



Gesellschaft für Grundbau  
und Umwelttechnik mbH

GGU mbH • Am Hafen 22 • 38112 Braunschweig

Prüftechnik Z+L GmbH  
Umwelt und Baugrund  
Mühlenschweg 5

49090 Osnabrück

Braunschweig  
Telefon +49 (0)531 / 312895  
Telefax +49 (0)531 / 313074  
www.ggu.de  
post-bs@ggu.de

Baugrund  
Grundwasser  
Umwelttechnik / Altlasten  
Damm- und Deichbau  
Straßen- und Erdbau  
Spezialtiefbau  
Deponiebau  
Kunststofftechnik  
Software-Entwicklung

## Teutoburger Waldsee

Damm: Erdstatische Nachweise nach DIN 19 700

05.08.2013

Baugrunderkundung  
Feldmesstechnik  
Prüflabor für Boden  
Prüflabor für Kunststoff  
Inspektionsstelle

Braunschweig  
Magdeburg  
Öhringen  
Schwerin

**Bericht:** 8647/2013

**Verteiler:** Prüftechnik Z+L GmbH  
luenne@prueftechnik-zl.de

4-fach  
als pdf

**Bearbeiter:** Dr.-Ing. C. Stoewahse

Beratende Ingenieure VBI,  
BDB, DWA, DGGT, ITVA, BWK  
Sachverständige für  
Erd- und Grundbau  
Vereidigte Sachverständige  
Amtsgericht Braunschweig  
HRB 9354  
Geschäftsführer:  
Prof. Dr.-Ing. Johann Buß,  
Dr.-Ing., Dipl.-Wirtsch.-Ing.  
Peter Grubert, M.Sc.,  
Dr.-Ing. Joachim Schmidt

## Inhalt

1	Vorbemerkung .....	4
2	Unterlagen .....	4
3	Bauwerk .....	5
4	Dammaufbau und Baugrundverhältnisse .....	5
5	Bodenkenngößen .....	7
6	Sicherheitskonzept.....	8
6.1	Allgemeines .....	8
6.2	Standsicherheit .....	10
6.3	Untergrundhydraulik.....	10
6.4	Aufschwimmen und hydraulischer Grundbruch .....	11
6.5	Materialtransport .....	11
7	Nachweise .....	13
7.1	Allgemeines .....	13
7.2	Berechnungsquerschnitt 1: QP Station 0+054,700.....	13
7.2.1	Untergrundhydraulik.....	14
7.2.2	Globale Standsicherheit .....	14
7.2.3	Lokale Standsicherheit.....	15
7.2.4	Lagesicherheit am Dammfuß .....	15
7.3	Berechnungsquerschnitt 2: QP Station 0+291,288.....	15
7.3.1	Untergrundhydraulik.....	15
7.3.2	Globale Standsicherheit .....	16
7.3.3	Lokale Standsicherheit.....	16
7.3.4	Lagesicherheit am Dammfuß .....	17
7.4	Materialtransport .....	17
8	Zusammenfassung .....	18

## **Anlagen**

Anlage 1	Lagepläne
Anlage 1.1	Übersichtslageplan
Anlage 1.2	Lageplan
Anlage 2	Berechnungsquerschnitt Stat. 0+054,770
Anlage 2.1	Untergrundhydraulik
Anlage 2.1.1	System und Randbedingungen
Anlage 2.1.2	BS-P: Vollstau
Anlage 2.1.3	BS-T.1: Hochwasserstauziel
Anlage 2.1.4	BS-A: Kronenstau
Anlage 2.2	Gesamtstandsicherheit
Anlage 2.2.1	BS-P: Vollstau
Anlage 2.2.2	BS-T.1: Hochwasserstauziel
Anlage 2.2.3	BS-T.2: Schnelle Wasserspiegelabsenkung
Anlage 2.2.4	BS-A: Kronenstau
Anlage 2.3	Lokale Standsicherheit
Anlage 2.3.1	BS-P: Vollstau
Anlage 2.3.2	BS-T.2: Schnelle Wasserspiegelabsenkung
Anlage 3	Berechnungsquerschnitt Stat. 0+291,288
Anlage 3.1	Untergrundhydraulik
Anlage 3.1.1	System und Randbedingungen
Anlage 3.1.2	BS-P: Vollstau
Anlage 3.1.3	BS-T.1: Hochwasserstauziel
Anlage 3.1.4	BS-A: Kronenstau
Anlage 3.2	Gesamtstandsicherheit
Anlage 3.2.1	BS-P: Vollstau
Anlage 3.2.2	BS-T.1: Hochwasserstauziel
Anlage 3.2.3	BS-T.2: Schnelle Wasserspiegelabsenkung
Anlage 3.2.4	BS-A: Kronenstau
Anlage 4	Materialtransport - Körnungslinien

## **1 Vorbemerkung**

Der Teutoburger Waldsee wird seit 1966 als Stauanlage im Dauerstau betrieben. Der See ist nach DIN 19700-11 als Talsperre der Klasse 2 einzustufen. Für die wasserrechtliche Genehmigung der Anlage sind die Standsicherheitsnachweise entsprechend der Lastfallmatrix nach DIN 19700 zu erbringen.

Die GGU wurde mit den Standsicherheitsnachweisen beauftragt. Die Ergebnisse sind in diesem Bericht zusammengestellt.

## **2 Unterlagen**

Folgende Unterlagen standen für die Bearbeitung zur Verfügung:

- [1] Antrag auf Änderung der Stauanlage Teutoburger Waldsee, IPW Ingenieurplanung, Wallenhorst, 14.01.2011
- [2] Antrag auf Änderung der Stauanlage Teutoburger Waldsee, Protokoll zur Besprechung am 27.04.2009 beim NLWKN in Oldenburg, 28.05.2010
- [3] Antrag auf Änderung der Stauanlage Teutoburger Waldsee - Checkliste, NLWKN, VI O 1 - 62025-529-001, Oldenburg, 05.05.2010
- [4] Antrag auf Änderung der Stauanlage Teutoburger Waldsee, NLWKN, VI O 1 - 62025-529-001, Oldenburg, 09.09.2011
- [5] Baugrunduntersuchungen im Bereich Teutoburger Waldsee, Prüftechnik IFEP GmbH & Co. KG, Osnabrück, 06.02.2001
- [6] Geotechnische Untersuchung der Stauanlage Teutoburger Waldsee - Exemplarische Untersuchung der Sickerlinie und der Standsicherheit, Prüftechnik ZDL, Osnabrück, 11272-1, 05.01.2010
- [7] Geotechnische Untersuchung der Stauanlage Teutoburger Waldsee - Ergänzende Betrachtungen zur exemplarischen Untersuchung der Sickerlinie und Standsicherheit, Prüftechnik ZDL, Osnabrück, 11272-E1, 14.02.2011
- [8] Geotechnische Untersuchung der Stauanlage Teutoburger Waldsee - Geotechnische Hinweise zur Gründung und Baudurchführung Mönchbauwerk, Prüftechnik ZDL, Osnabrück, 11272-Mö, 14.02.2011
- [9] Geotechnische Untersuchung der Stauanlage Teutoburger Waldsee - Baugrunduntersuchung „Hochwasserentlastung Überlaufbauwerk“, Prüftechnik ZDL, Osnabrück, 11272-ülb, 08.03.2010
- [10] Bodenkennwerte der Profile A - D, Prüftechnik ZDL, Osnabrück, E-Mail, 16.05.2013

### 3 Bauwerk

Der Teutoburger Waldsee liegt südlich von Osnabrück und nordöstlich von Lengerich (Anlage 1.1). Er entstand durch Aufstau der Gewässer III. Ordnung Hönebach und Roter Bach.

Der See wird im Dauerstau bei geplant 93,85 m NN betrieben. Als Sperrbauwerk dient ein bis zu rd. 9 m hoher und rd. 240 m langer Erddamm. Die Dammkrone liegt in Höhe des Uferweges. Ihre Höhe wird durch die Dammkronenhöhe von 95,50 m NN im Bereich des vorhandenen Betriebsauslasses vorgegeben. Auf einer rd. 175 m langen Teilstrecke ist der Damm als Landschaftswall mit Höhen bis zu 100,7 m NN ausgebildet.

Der Damm ist größtenteils aus nichtbindigen Böden aufgebaut. Lokal kommt schluffiger Feinsand im Dammkörper vor. Sicherungselemente wie eine wasserseitige Dichtungsschicht und eine Dammfußdränage sind nicht vorhanden.

An der Luftseite verläuft im Westen zunächst der Grenzgraben. Hier sind die geringsten Dammhöhen und -breiten zu verzeichnen. Bei etwa Stat. 0+090 knickt die Dammtrasse nach Osten ab. Luftseitig liegt ein Trockenbecken, in das die geplante Hochwasserentlastung mündet. Östlich der Hochwasserentlastung geht der Landschaftswall auf. Bei etwa Stat. 0+237 liegt der alte Grundablass. Im weiteren Verlauf des Dammes liegt auf der Wasserseite der sogenannte Teich 2.

Ein Lageplan ist in Anlage 1.2 dargestellt. Weitere Beschreibungen der Gesamtanlage sind in [1] enthalten.

Folgende Stauziele sind geplant:

Dauerstau	93,85 m NN
Vollstau	94,05 m NN
Hochwasserstauziel	94,30 m NN

### 4 Dammaufbau und Baugrundverhältnisse

In den Unterlagen [5] bis [9] sind die Ergebnisse von Baugrunderkundungen enthalten.

Der **Damm** ist auf der Wasserseite aus

**Feinsand und Mittelsand**

und zur Luftseite hin aus

**schluffigem bis stark schluffigem Sand, lokal Geschiebelehm**

aufgebaut.

Im **Dammlager folgt der gewachsene Boden** zunächst als etwa maximal 50 cm dicke Schicht

**Torf (in Profil A bei Stat. 0+291,288)**

über

**Sand**

in mitteldichter Lagerung und einer Mächtigkeit von bis zu rd. 3 m über

**Torf bzw. stark humosem Schluff.**

Diese humosen Böden wurden vor allem in den Profilen A (Stat. 0+291,288) und B (Stat. 0+235,505), also im Bereich des Hauptdammes zum Teich 2 hin angetroffen. In Profil C (Stat. 0+150,491) zum Trockenbecken hin ist der Torf nur lokal vorhanden. In Profil D (Stat. 0+083,280) fehlt er ganz.

Darunter folgen dicht gelagerter

**Sand und Kies,**

die in den beiden östlichen Profilen A und B bis rd. 86 m NN nicht durchörtert wurden.

In den beiden westlichen Profilen wurden zur Tiefe

**schluffiger Ton bzw. Ton**

angetroffen.

Der **Landschaftswall** ist nach [6] aus „einem Bodengemenge in Form eines locker bis mitteldicht gelagerten, schwach schluffigen bis schluffigen humos beeinflussten Sandes mit vereinzelt Gesteinsfragmenten“ aufgebaut.

## 5 Bodenkenngrößen

Nach [5] und [10] können folgende charakteristische Bodenkenngrößen angesetzt werden.

### Damm, Sand

Reibungswinkel	$\varphi'_k =$	27,5°
Kohäsion	$c'_k =$	0 kN/m <sup>2</sup>
Wichte	$\gamma / \gamma' =$	18 / 10 kN/m <sup>3</sup>
Wasserdurchlässigkeit	$k_x =$	1·10 <sup>-4</sup> m/s
	$k_y =$	1·10 <sup>-5</sup> m/s

### Damm, schluffiger Sand

Reibungswinkel	$\varphi'_k =$	27,5°
Kohäsion	$c'_k =$	2 kN/m <sup>2</sup>
Wichte	$\gamma / \gamma' =$	18 / 9 kN/m <sup>3</sup>
Wasserdurchlässigkeit	$k =$	1·10 <sup>-7</sup> m/s

### Torf

Reibungswinkel	$\varphi'_k =$	17,5°
Kohäsion	$c'_k =$	2 kN/m <sup>2</sup>
Wichte	$\gamma / \gamma' =$	13 / 3 kN/m <sup>3</sup>
Wasserdurchlässigkeit	$k =$	1·10 <sup>-8</sup> m/s

### Sand (mitteldicht)

Reibungswinkel	$\varphi'_k =$	32,5°
Kohäsion	$c'_k =$	0 kN/m <sup>2</sup>
Wichte	$\gamma / \gamma' =$	19 / 11 kN/m <sup>3</sup>
Wasserdurchlässigkeit	$k =$	1·10 <sup>-4</sup> m/s

### Sand (dicht) und Kies

Reibungswinkel	$\varphi'_k =$	35°
Kohäsion	$c'_k =$	0 kN/m <sup>2</sup>
Wichte	$\gamma / \gamma' =$	19 / 11 kN/m <sup>3</sup>
Wasserdurchlässigkeit	$k =$	1·10 <sup>-4</sup> m/s

## Ton, schluffiger Ton

Reibungswinkel	$\varphi'_k =$	27,5°
Kohäsion	$c'_k =$	5 kN/m <sup>2</sup>
Wichte	$\gamma / \gamma' =$	19 / 9 kN/m <sup>3</sup>
Wasserdurchlässigkeit	$k =$	1·10 <sup>-10</sup> m/s

## 6 Sicherheitskonzept

### 6.1 Allgemeines

Tabelle 1 der DIN 19700-11 „Talsperren“ vom Juli 2004 enthält die bei Staudämmen nachzuweisenden Lastfälle.

Tabelle 1: Lastfälle bei Staudämmen DIN 19 700-11:2004-07

Einwirkungen		Lastfälle (Einwirkungskombinationen)							
		LF 1 BS-P		LF 2 BS-T				LF 3 BS-A	
		1.1	1.2	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2
Gruppe 1	Eigenlast	x	x	x	x	x	x	x	x
	Verkehrs- und Auflast	x	x	x	x	x	x	x	x
	Wasser- und Strömungsdruck bei Vollstau	x				x	x		x
Gruppe 2	Wasser- und Strömungsdruck bei Hochwasserstauziel 1 (Z <sub>H1</sub> )			x					
	schnellstmögliche Wasserspiegelabsenkung				x <sup>b</sup>				
	außerplanmäßige Betriebszustände					x			
	Betriebserdbeben						x		
Gruppe 3	Wasser- und Strömungsdruck bei Hochwasserstauziel 1 (Z <sub>H2</sub> )							x	
	Bemessungserdbeben								x
	Gesamtsicherheitsbeiwert nach DIN 19700-11:2004-07	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1
a		Bau- und Konsolidierungszustände bis zum ersten Einstau sowie Zustand leeres Becken							
b		beginnend vom Vollstau							

Die Norm gibt für die Sicherheitsnachweise von Tragwerk und Untergrund Gesamtsicherheitsbeiwerte an. Die Nachweisführung nach dem Teilsicherheitskonzept nach DIN 1054 oder EC 7 ist noch nicht berücksichtigt aber zulässig. Es wird jedoch empfohlen, im Zuge von Nachweisführungen beide Konzepte vergleichend anzuwenden.

Hier werden die Nachweise nach dem Teilsicherheitskonzept geführt.

DIN 1054:2010-12 definiert die vormaligen Lastfälle als Bemessungssituationen.

Die **Bemessungssituation BS-P** ist die ständige Bemessungssituation und entspricht dem Lastfall LF 1.

Die **Bemessungssituation BS-T** beschreibt die vorübergehende Bemessungssituation für Bau- und Revisionszustände und wurde bisher als Lastfall LF 2 bezeichnet.

Die **Bemessungssituation BS-A** ist eine außergewöhnliche Bemessungssituation, bei der zusätzlich zu den Bemessungssituationen BS-P bzw. BS-T eine außergewöhnliche Einwirkung zu berücksichtigen ist. Hierbei handelt es sich um den ehemaligen Lastfall LF 3.

Der Situation infolge von Erdbeben wird die **Bemessungssituation BS-E** zugeordnet. Das Bauwerk liegt in der Erdbebenzone 0. Der Nachweis dieser Bemessungssituation kann entfallen.

Folgende Teilsicherheitsbeiwerte sind für den Grenzzustand GEO-3 (vormals GZ 1C) anzusetzen. In der Bemessungssituation BS-E werden keine Teilsicherheitsbeiwerte angesetzt.

Tabelle 2: Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen im Grenzzustand GEO-3

		<b>BS-P</b>	<b>BS-T</b>	<b>BS-A</b>	<b>BS-E</b>
Ständige Einwirkungen	$\gamma_G$	1,00	1,00	1,00	1,00
Ungünstig veränderliche Einwirkungen	$\gamma_Q$	1,30	1,20	1,00	1,00

Tabelle 3: Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände im Grenzzustand GEO-3

		<b>BS-P</b>	<b>BS-T</b>	<b>BS-A</b>	<b>BS-E</b>
Reibungsbeiwert $\tan\varphi'$	$\gamma_\varphi$				
Kohäsion $c'$	$\gamma_c$	1,25	1,15	1,10	1,00
undrainede Scherfestigkeit $c_u$	$\gamma_{cu}$				

Gegenüber dem „alten“ Globalsicherheitskonzept werden die Einwirkungen und Widerstände mit Teilsicherheiten beaufschlagt. Die Größe dieser Sicherheitsbeiwerte ist abhängig vom Lastfall bzw. der Bemessungssituation (siehe obige Tabellen). Der Standsicherheitsnachweis ist erbracht, wenn die Summe der Widerstände größer ist als die Summe der Einwirkungen.

Dieser Ausnutzungsgrad  $\mu$  ist bei einem standsicheren System kleiner oder gleich 1,0. Analog zur alten Sicherheitsdefinition kann ein Ausnutzungsgrad  $\mu$  als Quotient der  $\gamma$ -fachen Einwirkungen und der  $1/\gamma$ -fachen Widerstände ermittelt werden. Bei einem Wert größer als 1,0 ist das System nicht ausreichend standsicher.

Zur besseren Vergleichbarkeit der Sicherheitskonzepte kann auch im „alten“ Globalsicherheitskonzept ein Ausnutzungsgrad  $\mu^* = \text{erf. } \eta / \text{vorh. } \eta$  definiert werden. Dieser Ausnutzungsgrad  $\mu^*$  ist nicht identisch mit dem Ausnutzungsgrad  $\mu$  des Teilsicherheitskonzepts, da das Teilsicherheitskonzept unterschiedliche Sicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände ansetzt.

## 6.2 Standsicherheit

Die **Gesamtstandsicherheit** des Dammes wird nach DIN 4084 mit kreisförmigen Gleitflächen nach dem Lamellenverfahren berechnet. Die Porenwasserdrücke infolge der Durchströmung des Dammes werden nach den untergrundhydraulischen Berechnungen (Abschnitt 6.3) angesetzt.

Die **lokale Standsicherheit** der Böschung kann durch den vereinfachten Ansatz böschungparalleler Gleitflächen berechnet werden. Bei Dämmen aus nichtbindigen Böden wird eine ausreichende Sicherheit eingehalten, wenn gilt:

$$\tan \beta \leq \tan \varphi'_d \quad \text{oberhalb der Sickerlinie}$$

$$\tan \beta \leq \frac{1}{2} \cdot \tan \varphi'_d \quad \text{unterhalb der Sickerlinie.}$$

Hierbei sind  $\varphi'_d$  der Bemessungswert des Reibungswinkels und  $\beta$  der Böschungswinkel des Dammes.

Alternativ und bei bindigem Dammmaterial können flach einschneidende oberflächennahe Gleitfugen gemäß DIN 4084:2009-01 untersucht werden.

## 6.3 Untergrundhydraulik

Grundlage für diese Nachweise ist das untergrundhydraulische System, das als wesentliche Randbedingung in die Berechnungen eingeht. Untergrundhydraulische Modelle werden für die ortsspezifischen Randbedingungen an Hand der Baugrundaufschlüsse erstellt. Die DIN 19700-11 „Talsperren“ gibt keine Hinweise zur Ermittlung der Porenwasserverteilungen und Sickerlinien im Damm. Üblich sind untergrundhydraulische Berechnungen an vertikal

ebenen Systemen nach der Methode der Finiten Elemente. Die Porenwasserdruckverteilungen sind für alle maßgebenden untergrundhydraulischen Lastfälle zu ermitteln.

Die so berechneten Porenwasserdruckverteilungen werden über eine Schnittstelle in das Berechnungssystem für die Standsicherheit übertragen.

#### **6.4 Aufschwimmen und hydraulischer Grundbruch**

Die Nachweise erfassen den Verlust der Lagesicherheit einer Bodenschicht infolge der hydrostatischen Auftriebskraft von Wasser (Aufschwimmen) und das Anheben von Bodenschichten infolge des nach oben gerichteten Strömungsdrucks von strömendem Grundwasser (hydraulischer Grundbruch) im Sinne des Grenzzustandes GZ 1A der DIN 1054:2005-01 bzw. die Bemessungssituationen UPL und HYD nach DIN 1054:2010-12.

Beim Nachweis gegen Aufschwimmen wird davon ausgegangen, dass die unter Auftrieb stehende Schicht wasserundurchlässig ist bzw. die Unterschiede der Wasserdurchlässigkeiten sehr groß sind. In diesem Fall ist die Eigenlast des wassergesättigten Bodens bzw. des Baukörpers dem vollen in der Schnittfläche wirkenden Wasserdruck gegenüberzustellen.

Beim Nachweis gegen hydraulischen Grundbruch wird die Bodenschicht als wasserdurchlässig angesehen und der Mechanismus als Strömungsproblem betrachtet. Dann ist die Eigenlast des unter Auftrieb stehenden Bodens der Strömungskraft gegenüberzustellen.

Grundsätzlich sind für Bodenschichten beide Mechanismen nachzuweisen. Üblicherweise wird jedoch bei bindigen Deckschichten lediglich der Nachweis gegen Aufschwimmen geführt und bei nichtbindigen Böden der Nachweis gegen hydraulischen Grundbruch.

#### **6.5 Materialtransport**

Die Sicherheit gegen Materialtransport ist nachzuweisen für die Mechanismen der Suffosion und der Kontakterosion sowie in Sonderfällen der Fugenerosion. Die folgenden Hinweise gelten nur für Erdstoffe mit  $d_{10} > 0,002$  mm und dispersive Tone. Bei allen anderen Erdstoffen ist aufgrund der Haftfestigkeit der Bodenteilchen nicht mit Materialtransport zu rechnen.

Folgende Böden gelten ohne besonderen Nachweis als suffosionssicher:

- $U \approx 1$ ,

- $U < 10$  und eine Körnungslinie, die in halblogarithmischer Darstellung einer Geraden entspricht,
- $I_D > 0,6$  bei  $U > 10$  und einer Körnungslinie, die in halblogarithmischer Darstellung einer Geraden entspricht, oder
- $U < 8$  und eine stetige Körnungslinie

Zum Nachweis der Sicherheit gegen Materialtransport infolge von Suffosion und Kontakterosion wird von der Bundesanstalt für Wasserbau<sup>1</sup> das geometrische Kriterium nach CISTIN und ZIEMS empfohlen. Ist dieses Verfahren nicht anwendbar - z. B. wegen eines zu großen Feinkornanteils - sind andere Verfahren z. B. KENNEY und LAU<sup>2</sup> in Kombination mit dem Ansatz nach BURENKOVA, ISTOMINA oder LUBOČKOV anzuwenden

An Bauwerken in Dämmen ist die Sicherheit gegen konzentrierte Durchströmung bzw. rückschreitende Erosion in der Fuge zwischen Bauwerk und Boden nachzuweisen. Als maßgebliche Größe zur Abschätzung der Gefahr einer konzentrierten Durchströmung bzw. Fugenerosion wird von CHUGAEV<sup>3</sup> das mittlere Gefälle der Sickerströmung entlang der Bauwerksgrenze genannt, das sogenannte Kontrollgefälle.

Tabelle 4: Zulässiges Kontrollgefälle nach CHUGAEV

Bodenart	$(i_k)_{zul}$
Dichter Ton	0,40 – 0,52
Grobsand, Kies	0,25 – 0,33
Schluffiger Ton	0,20 – 0,26
Mittelsand	0,15 – 0,20
Feinsand	0,12 – 0,16

---

<sup>1</sup> Laursen, C., Kayer, J. "Suffosiver Materialtransport in durchströmten Böden", Bundesanstalt für Wasserbau, o. Jg.

<sup>2</sup> Kenney, T. C. (1985) "Internal Stability of Granular Filters", Can. Geot. Journ., 22, 215 - 225 und Discussion 23, 420 - 423

<sup>3</sup> Davidenkoff, R. (1970) „Unterläufigkeit von Stauwerken“, Werner Verlag, Düsseldorf

## 7 Nachweise

### 7.1 Allgemeines

Der Damm verfügt über keine Sicherungselemente.

Folgende Bemessungssituationen werden betrachtet:

BS-P	Vollstau
BS-T.1	Hochwasserstauziel
BS-T.2	Schnelle Wasserspiegelabsenkung
BS-A	Kronenstau

Der Wasserstand bei Vollstau liegt über dem Dauerstauziel. Ein gesonderter Nachweis für das Dauerstauziel kann entfallen.

Als Berechnungsquerschnitte wurden aufgrund ihrer Geometrie und der Untergrundverhältnisse festgelegt:

Berechnungsquerschnitt 1: QP Station 0+054,700

Berechnungsquerschnitt 2: QP Station 0+291,288

### 7.2 Berechnungsquerschnitt 1: QP Station 0+054,700

Der Berechnungsquerschnitt liegt im westlichen Seitendamm. An der Luftseite des Dammes verläuft der Grenzgraben. Am benachbarten Querschnitt Stat. 83,280 liegt das Gelände zwar etwas höher, der Damm ist dort jedoch breiter. Im hier betrachteten Berechnungsquerschnitt ergeben sich somit ungünstigere untergrundhydraulische Randbedingungen.

Folgende Wasserstände und Höhen sind maßgebend:

Dauerstau	93,85 m NN
Vollstau	94,05 m NN
Hochwasserstauziel	94,30 m NN
Gewässersohle:	92,70 m NN
Dammkrone:	95,50 m NN
GOK Dammfuß:	93,27 m NN
Wasserstand Grenzgraben:	92,00 m NN

### 7.2.1 Untergrundhydraulik

Die Porenwasserdruckverteilungen für die in Abschnitt 6.3 genannten Lastfällen wurden mit einem vertikal ebenen Finite-Elemente-Modell berechnet. Das System und die Randbedingungen sind in Anlage 2.1.1 dargestellt.

Die Ergebnisse sind in Anlage 2.1.2 bis Anlage 2.1.4 als Linien gleicher Wasserstände dargestellt. Der Damm ist für die geplanten Stauziele sehr breit. Es bildet sich eine fast lineare Sickerlinie aus. Die Porenwasserdruckverteilungen wurden als Randbedingung in die Standsicherheitsberechnungen übertragen.

### 7.2.2 Globale Standsicherheit

Die Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen sind in Anlage 2.2.1 bis Anlage 2.2.4 dargestellt. Ausgewertet wurden Gleitkreise, die für die Gesamtstandsicherheit kennzeichnend sind. In die Isoasphalienfelder sind jeweils die Gleitkreise mit den geringsten Sicherheiten eingetragen.

Maßgebend für die Standsicherheit der wasserseitigen Böschung wird die Bemessungssituation „Schnelle Wasserspiegelabsenkung“. Der absinkende Wasserspiegel ist nach Tabelle 1 ausgehend vom Vollstau zu ermitteln; in diesem Fall auf den Wasserstand bei Dauerstau, der nur 20 cm unter dem Vollstau liegt. Vereinfacht und auf der sicheren Seite liegend wurde für diese Berechnung die Potentialverteilung aus der BS-P Vollstau angesetzt und im Stausee der Wasserstand bei Dauerstau.

Die nachfolgende Tabelle 5 enthält die Ausnutzungsgrade. Eine nicht dargestellte Vergleichsrechnung nach dem alten Globalsicherheitskonzept ergibt die in der Tabelle aufgeführten Sicherheiten  $\eta$ .

Tabelle 5: Globale Böschungsbruchsicherheit - Ausnutzungsgrade

Bemessungssituation	Luftseite	Wasserseite	$\eta$	$\mu^*$
BS-P Vollstau	0,64	—	1,96	0,66
BS-T.1 Hochwasserstauziel	0,61	—	1,89	0,63
BS-T.2 Schnelle Wasserspiegelabsenkung	—	0,90	1,28	0,94
BS-A Kronenstau	0,66	—	1,67	0,66

### 7.2.3 Lokale Standsicherheit

Der schluffige Sand des Dammkörpers ist leicht kohäsiv. Die lokale Standsicherheit wird unter Ansatz dieser Kohäsion für oberflächennahe Gleitkreise für die luftseitige und die wasserseitige Dammböschung berechnet.

Die Sickerlinie tritt nicht aus der **luftseitigen Böschung** aus. Die Böschung ist mit 1 : 1,75 relativ steil. Nach Anlage 2.3.1 ergibt sich in der BS-P ein Ausnutzungsgrad von  $\mu = 0,65$ .

Die **wasserseitige Böschung** ist mit eine Neigung von 1 : 1,29 noch steiler. Sie ist unter Ansatz der Kohäsion mit einem Ausnutzungsgrad von  $\mu = 0,94$  ausreichend standsicher.

### 7.2.4 Lagesicherheit am Dammfuß

Am Dammfuß wirken in der Sandschicht keine auftreibenden Wasserdrücke. Der Nachweis gegen Aufschwimmen und hydraulischen Grundbruch kann entfallen.

### 7.3 Berechnungsquerschnitt 2: QP Station 0+291,288

Der Berechnungsquerschnitt liegt im Hauptdamm . An der Luftseite befindet sich der Teich 2. Auf dem eigentlichen „Damm“ geht der sogenannte Landschaftswall auf.

Folgende Wasserstände und Höhen sind maßgebend:

Dauerstau	93,85 m NN
Vollstau	94,05 m NN
Hochwasserstauziel	94,30 m NN
Gewässersohle:	92,09 m NN
Dammkrone (Uferweg):	95,50 m NN
GOK Dammfuß:	92,44 m NN
Wasserstand Teich 2:	91,40 m NN

#### 7.3.1 Untergrundhydraulik

Die Porenwasserdruckverteilungen für die in Abschnitt 6.3 genannten Lastfällen wurden mit einem vertikal ebenen Finite-Elemente-Modell berechnet. Das System und die Randbedingungen sind in Anlage 3.1.1 dargestellt.

Die Ergebnisse sind in Anlage 3.1.2 bis Anlage 3.1.4 als Linien gleicher Wasserstände dargestellt. Der Damm ist für die geplanten Stauziele sehr breit. Die Porenwasserdruckverteilungen wurden als Randbedingung in die Standsicherheitsberechnungen übertragen.

### 7.3.2 Globale Standsicherheit

Die Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen sind in Anlage 3.2.1 bis Anlage 3.2.4 dargestellt. Ausgewertet wurden Gleitkreise, die für die Gesamtstandsicherheit kennzeichnend sind. In die Isoasphalienfelder sind jeweils die Gleitkreise mit den geringsten Sicherheiten eingetragen.

Maßgebend für die Standsicherheit der wasserseitigen Böschung wird die Bemessungssituation „Schnelle Wasserspiegelabsenkung“. Der absinkende Wasserspiegel ist nach Tabelle 1 ausgehend vom Vollstau zu ermitteln; in diesem Fall auf den Wasserstand bei Dauerstau, der nur 20 cm unter dem Vollstau liegt. Vereinfacht und auf der sicheren Seite liegend wurde für diese Berechnung die Potentialverteilung aus der BS-P Vollstau angesetzt und im Stausee der Wasserstand bei Dauerstau.

Die nachfolgende Tabelle 6 enthält die Ausnutzungsgrade. Eine nicht dargestellte Vergleichsrechnung nach dem alten Globalsicherheitskonzept ergibt die in der Tabelle aufgeführten Sicherheiten  $\eta$ .

In der Bemessungssituation BS-P wird die nach DIN 19700 (s. Tabelle 1) geforderte Sicherheit von  $\eta = 1,30$  leicht unterschritten. Da die angesetzten Bodenkenngrößen als auf der sicheren Seite liegend betrachtet werden können, kann diese Unterschreitung toleriert werden. Es besteht kein Sicherheitsrisiko.

Tabelle 6: Globale Böschungsbruchsicherheit - Ausnutzungsgrade

Bemessungssituation	Luftseite	Wasserseite	$\eta$	$\mu^*$
BS-P Vollstau	0,98	—	1,27	1,02
BS-T.1 Hochwasserstauziel	0,92	—	1,24	0,97
BS-T.2 Schnelle Wasserspiegelabsenkung	—	0,82	1,41	0,85
BS-A Kronenstau	0,97	—	1,13	0,97

### 7.3.3 Lokale Standsicherheit

Die vorhandenen Uferböschungen und die Böschungen des Landschaftswalles sind aus Sand aufgebaut. Aus dem Profilschnitt ergeben sich folgende Böschungsneigungen und -winkel:

Uferböschung Teich 2:	1 : 1,35	=	36,5°
Landschaftswall, Luftseite:	1 : 1,82	=	28,8°
Landschaftswall, Wasserseite:	1 : 2,47	=	22,0°
Uferböschung See:	1 : 0,84	=	49,8°

Für böschungsparelle Gleitflächen ergibt sich bei einem charakteristischen Reibungswinkel von  $\varphi'_k = 30^\circ$  und dem Teilsicherheitsbeiwert für die BS-P von  $\gamma_\varphi = 1,25$  eine zulässige Böschungsneigung von:

$$\tan\beta = 0,40 \leq \tan\varphi_d = \frac{\tan\varphi'_k}{1,25} = \frac{\tan 30}{1,25} = 0,46$$

zul.  $\beta = 24,7^\circ$

Damit sind die Uferböschungen nicht ausreichend standsicher nachweisbar. Die anscheinend dennoch vorhandene Standsicherheit lässt sich durch die stabilisierende Wirkung des Bewuchses (Durchwurzelungskohäsion) erklären. Diese ist rechnerisch jedoch nicht zu erfassen.

Die luftseitige Böschung des Landschaftswalls weist keine ausreichende Sicherheit auf, ist aber rechnerisch noch standsicher.

Die wasserseitige Böschung des Landschaftswalls ist lokal ausreichend standsicher.

Für die Gesamtstandsicherheit des Systems und die Gebrauchstauglichkeit sind diese Defizite der lokalen Standsicherheit unproblematisch und können toleriert werden, da der erdstatische erforderlich Dammquerschnitt erhalten bleibt.

#### **7.3.4 Lagesicherheit am Dammfuß**

Am Dammfuß wirken keine auftreibenden Wasserdrücke. Der Nachweis gegen Aufschwimmen und hydraulischen Grundbruch kann entfallen.

#### **7.4 Materialtransport**

Die Körnungslinien der anstehenden Sande sind in Anlage 4 dargestellt. Die Sande sind mit Ungleichförmigkeitszahlen von  $U = 2,6$  und  $U = 2,8$  als suffosionssicher zu betrachten. Weitere Nachweise können entfallen.

## 8 Zusammenfassung

Der Teutoburger Waldsee wird seit 1966 als Stauanlage im Dauerstau betrieben. Der See ist nach DIN 19700-11 als Talsperre der Klasse 2 einzustufen. Für die wasserrechtliche Genehmigung der Anlage sind die Standsicherheitsnachweise entsprechend der Lastfallmatrix nach DIN 19700 zu erbringen.

Der Damm besteht aus Sanden mit unterschiedlichen Schluffanteilen. In Teilbereichen ist auf den eigentlichen Damm ein Landschaftswall aufgesetzt, der aus Sand aufgebaut ist. Im Untergrund stehen Sande mit lokalen Torflagen über schluffigem Ton an.

In diesem Bericht sind die Standsicherheitsnachweise für den Damm für zwei Berechnungsquerschnitte enthalten. Als Randbedingungen für die Standsicherheitsberechnungen wurden die Porenwasserdruckverteilungen im Damm ermittelt.

Die Gesamtstandsicherheit des Dammes konnte für alle nach DIN 19 700 maßgebenden Lastfälle nachgewiesen werden.

Die Uferböschungen und die luftseitige Böschung des Landschaftswalls weisen keine ausreichende lokale Standsicherheit auf. Für die Gesamtstandsicherheit des Systems und die Gebrauchstauglichkeit sind diese Defizite der lokalen Standsicherheit unproblematisch und können toleriert werden, da der erdstatisch erforderliche Dammquerschnitt erhalten bleibt.

Die Sicherheiten gegen Materialtransport konnten für die anstehenden Böden nachgewiesen werden.

  
