

# D-A-CH – Mitteilungsblatt – Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik

Eine gemeinsame Publikation von

D G E B

Deutsche Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik

[www.dgeb.eu](http://www.dgeb.eu)

O G E

Österreichische Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik

[www.oge.or.at](http://www.oge.or.at)

S G E B

Schweizer Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik

[www.sgeb.ch](http://www.sgeb.ch)

ISSN 1434–6591

## Inhalt

- S1** EDITORIAL  
*F. Wuttke, G. Achs, P. Hannewald*
- S2** ANKÜNDIGUNGENTAGUNGEN
- S4** FORSCHUNGSPROJEKT  
Schwingungsuntersuchung mit dem Smartphone und Tablet  
*B. Haas, N. Elias, H. Sadegh-Azar*
- S6** NEURONALE NETZE  
Künstliche Intelligenz im Erdbebeningenieurwesen  
*K. Goldschmidt, H. Sadegh-Azar*
- S8** NEUE ANSÄTZE  
Erdbebenauslegung mobiler Großgeräte  
*S. Shala, M. Kloos, H. Sadegh-Azar*
- S9** SICHERHEIT LIEFERN  
Entwicklung eines fortschrittlichen Ansatzes für die Bewertung des seismischen Risikos der europäischen Kernkraftwerke  
*K. Goldschmidt, M. Zouatine, H. Sadegh-Azar*
- S11** ÜBERSICHT  
Erdbebenserie in der Grenzregion Türkei-Syrien: Fragen und erste Erkenntnisse  
*J. Schwarz, L. Abrahamczyk, M. C. Genes*

Liebe Leserinnen,  
liebe Leser,

nach dem Start in das Jahr 2023 möchten wir mit einer neuen Ausgabe zum Mitteilungsblatt über die anstehenden Aktivitäten im laufenden Jahr informieren, kurz auf das Wirken des SGEB seit der Gründung vor 40 Jahre eingehen und Fachberichte vorstellen.

Für die kommende 18. D-A-CH Tagung 2023 sind eine Vielzahl von interessanten Beiträgen angemeldet. Auf der Tagungs-Webseite sind Vordrucke für die Erstellung der Manuskripte vorhanden. Die Manuskripte sollten bis zum 19. Juni eingereicht werden, um die weitere Organisation sicherzustellen. Für die Unterkunft zur Tagung werden auf der Webseite derzeit Hinweise für Übernachtungen und Hotelzimmer zur weiteren Reservierung vorbereitet. Wir möchten darauf hinweisen, die Unterkunft möglichst bald zu buchen, da erfahrungsgemäß im Sommer der Ostseeraum um Kiel stark besucht ist.

Für das ebenfalls anstehende Doktorandenkolloquium möchten wir nochmals zu den Details der Durchführung informieren und darauf hinweisen, dass die Anmeldung verlängert wurde. Das Kolloquium wird vom 11. bis 13. September 2023 in Kiel durchgeführt und die Doktoranden erhalten die Möglichkeit gleichzeitig an der D-A-CH-Tagung teilzunehmen. Als Keynote-Sprecher wird Emeritus Prof. Dimitri E. Beskos von der Universität Patras und derzeitiger Lehrstuhlleiter des Departments of Disaster Mitigation an der Tongji-Universität mit dem Vortrag zum Thema „A performance-based hybrid force/displacement seismic design method for steel, reinforced concrete and composite frames“ erwartet.

Wir freuen uns mitteilen zu können, dass die DGE B sich erfolgreich für

die Ausrichtung der kommenden 18. Europäische Konferenz für Erdbebeningenieurwesen 2026 beworben hat und diese ausrichten darf. Für den Standort Berlin konnte die TU Berlin als Tagungsort gewonnen werden. Mit den kommenden Planungen zur Tagung werden die entsprechenden Ankündigungen im Mitteilungsblatt publiziert.

Weiterhin möchten wir die 18. VDI-Tagung Baudynamik (2.–3. April 2025) und eine Trainingsschool Seismic Hazard, Fragility and Risk am 22.–23. Juni 2023 an der TU Kaiserslautern ankündigen.

Als Kurzberichte in diesem Mitteilungsblatt stellen Benedikt Haas et al. (TU Kaiserslautern) Schwingungsuntersuchungen mit dem Smartphone und Tablet vor. Konstantin Goldschmidt berichtet über die Nutzung von Künstlicher Intelligenz im Erdbebeningenieurwesen und Shqipron Shala et al. stellen die erdbebengerechte Auslegung mobiler Großgeräte, wie Groß- und Hafenkräne sowie



**Prof. Dr.-Ing. habil. Frank Wuttke**  
Vorsitzender DGE B  
Foto: Christian-Albrechts-Universität zu Kiel



**Dr. Günther Achs**  
Generalsekretär OGE  
Foto: FCP



**Dr. Pia Hannewald**  
Präsidentin SGEB  
Foto: Alan Humeroze

Förderanlagen vor. Schließlich berichten die Autoren Konstantin Goldschmidt, Mohamed Zouatine und Hamid Sadegh-Azar über die Entwicklung eines fortschrittlichen Ansatzes für die Bewertung des seismischen Risikos der europäischen Kernkraftwerke.

Wie wir alle am 6. Februar 2023 durch das starke Erdbeben nahe der Stadt Gaziantep in der Türkei gesehen haben, treten in aktiven Erdbebengebieten immer wieder katastrophale Zerstörungen und der Verlust von Menschenleben auf. Diese Ereignisse fordern nach wie vor die Stärkung der allgemeinen Inhalte des Erdbebeningenieurwesens in der studentischen Lehre, der geschulten Anwendung von entsprechenden Normungen in praktischen Projek-

ten sowie weiterführender Forschung zu dieser Thematik.

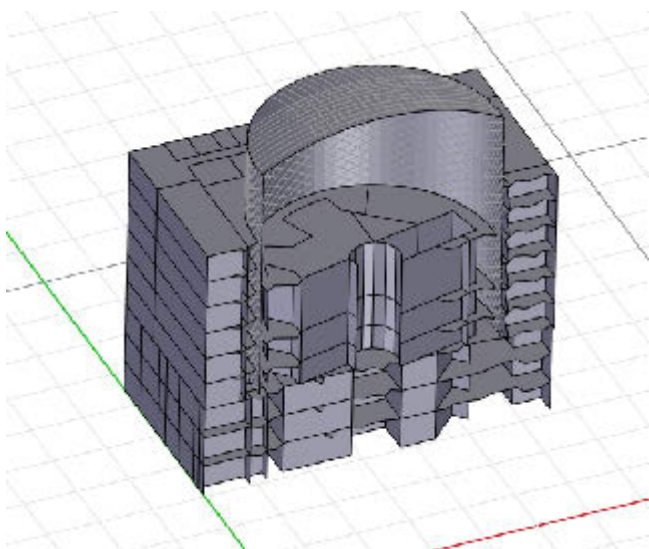
Im Beitrag der Autoren Jochen Schwarz, Lars Abrahamczyk und Mehmet Cemal Genes wird Bezug auf dieses Beben in der Türkei und Syrien genommen, um langjährige Arbeiten in den betroffenen Regionen neu zu betrachten, um aktuelle Fragen für das Erdbebeningenieurwesen aufzuwerfen und auf Forschungsvorhaben einzugehen, die zur Frühwarnung infolge Erdbeben beitragen sollten. Die gestellten Fragen umfassen die Anforderungen an die Baunormung sowie künftige Schadenmodelle und geben in der Zusammenschau der gewonnenen Erfahrungen erste Antworten für die unverzichtbare Bauwerkszertifizierung.

Wenn Sie zur Diskussion der Fachaufsätze in dieser oder früheren Ausgaben beitragen möchten, sind Sie herzlichst dazu eingeladen. Gern können Sie ebenso mit einem eigenen Beitrag oder Publikation aus dem Gebiet des Erdbebeningenieurwesens und Baudynamik den Fokus auf eine spezielle Thematik lenken. Entsprechende Informationen über die drei Gesellschaften und deren Kontaktdaten finden Sie auf den Internetseiten:

[www.dgeb.org](http://www.dgeb.org)  
[www.oge.or.at](http://www.oge.or.at)  
[www.sgeb.ch](http://www.sgeb.ch)

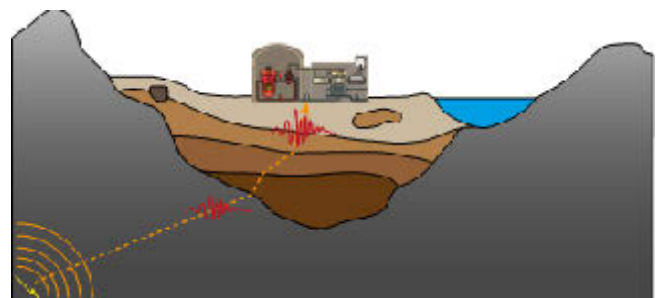
Eine anregende Lektüre wünschen Ihnen  
 Frank Wuttke, Günther Achs und  
 Pia Hannewald.

## Training School: Seismic Hazard, Fragility and Risk



Reaktormodell Grafik: SDT

Introduction to the main principals of probabilistic seismic risk assessment with speakers from all over Europe's leading research facilities. The school is tailored to Master, Ph.D. and postdoctoral students.



Wellenausbreitung im Boden. Grafik: METIS / Irmela Zentner / EDF

### Topics:

- Probabilistic Seismic Hazard analysis (PSHA)
- Fragility Assessment
- Seismic Probabilistic Risk Assessment (SPRA)
- Seismic Safety Assessment

The participation is free of charge.

Place: Technical University Kaiserslautern, Germany

Date: 22./23. June 2023

Organizer: Institute of Structural Analysis and Dynamics, Technical University Kaiserslautern

Registration: [sdt.sekretariat@bauing.uni-kl.de](mailto:sdt.sekretariat@bauing.uni-kl.de)

## Doktorandenkolloquium 2023

**2. Doktorandenkolloquium**  
Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik  
11.-13. September 2023 - Kiel, Deutschland

DAGEB  
Deutsche Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik e.V.  
In Zusammenarbeit mit der SGEB und der OGE

**Anmeldung**  
- Verlängerung Abstract: 30. April 2023

**Keynote-Präsentation:**  
**Prof. Dr. Dimitri Beskos**  
Emeritus von der Universität Patras und  
Lehrstuhlinhaber des Dept. of Disaster Mitigation, Tongji Universität  
**"A Performance-Based Hybrid Force-Displacement Seismic Design Method for Steel Reinforced Concrete and Composite Frames"**

Das Kolloquium soll die Netzwerkbildung zwischen den Doktoranden von DAGEB, OGE und SGEB zu Themen aus Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik unterstützen sowie den fachlichen Austausch über diverse Fachthemen hinweg. Das Kolloquium kann genutzt werden, um eigene Arbeiten vorzustellen und sich gegenseitig in weiteren Diskussionen zu inspirieren.

Einreichung und Anfragen: [dach2023@dgeb.org](mailto:dach2023@dgeb.org)  
Website: <https://dgeb.org/events/doktorandenkolloquium/>

C/AU  
Kiel-Albrechts-Universität Kiel

Das 2. D-A-CH Doktorandenkolloquium wird vom 11.-13. September 2023 in Kiel an der Christian-Albrechts-Universität stattfinden. Gast und Diskussionspartner wird Prof. Dr. D. Beskos von der Universität Patras sein.

Das Ziel des Kolloquiums ist die Netzwerkbildung zwischen den Doktoranden von DAGEB, OGE und SGEB zu Themen aus Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik sowie der fachliche Austausch über diverse Fachthemen hinweg. Darüber hinaus kann das Kolloquium genutzt werden, um eigene Arbeiten vorzustellen und sich gegenseitig in weiteren Diskussionen zu inspirieren. Das Kolloquium wird der Lokalität entsprechend in mariner Umgebung durchgeführt und neben dem wissenschaftlichen Austausch von gemeinsamen ansprechenden Aktivitäten begleitet werden. Informationen, Anmeldung und der Zugang zum Doktorandenkolloquium 2023 werden in der DAGEB-Website integriert sein.

Folgende Termine und Fristen sind derzeit festgelegt:  
Anmeldung zur Tagung bis 7. September 2023

Anmeldegebühr:

DAGEB-Mitglieder: 75 EUR

Nichtmitglieder: 150 EUR

Doktoranden, die auch an der D-A-CH-Tagung teilnehmen möchten, müssen nur den Differenzbetrag zur Tagungsgebühr bezahlen.

[www.dgeb.org/events/doktorandenkolloquium](http://www.dgeb.org/events/doktorandenkolloquium)

## VDI-Tagung Baudynamik 2025

Wir freuen uns, Ihnen hiermit die nächste VDI-Tagung Baudynamik vom 2. bis 3. April 2025 ankündigen zu können.

Die Besucherinnen und Besucher der Tagung bekommen einen Einblick über den aktuellen Kenntnisstand bei der Ermittlung, Beurteilung und Minderung dynamischer Beanspruchungen von Gebäuden. Zudem werden Informationen zu Themen wie Minderungsmaßnahmen, Rechenmodelle und -verfahren oder modernen Erschütterungsschutz an Schiene, Brücke und Gebäude gegeben. Sie werden wieder die Möglichkeit haben mit renommierten Vertreterinnen und Vertretern aus der Wissenschaft und Praxis zu diskutieren und können die Veranstaltung nutzen, um Ihr berufliches Netzwerk auszubauen und neue Kontakte zu knüpfen und alte zu pflegen.

Nähere Informationen finden Sie im Internet und werden wir Ihnen an dieser Stelle rechtzeitig zur Verfügung stellen.

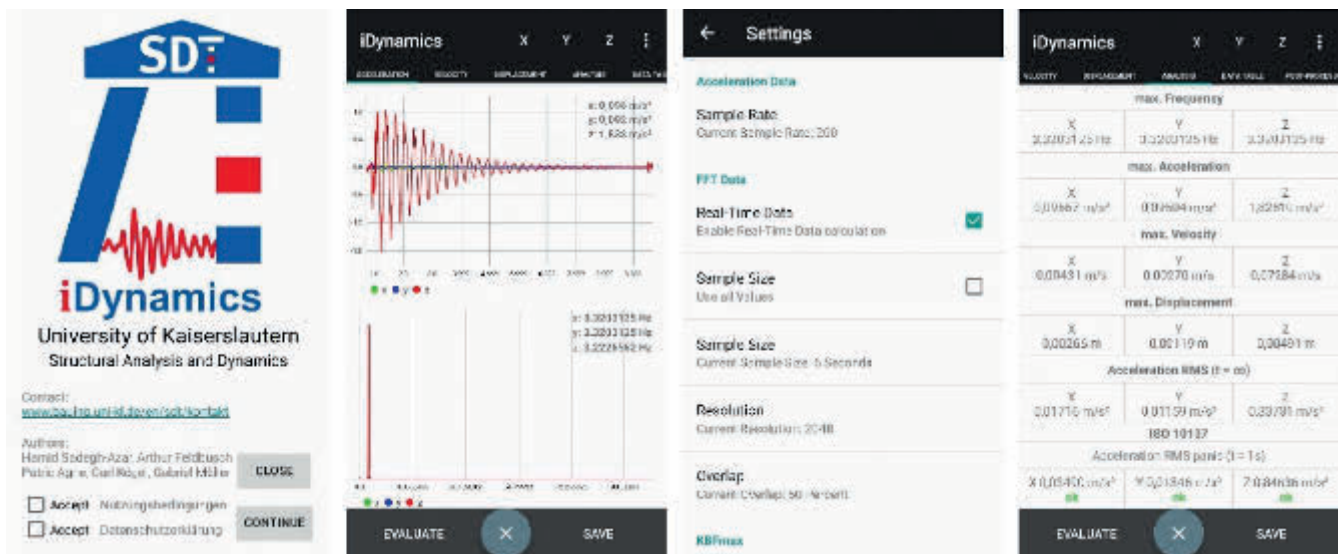
## 18. Europäische Konferenz für Erdbebeningenieurwesen 2026



Wir freuen uns ebenfalls mitteilen zu können, dass der DAGEB die kommende 18. Europäische Konferenz für Erdbebeningenieurwesen vom 14. bis 18. September 2026 ausrichten darf. Am Tagungsort Berlin konnte die TU Berlin für die Ausrichtung gewonnen werden. Mit den Planungen zur Tagung werden die entsprechenden Ankündigungen im Mitteilungsblatt publiziert.

# Schwingungsuntersuchung mit dem Smartphone und Tablet

N. Elias, H. Sadegh-Azar



**Bild 1.** links: Begrüßungsbildschirm mit Lizenzbedingungen; Mitte links: Messungsoberfläche nach der Messung; Mitte rechts: Einstellungsmöglichkeiten; rechts: Beurteilung der Messergebnisse. *Grafik: eigene Darstellung*

In den letzten Jahren haben Smartphones und Tablets in vielen Bereichen unseres Alltags Eingang gefunden. Die Hardware von diesen mobilen Endgeräten ist mittlerweile so weit entwickelt, dass die Sensibilität der verbauten Sensoren ausreicht, um semiprofessionelle Schwingungsmessungen durchzuführen. Der Lehrstuhl Statik und Dynamik der Tragwerke der Technischen Universität Kaiserslautern machte sich diesen Umstand zu Nutze und entwickelte hierfür die „iDynamics“ App.

In dieser App wird während der Messung neben dem Beschleunigungszeitverlauf auch das Fourierspektrum der Signalaufzeichnung berechnet und dargestellt. Durch integrierte Auswertungsmodule kann die App zudem für strukturdynamische Systemidentifikation (z. B. Bestimmung der Frequenz und Dämpfung) und Zustandsüberwachungen „Structural Health Monitoring“ eingesetzt werden. Änderungen der dynamischen Eigenschaften der Struktur können mithilfe der App detektiert und ausgewertet werden. Integriert sind außerdem die Ermittlung der bewerteten Schwingstärke gemäß DIN 4150-2 (Erschütterung im Bauwesen – Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, [1]) und die Einordnung in Komfortklassen nach der VDI 2038 (Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei dynamischen Einwirkungen, [2]). Konkret bedeutet dies für den Anwender, dass er vor Ort Resonanzprobleme schwingungsanfälliger Bauwerke abschätzen, unzu-

lässige Schwingamplituden detektieren und durch Änderungen in den Eigenfrequenzen von Bauteilen auf mögliche Schäden schließen kann.

Eine vollwertige Version der „iDynamics“ App steht im Google Play Store und iOS App Store zur Verfügung. Nach Bestätigung der Lizenzbedingungen ist die Anwendung einsatzbereit (**Bild 1**).

## Die App im Einsatz

Die vielseitigen Einsatzmöglichkeiten sowie Grenzen der „iDynamics“ App wurden durch praktische Anwendung ausgelotet [3]. Als beispielhafte Anwendung wurde eine Messung an einer Fußgängerbrücke an der TU Kaiserslautern durchgeführt (**Bild 2**). Dabei erfolgte zudem ein Vergleich von hochsensiblen professionellem Messequipment zu zwei Smartphones mit unterschiedlichem Baujahr.

Es konnten direkt zwei Eigenfrequenzen der Brücke sowohl in den Messungen mit der „iDynamics“ App als auch in den Messungen mit professionellem Equipment identifiziert werden.

Um den immer höher werdenden Ansprüchen von Nutzern und Apps gerecht zu werden, werden neben der Leistungssteigerung der Prozessoren und der Erhöhungen der Speicherkapazitäten auch andere Hardwarekomponenten, wie Beschleunigungs-

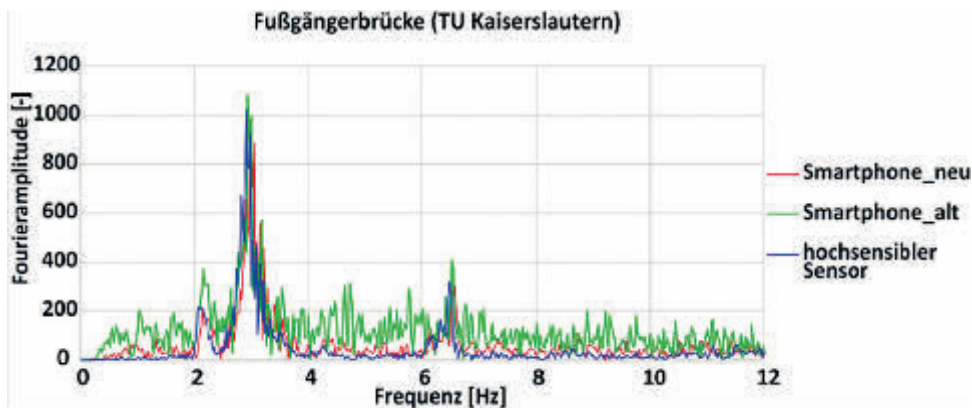


Bild 2. Fußgängerbrücke (TU Kaiserslautern) und Fourierspektrum infolge Fußgängeranregung. Foto/Grafik: eigene Darstellung

sensoren und Gyroskope stetig verbessert. Daraus ergibt sich, dass in der Zukunft immer präzisere Schwingungsmessungen mit dem Smartphone oder Tablet möglich sein werden.

#### L i t e r a t u r

- [1] DIN 4150-2: Erschütterungen im Bauwesen – Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden. Juni 1999.
- [2] VDI 2038 Blatt 2: Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken bei baulastdynamischen Einwirkungen. Januar 2013.
- [3] Feldbusch A.; Sadegh-Azar H.; Agne P.: Schwingungsanalyse mit Smartphone und Tablet („iDynamics“ App). In: D-A-CH-Tagung: Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik 17 (2017), S. 447–458, Weimar.
- [4] Stavrou, S.; Sadegh-Azar, H.: Schwingungsmessungen mit Smartphone und Tablet. In: Der Bausachverständige 18 (2022), Heft 1, S. 39–42.
- [5] Feldbusch, A.; Agne, P.; Sadegh-Azar, H.: Schwingungsmessungen, Systemidentifikation und Strukturüberwachung mit Smartphone und Tablet, VDI-Berichte Nr. 2321, Würzburg, April 2018.

- [6] Feldbusch, A.; Sadegh-Azar, H.; Agne, P.: Vibration analysis using mobile devices (smartphones or tablets). In: Procedia Engineering, Vol. 199 (2017), pp. 2790–2795.
- [7] Sadegh-Azar, H.; Feldbusch, A.; Agne, P.; Kögel, C.: Schwingungsuntersuchung mit dem Smartphone und Tablet. In: Bauingenieur, 92 (2017), Heft 5, S. 200–211. doi.org/10.37544/0005-6650-2017-05.



**Ing. Nouman Elias**

nouman.elias@bauing.uni-kl.de  
Technische Universität Kaiserslautern  
Fachgebiet Statik und Dynamik der Tragwerke  
Paul-Ehrlich-Str. 14, 67663 Kaiserslautern

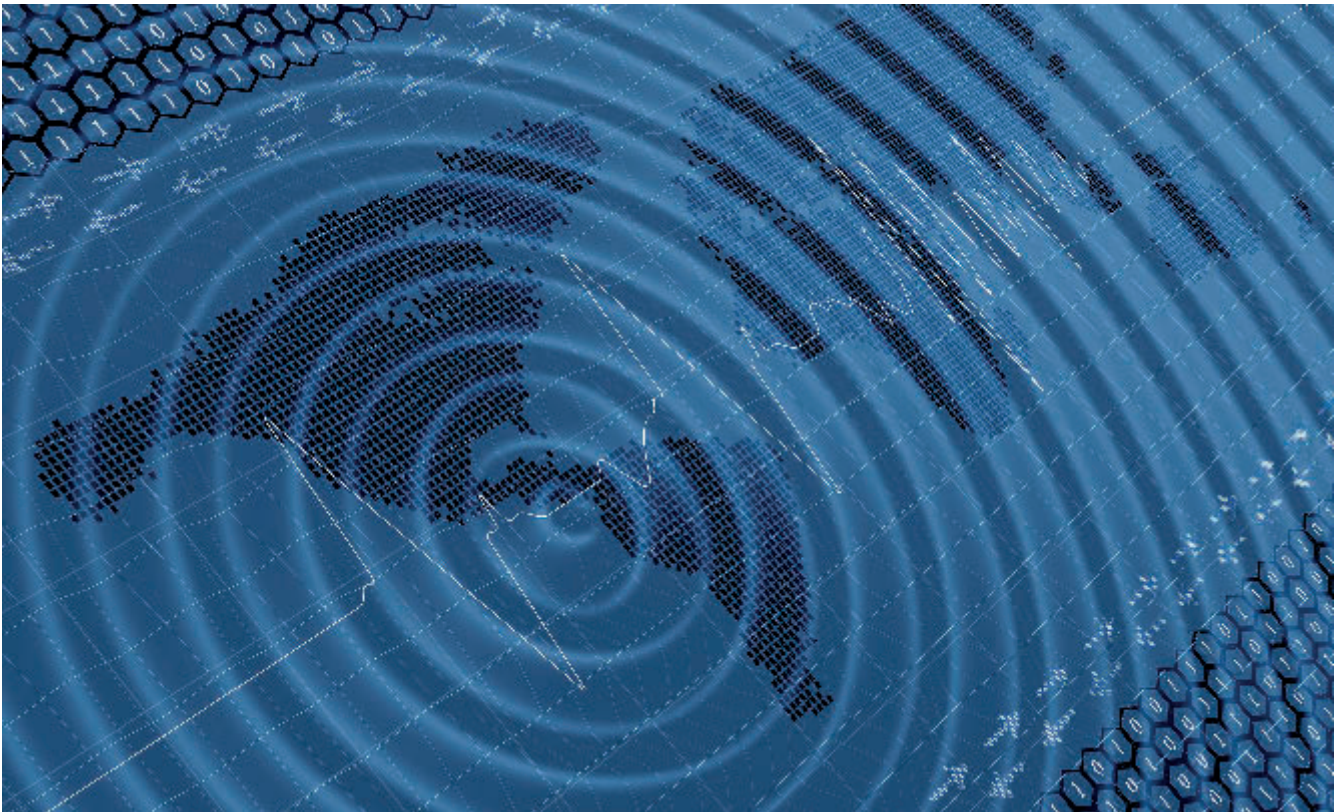
Foto: Privat



**Prof. Dr.-Ing. Hamid Sadegh-Azar**

hamid.sadegh-azar@bauing.uni-kl.de  
Technische Universität Kaiserslautern  
Fachgebiet Statik und Dynamik der Tragwerke  
Paul-Ehrlich-Str. 14, 67663, Kaiserslautern

Foto: eigenes Bild



KI findet Einsatz im Erdbebeningenieurwesen. Grafik: iStock

# Künstliche Intelligenz im Erdbebeningenieurwesen

K. Goldschmidt, H. Sadegh-Azar

Probabilistische Verfahren sind heutzutage fest verankert im Erdbebeningenieurwesen. Für die Bewertung von Gebäuden ist hierbei die seismische Fragilitätsanalyse grundlegend. Am Fachgebiet Statik und Dynamik der Tragwerke der Technischen Universität Kaiserslautern werden Methoden der künstlichen Intelligenz zur Anwendung in der seismischen Fragilitätsanalyse untersucht. Hierbei wird die strukturelle Schädigung anhand einer Erdbebeneinwirkung vorhergesagt. In der seismischen Fragilitätsanalyse wird für eine Vielzahl an Erdbebeneinwirkungen die Schädigung eines Gebäudes bestimmt, um anschließend die Versagenswahrscheinlichkeit der Struktur in Abhängigkeit eines seismischen Intensitätsparameters zu beschreiben. Dies erfordert generell eine Vielzahl an dynamischen nicht-linearen Berechnungen, welche zeitaufwendig sind.

## Muster in Datensätzen erkennen

Das maschinelle Lernen ist ein Teilgebiet der künstlichen Intelligenz, bei dem statistische Modelle erzeugt werden, welche Muster in Datensätzen erkennen können und hieran die Zusammenhänge abbilden. Hierzu werden unterschiedliche künstliche neuronale Netze verwendet, welche besonders geeignet sind, Muster in Datensätzen zu erkennen. Dies kann dabei sowohl für

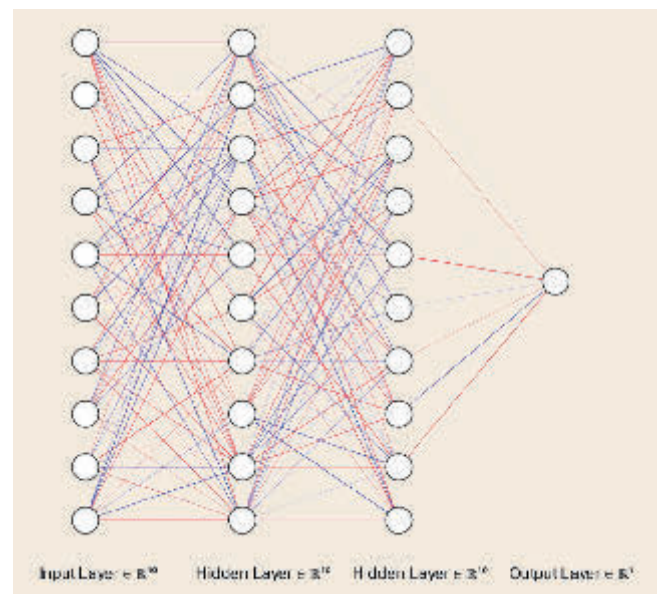
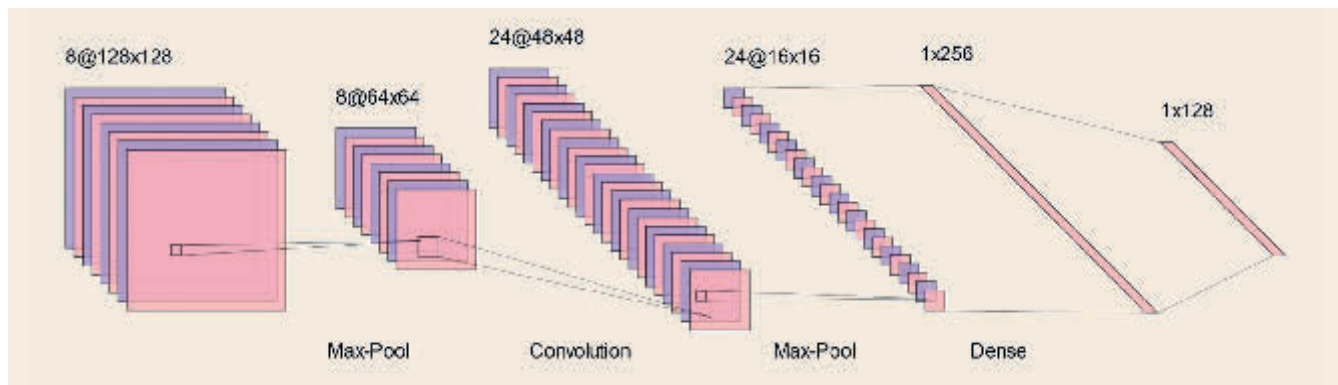


Bild 1. Schematischer Aufbau eines künstlichen Neuronales Netzes mit zwei versteckten Layern, welches zur Vorhersage der Gebäudeschädigung anhand von seismischen Intensitätsparametern verwendet werden kann. Grafik.: [7]



**Bild 2.** Schematischer Aufbau eines Convolutional Neural Networks zur Auswertung von Bilddaten. Grafik: [7]

vereinfachte dynamische Modelle wie zum Beispiel Einmassenschwinger und Mehrmassenschwinger als auch nicht-lineare dynamische Finite-Element-Modelle unterschiedlicher Komplexität oder Experimentelle und reale Messergebnisse angewendet werden.

In der seismischen Fragilitätsanalyse können diese Verfahren angewendet werden, um die Anzahl benötigter Simulationen zu reduzieren, womit eine höhere Komplexität der nicht-linearen dynamischen Modelle bei gleichem Zeitaufwand ermöglicht werden kann.

## KI trainieren

Grundsätzlich sind hierbei zwei unterschiedliche Ansätze zu unterscheiden. Durch einfache künstliche neuronale Netze (ANN) (**Bild 1**) werden ausgehend von seismischen Intensitätsparametern und auch strukturellen Parametern die Gebäudeschädigung anhand eines Schädigungsparameters vorhergesagt [1-5]. Die Reduktion auf Parameter erlaubt ein schnelles Training der ANNs. Alternativ können Rekurrente Neuronale Netze (RNN) [6] oder Convolutional Neural Networks (CNN) (**Bild 2**) herangezogen werden, um anhand der Erdbebenzeitverläufe den Schädigungszeitverlauf der Struktur zu bestimmen. Dieses Verfahren ist zwar komplexer und erfordert längere Trainingszeiten, gleichzeitig können die vorhergesagten Zeitverläufe für Etagenantwortspektren herangezogen werden. Außerdem entfällt die Abstraktion des Erdbebens durch seismische Intensitätsparameter.

Der Vorteil der künstlichen Intelligenz im Erdbebeningenieurwesen liegt dabei nicht nur in einer Zeitersparnis, sondern erlaubt auch die Anwendung komplexerer Verfahren, welche bisher aufgrund vieler nicht-linearer Berechnungen nicht praxistauglich waren.

## Literatur

- [1] *Mashmouli, M.; Goldschmidt, K.; Steinel, L. et al.*: Application of Neural Networks in Seismic Response Prediction of Structures. In: SEE8 8<sup>th</sup> International Conference on Seismology and Earthquake Engineering, Tehran, 2019.

- [2] *Goldschmidt, K.; Mahsmouli, M.; Schneider, L. et al.*: Methoden der Künstlichen Intelligenz zur Bestimmung der Erdbebenschädigung. In: 16. D-A-CH Tagung Erdbebeningenieurwesen & Baudynamik 2019, Innsbruck, 2019.
- [3] *Mahsmouli, M.; Goldschmidt, K.; Steinel, L. et al.*: Application of Neural Networks in Seismic Response Prediction of Structures. In: 16. D-A-CH Tagung Erdbebeningenieurwesen & Baudynamik 2019, Innsbruck, 2019.
- [4] *Goldschmidt, K.; Mohtasham Miavaghi, M.; Sadegh-Azar, H.*: Auswahl relevanter ingenieurseismologischer Parameter mithilfe künstlicher Neuronaler Netze. In: 7. VDI-Fachtagung Baudynamik 2022, Würzburg, 2022.
- [5] *Goldschmidt, K.; Mohtasham Miavaghi, M.; H. Sadegh-Azar, H.*: Relevant intensity measures for seismic damage prediction with artificial neural networks. In: SMiRT 26<sup>th</sup> International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology, Potsdam, 2022.
- [6] *Goldschmidt, K.; Mohtasham Miavaghi, M.; H. Sadegh-Azar, H.*: Long Short-Term Memory Networks for prediction of earthquake demand parameter time series in seismic fragility analysis. In: *Arion, C., Scupin, A., Țigănescu, A.* (eds.): Proceedings of the 3<sup>rd</sup> European Conference on Earthquake Engineering & Seismology September 4–9, 2022, Bucharest, Romania, 2022, pp. 1978–1982.
- [7] *LeNail, A.*: NN-SVG: Publication-Ready Neural Network Architecture Schematics. In: *Journal of Open Source Software*, Vol. 33 (2019), Iss. 4, p. 747. doi.org/10.21105/joss.00747.



**Dipl.-Ing.  
Konstantin Goldschmidt**

konstantin.goldschmidt@bauing.uni-kl.de

Foto: eigenes Bild

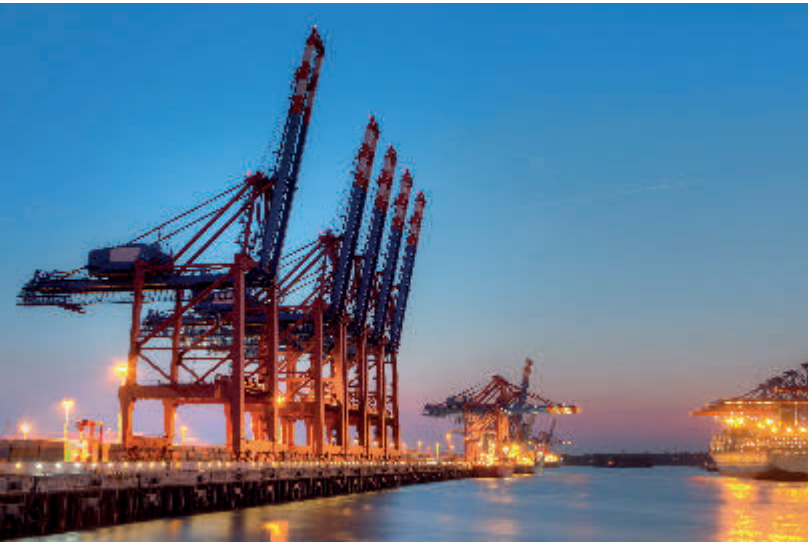


**Prof. Dr.-Ing.  
Hamid Sadegh-Azar**

hamid.sadegh-azar@bauing.uni-kl.de

Foto: eigenes Bild

Technische Universität Kaiserslautern  
Fachgebiet Statik und Dynamik der Tragwerke  
Paul-Ehrlich-Str. 14, 67663, Kaiserslautern



Die TU Kaiserslautern forscht nach neuen Ansätzen für die Erdbebenauslegung mobiler Großgeräte. Fotos: iStock

# Erdbebenauslegung mobiler Großgeräte

H. Sadegh-Azar, M. Kloos

Die Bedürfnisse der Gesellschaft nach Rohstoff- und Warenversorgung wachsen stetig, wodurch es immer größere Mengen an Gütern gibt, die exportiert und importiert werden müssen. Hierdurch steigen auch die erforderlichen Transportkapazitäten durch Eisenbahn und Schiffe. Verständlicherweise wachsen somit auch die Großgeräte wie zum Beispiel Container-Hafenkräne und Schaufelradförderanlagen, die essenzieller Bestandteil des Kreislaufes sind. Mittlerweile sind moderne mobile Großgeräte einige Dimensionen größer als deren ursprüngliche Generationen, was sie schwerer und anfälliger für Beschädigungen während Erdbebenereignissen macht. In der nahen Vergangenheit gab es Fälle, in denen Erdbeben in Hafenstädten neben menschlichen Opfern auch enorme Schäden an Container-Hafenkränen verursacht haben. Nicht nur, dass der Austausch der Großgeräte viel Zeit in Anspruch nimmt, werden zudem deutliche wirtschaftliche Einschränkungen verursacht. Diese Einschränkungen können zu Unterbrechungen der Lieferketten und Energieversorgung führen. Zwar ist die Thematik der erdbebengerechten Auslegung von Tragwerken weitestgehend geklärt und in den Normen und Richtlinien beschrieben, jedoch stellen mobile Großgeräte eine andere Art von Struktur dar. Die Möglichkeit von den Schienen beziehungsweise vom Untergrund abzuheben und zu schaukeln oder zu rutschen, macht diese Strukturen im Thema Erdbebenauslegung speziell. Hierfür gibt es international kaum wissenschaftlich gestützte Normen. Einige Länder verweisen für die Erdbebenauslegung von mobilen Großgeräten auf bestimmte Vorgaben, jedoch basieren diese nur auf Beobachtungen von Schäden von früheren Erdbebenereignissen. Die Einhaltung dieser Vorgaben macht den Bau von mobilen Großgeräten sehr unwirtschaftlich und angesichts der fehlenden dynamischen Analysen ist die Wirksamkeit dieser Auslegungsansätze nicht wissenschaftlich gestützt.

Am Fachgebiet Statik und Dynamik der Technischen Universität Kaiserslautern haben wir es uns deshalb zur Aufgabe gemacht, nach neuen Ansätzen für die Erdbebenauslegung mobiler Großgeräte zu forschen, welche in der Industrie einfach anwendbar sind. Wir sind auf der Suche nach möglichen einfachen dynamischen Modellen und Rechenansätzen die das seismische Verhalten mobiler Großgeräte recht genau widerspiegeln. Ziel ist es, anhand dieser vereinfachten Ansätze ein breites Band an verschiedenen Arten mobiler Großgeräte zu erfassen und somit in der Lage zu sein, sichere Aussagen bezüglich deren Stabilität und Resilienz während Erdbebeneinwirkungen zu treffen. ■



**Prof. Dr.-Ing. Hamid Sadegh-Azar**

hamid.sadegh-azar@bauing.uni-kl.de  
Technische Universität Kaiserslautern  
Fachgebiet Statik und Dynamik der Tragwerke  
Paul-Ehrlich-Str. 14, 67663 Kaiserslautern

Foto: eigenes Bild



**Mirjam Kloos**

thyssenkrupp Mining Technologies GmbH  
Stockyard and Port Systems Rohrbach  
Ernst-Heckel-Straße 4, 66386 St. Ingbert

Foto: Privat



# Entwicklung eines fortschrittlichen Ansatzes für die Bewertung des seismischen Risikos der europäischen Kernkraftwerke

K. Goldschmidt, M. Zouatine, H. Sadegh-Azar

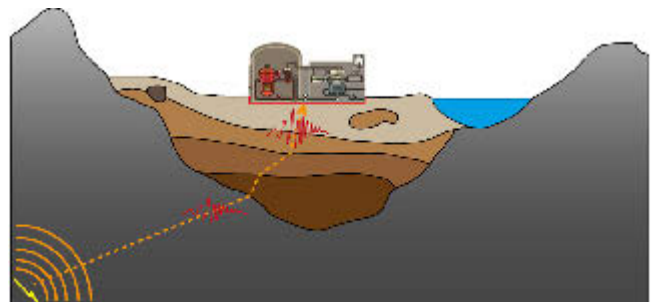
Mit dem atomaren Unfall im Jahr 2011 in Fukushima, Japan wuchs die Sorge der nuklearen Sicherheit und die Suche nach Lösungen für einen sicheren Langzeitbetrieb der bestehenden europäischen Kernkraftwerke. Im Rahmen des EU geförderten Forschungsprojektes „MEthods and Tools Innovations for Seismic risk assessment (METIS)-H2020“ [1, 2] werden die Ansätze für die Beurteilung der seismischen Sicherheit von Kernkraftwerken in Europa weiterentwickelt. Mit diesem Projekt soll die Methodik der seismischen probabilistischen Sicherheitsbewertung verbessert und Open-Source-Werkzeuge entwickelt werden. Dabei werden die Bedürfnisse der Industrie und Erkenntnisse aus der Wissenschaft in den Bereichen Erdbebeningenieurwesen sowie Datenanalyse berücksichtigt. In diesem Zusammenhang entwickelt METIS weitere Validierungsstrategien für fortgeschrittene Berechnungsmodelle und -werkzeuge. Sowohl probabilistische als auch deterministische Bewertungen werden in einem umfassenden Gesamtrahmen für die Bewertung seismischer Risiken behandelt.

METIS ist ein von der EU finanziertes Projekt im Rahmen des Horizon 2020 Programms für Forschung und Innovation mit einer Laufzeit von vier Jahren. Das Projekt wird von einem internationalen Konsortium durchgeführt, dem 13 europäische Partner sowie drei internationale Organisationen angehören. Das Konsortium bringt Universitäten, Forschungsorganisationen und Industrieunternehmen zusammen, um ein ideales Umfeld für Forschung, Entwicklung sowie deren Verbreitung und Anwendung durch Endnutzer zu schaffen. Die fortschrittlichen Verfahren und Methoden, die von METIS entwickelt werden, werden in moderne, hochleistungsfähige Open-Source-Programme wie OpenQuake, code\_aster/salome\_meca, OpenSees und SCRAM der Allgemeinheit zur Verfügung gestellt. Ein weiterer Teil des Projektes ist der Wissenstransfer und die Weiterbildung der neuen Generation an Fachpersonal im Bereich seismische Sicherheitsanalyse von Kernkraftwerken. Im Laufe des Projektes werden 16 Seminare und Softwaretrainings in ganz Europa veranstaltet, um die Grundlagen und neuen Erkenntnisse an die nächste Generation weiter zu geben.

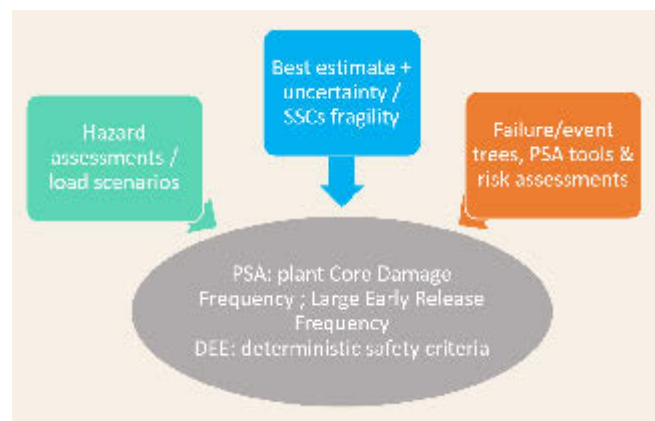
Das Institut für Statik und Dynamik der Technischen Universität Kaiserslautern wird das Arbeitspaket zu Auslegungsüberschreitung und Fragilitätsanalyse leiten. Hierbei wird der gesamte gebäudespezifische Teil der probabilistischen seismischen Gefährdungsanalyse koordiniert. Beginnend bei der Auswahl eines geeigneten Testfalls werden relevante Strukturen definiert und FE-Modelle erzeugt sowie vereinfachte Ansätze [3, 4] untersucht. Im Anschluss werden die epistemischen und aleatorischen Unsicherheiten quantifiziert, der Einfluss von Nachbeben auf Gebäude und Komponenten untersucht sowie Normen und Bemessungsverfahren auf den aktuellen Stand der Technik gebracht. Zudem



Projektlogo des Forschungsprojektes „MEthods and Tools Innovations for Seismic risk assessment (METIS)-H2020“. Grafik: Eigene Darstellung



Schematische Darstellung der Ausbreitung einer seismischen Einwirkung durch Gestein und Boden zum Bauwerk. Grafik: Eigene Darstellung



Komponenten der seismischen Gefährdungsanalyse von Kernkraftwerke. Grafik: Eigene Darstellung

beteiligt sich das Fachgebiet an weiteren Arbeitspaketen zu den Aufgabengebieten Weiterbildung und Forschung zur seismischen Gefährdung, multidimensionale Fragilitäts- und Risikobewertung struktureller und nicht-struktureller Komponenten.

Als Grundlage der Strukturen dienen bei dieser Untersuchung das ukrainische Kernkraftwerk Saporischschja, welches mit einer Nettoleistung von 54 700 MW aus sechs Reaktorblöcken das leistungsstärkste in Europa ist und zu den leistungsstärksten weltweit zählt. Um die Erdbebensicherheit der Strukturen besser bewerten zu können, wird die Struktur in Zusammenhang mit ei-



Die Projektbeteiligten des Forschungsprojektes "METHods and Tools Innovations for Seismic risk assessment (METIS)-H2020". Grafik: Eigene Darstellung

nem fiktiven Standort in Italien untersucht. Die wesentlich höhere Erdbebengefährdung in Italien erlaubt den beteiligten Ingenieuren eine tiefer gehende Untersuchung der Erdbebensicherheit weit über die Designgrenzen der Strukturen und Komponenten hinaus.

Infolge der neu entwickelten Methoden wird es möglich sein, Sicherheiten gegen eine Erdbebeneinwirkung mit einer neuen Genauigkeit und unter Berücksichtigung detaillierterer Effekte zu bewerten, um somit einen erheblichen Beitrag zur Sicherheit kritischer Infrastrukturen in Europa zu liefern.

<https://metis-h2020.eu/>



Teilnehmer beim Projekttreffen 2021 in Pavia, Italien.  
Foto: Eigene Darstellung



Blöcke 1 und 2 des Kernkraftwerk Saporischschja welches im Rahmen der Fallstudie betrachtet wird. Foto: Denamax, Wikimedia, CC BY-SA 4.0 [5]

Literatur

- [1] Zentner, I.; Pagani, M.; Bazzurro, P.; Goldschmidt, K.; Sevbo, O.: Euratom METIS – Innovation in Methods and Tools for Seismic Risk Assessment. In: Closing Symposium SIGMA-2, Avignon, 2022.
- [2] Goldschmidt, K.; Sadegh-Azar, H.; Sevbo, O. et al.: Innovative approaches for Seismic Fragility Analysis within METIS project. In: SMiRT 26<sup>th</sup> International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology, Potsdam, 2022.
- [3] Goldschmidt, K.; Mohtasham Miavaghi, M.; H. Sadegh-Azar, H.: Relevant intensity measures for seismic damage prediction with artificial neural networks. In: SMiRT 26<sup>th</sup> International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology, Potsdam, 2022.
- [4] Goldschmidt, K.; Mohtasham Miavaghi, M.; H. Sadegh-Azar, H.: Long Short-Term Memory Networks for prediction of earthquake demand parameter time series in seismic fragility analysis. In: Arion, C., Scupin, A., Țigănescu, A. (eds.): Proceedings of the 3<sup>rd</sup> European Conference on Earthquake Engineering & Seismology September 4–9, 2022, Bucharest, Romania, 2022, S. 1978–1982.
- [5] DENAMAX: : Первый и второй энергоблоки, CC BY-SA 4.0, 2015, com mons.wikimedia.org/wiki/ File:Энергопарк\_-\_станция.jpg [Zugriff am: 12.09.2022]



Dipl.-Ing. Konstantin Goldschmidt

konstantin.goldschmidt@bauing.uni-kl.de

Foto: eigenes Bild



Mohamed Zouatine, M.Sc.

mohamed.zouatine@bauing.uni-kl.de

Foto: eigenes Bild



Prof. Dr.-Ing. Hamid Sadegh-Azar

Foto: eigenes Bild

hamid.sadegh-azar@bauing.uni-kl.de  
Technische Universität Kaiserslautern  
Fachgebiet Statik und Dynamik der Tragwerke  
Paul-Ehrlich-Str. 14, 67663, Kaiserslautern

# Erdbebenserie in der Grenzregion Türkei-Syrien: Fragen und erste Erkenntnisse

J. Schwarz, L. Abrahamczyk, M. C. Genes

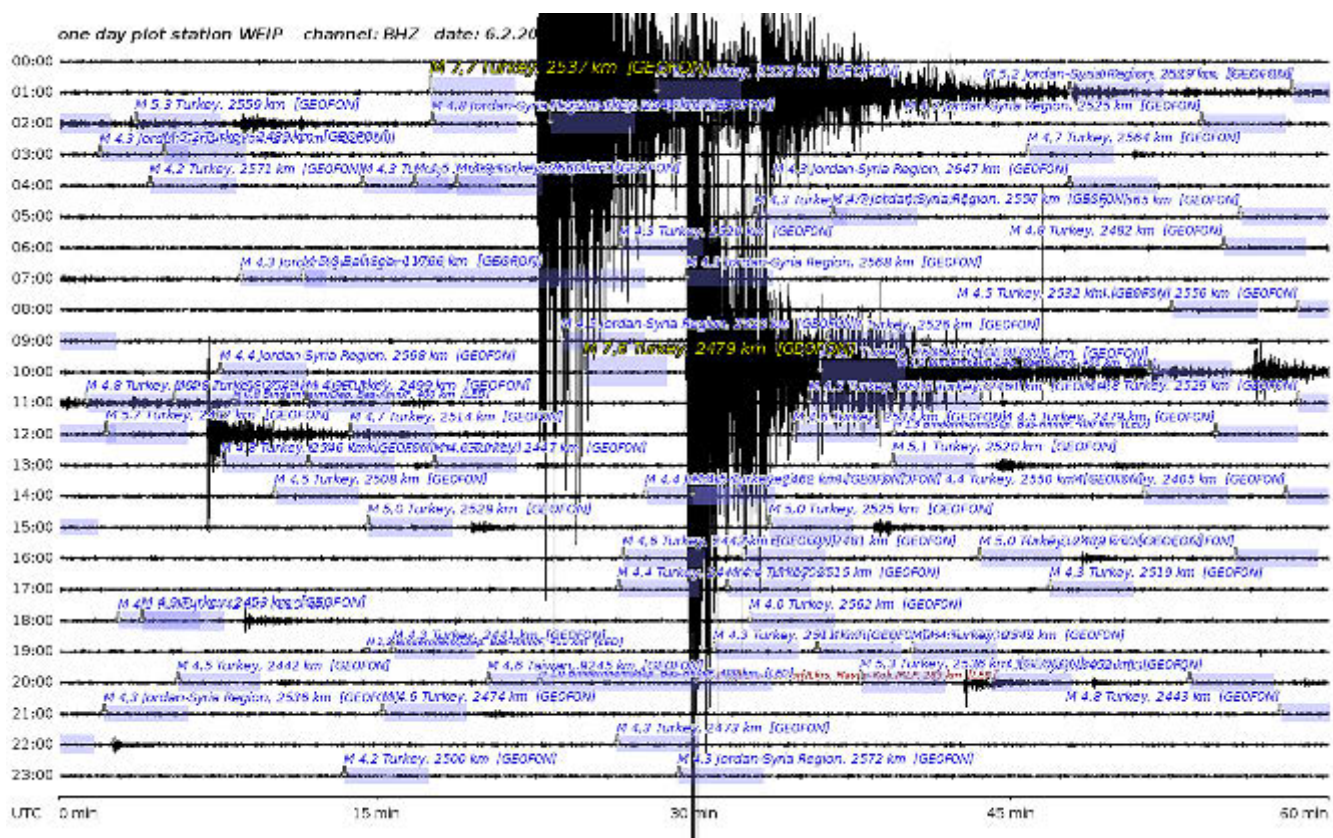


Bild 1. Tages-Plot der seismischen Station in der Parkhöhle Weimar vom 06.02.2023. Grafik: <https://edac.biz/aktuelles/seismische-station-weimar>

## Vorbemerkungen

Die schweren Erdbeben in der Türkei und Syrien sind Anlass, auf langjährige Arbeiten in der betroffenen Region zurückzukommen, aktuelle Fragen für das Erdbebeningenieurwesen aufzuwerfen und auf ambitioniert gestaltete Forschungsvorhaben einzugehen, die zur Frühwarnung vor Erdbeben beitragen sollten.

Das Kahramanmaraş – Gaziantep (Türkiye) Erdbeben am 06. Februar 2023 (04:17 GMT+03:00) ist durch die Sequenz von drei starken Ereignissen gekennzeichnet. **Bild 1** zeigt den Tagesplot der von EDAC betriebenen Station in der Parkhöhle „Stiftung Klassik Weimar“. (Das Erdbeben-Infoterminal wurde 2009 als „90 Jahre Bauhaus“- Projekt vorbereitet und installiert; es steht seitdem der Öffentlichkeit kontinuierlich und betriebsfähig zur Verfügung: <https://edac.biz/aktuelles/seismische-station-weimar>.)

Die Schwere der Erdbeben war bereits an den Registrierungen der Station in Weimar (Bild 1) nachzuvollziehen. Spätestens nach der Abfolge von drei Ereignissen (01:17: M = 7,7; 01:27: M = 6,7; 10:24: M = 7,6) war klar, mit welchen verheerenden Auswirkungen und Nachrichtenbildern in einer Region, die jahrhundertlang in einer Art seismischer Ruhe verharrete, zu rechnen war. Die Betroffenheit war durch die Kenntnis der Situation vor Ort begründet.

Das Zentrum für die Ingenieuranalyse von Erdbebenschäden (EDAC) hat in der Vergangenheit zusammen mit türkischen Kooperationspartnern im Rahmen des Gemeinschaftsprojektes SERAMAR (<https://edac.biz/projekte/seramar>) den Bauwerksbestand der jetzt sehr schwer betroffenen Stadt Antakya zum Stand 2008 vollständig dokumentiert (ca. 22 000 Bauwerke), die Verletzbarkeit gegenüber Erdbebeneinwirkungen

gen bewertet und Schadensprognosen für verschiedene Szenarien vorgelegt.

Der Beitrag dokumentiert die Schäden, die bei den damals instrumentierten Gebäuden jetzt aufgetreten sind. Er spiegelt die Erdbebenserien an den Auswertungen, die im Rahmen der Einsätze der Deutschen Task Force Erdbeben nicht zuletzt nach den beiden starken Erdbeben August und November 1999 durchgeführt wurden. Bereits damals konnten erste Erkenntnisse zur Schadensprogression im Falle von zwei starken, aufeinanderfolgenden Erdbeben gewonnen werden.

Die gestellten Fragen umfassen die Anforderungen an die Bauordnung, künftige Schadensmodelle und geben in der Zusammenschau der gewonnenen Erfahrungen erste Antworten für die unverzichtbare Bauwerkszertifizierung.

Es ist nicht Gegenstand des Beitrages, auf die bereits vorliegenden ersten Dokumentationen zu den gemessenen Bodenbewegungen und die Einordnung in die zonen- und untergrundbezogenen Normspektren oder gar periodenabhängige Abweichungen einzugehen, [1], da die Mehrzahl der betroffenen Gebäude offensichtlich ohne Erdbebenvorkehrungen und/oder ohne Beachtung der geltenden Standards gebaut wurden.

### 1 Erdbeben in der Türkei

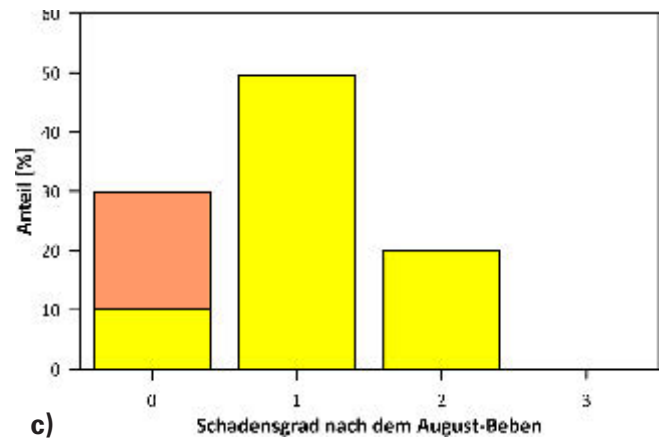
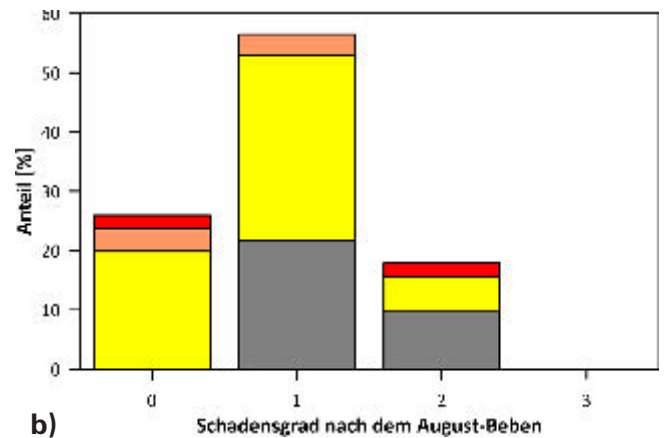
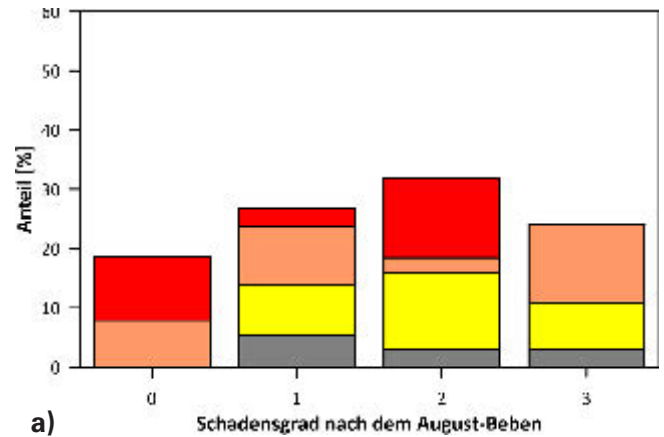
Die Untersuchungen stehen letztlich in Verbindung mit den beiden schweren Erdbeben 1999 (und zuvor 1998 in Adana) und den weiteren Einsätzen der Deutschen Task Force Erdbeben in der Türkei (unter anderem 2002, 2003).

**Frage 1:** Was war bereits aus diesen Erdbeben und der Ingenieuranalyse der Erdbebenschäden zu lernen?

**Antwort:** Bereits beim Adana-Erdbeben 1998 zeigte die Schadenstatistik bei den mehrgeschossigen Stahlbetonrahmensystemen einen signifikanten Einfluss der Geschosskategorie [2, 3] und der Qualität der für die ausfachenden Wände (infills) verwendeten Steinart.

Mit dem Izmit (Kocaeli)-Erdbeben (17. August 1999, Magnitude  $M_s = 7,8$ ) und dem Düzce-Erdbeben (12. November 1999, Magnitude  $M_s = 7,5$ ) gab es erstmals (so zumindest wahrgenommen) zwei schwere Beben, die eine Region teilweise gleichrangig in kurzem Zeitabstand betroffen haben. Im Beitrag [4] konnte demzufolge auch und in dieser Form erstmalig die Schadensprogression in einem überschaubar kleinen Stadtgebiet im Falle vorgeschädigter Gebäude kartiert und nachvollzogen werden. Bild 2 zitiert aus [4] in überarbeiteten Grafiken die Bilder 34b bis 34d und zeigt in den Balkendiagrammen die Schadensprogressionen im Aufnahmegebiet (siehe Bild 33 in [4]) ausgehend vom Schadensgrad nach dem August-Erdbeben.

Die Schadenszunahme wird in Form des Zuwachses des Schadensgrades ( $\Delta D$ ) ausgedrückt, der nach der Bauwerksgruppe differenziert wurde. Wie Bild 2a verdeutlicht, ist der Schadenszuwachs bei Stahlbetonrahmen mit HLZ-Ausfachung besonders ausgeprägt; einige bereits vorgeschädigte Bauwerke erlitten nach dem November-Beben einen partiellen Einsturz (Schadensgrad D4) oder kollabierten vollends (Schadensgrad D5). Bei den anderen Bauweisen dominierte ein Schadenszuwachs um einen Schadensgrad, dabei lag die Vorschädigung oft bei Schadensgrad 1 (Bilder 2b und 2c). Analoge Auswertungen sind für die Erdbebenserie Februar 2022 angesichts der vergleichbaren Erdbebenstärken und dem enormen Ausmaß der Zerstörung nun nur noch durch die Reinterpretation von Luftbildaufnahmen durchführbar.



**Bild 2.** Auswertung Schadensprogression eines Gebietes in Düzce nach dem (zweiten) Beben vom 12.11.1999: a) Stahlbetonrahmen mit HLZ-Ausfachung, b) Stahlbetonrahmen mit VZ-Ausfachung, c) Mauerwerk aus Vollziegel (VZ). Grafik: nach [4]

Die unterschiedlichen Schadensbeobachtungen bei weak und strong infills wurde im Kontext der Interpretation der Schütterwirkungen hingewiesen [5]; die diesbezügliche Sensibilisierung hat zu Forschungsarbeiten (u.a. [6]) in der Folgezeit und we-



**Bild 3.** Schulung von Studierenden der MK-Universität bei der Aufnahme und Bewertung der Gebäude nach Verletzbarkeitsklassen. Fotos: [7], [8]



sentlich zur Europäischen Normenentwicklung beigetragen. Es lohnt sich, in den aktuellen Normen – nicht zuletzt in den Drafts zur 2ten Generation von Eurocode 8 zu verfolgen, wie umfänglich das Problem der (tragenden) Mauerwerkswände mittlerweile behandelt wird.

In nachfolgenden Jahren hat es weitere Erdbeben mit „Ereigniskaskaden“ gegeben (z. B. Van (Türkei)-Erdbeben 2011; Ghorka (Nepal)-Erdbeben 2015 und auch in Europa (Norditalien 2012 u. a.), die von der herkömmlichen „Bemessungssituation“ abwichen. Die eben von einem Bemessungserdbeben und dann einer Reihe schwächerer (nicht mehr destruktiver) Schadensbeben ausgehen. Dieser auslegungphilosophische Grundansatz ist offenkundig im Fall aktivierter und (zuvor) komplex „verzahnter“ Verwerfungen mit Ereigniskaskaden nicht mehr aufrechtzuerhalten.

**Frage 2:** Wie sollten sich unter solchen Bedingungen die Nachweisanforderungen ändern?

**Antwort:** Es ist zumindest darüber nachzudenken, die „Ziel-Verhaltenszustände“ der Gebäude neu zu definieren. Das Instrumentarium ist mit den „Limit oder Performance States“ gegeben. Das heißt, ein Gebäude wäre bei Erwartung von zwei (oder mehreren?) „Hauptbeben“ so zu bemessen, dass es bei dem ersten Beben nur geringe Schäden aufweist und beim zweiten infolge der Schadensprogression im Bereich „Severe Damage (SD)“ oder „Fully Operational (OP)“ ankommt.

Dies sollte für die Bauwerkskategorien allgemeiner Hochbauten und Krankenhäuser sicher modifiziert gehandhabt werden. In jedem Fall wären Gebäude so zwar nicht erdbebensicher aber ereignisgerecht ausgelegt.

## 2 Zur betroffenen Region und dem SERAMAR-Projekt

**Frage 3:** Warum wurde die Region gewählt?

**Antwort:** Die Projektinitiatoren (hinter dem von verschiedenen Projektträgern auf deutscher und türkischer Seite geförderten Vorhaben) hatten nach den beiden Erdbeben in der Türkei von 1999 (s. [4]) im Gegensatz zu anderen Forschungseinrichtungen nicht auf den Großraum Istanbul, sondern bewusst auf die bislang wenig betrachtete Region in der türkisch-syrischen Grenzregion orientiert. Die Richtigkeit der damaligen Entscheidung wurde jetzt leider eindrucksvoll bestätigt.

Projektratgeber war der langjährige Vorsitzende der IAEE Polat Gülkan, der im Hinblick auf die seismologische Besonderheit die fehlende Fokussierung auf diese Region kritisierte und die Notwendigkeit einer breiten Ingenieurqualifikation und die Einbindung der Universität oder Fachkollegen vor Ort als Ziele herausstellte.

Die **Bilder 3** erinnern an die Schulung der Kollegen und Studenten, und die Einbindung der lokalen Universitäten und Experten.

Ergebnisse wurden in einem internationalen Workshop den lokal Verantwortlichen vorgestellt und dabei die Erstellung eines Masterplanes für Antakya und das auch (weitaus größeren) Gaziantep angeregt. Die Arbeiten (u. a. Poster und Fotos vom Workshop vor Ort) sind der oben genannten Internetseite zu entnehmen.

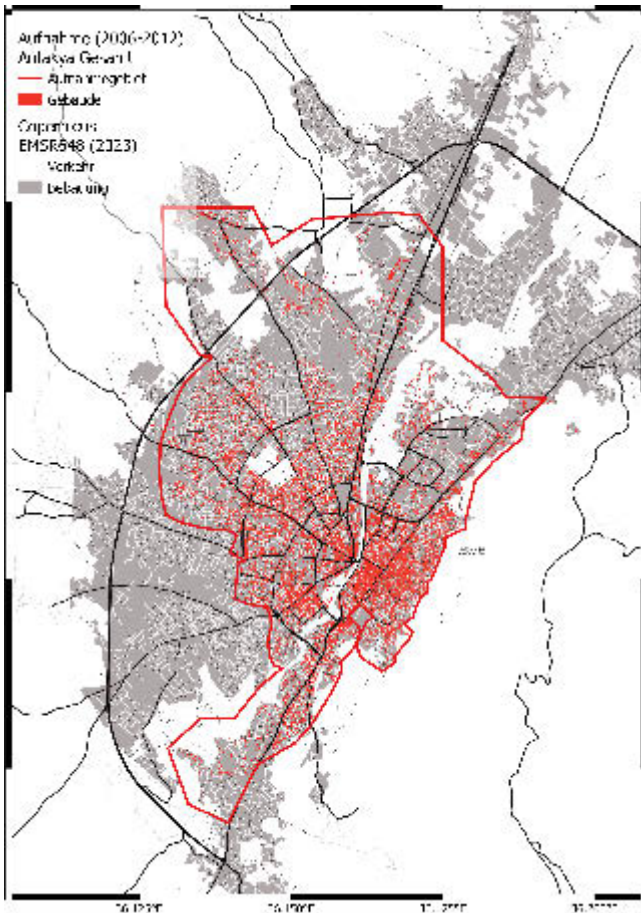
**Frage 4:** Welchen Wert haben die damaligen Auswertungen und wie können die Ergebnisse wie zum Beispiel die Bestandserhebungen und Messungen im Weiteren verwendet werden?

**Antwort:** Es bietet sich jetzt – trotz der Erfolglosigkeit der damaligen Initiativen – die einmalige Gelegenheit, diese unikalen Vorarbeiten, Bestandserhebungen und bereits publizierten Schadensprognosen des SERAMAR-Projektes nochmals in den Fokus der Öffentlichkeit zu rücken oder in laufende Vorhaben zu integrieren.

Der forschungswürdige Ansatz besteht aus Sicht der Autoren darin, das Verhalten vorgeschädigter Bauwerke unter weiteren Starkbeben zu untersuchen und dabei die in Quantität und Qualität einmalige Bandbreite der Schadensgrade von unterschiedlichen Bauweisen unter sehr unterschiedlichen (breit gefächerten) Einwirkungsintensitäten einbeziehen zu können.

Es ist notwendig hervorzuheben, dass sich bereits der im Zeitfenster 2005 bis 2008 erstmals erhobene Bauwerksbestand dramatisch zahlenmäßig erweitert hat. **Bild 4** vermittelt einen Eindruck von dieser rasanten Stadtentwicklung und territorialen Expansion. Es ist nicht auszuschließen, dass gerade diese Stadterweiterung nach 2012 weitgehend unkontrolliert erfolgte.

Im SERAMAR-Projekt wurden verschiedene Szenarien durchgespielt und auf Basis der Schäden auch Prognosen über die zu erwartenden Verletzten und Toten in den aufgenommenen Stadtgebieten kartiert. Diese können auf ihre Belastbarkeit und im Hinblick auf die SHAKEmap-Routinen überprüft werden.



**Bild 4.** Kartierung der Stadtentwicklung von Antakya; Darstellung des Aufnahmegebiets im Rahmen des SERAMAR-Projektes (2006 bis 2012) und der Situation Februar 2023. Grafik: SERAMAR project

Steps	Certificate	Certificate		
		1 Gold	2 Silver	3 Bronze
<b>Vulnerability Assessment</b>				
(1) Field survey and visual inspection of the building		✓	✓	✓
(2) Evaluation of the building documentation I – coarse				✓
(3) Evaluation of the building documentation II – detailed		✓	✓	
(4) Analytical investigation I – based on (2)				✓
(5) Analytical investigation I – based on (3) and (4)		✓	✓	
(6) Instrumental testing and determination of the dynamic building characteristics		✓	✓	
(7) Long-term building monitoring system		✓		
<b>Damage Prognosis</b>				
		✓	✓	

**Bild 5.** Vorschlag zur Gebäude-Zertifizierung auf Basis der durchgeführten Verletzbarkeitsanalysen und Szenarien bezogenen Schadensprognosen Grafik: entnommen aus einem Poster zum Workshop 2010, siehe <https://edac.biz/projekte/seramar>

Teil des SERAMAR-Projektes war die seismische Instrumentierung ausgewählter Gebäude, wobei die Geräte durch Syscom AG großzügig (unentgeltlich) zur Verfügung gestellt wurden. Der mühsame Weg der Instrumentierung lässt sich an den verschiedenen Beiträgen zu Türkischen und Welterdbebenkonferenzen ([9] bis [12]) nachvollziehen.

Die gewonnenen Messdaten der Bauwerksreaktion ermöglichten es, Modellkalibrierungen für belastbare analytische Schadensprognosen vergleichbarer Gebäudetypen vorzunehmen (u.a. [13], [14]). In diesem Kontext wurden quasi die gesamte Palette der Ingenieurinstrumentarien ausgereizt, und es gab konkrete Vorschläge, diese bei Zertifizierung der mehrgeschossigen Stahlbetongebäude zur Anwendung zu bringen (**Bild 5**).

**Frage 5:** Wie haben sich diese instrumentierten, für den Bestand repräsentativen Gebäude verhalten?

**Antwort:** Die in den **Bildern 6** und **Bildern 7** zusammengefassten Fotoübersichten zeigen die drei instrumentierten Stahlbeton- und die zwei ebenfalls instrumentierten Mauerwerksgebäude (Ata Collage und Stadtverwaltung) zum Zeitpunkt der Instrumentierung und – soweit verfügbar und zugänglich – aktuell. Folgende Schadensbeschreibungen liegen von türkischer Seite vor:

Das Schulgebäude (ein Typenprojekt, das bereits beim Bingöl-Erdbeben 2003 durch mehrere Versagensfälle auffiel [15], und danach verstärkt wurde, zeigt lediglich geringe Schäden, woraus geschlussfolgert werden kann, dass einerseits aus den Erfahrungen gelernt wurde und andererseits die Baunormen sachgerecht umgesetzt wurden (Bilder 6a und 6d).

Das 5-geschossige Wohngebäude, das umfangreich untersucht wurde (u.a. [14]) hat die Erdbebenserie überraschend gut überstanden. Die am 3D-Modell durchgeführten Analysen und abgeleiteten Kapazitätskurven bestätigten bereits die zu erwartende Qualität einer ansatzweise erdbebengerechten Auslegung. Detailinspektionen (auch im Gebäudeinneren) werden zeigen, ob diese erste Bewertung aufrechtzuerhalten ist (Bilder 6b und 6e).

Das Krankenhaus, ein mit Tragwänden in beiden Richtungen stabilisiertes Gebäude ist in den weicheren „rahmenstabilisierten“ Mittelbereichen schwer geschädigt und nicht mehr in Betrieb. Detailaufnahmen zeigen die freigelegte Bewehrung und großen Schubrisse und das Totalversagen der nicht-strukturellen Mauerwerksausfachungen (Bilder 6c und 6f).

Die beiden Mauerwerksgebäude zeigen im Verhältnis zu den vielen Stahlbeton-Totaleinstürzen und unter Beachtung der Ereignisstärken aufeinanderfolgender Erdbeben eine zu erwartende Schädigung (bzw. ein Versagen) im oberen Geschoss (Bilder 7c und 7d).

Von allen Gebäuden liegen detaillierte Dokumentationen und Berechnungsmodelle vor, sodass Schadensanalysen mit den Beobachtungen abgeglichen werden können.

### 3 Makroseismische Bewertung, Intensität und SHAKEmaps

Erdbebenherde, Verwerfungen und registrierte Bodenbewegungen (eines dichten Stationsnetzes) sind die maßgeblichen Eingangsgrößen, um SHAKEmaps zu generieren. Die vom USGS in verschiedenen Versionen vorgelegten SHAKEmaps, [1], bestätigen die Probleme, Schüttergebietskarten nach herkömmlichen Punkt- oder Linienmuster des Herdes sowie der Herdzone (Verwerfungslinie) aufzubereiten. Bei der Erdbebenserie sind verschiedene Verwerfungen aktiv geworden. Die final reproduzierten und „prognostizierten“ Schütterwirkungen erklären sich nur aus einer „Krümmung“, die die Beobachtungen aufnimmt, um so letztlich auch die aktivierten Verwerfungszonen anhand der Maximalintensitäten darzustellen. (Auf eine Wiedergabe sei mit Verweis auf [1] verzichtet.)

**Schulgebäude**

a)

**Wohnhaus**

b)

**Krankenhaus**

c)



d)



e)



f)

**Bild 6.** Instrumentierte Stahlbetongebäude in 2006: (a), b), c) und nach der Bebenserie 2022: d), e), f) Fotos: eigene Darstellung

**Frage 6:** Wie sieht die makroseismische Auswertung aus; welche Intensität (EMS) ist zuzuordnen?

**Antwort:** Die makroseismische Karte und Bewertung müsste sich auf die beobachteten Effekte des ersten Hauptbebens beschränken. Es darf von  $I(EMS) = X$  ausgegangen werden. Die Interpretation der Schütterwirkungen am Ende der Ereignisserie würde eine unzutreffend überhöhte Zuordnung bieten. Es sei denn, man entscheidet sich, Karte für Ereigniskaskaden anzubieten und diese als solche zu kennzeichnen.

Übernimmt man die (auf eine Mikroregion beschränkte) Auswertungen von Bild 2, wäre zu konstatieren, dass hier eine „Rückrechnung“ (Anpassung) der Schadensgrade erforderlich wäre.

**Frage 7:** Kann man für diese Form der Ereignisserie eine Schadensprognose liefern?

**Antwort:** Die Prognose ist möglich, wenn sie sich auf den (geschädigten) Zustand der Gebäude nach dem ersten Ereignis bezieht. Das bedeutet rein umsetzungstechnisch, die Verletzbarkeit des Gebäudebestandes ist vorher so zu bewerten, dass sie die Qualität der nun (vor)geschädigten Gebäude aufnimmt und antizipiert. Dieses Vorgehen kann durch ein Vulnerability Adjustment umgesetzt werden.

Die Antwort legt es nahe, sich grundsätzlich mit „Kaskadenerignissen“ systematischer auseinanderzusetzen.

## 4 Früherkennung und Warnung: Rapid Response to Earthquakes (RRE)

In dem EU-Vorhaben TURNkey ([16], <https://earthquake-turnkey.eu>) wurde sich mit der operationellen Erdbebenvorhersage (OEF) als Synonym für eine zeitabhängige Gefährdungsbeurteilung

sowie mit der Erdbebenfrühwarnung (EEW) und ihrem Einsatz sowohl in Echtzeit (während eines Ereignisses) als auch in nahezu Echtzeit bei der schnellen Reaktion auf Erdbebenauswirkungen (RRE) befasst, um die Lücke zwischen theoretischen Systemen und ihrer praktischen Anwendung in Europa zu schließen und um die Entscheidungsträger vor, während und nach einem Erdbeben (Decision Support) zu unterstützen. Im Fokus stand einerseits die Verfeinerung der seismischen Datenerfassung und andererseits ihre Nutzung und Auswertung in einer dafür entwickelten Plattform.

**Frage 8:** Hätte ein solches Instrumentarium Menschenleben retten und die enormen Schäden verhindern können?

**Antwort:** Wie nun von türkischer Seite immer deutlicher und nach Erklärungen fordernd dargestellt wird, ist eine große Anzahl der Gebäude „informell“ und nicht nach den erforderlichen Bauweisen- oder gar Erdbebenstandards ausgelegt oder gebaut worden. Insofern ist ihr Versagen nicht Schicksal, sondern hat Ursachen und Verantwortliche.

Das Beben ereignete sich in der Nacht, das heißt es hat die Bewohner unvorbereitet getroffen. Der Grad ihrer „Erreichbarkeit“ ist sicher als gering einzuschätzen. Denkbar wären sicher Alarmsysteme, für die die technischen Voraussetzungen erst zu schaffen wären.

Die TURNkey-Plattform hätte aber im Vorfeld zur Awareness und vielleicht auch zur Preparedness beigetragen, da sie vom Anwender (hier: der Stadt) abverlangt, den Gebäudebestand darzustellen und zu bewerten. Insofern bedeutet das Angebot und die Verfügbarkeit von Tools, Handlungsdruck ausüben zu können.

**Frage 9:** Wie ist das Missverhältnis zwischen existierenden (mustergültigen) Erdbeben-Baunormen und unzureichender baupraktischer Umsetzung aufzulösen?

### Ata Collage



a)



c)

### Gebäude der Stadtverwaltung



b)



d)

**Bild 7.** Instrumentierte Mauerwerksgebäude vor und nach der Bebenserie 2022. *Fotos: eigene Darstellung*

**Antwort:** Im Rahmen des SERAMAR-Projektes wurde zum Workshop 2010 vorgeschlagen, eine Zertifizierung der Gebäude einzuführen. Dabei sollte die Qualität der Baukontrolle überprüft, die Erdbebentauglichkeit durch verschiedene ingenieurtechnische Untersuchungen nachgewiesen und den Bewohnern ein grundlegendes Risikoverständnis abverlangt werden (Bild 5).

Durch soziologische Studien und die unter Anleitung von Dr. Elke M. Geenen (ISOKIA, Kiel) durchgeführten Befragungen konnte erstmals eine Einschätzung der Resilienz der Bewohner klassifiziert, kartiert und somit mit der Verletzbarkeitsbewertung verschnitten und überlagert werden, [8].

**Frage 10:** Wie sieht es mit der Umsetzung erdbebengerechter Gebäude in Deutschland oder den D-A-CH-Staaten insgesamt aus?

**Antwort:** Bereits im Zusammenhang mit der Einführung des Gelbdruckes zu DIN 4149:2005 wurde eine statistische Erhebung des Gebäudebestandes in den durch Erdbebengebiete ausge-

wiesenen Bundesländer durchgeführt [17]. Sie bestätigt, dass die Mehrzahl der Wohngebäude vor der Einführung der ersten Erdbebenbaunormen errichtet wurden und unter einen Bestandsschutz fallen. Schadenspotenziale für deutsche Erdbebengebiete und den vorhandenen Gebäudebestand können den Beiträgen [18], [19] entnommen werden. Nicht zuletzt die Risikostudie „Erdbeben“ des BBK [20] bestätigt, dass auch in Deutschland ein nicht zu vernachlässigendes Erdbebenrisiko besteht und entsprechend sachlich-informativ kommuniziert werden sollte.

Die Erdbebenserie ist in der Stärke und den Auswirkungen nicht auf die gering- bis moderat-seismischen Erdbebenregionen Deutschlands zu übertragen. Dennoch obliegt es der Ingenieurverantwortung, Gefahren nicht zu verdrängen oder klein zu reden. Erdbebengerecht gebaute Häuser besitzen grundsätzlich Merkmale, die auch gegenüber anderen Naturgefahren grundsätzlich ein höheres Maß an Widerstandsfähigkeit gewährleisten (können).



## DANKSAGUNG

Die Autoren danken Dr.-Ing. Silke Beinersdorf, Dipl.-Ing. Christian Kaufmann, Dipl.-Ing. Tobias Langhammer und Dr.-Ing. Holger Maiwald vom Earthquake Damage Analysis Center (EDAC) für ihre Unterstützung bei der Aktualisierung der SERAMAR-Interseite und der Erstellung der Grafiken zur Erdbebenserie, die wie zum Beispiel die Karte der Verwerfungen und Epizentren oder SHAKEmap-Varianten aus Platzgründen nicht im Beitrag aufgenommen werden konnten.

## HINWEISE

Das nachfolgende Literaturverzeichnis erhebt keinesfalls den Anspruch auf Vollständigkeit. Vielmehr verweisen die Autoren auf den Versuch einer in der Chronologie möglichst umfassenden Auflistung der verschiedenen Beiträge auf der Internetseite <https://edac.biz/projekte/seramar>, um dem SERAMAR-Projekt weiterhin eine fundierte Grundlage für Kommunikation, Werbung, Öffentlichkeit und damit praktische Relevanz zu sichern. Anhand der Beiträge und ihrer Autorinnen und Autoren werden auch die bis dahin beteiligten Institutionen und Kolleginnen und Kollegen gewürdigt.

Letzte Präsentationen wurden zur 17. Weltterdbebenkonferenz 2017 in Chile gegeben, um die Vorgehensweise der Datenerhebung, Bestandsaufnahme und intensitätsbasierten Szenariendurchführung international zu empfehlen und einzuführen. In Bild 4 wurden Daten des Copernicus Emergency Management Service (2023) verwendet.

## Literatur

- [1] *Hancılar, U.; Şeşetyan, K.; Çaktı, E.; et al.*: Kahramanmaraş – Gaziantep Türkiye M7.7 Earthquake, 6 February 2023 (04:17 GMT+03:00): Strong Ground Motion and Building Damage Estimations. Preliminary Report, 16.02.2023 (v6), Boğaziçi University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute; Department of Earthquake Engineering, 2022.
- [2] *Raschke, M.; Wuttke, F.; Wenk, Th.*: Das Adana (Ceyhan) Erdbeben vom 27. Juni 1998. In: D-A-CH Mitteilungsblatt 17.2 (1998).
- [3] *Wenk, Th.; Lacave, C.; Peter, K.*: 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), p. 47.
- [4] *Schwarz, J.; Lang, D.H.; Raschke, M.* (2000): Die Erdbeben in der Türkei am 17.08.1999 und 12.11.1999. Ein Beitrag zur Ingenieuranalyse der Schäden. In: Bautechnik 77 (2000), Heft 5, S. 301–324.
- [5] *Schwarz J.; Abrahamczyk L.; Leipold M. et al.*: Vulnerability assessment and damage description for R.C. frame structures following the EMS-98 principles. In: Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 13 (2015), Iss. 4, pp. 1141–1159.
- [6] *Sigmund, V. et al.*: FRAMED–MAsonry Composites for Modeling and Standardization, FRAMA, International Benchmark within Research Project. Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Croatia, [www.framed-masonry.com](http://www.framed-masonry.com), 2014.
- [7] *Lang, D.H.; Schwarz, J.; Abrahamczyk, L. et al.*: Seismic risk assessment and mitigation in the Antakya-Maras region (Southern Turkey) on the basis of microzonation, vulnerability and preparedness studies (SERAMAR). International Disaster Reduction Conference, Davos, Switzerland, August 27 – September 1, 2006.
- [8] *Abrahamczyk, L.; Schwarz, J.; Langhammer, T. et al.*: Seismic Risk Assessment and Mitigation in the Antakya-Maras Region (SERAMAR): Empirical Studies on the basis of EMS-98. In: Earthquake Spectra, Vol. 29 (2013), Iss. 3, pp. 683–704. doi.org/10.1193/1.4000163.
- [9] *Abrahamczyk, L.; Schwarz, J.; Lang, D.H. et al.*: Building monitoring for seismic risk assessment (I): Instrumentation of RC frame structures as a part of the SERAMAR project. In: Proceedings 14<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, 12–17 October 2008, Abstract ID: 09–01–0140, Beijing, China, 2008.
- [10] *Genes, M.C.; Bıkçe, M.; Kaçın, S. et al.*: Building monitoring for seismic risk assessment (II): instrumental testing of RC frame structures and analytical reinterpretation of response characteristics. In: Proceedings: 14<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, 12–17 October 2008, Abstract ID: 09–01–0140, Beijing, China, 2008.
- [11] *Genes, M.C.; Bıkçe, M.; Kaçın, S. et al.*: Identification of dynamic characteristics of multistory RC structures by combining instrumental and numerical data: case study Antakya, Turkey. In: Proceedings: Earthquake & Tsunami 2009, Istanbul, Turkey, 2009.
- [12] *Genes, M.C.; Erberik, A.M.; Abrahamczyk, L. et al.*: Vulnerability assessment of two instrumented masonry buildings in Antakya (Hatay, Turkey). 10<sup>th</sup> International Congress on Advances in Civil Engineering ACE2012 Middle East Technical University, Cultural and Convention Center, Ankara Turkey, 17–19 October 2012, Paper 1019, 2012.
- [13] *Schwarz, J.; Lang, D.H.; Abrahamczyk, L. et al.*: Seismische Instrumentierung von mehrgeschossigen Stahlbetongebäuden – ein Beitrag zum SERAMAR Projekt. D-A-CH Tagung 2007, Wien, Tagungsberichte, Beitrag 23, S. 14, 2007.
- [14] *Abrahamczyk, L.*: Kenngrößen zur Prognose des Verhaltens von Geschossbauwerken in Erdbebengebieten und Kriterien für den Ertüchtigungsbedarf. Dissertation. Schriftenreihe des Instituts für Konstruktiven Ingenieurbau der Bauhaus-Universität Weimar, Band 24, VDG Weimar, 2014.
- [15] *Schwarz, J.; Abrahamczyk, L.; Lang, D.H. et al.*: Ingenieuranalyse von Erdbebenschäden: Das Bingöl (Türkei) Erdbeben vom 1. Mai 2003. In: Bautechnik 81 (2004), Heft 6, S. 445–460. doi.org/10.1002/bate.200490107.
- [16] TURNkey project 821046-part B. TURNkey general presentation for work packs (WPI), H2020-SC5–2018. 2019.
- [17] *Abrahamczyk, L.; Langhammer, T.; Schwarz, J.*: Erdbebengebiete der Bundesrepublik Deutschland – eine statistische Auswertung. In: Bautechnik 82 (2005), Heft 8, S. 500–507. doi.org/10.1002/bate.200590166.
- [18] *Schwarz, J.; Langhammer, T.; Kaufmann, C.*: Quantifizierung der Schadenspotentiale infolge Erdbeben – Teil 1: Rekonstruktion des Bebens in der Schwäbischen Alb vom 03. September 1978. In: Bautechnik 82 (2005), Heft 8, S. 520–532. doi.org/10.1002/bate.200590170.
- [19] *Schwarz, J.; Langhammer, T.; Kaufmann, C.*: Quantifizierung der Schadenspotentiale infolge Erdbeben (2): Modellstudie Baden-Württemberg. In: Bautechnik 83 (2006), Heft 12, S. 827–841. doi.org/10.1002/bate.200610072.
- [20] Bericht zur Risikoanalyse im Bevölkerungsschutz 2019. „Risikoanalyse Erdbeben“ Unterrichtung durch die Bundesregierung. 19. Wahlperiode. Drucksache 19/23825 vom 21.10.2020.

## Dr. - Ing. Jochen Schwarz



schwarz@uni-weimar.de  
Bauhaus-Universität Weimar  
Fakultät Bauingenieurwesen  
Institut für Konstruktiven Ingenieurbau  
Zentrum für die Ingenieuranalyse für Erdbebenschäden (EDAC)  
Marienstraße 13B, 99423 Weimar

Foto: Privat

## Jun. - Prof. Dr. - Ing. Lars Abrahamczyk



lars.abrahamczyk@uni-weimar.de  
Bauhaus-Universität Weimar  
Fakultät Bauingenieurwesen  
Institut für Konstruktiven Ingenieurbau  
Professur Komplexe Tragwerke  
Marienstraße 7A, 99423 Weimar

Foto: Privat

## Assoc. Prof. Dr. Mehmet Cemal Genes



cemal.genes@emu.edu.tr  
Eastern Mediterranean University (EMU)  
Civil Engineering Department  
Famagusta, North Cyprus Via Mersin 10, Turke

Foto: Privat