

Staustufe Ering-Frauenstein
Vertiefte Überprüfung
Standicherheit Kraftwerk



München, den 10.03.2016

RMD-Consult GmbH
Wasserbau und Energie
Blutenburgstraße 20

80636 München

M. Kordes i.A. M. Kordes

Tel.: 089/99 222-402 – Hr. M. Kordes

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 1 | VORGEHEN | 3 |
| 2 | STATISCHE SYSTEME UND RANDBEDINGUNGEN | 4 |
| 3 | EINWIRKUNGEN | 5 |
| 3.1 | Allgemeine Einwirkungen | 5 |
| 3.2 | Einwirkungen aus Wasserdruck | 6 |
| 3.2.1 | Wasserstände | 6 |
| 3.2.2 | Vertikale Wasserauflast | 7 |
| 3.2.3 | Sohlwasserdruck | 7 |
| 3.2.4 | Ergebnisse Lastberechnung | 7 |
| 4 | STANDSICHERHEITSNACHWEISE | 8 |
| 4.1 | Grundlagen | 8 |
| 4.2 | Nachweis gegen Gleiten | 9 |
| 4.3 | Nachweis gegen Aufschwimmen | 10 |
| 4.4 | Nachweis gegen Kippen | 11 |
| 5 | ZUSAMMENFASSENDE BEWERTUNG | 12 |
| | VERWENDETE UNTERLAGEN | 13 |
| | ANLAGENVERZEICHNIS | 14 |

1 VORGEHEN

Im Zuge der vertieften Überprüfung und aufgrund neu berechneter UW-Stände besteht die Anforderung, die Standsicherheit des Kraftwerkes nach aktuellen Vorschriften nachzuweisen. Für das Kraftwerk liegen keine Standsicherheitsberechnungen aus der neueren Zeit vor, sondern nur die Bestandsstatik [1] aus der Zeit der Errichtung des Kraftwerkes. Grundlegende Ertüchtigungs- bzw. Instandsetzungsmaßnahmen am Kraftwerk, welche Einfluss auf die Berechnungen haben, sind nicht bekannt. Demzufolge werden die für die Statik relevanten Gegebenheiten in den Bestandsunterlagen des Kraftwerks als aktuell angesehen.

In der Bestandsstatik [1] wurden nur Nachweise zur Gleitsicherheit erbracht. Die Nachweise gegen Aufschwimmen und gegen Kippen werden im vorliegenden Bericht ebenfalls geführt.

Die Standsicherheitsnachweise werden für folgende Lastfälle geführt:

- Lastfall „Betrieb“
- Lastfall „Revision“

Nach DIN 19702 ist für Stauanlagen der Lastfall „Betrieb“ für die ständige Bemessungssituation nachzuweisen und der Lastfall „Revision“ für die vorübergehende Bemessungssituation. Für die Revision können zusätzlich maßgebende Hochwasserstände festgelegt werden.

Der Lastfall „Revision“ wird für die zwei Unterwasserspiegellagen bei NNQ und BHQ1 untersucht. Beim NNQ wirken der kleinste Auftrieb und die größte Horizontalkraft aus dem Wasserdruck. Beim BHQ1 wirken der größte Auftrieb und die kleinste Horizontalkraft aus dem Wasserdruck.

2 STATISCHE SYSTEME UND RANDBEDINGUNGEN

Im Folgenden werden die gewählten statischen Systeme und Randbedingungen beschrieben, welche bei den Berechnungen berücksichtigt werden.

Das Kraftwerk wurde entsprechend den Maschinen blockweise errichtet. Zwischen den Kraftwerksblöcken sind Bauwerksfugen vorhanden, sodass diese nicht als monolithisch verbunden angenommen werden. Zusätzlich sind Bauwerksfugen zwischen Einlaufbauwerk und Krafthaus sowie zwischen Krafthaus und Auslauf Saugschlauch vorhanden (genauerer siehe Anlage 1).

Auf Grund der vorhandenen Bauwerksfugen wird in den Berechnungen der Standicherheitsnachweise nur das Krafthaus eines Kraftwerkblockes betrachtet.

Zur Berechnung der Sickerwasserlinie für den Sohlwasserdruck stehen keine Sohl-druckmessungen unter dem Kraftwerk zur Verfügung, welche für die Verifizierung des Sohlwasserdruckansatzes herangezogen werden können.

Das Einlaufbauwerk und das Krafthaus werden bei den Sohlwasserdruckberechnungen als Ganzes betrachtet (siehe Abschnitt 3.2.3), da bei Revision die Dammbalken im Einlaufbauwerk gesetzt werden und die Bauwerksfuge zwischen Einlaufbauwerk und Krafthaus dicht sein muss. In den Bestandsplänen ist unter dem Einlaufbauwerk zusätzlich eine Spundwand eingetragen, deren Einbindetiefe und Durchgängigkeit im Grundriss nicht bekannt ist. Bei der Berechnung des Sohlwasserdruckes wird diese auf der sicheren Seite als durchlässig betrachtet.

Der Verlängerungsfaktor wird zu $\lambda = 1,0$ gesetzt. Bei den analogen Betrachtungen zum Wehr [2] lagen bei $\lambda = 1,0$ die gemessenen Sohlwasserdrücke geringfügig unter den rechnerisch ermittelten Sohlwasserdrücken, sodass dieser Zusammenhang beim Kraftwerks ebenfalls als gegeben angenommen wird.

Im Grundriss betrachtet, ist der Saugschlauch bezüglich des Einlaufs leicht versetzt. Die Breite eines Kraftwerksblock wird konstant mit $B = 29,00$ m berücksichtigt.

3 EINWIRKUNGEN

3.1 Allgemeine Einwirkungen

Einwirkungen aus Eigengewicht

In der Bestandsstatik [1] sind Berechnungen zur globalen Standsicherheit vorhanden. Bei der Massenermittlung des Krafthauses können jedoch die Einzellasten aus dem Eigengewicht ihrer Lage nicht zugeordnet werden, da die entsprechende Skizze bzw. Zeichnung fehlt. Demzufolge wurden die Gewichtslasten des Krafthauses neu ermittelt. Die Wichte des Betons wurde weiterhin mit $\gamma = 22,5 \text{ kN/m}^3$ angesetzt.

Die Geometrie des Krafthauses ist sehr komplex. Daher wurden bei der Massenermittlung wesentliche Vereinfachungen vorgenommen. Vom Krafthaus wurden nur die Gewichtslasten über die Höhe von +334,70 m ü NN (Höhe Fußboden Hauptbedienungsgang) bis +309,15 m ü NN (Unterkante Kraftwerk) berücksichtigt sowie in Längsrichtung zwischen den Bauwerksfugen. Die Gewichtslasten oberhalb +334,70 m ü NN werden vernachlässigt, da ihre Größenwerte in den Berechnungen keinen maßgeblichen Einfluss haben. Die neu berechnete Gewichtslast des Krafthauses ist kleiner als die in [1] und liegt somit auf der sicheren Seite.

Die Berechnung der Gewichtslasten des Krafthauses ist in Anlage 1 aufgeführt.

Einwirkungen aus Erddruck

Bei den bisherigen Standsicherheitsberechnungen wurde der horizontale Erddruck nicht mit angesetzt. Es wird angenommen, dass der Erddruck aufgrund der hohen Kohäsion vernachlässigt wurde. In [1] ist beschrieben, dass der Flinzsand (bis +320,70) und der harte Flinz (bis +310,20) in der Baugrube der Wehranlage nahezu senkrecht abgetragen wurden. Beide Böden wurden ebenfalls im Bereich des Kraftwerkes erkundet.

Ausgehend von diesen Beschreibungen werden für den Erddruck die gleichen Bodenkennwerte wie für das Wehr in [2] angesetzt.

Wichte $\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$, $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$; Reibungswinkel $\varphi' = 35^\circ$.

Im Oberwasser wird der aktive Erddruck angesetzt und im Unterwasser der passive Erddruck. Nach EC7 darf jedoch nur 50% des ermittelten passiven Erddrucks in den Nachweisen berücksichtigt werden. Die Erddruckberechnung ist unabhängig vom gewählten Lastfall und kann Anlage 5 entnommen werden.

Einwirkungen aus Windlast

Die Geometrie des Bauwerkes lässt keine großen Aufbauten erkennen. Auf den Bau einer Maschinenhalle wurde bewusst verzichtet, damit sich der Portalkran über die gesamte Stauanlage bewegen kann.

Die Windlasten auf den Portalkran werden für die Nachweise der globalen Standssicherheit als vernachlässigbar gering angesehen, sodass diese nicht weiter verfolgt werden. Zusätzlich wirkt das Eigengewicht des Portalkrans günstig in den Nachweisen.

Einwirkungen aus Erdbeben

Die Staustufe befindet sich in der Erbebenzone 0. Dementsprechend sind keine Einwirkungen aus Erdbeben anzusetzen.

3.2 Einwirkungen aus Wasserdruck

3.2.1 Wasserstände

Der Lastfall „Betrieb“ geht von Mittelwasser MQ und somit dem Stauziel Z_S im Oberwasser aus. Die angesetzten Wasserstände sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Wasserstände Lastfall „Betrieb“

| | |
|----------------------|------------------|
| Oberwasser (Z_S) | Unterwasser (MQ) |
| 336,20 m ü NN | 326,28 m ü NN |

Wie in Kap. 1 bereits erwähnt, werden beim Lastfall „Revision“ die Unterwasserspiegel bei Niedrigwasser (NNQ) und Bemessungshochwasser (BHQ1) angesetzt. Es wird für beide Unterwasserspiegel davon ausgegangen, dass im Oberwasser das Stauziel eingehalten wird. Tabelle 2 listet diese Zusammenhänge auf.

Tabelle 2: Wasserstände Lastfall „Revision“

| | | |
|----------------------|-------------------|--------------------|
| Oberwasser (Z_S) | Unterwasser (NNQ) | Unterwasser (BHQ1) |
| 336,20 m ü NN | 325,93 m ü NN | 331,71 m ü NN |

3.2.2 Vertikale Wasserauflast

Die vertikalen Wasserauflasten über dem Saugschlauch werden entsprechend den Wasserspiegeln im Unterwasser berechnet und sind in Anlage 4 aufgeführt.

Die Wasserlasten innerhalb des Kraftwerkes werden indirekt bei der Massenermittlung berechnet (Anlage 1).

3.2.3 Sohlwasserdruck

In der Bestandsstatik [1] wurde der Flinzsand und der harte Flinz als wasserundurchlässig beschrieben. Allerdings wurden bei den Standssicherheitsberechnungen "der Auftrieb im Flinzsand und harten Flinz vorsorglich mit 50% des vollen Wertes eingesetzt".

In den vorliegenden Untersuchungen wurde jedoch von diesem Ansatz abgewichen und der Sohlwasserdruck analog zu den Standssicherheitsberechnungen der Wehranlage nach dem Verfahren der Grenzsickerlinie berechnet.

Die berechneten Sohlwasserdrücke entsprechend den Lastfällen sind Anlage 2 zu entnehmen.

3.2.4 Ergebnisse Lastberechnung

Die zusammengefassten Ergebnisse der Wassereinwirkungen auf das Kraftwerk sind in Anlage 6 ersichtlich.

4 STANDSICHERHEITSNACHWEISE

4.1 Grundlagen

Zu den Nachweisen der globalen Standstabilität gehören der Nachweis der Gleitsicherheit, der Nachweis gegen Aufschwimmen und der Nachweis gegen Kippen.

Die relevanten Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen sind aus der DIN 1054 [3] entnommen und in Tabelle 3 zusammengefasst. Tabelle 4 zeigt die Teilsicherheitsbeiwerte der Widerstände.

Tabelle 3: Teilsicherheitsbeiwerte Einwirkungen nach DIN 1054 (2010)

| Einwirkung bzw. Beanspruchung | Formelzeichen | Bemessungssituation | | |
|--|-----------------------|---------------------|------|------|
| | | BS-P | BS-T | BS-A |
| HYD und UPL: Grenzzustand des Versagens durch hydraulischen Grundbruch und Aufschwimmen | | | | |
| Destabilisierende ständige Einwirkungen ^a | $\gamma_{G,dst}$ | 1,05 | 1,05 | 1,00 |
| Stabilisierende ständige Einwirkungen | $\gamma_{G,stb}$ | 0,95 | 0,95 | 0,95 |
| Destabilisierende veränderliche Einwirkungen | $\gamma_{Q,dst}$ | 1,50 | 1,30 | 1,00 |
| Stabilisierende veränderliche Einwirkungen | $\gamma_{Q,stb}$ | 0 | 0 | 0 |
| Strömungskraft bei günstigem Untergrund | γ_H | 1,35 | 1,30 | 1,20 |
| Strömungskraft bei ungünstigem Untergrund | γ_H | 1,80 | 1,60 | 1,35 |
| EQU: Grenzzustand des Verlusts der Lagesicherheit | | | | |
| Ungünstige ständige Einwirkungen | $\gamma_{G,dst}$ | 1,10 | 1,05 | 1,00 |
| Günstige ständige Einwirkungen | $\gamma_{G,stb}$ | 0,90 | 0,90 | 0,95 |
| Ungünstige veränderliche Einwirkungen | γ_Q | 1,50 | 1,25 | 1,00 |
| STR und GEO-2: Grenzzustand des Versagens von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund | | | | |
| Beanspruchungen aus ständigen Einwirkungen allgemein ^a | γ_G | 1,35 | 1,20 | 1,10 |
| Beanspruchungen aus günstigen ständigen Einwirkungen ^b | $\gamma_{G,inf}$ | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Beanspruchungen aus ständigen Einwirkungen aus Erdruchdruck | $\gamma_{G \cdot E0}$ | 1,20 | 1,10 | 1,00 |
| Beanspruchungen aus ungünstigen veränderlichen Einwirkungen | γ_Q | 1,50 | 1,30 | 1,10 |
| Beanspruchungen aus günstigen veränderlichen Einwirkungen | γ_Q | 0 | 0 | 0 |
| GEO-3: Grenzzustand des Versagens durch Verlusts der Gesamtstandstabilität | | | | |
| Ständige Einwirkungen ^a | γ_G | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Ungünstige veränderliche Einwirkungen | γ_Q | 1,30 | 1,20 | 1,00 |
| SLS: Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit | | | | |
| $\gamma_G = 1,00$ für ständige Einwirkungen bzw. Beanspruchungen | | | | |
| $\gamma_Q = 1,00$ für veränderliche Einwirkungen bzw. Beanspruchungen | | | | |
| ^a einschließlich ständigem und veränderlichem Wasserdruck. | | | | |
| ^b nur im Sonderfall nach 7.6.3.1 A (2). | | | | |

Tabelle 4: Teilsicherheitsbeiwerte Widerstände nach DIN 1054 (2010)

| Widerstand | Formelzeichen | Bemessungssituation | | |
|--|--------------------------------|---------------------|------|------|
| | | BS-P | BS-T | BS-A |
| STR und GEO-2: Grenzzustand des Versagens von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund | | | | |
| Bodenwiderstände | | | | |
| — Erdwiderstand und Grundbruchwiderstand | $\gamma_{R,e}, \gamma_{R,v}$ | 1,40 | 1,30 | 1,20 |
| — Gleitwiderstand | $\gamma_{R,h}$ | 1,10 | 1,10 | 1,10 |
| Pfahlwiderstände aus statischen und dynamischen Pfahlprobelastungen | | | | |
| — Fußwiderstand | γ_b | 1,10 | 1,10 | 1,10 |
| — Mantelwiderstand (Druck) | γ_s | 1,10 | 1,10 | 1,10 |
| — Gesamtwiderstand (Druck) | γ_t | 1,10 | 1,10 | 1,10 |
| — Mantelwiderstand (Zug) | $\gamma_{s,t}$ | 1,15 | 1,15 | 1,15 |
| Pfahlwiderstände auf der Grundlage von Erfahrungswerten | | | | |
| — Druckpfähle | $\gamma_b, \gamma_s, \gamma_t$ | 1,40 | 1,40 | 1,40 |
| — Zugpfähle (nur in Ausnahmefällen) | $\gamma_{s,t}$ | 1,50 | 1,50 | 1,50 |
| Herauszieh Widerstände | | | | |
| — Boden- bzw. Felsnägel | γ_a | 1,40 | 1,30 | 1,20 |
| — Verpresskörper von Verpressankern | γ_a | 1,10 | 1,10 | 1,10 |
| — Flexible Bewehrungselemente | γ_a | 1,40 | 1,30 | 1,20 |
| GEO-3: Grenzzustand des Versagens durch Verlust der Gesamtstandsicherheit | | | | |
| Scherfestigkeit | | | | |
| — Siehe Tabelle A 2.2 | | | | |
| Herauszieh Widerstände | | | | |
| — Siehe STR und GEO-2 | | | | |

4.2 Nachweis gegen Gleiten

Die Nachweise gegen Gleiten werden nach EC durch den Vergleich der Einwirkungen und der Widerstände geführt. Die Nachweise werden in Kraftwerkslängsrichtung geführt.

Nachweisform: $T_d \leq R_{T,d} + E_{pt,d}$

Die ausführlichen Berechnungen der Bemessungslasten und Bemessungswiderstände sind Anlage 7 aufgeführt, die Zusammenfassung der Ergebnisse ist in Tabelle 5 zu finden.

Tabelle 5: Ergebnisse Nachweis der Gleitsicherheit

| Lastfall | T_d [kN] | $R_{T,d} + E_{pt,d}$ [kN] | E/R [-] |
|-----------------|------------|---------------------------|---------|
| Betrieb | 77.551 | 138.602 | 0,56 |
| Revision + NNQ | 70.404 | 106.329 | 0,66 |
| Revision + BHQ1 | 40.664 | 94.806 | 0,43 |

Die Nachweise sind auch ohne den Ansatz des Erdwiderstands erfüllt. Somit ist auch nachgewiesen, dass der anschließende Saugschlauch nicht berücksichtigt werden muss.

Nachweis für Hochwasser BHQ2, BS-A (EC)

Bei Hochwasser ist der Gleitnachweis nicht maßgebend, da die Wasserspiegel auf beiden Seiten des Kraftwerks annähernd gleich sind. Auf einen Vergleich kann daher verzichtet werden. Der Gleitnachweis nach Eurocode ist für Hochwasser sichergestellt.

Nachweis für Erdbeben, BS-A (EC)

Die Stauanlage liegt in der Erdbebenzone 0. Der Nachweis kann somit entfallen.

4.3 Nachweis gegen Aufschwimmen

Der Nachweis gegen Aufschwimmen wird nach EC durch den Vergleich der destabilisierenden und der stabilisierenden Einwirkungen geführt. Die Teilsicherheitsbeiwerte sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Nachweisform: $G_{d,dst} \leq G_{d,stb}$

Die ausführlichen Berechnungen der stabilisierenden und destabilisierenden Einwirkungen sind Anlage 8 aufgeführt, die Zusammenfassung der Ergebnisse ist in Tabelle 6 zu finden.

Tabelle 6: Ergebnisse Nachweis gegen Aufschwimmen

| Lastfall | $G_{dst} \cdot \gamma_{dst}$ [kN] | $G_{stb} \cdot \gamma_{stb}$ [kN] | E/R [-] |
|-----------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------|
| Betrieb | 168.085 | 344.878 | 0,49 |
| Revision + NNQ | 166.003 | 293.749 | 0,57 |
| Revision + BHQ1 | 200.392 | 307.666 | 0,65 |

Nachweis für Hochwasser BHQ2, BS-A (EC)

Bei Hochwasser ist der Nachweis gegen Aufschwimmen nicht maßgebend, da das Kraftwerk mit Wasser gefüllt ist und das Kraftwerk somit nicht aufschwimmen kann. Auf einen Vergleich kann daher verzichtet werden. Der Nachweis nach Eurocode ist für Hochwasser sichergestellt.

Nachweis für Erdbeben, BS-A (EC)

Die Stauanlage liegt in der Erdbebenzone 0. Der Nachweis kann somit entfallen.

4.4 Nachweis gegen Kippen

Der Nachweis gegen Kippen wird nach EC durch den Vergleich von destabilisierenden und stabilisierenden Einwirkungen für eine fiktive Kippkante am Fundamentrand sowie durch den Nachweis der zulässigen Außermitten geführt.

Der Nachweis gegen Kippen wird hier nur durch den Nachweis der zulässigen Außermitten erbracht. Dabei werden nur die charakteristischen Werte der Einwirkungen und keine Widerstände angesetzt. Nach EC ist die zulässige Außermitte von $b/6$ für (nur) ständige Einwirkungen und von $b/3$ für ständige und veränderliche Einwirkungen einzuhalten. Der Nachweis durch den Vergleich von destabilisierenden und stabilisierenden Einwirkungen für eine fiktive Kippkante ist damit ebenfalls erbracht.

Die ausführlichen Berechnungen der Exzentrizität sind Anlage 9 aufgeführt, die Zusammenfassung der Ergebnisse ist in Tabelle 7 zu finden.

Tabelle 7: Ergebnisse Nachweis gegen Kippen

| Lastfall | e [m] | e _{zul} [m] | E/R [-] |
|-----------------|-------|----------------------|---------|
| Betrieb | 2,24 | 4,80 | 0,47 |
| Revision + NNQ | 2,75 | 9,60 | 0,29 |
| Revision + BHQ1 | 0,12 | 9,60 | 0,01 |

Nachweis für Hochwasser BHQ2, BS-A (EC)

Bei Hochwasser ist der Nachweis gegen Kippen nicht maßgebend, da die Wasserspiegel auf beiden Seiten des Kraftwerkes annähernd gleich sind. Auf einen Vergleich kann daher verzichtet werden. Der Nachweis nach Eurocode ist für Hochwasser sichergestellt.

Nachweis für Erdbeben, BS-A (EC)

Die Stauanlage liegt in der Erdbebenzone 0. Der Nachweis kann somit entfallen.

5 ZUSAMMENFASSENDER BEWERTUNG

Für das Kraftwerk konnten alle Nachweise der globalen Standicherheit erbracht werden. Das Kraftwerk ist dementsprechend nach aktuellen Vorschriften standsicher.

Der Kraftwerksblock der Eigenbedarfsmaschine ist ebenfalls standsicher. Die „Hohlräume“ des Blockes sind verhältnismäßig kleiner als die der Hauptmaschinenblöcke. Dementsprechend sind größere Gewichtslasten vorhanden.

VERWENDETE UNTERLAGEN

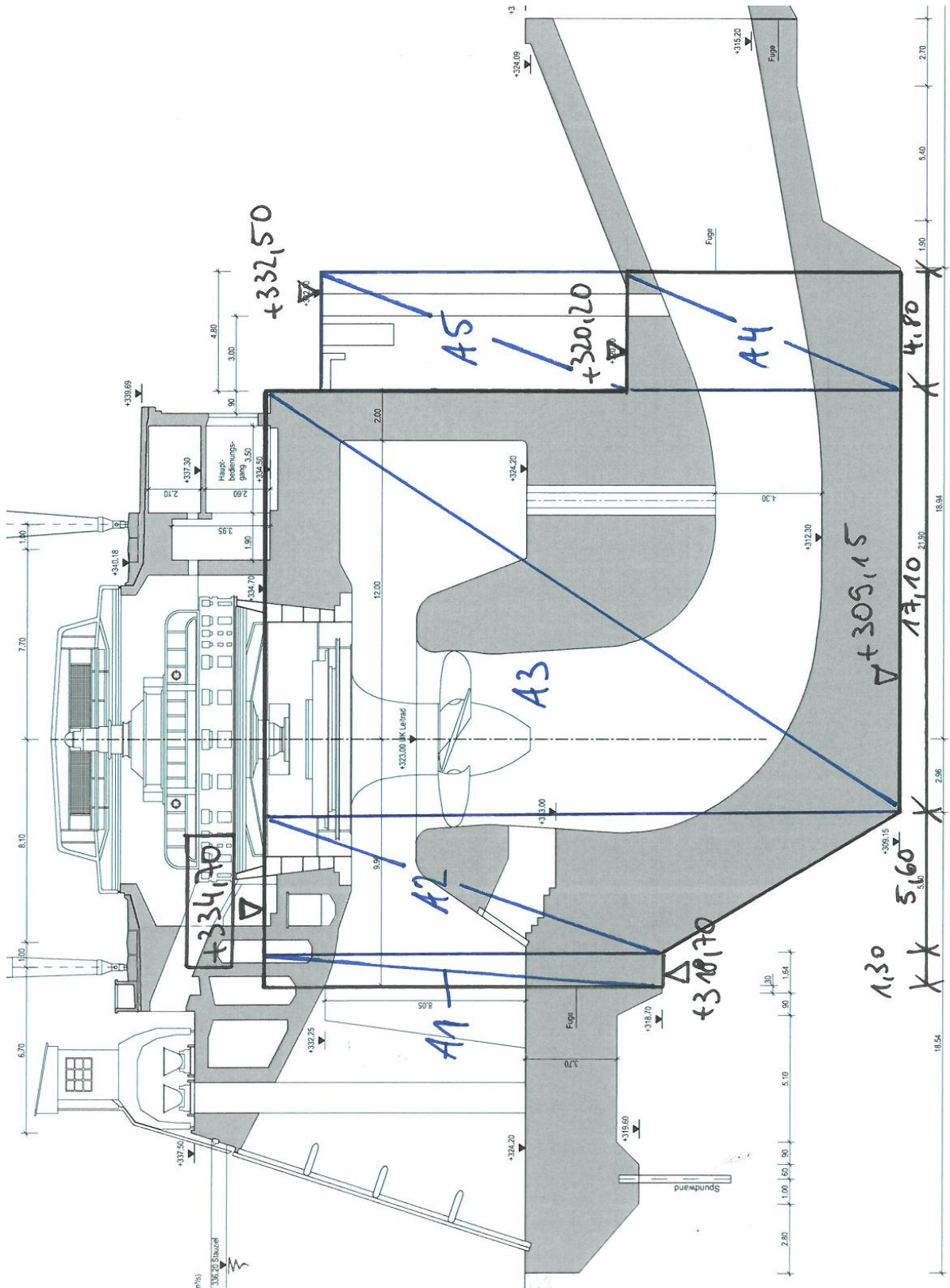
- [1] Standfestigkeitsuntersuchung eines Maschinenblockes der Turbinenanlage, Unterer Inn, Kraftstufe Ering, Statik-Nr. NI 8561, 12.04.1940 (*Stauanlagenbuch Dokument 5_3__58*)
- [2] Wehranlage Innstufe Ering – Standssicherheitsuntersuchung, Teil 4: Unter Berücksichtigung bereits durchgeführter und geplanter Maßnahmen, Ingenieurbüro EDR GmbH, Juni 2003 (*Stauanlagenbuch Dokument 5_3__9*)
- [3] DIN 1054: Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau - Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1, 2010

ANLAGENVERZEICHNIS

| | |
|----------|--|
| Anlage 1 | Eigengewicht Kraftwerk |
| Anlage 2 | Ermittlung Sohlwasserdruck |
| Anlage 3 | Ermittlung Horizontaler Wasserdruck |
| Anlage 4 | Ermittlung Wasserauflasten |
| Anlage 5 | Berechnung Erddruck |
| Anlage 6 | Zusammenfassung der Wasserlasten |
| Anlage 7 | Berechnungen zum Nachweis gegen Gleiten |
| Anlage 8 | Berechnungen zum Nachweis gegen Aufschwimmen |
| Anlage 9 | Berechnungen zum Nachweis gegen Kippen |

Anlage 1 Eigengewicht Kraftwerk

Massen „Äußere Hülle“



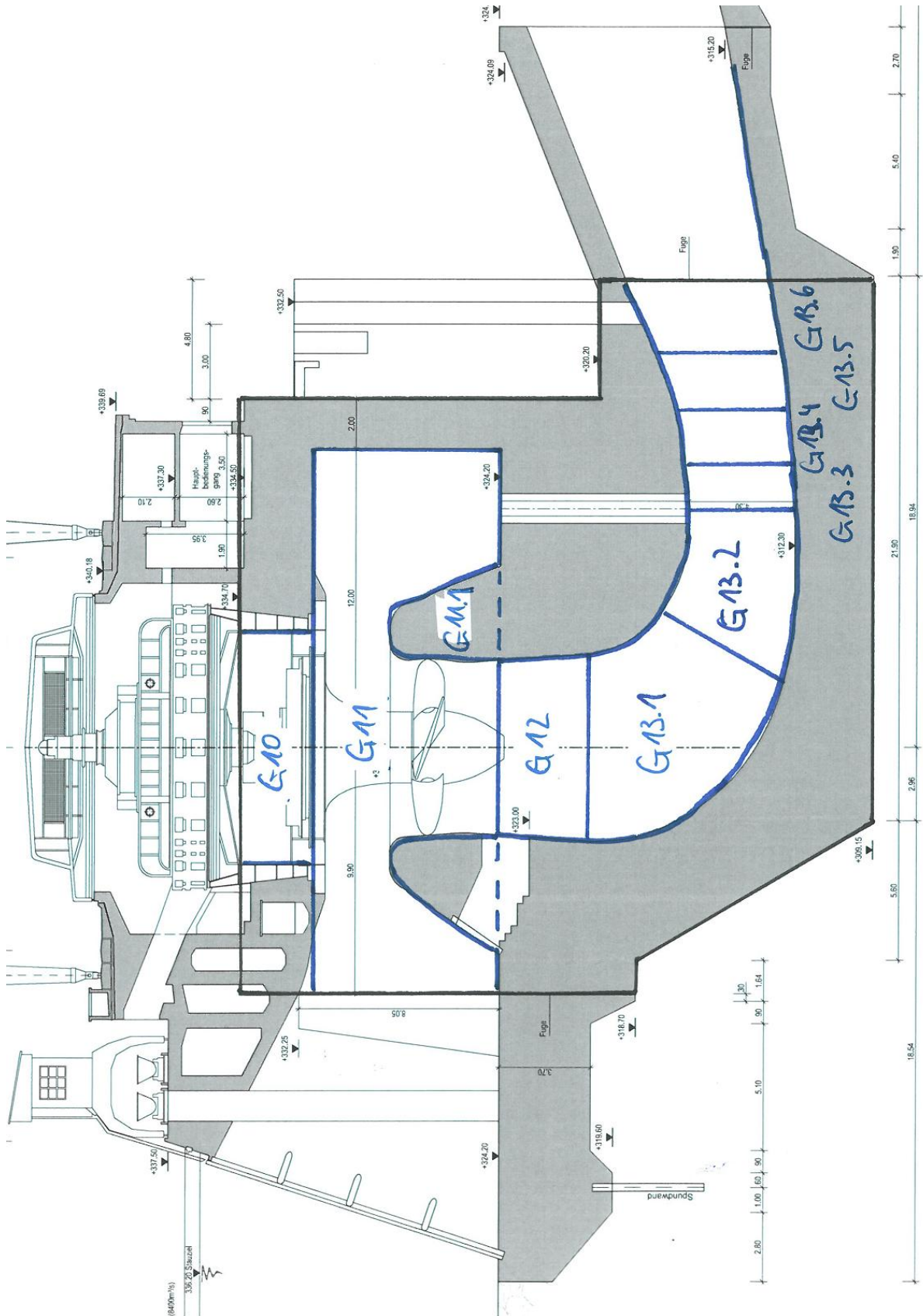
Fläche Krafthaus "Äußere Hülle"

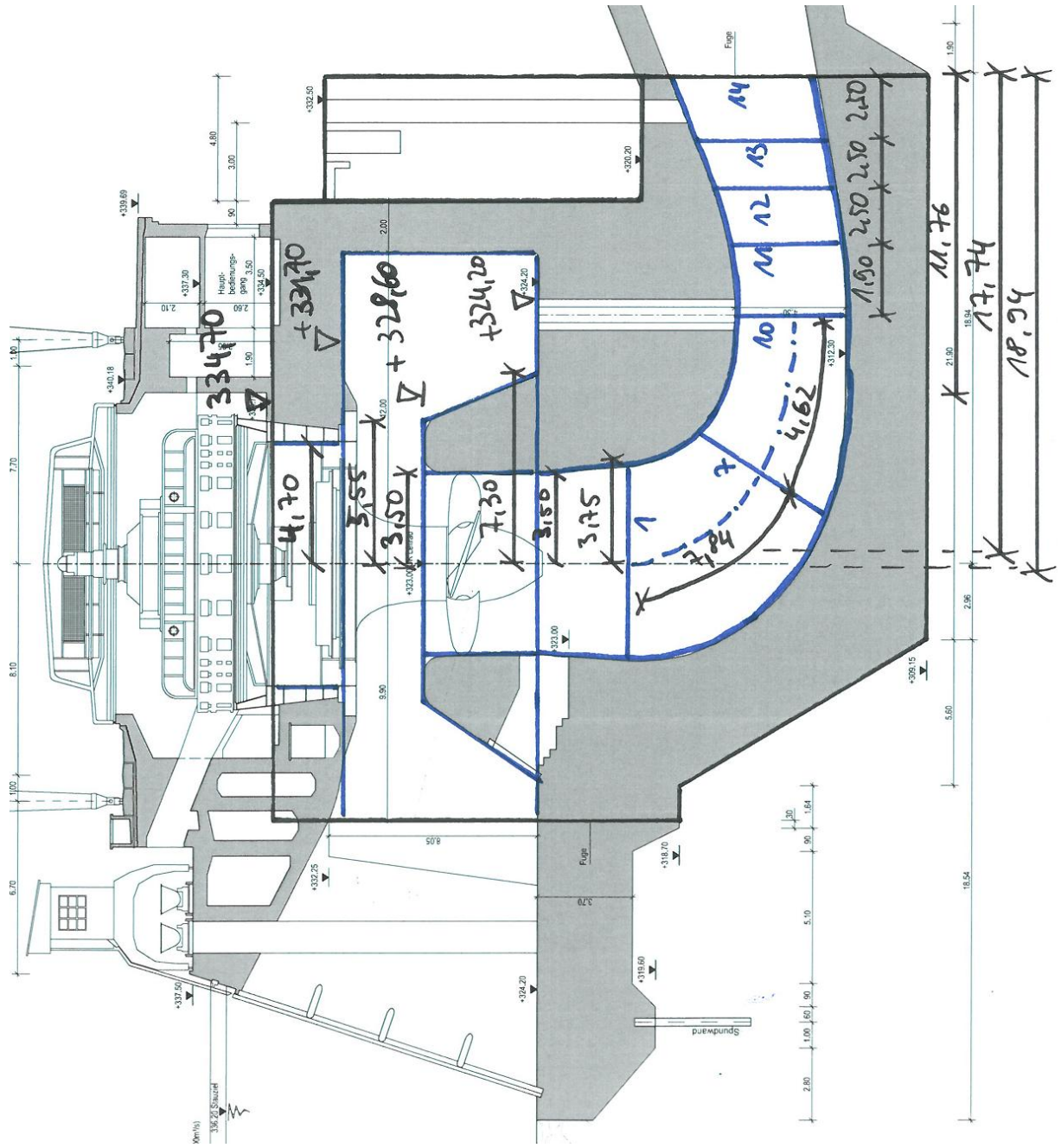
| | Höhenkote links oben [m üNN] | Höhekote links unten [m üNN] | Höhenkote rechts oben [m üNN] | Höhenkote rechts unten [m üNN] | Höhe links [m] | Höhe rechts [m] | Länge [m] | Fläche [m ²] | a _{i,Ai} [m] | a _{i,ges} [m] |
|-----|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------|-----------------|-----------|--------------------------|-----------------------|------------------------|
| G01 | 334,70 | 318,70 | 334,70 | 318,70 | 16,00 | 16,00 | 1,30 | 20,8 | 0,65 | 28,15 |
| G02 | 334,70 | 318,70 | 334,70 | 309,15 | 16,00 | 25,55 | 5,60 | 116,3 | 2,59 | 24,49 |
| G03 | 334,70 | 309,15 | 334,70 | 309,15 | 25,55 | 25,55 | 17,10 | 436,9 | 8,55 | 13,35 |
| G04 | 320,20 | 309,15 | 320,20 | 309,15 | 11,05 | 11,05 | 4,80 | 53,0 | 2,40 | 2,40 |
| G05 | 332,50 | 320,20 | 332,50 | 320,20 | 12,30 | 12,30 | 4,80 | 59,0 | 2,40 | 2,40 |

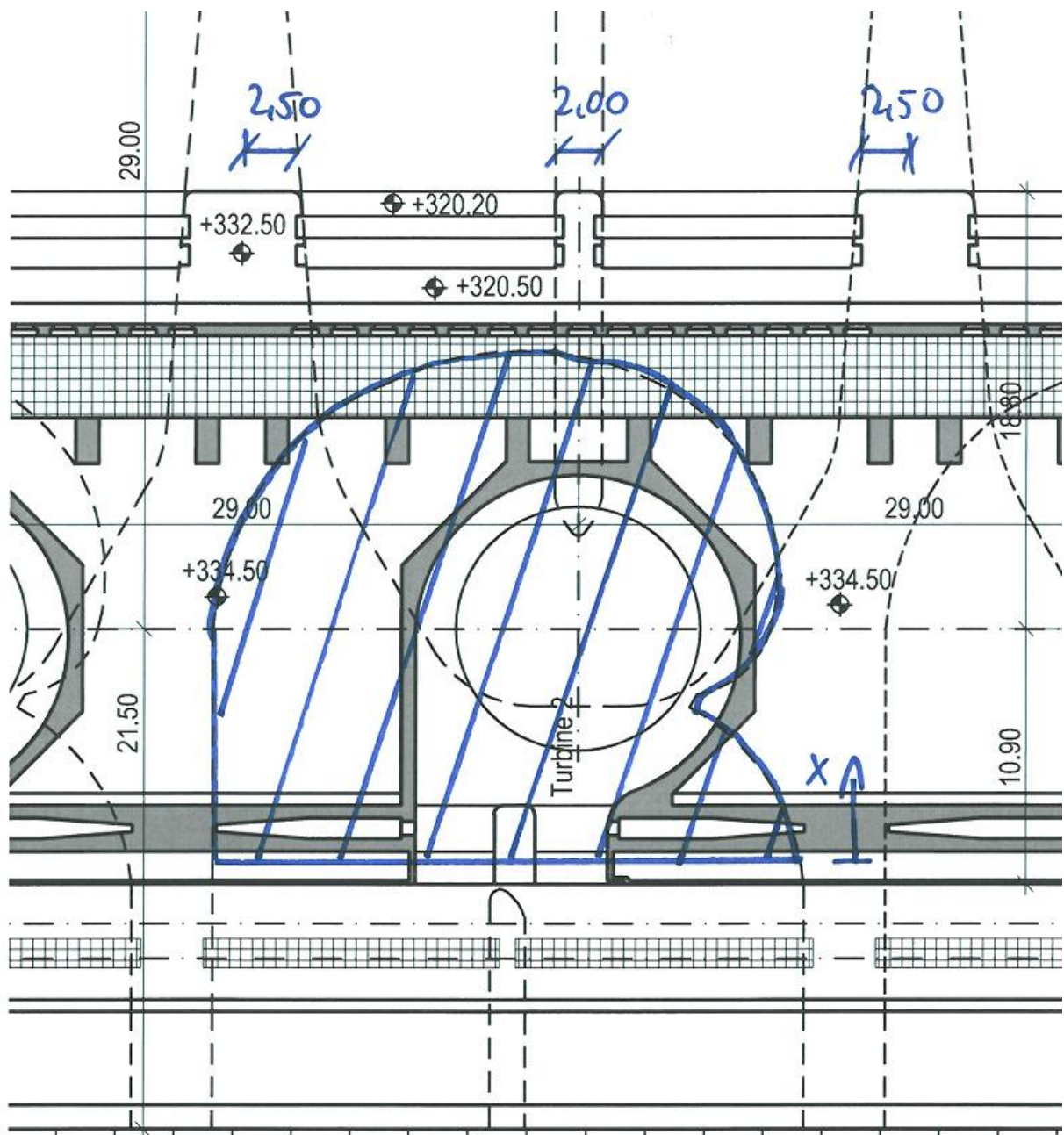
Gewicht und Moment Krafthaus "Äußere Hülle"

| Vorz. | Fläche [m ²] | Breite [m] | V _i [m ³] | γ [kN/m ³] | F _{v,k,i} [kN] | a _{i,ges} [m] | M _{k,i} [kNm] |
|-------|--------------------------|------------|----------------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
| + | 20,8 | 29,00 | 603,2 | 22,5 | 13.572 | 28,15 | 382.052 |
| + | 116,3 | 29,00 | 3.373,9 | 22,5 | 75.912 | 24,49 | 1.858.738 |
| + | 436,9 | 29,00 | 12.670,2 | 22,5 | 285.081 | 13,35 | 3.805.825 |
| + | 53,0 | 29,00 | 1.538,2 | 22,5 | 34.609 | 2,40 | 83.061 |
| + | 59,0 | 7,00 | 413,3 | 22,5 | 9.299 | 2,40 | 22.317 |
| | | | 18.599 | | 418.472 | | 6.151.992 |

Massen „Hohlräume“







Flächen- und Schwerpunktermittlung erfolgte im CAD:

$$A = 465,1 \text{ m}^2$$

$$x_s = 9,94 \text{ m}$$

Abzug Generator G10

| Vorz. | Höhenkote oben | Höhenkote unten | Höhe [m] | Radius [m] | V_i [m ³] | γ [kN/m ³] | $F_{v,k,i}$ [kN] | $a_{i,ges}$ [m] | $M_{k,i}$ [kNm] |
|-------|----------------|-----------------|----------|------------|-------------------------|-------------------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| - | 334,70 | 331,70 | 3,00 | 4,70 | 208,2 | 22,5 | 4.684 | 18,94 | 88.722 |

Abzug Einlauf G11

| Vorz. | Höhenkote oben | Höhenkote unten | Höhe [m] | Fläche* [m ²] | V_i [m ³] | γ [kN/m ³] | $F_{v,k,i}$ [kN] | $a_{i,ges}$ [m] | $M_{k,i}$ [kNm] |
|-------|----------------|-----------------|----------|---------------------------|-------------------------|-------------------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| - | 331,70 | 324,20 | 7,50 | 465,1 | 3488,25 | 22,5 | 78.486 | 18,86 | 1.480.239 |

* ...Fläche aus CAD ermittelt

Zusatz Einlaufing G11.1

| Vorz. | Bauteil | Höhenkote oben | Höhenkote unten | Höhe [m] | r_{oben} [m] | r_{unten} [m] | V_i [m ³] | γ [kN/m ³] | $F_{v,k,i}$ [kN] | $a_{i,ges}$ [m] | $M_{k,i}$ [kNm] |
|-------|--------------|----------------|-----------------|----------|----------------|-----------------|-------------------------|-------------------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| + | Kegeilstumpf | 328,60 | 324,20 | 4,40 | 5,55 | 7,30 | 574,2 | 22,5 | 12.918 | 18,94 | 244.674 |
| - | Zylinder i | 328,60 | 324,20 | 4,40 | 3,50 | 3,50 | 169,3 | 22,5 | 3.810 | 18,94 | 72.161 |
| | | | | | | | | | 9.108 | | 172.513 |

Abzug Turbinenschacht G12

| Vorz. | Höhenkote oben | Höhenkote unten | Höhe [m] | r_{oben} [m] | r_{unten} [m] | V_i [m ³] | γ [kN/m ³] | Last [kN] | $a_{i,ges}$ [m] | $M_{k,i}$ [kNm] |
|-------|----------------|-----------------|----------|----------------|-----------------|-------------------------|-------------------------------|-----------|-----------------|-----------------|
| - | 324,20 | 320,55 | 3,65 | 3,50 | 3,75 | 150,7 | 22,5 | 3.392 | 18,94 | 64.238 |

Abzug Saugschlauch G13

| | | |
|--------------|---------------------|----------------------|
| Fläche Q 1 | = 7,45*9,45 = | 70,4 m ² |
| Fläche Q 7.1 | = 5,12*19,2 = | 98,3 m ² |
| Fläche Q 7.2 | = 2* 5,12*9,50 = | 97,3 m ² |
| Fläche Q 10 | = 2* 4,3*10,28 = | 88,4 m ² |
| Fläche Q 11 | = 2* 4,35*10,425 = | 90,7 m ² |
| Fläche Q 12 | = 2* 4,625*10,625 = | 98,3 m ² |
| Fläche Q 13 | = 2* 5,2*10,82 = | 112,5 m ² |
| Fläche Q 14 | = 2* 5,75*11,015 = | 126,7 m ² |

Saugschlauch G13.1

| Vorz. | A _i [m ²] | L _{i-1,j} [m] | V _{i-1,j} [m ³] | γ [kN/m ³] | F _{v,k,i} [kN] | a _{i,ges} [m] | M _{k,i} [kNm] |
|-------|-------------------------------------|---------------------------|---|---------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | A1 | | | | | | |
| - | G13.1 | 7,84 | 661,3 | 22,5 | 14.880 | 17,74 | 263.970 |

$V_{i-1,j} = (A_{i-1} + A_i) / 2 * L_{i-1,j}$

Saugschlauch G13.2

| Vorz. | A _i [m ²] | L _{i-1,j} [m] | V _{i-1,j} [m ³] | γ [kN/m ³] | F _{v,k,i} [kN] | a _{i,ges} [m] | M _{k,i} [kNm] |
|-------|-------------------------------------|---------------------------|---|---------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | A7.2 | | | | | | |
| - | G13.2 | 4,62 | 428,9 | 22,5 | 9.651 | 11,76 | 113.497 |

Saugschlauch G13.3 bis G13.6

| Vorz. | A _i [m ²] | L _{i-1,j} [m] | V _{i-1,j} [m ³] | γ [kN/m ³] | F _{v,k,i} [kN] | a _{i,ges} [m] | M _{k,i} [kNm] |
|-------|-------------------------------------|---------------------------|---|---------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | A10 | | | | | | |
| - | G13.3 | 1,9 | 170,2 | 22,5 | 3.828 | 8,45 | 32.350 |
| - | G13.4 | 2,5 | 236,2 | 22,5 | 5.315 | 6,25 | 33.219 |
| - | G13.5 | 2,5 | 263,5 | 22,5 | 5.929 | 3,75 | 22.234 |
| - | G13.6 | 2,5 | 299,0 | 22,5 | 6.728 | 1,25 | 8.409 |
| | | | 968,9 | | 21.800 | | 96.212 |

Zusammenfassung der Ergebnisse

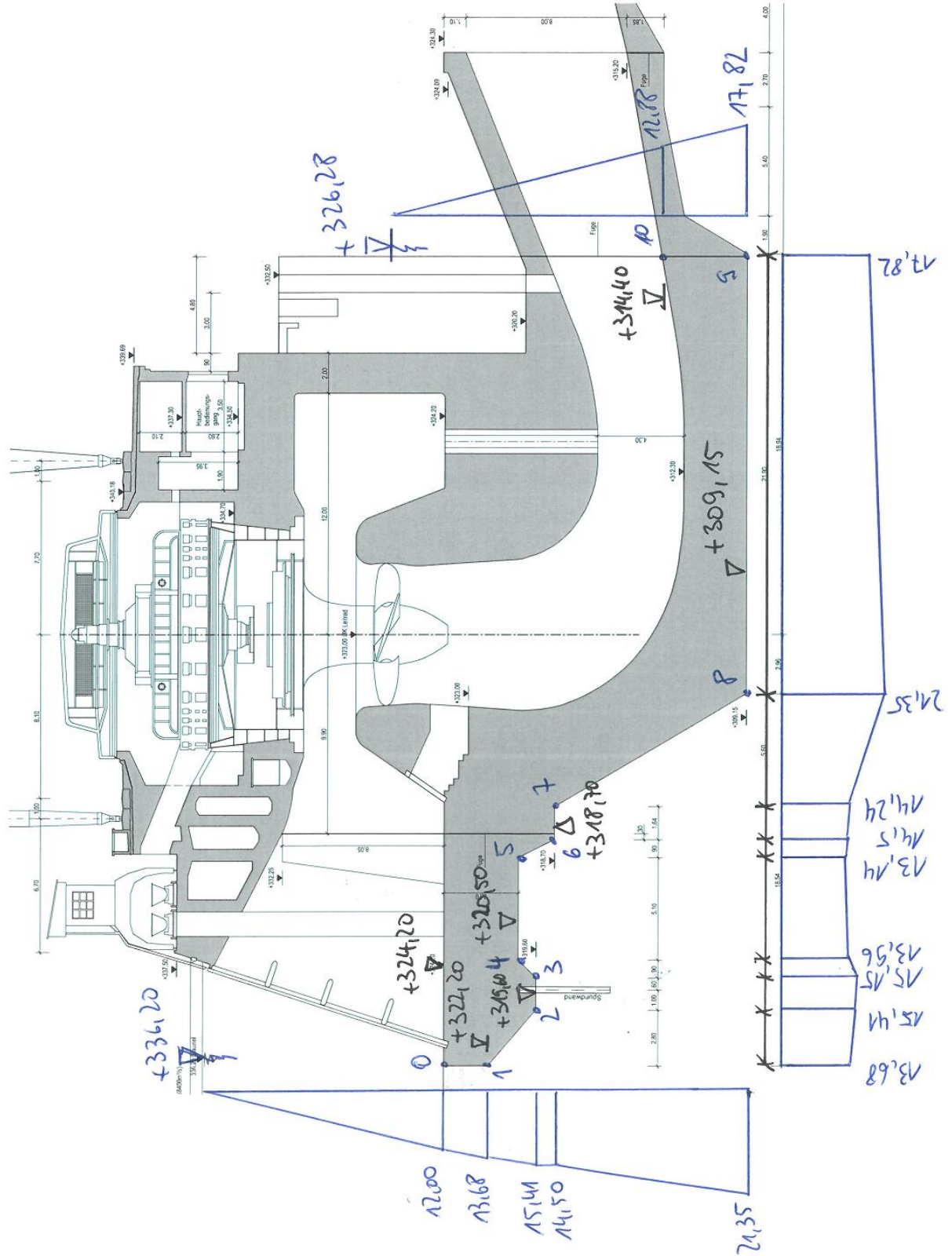
Gewicht Krafthaus

| Vorz. | Bauteil | $F_{v,k,i}$ [kN] | $M_{k,i}$ [kNm] |
|-------|------------------------|---------------------|--------------------|
| + | Gewicht "Äußere Hülle" | 418.472 | 6.151.992 |
| - | Generator G10 | 4.684 | 88.722 |
| - | Einlauf G11 | 78.486 | 1.480.239 |
| + | Einlaufring G11.1 | 9.108 | 172.513 |
| - | Turbinenschacht G12 | 3.392 | 64.238 |
| - | Saugschlauch G13 | 46.331 | 473.679 |
| | | 294.688 | 4.217.628 |

$a_{g,ges} = 14,31 \text{ m}$

Anlage 2 Ermittlung Sohlwasserdruck

Lastfall „Betrieb“



Sohlenwasserdruckberechnung

ohne Spundwand

| | | | |
|----------------|-----------------------|--------|-----------------------|
| Eingangswerte: | WSP OW | 336,20 | |
| | WSP UW | 326,28 | $\Delta h [m] = 9,92$ |
| | $Z_{\text{Boden,OW}}$ | 324,20 | $h_o [m] = 12,00$ |
| | $Z_{\text{Boden,UW}}$ | 313,40 | $h_u [m] = 12,88$ |
| | UK KW | 309,15 | $\lambda [-] = 1,0$ |

| Pkt. | Z_{si} [m] | $L_{h,i}$ [m] | $h_o + Z_{si}$ [m] | $L_{v,i}$ [m] | $\sum L_{v,i}$ [m] | $\lambda \sum L_{v,i}$ [m] | $\sum L_{h,i}$ [m] | L_i' [m] | $\Delta h L_i' / L_{ges}'$ [m] | $P_{so,i} / \rho_w g$ [m] |
|------|-----------------|------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------|---------------|-----------------------------------|------------------------------|
| 0 | 0,00 | 0,00 | 12,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 12,00 |
| 1 | 2,00 | 0,00 | 14,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 0,00 | 2,00 | 0,32 | 13,68 |
| 2 | 4,60 | 2,80 | 16,60 | 2,60 | 4,60 | 4,60 | 2,80 | 7,40 | 1,19 | 15,41 |
| 3 | 4,60 | 1,60 | 16,60 | 0,00 | 4,60 | 4,60 | 4,40 | 9,00 | 1,45 | 15,15 |
| 4 | 3,70 | 0,90 | 15,70 | 0,90 | 5,50 | 5,50 | 5,30 | 10,80 | 1,74 | 13,96 |
| 5 | 3,70 | 5,10 | 15,70 | 0,00 | 5,50 | 5,50 | 10,40 | 15,90 | 2,56 | 13,14 |
| 6 | 5,50 | 0,90 | 17,50 | 1,80 | 7,30 | 7,30 | 11,30 | 18,60 | 3,00 | 14,50 |
| 7 | 5,50 | 1,64 | 17,50 | 0,00 | 7,30 | 7,30 | 12,94 | 20,24 | 3,26 | 14,24 |
| 8 | 15,05 | 5,60 | 27,05 | 9,55 | 16,85 | 16,85 | 18,54 | 35,39 | 5,70 | 21,35 |
| 9 | 15,05 | 21,90 | 27,05 | 0,00 | 16,85 | 16,85 | 40,44 | 57,29 | 9,23 | 17,82 |
| 10 | 10,80 | 0,00 | 22,80 | 4,25 | 21,10 | 21,10 | 40,44 | 61,54 | 9,92 | 12,88 |

| | | | |
|---|-------|---|--|
| Kontrolle d. Länge: | 40,44 | m | $L_i' = \lambda \sum L_{v,i} + \sum L_{h,i}$ |
| | | | $L_{ges}' = \lambda \sum L_{v,ges} + \sum L_{h,ges}$ |
| $P_{so,i} = \rho_w \cdot g \cdot \left(h_o + Z_{si} + \left(\frac{\Delta h \cdot L_i'}{L_{ges}'} \right) \right)$ | | | |

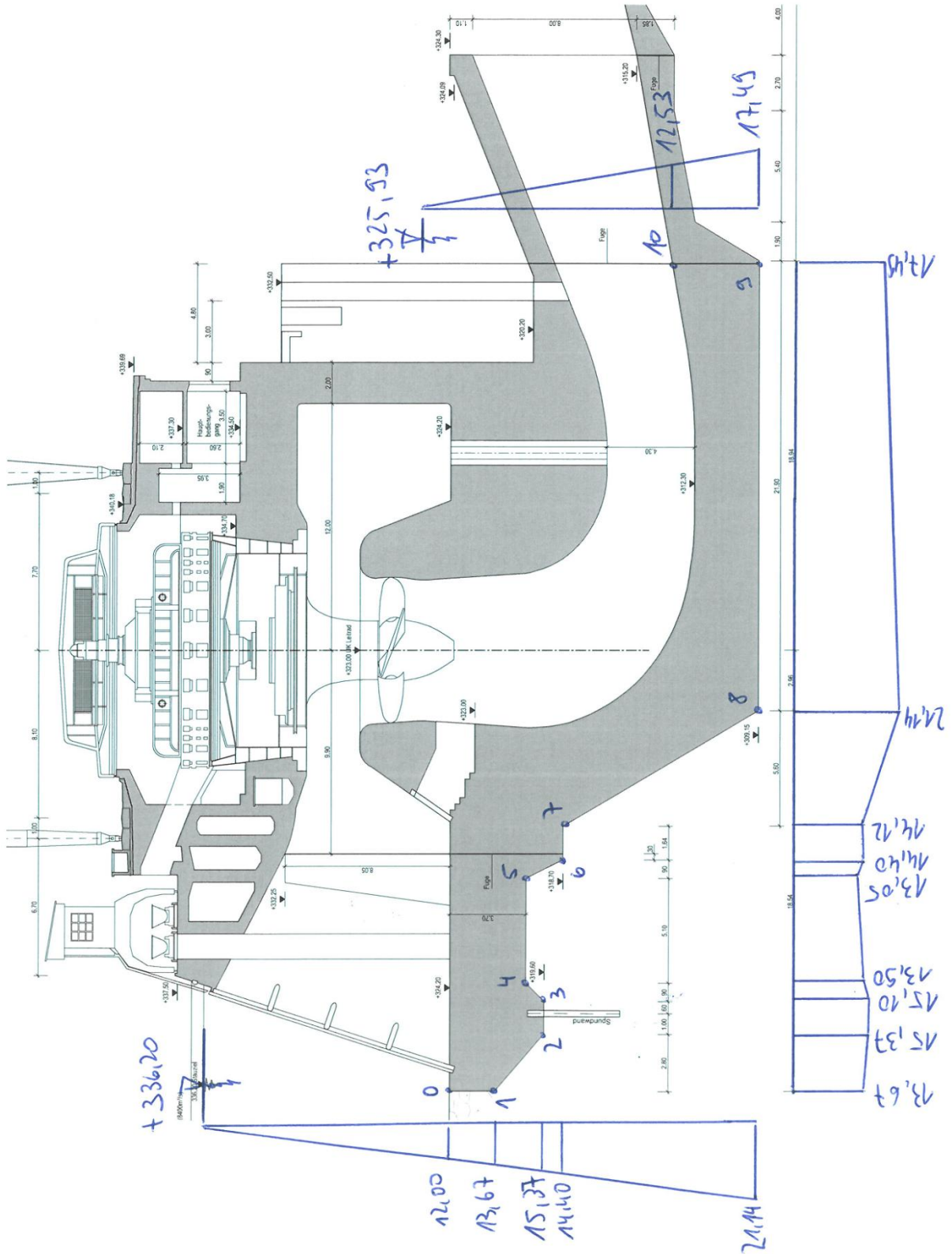
Resultierender Sohlenwasserdruck

| Pkt. | Randwert Trapez links | Pkt. | Randwert Trapez rechts | Trapezbreite b_i [m] | Teilresult. $F_{so,i}$ [kN/m] | $b_{ges} - \sum b_i$ [m] | Hebelarm $a_{Fso,i}$ [m] | Teilmoment $M_{Fso,i}$ [kNm/m] |
|------|-----------------------|------|------------------------|------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| 1 | 13,68 | 2 | 15,41 | 2,80 | 407,2 | 37,64 | 39,01 | 15.885,3 |
| 2 | 15,41 | 3 | 15,15 | 1,60 | 244,5 | 36,04 | 36,84 | 9.006,1 |
| 3 | 15,15 | 4 | 13,96 | 0,90 | 131,0 | 35,14 | 35,60 | 4.662,6 |
| 4 | 13,96 | 5 | 13,14 | 5,10 | 690,9 | 30,04 | 32,62 | 22.535,9 |
| 5 | 13,14 | 6 | 14,50 | 0,90 | 124,4 | 29,14 | 29,58 | 3.679,3 |
| 6 | 14,50 | 7 | 14,24 | 1,64 | 235,7 | 27,50 | 28,32 | 6.674,5 |
| 7 | 14,24 | 8 | 21,35 | 5,60 | 996,3 | 21,90 | 24,51 | 24.423,2 |
| 8 | 21,35 | 9 | 17,82 | 21,90 | 4.288,1 | 0,00 | 11,28 | 48.365,2 |
| 9 | 17,82 | 10 | 12,88 | 0,00 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 0,0 |

| Summe Sohle | $\sum b_i$ [m] | $\sum F_{so,i}$ [kN/m] | | $\sum a_{Fso,i}$ [m] | $\sum M_{Fso,i}$ [kNm/m] |
|-------------|----------------|------------------------|--|----------------------|--------------------------|
| | 40,44 | 7.118,0 | | 19,00 | 135.232,1 |

| Summe Sohle Fuge OW zu Fuge UW (Punkt 6 bis 10) | $\sum b_i$ [m] | $\sum F_{so,i}$ [kN/m] | | $\sum a_{Fso,i}$ [m] | $\sum M_{Fso,i}$ [kNm/m] |
|---|----------------|------------------------|--|----------------------|--------------------------|
| | 29,14 | 5.520,0 | | 14,40 | 79.462,9 |

Lastfall „Revision + NNQ“



Sohlenwasserdruckberechnung

ohne Spundwand

| | | |
|----------------|-----------------------|--------|
| Eingangswerte: | WSP OW | 336,20 |
| | WSP UW | 325,93 |
| | Z _{Boden,OW} | 324,20 |
| | Z _{Boden,UW} | 313,40 |
| | UK KW | 309,15 |
| | Δh [m] = | 10,27 |
| | h _o [m] = | 12,00 |
| | h _u [m] = | 12,53 |
| | λ [-] = | 1,0 |

| Pkt. | Z _{si} [m] | L _{h,i} [m] | h _o + Z _{si} [m] | L _{v,i} [m] | ΣL _{v,i} [m] | λΣL _{v,i} [m] | ΣL _{h,i} [m] | L _i [m] | Δh L _i ' / L _{ges} [m] | P _{so,i} / ρ _w g [m] |
|------|------------------------|-------------------------|---|-------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|-----------------------|---|---|
| 0 | 0,00 | 0,00 | 12,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 12,00 |
| 1 | 2,00 | 0,00 | 14,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 0,00 | 2,00 | 0,33 | 13,67 |
| 2 | 4,60 | 2,80 | 16,60 | 2,60 | 4,60 | 4,60 | 2,80 | 7,40 | 1,23 | 15,37 |
| 3 | 4,60 | 1,60 | 16,60 | 0,00 | 4,60 | 4,60 | 4,40 | 9,00 | 1,50 | 15,10 |
| 4 | 3,70 | 0,90 | 15,70 | 0,90 | 5,50 | 5,50 | 5,30 | 10,80 | 1,80 | 13,90 |
| 5 | 3,70 | 5,10 | 15,70 | 0,00 | 5,50 | 5,50 | 10,40 | 15,90 | 2,65 | 13,05 |
| 6 | 5,50 | 0,90 | 17,50 | 1,80 | 7,30 | 7,30 | 11,30 | 18,60 | 3,10 | 14,40 |
| 7 | 5,50 | 1,64 | 17,50 | 0,00 | 7,30 | 7,30 | 12,94 | 20,24 | 3,38 | 14,12 |
| 8 | 15,05 | 5,60 | 27,05 | 9,55 | 16,85 | 16,85 | 18,54 | 35,39 | 5,91 | 21,14 |
| 9 | 15,05 | 21,90 | 27,05 | 0,00 | 16,85 | 16,85 | 40,44 | 57,29 | 9,56 | 17,49 |
| 10 | 10,80 | 0,00 | 22,80 | 4,25 | 21,10 | 21,10 | 40,44 | 61,54 | 10,27 | 12,53 |

| | | | |
|---------------------|-------|---|--|
| Kontrolle d. Länge: | 40,44 | m | $L' = \lambda \sum L_{v,i} + \sum L_{h,i}$ $L'_{ges} = \lambda \sum L_{v,ges} + \sum L_{h,ges}$ $P_{so,i} = \rho_w \cdot g \cdot \left(h_o + \sum_{j=1}^i \left(\frac{\Delta h \cdot L_j'}{L_{ges}} \right) \right)$ |
|---------------------|-------|---|--|

Resultierender Sohlenwasserdruck

| Pkt. | Randwert Trapez links | Pkt. | Randwert Trapez rechts | Trapezbreite b_i [m] | Teilresult. $F_{so,i}$ [kN/m] | $b_{ges} - \sum b_i$ [m] | Hebelarm $a_{Fso,i}$ [m] | Teilmoment $M_{Fso,i}$ [kNm/m] |
|------|-----------------------|------|------------------------|------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| | | | | | | | | |
| 1 | 13,67 | 2 | 15,37 | 2,80 | 406,4 | 37,64 | 39,01 | 15.856,2 |
| 2 | 15,37 | 3 | 15,10 | 1,60 | 243,7 | 36,04 | 36,84 | 8.978,7 |
| 3 | 15,10 | 4 | 13,90 | 0,90 | 130,5 | 35,14 | 35,60 | 4.644,6 |
| 4 | 13,90 | 5 | 13,05 | 5,10 | 687,1 | 30,04 | 32,62 | 22.410,3 |
| 5 | 13,05 | 6 | 14,40 | 0,90 | 123,5 | 29,14 | 29,58 | 3.653,2 |
| 6 | 14,40 | 7 | 14,12 | 1,64 | 233,8 | 27,50 | 28,32 | 6.623,2 |
| 7 | 14,12 | 8 | 21,14 | 5,60 | 987,5 | 21,90 | 24,51 | 24.206,7 |
| 8 | 21,14 | 9 | 17,49 | 21,90 | 4.230,3 | 0,00 | 11,30 | 47.782,9 |
| 9 | 17,49 | 10 | 12,53 | 0,00 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 0,0 |

| Summe Sohle | $\sum b_i$ [m] | $\sum F_{so,i}$ [kN/m] | | $\sum a_{Fso,i}$ [m] | $\sum M_{Fso,i}$ [kNm/m] |
|-------------|----------------|------------------------|---------|----------------------|--------------------------|
| | | 40,44 | 7.042,8 | | 19,05 |

| Summe Sohle Fuge OW zu Fuge UW (Punkt 6 bis 10) | $\sum b_i$ [m] | $\sum F_{so,i}$ [kN/m] | | $\sum a_{Fso,i}$ [m] | $\sum M_{Fso,i}$ [kNm/m] |
|---|----------------|------------------------|---------|----------------------|--------------------------|
| | | 29,14 | 5.451,6 | | 14,42 |

Sohlenwasserdruckberechnung

ohne Spundwand

| | | |
|----------------|-----------------------|--------|
| Eingangswerte: | WSP OW | 336,20 |
| | WSP UW | 331,71 |
| | Z _{Boden,OW} | 4,49 |
| | Z _{Boden,UW} | 12,00 |
| | UK KW | 309,15 |

| | |
|----------------------|-------|
| Δh [m] = | 4,49 |
| h _o [m] = | 12,00 |
| h _u [m] = | 18,31 |
| λ [-] = | 1,0 |

| Pkt. | Z _{si} [m] | L _{h,i} [m] | h _o + Z _{si} [m] | L _{w,i} [m] | ΣL _{w,i} [m] | λΣL _{w,i} [m] | ΣL _{h,i} [m] | L _i [m] | Δh L _i /L _{ges} [m] | P _{so,i} /ρ _w g [m] |
|------|------------------------|-------------------------|---|-------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|-----------------------|--|--|
| 0 | 0,00 | 0,00 | 12,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 12,00 |
| 1 | 2,00 | 0,00 | 14,00 | 2,00 | 2,00 | 2,00 | 0,00 | 2,00 | 0,15 | 13,85 |
| 2 | 4,60 | 2,80 | 16,60 | 2,60 | 4,60 | 4,60 | 2,80 | 7,40 | 0,54 | 16,06 |
| 3 | 4,60 | 1,60 | 16,60 | 0,00 | 4,60 | 4,60 | 4,40 | 9,00 | 0,66 | 15,94 |
| 4 | 3,70 | 0,90 | 15,70 | 0,90 | 5,50 | 5,50 | 5,30 | 10,80 | 0,79 | 14,91 |
| 5 | 3,70 | 5,10 | 15,70 | 0,00 | 5,50 | 5,50 | 10,40 | 15,90 | 1,16 | 14,54 |
| 6 | 5,50 | 0,90 | 17,50 | 1,80 | 7,30 | 7,30 | 11,30 | 18,60 | 1,36 | 16,14 |
| 7 | 5,50 | 1,64 | 17,50 | 0,00 | 7,30 | 7,30 | 12,94 | 20,24 | 1,48 | 16,02 |
| 8 | 15,05 | 5,60 | 27,05 | 9,55 | 16,85 | 16,85 | 18,54 | 35,39 | 2,58 | 24,47 |
| 9 | 15,05 | 21,90 | 27,05 | 0,00 | 16,85 | 16,85 | 40,44 | 57,29 | 4,18 | 22,87 |
| 10 | 10,80 | 0,00 | 22,80 | 4,25 | 21,10 | 21,10 | 40,44 | 61,54 | 4,49 | 18,31 |

| | | | |
|---------------------|-------|---|--|
| Kontrolle d. Länge: | 40,44 | m | $L_{ges} = \lambda \sum L_{w,i} + \sum L_{h,i}$ $L_i = \lambda \sum L_{w,i} + \sum L_{h,i}$ $P_{so,i} = \rho_w \cdot g \cdot \left(h_o + Z_{si} + \frac{\Delta h \cdot L_i}{L_{ges}} \right)$ |
|---------------------|-------|---|--|

Resultierender Sohlenwasserdruck

| Pkt. | Randwert Trapez links | Pkt. | Randwert Trapez rechts | Trapezbreite b_i [m] | Teilresult. $F_{so,i}$ [kN/m] | $b_{ges} - \sum b_i$ [m] | Hebelarm $a_{Fso,i}$ [m] | Teilmoment $M_{Fso,i}$ [kNm/m] |
|------|-----------------------|------|------------------------|------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| 1 | 13,85 | 2 | 16,06 | 2,80 | 418,8 | 37,64 | 39,01 | 16.335,5 |
| 2 | 16,06 | 3 | 15,94 | 1,60 | 256,0 | 36,04 | 36,84 | 9.432,3 |
| 3 | 15,94 | 4 | 14,91 | 0,90 | 138,8 | 35,14 | 35,60 | 4.942,3 |
| 4 | 14,91 | 5 | 14,54 | 5,10 | 751,0 | 30,04 | 32,60 | 24.484,0 |
| 5 | 14,54 | 6 | 16,14 | 0,90 | 138,1 | 29,14 | 29,58 | 4.084,5 |
| 6 | 16,14 | 7 | 16,02 | 1,64 | 263,8 | 27,50 | 28,32 | 7.470,0 |
| 7 | 16,02 | 8 | 24,47 | 5,60 | 1.133,8 | 21,90 | 24,51 | 27.783,0 |
| 8 | 24,47 | 9 | 22,87 | 21,90 | 5.183,5 | 0,00 | 11,07 | 57.398,1 |
| 9 | 22,87 | 10 | 18,31 | 0,00 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 0,0 |

| Summe Sohle | $\sum b_i$ [m] | $\sum F_{so,i}$ [kN/m] | | $\sum a_{Fso,i}$ [m] | $\sum M_{Fso,i}$ [kNm/m] |
|-------------|----------------|------------------------|--|----------------------|--------------------------|
| | 40,44 | 8.283,8 | | 18,34 | 151.929,7 |

| Summe Sohle Fuge OW zu Fuge UW (Punkt 6 bis 10) | $\sum b_i$ [m] | $\sum F_{so,i}$ [kN/m] | | $\sum a_{Fso,i}$ [m] | $\sum M_{Fso,i}$ [kNm/m] |
|---|----------------|------------------------|--|----------------------|--------------------------|
| | 29,14 | 6.581,0 | | 14,08 | 92.651,1 |

Anlage 3 Ermittlung Horizontaler Wasserdruck

Lastfall „Betrieb“

| | | | |
|--------|--------|--------------------|-------|
| WSP OW | 336,20 | $h_{ges,OW} [m] =$ | 27,05 |
| WSP UW | 326,28 | $h_{ges,OW} [m] =$ | 17,13 |
| UK KW | 309,15 | | |

Horizontaler Wasserdruck von OW

| Pkt. oben | Randwert Trapez oben | Pkt. unten | Randwert Trapez unten | Trapez Höhe h_i [m] | $h_{ges} - \sum h_i$ [m] | Hebelarm $a_{Wh,OW,1,i}$ [m] | Teilresult. nach rechts $W_{h,OW,1}$ [kN/m] | Teilmom. rechtsdr. $M_{Wh,OW,1,i}$ [kNm/m] |
|-----------|----------------------|------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|------------------------------|---|--|
| WSP OW | 0,00 | Sohle | 12,00 | 12,00 | 15,05 | 19,05 | 720,0 | 13.716,0 |
| 0 | 12,00 | 1 | 13,68 | 2,00 | 13,05 | 14,03 | 256,8 | 3.602,1 |
| 1 | 13,68 | 2 | 15,41 | 2,60 | 10,45 | 11,72 | 378,1 | 4.433,0 |
| 2 | 15,41 | 6 | 14,50 | 0,90 | 9,55 | 10,00 | 134,6 | 1.346,5 |
| 7 | 14,24 | 8 | 21,35 | 9,55 | 0,00 | 4,46 | 1.699,1 | 7.572,9 |

| | | |
|-----------|---------------------------|------------------------------|
| Summen OW | $\sum W_{h,OW,1i}$ [kN/m] | $\sum M_{Wh,OW,1,i}$ [kNm/m] |
| | 3.188,5 | 30.670,4 |

Horizontaler Wasserdruck von UW

| Pkt. oben | Randwert Trapez oben | Pkt. unten | Randwert Trapez unten | Trapez Höhe h_i [m] | $h_{ges} - \sum h_i$ [m] | Hebelarm $a_{Wh,UW,1,i}$ [m] | Teilresult. nach links $W_{h,UW,1}$ [kN/m] | Teilmom. linksdr. $M_{Wh,UW,1,i}$ [kNm/m] |
|-----------|----------------------|------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|------------------------------|--|---|
| WSP UW | 0,00 | 10 | 12,88 | 12,88 | 4,25 | 8,54 | 829,5 | 7.086,5 |
| 10 | 12,88 | 9 | 17,82 | 4,25 | 0,00 | 2,01 | 652,3 | 1.311,8 |

| | | |
|-----------|---------------------------|------------------------------|
| Summen OW | $\sum W_{h,UW,1i}$ [kN/m] | $\sum M_{Wh,UW,1,i}$ [kNm/m] |
| | 1.481,7 | 8.398,2 |

Lastfall „Revision + NNQ“

| | | | |
|--------|--------|--------------------|-------|
| WSP OW | 336,20 | $h_{ges,OW} [m] =$ | 27,05 |
| WSP UW | 325,93 | $h_{ges,OW} [m] =$ | 16,78 |
| UK KW | 309,15 | | |

Horizontaler Wasserdruck von OW

| Pkt. oben | Randwert Trapez oben | Pkt. unten | Randwert Trapez unten | Trapez Höhe h_i [m] | $h_{ges} - \sum h_i$ [m] | Hebelarm $a_{Wh,OW,1,i}$ [m] | Teilresult. nach rechts $W_{h,OW,1}$ [kN/m] | Teilmom. rechtsdr. $M_{Wh,OW,1,i}$ [kNm/m] |
|-----------|----------------------|------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|------------------------------|---|--|
| WSP OW | 0,00 | Sohle | 12,00 | 12,00 | 15,05 | 19,05 | 720,0 | 13.716,0 |
| 0 | 12,00 | 1 | 13,67 | 2,00 | 13,05 | 14,03 | 256,7 | 3.600,6 |
| 1 | 13,67 | 2 | 15,37 | 2,60 | 10,45 | 11,72 | 377,4 | 4.425,0 |
| 2 | 15,37 | 6 | 14,40 | 0,90 | 9,55 | 10,00 | 133,9 | 1.339,9 |
| 7 | 14,12 | 8 | 21,14 | 9,55 | 0,00 | 4,46 | 1.684,0 | 7.507,3 |

| | | |
|-----------|---------------------------|------------------------------|
| Summen OW | $\sum W_{h,OW,1i}$ [kN/m] | $\sum M_{Wh,OW,1,i}$ [kNm/m] |
| | 3.172,0 | 30.588,7 |

Horizontaler Wasserdruck von UW

| Pkt. oben | Randwert Trapez oben | Pkt. unten | Randwert Trapez unten | Trapez Höhe h_i [m] | $h_{ges} - \sum h_i$ [m] | Hebelarm $a_{Wh,UW,1,i}$ [m] | Teilresult. nach links $W_{h,UW,1}$ [kN/m] | Teilmom. linksdr. $M_{Wh,UW,1,i}$ [kNm/m] |
|-----------|----------------------|------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|------------------------------|--|---|
| WSP UW | 0,00 | 10 | 12,53 | 12,53 | 4,25 | 8,43 | 785,0 | 6.615,0 |
| 10 | 12,53 | 9 | 17,49 | 4,25 | 0,00 | 2,01 | 637,9 | 1.280,9 |

| | | |
|-----------|---------------------------|------------------------------|
| Summen OW | $\sum W_{h,UW,1i}$ [kN/m] | $\sum M_{Wh,UW,1,i}$ [kNm/m] |
| | 1.422,9 | 7.895,9 |

Lastfall „Revision + BHQ1“

| | | | |
|--------|--------|--------------------|-------|
| WSP OW | 336,20 | $h_{ges,OW} [m] =$ | 27,05 |
| WSP UW | 331,71 | $h_{ges,OW} [m] =$ | 22,56 |
| UK KW | 309,15 | | |

Horizontaler Wasserdruck von OW

| Pkt. oben | Randwert Trapez oben | Pkt. unten | Randwert Trapez unten | Trapez Höhe h_i [m] | $h_{ges} - \Sigma h_i$ [m] | Hebelarm $a_{Wh,OW,1,i}$ [m] | Teilresult. nach rechts $W_{h,OW,1}$ [kN/m] | Teilmom. rechtsdr. $M_{Wh,OW,1,i}$ [kNm/m] |
|-----------|----------------------|------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|------------------------------|---|--|
| WSP OW | 0,00 | Sohle | 12,00 | 12,00 | 15,05 | 19,05 | 720,0 | 13.716,0 |
| 0 | 12,00 | 1 | 13,85 | 2,00 | 13,05 | 14,03 | 258,5 | 3.626,3 |
| 1 | 13,85 | 2 | 16,06 | 2,60 | 10,45 | 11,72 | 388,9 | 4.557,0 |
| 2 | 16,06 | 6 | 16,14 | 0,90 | 9,55 | 10,00 | 144,9 | 1.449,1 |
| 7 | 16,02 | 8 | 24,47 | 9,55 | 0,00 | 4,44 | 1.933,5 | 8.590,4 |

| | | |
|-----------|------------------------------|--------------------------------|
| Summen OW | $\Sigma W_{h,OW,1,i}$ [kN/m] | $\Sigma M_{Wh,OW,1,i}$ [kNm/m] |
| | 3.445,8 | 31.938,8 |

Horizontaler Wasserdruck von UW

| Pkt. oben | Randwert Trapez oben | Pkt. unten | Randwert Trapez unten | Trapez Höhe h_i [m] | $h_{ges} - \Sigma h_i$ [m] | Hebelarm $a_{Wh,UW,1,i}$ [m] | Teilresult. nach links $W_{h,UW,1}$ [kN/m] | Teilmom. linksdr. $M_{Wh,UW,1,i}$ [kNm/m] |
|-----------|----------------------|------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|------------------------------|--|---|
| WSP UW | 0,00 | 10 | 18,31 | 18,31 | 4,25 | 10,35 | 1.676,3 | 17.355,1 |
| 10 | 18,31 | 9 | 22,87 | 4,25 | 0,00 | 2,05 | 875,1 | 1.790,9 |

| | | |
|-----------|------------------------------|--------------------------------|
| Summen OW | $\Sigma W_{h,UW,1,i}$ [kN/m] | $\Sigma M_{Wh,UW,1,i}$ [kNm/m] |
| | 2.551,4 | 19.146,0 |

Anlage 4 Ermittlung Wasserauflasten

Lastfall „Betrieb“

WSP UW 326,28
 OK Saugs. 320,20

Wasserlast über Saugschlauch

| Höhe [m] | Breite [m] | Vertikallast $F_{v,k}$ [kN/m] | Hebelarm $a_{wh,UW,1,i}$ [m] | Teilmom. linksdr. $M_{v,UW,1,i}$ [kNm/m] |
|-------------|---------------|-------------------------------------|------------------------------------|---|
| 6,08 | 4,80 | 291,8 | 2,40 | 700,4 |

Wasserlasten innerhalb des Krafthaus siehe "Zusammenfassung Wasserlasten"

Lastfall „Revision + NNQ“

WSP UW 325,93
 OK Saugs. 320,20

Wasserlast über Saugschlauch

| Höhe [m] | Breite [m] | Vertikallast $F_{v,k}$ [kN/m] | Hebelarm $a_{wh,UW,1,i}$ [m] | Teilmom. linksdr. $M_{v,UW,1,i}$ [kNm/m] |
|-------------|---------------|-------------------------------------|------------------------------------|---|
| 5,73 | 4,80 | 275,0 | 2,40 | 660,1 |

Wasserlasten innerhalb des Krafthaus siehe "Zusammenfassung Wasserlasten"

Lastfall „Revision + BHQ1“

WSP UW 331,71
 OK Saugs. 320,20

Wasserlast über Saugschlauch

| Höhe [m] | Breite [m] | Vertikallast $F_{v,k}$ [kN/m] | Hebelarm $a_{wh,UW,1,i}$ [m] | Teilmom. linksdr. $M_{v,UW,1,i}$ [kNm/m] |
|-------------|---------------|-------------------------------------|------------------------------------|---|
| 11,51 | 4,80 | 552,5 | 2,40 | 1.326,0 |

Wasserlasten innerhalb des Krafthaus siehe "Zusammenfassung Wasserlasten"

Anlage 5 Berechnung Erddruck

| Eingangswerte | |
|---------------|--------------|
| OK Boden OW | 324,20 m üNN |
| OK Boden UW | 313,40 m üNN |
| UK Kraftwerk | 309,15 m üNN |

Bodenkennwerte Flinz (angenommen)

| γ [kN/m ³] | γ' [kN/m ³] | ϕ' [°] | c' [kN/m ³] |
|----------------------------------|-----------------------------------|----------------|------------------------------|
| 21 | 11 | 35 | 0 |

Aktiver Eddruck

| | |
|----------|------|
| k_{ah} | 0,22 |
|----------|------|

Passiver Erddruck

| | |
|----------|------|
| k_{ph} | 9,15 |
|----------|------|

Horizontaler Erddruck von OW

| Pkt. oben | Randwert Trapez oben [kN/m ²] | Pkt. unten | Randwert Trapez unten [kN/m ²] | Trapez Höhe h_i [m] | Hebelarm $a_{Wh,OW,1,i}$ [m] | Teilresult. nach rechts $W_{h,OW,1}$ [kN/m] | Teilmom. rechtsdr. $M_{Wh,OW,1,i}$ [kNm/m] |
|-----------|---|------------|--|-----------------------|------------------------------|---|--|
| OK Boden | 0,0 | UK KW | 36,4 | 15,05 | 5,02 | 274,1 | 1.374,9 |

Horizontaler Erddruck von UW

| Pkt. oben | Randwert Trapez oben | Pkt. unten | Randwert Trapez unten [kN/m ²] | Trapez Höhe h_i [m] | Hebelarm $a_{Wh,OW,1,i}$ [m] | Teilresult. nach links $W_{h,UW,1}$ [kN/m] | Teilmom. linksdr. $M_{Wh,UW,1,i}$ [kNm/m] |
|-----------|----------------------|------------|--|-----------------------|------------------------------|--|---|
| OK Boden | 0,0 | UK KW | 427,8 | 4,25 | 1,42 | 909,0 | 1.287,7 |

Breitenbezug

$b_{\text{Einfluss}} = 29,00 \text{ m}$
 $E_{agh,k} = b_{\text{Einfluss}} * E_{agh,k} = 7.948 \text{ kN}$
 $E_{ph,k} = b_{\text{Einfluss}} * E_{ph,k} = 26.361 \text{ kN}$
 $a_{gh} = 5,02 \text{ m}$

Anlage 6 Zusammenfassung der Wasserlasten

Lastfall „Betrieb“

| | Oberwasser | Unterwasser |
|------------|--------------|--------------|
| WSP Lage | 336,20 m üNN | 326,28 m üNN |
| Sohle | 324,20 m üNN | 313,40 m üNN |
| ho / hu | 12,00 m | 12,88 m |
| Δh | 9,92 m | |

| Verlängerungsfaktor | |
|---------------------|-----|
| λ | 1,0 |

| Einflussbreite | |
|-----------------------|---------|
| b_{Einfluss} | 29,00 m |

| Sohlenwasserdruck | |
|-------------------|------------|
| $\sum F_{s0,i}$ | 5.520 kN/m |
| F_{s0} | 160.081 kN |
| $a_{F_{s0}}$ | 14,40 m |

| Horizontaler Wasserdruck von OW | |
|---------------------------------|------------|
| $\sum W_{h,OW,1i}$ | 3.189 kN/m |
| $W_{h,OW,1i}$ | 92.468 kN |
| $a_{Wh,OW,1}$ | 9,62 m |

| Horizontaler Wasserdruck von UW | |
|---------------------------------|------------|
| $\sum W_{h,UW,1i}$ | 1.482 kN/m |
| $W_{h,UW,1i}$ | 42.971 kN |
| $a_{Wh,UW,1}$ | 5,67 m |

Wasserlasten im Krafthaus

| Vorz. | Bauteil | $F_{v,k,i}$ [kN] | $M_{k,i}$ [kNm] | Faktor | $F_{w,v,k,i}$ [kN] | $M_{w,k,i}$ [kNm] |
|-------|---------------------|---------------------|--------------------|---------|-----------------------|----------------------|
| + | Einlauf G11 | 78.486 | 1.480.239 | 10/22,5 | 34.883 | 657.884 |
| - | Einlaufring G11.1 | 9.108 | 172.513 | 10/22,5 | 4.048 | 76.673 |
| + | Turbinenschacht G12 | 3.392 | 64.238 | 10/22,5 | 1.507 | 28.550 |
| + | Saugschlauch G13 | 46.331 | 473.679 | 10/22,5 | 20.592 | 210.524 |
| | | | | | 52.933 | 820.286 |

| Einflussbreite | |
|-----------------------|---------|
| b_{Einfluss} | 22,00 m |

| Wasserlast oberhalb Saugschlauch | |
|----------------------------------|-----------|
| $\sum F_{v,k}$ | 700 kN/m |
| $\sum F_{v,k}$ | 15.409 kN |
| $a_{v,k}$ | 2,40 m |

Lastfall „Revision + NNQ“

| | Oberwasser | Unterwasser |
|------------|--------------|--------------|
| WSP Lage | 336,20 m üNN | 325,93 m üNN |
| Sohle | 324,20 m üNN | 313,40 m üNN |
| ho / hu | 12,00 m | 12,53 m |
| Δh | 10,27 m | |

| Verlängerungsfaktor | |
|---------------------|-----|
| λ | 1,0 |

| Einflussbreite | |
|-----------------------|---------|
| b_{Einfluss} | 29,00 m |

| Sohlenwasserdruck | |
|------------------------|------------|
| $\sum F_{\text{so},i}$ | 5.452 kN/m |
| F_{so} | 158.098 kN |
| $a_{F_{\text{so}}}$ | 14,42 m |

| Horizontaler Wasserdruck von OW | |
|---------------------------------|------------|
| $\sum W_{h,OW,1i}$ | 3.172 kN/m |
| $W_{h,OW,1i}$ | 91.987 kN |
| $a_{Wh,OW,1}$ | 9,64 m |

| Horizontaler Wasserdruck von UW | |
|---------------------------------|------------|
| $\sum W_{h,UW,1i}$ | 1.423 kN/m |
| $W_{h,UW,1i}$ | 41.264 kN |
| $a_{Wh,UW,1}$ | 5,55 m |

Wasserlasten im Krafthaus

| Vorz. | Bauteil | $F_{v,k,i}$ [kN] | $M_{k,i}$ [kNm] | Faktor | $F_{w,v,k,i}$ [kN] | $M_{w,k,i}$ [kNm] |
|-------|---------------------|---------------------|--------------------|---------|-----------------------|----------------------|
| + | Einlauf G11 | 78.486 | 1.480.239 | 10/22,5 | 34.883 | 657.884 |
| - | Einlaufring G11.1 | 9.108 | 172.513 | 10/22,5 | 4.048 | 76.673 |
| + | Turbinenschacht G12 | 3.392 | 64.238 | 10/22,5 | 1.507 | 28.550 |
| + | Saugschlauch G13 | 46.331 | 473.679 | 10/22,5 | 20.592 | 210.524 |
| | | | | | 52.933 | 820.286 |

| Einflussbreite | |
|-----------------------|---------|
| b_{Einfluss} | 22,00 m |

| Wasserlast oberhalb Saugschlauch | |
|----------------------------------|-----------|
| $\sum F_{v,k}$ | 660 kN/m |
| $\sum F_{v,k}$ | 14.522 kN |
| $a_{v,k}$ | 2,40 m |

Lastfall „Revision + BHQ1“

| | Oberwasser | Unterwasser |
|------------|--------------|--------------|
| WSP Lage | 336,20 m üNN | 331,71 m üNN |
| Sohle | 324,20 m üNN | 313,40 m üNN |
| ho / hu | 12,00 m | 18,31 m |
| Δh | 4,49 m | |

| Verlängerungsfaktor | |
|---------------------|-----|
| λ | 1,0 |

| Einflussbreite | |
|-----------------------|---------|
| b_{Einfluss} | 29,00 m |

| Sohlenwasserdruck | |
|------------------------|------------|
| $\sum F_{\text{so},i}$ | 6.581 kN/m |
| F_{so} | 190.850 kN |
| $a_{F_{\text{so}}}$ | 14,08 m |

| Horizontaler Wasserdruck von OW | |
|---------------------------------|------------|
| $\sum W_{h,OW,1i}$ | 3.446 kN/m |
| $W_{h,OW,1i}$ | 99.928 kN |
| $a_{Wh,OW,1}$ | 9,27 m |

| Horizontaler Wasserdruck von UW | |
|---------------------------------|------------|
| $\sum W_{h,UW,1i}$ | 2.551 kN/m |
| $W_{h,UW,1i}$ | 73.989 kN |
| $a_{Wh,UW,1}$ | 7,50 m |

Wasserlasten im Krafthaus

| Vorz. | Bauteil | $F_{v,k,i}$ [kN] | $M_{k,i}$ [kNm] | Faktor | $F_{w,v,k,i}$ [kN] | $M_{w,k,i}$ [kNm] |
|-------|---------------------|---------------------|--------------------|---------|-----------------------|----------------------|
| + | Einlauf G11 | 78.486 | 1.480.239 | 10/22,5 | 34.883 | 657.884 |
| - | Einlaufring G11.1 | 9.108 | 172.513 | 10/22,5 | 4.048 | 76.673 |
| + | Turbinenschacht G12 | 3.392 | 64.238 | 10/22,5 | 1.507 | 28.550 |
| + | Saugschlauch G13 | 46.331 | 473.679 | 10/22,5 | 20.592 | 210.524 |
| | | | | | 52.933 | 820.286 |

| Einflussbreite | |
|-----------------------|---------|
| b_{Einfluss} | 22,00 m |

| Wasserlast oberhalb Saugschlauch | |
|----------------------------------|------------|
| $\sum F_{v,k}$ | 1.326 kN/m |
| $\sum F_{v,k}$ | 29.171 kN |
| $a_{v,k}$ | 2,40 m |

Anlage 7 Berechnungen zum Nachweis gegen Gleiten

Nachweis für „Betrieb“, BS-P (EC)
Vertikale Einwirkungen aus Bauwerk und Wasserdruck

| Vorz. | Einwirkung | Gesamtlast [kN] |
|-------|------------------------------|--------------------|
| + | EG Krafthaus | 294.688 |
| + | Wasser Einlauf G11 | 30.834 |
| + | Wasser Turbinenschacht G12 | 1.507 |
| + | Wasser Saugschlauch G13 | 20.592 |
| + | Wasserlast über Saugschlauch | 15.409 |
| - | SWD Krafthaus | 160.081 |

| | | |
|---|---------------------------|---------|
| + | G_{gesamt} | 363.030 |
| - | Auftrieb | 160.081 |
| | G_k | 202.949 |

Einwirkungen aus horizontalen Wasserdruck

| Vorz. | Einwirkung | Gesamtlast [kN] |
|-------|----------------|--------------------|
| - | Wasserdruck OW | 92.468 |
| + | Wasserdruck UW | 42.971 |

| | | |
|---|------------------------------------|--------|
| - | destabilisierend | 92.468 |
| + | stabilisierend | 42.971 |
| | Wasserdruck H_{w,k} | 49.497 |

Einwirkungen aus Erddruck

| Vorz. | Einwirkung | Einzellast [kN] |
|-------|-------------------|--------------------|
| - | akt. Erddruck OW | 7.948 |
| + | pass. Erddruck UW | 26.361 |

| | | |
|---|-------------------------|--------|
| - | destabilisierend | 7.948 |
| + | stabilisierend | 26.361 |

Bemessungswerte Einwirkungsseite

| Einwirkung | H _k [kN] | γ | H _d [kN] |
|----------------|------------------------|------|------------------------|
| Wasserdruck OW | 49.497 | 1,35 | 66.821 |
| Erddruck OW | 7.948 | 1,35 | 10.730 |

| | |
|---------------------------------------|------------------|
| Bemessungslast T_d = | 77.551 kN |
|---------------------------------------|------------------|

Bemessungswerte Widerstandsseite

Bemessungswert Gleitwiderstand

| | |
|-------------------|------------|
| G _k | 202.949 kN |
| Reibungswinkel φ' | 35 ° |
| tanφ' | 0,70 |
| γ _{R,h} | 1,10 |

R_{t,d} = G_k * tan(φ) / γ_{R,h} = 129.188 kN

Bemessungswert des passiven Erddrucks

| | |
|-------------------|-----------|
| E _{pt,k} | 26.361 kN |
| γ _{R,e} | 1,40 |

E_{pt,d} = 0,5 * E_{pt,k} / γ_{R,e} = 9.415 kN

Nachweis Gleiten

| | |
|--|-------------------|
| T _d = | 77.551 kN |
| R _{t,d} + E _{pt,d} = | 138.602 kN |

| | | | |
|-------|-------------|-----------------|-------------------|
| E/R = | 0,56 | < 1,0 | Nachweis erfüllt. |
|-------|-------------|-----------------|-------------------|

Nachweis für „Revision + NNQ“, BS-T (EC)**Vertikale Einwirkungen aus Bauwerk und Wasserdruck**

| Vorz. | Einwirkung | Gesamtlast [kN] |
|-------|------------------------------|--------------------|
| + | EG Krafthaus | 294.688 |
| + | Wasser Einlauf G11 | 0 |
| + | Wasser Turbinenschacht G12 | 0 |
| + | Wasser Saugschlauch G13 | 0 |
| + | Wasserlast über Saugschlauch | 14.522 |
| - | SWD Krafthaus | 158.098 |

| | | |
|---|---------------------------|---------|
| + | G_{gesamt} | 309.210 |
| - | Auftrieb | 158.098 |
| | G_k | 151.112 |

Einwirkungen aus horizontalen Wasserdruck

| Vorz. | Einwirkung | Gesamtlast [kN] |
|-------|----------------|--------------------|
| - | Wasserdruck OW | 91.987 |
| + | Wasserdruck UW | 41.264 |

| | | |
|---|------------------------------------|--------|
| - | destabilisierend | 91.987 |
| + | stabilisierend | 41.264 |
| | Wasserdruck H_{w,k} | 50.722 |

Einwirkungen aus Erddruck

| Vorz. | Einwirkung | Einzellast [kN] |
|-------|-------------------|--------------------|
| - | akt. Erddruck OW | 7.948 |
| + | pass. Erddruck UW | 26.361 |

| | | |
|---|-------------------------|--------|
| - | destabilisierend | 7.948 |
| + | stabilisierend | 26.361 |

Bemessungswerte Einwirkungsseite

| Einwirkung | H_k [kN] | γ | H_d [kN] |
|----------------|---------------|----------|---------------|
| Wasserdruck OW | 50.722 | 1,2 | 60.867 |
| Erddruck OW | 7.948 | 1,2 | 9.538 |

| | |
|--|------------------|
| Bemessungslast $T_d =$ | 70.404 kN |
|--|------------------|

Bemessungswerte Widerstandsseite

Bemessungswert Gleitwiderstand

| | |
|---------------------------|------------|
| G_k | 151.112 kN |
| Reibungswinkel φ' | 35 ° |
| $\tan\varphi'$ | 0,70 |
| $\gamma_{R,h}$ | 1,10 |

$$R_{t,d} = G_k * \tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 96.191 \text{ kN}$$

Bemessungswert des passiven Erddrucks

| | |
|----------------|-----------|
| $E_{pt,k}$ | 26.361 kN |
| $\gamma_{R,e}$ | 1,30 |

$$E_{pt,d} = 0,5 * E_{pt,k} / \gamma_{R,e} = 10.139 \text{ kN}$$

Nachweis Gleiten

| | |
|------------------------|-------------------|
| $T_d =$ | 70.404 kN |
| $R_{t,d} + E_{pt,d} =$ | 106.329 kN |

| | | | |
|---------|-------------|-----------------|-------------------|
| $E/R =$ | 0,66 | < 1,0 | Nachweis erfüllt. |
|---------|-------------|-----------------|-------------------|

Nachweis für „Revision + BHQ1“ BS-T (EC)

Vertikale Einwirkungen aus Bauwerk und Wasserdruck

| Vorz. | Einwirkung | Gesamtlast [kN] |
|-------|------------------------------|--------------------|
| + | EG Krafthaus | 294.688 |
| + | Wasser Einlauf G11 | 0 |
| + | Wasser Turbinenschacht G12 | 0 |
| + | Wasser Saugschlauch G13 | 0 |
| + | Wasserlast über Saugschlauch | 29.171 |
| - | SWD Krafthaus | 190.850 |

| | | |
|---|---------------------------|---------|
| + | G_{gesamt} | 323.858 |
| - | Auftrieb | 190.850 |
| | G_k | 133.009 |

Einwirkungen aus horizontalen Wasserdruck

| Vorz. | Einwirkung | Gesamtlast [kN] |
|-------|----------------|--------------------|
| - | Wasserdruck OW | 99.928 |
| + | Wasserdruck UW | 73.989 |

| | | |
|---|------------------------------------|--------|
| - | destabilisierend | 99.928 |
| + | stabilisierend | 73.989 |
| | Wasserdruck H_{w,k} | 25.939 |

Einwirkungen aus Erddruck

| Vorz. | Einwirkung | Einzellast [kN] |
|-------|-------------------|--------------------|
| - | akt. Erddruck OW | 7.948 |
| + | pass. Erddruck UW | 26.361 |

| | | |
|---|-------------------------|--------|
| - | destabilisierend | 7.948 |
| + | stabilisierend | 26.361 |

Bemessungswerte Einwirkungsseite

| Einwirkung | H_k [kN] | γ | H_d [kN] |
|----------------|---------------|----------|---------------|
| Wasserdruck OW | 25.939 | 1,2 | 31.126 |
| Erddruck OW | 7.948 | 1,2 | 9.538 |

| | |
|--|------------------|
| Bemessungslast $T_d =$ | 40.664 kN |
|--|------------------|

Bemessungswerte Widerstandsseite

Bemessungswert Gleitwiderstand

| | |
|---------------------------|------------|
| G_k | 133.009 kN |
| Reibungswinkel φ' | 35 ° |
| $\tan\varphi'$ | 0,70 |
| $\gamma_{R,h}$ | 1,10 |

$$R_{t,d} = G_k * \tan(\varphi) / \gamma_{R,h} = 84.667 \text{ kN}$$

Bemessungswert des passiven Erddrucks

| | |
|----------------|-----------|
| $E_{pt,k}$ | 26.361 kN |
| $\gamma_{R,e}$ | 1,30 |

$$E_{pt,d} = 0,5 * E_{pt,k} / \gamma_{R,e} = 10.139 \text{ kN}$$

Nachweis Gleiten

| | |
|------------------------|------------------|
| $T_d =$ | 40.664 kN |
| $R_{t,d} + E_{pt,d} =$ | 94.806 kN |

| | | | |
|---------|-------------|-----------------|-------------------|
| $E/R =$ | 0,43 | < 1,0 | Nachweis erfüllt. |
|---------|-------------|-----------------|-------------------|

Anlage 8 Berechnungen zum Nachweis gegen Aufschwimmen

Nachweis für „Betrieb“ BS-P (EC)**Vertikale Einwirkungen aus Bauwerk und Wasserdruck**

| Vorz. | Einwirkung | Gesamtlast [kN] |
|-------|------------------------------|--------------------|
| + | EG Krafthaus | 294.688 |
| + | Wasser Einlauf G11 | 30.834 |
| + | Wasser Turbinenschacht G12 | 1.507 |
| + | Wasser Saugschlauch G13 | 20.592 |
| + | Wasserlast über Saugschlauch | 15.409 |
| - | SWD Krafthaus | 160.081 |

| | | |
|---|---------------------------|---------|
| + | G_{gesamt} | 363.030 |
| - | Auftrieb | 160.081 |
| | G_k | 202.949 |

Bemessungswerte Einwirkungsseite

| Lastart | G _{dst,k} [kN] | Y _{G,dst} | G _{dst,k} * Y _{G,dst} [kN] |
|-----------------|----------------------------|--------------------|---|
| Sohlwasserdruck | 160.081 | 1,05 | 168.085 |

| | |
|-----------------------------------|-------------------|
| Bemessungswert dest. Einw. | 168.085 kN |
|-----------------------------------|-------------------|

Bemessungswerte Widerstandsseite

| Lastart | G _{stb,k} [kN] | Y _{G,stb} | G _{stb,k} * Y _{G,stb} [kN] |
|----------------------------|----------------------------|--------------------|---|
| EG Bauwerk + Wasserauflast | 363.030 | 0,95 | 344.878 |

| | |
|-----------------------------------|-------------------|
| Bemessungswert stab. Einw. | 344.878 kN |
|-----------------------------------|-------------------|

Nachweis Aufschwimmen

| | |
|--|-------------------|
| G_{dst,k} * Y_{G,dst} = | 168.085 kN |
|--|-------------------|

| | |
|--|-------------------|
| G_{stb,k} * Y_{G,stb} = | 344.878 kN |
|--|-------------------|

| | | | |
|--------------|-------------|-----------------|-------------------|
| E/R = | 0,49 | < 1,0 | Nachweis erfüllt. |
|--------------|-------------|-----------------|-------------------|

Nachweis für „Revision + NNQ“ BS-T (EC)**Vertikale Einwirkungen aus Bauwerk und Wasserdruck**

| Vorz. | Einwirkung | Gesamtlast [kN] |
|-------|------------------------------|--------------------|
| + | EG Krafthaus | 294.688 |
| + | Wasser Einlauf G11 | 0 |
| + | Wasser Turbinenschacht G12 | 0 |
| + | Wasser Saugschlauch G13 | 0 |
| + | Wasserlast über Saugschlauch | 14.522 |
| - | SWD Krafthaus | 158.098 |

| | | |
|---|---------------------------|---------|
| + | G_{gesamt} | 309.210 |
| - | Auftrieb | 158.098 |
| | G_k | 151.112 |

Bemessungswerte Einwirkungsseite

| Lastart | G _{dst,k} [kN] | Y _{G,dst} | G _{dst,k} * Y _{G,dst} [kN] |
|-----------------|----------------------------|--------------------|---|
| Sohlwasserdruck | 158.098 | 1,05 | 166.003 |

| | |
|-----------------------------------|-------------------|
| Bemessungswert dest. Einw. | 166.003 kN |
|-----------------------------------|-------------------|

Bemessungswerte Widerstandsseite

| Lastart | G _{stb,k} [kN] | Y _{G,stb} | G _{stb,k} * Y _{G,stb} [kN] |
|----------------------------|----------------------------|--------------------|---|
| EG Bauwerk + Wasserauflast | 309.210 | 0,95 | 293.749 |

| | |
|-----------------------------------|-------------------|
| Bemessungswert stab. Einw. | 293.749 kN |
|-----------------------------------|-------------------|

Nachweis Aufschwimmen

| | |
|--|-------------------|
| G_{dst,k} * Y_{G,dst} = | 166.003 kN |
|--|-------------------|

| | |
|--|-------------------|
| G_{stb,k} * Y_{G,stb} = | 293.749 kN |
|--|-------------------|

| | | | |
|--------------|-------------|-----------------|-------------------|
| E/R = | 0,57 | < 1,0 | Nachweis erfüllt. |
|--------------|-------------|-----------------|-------------------|

Nachweis für „Revision + BHQ1“ BS-T (EC)

Vertikale Einwirkungen aus Bauwerk und Wasserdruck

| Vorz. | Einwirkung | Gesamtlast [kN] |
|-------|------------------------------|--------------------|
| + | EG Krafthaus | 294.688 |
| + | Wasser Einlauf G11 | 0 |
| + | Wasser Turbinenschacht G12 | 0 |
| + | Wasser Saugschlauch G13 | 0 |
| + | Wasserlast über Saugschlauch | 29.171 |
| - | SWD Krafthaus | 190.850 |

| | | |
|---|---------------------|---------|
| + | G_{gesamt} | 323.858 |
| - | Auftrieb | 190.850 |
| | G_k | 133.009 |

Bemessungswerte Einwirkungsseite

| Lastart | $G_{\text{dst,k}}$ [kN] | $\gamma_{G,\text{dst}}$ | $G_{\text{dst,k}} * \gamma_{G,\text{dst}}$ [kN] |
|-----------------|----------------------------|-------------------------|--|
| Sohlwasserdruck | 190.850 | 1,05 | 200.392 |

| | |
|-----------------------------------|-------------------|
| Bemessungswert dest. Einw. | 200.392 kN |
|-----------------------------------|-------------------|

Bemessungswerte Widerstandsseite

| Lastart | $G_{\text{stb,k}}$ [kN] | $\gamma_{G,\text{stb}}$ | $G_{\text{stb,k}} * \gamma_{G,\text{stb}}$ [kN] |
|----------------------------|----------------------------|-------------------------|--|
| EG Bauwerk + Wasserauflast | 323.858 | 0,95 | 307.666 |

| | |
|-----------------------------------|-------------------|
| Bemessungswert stab. Einw. | 307.666 kN |
|-----------------------------------|-------------------|

Nachweis Aufschwimmen

| | |
|--|-------------------|
| $G_{\text{dst,k}} * \gamma_{G,\text{dst}} =$ | 200.392 kN |
| $G_{\text{stb,k}} * \gamma_{G,\text{stb}} =$ | 307.666 kN |

| | | | |
|---------|-------------|-----------------|-------------------|
| $E/R =$ | 0,65 | < 1,0 | Nachweis erfüllt. |
|---------|-------------|-----------------|-------------------|

Anlage 9 Berechnungen zum Nachweis gegen Kippen

Nachweis für „Betrieb“ BS-P (EC)**Vertikale Einwirkungen aus Bauwerk und Wasserdruck**

| Vorz. | Einwirkung | Gesamtlast [kN] | Hebelarm [m] | Moment [kNm] |
|-------|------------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| + | EG Krafthaus | 294.688 | | 4.217.628 |
| + | Wasser Einlauf G11 | 30.834 | | 581.211 |
| + | Wasser Turbinenschacht G12 | 1.507 | | 28.550 |
| + | Wasser Saugschlauch G13 | 20.592 | | 210.524 |
| + | Wasserlast über Saugschlauch | 15.409 | 2,40 | 36.982 |
| - | SWD Krafthaus | 160.081 | 14,40 | 2.304.424 |

| | | | | |
|---|-----------------------------------|---------|--|-----------|
| + | gegen Uhrzeigersinn (gUZS) | 363.030 | | 5.074.896 |
| - | im Uhrzeigersinn (iUZS) | 160.081 | | 2.304.424 |

Einwirkungen aus horizontalen Wasserdruck

| Vorz. | Einwirkung | Gesamtlast [kN] | Hebelarm [m] | Moment [kNm] |
|-------|----------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| - | Wasserdruck OW | 92.468 | 9,62 | 889.443 |
| + | Wasserdruck UW | 42.971 | 5,67 | 243.549 |

| | | | | |
|---|-----------------------------------|--|--|---------|
| + | gegen Uhrzeigersinn (gUZS) | | | 889.443 |
| - | im Uhrzeigersinn (iUZS) | | | 243.549 |

Einwirkungen aus Erddruck

| Vorz. | Einwirkung | Einzellast [kN] | Hebelarm [m] | Moment [kNm] |
|-------|-------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| - | akt. Erddruck OW | 7.948 | 5,02 | 39.872 |
| + | pass. Erddruck UW | 0 | 0,00 | 0 |

| | | | | |
|---|-----------------------------------|--|--|--------|
| + | gegen Uhrzeigersinn (gUZS) | | | 0 |
| - | im Uhrzeigersinn (iUZS) | | | 39.872 |

Der passive Erddruck wird nicht berücksichtigt, da beim Kippnachweis nur Einwirkungen angesetzt werden

Zusammenfassung

$$\Sigma M_{gUZS} \quad 5.964.338 \text{ kNm}$$

$$\Sigma M_{iUZS} \quad 2.587.846 \text{ kNm}$$

$$M_{res} = \Sigma M_{gUZS} - \Sigma M_{iUZS} = \quad \mathbf{3.376.492 \text{ kNm}}$$

$$V_{res} = G_k - \text{Auftrieb} = \quad \mathbf{202.949 \text{ kN}}$$

$$\text{Außermitte } x_s = M_{res} / V_{res} = \quad 16,64 \text{ m}$$

Nachweis Kippen

| | |
|---------------------|---------------|
| $e = L/2 - x_s =$ | 2,24 m |
| $e_{zul} = L/6 =$ | 4,80 m |

| | | |
|---------|-------------|-----------------|
| $E/R =$ | 0,47 | < 1,0 |
|---------|-------------|-----------------|

 Nachweis erfüllt.

Nachweis für „Revision + NNQ“ BS-T (EC)**Vertikale Einwirkungen aus Bauwerk und Wasserdruck**

| Vorz. | Einwirkung | Gesamtlast [kN] | Hebelarm [m] | Moment [kNm] |
|-------|------------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| + | EG Krafthaus | 294.688 | | 4.217.628 |
| + | Wasser Einlauf G11 | 0 | | 0 |
| + | Wasser Turbinenschacht G12 | 0 | | 0 |
| + | Wasser Saugschlauch G13 | 0 | | 0 |
| + | Wasserlast über Saugschlauch | 14.522 | 2,40 | 34.853 |
| - | SWD Krafthaus | 158.098 | 14,42 | 2.279.772 |

| | | | | |
|---|-----------------------------------|---------|--|-----------|
| + | gegen Uhrzeigersinn (gUZS) | 309.210 | | 4.252.481 |
| - | im Uhrzeigersinn (iUZS) | 158.098 | | 2.279.772 |

Einwirkungen aus horizontalen Wasserdruck

| Vorz. | Einwirkung | Gesamtlast [kN] | Hebelarm [m] | Moment [kNm] |
|-------|----------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| - | Wasserdruck OW | 91.987 | 9,64 | 887.072 |
| + | Wasserdruck UW | 41.264 | 5,55 | 228.981 |

| | | | | |
|---|-----------------------------------|--|--|---------|
| + | gegen Uhrzeigersinn (gUZS) | | | 887.072 |
| - | im Uhrzeigersinn (iUZS) | | | 228.981 |

Einwirkungen aus Erddruck

| Vorz. | Einwirkung | Einzellast [kN] | Hebelarm [m] | Moment [kNm] |
|-------|-------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| - | akt. Erddruck OW | 7.948 | 5,02 | 39.872 |
| + | pass. Erddruck UW | 0 | 0,00 | 0 |

| | | | | |
|---|-----------------------------------|--|--|--------|
| + | gegen Uhrzeigersinn (gUZS) | | | 0 |
| - | im Uhrzeigersinn (iUZS) | | | 39.872 |

Der passive Erddruck wird nicht berücksichtigt, da beim Kippnachweis nur Einwirkungen angesetzt werden.

Zusammenfassung

$$\Sigma M_{gUZS} \quad 5.139.553 \text{ kNm}$$

$$\Sigma M_{iUZS} \quad 2.548.625 \text{ kNm}$$

$$M_{res} = \Sigma M_{gUZS} - \Sigma M_{iUZS} = \quad \mathbf{2.590.928 \text{ kNm}}$$

$$V_{res} = G_k - \text{Auftrieb} = \quad \mathbf{151.112 \text{ kN}}$$

$$\text{Außermitte } x_s = M_{res} / V_{res} = \quad 17,15 \text{ m}$$

Nachweis Kippen

| | |
|---------------------|---------------|
| $e = L/2 - x_s =$ | 2,75 m |
|---------------------|---------------|

| | |
|-------------------|---------------|
| $e_{zul} = L/3 =$ | 9,60 m |
|-------------------|---------------|

| | | |
|---------|-------------|-----------------|
| $E/R =$ | 0,29 | < 1,0 |
|---------|-------------|-----------------|

 Nachweis erfüllt.

Nachweis für „Revision + BHQ1“ BS-T (EC)**Vertikale Einwirkungen aus Bauwerk und Wasserdruck**

| Vorz. | Einwirkung | Gesamtlast [kN] | Hebelarm [m] | Moment [kNm] |
|-------|------------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| + | EG Krafthaus | 294.688 | | 4.217.628 |
| + | Wasser Einlauf G11 | 0 | | 0 |
| + | Wasser Turbinenschacht G12 | 0 | | 0 |
| + | Wasser Saugschlauch G13 | 0 | | 0 |
| + | Wasserlast über Saugschlauch | 29.171 | 2,40 | 70.010 |
| - | SWD Krafthaus | 190.850 | 14,08 | 2.686.883 |

| | | | | |
|---|-----------------------------------|---------|--|-----------|
| + | gegen Uhrzeigersinn (gUZS) | 323.858 | | 4.287.638 |
| - | im Uhrzeigersinn (iUZS) | 190.850 | | 2.686.883 |

Einwirkungen aus horizontalen Wasserdruck

| Vorz. | Einwirkung | Gesamtlast [kN] | Hebelarm [m] | Moment [kNm] |
|-------|----------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| - | Wasserdruck OW | 99.928 | 9,27 | 926.225 |
| + | Wasserdruck UW | 73.989 | 7,50 | 555.234 |

| | | | | |
|---|-----------------------------------|--|--|---------|
| + | gegen Uhrzeigersinn (gUZS) | | | 926.225 |
| - | im Uhrzeigersinn (iUZS) | | | 555.234 |

Einwirkungen aus Erddruck

| Vorz. | Einwirkung | Einzellast [kN] | Hebelarm [m] | Moment [kNm] |
|-------|-------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
| - | akt. Erddruck OW | 7.948 | 5,02 | 39.872 |
| + | pass. Erddruck UW | 0 | 0,00 | 0 |

| | | | | |
|---|-----------------------------------|--|--|--------|
| + | gegen Uhrzeigersinn (gUZS) | | | 0 |
| - | im Uhrzeigersinn (iUZS) | | | 39.872 |

Der passive Erddruck wird nicht berücksichtigt, da beim Kippnachweis nur Einwirkungen angesetzt werden.

Zusammenfassung

$$\Sigma M_{gUZS} \quad 5.213.864 \text{ kNm}$$

$$\Sigma M_{iUZS} \quad 3.281.989 \text{ kNm}$$

$$M_{res} = \Sigma M_{gUZS} - \Sigma M_{iUZS} = \quad \mathbf{1.931.875 \text{ kNm}}$$

$$V_{res} = G_k - \text{Auftrieb} = \quad \mathbf{133.009 \text{ kN}}$$

$$\text{Außermitte } x_s = M_{res} / V_{res} = \quad 14,52 \text{ m}$$

Nachweis Kippen

| | |
|---------------------|---------------|
| $e = L/2 - x_s =$ | 0,12 m |
| $e_{zul} = L/3 =$ | 9,60 m |

| | | |
|---------|-------------|-----------------|
| $E/R =$ | 0,01 | < 1,0 |
|---------|-------------|-----------------|

 Nachweis erfüllt.