

Erdbeben und Talsperren Allgemeine Betrachtungen

Erdbeben sind eine von mehreren Gefährdungen, die bei der Planung, dem Bau und dem Betrieb einer Sperre berücksichtigt werden. Das heisst, dass das mögliche Auftreten eines Erdbebens als Teil eines komplexeren Belastungs- und Verhaltensbildes betrachtet wird. Insbesondere ist der statische Belastungs- und Verhaltenszustand der Sperre kurz vor Auftreten des Erdbebens ebenso wichtig wie die Erdbebeneinwirkung selber. Ferner beschränkt sich die Behandlung der Einwirkung Erdbeben nicht nur auf die Festlegung der möglichen Belastungsniveaus (Erdbebenintensität zum Beispiel) und auf die Nachprüfung des entsprechenden Sperrenverhaltens, sondern erweitert sich auf Nachkontrollen, die nach einem Erdbeben durchgeführt werden. Dadurch wird sichergestellt, dass allenfalls erforderliche Notmassnahmen (z.B. Alarmierung der Bevölkerung oder Seeentleerung) rechtzeitig erfolgen.

Unterhalt und Überwachung beeinflussen das Sperrenverhalten, und zwar auch bei Erdbeben.

Grundsätze des Verhaltens von Talsperren unter Erdbebeneinwirkungen

Immer wieder sind Bilder von eingestürzten Häusern und Brücken bei einem Erdbeben zu sehen. Das statische System dieser Hochbauten hat zur Hauptaufgabe die vertikalen Lasten (Eigengewicht und Nutzlasten) in die Foundationen umzuleiten. Die Aufnahmemöglichkeit von Horizontallasten ist dabei begrenzt und ohne besondere konstruktive Massnahmen eher schlecht. Die horizontalen Trägheitskräfte, die bei einem Erdbeben entstehen, treffen dann solche Systeme voll in ihrem Schwachpunkt mit den entsprechenden katastrophalen Folgen.

Im Gegensatz dazu sind Talsperren Bauwerke, deren statisches Hauptziel ist, die Wasserdrücke in die Foundationen umzuleiten (neben den Vertikallasten aus Eigengewicht). Die Wasserdrücke wirken senkrecht zur Sperrenoberfläche und weisen eine sehr grosse Horizontalkomponente auf. Die Sperren sind statisch dementsprechend konzipiert und haben eine grosse Aufnahmemöglichkeit von Horizontallasten, wie sie bei Erdbeben auftreten (Trägheitskräfte). Dieser grundsätzliche Unterschied im statischen Aufbau zeigt, dass es nicht zulässig ist, Erfahrungen und Feststellungen aus dem Hochbau in den Talsperrenbau direkt zu übertragen.

Drei Haupttypen von Talsperren sind in der Schweiz zu finden: Beton- und gemauerte Sperren (vorwiegend Bogenmauer und Gewichtsmauer), Dämme und Wehre. Die oben aufgeführten Überlegungen treffen für alle drei Typen zu. Es gibt jedoch Dammtypen, deren Material dynamische, zyklische Beanspruchungen sehr schlecht vertragen. Dies kann zu einer Verflüssigung eines Teiles des Dammkörpers führen. Es handelt sich dabei jedoch nur um Dämme, die mit einer sehr spezifischen Methode gebaut wurden ('hydraulic filled dams'); diese Methode wurde in der Schweiz nicht eingesetzt. Ferner gibt es ältere Wehre, deren Oberbau hochbauähnlich ist (hohe Pfeiler mit Dienstbrücke, auf welcher allenfalls schwere Maschinen stehen). Diese können eine gewisse Empfindlichkeit auf Erdbeben zeigen, jedoch betrifft dies nur den oberen Teil, hinter welchem sich kein Wasser befindet.

Sicherheitsanforderungen

Auch wenn Talsperren vergleichsweise viel weniger empfindlich auf Erdbeben reagieren als Hochbauten, ist die Erdbebensicherheit ein Bestandteil der standardmässigen

Sicherheitsüberprüfungen der Schweizer Talsperren. Die gestellten Anforderungen haben sich parallel zur Entwicklung des Kenntnisstandes mit der Zeit verändert. Als Grundsatz gilt, dass kein Versagen einer Talsperre mit unkontrolliertem Wasserabfluss auftreten darf und dass die Nebenanlagen keine Schäden erleiden dürfen, welche die Sicherheit der Stauanlage gefährden können. Der entsprechende Nachweis erfolgt für ein normiertes Sicherheitsbeben.

Für die grösseren Talsperren in der Schweiz wird das Sicherheitsbeben als ein Erdbeben mit einer Wiederkehrperiode von 10'000 Jahren definiert. Beim entsprechenden Beschrieb dieses Bebens (zum Beispiel Spitzenbeschleunigung) stützt man sich auf die Angaben des Schweizerischen Erdbebendienstes (SED).

Will man die oben aufgeführten Anforderungen probabilistisch ausdrücken, muss man drei Sachen betrachten: (1) Ein Gefährdungspotenzial besteht nur dann, wenn das Reservoir "voll" ist. Dies ist in der Schweiz und bei alpinen Sperren nicht das ganze Jahr so. Dadurch ist die effektive Wiederkehrperiode (d.h. bezogen auf die Periode des "Voll"staus) normalerweise viel länger als 10'000 Jahre. (2) Die Erdbeben, die der Wiederkehrperiode von 10'000 Jahren entsprechen, sind in manchen Orten gleichzeitig die grösstmöglichen Ereignisse. (3) Ist es nachgewiesen, dass die oben aufgeführten Anforderungen erfüllt sind, bedeutet dies nicht, dass bei einem grösseren Erdbeben Wasser unkontrolliert aus der Sperre herausfliessen würde. Mit anderen Worten, es bestehen noch Sicherheitsreserven!

Maximal aufnehmbares Erdbeben

Heutzutage kann man rechnerisch nachweisen, ob eine Sperre der Einwirkung eines bestimmten Bebens standhält. Umgekehrt ist es jedoch nicht möglich anzugeben, ab welcher Erdbebenstärke eine Sperre versagen würde. Als Folge davon ist die Höhe der zusätzlichen Sicherheitsreserve im Vergleich zum Sicherheitsbeben unbekannt.

Nachkontrollen

Die Bundesaufsichtsbehörden (BWG) ordnen ausserordentliche Talsperrenkontrollen nach einem Erdbeben mehrmals pro Jahr an. Dabei wurde noch nie irgendwelche Schäden oder anomales Verhalten beobachtet.

Die Prozedur läuft folgendermassen ab: Sobald ein Erdbeben der Magnitude 3 oder höher in der Schweiz oder im benachbarten Ausland auftritt, wird das BWG vom SED unverzüglich informiert, allenfalls über die Pikettstelle der Armee. Das BWG rechnet sofort nach bei welchen Schweizer Talsperren die Intensität 4 erreicht wurde und benachrichtigt die entsprechenden Werke. Kontrollen werden dabei angeordnet. Oft wird die Erfahrung gemacht, dass das Personal des Werkes das Beben gespürt hat und eine Kontrolle von sich aus veranlasst hat.

Fernbeben

Viele Instrumente zur ständigen Kontrolle des Verhaltens sind in den Talsperren zu finden, darunter auch Pendel. Anekdotisch ist zu erwähnen, dass Pendel oft Beben aufzeichnen, die mehrere Stunden vorher und Tausende von Kilometern entfernt aufgetreten sind. Dabei werden jedoch nicht die Schwingungen der Sperre gemessen (die keine erfährt), sondern diejenigen des Pendels selber (die natürliche Periode eines solchen Pendels liegt oft in der Nähe der vorwiegenden Perioden der ankommenden Erdbebenwellen)!

Forschungsbedürfnisse

Man ist heutzutage nicht in der Lage vorherzusagen, ab welcher Erdbebenstärke eine Sperre versagen würde (mit unkontrolliertem Wasserverlust). Dies ist auf begrenzte Kenntnisse in den Bereichen Materialien (Bruchmechanik und dynamisches Verhalten), Struktur (Versagensbilder, Interaktionen) und Modellierung (Nichtlinearitäten) zurückzuführen; dies stellt eine erste Reihe von Forschungsbedürfnissen dar.

Im Weiteren ist immer noch nicht klar, wie inhomogen die Erdbebenwellen bei der Kontaktfläche Mauer-Fundation einer Sperre ankommen. Dies ist von zentraler Bedeutung, da das Verhalten einer Sperre durch eine solche Inhomogenität stark beeinflusst werden könnte; dies stellt ein zweites Forschungsbedürfnis dar.

In den letzten 15 bis 20 Jahren hat man sich in der Schweiz sehr stark auf die Entwicklung von numerischen Modellen in der Forschung konzentriert (Suche nach Antworten zur ersten Bedürfnisreihe). Seit rund 5 Jahren liegt das Schwergewicht auf der In-Situ Beobachtung sowohl von erdbebeninduzierten Schwingungen als auch von Schwingungen, die natürlich (zum Beispiel durch Wind) oder mit Hilfe eines Shakers verursacht werden. Die Ziele sind einerseits die dynamischen Eigenschaften von Talsperren In-Situ zu eruieren, wie auch die erdbebeninduzierten Bewegungen der Kontaktfläche Sperre-Fundation. In diesem Rahmen wurden insbesondere 5 Netze von Starkbebeninstrumenten in Talsperren installiert. Bis jetzt wurden rund 20 Sätze von Aufzeichnungen gewonnen. Erste Dateninterpretationen liegen vor, die Mittel fehlen jedoch, um fortgeschrittenere Analysen durchzuführen.

Haftungsfrage

Wer bezahlt den Schaden, wenn eine Talsperre wegen eines Erdbebens einstürzen sollte? Den Schaden an der Talsperre selbst hat grundsätzlich deren Betreiber zu tragen, falls nicht ein Sachversicherer auf Grund eines Versicherungsvertrages hierfür aufkommen muss (die Deckung des Schadens infolge ausserordentlicher Naturereignisse wie Erdbeben müsste also in den Versicherungsbedingungen eingeschlossen sein). Falls die Talsperre nicht lege artis projektiert und/oder errichtet wurde, kommt auch ein Einstehenmüssen Dritter (planender Ingenieur, Bauunternehmer, allenfalls Subunternehmer) in Frage.

Im Falle einer Beschädigung der Talsperre stellen die austretenden Wassermassen für die Unterlieger eine Gefahr dar. Für Gefährdungen dieser Art haftet der Betreiber der Talsperre aus Werkeigentümerhaftung (OR 58). Diese Haftung erfasst allerdings nur den Schaden, den die Talsperre infolge fehlerhafter Anlage oder Herstellung bzw. mangelhaftem Unterhalt verursacht. Ist ein Erdbeben das schadenverursachende Ereignis, kann sich der Betreiber auf höhere Gewalt als Haftungsausschlussgrund berufen. Ein Geschädigter könnte seinen Schaden dann nur nach Massgabe eines Versicherungsvertrages auf einen Dritten abwälzen. In den meisten Kantonen wäre möglicherweise mit Leistungen der Gebäudeversicherung auf freiwilliger Basis zu rechnen. Hierzu käme wohl eine (Gross-) Schadenregelung durch den Bund auf Grund einer Sondervorlage.

Es ist befriedigend festzustellen, dass man sich in der Schweiz nie mit dieser Haftungsfrage hat befassen müssen!