

Vertiefte Überprüfung der Standsicherheit von Staudämmen am Beispiel der Biggetalsperre

von Volker Bettzieche, Martin Feinendegen, Gisa Kleine Vennekate und Martin Ziegler

Vorspann

Im Rahmen der vertieften Überprüfung von Stauanlagen nach DIN 19700 war die Standsicherheit der Biggetalsperre zu überprüfen. Aus zwei Schürfgruben im Damm wurden Materialproben entnommen und auf Ihre Scherfestigkeit und Wasserdurchlässigkeit sowie ihre mineralogischen Eigenschaften hin untersucht. Die ermittelten Kennwerte dienten als Grundlage für die Festlegung der in den hydraulischen und statischen Berechnungen anzusetzenden Parameter.

Deepened examination of the stability of old dams considering the Bigge dam as an example

by Volker Bettzieche, Martin Feinendegen, Gisa Kleine Vennekate und Martin Ziegler

Abstract

Within the so-called Deepened Examination of Hydraulic Structures according to DIN 19700 the stability of the Bigge Dam had to be investigated. Soil samples were taken from two exploration pits at the dam and tested for shear strength, permeability and their mineralogical properties. The identified characteristic values served as basis for the definition of parameters for hydraulic and statistical calculations. Special focus was put on the definition of bearing conditions, which had to be taken into account for various calculation scenarios.

1 Die vertiefte Überprüfung

Nach den deutschen Regelwerken DIN 19700 [1] und DWA-Merkblatt 231 [2] sind im Abstand von etwa 10 Jahren oder nach außergewöhnlichen Ereignissen im Rahmen einer so genannten „Vertieften Überprüfung“ die statischen, hydrologischen und hydraulischen Bemessungsgrundlagen einer Talsperre zu prüfen.

Wesentlicher Bestandteil ist dabei die Überprüfung der Standsicherheit des Absperrbauwerks, wobei häufig Änderungen der Belastungen zu berücksichtigen sind, wie

sie z.B. aus neuen Hochwasserberechnungen oder veränderten Erdbebenparametern resultieren. Aber auch seitens der Dammbaumaterialien oder des Untergrunds können sich Veränderungen z.B. durch Alterung ergeben, die weitergehende Untersuchungen erforderlich machen.

Erst mit bestätigten Kennwerten für das Materialverhalten lässt sich der Nachweis der Standsicherheit einer Talsperre führen, wobei heutzutage EDV-gestützte Rechenmodelle zum Einsatz kommen. In diesem Zusammenhang wurde der Lehrstuhl für Geotechnik im Bauwesen der RWTH Aachen mit der Durchführung entsprechender Untersuchungen beauftragt.

2 Die Biggetalsperre

2.1 Die Talsperre und der Damm

Der Ruhrverband betreibt im Sauerland ca. 70 km östlich von Köln die zwischen 1957 und 1965 errichtete Biggetalsperre, mit einem Stauraum von $171,7 \text{ hm}^3$ die fünftgrößte Talsperre Deutschlands. Der Steinschüttdamm wurde zwischen 1957 und 1965 mit bituminöser Oberflächendichtung und einer innenliegenden zweiten Dichtung (Bremszone) errichtet (**Bild 1**).

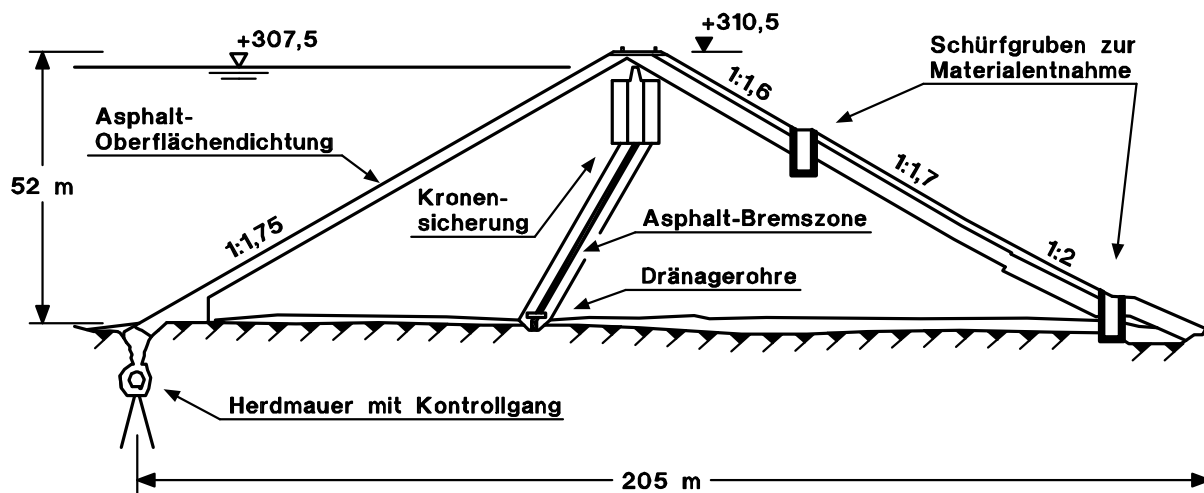


Bild 1: Querschnitt des Biggedamms mit Lage der Schürfgruben

2.2 Materialien

Am Beginn der vertieften Überprüfung standen eine Literaturrecherche über die im Biggedamm eingebauten Materialien sowie ein intensives Aktenstudium in den Archiven des Ruhrverbands. Es lagen zahlreiche Dokumente, Pläne und Fotos aus der Bauzeit vor, aus denen sich jedoch nur wenige der für die Standsicherheitsberechnungen erforderlichen Materialkennwerte (Wichte, Festigkeits- und Verformungsparameter, Durchlässigkeit, etc.) ableiten ließen. Genaueres hierzu ist in [3] nachzulesen.

Insbesondere die Kennwerte des Dammschüttmaterials waren nicht sicher anzugeben. Aus einem internen „Bericht über die geologischen Untersuchungen für die Gewinnung von Dammschüttmaterial“ geht hervor, dass es zwei maßgebliche Forderungen bei der Auswahl der Gewinnungsstellen für das Dammschüttmaterial gab: Entnahmemöglichkeit aus dem späteren Staubereich und Transportweg maximal zwei bis drei Kilometer. Im Bericht heißt es hierzu, dass *„aus diesen Gründen die zu stellenden Anforderungen an die Güte des Materials weitgehend verringert werden mussten.“*

Schließlich entschied man sich für grobsteinige Schüttmassen, die in drei Steinbrüchen am benachbarten Gilberg gewonnen wurden und in den bauzeitlichen Dokumenten zumeist als „Grauwacke“ bezeichnet sind.

Bemerkenswert ist zudem der Hinweis im erwähnten Bericht, dass *„mit einer gewissen Verringerung der Scherfestigkeit im Laufe der Zeit“* zu rechnen sei.

3 Untersuchung der Dammmaterialien

Aufgrund der geschilderten Unsicherheiten hinsichtlich der Eigenschaften des Dammschüttmaterials wurde entschieden, eine Probenahme aus dem Damm zu veranlassen und an dem gewonnenen Material umfangreiche Untersuchungen durchzuführen.

3.1 Gewinnung

Die Materialentnahme fand im September 2003 in zwei Baggerschürfen statt, deren Lage am luftseitigen Dammfuß und auf der Berme gewählt wurde (Bild 1). Die Schürfgruben wurden mit Hilfe eines Gleitschienenverbaus gesichert und mit einem Hydraulikbagger ausgehoben (**Bild 2**); die Grundfläche betrug etwa 4 m x 6 m. Der Schurf am Dammfuß erreichte eine Tiefe von ca. 9,0 m unter GOK, der auf der Berme ca. 7,0 m. Insgesamt wurden rund 46,6 to Material für die weiteren Untersuchungen entnommen.



Bild 2: Schürfgarbe am Dammfuß und in situ-Dichtebestimmung

Als wesentliche Erkenntnisse aus der Anlage der Schürfgarben ließ sich zusammenfassen:

- Am Dammfuß konnten keine unterschiedlichen Materialien für die Filterzone, die Dammschüttung und den Flussschotter identifiziert werden; das Material hier ist vielmehr fast identisch mit dem auf der Berme angetroffenen Dammschüttmaterial.
- Der Felsuntergrund am Dammfuß wurde in der erwarteten Tiefe von ca. 9 m angetroffen.
- Im Bereich der Dammaufstandsfläche steht Grundwasser an.
- Der oberflächennahe Aufbau des Damms auf der Berme entspricht dem in den Plänen verzeichneten: Mutterboden - steiniger Lehm - Grobsteinschüttung - Dammschüttung.

3.2 In situ-Versuche

In insgesamt drei in situ-Versuchen zur Dichtebestimmung mit dem Wasserersatz-Verfahren (Bild 2) wurden Trockenwichten zwischen $\gamma_d = 19,6 \text{ kN/m}^3$ und $\gamma_d = 20,6 \text{ kN/m}^3$ ermittelt. Der sorgfältige Einbau des Materials mit der Dichte von $\gamma_d = 20 \text{ kN/m}^3$, die in den bauzeitlich durchgeführten und dokumentierten Einbau- und Verdichtungsversuchen erzielt worden war, konnte somit bestätigt werden.

3.3 Großversuche

Das aus den Schürftgruben entnommene Material wurde am Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik der Universität Karlsruhe untersucht [4].

Zur Bestimmung der Kornzusammensetzung wurden Grobsiebungen durchgeführt, wobei für die Materialien am Dammfuß und auf der Berme nahezu identische Kornverteilungen ermittelt wurden.

In Wasserdurchlässigkeitsversuchen konnte der Durchlässigkeitsbeiwert für sehr kleine Strömungsgeschwindigkeiten zu $k = 0,5 \text{ m/s}$ abgeschätzt werden; bei höheren Geschwindigkeiten trat turbulentes Fließen auf.

Das Hauptaugenmerk lag auf der Durchführung von insgesamt drei Serien von Dreiaxialversuchen an Material von der Berme im trockenen und gesättigten sowie vom Dammfuß im gesättigten Zustand. Die Probenabmessungen betragen in Durchmesser und Höhe jeweils 800 mm; die vorgegebenen Seitendrücke lagen bei $\sigma_3 = 0,1 / 0,3 / 0,6 \text{ MPa}$.

Bei der Ermittlung der Scherfestigkeitsparameter wurde ein stark spannungsabhängiges Verhalten festgestellt. Während die Reibungswinkel bei niedrigem Druckniveau z.T. Werte von weit über 50° annehmen, fallen diese im Bereich hoher Spannungen im Einzelfall bis auf unter 30° ab. Diese hohen Spannungen treten aber im Biggedamm nicht auf. Weiterhin zeigte sich ein deutlich steiferes Verhalten und eine höhere Festigkeit bei trockenem gegenüber gesättigtem Material.

3.4 Mineralogische Untersuchungen

In mineralogischen Untersuchungen am Institut für Mineralogie und Lagerstättenlehre der RWTH Aachen wurden zahlreiche Einzelstücke untersucht, die aus drei Mischproben vom Dammfuß und von der Berme stammten. Neben der sorgfältigen Ansprache wurden umfangreiche Analysen durchgeführt: Dünnschliffe, Röntgendiffraktometrie, Bestimmung des Karbonat- und Kohlenstoffgehalts, sequentielle Eisenlösung, etc. [5].

Danach besteht das Dammschüttmaterial neben geringen Anteilen von Sandstein und Tonschiefer überwiegend aus Siltstein. Es konnte gezeigt werden, dass die in fast allen Proben auftretenden Verwitterungserscheinungen nahezu vollständig vor dem Einbau der Gesteine in den Damm entstanden waren. Die Gesteine waren also schon beim Einbau verwittert und weisen im Verlauf der 40 Jahre seit der Herstellung des Damms keine Zeichen einer weitergehenden Verwitterung (und damit Verringerung der Scherfestigkeit) auf.

4 Untersuchung der Standsicherheit

4.1 Festlegung der Bemessungssituationen nach DIN 19700

Die in den Standsicherheitsberechnungen für die Biggetalsperre zu untersuchenden Bemessungssituationen wurden nach den Vorgaben von DIN 19700 [1] festgelegt.

Hierfür waren zunächst die maßgebenden Tragwiderstandsbedingungen unter Berücksichtigung der Materialien sowie der konstruktiven Elemente des Absperrbauwerks zu bestimmen (**Tabelle 1**).

Konstruktions- element	Tragwiderstand												
	A	B1	B2	B3	(B4)	(B5)	B6	C1	C2	C3	(C4)	(C5)	C6
Oberflächendichtung	int	int	int	schad	int	int	int	int	int	unw	int	int	int
Bremszone	int	int	int	int	schad	int	int	int	int	int	unw	int	int
Filterzone	int	int	int	int	int	schad	int	int	int	int	int	unw	int
Dichtungsschleier	int	int	int	int	int	int	schad	int	int	int	int	int	unw
Scherfestigkeit:													
Dammschüttung	RW	abgem	RW	RW	RW	RW	RW	ung	RW	RW	RW	RW	RW
Aufstandsfläche	RW	RW	abgem	RW	RW	RW	RW	RW	ung	Rw	RW	RW	RW
Bemerkung	Regelfall												

Konstruktions- element	Risikozustand	
	R1	R2
Oberflächendichtung	int	unw
Bremszone	int	unw
Filterzone	int	unw
Dichtungsschleier	int	unw
Scherfestigkeit:		
Dammschüttung	RW	RW
Aufstandsfläche	RW	RW
Bemerkung	Kronen- stau ZK	

Tragwiderstände nach DIN 19700-11

Tragwiderstandsbedingung A

Gesicherte bzw. allgemein anerkannte Kennwerte und voll wirksame bauliche Einrichtungen

Tragwiderstandsbedingung B

ungünstige Kennwerte innerhalb gesicherter Streubereiche oder eingeschränkte Wirkung einer der baulichen Einrichtungen

Tragwiderstandsbedingung C

ungünstige Kennwerte in Grenzbereichen oder Ausfall einer der baulichen Einrichtungen

Risikozustände nach Überlegungen GIB

zu betrachten
(hier nicht betrachtet)

int = intakt
 schad = schadhaft
 unw = unwirksam
 RW = aus Versuchen ermittelter Rechenwert bzw. gesicherter Schätzwert
 abgem = abgeminderter Wert
 ung = ungünstigster anzunehmender Wert

Tabelle 1: Tragwiderstandsbedingungen

Einige der möglichen Kombinationen brauchten dabei nicht weiter verfolgt zu werden, da z.B. eine als schadhaft angenommene Bremszone bei intakter Oberflächendichtung (Fall B4) keine Auswirkung hat.

Auf der Einwirkungsseite wurden die maßgeblichen Lastfälle untersucht:

- LF 1.a: Regelfall,
- LF 2.a: Stauziel Z_{H1} ,
- LF 2.b: schnelle Wasserspiegelabsenkung,
- LF 3.a: Stauziel Z_{H2} .

Aus den verschiedenen Kombinationen der Lastfälle mit den Tragwiderstandsbedingungen bzw. den zusätzlich betrachteten Risikozuständen (Tabelle 1) ergaben sich die zu untersuchenden Bemessungssituationen. Für die Risikozustände wurde die einzuhaltende Sicherheit dabei gemäß [1] zu $\eta = 1,0$ festgelegt (z.Vgl.: Bemessungssituation I / II / III: $\eta = 1,3 / 1,2 / 1,1$).

Für weitere Erläuterungen zur Festlegung der Bemessungssituationen sei auf [3] verwiesen.

4.2 Materialkennwerte für die Berechnungen

Die in den Berechnungen anzusetzenden Materialparameter wurden anhand der Auswertung der Literatur- und Archivrecherche sowie ausgehend von den Ergebnissen der durchgeführten Materialprüfungen festgelegt, soweit das möglich war. Einige Kennwerte mussten aus der Erfahrung abgeschätzt werden.

Die Bestimmung der abgeminderten bzw. ungünstigsten Kennwerte für die Tragwiderstandsbedingungen B und C erfolgte in einigen Fällen näherungsweise mit Hilfe von Teilsicherheitsbeiwerten aus DIN 1054 [6], da die Datenbasis für eine sinnvolle statistische Auswertung der Versuchsergebnisse bei weitem nicht ausreichte.

So wurde beispielsweise ausgehend von dem vorsichtig festgelegten charakteristischen Wert für den Reibungswinkel der Dammschüttung von $\varphi_k = 40^\circ$ dieser mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_φ für den Grenzzustand GZ 1C abgemindert:

$$\text{Lastfall 2: } \tan \varphi_k / \gamma_\varphi = \tan 40^\circ / 1,15 \Rightarrow \varphi_{\text{abg.}} = 36^\circ,$$

$$\text{Lastfall 1: } \tan \varphi_k / \gamma_\varphi = \tan 40^\circ / 1,25 \Rightarrow \varphi_{\text{ung.}} = 34^\circ.$$

Eine vollständige Zusammenstellung der in den Berechnungen angesetzten Kennwerte ist ebenfalls in [3] zu finden.

4.3 Standsicherheitsberechnungen

Bei den Standsicherheitsberechnungen kamen zunächst klassische analytische Verfahren (Starrkörperbruchmechanismen, Spreizspannungen nach Renduliç, etc.) zur Anwendung. Weiterhin wurden gekoppelte Berechnungen durchgeführt, in denen die stationären bzw. im Fall der schnellen Wasserspiegelabsenkung instationären Strömungsfelder für die verschiedenen Bemessungssituationen mit Hilfe eines numerischen Modells ermittelt und in ein Programm zur Böschungsbruchberechnung übertragen wurden.

Einige der unter 4.1 beschriebenen Bemessungssituationen wurden mehrfach untersucht; beispielsweise wurde die Lage von Schadstellen in der Oberflächendichtung bzw. im Dichtungsschleier variiert. Für den Lastfall schnelle Wasserspiegelabsenkung wurde eine zusätzliche Betrachtung durchgeführt, bei der die im unteren Bereich der Bremszone angeordneten Rohre als unwirksam angenommen wurden.

Die Standsicherheit des Biggedamms konnte für alle Bemessungssituationen nachgewiesen werden. Die mit Hilfe einer aufwändigen Materialentnahme und umfangreichen Materialuntersuchungen gewonnenen Erkenntnisse und Kennwerte waren unentbehrliche Grundlage für diesen Nachweis.

Literatur

- [1] DIN 19700:2004-07 Stauanlagen - Teil 10: Gemeinsame Festlegungen, Teil 11: Talsperren - . Berlin: Beuth Verlag, 2005.
- [2] Sicherheitsbericht für Talsperren - Leitfaden. DWA-Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Heft 231, Bonn, 1995.
- [3] Bettzieche, V.; Feinendegen, M.; Ziegler, M.: The in-depth examination of the stability of old dams considering the Bigge dam as an example. In: Proceedings of the 22. ICOLD Congress, 18. - 23. June 2006, Barcelona / International Commission on Large Dams, Barcelona 2006. S. 611-632.
- [4] Bieberstein, A. et al: Bericht zu dreiaxialen Scherversuchen an Schüttmaterialien des Damms der Biggetalsperre. Universität Karlsruhe, Abteilung Erddammbau und Deponiebau am Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik, Karlsruhe, 2004 (unveröffentlicht).

- [5] Sindern, S. et al: Mineralogische Untersuchungen an Gesteinsmaterial aus dem Staudamm des Biggestausees. Institut für Mineralogie und Lagerstättenlehre, RWTH Aachen, 2004 (unveröffentlicht).
- [6] DIN 1054:2003-01, Baugrund, Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau. Berlin: Beuth Verlag. 2003.

Anschrift der Verfasser

Dr.-Ing. Volker Betzische

Ruhrverband

Kronprinzenstr. 37

45128 Essen

vbe@ruhrverband.de

AOR Dipl.-Ing. Martin Feinendegen

Dipl.-Ing. Gisa Kleine Vennekate

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Ziegler

Geotechnik im Bauwesen

RWTH Aachen

Mies-van-der-Rohe-Str.1

52074 Aachen

feinendegen@geotechnik.rwth-aachen.de

vennekate@geotechnik.rwth-aaachen.de

ziegler@geotechnik.rwth-aachen.de