

Umweltforschung in Baden-Württemberg

Abschlussbericht

**DIN 19700-12:2004-07 – Arbeitshilfe zu den  
geotechnischen Anforderungen für  
Hochwasserrückhaltebecken sehr kleiner,  
kleiner und mittlerer Größe**

von

Andreas Bieberstein

Universität Karlsruhe (TH)  
Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik  
Abteilung Erddammbau und Deponiebau

Förderkennzeichen: L75 24006

Laufzeit: 1.10.2004 – 31.12.2004

Die Arbeiten dieses Projekts wurden mit Mitteln des Landes  
Baden-Württemberg durchgeführt.

April 2006

# INHALT

<b>1 Einführung, Problemstellung und Vorgehensweise .....</b>	<b>3</b>
<b>2 Klassifizierung von Hochwasserrückhaltebecken .....</b>	<b>5</b>
<b>3 Geotechnische Untersuchungen .....</b>	<b>7</b>
3.1 Einordnung in Geotechnische Kategorien .....	7
3.2 Anforderungen an Untergrund und Aufstandsfläche des Hochwasserrückhaltebeckens	7
<b>4 Nachweiskonzepte für die Nachweise der Tragsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit .....</b>	<b>9</b>
4.1 Allgemeine Vorbemerkung.....	9
4.2 Nachweiskonzept gemäß DIN 19700:2004-07 mit globalen Sicherheitsbeiwerten .....	9
4.3 Nachweiskonzept gemäß DIN 1054:2005-01 mit Teilsicherheitsbeiwerten .....	14
<b>5 Nachweise zur Bemessung von Hochwasserrückhaltebecken.....</b>	<b>17</b>
5.1 Einführung .....	17
5.2 Hydraulische Einwirkungsgrößen und Nachweise .....	17
5.2.1 Allgemeines.....	17
5.2.2 Freibord .....	17
5.2.3 Hydraulische Einwirkungsgrößen .....	18
5.2.4 Hydraulische Filterwirksamkeit .....	20
5.2.5 Dimensionierung von Dräns und Dränleitungen.....	20
5.3 Zusammenstellung der geotechnischen Nachweise.....	21
5.4 Hinweise zur Berücksichtigung von Erdbeben bei der Nachweisführung .....	22
5.5 Hinweise zur Nachweisführung der Tragsicherheit.....	24
5.5.1 Einführende Bemerkung zur Wirkung von Dichtungselementen .....	24
5.5.2 Böschungsbruch, Böschungsgrundbruch und Abschieben des Dammkörpers (GZ 1C) .....	25
5.5.3 Lokale Standsicherheit von Böschungen (GZ 1A).....	26
5.5.4 Lokale Standsicherheit am Böschungsfuß (Spreizsicherheit, GZ 1A).....	26
5.5.5 Standsicherheit von Böschungsdichtungen bei Wasserdruck vom Dammkörper aus (GZ 1A).....	27
5.5.6 Auftriebssicherheit bzw. Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch (GZ 1A)	27
5.5.7 Erosionsstabilität .....	27

5.6 Hinweise zur Nachweisführung der Gebrauchstauglichkeit.....	28
5.6.1 Verformungen und Rissbildungen.....	28
5.7 Standsicherheit von Böschungen im Staubeckenbereich.....	28
<b>6 Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>29</b>
<b>7 Literatur .....</b>	<b>30</b>

## **1 Einführung, Problemstellung und Vorgehensweise**

Mit dem Erscheinen der DIN 19700:2004-07 „Stauanlagen“ im Weißdruck sind in Baden-Württemberg in Hinsicht auf die Anwendung dieser Norm insbesondere für sehr kleine, aber auch bis hin zu mittleren Hochwasserrückhaltebecken offene Fragen bzgl. der Handhabung in geotechnischer Hinsicht entstanden. Im Rahmen eines Fachgespräches am 16.04.04 bei der Landesanstalt für Umweltschutz wurden diese erörtert. Hierbei wurde deutlich, dass die Erarbeitung einer Arbeitshilfe zu den geotechnischen Anforderungen unter besonderer Berücksichtigung von Hochwasserrückhaltebecken sehr kleiner, kleiner und mittlerer Größe erforderlich ist.

Durch die Arbeitshilfe soll vermieden werden, dass die in DIN 19700:2004-07 insbesondere für Talsperren definierten geotechnischen Anforderungen zu überzogenen Bemessungsvorgaben bei sehr kleinen bis hin zu mittleren Hochwasserrückhaltebecken führen. Dies ist von Bedeutung, da DIN 19700:2004-07 sowohl Grundlage für die Bemessung von Neubauten als auch für die Bewertung und ggf. Ertüchtigung bestehender Anlagen im Rahmen von Vertieften Überprüfungen ist (DVWK 231/1995, Overhoff et al. 2004). Die in Teil 11 der DIN definierten Anforderungen bzw. die in Teil 12 beschriebenen möglichen Abweichungen sollen für die Praxis aufbereitet und präzisiert werden.

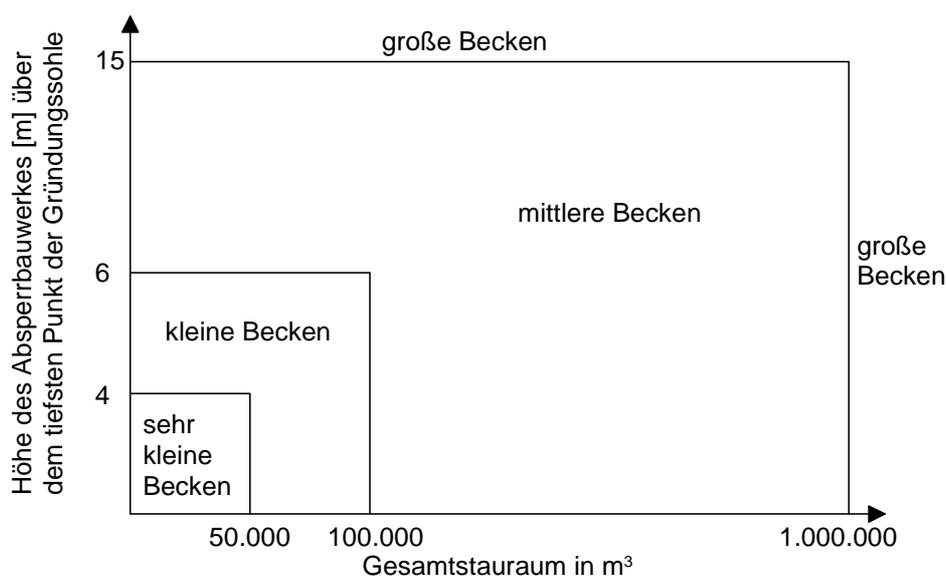
Die Abteilung Erddamm- und Deponiebau am Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik der Universität Karlsruhe (TH) wurde mit Schreiben vom 07.10.2004 durch die Projektträgerschaft BWP für die Umweltforschung des Landes Baden-Württemberg (Zuwendungs-Nr. L75 24006) beauftragt, diese Arbeitshilfe zu erarbeiten. Die Bearbeitung sollte in Zusammenarbeit mit Prof. Brauns, Karlsruhe, erfolgen. Ferner wurde eine Abstimmung mit der Ingenieurgruppe Geotechnik, Kirchzarten, vereinbart, um die erforderliche Praxisnähe sicherzustellen zu können. Der vorliegende erste Entwurf der Arbeitshilfe ist eine Erarbeitung der Institutsabteilung, der auf den Ergebnissen des o. g. Fachgespräches basiert und die dort aufgeworfenen Fragestellungen und Hinweise berücksichtigt. Hinweise von Herrn Prof. Brauns sind bislang nicht eingeflossen. Die Abstimmung mit der Ingenieurgruppe Geotechnik, Kirchzarten, steht noch aus.

In der vorliegenden Arbeitshilfe wird zunächst auf die Klassifizierung von Hochwasserrückhaltebecken eingegangen, bevor der geotechnische Erkundungs- und Untersuchungsbedarf beschrieben wird. Anschließend werden die zu berücksichtigenden Sicherheitskonzepte (globales Sicherheitskonzept sowie Konzept auf Basis von Teilsicherheitsbeiwerten) erläutert,

und die erforderlichen geotechnischen Nachweise werden abschließend dargestellt. Hierbei wird jeweils auf die aufgeworfenen Fragestellungen eingegangen.

## 2 Klassifizierung von Hochwasserrückhaltebecken

Die Klassifizierung von Hochwasserrückhaltebecken ist in DIN 19700-12:2004-07 in Abschnitt 3 definiert und dient der differenzierten Festlegung von Bemessungsanforderungen (vgl. Bild 1). Die Höhe des Absperrbauwerkes bezieht sich dabei auf den tiefsten Punkt der Gründungssohle.



**Bild 1:** Klassifizierung von Hochwasserrückhaltebecken

Weitere sicherheitsrelevante Unterscheidungsmerkmale von Hochwasserrückhaltebecken sind deren Lage zum Gewässer und die Betriebsform. Hinsichtlich ihrer Lage zum Gewässer unterscheidet man Hochwasserrückhaltebecken

- im Hauptschluss, die vom Gewässer unmittelbar durchflossen werden, und
- im Nebenschluss, die seitlich neben dem Gewässer angeordnet sind und über Zuleitungskanäle, Stichwehre oder andere Bauwerke gefüllt und über Auslassbauwerke entleert werden.

Ferner wird dabei zwischen gesteuerten und ungesteuerten Hochwasserrückhaltebecken unterschieden, die

- mit Dauerstau und
- ohne Dauerstau (als Trockenbecken)

betrieben werden können.

Eine Einordnung von Hochwasserrückhaltebecken in eine höhere oder niedrigere Beckenklasse ist nach DIN 19700-12:2004-07 auf Grundlage einer Sicherheitsbetrachtung möglich. Das maßgebende Kriterium für eine Umklassifizierung ist das Sicherheitserfordernis für den stromabwärts gelegenen Überflutungsbereich. Eine Entscheidung bzgl. einer Umklassifizierung sollte im Einzelfall in Abstimmung zwischen der zuständigen Behörde und dem Betreiber der Anlage erfolgen.

Eine Einordnung von Hochwasserrückhaltebecken in eine niedrigere Klasse ist möglich, wenn

- es sich bei dem stromabwärts gelegenen Überflutungsbereich um eine land- bzw. forstwirtschaftlich genutzte Fläche oder um eine Naturlandschaft handelt,
- nur eines der Kriterien aus Bild 1 zutrifft und eine Eingruppierung in eine niedrigere Beckenklasse kein Sicherheitsdefizit zur Folge hätte, bzw.
- alleine aufgrund eines Bodenaustausches (und der damit verbundenen Tieferlegung der Gründungssohle) eine Höhergruppierung erforderlich würde.

Eine Höhergruppierung von Hochwasserrückhaltebecken kann erfolgen, wenn in dem von einer Überflutung betroffenen Gelände besonders schützenswerte Güter vorliegen.

## **3 Geotechnische Untersuchungen**

### **3.1 Einordnung in Geotechnische Kategorien**

Bauwerke, die einem Druckhöhenunterschied des Wassers von  $\Delta h > 2$  m unterliegen, sind nach DIN 4020:2003-09, Anhang A, grundsätzlich in die Geotechnische Kategorie GK 3 einzuordnen. Die Einordnung in eine Geotechnische Kategorie legt die Mindestanforderungen an Umfang und Qualität von geotechnischen Untersuchungen, Berechnungen und Überwachungsmaßnahmen während der Bauausführung fest. Geotechnische Untersuchungen nach DIN 4020:2003-09 sind somit für Hochwasserrückhaltebecken zwingend erforderlich. Hierzu gehören u. a.:

- Direkte Aufschlüsse, insbesondere zur Beurteilung von Tragfähigkeit und Erosionsstabilität des Untergrundes.
- Bestimmung der Bodenkenngrößen im Labor zur Durchführung der geotechnischen Berechnungen.
- Bestimmung aller für die Problemstellung relevanter bodenhydraulischer Parameter.

Hinsichtlich der Untergrunderkundung gelten die Anforderungen und Festlegungen nach DIN 19700-11:2004-07. Weitere Hinweise gibt DIN 4020.

Die Untersuchungen sind zwingend durch einen Sachverständigen für Geotechnik durchzuführen.

### **3.2 Anforderungen an Untergrund und Aufstandsfläche von Hochwasserrückhaltebecken**

Absperrbauwerk und Untergrund bilden in Bezug auf den Wasserrückhalt eine Einheit. Mit einbezogen sind dabei – insbesondere in Bezug auf Sickerwasserfragen und die Erosionsstabilität des Untergrundes – der Bereich oberstrom und unterstrom des Hochwasserrückhaltebeckens. Die Beschaffenheit des Untergrundes, insbesondere

- die Durchlässigkeit,
- die Erosionsstabilität,
- die Scherfestigkeit und
- das Spannungsdehnungsverhalten

sind für die Tragsicherheit des Hochwasserrückhaltebeckens wesentlich.

Der Untergrund muss eine ausreichende Tragfähigkeit besitzen, um alle Beanspruchungen durch das hydraulisch belastete Hochwasserrückhaltebecken sicher aufnehmen zu können. Im Einzelnen sind in Bezug auf die Untergrundbelastung des Hochwasserrückhaltebeckens her maßgebend:

- Dammquerschnitt (Dammbreite, Dammhöhe, Kronenbreite und Böschungsneigungen, ggf. Bermen).
- Innerer Aufbau des Dammkörpers (Zoneneinteilung, Bodenarten, Scherfestigkeiten).
- Durchströmungssituation (Sickerlinie, Strömungskräfte, Porenwasserdrücke).
- Ggf. Verformbarkeit des Dammkörpers (Steifigkeit, Konsistenz- und Austrocknungsverhalten).

Bei weichen, bindigen und bei organischen Böden im Untergrund ist ein durch die (ggf. auch nur temporär auftretende) Belastung aus Gewicht, Verkehrslasten und Wasserdruck auftretender Porenwasserüberdruck bei der Ermittlung der Tragfähigkeit einzubeziehen.

Im Untergrund dürfen keine Unterschiede im Lastsetzungsverhalten vorliegen, die zu schädlichen Setzungsunterschieden (Zeitsetzung, Gewölbewirkung, Aufhängung) führen können. Eine sorgfältige Untersuchung ist besonders bei unregelmäßig aufgebautem Untergrund erforderlich (z. B. im Bereich eines ehemaligen Bach- bzw. Flussbettes).

Die Bauwerke, z. B. für den Betriebsauslass, sind so zu gründen, dass Gesamtsetzungen minimiert und Setzungsunterschiede zum Absperrbauwerk vermieden werden.

Hänge bzw. Böschungen im Staubeckenbereich sind in Hinsicht auf ihre geotechnischen sowie geohydraulischen Eigenschaften zu untersuchen. Dies betrifft insbesondere ihre Standsicherheit bei schnell wechselnden Wasserspiegellagen.

## **4 Nachweiskonzepte für die Nachweise der Tragsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit**

### **4.1 Allgemeine Vorbemerkung**

In Bezug auf die Anwendung von nachgeordneten Normen sieht DIN 1054:2005-01 Übergangsregelungen für die derzeit noch gültigen Normen nach dem alten Sicherheitskonzept mit Gesamtsicherheitsbeiwerten vor, solange noch nicht alle Berechnungsnormen und das nachgeordnete Regelwerk nach dem Konzept mit Teilsicherheitsbeiwerten anwendungsreif vorliegen. Es ist dabei auch eine Anwendung von Normen nach dem alten Sicherheitskonzept gemeinsam mit DIN 1054 möglich. Dies äußert sich z. B. im Umgang der DIN 19700-11:2004-07 mit dem Teilsicherheitskonzept, in der festgelegt wurde, dass (Zitat):

*„Für die Tragsicherheit von Absperrbauwerken und Untergrund (Tragwerke) werden in dieser Norm Gesamtsicherheitsbeiwerte angegeben. Die Anwendung des Nachweiskonzeptes mit Teilsicherheitsbeiwerten ist zulässig. Es wird empfohlen, im Zuge von Nachweisführungen beide Konzepte vergleichend anzuwenden, um Erfahrungen zu mehren und damit die Voraussetzungen für eine breitere Anwendung des Konzeptes mit Teilsicherheitsbeiwerten zu schaffen“ (Zitatende).*

Nachfolgend werden die genannten Nachweiskonzepte für Hochwasserrückhaltebecken erläutert und vorgestellt, bevor in Kapitel 5 auf die Nachweise im Detail eingegangen wird.

### **4.2 Nachweiskonzept gemäß DIN 19700:2004-07 mit globalen Sicherheitsbeiwerten**

Mit der neuen DIN 19700:2004-07 wurde ein erweitertes und formal bzw. strukturell fortentwickeltes Sicherheitskonzept eingeführt.

Grundlage für die Durchführung der erforderlichen Sicherheitsnachweise ist zunächst die Zuordnung des Hochwasserrückhaltebeckens in eine der vier Beckenklassen (sehr kleine, kleine, mittlere und große Becken, vgl. Kapitel 2) aufgrund von geometrischen Gegebenheiten. Aus dieser Zuordnung resultieren aus der Hydrologie gemäß den zu beachtenden Jährlichkeiten die Bemessungshochwasserzuflüsse  $BHQ_1$  und  $BHQ_2$  (vgl. DIN 19700-12:2004-07, Abschnitt 4.3.2), nach denen sich die Stauziele  $Z_{H1}$  und  $Z_{H2}$  u. a. als eine einwirkende äußere Last für die Tragsicherheitsberechnungen ergeben.

DIN 19700-11:2004-07 behandelt in Kapitel 7 die Vorgehensweise, in der die unterschiedlichen Sicherheitsnachweise zu erarbeiten sind. Im einleitenden Absatz wird – ähnlich einer Präambel und wie nachstehend zitiert – in allgemeiner Form beschrieben, welche Anforderungen an das Bauwerk bezüglich der Sicherheitsnachweise gestellt werden (Zitat):

*„Absperrbauwerk und Untergrund (Tragwerk) müssen die erforderlichen Nutzungseigenschaften innerhalb vorgegebener Toleranzen unter andauernden Betriebsbedingungen beibehalten. Dazu gehört, dass die Tragsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit des Tragwerkes und der Einzelbauteile nachgewiesen sind und die Dauerhaftigkeit während der vorgesehenen Nutzungsdauer erhalten bleibt. Die Tragsicherheit muss auch bei außergewöhnlichen Einwirkungen oder Tragwiderstandsbedingungen sichergestellt sein“ (Zitatende).*

Für die Tragsicherheitsnachweise sind sogenannte **Einwirkungen** auf das Tragwerk zu definieren, die im Falle von angreifenden Lasten als direkte Einwirkungen bzw. bei aufgezwungenen Verformungen als indirekte Einwirkungen bezeichnet werden. In Abhängigkeit ihrer Dauer und Häufigkeit ist eine Einteilung in drei Gruppen vorgegeben:

- Gruppe 1: ständige oder häufig wiederkehrende Einwirkungen
- Gruppe 2: seltene oder zeitlich begrenzte Einwirkungen
- Gruppe 3: außergewöhnliche Einwirkungen

Im nächsten Schritt sind **Lastfälle** zu definieren, die sich aus Kombinationen von Einwirkungen der Gruppen 1 bis 3 ergeben. Hierzu gibt DIN 19700-11:2004-07 vor, dass die resultierenden Lastfälle 1, 2 und 3 je nach den zur Kombination herangezogenen Einwirkungen derart in weitere Einzellastfälle zu untergliedern sind, dass die für die Tragsicherheitsnachweise maßgebenden Lastkombinationen abgeleitet werden können. Auf dieser Grundlage ist die nachfolgend aufgeführte Einteilung vorgeschrieben:

Lastfälle 1 (Regelkombinationen):

- alle maßgebenden Einwirkungen der Gruppe 1

Lastfälle 2 (seltene Kombinationen):

- alle maßgebenden Einwirkungen der Gruppe 1 und
- je eine Einwirkung der Gruppe 2

Lastfälle 3 (außergewöhnliche Kombinationen):

- alle maßgebenden Einwirkungen der Gruppe 1 und
- je eine Einwirkung der Gruppe 3

Nachfolgend sind gemäß DIN 19700-11:2004-07 sogenannte **Tragwiderstände** zu definieren. Diese werden durch Kennwerte für die Verformbarkeit, Festigkeit, Durchlässigkeit und den allgemeinen Zustand von Absperrbauwerk und Untergrund sowie die Wirksamkeit von baulichen Einrichtungen festgelegt. Aufgrund von in der Regel gegebenen Streubereichen für die Kennwerte sind in Abhängigkeit von der Weite der Streubereiche und der Wirksamkeit der baulichen Einrichtungen drei Tragwiderstandsbedingungen zu betrachten:

Tragwiderstandsbedingung A (wahrscheinliche Bedingung):

- für gesicherte oder allgemein anerkannte Kennwerte und
- voll wirksame bauliche Einrichtungen (z. B. Dichtungen, Dränagen, Rechen u. ä.)

Tragwiderstandsbedingung B (wenig wahrscheinliche Bedingung):

- für ungünstige Kennwerte innerhalb gesicherter Streubereiche oder
- bei eingeschränkter Wirkung einer der baulichen Einrichtungen (z. B. Dichtungen, Dränagen, Rechen u. ä.)

Tragwiderstandsbedingung C (unwahrscheinliche Bedingung):

- für ungünstige Kennwerte in Grenzbereichen oder
- bei Ausfall einer der baulichen Einrichtungen (z. B. Dichtungen, Dränagen, Rechen u. ä.)

Mit der Einführung von Streubereichen für Kennwerte von Baustoffen wird u. a. dem Sachverhalt Rechnung getragen, dass es sich bei Absperrbauwerken zu Stauanlagen i. d. R. um Bauwerke unter Verwendung natürlicher Baustoffe handelt, deren Eigenschaften in gewissen Maßen wechseln und gewöhnlich auch nur stichprobenartig erkundet und untersucht werden können. Darüber hinaus wird bezüglich baulicher Einrichtungen mit den unterschiedlichen Funktionszuständen in den Tragwiderstandsbedingungen (A bis C: voll wirksam, eingeschränkte Wirkung, Ausfall) die Erfahrung berücksichtigt, dass der Versagensmöglichkeit sicherheitsrelevanter Anlagenbestandteile durch konzeptionelle Redundanz begegnet werden muss.

Den letzten Schritt in der Sicherheitsbetrachtung stellt schließlich die Zusammenstellung von drei unterschiedlichen **Bemessungssituationen** dar, die sich aus Kombinationen der Lastfälle und der Tragwiderstandsbedingungen ergeben (vgl. Tabelle 1). Hierbei ist jeder Bemessungssituation ein Gesamtsicherheitsbeiwert zugewiesen.

Die Bemessungssituationen werden wie folgt bezeichnet:

- BS I: Ständige Bemessungssituation
- BS II: Vorübergehende Bemessungssituation
- BS III: Außergewöhnliche Bemessungssituation

Auf Basis der Bemessungssituationen werden schließlich die Gesamtstandsicherheitsbeiwerte zugeordnet, die in Tabelle 2 zusammengestellt sind. Die maximal zu betrachtenden Lastfälle sind für Absperrbauwerke in Tabelle 3 zusammengefasst.

**Tabelle 1:** Bemessungssituationen I bis III gemäß DIN 19700-11:2004-07

Lastfälle (Einwirkungs- kombinationen)	Bemessungssituationen (BS) für Tragwiderstandsbedingungen		
	A (wahrscheinlich)	B (wenig wahrsch.)	C (unwahrsch.)
1 (regelmäßig)	BS I	BS II	BS III
2 (selten)	BS II	BS III	-
3 (außergewöhnlich)	BS III	-	-

**Tabelle 2:** Zugeordnete Gesamtstandsicherheiten für die Bemessungssituationen I bis III gemäß DIN 19700-11:2004-07

Bemessungssituation BS	Gesamtstand- sicherheitsbeiwert
BS I	1,3
BS II	1,2
BS III	1,1

**Tabelle 3:** Lastfälle als Kombination unterschiedlicher Einwirkungen für Hochwasserrückhaltebecken nach DIN 19700-11:2004-07

Einwirkungen		Lastfälle LF (Einwirkungskombinationen) <sup>f</sup>							
		1		2				3	
		1.1	1.2 <sup>a</sup>	2.1	2.2	2.3	2.4 <sup>c</sup>	3.1	3.2
Gruppe 1 (ständig)	Eigenlast	x	x	x	x	x	x	x	x
	Verkehrs- und Auflast	x	x	x	x	x	x	x	x
	Wasserdruck bzw. Strömungskräfte bei Stauziel $Z_S$ (HRB mit Dauerstau)	x				x	x <sup>d</sup>		x <sup>d</sup>
Gruppe 2 (selten)	Wasserdruck bzw. Strömungskräfte bei Hochwasserstauziel 1 ( $Z_{H1}$ )			x					
	schnellstmögliche Wasserspiegelabsenkung				x <sup>b</sup>				
	außerplanmäßige Betriebs- und Belastungszustände					x			
	Betriebserdbeben <sup>e</sup>						x		
Gruppe 3 (außer gewöhnlich)	Wasserdruck- bzw. Strömungskräfte bei Hochwasserstauziel 2 ( $Z_{H2}$ ), sofern $Z_{H2} > Z_{H1}$							x	
	Bemessungserdbeben <sup>e</sup>								x

<sup>a</sup> Bau- und Konsolidierungszustände bis zum ersten Einstau sowie Zustand „leeres Becken“ (Die erforderliche Sicherheit von Erddämmen im Bauzustand (Konsolidierungszustände) kann abweichend von DIN 19700 auf 1,1 verringert werden, wenn hierdurch keine Gefahr für Unterlieger entsteht und Betreiber sowie Aufsichtsbehörde zustimmen).

<sup>b</sup> Beginnend vom Vollstau

<sup>c</sup> Lastfall nur für Gebrauchstauglichkeitsnachweis

<sup>d</sup> Es darf der Wasserdruck bzw. die Strömungskraft bei Stauziel  $Z_S$  angesetzt werden (HRB mit Dauerstau)

<sup>e</sup> Hinweise hierzu siehe Abschnitt 5.4

<sup>f</sup> Bei sehr kleinen und kleinen Hochwasserrückhaltebecken ist es ausreichend, die Bemessungssituationen mit der Tragsicherheitsbedingungen A zu untersuchen (d. h. ausschließlich für voll wirksame bauliche Einrichtungen und für gesicherte oder allgemein anerkannte Bodenkennwerte).

Im Hinblick auf die zu führenden Nachweise stellt DIN 19700-11:2004-07 die Verfahren frei. Lediglich muss gewährleistet sein, dass für alle maßgebenden Bemessungssituationen sowie für alle möglichen Versagensarten die **Tragsicherheit** nachgewiesen wird.

Im Allgemeinen gilt die **Gebrauchstauglichkeit** als erbracht, wenn die hydraulische Sicherheit (Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch, Erosions- und Suffosionsbeständigkeit des Dammes und des Untergrundes sowie Nachweis der Filterwirksamkeit zwischen benachbarten Zonen) nachgewiesen wird. Darüber hinaus müssen Verformungen begrenzt und Rissbildungen beschränkt bleiben.

In gleicher Weise ist die **Dauerhaftigkeit** des Bauwerkes nachzuweisen, für die das Tragwerk seine Gebrauchstauglichkeit und seine Tragsicherheit während der gesamten Nutzungsdauer ohne ungewöhnliche Instandsetzungsmaßnahmen nicht verlieren darf. Bei Absperrbauwerken beträgt die Nutzungsdauer gemäß DIN 19700-11:2004-07 80 bis 100 Jahre.

Ein eigenes Kapitel geht in dem Regelwerk speziell auf **bestehende Absperrbauwerke** ein. In diesem wird festgeschrieben, dass die Erkenntnisse aus Bauwerksmessungen und Materialprüfungen in die Tragsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise einzubeziehen sind (vgl. auch DVWK 231/1995 und Overhoff et al. 2004). Hierzu sollte der zugrundeliegende Beobachtungszeitraum wesentliche Betriebszustände mit einschließen und bei monatlichen bis jährlichen Messungen mehrere Jahre berücksichtigen. Ebenso ist die Plausibilität der Bemessungswerte darzustellen und messtechnisch deren Einhaltung im Betrieb zu überwachen.

### 4.3 Nachweiskonzept gemäß DIN 1054:2005-01 mit Teilsicherheitsbeiwerten

Nachdem in Bezug auf die geotechnischen Nachweise das grundlegende Normenwerk in Form der DIN 1054:2005-01 erschienen ist, liegt es nahe, die betreffenden Nachweisführungen möglichst auf das dort vorgestellte Nachweiskonzept mit Teilsicherheiten (sog. Partialsicherheitskonzept) vorzustellen. Als generelle Vorgabe gilt dabei nachzuweisen, dass **Grenzzustände der Tragfähigkeit (GZ 1)** und der **Gebrauchstauglichkeit (GZ 2)** mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen sind. Bei Erddämmen tritt die Sicherheit gegen innere Erosion hinzu.

DIN 1054:2005-01, Abschnitt 4.3, unterscheidet in diesem Zusammenhang folgende Grenzzustände:

#### **Grenzzustände der Tragfähigkeit (GZ 1)**

- Grenzzustand GZ 1A: Grenzzustand des Verlustes der Lagesicherheit
- Grenzzustand GZ 1B: Grenzzustand des Versagens von Bauwerken und Bauteilen
- Grenzzustand GZ 1C: Grenzzustand des Verlustes der Gesamtstandsicherheit

#### **Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (GZ2)**

Der **Nachweis der Tragfähigkeit** wird erfüllt, indem gezeigt wird, dass das Absperrbauwerk für alle Belastungsfälle bei den im Einzelfall gegebenen Untergrundverhältnissen standsicher ist. Gleiches gilt für die Nachweise der Böschungen im Staubeckenbereich.

Die beim Nachweis der Tragfähigkeit zu betrachtenden **Bemessungssituationen** definieren sich einerseits aus den **Einwirkungskombinationen (EK)**, die an den Grenzzuständen gleichzeitig beteiligt sein können und nach Ursache, Größe, Richtung und Häufigkeit zusammengestellt sind. Andererseits sind beim Nachweis der Tragfähigkeit **Sicherheitsklassen bei Widerständen (SK)** zu berücksichtigen, die dem unterschiedlichen Sicherheitsanspruch bei den Widerständen in Abhängigkeit von Dauer und Häufigkeit der maßgebenden Einwirkungen Rechnung tragen.

Bei den **Einwirkungskombinationen (EK)** werden unterschieden:

Regel-Kombination EK 1:

Ständige sowie während der Funktionszeit des Bauwerks regelmäßig auftretende veränderliche Einwirkungen.

Seltene Kombination EK 2:

Außer den Einwirkungen der Regel-Kombination seltene oder einmalige planmäßige Einwirkungen.

Außergewöhnliche Kombination EK 3:

Außer den Einwirkungen der Regel-Kombination eine gleichzeitig mögliche außergewöhnliche Einwirkung, insbesondere bei Erdbeben, Katastrophen oder Unfällen.

Bei den **Sicherheitsklassen bei Widerständen (SK)** werden unterschieden:

Zustände der Sicherheitsklasse SK 1:

Auf die Funktionszeit des Bauwerkes angelegte Zustände.

Zustände der Sicherheitsklasse SK 2:

Bauzustände bei der Herstellung oder Reparatur des Bauwerkes und Bauzustände durch Baumaßnahmen neben dem Bauwerk.

Zustände der Sicherheitsklasse SK 3:

Während der Funktionszeit einmalig oder voraussichtlich nie auftretende Zustände.

Die zu betrachtenden **Lastfälle** für den Grenzzustand GZ 1 ergeben sich schließlich aus den Einwirkungskombination (EK) in Verbindung mit den Sicherheitsklassen bei den Widerständen (SK). Dabei werden folgende Situationen unterschieden:

Lastfall LF 1:

Regel-Kombination EK 1 in Verbindung mit Zustand der Sicherheitsklasse SK 1.  
Der Lastfall LF 1 entspricht somit der „ständigen Bemessungssituation“ nach DIN 1055-100:2001-03.

Lastfall LF 2:

Seltene Kombination EK 2 in Verbindung mit Zustand der Sicherheitsklasse SK 1 oder Regel-Kombination EK 1 in Verbindung mit Zustand der Sicherheitsklasse SK 2.  
Der Lastfall LF 2 entspricht somit der „vorübergehenden Bemessungssituation“ nach DIN 1055-100:2001-03.

Lastfall LF 3:

Außergewöhnliche Kombination EK 3 in Verbindung mit Zustand der Sicherheitsklasse SK 2 oder seltene Kombination EK 2 in Verbindung mit Zustand der Sicherheitsklasse

SK 3. Der Lastfall LF 2 entspricht somit der „außergewöhnlichen Bemessungssituation“ sowie der „Erdbeben-Situation“ nach DIN 1055-100:2001-03.

Die für die Lastfälle anzusetzenden Teilsicherheitsbeiwerte sind in DIN 1054:2005-01 für die Einwirkungen in Tabelle 2 und für die Widerstände in Tabelle 3 zusammengestellt. Für den Extremfall des Zusammentreffens von außergewöhnlicher Einwirkungskombination EK 3 mit einem Zustand der Sicherheitsklasse SK 3 können die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände gleich  $\gamma_F = \gamma_R = 1,0$  angesetzt werden. Für andere Kombinationen können schließlich in begründeten Fällen für die Lastfälle Zwischenstufen eingeschaltet werden.

Der **Nachweis der Gebrauchstauglichkeit** ist erbracht, wenn nachgewiesen wird, dass festgelegte Nutzungseigenschaften des Bauwerks bzw. von Bauwerksteilen in vorgegebenen Toleranzen beibehalten werden. Schränken Verformungen und Rissbildungen die Funktionstüchtigkeit von Dichtungen und Dräns ein, so sind diese bei den hydraulischen Berechnungen und Nachweisen zu berücksichtigen.

Gemäß DIN 1054:2005-01 können für den Nachweis der Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit für alle Einwirkungen und Beanspruchungen die Teilsicherheitsbeiwerte mit 1,0 angenommen werden.

## **5 Nachweise zur Bemessung von Hochwasserrückhaltebecken**

### **5.1 Einführung**

Einführend ist hervorzuheben, dass bei allen Betrachtungen Dammkörper und Untergrund stets als Einheit zu betrachten sind, so dass betreffende Berechnungen und Nachweise sowohl für den Dammkörper selbst als auch für den Untergrund gelten müssen. Gleiches gilt für die Nachweisführung im Zusammenhang mit Böschungen im Beckenbereich. Die durchzuführenden Berechnungen und Nachweise lassen sich bei Hochwasserrückhaltebecken wie folgt untergliedern:

- Hydraulische Berechnungen und Nachweise
- Geotechnische Nachweise zur
  - Tragsicherheit und
  - Gebrauchstauglichkeit (einschließlich Erosionsstabilität)

Die folgenden Abschnitte zur geotechnischen Nachweisführung werden vor dem Hintergrund der parallelen Verwendung beider Sicherheitskonzepte aus DIN 19700:2004-07 (Teile 11 und 12) und DIN 1054:2005-01 vorgestellt.

### **5.2 Hydraulische Einwirkungsgrößen und Nachweise**

#### **5.2.1 Allgemeines**

Als Eingangswerte für die meisten Tragsicherheitsnachweise sowie für die Erosionsstabilität sind hydraulische Nachweise bzw. hydraulische Einwirkungsgrößen erforderlich. Zur Ermittlung dieser werden die möglicherweise auftretenden Wasserstände sowie deren zeitliche Abfolge benötigt.

#### **5.2.2 Freibord**

Die erforderliche Freibordhöhe wird als Summe von Windstau, Wellenauflauf und Zuschlägen berechnet (vgl. DIN 19700-10:2004-07, 6.4 sowie DIN 19700-11:2004-07, 4.4 sowie DVWK 246/1997). Nach DIN 19700-12:2004-07 kann für sehr kleine Hochwasserrückhaltebecken auf den Nachweis verzichtet werden, wenn das Freibordmaß  $\geq 0,5$  m gewählt wird.

### 5.2.3 Hydraulische Einwirkungsgrößen

Für die Einzelnachweise der Tragsicherheit bzw. der Gebrauchstauglichkeit muss i. d. R. die Sickerlinie ermittelt werden. Darüber hinaus ist es oft zweckmäßig, das hydrodynamische Netz (Strom- und Potenziallinien) für Damm und Untergrund numerisch oder mit geeigneten Verfahren analytisch zu ermitteln. Im Einzelnen sind dabei folgende Strömungszustände bzw. hydraulische Einwirkungsgrößen zu berücksichtigen:

- **Sickerlinie im stationären Strömungszustand**

Für die Nachweise zur Tragsicherheit des Dammbauwerkes ist i. d. R. der Verlauf der Sickerlinie im stationären Zustand als ungünstigste Strömungssituation in Ansatz zu bringen. Sowohl für homogen aufgeschüttete Dämme als auch für Dämme mit gegliedertem Querschnitt existieren vereinfachte Berechnungsmethoden (z. B. Casagrande 1938). Eine Zusammenstellung unterschiedlicher vereinfachter Berechnungsmethoden befindet sich u. a. in Davidenkoff (1964) und Erb (1965).

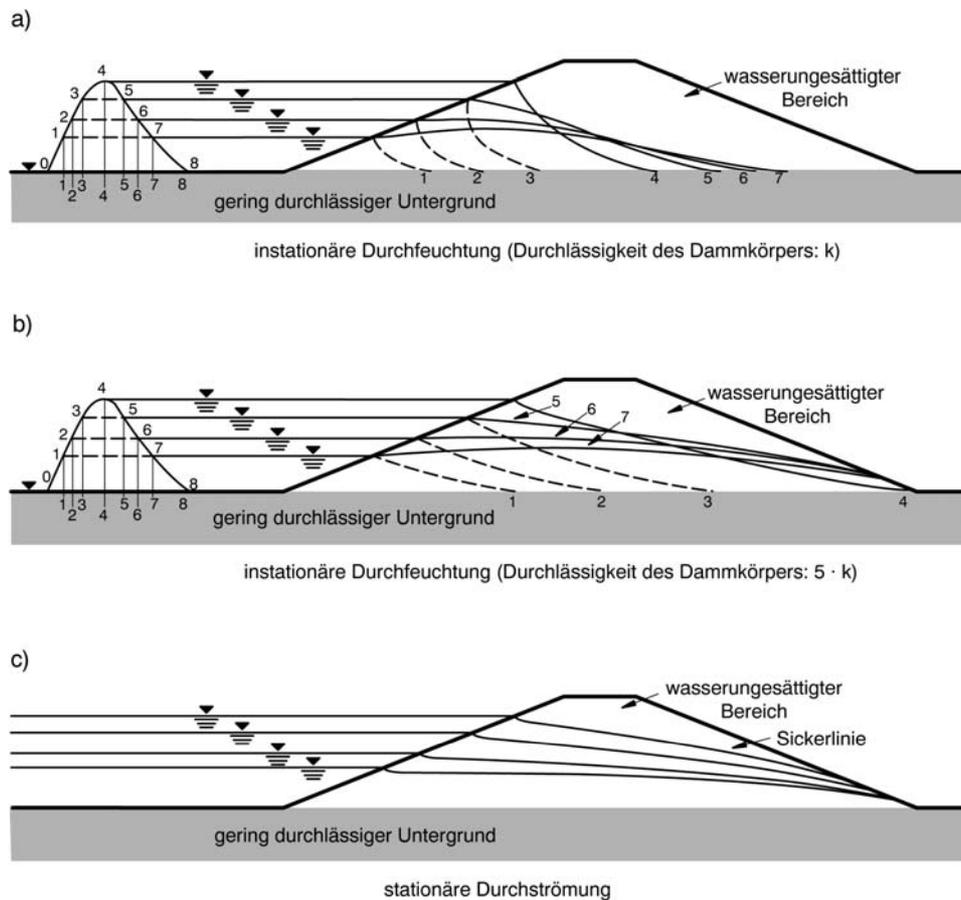
- **Verlauf der instationären Durchströmung**

Insbesondere für bestehende Hochwasserrückhaltebecken mit mehr oder weniger homogenem Aufbau ist die Tragsicherheit der landseitigen Böschung für einen lang anhaltenden Einstau (d. h. einen stationären Strömungszustand) u. U. nicht nachweisbar. In derartigen Fällen ist für das zugrunde gelegte Bemessungshochwasser bzw. auch unter der größten anzunehmenden Einstaudauer der Verlauf der instationären Durchströmung des Dammkörpers zu überprüfen und in Ansatz zu bringen. Konkret ist hier zu klären, ob für die Dauer des in Ansatz gebrachten Einstauverlaufs die Sickerlinie die Binnenseite des Dammkörpers erreicht (vgl. auch Bild 2). Als maßgebende Faktoren sind in diesem Zusammenhang Damngeometrie (Höhe und wasserseitige Böschungsneigung), Dammaufbau (Eigenschaften des Baustoffes und ggf. Wechsellagerungen) sowie meteorologische Randbedingungen (resultierende Vorfeuchte im Damminnern) zu berücksichtigen. Sind keine detaillierten Informationen über den Wasserhaushalt des Dammkörpers vorhanden, kann als Vorfeuchte die Feldkapazität des Baumaterials angesetzt werden. Bei HRB mit Dauerstau ist der instationäre Durchfeuchtungsverlauf unter Berücksichtigung der stationären Sickerlinie bei Dauerstaubedingungen zu ermitteln. Die Tragsicherheit kann dann mit der Lage der ungünstigsten temporären Sickerlinie im Dammkörper ermittelt werden. Die instationäre Berechnung ist in einfachen Fällen mit geeigneten vereinfachten analytischen Methoden möglich (vgl. z. B. Scheuermann 2005).

- **Sickerlinie bei schnell fallendem Wasserspiegel**

Wenn schnelle Wasserspiegelabsenkungen zu erwarten sind, sollte die Sickerlinie auch unter diesen instationären Bedingungen berücksichtigt werden. Wenn keine instationären Berechnungen durchgeführt werden bzw. falls keine genaueren Daten

zur Verfügung stehen, kann auf eine vereinfachende Abschätzung der Lage der Sickerlinie zurückgegriffen werden (vgl. DVWK 210/1986 bzw. DWA 507/2006). Zum Nachweis einer schnellen Spiegelwasserabsenkung sollte hierfür das höchste Stauziel angesetzt werden.



**Bild 2:** Instationäre Durchströmung eines homogenen Damms auf geringdurchlässigem Untergrund für einen zeitlich begrenzten Einstau  
 a) für einfache Durchlässigkeit  
 b) für fünffache Durchlässigkeit  
 c) stationäre Strömungszustände für markierte Einstauhöhen

- **Wasserdruckverhältnisse und Potenzialverteilung im Untergrund**

Für die Nachweise zur Tragsicherheit, die unter hydraulischen Randbedingungen im Untergrund stattfinden, und für die Nachweise zur Erosionsstabilität sowie den sonstigen hydraulischen Nachweisen ist die Kenntnis der hydraulischen Druckverhältnisse (bzw. Potenzialverteilungen) im Untergrund erforderlich. Im Allgemeinen reicht es aus, diese unter vereinfachenden Annahmen abzuschätzen.

- **Hydraulische Gradienten in Damm und Untergrund**

Speziell bei HRB mit Dauerstau ist zur Führung der Nachweise zur Erosionsstabilität die Ermittlung der hydraulischen Gradienten im Dammkörper bzw. im Untergrund erforderlich. Insbesondere an Grenzflächen zweier benachbarter Bodenschichten bzw. entlang von festen Einbauten können erhöhte hydraulische Gradienten auftreten, die im Detail auf Grundlage von z. B. hydrodynamischen Netzen ermittelt werden können.

- **Luftseitiger Sickerwasseranfall**

Der zu erwartende luftseitige Sickerwasseranfall infolge Durchströmung von Damm und Untergrund ist für den instationären wie stationären Zustand zu ermitteln. Es ist nachzuweisen, dass der ermittelte Abfluss bei der gewählten Planungskonzeption abgeführt werden kann. Für den Fall der Durchströmung des Dammes kann der Durchfluss i. d. R. bereits aus den vereinfachenden Berechnungen der Sickerlinie im stationären Zustand abgeschätzt werden. Für die Unterströmung können geeignete Verfahren verwendet werden, um den Sickerwasseranfall zu ermitteln (z. B. nach Dachler 1936).

#### **5.2.4 Hydraulische Filterwirksamkeit**

Bei zonierten Dammquerschnitten ist im Grenzbereich zweier benachbarter Erdstoffe der Nachweis der hydraulischen Filterwirksamkeit zu führen.

Wegen der erforderlichen druckwasserfreien Sickerwasserführung innerhalb des Dammkörpers auch bei besonderen Lastfällen (z. B. eingeschränkte Wirkung der Dichtung) sind die Anforderungen bzgl. der Kornabstufung sowie der Verdichtung und der daraus folgenden Durchlässigkeit der Materialien festzulegen. Zur Nachweisführung kann auf BAW MAK 1989 (dort Abschnitt 5.2.3) verwiesen werden.

#### **5.2.5 Dimensionierung von Dräns und Dränleitungen**

Die druckfreie Sickerwasserabführung ist am einfachsten und wirtschaftlichsten mit Dräns zu gewährleisten. Je nach Anordnung werden Dräns unterschiedlich hydraulisch belastet, weswegen ihre Dimensionierung fallweise betrachtet werden muss. Grundsätzliche Vorgaben zur Drändimensionierung können BAW MSD (2005) entnommen werden. Für spezielle Anordnungen von Dräns sind angepasste Kriterien zur Bemessung hinzuzuziehen (z. B. bei Sohldräns Brauns u. Raju 1993, bei Streifendräns Brauns u. Gottheil 1989, bei Dränrohren Poweleit 1988, bei Vertikaldräns Brauns u. Schulze 1988). Auch Dräns aus Geotextilien bzw. Geokunststoffen sind zu bemessen (vgl. z. B. DVWK 221/1992).

Dräns sind so zu bemessen, dass sie das zu erwartende Sickerwasser mit mindestens zweifacher Sicherheit abführen können.

### **5.3 Zusammenstellung der geotechnischen Nachweise**

Nachfolgend werden die erforderlichen geotechnischen Nachweise in Anlehnung an das Nachweiskonzept gemäß DIN 1054 für die Grenzzustände der Tragsicherheit sowie für die Gebrauchstauglichkeit einschließlich Erosionsstabilität vorgestellt. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass hiervon abweichend die hydraulischen Nachweise (Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch, Erosions- und Suffosionsbeständigkeit des Dammes und des Untergrundes sowie Nachweis der Filterwirksamkeit zwischen benachbarten Zonen) gemäß DIN 19700-11:2004-07 den Nachweisen zur Gebrauchstauglichkeit zugeordnet sind.

Die zu führenden Einzelnachweise können wie folgt eingeteilt werden:

#### **Grenzzustand des Verlustes der Gesamtstandsicherheit (GZ 1C):**

- Böschungsbruch
- Böschungsgrundbruch
- Abschieben des Dammkörpers

#### **Grenzzustand des Verlustes der Lagesicherheit (GZ 1A):**

- Lokale Standsicherheit der wasser- und luftseitigen Böschungen
- Lokale Standsicherheit am Böschungsfuß (Spreizsicherheit)
- Standsicherheit der Böschungsdichtungen bei Wasserdruck vom Dammkörper her
- Auftriebssicherheit bzw. hydraulischer Grundbruch

#### **Grenzzustand des Versagens von Bauwerken und Bauteilen (GZ 1B):**

- Versagen der Dichtung
- Versagen der Dränung

#### **Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZ 2):**

- Nachweis der Verträglichkeit von Setzungen und Verformungen (Spannungsverteilungen im Dammkörper)
- Nachweis der Sicherheit gegen Rissbildungen

#### **Grenzzustand im Hinblick auf die innere Erosionsstabilität:**

- Nachweise zur Sicherheit gegen Kontakterosion (mechanische Filterwirksamkeit)
- Nachweise zur Suffosionsstabilität
- Nachweis zum Erosionsgrundbruch im Untergrund
- Nachweis zur Fugenerosion

## 5.4 Hinweise zur Berücksichtigung von Erdbeben bei der Nachweisführung

Nach DIN 19700-10:2004-07 sind bei den zu erbringenden Nachweisen zwei Erdbebenfälle zu betrachten:

- Der **Erdbebenfall 1** dient dem Nachweis der Gebrauchstauglichkeit und der Dauerhaftigkeit der Stauanlage. Dazu ist ein **Betriebserdbeben** anzunehmen, dessen Intensität geringer ist als die des Bemessungserdbebens. Dem Betriebserdbeben muss die Stauanlage ohne Nutzungseinschränkung widerstehen.
- Der **Erdbebenfall 2** ist der Bemessungsfall, für den die Tragsicherheit der Stauanlage nachzuweisen ist. Dazu ist ein **Bemessungserdbeben** anzunehmen, dessen Intensität am Standort der Stauanlage äußerst selten auftreten kann. Dem Bemessungserdbeben muss die Stauanlage ohne globales Versagen widerstehen. Insbesondere darf die Tragsicherheit des Absperrbauwerkes nicht gefährdet werden.

Auf Grundlage der Auftretenswahrscheinlichkeit von Erdbeben sind für die zu betrachtenden Talsperrenklassen nach DIN 19700-11:2004-07 die in Tabelle 4 zusammengestellten Erdbebenfälle zu berücksichtigen. Als Talsperren der Klasse 1 bezeichnet man Absperrbauwerke, die ab Gründungssohle bis zur Krone höher als 15 m sind oder ein Speicherbecken besitzen, dessen Gesamtstauraum größer als 1 Mio. m<sup>3</sup> ist. Kleine und mittlere Talsperren der Klasse 2 erfüllen keine dieser Voraussetzungen. Hieraus folgt, dass die hier behandelten Hochwasserrückhaltebecken sehr kleiner, kleiner und mittlerer Größe der Talsperrenklasse 2 zuzuordnen sind.

**Tabelle 4:** Zu berücksichtigende Erdbebenfälle in Abhängigkeit der Talsperrenklasse (TK)

	Wiederkehrperiode T bzw. Überschreitungswahrscheinlichkeit p	
	Erdbebenfall 1 (Betriebserdbeben)	Erdbebenfall 2 (Bemessungserdbeben)
TK 1 (große Talsperren)	T = 500 a p = 2·10 <sup>-3</sup>	T = 2500 a p = 4·10 <sup>-4</sup>
TK 2 (kleine und mittlere Talsperren)	T = 100 a p = 1·10 <sup>-2</sup>	T = 1000 a p = 1·10 <sup>-3</sup>

An Standorten, an denen der Bemessungswert  $a_g$  der Bodenbeschleunigung des Bemessungserdbebens (Erdbebenfall 2) 4 % der Erdbeschleunigung unterschreitet ( $a_g < 0,4 \text{ m/s}^2$ ) darf auf Nachweise gegenüber geologisch induzierten Erdbeben verzichtet werden (vgl. DIN 19700-10:2004-07, Abschnitt 8.4).

Die Nachweise der Tragsicherheit für sehr kleine, kleine und mittlere Hochwasserrückhaltebecken können mit quasi-statischen Ersatzlasten mit dem 1,0-fachen Wert der Bodenbeschleunigung durchgeführt werden.

Erfahrungen mit Erdbeben bei kleinen Dämmen zur temporären Speicherung von Niederschlagswasser in Regenzeiten haben gezeigt, dass sehr starke Erdbeben (mit einer Magnitude von  $M = 7,7$  auf der Richterskala) ernsthafte Beschädigungen zur Folge haben (primär durch Bodenverflüssigung verursachte Rissbildungen, Verformungen und Setzungen), die allerdings keine Überflutung zur Folge hatten, da die Becken nicht gefüllt waren (Wieland 2001).

Im Falle von Hochwasserrückhaltebecken sind nach DIN 19700-12:2004-07, Kapitel 7, Abweichungen bei der Nachweisführung unter Erdbebenwirkung zulässig, die auf Basis der o. g. Erfahrungen ergänzt werden:

- Bei Hochwasserrückhaltebecken mit Dauerstau ist das Bemessungserdbeben in Kombination mit dem Wasserdruck bzw. der Strömungskraft bei Dauerstauziel anzusetzen (Bemessungssituation III gemäß DIN 19700-11 bzw. Lastfall 3 gemäß DIN 1054).
- Unter Inkaufnahme ggf. erforderlicher und umgehender Instandsetzungsarbeiten nach einem Erdbeben darf bei Trockenbecken sehr kleiner und kleiner Größe auf Nachweise mit Erdbebeneinwirkung verzichtet werden, da die Wahrscheinlichkeit des Zusammentreffens von Erdbeben und Hochwasserereignis sehr gering ist.
- Bei Trockenbecken mittlerer Größe darf auf die Nachweise mit der Einwirkung Betriebserdbeben (Erdbebenfall 1) verzichtet werden.

Die für den Nachweis der Tragsicherheit erforderlichen Bemessungswerte der Bodenbeschleunigung aus Erdbebeneinwirkung für Hochwasserrückhaltebecken der Talsperrenklasse 2 liegen für Baden-Württemberg für die in Betracht zu ziehenden Wiederkehrperioden  $T$  (100 a und 1000 a) zurzeit nicht vor. Eine wesentliche Erleichterung für einzelne Beckenstandorte könnte sich voraussichtlich ergeben, wenn die Bereiche festgelegt würden, an denen das Bemessungserdbeben 4 % der Erdbeschleunigung unterschreitet und auf den Nachweis verzichtet werden darf.

Bis hier eine Verbesserung eintritt, muss die Bemessung von Hochwasserrückhaltebecken auf Grundlage von seismologischen Einzelgutachten oder durch Betrachtungen mit Einwirkungen auf der sicheren Seite liegend erfolgen. Nach Rücksprache mit dem Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (RP Freiburg) besteht die Möglichkeit, die Werte für das Bemessungserdbeben der Talsperrenklasse 2 (1000 a für Erdbebenfall 2) durch Extrapolation der in DIN 4149:2005-04 (Wiederkehrperiode  $T = 475$  a) angegebenen Bemessungswerte der Bodenbeschleunigung durch die Berücksichtigung von Bedeutungsfaktoren zu erhalten. Es wird

als sachgerecht erachtet, diese Werte in Abstimmung mit dem LGRB/RP Freiburg festzulegen. Gleiches gilt für die Bemessungswerte für das Betriebserdbeben (100 a für Erdbebenfall 1), die sich durch Interpolation ableiten lassen.

## **5.5 Hinweise zur Nachweisführung der Tragsicherheit**

### **5.5.1 Einführende Bemerkung zur Wirkung von Dichtungselementen**

Insgesamt sieht sich der geotechnische Ingenieur bei den Sicherheitsnachweisen vor die Aufgabe gestellt, zu entscheiden, wie bei konkreten Dammsituationen mit den Tragwiderstandsbedingungen B (eingeschränkte Wirkung einer Dichtung) und C (Ausfall einer Dichtung) umgegangen werden muss, um die Tragsicherheit des Absperrbauwerkes nachzuweisen. Für die Tragwiderstandsbedingung C ist – in Abhängigkeit der Dammgeometrie und dem inneren Dammaufbau – bei ausreichend langem Einstau vom stationären Durchströmungszustand auszugehen. Ob und inwieweit bei der Tragwiderstandsbedingung B in Hinsicht auf die Tragsicherheit tatsächlich günstigere Durchströmungsverhältnisse vorliegen, lässt sich i. d. R. anhand der Analyse relevanter und zugrunde zu legender Leckkonfigurationen abschätzen (vgl. Brauns u. Saucke 2005).

Bei dieser Betrachtung ist insbesondere dem Tragsicherheitsnachweis von Erddämmen mit dünnen bzw. sog. synthetischen Dichtungen (bestehend aus Asphaltbeton, Kunststoffdichtungsbahnen u. a. m.) besonderes Augenmerk zu schenken, da bereits vergleichsweise kleine Imperfektionen zu erheblichen und standsicherheitsrelevanten Durchströmungssituationen führen können (Brauns 1994).

Bei Erddämmen mit mächtigen Dichtungszonen ist das Versagen eher unwahrscheinlich. Falls nachgewiesen wird, dass ein Versagen der Dichtung nicht zu erwarten ist, kann in Abstimmung mit der zuständigen Behörde eine Reduktion der Anforderungen erfolgen. Bei sehr kleinen und kleinen Erddämmen mit mineralischen Dichtungselementen von

- mindestens 2 m Dicke und
- hydraulischen Gradienten von  $i \leq 5$

kann auf die Nachweise für die Tragwiderstandsbedingungen B und C verzichtet werden (vgl. auch DWA-Thema 2005). Für mittlere Dämme sollte die Vorgehensweise zwischen Behörde und Betreiber abgestimmt werden.

Insbesondere bei der Überprüfung bestehender Dammkörper kann mit Hilfe aufwändiger numerischer Berechnungen der instationäre Durchfeuchtungsverlauf in Abhängigkeit relevan-

ter Randbedingungen erforderlich werden, um den Ertüchtigungsbedarf auf das notwendige Maß zu begrenzen. Insgesamt ist aber hervorzuheben, dass ein Dammaufbau mit redundanten Sicherungselementen anzustreben ist.

### **5.5.2 Böschungsbruch, Böschungsgrundbruch und Abschieben des Dammkörpers (GZ 1C)**

Der Dammkörper muss für alle Belastungsfälle bei den im Einzelfall gegebenen Untergrundverhältnissen standsicher sein, d. h. die Nachweise der Tragsicherheit erfüllen. Dies wird dadurch nachgewiesen, dass ein Bruch für die ungünstigste Gleitfläche ausgeschlossen werden kann. Damm und Untergrund sind bei dieser Untersuchung als Einheit anzusehen. Dementsprechend sind nicht nur Gleitflächen durch den Dammkörper allein (Böschungsbruch), sondern auch solche durch Dammkörper und Untergrund (Böschungsgrundbruch) zu untersuchen. Je nach Aufbau und Gliederung von Untergrund und Damm sind dabei auch nicht-kreisförmige Gleitflächen zu betrachten. In diesem Zusammenhang sind die u. U. anzusetzenden quasi-statischen Kräfte aus dem Bemessungserdbeben (Erdbebenfall 2, vgl. Abschnitt 5.4) zu beachten.

Für die erdstatischen Nachweise gelten DIN V 4084-100 bzw. DIN E 4084:2002-11 in Zusammenhang mit DIN 1054:2005-01 unter Berücksichtigung des Konzeptes mit Teilsicherheitsbeiwerten sowie DIN 19700:2004-07 Teile 10, 11 und 12. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Scherparameter der jeweiligen Zonen bzw. Baustoffe nachweislich und qualitätsüberwacht sichergestellt sind. Die Berücksichtigung von Kohäsion sollte nur im Einzelfall und nach genauer Prüfung erfolgen.

Unter der Eigenlast oder im Einstaufall können sich im Dammkörper Porenwasserüberdrücke einstellen, die die Scherfestigkeit herabsetzen. Sie sind bei der Standsicherheitsuntersuchung, ggf. entsprechend der zeitlichen Veränderung des Porenwasserüberdruckes, zu berücksichtigen (z. B. durch Ansatz von Scherparametern für den undrained Boden  $\varphi_u$  und  $c_u$  nach DIN 18137).

Insbesondere bei Hochwasserrückhaltebecken mit homogen aufgebauten Dammkörpern ist zu überprüfen, ob mit der Möglichkeit einer völligen Durchströmung bis zur luftseitigen Böschung zu rechnen ist (vgl. Abschnitt 5.2.3). Wenn der Nachweis geführt werden kann, dass auch unter der größten anzunehmenden Einstaudauer die Wasserinfiltration den Dammkörper nur partiell erfasst und somit die Tragsicherheit gegeben ist, genügt es das Dammbauwerk hierfür auszulegen.

Für die Standsicherheit der wasserseitigen Böschung kann der fallende Wasserspiegel kritisch sein. Dabei ist der freie Wasserspiegel im Stauraum in seiner ungünstigsten Lage anzunehmen (vgl. Abschnitt 5.2.3). In Einzelfällen können genauere Nachweise erforderlich werden, bei denen die Wechselwirkung zwischen der Absinkgeschwindigkeit des Wasserspiegels, der Lage der Sickerlinie im Dammkörper und der Durchlässigkeit des Dammbaustoffes berücksichtigt wird. Von einer schnellen Wasserspiegelsenkung, die infolge von Strömungskräften und Überdrücken im Damm zu einer geringeren Standsicherheit als im stationären Fall führen kann, wird ausgegangen, wenn für die Wasserspiegelsinkgeschwindigkeit  $v_w$  gilt:  $k_f/(n_e \cdot v_w) < 25$  (mit:  $k_f$  = Durchlässigkeitsbeiwert nach Darcy,  $n_e$  = wirksamer (effektiver) Porenanteil; vgl. auch Schneider et al. 1997).

Ferner ist für den Nachweis der Tragsicherheit des Dammkörpers die Sicherheit gegen Abschieben zu führen. Letztgenannter Nachweis ist i. d. R. mit ausreichenden Sicherheiten bereits durch abschätzende Betrachtungen auf der sicheren Seite liegend zu führen; Ausnahmen können zentral gedichtete Dammquerschnitte sowie Bauwerke mit geneigter Aufstandsfläche darstellen.

### **5.5.3 Lokale Standsicherheit von Böschungen (GZ 1A)**

Sind Wasseraustritte an land- oder wasserseitiger Böschung zu erwarten, ist für die freie Oberfläche des Dammkörpers die lokale Standsicherheit in Abhängigkeit der Strömungsrichtung nachzuweisen (vgl. DIN V 4084-100 bzw. DIN E 4084:2002-11, BAW MSD 2005). Für Böschungen aus kohäsionslosem Baustoff ist dieser Nachweis für die Böschungsstandsicherheit maßgebend, wenn kein Einfluss aus einer Querschnittsgliederung vorliegt. Bei bindigem Material wird mit zunehmender Kohäsion die lokale Standsicherheit größer, so dass die Gesamtstandsicherheit (GZ 1 C) maßgebend wird.

### **5.5.4 Lokale Standsicherheit am Böschungsfuß (Spreizsicherheit, GZ 1A)**

Je nach Aufbau und Gliederung von Damm und Untergrund können Spreizspannungen in Schichtgrenzen und anderen Bereichen mit relativ zur Umgebung geringerer Scherfestigkeit ein Ausweichen des Böschungsfußes verursachen. Geneigte Schichtgrenzen bzw. Strömungskräfte in Richtung der Böschungen erhöhen die Neigung des Spreizens. Der Nachweis der Aufnahme von Spreizspannungen in derartigen Schichtgrenzen (z. B. in der Aufstandsfläche des Dammes) ist mit entsprechenden Verfahren zu erbringen (vgl. Brauns 1980, Kast 1985).

### **5.5.5 Standsicherheit von Böschungsdichtungen bei Wasserdruck vom Dammkörper aus (GZ 1A)**

Der luftseitige Wasserdruck unterhalb einer Oberflächendichtung darf nach DIN 19700-11:2004-07 in keinem Fall höher sein als der Wasserstand im Staubecken. Insbesondere bei Dammkonstruktionen mit herabgesetzter Funktionstüchtigkeit des wasserseitigen Dichtungselementes kann sich im Falle eines Einstaus im Stützkörper unterhalb der Dichtung ein nennenswert hoher Wasserstand einstellen. Bei fallendem Wasserstand besteht die Möglichkeit, dass der Wasserspiegel im Becken schneller fällt, als die Sickerlinie im Dammkörper. Es ist fallweise zu überprüfen, ob ein derartiger Lastfall eintreten kann. In Fällen dieser Art sollte der schnell fallende Wasserspiegel bei der Standsicherheitsbetrachtung berücksichtigt werden (z. B. EAK 2002).

### **5.5.6 Auftriebssicherheit bzw. Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch (GZ 1A)**

Der Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch ist gemäß DIN 19700-11:2004-07 Bestandteil des Gebrauchstauglichkeitsnachweises. Nach DIN 1054:2005-01 ist der hydraulische Grundbruch ein Grenzzustand der Tragfähigkeit.

Zum Nachweis der Auftriebssicherheit kann erfahrungsgemäß davon ausgegangen werden, dass auf etwa 100 m Sickerstrecke ein Abbau des hydraulischen Potentials von etwa 0,3 m angesetzt werden kann. Bei Entlastungsbauwerken ist der Potenzialverlauf gesondert zu ermitteln.

### **5.5.7 Erosionsstabilität**

Die Erosions- und Suffosionsstabilität von Dammkörper und Untergrund gehören nach DIN 19700-11:2004-07 zu den hydraulischen Nachweisen und sind somit Bestandteil des Gebrauchstauglichkeitsnachweises.

Hinsichtlich der Nachweisführung wird bei den Erosionsformen unterschieden zwischen Kontakterosion an Schichtgrenzen (bei paralleler und senkrecht zur Schichtung orientierter Wasserströmung), Suffosion und der Fugenerosion entlang von Bauteilen. Für den Nachweis der Erosionsstabilität sei auf DWA 507 (2006), BAW MSD (2005) und Saucke (2006) verwiesen.

## **5.6 Hinweise zur Nachweisführung der Gebrauchstauglichkeit**

### **5.6.1 Verformungen und Rissbildungen**

Ungleichmäßige Setzungen bzw. Verformungen des Dammkörpers können Beschädigungen von konstruktiven Elementen (z. B. des Dichtungselementes) verursachen. Zur Beurteilung der Rissicherheit dient das Verformungsbild des Dammkörpers und des beteiligten Untergrundbereiches.

Die Gebrauchstauglichkeit ist nachgewiesen, wenn Verformungen begrenzt und Rissbildungen beschränkt werden. Hierbei ist einerseits nachzuweisen, dass im Anschluss des Dammkörpers bzw. des Untergrundes an Bauwerke keine Verformungen (in Form von Setzungsunterschieden oder Gewölbebildungen) auftreten können, die im Falle eines Einstaus zu kritischen Wasserwirkungen führen. Andererseits ist zu zeigen, dass sicherheitsrelevante Elemente bzw. Bereiche im Dammkörper oder Untergrund keinen Verformungen ausgesetzt sind, die ihre Funktion einschränken (z. B. bei Dichtungselementen). Weitere Hinweise zur Nachweisführung liefert DIN 1054:2005-01, Abschnitt 4.4 (z. B. durch Hinweis auf belegbare Erfahrungen).

## **5.7 Standsicherheit von Böschungen im Staubeckenbereich**

Die Standsicherheit von Böschungen und Hängen im Staubeckenbereich ist nachzuweisen (vgl. DIN 19700-11:2004-07, Abschnitt 7.5). Hierbei sind die Einwirkungen durch Einstau, ggf. schnelle Wasserspiegeländerungen und ggf. von Erdbeben zu berücksichtigen.

Für den Nachweis der Standsicherheit von Böschungen und Hängen im Staubeckenbereich gelten DIN V 4084-100 bzw. DIN E 4084:2002-11 und DIN 1054.

Wenn die Tragfähigkeit des Dammbauwerkes nachweislich nicht beeinträchtigt wird und keine Gefahr für Unterlieger des Hochwasserrückhaltebeckens besteht, können in Abweichung von den a. a. R. d. T. Böschungsrutschungen in den Staubeckenbereich in Kauf genommen werden, wenn seitens Betreiber und Aufsichtsbehörde eine Zustimmung vorliegt.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Arbeitshilfe zu den geotechnischen Anforderungen an Hochwasserrückhaltebecken sehr kleiner, kleiner und mittlerer Größe wurde in Baden-Württemberg erforderlich, da mit Erscheinen der DIN 19700:2004-07 offene Fragen bezüglich deren Handhabung aus geotechnischer Sicht entstanden sind.

Um sowohl befassten Behörden als auch Ingenieurbüros und Betreibern von derartigen Anlagen zusätzliche Erläuterungen verfügbar zu machen, wurde zunächst auf die (Um-) Klassifizierung von Hochwasserrückhaltebecken eingegangen und der geotechnische Erkundungs- und Untersuchungsbedarf beschrieben. Weiter wurden die zu berücksichtigenden Sicherheitskonzepte erläutert, und die erforderlichen geotechnischen Nachweise wurden dargestellt. Hierbei sind die im Rahmen eines Fachgespräches am 16.04.04 bei der Landesanstalt für Umweltschutz erörterten Gesichtspunkte behandelt worden und in die Hinweise bzw. Ergänzungen der Arbeitshilfe eingeflossen. Es ist an dieser Stelle anzumerken, dass auf einzelne Fragestellungen dieses Fachgespräches – die durch unterschiedliche Anforderungen der DIN 19700:2004-07 und dem DVWK Merkblatt 202 „Hochwasserrückhaltebecken“ (1991) hervorgerufen wurden (z. B. Anforderungen an die Mindestverdichtung) – nicht eingegangen wurde, da der DWA-Hauptausschuss „Wasserbau und Wasserkraft“ im Dezember 2005 beschlossen hat, das DVWK-Merkblatt 202/1991 zurückzuziehen.

Für verschiedene Bedingungen werden für die behandelten Hochwasserrückhaltebecken Erleichterungen zur geotechnischen Nachweisführung vorgeschlagen. Es ist an dieser Stelle zu betonen, dass deren Anwendung nur dann möglich ist, wenn eine Gefährdung von Unterliegern nachweislich ausgeschlossen werden kann. Ferner ist hierfür i. d. R. die Zustimmung der Aufsichts- bzw. Genehmigungsbehörde sowie des Betreibers erforderlich.

Insgesamt betrachtet ist die Notwendigkeit hervorzuheben, dass alle geotechnischen Nachweise durch nachweislich im Stauanlagenbau erfahrene Fachleute ausgeführt werden müssen, so dass sichergestellt werden kann, dass die wesentlichen Aspekte und Randbedingungen im Einzelfall sachgerecht und angemessen berücksichtigt werden.

Bearbeitung:



(Dr.-Ing. A. Scheuermann)



(Dr.-Ing. A. Bieberstein)

## 7 Literatur

- BAW MAK (1989): Anwendung von Kornfiltern an Wasserstraßen (MAK). Merkblatt, Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Karlsruhe.
- BAW MSD (2005): Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD). Merkblatt, Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Karlsruhe.
- BRAUNS, J. (1977): Der Lastfall schnelle Spiegelabsenkung bei kerngedichteten Staudämmen. Wasserwirtschaft 67 (1977), H. 9.
- BRAUNS, J. (1980): Spreizsicherheit von Böschungen auf geneigtem Gelände. Bauingenieur 55.
- BRAUNS, J., GOTTHEIL, K.-M. (1989): Wirkung eines Streifendröns bei Dämmen und Deichen. Wasserwirtschaft 79, Heft 7/8, S. 398 – 401.
- BRAUNS, J., RAJU, V. (1993): Bemessung von Sohldröns unter Staudämmen. Wasserwirtschaft 83, Heft 5, S. 286 – 290.
- BRAUNS, J. (1994): Zur hydraulischen Sicherheit von Dämmen mit synthetischen Dichtungen. Wasserwirtschaft 84, Heft 11, S. 614 - 617.
- BRAUNS, J., SAUCKE, U. (2005): Der Lastfall „Leck in der Dichtung“ bei Staudämmen mit synthetischen Dichtungen. Wasserwirtschaft 95 (2005), H. 11.
- BRAUNS, J., SCHULZE, B. (1988): Wirkung von vertikalen Drönagebohrungen in durchströnten Hängen. Bautechnik 65, H. 11.
- CASAGRANDE, L. (1934): Näherungsverfahren zur Ermittlung der Sickerung in geschütteten Dämmen auf undurchlässiger Sohle. Bautechnik 12, Heft 15, S. 205 – 208.
- DACHLER, R. (1936): Grundwasserströmung. Springer-Verlag, Wien.
- DAVIDENKOFF, R. (1964): Deiche und Erddämme; Sickerströmung – Standsicherheit. Werner-Verlag GmbH, Düsseldorf.
- DIN 1054 (2005-01): Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau. Beuth Verlag, Berlin.
- DIN 1055-100 (2001-03): Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln. Beuth Verlag, Berlin.
- DIN 19700-10 (2004-07): Stauanlagen - Gemeinsame Festlegungen. Beuth Verlag, Berlin.
- DIN 19700-11 (2004-07): Stauanlagen - Talsperren. Beuth Verlag, Berlin.
- DIN 19700-12 (2004-07): Stauanlagen - Hochwasserrückhaltebecken. Beuth Verlag, Berlin.
- DIN 4020 (2003-09): Geotechnische Untersuchung für bautechnische Zwecke. Beuth Verlag, Berlin.
- DIN E 4084 (2002-11): Böschungs- und Geländebruchberechnungen. Beuth Verlag, Berlin.

- DIN V 4084-100 (1996-04): Böschungs- und Geländebruchberechnungen. Beuth Verlag, Berlin.
- DIN 4149 (2005-04): Bauten in deutschen Erdbebengebieten – Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten. Beuth Verlag, Berlin.
- DVWK 202 (1991): Hochwasserrückhaltebecken. Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Heft 202, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin 1991.
- DVWK 221 (1992): Anwendung von Geotextilien im Wasserbau. Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Heft 221, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin 1992.
- DVWK 231 (1995): Sicherheitsbericht Talsperren – Leitfaden. Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Heft 231, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin 1995.
- DVWK 246 (1997): Freibordbemessung an Stauanlagen, Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Heft 246, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin 1997.
- DVWK 210 (1986): Flußdeiche. Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Heft 210. Paul Parey Verlag, Hamburg - Berlin.
- DWA 507 (2006): Deiche an Fließgewässern. DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef. (Gelbdruck in Vorbereitung).
- DWA-THEMA (2005): Dichtungssysteme in Deichen. DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef.
- EAK (2002): Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Küstenschutzbauwerke“ (EAK) Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGT), Heft 65, Ernst & Sohn Verlag, Berlin.
- ERB, C. (1965): Die Sickerströmungen in Erdstaudämmen geringer Höhe. Dissertation, Fakultät für Bauwesen, Technische Hochschule Hannover.
- KAST, K. (1985): Spreizsicherheit von Böschungen bei geneigtem Gelände und Durchströmung. Bauingenieur 60.
- OVERHOFF, G., BIEBERSTEIN, A., BETTZIECHE, V. (2004): Erfahrungen und Hinweise zum Sicherheitsbericht und zur Vertieften Überprüfung von Talsperren. Wasserwirtschaft, 94. Jahrgang, Heft 7-8, 2004.
- POWELEIT, A. (1988): Verfahren zur Berechnung der dreidimensionalen Zuströmung zu Filterrohren in Dränschichten. Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik, Universität Karlsruhe, Heft 113.
- SAUCKE, U. (2006): Nachweis der Sicherheit gegen innere Erosion für körnige Erdstoffe. Geotechnik 29, Heft 1. Glückauf Verlag, Essen.
- SCHEUERMANN, A. (2005): Instationäre Durchfeuchtung quasi-homogener Erddeiche. Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik, Universität Karlsruhe, Heft 164.

- SCHNEIDER, H., SCHULER, U., KAST K., BRAUNS, J. (1997): Bewertung der geotechnischen Sicherheit von Hochwasserschutzdeichen und Grundlagen zur Beurteilung von Sanierungsmaßnahmen. Mitteilungen Abt. Erddammbau und Deponiebau am Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik, Universität Karlsruhe, Heft 7.
- WIELAND, M. (2001): Earthquake Safety of Existing Dams for Irrigation and Water Supply in Rural Areas. ICUS/INCEDE Newsletter, Vol. 1, No. 3, International Center for Urban Safety Engineering, Institute of Industrial Science, University of Tokyo.