



Dynamische Finite-Elemente-Analysen von Dämmen unter Erdbebenbeanspruchung

Frank Brötzmann

Einleitung

In der geotechnischen Praxis erfolgen die Standsicherheitsnachweise von Dämmen für Talsperren und für industrielle Absetzanlagen in der Regel anhand von konventionellen Gleitkreisverfahren. Dabei werden die Erdbebenbeanspruchungen als quasistatische Ersatzlasten berücksichtigt. Bei Dämmen mit Stauhöhen größer 40 m werden nach DIN 19700 allerdings Nachweise mit dynamischen Berechnungen gefordert.

Mit modernen 2D-Finite-Elemente-Berechnungsprogrammen können Verformungen unter dynamischen Beanspruchungen berechnet werden. Diese werden mittels des Zeit-Schritt-Verfahrens und Vorgabe von Zeitverläufen (Beschleunigungs-, Geschwindigkeits- oder Verformungs-Zeit-Diagramm) ermittelt. Dadurch können Verformungs- und Sicherheitsprognosen durchgeführt werden, die die Charakteristik bzw. den Frequenzgehalt des Erdbebenverlaufes berücksichtigen. Es sollten aber Stoffgesetze Anwendung finden, die das Materialverhalten des Dammes unter dynamischer Beanspruchung wiedergeben können.

Die zweidimensionale Analyse von Erdbeben auf bauliche Strukturen ist allerdings nur mit Approximationen von einsetzenden Effekten, wie der räumlichen Ausbreitung der Schwingungen, der Reflexionen an den Systemrändern und der Dämpfungswirkung des Untergrundes und des Bauwerkes möglich.

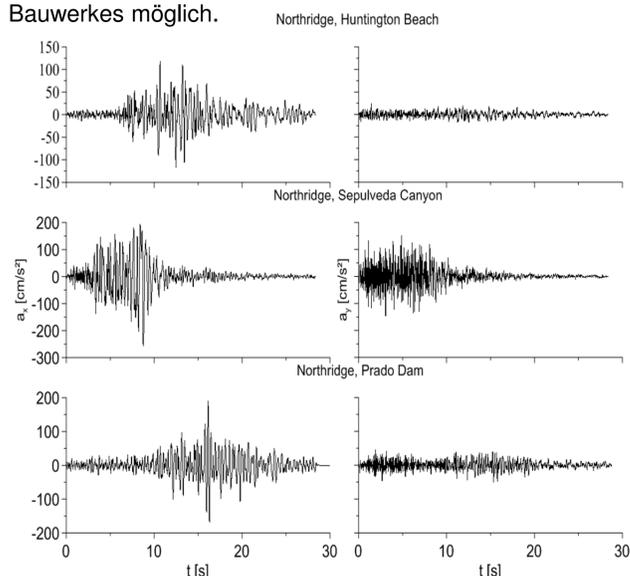


Abb. 1: Aufzeichnungen des Northridge-Erdbebens von 1994 an drei Stationen, Huntington Beach, Sepulveda Canyon und Prado Dam mit Darstellung der horizontalen und der vertikalen Beschleunigungskomponente a_x und a_y in Abhängigkeit der Beibendauer t

Ziele der Arbeit

Die Ziele umfassen unter anderem:

- Eignung der zur Verfügung stehenden Stoffgesetze hinsichtlich dynamischer Beanspruchung
- realistische Berücksichtigung von Dämpfungs- und Reflexionseigenschaften
- Angabe realitätsnaher Verschiebungs- und Setzungsprognosen
- Auswirkungen unterschiedlicher Beanspruchungsrichtungen auf die Berechnungsergebnisse
- Auswirkung der Variation der Randbedingungen (gefülltes Becken, sandig-kiesiger Untergrund, Variation der Stoffparameter) auf Berechnungsergebnisse
- Vorgehensweise zur Abschätzung der Standsicherheit

Für die Berechnungen wurden drei verschiedene Stationsaufzeichnungen des Northridge-Erdbebens von 1994 verwendet, um zu zeigen, wie sich unterschiedliche Frequenzspektren der Beschleunigungs-Zeit-Verläufe auf die Berechnungsergebnisse und unterschiedliche Beanspruchungsmaxima auf die Verschiebungen auswirken. Die verwendeten Erdbebenaufzeichnungen sind in Abb. 1 dargestellt.

Berechnungen

Für die Berechnungen wurde die Software PLAXIS 2D® verwendet. Die hierbei zur Verfügung stehenden Stoffgesetze wurden auf ihre Eignung für dynamische Berechnungen untersucht. Das Stoffgesetz HSS wurde aufgrund der Möglichkeit, nicht-lineares Steifeverhalten bei Be- und Entlastung abzubilden und dem Boden in Abhängigkeit des Dehnungszustandes unterschiedliches Steifeverhalten zuzuordnen, ausgewählt. Außerdem kann damit hysteretisches Verhalten bei zyklischer Scherung abgebildet sowie Materialdämpfung zugewiesen werden. Neben dieser material- sollte zusätzlich eine frequenzabhängige Dämpfung durch Vorgabe von Rayleigh-Dämpfung vorgesehen werden, um annähernd realistisches Schwingungsverhalten abbilden zu können.

Berechnungsmodell

Anhand zweier Modelle, einem Steinschüttdamm mit Außenhautdichtung und einem Tailingsdamm, wird das Verhalten von Dämmen unter dynamischer Beanspruchung dargestellt. Da die Berechnungen auf dränierter Zustände begrenzt bleiben, sind grundsätzliche Reaktionen auf dynamische Beanspruchungen ähnlich. Abb. 2 zeigt die verwendete Dammgeometrie des Steinschüttdammes „Lichtenberg“ mit einer Stauhöhe von etwa 40 m.

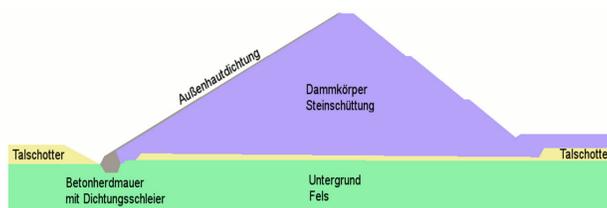


Abb. 2: Dammgeometrie des Staudammes „Lichtenberg“

Nach Zuordnung von realistischen Materialparametern und der Diskretisierung des Modells ist der Damm mit den unterschiedlichen Beschleunigungs-Zeit-Verläufen (siehe Abb. 1) beansprucht worden. Dabei gewonnene Erkenntnisse sind unter anderem (siehe Abb. 3):

- Hohe Maximalbeträge der Horizontalbeschleunigung bedeuten höhere Setzungen an der Dammkrone.
- Bei Ansatz sowohl horizontaler als auch vertikaler Beanspruchung stellen sich größere Setzungen an der Dammkrone ein als bei Ansatz nur horizontaler Beanspruchung.
- Nähern sich die Beträge der Vertikalbeschleunigungen den Horizontalbeschleunigungen an, sind die Auswirkungen auf Setzungsunterschiede geringer.

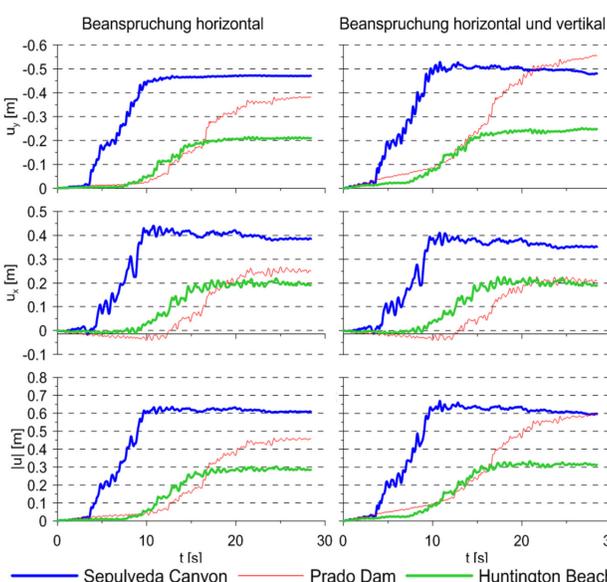


Abb. 3: Vergleich der Setzung u_y , der Verschiebung u_x und der absoluten Verschiebung $|u|$ an der Dammkrone bei Ansatz der verschiedenen Stationsaufzeichnungen

„Dynamische Phi-c-Reduktion“

Es ist auch eine Möglichkeit der Standsicherheitsbestimmung erörtert worden. Die Methodik ist der Bestimmung der statischen Standsicherheit mittels Phi-c-Reduktion ähnlich. Durch sukzessives Abmindern der Scherparameter $\tan \varphi$ und c und wiederholtem Durchführen der dynamischen Analyse lässt sich anhand von Versagenspunkten (MC-Points) zu gewissen Zeitpunkten das Versagen der Böschung simulieren. Tritt augenscheinlich ein durch MC-Points durchgehender Gleitkörper auf, so spiegelt dies das Versagen bzw. Abrutschen der Böschung wieder. Durch das Verhältnis der abgeminderten zu den vorhandenen Scherparametern kann dabei ein Sicherheitsbeiwert abgeschätzt werden. Die Abb. 4 verdeutlicht den Zusammenhang. Der abgeleitete Standsicherheitsbeiwert beträgt demnach 1,13.

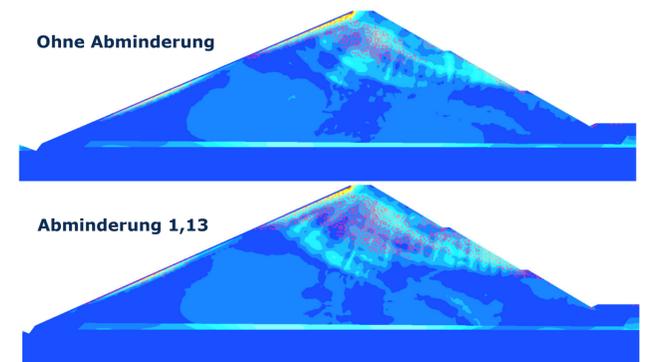


Abb. 4: Darstellung der inkrementellen Scherdehnung und der Versagenspunkte (MC-Points, rot dargestellt) bei unterschiedlichen Abminderungen zum Zeitpunkt $t=16,88$ s

Zusammenfassung

Es werden die Möglichkeiten, mittels 2D-FE-Modellen dynamische Untersuchungen durchführen zu können, wird aufgezeigt. Entsprechend der realen Wiedergabe von dynamischen Prozessen mussten allerdings in verschiedenen Voruntersuchungen Berechnungsparameter für die reale Dämpfung des Systems beurteilt und abgeschätzt werden. Es sind erweiterte Stoffgesetze notwendig, um das Materialverhalten unter Erdbebenbeanspruchung reell wiedergeben zu können. Dafür eignete sich besonders das HSS-Stoffgesetz.

Die Anwendung der FE-Methode auf Erdbebenbeanspruchung zeigt, dass auf die Berücksichtigung der Vertikalbeschleunigung in den Berechnungen nicht verzichtet werden darf. Dies bedeutet, dass für künftige Untersuchungen beide Beschleunigungskomponenten angesetzt werden sollten.

Bei der Beurteilung der Standsicherheit unter dynamischen Beanspruchungen bietet die aufgezeigte Methode mit Abminderung der Scherparameter eine gute Möglichkeit, das Versagensrisiko abzuschätzen. Die dabei gewonnenen Versagensgeometrien können für konventionelle Berechnungsverfahren herangezogen werden.

Diese Diplomarbeit entstand in Zusammenarbeit mit der BAUGRUND DRESDEN Ingenieurgesellschaft mbH.

Projekt

Diplomarbeit

Wissenschaftliche Betreuung

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Ivo Herle, TU Dresden
Prof. Dr.-Ing. habil. P.-A. von Wolfersdorff, Baugrund Dresden
Dr.-Ing. Michael Arnold, TU Dresden

Abgabe

November 2010