

Baukammerpreis 2020

3. Preis an Marlene Steggewentz in der Gruppe der Bachelor-Arbeiten der TUB und der Hochschulen:

Verifikation wellenabsorbierender Elemente zur Simulation der dynamischen Boden-Bauwerk-Interaktion

Erstgutachter: Prof. Dr.-Ing. Frank Rackwitz (TU Berlin)

Zweitgutachter: Dr.-Ing. I.-K. Fontara (GuD Geotechnik und Dynamik Consult GmbH)

Die Kurpsai-Talsperre liegt im westlichen Teil des Tian-Shan-Gebirges am Naryn, einem 534 km langen Fluss, und ist mit einer jährlichen Leistung von 800 MW nach der Tokotogul-Talsperre das Wasserkraftwerk mit der höchsten Leistung Kirgistans. Da die Talsperre in einem erdbebengefährdeten Gebiet zwischen zwei tektonischen Bruchstellen liegt, besteht das permanente Risiko, dass die umliegenden Felshänge infolge von Erdbebeneinwirkungen versagen. Für eine Risikobewertung und den Katastrophenschutz ist eine dynamische Analyse des Bauwerks einschließlich des umgebenden Baugrundes notwendig (s. Abb. 1).

Ein wesentliches Problem bei der dynamischen Simulation des Gesamtsystems einschließlich der Boden-Bauwerks-Interaktion ist das Modellieren des

*Preisträgerin
Marlene Steggewentz
mit Präsident
Dr.-Ing. Ralf Ruhnau, Prof.
Dr.-Ing. Frank Rackwitz (TU
Berlin) und Prof. Dr.-Ing.
Udo Kraft (Vorsitzender des
Bildungsausschusses)*



unendlich ausgedehnten Halbraums in einem räumlich begrenzten Modell, ohne dabei Wellenreflexionen an den künstlich eingeführten Modellrändern zu verursachen. Die Wahl der Modellrandbedingungen hat somit einen gro-

ßen Einfluss auf die im Bauwerk und Baugrund auftretenden Verformungen und Spannungen und folglich auf die Berechnung der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit des Bauwerkes. Für die Verringerung oder gar



Abbildung 1: Die Kurpsai-Talsperre in Kirgistan (TU Berlin, Fachgebiet Statik und Dynamik)

die Vermeidung der Reflexionen an den Modellrändern gibt es verschiedene Ansätze wie z.B. die Randelement-Methode, Perfectly Matched Layer, Local Transmitting Boundaries, Extended Mesh und Infinite Elemente. Da diese Methoden meist mit einem erheblichen Rechenaufwand verbunden sind, ist die Suche nach geeigneten Modellrändern bzw. die Auswahl einer geeigneten Methode eine wesentliche Frage für die gesamte Modellierung der dynamischen Analyse.

Das Ziel dieser Arbeit ist das Prüfen und Verifizieren von Infiniten Elementen als Wellen absorbierende Randelemente für diese bodendynamische Problemstellung in der Finite-Elemente-Software ANSYS. Die Informationen zur Theorie und praktischen Anwendung von Infiniten Elementen sind in dem ANSYS Benutzerhandbuch nicht sehr detailliert dargestellt. In der Literatur wird häufig die Anwendung von Infiniten Elementen in der Akustik beschrieben, zur Anwendung in baugrunddynamischen Problemstellungen liegen jedoch deutlich weniger Studien vor. Somit sind die Infiniten Elemente für Probleme in der Baugrunddynamik näher zu untersuchen und es ist insbesondere deren Anwendung zu verifizieren.

In einem Finite-Infinite-Elemente-Modell können die Bauwerksstruktur und der Bodennahbereich, d.h. der Baugrund in der unmittelbaren Umgebung des Bauwerks, mit Finiten Elementen (kurz: FE) und der Bodenfernbereich, d.h. der gesamte Baugrund außerhalb des Nahbereiches, ausgedehnt bis ins Unendliche bzw. im Modell bis hin zu den künstlich eingeführten Modellrändern grundsätzlich mit Infiniten Elementen (kurz: INFIN) diskretisiert werden (s. Abb. 2). Die Infiniten Elemente für elastische Medien in dynamischen Analysen basieren auf den von Lysmer und Kuhlemeyer (1969) entwickelten viskosen Rändern, die die Energie der eintreffenden Wellen absorbieren und reflektierte Wellen, die als Zugkräfte auf diese Ränder wirken, aus dem Modell entfernen. Ein großer Vorteil gegenüber anderen Methoden in

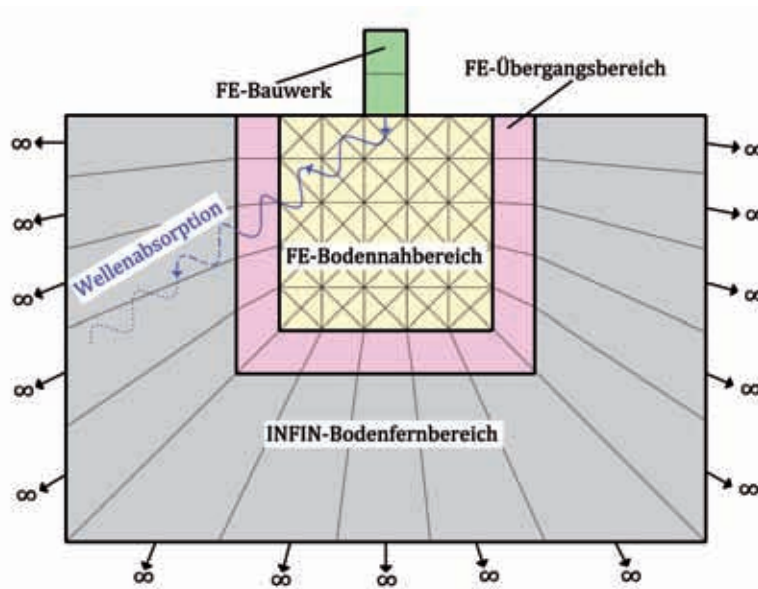


Abbildung 2: Finite-Infinite-Elemente-Modell, schematisch

ANSYS ist, dass die Infiniten Elemente relativ einfach generiert werden können, ohne dass dabei die Kopplung verschiedener Programme einschließlich komplexer Bearbeitungsschritte erforderlich sind. Des Weiteren besitzen die Infiniten Elemente sämtliche positiven Eigenschaften der Finiten Elemente. So bleibt das numerische Integrationsverfahren beibehalten und die Koeffizientenmatrix des linearen Gleichungssystems gleicht einer Bandmatrix, wodurch der notwendige Rechenaufwand niedrig bleibt.

Da bei numerischen Modellierungen immer wieder Probleme bzgl. der Modellbildung auftreten, erfolgt die Verifikation (s. Abb. 3) schrittweise anhand von

- statischen und dynamischen Analysen,

- zwei- und dreidimensionalen Modellen,
- masselosen und masselasteten Fundamenten,
- homogenem und geschichtetem Halbraum
- sowie einer direkten Anregung des Fundamentes
- und einer indirekten Anregung an der Modellbasis.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Verwendung von Infiniten Elementen grundsätzlich eine zuverlässige Methode darstellt, um Wellenreflexionen an den künstlichen Modellrändern zu vermeiden. Jedoch reagieren die Infiniten Elemente in ANSYS

sehr sensibel auf die Art der Modellierung. Das Finite-Infinite-Elemente-Modell muss zwingend aus drei Teilbereichen aufgebaut sein. In bodendynamischen Analysen ist ein strukturiert vernetzter Übergangsbereich erforderlich, ansonsten sind die Berechnungsergebnisse nicht brauchbar. Neben anderen Erkenntnissen aus dieser Arbeit wäre es sinnvoll, das Benutzerhandbuch in diesem Punkt zu ergänzen. Die in dieser Arbeit vorgenommenen Untersuchungen zeigen, dass die Infiniten Elemente bei Einhaltung spezifischer Randbedingungen für die Umsetzung der Simulation des Gesamtmodells der Kurpsai-Talsperre einen durchaus geeigneten Lösungsansatz des Modellrandproblems liefern können.

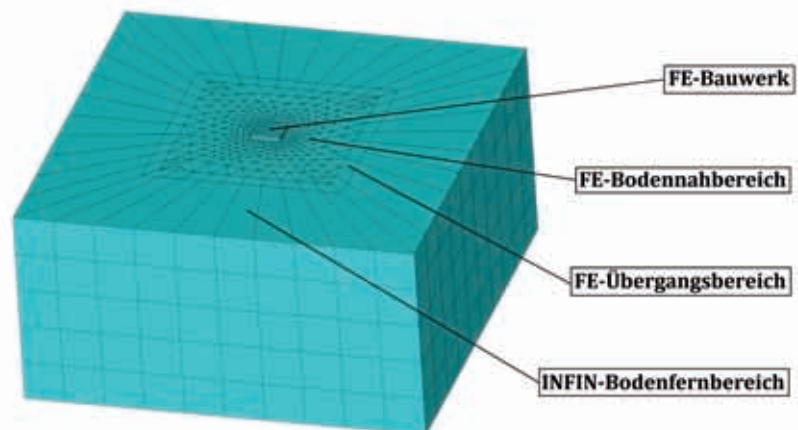


Abbildung 3: Finite-Infinite-Elemente-Modell zur Verifikation in ANSYS