

Dynamische Berechnung von Dämmen gegen Erdbeben: Vortrag

Autor(en): **Jaecklin, Felix P. / Wahler, William A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **89 (1971)**

Heft 9

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-84777>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Dynamische Berechnung von Dämmen gegen Erdbeben

DK 627.824.1/5:624.042.7.001.2

Von Felix P. Jaecklin und William A. Wahler

Vortrag vor der Schweiz. Gesellschaft für Bodenmechanik und Foundationstechnik in Luzern am 7. November 1969

Sowohl wir wie die veranstaltende Gesellschaft, welcher gegenüber wir uns zum Druck dieses Vortrages verpflichtet hatten, erhielten erst Ende Januar 1971 davon Kenntnis, dass der gleiche Text schon am 1. Juni 1970 in der «NZZ», Nr. 247, erschienen ist. Red.

1. Übliche Methoden und Erfahrungen

Die Frage, wieweit Dämme in der Lage sind, Erdbeben sicher zu überstehen, wurde in den letzten Jahren eingehend untersucht. Das Interesse ist vor allem begründet durch Dammprojekte von immer zunehmender Grösse und der damit zusammenhängenden erschreckenden Zerstörungsgewalt im Falle eines Bruches. Das Erdbeben vom 27. März 1964 in Anchorage (Alaska) verursachte eine Reihe umfangreicher Erdrutsche [1].

Erdbeben sind selten, aber überraschend und bedeuten erhebliche Gefahren. Ein Hauptgrund, weshalb diese Frage früher als relativ wenig besorgniserregend erachtet wurde, mag darin liegen, dass Fachleute bezweifelten, ob überhaupt ein ernsthaftes Problem bestehe [2]. Über Dammbüche infolge Erdbeben ist wenig veröffentlicht worden, obwohl in einer Anzahl von Fällen viel Schaden angerichtet wurde. Andererseits kann aber nicht ausser acht gelassen werden, dass nur sehr wenige grössere Dämme bisher einem stärkeren Erdbeben ausgesetzt waren.

Die heute zur Verfügung stehenden Erfahrungen zur Berechnung und Konstruktion von Dämmen für die verschiedensten Belastungsfälle sind nahezu unbegrenzt, während demgegenüber kaum oder nur ungenügende Erfahrungen über das Verhalten von Dämmen während Erdbeben vorliegen. Bisher wurden die meisten Dämme in Europa und anderswo nach der pseudostatischen Methode berechnet, wobei eine gewisse horizontale Erdbebenbeschleunigung k angenommen wird. Dieser Wert ist üblicherweise in der Grössenordnung von 5 oder 15 %, selten 25 % der Erdbeschleunigung g . Die besonderen Fundationsverhältnisse der Baustelle, die Eigenschaften des Schüttmaterials und die lokale oder regionale Erdbebenhäufigkeit mögen im angenommenen Wert berücksichtigt sein oder nicht. Sehr oft hat aber der angenommene Erdbebenkoeffizient gar keinen tatsächlichen Einfluss auf die Gestaltung des Projektes, weil für diesen Fall der Stabilitätsberechnung ein besonders geringer Sicherheitsfaktor zugelassen wird.

Die kürzlich entwickelte theoretische Methode mit entsprechenden Feld- und Laborversuchen erfasste auf regionale und quantitative Weise die besonderen Erdbebengefahren der Dammbaustelle einschliesslich der dynamischen Festigkeitseigenschaften der Fundations- und Schüttmaterialien und der dynamischen Verformungscharakteristik des Dammes. Die Methode verfolgt somit das Ziel, Erdbeben-setzungen und -verformungen eines gegebenen Projektes realistisch vorauszubestimmen, statt einfach einen mehr oder weniger fiktiven Wert als Sicherheitsfaktor zu berechnen.

Die Methode wurde für Projektierung einiger Dämme angewendet. Im Gegensatz zu anderen Fällen im Grundbau, wo neue Methoden oder genauere Kenntnisse der

Umstände in der Regel zu bedeutenden Einsparungen führen, zeigten Beispiele, dass die bisherige Berechnung eher auf der unsicheren Seite liegt und somit für eine sichere Konstruktion bedeutend mehr aufgewendet werden muss. Ein ausgewogenes Projekt lässt Verformungen erwarten, die auch mit dem stärksten Erdbeben zwar gewisse Beschädigungen hervorrufen, aber keinen Dambruch zur Folge haben.

2. Grundsätzliches Konzept und extreme Grenzen

Das Verfahren zur seismischen Berechnung von Erdämmen geht von einem weiten Bereich möglicher Erdbebenstärken (Magnitude) sowie der dynamischen Scherfestigkeit aus und führt zur Abschätzung möglicher Verformungen unter den verschiedenen Umständen. Dies erlaubt schliesslich, den möglichen Schaden und damit die Sicherheit des Projektes abzuschätzen.

Aus dem Gesagten geht bereits hervor, dass eine Anzahl Variabler einbezogen wird, wobei jede dieser Variablen ihren eigenen Bereich für mögliche Streuungen hat, mit dem entsprechenden Einfluss auf das Schlussergebnis. Mit dem Zweck, gleichgerichtete Einflüsse gemeinsam zu erfassen, erfolgt die Berechnung mit einer systematischen Kombination aller Variablen für: 1. ein optimistisches, 2. ein pessimistisch oder konservatives und 3. ein extremes Ergebnis.

Das heisst also, dass die Ungewissheit bezüglich der tatsächlichen Grösse des zu erwartenden Erdbebens sowie der anderen Faktoren sich im Schlussresultat als Streuungsbereich widerspiegelt. Dieses Konzept der extremen Grenzen wird als richtiger erachtet als die Prognose einer einzigen Zahl und wird darum auch in analogen Fällen wie Setzungsberechnungen empfohlen. Im einzelnen bedeutet dies die folgende Kombination:

1. optimistisch: mittleres Erdbeben, optimistisch beurteilte Bodeneigenschaften und günstiges Verhalten des Dammes.
2. pessimistisch (oder konservativ): ein sehr grosses Erdbeben, mögliche bis pessimistisch beurteilte Bodeneigenschaften und ungünstiges dynamisches Verhalten des Dammes.
3. extrem: ein Erdbeben von kaum wahrscheinlicher Grösse, schlechte Bodeneigenschaften und ausserordentlich ungünstiges dynamisches Verhalten des Dammes.

Die in Wirklichkeit zu erwartende Verformung dürfte somit zwischen dem optimistischen und dem pessimistischen Fall liegen. Demgegenüber hat der extreme Fall keine unmittelbar praktische Bedeutung, sondern dient zur Abgrenzung des durch die Methode total bestrichenen Bereiches.

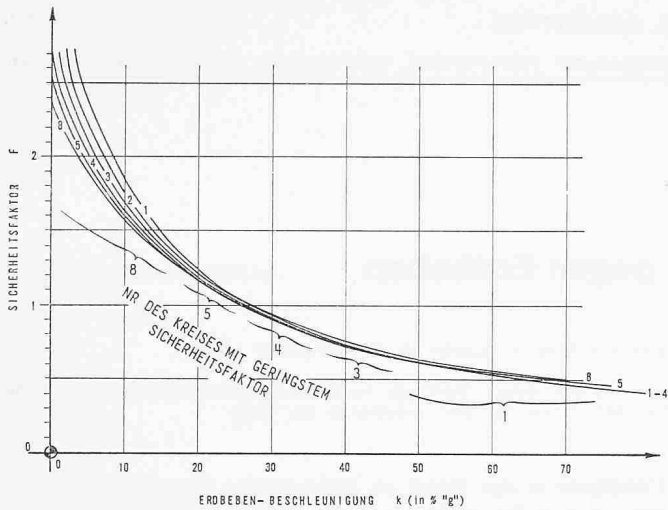


Bild 1. Stabilitätsberechnung für Gleitkreise mit pessimistisch angenommenem Scherwinkel ($\Phi = 26^\circ$) und verschiedenen Werten für k

3. Projektierungsgrundsätze und Grösse möglicher Erdbeben

Durch die Kenntnis der seismischen Vergangenheit eines Ortes kann die Häufigkeit von Erdbeben verschiedener Stärke ungefähr ermittelt werden. Selbstverständlich ist hierfür ein Seismologe heranzuziehen. Besonders wichtig sind in diesem Zusammenhang die Kriterien, welche die Beurteilung der Sicherheit beeinflussen. Die entsprechenden Projektierungsgrundsätze wurden vorgängig wie folgt festgelegt:

1. *Wahrscheinliches Ereignis:* Ein Erdbeben von mittlerer Stärke am betreffenden Ort, welches ungefähr alle 25 Jahre vorkommt. Der Damm muss dieses Beben ohne ernsthaften Schaden und ohne Einbusse seiner Funktion überstehen können.
2. *Wenig wahrscheinliches Ereignis:* Ein an diesem Ort starkes Erdbeben, das sich während der Lebensdauer des Dammes einmal ereignen könnte. Dieses Beben mag in Kombination mit allen anderen Belastungen einen gewissen Schaden verursachen.
3. *Extremes Ereignis:* Ein an diesem Ort unwahrscheinlich starkes Erdbeben, welches während der Lebensdauer des Projektes vermutlich nie vorkommt. Eine derart extreme Beanspruchung würde gewisse bedeutende Verformungen verursachen, welche grössere Reparaturen erfordern würden, verbunden mit einer zeitweisen Stilllegung der Anlagen. Trotz allem dürfen auf keinen Fall Schäden entstehen, die eine Überflutung der Gegend flussabwärts zur Folge hätten.

Diese Grundsätze zur Projektierung sind in gewisser Hinsicht analog jenen, welche für Reaktoranlagen vorgeschlagen wurden [3], jedoch ist die dritte Bedingung bedeutend vorsichtiger formuliert als dort.

4. Dynamische Bodeneigenschaften

Die dynamischen Bodeneigenschaften beeinflussen den Damm auf zwei Arten: 1. Die elastischen und plastischen Bodeneigenschaften bestimmen das dynamische Verhalten des Dammes als Ganzes (Eigenschwingung usw.); 2. Die dynamische Scherfestigkeit unter diesen Belastungen bestimmt ihrerseits die möglichen Verschiebungen von Teilen des Dammes (Stabilität).

Der Schermodul des Schüttmaterials und des natürlichen Untergrundes des Dammes sind massgebend für das Schwingungsverhalten des Dammes. Der Schermodul des Untergrundes kann durch geophysikalische Feldversuche relativ einfach ermittelt werden. Allerdings erfordert dies eine besondere Messtechnik und besondere elektronische Apparaturen, weil die üblichen seismischen Versuche (Refraktionsmethode) normalerweise nur die Druckwellengeschwindigkeit anstelle der Scherwellengeschwindigkeit messen.

Der Dämpfungsfaktor wird durch dynamische Triaxialversuche im Laboratorium unter verschiedenen Bedingungen bestimmt.

Die Scherfestigkeit von Bodenmaterialien kann unter zyklischer Belastung beträchtlich geringer sein als unter statischer Last. Dies trifft in besonderem Masse zu für Sande und Silte in gesättigter, loser Lagerung, welche sich nicht nur durch bedeutend grössere Verformungen auszeichnen, sondern sogar jegliche Festigkeit verlieren können, treffend als «Verflüssigung» (Liquefaction) bezeichnet. Die Verflüssigung dieser Art war Ursache dramatischer Schandfälle sowohl von natürlichen Böschungen als auch von künstlichen Schüttungen, wie sie zum Beispiel bei elf Erdämmen in Chile während des gleichen Erdbebens im März 1965 [4] eingetreten sind und den Verlust von Hunderten von Menschenleben verursacht haben.

Das Phänomen der Verflüssigung wurde erst kürzlich in genau kontrollierten Laborversuchen nachgeahmt. Selbstverständlich müssen alle Vorkehrungen getroffen werden, um jegliche Bedingung, welche zu derartiger Verflüssigung führt, sowohl im Damm als auch in der Foundation auszuschliessen. Beiläufig erwähnt gilt diese Gefahr der Verflüssigung nicht nur für Dämme, sondern auch für andere Bauten wie Ufermauern und Brückenfundationen.

Aber auch dynamisch weniger empfindliche Materialien wie tonige Silte zeigen ein deutlich plastischeres Verhalten als unter statischen Bedingungen. Die pulsierende Belastung erzeugt mit jedem Lastzyklus einen gewissen Verformungsanteil. Im gleichen Rhythmus baut sich eine stufenweise zunehmende Porenwasserdruckspannung mit dem entsprechenden festigkeitsvermindernden Einfluss auf. Aus praktischen Gründen hat sich für diese Probleme eine Definition der dynamischen Scherfestigkeit bewährt, welche bestimmt wird durch die Deviatorspannung $\frac{1}{2} (\sigma_1 - \sigma_3)$, welche mit zehn Lastwechseln 10 % Deformation erzeugt. Einschliesslich der Wirkung anisotrop konsolidierter Proben wurde in einem Beispiel folgender Bereich der dyna-

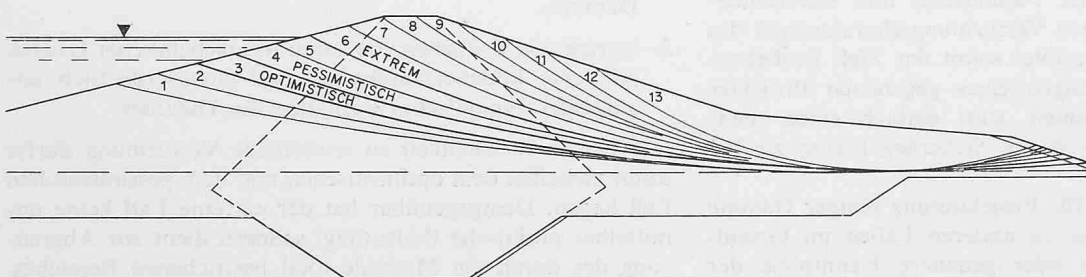


Bild 2. Kritische Gleitkreise der Erdbebenberechnung

- Nr. 3, $\Phi 32^\circ$, $k_{cr} 0,38$
- Nr. 4, $\Phi 26^\circ$, $k_{cr} 0,28$
- Nr. 6, $\Phi 20^\circ$, $k_{cr} 0,16$

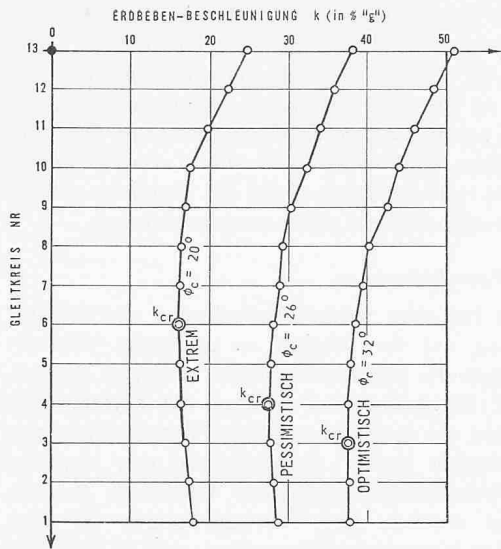


Bild 3. Kritische Beschleunigung k_{cr} für Gleitkreise

mischen Scherfestigkeit Φ_c erhalten (keine Kohäsion): optimistisch 32° , pessimistisch 26° , extrem 20° .

Φ_c ist definiert als $\tan \Phi_c = S_{dyn} / \sigma_{fc}$, wobei S_{dyn} = dynamische Scherfestigkeit $\frac{1}{2} (\sigma_1 - \sigma_3)$, definiert durch 10 % Deformation mit zehn Lastzyklen; $\sigma_{fc} = \sigma_3$ = Konsolidationsspannung.

Die statische Scherfestigkeit beträgt vergleichsweise $\Phi' = 31^\circ$ (effektiver Reibungswinkel). Die ermittelte dynamische Scherfestigkeit bildet den Ausgangspunkt für die zugehörige Stabilitätsberechnung.

5. Verhalten des Dammes

Ausgehend von den gemessenen dynamischen Bodeneigenschaften sowie den auf statistischer Grundlage ermittelten Erdbeben kann nun das Schwingungsverhalten des Dammes durch Heranziehen eines mathematischen Modelles gefunden werden. Die Berechnung als Ganzes ist eher komplex und besteht aus fünf abgetrennten Untersystemen, wobei jedes für die elektronische Berechnung programmiert wurde. Die Grundzüge dieser Systeme sind folgende:

5.1. Berechnung der kritischen Beschleunigung

Mit der gemessenen dynamischen Scherfestigkeit und der Geometrie des Dammes kann eine übliche Stabilitätsberechnung durchgeführt werden, sowohl für kreiszylindrische Gleitflächen als auch für andere Fälle wie beispielsweise horizontales Abscheren. Werden die gleichen Gleitkreise mit variierender horizontaler Erdbebenbeschleunigung berechnet (nach der genauen Methode von Janbu mit mehrfacher Iteration), so ergeben sich Werte für den Sicherheitsfaktor F gemäss Bild 1.

Die Kurven zeigen, dass es offenbar für jeden Gleitkreis eine Beschleunigung gibt, bei welcher der Sicherheitsfaktor $F = 1,0$ wird. Diese Beschleunigung ist somit kritisch und wird als k_{cr} bezeichnet. Der Dammquerschnitt, Bild 2, zeigt die berechneten Gleitkreise. Mit zunehmenden Erdbebenbeschleunigungen werden die Gleitkreise immer tiefer und flacher. Grundsätzlich die selben Ergebnisse sind dar-

Bild 5. Mathematisches Modell zur Berechnung des dynamischen Verformungsverhaltens mittels paralleler Balken, untereinander verbunden durch gedämpfte Federn

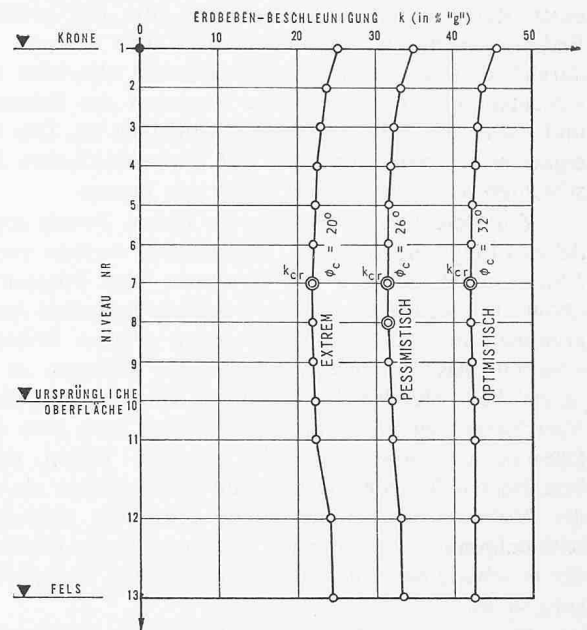
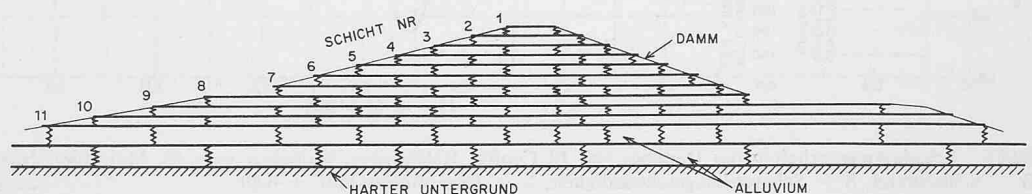


Bild 4. Kritische Beschleunigung k_{cr} für horizontales Abscheren

gestellt in Bild 3, diesmal bezogen auf die kritische Beschleunigung k_{cr} . Es fällt auf, dass in jedem der drei dargestellten Fälle die Kurven für k_{cr} äusserst flach verlaufen, so dass es schwer fällt, festzustellen, welcher Gleitkreis nun der kritischste ist. Vor allem aber deutet dies darauf hin, dass offenbar ein breiter Bereich des Dammes durch die Beschleunigung praktisch gleichzeitig kritisch wird. Dies weist als weitere Folgerung auf einen «Zonenbruch» hin.

Ein anderes Programm berechnet den einfachen Fall horizontalen Abscherens des Dammes. Es ist klar, dass dieser Fall kaum kritischer sein kann als die Gleitkreise, er hat aber den Vorteil, dass dadurch ein vollständiges Bild der Verhältnisse über die gesamte Höhe des Dammquerschnittes hervorgeht (Bild 4). Das selbe Ergebnis bestätigt sich: äusserst flache Kurven für k_{cr} , ein breiter Teil des Dammes wird gleichzeitig kritisch und zeigt damit Tendenz zu Zonenbruch.

5.2. Schwingungsverhalten des Dammes

Dieser Abschnitt bildet das eigentliche Kernstück der Berechnungsmethode. Jeder Erddamm besteht aus elastoplastischem Material und ist daher nicht absolut steif. Durch die Bewegungen des Erdbebens verformt sich der Damm, und entsprechend pflanzen sich zyklisch wechselnde Spannungen im Damm fort, welche von den Materialien und der Geometrie abhängen.

Die Wirkung von Erdbeben auf Erddämme wurde von N. M. Newmark [5], N. N. Ambraseys und K. S. Sarma [6] und H. B. Seed und H. B. Martin [7] behandelt. Ein Erdbeben mit der gleichen Frequenz wie die Eigenfrequenz des Dammes verursacht die stärkste Reaktion, während andere Erdbebenfrequenzen einen schwächeren Einfluss haben. Das verwendete mathematische Modell, Bild 5, zur Nachbildung dieser natürlichen Eigenschaften besteht in

einer Reihe paralleler Scherbalken, die mit gedämpften Federn gegenseitig verbunden sind. Die Theorie beruht darauf, dass die seismische Erregbarkeit alluvialer Bodenschichten über dem Fels eine Funktion des Schermoduls und damit der Scherwellengeschwindigkeit ist. Das Modell eignet sich sowohl für Fälle mit unterschiedlichen Bodenschichten als auch für jede Form von Damm.

Zur Berechnung wird ein für diesen Zweck abgewandeltes Computerprogramm, ursprünglich verfasst von *I. M. Idriss* und *H. B. Seed* [8], verwendet. Das Programm benötigt als Eingabe als typisch erachtete Erdbeben-Accelerogramme, die Dammgeometrie sowie gewisse Bodeneigenschaften. Als Ergebnis werden unter anderem in kontinuierlicher Folge Beschleunigungen, Geschwindigkeiten und Verschiebungen auf zahlreichen Koten vom Fels bis zur Dammkrone ausgedrückt. In gewissen Fällen sind die berechneten Beschleunigungen im Damm höher als die mit der Stabilitätsberechnung zuvor ermittelte kritische Beschleunigung k_{cr} , somit muss ein momentaner Gleitzustand der Böschung herrschen, der entsprechende Verschiebungen verursacht.

Ein typisches Beispiel des Schwingungsverhaltens des Dammes zeigt Bild 6: Im Felsuntergrund (Niveau Nr. 13) wird das Beben eingegeben, in diesem Fall das Accelerogramm des El Centro-Erdbebens (Kalifornien) vom 18. Mai 1940, vergrößert mit dem Faktor $n = 1,4$ zur Nachahmung eines Bebens Magnitud 8. Die anderen Linien zeigen die Beschleunigungen auf höheren Koten. Die weitesten Ausschläge werden an der Krone verzeichnet. Der Vergleich dieser beiden extremen Kurven zeigt den unregelmässigen und zackigen Charakter des Erdbebens im Fels und die relativ ausgeglättete und regelmässige Schwingung auf der Dammkrone. Der weitaus wichtigste Unterschied liegt aber in der Tatsache begründet, dass die Spitzenbeschleunigungen auf der Krone sehr viel grösser sind und bedeutend länger dauern. Die bisherige Methode – welche annimmt, der Damm sei ein starrer Körper mit gleichen Beschleunigungen von unten bis oben – scheint demzufolge deutlich auf der unsicheren Seite zu liegen.

Bild 7 veranschaulicht entsprechend einen Zeitpunkt

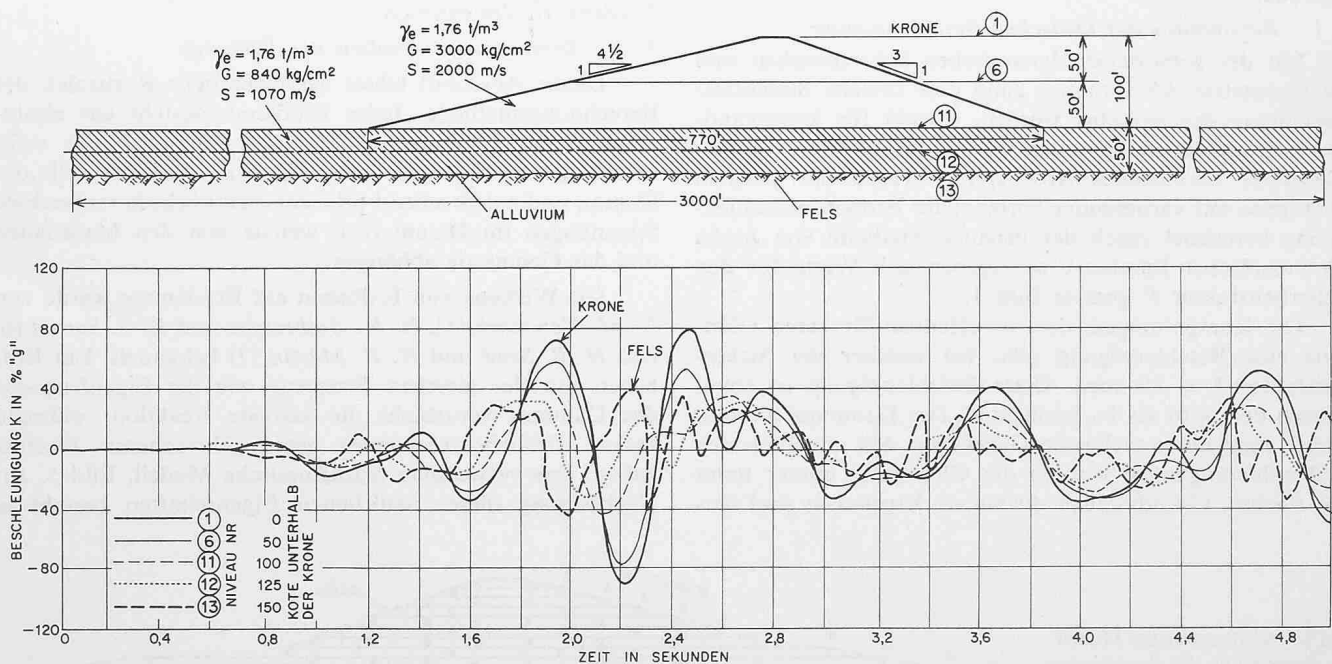


Bild 6. Schwingungsverhalten des Dammes von El Centro, Kalifornien, Erdbeben vom 18. Mai 1940; Nord-Süd-Komponente
 G = Schermodul, S = Scherwellengeschwindigkeit, λ = Dämpfungsfaktor = 0,20

mit erheblicher Beschleunigung auf der Krone, die den mehrfachen Betrag des Erdbebens erreichen kann. Die Tatsache, dass im unteren Teil des Diagrammes die Beschleunigungen in diesem Augenblick umgekehrt gerichtet sind, rührt von der Phasenverschiebung zwischen Fels und Krone her. Dieses Bild stellt wohl die Tatsache ausser Zweifel, dass die verschiedenen Teile des Dammes ausserordentlich unterschiedliche Kräfte erfahren können.

5.3. Damm-Verschiebungen

Schiesslich hat eine weitere Berechnung die tatsächliche Auswirkung auf den Damm zu ermitteln. Wie erwähnt, übersteigen die Beschleunigungen zeitweise die kritische. Aus der Doppelintegration über die betreffenden Zeitintervalle geht die maximal mögliche Verschiebung pro Beschleunigungsspitze hervor. Entsprechend den eingangs erwähnten Erdbebenstärken und dem Verfahren der extremen Grenzen wurden diese Verschiebungen für eine Reihe von Fällen systematisch berechnet und in den Bildern 8 und 9 graphisch dargestellt. Bild 8 erlaubt besonders die Auswirkungen verschiedener Bruchmechanismen miteinander zu vergleichen, während im Bild 9 die als horizontal berechneten Verschiebungen mit der Neigung der 1:3 geneigten luftseitigen Böschung in Beziehung gesetzt werden, so dass sich daraus die entsprechende Setzung der Krone abschätzen lässt.

6. Schlussfolgerungen

Die pulsierenden Belastungen eines Erdbebens verursachen in einem Damm Spannungen, welche die dynamische Scherfestigkeit während kurzen Augenblicken übersteigen können und dadurch zu Verschiebungen der Böschungen führen. Durch eine kürzlich entwickelte Methode, welche entsprechende Feld- und Laborversuche erfordert sowie ein mathematisches Modell des Dammes einschliesst, ist es heute möglich, die Grössenordnung von zu erwartenden Verformungen abzuschätzen. Damit wird es möglich, die Sicherheit eines Dammes auf Grund möglicher Beschädigungen zu beurteilen, statt einen Sicherheit vorpiegelnden Faktor F anzunehmen.

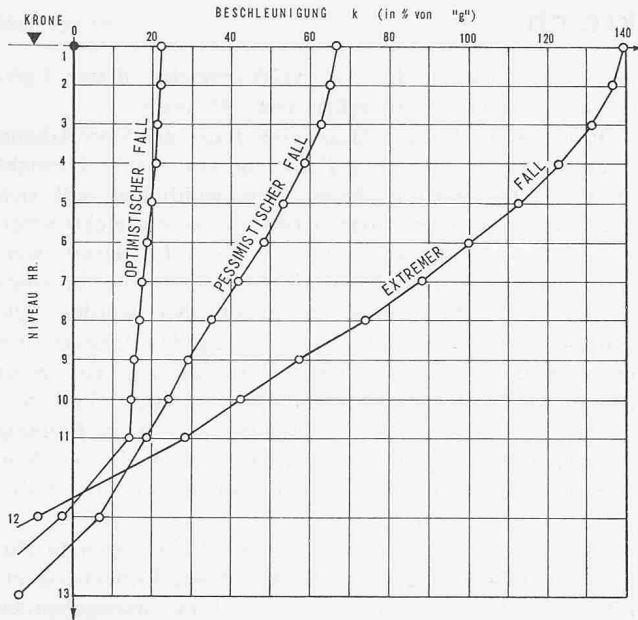


Bild 7. Beschleunigung der Dammkrone im Zeitpunkt des Maximums

Des weiteren beweist die Studie, dass Erdbeben bedeutend höhere Spannungen in einem Damm erzeugen können als jeder andere Belastungsfall, wobei aber gleichzeitig nicht die statische, sondern die meist geringere dynamische Scherfestigkeit massgebend ist. Daraus ergibt sich, dass die Sicherheit des Dammes tatsächlich erschreckend unter dem liegen kann, was auf Grund früherer Methoden zu erwarten gewesen wäre. Besonders ungünstige Bedingungen liegen dann vor, wenn die Eigenfrequenz des Dammes nahe bei den zu erwartenden Erdbebenfrequenzen liegt.

Aus der Erfahrung mit den erfolgten Anwendungen zu schliessen, gestattet die Methode nicht nur, eine erhöhte effektive Sicherheit einzuschliessen, sondern gibt vor allem die Möglichkeit, Schwachstellen schon im Projektierungsstadium zu erkennen. Ihre besondere praktische Bedeutung liegt darin, dass sie erlaubt, auf realer Grundlage ein erdbebensicheres Bauwerk zu planen. Die Folgerungen daraus berühren die Bemessung der Böschungsneigungen, des Materialverdichtungsgrades, des Freibordes sowie das Filter- und Drainagesystem einschliesslich Schutzvorkehrungen gegen Risse.

Gesamthaft lässt sich feststellen, dass die dynamische Berechnung von Dämmen gegen Erdbeben – weil verbunden mit der gewaltigen Überflutungsgefahr im Falle eines Dammbrechens – einen besonders kritischen Belastungsfall erfasst und damit, wenn auch mit gewissem Aufwand verbunden, sich heute rechtfertigt, und zwar sowohl für projektierte als auch zur Überprüfung bestehender Dämme gewisser Grösse. Grundsätzlich wird die selbe dynamische Berechnungsmethode auch verwendet zur Beurteilung von Fundamentproblemen, zum Beispiel bei Reaktorbauten oder Brücken.

Literaturverzeichnis

- [1] Coulter and Migliaccio R. R.: Effects of the earthquake of March 27th 1964 at Valdez Alaska, Geological Survey Professional Paper 542-C, US Department of the Interior 1966.
- [2] Seed H. B.: Earthquake-Resistant Design of Earth-Dams, "Canadian Geotechnical Journal" 1966.
- [3] Di Pol C. V.: Seismic Design Criteria for Nuclear Power Plants. ASCE Annual Meeting and National Meeting on Water Resources Engineering, New Orleans, La. 1969, Preprint 791.

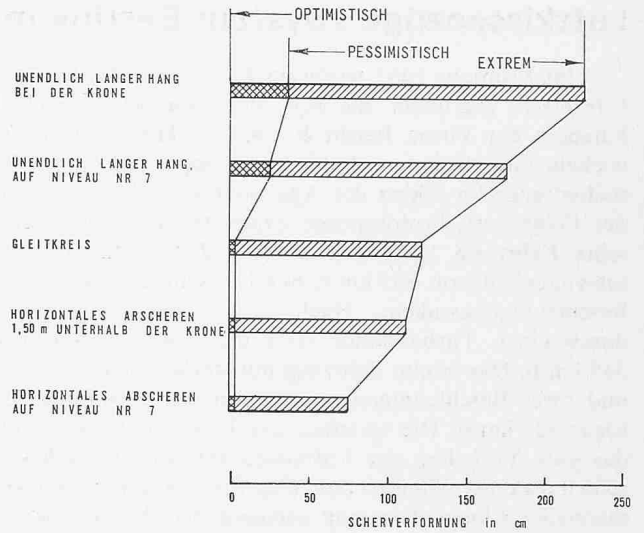


Bild 8. Horizontale Komponente der Scherverformung der Dammkrone für verschiedene Berechnungsfälle

- [4] Dobry R. and Alvarez R.: Seismic Failures of Chilean Tailings Dams, Soil Mechanics Division ASCE, SM 6 p. 237–260, November 1967.
- [5] Newmark N. M.: Earthquake Effect on Dams and Embankments, "Geotechnique", London, England. Vol. 15 No. 2, June 1965 (Fifth Rankine lecture).
- [6] Ambraseys N. N. and Sarma K. S.: The Response of Earth Dams to strong Earthquakes, "Geotechnique" 17, 181–213, 1967.
- [7] Seed H. B. and Martin G. R.: The Seismic Coefficient in Earth Dam Design, Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE May 1966.
- [8] Idriss I. M. and Seed H. B.: Response of Horizontal Soil Layers During Earthquakes. University of California, August 1967 and ASCE, SM 1968.
- [9] Jaecklin F. P., Meehan R. L. and Wahler W. A.: Seismic Analysis of Dam Embankment. International Conference in Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico-City 1969, Proceeding of Session in Soil Dynamics.

Adresse der Verfasser: Dr. Felix P. Jaecklin, dipl. Bauing. ETH, und William A. Wahler, Präsident, W. A. Wahler and Associates, 1023 Corporation Way, Palo Alto, California 94304, USA.

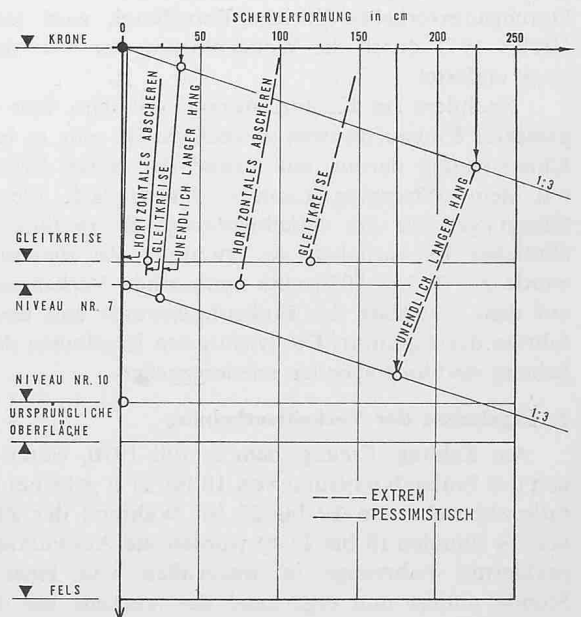


Bild 9. Scherverformung der luftseitigen Böschung 1:3