die Intensität $I_{EMS} = VIII$ wird auch durch die Schadensbilder bestätigt [14]. Die vorherrschend geschädigten Mauerwerksgebäude mit Holzbalkendecken können der Verletzbarkeitsklasse B zugewiesen werden und weisen einen Schadensgrad 3, wenige auch den Schadensgrad 4 auf (Abschn. 3.2).

Für Albanien war die initial angesetzte Maximalintensität $I_{EMS} = VII$ um eine Intensitätsstufe zu korrigieren. Zur Unterschätzung könnte die Amplifikation für weiche Böden bei Anwendung der GMPE nach [10] beigetragen haben [15].

2.4 Normensituation

Zur Bewertung der aus dem Hauptbeben resultierenden spektralen Beschleunigung werden diese mit den Antwortspektren nach EC 8 und dem Albanischen Code (KTP-89) bzw. der aktuell gültigen Kroatischen Norm verglichen (Bild 4).

Den albanischen Normspektren wird eine Bodenspitzenbeschleunigung von 0,24g als Eingangsgröße für die Gefährdung für eine Wiederkehrperiode von 475 Jahren gem. [16] zugrunde gelegt. Die KTP-89-Spektren werden auf der Grundlage der seismischen Normenkarte mit der Intensität $I_{MSK-64} = VIII$ für Durrës berechnet.

Der Vergleich zeigt, dass die an der Station DURR gemessenen Spektralbeschleunigungen die Vorgaben der KTP-89 für alle Bodentypen und Perioden > 0,2 s deutlich übertreffen. Hingegen deckt das Spektrum gemäß EC 8 für Untergrundklasse D die aufgetretenen Einwirkungen speziell auch im Bereich der höheren Perioden > 1 s gut ab. Dies gilt auch für die vollständig aufgezeichneten Nachbeben, die ähnliche Periodenbereiche wie das Hauptbeben (0,2–1,0 s) aufzeigen (Bild 4a).

Die derzeitige offiziell gültige Erdbebenvorschrift in Albanien ist die Vorschrift KTP-89 von 1989 [17]. Die darin enthaltene seismische Zonenkarte basiert auf der MSK-64-Skala und gibt die erwarteten Intensitäten für die nächsten 100 Jahre in Zonen von $I_{MSK-64} = VI-IX$ an [18]. Insbesondere für die Hauptstadt Tirana wird lediglich ein seismischer Koeffizient von 0,08g gemäß KTP-89 für eine Intensität $I_{MSK-64} = VII$ zugeordnet, welcher einer Wiederkehrperiode von etwa 50 Jahren für Fels (Kategorie I) entspricht [19].

Gleichzeitig liegen für Albanien bereits mehrere probabilistische seismische Gefährdungsanalysen [16, 19] sowie aktualisierte Gefährdungskarten [20] vor, die jedoch noch nicht zusammen mit dem Eurocode offiziell eingeführt wurden. Das heißt, gem. den albanischen Vorschriften ist die KTP-89 weiterhin maßgeblich. Der EC 8 kann aber alternativ angewendet werden [21].

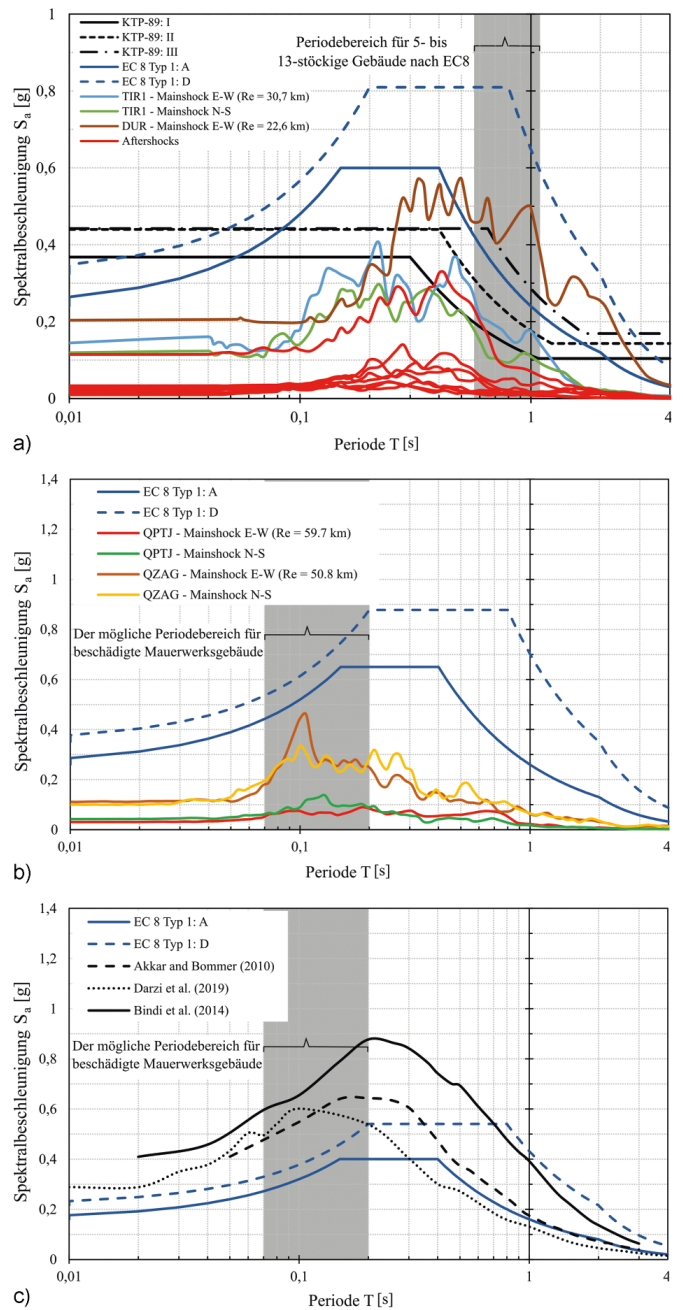


Bild 4 Vergleich der Antwortspektren mit den Normenspektren KTP-89 und EC 8 sowie abgeleitet aus Bodenbewegungsmodellen: a) Albanien (Hauptbeben und Nachbeben), b) Kroatien (Zagreb), c) Kroatien (Petrijnja)
Comparison of the response spectra (pre-shock, main shock) with the current standard spectra as well as derived GMPE spectra

Die beobachteten Schäden können somit auf die vom Bemessungsspektrum nicht abgedeckten Spektralbeschleunigungen speziell im Bereich höherer Perioden (Bild 4a) und der beobachteten Mängel (unregelmäßiger Grund- und/oder Aufriss, unzureichende Bewehrungsdetails etc. [22]) an den Rahmen zurückgeführt werden. In Bild 4a wird diesbezüglich der Bereich der Eigenperioden von Gebäuden mit fünf bis 13 Stockwerken (0,6–1,2 s, berechnet nach Gleichung 4.6 in Abschnitt 4.3.3.2 des EC 8) hervorgehoben.

In Kroatien sind die Planung und der Bau von Gebäuden durch das Baugesetz, Technische Vorschriften, das Raum-



Bild 5 Beobachtete Schäden an Stahlbetonstützen und -riegeln unterschiedlicher Schwere in Durrës (Albanien): a), b) schwerer Schaden (Ausknicken der Längsbewehrung) – Schadensgrad 4, c) mittlerer Schaden (Abplatzen Betondeckung) – Schadensgrad 3
Observed damage cases of different strength at RC elements in Durrës (Albania)

planungsgesetz und das Gesetz über den Schutz und die Erhaltung von Kulturgütern geregelt [23]. Die erste Bauordnung in Kroatien aus dem Jahre 1948 enthielt bereits grundlegende seismische Bemessungsvorschriften. Die erste nationale seismische Bemessungsvorschrift aus 1964 wurde nach dem Montenegro-Erdbeben 1979 grundlegend überarbeitet und 1981 eine neue Ausgabe veröffentlicht. Ab 2005 erfolgte die schrittweise Übernahme des Eurocodes bis zur offiziellen Einführung in 2011 [24].

Bild 4b zeigt den Vergleich der Antwortspektren des Hauptbebens für die Stationen QPTJ und QZAG mit den EC 8 Normspektren für den Standort Zagreb. Es zeigt, dass die seismischen Einwirkungen von den Normspektren abgedeckt werden, jedoch steife Gebäude besonders angeregt wurden. Der Vergleich der mittels Abnahmebeziehungen (GMPE) bestimmten Spektren (aufgrund fehlender Messungen/Stationen) für den in der Region Petrinja anstehenden steifen Untergrund ($v_{s30} = 500$ m/s) [5] mit dem aktuell gültigen Normspektrum zeigt, dass deutlich höhere Spitzenbeschleunigungen im Frequenzbereich von 5 bis 20 Hz (bzw. im Periodenbereich von 0,05 bis 0,2 s) aufgetreten sind, die im besonderen Maße Schäden an den relativ steifen Mauerwerksgebäuden infolge von Resonanzeffekten verursachen können (Bild 4c).

Die höheren Werte werden aufgrund der fehlenden Aufzeichnungen für alle hier zum Ansatz gebrachten Abnahmebeziehungen bestimmt. Demnach hat auch die Region Petrinja über der aktuellen Norm bzw. seismischen Gefährdungskarte liegende Spektralbeschleunigungen erfahren.

3 Bauwerksschäden

3.1 Typische Schadensbilder

3.1.1 Stahlbetonrahmentragwerke

Während des Erkundungseinsatzes in der Stadt Durrës (Albanien) wurden insgesamt 55 Gebäude untersucht, wobei der Schwerpunkt auf modernen mehrstöckigen Stahlbetongebäuden lag. Als vorherrschende Bauweise konnten mehrgeschossige Stahlbetonrahmengebäude mit Ausfachungswänden im untersuchten Gebiet identifiziert werden. Duale Systeme kamen weniger häufig vor. Tragwände wurden hauptsächlich für Aufzugsschächte verwendet. Trotz der z.T. vorhandenen Unregelmäßigkeiten im Grund- und Aufriss konnten keine oder lediglich leichte strukturelle Schäden an den tragenden Stahlbetonelementen der untersuchten Gebäude festgestellt werden. In einzelnen Fällen traten strukturelle Schäden (Abplatzen der Betondeckung, Ausknicken der Längsbewehrung) auf (Bilder 5a–5c).

In Petrinja, Kroatien beschränken sich die leichten Schäden an den Stahlbetongebäuden auf die Separierung der Ausfachungswände und auf das Abplatzen der Betondeckung.

3.1.2 Mauerwerksausfachungen

Dominiert wird das äußere Schadensbild vom Verhalten der Ausfachungswände (Bilder 6, 7). Dies hat zur Konsequenz, dass, obwohl der Grenzzustand der Tragfähigkeit (unter Berücksichtigung des zulässigen duktilen Verhal-



Bild 6 Beispiele zum dominierenden Schadensbild an den inspizierten Gebäuden in Durrës (Albanien)
Examples of the dominant damage patterns of the inspected buildings in Durrës (Albania)

tens) in den meisten der inspizierten Gebäude erfüllt war, die Schadensbegrenzungsbedingungen speziell hinsichtlich der Mauerwerksausfachungen nicht eingehalten wurden. Das heißt, die Gebrauchstauglichkeit ist stark eingeschränkt bzw. nicht mehr gegeben.

Die Bilder 6, 7 zeigen Beispiele von unterschiedlichen Schadensmustern in den Ausfachungswänden. In allen Fällen wurden Standard-Tonziegel mit hohem Volumen an horizontalen Hohlräumen verwendet (Gruppe 4 gem. EC 6). Eines der dominierenden Merkmale der geschädigten Ausfachungswände war die schlechte Verarbeitung und das Fehlen eines wirksamen Verbunds zwischen den Mauersteinen. In einigen der untersuchten Gebäude waren als konstruktive Mängel die fehlende Vermörtelung der Fuge und die fehlende Verzahnung der Steine auffällig.

Das hohe Maß der Schädigung in den Ausfachungswänden ist auch auf die duktile Auslegung der Rahmen bzw. deren große Verformbarkeit zurückzuführen. Das Fehlen der Tragwände und Stahlbetonkerne hat zur Folge, dass relativ große Stockwerksverschiebungen auftreten können. Die in den Ausfachungen induzierten Schubkräfte (Druckstreben) haben wesentlich zur Schädigung beigetragen. Das Ausmaß der Rissbildung hängt dabei von der Ausführungsqualität, der Fläche der Ausfachung und dem Vorhandensein von Öffnungen ab. Es gab Fälle, in denen die Außenwände nur leichte Risse aufwiesen, die Innenwände aber stark beschädigt waren.

Eine weitere wichtige Beobachtung im Zusammenhang mit den Ausfachungswänden war die unsachgemäße Verbindung der Wand mit dem Rahmen bzw. in vielen Fällen das Fehlen dieser Verbindung. Dieses Phänomen führte dazu, dass große Teile der Wände (manchmal die komplette Ausfachungswand) verschoben wurden und aus der Ebene herausfielen (Bild 6).

Insgesamt können die Mauerwerksausfachungen als nicht ingenieurmäßig hergestellte Ausfachungen aus Mauerwerk, die in Kontakt aber ohne kraftschlüssigen Verbund zum Rahmen stehen, und somit als nichttragendes Bauteil angesehen werden. Eine Umsetzung der Anforderungen nach EN 1998-1, Kapitel 4.3.6.4 konnte nicht beobachtet werden.

3.1.3 Unbewehrte Mauerwerksgebäude

Bild 8 vermittelt einen Eindruck der beobachteten Schäden in der am meisten betroffenen Stadt Petrinja (Kroatien), wo ein bedeutender Teil der Stadt schwer geschädigt bzw. zerstört wurde. Schwere Schäden traten an den Giebelwänden infolge fehlender Verankerungen und Versagen senkrecht zur Ebene (Bild 9) sowie in den Obergeschossen (Teileinsturz) vermutlich infolge fehlender Ringanker (Bild 8) auf. Darüber hinaus konnten die typischen Schadensbilder diagonaler Schubrisse in den relativ schlanken Mauerwerkspfeylern (piers) zwischen den Öffnungen sowie in den Mauerwerksriegeln (spandrels) beobachtet werden (Bild 10).

3.2 Zuordnung der Schadensgrade

Die in Durrës (Albanien) am meisten geschädigten Gebäude waren Stahlbetonskelettbauten (reinforced concrete – RC) mit Ausfachungen. Geprägt wurde das Schadensbild von:

- leichten (Schadensgrad 2) bis schweren (Schadensgrad 4) Schäden in den Stahlbetonstützen (Bild 5) und Riegeln,
- schweren Schäden an nichttragenden Innen- und Außenwänden (Bild 7) infolge In-plane- und Out-of-plane-Versagens [25] und Nichteinhaltung normativer Vorgaben gemäß EN-1998-1. (EN-1998-1 ist nicht offiziell eingeführt; gem. KTP-89 sind die Ausfachungswände als nichttragend zu betrachten.)

Daraus folgt, dass der globale Schadensgrad nach EMS-98 [1] hauptsächlich durch das Verhalten der Trennbzw. Ausfachungswände bestimmt wird. Eine Herausforderung für die Schadensklassifikation besteht darin, dass sich der beobachtete Schaden an den Ausfachungswänden um bis zu zwei oder sogar drei Grade gegenüber dem Schadensgrad der Tragelemente unterscheidet und zu klären ist, ob und für welche Konstellationen in der EMS-98 [1] das Verhältnis zwischen strukturellen und nichtstrukturellen Schäden neu zu definieren ist (Bild 11).

Die Verletzbarkeit beeinflussende Faktoren (wie z. B. die Anzahl der Stockwerke und die Eigenschaften der nichttragenden Elemente) sollten daher als wichtige Attribute einer Gebäudetypologie und der entsprechenden Verletzbarkeitstabelle/-matrix betrachtet werden [26]. Die Schadensbeobachtungen lassen den Schluss zu, dass die Qualität der Konstruktion und des Materials der Ausfachungswände einen starken Einfluss auf die Inter-

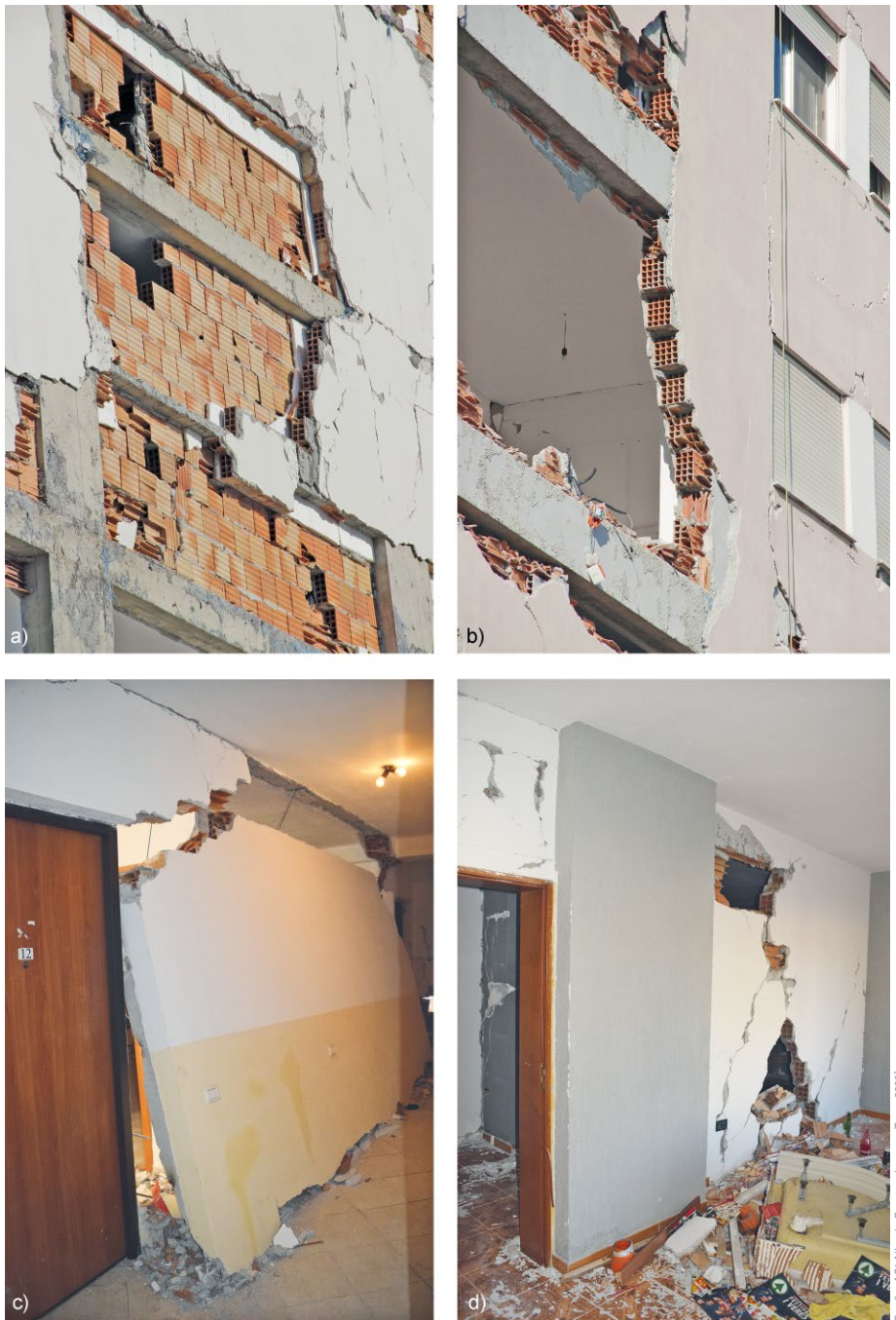


Bild 7 Beispiele zu den Schäden in den Ausfachungswänden: a), b) beobachtete Schäden an äußeren Ausfachungswänden, c), d) Schäden an nichttragenden Innenwänden (oftmals Schadensgrad beeinflussend)
Examples of damage in the infill walls: a), b) outer walls, c), d) inner walls

aktion mit dem primären (strukturellen) Tragsystem haben kann [14, 27].

Für das Schadensgebiet des Petrinja-Erdbebens (Kroatien) wurden gem. [28] insgesamt 34.056 beschädigte Gebäude gemeldet (Stand 1. Februar 2021), von denen 22.966 inspiziert und die Schäden der EMS-98 [1] folgend in die Schadensgrade DG1 (vernachlässigbarer bis leichter Schaden) bis Schadensgrad DG5 (sehr schwerer Schaden, Einsturz) klassifiziert wurden. Im Ergebnis steht folgende Verteilung der Schadensgrade: ca. 13% (3062) der Gebäude erlitten Schadensgrade DG4 oder DG5, ca. 22% (5095) DG3 und ca. 65% (14.809) DG1–DG2 (vernachlässigbare bis leichte Schäden oder moderate Schä-

den). Die Schadensgrade DG4 und DG5 wurden vornehmlich an Mauerwerksgebäuden beobachtet, die vor Einführung der Erdbebennorm von 1964 [29] und somit vor dem $M = 6,9$ Skopje Erdbeben (Nordmazedonien) 1963 errichtet wurden. Die stark geschädigten Gebäude wurden meist als zwei- bis dreigeschossige Gebäude aus unbewehrtem Mauerwerk mit Holzbalkendecken errichtet. Darüber hinaus wurden auch z.T. erhebliche Schäden (Schadensgrade DG3–DG5) an jüngeren unbewehrten Mauerwerksgebäuden mit Stahlbetondecken und Ringbalken (Baujahre 1965–1981 bzw. auch 1982–1998) beobachtet. An Gebäuden mit eingefasstem Mauerwerk (ausgelegt nach EC 8) konnten lediglich leichte Schäden (DG1, DG2) festgestellt werden.



Bild 8 Typisches Schadensbild in Petrinja (Kroatien): a), b) Teileinsturz oberer Geschosse und Giebelwände (Schadensgrad 4)
Typical damages Petrinja (Croatia): Partial collapse of upper floors and gable walls (damage grade 4)



Bild 9 Beispiel für Versagen der Giebelwände infolge fehlender Rückverankerung mit dem Dachstuhl (Schadensgrad 3–4)
Example of gable wall collapse due to the lack of tieback with the roof truss (damage grade 3–4)



Bild 10 Typisches Schadensbild für Mauerwerksgebäude: diagonale Schubrisse in den relativ schlanken Mauerwerks Pfeilern und Mauerwerksriegeln (Schadensgrad 2–3)
Typical damage patterns in masonry structures: diagonal shear cracks in relative slender piers and spandrels (damage grade 2–3)

4 Schlussfolgerungen

4.1 Erfahrungen für die Normung in moderat seismischen Gebieten in Europa

Die in der Stärke vergleichbaren Erdbeben vom 26. November 2019 in Albanien und vom 29. Dezember 2020 in Kroatien und dadurch verursachte Schäden können grundsätzlich als Erfahrungswerte für moderat seismische Gebiete in Europa herangezogen werden:

- Das Verhalten nichttragender Bauteile (Ausfachungen und Mauerwerkswände) kann den globalen Schadensgrad stark beeinflussen bzw. diesen dominieren. Das heißt, auf die Einhaltung der normativen Vorgaben

- (ausführliche Erdbebenbestimmungen in EN 1998-1) ist ein besonderes Augenmerk zu richten, um das Ausmaß der Schäden entsprechend zu begrenzen.
- Besonderes Augenmerk sollte auf die Standsicherheit der nichttragenden Bauteile gelegt werden.
 - Die Anwendung moderner Normen und die zielorientierte Anpassung der Gefährdungskarten sind für die Erdbebensicherheit von neuen und bestehenden Gebäuden von entscheidender Bedeutung.
 - Zum Schutz und Erhalt von Bestandsgebäuden sind Verstärkungsmaßnahmen erforderlich und einzufordern, die die Verletzbarkeit reduzieren, aktuelle seismische Anforderungen erfüllen bzw. umsetzen und gleichzeitig die Ästhetik der Gebäude nur minimal beeinflussen.
 - Der Einsatz von vertikalen Begrenzungs- bzw. Einfassungselementen trägt maßgeblich zu einem besseren Verhalten und geringerem Schadensausmaß bei.

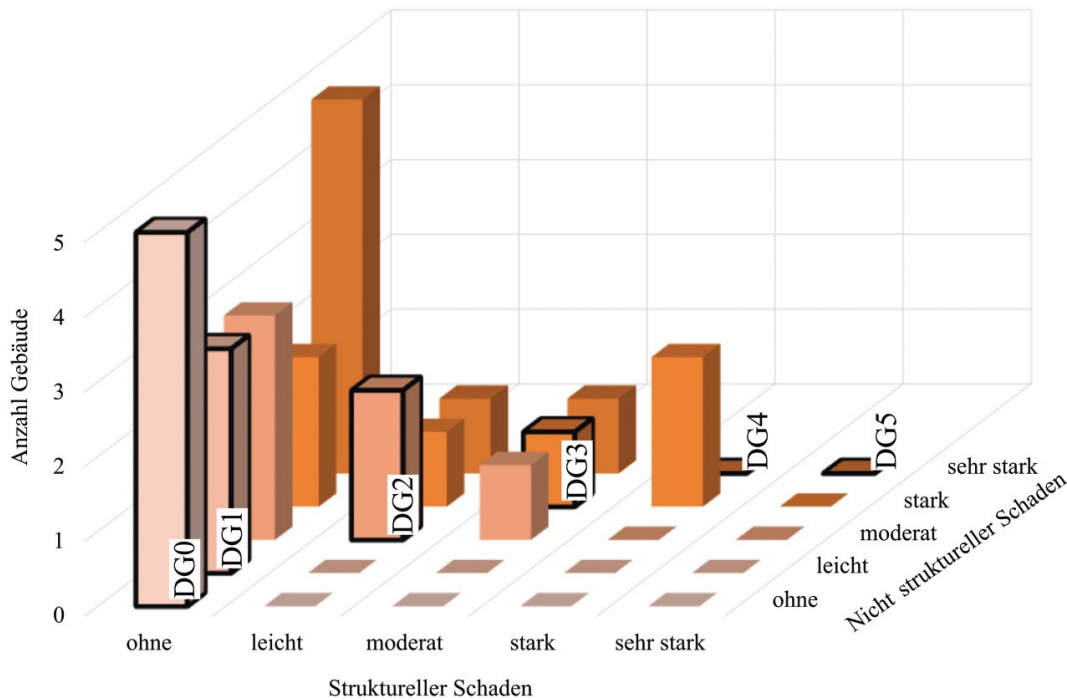


Bild 11 Übersicht zu den beobachteten Kombinationen struktureller und nicht struktureller Schäden an Stahlbetonrahmengebäuden in Durres (Albanien)
Overview of observed structural and non-structural damage combinations at RC frame structures in Durres (Albania)

Nichttragende Bauteile sind entsprechend auszuführen und Geschossverschiebungen zu begrenzen, um hohe Schadensgrade, die zu Verletzten bzw. hohen Verlusten führen, zu vermeiden. In diesem Zusammenhang sind auch speziell Mauerwerksausfachungswände und hier die Verbindung zwischen Rahmen und Wand nach den aktuellen Regeln des EC 8 auszuführen; eine ausreichende horizontale Steifigkeit bzw. Lagesicherung ist sicherzustellen.

Fassaden- und Innenausfachungsmauerwerke in Gebäuden mit Stahlbetonrahmenkonstruktion müssen angemessen gehalten sein (siehe dazu auch EN 1998-1, Kapitel 4.3.5). Die strukturelle Integrität unter seismischen Anregungen ist von entscheidender Bedeutung für die Sicherheit und Gesundheit sowohl der Bewohner als auch der Bürger in der Nähe des Gebäudes. In dieser Hinsicht tragen der Entwurf und die Konstruktion horizontaler und vertikaler Wandbegrenzungselemente und Stürze über den Öffnungen wesentlich zur Gebäudesicherheit bei und reduzieren die Kosten für die Instandhaltung nach einem Erdbeben. Das heißt, die aktuellen Entwicklungen/Änderungen in der 2. Generation der EN 1998 greifen diesen Aspekt folgerichtig auf (EN 1998-2, 2. Generation, Kapitel 7.4.2, 14.7).

Die beobachteten Schäden haben wiederholt verdeutlicht, dass einerseits Ausführungsmängel und eine unregelmäßige Anordnung von Ausfachungswänden zu erheblichen Schäden führen, andererseits als Grund auch eine unzureichende Berücksichtigung der durch die Ausfachungen hervorgerufenen Unregelmäßigkeiten in der Bemessung herangezogen werden kann bzw. sollte. Das heißt, in den modernen Normen ist entweder die konsequente Anwendung detaillierter Analysen einzufordern,

um ein zuverlässiges Verhalten sicherzustellen, oder konsequent die Verformungen durch den Einsatz von Tragwänden zu reduzieren.

Mittelschwere Erdbeben verursachen erheblichen Schaden am älteren und historischen Bauwerksbestand. Besonders betroffen sind dabei nicht erdbebengerecht ausgelegte Mauerwerksgebäude mit Holzbalkendecken, die in vielen europäischen Ländern einen hohen Prozentsatz des Gebäudebestands ausmachen.

Die Beobachtungen haben gezeigt, dass eine Umsetzung der normativen Konstruktionsregeln, wie z. B. schubsteife Decken, die Verbindung/Rückverankerung der Decken mit den Wänden und der Einsatz von Ringankern das Schadensausmaß wesentlich positiv beeinflussen bzw. mindern.

In der Konsequenz für die betroffenen Regionen in Albanien und Kroatien, aber auch anderen Regionen Europas steht, dass mit der 1. und speziell dann auch der 2. Generation des Eurocode 8 ein Handwerkzeug für die seismische Auslegung von Gebäuden zur Verfügung steht, um Schäden vergleichbarer Stärke bei konsequenter Anwendung zu vermeiden. Die beobachteten Schäden waren allesamt auf ein oder mehrere Mängel zurückzuführen.

Lediglich in Kroatien ist ggf. die Anpassung der Gefährdungskarte notwendig, da Petrinja deutlich über dem Normspektrum liegende Spektralbeschleunigungen erfahren hat. Allen Regionen Europas gemein ist die Verletzbarkeit des historischen bzw. nicht erdbebengerecht ausgelegten Mauerwerksgebäudebestands und damit die Notwendigkeit von Ertüchtigungsmaßnahmen.

4.2 Leistungsfähigkeit von SHAKEMap-Tools zur Schadensprognose

SHAKEMap-Tools ermöglichen eine schnelle Prognose der Schütterwirkungen und Eingrenzung der am stärksten betroffenen Gebiete [30] (s. Bild 3). Sie gewinnen für behördliche Entscheidungsträger, Betreiber sicherheitstechnisch relevanter Anlagen, Versorger im Rahmen der Lebenslinien (Energie, Wasser, Nahrung, Verkehr, Kommunikation) und Planer zunehmend an Bedeutung, nicht zuletzt, um auch die Öffentlichkeit mit einem hohen Maß an Informationsqualität und Transparenz als Akteure interaktiv einzubinden. In Verbindung mit Daten zum Bauwerksbestand können kritische Objekte schnell identifiziert und entsprechende Maßnahmen initiiert werden [31].

Den SHAKEMap-Tools liegen speziell im Falle fehlender makroseismischer Beobachtungen Bodenbewegungsmodelle zugrunde, deren Auswahl die Verlässlichkeit der für ein Ereignis erzeugten Schüttergebietskarte bestimmen. Petrinja (Kroatien) befindet sich in einer relativ moderaten seismischen Gefährdungszone: Spitzenbodenbeschleunigungen liegen bei $a_g = 0,16g$ (475 Jahre). Die Epizentral-Spitzenbodenbeschleunigung für Fels wird zwischen $0,29g$ und $0,33g$, basierend auf unterschiedlichen Abnahmebeziehungen, geschätzt [5]. Die analytisch bestimmten PGA-Werte für das $M_w = 6,4$ Erdbeben (für den nahen Epizentralbereich bis zu 10 km) übersteigen somit die Werte für die seismische Gefährdung deutlich, wobei eine Validierung aufgrund fehlender seismischer Aufzeichnungen im Hauptschadensgebiet nicht möglich und in Anbetracht lokaler Untergrundeffekte mit großen Unsicherheiten behaftet ist. Das heißt, für eine schnelle und verlässliche Schadensabschätzung mithilfe von SHAKEMap-Tools sind die Prognose der Verstärkungseffekte und geeignete Bodenbewegungsmodelle unverzichtbar. Dies gilt umso mehr, wenn in Gebieten mit großmächtigen seismischen Stationsnetzen die Stützstellen aus gemessenen Bodenbewegungen fehlen [15].

Die systematische und automatisierte Integration makroseismischer Aussagen stellt eine weitere Herausforderung für deren Einsatz in echtzeitnahen Prognosen dar. Hier haben sich mobile Anwendungen (LastQuake [32], Earthquake Network [33]) oder das Data Mining sozialer Medien (z. B. Twitter-Feeds [34]) dank der Reaktivität der Nutzer unmittelbar nach einem Erdbeben (d.h. wenige Se-

kunden bis wenige Minuten) als sehr effizient erwiesen. Ihre Verwendung könnte als zusätzlicher Dateninput für Schüttergebietskarten dazu beitragen, die unvermeidbare Zeitlücke vor der Bestimmung genauerer makroseismischer Intensitäten (d.h. nach einigen Minuten) zu überbrücken [15].

5 Zusammenfassung

Zwei Erdbeben der Stärke $M_w = 6,4$ erschütterten in 2019 und 2020 die Balkanregion und verursachten erhebliche Schäden und Verluste in Albanien sowie Kroatien. In Durrës, Albanien traten vornehmlich Schäden an der vorherrschenden mehrgeschossigen Stahlbetonrahmenbauweise auf, die sehr vom Verhalten der nichttragenden Mauerwerksausfachungen dominiert wurden und die durch Standorteffekte des weichen Untergrunds sowie durch die flexible, verformungsanfällige Rahmenbauweise zu erklären sind. In Petrinja, Kroatien wurden vornehmlich Schäden und Teileinstürze an älteren Mauerwerksgebäuden der vorherrschenden Bauweise im Epizentralgebiet beobachtet. Diese können im Wesentlichen mit fehlenden Einfassungen (häufig wurden Holzbalkendecken vorgefunden) sowie fehlenden Rückverankerungen der Mauerwerkswände (speziell der Giebelwände) begründet werden.

Dank

Die Autoren bedanken sich beim American Concrete Institute (ACI) für die Unterstützung des Feldeinsatzes im Januar 2020 nach Durres, Albanien. Die Bemühungen von Prof. Santiago Pujol zur Koordinierung der Mission und von Prof. Chungwook Sim für die Koordination und Durchführung der Erkundungsmision werden sehr geschätzt. Ein weiterer Dank gilt Dr. Enea Mustafaraj, Andi Gjoci und Jurgen Mema von der Epoka Universität in Albanien, die maßgeblich zur praktischen Umsetzung des Feldeinsatzes beigetragen haben.

Die Autoren danken der Universität Zagreb, Naturwissenschaftliche Fakultät, für die Bereitstellung der Aufzeichnungen der kroatischen seismischen Stationen. Sie bedanken sich ebenso bei den Reviewern für die konstruktiven Hinweise, die zur Überprüfung und Schärfung der Schlussfolgerungen beigetragen haben.

Literatur

- [1] Grünthal, G.; Musson, R.; Schwarz, J.; Stucchi, M. (1998) *European Macroseismic Scale 1998*. 15. Aufl. Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Luxembourg.
- [2] Giardini, D.; Grünthal, G.; Shedlock, K.; Zhang, P. (1999) *The GSHAP Global Seismic Hazard Map*. Annali di Geofisica 42, No. 6, pp. 1225–1228.
- [3] Papadopoulos, G. A.; Agalos, A.; Carydis, P.; Lekkas, E.; Mavroulis, S.; Triantafyllou, I. (2020) *The 26 November 2019 Mw 6.4 Albania Destructive Earthquake*. Seismological Research Letters 91, No. 6, pp. 3129–3138. <https://doi.org/10.1785/0220200207>
- [4] Moshou, A.; Dushi, E.; Argyrakis, P. (2020) *A Preliminary Report on the 26 November 2019, Mw=6.4 Durres, Albania*. www.emsc-csem.org/Earthquake/News/?year=2019
- [5] Markušić, S.; Stanko, D.; Penava, D.; Ivančić, I.; Bjelotomić Oršulić, O.; Korbar, T.; Sarhosis, V. (2021) *Destructive M6.2 Petrinja Earthquake (Croatia) in 2020 – Preliminary*

- Multidisciplinary Research*. Remote Sensing 13, No. 6, pp. 1095. <https://doi.org/10.3390/rs13061095>
- [6] Duni, L.; Theodoulidis, N. (2020) *Short Note on the November 26, 2019, Durres (Albania) M6.4 Earthquake: Strong Ground Motion with Emphasis in Durres City – EMSC Online Report* [online]. http://www.itsak.gr/uploads/news/earthquake_reports/EQ_Albania_2019-11-26_M6.4.pdf [Zugriff am: 15. Juli 2021]
- [7] Seismological service of Croatia (2020) *Izvjješća O Potresima* [online]. https://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska_sluzba/izvjjesca_o_potresima [Zugriff am: 15. Juli 2021]
- [8] Prevolnik, S. (2020) *Analiza Akcelerograma Petrinjskih Potresa (Accelerogram Analysis of Petrinja Earthquakes) (In Croatian)* [online]. https://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska_sluzba/potresi_kod_petrinje_2020 [Zugriff am: 15. Juli 2021]
- [9] Beinersdorf, S.; Schwarz, J. (2014) *Shakemaps for Central Europe Implementing Macroseismic Observations*. Proceedings 2nd European Conference on Earthquake Engineering and Seismology. Istanbul, Aug. 25–29, 2014. pp. 1–12.
- [10] Bindi, D.; Massa, M.; Luzi, L.; Ameri, G.; Pacor, F.; Puglia, R.; Augliera, P. (2014) *Pan-European Ground-Motion Prediction Equations for the Average Horizontal Component of PGA, PGV, and 5%-Damped PSA at Spectral Periods up to 3.0 S Using the RESORCE Dataset*. Bulletin of Earthquake Engineering 12, No. 1, pp. 391–430. <https://doi.org/10.1007/s10518-013-9525-5>
- [11] EMSC (2020) *M 6.4 – CROATIA – 2020-12-29 11:19:54 UTC* [online]. <https://www.emsc-csem.org/Earthquake/earthquake.php?id=933701> [Zugriff am: 15. Juli 2021]
- [12] Faenza, L.; Michelini, A. (2010) *Regression Analysis of MCS Intensity and Ground Motion Parameters in Italy and Its Application in ShakeMap*. Geophysical Journal International 180, No. 3, pp. 1138–1152. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2009.04467.x>
- [13] Krige, D. G. (1951) *A Statistical Approach to Some Basic Mine Valuation Problems on the Witwatersrand*. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy 52, No. 6, pp. 119–139. https://hdl.handle.net/10520/AJA0038223X_4792
- [14] Abrahamczyk, L.; Maiwald, H.; Schwarz, J.; Lobos, D. (2010) *Das Magnitude 8.8 Maule (Chile)-Erdbeben Vom 27. Februar 2010 – Ingenieuranalyse Der Erdbebenschäden*. Bautechnik 87, H. 8, S. 462–473. <https://doi.org/10.1002/bate.201010033>
- [15] Fayjaloun, R.; Gehl, P.; Roullé, A.; Lemoine, A.; Auclair, S.; Darzi, A.; Halldorsson, B.; Rahpeyma, S.; Borzi, B.; Bozzoni, F.; Ozcebe, A. G.; Zuccolo, E.; Bossu, R.; Landès, M.; Roch, J.; Roussel, F.; Balan, S. F.; Cioflan, C.; Apostol, B.; Melis, N.; Liadopoulos, S.; Ruigrok, E.; Kruiver, P.; Schwarz, J.; Hasan, P. L.; Beinersdorf, S.; Abrahamczyk, L. (2021) *Report on Improved Procedures for Rapid Mapping of Earthquake Shaking, Including Adjustment Factors for Local Site Effects (RRE)*. TURNkey Project: Deliverable D3.8.
- [16] Fundo, A.; Li, D.; Kuka, S.; Begu, E.; Kuka, N. (2012) *Probabilistic Seismic Hazard Assessment of Albania*. Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica 47, No. 4, pp. 465–479. <https://doi.org/10.1556/AGeod.47.2012.4.7>
- [17] KTP-N.2-89 (1989) *Earthquake Resistant Design Provisions (In Albanian)*.
- [18] Sulstarova, E.; Koçiu, S.; Aliaj, S. (1980) *Seismic Zonation of Albania*. Publication of Seismological Center of Academy of Sciences, Tirana, Albania, pp. 297.
- [19] Dunin, E. I.; Kuka, N. (2004) *Seismic Hazard Assessment and Site-Dependent Response Spectra Parameters of the Current Seismic Design Code in Albania*. Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica 39, No. 2–3, pp. 161–176. <https://doi.org/10.1556/AGeod.39.2004.2-3.3>
- [20] Hasanaj, R.; Dedja, K. (2018) *Status and Further Development of Eurocodes in Albania (Presentation) – Support of Capacities of the Institute for Standardisation of Bosnia and Herzegovina in the Area of Implementation of Eurocodes*.
- [21] Luka, R. (2018) *Present Status of Eurocodes in Albania (Presentation) – the Way Forward for the Eurocodes Implementation in the Balkans*. Tirana.
- [22] Milićević, I.; Marinković, M.; Blagojević, N.; Nikolić-Brzev, S. (2021) *Performance of RC Frames in 26.11.2019. Albania Earthquake: Effects of Irregularities and Detailing*. Gradjevinski materijali i konstrukcije 64, No. 3, pp. 207–213. <https://doi.org/10.5937/GRMK2103207M>
- [23] Pavić, G.; Hadzima-Nyarko, M.; Bulajić, B.; Jurković, Ž. (2020) *Development of Seismic Vulnerability and Exposure Models – A Case Study of Croatia*. Sustainability 12, No. 3, pp. 973. <https://doi.org/10.3390/su12030973>
- [24] Miranda, E.; Brzev, S.; Bijelić, N.; Arbanas, Ž.; Bartolac, M.; Jagodnik, V.; Lazarević, D.; Mihalić, A.; Zlatović, S.; Acosta, A.; Archbold, J.; Bantis, J.; Borozan, J.; Božulić, I.; Blagojević, N.; Cruz, C.; Dávalos, H.; Fischer, E.; Gunay, S.; Hadzima-Nyarko, M.; Heresi, P.; Lignos, D.; Lin, T.; Marinković, M.; Messina, A.; Miranda, S.; Poulos, A.; Scagliotti, G.; Tomac, I.; Tomić, I.; Ziotopoulou, K.; Žugić, Ž.; Robertson, I. (2020) *StEER-EERI: Petrinja, Croatia December 29, 2020, Mw 6.4 Earthquake Joint Reconnaissance Report (JRR)*. PRJ-2959. [online]. <https://www.designsafe-ci.org/data/browser/public/designsafe.storage.published/PRJ-2959>; <https://hdl.handle.net/2346/86723> [Zugriff am: 15. Juli 2021]
- [25] Al Hanoun, M. H.; Abrahamczyk, L.; Schwarz, J. (2019) *Macromodeling of in- and Out-of-Plane Behavior of Unreinforced Masonry Infill Walls*. Bulletin of Earthquake Engineering 17, No. 1, pp. 519–535. <https://doi.org/10.1007/s10518-018-0458-x>
- [26] Abrahamczyk, L.; Brzev, S.; López Menjivar, M. A.; Silva, V.; Lang, D. H.; Schwarz, J. (2020) *WHE Housing Reports – a Review with Respect to Past and Current Earthquake Damage Observations*. WCEE 2020 17th World Conference on Earthquake Engineering [verschoben].
- [27] Wenk, T.; Lacave, C.; Peter, K. (1998) *The Adana-Ceyhan Earthquake of June 27, 1998: Report on the Reconnaissance Mission from July 6–12, 1998 of the Swiss Society of Earthquake Engineering and Structural Dynamics (SGEB)*. Swiss Society of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, pp 47.
- [28] Sisačko-moslavačka županija (2021) *Oštećeni Stambeni Objekti (In Croatian)* [online]. <https://www.smz.hr/osteceni> [Zugriff am: 16. Juli 2021]
- [29] Government of the Republic of Croatia (2019) *Croatian Disaster Risk Reduction Platform Disaster Risk Assessment for the Republic of Croatia*.
- [30] Schwarz, J.; Beinersdorf, S.; Kaufmann, C.; Langhammer, T. (2016) *SHAKE Maps – Effiziente Tools für die Reinterpretation und Prognose von Erdbebenschäden*. Bautechnik 93, H. 4, S. 230–242. <https://doi.org/10.1002/bate.201600017>
- [31] Schwarz, J.; Abrahamczyk, L.; Hadidian, N.; Haweyou, M.; Kaufmann, C. (2021) *Report on Knowledge-Based Exposure Modelling Framework Depending on the Accuracy and Completeness of Available Data*. TURNkey Project: Deliverable D4.1.
- [32] Bossu, R.; Roussel, F.; Fallou, L.; Landès, M.; Steed, R.; Mazet-Roux, G.; Dupont, A.; Frobert, L.; Petersen, L. (2018) *LastQuake: From Rapid Information to Global Seismic Risk Reduction*. International Journal of Disaster Risk Re-

- duction 28, pp. 32–42. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.02.024>
- [33] Finazzi, F. (2020) *The Earthquake Network Project: A Platform for Earthquake Early Warning, Rapid Impact Assessment, and Search and Rescue*. *Frontiers in Earth Science* 8. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00243>
- [34] Fayjaloun, R.; Gehl, P.; Auclair, S.; Boulahya, F.; Guérin-Marthe, S.; Roullé, A. (2021) *Integrating Strong-Motion Re-*

- cordings and Twitter Data for a Rapid Shakemap of Macro-seismic Intensity*. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 52, 101927. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101927>
- [35] United States Geological Survey (2021) *Earthquake Hazards* [online]. Washington, DC: U.S. Department of the Interior. <https://www.usgs.gov/natural-hazards/earthquake-hazards/earthquakes>

Autorin und Autoren

Jun.-Prof. Dr.-Ing. Lars Abrahamczyk (Korrespondenzautor)
lars.abrahamczyk@uni-weimar.de
Bauhaus-Universität Weimar
Professur Komplexe Tragwerke
Marienstr. 13D
99423 Weimar

Assoc. Prof. Davorin Penava
davorin.penava@gfos.hr
Josip Juraj Strossmayer University of Osijek
Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek
Vladimir Prelog Str.
31000 Osijek, Croatia

Assoc. Prof. Snjezana Markušić
markusic@gfz.hr
Department of Geophysics, Faculty of Science
University of Zagreb
10000 Zagreb, Croatia

Ass. Prof. Davor Stanko
davor.stanko@gfv.unizg.hr
Department of Geophysics, Faculty of Science
University of Zagreb
10000 Zagreb, Croatia

M.Sc. Peshawa Luqman Hasan
peshawa.luqman.hasan@uni-weimar.de
Bauhaus-Universität Weimar
Earthquake Damage Analysis Center
Marienstr. 13B
99423 Weimar

M.Sc. Melad Haweyou
melad.haweyou@uni-weimar.de
Bauhaus-Universität Weimar
Professur Komplexe Tragwerke
Marienstr. 13D
99423 Weimar

Dr.-Ing. Jochen Schwarz
schwarz@uni-weimar.de
Bauhaus-Universität Weimar
Earthquake Damage Analysis Center
Marienstr. 13B
99423 Weimar

Zitieren Sie diesen Beitrag

Abrahamczyk, L.; Penava, D.; Markušić, S.; Stanko, D.; Hasan, P. L.; Haweyou, M.; Schwarz, J. (2022) *Die Magnitude 6,4 – Erdbeben in Albanien und Kroatien – Ingenieuranalyse der Erdbebenschäden und Erfahrungswerte für die Baunormung*. *Bautechnik* 99, H. 1, S. 18–30. <https://doi.org/10.1002/bate.202100070>

Dieser Aufsatz wurde in einem Peer-Review-Verfahren begutachtet. Eingereicht: 26. Juli 2021; angenommen: 1. November 2021.