



Erdbebensicherheit von Hochwasser- rückhaltebecken und Talsperren

 Kompodium für Betreiber und Wasserbehörden



Baden-Württemberg

Erdbebensicherheit von Hochwasser- rückhaltebecken und Talsperren

 Kompodium für Betreiber und Wasserbehörden



Baden-Württemberg

HERAUSGEBER	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg 76231 Karlsruhe, Postfach 100163, www.lubw.baden-wuerttemberg.de
BEARBEITUNG	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Postfach 100163, 76231 Karlsruhe, www.lubw.baden-wuerttemberg.de poststelle@lubw.bwl.de Referat - Gewässerschutz
PROJEKTBEGLEITENDE ARBEITSGRUPPE	Dr. Andreas Bieberstein, Karlsruher Institut für Technologie Dr. Gottfried Grünthal, GeoForschungsZentrum Potsdam Lothar Heissel, Dietmar Klopfer, Regierungspräsidium Tübingen Bernd Karolus, LUBW Bernhard Lonsdorfer, Regierungspräsidium Freiburg Jürgen Manke, Regierungspräsidium Karlsruhe Werner K. Schultz, Matthias Rimek, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Dr. Jost Studer †, Dr. Thomas Weber, Studer Engineering, Zürich
BETEILIGTE INGENIEURBÜROS	Andreas Fundinger, Büro ihb, Tübingen Jürgen Santo, Ingenieurgesellschaft Kärcher mbH, Weingarten Dr. Thomas Scherzinger, Ingenieurgruppe Geotechnik, Kirchzarten
STAND	Juni 2016

	ZUSAMMENFASSUNG	6
1	EINLEITUNG	7
2	ANFORDERUNGEN AN DEN ERDBEBENNACHWEIS	10
2.1	Allgemeines	10
2.2	Qualifikation der Auftragnehmer	10
2.3	Leistungsbeschreibung für den Erdbebennachweis	11
3	NACHWEIS DER ERDBEBENSICHERHEIT	12
4	HINWEISE ZUM BETRIEB DER STAUANLAGE	15
4.1	Kontrolle der Stauanlage nach Erdbeben	15
4.2	Anpassung der Betriebsvorschrift	17
4.3	Messeinrichtungen	17
5	SYNOPTISCHES GLOSSAR	18
6	LITERATUR	20
7	BILDNACHWEIS	22

Zusammenfassung

Die DIN 19700:2004-07 „Stauanlagen“ fordert für Hochwasserrückhaltebecken und Talsperren die Prüfung der Einwirkung von Erdbeben. Ausgehend von der Erdbebengefahr am Standort müssen Nachweise hinsichtlich der Zuverlässigkeit der Stauanlage im Erdbebenfall geführt werden. Die Nachweise sind unter Beachtung der konstruktiven Gestaltung und der Betriebsweise der Stauanlage zu erbringen.

Spezielle Vorgaben zu den Erdbebennachweisen sind in dem Eurocode 8 „Erdbeben“ (DIN EN 1998-1:2010-12) sowie in den zugehörigen nationalen Anhängen aufgeführt. Die Normenreihe DIN EN 1998 (Eurocode 8) regelt die Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben. Die Normen zum Eurocode 8 gelten für die Bemessung und Konstruktion von Bauwerken des Hoch- und Ingenieurbaus in Erdbebengebieten. Das Ziel ist es, sicherzustellen, dass bei Erdbeben menschliches Leben geschützt ist, Schäden begrenzt werden und wichtige Bauwerke zum Schutz der Bevölkerung funktionsfähig bleiben.

Für die Betreiber und die Wasserbehörden gibt das vorliegende Kompendium einen zusammenfassenden Überblick über die Grundlagen der Erdbebennachweisführung entsprechend den DIN-Vorgaben. Die Anforderungen an die Nachweisführung sowie eine Leistungsbeschreibung für die zu beauftragenden Fachbüros werden gegeben. Ferner werden Hinweise zum Betrieb der Stauanlage erläutert. Es wird dargestellt, wie die Stauanlagen in Hinsicht auf eine Erdbebenwirkung zu überwachen sind.

Eine ausführliche Darstellung der Nachweisführung wird in der Handreichung „Methodik der Erdbebennachweisführung für Hochwasserrückhaltebecken und Talsperren - Arbeitshilfe für die praktische Durchführung“ gegeben [LUBW 2016].

1 Einleitung

Im internationalen Vergleich stellen Erdbeben in Deutschland nur kleine Ereignisse dar. Sie finden mit relativ geringer Stärke statt, da die nächste Plattengrenze, in deren Nähe die meisten Erdbeben entstehen, relativ weit entfernt ist. Zentren der Erdbebenhäufigkeit in Deutschland liegen in der Kölner Bucht, südlich von Tübingen in der Schwäbischen Alb bei Albstadt, im südlichen Rheingraben sowie in der Umgebung von Gera.

Beben mit größeren Schadenauswirkungen sind etwa einmal in jeder Generation zu erwarten und verschwinden daher nur zu schnell aus dem Bewusstsein. Dennoch gehören Erdbeben auch in Deutschland zu den Naturereignissen, die extrem hohe Schadenkosten verursachen können. In den Hauptbebengebieten Deutschlands gehören Erdbeben langfristig, d. h. für kleine Eintreffenswahrscheinlichkeiten, neben Überschwemmungen und Stürmen zu den größten Verursachern von Elementarschäden.

Das Thema Erdbeben ist insbesondere für Baden-Württemberg von großer Bedeutung, da das Land deutschlandweit in der Fläche am häufigsten von Erdbeben betroffen ist (siehe Abb. 1.1 und 1.2, nach Grünthal 2008).

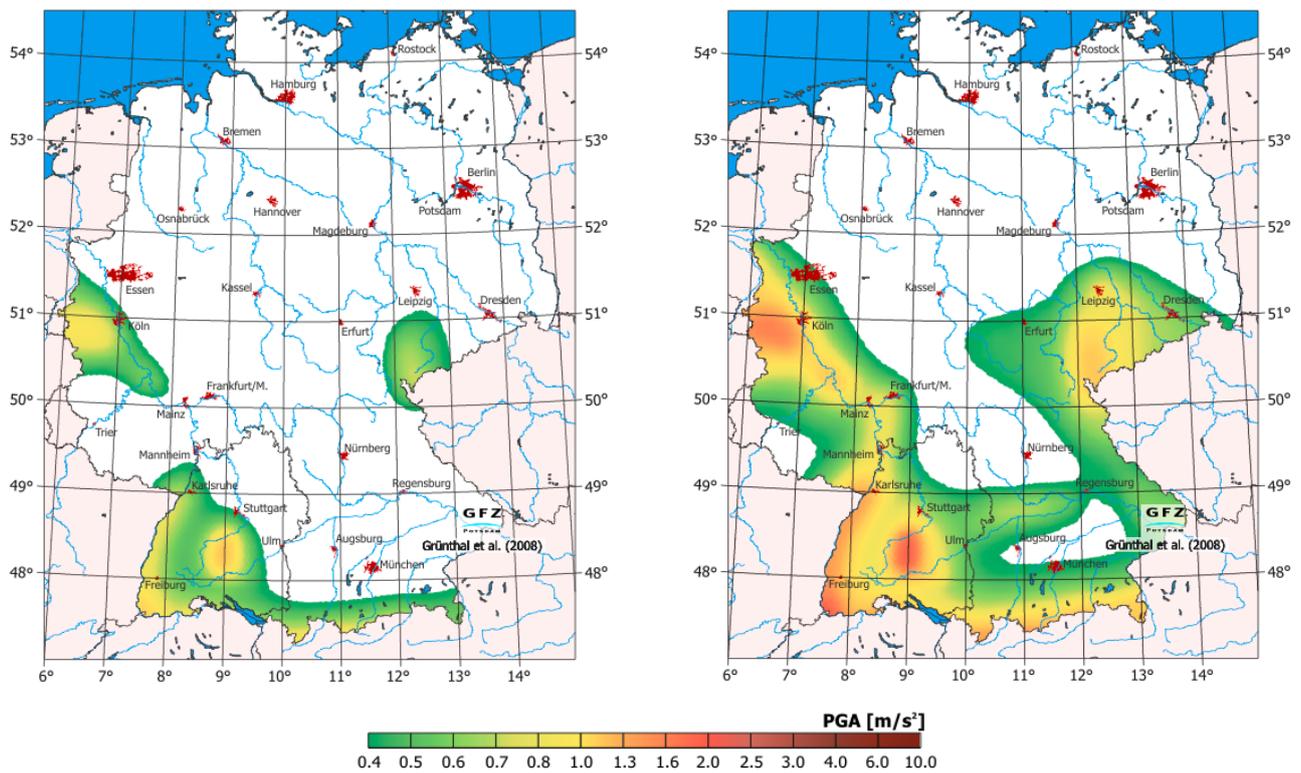


Abb. 1.1 und Abb. 1.2: Karten der Spitzenbodenbeschleunigung (PGA) mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 18% in 100 Jahren (mittlere Wiederholungsperiode 500 Jahre, links) und mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 4% in 100 Jahren (mittlere Wiederholungsperiode 2.500 Jahre, rechts), Felsuntergrund und 50% Fraktile [Grünthal 2008]

Dass die Berücksichtigung von Erdbeben bei der Bemessung von Stauanlagen relevant ist, verdeutlicht unter anderem das Versagen des Lower-San-Fernando-Dammes in Kalifornien, der im Jahr 1971 infolge eines Erdbebens mit der Magnitude $M_w = 6,6$ weitgehend zerstört wurde. Insbesondere bei Stauanlagen mit Dauerstau kann durch Erdbeben eine Beschädigung des Absperrbauwerkes erfolgen. Damit besteht die potenzielle Gefahr des Bruchs des Absperrbauwerkes und einer Flutwelle mit erheblicher Gefährdung für die Unterlieger der Stauanlage.

DIN 19700:2004-07 „Stauanlagen“ fordert Untersuchungen der Einwirkung von Erdbeben auf Stauanlagen. Ausgehend von der Beurteilung der Erdbebengefahr am Standort der Stauanlage sowie unter Beachtung der konstruktiven Gestaltung und der Betriebsweise der Stauanlage sind besondere Nachweise hinsichtlich der Zuverlässigkeit der Stauanlage zu führen. In den Teilen 10, 11 und 12 der DIN 19700:2004-07 sind hierzu Vorgaben zu Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken enthalten.

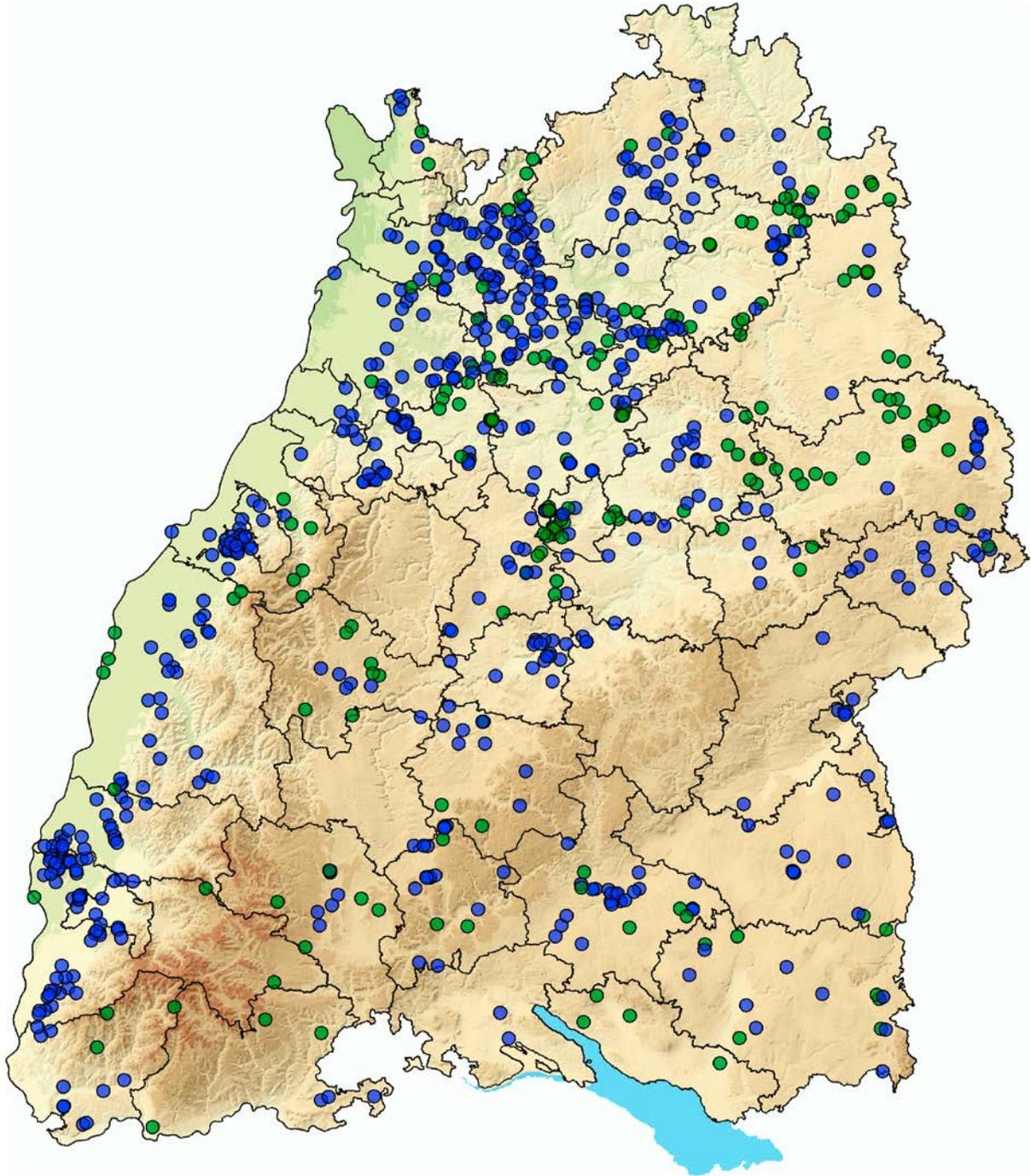


Abb. 1.3: Übersicht Hochwasserrückhaltebecken, Talsperren in BW, Stand 5.2016 LUBW, LGL
blau = Dauerstaubecken, grün = Trockenbecken

Das Deutsche GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ), Sektion Erdbebengefährdung und Spannungsfeld, ermittelte auf probabilistischer Grundlage für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland die seismische Gefährdungseinschätzung. In der nachfolgenden Abbildung werden die seitens des GFZ Potsdam berechneten probabilistischen Erdbebengefährdungskarten für Baden-Württemberg für die Spitzenbodenbeschleunigung (PGA) für Felsuntergrund, 50%-Fraktile und

mittlere Wiederholungsperioden von $T = 2500$ Jahre dargestellt [Grünthal et al. 2009a]. Hierdurch wird die Bedeutung der Erdbebenbetrachtung für die Stauanlagen in Baden-Württemberg verdeutlicht.

Karte der Spitzen-Bodenbeschleunigung PGA für eine mittlere Wiederholungsperiode $T=2500a$ für Baden-Württemberg

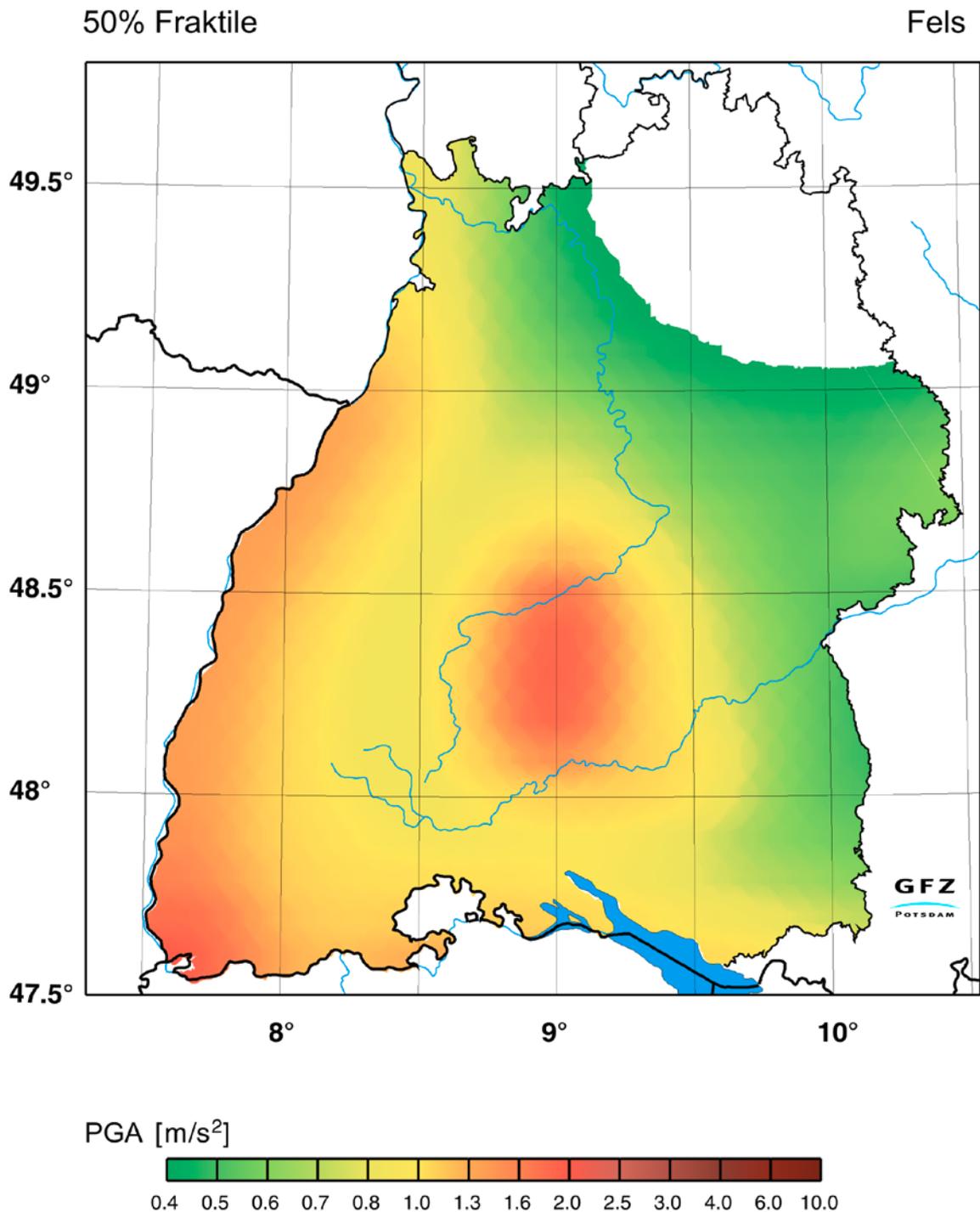


Abb. 1.4: Erdbebengefährdungskarte BW ($T = 2500$ Jahre) [Grünthal et al. 2009a]

2 Anforderungen an den Erdbebennachweis

2.1 ALLGEMEINES

Die Erdbebennachweise sind eine Ingenieurleistung im Rahmen der umfassenden Nachweisführung unterschiedlicher Fachbereiche nach DIN 19700. Für die einzelnen Fachbereiche sind jeweils qualifizierte und spezialisierte Fachleute für die Planung bzw. Nachweisführung auszuwählen.

Neben der DIN 19700 sind auch die Nachweise nach Eurocode, ergänzt durch nationale Anwendungsdokumente und DIN-Normen, zu beachten. Wichtige Eurocodes für die Erdbebennachweise (siehe auch <http://www.eurocode-online.de>) sind:

- Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke
- Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken
- Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik
- Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben

Die Nachweise gemäß DIN 19700:2004-07 sind nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik zu führen. Die erzielten Resultate sind zusammen mit den getroffenen Annahmen detailliert darzulegen. Das Ergebnis ist eingehend zu bewerten und ein ggf. erforderlicher Handlungsbedarf ist zu benennen (z. B. Maßnahmenkonzept). Gegebenenfalls ist der quantitative Nachweis für erforderliche Ergänzungsmaßnahmen im Sinne einer Dimensionierung bereits hier zu erarbeiten.

Die Betreiber müssen sich die ausgewiesenen Erfahrungen und die Spezialisierung des Auftragnehmers vor der Vergabe der Nachweisführung bestätigen lassen. Bei Bedarf kann die Wasserbehörde eine Begutachtung der Nachweisführung verlangen.

2.2 QUALIFIKATION DER AUFTRAGNEHMER

Die Überprüfung der Erdbebensicherheit der Stauanlage muss durch Fachleute erfolgen, die neben einer entsprechenden Ausbildung auch über entsprechende Erfahrungen in geotechnischen und statischen Nachweisführungen verfügen. Im Detail sind folgende Gesichtspunkte zu beachten:

- Erddämme mit Absperrbauwerkshöhen bis 40 Meter

Für die Nachweisführung bei Erddämmen mit Absperrbauwerkshöhen bis 40 Meter müssen Fachbüros mit entsprechendem Fachpersonal (Bereich Geotechnik / Wasserbau) gewählt werden. Das Fachpersonal muss ausreichend Erfahrung in der erforderlichen Nachweisführung der Erdbebensicherheit und im Dammbau aufweisen.

- Erddämme mit Absperrbauwerkshöhen größer 40 Meter

Bei Erddämmen mit Absperrbauwerkshöhen größer 40 Meter sollen die Nachweise durch Fachbüros, die auf die Erdbebennachweisführung spezialisiert sind bzw. spezialisiertes Fachpersonal beschäftigen, oder durch Universitäten durchgeführt werden. Voraussetzung ist eine ausgewiesene fachtechnische Ausbildung und Erfahrung im Stauanlageningenieurwesen, in Sicherheitsbelangen der Stauanlagen und im Erdbebeningenieurwesen. Fachleute müssen mit der Ermittlung von statischen und dynamischen Materialkennwerten sowie mit statischen und dynamischen Berechnungsverfahren, vorzugsweise mit der Finite-Elemente-Methode, gut vertraut sein und diesbezüglich eine ausreichende Erfahrung besitzen.

Im Dammbau sollten gute Kenntnisse statischer und dynamischer geotechnischer Grundlagen und Untersuchungsmethoden vorhanden sein und diesbezüglich eine ausreichende Erfahrungen vorliegen.

■ Staumauern

Bei Staumauern sollen die Nachweise durch Fachbüros, die auf die Erdbebennachweisführung spezialisiert sind bzw. spezialisiertes Fachpersonal beschäftigen, oder durch Universitäten durchgeführt werden. Sinngemäß gelten die gleichen Anforderungen wie bei Erddämmen mit Absperrbauwerkshöhen größer 40 Meter (s. o.), wobei neben der Geotechnik (Untergrund) auch in statischer bzw. konstruktiver Hinsicht (z. B. Massivbau bzw. Baustofftechnologie) entsprechende Anforderungen und Erfahrungen vorhanden sein müssen.

2.3 LEISTUNGSBESCHREIBUNG FÜR DEN ERDBEBENNACHWEIS

Von dem qualifizierten Auftragnehmer (siehe Kapitel 2.2) ist für die Durchführung der Erdbebennachweise ein Honorarvorschlag zu erstellen. Folgende Leistungen sollte das Leistungsangebot mindestens beinhalten:

- Durchsicht vorhandener Unterlagen
- Festlegung maßgebender Berechnungsquerschnitte (Bauwerk und Untergrund sind zu beachten)
- Durchführung erdstatischer oder/und statischer Nachweise für die erforderlichen Erdbeben-Lastfälle für das Absperrbauwerk sowie für Beckenhänge bzw. Böschungen
- Abstimmung mit dem Betreiber, wenn durch Erdbeben – z. B. aufgrund von Verformungen – die Funktionsfähigkeit der Anlage beeinträchtigt werden kann und weitere Nachweise, z. B. für Einzelbauteile und Einzelbauwerke, erforderlich sind
- Beschreibung und Bewertung des Restrisikos infolge der Überschreitung des Bemessungserdbebens nach DIN 19700-10:2004-07 Nummer 11
- Schriftlicher geotechnischer Bericht mit Darstellung der Nachweise und Ergebnisse sowie bei Bedarf einer Empfehlung zum weiteren Vorgehen (Definition des Handlungsbedarfes; ggf. mit Priorisierung und zeitlicher Staffelung)
- Teilnahme an Besprechungen

Optional:

- Falls vorhandene Unterlagen Defizite aufweisen: Erarbeitung (und ggf. Begleitung der Durchführung) eines geotechnischen Erkundungsprogramms
- Planung und Nachweis von baulichen bzw. messtechnischen oder betrieblichen Maßnahmen gemäß definiertem Handlungsbedarf

Nach DIN 19700-11:2004-07 Nummer 7.4 können weitere Nachweise für Einzelbauteile und Einzelbauwerke wie z. B. ein separater Rohwasserentnahmeturm, Betriebsgebäude etc. erforderlich werden, um nachzuweisen, dass diese die Zuverlässigkeit des Absperrbauwerks im Erdbebenfall nicht ungünstig beeinflussen.

3 Nachweis der Erdbbensicherheit

Nach DIN 19700:2004-07 müssen die Tragsicherheit, die Gebrauchstauglichkeit und die Dauerhaftigkeit des Tragwerks nachgewiesen werden. Das Tragwerk muss die erforderlichen Nutzungseigenschaften unter Einhaltung vorgegebener Toleranzen und unter andauernden Betriebsbedingungen beibehalten. Um die Dauerhaftigkeit über die vorgesehene Nutzungsdauer nachzuweisen, müssen aber auch die Einzelbauteile betrachtet werden. DIN 19700-11:2004-07 behandelt in Nummer 7 die Vorgehensweise, in der die unterschiedlichen Sicherheitsnachweise zu erarbeiten sind. Eine ausführliche Darstellung der Nachweisführung wird in der „Arbeitshilfe zum Nachweis der Erdbbensicherheit von Hochwasserrückhaltebecken und Talsperren“ gegeben [LUBW 2016].

Für die Nachweisführung der Sicherheit des Absperrbauwerkes sind in DIN 19700:2004-07 verschiedene Lastfälle, d. h. die Kombination verschiedener Einwirkungen, festgelegt. Neben der Sicherheit des Absperrbauwerkes sind jedoch noch weitere Nachweise erforderlich. So sind die Stabilität der Böschungen, angrenzender Hänge und von Stützwänden ebenfalls nachzuweisen. Es ist zu prüfen, inwieweit Auswirkungen von Erdbeben auf die Dichtungen und Dichtungsanschlüsse eines Staudammes sowie auf die Funktionalität der Bauteile, insbesondere der beweglichen Bauteile, zu erwarten sind. Alle Nachweise sind nach den jeweils einschlägigen technischen Normen durchzuführen.

Die Klassifizierung von Hochwasserrückhaltebecken und Talsperren ist eine wesentliche Grundlage zur Ermittlung der Bemessungsanforderungen. Hinweise zur Klassifizierung werden im Kapitel 2 der „Arbeitshilfe zur DIN 19700 für Hochwasserrückhaltebecken“ [LUBW 2007] sowie im DWA-Merkblatt 522 [DWA M 522 2015] gegeben. Es wird empfohlen, die Klassifizierung mit der Wasserbehörde vorab abzustimmen.

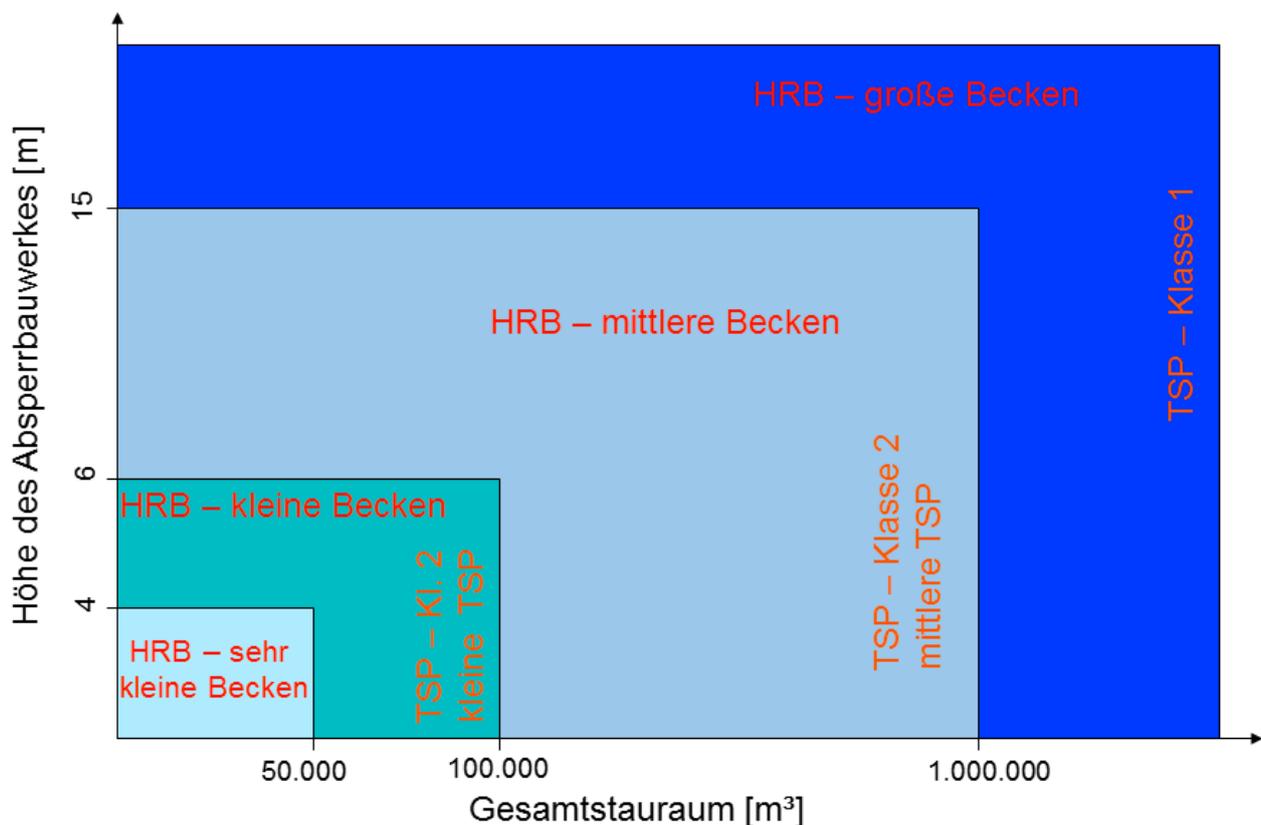


Abb. 3.1: Klassifizierung von Hochwasserrückhaltebecken und Talsperren in Baden-Württemberg in Anlehnung an DIN 19700:2004-07 [LUBW 2007]

In der DIN 19700-10:2004-07, Nummer 8.4 „Nachweis gegenüber Erdbeben“ werden zwei nachzuweisende Erdbebenfälle festgelegt.

Erdbebenfall 1 – Betriebserdbeben

Der Erdbebenfall 1 dient dem Nachweis der Gebrauchstauglichkeit und der Dauerhaftigkeit der Stauanlage. Die Stauanlage muss dem Betriebserdbeben ohne Nutzungsbeschränkungen widerstehen. Eine Kontrolle der Stauanlagen nach Erdbeben (Nachbebenkontrolle) ist erforderlich. Vorgaben hierzu sind im Kapitel 4 erläutert.

Erdbebenfall 2 – Bemessungserdbeben

Der Erdbebenfall 2 dient dem Nachweis der Tragsicherheit der Stauanlage. Die Stauanlage muss dem Bemessungserdbeben ohne globales Versagen widerstehen. Insbesondere darf die Tragsicherheit des Absperrbauwerks nicht gefährdet werden. Die Entleerungsmöglichkeit der Stauanlage ist nach einem Bemessungserdbeben zu bewerten. Das Auftreten lokaler Schäden kann toleriert werden. In jedem Fall ist nach einem derartigen Erdbebenereignis eine besondere Überprüfung der Stauanlage erforderlich. Einzelheiten hierzu sind im Kapitel 4 näher geregelt.

Die Intensität des Bemessungserdbebens ist höher als die des Betriebserdbebens und tritt am Standort der Stauanlage äußerst selten auf. Die zu berücksichtigenden Überschreitungswahrscheinlichkeit der beiden Erdbebenfälle 1 und 2 sind in der DIN 19700-11 festgelegt.

In Tabelle 4.1 sind die Anforderungen für Baden-Württemberg zusammengefasst dargestellt [LUBW 2007].

Tabelle 4.1: Zu berücksichtigende Erdbebenfälle in Abhängigkeit von der Talsperrenklasse (TK) bzw. Klassifizierung des Hochwasserrückhaltebeckens

	mittlere Wiederholungsperiode T bzw.	
	Erdbebenfall 1 (Betriebserdbeben)	Erdbebenfall 2 (Bemessungserdbeben)
Dauerstau		
TK 1 große HRB	T = 500 Jahre	T = 2500 Jahre
TK 2 – mittlere TSP mittlere HRB	T = 100 Jahre	T = 1000 Jahre
TK 2 – kleine TSP sehr kleine und kleine HRB	T = 100 Jahre	T = 1000 Jahre
Trockenbecken		
große HRB	kein Nachweis	T = 1000 Jahre
mittlere HRB	kein Nachweis	T = 1000 Jahre
sehr kleine und kleine HRB	kein Nachweis	kein Nachweis

LUBW

Die Nachweise sind bei Neubauten und Sanierungsvorhaben im Zuge der Projektierung zu führen. Auch bei bestehenden Anlagen sind die Nachweise zu erbringen. Dies muss spätestens im Rahmen der vertieften Überprüfung der Stauanlage erfolgen (siehe Kapitel 9.4 [LUBW 2007]).

Nachweisgrenze

Grundsätzlich gilt gemäß DIN 19700-10 Abschnitt 8.4, dass auf Nachweise gegenüber Erdbeben an Standorten verzichtet werden darf, an denen der Bemessungswert der Bodenbeschleunigung a_g des Bemessungserdbebens (Beschleunigungswerte auf Fels ohne Berücksichtigung des Standortfaktors S) den Wert von 4 % der Erdbeschleunigung ($0,4 \text{ m/s}^2$) unterschreitet. Dies gilt nur, wenn nicht anderweitig verursachte erdbebenähnliche Beanspruchungen (z. B. Gebirgsschläge, Sprengungen, anlageninduzierte Seismizität) mit größeren Beschleunigungswerten auftreten können. Es ist durch entsprechende Gutachten zu prüfen, ob erdbebenähnliche Beanspruchungen auftreten können.

Sind keine Erdbebennachweise zu führen, ist die Prüfung der Nachweispflicht zu dokumentieren und der Überwachungsbehörde mitzuteilen.

Anmerkung:

Bei Sonderlösungen (z. B. schlanke Mauer mit großer Masse am Mauerkopf) wird empfohlen, auch bei kleineren Beschleunigungswerten Nachweise gegenüber Erdbeben zu führen.

Sonstige Anforderungen

DIN 19700:2004-07 fordert in Teil 10 Nummer 8.4 eine Prüfung, ob gegebenenfalls aktive Störzonen oder erdbebeninduzierte Hangrutschungen beim Stauanlagenstandort zu erwarten sind. Die geforderte Prüfung bedarf einer gesonderten standortbezogenen geologischen bzw. ingenieurgeologischen Begutachtung.

4 Hinweise zum Betrieb der Stauanlage

4.1 KONTROLLE DER STAUANLAGE NACH ERDBEBEN

Um mögliche Schäden und Veränderungen in der Funktion der Hochwasserrückhaltebecken und Talsperren infolge eines Erdbebens erkennen zu können, müssen Kontrollen nach Erdbeben (sog. Nachbebenkontrollen) zur Prüfung der Funktionsfähigkeit und zum Schutz der Unterlieger durchgeführt werden.

Zur Bauwerksüberwachung bei Talsperren wird gefordert (vgl. Kapitel 4.4 des DWA-Merkblattes 514): „Nach dem Eintreten eines Erdbebens, das die Größenordnung des Betriebserdbebens erreicht oder überschritten hat, müssen eine visuelle Kontrolle des Bauwerkes und Sondermessungen an wichtigen Messstellen (Stabilität gegenüber dem Widerlager, Sohlenwasserdruck, Sickerwasser) durchgeführt und dokumentiert werden.“ Für große Talsperren sind auch die Anforderungen der ICOLD – International Commission on Large Dams (Committee on Seismic Aspects of Dam Design: z. B. ICOLD-Bulletin „Inspection of dams following earthquake guidelines“; Committee on dam safety: z. B. ICOLD-Bulletin „Risk assessment in dam safety management – A reconnaissance of benefits, methods and current applications“ und andere ICOLD-Bulletins in der jeweils aktuellen Fassung) zu beachten.

Die Betreiber von Stauanlagen sind nach Erdbebenereignissen verpflichtet, bei allen Hochwasserrückhaltebecken und Talsperren zu prüfen, ob und in welchem Umfang Nachbebenkontrollen (Tabelle 4.2) durchzuführen sind. Hinweise, dass ein Erdbeben stattgefunden hat, bekommen die Betreiber durch die Vor-Ort-Beschäftigten, wie z. B. die Stauwärter, oder durch Informationen in den Medien. Weitere Informationen können auch beim Erdbebendienst Südwest im Internet gefunden werden: <http://www.erdbebendienst-suedwest.de/>.

Bei Hochwasserrückhaltebecken und Talsperren, die nicht über entsprechende seismische Messeinrichtungen verfügen, kann diese Prüfung nicht auf der Grundlage von Messwerten durchgeführt werden. Nachbebenkontrollen mit unterschiedlichem Kontrollniveau müssen für diesen Fall je nach den Erdbebenwahrnehmungen am Standort und der näheren Umgebung durchgeführt werden. Das folgende Vorgehen orientiert sich an den Nachbebenkontrollen bei Stauanlagen in der Schweiz [BWG 2003].

Mit der Europäischen Makroseismischen Skala (EMS-98) (nach Grünthal 1998) wird die Intensität der Erschütterungen infolge Erdbeben an einem Ort in zwölf Stärkegraden angegeben. Im Gegensatz zu Magnitudenskalen, die auf Richter zurückgehen, beschreibt eine Intensitätsskala die Auswirkungen eines Erdbebens auf Personen und Bauwerke, die ohne Messgeräte festgestellt werden können (Makroseismik).

Anhand der Beschreibung in Tabelle 4.1 kann die makroseismische Intensität der Erdbebenerschütterung vor Ort zumindest grob eingestuft werden. Mit Feststellung der Intensität der Erdbebenerschütterung am Standort oder in der näheren Umgebung der Stauanlage, z. B. aufgrund von Informationen des Stauwärters, wird bestimmt, welches Erdbeben-Kontrollniveau (A, B oder C nach Tabelle 4.2) erreicht wurde und welche Kontrollen in welchem Zeitraum durchzuführen sind. Der Betreiber hat die entsprechenden Kontrollen zu veranlassen bzw. durchzuführen. In der Betriebsvorschrift können anlagenspezifische und ergänzende Kontrollen vorgegeben sein, welche dann ebenfalls zu berücksichtigen sind. Im Zweifel ist das jeweils höhere Kontrollniveau anzunehmen.

Tabelle 4.1: Intensitätsgrade entsprechend der 12-gradigen EMS-98, hier in stark verkürzter Form auszugsweise für Grade IV bis IX angegeben (Kurzform der EMS-98 nach <http://www.gfz-potsdam.de>, detaillierte Beschreibung der EMS-98 siehe Grünthal 1998)

Intensitätsgrad	Kurzbeschreibung
...	
IV	Im Freien vereinzelt, in Gebäuden von vielen Personen wahrgenommen. Einige Schlafende erwachen. Geschirr und Fenster klirren, Türen klappern.
V	Im Freien von wenigen, in Gebäuden von den meisten Personen wahrgenommen. Viele Schlafende erwachen. Wenige werden verängstigt. Gebäude werden insgesamt erschüttert. Hängende Gegenstände pendeln stark, kleine Gegenstände werden verschoben. Türen und Fenster schlagen auf oder zu.
VI	Viele Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Einige Gegenstände fallen um. An vielen Häusern, vornehmlich in schlechterem Zustand, entstehen leichte Schäden wie feine Mauerrisse und das Abfallen von z. B. kleinen Verputzteilen.
VII	Die meisten Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Möbel werden verschoben. Gegenstände fallen in großen Mengen aus Regalen. An vielen Häusern solider Bauart treten mäßige Schäden auf (kleine Mauerrisse, Abfall von Putz, Herabfallen von Schornsteinteilen). Vornehmlich Gebäude in schlechterem Zustand zeigen größere Mauerrisse und Einsturz von Zwischenwänden.
VIII	Viele Personen verlieren das Gleichgewicht. An vielen Gebäuden einfacher Bausubstanz treten schwere Schäden auf; d. h. Giebelteile und Dachsimse stürzen ein. Einige Gebäude sehr einfacher Bauart stürzen ein.
IX	Allgemeine Panik unter den Betroffenen. Sogar gut gebaute gewöhnliche Bauten zeigen sehr schwere Schäden und teilweisen Einsturz tragender Bauteile. Viele schwächere Bauten stürzen ein.
...	

LUBW

Tabelle 4.2: Kontrolle von Stauanlagen nach Erdbebenereignissen mit unterschiedlichem Kontrollniveau je nach Erdbebenwahrnehmung

Kontrollniveau	A	B	C
Intensitätsgrad EMS-98 Skala	IV	V - VI	≥ VII
Kontrollzeitraum	Keine sofortige Kontrolle der Anlage nötig	Kontrolle der Anlage <ul style="list-style-type: none"> ■ innerhalb von 24 Stunden bei eingestauten Becken (Dauer-, Betriebs- oder HW-Einstau) ■ innerhalb von 5 Tagen bei nicht eingestauten Trockenbecken* 	Kontrolle der Anlage <ul style="list-style-type: none"> ■ sofort bei eingestauten Becken (Dauer-, Betriebs- oder HW-Einstau) ■ innerhalb von 2 Tagen bei nicht eingestauten Trockenbecken*
Kontrollumfang	Bei der nächsten Anlagenschau Prüfung ausreichend, Kontrolle in Sicherheitsbericht Teil B aufnehmen	Gründliche visuelle Prüfung der Anlage, der Böschungen und Hänge, der Bauwerke sowie Funktionstest der Regelleinrichtungen. Prüfung der Messdaten auf Änderungen des Verhaltens durch den Stauwärter und den Betriebsbeauftragten.	Prüfung der Anlage im Umfang einer Anlagenschau durch den Stauwärter und den Betriebsbeauftragten. Bei eingestauten Becken ist dies nach einer gewissen Zeit zu wiederholen, um nicht sofort erkennbare Erdbebenwirkungen feststellen zu können.

* Nicht eingestaute Trockenbecken = Trockenbecken, welche zum Zeitpunkt des Erdbebens nicht durch ein Hochwasser gefüllt bzw. teilgefüllt sind.

LUBW

Information der Wasserbehörden durch den Betreiber

Wird das Kontrollniveau B oder C erreicht, muss der Betreiber die Wasserbehörde benachrichtigen. Neben der sofortigen Information über das erreichte Intensitäts- und Kontrollniveau muss nach der Prüfung der Stauanlage ein Sicherheitsbericht [LUBW 2007 bzw. DVWK-M 231 1995], bei Bedarf mit Angaben zum weiteren Vorgehen bzw. zu den durchzuführenden Maßnahmen, abgegeben werden. Bei Kontrollniveau B soll dies innerhalb von vier Wochen, bei Kontrollniveau C innerhalb von einer Woche erfolgen. Der Betreiber ist für die Sicherheit der Anlage und der Unterlieger verantwortlich.

4.2 ANPASSUNG DER BETRIEBSVORSCHRIFT

Die in diesem Kompendium enthaltenen Vorgaben sind anlagenspezifisch umzusetzen. Gegebenenfalls sind die Betriebsvorschrift, der Sicherheitsbericht und die Anlagenschau anzupassen.

Eine Anpassung der Betriebsvorschrift kann auch aufgrund der Ergebnisse des Erdbebennachweises erforderlich werden. Der Betreiber hat diese Anpassung zu veranlassen.

4.3 MESSEINRICHTUNGEN

Nach DIN 19700-11:2004-07, Nummer 10.2 kann die Registrierung von Erdbebenvorgängen in besonderen Fällen erforderlich werden. Zur Überwachung von Talsperren (vgl. Kapitel 3.4 DWA-Merkblatt 514) wird in Gebieten mit höherer seismischer Aktivität sowie bei hohen oder schwingungsanfälligen Absperrbauwerken die feste Installation mindestens eines Messsystems empfohlen. Bei großen Talsperren (auch bei großen Hochwasserrückhaltebecken mit Dauerstau) sollte eine seismische Messeinrichtung („seismischer Wächter“) installiert werden, die die Feststellung des Kontrollniveaus (A, B oder C) nach Kapitel 4.1 durch geeignete Beschleunigungsmessungen ersetzt bzw. ergänzt. Weitere Hinweise hierzu gibt das DWA-M 514 „Bauwerksüberwachung an Talsperren“ [DWA-M 514 2011]. Das Kontrollverfahren bei vorhandener seismischer Instrumentierung der Stauanlage kann sich dabei ebenfalls an den Nachbebenkontrollen bei Stauanlagen in der Schweiz [BWG 2003] orientieren.

Der Betreiber einer Stauanlage hat in Eigenverantwortung zu prüfen, ob eine seismische Instrumentierung erforderlich ist. Wird bei den Erdbebennachweisen festgestellt, dass ein großes Gefahrenpotenzial der Anlage für die Unterlieger (großes Erdbebenrisiko durch die Lage der Anlage, Versagenscharakteristik der Anlage, räumliche Nähe von Siedlungsbereichen) besteht, kann die Wasserbehörde die ausreichende seismische Instrumentierung und Überwachung fordern (Grundlage DIN 19700-11:2004-07 Ziffer 10.2).

Falls anlageninduzierte Seismizität zu erwarten ist (siehe Kapitel 3), ist die Überwachung durch ein seismisches Messnetz vorzunehmen.

5 Synoptisches Glossar

Begriff	Erläuterung	LUBW 2007	DIN 19700:2004-07
Absperrbauwerk	Bauwerk zur Erzeugung eines Staus [DIN 4048-1:1987-01]	Kap. 4	T 10, Nr. 10, T 11, Nr. 6, T 12, Nr. 6
a_g	Bemessungswert der Bodenbeschleunigung [m/s ²]	Kap. 3.3.1	T 10 Nr. 8.4
Bemessungserdbeben	Der Erdbebenfall 2 (Bemessungserdbeben) ist der Bemessungsfall, für den die Tragsicherheit der Stauanlage nachzuweisen ist.	Kap. 5.1 Anhang 2	T 10, Nr. 8.4 T 11, Nr. 7.1.2.6, 7.1.3, 7.2.2, 7.2.3, 7.3.2, 7.3.3 T 12, Nr. 7
Betriebserdbeben	Der Erdbebenfall 1 (Betriebserdbeben) dient dem Nachweis der Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit der Stauanlage.	Kap. 5.1 Anhang 2	T 10, Nr. 8.4 T 11, Nr. 7.1.2.6, 7.1.3, 7.2.2, 7.2.3, 7.3.2, 7.3.3 T 12, Nr. 7
Betriebsvorschrift	Anweisung des Betreibers zur Festlegung des Betriebes von Stauanlagen	Kap. 8.2 Anhang 3	T 10, Nr. 15.1, T 11, Nr. 9.2.2, T 12, Nr. 9.2
Dämpfung	Verkleinert bei Schwingungsvorgängen des Bauwerkes die Schwingungsausschläge durch Energie-dissipation	---	
EMS-98	Europäische Makroseismische Skala (Grünthal 1998) mit 12 Graden zur Klassifizierung der Wirkung eines Erdbebens auf Menschen und Bauwerke (siehe z. B. www.gfz-potsdam.de/EMS98)	---	
Epizentrum	Punkt an der Erdoberfläche, der senkrecht über dem Hypozentrum liegt	---	
Erdbebengefährdung	Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer bestimmten Amplitude der Bodenbewegungen oder Intensität an einem Standort	---	
Erdbebeneinwirkung	Gesamtheit der Wirkungen eines Erdbebens auf ein Bauwerk	---	
Fraktile	Ein Fraktile (Quantil) ist ein Lagemaß in der Statistik. Anschaulich ist ein Fraktile ein Schwellenwert: ein bestimmter Anteil der Werte ist kleiner als das Fraktile, der Rest ist größer. Ein 50-%-Fraktile bedeutet, dass die Werte in 50 % der Fälle überschritten werden.	---	
Hochwasserrückhaltebecken (HRB)	Stauanlage, deren Staubecken ganz oder teilweise dem vorübergehenden Rückhalt von Hochwasser dient [DIN 4048-1:1987-01]	Kap. 1.2, Kap. 1.3	T 10, Vorwort, T 12
Höhe Absperrbauwerk	Regelung Baden-Württemberg: Bei der Ermittlung der Höhe des Absperrbauwerkes wird als pragmatischer Ansatz für die Festlegung der maßgebenden Gründungssohle die Gewässer-sohle in Achse des Absperrbauwerkes angesetzt. Ein Bodenaustausch bzw. die Unterkante von Pfahlgründungen ist hier nicht maßgebend.	Kap. 2	T 11, Nr. 3 T 12, Nr. 3.1
Intensität	Maß für die Wirkung eines Erdbebens auf Menschen und Bauwerke; die Intensität eines Erdbebens ist von der Entfernung vom Erdbebenherd und von den Untergrundbedingungen abhängig; siehe auch EMS-98 bzw. MSK-Skala (als Abkürzung wird I verwendet)	---	

Begriff	Erläuterung	LUBW 2007	DIN 19700:2004-07
Klassifizierung	Die Klassifizierung von Hochwasserrückhaltebecken und Talsperren dient der differenzierten Festlegung von Bemessungsanforderungen.	Kap. 2	T 11; Nr. 3
Magnitude	Maß für die im Erdbebenherd freigesetzte Energie und damit für die Stärke eines Erdbebens (eingeführt durch C.F. Richter 1935, logarithmische Skala; als generische Abkürzung wird M verwendet). Die von Richter aufgestellte Magnitudenbestimmung wird auch heute noch unter der Bezeichnung Lokalmagnitude (Abkürzung M_L) verwendet.	---	
PGA	Peak Ground Acceleration – durch ein Erdbeben erzeugte Spitzenbodenbeschleunigung [m/s ²]		
Restrisiko	Risiko infolge einer Überschreitung des Bemessungserdbebens	Kap. 1.4	T 11, Nr. 4.3 + 4.4
Seismizität	Allgemeine Bezeichnung für die räumliche und zeitliche Verteilung von Erdbeben	---	
Sicherheitsbericht	Bericht zur Dokumentation und Beurteilung der Ergebnisse der Bauwerks- und Betriebsüberwachung	Kap. 9.3	T 11, Nr. 10.4, T 12, Nr. 10.3
Stauanlage	Absperrbauwerk mit zugehörigem Staubecken oder Speicherbecken. Es wird in Talsperren, Hochwasserrückhaltebecken, Staustufen, Stauteiche, Geschiebesperren unterschieden [DIN 4048-1:1987-01].	Kap. 1.2	T 10, Nr. 1
Staudamm	Absperrbauwerk überwiegend aus natürlichen Baustoffen, meistens geschüttet [DIN 4048-1 1987]	Kap. 4.1, Kap. 7 ff	T 10, Nr. 10, T 11, Nr. 6.2, T 12, Nr. 6
Staumauer	Absperrbauwerk aus Mauerwerk oder Beton [DIN 4048-1:1987-01]	---	T 10, Nr. 10, T 11, Nr. 6.3, T 12, Nr. 6
Talsperre (TSP)	Stauanlage, die über den Querschnitt des Wasserlaufes hinaus den ganzen Talquerschnitt absperrt. Sie besteht in der Regel aus der Hauptsperre (Absperrbauwerk mit Speicherbecken) und Vorsperren (Absperrbauwerke mit Staubecken oder Speicherbecken [DIN 4048-1:1987-01])	Kap. 1.2	T 11, Nr. 1
Vertiefte Überprüfung	Regelmäßige bzw. anlassbezogene Überprüfung der statischen, hydrologischen und hydraulischen Bemessungsgrundlagen sowie der betrieblichen Vorgaben und des Überwachungskonzepts einer bestehenden Stauanlage als Nachweis, dass die Anlage den allgemein anerkannten Regeln der Technik entspricht (DVWK-M 231 1995 – Kapitel 5)	Kap. 9.4	T 10, Nr. 11
Wiederholungsperiode	Mittlere Zeitdauer (in Jahren), innerhalb derer eine gewisse Amplitude der Bodenbewegung bzw. Intensität am Standort einmal erreicht oder überschritten wird (entspricht dem Kehrwert der Eintritts- bzw. Überschreitenswahrscheinlichkeit)	---	T 10, Nr. 8.4 T 11, Nr. 7.1.3

6 Literaturverzeichnis

Bieberstein, A.; Studer, J.; Weber, T.; Grünthal, G. (2010): Erdbebenbemessung von Stauanlagen gemäß DIN 19700 – Arbeitshilfe für Baden-Württemberg. Beitrag zum 15. Deutschen Talsperrensymposium April 2010

BWG (2003): Sicherheit der Stauanlagen – Basisdokument zu dem Nachweis der Erdbebensicherheit, Bundesamt für Wasser und Geologie Schweiz, März 2003

DIN 4048-1:1987-01 (1987): Wasserbau Begriffe Stauanlagen, Beuth Verlag GmbH, Berlin

DIN 1054:2010-12 (2010): Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1, Beuth Verlag GmbH, Berlin

DIN 4149:2005-04 (2005): Bauten in deutschen Erdbebengebieten – Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten, Beuth Verlag GmbH, Berlin; ersetzt durch DIN EN 1998-1:2010-12

DIN 19700-10:2004-07 (2004): Stauanlagen – Teil 10: Gemeinsame Festlegungen, Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth Verlag GmbH, Berlin

DIN 19700-11:2004-07 (2004): Stauanlagen – Teil 11: Talsperren, Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth Verlag GmbH, Berlin

DIN 19700-12:2004-07 (2004): Stauanlagen – Teil 12: Hochwasserrückhaltebecken, Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth Verlag GmbH, Berlin

DIN 19702:2010-06 (2010): Massivbauwerke im Wasserbau - Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit, Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth Verlag GmbH, Berlin

DIN EN 1997-1 2009-09 (2009): Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln, Deutsche Fassung EN 1997-1:2004 + AC:2009

DIN EN 1997-1/NA 2010-12 (2010): Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln, Beuth Verlag GmbH, Berlin

DIN EN 1998-1 2010-12 (2010): Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten, Deutsche Fassung EN 1998-1:2004 + AC:2009, Beuth Verlag GmbH, Berlin

DIN EN 1998-1/NA 2011-01 (2011): Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbau“, Beuth Verlag GmbH, Berlin

DVWK-M 231 (1995): Sicherheitsbericht für Talsperren - Leitfaden, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. 1995

DWA-M 514 (2011): Bauwerksüberwachung an Talsperren, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Juli 2011

DWA- M 522 (2015): Kleine Talsperren und kleine Hochwasserrückhaltebecken, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Mai 2015

Grünthal, G. (ed.) (1998): European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98), Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie 15, Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Luxembourg, 99 pp.

Grünthal, G. (2008): Erdbebengefährdungskarten für die Bemessung von Stauanlagen nach DIN 19700, in: Erfahrungsaustausch Betrieb von Hochwasserrückhaltebecken in Baden-Württemberg. Berichtsband 14. Jahrestagung „Sicherheitsrelevante Einwirkungen auf Hochwasserrückhaltebecken – Extreme Betriebszustände, Stuttgart, 20. November 2007, WBW Fortbildungsgesellschaft für Gewässerentwicklung mbH, Karlsruhe, pp 25–29

Grünthal, G.; Bosse, C.; Stromeyer, D. (2009a): Die neue Generation der probabilistischen seismischen Gefährdungseinschätzung der Bundesrepublik Deutschland: Version 2007 mit Anwendung für die Erdbeben-Lastfälle der DIN 19700:2004-07 'Stauanlagen', Scientific Technical Report STR 09/07, Deutsches GeoForschungsZentrum, Potsdam, pp 81

Grünthal, G.; Wahlström, R.; Stromeyer, D. (2009b): The unified catalogue of earthquakes in central, northern, and northwestern Europe (CENEC) – updated and expanded to the last millennium, *Journal of Seismology* 13(4): 517-541

ICOLD Bulletins, International Commission on Large Dams ICOLD, Committee on Seismic Aspects of Dam Design, Committee on dam safety, u. a., Paris, France, <http://www.icold-cigb.net/> (z. B. ICOLD-Bulletin 62(a), 72, 112, 113, 120, 123, 124, 130, 137 u. a. in den jeweils aktuellen Überarbeitungen bzw. Revisionen)

IM (2005): Karte der Erdbebenzonen und geologischen Untergrundklassen für Baden-Württemberg 1 : 350 000, Hrsg.: Innenministerium Baden-Württemberg, Stuttgart, 2005

IM (2007): Merkblatt des Innenministeriums zu Erdbeben in Baden-Württemberg. Empfehlungen zur Vorsorge und zum Verhalten während und nach Erdbeben in Baden-Württemberg, Innenministerium Baden-Württemberg, Stand 23. Oktober 2007

LUBW (2007): Arbeitshilfe zur DIN 19700 für Hochwasserrückhaltebecken (Oberirdische Gewässer – Gewässerökologie, Heft Nr. 106), Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg

LUBW (2016): Methodik der Erdbebennachweisführung für Hochwasserrückhaltebecken und Talsperren - Arbeitshilfe für die praktische Durchführung, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg

7 Bildnachweis

GFZ = Deutsches GeoForschungsZentrum Potsdam, Sektion 2.6 Erdbebengefährdung und Spannungsfeld

LUBW = Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg

Deckblatt

LUBW HRB Am alten Schloss

Kapitel 1

GFZ Abb. 1.1 bis 1.2, Abb. 1.4

LUBW Abb. 1.3

Kapitel 3

LUBW Abb. 3.1

