



**Dr.-Ing. Diethelm Linse**

Beratender Ingenieur für das Bauwesen VBI / BYIK-Bau  
Von der IHK für München und Oberbayern öffentlich bestellter und  
vereidigter Sachverständiger für Beton- und Stahlbetonbau, Spannbetonbau



**Dr. Linse und Partner**

**Konstruktiver Ingenieurbau · Bauwerkserhaltung · Gutachten**  
**Dr. Linse und Partner** Karlstraße 42 D · 80333 München  
Tel. 0 89/1250100-24 Fax: -21 linse@drlinse.net www.gl-i.de

## **Absperrbauwerke und Baugrube für das Pumpspeicherkraftwerk Atdorf**

Gutachtliche Stellungnahme zur  
Konstruktion und zu den Standsicherheitsnachweisen

unter besonderer Berücksichtigung der Übereinstimmung mit  
DIN 19700 - Stauanlagen

München, 30.06.2016

Linse

Dr. Linse und Partner · Beratende Ingenieure für das Bauwesen VBI / BYIK-Bau:

Dr.-Ing. Diethelm Linse, von der IHK München ö.b.u.v. SV für Beton- und Stahlbetonbau, Spannbetonbau; Dr.-Ing. Tobias Linse

PR 620 Amtsgericht München

## Inhalt

1	Veranlassung .....	4
2	Vorgehensweise .....	5
3	Das Bauvorhaben (Staubecken) .....	5
4	Sicherheit von Stauanlagen .....	6
4.1	Allgemein .....	6
4.2	Standicherheit von Staumauern und Dämmen nach DIN 19700 .....	7
4.3	Konstruktive Ausbildung .....	8
4.4	Stand sicherheitsnachweise .....	8
4.4.1	Einwirkungen .....	9
4.4.2	Widerstände - Tragwiderstandsbedingungen .....	10
4.4.3	Bemessungsfälle .....	11
4.4.4	Sicherheitsbeiwerte .....	11
4.4.5	Verbleibendes Risiko - Restrisikobetrachtung .....	11
4.5	Materialien für die Bauwerke und Eigenschaften des Untergrundes .....	12
5	Untersuchungen für die einzelnen Absperrbauwerke .....	13
5.1	Allgemein .....	13
5.2	Einwirkungen für alle Absperrbauwerke .....	13
5.3	Ringdamm Oberbecken .....	16
5.3.1	Kurzbeschreibung .....	16
5.3.2	Geologische Situation .....	16
5.3.3	Konstruktion .....	17
5.3.4	Stand sicherheitsnachweise .....	18
5.3.5	Mess- und Kontrolleinrichtungen .....	20
5.3.6	Prüfbemerkungen .....	21
5.4	Hauptsperre Unterbecken .....	22
5.4.1	Kurzbeschreibung .....	22
5.4.2	Geologische Situation .....	22
5.4.3	Konstruktion der Mauer .....	23
5.4.4	Stand sicherheitsnachweise .....	24
5.4.5	Mess- und Kontrolleinrichtungen .....	25
5.4.6	Prüfbemerkungen .....	25
5.5	Abschlussdamm I (Unterbecken) .....	27
5.5.1	Kurzbeschreibung .....	27
5.5.2	Geologische Situation .....	27

---

5.5.3	Konstruktion .....	27
5.5.4	Standsicherheitsnachweise .....	28
5.5.5	Mess- und Kontrolleinrichtungen.....	30
5.5.6	Prüfbemerkungen (Abschlussdamm I) .....	31
5.6	Abschlussdamm II (Unterbecken) .....	32
5.6.1	Kurzbeschreibung.....	32
5.6.2	Geologische Situation.....	33
5.6.3	Konstruktion .....	33
5.6.4	Standsicherheitsnachweise .....	34
5.6.5	Mess- Und Kontrolleinrichtungen .....	36
5.6.6	Prüfbemerkungen.....	36
6	Baugrube für die Hauptsperre Unterbecken.....	37
6.1	Kurzbeschreibung.....	37
6.2	Geologische Situation.....	38
6.3	Konstruktive Ausbildung .....	38
6.4	Standsicherheitsnachweise .....	39
6.5	Mess- und Kontrolleinrichtungen.....	40
6.6	Bewertung .....	40
6.7	Prüfbemerkungen.....	40
7	Zusammenfassung.....	42

## 1 Veranlassung

Mit Vertrag vom 22.01.2010 erhielt ich vom

**Land Baden-Württemberg**

vertreten durch das

**Landratsamt Waldshut**

den Auftrag über

die **gutachtliche Prüfung** der von der Schluchseewerk AG zur Vorbereitung als auch zur Durchführung des Planfeststellungsverfahrens für das Pumpspeicherkraftwerk „Atdorf“ vorgelegten technischen Planungen und Gutachten auf dem Gebiet des Wasserbaues und der Geotechnik und

die **Beratung** des Auftraggebers vor und im Planfeststellungsverfahren zu den im Verfahren von der Schluchseewerk AG beizubringenden Planungen und Gutachten sowie den bei der Ausführung einzuhaltenden technischen Anforderungen.

Dabei sind insbesondere die Sicherheitsnachweise aus den Bereichen

- a) Untergrund/Geotechnik
- b) Absperrbauwerk / Dämme
- c) Sicherheitsnachweise nach DIN 19700
- d) Überwachungskonzept / Messeinrichtungen etc.
- e) Restrisikobetrachtung nach DIN 19700

zu überprüfen

In einem Zusatzvertrag vom 28.05.2013 wurde ich weiter beauftragt, die gutachterliche Prüfung und Bewertung des von der Schluchseewerk AG vorgelegten Antragteiles F XI – Baugrube Hauptsperre Unterbecken durchzuführen.

## 2 Vorgehensweise

Die vorliegende Stellungnahme ist die Zusammenfassung der beratenden und prüfenden Tätigkeiten, die in den Jahren 2010 bis 2015 erfolgte.

Während dieser Zeit wurden verschiedene Planungsphasen durchlaufen, für die zum Teil bereits ausführliche Unterlagen vorgelegt wurden. Diese Unterlagen wurden soweit möglich und erforderlich bewertet und in den Besprechungsterminen behandelt. Die entsprechenden rechnerischen Nachweise wurden durch Vergleichsrechnungen geprüft.

Die jeweiligen Schlussfassungen sind in den Antragsunterlagen zum Planfeststellungsverfahren enthalten.

Der vorliegende Bericht betrifft die nunmehr vorliegenden Antragsunterlagen. Der Bericht betrifft die Absperrbauwerke für das Unterbecken (Haselbachtal) und den Ringdamm für das Oberbecken sowie die Baugrube für die Hauptmauer im Unterbecken.

Zunächst wurden die Grundlagen für die Berechnung der Absperrbauwerke behandelt, die für alle gleich sind. Dies gilt auch für die Grundsätze der Restrisikobetrachtung und die maßgeblichen Kennwerte zum anzusetzenden Erdbeben.

Anschließend wurden die einzelnen Bauwerke behandelt. Dabei wird auch auf den jeweiligen Baugrund/Untergrund eingegangen.

Die Baugrube wird getrennt behandelt.

## 3 Das Bauvorhaben (Staubecken)

Die Anlage des PSW Atdorf ist als Pumpspeicheranlage im Wälzbetrieb mit künstlichem Oberbecken (Hornbergbecken II) sowie einer neu herzustellenden Unterstufe im Haselbachtal (Haselbecken) mit verbindenden Triebwasserwegen sowie einer Kraftwerkskaverne geplant. Die jeweiligen Nutzvolumen der Becken betragen rd. 9 Mio. m<sup>3</sup> bei einem Höhenunterschied von knapp 600 m und einer horizontalen Distanz von ca. 9 km. Die maximale Nennleistung beträgt rund 1.400 Megawatt.

Für das Unterbecken sind insgesamt 3 Absperrbauwerke zu errichten, wobei die Hauptsperre als Walzbeton-Gewichtsstaumauer (international „Roller Compacted Concrete“ genannt - RCC) mit tiefreichender Gründung auf anstehendem Felsgestein (Gneis, Oberrotliegend) vorgesehen ist. Weiterhin umfasst das Haselbecken insgesamt 2 Abschlussdämme als Steinschüttdämme. Das Stauziel des Unterbeckens beträgt ZS = 400,00 m NN und das Absenkziel liegt bei ZA = 355,00 m NN.

Das Oberbecken liegt auf einer Bergkuppe, die abgeflacht wird. Mit dem Aushubmaterial wird ein Ringdamm erstellt, der das Becken nach allen Seiten absperrt. Das Stauziel beträgt 1016,20

m NN und das Absenkziel 975,64 mNN. Für das gesamte Becken ist eine Asphaltbetondichtung vorgesehen.

Oberbecken und Unterbecken sind mit einem Stollensystem verbunden, durch das das Wasser nach oben gepumpt wird bzw. nach unten läuft. Zwischen den Becken liegt die Kaverne, in der die Turbinen und Generatoren für den Pumpbetrieb und die Stromerzeugung angeordnet sind.

## 4 Sicherheit von Stauanlagen

### 4.1 Allgemein

Die vorliegende Begutachtung betrifft die Prüfung und Bewertung der vorgelegten Unterlagen zur Konstruktion und zur Standsicherheit für die 4 Absperrbauwerke. Die maßgebliche Vorschrift für die Konstruktion und die Nachweise der Standsicherheit der Absperrbauwerke ist die DIN 19700 (2004). Sie gilt sowohl für die Hauptmauer (Betonmauer), die beiden Abschlussdämme im Unterwasser als auch für den Ringdamm des Oberbeckens.

Weiterhin wird die Baugrube zum Bau des Hauptdammes betrachtet.

Die DIN 19700 (Stauanlagen) hat insgesamt 6 Teile:

DIN 19700-10:	Stauanlagen – Teil 10: Gemeinsame Festlegungen
DIN 19700-11	Stauanlagen – Teil 11: Talsperren
DIN 19700-12	Stauanlagen – Teil 12: Hochwasserrückhaltebecken
DIN 19700-13	Stauanlagen – Teil 13: Staustufen
DIN 19700-14	Stauanlagen – Teil 14: Pumpspeicherbecken
DIN 19700-15	Stauanlagen – Teil 15: Sedimentationsbecken

Zunächst ist für die beiden Becken (Ober- und Unterbecken) die DIN 19700-14 (Pumpspeicherbecken) maßgebend. In diesem Normenteil sind die besonderen Regelungen für die Pumpspeicherbecken enthalten; insbesondere bei den Standsicherheitsnachweisen für die erforderlichen Absperrbauwerke wird auf die Teile 10 und 11 der Norm verwiesen.

Im Folgenden werden die Grundsätze für die Standsicherheitsnachweise der Absperrbauwerke nach DIN 19700-11 zusammengestellt, die für alle betrachteten Absperrbauwerke des geplanten Pumpspeicherkraftwerkes gelten. Anschließend werden die speziellen Nachweise für die einzelnen Bauwerke behandelt.

Die Baugrube für die Hauptmauer wird gesondert behandelt. Die maßgebliche Vorschrift ist die DIN 1054-2010.

## **4.2 Standsicherheit von Staumauern und Dämmen nach DIN 19700**

Die Sicherheit von Absperrbauwerken wird durch mehrere zusammenwirkende Elemente gewährleistet:

- a) Entwurf bzw. konstruktive Gestaltung nach den Grundsätzen der DIN 19700
- b) Rechnerische Nachweise der Standsicherheit (eventuell ergänzt durch Versuche)
- c) Bauausführung auf der Grundlage der genehmigten Planung mit intensiver unabhängiger Überwachung
- d) Überwachung der Stauanlage im Betrieb unter Verwendung eines Mess- und Kontrollsystems

### **Entwurf und konstruktive Gestaltung**

Hierfür sind Anhaltswerte und Regelungen in den einschlägigen Vorschriften (insbesondere DIN 19700) enthalten. Sie betreffen den Entwurf des Absperrbauwerkes und die notwendigen Betriebseinrichtungen, die Wahl der Baumaterialien und die Anordnung innerhalb des Bauwerkes. Dabei wird auch auf das Zusammenwirken von Baugrund und Bauwerk eingegangen.

### **Standsicherheitsnachweise**

Für jedes dieser Bauwerke ist ein Standsicherheitsnachweis erforderlich. Dabei sind besondere Randbedingungen zu beachten und Sicherheitsüberlegungen anzustellen. Grundsätzlich wird für verschiedene Szenarien von Einwirkungen und Tragwiderstandsbedingungen jeweils ein Nachweis erbracht, der mit unterschiedlichen Sicherheitsbeiwerten zur Berücksichtigung der möglichen Auftretenswahrscheinlichkeit gekoppelt ist. Hierzu gehören auch die für die Nachweise erforderlichen Kennwerte von Untergrund und Absperrbauwerk sowie die anzusetzenden Einwirkungen.

### **Bauausführung**

Die Bauausführung muss auf der Grundlage der genehmigten Planung durchgeführt werden. Vor der endgültigen Inbetriebnahme ist ein Probestau vorzunehmen, bei dem das Verhalten der Anlage nochmals kontrolliert wird und mit den Ergebnissen der theoretischen Untersuchungen überprüft wird.

### **Mess- und Kontrollsystem**

Weiterhin wird die Standsicherheit eines Bauwerkes im Betrieb durch eine laufende Überwachung überprüft, um einerseits eine Kontrolle des Rechenansatzes und der Rechenmodelle durchführen und andererseits auch eventuelle zeitabhängige Einflüsse (wie z.B. Alterung) er-

kennen zu können. Die Überwachung erfolgt z.B. durch Messungen von Verformungen und Verschiebungen, von Wasserdrücken im Bauwerk und durchsickernden Wassermengen und Temperaturen sowie durch eine intensive visuelle Kontrolle durch erfahrenes Personal.

Auf das Mess- und Kontrollsystem wird bei den einzelnen Bauwerken eingegangen.

### **4.3 Konstruktive Ausbildung**

Die konstruktive Ausbildung der Absperrbauwerke der Projektes Atdorf ist maßgebend bestimmt durch die Lage des Bauwerkes und der gewählten Form. Hierzu gehören der Untergrund, die verfügbaren Materialien und das sich daraus ergebende Typ des Absperrbauwerkes. Hierauf wird bei den einzelnen Dämmen bzw. der Mauer eingegangen.

Grundsätzlich sind die anerkannten Regeln der Bautechnik einzuhalten. Dies gilt sowohl für die Bauten als auch für den Untergrund (z.B. bei Baugrundverbesserungen). Spezielle Konstruktionsgrundsätze sind auch in den Normen DIN 19700 enthalten.

Die erforderlichen Betriebseinrichtung sind ebenfalls in DIN 19700 angegeben. Maßgebend sind z.B. Grundablass zum Entleeren des Staubeckens, eine Hochwasserentlastung (bei Pumpspeicherbecken in der Regel nicht erforderlich), Absperrorgane etc.

### **4.4 Standsicherheitsnachweise**

Bei den Standsicherheitsnachweisen für Absperrbauwerke werden verschiedene Kombinationsszenarien von Einwirkungen und Tragwiderständen untersucht. Dabei werden häufige, seltene und außergewöhnliche Zustände betrachtet. Zusätzlich soll eine Überlegung vorgenommen werden, welche Auswirkungen bei noch unwahrscheinlicheren Szenarien zu erwarten sind. Dies ist vor dem Hintergrund zu verstehen, dass auch ein „außergewöhnlicher“ Zustand (der rechnerisch mit einer äußerst geringen Wahrscheinlichkeit auftritt) noch „überschritten“ werden kann und dass auch für diesen Fall keine katastrophalen Folgen zugelassen werden dürfen.

In den Antragsunterlagen sind für die einzelnen Absperrbauwerke diese Nachweise geführt. Hier werden die Grundsätze zusammengestellt, in den anschließenden Kapiteln werden die tatsächlich durchgeführten Nachweise für die einzelnen Bauwerke behandelt und bewertet.

Ein Absperrbauwerk (Damm oder Mauer) besteht stets aus dem Zusammenwirken von Untergrund und dem Bauwerk selbst. Die mögliche Reaktion dieses Tragsystem auf angreifende Beanspruchungen wird als „Widerstand“ bezeichnet. Auf dieses Gesamtsystem treffen die Einwirkungen (Lasten, Temperaturen, Beschleunigungen). Dabei werden verschiedene Szenarien (s.o.) betrachtet. Wenn die Widerstände größer sind als die (mit einem Sicherheitsbeiwert versehenen) Einwirkungen, ist die Standsicherheit nachgewiesen. Die anzusetzenden Sicherheitsbeiwerte sind wieder von der Wahrscheinlichkeit der betrachteten Szenarien abhängig.

#### 4.4.1 Einwirkungen

Die Einwirkungen (z.B. Lasten) werden in drei Gruppen eingeteilt:

- a) Gruppe 1: Ständige oder häufig wiederkehrende Einwirkungen  
Eigenlast, Verkehrs- und Auflast, Wasserdruck bei Stauziel bzw. Vollstau, Erddruck, langfristige Temperatureinwirkungen etc.
- b) Gruppe 2: Seltene oder zeitlich begrenzte Einwirkungen  
Wasserdruck bei erhöhte Stauziel, Betriebserdbeben, Eisdruck, Wind und außerplanmäßige Betriebs- und Belastungszustände
- c) Gruppe 3: Außergewöhnliche Einwirkungen  
Wasserdruck bei höchstem Stauziel, Bemessungserdbeben, seltene Temperatureinwirkungen

Die Einwirkungen werden zu Lastfällen zusammengefasst:

Lastfall 1:	Alle maßgebenden Einwirkungen der Gruppe 1 (Regelkombination)
Lastfall 2:	Alle maßgebenden Einwirkungen der Gruppe 1 und je eine Einwirkung der Gruppe 2 (seltene Kombination)
Lastfall 3:	Alle maßgebenden Einwirkungen der Gruppe 1 und je eine Einwirkung der Gruppe 3 (außergewöhnliche Kombination)

#### Die einzelnen Einwirkungen

Wasserstände:

Vollstau (Stauziel bei Pumpspeicherbecken)

Höchstes Stauziel (hier als Kronenstau berücksichtigt)

Auftriebs- und Strömungskräfte

Bei den Dämmen: entsprechend Sickerströmungsberechnung

Schnelle Wasserspiegelsenkung (wenn zutreffend)

Verkehrslasten

Auflasten auf der Mauerkrone und den Dammkronen

z.B. Ersatzflächenlast  $33,3 \text{ kN/m}^2$  (Ersatz für Fahrzeug 600 kN)

Temperaturen:

Für Dämme unwesentlich

Für Mauern maßgeblich bei der Ermittlung der Größe eventueller klaffender Fugen und bei der Ermittlung von Verformungen (z.B. Kronenverformungen)

Erdbeben:

Betriebserdbeben:

Erdbeben mit einer Auftretenswahrscheinlichkeit  $2 \cdot 10^{-3}$  (mittlere jährliche Auftretenswahrscheinlichkeit 1/500); es ist als Teil des Gebrauchslastnachweises zu betrachten. Nach einem Erdbeben, das diese Grenze nicht überschritten hat, brauchen keine besonderen Untersuchungen am Absperrbauwerk vorgenommen werden

Bemessungserdbeben:

Erdbeben mit einer Auftretenswahrscheinlichkeit  $4 \cdot 10^{-4}$  (mittlere jährliche Auftretenswahrscheinlichkeit 1/2500); durch ein solches Erdbeben muss das Absperrbauwerk weiterhin das gestaute Wasser speichern können; es muss auch eine planmäßige Entleerung möglich sein.

#### 4.4.2 Widerstände - Tragwiderstandsbedingungen

Die jeweilige Tragwiderstandsbedingung ergibt sich entsprechend DIN 19700-11, Ziff. 7.1.2.4 durch die Angabe maßgebender Kennwerte für die Verformbarkeit und Festigkeit des Mauer- bzw. Dammkörpers sowie des Baugrundes in Streubreiten, welche entsprechend der jeweiligen Eintrittswahrscheinlichkeiten in eine der folgenden Gruppen einzuordnen ist. Zudem wird die Wirksamkeit von baulichen Einrichtungen (Dränagen, Abdichtungen etc.) berücksichtigt. Damit ergeben sich:

Tragwiderstandsbedingung A (wahrscheinliche Bedingungen):

- Gesicherte oder allgemein anerkannte Kennwerte (siehe Ziff. 5.3.2)
- Voll wirksame bauliche Einrichtungen (Bauwerk intakt z.B. Dichtungen und Drainagen)

Tragwiderstandsbedingung B (wenig wahrscheinliche Bedingungen):

- Ungünstige Kennwerte innerhalb gesicherter Streubereiche (siehe Ziff. 5.3.2)
- Eingeschränkte Wirksamkeit einer baulichen Einrichtung (z.B. Leckage der Dichtungen)

Tragwiderstandsbedingung C (unwahrscheinliche Bedingungen):

- C: Ungünstige Kennwerte in Grenzbereichen oder

- C2: Ausfall einer maßgeblichen baulichen Einrichtung (z.B. Ausfall Dichtungsschleier etc.), oder
- C3: Leckage in der Dichtung, z.B. durch Erdbebeneinwirkung (ggf. durch Nachweis C2 abgedeckt)

#### 4.4.3 Bemessungsfälle

Aus der Kombination eines Lastfalles mit einer Tragwiderstandsbedingung ergeben sich Bemessungsfälle (BS I, BS II und BS III), die mit unterschiedlichen Sicherheitsbeiwerten belegt werden:

Tabelle 1:

Lastfall- gruppe		Tragwiderstandsbedingung		
		A	B	C
Lastfall	1	BS I	BS II	BS III
	2	BS II	BS III	
	3	BS III		

#### 4.4.4 Sicherheitsbeiwerte

In DIN 19700 sind für die einzelnen Nachweise Sicherheitsbeiwerte angegeben. Die Sicherheitsbeiwerte sind unterschiedlich für die Typen der Absperrbauwerke (Dämme und Mauern) und auch für die einzelnen Nachweise (z.B. Sicherheitsbeiwert für zulässige Spannungen bei Mauern oder Sicherheitsbeiwerte für Gleitkreisberechnungen bei Dämmen). Sie sind unterschiedlich für die einzelnen Bemessungsfälle.

Damit wird im Sinne einer probabilistischen Abschätzung der Auftretenswahrscheinlichkeit (Einwirkungen und Widerstände) eine jeweils ausreichende Sicherheit gegen Versagen erreicht.

Entsprechende Hinweise sind bei der Bewertung der einzelnen Bauwerke enthalten.

Die Bewertung des verbleibenden Risikos erfolgt bei den einzelnen Absperrbauwerken.

#### 4.4.5 Verbleibendes Risiko - Restrisikobetrachtung

In der Lastfallgruppe 3 wurde zunächst das Bemessungserdbeben berücksichtigt. Dies ergibt sich nach DIN 19700 als Beben mit einer jährlichen Auftretenswahrscheinlichkeit von  $1/2500$  ( $= 4 \cdot 10^{-4}$ ). Entsprechend DIN 19700-10 (Abschnitt 11) ist weiterhin eine Bewertung des „verblei-

benden Risikos“ infolge Überschreitung des Bemessungshochwassers sowie des Bemessungs-erdbebens vorzunehmen. Diese Risiken sind durch flankierende konstruktive, bewirtschaftungsseitige und/oder organisatorische Maßnahmen ausreichend zu vermindern.

Auf Grund der Nutzung als Pumpspeicherbecken ist eine Überschreitung des Bemessungshochwassers (in diesem Fall Kronenstau) nicht zu berücksichtigen. Der hier angesetzte Kronenstau ist bereits ein Wert, der auch bei außergewöhnlichen Umständen nicht erreicht wird. Für den Fall „Kronenstau“ wird eine Reststandsicherheit nachgewiesen (siehe bei den einzelnen Bauwerken).

Bei Erdbeben ist eine obere Begrenzung nicht oder nur mit einer großen Unsicherheit anzugeben. Es wird häufig auf organisatorische Maßnahmen zurückgegriffen: Z.B. Ermittlung möglicher Überflutungsbereiche mit den dazugehörigen Warneinrichtungen. Wichtig in diesen Fällen ist stets, auf eine Redundanz der Systeme zu achten. Dies gilt z.B. für die Warneinrichtungen; sie sind stets mit Notstromaggregaten auszurüsten.

Hinsichtlich Erdbeben wird im vorliegenden Fall ein wesentlich größeres als nach DIN 19700 erforderliches Erdbeben (Aufretenswahrscheinlichkeit  $1/10000 = 10^{-5}$ ) zusätzlich berücksichtigt. Damit ist der Forderung nach einer Berücksichtigung von höheren Einwirkungen Genüge getan. Weiterhin sind die Bauwerke als „robuste“ Bauwerke zu bezeichnen. So ist der Ringdamm des Oberbeckens auf bei vollständigem Ausfall der Abdichtung noch standsicher. Entsprechende Untersuchungen werden für alle Absperrbauwerke vorgenommen.

#### **4.5 Materialien für die Bauwerke und Eigenschaften des Untergrundes**

Ein Absperrbauwerk besteht aus dem Bauwerk und dem Untergrund. Staumauern werden aus definierten Materialien (Zuschläge, Bindemittel etc.) hergestellt, die entsprechend ausgewählt und aufbereitet werden können. Bei Dämmen werden in der Regel Materialien verwendet, die lokal gewonnen werden. Hier besteht die Möglichkeit der Aufbereitung und der Selektierung (z.B. natürliche Dichtung, Steinschüttung und Filterschichten). Weiterhin können ergänzende künstliche Elemente (z.B. Asphaltbetondichtungen) verwendet werden.

Der Baugrund ist nur beschränkt zu beeinflussen. Häufig bestimmt der Baugrund die Art oder die Konstruktion des Absperrbauwerkes. Der Baugrund selber kann auch verbessert werden, z.B. durch Einbringen von Kiesmaterial oder durch Injektionen. Weiterhin kann z.B. die Umläufigkeit des Absperrbauwerkes durch Dichtwände aus Beton oder ähnliches beeinflusst werden. Nähere Angaben hierzu sind bei den Untersuchungen zu den einzelnen Absperrbauwerken aufgeführt.

## 5 Untersuchungen für die einzelnen Absperrbauwerke

### 5.1 Allgemein

Im Folgenden werden die für die einzelnen Absperrbauwerke vorgelegten Unterlagen bewertet. Für jedes Absperrbauwerk (Damm oder Mauer) wird nach dem gleichen Schema vorgegangen.

Ausführliche Beschreibungen sind in den Unterlagen F.VI (Ringdamm Oberbecken), F.X, F.XII und F.XIII (Absperrbauwerke Unterbecken) sowie F.XI (Baugrube Hauptsperre Unterbecken) enthalten. Hier werden nur die wichtigsten Grundsätze der Absperrbauwerke zusammengefasst.

Alle 4 Absperrbauwerke des Projektes PSW Atdorf sind der Talsperrenklasse 1 zuzuordnen, da diese eine Sperrhöhe größer 15 m bzw. ein Stauvolumen des Unterbeckens und des Oberbeckens von über 1 Mio. m<sup>3</sup> aufweisen.

Zunächst werden die maßgeblichen Einwirkungen zusammengestellt, die für alle Absperrbauwerke gelten. Die Tragwiderstände sind für jedes Bauwerk unterschiedlich, so dass diese bei den Einzelbauwerken behandelt werden.

### 5.2 Einwirkungen für alle Absperrbauwerke

Für alle Absperrbauwerke gelten folgende Einwirkungen

#### Eigenlasten

Die Eigenlasten sind abhängig vom Material (Beton, Schüttmaterial etc.)

#### Bemerkungen:

Die entsprechenden Werte wurden im Zusammenhang mit den Vergleichsrechnungen überprüft; den berücksichtigten Werten wird zugestimmt.

#### Verkehrslasten

Auf allen Dammkronen und auf der Mauerkrone werden eine Verkehrslast von 4 kN/m<sup>2</sup> sowie ein Schwertransport mit 600 KN Gewicht berücksichtigt.

#### Bemerkungen:

Den berücksichtigten Werten wird zugestimmt.

#### Wasserdrücke

Siehe bei den einzelnen Bauwerken

### **Bemerkungen:**

Die angesetzten Wasserdrücke sind betrieblich bedingt. Sie werden als richtig unterstellt; sie müssen entsprechend überwacht werden.

Wellenauflauf etc. sind im Freibord berücksichtigt.

Hochwasserszenarien wurden nicht berücksichtigt; dem kann auf Grund der Nutzung und der Lage der Staubecken zugestimmt werden.

### **Eisdruck** (Einwirkung der Gruppe 2):

Ein Eisdruck wurde vorläufig nicht berücksichtigt.

### **Temperatureinwirkungen**

Nur maßgeblich bei den Standsicherheitsnachweisen für die Staumauer

Vorläufig wurden keine Temperatureinwirkungen berücksichtigt.

### **Erdbeben:**

Die Grundlagen für Ansätze für Erdbeben, die bei den Standsicherheitsnachweisen der Absperrbauwerke zu berücksichtigen sind, sind im Antragsteil F.III zusammengestellt.

Unter Berücksichtigung von probabilistischen seismischen Gefährdungsanalysen wurden Vorgaben für die anzusetzenden Beschleunigungswerte bzw. Antwortspektren zusammengestellt. Parallel dazu wurden deterministische Erdbebenszenarien untersucht. Als Ergebnis sind für die einzelnen Bauwerke des Ober- und Unterbeckens Antwortspektren aufgeführt. Dabei werden unterschiedliche Untergrundeigenschaften (Fels und Lockergestein) sowie Dämpfungswerte berücksichtigt.

Die Absperrbauwerke sind in die Talsperrenklasse I einzuordnen. Damit ergeben sich nach DIN 19700 folgende mittlere jährliche Auftretenswahrscheinlichkeiten:

Betriebserdbeben  $2 \cdot 10^{-3}$  (Wiederkehrperiode 500 Jahre)

Bemessungserdbeben  $4 \cdot 10^{-4}$  (Wiederkehrperiode 2500 Jahre)

Das Betriebserdbeben ist als Last der Gruppe 2 zu berücksichtigen, das Bemessungserdbeben als Last der Gruppe 3.

Zunächst sind die Grundbeschleunigungen (auf Fels) für die jeweilige Lokation zu ermitteln. Dies erfolgt mit der o.g. probabilistischen seismischen Gefährdungsanalyse. Für Deutschland existieren entsprechende Auswertungen, die für die Berechnungen herangezogen werden.

Die Spitzenbeschleunigungen auf Fels wurden für das Betriebs- und das Bemessungserdbeben für das Ober- und Unterbecken aus den Unterlagen von Grünthal et al. ermittelt. Damit können

die Antwortspektren angegeben werden. Die Antwortspektren sind abhängig von der angenommenen Dämpfung. Im Fall des Betriebserdbebens wird von 5% Dämpfung ausgegangen, im Fall des Bemessungserdbebens von 10% bei Dämmen sowie bei Mauern, wenn größere Rissbildungen erwartet werden.

Die vertikalen Beschleunigungen werden mit 70% der horizontalen Beschleunigungen angesetzt. Dies entspricht den üblichen Vereinbarungen.

Die oben angegebene Vorgehensweise muss in besonderen Fällen ergänzt werden:

Bei topographischen Besonderheiten

Bei Bauwerken auf Lockergestein

Das Oberbecken liegt exponiert auf einem Bergrücken. Aus diesem Grund wurde eine topographische Amplifikation berücksichtigt. Damit ergibt sich für einen Bereich zwischen den Perioden 0,4 sec bis 1,7 sec eine relativ geringfügige Verstärkung der Beschleunigungswerte. Hierfür liegt auch ein entsprechendes Antwortspektrum vor.

Bei Bauwerken auf Lockergestein müssen die Antwortspektren angepasst werden. Dies gilt insbesondere für den Abschlussdamm II. Die in diesem Fall anzusetzenden Beschleunigungen sind erheblich größer als bei einer Fundierung auf Fels.

Im Bereich des Ringdammes (Oberbecken) gibt es Bereiche, in denen der Damm auf einem stark verwitterten Fels (Berglesand) gegründet ist. Dort wird vorläufig eine Erhöhung der Spitzenbeschleunigung um 25% vorgesehen.

Die Abschätzung potentieller Verschiebungen infolge von Verwerfungen ergab, dass keine potente Verwerfungen betrachtet werden müssen und somit keine Verschiebungen berücksichtigt werden müssen.

#### Restrisikobetrachtung Erdbeben

Entsprechend DIN 19700 ist neben der Betrachtung der Einwirkungen der Lastgruppen 1 bis 3 und kritischen Widerstandsbedingungen auch eine Restrisikobetrachtung durchzuführen. Hier wird die Auswirkungen betrachtet, die durch eine erhöhte Erdbebenbelastung erfolgen.

Dabei muss normalerweise keine eigene Berechnung durchgeführt werden. Es genügt, die voraussichtlichen Auswirkungen abzuschätzen und die entsprechenden Folgen z.B. durch konstruktive und/oder betriebliche Gegenmaßnahmen soweit wie möglich zu reduzieren.

Im Fall des vorliegenden Planfeststellungsantrages wurde vereinbart, eine weiter erhöhte Erdbebenbeanspruchung rechnerisch zu untersuchen. Es werden deshalb Spitzenbeschleunigungen für eine Wiederkehrperiode von 10.000 Jahren berücksichtigt. Hierfür werden für das Unter- und das Oberbecken entsprechende Antwortspektren angegeben.

#### **Bemerkungen zu den Erdbebenansätzen**

Die Vorgehensweise bzw. Methodik zur Bestimmung der für die Berechnung der Absperrbauwerke anzusetzenden Antwortspektren entspricht den derzeitigen allgemein anerkannten Regeln der Technik.

Es wurden weitergehende Überlegungen durchgeführt (z.B. topographische Amplifikation, Gründung auf Lockergestein), die in allen Fällen zu einer Erhöhung der Beschleunigungswerte führte.

Die Antwortspektren für die Restrisikobetrachtung (Aufretenswahrscheinlichkeit  $10^{-4}$ , also Wiederkehrperiode 10.000 Jahre) wurden aus den Werten für das Betriebs- und das Bemessungserdbeben abgeleitet. Den so ermittelten Werten wird zugestimmt.

Die geotechnischen Untersuchungen für den Untergrund des Ringdammes im Oberbecken sind grundsätzlich für die vorliegenden Untersuchungen im Genehmigungsverfahren ausreichend. Wie oben angegeben, sind in Bereichen, in denen stark verwitterter Fels ansteht, modifizierte Beschleunigungswerte anzusetzen. Dies ist auch bei den Berechnungen der Ausführungsplanung zu berücksichtigen. Voraussichtlich ist eine endgültige Festlegung erst nach Freilegung der Aufstandsfläche möglich.

### **5.3 Ringdamm Oberbecken**

#### **5.3.1 Kurzbeschreibung**

Das Oberbecken des Pumpspeicherkraftwerkes soll auf dem „Abhau“, einem Höhenrücken, der in südlicher Richtung an das Hornbergbecken I angrenzt, errichtet werden.

Das Oberbecken wird durch einen Ringdamm umgrenzt. Es passt sich mit seiner gestreckten Form dem Bergrücken an. Es hat eine Gesamtlänge von ca. 1400 m und eine größte Breite von ca. 683 m (die Maße beziehen sich jeweils auf den luftseitigen Fuß). Die Kronenlänge beträgt ca. 2560 m.

Für den Bau des Beckens wird die Kuppe abgetragen; das ausgebrochene Material wird nach entsprechender Aufbereitung als Dammschüttmaterial verwendet. Die Abdichtung des wasserseitigen Dammbereiches und der Beckensohle wird mit einer Asphaltbetonschicht vorgenommen.

Das Beckenvolumen beträgt ca. 9 Mio m<sup>3</sup> zwischen Stauziel auf Kote 1016,20 m ü.NN und dem Absenkziel auf Kote 975,64 m ü.NN.

Im Becken sind zwei Einlauftürme vorgesehen, durch die das Wasser im Generatorbetrieb in die Druckschächte geleitet bzw. im Pumpbetrieb in das Becken zurückgeführt wird. Die Einlauftürme sind über Verbindungsstollen vom zentralen Kontrollgang aus zu erreichen; der Kontrollgang wird über einen Zugangsstollen vom Eingangsgebäude erreicht.

#### **5.3.2 Geologische Situation**

Eine ausführliche Beschreibung der geologischen Situation ist im Antragsteil F V enthalten. An der Geländeoberfläche ist meist ein Oberboden sowie eine Verwitterungslehme anzutreffen. Darunter liegt der sogenannte Berglesand, ein Verwitterungsprodukt des darunterliegenden Felses und ist somit ein Felsersatz. Die Körnungslinie dieser nicht-bindigen Lockergesteinschicht wird nach unten deutlich gröber.

Die Mächtigkeit dieser Deckschichten variieren sehr stark und bewegen sich zwischen 1 und rund 34 m.

Der darunterliegende Fels besteht im Wesentlichen aus Granit, Granitporphyr und Gneis.

Der Aushub für das Becken erfolgt in der Art, dass im Randbereich bis auf den tragfähigen Untergrund ausgebrochen wird; dort wird der Ringdamm erstellt. Im Becken selber wird z.T. tiefer ausgehoben, um das entsprechende Beckenvolumen zu erreichen.

Das Aushubmaterial wird für die Dammschüttung verwendet. Dabei wird unterschieden zwischen dem Berglesand, dem Reißfels und dem Sprengfels.

Die vorliegende Planung des Ringdammes beruht im Wesentlichen auf den Ergebnissen einiger Schürfe und von insgesamt 29 Vertikalbohrungen. Es zeigten sich beträchtliche Unterschiede der Mächtigkeiten der Lockergesteinsüberlagerung; damit ergeben sich auch gewisse Unsicherheiten in der Höhenlage und Ausbildung der Gründungsfläche für den Damm.

Die geotechnische Untersuchung ist in Hinblick auf die Genehmigungsplanung ausreichend. Die durchgeführte Auswertung (z.B. Isolinienpläne für die Oberkante des Berglesandes und des Reiß- und Sprengfels) sind plausibel.

Für die Ausführungsplanung sind ergänzende Untersuchungen erforderlich; die endgültige Bewertung kann erst nach Freilegung der Aufstandsfläche erfolgen. Es ist nicht auszuschließen, dass dabei lokale Umplanungen erforderlich werden.

### **5.3.3 Konstruktion**

#### **Ringdamm**

Die Fundierung des Ringdammes erfolgt weitgehend auf dem Felsuntergrund (Reißfels), zum Teil auch auf dem Berglesand. Entsprechend der lokalen Situation ist die Dammaufstandsfläche in der Regel nach außen (also vom Becken weg) geneigt.

Der Damm erhält an der Beckenseite eine Asphaltbetondichtung; der Damm übernimmt selber keine Abdichtungsfunktion und wird somit als Stützkörper ausgebildet.

Die Böschungsneigung an der Wasserseite wird mit 1:1,6 bis 1:2 und an der Luftseite mit 1,6 bis 1,8 ausgeführt. Der Stützkörper wird zoniert aufgebaut. Die innere Zone (Kernzone) besteht aus einem Gemisch Berglesand/Reißfels. Die äußere Schicht wird als verbesserte Zone aus einem Gemisch Berglesand/Reißfels/Sprengfels gebildet.

In besonderen Fällen, in denen die Böschung sehr steil ausgeführt werden muss, wird die Standicherheit der Böschungen mit eingelegten Geogittern (oder ähnlichen Maßnahmen) erreicht.

Am luftseitigen Fuß wird ein Drainageprisma aus Sprengfels ausgebildet.

Die Abdichtung an der Wasserseite und im Staubecken erfolgt mit einer dränierten Asphaltbetonschicht. Die gesamte Abdichtung wird kontrollierbar ausgeführt (feldweise Aufteilung), so dass bereichsweise Undichtigkeiten aufgespürt werden können.

An der Luftseite des Dammes ist eine Deckschicht für eine Begrünung vorgesehen. Weiterhin sind an der Luftseite Vorschüttungen (Ablagerung von überschüssigem Aushubmaterial) vorgesehen. Alle Übergänge zwischen den unterschiedlichen Materialien werden filterstabil ausgeführt.

## Becken

Die Beckensohle erhält eine Asphaltbetonabdichtung; sie liegt auf einer Filterschicht, die mit Drainage- und Sammelleitungen abschnittsweise entwässert wird. Die Sammelleitungen werden in den in Beckenmitte angeordneten Kontrollgang geführt, wo eventuelle Leckstellen erkannt werden können.

## Ergebnis

Die Konstruktion des Ringdammes und des Beckens entspricht den Vorgaben in DIN 19700-14 sowie DIN 19700-11. Die Ringdämme werden mit dem Aushubmaterial des Beckens hergestellt. Dabei werden verschiedene Materialien für Kern- und Außenzonen erforderlich sein. Die dafür erforderlichen Materialeigenschaften müssen durch eine entsprechende Aufbereitung erreicht werden.

### 5.3.4 Standsicherheitsnachweise

Die Standsicherheitsnachweise für den Ringdamm sind in den Antragsunterlagen beschrieben; ihre Ergebnisse sind im Wesentlichen tabellarisch zusammengestellt.

Es wurden die Nachweise „Böschungsbruch“, Gleiten und Spreizen durchgeführt. Die verwendeten Verfahren (z.B. Gleitkreisverfahren) entsprechend den anerkannten Regeln der Technik. Weiterhin wurden die Erosions- und Suffosionssicherheit ermittelt.

Die Nachweise wurden zum Teil bereits in vorauslaufenden Planungsphasen durch Vergleichsrechnungen überprüft.

Die maßgeblichen Einwirkungen sind:

Eigenlasten (entsprechend den vorliegenden Materialien)

Stauziel            1016,20 m ü.NN

Absenkziel        975,64 m ü.NN

Höchststau        1018,20 m ü.NN (Kronenstau)

Auftriebs- und Strömungskräfte: entsprechend Sickerströmungsberechnung

Verkehrslast auf der Krone: SLW 60 (600 kN entsprechend DIN 1072)

Erdbeben

a) Betriebserdbeben

b) Bemessungserdbeben

c) Außergewöhnliche Situation (Restrisikobetrachtung):

Auftretenswahrscheinlichkeit  $10^{-5}$

Die dazugehörigen Beschleunigungswerte sind in den Unterlagen zur Erdbebensicherheit in den Antragsunterlagen F III enthalten.

Die Tragwiderstände ergeben sich aus der Dammkonstruktion mit den entsprechenden Materialien. Für die Tragwiderstandbedingungen wurden entsprechende Szenarien berücksichtigt (Gesicherte Kennwerte, Leckagen, Wirksamkeit des Drainageprismas etc.).

Die für die Standsicherheitsnachweise erforderlichen Materialkennwerte (Wichte, Reibungswinkel, Durchlässigkeit etc.) sind vorläufig geschätzte Werte, die zum Teil auf den Erfahrungen von anderen Baustellen (Hornbergbecken I) beruhen. Sie sind plausibel und für den Nachweis der Baubarkeit des Ringdammes ausreichend.

Es ist geplant, das Ausbruchsmaterial aufzubereiten und es dann als Dammmaterial zu verwenden. Dies kann z.B. durch Brechen des Sprengfelsens und durch eine geeignete Mischung der verschiedenen Korngruppen erzielt werden. Für die Ausführungsplanung müssen diese Kennwerte durch Versuche mit dem aufbereiteten Material bestätigt werden. Es ist stets möglich, gewisse Defizite durch den Einbau von Geogittern oder anderen technischen Maßnahmen auszugleichen.

In den Antragsunterlagen sind die Berechnungsergebnisse tabellarisch zusammengefasst. Das in 4.4 dieses Berichtes erläuterte Nachweiskonzept wurde eingehalten. Die dazugehörigen zahlenmäßigen Nachweise sind in den Unterlagen nicht enthalten. Die Ergebnisse wurden durch unabhängige Vergleichsrechnungen überprüft.

Es wurden insgesamt 3 Berechnungsquerschnitte untersucht:

Station 0+000: Hoher Damm, Gründung auf Berglesand

Neigungen: 1:2 (Wasserseite) und 1:1,8 (Luftseite)

Station 0+125: Steiler Damm, Gründung auf Berglesand; Verstärkung mit Geogitter

Neigungen: 1:1,6 (Wasserseite) und 1:1,6 (Luftseite)

Station 1+600: Relativ niedrige Höhe, Gründung auf Reißfels

Neigungen: 1:1,6 (Wasserseite) und 1:1,6 (Luftseite)

Die untersuchten Querschnitte sind beispielhaft; sie sind in der Ausführungsplanung durch weitere Querschnitte, deren Formen sich aus den lokalen Gegebenheiten (insbesondere Art des Untergrundes, ausführbare Neigungen etc.) zu ergänzen.

Durch das zur Luftseite teilweise steil abfallende Gelände ergeben sich große Aufstandslängen für den Damm. Ein Abgleiten in der schrägen Fläche ist – wie die Nachweise zeigen – nicht zu erwarten.

In den Nachweisen wurde auch untersucht, wie sich eine Undichtigkeit in der Asphaltbetondichtung auswirkt und wie sich der Damm bei Ausfall der gesamten Dichtung verhält. Es zeigt sich, dass bei den angesetzten Dammmaterialien auch im letzteren Fall ein Versagen des Dammes nicht zu erwarten ist.

Bei dem Bemessungserdbeben ergeben sich rechnerisch noch keine Versagensbereiche; im Fall des Extremerebebens (Auftrittswahrscheinlichkeit 1/10000 pro Jahr) werden sich an der Luftseite schollenartige Abbrüche ergeben, die jedoch die Dammstandsicherheit noch nicht gefährden.

Nachweise mit den Beschleunigungswerten des Betriebserdbebens wurden nicht durchgeführt. Dies ist nur zulässig, wenn das Bemessungserdbeben mit den für das Betriebserdbeben erforderlichen Sicherheitsbeiwerten nachgewiesen werden kann. Eine entsprechende Untersuchung ist bei der Ausführungsplanung erforderlich.

### **5.3.5 Mess- und Kontrolleinrichtungen**

Die Mess- und Kontrolleinrichtungen sollen dazu dienen, die Standsicherheit der Anlagen auf Dauer überprüfen zu können.

Für den Ringdamm sind folgende Messeinrichtungen vorgesehen:

- Geodätische Lage- und Höhenmessungen
- Setzungspegel
- Sickerwassermesseinrichtungen
- Druckmessungen unter der Asphaltbetondichtung
- Wasserstandsmessungen
- Beschleunigungssensoren

Die Anzahl und die Lage der Messeinrichtungen sowie die Ableseintervalle zusammen mit der dazugehörigen Auswertung sind noch nicht abschließend festgelegt. Der Entwurf ist auf die Ausführungsplanung abzustimmen.

### **5.3.6 Prüfbemerkungen**

#### **Konstruktive Ausbildung**

Die geplante konstruktive Ausbildung entspricht der DIN 19700. Die endgültige Ausbildung ist bei der Ausführungsplanung auf die angetroffenen geotechnischen Gegebenheiten abzustimmen.

#### **Geotechnische Untersuchungen**

Die Zahl der Bohrungen im Bereich des Oberbeckens ist vor einer Ausführung des Ringdammes zu erhöhen, um eine sichere Vorausplanung durchführen zu können. Die Damm-Aufstandsfläche ist von einem Baugrundgutachter abzunehmen; bei ungünstigeren Verhältnissen ist der Aushub bis auf eine ausreichend tragfähige Schicht weiterzuführen.

#### **Dammmaterialien**

In der statischen Berechnung sind Angaben zum geplanten Schüttmaterial vorhanden. Dieses Material wird erst beim Aushub des Beckens gewonnen und aufbereitet. Die Aufbereitung ist zu dokumentieren; es sind Labor- und Vor-Ort-Untersuchungen durchzuführen, mit denen die Kennwerte des einzubauenden Materials bestimmt werden.

#### **Standsicherheitsnachweise**

Derzeit liegen für drei charakteristische Querschnitte Standsicherheitsnachweise vor. Für die Ausführungsplanung sind weitere Querschnitte zu untersuchen, die sich auf Grund der jeweiligen Gründungssituation ergeben.

#### **Erdbeben**

Falls bei einem Erdbebenereignis die bei den Nachweisen des Betriebserdbebens berücksichtigten Beschleunigungen überschritten werden, ist eine besondere Überprüfung der Stauanlage erforderlich. Eine besondere Überprüfung beinhaltet in diesem Fall eine zusätzliche visuelle Kontrolle des Absperrbauwerkes und der Einzelbauwerke, die Durchführung von Sondermessungen einschließlich Auswertung sowie eine Überprüfung der Verschlüsse.

#### **Mess- und Kontrollsystem**

Das geplante Mess- und Kontrollsystem ist für die Ausführungsplanung detailliert zu beschreiben. Es ist eine Probestauprogramm vorzulegen.

## 5.4 Hauptsperre Unterbecken

### 5.4.1 Kurzbeschreibung

Das Unterbecken des Pumpspeicherwerk Atdorf soll im Haselbachtal entstehen. Hierfür werden eine Betonmauer (Hauptsperre) sowie die beiden Abschlussdämme I und II erstellt.

Die Hauptsperre mit ca. 650 m Kronenlänge schließt das Tal nach Nordwesten hin ab und ist als Schwergewichtsmauer aus Walzbeton konzipiert. Die Mauerkrone liegt auf 401,70 m ü.NN.

Die größte Höhe (Abstand Aufstandsfläche zu Krone) beträgt etwa 116 m. Dies ist im Wesentlichen durch die geologische Situation erforderlich. Die Mauer erhält an der Wasserseite eine Vorschüttung von ca. 60 m Höhe, um wieder die Höhe des ursprünglichen Geländes zu erreichen. An der Luftseite wird ebenfalls eine Vorschüttung bis etwa 22 m unter die Krone eingebracht. Hierzu werden Aushubmaterialien verwendet. Die Neigung an der Luftseite beträgt 1 : 0,80, an der Wasserseite ist der obere Bereich (ab Koto 325 m ü.NN) vertikal, darunter verbreitert sich die Mauer mit einer Neigung von 1 : 0,50. Die Kronenbreite beträgt 12,00 m.

Im Grundriss erhält die Mauer auf Grund der topologischen und geologischen Randbedingungen einen leichten Knick.

Es ist ein Gesamtbetonvolumen von ca. 1.385.000 m<sup>3</sup> vorgesehen.

### 5.4.2 Geologische Situation

Die Gründung der Mauer erfolgt im nördlichen Bereich auf Gneis, im südlichen Bereich auf Rotliegend. Im Rotliegend ist die Gründungstiefe geringer, so dass die Beanspruchungen durch die Mauer aufgenommen werden können.

Das Rotliegend hat eine mittlere Gesteinsfestigkeit. Bei längerer ungeschützter Lage ist ein Zerbrechen entlang der Schichtungen zu erwarten; dies ist bei der Planung und der Gründungsvorbereitung zu beachten. Die Gründungsfläche soll schonend mit Hilfe einer Felsfräse hergerichtet werden; die freigelegte Oberfläche ist dann z.B. durch Spritzbeton zu schützen.

Im Bereich der Mauergründung auf Gneis werden zunächst das Lockergestein und der Reissfels (soweit möglich) mit Löffelbaggern oder ähnlichen Geräten abgetragen. Der festere Gneis (Reiß- und Sprengfels) wird schonend gesprengt. Für das Herrichten der Aufstandsfläche werden Felsfräsen erforderlich sein.

Spalten und Klüfte in der Aufstandsfläche sind auszuräumen und mit Beton oder Mörtel zu verfüllen.

Die Zahl der vorgenommenen Bohrungen ist nicht ausreichend, um ein vollständiges Bild der erwarteten Gründungsfläche zu erhalten. Es ist deshalb erforderlich, die angetroffene geologische Situation beim Aushub zu dokumentieren und fallweise darauf zu reagieren. Es ist nicht auszuschließen, dass die Gründungsfläche lokal von der theoretisch geplanten Fläche abweicht. Für die Bewertung und Freigabe ist ein erfahrener Ingenieurgeologe erforderlich.

### 5.4.3 Konstruktion der Mauer

Die Hauptmauer soll als RCC-Mauer (Roller-Compacted-Concrete, Walzbeton) hergestellt werden. Dabei wird ein bindemittelarmer Beton verwendet, der mit Vibrationswalzen verdichtet wird. Es werden in der Regel 30 cm dicke Schichten aufgebracht, die dann mehrmals überfahren werden. Durch den geringen Zementanteil kann die Entwicklung der Hydratationswärme vermindert bzw. verzögert werden, so dass keine Rissbildungen unmittelbar nach dem Abbinden des Betons zu erwarten sind. Der Baufortschritt muss zügig erfolgen, so dass die neue Schicht sich noch mit der Vorgängerschicht „frisch in frisch“ verbinden kann. Es werden hierzu auch Abbindeverzögerer verwendet.

In der Mauer sind auf drei Ebenen Kontrollgänge vorgesehen. Der unterste folgt etwa der Aufstandsfläche (Sohlkontrollgang), die beiden oberen verlaufen etwa horizontal. Der Sohlkontrollgang erlaubt eine Kontrolle oder Nachbesserung der Dränung der Aufstandsfläche bzw. des Felsuntergrundes. Die Kontrollgänge dienen zur Aufnahme der verschiedenen Mess- und Kontrolleinrichtungen. Sie sind durch einen Vertikalschacht verbunden, durch den bei Bedarf Geräte oder Einrichtungen von der Krone aus eingehoben werden können.

An den Maueraußenseiten und um die Kontrollgänge herum wird ein Beton mit einem erhöhten Bindemittelgehalt eingebaut. Damit können der Einbau erleichtert und die Dichtigkeit sowie Festigkeit und Dauerhaftigkeit erhöht werden. Die Mauer erhält vertikale verzahnte Fugen, die an der Wasserseite mit einem doppelten Fugenband und an der Luftseite mit einem einfachen Fugenband verschlossen werden. Die Fugen dienen dazu, eventuelle Rissbildungen aus Temperaturverformungen zu vermeiden.

Der Walzbeton wird seit mehr als ca. 20 Jahren international zum Bau von Staumauern verwendet. Es bestehen ausreichend Erfahrungen, die berücksichtigt werden müssen. Dabei ist die Zusammensetzung auch unter Berücksichtigung des zu verwendenden Zuschlagsmaterials von wesentlicher Bedeutung. Es sind entsprechende Großversuche erforderlich.

Die Walzbetonbauweise erfordert möglichst große horizontale Flächen. Es ist deshalb erforderlich, auch im Bereich des Gneis zunächst eine Ausgleichsschicht einzubauen, die in klassischer Bauweise erstellt wird und als Startfläche für den Walzbetoneinbau dient.

Im höhergelegenen Bereich an der Südseite mit dem Rotliegend wird zum Teil ein verbreiteter Fundamentsockel eingebaut. Dieser dient zur Verminderung der Bodenpressungen in der Aufstandsfläche.

Es sind ein Dichtungsschleier und ein Dränageschleier vorgesehen. Der Dichtungsschleier mit einer Tiefe von ca. 30 m (in Talmitte) und ca. 20 m (an den Flanken) soll die Durchlässigkeit des Felsuntergrundes vermindern. Der Erfolg kann durch Wasserabpressversuche überprüft werden. Auf Grund lokaler Inhomogenitäten sind die Injektionsarbeiten laufen zu kontrollieren und

bei Bedarf zu modifizieren. Der Dichtungsschleier liegt an der Wasserseite der Mauer und wird vom Kontrollgang aus hergestellt. Er ist zur Wasserseite hin geneigt.

Der Dränageschleier ist luftseitig des Dichtungsschleiers angeordnet; er ist zur Luftseite geneigt. Er dient im Wesentlichen zur Kontrolle des Dichtungsschleiers.

Die konstruktive Ausbildung entspricht den anerkannten Regeln der Technik. Die Vorgaben der DIN 19700 sind eingehalten.

#### 5.4.4 Standsicherheitsnachweise

Die Standsicherheitsnachweise für die Hauptmauer wurden im Wesentlichen mit Hilfe eines Starrkörpermodelles vorgenommen. Mit dem Starrkörpermodell können die maßgeblichen Einwirkungen und Lastfälle ausreichend gut erfasst werden. Für Sonderfälle, wie z.B. nichtlineare Verteilungen der Mauertemperaturen im Querschnitt, können Zusatznachweise erforderlich sein.

In den statischen Untersuchungen wurden die maßgeblichen Einwirkungen berücksichtigt:

Eigenlast Mauer

Lasten aus der Hinterfüllung

Verkehrslasten auf der Mauer (ohne Bedeutung)

Wasserdrücke einschließlich Sohlenwasserdrücke

Stauziel: 400,00 m ü.NN

Absenkziel: 355,00 m ü.NN

Kronenstau: 401,70 m ü.NN

Temperaturen (wurden nicht berücksichtigt)

Dynamische Einwirkungen (Erdbeben)

Die Lastfälle entsprechen den Vorgaben in DIN 19700-11.

Die Tragwiderstandsbedingungen ergeben sich im Wesentlichen aus den Eigenschaften des Untergrundes. Die angesetzten Kennwerte sind plausibel und sind für die Ausführungsplanung – insbesondere nach Freilegung der Gründungssohle – noch zu überprüfen.

Die „statischen“ Standsicherheitsuntersuchungen wurden mit Blockmodellen (Starrkörpertheorie; Ebenbleiben der Querschnitte vorausgesetzt) durchgeführt. Bei diesen Modellen können z.B. Beanspruchungen aus Temperatur im Mauerquerschnitt oder Besonderheiten in der Gründung nicht berücksichtigt werden.

Für die Berechnung der Beanspruchungen infolge Erdbeben wurde eine Finite-Elemente-Berechnung durchgeführt. Es wurden das Betriebserdbeben, das Bemessungserdbeben und zusätzlich ein Beben mit erhöhten Beschleunigungswerten (siehe Restrisikobetrachtung) berücksichtigt.

Es wurden verschiedene Gefügemodelle des Untergrundes angenommen und damit die Standsicherheit der Mauer überprüft.

Die Berechnungen für die vorgelegten Standsicherheitsnachweise sind z.T. zahlenmäßig nicht dokumentiert. Die maßgeblichen Nachweise wurden vom Unterzeichnenden durch Vergleichsrechnungen überprüft; es wurden übereinstimmende Ergebnisse erreicht.

Es wurden die wesentlichen Bemessungsfälle untersucht. Die in DIN 19700 vorgegebenen Sicherheitsbeiwerte sind eingehalten.

#### **5.4.5 Mess- und Kontrolleinrichtungen**

Es sind insgesamt 3 Messquerschnitte vorgesehen, in denen gemessen werden:

- Horizontale und vertikale Verschiebungen der Mauer
- Sohlwasserdrücke
- Sickerwasseranfall
- Temperaturen Beton

In einem vierten Querschnitt werden die Blockfugenbewegungen im Mauerknick gemessen.

Weiterhin werden Wasserstände, Luft- und Wassertemperaturen gemessen.

Es sind insgesamt 4 Beschleunigungssensoren im Bereich des Hauptdammes vorgesehen. Sie sind mit den entsprechenden Geräten in den Dämmen in Verbund geschaltet.

Die in den vorliegenden Unterlagen aufgeführten Messeinrichtungen entsprechen den Vorgaben in DIN 19700.

Eine ausführliche Darstellung ist für die Ausführungsplanung erforderlich.

#### **5.4.6 Prüfbemerkungen**

##### **Konstruktive Ausbildung**

Die geplante konstruktive Ausbildung entspricht der DIN 19700. Die endgültige Ausbildung – insbesondere im Gründungsbereich – ist auf die angetroffenen geotechnischen Gegebenheiten abzustimmen.

### **Gründung, Geotechnische Untersuchungen**

Für die Ausführungsplanung sind ergänzende Baugrunduntersuchungen erforderlich. Hierzu ist ein erweitertes geotechnisches Gutachten zu erstellen, in das auch die Erkenntnisse durch das Freilegen der Gründungssohle fließen.

Der Baugrubenaushub und die Vorbereitung der Gründungssohle sind durch einen Ingenieur-geologen verantwortlich zu begleiten.

### **Walzbeton - RCC**

Der Walzbeton soll mit Zuschlägen hergestellt werden, die vor Ort gewonnen werden und noch aufbereitet werden (z.B. Ausbruch für die Kaverne). Die Eignung der so aufbereiteten Zuschläge ist zu überprüfen. Es ist erforderlich, mit dem Beton in-situ-Versuche durchzuführen. Es ist ein Betonierkonzept erforderlich.

### **Standsicherheitsnachweise**

Die Standsicherheitsnachweise sind für die Ausführungsplanung prüffähig vorzulegen. Es wird empfohlen, für alle Bemessungsfälle eine kontinuumsmechanische Berechnung (Finite-Elemente-Berechnung) durchzuführen. Dabei sind auch Temperaturbeanspruchungen und Eisdruck zu berücksichtigen.

Nachdem sich im Rotliegend bei Nicht-Berücksichtigung der Fundationsblöcke Spannungsüberschreitungen ergeben haben, sind die Nachweise mit Berücksichtigung der Fundationsblöcke durchzuführen.

### **Restrisiko**

Die „Restrisikobetrachtung“ entsprechend DIN 19700 wird mit der Berücksichtigung eines erhöhten Erdbebens durchgeführt. Dabei ergeben sich in Teilbereichen der Mauer bzw. in der Aufstandsfläche sehr hohe Beanspruchungen, die u.U. zu Verschiebungen der Gesamtmauer führen. Die Größenordnung dieser Verschiebungen wurde abgeschätzt; für die Ausführungsplanung sind diese Verschiebungen zu ermitteln (z.B. mit einem Zeitschritt-Verfahren) und nachzuweisen, welche Auswirkungen diese Verschiebungen (z. B. Wasserdurchtritte) haben.

### **Mess- und Kontrollsystem**

Das geplante Mess- und Kontrollsystem ist für die Ausführungsplanung detailliert zu beschreiben. Es ist eine Probestauprogramm vorzulegen.

## **5.5 Abschlussdamm I (Unterbecken)**

### **5.5.1 Kurzbeschreibung**

Eine ausführliche Beschreibung des Abschlussdammens I im Unterbecken ist in den Antragsunterlagen F XII enthalten.

Der Abschlussdamm I sperrt einen Sattel des Duttenberges nach Süden hin ab. Er hat eine größte Höhe von ca. 17.50 m und eine Kronenlänge von 233 m.

Es ist ein Steinschüttdamm mit einer Erdkerndichtung geplant. Die Böschungsneigungen betragen 1:3 an der Wasserseite und 1:2,5 an der Luftseite. Das für die Erdkerndichtung benötigte Material wird vom Gründungsauhub der Hauptsperre gewonnen. Die Wasserseite wird durch einen Steinsatz geschützt. An den Übergängen zwischen Gneis bzw. Rotliegendem und dem Dammkörper werden Übergangsfiler eingebaut.

Der Anschluss der Erdkerndichtung an den Gneis erfolgt durch einen Kerngraben, der ca. 2 m in den Fels einbindet, und im Bereich des Rotliegend mit einem ca. 5 m tiefen Baggerschlitz. Zusätzlich wird ein Injektionsschleier hergestellt, der zur Stauraumabdichtung dient.

Eine Besonderheit liegt darin, dass an der Luftseite eventuelle Sickerwässer gesammelt und in das Becken zurückgepumpt werden.

### **5.5.2 Geologische Situation**

Im Bereich des Abschlussdamms I stehen unterschiedlich mächtige Schichten aus Hangschutt und Hanglehm an. Darunter liegen die Ton- und Schluffsteine des Oberrotliegend bzw. verwitterter bis frischer Gneis. Die oberen Bereiche von mehreren Metern (Oberboden und Vegetationsreste) werden abgetragen, so dass der verwitterte Gneis bzw. das Oberrotliegend erreicht wird.

### **5.5.3 Konstruktion**

Die geplante Konstruktion entspricht den Grundsätzen der anerkannten Regeln der Technik. Dabei sind insbesondere folgende Punkte zu erwähnen:

- Steinschüttdamm mit Erdkerndichtung
- Einbindung des Erdkernes mit einem ergänzenden Kerngraben in den Untergrund
- Ergänzung der Abdichtung mit Injektionsschirm

- Filterschichten zwischen den unterschiedlichen Materialien zum Erreichen der Filterstabilität
- Drainageprisma an der Luftseite mit Sammlung der Sickerwässer
- Stützbauwerk (lokal) am luftseitigen Fuß zur Sicherung einer Straße

Eine Hochwasserentlastungsanlage und eine Grundablass sind auf Grund der lokalen Situation nicht erforderlich. Die Beckenentleerung kann über die betrieblichen Anlagen im Bereich der Hauptmauer erfolgen.

#### 5.5.4 Standsicherheitsnachweise

Die Standsicherheitsnachweise sind in den Antragsunterlagen beschrieben; ihre Ergebnisse sind im Wesentlichen tabellarisch zusammengestellt.

Es wurden die Nachweise „Böschungsbruch“, Gleiten und Spreizen durchgeführt. Die verwendeten Verfahren (z.B. Gleitkreisverfahren) entsprechend den anerkannten Regeln der Technik.

Aufgrund der Dammkonstruktion mit Innendichtung war auch der Standsicherheitsnachweis bei einer „schnellen Absenkung“ erforderlich.

Die dazugehörigen Nachweise sind in den Unterlagen mit Ausnahme der Abschätzung der Verschiebungen beim Extremerdbeben nicht enthalten.

#### Einwirkungen

Die Einwirkungen entsprechen der Zusammenstellung unter Ziffer 4.4.1

Eigenlasten

Wasserdrücke	Stauziel:	400,00 m ü.NN
	Absenkziel:	355,00 m ü.NN
	Kronenstau:	401,70 m ü.NN
	Halbstau	394,00 m ü.NN

jeweils mit den dazugehörigen Sickerströmungskräften

Verkehrs- und Auflasten Ersatzflächenlast  $p' = 33,3 \text{ kN/m}^2$  für SLW 60

Erdbeben Betriebserdbeben, Bemessungserdbeben

Restrisikobetrachtung Erhöhte Erdbebenbeschleunigungen ( $10^{-4}$ )

#### Tragwiderstandsbedingungen

Der Tragwiderstand eines Absperrbauwerkes ist abhängig von seiner Konstruktion und den Eigenschaften der verwendeten Materialien. Dabei ist auch der Untergrund als Teil des Bauwerkes zu betrachten.

Neben der Festigkeit eines Bauteiles sind insbesondere bei den Dammbauwerken auch die Durchlässigkeiten zu beachten. Der Erdkern soll nur eine geringe Durchlässigkeit aufweisen, während die Stützkörper und insbesondere die Dränagen eine sehr hohe Durchlässigkeit aufweisen sollen.

Die Eigenschaften des Untergrundes sind vorgegeben; dabei ist es erforderlich, die Eigenschaften zunächst zu erkunden. Dies erfolgt durch in der Regel durch Bohrungen mit der Entnahme von Bohrkernen. Die Bohrkern sind hinsichtlich ihrer Eigenschaften zu untersuchen. Weiterhin können die Art und die Lage von Schichtungen, Schieferungen und Klüftungen festgestellt werden. Zusätzlich werden Durchlässigkeiten und Wasserwegigkeiten ermittelt.

Die Gebirgseigenschaften wurden durch Bohrungen ermittelt. Die Zahl der Bohrungen und die weiteren Erkundungen sind in Hinblick auf den Entwurf des Abschlussdammes ausreichend; für die Ausführungsplanung sind aber noch ergänzende Untersuchungen erforderlich.

Die Kennwerte für den Untergrund wurden empirisch unter Berücksichtigung der bisher durchgeführten Baugrunduntersuchungen ermittelt. Den Werten wird im Rahmen dieser Entwurfsplanung zugestimmt. Eine abschließende Kontrolle der Kennwerte muss bei der Freilegung der Gründungsfläche erfolgen.

Der Damm besteht aus einem Stützkörper und dem Erdkern.

Der Stützkörper besteht aus gebrochenem Material, das aus den bergmännischen Bauwerken und der Fundierung der Hauptsperre gewonnen wird. Genaue Angaben z.B. aus Großversuchen liegen nicht vor. Die geschätzten Kennwerte (Wichte, Reibungswinkel und Durchlässigkeit) sind plausibel und für die vorliegende Untersuchung ausreichend.

Die Erdkerndichtung soll aus einem aufbereiteten Oberrotliegend aufgebaut werden. Entsprechende Untersuchungen wurden noch nicht durchgeführt; die angesetzten Kennwerte sind plausibel und liegen erfahrungsgemäß auf der sicheren Seite. Im Rahmen der Ausführungsplanung sind aber detaillierte Untersuchungen erforderlich.

Das gleiche gilt für die Kennwerte der Filterschichten. Durch entsprechend Wahl des Kornaufbaues können die angesetzten Werte erreicht werden.

### **Nachweise der Tragsicherheit**

Die Nachweise der Tragsicherheit (Ermittlung der Sicherheitsbeiwerte und Vergleich mit den erforderlichen Sicherheitsbeiwerten) wurden durchgeführt. Die Lastfälle (Kombinationen der

Einwirkungen unter Berücksichtigung der Eingliederung in die Lastgruppen) wurden entsprechend DIN 19700 gewählt. Es wurden die Tragwiderstandsbedingungen A, B und C berücksichtigt. Die Ergebnisse bestätigen eine ausreichend Tragsicherheit.

Im Fall der „schnellen“ Absenkung ergeben sich auf Grund der gewählten Steinschüttung keine Probleme.

Weiterhin wurden die Erosions- und Suffosionssicherheit nachgewiesen. Dazu ist zu bemerken, dass die gewählten Bodenkennwerte zunächst geschätzt bzw. vorgegeben sind. Vor dem Bau sind die Werte des dann verwendeten Materials, das aus einem aufbereiteten Ausbruchsmaterial besteht, noch zu untersuchen.

Bei dem Standsicherheitsnachweis mit Extremerdbeben ergab sich, dass bei solchen Beschleunigungen schollenartige Abbrüche entstehen können. Die ermittelten Verschiebungen sind aber so klein, dass der Dam seine Absperrwirkung nicht verliert.

Die Berechnungen für die vorgelegten Standsicherheitsnachweise sind z.T. zahlenmäßig nicht dokumentiert. Die maßgeblichen Nachweise wurden vom Unterzeichnenden durch Vergleichsrechnungen überprüft; es wurden übereinstimmende Ergebnisse erreicht.

Es wurden die wesentlichen Bemessungsfälle untersucht. Die in DIN 19700 vorgegebenen Sicherheitsbeiwerte sind eingehalten.

#### **5.5.5 Mess- und Kontrolleinrichtungen**

Es sind folgende Mess- und Kontrolleinrichtungen vorgesehen:

- Objektpunkte der geodätischen Lage- und Höhenmessung
- Mehrere Wasserdruckgeber für die Messung der Porenwasserdrücke in verschiedenen Höhen und Gebirgsformationen vorgesehen.
- Sickerwasserabflussmengen
- Beschleunigungssensor (in Verbund mit den Sensoren an den anderen Bauwerken)

Die Ergebnisse der Wasserstände, Luft- und Wassertemperaturen werden von den Geräten der Hauptmauer übernommen.

Die in den vorliegenden Unterlagen aufgeführten Messeinrichtungen entsprechen den Vorgaben in DIN 19700.

Eine ausführliche Darstellung ist für die Ausführungsplanung erforderlich.

## **5.5.6 Prüfbemerkungen (Abschlussdamm I)**

### **Konstruktive Ausbildung**

Die geplante konstruktive Ausbildung entspricht der DIN 19700. Die endgültige Ausbildung – insbesondere im Gründungsbereich – ist auf die angetroffenen geotechnischen Gegebenheiten abzustimmen.

### **Gründung, Geotechnische Untersuchungen**

Für die Ausführungsplanung sind ergänzende Baugrunduntersuchungen erforderlich. Hierzu ist ein erweitertes geotechnisches Gutachten zu erstellen, in das auch die Erkenntnisse durch das Freilegen der Gründungssohle fließen. Die endgültige Gründungssohle kann dann von der derzeit geplanten Gründungssohle abweichen

Der Baugrubenaushub und die Vorbereitung der Gründungssohle sind durch einen Ingenieur-geologen verantwortlich zu begleiten.

### **Dammmaterial**

Die Eigenschaften des Dammmaterials sind im Rahmen der Ausführungsplanung detaillierter zu bestimmen. Es ist erforderlich, durch Großversuche zu ermitteln, durch welche Aufbereitung die erforderlichen Kennwerte erreicht werden können. Dies gilt sowohl für den Stützkörper als auch für den Erdkern.

### **Standsicherheitsnachweise**

Die Standsicherheitsnachweise sind für die Ausführungsplanung unter Berücksichtigung der neu ermittelten Kennwerte in prüffähiger Form vorzulegen.

### **Restrisiko**

Die „Restrisikobetrachtung“ entsprechend DIN 19700 wird mit der Berücksichtigung eines erhöhten Erdbebens durchgeführt. Dabei ergeben sich rechnerisch schollenartige Abbrüche von der Krone aus mit Verschiebungen von einigen Zentimetern. Die Absperrwirkung ist damit nicht gefährdet. Die Nachweise sind für die Ausführungsplanung mit den tatsächlichen Bodenkennwerten zu ergänzen.

## **Mess- und Kontrollsystem**

Das geplante Mess- und Kontrollsystem ist für die Ausführungsplanung detailliert zu beschreiben. Es ist ein Probestauprogramm vorzulegen.

## **5.6 Abschlussdamm II (Unterbecken)**

### **5.6.1 Kurzbeschreibung**

Eine ausführliche Beschreibung des Abschlussdamms II im Unterbecken ist in den Antragsunterlagen F XIII enthalten.

Der Abschlussdamm II sperrt das Haselbecken in südöstlicher Richtung ab und befindet sich in einer Muldensituation zwischen dem nördlich gelegenen Röthekopf und dem südlich gelegenen Scheffelfelsen sowie anschließend dem Bergsee. Entsprechend den Antragsunterlagen liegt der Abschlussdamm II hierbei auf der Wasserscheide zwischen Schöpfebach und Gewerbebach und hat eine maximale Höhe von rd. 20 m über Gründungssohle in der Dammachse.

Vorgesehen ist, den als Steinschüttdamm mit wasserseitiger Asphaltbetondichtung geplanten Damm wasserseitig mit einer durchgehenden Böschungsneigung von 1:3 (v/h) sowie luftseitig mit einer Böschungsneigung von 1:2,5 (v/h) auszuführen. Wasserseitig ist am Dammfuß eine rd. 10 m breite Beckenrampe (Berme) sowie luftseitig eine 5 m breite Berme zur Verlegung der Günnebacher Straße vorgesehen. Mit einer Dammkronenbreite von rd. 10 m ergibt sich eine Dammkronenlänge von rd. 168 m zwischen den beiden steilen Talflanken. Unter Berücksichtigung eines Stauziels im Unterbecken von 400 m NN sowie eines erforderlichen Freibords von 1,7 m ergibt sich eine Kronenhöhe des Abschlussdamms II von 401,70 m NN. Die Aufstandsweite beträgt bis zu 120 m. Die Böschungsneigung zur Luftseite wird den Erfordernissen der dort auf der Schüttung liegenden Straße (Günnebacher Straße) wie auch dem die Baugrenze bildenden Schöpfebach flexibel angepasst.

Als wasserseitige Abdichtungselemente sieht der Entwurf eine am Dammfuß ansetzende und bis zu 3 m in den anstehenden Gneis einbindende Dichtwand (überschnittene Bohrpfahlwand mit Injektionsleerrohren) vor, welche mittels Kopfbalken an die geplante Oberflächendichtung (Asphaltbeton) anschließt.

An den beiden Talflanken soll ein fächerförmiger Dichtschleier mittels Düsenstrahlverfahren hergestellt werden. Weiterhin soll luftseitig eine bis rd. 20 m in den Fels (aufgelockerter Gneis) reichende Brunnengalerie hergestellt werden (hydraulische Barriere für das Heilquellenschutzgebiet Bad Säckingen).

### 5.6.2 Geologische Situation

Das geologische Querprofil im Bereich der Achse des Abschlussdammes II zeigt ein in das Grundgebirge (Gneis) tief eingeschnittenes Tal, welches mit Beckenton und Hangschutt weitgehend verfüllt ist. Der Talgrund ist im Bereich der Dammaufstandsfläche flach gemuldet und fällt sowohl zum Haselbachtal wie auch zum Gewerbebachtal hin relativ flach ab. Die Schichtmächtigkeiten der Lockergesteinsfüllungen sind dabei in etwa symmetrisch entlang der Talachse verteilt angeordnet. Im Bereich der Achse des Abschlussdammes II ist von Mächtigkeiten der quartären Lockergesteinsablagerungen von bis zu rd. 72 m auszugehen. Entsprechend den Antragsunterlagen F.XIII besteht diese Lockergesteinsüberlagerung im oberen Bereich aus einer weichen, überwiegend tonig-schluffigen Hanglehmschicht (ca. 12 m) und darunter aus überwiegend kiesigem Hangschutt mit Blockeinlagerungen (bis ca. 60 m). Darunter folgen nach Übergangszonen geklüftete Ton-/Schluffsteine des Oberrotliegend auf anstehendem Fels (Kristallin der Murgtal Gneis-Anatexit-Formation).

Der Abschlussdamm II selbst wird auf den anstehenden und setzungs-empfindlichen quartären Lockergesteinsablagerungen sowie jeweils randlich auf dem gut tragfähigen und i.A. gering, nur an Trennflächen durchlässigen Gneis gegründet. Es ist eine Bodenverbesserungsmaßnahme im Hanglehm vorgesehen, die bis in den blockigen Hangschutt reicht.

### 5.6.3 Konstruktion

Die geplante Konstruktion entspricht den Grundsätzen der anerkannten Regeln der Technik. Dabei sind insbesondere folgende Punkte zu erwähnen:

- Steinschüttdamm mit wasserseitiger Asphaltbetondichtung
- Dichtschürze (Bohrpfahlwand am wasserseitigen Fuß)
- Abdichtung an den Hängen mit Injektionsschirm
- Drainageprisma an der Luftseite
- Baugrundverbesserung zur Erhöhung der Tragfähigkeit und Reduzierung der Setzungen

Die Dichtwand am wasserseitigen Fuß bindet in den Fels ein und ist somit in vertikaler Richtung als „steif“ zu betrachten. Der Damm ist auf einem verformbaren Untergrund gegründet. Um Differenzverformungen am Anschluss Dichtwand / Oberflächendichtung weitgehend zu verhindern, soll die Dammschüttung bereits vor der Herstellung der Dichtwand hergestellt werden, so dass die wesentlichen Setzungen bereits abgeklungen sind.

Eine Hochwasserentlastungsanlage und eine Grundablass sind auf Grund der lokalen Situation nicht erforderlich. Die Beckenentleerung kann über die Hauptmauer erfolgen. Auf Grund des Betriebes als Pumpspeicherbecken ist eine Hochwasserentlastung nicht erforderlich.

#### 5.6.4 Standsicherheitsnachweise

Die Standsicherheitsnachweise sind in den Antragsunterlagen beschrieben; ihre Ergebnisse sind im Wesentlichen tabellarisch zusammengestellt.

Es wurden die Nachweise „Böschungsbruch“, Gleiten und Spreizen durchgeführt. Die verwendeten Verfahren (z.B. Gleitkreisverfahren) entsprechend den anerkannten Regeln der Technik.

Die dazugehörigen Nachweise sind in den Unterlagen mit Ausnahme der Abschätzung der Verschiebungen beim Extremerebeben nicht enthalten.

Die zahlenmäßigen Ergebnisse wurden durch unabhängige Vergleichsrechnungen überprüft.

#### Einwirkungen

Die Einwirkungen entsprechen der Zusammenstellung unter Ziffer 4.4.1

Eigenlasten

Wasserdrücke	Stauziel:	400,00 m ü.NN
	Absenkziel:	355,00 m ü.NN
	Kronenstau:	401,70 m ü.NN
	Halbstau	390,00 m ü.NN

jeweils mit den dazugehörigen Sickerströmungskräften

Verkehrs- und Auflasten Ersatzflächenlast  $p' = 33,3 \text{ kN/m}^2$  für SLW 60

Erdbeben Betriebserdbeben, Bemessungserdbeben

Restrisikobetrachtung Erhöhte Erdbebenbeschleunigungen ( $10^{-4}$ )

Die angesetzten Einwirkungen entsprechen den erforderlichen Lastansätzen.

#### Tragwiderstandsbedingungen

Der Tragwiderstand eines Absperrbauwerkes ist abhängig von seiner Konstruktion und den Eigenschaften der verwendeten Materialien. Dabei ist auch der Untergrund als Teil des Bauwerkes zu betrachten.

Die Eigenschaften des vorhandenen Untergrundes sind vorgegeben. Die Eigenschaften wurden durch Bohrungen erkundet. Dabei ergab sich, dass einerseits die Durchlässigkeit relativ groß ist und andererseits große Setzungen zu erwarten sind. Dem soll durch die wasserseitige Dichtwand und durch eine Baugrundverbesserung entgegengewirkt werden. Letzteres erfolgt durch

Rüttelstopfsäulen im Bereich der Hanglehmschicht. Damit wird auch der Reibungsbeiwert vergrößert.

Die Kennwerte für den so aufbereiteten Untergrund wurden abgeschätzt. Den Werten wird im Rahmen der Entwurfsplanung zugestimmt. Eine abschließende Kontrolle muss nach Freilegung der Gründungssohle und der Durchführung der Bodenverbesserung erfolgen.

Der Stützkörper besteht aus gebrochenem Material, das aus den bergmännischen Bauwerken und der Fundierung der Hauptsperre gewonnen wird. Die geschätzten Kennwerte (Wichte, Reibungswinkel und Durchlässigkeiten) sind plausibel und für die vorliegende Auswertung ausreichend. Die Eigenschaften können durch die Art der Aufbereitung gesteuert werden.

An der Wasserseite ist eine Asphaltbetondichtung vorgesehen. In den Nachweisen werden für den Widerlagerzustand B Leckagen der Dichtung, für den Widerlagerzustand C ein vollständiger Ausfall der Abdichtung angenommen.

### **Nachweise der Tragsicherheit**

Die Nachweise der Tragsicherheit (Ermittlung der Sicherheitsbeiwerte und Vergleich mit den erforderlichen Sicherheitsbeiwerten) wurden durchgeführt. Die Lastfälle (Kombinationen der Einwirkungen unter Berücksichtigung der Eingliederung in die Lastgruppen) wurden entsprechend DIN 19700 gewählt. Es wurden die Tragwiderstandsbedingungen A, B und C berücksichtigt. Die Ergebnisse bestätigen eine ausreichend Tragsicherheit.

Die gewählten Bodenkennwerte für den Damm wurden zunächst geschätzt. Vor dem Bau sind die Werte des dann verwendeten Materials, das aus einem aufbereiteten Ausbruchsmaterial besteht, noch zu untersuchen. Das gleiche gilt für die Bodenverbesserung des Untergrundes.

Bei den Nachweisen mit Erdbeben ist davon auszugehen, dass die wasserseitige Abdichtung Leckagen erhält oder ganz ausfällt. Es wurde nachgewiesen, dass die Standsicherheit des Dammes dabei nicht gefährdet ist.

Bei dem Standsicherheitsnachweis mit Extremerebeben ergab sich, dass bei solchen Beschleunigungen schollenartige Abbrüche entstehen können. Die ermittelten Verschiebungen sind aber so klein, dass der Damm seine Absperrwirkung nicht verliert.

Die Berechnungen für die vorgelegten Standsicherheitsnachweise sind z.T. zahlenmäßig nicht dokumentiert. Die maßgeblichen Nachweise wurden vom Unterzeichnenden durch Vergleichsrechnungen überprüft; es wurden übereinstimmende Ergebnisse erreicht.

Es wurden die wesentlichen Bemessungsfälle untersucht. Die in DIN 19700 vorgegebenen Sicherheitsbeiwerte sind eingehalten.

### 5.6.5 Mess- Und Kontrolleinrichtungen

Es sind folgende Mess- und Kontrolleinrichtungen vorgesehen:

- Objektpunkte der geodätischen Lage- und Höhenmessung
- Wasserdruckgeber im Damm und im Untergrund (letztere wasser- und luftseitig der Dichtwand, um die Wirksamkeit der Dichtwand zu prüfen)
- Setzungsmesspegel zur Überprüfung der Setzungen des Untergrundes im Bauzustand und im Betrieb
- Faseroptische Temperatursonde zur Feststellung eventueller Leckagen der Asphaltbetondichtung
- Sickerwasserabflussmengen in Verbindung mit einer Brunnengalerie am luftseitigen Dammfuß
- Beschleunigungssensor (in Verbund mit den Sensoren an den anderen Bauwerken)

Die Ergebnisse der Wasserstände, Luft- und Wassertemperaturen werden von den Geräten der Hauptmauer übernommen.

Die in den vorliegenden Unterlagen aufgeführten Messeinrichtungen entsprechen den Vorgaben in DIN 19700.

Eine ausführliche Darstellung ist für die Ausführungsplanung erforderlich.

### 5.6.6 Prüfbemerkungen

#### **Konstruktive Ausbildung**

Die geplante konstruktive Ausbildung entspricht der DIN 19700. Die endgültige Ausbildung – insbesondere im Gründungsbereich – ist auf die angetroffenen geotechnischen Gegebenheiten abzustimmen.

#### **Gründung, Geotechnische Untersuchungen**

Für die Ausführungsplanung sind ergänzende Baugrunduntersuchungen erforderlich. Hierzu ist ein erweitertes geotechnisches Gutachten zu erstellen, in das auch die Erkenntnisse durch das Freilegen der Gründungssohle fließen. Dabei müssen auch die Maßnahmen zur Baugrundverbesserung (Rüttelstopfsäulen) und der Zeitverlauf der Setzungen bei der Dammschüttung bewertet werden.

### **Dammmaterial**

Die Eigenschaften des Dammmaterials sind im Rahmen der Ausführungsplanung detaillierter zu bestimmen. Es ist erforderlich, durch Großversuche zu ermitteln, durch welche Aufbereitung die erforderlichen Kennwerte erreicht werden können. Dies gilt sowohl für den Stützkörper als auch für den Erdkern.

### **Standsicherheitsnachweise**

Die Standsicherheitsnachweise sind für die Ausführungsplanung unter Berücksichtigung der neu ermittelten Kennwerte in prüffähiger Form vorzulegen.

### **Betriebs- und Bemessungserdbeben**

Abweichend von den Angaben in den Antragsunterlagen ist die Asphaltbetondichtung bereits bei Überschreitung des Betriebserdbebens auf Risse zu kontrollieren.

### **Restrisiko**

Die „Restrisikobetrachtung“ entsprechend DIN 19700 wird mit der Berücksichtigung eines erhöhten Erdbebens durchgeführt. Dabei ergeben sich rechnerisch schollenartige Abbrüche von der Krone aus mit Verschiebungen von einigen Zentimetern. Die Absperrwirkung ist damit nicht gefährdet. Die Nachweise sind für die Ausführungsplanung mit den tatsächlichen Bodenkennwerten zu ergänzen.

### **Mess- und Kontrollsystem**

Das geplante Mess- und Kontrollsystem ist für die Ausführungsplanung detailliert zu beschreiben. Es ist eine Probestauprogramm vorzulegen.

## **6 Baugrube für die Hauptsperre Unterbecken**

### **6.1 Kurzbeschreibung**

Zum Bau der Hauptmauer muss ein Baugrubenaushub bis zur Aufstandsfläche der Mauer vorgenommen werden. Die Aushubtiefe beträgt bis zu ca. 55 m. Diese Maßnahme ist eine Bauhilfsmaßnahme; es wird im Folgenden die Machbarkeit bewertet.

Der anstehende Boden ist bindig und liegt überwiegend in weicher bis steifer Konsistenz vor. Oberflächennah stehen Hanglehme an. Darunter liegen Beckentonablagerungen. Als natürliche Hangneigung würde sich eine Neigung von ca. 1:3 ergeben.

Zur Vermeidung eines zu großen Baugrubenaushubes mit den damit verbundenen Fragestellungen der Zwischenlagerung und Transportkosten ist vorgesehen, durch Stützmaßnahmen und Bodenverbesserungen eine globale Neigung der Baugrubenböschungen (einschließlich Bermen) von etwa 1:1,6 zu erreichen. Dabei sollen die einzelnen Teilabschnitte nicht steiler als 1:1,1 sein.

Angaben über die im späteren Beckenbereich bzw. östlich der Baugrube vorgesehenen Materialzwischenlagerungen liegen nicht vor.

## 6.2 Geologische Situation

Das geologische Querprofil in der Achse der Hauptsperre zeigt ein in das Grundgebirge (Gneis) tief eingeschnittenes Tal, welches mit Beckenton und Hangschutt weitgehend verfüllt ist. Die quartären Lockergesteinsablagerungen weisen eine Mächtigkeit von bis zu 50 m mit unterlagernden Beckentonen (rund 35 m) und überlagernden Hanglehmen auf. Darunter folgt nach einer Überlagerungszone (Basiskonglomerate) anstehender Fels. Im linken Hangbereich steht Oberrotliegend an.

Die Hanglehme weisen eine überwiegend steife bis halbfeste Konsistenz und die Beckentone eine weiche bis steife oder auch breiige sowie halbfeste Konsistenz auf.

Die Hauptsperre soll auf dem anstehende Gneis bzw. auf dem Oberrotliegend gegründet werden.

Auf Grund der vorliegenden Untersuchungen wird von einem Grundwasserstand im Haselbachtal bis auf Geländeoberkante ausgegangen. In den Schichtpaketen ist zumindest teilweise von artesisch gespannten Grundwasserverhältnissen auszugehen. Genaue Kenntnisse zum Grundwasser liegen aber nicht vor.

Insgesamt beruhen diese Annahmen auf einer relativ geringen Zahl von Untersuchungsstellen.

## 6.3 Konstruktive Ausbildung

Die konstruktive Ausbildung ist in 6.1 kurz beschrieben.

Als Maßnahmen sind vorgesehen:

- Bermen (z.T. befahrbar) dienen auch zum Einbau der Bodenverbesserungsmaßnahmen
  - Bermenbreite für Baustellenverkehr: 8 m
  - Sonstige Bermen 3 m
  - Vertikale Bermenabstände: 9 m

- Spritzbetonsicherung mit Vernagelung aller Böschungen
  - Drainageöffnungen in den Spritzbetonwänden
- Bodenverbesserung mit Rüttelstopfsäulen
  - Die Rüttelstopfsäulen aus gebrochenem Gneis sollen die Scherfestigkeit und die Drainagefähigkeit der Beckentonschichten verbessern.
- Wasserhaltungsmaßnahmen
  - Entwässerung der Hanglehme und der Beckentone neben einer geordneten Ableitung von Oberflächen- und Niederschlagswasser durch die Rüttelstopfsäulen und durch tiefreichende Brunnen.

#### 6.4 Standsicherheitsnachweise

Für die Böschungen sind Standsicherheitsnachweise durchzuführen. Dabei wird ähnlich wie bei den Bauwerken eine Gegenüberstellung der Einwirkungen und der Widerstände vorgenommen

Als **Einwirkungen** sind zu berücksichtigen:

Eigenlasten

Wasserdrücke (Grundwasser, Porenwasserdrücke)

Verkehrslasten (insbesondere Baumaschinen auf den Bermen)

Erdbeben (100-jähriges Erdbeben; entsprechend dem seismologischen Gutachten)

Bei der Berücksichtigung des Erdbebens darf ein reduzierter globaler Sicherheitsbeiwert berücksichtigt werden. Die Wahl des 100-jährigen Ereignisses wird mit der relativ kurzen Standzeit der Baugrube (ca. 5 Jahre) begründet.

Die **Widerstände** ergeben sich aus dem Tragverhalten der verbesserten Bodeneigenschaften (z.B. Rüttelstopfsäulen) in Zusammenhang mit den ergänzenden technischen Maßnahmen (mit Felsnägeln gesicherte Spritzbetonsicherung) sowie der Wasserdruckenstspannung. Die Kennwerte insbesondere der Bodenverbesserung können erst nach Vorlage aller Konstruktionsunterlagen bestimmt werden. Diese für die Standsicherheit erforderlichen Kennwerte sind dann bekannt; die Bodenverbesserung kann dann gezielt so vorgenommen werden, dass die erforderlichen Kennwerte auch erreicht werden. Voraussichtlich sind Großversuche erforderlich.

Die **Standsicherheitsnachweise** wurden mit geschätzten bzw. aus der Literatur entnommenen Werten durchgeführt. Sie ergaben ausreichende Sicherheiten. Für die Ausführungsplanung sind die entsprechenden Kennwerte genauer zu bestimmen.

Für den Standsicherheitsnachweis bei Erdbeben sind keine zahlenmäßigen Angaben vorhanden. Die überschlägige Überprüfung ergab aber eine ausreichende Standsicherheit.

## 6.5 Mess- und Kontrolleinrichtungen

Auch für die Baugrube ist eine Überwachung erforderlich. Ein entsprechendes Überwachungssystem ist in den Antragsunterlagen grob dargestellt; es ist noch detaillierter anzugeben.

## 6.6 Bewertung

Die vorgesehene Ausbildung der Baugrube ist im Wesentlichen durch das Erfordernis geprägt, den Massenaushub auf ein Minimum zu beschränken. Die vorgesehenen Abmessungen (insbesondere geprägt durch die mittlere Böschungsneigung) entsprechen dieser Vorgabe.

Die Baugrube ist eine Bauhilfsmaßnahme; nach der Fertigstellung der Hauptmauer wird sie wieder verfüllt. Im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens braucht deshalb nur die Baubarkeit bewertet werden.

In den Unterlagen wird eine Methode für die Erstellung der Baugrubenwände (im Wesentlichen Rüttelstopfsäulen mit Drainage und Spritzbetonsicherung der Böschungen mit Vernagelung sowie Wasserdruckentspannung) dargestellt. Es gibt noch andere Möglichkeiten, die u.a. auch durch die zur Verfügung stehenden Großgeräte bestimmt sind. Die Baubarkeit kann bestätigt werden; die tatsächliche Planung muss jedoch auf die noch detaillierter zu untersuchenden Untergrundverhältnisse abgestimmt werden.

Bei der Planung ist insbesondere auf die Entwässerung der relativ dichten anstehenden Böden zu achten. Die Böden sind durch weitere Untersuchungen zu erkunden. Es wird darauf hingewiesen, dass insbesondere die Vakuumentwässerung Probleme bieten kann.

Der Sonderregelung für den Nachweis der Standsicherheit bei Erdbeben (Jährlichkeit  $10^{-2}$ ) wird zugestimmt. Die Standsicherheit der angrenzenden Hänge bei Erdbeben ist durch ergänzende Bewertungen zu ergänzen.

Aufgrund der nicht gesicherten geotechnischen Bedingungen (z.B. Wirksamkeit der Grundwasserentspannung) konnte keine abschließende Prüfung vorgenommen werden.

## 6.7 Prüfbemerkungen

Die Baugrundeigenschaften sind für die Ausführungsplanung durch ergänzende Untersuchungen weiter zu erkunden. Die Ergebnisse sind von einem Ingenieurgeologen zu bewerten.

Die tatsächliche Ausführung der Baugrube darf von der vorliegenden Planung abweichen. Die gewählte Baugrubengröße sollte dabei beibehalten werden. In jedem Fall sind ausführliche statische Untersuchungen durchzuführen.

Die in den Untersuchungen anzusetzenden Kennwerte sind abhängig von den Maßnahmen zur Bodenverbesserung, von der gewählten Konstruktion der Böschungssicherungen sowie der Grundwasserentspannung. Diese Maßnahmen sind von einem Ingenieurgeologen zu begleiten; voraussichtlich sind Großversuche erforderlich.

Die Standsicherheitsnachweise sind prüffähig vorzulegen.

Für die Baugrube ist ein Mess- und Kontrollsystem mit einem Überwachungskonzept erforderlich.

Der Rückbau der Baugrube ist zu planen; dabei sind insbesondere die zur Verfügung stehenden Materialien sowie deren Einbau (und auch z.B. Verdichtung) zu beachten.

## 7 Zusammenfassung

Die Schluchseewerk AG hat für das geplante Pumpspeicherkraftwerk Atdorf Antragsunterlagen zum Planfeststellungsverfahren vorgelegt. Der Unterzeichnende wurde vom Landratsamt Waldshut beauftragt, die Unterlagen zu den Absperranlagen und zur Baugrube der Hauptmauer insbesondere in Hinblick auf die nach DIN 19700 erforderlichen Sicherheitsnachweise zu prüfen.

Die Sicherheit von Stauanlagen ergibt sich aus

- einem fachgerechten konstruktiven „robusten“ Entwurf
- den Standsicherheitsnachweisen unter Berücksichtigung der Einwirkungen und der Tragwiderstände
- der plangerechten Herstellung
- einer Überwachung während der gesamten Standzeit mit einem Mess- und Kontrollsystem

Stauanlagen bestehen aus dem Zusammenwirken von Bauwerk und Untergrund. Dabei werden für die Bauwerke möglichst Materialien verwendet, die in der näheren Umgebung gewonnen werden können. Damit ergeben sich im vorliegenden Fall unterschiedliche Konstruktionen für die einzelnen Absperrbauwerke.

Das Oberbecken auf dem „Anhau“ erhält einen ca. 2,5 km langen Ringdamm, der mit dem Aushubmaterial für das Becken erstellt wird. Zur Abdichtung der Beckensohle und der Wasserseite des Dammes wird eine Asphaltbetonabdichtung aufgebracht. Die Gründung des Ringdammes erfolgt auf Fels (Gneis), zum Teil aber auch auf dem Verwitterungsprodukt „Berglesand“.

Das Unterbecken im Haselbachtal wird durch die bis zu 116 m hohe Hauptmauer aus Walzbeton (RCC) sowie durch zwei Abschlussdämme abgeschlossen. Der Untergrund des Haselbachtals besteht aus Gneis, der mit Rotliegend sowie Beckentonen und Hanglehmen überdeckt ist.

Die Baugrube für die Hauptmauer ist etwa 50 m tief. Die Böschungen wurden relativ steil entworfen (Neigung im Mittel 1:1,6), um die Aushubmassen zu begrenzen. Die Sicherung besteht aus Spritzbeton-Nagelwänden in Verbindung mit einer Baugrundverbesserung (Rüttelstopfsäulen) sowie einer tiefreichenden Grundwasserentspannung.

Das Hauptabsperrbauwerk wurde als Mauer gewählt, um die Fußabmessungen und somit auch die Baugrube möglichst klein zu halten. Die Herstellung aus Walzbeton entspricht dem internationalen Stand der Technik für solche Mauern. Die Betonzuschläge werden aus dem Ausbruchmaterial (insbesondere Kaverne und Stollen) aufbereitet.

Der Abschlussdamm I mit etwa 20 m Höhe ist ein Steinschüttdamm, der auf Fels bzw. verwittertem Fels gegründet werden kann. Er erhält eine Innendichtung aus einem aufbereitetem Rotliegend, der Stützkörper besteht aus gebrochenem Material; beides wird beim Aushub der Baugrube für den Hauptdamm gewonnen.

Der Abschlussdamm II schließt einen Sattel zwischen zwei Hängen an der Ostseite des Unterbeckens ab. Dort sind mächtige quartäre Deckschichten aus Hanglehm und kiesigem Hangschutt vorhanden. Es wurde ein Damm entworfen, dessen Stützkörper auf dem mit Rüttelstopfsäulen verbesserten Hanglehm auflagert. Der Damm erhält eine Oberflächenabdichtung aus Asphaltbeton, die mit einer wasserseitigen Dichtwand (z.B. überschnittene Bohrpfahlwand), die bis in den Fels reicht, verbunden ist.

Die Konstruktion der Absperrbauwerke entspricht den anerkannten Regeln der Technik.

Die Geologie des Gebirges im Bereich der geplanten Pumpspeicheranlage wurde umfangreich untersucht. Für die Ausführungsplanung der Absperrbauwerke und der Baugrube sind trotzdem noch weitere Untersuchungen erforderlich, die durch die Erkenntnisse bei der Freilegung der Gründungsflächen und der Maßnahmen zur Bodenverbesserungen ergänzt werden. Ebenfalls für die Ausführungsplanung muss die Eignung der für die Bauwerke verwendeten Aushubmaterialien überprüft und deren Aufbereitung durch Großversuche getestet werden.

Die anzusetzenden Einwirkungen entsprechen den Angaben in der DIN 19700. Dies gilt auch für die Beanspruchung durch Erdbeben (hierfür wurden umfangreiche Auswertungen vorgenommen). Die Standsicherheitsnachweise wurden unter Berücksichtigung des in der Norm vorgesehenen Sicherheitskonzeptes (verschiedene Bemessungsfälle mit den dazugehörigen Einwirkungskombinationen und Tragwiderständen) durchgeführt. Die Nachweise wurden durch Vergleichsrechnungen bestätigt. Für eine Ausführungsplanung sind die Nachweise mit den dann aktualisierten Kennwerten prüffähig vorzulegen.

Die DIN 19700 sieht eine Restrisikobetrachtung vor. Dabei sollen Einwirkungen betrachtet werden, die über die nachzuweisenden Größen hinausgehen. Ein Hochwasserrisiko musste auf Grund der Funktion des Pumpspeicherbetriebes nicht berücksichtigt werden. Es wurde jedoch ein Erdbeben angesetzt, das wesentlich über dem nach DIN 19700 anzusetzenden Beben liegt. Bei diesem Erdbeben (Wiederkehrperiode 10.000 Jahre) ergeben sich weder bei der Mauer noch bei den Dämmen Probleme hinsichtlich der Standsicherheit. Die sich möglicherweise ergebenden Undichtigkeiten in den Asphaltbetondichtungen und kleinere schollenartige Abbrüche bei den Dämmen führen zu keinen katastrophalen Folgen.

Bei allen Anlagen sind Mess- und Kontrolleinrichtungen geplant, die den Vorgaben in DIN 19700 entsprechen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die in den Planfeststellungsunterlagen behandelten Absperrbauwerke den Anforderungen der gültigen Normen entsprechen. Die Baubarkeit und die Standsicherheit der Anlagen wurden nachgewiesen. Für die Ausführungsplanung sind weitergehende Untersuchungen und Bearbeitungen erforderlich.