

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Schanz, Tom**

## **Aktuelle Entwicklungen bei Standsicherheits- und Verformungsberechnungen in der Geotechnik**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102142>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Schanz, Tom (2008): Aktuelle Entwicklungen bei Standsicherheits- und Verformungsberechnungen in der Geotechnik. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Anwendung der Finiten-Elemente-Methode im Grundbau. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 22-23.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.





## **Aktuelle Entwicklungen bei Standsicherheits- und Verformungsberechnungen in der Geotechnik**

Empfehlungen des Arbeitskreises 1.6 „Numerik in der Geotechnik“, Abschnitt 4

Tom Schanz, Bauhaus-Universität Weimar, Obmann AK 1.6

Mit dem vorliegenden vierten Abschnitt der Empfehlungen schließt der Arbeitskreis 1.6 der DGGT inhaltlich unmittelbar an die bereits veröffentlichten Abschnitte der Empfehlungen des Arbeitskreises an (Abschnitt 1: Empfehlungen zur Durchführung numerischer Berechnungen (1991); Abschnitt 2: Tunnelbau unter Tage (1996); Abschnitt 3: Baugruben (2002)). Die Ausarbeitung geht auf aktuelle Entwicklungen vor allem auf den Gebieten der Standsicherheitsberechnungen und der Formulierung von Stoffmodellen ein. Bezüglich der Verformungsberechnungen aber auch der Grundlagen der Erstellung des numerischen Modells (Wahl des Berechnungsausschnittes, Einfluss der Diskretisierung, Bedeutung einer 2D gegenüber einer 3D-Betrachtung und Modellierung von Bauteilen und Strukturelementen) wird im Wesentlichen auf die bisherigen Veröffentlichungen des Arbeitskreises verwiesen.

Seit dem Erscheinen der ersten Empfehlung im Jahr 1991 haben sich die numerischen Verfahren, und hier stand immer die Methode der Finiten Elemente (FEM) im Vordergrund, zu einem Standardwerkzeug des geotechnischen Ingenieurs entwickelt. Aufgrund der umfangreichen wissenschaftlichen Entwicklungen in dieser Zeit, z. B. hinsichtlich beschreibbarer Prozesse und der Modellierung des Materialverhaltens sowie der Entwicklungen der EDV-Kapazitäten erscheint es wichtig, zunächst den aktuellen Stand der numerischen Verfahren zu betrachten.

Selbstverständliche Bestandteile einer jeden Modellierung mit der FEM müssen die realistische Erfassung des Initialzustands (u. a. Topographie, geologische Geschichte, vgl. Empfehlungen des AK 1.6, Abschnitt 1.4 (1991)) und die numerische Nachverfolgung der relevanten Bauzustände (inkl. Änderungen des Grundwasserstandes, der Materialien, der Strukturelemente und eventueller Konsolidationsphasen) sein. Der Einfluss des Initialspannungszustands auf die Berechnungsergebnisse ist grundsätzlich in Abhängigkeit von der gewählten Methode und/oder des verwendeten Materialmodells durch eine Sensitivitätsanalyse bezüglich der relevanten Kennwerte (z. B. Seitendruckbeiwert, Überkonsolidationsverhältnis) zu überprüfen.

Zur Beschreibung des Materialverhaltens steht eine umfangreiche Sammlung von Stoffmodellen zur Verfügung. Bei deren Auswahl muss gelten: So „komplex“ wie nötig aber so „einfach“ wie möglich. Dabei ist zu berücksichtigen, dass für unterschiedliche Fragestellungen (Standsicherheits- oder Verformungsberechnungen) durchaus unterschiedliche Ansprüche an die jeweiligen Ansätze gestellt werden müssen. Die Auswahl des Materialansatzes muss im Einklang mit den durchgeführten boden- bzw. felsmechanischen Untersuchungen und den dadurch ermittelten geotechnischen Parametern erfolgen.

Die folgenden Empfehlungen beziehen sich auf Böden mit üblichen geotechnischen Eigenschaften. Böden mit außergewöhnlichen Eigenschaften (hohes Sackungs- oder Quell-potential, Zementierung, Alterungserscheinungen etc.) sind gesondert zu betrachten.

Neben einer Überprüfung (Validierung) des gewählten numerischen Modells (u. a. Art der Diskretisierung, Vergleich mit eventuell vorliegenden analytischen Näherungen) kommt der Frage nach der Übertragbarkeit der charakteristischen Materialparameter aus den Laborversuchen auf die praktische Ingenieuraufgabe eine entscheidende Bedeutung zu (Kalibrierung und Verifizierung des gewählten Modells). Besondere Bedeutung haben die letztgenannten Aspekte bei der Durchführung von Berechnungen unter Berücksichtigung zeitabhängiger Prozesse (Konsolidation, Kriechen u. a.). Bei derartigen Berechnungen besteht eine wichtige Interaktion zwischen der geometrischen Diskretisierung und der Größe der gewählten Zeitschritte.

3D-Berechnungen bilden trotz verfügbarer Hardware auch aktuell noch die Ausnahme in der Praxis. Sie bleiben der Behandlung ausgewählter, in der Regel komplexer Aufgabenstellungen vorbehalten. Sie können jedoch, exemplarisch durchgeführt, 2D-Studien sinnvoll unterstützen bzw. ergänzen und sind in einzelnen Fällen sogar unverzichtbar.



Entsprechend den Vorgaben der aktuellen nationalen und internationalen Normung werden in der vorliegenden Empfehlung sowohl Fragen der Gebrauchstauglichkeit als auch Fragen der Standsicherheit behandelt.

Der Abschnitt 4.2 dieser Empfehlungen enthält einige einführende Erläuterungen zu Stoffmodellen, die zum Verständnis der weiteren Kapitel notwendig sind. Im Abschnitt 4.3 wird auf Fragen der Verformungsberechnungen, vor allem bei Baugruben, eingegangen. Bei solchen Untersuchungen können unterschiedliche Stoffmodelle zu signifikanten Unterschieden bei den numerischen Ergebnissen führen. Die ausreichende Komplexität der Materialgleichungen, in Abhängigkeit von der jeweiligen Fragestellung, ist eine wesentliche Voraussetzung für eine realistische Modellierung.

Zentrales Anliegen dieser Empfehlung ist die Bewertung der Anwendbarkeit von numerischen Methoden (FEM) zur Behandlung von Standsicherheitsuntersuchungen bei Böschungen und Baugruben im Abschnitt 4.4. Neben der realistischen Beschreibung des Baugrunds (Schichtung, GW-Verhältnisse, Materialparameter) wird besonders der Einfluss der Beschreibung der verschiedenen konstruktiven Elemente (Wandsysteme, Verankerungen, Aussteifungen u. a.) im Rahmen einer Standsicherheitsuntersuchung behandelt. Zusätzlich zu den bodenmechanischen Aspekten haben bei der Behandlung von Standsicherheitsproblemen weitere konzeptionelle und numerische Aspekte einen entscheidenden Einfluss. Zum einen sind prinzipiell verschiedene Definitionen der Standsicherheit denkbar. Zum anderen ist die spezifische numerische Umsetzung der jeweiligen Sicherheitsermittlung zu bewerten.

Im Abschnitt 4.5 wird auf die numerische Modellierung von gekoppelten hydraulisch-mechanischen Problemen, d.h. die Berücksichtigung von strömendem Grundwasser, eingegangen.

Die Empfehlung wird durch eine Beispieldokumentation ergänzt. Anhand von typisierten Randwertproblemen wird detailliert dargestellt, bei welcher Art von Aufgabenstellungen die Anwendung der FEM sinnvoll möglich ist.

#### **Literatur**

- Schanz, T., Aktuelle Entwicklungen bei Standsicherheits- und Verformungsberechnungen in der Geotechnik, geotechnik 29 (2006) Nr. 1, S. 13 bis 27
- Schanz, T., Standsicherheitsberechnungen von Baugruben – Berechnungsbeispiele, geotechnik 29 (2006) Nr. 4, S. 359 – 369
- Schanz, T., Böschungsbruchberechnung – Berechnungsbeispiele, geotechnik 29 (2006) Nr. 4, S. 369 – 372