

Pumpspeicherwerk Forbach – Neue Unterstufe

**Antragsunterlagen zum
Planfeststellungsverfahren**

Antragsteil B.VII.1 Tragwerksplanung Lastenheft Massivbau

Stand: 30.11.2018



Pumpspeicherwerk Forbach – Neue Unterstufe

Antragsunterlagen zum Planfeststellungsverfahren

Antragsteil B.VII.1 Tragwerksplanung Lastenheft Massivbau

Unterschriftenblatt:

Antragstellerin:

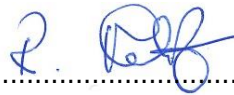
EnBW AG
Schelmenwasenstraße 15
70567 Stuttgart



.....
(i. A. U. Gommel)

Stuttgart, den 30.11.2018

Bearbeiter/Verfasser:



.....
(R. Achatz)

München, den 30.11.2018

Pumpspeicherwerk Forbach – Neue Unterstufe

Antragsunterlagen zum Planfeststellungsverfahren

Antragsteil B.VII.1 Tragwerksplanung Lastenheft Massivbau

Dokumentenprüfblatt:

Rev.	Art der Änderung	erstellt (Datum)	Autor	geprüft, freig., Name
0	Ersterstellung	25.01.2018	IAF	geprüft: Achatz
1	Überarbeitung zur Vollständigkeitsprüfung	30.11.2018	IAF	geprüft: Achatz freig.: Gommel
2				

Projekt:

Pumpspeicherwerk Forbach

**Genehmigungsplanung Neue Unterstufe
B.VII.1**

Tragwerksplanung Lastenheft Massivbau

Auftraggeber:

EnBW Energie Baden-Württemberg AG
Schelmenwasenstraße 15
70567 Stuttgart

Auftragnehmer:

Ingenieurarbeitgemeinschaft PSW Forbach
bestehend aus:

Lahmeyer Hydroprojekt GmbH

Geoconsult ZT GmbH

Lahmeyer International GmbH

c/o Lahmeyer Hydroprojekt GmbH
Elsenheimerstraße 11
80687 München

Projektleitung:

Dipl.-Ing. Robert Achatz

Bearbeitung:

Dipl.-Ing. (FH) Bernd Distler

München, 30.11.2018

Ing.-ARGE PSW Forbach

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "R. Achatz".

Robert Achatz
Projektleiter

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "B. Distler".

Bernd Distler
Projektbearbeiter

INHALTSVERZEICHNIS

1	Allgemeines.....	6
1.1	Inhalt und Zweck	6
1.2	Geltungsbereich	6
2	Grundlagen, Vorschriften und Richtlinien.....	7
2.1	Arbeitsgrundlagen	7
2.2	Normen	7
2.3	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen (ZTV)	9
2.4	Richtlinien.....	9
3	Kurzbeschreibung der Kraftwerkskaverne.....	10
3.1	Kavernenteil Schwarzenbachwerk.....	10
3.2	Kavernenteil Transformatoren	11
4	Geologie/Hydrologie.....	13
4.1	Allgemein	13
4.2	Geologischer Überblick	13
4.3	Gebirgsdurchlässigkeit	13
4.4	Grundwasser	13
4.5	Betonaggressivität	13
4.6	Verformungs-/Steifemodul	14
4.7	Einaxiale Druckfestigkeit	14
5	Gründung des Maschinen- und Montageblocks.....	15
5.1	Bemessungsnormen und Sicherheitskonzept.....	15
5.2	Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen.....	15
5.3	Geotechnische Nachweise	16
5.3.1	Bemessungsbeanspruchung und Bemessungssituation	16
5.3.2	Grenzzustände der Tragfähigkeit (GZT)	16
6	Kavernenteil Schwarzenbachwerk, statisch-konstruktive Grundlagen	17
6.1	Entwurf der Baukonstruktion.....	17
6.1.1	Maschinenblock.....	17

6.1.2	Montageblock	17
6.2	Rissbreitenbeschränkung	17
6.3	Betoneigenschaften und Expositionsklassen	19
6.4	Betondeckung und Betonstahl.....	19
6.5	Kriechen und Schwinden	19
6.6	konstruktive Mindestbewehrung nach DIN 19702 [27] Kap. 7.3.....	20
6.7	Ermüdungsfestigkeitsnachweis nach EC 2	20
6.8	räumliche Bewehrung.....	20
7	Kavernenteil Schwarzenbachwerk, Sicherheitsnachweise	
	Massivbauwerke	21
7.1	Einwirkungen/Lasten	21
7.1.1	Vorbemerkungen	21
7.1.2	Eigenlasten.....	21
7.1.3	Lasten aus Brückenkränen	21
7.1.4	Felsdruck.....	23
7.1.5	Lasten aus Neben- und Hilfseinrichtungen	24
7.1.6	Raumbezogene Nutz-/Verkehrslasten	25
7.1.7	Grundwasserstände/Auftrieb	28
7.1.8	Temperatureinwirkungen	28
7.1.9	Belastungen aus Erdbeben.....	29
7.1.10	Füllstandhöhen der Pumpensümpfe	30
7.1.11	Sonderlastfall Störlichtbogen	30
7.2	Lasten/Lastzustände aus den Hauptkomponenten der maschinen- und elektrotechnischen Ausrüstung.....	31
7.2.1	Motorgenerator	31
7.2.2	Pumpturbine	31
7.2.3	Spiralgehäuse.....	33
7.2.4	Saugrohr und Saugrohrschütz	35
7.2.5	Kugelschieber.....	36
7.3	Montage- und Revisionslasten der Hauptkomponenten der maschinentechnischen Ausrüstung und Kranprüflasten	37
7.3.1	Standort.....	37
7.3.2	Stator.....	37

7.3.3	Rotor.....	37
7.3.4	Kugelschieber Vormontageplatz	38
7.3.5	Prüfgewichte für Hauptkran	38
7.4	Weitere Lasten auf das Bauwerk während der Ortsfertigung und Montage	38
7.4.1	Montage des Spiralgehäuses	38
7.4.2	Spiralgehäuse-Montage am Einbauort.....	38
7.4.3	Saugrohr-Montage.....	38
7.5	Lasten aus Kleinhebezeugen und Montagehilfsmitteln	39
7.6	Bemessungslasten und Lastfallkombination für die maschinentechnische Hauptausrüstung	39
7.7	Bemessungssituation	40
7.8	Nachweise.....	41
7.8.1	Grenzzustände der Tragfähigkeit.....	41
7.8.2	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	42
8	Bauwerkssteifigkeit und Schwingungsberechnung des Maschinenblock-Fundamentes	43
8.1	Fundamentblock - Auflagersteifigkeit.....	43
8.2	Eigenfrequenzen	43
8.2.1	Grenzwerte für den Motorgenerator-Bereich.....	43
8.2.2	Grenzwerte für den Pumpturbinen-Bereich	43
9	Kavernenteil Transformatoren	44
9.1	Entwurf der Baukonstruktion.....	44
9.2	Rissbreitenbeschränkung	45
9.3	Betoneigenschaften und Expositionsklassen	46
9.4	Betondeckung und Betonstahl.....	46
9.5	Kriechen und Schwinden	46
9.6	Konstruktive Mindestbewehrung.....	46
9.7	Ermüdungsfestigkeitsnachweise nach EC 2	46
9.8	Einwirkungen.....	47
9.8.1	Eigenlasten.....	47
9.8.2	Lasten aus Wandschwenkkran 5 t	47
9.8.3	Nutz-/Verkehrslasten	47

9.8.4	Grundwasserstände/Auftrieb	48
9.8.5	Felsdruck.....	48
9.8.6	Temperatureinwirkungen	49
9.8.7	Belastungen aus Erdbeben.....	49
9.9	Lasten aus Ausrüstung und Nebeneinrichtungen	49
9.9.1	Generatorableitung (Raum U101TK)	49
9.9.2	Ölauffanggrube (Raum U102TK)	49
9.9.3	Generator-Leistungsschalter, Phasenumkehrtrenner, etc. (Raum 102TK)	49
9.9.4	Maschinentrafo und Kühleinrichtung (Raum 103TK).....	49
9.9.5	MVA Transformator (Räume 104TK und 105TK)	50
9.9.6	Sonderlastfall Störlichtbogen	50
9.10	Bemessungssituation	50
9.11	Nachweise.....	50

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 3-1: Lage der Pressfuge zwischen Turbinen- und Nebenanlagenblock (aus Anlage B.V.2.1).....	10
Abbildung 7-1: Antwortspektren (5 % Dämpfung) - horizontale Beschleunigung (aus [8] Abb. 2-3).....	29
Abbildung 7-2: Antwortspektrum (5 % Dämpfung) bei mittlerer Wiederkehrperiode 500 Jahre (aus [8] Tab. 1)	29

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Sicherheitsbeiwerte Bauzustand HYD und UPL	15
Tabelle 2: Sicherheitsbeiwerte GEO-3.....	16
Tabelle 3: zulässige Rissbreiten für Bereiche mit flüssigkeitsdichtendem Beton.....	18
Tabelle 4: zulässige Rissbreiten für Betonbereiche mit erhöhten Anforderungen	18
Tabelle 5: Betoneigenschaften und Expositionsklassen	19
Tabelle 6: Raumbezogene Nutz- und Verkehrslasten MK	27
Tabelle 7: Last- und Betriebszustände der Pumpturbine	33
Tabelle 8: Lastzuordnung/Betriebszustände Spiralgehäuse	35
Tabelle 9: Lastfälle und Betriebszustände Kugelschieber.....	37
Tabelle 10: maßgebende Lastfälle aus dem Betrieb des Motorgenerators	40
Tabelle 11: maßgebende Lastfälle aus dem Betrieb der Pumpturbine.....	40
Tabelle 12: Tabelle NA.A.1.2(B) „Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen (STR/GEO) (Gruppe B)“ aus EC 0 [10].....	42
Tabelle 13: zulässige Rissbreiten für Betonbereiche im Kavernenteil Transformatoren.....	45
Tabelle 14: Betoneigenschaften und Expositionsklassen des Kavernenteil Transformatoren.....	46
Tabelle 15: Kavernenteil Transformatoren, raumbezogene Nutz-/Verkehrslasten	48

1 Allgemeines

1.1 Inhalt und Zweck

Dieses Lastenheft beinhaltet die Grundlagen für die technische Planung, Berechnung und Bemessung der einzelnen Bauwerke und Bauteile der Kraftwerkskaverne an der Neuen Unterstufe des Pumpspeicherwerks Forbach.

Im Folgenden werden die Lasten, Lastfälle und deren Kombination sowie spezifische Anforderungen definiert, die für die Nachweise der Tragfähigkeit, der Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit der Bauwerke und Bauteile relevant sind.

Das Lastenheft ist entsprechend im Rahmen nachfolgender Leistungsphasen zu aktualisieren und fortzuschreiben.

Die Berechnung und Bemessung erfolgt nach den Grundsätzen der Eurocodes mit nationalem Anhang und gegebenenfalls ergänzenden Regeln.

1.2 Geltungsbereich

Das vorliegende Lastenheft umfasst ausschließlich die Betonbauwerke des Kavernenteils Schwarzenbachwerk und des Kavernenteils Transformatoren. Der Kavernenteil Murgwerk wird in einem gesonderten Dokument behandelt.

2 Grundlagen, Vorschriften und Richtlinien

2.1 Arbeitsgrundlagen

- [1] Pumpspeicherwerk Forbach, Neubau Unterstufe - Alternative „Kaverne“ (klein), Geotechnisches und Hydrologisches Gutachten; Vorabzug; Gesellschaft für Baugeologie und -meßtechnik mbH Baugrundinstitut & Mailänder Geo Consult GmbH; 04.12.2011
- [2] PSW Forbach Neubau Unterstufe – Alternative „Kaverne (klein)“ Kartierung geologischer Strukturen in Geländeaufschlüssen im Bereich der Kaverne (klein); GBM; 30.12.2012
- [3] Stellungnahme „PSW Forbach, Unterstufe 50 MW Kavernenkraftwerk, Trennflächenauswertung im Bereich Standort Speicherkaverne und Zufahrtsstollen Nord“; GBM; 25.02.2015
- [4] Stellungnahme „PSW Forbach, Unterstufe 50 MW Kavernenkraftwerk, Gebirgskennwerte für Granitgebirge und Lockergesteine im Bereich Unterstufe Forbach“; GBM; 28.02.2015
- [5] Stellungnahme „PSW Forbach, Unterstufe 50 MW Kavernenkraftwerk, Trennflächenauswertung im Bereich Standort Hauptstollen und Auslaufstollen Nord“; GBM; 02.03.2015
- [6] Stellungnahme „PSW Forbach, Unterstufe 50 MW Kavernenkraftwerk, Vergrusungsauswertung“, GBM, 11.03.2015
- [7] PSW Forbach - Unterstufe; Entwurfsplanung; Ingenieurgemeinschaft PSW Forbach; Juni 2015
- [8] Pumpspeicherwerk-Forbach „Neue Unterstufe“, Stellungnahme zur Übertragbarkeit der Resultate des seismologischen Gutachtens zum PSW-Forbach von 2017; SDA-engineering GmbH; 06.11.2018

2.2 Normen

- [9] DIN EN 206:2014-07
Beton: Festlegungen, Eigenschaften, Herstellung und Konformität“
- [10] DIN EN 1990:2010-12 mit NA:2010-12
Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung
- [11] DIN EN 1991-1-1:2010-12 mit NA:2010-12 und NA/A1:2014-07
Eurocode 1 Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau
- [12] DIN EN 1991-1-2:2010-12 mit NA:2010-12, Berichtigung 1:2013-08 und NA/A1:2015-01
Eurocode 1 Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen – Brandeinwirkungen auf Tragwerke
- [13] DIN EN 1991-1-5:2010-12 mit NA:2010-12
Eurocode 1 Teil 1-5: Allgemeine Einwirkungen – Temperatureinwirkungen

- [14] DIN EN 1991-1-6:2010-12 mit NA:2010-12 und Berichtigung 1:2013-08
Eurocode 1 Teil 1-6: Allgemeine Einwirkungen – Einwirkungen während der Bauausführung
- [15] DIN EN 1991-1-7:2010-12 mit NA:2010-12 und A1:2014-08
Eurocode 1 Teil 1-7: Allgemeine Einwirkungen – Außergewöhnliche Einwirkungen
- [16] DIN EN 1991-2:2010-12 mit NA:2012-08
Eurocode 1 Teil 2: Einwirkungen auf Tragwerke – Verkehrslasten auf Brücken
- [17] DIN EN 1991-3:2010-12 mit NA:2010-12 und Berichtigung 1:2013-08
Eurocode 1 Teil 3: Einwirkungen auf Tragwerke – Einwirkungen infolge von Kranen und Maschinen
- [18] DIN EN 1992-1-1:2011-01 mit NA:2013-04 und A1:2015-03
Eurocode 2 Teil 1-1: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
- [19] DIN EN 1992-1-2:2010-12 mit NA:2010-12 und NA/A1:2015-01
Eurocode 2 Teil 1-2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Tragwerksbemessung für den Brandfall
- [20] DIN EN 1992-2:2010-12 mit NA:2013-04
Eurocode 2 Teil 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Betonbrücken – Bemessungs- und Konstruktionsregeln
- [21] DIN EN 1997-1:2014-03 mit NA: 2010-12
Eurocode 7 Teil 1: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Allgemeine Regeln
- [22] DIN EN 1998-1:2010-12 mit NA: 2011-01 und A1:2013-05
Eurocode 8 Teil 1: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben Grundlagen – Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten
- [23] DIN EN 1998-3:2010-12 mit Berichtigung 1:2013-09
Eurocode 8 Teil 3: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben Grundlagen – Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten
- [24] DIN 1045-2:2008-08
Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil2: Beton – Festlegungen, Eigenschaften, Herstellung und Konformität – Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1
- [25] DIN 1054:2010-12 mit A1:2012-08
Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1
- [26] DIN 1055-2:2010-11
Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Bodenkenngößen
- [27] DIN 19702:2013-02
Massivbauwerke im Wasserbau – Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit

2.3 Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen (ZTV)

- [28] ZTV-W LB 215:2012-08
Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen - Wasserbau für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton (Leistungsbereich 215)

2.4 Richtlinien

- [29] DAfStb WU-Richtlinie:2003-11 mit Berichtigung 1:2006-03 und Erläuterungen Heft 555:2006
Deutscher Ausschuss für Stahlbeton - Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton
- [30] DAfStb-Heft 600:2012-09
Deutscher Ausschuss für Stahlbeton - Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA
- [31] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton - Massige Bauteile aus Beton; 2010-04
- [32] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton - Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen; 2011-03
- [33] MFZ:2011-11
Bundesanstalt für Wasserbau - Merkblatt „Rissbreitenbegrenzung für frühen Zwang in massiven Wasserbauwerken“
- [34] MZB:2012
Bundesanstalt für Wasserbau - Merkblatt „Zweitbeton“

3 Kurzbeschreibung der Kraftwerkskaverne

3.1 Kavernenteil Schwarzenbachwerk

Der Kavernenteil hat Ausbruchmaße von 41,3 m in der Länge, 19,0 m in der Breite und ca. 39,5 m in der Höhe. Der Entwurf sieht gerade vertikale Seitenwände vor. Die Dachform wurde als Gewölbe entwickelt. Die geplante Anlage ist als neues Pumpspeicherwerk mit einer Pumpleistung von 50 MW ausgelegt.

Südöstlich liegt der Kavernenteil Transformatoren, daran anschließend der Kavernenteil des Murgwerks. Der Zugang erfolgt über einen Zufahrtsstollen, der von Südost in den Kavernenteil Murgwerk führt.

Der Kavernenteil ist unterteilt in einen Turbinen- und Nebenanlagenblock. Die Länge in Kavernenachse beträgt 19,6 m bzw. 20,7 m. Die Trennung der beiden Bauwerke erfolgt zwischen Achse 4 und 5 durch eine Pressfuge (siehe Abbildung 3-1).

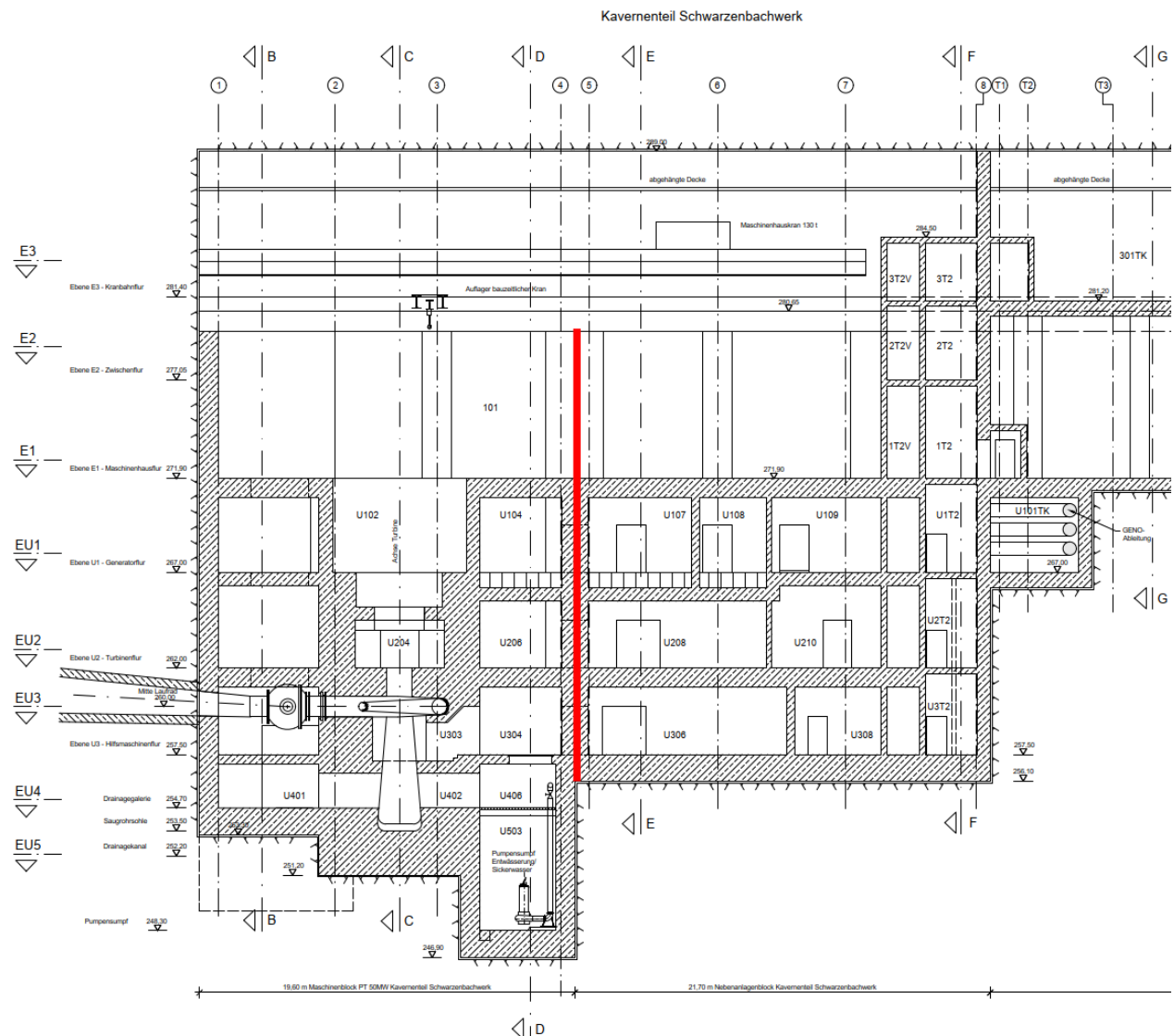


Abbildung 3-1: Lage der Pressfuge zwischen Turbinen- und Nebenanlagenblock (aus Anlage B.V.2.1)

Auf der Decke des Maschinenhausflures (ca. 271,90 m ü. NN) zwischen den Achsen 5/6 (Montageblock) ist die Montageplattform für die Vormontage des Rotors, Stators und des Kugelschiebers eingerichtet.

Für die Raumbelagung, die sich aus den funktionalen Zusammenhängen ergibt, wird auf die Projektpläne in Antragsteil B.V.II verwiesen.

Die Hauptkenndaten des Kavernenteils Schwarzenbachwerk sind wie folgt:

Höhe in der Firste (UK Spritzbeton)	289,00 m ü. NN
Kavernenspannweite	18,90 m
Kavernenhöhe (UK Pumpensumpf bis OK Firste)	42,10 m
Kavernenlänge	41,30 m
Achse Spiralgehäuse (Lauftrad)	260,00 m ü. NN
Saugrohrsohle	253,50 m ü. NN
EU5 Sohle Pumpensumpf für Entwässerung/Sickerwasser	248,30 m ü. NN
EU5 Sohle Koaleszenzabscheider	250,70 m ü. NN
EU4 Drainagekanal	254,70 m ü. NN
EU3 Hilfsmaschinenflur (HFMF)	257,50 m ü. NN
EU2 Turbinenflur (TBF)	262,00 m ü. NN
EU1 Generatorflur (GENO)	267,00 m ü. NN
E1 Maschinenhausflur (MHF)	271,90 m ü. NN
E2 Zwischenflur	277,05 m ü. NN
E3 Kranbahnflur	281,40 m ü. NN

Die dauerhafte Sicherung der Kaverne erfolgt mit Vorspannankern, Füllmörtelankern (SN-Anker) und Spritzbeton entsprechend dem lokalen Ausbauwiderstand und ist nicht Gegenstand dieses Lastenheftes.

3.2 Kavernenteil Transformatoren

Der Kavernenteil grenzt unmittelbar an den Kavernenteil Schwarzenbachwerk und wird zwischen den Achsen 8 und T1 durch eine Dehnungsfuge ($b = 2,0 \text{ cm}$) statisch getrennt.

Die Höhenlage des Kavernenteils wird im Wesentlichen von der verkehrs- und ausrüstungstechnischen Seite auf Ebene 271,90 m ü. NN (Maschinenhausflur Schwarzenbachwerk) bestimmt.

Die geometrische Form und die Abmessungen des Kavernenteils werden ausschließlich durch die Forderungen der elektrischen Ausrüstung bestimmt, die in diesem Kavernenteil untergebracht sind.

Der Kavernenhohlraum wurde mit geraden senkrechten Seitenwänden entworfen. Das Gewölbe hat die Form aus zusammengesetzten Kreisbögen.

Mit den Ausbruchmaßen von 19 m/16,5 m in der Breite, 20,5 m in der Höhe und 47,4 m in der Länge ist dieser Kavernenteil wesentlich kleiner als der Kavernenteil Schwarzenbachwerk. Die Zufahrt erfolgt über den Kavernenteil des Murgwerks.

Die dauerhafte Sicherung der Kaverne erfolgt insbesondere mit Füllmörtelankern (SN-Anker) und Spritzbeton. Die Felssicherungsmaßnahmen sind nicht Bestandteil dieses Lastenheftes.

Die Ausrüstung des Kavernenteils besteht im Wesentlichen aus dem Blocktransformator, dem Generator-Leistungsschalter sowie den dazugehörigen Nebeneinrichtungen, z. B. Kühleinrichtung für den Transformator, Kurzschlussstrombegrenzungs-drosseln und dem Phasenumkehrtrenner. Des Weiteren werden dort die Anlagen für die Klima- und Lüftungstechnik untergebracht.

Der Blocktransformator wird in einem geschlossenen Raum aufgestellt. Die Fundamente werden in der Ölauffangwanne ausgebildet. Die Auffangwanne wird mit flammenhemmenden Rosten abgedeckt. Die Kühlung des Transformators erfolgt über einen getrennt aufgestellten Öl-/Wasserkühler, der sich im gleichen Raum befindet. Anfallendes Löschwasser sowie Transformatoröl aus dem Transformatorbehälter bzw. Ölkühlerbehälter wird über eine Leitung in die angrenzende Ölauffanggrube geleitet.

4 Geologie/Hydrologie

4.1 Allgemein

Bei Erstellung dieses Lastenhefts lag ein Vorabzug des Baugrundgutachtens [1] vor. Sich in der Endfassung ändernde oder ergänzende Angaben sind nach Vorliegen der Endfassung im Lastenheft zu ergänzen und im Rahmen der Ausführungsplanung für die statischen Nachweise zu berücksichtigen.

4.2 Geologischer Überblick

Aus [1] Kap. 5.1.1:

[...] Im Untersuchungsgebiet des Kavernenwasserspeichers stehen ausschließlich die Schichten des Forbach-Granits (GFO) und des Quartärs an. Der Forbach-Granit wird größtenteils von quartärem Hangschutt und Blockschuttdecken überlagert und ist z. T. mit Aplit-Gängen durchsetzt. Im Murgtal stehen über dem Forbach-Granit zudem die Schotterterrassen der Murg an. Die Granite weisen auch in tieferen Lagen (unter der Geländeoberfläche) des Gebirges Verwitterungen, sogenannte Vergrusungen, auf. [...]

4.3 Gebirgsdurchlässigkeit

Die Gebirgsdurchlässigkeiten sind für die statischen Nachweise des Massivbaus nicht maßgebend. Erforderliche Angaben für die Nachweise anderer Bauwerke sind in [1] Kapitel 5.4 enthalten.

4.4 Grundwasser

Für die Ebenen U5, U4 und U3 ist kein Drainagesystem vorgesehen. Für den Kavernenteil Schwarzenbachwerk wird auf der sicheren Seite liegend der Wasserdruck bis zur Ebene 262,00 m ü. NN (OK Decke Hilfsmaschinenflur) angesetzt, da der untere Teil vom Pumpensumpf bis zum Turbinenflur als wasserundurchlässige Konstruktion ausgebildet wird.

4.5 Betonaggressivität

Aus [1] Kap. 5.4.3:

[...] Das Granitwasser am Kavernenwasserspeicher ist nach den Grenzwerten in DIN 4030 als nicht betonangreifend einzustufen; ergänzend muss jedoch erwähnt werden, dass gemäß DIN 4030 das Wasser aufgrund seiner geringen Gesamthärte Kalziumhydroxid des Zementsteins von Beton mit einem Wasserzementwert von über 0,6 lösen kann. [...]

4.6 Verformungs-/Steifemodul

Die Gründung des Bauwerkes erfolgt ausschließlich auf kompaktem und unverwittertem Fels. Es sind geringe Setzungen zu erwarten.

Im Baugrundgutachten [1] Kap. 7.3 wird für frischen bis gering verwitterten Granit ein Verformungsmodul $V_G = 36.500 \text{ MPa}$ angegeben. In [4] wird der Wert $V_G = 25.000 \text{ MPa}$ festgelegt.

Für die Entwurfsstatik wird auf der sicheren Seite liegend mit einem Verformungsmodul $E_v = V_{G(\text{reduziert})} = 20.000 \text{ MPa}$ gerechnet.

Das Steifemodul E_s kann für die Gründung wie folgt abgeleitet werden:

Bedingung: $E < E_v < E_s$ für elastisch/plastisches Material bei $0,10 < \nu \leq 0,50$

Poissonzahl: $\nu = 0,25$

$$E_{s1} = \frac{(1 - \nu_1) \cdot (1 - \nu_1^2)}{1 - \nu_1 - 2\nu_1^2} \cdot E_1$$
$$E_s = \frac{(1 - 0,25) \cdot (1 - 0,25^2)}{1 - 0,25 - (2 \cdot 0,25^2)} \cdot 20.000$$
$$E_s = 22.500 \text{ MPa}$$

4.7 Einaxiale Druckfestigkeit

In [4] werden die einaxialen Druckfestigkeiten für frisch bis gering verwitterten Granit wie folgt angegeben:

Für das Gestein: $\sigma_u = 85 \text{ MPa}$

Für das Gebirge: $\sigma_{uG} = 16 \text{ MPa}$

5 Gründung des Maschinen- und Montageblocks

5.1 Bemessungsnormen und Sicherheitskonzept

Die Sicherheitsnachweise sind nach Eurocode 7 [21] zu führen. Die Bauwerke werden in die geotechnische Kategorie **GK 2** eingestuft. Es ist nachzuweisen, dass die Grenzzustände der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit mit hinreichender Genauigkeit ausgeschlossen sind.

Zur Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit wird die verformungsbestimmende Kenngröße des Gebirges E_v (E_s) angesetzt

5.2 Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen

Die Auftriebssicherheit im Bauzustand (BS-T¹) und die Spannungen in der Gründungsebene sind nachzuweisen. Die Teilsicherheitsbeiwerte gemäß DIN 1054 [25] Tab. A2.1 sind in den nachfolgenden Tabellen aufgeführt.

Der Nachweis der Sicherheit gegen Auftrieb ist dem Grenzzustand UPL zugeordnet. Der Verlust der Lagesicherheit durch Aufschwimmen (Auftrieb) ist nur im Bauzustand zu überprüfen.

Einwirkung bzw. Beanspruchung	Formelzeichen	Bemessungssituation BS-T
HYD und UPL: Grenzzustand des Versagens durch hydraulischen Grundbruch und Aufschwimmen		
Destabilisierende ständige Einwirkungen einschließlich ständigem und veränderlichem Wasserdruck	$\gamma_{G,dst}$	1,05
Stabilisierende ständige Einwirkung	$\gamma_{G,stb}$	0,95
Destabilisierende veränderliche Einwirkungen	$\gamma_{Q,dst}$	1,30
Stabilisierende veränderliche Einwirkungen	$\gamma_{Q,dst}$	0

Tabelle 1: Sicherheitsbeiwerte Bauzustand HYD und UPL

Strömungskräfte können ausgeschlossen werden.

¹ BS-T: selten auftretende Lasten (Bauzustand, vorübergehende Bemessungssituation)

Die Gesamtstandsicherheit ist im Grenzzustand GEO-3 (Versagen des Baugrundes/Nachweis zul. Felspressung):

Einwirkung bzw. Beanspruchung	Formel- zeichen	Bemessungssituation		
		BS-P	BS-T	BS-A
Geo-3: Grenzzustand des Versagens durch Verluste der Gesamtstandsicherheit				
ständige Einwirkungen einschließlich ständigem und veränderlichem Wasserdruck	γ_G	1,00	1,00	1,00
ungünstige veränderte Einwirkung	γ_Q	1,30	1,20	1,00

Tabelle 2: Sicherheitsbeiwerte GEO-3

Der Nachweis des Grenzzustandes der Lagesicherheit (EQU) und Gebrauchstauglichkeit (SLS: Lage der Sohldruckresultierenden und Verformungen) ist aufgrund der flächenhaften Ausdehnung der Gründungssohle nicht erforderlich.

5.3 Geotechnische Nachweise

5.3.1 Bemessungsbeanspruchung und Bemessungssituation

Für die Nachweise der Lagesicherheit (Aufschwimmen) und Baugrundversagens durch Überschreitung der zulässigen Spannungen werden die maßgebenden Lastfälle direkt aus den Einwirkungskombinationen nach EC 7 [21] und DIN 1054 [25] ohne Berücksichtigung von Zuverlässigkeitsklassen bestimmt.

5.3.2 Grenzzustände der Tragfähigkeit (GZT)

Der Nachweis der Tragfähigkeit umfasst folgende Einzelnachweise:

- Sicherheit gegen Aufschwimmen (Grenzzustand UPL)
- Nachweis der Vertikalspannungen in der Gründungsebene (GEO-3) gegenüber der zulässigen Felspressung

Der Nachweis der Auftriebssicherheit ist für den Maschinen- und Montageblock zu überprüfen. Die maßgebenden Bauzustände treten ein, wenn das Massivbauwerk bis UK Decke U4 bzw. U3 fertiggestellt ist und der Außenwasserdruck bis zur gleichen Höhe ansteht. Weiterhin sind Zwischenbauzustände zu überprüfen.

6 Kavernenteil Schwarzenbachwerk, statisch-konstruktive Grundlagen

6.1 Entwurf der Baukonstruktion

6.1.1 Maschinenblock

Der Maschinenblock befindet sich im nordwestlichen Teil der Kaverne zwischen den Achsen 1 und 4. Als Absperrorgan auf der OW-Seite des Wasserweges ist der Kugelschieber angeordnet, der auf einem Fundamentsockel befestigt wird.

Auf der UW-Seite befindet sich ein Saugrohrschütz mit einem hydraulischen Antrieb.

Der Maschinenblock wird in monolithischer Bauweise ohne Dehnungsfugen hergestellt und ist unterteilt in Erst- und Zweitbetonabschnitte.

Arbeits- bzw. Betonierfugen sind planmäßig mit den Ausrüsterfirmen nach Erfordernis in Abstimmung mit dem Prüfsachverständigen festzulegen und auszuführen.

Die Berechnung erfolgt auf Grundlage des EC 2 und der ZTV-W LB 215 [28].

6.1.2 Montageblock

Der Montageblock befindet sich südöstlich des Maschinenblocks zwischen den Achsen 5 und 8. Er grenzt unmittelbar an den Kavernenteil Transformatoren an und ist durch eine Dehnungsfuge von diesem getrennt.

6.2 Rissbreitenbeschränkung

Der Nachweis zur Begrenzung der Rissbreite ist gemäß ZTV-W LB 215 [28] Kap. 7.3 für massige Bauteile (> 80 cm Bauteildicke) nach MFZ [33] zu führen.

Zur Begrenzung der Rissbreiten des Betons sind alle Bauteile für einen Rechenwert (90 %-Fraktile) der Rissbreite von $w_k = 0,25 \text{ mm}$ (Minimalforderung) zu dimensionieren.

Erhöhte Anforderungen werden in allen Räumen gestellt, die mit Oberflächenbeschichtung behandelt werden. Hier sind die zu behandelnden Bereiche für eine zulässige Rissbreite i. a. mit $w_k = 0,20 \text{ mm}$ auszuliegen (Berücksichtigung der Produktdatenblätter des Beschichtungssystems).

Gemäß § 19g WHG² muss für Betonbauten, die mit flüssigen wassergefährdenden Stoffen beaufschlagt werden, die Sicherstellung der Dichtheit gewährleistet sein.

Die Richtlinie des DAfStb „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ [32] regelt, welche baulichen Voraussetzungen erfüllt sein müssen, damit Betonbauten gemäß EC 2 ohne Oberflächendichtung den Anforderungen gemäß WHG genügen. Die betreffenden Bereiche sind für eine zulässige Rissbreite von $w_k = 0,15 \text{ mm}$ auszuliegen.

² Wasserhaushaltsgesetz

Es ist ein flüssigkeitsdichter Beton (FD-Beton) nach DIN EN 206 [9] und DIN 1045-2 [24] mit zusätzlichen Anforderungen (siehe u. A. [32]) einzubauen. Die betreffenden Räume sind in der nachfolgenden Tabelle aufgelistet.

Kavernenteil Schwarzenbachwerk: FD-Beton-Bereiche ohne Oberflächenbeschichtung				
Raumnummer	Raumbeschreibung	Ebene [m ü. NN]	Bereich	zul. Rissbreite w_k [mm]
U501	Koaleszenzabscheider	U5 +250,70	Sohle + Wände	0,15
U502	Pumpensumpf Sickerwasser	U5 +248,30	Sohle + Wände	0,15
U503	Pumpensumpf Entwässerung	U4 +248,30	Sohle + Wände	0,15

Tabelle 3: zulässige Rissbreiten für Bereiche mit flüssigkeitsdichtendem Beton

Kavernenteil Schwarzenbachwerk: Betonbereiche mit Oberflächenbeschichtung				
Raumnummer	Raumbeschreibung	Ebene [m ü. NN]	Bereich	zul. Rissbreite w_k [mm]
U109	Batterieraum	U1 +267,00	Boden	0,20
U205	Pumpturbinenregler	U2 +262,00	Boden	0,20
U301	Rohrverteilungsraum mit Antrieb Saugrohrschütz	U3 +257,50	Boden	0,20
U302	Lager Ölbehälter	U3 +257,50	Boden	0,20
U305	Rohrverteilungsraum	U3 +257,50	Boden	0,20
U308	Öllager, Ölaufbereitung	U3 +257,50	Boden	0,20
U306	Kühlwasserpumpenraum und Löschwasserpumpen	U3 +257,50	Boden	0,20
U309	Raum für Gefahrenstoffe	U3 +257,50	Boden	0,20

Tabelle 4: zulässige Rissbreiten für Betonbereiche mit erhöhten Anforderungen

Die Räume mit Beschichtung sind im Rahmen der weiteren Planungsphasen zu präzisieren und gegebenenfalls zu revidieren.

6.3 Betoneigenschaften und Expositionsklassen

Zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit werden die Massivbauwerke und Bauteile den Expositionsklassen nach ZTV-W LB 215 [28] Kap. 4.1 zugeordnet.

Nr.	Bauteil/Bereich	Festigkeitsklasse		Expositionsklassen
		mind.	gew.	
1	Pumpensümpfe, Drainagekanal und Koaleszenzabscheider bis +254,70 (Drainagegang)	C 30/37 FD-Beton ¹	C 30/37 FD-Beton ¹	XC 4, XA 1
2	Bauteile bis +262,00 (Turbinenflur)	C 25/30	C 25/30	XC 3, XA 1
3	Bauteile oberhalb +262,00	C 16/20	C 25/30	XC 1

¹ FD-Beton muss die Anforderungen an Beton nach DIN EN 206/DIN 1045-2 erfüllen: z. B.

$w/z \leq 0,50$

Größtkorn $16 \text{ mm} \leq D_{\max} \leq 32 \text{ mm}$

Zementleimgehalt $\leq 290 \text{ l/m}^3$

Tabelle 5: Betoneigenschaften und Expositionsklassen

6.4 Betondeckung und Betonstahl

Betondeckung $c_{\text{nom}} = 6,0 \text{ cm}^3$ WU-Bereich (bis U2 TBF 262,00 m ü. NN)

$c_{\text{nom}} = 5,0 \text{ cm}^4$ Normalbereich (oberhalb 262,00 m ü. NN)

Betonstahl hochduktil⁵ (B500B) gem. DIN 488-1

6.5 Kriechen und Schwinden

Kriechen und Schwinden des Betons sind abzuschätzen und bei der Bemessung ggf. zu berücksichtigen.

³ $c_{\text{min}} = 50 \text{ mm}$; $\Delta c_{\text{dev}} = 10 \text{ mm}$ (ZTV-W LB 215 Kap. 4.4)

⁴ $c_{\text{min}} = 40 \text{ mm}$; $\Delta c_{\text{dev}} = 10 \text{ mm}$ (EC 2/DIN 19702 Kap. 7.3)

⁵ ZTV-W LB 215 Kap. 3.2

6.6 konstruktive Mindestbewehrung nach DIN 19702 [27] Kap. 7.3

allgemeine Mindestbewehrung

- Mindestbewehrung nach DIN EN 1992-1-1 Kap. 9.2.1.1 gilt nicht
- konstruktive Mindestbewehrung $\varnothing_s 10$ mm; $s = 15$ cm je Seite und Verlegerichtung

Bauteile mit Anforderungen an die Wasserundurchlässigkeit

- 0,10 % der Betonquerschnittsfläche je Seite und Verlegerichtung
- maximal $a_s = 25$ cm²/m

sonstige Bauteile ohne Anforderungen an die Wasserundurchlässigkeit

- 0,06 % der Betonquerschnittsfläche je Seite und Verlegerichtung
- maximal $a_s = 15$ cm²/m

6.7 Ermüdungsfestigkeitsnachweis nach EC 2

Verschiedene Betriebszustände erzeugen dynamische Einwirkungen auf das Bauwerk, die üblicherweise durch einen dynamischen Zuschlag auf die statischen Lasten berücksichtigt werden. Für lokale Details sind die Stahl- und Betonspannungsänderungen unter der Einwirkung regelmäßig auftretender Betriebslasten zu ermitteln.

Der Nachweis gegen Ermüdung ist für Beton und Stahl bei nicht vorwiegend ruhender Belastung (Anzahl der Lastwechsel $n > 2 \cdot 10^4$) gesondert nach EC 2 zu führen.

Veränderliche Einwirkungen, welche nicht in häufiger Regelmäßigkeit auftreten, dürfen dabei vernachlässigt werden.

Belastungen mit einer Anzahl der Lastwechsel $n \leq 2 \cdot 10^4$ im Rahmen der definitiven Lebensdauer dürfen als vorwiegend ruhend angenommen werden.

6.8 räumliche Bewehrung

Für große Betonquerschnitte (primär Maschinenblock) ist eine räumliche Bewehrung vorzusehen. Erfahrungsgemäß ist eine dreidimensionale Bewehrungsführung mit $\varnothing 16-25$ und einem allseitigen Abstand von 60-80 cm ausreichend, um aus Kriechen, Schwinden und Temperatur resultierende Spannungen im Beton aufzunehmen. Lokal kann sich aus Montagezuständen im Maschinenblock eine stärkere Bewehrung ergeben.

7 Kavernenteil Schwarzenbachwerk, Sicherheitsnachweise Massivbauwerke

7.1 Einwirkungen/Lasten

7.1.1 Vorbemerkungen

In Kapitel 7.1 werden alle ständigen, vorübergehenden und außergewöhnlichen Einwirkungen bzw. Lasten erfasst, die nicht aus Betriebszuständen der Maschinen- und Elektrotechnischen Hauptausrüstung (z. B. Generator, Pumpturbine, KG) entstehen.

7.1.2 Eigenlasten

Als Eigenlasten sind die Eigengewichte der einzelnen Bauteile anzusetzen. Die Geometrie ergibt sich aus den Projektplänen. Für Eigenlasten gelten die Festlegungen des EC 1.

Normbeton	$\gamma = 24,0 \text{ kN/m}^3$	
Stahlbeton	$\gamma = 25,0 \text{ kN/m}^3$	bei belastender Einwirkung
Stahlbeton	$\gamma = 24,0 \text{ kN/m}^3$	bei entlastender Einwirkung (z. B. Auftrieb)
Stahl	$\gamma = 78,5 \text{ kN/m}^3$	
Mauerwerk	$\gamma = 20,0 \text{ kN/m}^3$	KS Vollsteine
Estrich	$\gamma = 23,0 \text{ kN/m}^3$	

7.1.3 Lasten aus Brückenkränen

7.1.3.1 Maschinenhauskran

Im Kavernenteil Schwarzenbachwerk wird ein Brückenkran mit 1300 kN Tragkraft eingesetzt. Das Spurmittenmaß beträgt gemäß Projektplan 16,40 m.

Der Brückenkran dient hauptsächlich für die Montage der elektrischen und mechanischen Ausrüstung sowie für spätere Revisions- und Reparaturarbeiten. Die Anordnung des Hauptkrans ist aus den entsprechenden Projektplänen zu entnehmen.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt liegen noch keine statischen und technischen Angaben für einen 130 t Brückenkran eines Herstellers vor.

Für die statische Überprüfung der Tragfähigkeit der Kranbahnstützen und –träger werden im Rahmen der Entwurfs- und Genehmigungsplanung die Kräfte (max. Radlasten) eines 120 t Brückenkrans mit 20,8 m Spurmittenmaß der Fa. ABUS Kransysteme angesetzt.

Vereinfachend werden die Radlasten des 120 t Krans mit einem Faktor (lineare Umrechnung der Radlasten des 120 t Krans auf 130 t Kran) multipliziert und in die statische Berechnung übernommen.

Die Zusammenstellung der vorläufigen Radkräfte und Horizontalkräfte basiert auf den Vorgaben des Kranherstellers ABUS.

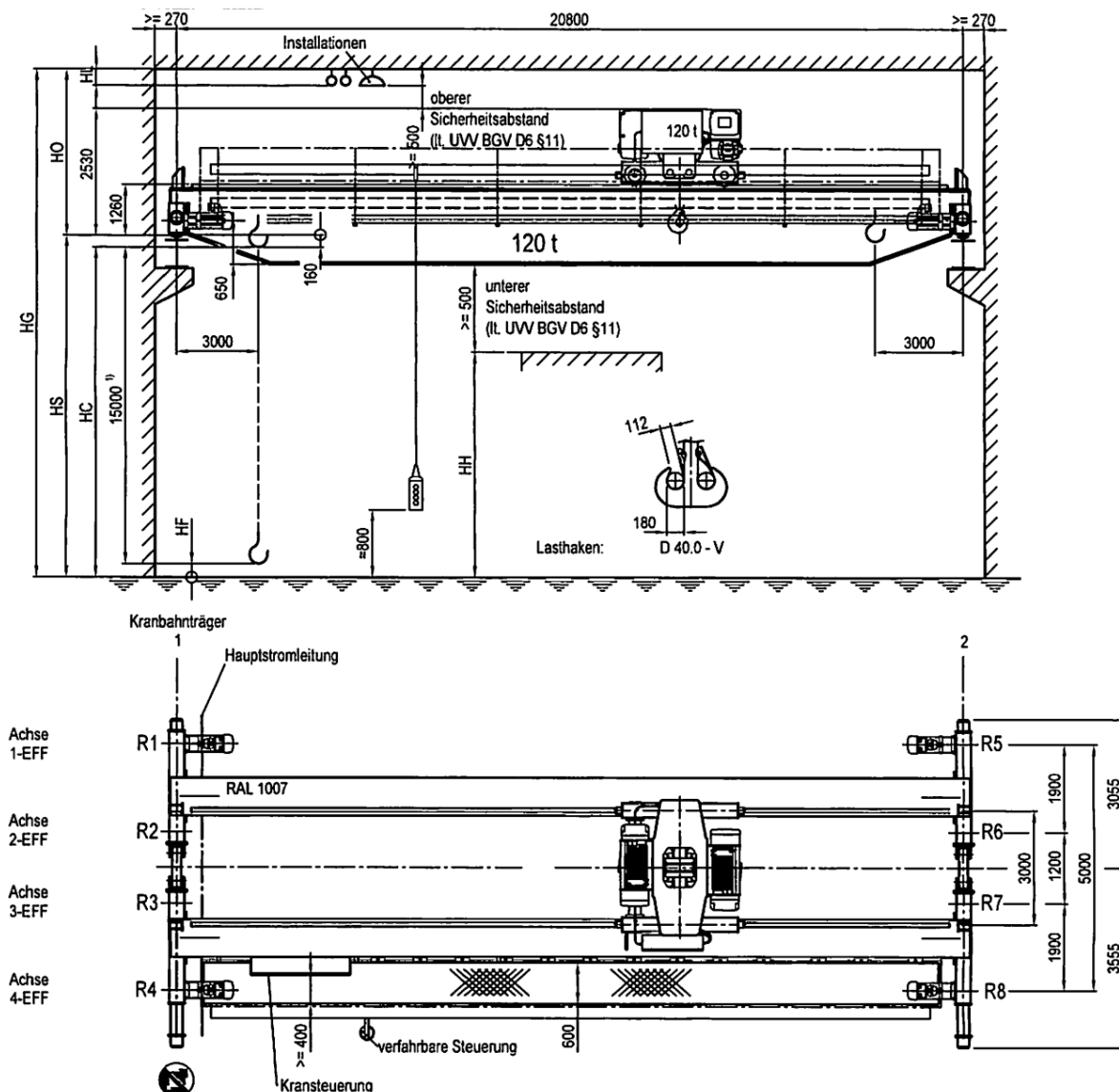
Die maximalen Radlasten treten beim Einheben des vormontierten Stators bzw. Rotors auf.

Bei der Montage des Spiralgehäuses treten geringere Lasten auf, die im Kapitel 7.4 angegeben sind.

Die Bemessung der Kranbahn und Kranstützen erfolgt für den Endzustand. Bauzustände sind im Rahmen der Ausführungsplanung nach Vorliegen der endgültigen Lasten des Ausrusters nachzuweisen.

Im Rahmen der Ausführungsplanung sind die konkreten Lastangaben des Kranherstellers in das Lastenheft zu übernehmen. Eine statische Nachrechnung ist erforderlich.

Systemskizze des angesetzten Krans



Lastangaben zum Brückenkran ABUS ZLK 120 t x 20800 mm

Kran	ZLK 120 t x 20800 mm		
Berechnungsgrundlage	DIN 15018, H2/B3		
Laufkatze	GM 7000.120000 U-200.122.15000.1.Z 500.20		
Triebwerksgruppe	1Bm / M3		
Betriebsort	Hallenbetrieb		
Umgebungsbedingungen	-5° C bis +40° C, ohne besondere Anforderungen		
Kranfahren	10 / 40 m/min		
Katzfahren	5 / 20 m/min		
Heben	0,6 / 3,3 m/min		
Gesamtgewicht	45050 kg (davon Laufkatze 8044 kg)		
Netzspannung; zul. Schwankung	3/PE ~50 Hz 400 V (TN-S); -6,5% / +5%		
Gesamtanschlussleistung	97 kW (Anlaufstrom * cos phi: 479,5 A)		
Belastungsangaben	Radlasten (kN) (ohne Schwingbeiwert)	Kranachse 1 (min/max)	113,0 307,0
		Kranachse 2 (min/max)	66,0 319,0
		Kranachse 3 (min/max)	66,0 319,0
		Kranachse 4 (min/max)	121,0 315,0
	Seitenlasten (kN)	Massenkräfte Kranfahren (min/max)	10,5 36,3
	Schräglaufrkraft auf der Führungsseite (Kraftschlussbeiwert <= 0,3)		117,3 -
	Horizontallasten aus Schräglaufr (Führungs-/Gegenseite)	Vordere Kranachse in Fahrtrichtung	24,2 63,0
		Zweite Kranachse in Fahrtrichtung	6,7 32,4
		Dritte Kranachse in Fahrtrichtung	2,6 12,7
		Hintere Kranachse in Fahrtrichtung	-6,6 -17,8
	Längslasten (kN) (je Kranbahnträger)	Massenkräfte Kranfahren (max)	20,4
		Pufferendkräfte (max) (Bewegungsbegrenzer berücksichtigt)	73,1

¹⁾ Maximaler Hakenweg der Laufkatze 15 m, reale Nutzung entsprechend der Einbausituation

Die maximalen Radlasten treten beim Einheben des vormontierten Stators bzw. Rotors auf.

Prüflasten MK-Hauptkran

Die statische Prüflast wird nicht von den Antrieben bewegt und beträgt das 1,25-fache der Nenntagfähigkeit.

$$Q_k = 1,25 \cdot 1300 \text{ kN} = 1625 \text{ kN}$$

7.1.3.2 MK Hilfskran

Es liegen keine Angaben vom Hersteller vor. Lastangaben sind im Rahmen der Ausführungsplanung zu ergänzen.

7.1.4 Felsdruck

Der Felsausbruch und die Felssicherung werden gesondert nachgewiesen.

Die Kraftwerkskaverne ist dauerhaft ausreichend mit Vorspannankern, SN- Ankern und Spritzbeton gesichert. Es wird davon ausgegangen, dass sich kein Gebirgsdruck auf die Massivbauwerke einstellt.

Zur Berücksichtigung außerplanmäßiger Einflüsse aus dem umgebenden Fels wird für die Außenwände unterhalb des Maschinenhausflurs 271,90 m ü. NN Felsdruck berücksichtigt. Der Ansatz erfolgt hydrostatisch als Rechtecklast (normal zur Begrenzungsfläche).

$$\text{Felsdruck: } e_F = 35,0 \text{ kN/m}^2$$

7.1.5 Lasten aus Neben- und Hilfseinrichtungen

7.1.5.1 Lasten aus Aufzügen

Es wird ein Lasten-/Personenaufzug eingesetzt. Der Aufzug befindet sich im südöstlichen Treppenhaus des Montageblocks neben Treppenhaus 2.

Nutzlast: 2500 kg

Die auftretenden Lasten liegen zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht vor und sind vom Aufzugsunternehmen abzufordern. Das Lastenheft ist dahingehend zu ergänzen.

Im Triebwerksraum sind je eine Lastöse über dem Antrieb und der Montageluke vorzusehen, die jeweils **10 kN Vertikallast** aufnehmen müssen.

Die Verkehrslast in den Triebwerksräumen beträgt jeweils **$q_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$** .

7.1.5.2 Lasten aus Rohrleitungssystemen

Die Lastangaben basieren auf der Annahme, dass weitestgehend Abhängungen an den Decken zum Einsatz kommen.

Die Größe der vertikalen Lasten reicht nach Erfahrungswerten von 10-65 kN, die der horizontalen Last beträgt maximal 10 kN.

Aus vergleichbaren Projekten (z. B. PSW Vianden) werden überwiegend Ankerplatten für die Befestigung der Rohrleitungsabhängungen eingesetzt, die in der Stahlbetondecke verankert sind.

Lastort und -wert sind nach den Bauangaben des Anlagen-Technikers im Lastenheft zu ergänzen.

7.1.6 Raumbezogene Nutz-/Verkehrslasten

Nr.	Ebene m ü. NN	Raum- num- mer	Bezeichnung	Nutz- bzw. Ver- kehrslast q_k [kN/m ²]
1	Decke Kranbahnflur +284,50	-	Maschinenraum Aufzug	gem. Kap. 7.1.5.1
2	Ebene 3 Kranbahnflur +282,00	3T2	Treppenhaus 2	5,0
		3T2V	Vorraum Treppenhaus 2	10,0
		A1	Aufzugschacht	-
		A1V	Vorraum Aufzugschacht	10,0
		-	Decke über Zwischenflur	10,0
3	Ebene 2 Zwischenflur +277,40	2T1	Treppenhaus 1	5,0
		2T1V	Vorraum Treppenhaus 1	10,0
		2T2	Treppenhaus 2	5,0
		2T2V	Vorraum Treppenhaus 2	10,0
		A1	Aufzugschacht	-
		A1V	Vorraum Aufzugschacht	10,0
		201	Leittechnik- und Fernmelderaum	10,0
		202	Aufenthalts-/Besprechungsraum	10,0
4	Ebene 1 Maschinehausflur +271,90	1T1	Treppenhaus 1	5,0
		1T1V	Vorraum Treppenhaus 1	10,0
		1T2	Treppenhaus 2	5,0
		1T2V	Vorraum Treppenhaus 2	10,0
		A1	Aufzugschacht	-
		A1V	Vorraum Aufzugschacht	10,0
		101	Maschinenhalle	35,0) ¹
		102	Bedien- und Beobachtungsraum	10,0
		103	Verteilertrafo 1	20,0
		104	Verteilertrafo 2	20,0
		105	Erste-Hilfe-Raum	10,0
		106	Schutz- und Zäblerschränke	10,0
		107	WC Herren	5,0
		108	WC Damen	5,0

Nr.	Ebene m ü. NN	Raum- num- mer	Bezeichnung	Nutz- bzw. Ver- kehrslast q_k [kN/m ²]
5	Ebene U1 Generatorflur +267,00	U1T1	Treppenhaus 1	5,0
		U1T1V	Vorraum Treppenhaus 1	10,0
		U1T2	Treppenhaus 2	5,0
		U1T2V	Vorraum Treppenhaus 2	10,0
		A1	Aufzugschacht	-
		A1V	Vorraum Aufzugschacht	10,0
		U101	Vorortregelung	10,0
		U102	Generatorgrube	20,0
		U103	Sternpunkt	10,0
		U104	Erregerschranke	10,0
		U105	Prozessleittechnik	10,0
		U106	Generatoreableitung	20,0
		U107	NSHV	20,0
		U108	DC-Verteilung	20,0
		U109	Batterieraum	20,0
		U110	ACg-Anlage	20,0
6	Ebene U2 Turbinenflur +262,00	U2T1	Treppenhaus 1	5,0
		U2T1V	Vorraum Treppenhaus 1	10,0
		U2T2	Treppenhaus 2	5,0
		U2T2V	Vorraum Treppenhaus 2	10,0
		A1	Aufzugschacht	-
		A1V	Vorraum Aufzugschacht	10,0
		U201	Örtlicher Maschinenleitstand	10,0
		U202	Zugang Turbinengrube	10,0
		U203	Zugang Turbinengrube	10,0
		U204	Turbinengrube	20,0
		U205	Turbinenregler	20,0
		U206	Nebenanlagen, Kühlwasserübergabe	10,0
		U207	Korridor	10,0
		U208	Druckbehälter und Kompressoren für Blasluft, Betriebsluft, Kompressoren	20,0
		U209	Werkstatt M+E	10,0
		U210	Lager M+E	20,0
		U211	WC Damen	5,0
		U212	WC Herren	5,0

Nr.	Ebene m ü. NN	Raum- num- mer	Bezeichnung	Nutz- bzw. Ver- kehrslast q_k [kN/m ²]
7	Ebene U3 Hilfsmaschinenflur +257,50	U3T1	Treppenhaus 1	5,0
		U3T1V	Vorraum Treppenhaus 1	10,0
		U3T2	Treppenhaus 2	5,0
		U3T2V	Vorraum Treppenhaus 2	10,0
		A1	Aufzugschacht	-
		A1V	Vorraum Aufzugschacht	10,0
		U3S1	Steigschacht Kabel	10,0
		U3S2	Steigschacht Rohre	10,0
		U301	Rohrverteilungsraum mit Antrieb Roll- schütz	20,0
		U302	Lager Ölbehälter	20,0
		U303	Zugang Saugrohrkonus	10,0
		U304	Verbindungsgang	10,0
		U305	Rohrverteilungsraum	10,0
		U306	Kühlwasserpumpenraum und Lösch- wasserpumpen	10,0
		U307	Raum für Schalt- und Steuerschränke Kühlwasser	10,0
		U308	Öllager, Ölaufbereitung	20,0
		U309	Raum für Gefahrenstoffe	20,0
		U310	Fäkalienanlage und Nebenanlage	10,0
8	Ebene U4/U5 Drainagegang +254,70 Drainagekanal +252,20 Pumpensumpf +248,30	U4T1	Treppenhaus 1	5,0
		U4T1V	Vorraum Treppenhaus 1	10,0
		U401	Zugang 1 Saugrohrraum	10,0
		U402	Zugang 2 Saugrohrraum	10,0
		U403	Drainagegang	
			Betonplattform	10,0
			Gitterrostbühne	5,0
		U404	Bühne Koaleszenzabscheider	10,0
		U405	Bühne Pumpensumpf Sickerwasser	5,0
		U406	Bühne Pumpensumpf Entwässerung	5,0

¹ Die allgemeine Verkehrslast in der Maschinenhalle beträgt 35 kN/m². Die Lasten für den Montage- & Revisionsplatz Stator, den Montage- und Revisionsplatz Rotor, den Kugelschieber- Vormontageplatz und den Lagerplatz für die Prüflasten des Hauptkranes sind gesondert im Kapitel 7.3 ausgewiesen.

² Der Zufahrtsbereich ist für eine Belastung aus Schwerlasttransport zu dimensionieren. Verwendet werden die Achs- bzw. Radlasten nach DIN EN 1991-2 (Lastmodell 1).

Tabelle 6: Raumbezogene Nutz- und Verkehrslasten MK

Die Pumpensümpfe U502 und U503 sind mit den entsprechenden maximalen Füllstandhöhen zu bemessen.

Bemerkung: Die Lasten aus den Ausrüstungskomponenten sind im Rahmen der Ausführungsplanung von den Ausrüsterlosen abzufragen und im Lastenheft vom Aufsteller der Ausführungsstatik zu ergänzen.

7.1.7 Grundwasserstände/Auftrieb

Seitens des Felsbaues ist kein Drainagesystem zur Regulierung des Grundwasserverlaufes vorgesehen. Der Montage- und Maschinenblock wird ab der Gründungssohle bis zum Turbinenflur als WU-Konstruktion ausgebildet.

Zwischen der Gründungssohle des Massivbauwerkes und der Felssohle bzw. dem Spritzbeton und den Außenwänden kann sich im ungünstigsten Fall der Wasserdruck bis zur Ebene 262,00 m ü. NN (TBF) nicht entspannen, da die Massivbaukonstruktion unterhalb dieser Höhe als „Weiße Wanne“ funktioniert.

Für die Bemessung der Außenwände und der einzelnen Bodenplatten ist der volle hydrostatische Außenwasserdruck anzusetzen. Oberhalb der Höhe 262,00 m ü. NN (TBF) ist kein Wasserdruck aus Grundwasser anzusetzen.

tieftste Gründungssohle Montageblock (Fahrstuhlschacht)	255,10 m ü. NN
tieftste Gründungssohle Maschinenblock (Pumpensümpfe in Raum U405/U406)	246,90 m ü. NN
OK Fußboden Turbinenflur (TBF)	262,00 m ü. NN
maximaler Wasserstand, Montageblock	5,90 m
maximaler Wasserstand, Maschinenblock	15,10 m

Diese Einwirkung ist als ständige veränderliche Einwirkung zu betrachten. Der Teilsicherheitsbeiwert gemäß DIN 19702 Tab. 1 ist mit $\gamma = 1,5$ festgelegt.

Für den Bauzustand ist die Sicherheit gegen Aufschwimmen nachzuweisen.

Beim Maschinenblock ist der Fertigstellungsgrad der Erst- und Zweitbetonabschnitte entsprechend Bauablauf und Ausrüstermontage zu berücksichtigen.

7.1.8 Temperatureinwirkungen

Annahme: Die Felstemperatur beträgt in der Kaverne konstant 10°C. Durch Belüftung und Klimatisierung kann eine maximale Raumtemperatur von +25°C erreicht werden. Wegen des möglich anstehenden Grundwasserverlaufes bis zur OK des Fußbodens des TBF bei 262,00 m ü. NN liegt der Temperaturgradient vollständig in den Außenwänden.

Es werden für die Außenwände unterhalb des Turbinenflures folgende Temperaturverteilungen angenommen:

gleichmäßige Temperaturdifferenz:	$\Delta T = 7,5 \text{ K}$
linearer Temperaturgradient:	$\Delta T = 7,5 \text{ K}$

Diese Annahmen sind seitens der TGA bzw. mit dem Betreiber zu überprüfen.

7.1.9 Belastungen aus Erdbeben

Im November 2018 wurde durch das Büro SDA-engineering GmbH eine Stellungnahme zu den Erdbebenansätzen für die Kraftwerkskaverne erstellt [8].

Im Ergebnis kann festgestellt werden, dass sich die Resultate des Seismologischen Gutachtens zur vormals geplanten Oberstufe Seekopf vom 20.08.2016 für eine Wiederkehrperiode von 500 Jahren auf den neuen Standort „Neue Unterstufe“ übertragen lassen. Nachfolgend werden die relevanten Angaben aus der Stellungnahme übernommen.

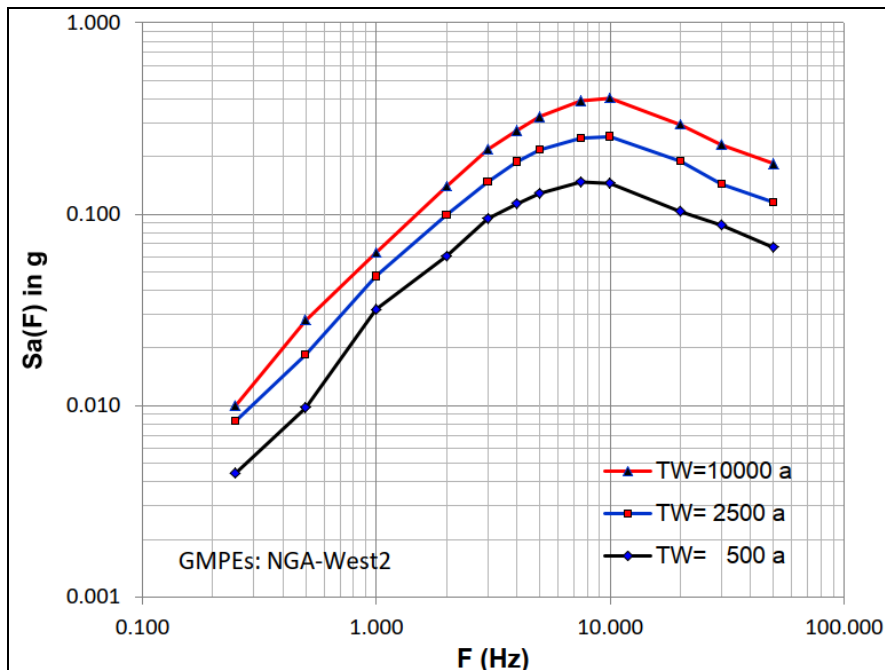


Abbildung 7-1: Antwortspektren (5 % Dämpfung) - horizontale Beschleunigung (aus [8] Abb. 2-3)

Frequenz [Hz]	Spektrale Beschleunigung [m/ss]
0.25	0.039
0.50	0.098
1.00	0.314
2.00	0.589
3.00	0.932
5.00	1.256
7.50	1.442
10.00	1.422
20.00	1.010
30.00	0.863
50.00	0.657

Abbildung 7-2: Antwortspektrum (5 % Dämpfung) bei mittlerer Wiederkehrperiode 500 Jahre (aus [8] Tab. 1)

7.1.10 Füllstandhöhen der Pumpensümpfe

Maximum:	+254,30 m ü. NN (OK Trennwand)
Alarm, Notschluss Verschluss 2:	+253,30 m ü. NN
Pumpe 1, 2, 3, 4 EIN:	+252,50 m ü. NN
Pumpe 1, 2, 3 EIN:	+251,70 m ü. NN
Pumpe 1, 2 EIN:	+250,90 m ü. NN
Pumpe 1, EIN:	+250,10 m ü. NN
Minimum:	+249,30 m ü. NN
Sohlhöhe U502/U503:	+248,30 m ü. NN

Die angegebenen Füllstandhöhen wurden geschätzt (Planungsstand Juni 2015) und sind im Rahmen der Ausführungsplanung gegebenenfalls zu revidieren und das Lastenheft dahingehend fortzuschreiben. Die Pumpensümpfe sind für die maximale Füllstandhöhe zu bemessen.

7.1.11 Sonderlastfall Störlichtbogen

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt liegen keine Berechnungen zum Störlichtbogen vor. Der Sonderlastfall ist für Räume zu berücksichtigen, in denen Mittel- oder Hochspannungsanlagen eingebaut werden. Je nach Ausführungsart der Baukonstruktion liegt die Druckbeanspruchung bei mindestens 0,30 kPa und maximal bei 2,50 kPa. Dies sind Anhaltswerte aus vergleichbaren Projekten.

Druckwelle: **$q_{s,k} = 2,50 \text{ kPa}$** (Berechnungsansatz für raumumschließende Bauteile)

Eine Druckbelastung auf die Wände, Stahlbaukonstruktionen und Fertigbetonteile - insbesondere auch der Anschlusskonstruktionen an die angrenzenden Stützen oder Wände - ist zu untersuchen.

Die Temperatureinwirkungen aus dem Lastfall Störlichtbogen ist für die Bemessung der Stahlkonstruktion zu berücksichtigen.

7.2 Lasten/Lastzustände aus den Hauptkomponenten der maschinen- und elektrotechnischen Ausrüstung

7.2.1 Motorgenerator

Wie die Pumpturbine, wird der Motorgenerator in beiden Drehrichtungen betrieben.

Fundamentpläne und Lagerkräfte liegen noch nicht vor und werden im Zuge der Ausführungsplanung nach Herstellerangaben in das Lastenheft übernommen. Die Beschreibung der Gesamtkräfte und Momente erfolgt nach den Berechnungsangaben des Elektrotechnik-Ausrüsters.

Es sind folgende Angaben mit Lastplan für die Bemessung der Stahlbetonkonstruktion erforderlich und im Lastenheft zu ergänzen:

- Führungslager-Kräfte je Niveau
- vertikale Fundamentkräfte je Niveau
- horizontale Fundamentkräfte je Niveau
- Momente um die Horizontalachse je Niveau
- Torsionsmomente um die Vertikalachse je Niveau

Die Lasttabellen müssen für jede Position den Wert für den statischen und dynamischen Anteil enthalten.

Für die Maximalkräfte je Auflage (Niveau) sind die aus den Gesamtkräften ermittelten Maximalkräfte je Auflage aufzulisten, wobei bei jedem Betriebsfall und jeder Kraft der statische und dynamische Anteil auszuweisen ist.

Die Maximalkräfte eines Betriebsfalles können zu verschiedenen Zeitpunkten auftreten und sind daher nur für die Auslegung der jeweiligen Auflagerstellen heranzuziehen.

Die Gesamtkräfte und -momente je Auflager-Niveau treten gleichzeitig mit der vom Hersteller angegebenen Frequenz (oszillierend) auf. Sie sind als Belastung für die Auslegung des gesamten Generatorfundamentes geeignet.

Weitere Kräfte, Frequenzen und Steifigkeiten des Motorgenerators sind bei der statischen Berechnung einzubeziehen (z. B. Wärmekräfte je Auflager).

7.2.2 Pumpturbine

Die Pumpturbine wird mit vertikaler Wellenanordnung ausgeführt und mit der Synchronmaschine direkt gekuppelt.

Das Spiralgehäuse wird auf Höhe 260,00 m ü. NN (Achse Laufrad) montiert und einbetoniert.

Im Turbinenbetrieb wird die Pumpturbine häufigen und größeren Laständerungen unterliegen, die den gesamten Betriebsbereich von Leerlauf bis Volllast über den gesamten Fallhöhenbereich erfassen.

Desgleichen dürfen keine unzulässigen Kavitationserscheinungen selbst bei Betrieb am Unterwasserabsenkziel Z_A auftreten.

Im Pumpbetrieb wird die Pumpturbine nur mit Volllast, d. h. mit fester Leitradöffnung gefahren.

Die Pumpturbine muss im Pumpbetrieb über dem gesamten Förderhöhenbereich und in dem vorgegebenen Frequenzbereich ein stabiles Betriebsverhalten aufweisen. Auch die Betätigung des Leitapparates beim Anfahren in den Pumpbetrieb oder Abstellen aus dem Pumpbetrieb bei jeweils offenem oberwasserseitigen Kugelschieber darf weder die Leitschaufeln noch andere Bauteile der Pumpturbine in solche Schwingungen oder Vibrationen versetzen, die eine Beeinträchtigung des Betriebes bedeuten würden.

Die nachfolgenden Angaben basieren auf dem Stand der Entwurfsplanung und sind noch unvollständig. Im Zuge der Ausführungsplanung sind die Kenndaten, Betriebszustände und Lastzustände zu aktualisieren bzw. zu ergänzen.

Kenndaten der Pumpturbine

Katastrophenstauziel im Oberbecken ($H_{o,ext}$)	668,50 m ü. NN
Stauziel im Oberbecken ($H_{o,max}$)	668,50 m ü. NN
Absenkziel im Oberbecken ($H_{o,min}$)	655,00 m ü. NN
Höhe der Spiralachse:	260,00 m ü. NN
Stauziel im Unterbecken ($H_{u,max}$)	301,60 m ü. NN

Für die Belastungen des Massivbauwerkes im Bereich der Pumpturbine gelten die Angaben des Lieferanten. Die Betriebszustände der Pumpturbine werden vorläufig wie folgt definiert und sind nach Herstellerangaben zu präzisieren. Der Hersteller hat die Fundamentbelastungen (Kräfte und Momente) vorzugeben. Das Lastenheft ist dahingehend zu ergänzen.

Lastfall	Lastzustand	Betriebszustand
1	T1	Pumpturbine wassergefüllt, Maschinenstillstand (Leitapparat und Kugelschieber geschlossen UW: $H_{u,max} = +301,60$ m ü. NN; OW: $H_{o,min} = +655,00$ m ü. NN)
2	T2	Turbinenbetrieb, normal unter Volllast
3	T3	Abschaltung der Pumpturbine bei offenem OW-seitigen KS
4	T4	Durchgang (stationär)
5	T5	Drehrichtungsumkehr bei offenem Leitapparat; $n = 0$ U/min
6	T6	Phasenschieberbetrieb (Im Turbinen- wie auch im Pumpendreh- sinn bleibt der OW-seitige KS und der Leitapparat geschlossen und die Spirale wassergefüllt)
7	T7	Pumpbetrieb normal

Lastfall	Lastzustand	Betriebszustand
8	T8	Pumpen gegen geschlossenen Kugelschieber
9	T9	Übergang Pumpbetrieb (Leitapp. geschlossen, Maschine anfahren)
10	T10	Übergang Pumpbetrieb (Maschine abstellen)
11	T01R	Maschinenrevision (Saugrohr und Spirale leer, KS und Saugrohrklappe geschlossen, Saugrohr wassergefüllt bis UW Saugrohrklappe bei Stauziel UW $H_{u,max} = +301,60$ m ü. NN
12	T00	Revision Kugelschieber (KS): KS zu, Spirale leer, UW- und OW-Stollen leer

T-Lastfallbezeichnung aus dem Betrieb der Pumpturbine

Tabelle 7: Last- und Betriebszustände der Pumpturbine

Die zusammengestellten Lastfälle schließen alle möglichen Betriebszustände von Maschinenrevision über Stillstand, Pumpbetrieb bis zum Turbinendurchgang ein.

Die vom Lieferanten angegebenen Fundamentbelastungen setzen sich aus statischen Lasten (Gewichtskräfte) und den vom jeweiligen Lastfall abhängigen Kräften aus der Pumpturbine (hydraulische Kräfte, Reibungskräfte, Druckkräfte) zusammen.

Temperaturänderungen in der Pumpturbine brauchen beim Fundament nicht berücksichtigt werden.

Die Sicherheits- und Erschütterungszuschläge für nicht exakt erfassbare Einflüsse gelten vereinbarungsgemäß für den aus dem Betrieb der Pumpturbine resultierenden Kräfteanteil. Die statischen Gewichtskräfte erhalten keine Zuschläge.

Das gleichzeitige Auftreten der vorgenannten Lastfälle ist nicht möglich. Nur die vom Lieferanten vorgegebenen Kräfte und Momente zuzüglich der dynamischen Sicherheitszuschläge zu den einzelnen Lastfällen sind gleichzeitig zu erwarten.

7.2.3 Spiralgehäuse

Das Spiralgehäuse einschließlich Stützschaufelring und oberwasserseitigem Verbindungsrohr wird als Schweißkonstruktion hergestellt und einbetoniert.

Die feste Verbindung mit dem Bauwerk erfolgt über den Stützschaufelring auf die angeschlossenen oberen und unteren Schachtauskleidungen sowie den Fundamentankerring unterhalb des Stützschaufelrings.

Das Spiralgehäuse wird bei maximalem Stauziel ($H_{o,max} = 668,50$ m ü. NN) mit einem Innendruck von ca. 41 bar (Spiralachse 260,00 m ü. NN) beaufschlagt. Im ungünstigen Fall kann bei Lastabwurf ein höherer Innendruck auftreten (Vorgabe vom Lieferanten).

Die Betriebszustände auf das Spiralgehäuse werden vorläufig ohne Lastgrößen wie folgt definiert. Die maximalen statischen und dynamischen Werte sind nach den Berechnungsan-

gaben des Lieferanten in das Lastenheft aufzunehmen. Die nachstehende Tabelle ist mit den Berechnungswerten zu ergänzen.

Lastfallzuordnung in Abhängigkeit der Belastungen während des Betriebes				
Nr.	Bezeichnung	Lastfall	Betriebszustand	Bemerkungen
1	Eintritts- bzw. Austrittsimpuls und unausgeglichener Druck auf die Spirale (Annahme: Ein Drittel der Kraft wirkt auf den Flansch am Einlaufstutzen und zwei Drittel auf das Spiralgehäuse)	LF1 - LF10	T1 - T10	Lastfälle und -zustände sind mit dem Ausrüster abzustimmen.
2	Drehmoment auf den Stützschaufelring (Abtragung der Momente nur unten auf das Massivbauwerk in Pumpendrehrichtung wirkend)	LF1 - LF10	T1 - T10	Lastfälle und -zustände sind mit dem Ausrüster abzustimmen
3	Radialkräfte auf den Stützschaufelring aus der Radiallagerkraft, stochastisch wirkend, am Umfang verteilt	LF1 - LF10	T1 - T10	Lastfälle und -zustände sind mit dem Ausrüster abzustimmen
4	Radialkraft am unteren Fundamentring des Stützschaufelringen infolge behinderter Aufweitung	-	-	pro m Umfang am Radius als innere Kraft im System
5	Stopfbuchsenreibungskraft am Spiralstutzen	-	-	Bei jeder Änderung Betriebszustand
6	Maximaler Innendruck	-	-	Bemessungsdruck, allseitig wirkend (bei Lastabwurf)
7	Vertikale Kraft auf den Abstützring, am Umfang verteilt	LF1 - LF10	T1 - T10	Lastfälle und -zustände sind mit dem Ausrüster abzustimmen

Lastfallzuordnung in Abhängigkeit der Belastungen während des Betriebes				
Nr.	Bezeichnung	Lastfall	Betriebszustand	Bemerkungen
8	Zugankervorspannkraft (unterhalb des Traversenringes)	-	-	Wert 100 % nach der Montage, bewirkt eine lokale Betonbeanspruchung im Bereich der Krafteinleitung der einzelnen Anker

T - Lastfallbezeichnung aus dem Betrieb der Pumpturbine

Tabelle 8: Lastzuordnung/Betriebszustände Spiralgehäuse

7.2.4 Saugrohr und Saugrohrschütz

Das Saugrohr der Pumpturbine wird bis zum Saugrohraustritt gepanzert. Der vertikal angeordnete Saugrohrkonus wird mit der Pumpturbine vertikal verbunden. Im Anschluss an den Saugrohrkrümmer und den Querschnittsübergang von rund auf rechteckig ist eine gepanzerte Nische zur vollständigen Aufnahme des geöffneten Saugrohrschützes vorgesehen.

Der maximale Innenwasserdruck im Betriebszustand entsteht bei maximalem Stauziel im Unterbecken ($H_{u,max} = 301,60$ m ü. NN) und Vollast-Lastabschaltung. Der Wert liegt zurzeit noch nicht vor und wird ergänzt.

Die konkreten Lastangaben zu den Umlenkkräften durch Innenwasserdruck, den vertikalen Kräften im Zusammenhang mit den einzelnen Betriebszuständen (LF 1-10/T1-10) der Pumpturbine stehen noch aus und sind zu ergänzen

Für die Saugrohrklappe sind drei Betriebsstellungen zu unterscheiden:

- Saugrohrschütz ($H_{u,max} = 301,60$ m ü. NN), Turbine leer
- Saugrohrschütz offen, Lastabwurf der Turbine (NB)
- Saugrohrschütz schließt bei Mannlochbruch (AL)

Die Lastangaben und Sicherheiten sowie die Berechnung der Fundamentkräfte für die Saugrohrklappe sind vom Ausrüster vorzugegeben und im Lastenheft fortzuschreiben.

Im Saugrohrbereich ist der Grund- bzw. Bergwasserstand nach Kap. 7.1.7 zu berücksichtigen.

7.2.5 Kugelschieber

Der Kugelschieber (KS) ist oberwasserseitig an die Druckstollenpanzerung fest anzuflanschen.

Unterwasserseitig wird er über das längsverschiebliche Ausbaurohr mit dem Spiralstutzen der Pumpturbine verbunden, was eine Längsverschiebung des Kugelschiebers gegenüber dem Spiralstutzen zulässt, ohne dass zusätzliche Zwangskräfte entstehen.

Die beidseitigen ölhydraulischen Servomotoren sind am Kugelschieberfuß angehängt. Die Betätigungskräfte werden dadurch nicht über den Fundamentsockel des Kugelschiebers geführt.

Die Vertikal- bzw. Horizontallasten wirken auf zwei Auflagern des Kugelschieberfundamentes.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Lastfälle und Betriebszustände für den Kugelschieber im Zusammenhang mit den Betriebszuständen der Pumpturbine zusammengestellt.

Lastfälle und Betriebszustände des Kugelschiebers				
Nr.	Betriebszustand	Bedingung/Erläuterung	Lastfall	Betriebszustand
1	Revision der Pumpturbine	Pumpturbine leer, KS geschlossen, OW- Druckrohrleitung voll	11	T01R
2	Revision des Kugelschiebers	Pumpturbine leer, OW- Druckrohrleitung leer	12	T00
3	Maschinenstillstand	Pumpturbine und OW- Druckrohrleitung gefüllt bei $H_{o,max} = 668,50$ m ü. NN, KS geschlossen	1	T1
4	Pumpbetrieb	KS offen	7	T7
5	Turbinenbetrieb	KS offen	2	T2
6	Turbinenabschaltung	KS offen, maximaler Innenwasserdruck	3	T3
7	KS-Notschluss bei maximalem Turbinenwasserstrom	Q_{max} z. Zt. keine Angaben	4	T4
8	KS-Notverschluss bei maximalem Havariewasserstrom	Einzellastfall, der nicht mit anderen Störlastfällen überlagert werden muss	13	T 11
9	Rohrabriss am KG	ein Bypass ist abgerissen	-	¹⁾
10	Rohrabriss am Ausbaurohr	ein Bypass ist abgerissen	1-10	T 1-10 ²⁾

- 1) Diese Last kann bei allen Lastfällen auftreten, bei denen der Kugelschieber unter OW-Druck steht
2) Die Last kann bei den Lastfällen LF 1-10 (T 1-10) auftreten.

Tabelle 9: Lastfälle und Betriebszustände Kugelschieber

Es sind die Sicherheits- und Erschütterungszuschläge für die einzelnen Fundamentlasten und die Vorspankräfte der Fundamentanker vom Lieferanten vorzugeben. Die Lastfälle und Fundamentlasten für den Kugelschieber sind vom Lieferanten in übersichtlicher Form nachzureichen und im Lastenheft zu ergänzen.

7.3 Montage- und Revisionslasten der Hauptkomponenten der maschinentechnischen Ausrüstung und Kranprüflasten

7.3.1 Standort

Es wird nur ein Standort für Montage und Revision von Stator, Rotor, Kugelschieber und den Prüfgewichten des Hauptkrans vorgesehen. Der Montageplatz befindet sich auf der Decke 271,90 m ü. NN des Maschinenhausflures zwischen den Achsen 5/6 des Montageblocks.

7.3.2 Stator

Der Stator wird über 10 Einzelabstützungen auf dem geplanten Montage- und Revisionsstandort abgesetzt.

maximales Endmontagegewicht (vorläufige Annahme) $G_K = 1300 \text{ kN}$

Einzellast pro Abstützung $G_{K1-12} = 130 \text{ kN}$

Konkrete Gewichtsangaben sind noch nicht vorhanden, das Lastenheft ist nach Angaben des Ausrüsters zu aktualisieren.

7.3.3 Rotor

Der Rotor wird auf einer vorgegebenen Kreisringfläche (Stahlplatte) abgestützt. Bisher liegen keine Angaben vor, es wird vorläufig eine Ringbreite von 50 cm angenommen.

max. Endmontagegewicht (vorl. Annahme): $G_K = 1300 \text{ kN}$

Kreisringfläche: $A_R = \pi \cdot (3,80^2 - 2,8^2) / 4 = 5,18 \text{ m}^2$

Ringflächenlast aus Rotor: $g_K = 1300 / 5,18 = 251 \text{ kN/m}^2$

Ersatzlinienlast: $g_K = 1300 \text{ kN} / (3,3 \text{ m} \cdot \pi) = 126 \text{ kN}$

Konkrete Gewichtsangaben sind noch nicht vorhanden, das Lastenheft ist nach Angaben des Ausrüsters zu aktualisieren.

7.3.4 Kugelschieber Vormontageplatz

Die Abstützung erfolgt auf Stahlplatten, die oberflächengleich in der Decke auf Höhe 271,90 m ü. NN verankert sind.

Im Rahmen der Entwurfsplanung kann davon ausgegangen werden, dass aufgrund der Lastannahmen für Rotor und Stator die Lasten für die Montage des Kugelschiebers mit abgedeckt sind.

Konkrete Gewichtsangaben sind noch nicht vorhanden, das Lastenheft ist nach Angaben des Ausrüsters zu aktualisieren.

7.3.5 Prüfungsgewichte für Hauptkran

Eine Lagerfläche für die Prüfungsgewichte ist innerhalb der Kraftwerkskaverne nicht vorgesehen. Sie sind für die Prüfung von außerhalb einzufahren. Alternativ kann, sofern von einer technischen Prüforganisation bestätigt, eine Prüfung des Krans mit Verankerung am Fußboden des Maschinenhausflurs durchgeführt werden.

Das Lastenheft ist nach Vorliegen der tatsächlichen Kran-/Prüflasten vom Ausrüster entsprechend zu ergänzen und die Nachweise entsprechend fortzuschreiben.

7.4 Weitere Lasten auf das Bauwerk während der Ortsfertigung und Montage

7.4.1 Montage des Spiralgehäuses

Zum Zeitpunkt der Montage der Spirale ist die Tragstruktur der Kaverne noch nicht vollständig erstellt. Für die Berücksichtigung dieses Bauzustandes sind die Lasten aus dem Kranbetrieb des Maschinenhauskranes vom Kranhersteller anzugeben, die ausschließlich bei der Montage der Spirale auftreten. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt liegen noch keine Angaben zu den Krankräften vor. Die Angaben sind vom Kranhersteller einzuholen und im Lastenheft zu ergänzen.

Als **Montagegewicht** werden ca. 130 t $\triangleq$ **1300 kN** für die Spirale angenommen, dies entspricht der maximal zulässigen Traglast des vorgesehenen Hallenkrans.

7.4.2 Spiralgehäuse-Montage am Einbauort

Konkrete Lastangaben (Kräfte und Momente) stehen noch aus und sind im Zuge der Fortschreibung des Lastenheftes im Rahmen der Ausführungsplanung zu ergänzen.

7.4.3 Saugrohr-Montage

Die Montage erfolgt mit dem Baukran (oder den Baukränen). Lastangaben (Kräfte und Momente) stehen noch aus und sind im Zuge der Fortschreibung des Lastenheftes zu ergänzen.

7.5 Lasten aus Kleinhebezeugen und Montagehilfsmitteln

Die Anzahl und der Bedarf von Kleinhebezeugen für Montage- und Revisionsarbeiten der maschinentechnischen Ausrüstungskomponenten stehen noch nicht fest und sind im Zuge der weiteren Planungsphasen mit den Ausrüstern abzustimmen. Die Hebezeuge sind raumbezogen mit den entsprechenden Lasteintragungen und Tragkräften vorzugeben.

Die Lastangaben für die Kleinhebezeuge und die Montagehilfsmittel werden im Lastenheft zum gegebenen Zeitpunkt ergänzt.

7.6 Bemessungslasten und Lastfallkombination für die maschinentechnische Hauptausrüstung

Die für die globale Tragfähigkeit relevanten Fundamentlasten der Hauptausrüstungskomponenten (Motorgenerator, Pumpturbine) werden dem globalen Lastensystem zugeordnet.

Die Lasten des lokalen Lastensystems sind für die lokale Beanspruchung maßgebend.

Grundlage für die Zusammenstellung der Bemessungslasten und Lastfallkombinationen sind die spezifischen Lastangaben für die einzelnen Hauptausrüstungskomponenten mit den zugewiesenen dynamischen Zuschlägen, die zum gegenwärtigen Zeitpunkt (Entwurfs-/Genehmigungsplanung) noch nicht vorliegen.

Das Lastenheft ist in diesem Kapitel mit den folgenden Bemessungslasten in tabellarischer Zusammenstellung zu ergänzen.

Motorgenerator

- Fundamentlasten des Synchron-Motorgenerators mit den maximalen Kräften je Auflage (lokales Lastensystem)
- Fundamentlasten des Synchron-Motorgenerators mit den Gesamtkräften und -momenten je Niveau (globales Lastensystem)

Pumpturbine

- Bemessungslasten auf der Pumpturbine mit den einzelnen Gewichtskräften

Aus dem Betrieb des Motorgenerators ergeben sich folgende maßgebenden Lastfälle:

Lastfall	Betriebszustand	Bezeichnung
G01R	-	Stillstand, Reparatur bzw. -Revision
G1	B1	Stillstand, normal
G2	B2	Normalbetrieb (Nennbetrieb)
G3	B3	Lastabwurf/Durchgang
G4	B4, B5, B8 - 10	Kurzschlüsse Bremsen und Fehlsynchronisation ¹⁾
G5	B13	Kurzschluss 1/2 Pole

¹⁾ Betriebszustände: B4 2-pol. Kurzschluss, Drehzahl 333,3 min⁻¹

B5	mechanische Bremsung, Drehzahl 333,3 min ⁻¹
B8	3-pol. Kurzschluss, Drehzahl 333,3 min ⁻¹
B9	2-pol. Fehlsynchronisation, Drehzahl 333,3 min ⁻¹
B10	2-pol. Fehlsynchronisation, Drehzahl 333,3 min ⁻¹

Tabelle 10: maßgebende Lastfälle aus dem Betrieb des Motorgenerators

Folgende maßgebenden Lastfälle für die statischen Berechnungen resultieren aus dem Betrieb der Pumpturbine:

Lastfall	Betriebszustand	Bezeichnung
11	T01R	Stillstand, Revision der Pumpturbine
1	T1	Maschinenstillstand, normal
2, 7	T2, T7	Normalbetrieb (Turbinen- bzw. Pumpbetrieb)
3-6; 8-10	T3-6 und T8-10	Störfälle TS (s. Kap. 7.2.5)

Tabelle 11: maßgebende Lastfälle aus dem Betrieb der Pumpturbine

Die Lastfallkombinationen (LK) für das globale Lastensystem sind wie folgt:

$$\text{LK 1} = \text{T01R} + \text{G01R}$$

$$\text{LK 2} = \text{T1} + \text{G1}$$

$$\text{LK 3} = \text{T2} + \text{G2}$$

$$\text{LK 4} = \text{T7} + \text{G2}$$

$$\text{LK 5} = \max. \text{T3} + \max. \text{T4} + \text{G3}$$

$$\text{LK 6} = \max. \text{T2} + \max. \text{T7} + \max. \text{TS} + \text{G4}$$

$$\text{LK 7} = \max. \text{T2} + \max. \text{T7} + \max. \text{TS} + \text{G5}$$

Es wird empfohlen die maßgebenden Lastkombinationen mit dem Ausrüster abzustimmen und bestätigen zu lassen. Ergänzungen sind im Lastenheft fortzuschreiben.

7.7 Bemessungssituation

Die Einwirkungen werden als ständige, veränderliche und außergewöhnliche Einwirkungen entsprechend EC 0 [10] unterschieden. Die Bildung der Einwirkungskombinationen und die Zuordnung zu den Bemessungssituationen erfolgt nach ebenfalls nach EC 0 bzw. den zugehörigen bauteilbezogenen Normen (z. B. EC 2).

Zur ständigen Bemessungssituation (BS-P) gehören alle Einwirkungskombinationen von Betriebs-zuständen einschließlich häufig wiederkehrender Einwirkungen.

Der vorübergehenden Bemessungssituation (BS-T) werden alle Bau- oder Revisionszustände zugeordnet. Störlastfälle aus Maschinenbetrieb sind ebenfalls in die vorübergehende Bemessungssituation einzustufen, da ein Störfall zu jeder Zeit auftreten und nicht planmäßig erfasst werden kann.

Zur außergewöhnlichen Bemessungssituation (BS-A) gehören alle Einwirkungen der ständigen Bemessungssituation zusammen mit einer außergewöhnlichen Einwirkung. Als außergewöhnliche Einwirkung kann der Bauzustand betrachtet werden, bei dem das Drainagesystem ausfällt und der volle hydrostatische Druck bis zum TBF vorhanden ist (Aufschwimmen der Konstruktion, Kap. 7.1.7).

Für die Kombinationsbeiwerte $\psi_{i,j}$ zur Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeit von gleichzeitig auftretenden veränderlichen Einwirkungen darf nach DIN 19702 [27] Kap. 5.3.2.2 für die WU-Bereiche in allen Bemessungssituationen im Allgemeinen $\psi = 1,0$ gesetzt werden.

Für den Hochbau können die Kombinationsbeiwerte nach EC 0 [10] Tab. NA.A.1.1 verwendet werden.

7.8 Nachweise

7.8.1 Grenzzustände der Tragfähigkeit

Die Nachweise sind nach EC 0 [10] zu führen.

Für die Bemessung von Bauteilen aus Beton und Stahlbeton gilt EC 2 [18].

Bei den statischen Nachweisen ist zu unterscheiden, ob eine Stahlbetonbemessung oder eine geotechnische Berechnung vorzunehmen ist.

Für Tragfähigkeitsnachweise, bei denen Einwirkungen bzw. Widerstände aus Tragwerk und Baugrund auftreten, gilt DIN EN 1990/NA „NDP zu A.1.3.1(5)“:

*Bei Tragfähigkeitsnachweisen (STR) für Bauteile wie Fundamente, Pfähle, Wände des Fundamentkörpers usw., die auch geotechnische Einwirkungen und Bodenwiderstände (GEO, siehe 6.4.1) beinhalten, sind die charakteristischen Werte sowohl der geotechnischen Einwirkungen (in Verbindung mit DIN EN 1997) als auch der übrigen Einwirkungen aus dem oder auf das Tragwerk ausschließlich mit den Teilsicherheitsbeiwerten aus Tabelle NA.A.1.2(B) zu multiplizieren (Verfahren 2). **Die Anwendung des Verfahrens 1 und des Verfahrens 3 ist nicht zulässig.***

Stahlbetonbemessung

Die Bemessung erfolgt nach EC 0 mit EC 2. Für die Stahlbetonbemessung sind die Einwirkungen mit den Teilsicherheitsbeiwerten nach EC 0 Tab. NA.A.1.2(B) zu beaufschlagen (siehe Tabelle 12).

Im Allgemeinen ist der Flüssigkeitsdruck als eine veränderliche Einwirkung zu behandeln. Flüssigkeitsdruck, dessen Größe durch geometrische Verhältnisse begrenzt ist, darf nach DIN 19702 [27] Kap. 4.2.3.1 als eine ständige Einwirkung behandelt werden.

Bei Versagen des Tragwerks infolge von Materialermüdung werden die Teilsicherheitsbeiwerte auf der Seite der Einwirkungen gleich 1,0 gesetzt ($\gamma_G, \gamma_Q = 1,0$). Modelle und Kombinationen für die Einwirkungen im Grenzzustand der Ermüdung werden in DIN EN 1992-1-1 [18] Kap. 2.4.2.3 angegeben.

Einwirkung	Symbol	Situationen	
		P/T	A/E
unabhängige ständige Einwirkungen			
Auswirkung ungünstig ^{a, b}	$\gamma_{G,sup}$	1,35	1,00
Auswirkung günstig ^{a, b}	$\gamma_{G,inf}$	1,00	1,00
unabhängige veränderliche Einwirkungen			
Auswirkung ungünstig ^{b, c}	γ_Q	1,50	1,00
außergewöhnliche Einwirkungen	γ_A	—	1,00
^a Beim Nachweis des Grenzzustands für das Versagen des Tragwerks werden alle charakteristischen Werte einer unabhängigen ständigen Einwirkung (d. h. die charakteristischen Werte aller ständigen Einwirkungen aus dem gleichen Ursprung) mit dem Faktor $\gamma_{G,sup}$ multipliziert, wenn die insgesamt resultierende Auswirkung auf die betrachtete Beanspruchung ungünstig ist, jedoch mit dem Faktor $\gamma_{G,inf}$, wenn die insgesamt resultierende Auswirkung günstig ist. ^b Zur Wahl der Teilsicherheitsbeiwerte beim Nachweis von geotechnischen Grenzzuständen siehe DIN 1054-101:2009-02, Tabellen A 2-1, A 2-2 und A 2-3. ^c Bei günstiger Auswirkung ist $\gamma_Q = 0$. ^d Die Werte γ_G und γ_Q dürfen nur im Einzelfall und nur in Abstimmung mit der zuständigen Bauaufsichtsbehörde in Faktoren γ_g und γ_q für die Unsicherheiten der repräsentativen Werte der Einwirkungen und in einen Faktor γ_{Ed} für die Modellunsicherheit der Einwirkungen und Beanspruchungen aufgeteilt werden.			

Tabelle 12: Tabelle NA.A.1.2(B) „Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen (STR/GEO) (Gruppe B)“ aus EC 0 [10]

(Hinweis zu ^b der Tabelle: Hier muss es heißen: „... siehe DIN 1054:2010-12 mit DIN 1054/A1:2012-08, Tabellen A 2.1, A 2.2 und A 2.3.“)

Geotechnische Nachweise

Die geotechnischen Nachweise sind mit den Teilsicherheitsbeiwerten nach DIN 1054 [25] Tabellen A 2.1, A 2.2 und A 2.3 vorzunehmen.

7.8.2 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

Die Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit umfassen:

- Begrenzung der Spannungen
- Begrenzung der Rissbreiten
- Begrenzung der Verformungen

Die Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit werden für die quasi-ständige Kombination gemäß EC 0 [10] Kap. 6.5.3 geführt.

8 Bauwerkssteifigkeit und Schwingungsberechnung des Maschinenblock-Fundamentes

8.1 Fundamentblock - Auflagersteifigkeit

Im Rahmen der Ausführungsplanung sind für die Auflagerpunkte der einzelnen Auflagerniveaus von Motorgenerator und Pumpturbine die dynamischen, horizontalen Steifigkeiten nachzuweisen. Die nachfolgenden Steifigkeiten beruhen auf Annahmen vergleichbarer Projekte und sind im Rahmen der Ausführungsplanung nach den Angaben der Hauptausrüster zu prüfen und eventuell zu revidieren:

Nachgiebigkeit des oberen Generatorlagers (ohne Ölfilm): 1,61 $\mu\text{m/kN}$

Nachgiebigkeit des unteren Generatorlagers (ohne Ölfilm): 0,54 $\mu\text{m/kN}$

Nachgiebigkeit des Turbinenlagers (ohne Ölfilm): 1,00 $\mu\text{m/kN}$

Aufgrund der sehr robusten Bauweise ist nicht davon auszugehen, dass sich durch anderweitige Forderungen wesentliche Änderungen an der Baukonstruktion ergeben.

Grenzwerte für den Motorgenerator-Bereich

Die maximal zulässige dynamische Fundamentnachgiebigkeit eines Niveaus des Motorgenerators in jede horizontale Richtung bei der Drehfrequenz des jeweiligen Betriebszustandes wird für Niveau 1 bis 3 als vorläufige Annahme mit 0,05 $\mu\text{m/kN}$ festgelegt.

Grenzwerte für den Pumpturbinen-Bereich

Die Bauwerk-Struktursteifigkeit über den Stützschaufelring wird als vorläufige Annahme mit 0,05 $\mu\text{m/kN}$ am gesamten Umfang festgelegt.

8.2 Eigenfrequenzen

Im Rahmen der Ausführungsplanung sind die Grenzwerte der vorgegebenen Eigenfrequenzen einzuhalten.

8.2.1 Grenzwerte für den Motorgenerator-Bereich

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt gibt es noch keine Angaben zu den Frequenzen aller dynamischen Kräfte für alle Betriebszustände sowie für die unzulässigen Eigenfrequenzen des gesamten Fundamentes und an den Anschlusspunkten des Stators bezüglich einer Torsionsschwingung um seine eigene Achse.

Die Grenzwerte werden nach Vorlage ergänzt.

8.2.2 Grenzwerte für den Pumpturbinen-Bereich

Es sind noch keine Angaben vorhanden, die Werte werden nach Vorlage ergänzt.

9 Kavernenteil Transformatoren

9.1 Entwurf der Baukonstruktion

Die Abmessungen des Kavernenteils ergeben sich aus dem Raumbedarf für den Maschinentransformator und die genannten Hilfs- und Nebeneinrichtungen. Damit ergeben sich die folgenden Abmessungen:

Länge:	47,4 m
Breite:	18,9/16,5 m
Höhe:	17,7/20,5 m

Südöstlich schließt der Kavernenteil Murgwerk an.

Die Höhenlage des Kavernenteils wird im Wesentlichen von der verkehrs- und ausrüstungstechnischen Seite auf der Ebene 271,90 m ü. NN (Maschinenhausflur Kavernenteil Schwarzenbachwerk) bestimmt. Der Kavernenteil ist in folgende Ebenen unterteilt:

E 3	Kranbahnflur:	281,20 bzw. 282,20 m ü. NN (15 kV-Schaltanlage)
E 1	Maschinenhausflur:	271,90 m ü. NN (Maschinentransformator)
E U1	Generatorflur:	267,00 m ü. NN (Generatorableitung)

Die Sicherung des Kavernenteils erfolgt wie im Kavernenteil Schwarzenbachwerk mit Felsankern und Spritzbeton. Die Felssicherungsmaßnahmen sind nicht Bestandteil dieses Lastenheftes, hierzu wird auf den Antragsteil B.VII.3 „Felsbaustatik Kraftwerkskaverne“ verwiesen.

Die Ausrüstung besteht hauptsächlich aus dem Maschinentransformator, dem Generatorleistungsschalter sowie den dazugehörigen Nebeneinrichtungen. Die räumliche Anordnung der elektrischen Betriebsräume ist den Projektplänen in Antragsteil B.V zu entnehmen.

Der Maschinentrafo wird in einem geschlossenen Raum (Trafobox) aufgestellt. Die Fundamente werden in der Ölauffangwanne ausgebildet, die mit flammhemmenden Rosten abgedeckt ist. Beide Kavernenteile werden brandschutztechnisch mit einer druckfesten Stahlbeton- und Stahlblechwand F90 voneinander abgetrennt. Anfallendes Löschwasser sowie Transformatoröl werden über eine Leitung in die Sammelgrube Öl/Löschwasser, Raum U102TK abgeleitet.

Alle Transporte in den Kavernenteil erfolgen über den Zufahrtsstollen aus südöstlicher Richtung.

9.2 Rissbreitenbeschränkung

Der Nachweis für die Rissbreitenbeschränkung ist gemäß DIN 19702 [27] und für dicke Bauteile $d > 0,8 \text{ m}$ für Zwang aus abfließender Hydratationswärme nach BAW-Merkblatt MFZ [33] zu führen.

Zur Begrenzung der Rissbreiten des Betons sind alle wasserbeaufschlagten Seiten (Grundwasser, Sickerwasser) der Bauteile für einen Rechenwert (90 %-Fraktile) der Rissbreite von $w_k = 0,25 \text{ mm}$ (Minimalforderung) zu dimensionieren.

In Anlehnung an § 19g WHG (Wasserhaushaltsgesetz) muss für Betonbauten, die mit flüssigen wassergefährdenden Stoffen beaufschlagt werden, die Dichtheit sichergestellt sein.

Die Richtlinie des DAfStb „Betonbau beim Umgang mit wassergefährdenden Stoffen“ [32] regelt, welche baulichen Voraussetzungen erfüllt sein müssen, damit Betonbauten gemäß EC 2 ohne Oberflächendichtung den Anforderungen gemäß WHG genügen.

Die Sohle und Wände der Ölauffanggrube sowie die Ölauffangwanne (Transformatorwanne) sind mit einem FD-Beton (flüssigkeitsdichter Beton) nach DIN EN 206 [9] und DIN 1045-2 [24] auszuführen.

In der folgenden Tabelle sind zulässige Rissbreiten für die einzelnen Bauteile vorgegeben.

Kavernenteil Transformatoren: zulässige Rissbreite zul. w_k				
Raum- Nr.	Raumbeschreibung	Bauteile/Bereich	zul. w_k [mm]	Bemerkungen
U101TK	Generatableitung	alle Bauteile	0,25	-
U102TK	Ölauffanggrube	Sohle, Wände	0,10	FD-Beton, WHG
		Decke	0,25	
101TK 102TK	Zufahrt Kavernenteil Transformatoren Generatorleistungsschalter	alle Bauteile	0,25	
103TK	Maschinentrafo und Kühleinrichtung	Sohle, Wände der Ölauffangwanne	0,10	FD-Beton, WHG
104TK	AUR-Trafo Eingang		0,25	
105TK	AUR-Trafo Ausgang	Wände, Decke, Stützen		
106TK	Trafo Murgwerk			

Tabelle 13: zulässige Rissbreiten für Betonbereiche im Kavernenteil Transformatoren

Für die Stahlbetonbauteile im Zwischenflur und Technikflur wird eine zulässige Rissbreite von $w_k = 0,25 \text{ mm}$ (normative Nutzungsdauer gemäß ZTV-W, 100 a) festgelegt.

9.3 Betoneigenschaften und Expositionsklassen

Zur Sicherung der Dauerhaftigkeit werden die Bauwerke und Bauteile den Expositionsklassen nach ZTV-W LB 215 [28] zugeordnet:

Nr.	Bauteil/Bereich	Festigkeitsklasse		Expositionsklassen
		min.	gew.	
1	U102TK Ölauffanggrube Sohle und Wände Sohle, Wände der Ölauffangwanne in folgenden Räumen: 103TK Maschinentrafo und Kühleinrichtung 104TK AUR-Trafo Eingang 105TK AUR-Trafo Ausgang 106TK Trafo Murgwerk	C30/37 FD-Beton ¹	C30/37 FD-Beton ¹	XC4, XA1
2	Sonstige Bauteile	C16/20	C25/30	XC1

¹ FD-Betone müssen die Anforderungen an Beton nach DIN EN 206/DIN 1045-2 erfüllen, z. B.

$w/z \leq 0,50$

$\text{Größtkorn } 16 \text{ mm} \leq D_{\max} \leq 32 \text{ mm}$

$\text{Zementleimgehalt} \leq 290 \text{ l/m}^3$

Tabelle 14: Betoneigenschaften und Expositionsklassen des Kavernenteil Transformatoren

9.4 Betondeckung und Betonstahl

Wie Kavernenteil Schwarzenbachwerk, siehe Kap. 6.4.

9.5 Kriechen und Schwinden

Wie Kavernenteil Schwarzenbachwerk, siehe Kap. 6.5.

9.6 Konstruktive Mindestbewehrung

Wie Kavernenteil Schwarzenbachwerk, siehe Kap. 6.6.

9.7 Ermüdungsfestigkeitsnachweise nach EC 2

Dynamische Einwirkungen sind für die Standsicherheit und Bemessung nicht relevant.

9.8 Einwirkungen

9.8.1 Eigenlasten

Wie Kavernenteil Schwarzenbachwerk, siehe Kap. 7.1.2.

9.8.2 Lasten aus Wandschwenkkran 5 t

Über dem Raum 303TK wird neben Achse T7 ein Wandschwenkkran montiert.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt liegen noch keine statischen und technischen Angaben eines Herstellers vor.

Für die statische Überprüfung der Tragfähigkeit der belasteten Wand werden im Rahmen der Entwurfs- und Genehmigungsplanung die Kräfte eines 5 t-Wandschwenkkranes der Firma Demag angesetzt:

Vertikallast	$V_{\max,k} = 83 \text{ kN}$
Horizontallast	$H_{\max,k} = \pm 181 \text{ kN}$
Abstand der Befestigungspunkte	$B1+B2 = 2310 \text{ mm}$

Die Angaben sind vom Lieferanten zu prüfen und gegebenenfalls zu revidieren.

9.8.3 Nutz-/Verkehrslasten

9.8.3.1 Maschinentransformator

Der Transformatortransport erfolgt direkt über den Zufahrtsstollen. Der Transformator wird dann über ein Schienensystem in den Raum 103TK geschoben.

Nach Vorliegen der Lastangaben zum Transformator ist das Lastenheft entsprechend zu ergänzen und im Rahmen der Ausführungsplanung die erforderlichen Nachweise zu führen.

9.8.3.2 Raumbezogene Nutz-/Verkehrslasten

Nr.	Ebene m ü. NN	Raum- num- mer	Bezeichnung	Nutz- /Verkehrslast q_k [kN/m ²]
1	Ebene 3 Kranbahnflur +282,00	301TK	Klima- und Lüftungszentrale, Kältezentrale	10,0
		302TK	Niederspannungsunterverteilung TK	10,0
		303TK	110 kV-Kabelanschlussraum	20,0
		304TK	Anfahrumsrichter	10,0
		305TK	10,5 kV-Schaltanlage	10,0
		306TK	6,3 kV-Schaltanlage Murgwerk	10,0
			Korridor	10,0
2	Ebene 2 Zwischenflur +277,05		entfällt	
3	Ebene 1 Maschinen- hausflur +271,90	101TK	Zufahrt Kavernenteil Transformatoren	LM 1 / 35,0
		102TK	Generatorleistungsschalter	20,0
		103TK	Maschinentransformator und Kühleinrichtung flammenhemmender Abdeckrost Trafoendgewicht auf Fundamentsockel 3200 kN (mit Öl) (4 Absetzpunkte)	10,0 800 kN/Pkt.
		104TK	AUR-Trafo Eingang	20,0
		105TK	AUR-Trafo Ausgang	20,0
		106TK	Trafo Murgwerk	20,0
		107TK	Murgwerk	20,0
4	Ebene U1 Generatorflur +267,00	U101T K	Generatableitung	10,0
		U102T K	Ölauffanggrube	10,0

Tabelle 15: Kavernenteil Transformatoren, raumbezogene Nutz-/Verkehrslasten

Allgemein sind die Verkehrslasten i. d. R. nicht kleiner als $q_k = 10,0$ kN/m² anzusetzen. Die Nutz-/Verkehrslasten beziehen sich auf die Räume mit den Hauptausrüstungskomponenten.

Die Lasten aus den Ausrüstungskomponenten sind, soweit im Lastenheft nicht aufgenommen, vom Ausrüster abzufragen und im Lastenheft vom Aufsteller der Ausführungsstatik zu ergänzen.

9.8.4 Grundwasserstände/Auftrieb

Es ist kein Drainagesystem zur Regulierung des Grundwasserverlaufes vorgesehen. Der maximale Grundwasserstand ist bis Oberkante Fahrbahn auf Höhe +271,90 m ü. NN anzusetzen.

Da es in diesem Kavernenteil keine maßgebenden tieferliegenden Räume gibt, kann der Nachweis gegen Auftrieb hier entfallen.

9.8.5 Felsdruck

Wie Kavernenteil Schwarzenbachwerk, siehe Kap. 7.1.4.

9.8.6 Temperatureinwirkungen

Es sind keine Temperatureinwirkungen für den Massivbau zu berücksichtigen.

9.8.7 Belastungen aus Erdbeben

Wie Kavernenteil Schwarzenbachwerk, siehe Kap. 7.1.9.

9.9 Lasten aus Ausrüstung und Nebeneinrichtungen

9.9.1 Generatableitung (Raum U101TK)

Alle Lastangaben sind bei den Ausrüsterlosen vom Aufsteller der Ausführungsstatik zu erfragen (vorzugsweise in tabellarischer Form mit Angabe der Einzellasten, Abstützungspunkte und Lastrichtungen) und im Lastenheft zu ergänzen.

9.9.2 Ölauffanggrube (Raum U102TK)

Der maximale Füllstand der Ölauffanggrube wird mit ca. 1,20 m angenommen. Das Ölgewicht ist mit $8,74 \text{ kN/m}^3$ anzunehmen.

9.9.3 Generator-Leistungsschalter, Phasenumkehrtrenner, etc. (Raum 102TK)

Die Lasten folgender Ausrüstungsgegenstände sind unter Berücksichtigung von Lastverteilung, Lastbild, Lastzuständen und Reaktionskräften (vertikal/horizontal) vom Aufsteller der Ausführungsstatik bei den Ausrüsterlosen zu erfragen und im Lastenheft zu ergänzen:

- Generator-Leistungsschalter
- Erdungstransformator
- Phasenumkehrtrenner
- Kurzschlussstrom-Begrenzungsdrösseln

9.9.4 Maschinentrafo und Kühleinrichtung (Raum 103TK)

Wie im Kap. 9.8.3.1 beschrieben, wird der Maschinentransformator bei der Montage von der Zufahrt in die endgültige Position in der Transformatorbox hydraulisch über Schienen verschoben.

Die Lastangaben für Nebeneinrichtungen sind unter Berücksichtigung von Lastverteilung, Lastbild und Lastzuständen (Montage, Betrieb, Revision) vom Aufsteller der Ausführungsstatik bei den Ausrüsterlosen zu erfragen und im Lastenheft zu ergänzen.

9.9.5 MVA Transformator (Räume 104TK und 105TK)

Die Lasten und Abmessungen des Transformators liegen noch nicht vor und sind im Rahmen der Ausführungsplanung im Lastenheft zu ergänzen.

9.9.6 Sonderlastfall Störlichtbogen

Berechnungen zum Störlichtbogen liegen noch nicht vor und sind im Rahmen der Ausführungsplanung im Lastenheft zu ergänzen.

Der Sonderlastfall ist für die Räume 103TK bis 106TK zu berücksichtigen. Die nachfolgenden Annahmen beruhen auf Lastangaben vergleichbarer Projekte. Je nach Ausführungsart der Baukonstruktion liegt die Druckbeanspruchung bei mindestens 0,30 kPa und maximal bei 2,50 kPa.

Druckwelle: $q_{s,k} = 2,50 \text{ kPa}$ (Berechnungsansatz für raumumschließende Bauteile)

Die Lasten sind vom Aufsteller der Ausführungsstatik bei den Ausrüsterlosen zu erfragen bzw. bestätigen zu lassen und gegebenenfalls zu revidieren. Die Stahlkonstruktion der druckfesten Trennwand F90 und die Befestigung an der Stahlbetonkonstruktion sind für die Druckbelastungen infolge Störlichtbogen nachzuweisen. Eine Überprüfung der Druckbelastung auf die Wände ist zu untersuchen.

Die Temperatureinwirkungen aus dem Lastfall Störlichtbogen ist für die Bemessung der Stahlkonstruktion zu berücksichtigen.

9.10 Bemessungssituation

Wie Kavernenteil Schwarzenbachwerk, siehe Kap. 7.7.

9.11 Nachweise

Wie Kavernenteil Schwarzenbachwerk, siehe Kap. 7.8.