

## Vergleichende Berechnung von Stützbauwerken gemäß DIN 1054 mit Partial- und Global-sicherheiten anhand von vier Musterbauwerken

FA 5.128

Forschungsstelle: Bergische Universität Wuppertal, Lehr- und Forschungsgebiet Unterirdisches Bauen, Grundbau und Bodenmechanik (Prof. Dr.-Ing. B. Walz)

Bearbeiter: Bergschneider, B.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn

Abschluss: Oktober 2002

### 1. Aufgabenstellung

Die maßgebenden Bemessungsnormen im Bauwesen sollen auf der Grundlage des Teilsicherheitskonzeptes neu erarbeitet werden. Im Dezember 2000 ist die E DIN 1054 – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – als Gelbdruck erschienen. Nach der Einspruchsfrist wurden vom Normenausschuss die eingegangenen Einsprüche behandelt und der Weißdruck vorbereitet. Seit Juli 2002 liegt die Weißdruckfassung druckfertig vor. Der Auftragnehmer ist Mitarbeiter in der kleinen Gruppe von Fachleuten, die die Weißdruckvorlage erarbeitet haben, sodass er über alle Änderungen informiert ist.

Ziel des Forschungsvorhabens ist eine Gegenüberstellung der Bemessung konkreter Grundbauwerke nach der DIN 1054 (11/1976) und nach der E DIN 1054 (12/2000) (unter Einschluss

der im Weißdruck vorgesehenen Änderungen), um hiermit einerseits das Bemessungsverfahren der neuen Norm zu verdeutlichen und andererseits aufzuzeigen, ob das erreichte Sicherheitsniveau bzw. die erforderlichen Bauwerksabmessungen zumindest gleichwertig, wenn nicht gar identisch sind.

### 2. Untersuchungsmethodik

In Absprache mit dem Auftraggeber wurden drei real ausgeführte Bauwerke

- rückverankerte Bohrpfahlwand,
- Flügelwiderlager für eine Straßenbrücke und
- Winkelstützwand

ausgewählt.

Für zwei von diesen Bauwerken wurden Varianten untersucht: Die erstgenannte Stützwand wurde als rückverankerte Spundwand ausgebildet und unter Berücksichtigung eines unterschiedlich hohen Grundwasserspiegels auf der Berg- und auf der Talseite mit geänderten Bodenkennwerten bemessen; die Gründung des Brückenwiderlagers wurde in den Gründungsvarianten

- lotrechte Bohrpfähle,
- (geneigte) Verdrängungspfähle und
- Flachgründung (Kastenwiderlager)

untersucht.

Die Ausführungsabmessungen der realen Bauwerke wurden bei der Bohrpfahlwand, bei der Winkelstützwand und bei dem Brückenwiderlager beibehalten. Die Einbindetiefe der Spundwand wurde mit Rücksicht auf die geänderten Randbedingungen vergrößert. Für die Pfahlgründungen wurden die Stellung, Anzahl und Länge der Pfähle geschätzt.

Für die vollständig im Entwurf mit allen Abmessungen vorliegenden Bauwerke wurden die Standsicherheitsnachweise sowohl nach DIN 1054 (11/1976) als auch nach E DIN 1054 (12/2000) (unter Berücksichtigung von Änderungen in der Weißdruckvorlage) geführt, wobei bei einigen Nachweisen hilfsweise die EAB, 3. Auflage, herangezogen wurde, wenn die DIN 1054 (11/1976) keine Regelungen enthält. Soweit sinnvoll und erforderlich, wurde auch ein neuer Entwurf von Berechnungsnormen des Grundbaus (z. B. DIN 4085 – Berechnung des Erddrucks) verwendet. (Da der Auftragnehmer Mitglied im entsprechenden Normenausschuss ist, hat er Kenntnis von diesen Entwürfen.)

Weiterhin wurden die Bemessungsschnittgrößen (Moment, Querkraft und ggf. Längskraft) für einige Bauwerke berechnet, ohne aber die eigentliche (materialspezifische) Bemessung der Tragwerksquerschnitte durchzuführen. Schließlich wurde für alle Beispiele eine einfache Abschätzung der Verformungen vorgenommen, wobei keine FE-Berechnungen erfolgten.

Die Beurteilung der rechnerischen Ergebnisse bezieht sich ausschließlich auf die Nachweise der Standsicherheit, weil sich die Ermittlung und auch die Bewertung der Bauwerksverformungen nach der DIN 1054 (11/1976) und der E DIN 1054 (12/2000) nicht unterscheiden. Verformungen werden generell mit charakteristischen Einwirkungen, d. h. ohne Teilsicherheitsbeiwerte, ermittelt. Wird also ein Verformungsnachweis für die Abmessungen eines Grundbauwerkes maßgebend, sind die beiden Bemessungsnormen gleichwertig.

Für die Beurteilung der Berechnungsergebnisse der Standsicherheitsuntersuchung der betrachteten Bauwerke wurde der sog. Ausnutzungsgrad herangezogen. Dieser ist definiert als der Quotient der Bemessungswerte von Beanspruchung und Widerstand. Als Beanspruchung werden nach der E DIN 1054 (12/2000) die im Tragwerk auftretenden Schnittgrößen sowie die auf den Boden einwirkenden Größen der Auflagerlasten, z. B. die vertikale und horizontale Komponente der Sohldruckresultierenden eines Flachfundamentes oder die Längskraft in einem Pfahl oder die Auflagerlast einer Stützwand im Einbindbereich angesehen. Diese Beanspruchungsgrößen werden nach E DIN 1054 (12/2000) – im Gegensatz zu der üblichen Verfahrensweise im konstruktiven Ingenieurbau – zunächst mit charakteristischen Einwirkungen (Lasten) berechnet, so wie dies auch nach der DIN 1054 (11/1976) geschieht. In Bauwerksbemessungen nach DIN 1054 (11/1976) werden diese Größen häufig als "vorhandene" Kraft, z. B. vorhandene Ankerkraft, vorhandene Fußauflagerlast, vorhandene Sohldruckkraft usw. bezeichnet.

Auch der Widerstand des Bodens in Form des Pfahlwiderstandes, des Grundbruchwiderstandes, des Gleitwiderstandes usw. wird in beiden Normenaussagen (DIN 1054 (11/1976) und E DIN 1054 (12/2000)) mit charakteristischen Bodenkenngrößen ermittelt. So ist es nur eine Frage der Nachweisgleichung (Grenzzustandsbedingung) und der hierin einzusetzenden Teilsicherheitsbeiwerte, ob sich das Bemessungsergebnis nach bisheriger und nach neuer DIN 1054 unterscheidet. Dies wird am Ausnutzungsgrad deutlich.

### 3. Durchführung der Forschungsarbeiten

Die Beispiele wurden wie folgt bearbeitet:

- Beschreibung und Darstellung der Abmessungen des fertig entworfenen Bauwerkes,

- Ansatz der Belastung, bei der hierfür erforderlichen Berechnung des Erddruckes wurden vor allem weiter gehende Regelungen der als Gelbdruckvorlage vorliegenden DIN 4085 – Berechnung des Erddrucks – berücksichtigt, z. B. erhöhter aktiver Erddruck, Erddruckumlagerung auch bei Dauerbauwerken usw.,
- statische Berechnung des Tragwerkes; hierbei wurde ein Stabwerksprogramm (IQ 100) herangezogen, das die Auflagerlasten, die Schnittgrößen und die Verformungen ermittelt. Zur statischen Berechnung der Pfahlgründungen wurde das Programm "Pfahl" eingesetzt.
- Aus der statischen Berechnung wurden die maßgebenden Beanspruchungen als charakteristische Größen herausgezogen.
- Ermittlung der entsprechenden Widerstände des Bodens bzw. in einfachen Fällen auch der Tragelemente (z. B. Zugglied des Ankers) als charakteristische Größen; Aufstellen der Nachweisgleichung – getrennt und gegenübergestellt nach DIN 1054 (11/1976) und nach E DIN 1054 (12/2000); hierbei wurde die nach DIN 1054 (11/1976) übliche Schreibweise:
 
$$\eta = A_{\text{Bruch}} / A_{\text{vorhanden}} \text{ mit } \eta \geq \eta_{\text{erforderlich}}$$
 umgestellt auf
 
$$A_{\text{vorhanden}} \leq A_{\text{Bruch}} / \eta_{\text{erforderlich}}$$
 Diese Gleichung kann auch gedeutet werden als:
 
$$\text{Beanspruchung} \leq \text{Widerstand} / \eta_{\text{erforderlich}}$$
 Hierdurch wurde eine mit der E DIN 1054 (12/2000) vergleichbare Schreibweise der Nachweisbedingung erreicht.
- Ermittlung des Ausnutzungsgrades,
- Verformungsabschätzung und Bewertung,
- zusammenfassende Bewertung des Beispiels hinsichtlich des Forschungszieles.

### 4. Untersuchungsergebnisse

- Die Grundvoraussetzungen zur Abschätzung der Verformungen von Grundbauwerken (Verwendung von charakteristischen Einwirkungen), die Verfahren zur Berechnung der Verformungen und die Überlegungen zur Bewertung der rechnerischen Verformungsgrößen sind nach DIN 1054 (11/1976) und nach E DIN 1054 (12/2000) identisch. Werden daher Verformungskriterien für die Abmessungen von Grundbauwerken maßgebend, ist die Gleichwertigkeit der bisherigen DIN 1054 und der neuen Norm festzustellen.
- Hinsichtlich der Bemessung von Grundbauwerken nach dem Kriterium der Standsicherheit sind drei Fälle zu unterscheiden:
  - Die Nachweisbedingung bezieht sich auf die gleiche Größe, z. B. auf die Herausziehkraft (Ankerkraft) und auf den Herausziehwiderstand eines Ankers. Hier wurde bei der Abfassung der E DIN 1054 (12/2000) angestrebt, das "Sicherheitsniveau" der DIN 1054 (11/1976) durch Wahl entsprechender Teilsicherheitsbeiwerte zu erreichen, wobei diejenigen für die Einwirkungen bzw. Beanspruchungen ( $\gamma_G = 1,35$  und  $\gamma_Q = 1,50$  für Lastfall 1) bereits festlagen. Damit werden annähernd gleiche Ausnutzungsgrade erreicht, was bedeutet, dass die betrachtete Beanspruchung den Boden- oder Bauteilwiderstand in gleichem Umfang in Anspruch nimmt. Für das betrachtete Bauteil ergeben sich also identische Abmessungen nach beiden Normen.

Die geringen Differenzen im Ausnutzungsgrad hängen von dem Verhältnis von ständigen zu nicht ständigen Einwirkungen ab. Für das Beispiel des Herausziehwiderstandes eines Verpresskörpers gilt:

$$\gamma_G \times \gamma_R = 1,35 \times 1,1 = 1,485 < \gamma_{\text{erf}} = 1,50 \text{ (DIN 4125)}$$

$$\gamma_Q \times \gamma_R = 1,50 \times 1,1 = 1,650 > \gamma_{\text{erf}} = 1,50 \text{ (DIN 4125)}.$$

- II) In der E DIN 1054 (12/2000) wird ein gegenüber bisherigen Regelungen geänderter Sicherheitsbeiwert gefordert. Dies ist nach Kenntnis des Auftragnehmers nur beim Nachweis des sog. "inneren Gleichgewichts der Vertikalkräfte" bei Stützwänden der Fall. Hier geht es nur um den Nachweis, dass der in der Berechnung angesetzte (negative) Neigungswinkel des Erdwiderstandes tatsächlich mobilisiert werden kann – es ist also eigentlich kein Standsicherheitsnachweis. Während nach EAB, 3. Auflage, der Nachweis in Form eines "echten" Standsicherheitsnachweises unter Ansatz eines Sicherheitsbeiwertes zu führen ist, ist dies in der E DIN 1054 (12/2000) in Form einer Gegenüberstellung von charakteristischen Vertikalkräften geregelt. Der formal ausgerechnete Ausnutzungsgrad ist dementsprechend unterschiedlich. Diese neue Regelung führt zu einer wirtschaftlicheren Bemessung von Stützwänden, die außer dem Eigengewicht und außer der Vertikalkomponente des Erddrucks keine nach unten wirkenden Vertikalkräfte erhalten.
- III) Einen Sonderfall stellt der Nachweis der Standsicherheit in der Tiefen Gleitfuge dar. Hier ist der Bezugswert der Sicherheit nach (bisheriger) EAU und EAB, 3. Auflage, die Ankerkraft: Die charakteristische Ankerkraft (Beanspruchung) muss kleiner sein als die

Ankerkraft, die einen Bodenklötz zum Abrutschen auf der Tiefen Gleitfuge bringt (mögliche Ankerkraft, Widerstand des Bodens), dividiert durch einen pauschalen Sicherheitsbeiwert. Nach dem in der Anlage H der E DIN 1054 (12/2000) (in der Weißdruckvorlage nicht mehr enthalten) dargestellten Verfahren zum Nachweis ausreichender Ankerlänge und prinzipiell auch nach den Vorstellungen der Geländebruchberechnungen – werden die in der Tiefen Gleitfuge wirksamen gleitfugenparallelen Kräfte als Beanspruchung und die dort wirksame Scherfestigkeit als Widerstand angesehen. Da also die Größe, auf die sich die Sicherheit bezieht, eine andere ist, ist der für die beiden unterschiedlichen Nachweisverfahren bei identischem Bauwerk erhaltene Ausnutzungsgrad (Bemessungswert der Beanspruchung durch Bemessungswert des Widerstandes) nicht vergleichbar in dem Sinne, dass auf eine wirtschaftlichere oder unwirtschaftlichere Bemessung der Ankerlänge geschlossen werden kann. Weil insgesamt die Diskussion um ein geeignetes Nachweisverfahren für eine ausreichende Ankerlänge noch nicht abgeschlossen ist, kann in der Forschungsarbeit hierzu noch keine abschließende Aussage getroffen werden.

Bis auf Sonderfragen – hierzu zählen auch Pfähle, bei denen die Druckkraft infolge veränderlicher Einwirkungen in eine Zugkraft umschlagen kann – lässt sich also feststellen, dass sich in der Regel sowohl hinsichtlich der Standsicherheit als auch hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit nach DIN 1054 (11/1976) und nach E DIN 1054 (12/2000) die gleichen Bauwerksabmessungen ergeben werden. □