Naturmessungen an Talsperren im Zusammenspiel mit numerischen Berechnungen

Abb. 1: Sperre Schlegeis – Bauzustand.

Zusammenfassung: Eine geeignete Wahl der Materialparameter ist für die Berechnung der Standsicherheit von Sperrenbauwerken von essentieller Bedeutung. Daten aus Messungen an bestehenden Talsperren können als Grundlage für eine Rückrechnung dieser Materialparameter an einem dafür geeigneten Modell herangezogen werden. Im vorliegenden Beitrag wird exemplarisch die Bestimmung der sogenannten dynamischen E-Moduli für Fels und Beton für die Sperre Schlegeis mithilfe von Naturmessungen und eines Finite Elemente Modells dargestellt.

Field measurements for dams in conjunction with numerical calculations

Summary: The selection of proper material parameters is essential for analysing the

stability of large dam structures. Data from measurements on existing dams can be used as a basis for the back-calculation of such parameters on a suitable model. This article demonstrates, by way of example, the determination of the so-called dynamic moduli for rock and concrete for the Schlegeis dam in Tyrol by use of field measurements and a finite element model.

1. Einleitung

Talsperren sind im Allgemeinen in Österreich gut überwachte und instrumentierte Bauwerke. Die Überwachung dient dem sicheren und verlässlichen Betrieb der Anlagen über ihre lange Lebensdauer und stellt die Grundlage zur Beurteilung des

Langzeitverhaltens dar. Die Bauwerke und ihr Verhalten unter verschiedenen Belastungssituationen werden mit hoher Genauigkeit und meist in Echtzeit mittels Fernüberwachung beobachtet. (1)

Aus der Gesamtheit der Daten, die aus Messungen von Verformung, Temperatur, Porenwasserdruck etc. gewonnen werden, können kritische Situationen für die Integrität des Bauwerks identifiziert und damit die Vorhersagen über dessen Reaktion auf verschiedene Betriebsszenarien getroffen werden.

Neben den ständigen Überwachungseinrichtungen werden in mehr oder weniger regelmäßigen Abständen Inspektionen bzw. vereinzelt auch Versuche wie z. B. zum Betonzustand oder dem Eigenschwingverhalten der Sperren durchgeführt.

Abbildungen: Autor

Abb. 2: Sperre Schlegeis: Natur – Geometrie – FE-Netz.

Die damit erhaltenen Informationen stellen wichtige Eingangs- bzw. Vergleichsdaten für Berechnungen dar, um die Qualität der gewählten Parameter zu verbessern und so die Aussagekraft des Berechnungsmodells der betrachteten Struktur zu erhöhen. Ebenso werden dadurch Fortschritte in der Auslegung und Modellierung für zukünftige Bauwerke durch ein besseres Verständnis der Struktur schon in der Planung und Berechnung erzielt.

Im vorliegenden Artikel wird, als Beispiel anhand einer Erdbebenberechnung für österreichische Talsperren (3), die Anwendung von Messdaten (2) zur Bestimmung von Materialparametern und Modellverhalten für eine Finite Elemente Berechnung illustriert.

2. GEWÖLBEMAUER SCHLEGEIS

2.1. Allgemeines

Die Sperre Schlegeis wurde in den Jahren 1969 bis 1971 errichtet (Abb. 1) und stellt das Absperrbauwerk des Schlegeis Speichers dar, der zur Kraftwerksgruppe Zemm/Ziller in Tirol gehört.

Bei einer Sperrendicke von 9 m an der Krone und einer maximalen Sperrendicke von 34 m wurden ca. 960000 m³ Beton verbaut. Das Bauwerk ist 131 m hoch und mit einer Kronenbogenlänge von 725 m weit gespannt. Der Speicher fasst bei einem Stauziel von 1782 m ü. A. (Absenkziel 1680 m ü. A.) rund 127 Mill. m³. (3)

2.2. Natur und Modell

Das Finite Elemente Modell wurde anhand der Geometriedaten (Abb. 2) über die Sperre erstellt und besteht aus rund 1100 Elementen mit ca. 7000 Knoten. Die Elemente haben einen quadratischen Verschiebungsansatz. Daraus ergibt sich in etwa eine Anzahl von 20000 Freiheitsgraden.

Für das Modell wird die Geometrie des Tales vereinfacht, wobei die Aufstandslinie ober- und unterwasserseitig zu den Modellgrenzen hin projiziert wird. Der erfasste Geländeausschnitt erstreckt sich etwa 940 m in Tallängs- und 1200 m in Talquerrichtung. Eine Tiefe von 130 m unter der Talsohle wird abgebildet. (Abb. 3)

2.3. Berechnung der Eigenfrequenzen

Für die Berechnung wird ein linear elastisches Materialgesetz für den Sperrenbeton und den Felsuntergrund verwendet. Der Dichte des Sperrenbetons wird hierbei mit 2,4 to/m³ angesetzt und der Fels als masselos betrachtet. Dem Einfluss des Reservoirs auf die Eigenfrequenz wird über die addierten Massen nach Westergaard Rechnung getragen.

Die Ermittlung der Eigenfrequenzen erfolgt für verschiedene Wasser- bzw. Füllstände des Speichers. Die Sohl- und Blockfugen werden in dieser Phase der Berechnung, nach einer Sensitivitätsanalyse, als geschlossen betrachtet.

2.4. Eigenfrequenzen aus Messungen

Bei den durchgeführten Messungen sinkt die ermittelte Eigenfrequenz bei nahezu leerem Speicher wieder ab. Dies deutet auf eine Öffnung der Blockfugen hin, die mit dem gewählten numerischen Modell nicht abzubilden ist. Für die Ermittlung der

Kennwerte werden somit nur die Messungen bei 7 m und 51 m unter Vollstau herangezogen (Abb. 4).

2.5. Anpassung der Materialkennwerte

Für die Anpassung der Berechnungsergebnisse an die gemessenen Eigenfrequenzen wird zunächst der dynamische Verformungsmodul des Sperrenbetons, ausgehend von Werten aus früheren Untersuchungen (FEM-Berechnung, 1994), variiert. (Abb. 5)

Dabei ergeben sich für den Sperrenbeton zu hohe Werte. Deshalb wird in einem nächsten Schritt der E-Modul des Felsens angehoben. (Abb. 6)

Somit ergibt sich im Vergleich mit den Ergebnissen aus den Messungen ein E-Modul von 40000 MPa für den Sperrenbeton und den Felsuntergrund. Je nach Stau-

Abb. 3: Sperre Schlegeis – Finite Elemente Modell. (4)

ABBILDUNG 4

Sperre Schlegeis – Eigenfrequenzen aus Messungen

Messungen – TU Wien, Arsenal 1995/1996

Mode	Eigenfrequenz [Hz] 7 m unter Vollstau (1775 müA)	Eigenfrequenz [Hz] 51 m unter Vollstau (1731 müA)
1	1,92	2,21
2	2,05	2,34
3	2,47	2,75
4	2,93	3,23
5	3,53	3,84

ABBILDUNG 5

Sperre Schlegeis – Ergebnisse aus Parameteranalyse I

Eigenfrequenzen aus Finite Elemente Berechnung I			
E_{Sperre} [MPa]	E_{Fels} [MPa]	7 m unter Vollstau (1775 müA)	51 m unter Vollstau (1731 müA)
		1. Ef [Hz]	1. Ef [Hz]
40000	21000	1,70	2,16
43500		1,75	2,22
56600		1,92	2,43

ABBILDUNG 6

Sperre Schlegeis – Ergebnisse aus Parameteranalyse II

Eigenfrequenzen aus Finite Elemente Berechnung II			
E_{Sperre} [MPa]	E_{Fels} [MPa]	7 m unter Vollstau (1775 müA)	51 m unter Vollstau (1731 müA)
		1. Ef [Hz]	1. Ef [Hz]
40000	40000	1,81	2,31
43500		1,91	2,44

ABBILDUNG 7

**Sperre Schlegeis: Vergleich der Eigenfrequenzen
(angepasste Kennwerte)**

Mode	Eigenfrequenzen [Hz] bei 7 m unter Vollstau (1775 müA)		Eigenfrequenzen [Hz] bei 51 m unter Vollstau (1731 müA)	
	Messung	Berechnung	Messung	Berechnung
1	1,92	1,81	2,21	2,31
2	2,05	1,86	2,34	2,49
3	2,47	2,38	2,75	3,02
4	2,93	2,75	3,23	3,42
5	3,53	3,32	3,84	4,05

höhe zeigt sich nur eine geringe Abweichung der Eigenfrequenz nach oben bzw. unten – je nach Stauspiegel. Ein Vergleich auch mit den höheren Moden ist in *Abbildung 7* dargestellt.

2.6. Eigenformen

Mit den zuvor ermittelten Kennwerten können die nachfolgenden dynamischen Berechnungen durchgeführt werden. Als Beispiel werden hier Ergebnisse aus der Ermittlung der Eigenformen bei Vollstau in *Abbildung 8* dargestellt.

3. Zusammenfassung

Die dargestellte Vorgehensweise zur Ermittlung von dynamischen Materialkennwerten zeigt eine komprimierte und vereinfachte Fassung von Teilen einer Erdberechnung für die Sperre Schlegeis.

Das Modellverhalten ist zu identifizieren und die Kapazitäten bzw. Anwendungsgrenzen des Berechnungsmodells sind damit richtig einzuschätzen. Im Vergleich mit den Ergebnissen aus den für das Modell geeigneten Messungen lassen sich die Materialparameter durch eine Rückrechnung ermitteln und damit das numerische Modell für die Standsicherheitsberechnungen erstellen. ■

Korrespondenz:

Rupert Feldbacher, Gerald Zenz
Technische Universität Graz, Institut für Wasserbau und
Wasserwirtschaft der Technischen Universität Graz
Stremayrgasse 10/II
8010Graz
<http://www.hydro.tugraz.at>

Abb. 8: Sperre Schlegeis – berechnete Eigenformen bei Vollstau. (4)

LITERATUR

- Melbinger R (1998) „The Austrian Approach to Dam Safety: A Symbiosis of Rules and Engineering Judgement“, Proc. of Int. Symp. on Dam Safety, Barcelona, 1998
- (1995) „Standsicherheit erdbebenbeanspruchter Sperren IDNDR“, Gemeinschaftsprojekt des Bundesforschungs- und Prüfzentrums Arsenal, Abteilung Dynamik und Akustik, und des Instituts für allgemeine Mechanik/TU Wien, Zwischenbericht
- (1991) Dams in Austria, „Schlegeis Arch Dam“, Austrian National Committee on Large Dams, pp137-140, Vienna
- Zenz G, Obernhuber P (2002) „Erdbebenberechnung von Talsperren in Österreich“, Wasserwirtschaft – Zeitschrift für Wasser und Umwelt
- Riezinger J (1996) „Identifikation des dynamischen Verhaltens einer Talsperre bei unterschiedlichen Wasserständen im Speicher“, Dissertation TU Wien
- Zenz G (2009) „Design and Analysis of Concrete Dams“, Proc. of Int. Conf. on Long Term Behaviour of Dams, Graz