

Erdbebenüberwachung und Erdbebengefährdung in Nordrhein-Westfalen

Jens Zeiß¹, Sebastian Busch¹, Martina Hochhaus²

¹) Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen, Krefeld, Deutschland

²) Ruhrverband, Essen, Deutschland

Der Landeserdbebedienst im Geologischen Dienst Nordrhein-Westfalen (GD NRW) überwacht mit seinem seismologischen Messnetz die Erdbebenaktivität in NRW und erfasst mögliche Auswirkungen an der Erdoberfläche. Bei stärkeren lokalen Erdbeben informiert das Erdbebenalarmsystem (EAS) des GD innerhalb weniger Minuten die zuständigen Dienststellen in NRW und die Öffentlichkeit. Für die erdbebensichere Auslegung von Bauwerken berät der GD NRW nach den aktuell gültigen Regelwerken. Hierbei werden auch Stauanlagen nach DIN 19700 besonders beachtet. Messungen zur Erfassung der Erschütterungen an Stauanlagen bieten Kooperationsmöglichkeiten zwischen Stauanlagenbetreibern und Erdbebediensten. An der Sorpe- und Ennepetalsperre wurden die Messgeräte des Ruhrverbandes in das Messnetz des GD NRW integriert und liefern einen wichtigen Beitrag zum EAS. Es wird ein Überblick über die Erdbebenaktivität in NRW, deren Überwachung sowie über die Erdbebengefährdung nach Regelwerken für Stauanlagen gegeben.

1. Einleitung

Natürliche Erdbeben in Nordrhein-Westfalen treten überwiegend entlang der Niederrheinischen Bucht und deren Umgebung auf (Abbildung 1). Erdbeben im Osten von NRW sind dagegen selten. Daher ist die Überwachung der Erdbeben besonders auf die Niederrheinische Bucht ausgerichtet. Da keine Erdbebenvorhersage möglich ist, liegt der Fokus der Erdbebenvorsorge auf Gefährdungsuntersuchungen mittels Daten vergangener Erdbeben, erdbebensicherem Bauen sowie auf dem Betrieb des Erdbebenalarmsystems NRW. In diesem Artikel wird ein Überblick über die Erdbebenaktivität in der Niederrheinischen Bucht und die wesentlichen Stützen der Erdbebenvorsorge in NRW einschließlich der damit verbundenen Regelungen für Stauanlagen gegeben. Dabei wird kurz die Kooperation zwischen dem Geologischen Dienst NRW und dem Ruhrverband erläutert.

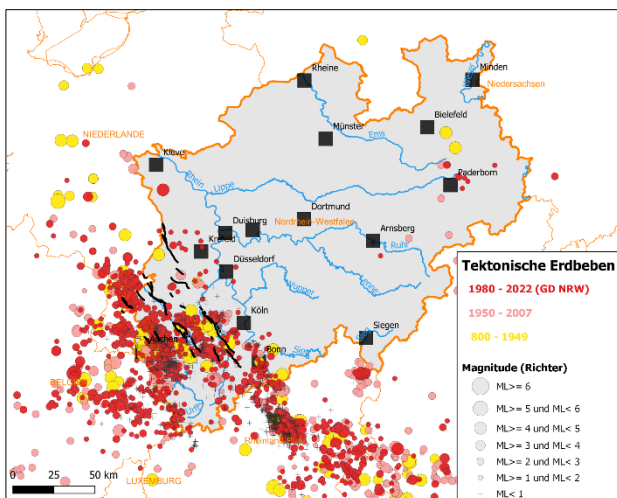


Abbildung 1: Epizentren entsprechend dem Erdbebenkatalog NRW

2. Tektonischen Gegebenheiten und Seismizität in der Niederrheinischen Bucht

Die Niederrheinische Bucht (NRB) ist Teil einer seismisch aktiven Zone, die ganz Europa von Norden nach Süden durchzieht. Vor 30 Mio. Jahren, im Mitteloligozän, setzten tektonische Bewegungen ein, die zum Einsinken der Bucht und zur Heraushebung des angrenzenden Rheinischen Schiefergebirges führten. Durch die Bewegungen im Untergrund entstand in der Niederrheinischen Bucht ein Mosaik von nach Nordosten gekippten Schollen, die von tief reichenden Brüchen, sogenannten Verwerfungen, begrenzt sind. Die bedeutendsten Bruchsysteme sind von Nordost nach Südwest der Viersener Sprung, der Erft-Sprung, der Rurrand-Peelrand-Sprung und die Feldbiss-Verwerfung (Abbildung 2). Erdbeben in der Niederrheinischen Bucht sind ruckartige Bewegungen an diesen Bruchzonen.

Das Roermond-Beben am 13. April 1992 wird beispielsweise auf eine plötzliche Verschiebung am Peelrand-Sprung zurückgeführt. Es hatte eine Stärke von 5,9 auf der Richter-Skala und war das stärkste Beben in Mitteleuropa seit dem Dürener Beben 1756 (Magnitude etwa 6,4). Ein Beben der Stärke des Roermond-Bebens tritt im langfristigen Mittel etwa alle 150 Jahre auf.

Fühlbare Erdbeben (ab etwa einer Magnitude 2,5) treten in der Niederrheinischen Bucht im Mittel einmal im Jahr auf, Schaden verursachende Beben (ab etwa einer Magnitude 4,5) etwa alle fünfzig Jahre. Jedoch schließen statistische Betrachtungen nicht aus, dass Beben dieser Stärke auch in kürzeren Abständen aufeinander folgen können.

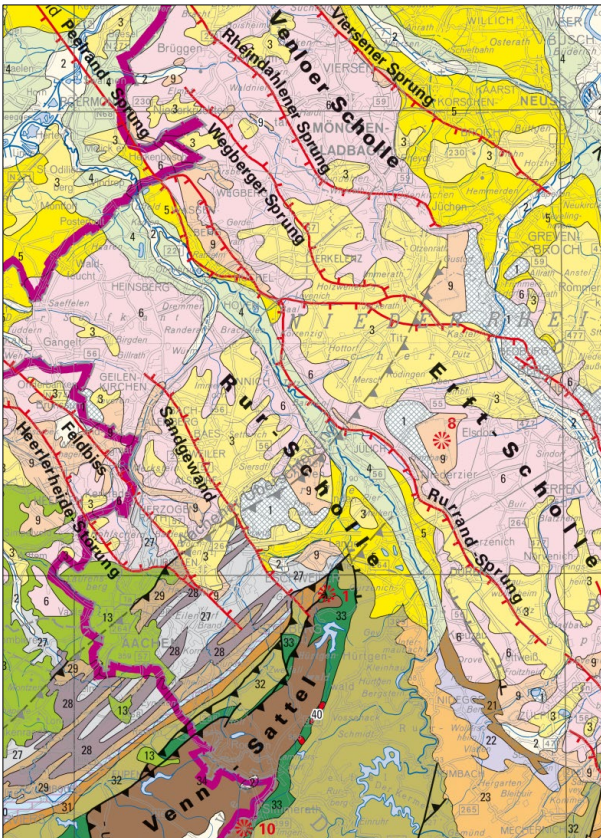


Abbildung 2: Tektonische Karte der Niederrheinischen Bucht. [1]

3. Erdbebenüberwachung

3.1. Erdbebenüberwachung in NRW

Die Dokumentation vergangener Erdbeben ist von besonderer Bedeutung, da die Erdbebendaten Grundlage für die Einschätzung der Erdbebengefährdung sind. Um die Erdbebenaktivität in NRW zu überwachen, betreibt der GD NRW mit seinem Landeserdbebendienst seit 1980 ein Netz von inzwischen 15 Erdbeben-Messstationen. Zwei dieser Standorte werden in Kooperation mit dem Ruhrverband an Stauanlagen (Sorpe- und Ennepetalsperre) betrieben. Um auch möglichst viele schwache Erdbeben zu detektieren und zu lokalisieren, werden zusätzlich Aufzeichnungen von Erdbebendiensten aus der Umgebung sowie von Universitäten verwendet. Dies geschieht mithilfe einer kontinuierlichen Datenübertragung nahezu in Echtzeit. Insgesamt stehen dem GD NRW seit 2022 ca. 35 Erdbebenmessstationen für Auswertungen zur Verfügung.

Seit 1980 wurden in der Niederrheinischen Bucht und deren Umgebung über 3000 Erdbeben mit Magnituden $\geq 0,3$ registriert. Die Detektion von schwachen Erdbeben mit einer Magnitude ≤ 1 sind von großer Bedeutung. Auch wenn solch schwache Beben für den Menschen nicht spürbar sind – die Spürbarkeitsgrenze liegt bei einer Magnitude von etwa 2,5 – zeigen sie doch die seismische Aktivität der Region an und lassen potenziell aktive tektonische Störungen im Untergrund für eine Gefährdungsabschätzung erkennen. Daher werden die

registrierten Erdbeben im Erdbebenkatalog NRW dokumentiert.

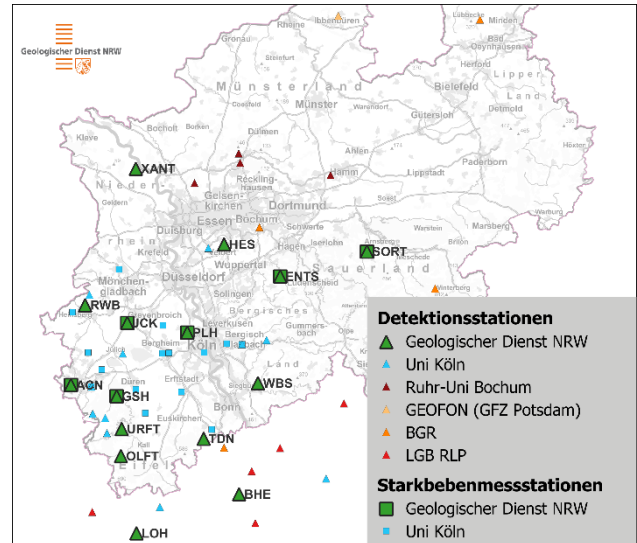


Abbildung 3: Erdbebenmessnetz des Geologischen Dienstes NRW und weitere vom Geologischen Dienst NRW zur routinemäßigen Auswertung verwendete Erdbebenmessstationen.

3.2. Aufbau einer Erdbebenmessstation des Geologischen Dienstes NRW

Eine Erdbebenmessstation (Detektionsstation) des Geologischen Dienstes besteht üblicherweise aus folgenden Einheiten:

- Seismometer, welche die Relativbewegungen zwischen einer elektrischen Spule und einer magnetischen Masse im Maß einer elektrischen Spannung misst und die Geschwindigkeit der Bodenbewegung im zeitlichen Verlauf abbildet.
- Analog-Digital-Wandler, der die elektrische Spannung an diskreten Zeitpunkten abgreift. Dabei wird beim GD NRW meist eine Samplingfrequenz von 200 Hz verwendet.
- Rechner- und Speichereinheit zur Zwischenspeicherung der Daten.
- GPS-Antenne für einen präzisen Zeitstempel der Daten.
- USV-Einheit (unterbrechungsfreie Stromversorgung) mit Akkus zur Überbrückung eventueller Stromausfälle.
- Router mit Internetanbindung per Kabel wie auch per Mobilfunk als Fallback.

Dieser Aufbau wird meist an ruhigen Orten installiert und ist besonders zur Erfassung von schwachen Signalen geeignet. Jedoch ist die maximal messbare Geschwindigkeit eines solchen Aufbaus bei starken Erschütterungen nicht ausreichend. Daher wird an einigen Stationen (insbesondere nahe kritischer Infrastruktur) auch eine sogenannte Starkbeben-Apparatur installiert. Diese nutzen zur Beschleunigungserfassung häufig piezoelektrische, kapazitive Elemente oder MEMS (Micro-Electro-Mechanical-Systems) und

sind weniger geeignet, um schwache Erdbeben zu messen.

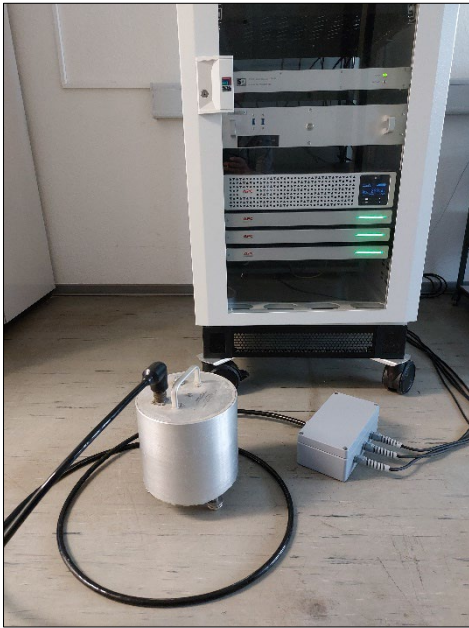


Abbildung 4: Seismometer mit einem zylinderförmigen Gehäuse sowie ein Schrank mit USV-Einheit, AD-Wandler und Rechneinheit.

3.3. Erdbebenmessstationen in Kooperation mit dem Ruhrverband

Einige Einrichtungen bzw. Grundstücke von Wasserverbänden eignen sich sowohl aufgrund ihrer ruhigen Lage als auch ihrer vorhandenen Infrastruktur besonders für einen Betrieb von Seismometern zur Erfassung schwacher Erdbeben. Der Ruhrverband hat zum Beispiel an drei Standorten Erdbebenmessstationen installiert: in den Kontrollstollen der Ennepetal- und Sorpetalsperre sowie auf dem Gelände der Kläranlage Velbert-Hespetal.

Die Erdbebenmessstationen der Sorpetalsperre und Ennepetalsperre werden seit 1998 bzw. 2000 betrieben. Derzeit befindet sich an den Standorten jeweils ein Seismometer im regulären Betrieb. Die Instrumente der Starkbebenregistrierung werden aktuell ausgetauscht. Nach dem Einbau der neuen Starkbeben-Apparatur können die Stationen für die Registrierung von schwachen Erdbeben und auch wieder zur Feststellung der Beschleunigungen stärkerer Erschütterungen eingesetzt werden. Mit Hilfe der neuen Starkbeben-Apparaturen ist dann wieder die unmittelbare Ermittlung von kritischen Beschleunigungen z. B. für die Erdbebenlastfälle Betriebs- und Bemessungserdbeben nach DIN 19700-10 [2] möglich, sodass auf aufwändige und unpräzise Abschätzungen der aufgetretenen Beschleunigungen an diesen Stauanlagen verzichtet werden kann.

Da die Messstationen des Ruhrverbandes in das Überwachungsnetz des Geologischen Dienstes integriert sind, erfolgt bei stärkeren Erdbeben eine Meldung vom Erdbebenalarmsystem (EAS) an den Ruhrverband, die

Angaben zu den aufgetretenen Beschleunigungen enthält.

4. Historische Erdbeben und Paläoseismische Untersuchungen

Neben den instrumentell registrierten Erdbeben werden im Erdbebenkatalog des GD NRW auch gut dokumentierte historische Erdbeben aufgeführt. Diese Einträge von historischen Erdbeben basieren auf einer Rekonstruktion der Geschehnisse aus zeitgenössischen Berichten.

Die frühesten Aufzeichnungen zu Erdbeben im Bereich der Niederrheinischen Bucht sind für das Jahr 803 in Aachen dokumentiert, zur Zeit Karls des Großen. Für das Mittelalter sind nur wenige Ereignisse in den schriftlichen Quellen verbürgt. Erst aus der frühen Neuzeit sind weitergehende Beschreibungen von Erdbebenwirkungen an unterschiedlichen Orten überliefert. Mit der Zeit der Aufklärung im 18. Jahrhundert erfuhren Erdbeben dann ein größeres Interesse und wurden zum Forschungsgegenstand.

Das Ausmaß der Auswirkungen der historischen Erdbeben wurde analysiert und mit den Beobachtungen aktueller Ereignisse verglichen. Durch diese Vorgehensweise ist es möglich für historische Erdbeben beispielsweise die Lage der Epizentren und die Magnitudenwerte einzuschätzen. Den Berichten zufolge kam es in der Niederrheinischen Bucht im Laufe der Jahrhunderte immer wieder zu Schaden verursachenden Erdbeben. Mauerbrüche, eingefallene Schornsteine, beschädigte Gebäude, verletzte und getötete Personen waren die Folge. In den Zeitraum seit den ersten schriftlichen Berichten fallen auch Erdbeben mit Magnituden über 6 auf der Richterskala. Einen Überblick über die Schadenbeben der letzten 300 Jahren in der Niederrheinischen Bucht und näheren Umgebung gibt Tabelle 1.

Zu Erdbeben in vorhistorischer Zeit liefert die Paläoseismologie Informationen. Sie sucht im Untergrund nach Spuren vergangener Starkbeben. Verschiebungen im Untergrund, die durch starke Erdbeben erzeugt werden, können sich an Verwerfungen bis zur Erdoberfläche durchpausen. An Orten, an denen die oberflächennahe geologische Struktur konserviert ist und durch Schürfe aufgeschlossen werden kann, besteht die Möglichkeit einer detaillierten Analyse des entstandenen Versatzes von Gesteinspaketen. Mit dieser Methodik konnten Anhaltspunkte für mehrere Starkbeben an den Hauptverwerfungen der Niederrheinischen Bucht abgeleitet werden. Die paläoseismischen Untersuchungen haben in allen Schürfen deutliche Hinweise ergeben, dass wahrscheinlich Erdbeben in dem Magnitudenbereich von 6,4 bis 7,0 aufgetreten sind [3].

Tabelle 1: Schadenbeben der letzten 300 Jahren in der Niederrheinischen Bucht und näheren Umgebung gelistet mit Jahr, Ort und ungefährer Lokalmagnitude ML

Jahr	Ort	ML
1755	Maastricht (NL)	5,1
1755	Düren	4,6
1755	Düren	5,7
1756	Düren	6,4
1759	Aachen	4,8
1760	Düren	5,0
1780	Braubach	4,5
1812	Zülpich	3,9
1828	Tirlemont (BE)	5,7
1846	St. Goar	5,5
1869	Engers	4,7
1873	Herzogenrath	4,3
1877	Herzogenrath	4,4
1878	Tollhausen	5,6
1892	Boppard	4,8
1918	Maastricht (NL)	4,5
1925	Bilzen (BE)	4,5
1932	Veghel (NL)	5,3
1950	Euskirchen	4,7
1951	Euskirchen	5,1
1963	Euskirchen	5,0
1965	Lüttich (BE)	4,4
1983	Lüttich (BE)	5,1
1992	Roermond (NL)	5,9
2002	Alsdorf	4,8

5. Erdbebenalarmsystem NRW

Starke Erdbeben in NRW sind auch heutzutage jederzeit möglich und werden in der Zukunft immer wieder auftreten. Den genauen Zeitpunkt eines Erdbebens kennen wir aber nicht im Voraus. Erdbeben sind natürliche Prozesse und durch die Komplexität von tektonischen Platten und Verwerfungen grundsätzlich nicht vorhersehbar. Aus diesem Grund ist auch ihre Vorhersage nicht möglich.

Nicht zu verwechseln mit der Erdbebenvorhersage ist der Betrieb von Frühwarnsystemen. Diese werden einzeln z. B. in der Bauwerksüberwachung eingesetzt und basieren im Wesentlichen auf einer Analyse der ersten seismischen Welle des Bebens, bevor die zweite Welle kommt, die zerstörerischer ist. Die Anwendbarkeit von Frühwarnsystemen ist jedoch stark limitiert. So muss die zu warnende Region in größerer Entfernung zum Erdbebenherd liegen, damit eine gewisse Zeit zwischen dem Ereignis und dem Eintreffen der Schaden bringenden Wellen zur Verfügung steht. In NRW ist dies nicht der Fall, da sich die Erdbebenherde oft direkt unter der zu warnenden Region befinden. Die Zeit bis zur

Erschütterung beträgt hier meist nur wenige Sekunden – zu kurz für eine Frühwarnung.

Dennoch können die Registrierungen der Bodenbewegungen an Messstationen für das Erdbebenalarmsystem (EAS) des GD NRW genutzt werden, um Rettungskräfte möglichst schnell zu informieren. Das EAS wurde im Auftrag des ehemaligen Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Industrie, Mittelstand und Handwerk des Landes Nordrhein-Westfalen vom GD NRW entwickelt. Seit dem 28. Mai 2015 ist das EAS NRW in Betrieb – als wichtiger Beitrag zur Daseinsvorsorge in Nordrhein-Westfalen. Bei einem lokalen Erdbeben ab einer Magnitude von 3 werden wenige Minuten nach dem Ereignis die Landesleitstellen von Polizei und Feuerwehr alarmiert.

Zusammengefasst erfolgt die automatisierte Meldung in vier Schritten:

- Die Messstationen des Landeserdbebendienstes erfassen die Daten und übertragen diese an die Auswerterechner in Düsseldorf und Krefeld.
- Eine speziell dafür entwickelte Software analysiert die Daten: Sie stellt ein Ereignis fest, unterscheidet und bewertet die Art des seismischen Ereignisses, bestimmt die Magnitude (Stärke des Bebens) und schätzt die Auswirkungen des Bebens ein.
- Die Erdbebenmeldung wird automatisch generiert mit Angabe von Ereigniszeit, Lage des Epizentrums, Magnitude (Richterskala) und Einschätzung der Erdbebenwirkungen.
- Die Meldung geht als E-Mail bei den zuständigen Stellen ein und erscheint auf der Internetseite des GD NRW.

Nachfolgend erfolgt eine manuelle Auswertung der Erdbebendaten durch einen Seismologen. Es werden die automatisiert erstellten Ergebnisse geprüft und gegebenenfalls aktualisiert.

6. Erfassung von Erdbebenauswirkungen auf Bürger*innen und Infrastruktur

Die Auswirkungen eines Erdbebens auf Bürger*innen und Infrastruktur werden durch makroseismische Erhebungen in Form eines Fragebogens gemeldet und dokumentiert (www.gd.nrw.de/gg_le_form.htm). Die Auswertung der Makroseismik liefert im Falle von stärkeren Erdbeben mit Gebäudeschäden schnell wichtige Informationen über das Schadensgebiet und kann für die Koordination der Rettungsdienste von großer Bedeutung sein.

Die Auswertung der Fragebögen erfolgt automatisiert in Anlehnung an die Europäische Makroseismische Skala (EMS-98) [4]. Die EMS-98 bildet die Grundlage für Intensitätsabschätzungen in europäischen Ländern und wird auch in vielen Ländern außerhalb Europas angewandt.

6.1. Erdbebenschwarm im Hohen Venn

Ein Beispiel von erfassten Fragebögen mit der Einordnung in Intensitäten zeigen ausgewählte Erdbeben der Erdbebenserie aus dem Jahr 2021 im Hohen Venn nahe Aachen, die zwar keine Schäden verursachten, aber deutlich verspürt wurden.

Wie bereits vom Geologischen Dienst berichtet [5], ereignete sich in der Region zwischen Aachen und Roetgen eine Serie leichter Erdbeben, oft mehrfach täglich oder auch mit Pausen von wenigen Tagen. Mit Hilfe der Erdbebenstation Bensberg der Universität zu Köln konnten für die Erdbebenserie mehr als 100 seismische Ereignisse erfasst werden. Der Erdbebenherd lag in der Nähe der Ortschaften Rott / Mulartshütte in einer Tiefe von etwa 10 km.

Besondere Aufmerksamkeit erfuhren die Erdbeben am 2. Januar und am 14. Januar mit Magnituden von 2,8 und 2,7 auf der Richterskala. Diese Beben wurden in den umliegenden Gemeinden bis nach Aachen deutlich verspürt. So erreichten den Landeserdbebendienst zum Beben vom 14. Januar 546 Meldungen der Bürgerinnen und Bürger, so dass sich Intensität und erschüttertes Gebiet detailliert ermitteln ließen (Abbildung 4). Klirren des Geschirrs und Zittern der Möbel waren die meistgenannten Wirkungen, Gebäudeschäden waren dagegen nicht zu verzeichnen. Auch einige der nachfolgenden Ereignisse wurden noch leicht verspürt.

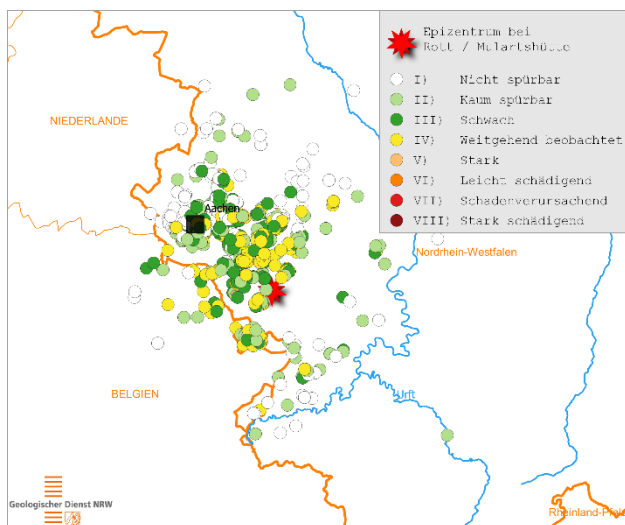


Abbildung 4: Die Ereignisse in der Region Rott / Mulartshütte vom 2. und 14. Januar 2021 wurden von den Bürgerinnen und Bürgern größtenteils beobachtet. Nach EMS-98 [4] entspricht dies einer Maximalintensität von IV („[...] Beobachter spüren ein leichtes Erzittern von Gebäuden, von Zimmern, Betten, Stühlen etc. [...] Geschirr, Gläser, Fenster und Türen klappern. Hängende Objekte schwingen. In wenigen Fällen wird leichtes Mobiliar sichtbar gerüttelt. In wenigen Fällen knarren Holzwände. [...] Keine Schäden.“)

7. Erdbebenvorsorge durch erdbebensicheres Bauen

Um die Bürger*innen in einem Risikogebiet vor den Auswirkungen von Erdbeben zu schützen, ist

erdbebensicheres Bauen erforderlich. Die Anforderungen an Bauwerke werden durch verschiedene Regelwerke abhängig von der Erdbebengefährdung am Standort festgelegt.

7.1. Einschätzung der Erdbebengefährdung mit Hilfe aktueller Regelwerke für den üblichen Hochbau

Eine Gefährdungsanalyse nach aktuellem Stand der Wissenschaft und Technik für Erdbebenereignisse in Deutschland stellt die Studie von Grünthal et al. (2018) [6] dar. Im Gegensatz zur früheren Studie von Grünthal und Bosse (1996) [7] deren Gefährdungseinschätzung in DIN 4149:2005 [8] genutzt wurde, wurden in der neueren Studie verbesserte Methoden der Gefährdungsanalyse und umfangreichere, überarbeitete Erdbebenstandorte verwendet.

Grundsätzlich werden in einer probabilistischen Erdbebengefährdungsanalyse die Parameter (insbesondere Magnitude und Häufigkeit) der vergangenen Erdbebenaktivität statistisch betrachtet und verschiedene Quellmodelle wie auch Bodenbewegungsmodelle probabilistisch eingeschätzt. Mit Hilfe der Bodenbewegungsmodelle werden aus den Parametern der Erdbebenquelle (z. B. Bruchtiefe und Magnitude) Parameter der Bodenbewegung (z. B. Spitzenbodenbeschleunigung oder spektrale Beschleunigung) für verschiedene Beobachtungsstandorte bestimmt.

Ein wesentlicher Unterschied zwischen den Studien von 2018 [6] und 1996 [7] ist, dass in der neueren Studie die Datenbasis magnitudenbasiert statt intensitätsbasiert ist und auch das Ergebnis der probabilistischen Gefährdungsanalyse keine Darstellung der makroseismischen Intensitäten ist. Stattdessen werden die Werte der Bodenbewegung direkt bestimmt. Es muss demzufolge keine zusätzliche Zuordnung von Beschleunigungswerten zu Intensitäten mehr erfolgen, welche mit vergleichsweise großen Unsicherheiten behaftet war. Aber auch die Datengrundlage der Erdbebenaktivität sowie die Quellmodellen wurden überarbeitet und weiterentwickelte Bodenbewegungsmodelle konnten angewandt werden. Weitere Unterschiede werden im Artikel von Grünthal und Bosse (2021) [9] beschrieben.

In der Studie von Grünthal et al. (2018) [6] wurden verschiedene Sicherheitsniveaus betrachtet. Dafür wurden beispielsweise die erwarteten spektralen Beschleunigungswerte bestimmt, die mit einer Wahrscheinlichkeit von 10 %, 5 % und 2 % innerhalb von 50 Jahren erreicht oder überschritten werden. Diese Wahrscheinlichkeitsniveaus entsprechen mittleren Wiederkehrperioden von 475, 975 und 2475 Jahren. In Abbildung 5 sind die zu erwartenden Plateauwerte der spektralen Antwortbeschleunigung für Wiederkehrperioden 475 und 2475 Jahre dargestellt. Die Antwortspektren stellen dabei sogenannte gefährdungskonsistente horizontale Antwortspektren (Uniform Hazard Spectra UHS) mit 5% viskoser Dämpfung dar.

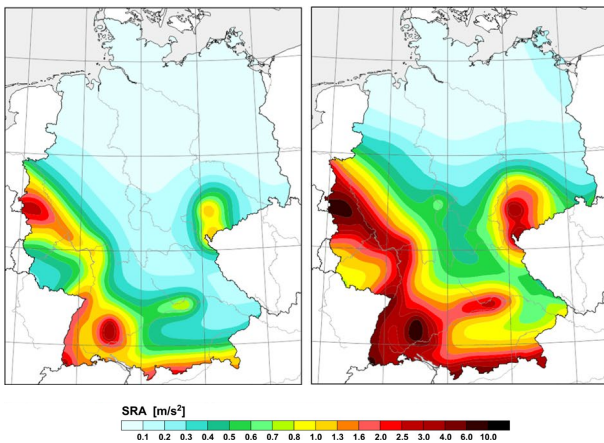


Abbildung 5: Plateauwerte der spektralen Antwortbeschleunigung, ermittelt aus gemittelten Spektralwerten bei 0,1, 0,15 und 0,2 s für mittlere Wiederkehrperioden 475 (links) und 2475 Jahre (rechts). Abbildungen von Grünthal et al. (2018) [6].

Die Studie von Grünthal et al. (2018) [6] wird im Nationalen Anhang NA:2023-11 [10] der DIN EN 1998-1 (Eurocode 8) [11] als Grundlage für die Feststellung des Gefährdungsniveaus an einem Standort herangezogen. Die DIN EN 1998-1 [11] ist für die Auslegung von Bauwerken des Hoch- und Ingenieurbaus in Erdbebengebieten gedacht, Sonderbauwerke wie große Talsperren fallen jedoch nicht in ihren Anwendungsbereich. Mit der DIN EN 1998-1 werden die Ziele verfolgt, bei Erdbeben menschliches Leben zu schützen, Schäden zu begrenzen und die Funktionsfähigkeit wichtiger Bauwerke zum Schutz der Bevölkerung zu gewährleisten.

Die DIN EN 1998-1 [11] ersetzt die DIN 4149:2005 [8], welche mittlerweile zurückgezogen ist. Die DIN EN 1998-1 [11] ist (in NRW) bauaufsichtlich bislang nicht eingeführt, stellt jedoch im Hinblick auf eine Einschätzung der Erdbebengefährdung den Stand der Technik dar. Während der Inhalt des Nationalen Anhangs NA:2011-01 [12] des Eurocodes 8 - noch der DIN 4149:2005 [8] entsprach, ergaben sich mit Einführung des Nationalen Anhangs DIN EN 1998-1/NA:2021-07 [13] – gemeinsam mit dem Wechsel zu der Studie von Grünthal et al. (2018) [6] – auch weitere Änderungen in den Bestimmungen. Die wesentliche Neuerung im aktuellen Nationalen Anhang von 2023 [10] des Eurocodes 8 gegenüber dem von 2021 [13] ist die Überarbeitung der geologischen Untergrundklassen.

7.2. Regelungen für Stauanlagen

Für die Festlegung der Anforderungen an Stauanlagen durch die Einwirkungen von Erdbeben und die Definition der Erdbebenfälle ist die DIN 19700-10 vom Juli 2004 [2] zu beachten. Die maßgebenden jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeiten der Erdbebenfälle 1 und 2 sowie Angaben zu den erforderlichen Nachweisen sind für die unterschiedlichen Stauanlagenarten (Talsperren, Hochwasserrückhaltebecken, Staustufen, Pumpspeicherbecken und Sedimentationsbecken) in DIN 19700-11 bis DIN 19700-15 [14 - 18] festgelegt. Weitere Hinweise zur Vorgehensweise bei der Durchführung von Erdbebennachweisen an Stauanlagen können dem

Merkblatt 58 des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen [19] entnommen werden. Jedoch ist hierbei der fortgeschrittene Stand der Technik, wie er z. B. mit der Anpassung des Nationalen Anhangs des Eurocodes 8 [11] berücksichtigt wurde (siehe Abschnitt 7.1), zu beachten.

Für ein Betriebserdbeben (Definition siehe DIN 19700-10 [2] bzw. Merkblatt 58 [19]) werden mittlere jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeiten von 2×10^{-3} (mittlere Wiederkehrperiode 500 Jahre oder 10^{-2} (Wiederkehrperiode 100 Jahre) angesetzt (je nach Talsperre). Für ein Bemessungserdbeben (Definition siehe DIN 19700-10 [2] bzw. Merkblatt 58 [19]) werden mittlere jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeiten von 4×10^{-4} (Wiederkehrperiode 2.500 Jahre) und 10^{-3} (Wiederkehrperiode 1.000 Jahre) angesetzt.

Da unseres Erachtens die Studie von Grünthal et al. (2018) [6] als Stand der Technik betrachtet werden kann, können die in der Studie bestimmten Beschleunigungswerte (bzw. die in DIN EN 1998-1/NA:2023-11 angegebenen Beschleunigungswerte) auch als Grundlage für die Nachweise zu den jeweiligen Lastfällen (Betriebserdbeben / Bemessungserdbeben) und den Talsperrenklassen herangezogen werden. Neben den Plateauwerten der Antwortspektren für die mittlere Wiederkehrperiode von 475 Jahren (normativ) sind im informativen Anhang von DIN EN 1998-1/NA:2023-11 auch die Plateauwerten für Wiederkehrperioden von 975 und 2475 Jahren angegeben. Die Unterschiede in den angesetzten Wiederkehrperioden aus DIN EN 1998-1/NA:2023-11 und DIN 19700 (475, 975 und 2475 Jahre und 500, 1000 und 2500 Jahre) können ggf. vernachlässigt werden.

Die im Nationalen Anhang des Eurocodes 8 angegebenen Plateauwerte der spektralen Antwortbeschleunigungen (Abbildung 5) beziehen sich zunächst auf ein Untergrundverhältnis A-R (Festgestein als geologischer Untergrund und als Baugrund), sodass für abweichende Untergrundverhältnisse am Standort ggf. Verstärkungsfaktoren zu beachten sind. Neu gegenüber DIN 4149 [8] ist dabei, dass auch die Form der Normspektren abhängig vom Untergrundverhältnis festgelegt wird.

Weiter sind nach einer Heranziehung der Beschleunigungen aus der Studie von Grünthal (2018) [6] oder DIN EN 1998-1/NA:2023-11 [10] Sicherheitsfaktoren (wegen evtl. Resonanzeffekte oder Unsicherheiten in der Geometrie des Bauwerks) zu berücksichtigen.

8. Zusammenfassung

Natürliche Erdbeben entlang der Niederrheinischen Bucht und deren Umgebung werden vom Geologischen Dienst erfasst und dokumentiert. Dokumentierte Erdbeben werden für Gefährdungsuntersuchungen herangezogen und sind entscheidend für eine angemessene Auslegung von Bauwerken einschließlich Stauanlagen.

Bei dem Nachweis der Tragfähigkeit von Stauanlagen infolge Erdbeben sind zwei Erdbebenfälle entsprechend DIN 19700-10 [2] zu berücksichtigen. Die für diese Erdbebenfälle maßgebenden Beschleunigungen werden unter Berücksichtigung des aktuellen Stands der Technik in der Regel im Rahmen von seismologischen Gutachten ermittelt.

Eine präzise Antwort auf die Frage, ob im Falle eines stärkeren Erdbebens an einer Stauanlage die Beschleunigung eines Betriebs- oder Bemessungserdbeben überschritten wurde, fordert eine Überwachung der Erschütterungen direkt am Standort der Stauanlage. Dies ist

möglicherweise im Rahmen einer Kooperation zwischen Erdbebendienst und Stauanlagenbetreiber umsetzbar. Eine solche Kooperation besteht beispielsweise zwischen dem Geologischen Dienst NRW und dem Ruhrverband.

Kontakt Daten (optional)

Jens Zeiß

Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen – Landesbetrieb, De-Greif-Strasse 195, 47803 Krefeld, Deutschland

ORCID: 0000-0001-9433-3217

Literaturverzeichnis

- [1] Pelzing, R. (2008): *Erdbeben in Nordrhein-Westfalen*, Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen – Landesbetrieb –, Krefeld
- [2] DIN 19700-10:2004-07: Stauanlagen: Gemeinsame Festlegungen. – Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin: Beuth-Verlag.
- [3] Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen (2008): Paläoseismische Untersuchungen im Bereich der Niederrheinischen Bucht, in: *scriptum - Arbeitsergebnisse aus dem Geologischen Dienst Nordrhein-Westfalen*, 2008, 17, 1 – 74.
- [4] Grünthal, G (ed.) (1998): European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98), in: *Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie*, 15, 1 – 100, [online] http://media.gfz-potsdam.de/gfz/sec26/resources/documents/PDF/EMS-98_Original_englisch.pdf
- [5] Lehmann, K., Busch, S., Zeiß, J. (2021): Sicherheitsrelevant - 40 Jahre Landeserdbebendienst NRW, in: *gdreport*, 2021/1, 4 -8, [online] https://www.gd.nrw.de/zip/gd_gdreport_2101s.pdf
- [6] Grünthal, G., Stromeyer, D., Bosse, C. (2018): The probabilistic seismic hazard assessment of Germany—version 2016, considering the range of epistemic uncertainties and aleatory variability, in: *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16, 4339–4395.
- [7] Grünthal, G. & Bosse, C. (1996): *Probabilistische Karte der Erdbebengefährdung der Bundesrepublik Deutschland - Erdbebenzonierungskarte für das Nationale Anwendungsdokument zum Eurocode 8. – Forschungsbericht*, GeoForschungsZentrum, Bd. STR 96/10, 1-24, Potsdam.
- [8] DIN 4149:2005-04: Bauten in deutschen Erdbebengebieten. – Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin: Beuth-Verlag.
- [9] Grünthal, G. & Bosse, C. (2021): Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Erdbebenkarten nach bisherigem und neuem Nationalen Anhang zum Eurocode 8, in: *Bautechnik*, 98, 1 - 16
- [10] DIN EN 1998-1/NA:2023-11: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten. – Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin: Beuth-Verlag.
- [11] DIN EN 1998-1, Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten; Deutsche Fassung EN 1998-1:2004 + AC: 2009
- [12] DIN EN 1998-1/NA:2011-01: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten. – Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin: Beuth-Verlag.
- [13] DIN EN 1998-1/NA:2021-07: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten. – Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin: Beuth-Verlag.
- [14] DIN 19700-11:2004-07: Stauanlagen: Talsperren – Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin: Beuth-Verlag.
- [15] DIN 19700-12:2004-07: Stauanlagen: Hochwasserrückhaltebecken – Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin: Beuth-Verlag.
- [16] DIN 19700-13:2019-06: Stauanlagen: Staustufen – Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin: Beuth-Verlag.
- [17] DIN 19700-14:2004-07: Pumpspeicherbecken – Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin: Beuth-Verlag.
- [18] DIN 19700-15:2004-07: Sedimentationsbecken– Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin: Beuth-Verlag.
- [19] Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2006): Merkblatt 58 „Berücksichtigung von Erdbebenbelastungen nach DIN 19700 in Nordrhein-Westfalen“. – Essen (Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft u. Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen).