

Fakultät für Hydrotechnik



Diplomarbeit

Thema:

“ENTWICKLUNG EINES TECHNISCHEN PROJEKTS FÜR DEN
GEPANZERTEN DRUCKSTOLLEN DES WKWS „KITNITSA“

Diplomant:

/Doncho Vasilev Vasilev, Matr. N. 0927921/

Betreuer der Diplomarbeit:

/Univ. Doz. Dr. Techn. Dipl. – Ing. V. Tashev/

/Univ. Prof. Dipl. – Ing. Dr.techn. P. Tschernutter/

/Univ. Prof. Dipl.- Ing. Dr.techn. Dr. h.c. – H.G. Jodl/

Fakultät für Hydrotechnik

Diplomant: Doncho Vasilev

Fachbereich: Wasserbau, Matr.№ 0927921

Frist zum Aufgabestellen: 03.10.2011

Frist zum Übergeben:

DIPLOMAUFGABESTELLUNG № 2392Entwicklung eines technischen Projekts für den gepanzerten Druckstollen des WKWs „Kitnitsa“

Es muss ein technisches Projekt für den gepanzerten Druckstollen des WKWs „Kintitsa“ entwickelt werden. Für die Kaskade „Gorna Arda“ ist es ein zweistufige Schema (ohne Damm „Sarnitsa“) angenommen. Der gepanzerte Druckstollen ist ein Teil der Wasserkraftsstufe „Kitnitsa“, die aus Staumauer „Adrino“ und WKW „Kitnitsa“ besteht. Die Entwicklung des Projekts ist im Einklang mit den folgenden Ausgangsdaten:

1. Ingenieurgeologische und hydrogeologische Dateien für das Gebiet der Einrichtungen.
2. Lageplan des Flussabschnittes und des Gebiets der Einrichtungen.
3. Lage der Staumauer „Adrino“.
4. Ausbauwassermenge des WKWs „Kitnitsa“: $Q_{\text{Ausbau}} = 68 \text{ m}^3/\text{s}$
5. Koten der Wasserspiegel im Speicher „Adrino“:

∇ Stauziel (OWS _{max})	523,00
∇ Überstau	525,50
∇ OWS _{min}	484,00
∇ UWS	326,30

Zum Inhaltsverzeichnis:

1. Auswahl der Ausrüstung des WKWs „Kitnitsa“.
2. Hydraulische Bemessungen bei stationären und instationären Prozessen.
3. Bauweise des gepanzerten Druckstollens. Auswahl und Bemessung der Abstützung.
4. Auswahl und Bemessung der Auskleidung.
5. Bauverfahrenstechnik des gepanzerten Druckstollens.
6. Umweltschutzmaßnahmen.

Unter der Leitung von:

/ Univ. Doz. Dr. Techn. Dipl. – Ing. Viktor Tashev/

Leiter der Fakultät für Hydrotechnik:

/ Univ. Doz. Dr. Techn. Dipl. – Ing. Dimitar Toshev/

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung.....	5
1.1	Allgemeine Beschreibung des Standorts	5
1.2	Beschreibung der Hauptanlagen	6
1.2.1	Speicher „Ardino“	7
1.2.2	Triebwasserweg.....	7
1.2.3	WKW „Kitnitsa“	9
1.3	Trassierung des gepanzerten Druckstollens.....	9
2	Vorläufige Berechnungen.....	10
2.1	Ermittlung des Durchmessers des gepanzerten Druckstollens	10
2.2	Ermittlung des Drucks im gepanzerten Druckstollen	11
2.2.1	Ermittlung der Brutto- und Nettofallhöhe	11
2.3	Ermittlung des Durchmessers des Eingangs zu der Turbinenspirale	11
2.3.1	Ermittlung der Ausbauleistung des WKWs „Kitnitsa“	11
2.3.2	Auswahl der Turbine.....	12
2.3.3	Hauptparameter der Turbine	13
2.3.4	Ermittlung der Größe der Turbinenspirale	13
3	Hydraulische Bemessungen bei stationären Prozessen des WKWs „Kitnitsa“	15
3.1	Berechnung der Ort- und Längsverluste im gepanzerten Druckstollen	16
3.1.1	Längsverluste - $\Delta h_{\text{Länge}}$	16
3.1.2	Hydraulische Verluste beim Grobrechen - Δh_{Rechen}	16
3.1.3	Einlaufverluste - $\Delta h_{\text{Einlauf}}$	17
3.1.4	Knickverluste - Δh_{Knick}	17
3.1.5	Verluste bei den Verschlußorganen - $\Delta h_{\text{Verschlußorgan}}$	18
3.1.6	Verluste bei der Verzweigung (beim Hosenrohr) - $\Delta h_{\text{Verzw.}}$	18
3.1.7	Längsverluste nach der Verzweigung - $\Delta h_{\text{Länge}}^{\text{Verzw.}}$	18
3.1.8	Krümmungsverluste - $\Delta h_{\text{Krümmung}}$	19
3.1.9	Verengungsverluste - $\Delta h_{\text{Verengung}}$	19
3.2	Berechnung der Gesamtverluste	21
3.3	Berechnung der Netto- und Bruttofallhöhe	21

4	Ausrüstung des WKWs „Kitnitsa“	22
4.1	Auswahl der Turbinenausrüstung	22
4.1.1	Ermittlung der Ausbauleistung des WKWs „Kitnitsa“	22
4.1.2	Auswahl des Turbinenmodells	23
4.1.3	Hauptparameter der Turbine	23
4.1.4	Ermittlung der zulässigen Saughöhe	25
4.1.5	Konstruktive Gestaltung der Turbinenspirale und des Saugrohres	25
4.1.6	Bestimmung des Gewichts von der Turbine und dem Laufrad	28
4.2	Auswahl des Generators.....	28
4.2.1	Ermittlung der Parameter des gesuchten Generators	29
5	Universalmuschelkurven der Francis-Turbine PO230	31
5.1	Hauptmuschelkurve	31
5.2	Betriebsmuschelkurven.....	31
5.2.1	Ermittlung der Betriebsmuschelkurven der Francis-Turbine PO230.....	32
5.2.2	Ermittlung der einschränkenden Linien	34
5.2.3	Graphische Darstellung der Betriebsmuschelkurven.....	35
5.3	Betriebskurve des Wasserkraftwerkes.....	37
6	Hydraulische Bemessungen bei instationären Prozessen des WKWs „Kitnitsa“	39
6.1	Erläuterung der hydraulischen Bemessungen bei instationären Prozessen des WKWs „Kitnitsa“	39
6.2	Abfolge der Berechnungen	39
6.2.1	Parameter des Druckstoßes	40
6.2.2	Modellierung des Druckstoßes	45
7	Abstützung	51
7.1	Gebirgsdruck.....	51
7.2	Auswahl der Abstützungs konstruktion	52
7.3	Bemessung der Abstützungs konstruktion.....	54
7.3.1	Abschnitt I и IV ($f=5$, $K_o = 2400 \text{ N/cm}^3$).....	54
7.3.2	Abschnitt II ($f=4$, $K_o = 1800 \text{ N/cm}^3$)	56
7.3.3	Abschnitt III($f=2$, $K_o = 800 \text{ N/cm}^3$)	58
7.3.4	Abschnitt V ($f=2$, $K_o = 800 \text{ N/cm}^3$).....	61
7.4	Norwegische Tunnelbaumethode (NTM).....	63
7.4.1	Bestimmung der Parameter.....	63
7.4.2	Auswahl der Abstützungs konstruktionen.....	65

7.4.3	Vergleich zwischen der Bestimmung der Abstützungsstrukturen nach Protodiakonov f und nach dem Q-System (NTM)	66
8	Statische Analyse der Stahlpanzerung	67
8.1	Überprüfung der Tragfähigkeit auf internen Wasserdruck p_i	67
8.2	Überprüfung der Tragfähigkeit auf externen Wasserdruck p_e	69
8.3	Überprüfung der Tragfähigkeit auf axiale Spannungen	70
8.3.1	Axiale Spannungen von Temperaturveränderungen zwischen dem inneren und äußeren Rand des dünnwandigen Rohres	70
8.3.2	Axiale Spannungen von der Wirkung der Poisson	70
8.3.3	Axiale Spannungen des Eigengewichts	71
8.3.4	Summe von den axialen Spannungen	71
8.3.5	Überprüfung der ersten Gruppe der Grenzzustände	71
8.4	Überprüfung gegen Beulen der Stahlpanzerung	72
8.4.1	Prüfmethode SNiP /Russische Methode/	72
8.4.2	Österreichische Prüfmethode von Montel	73
8.4.3	Prüfmethode von Amstutz	74
8.4.4	Prüfmethode von Jacobsen	75
8.4.5	Vergleich zwischen den Prüfmethode gegen Beulen	76
9	Bauverfahrenstechnik des gepanzerten Druckstollens	77
9.1	Ausbrucharbeiten	77
9.1.1	Ausrüstung bei der Ausführung der Ausbrucharbeiten	77
9.1.2	Ausrüstung für die Abfuhr von dem Ausbruchmaterial	78
9.2	Abstützungsstrukturen	79
9.2.1	Ausführung von Stahlrahmen und Konsolidierungsinjektion im Lockergestein	79
9.2.2	Kunstharzklebeanker	80
9.2.3	Abstützung von Spritzbeton	82
9.3	Auskleidungsarbeiten	82
9.3.1	Montage der Rohr-Einheiten	85
9.3.2	Betonierung	86
9.4	Injektionsarbeiten	87
9.4.1	Auffüllinjektionen	87
9.4.2	Hohlrauminjektionen	88
9.4.3	Korrosionsschutz von dem Stahlrohr	89
10	Umweltschutzmaßnahmen	90

11	Anhang	93
11.1	Ergebnisse des HIUD-Programms, die bei der Bestimmung der maximalen Erhöhung des Drucks im gepanzerten Druckstollen erhalten sind	93
11.2	Ergebnisse des HIUD-Programms, die bei der Bestimmung der maximalen Absenkung des Drucks im gepanzerten Druckstollen erhalten sind.....	119
11.3	Universalmuschelkurve der Francis-Turbine PO230	145

1 Einführung

1.1 Allgemeine Beschreibung des Standorts

Die Gemeinde Ardino hat erhebliche Wasserressourcen, die ein ihrer größten Naturschätze sind. Die Hauptentwässerungsarterie des Gebiets ist der Fluss Arda.

Sein Flußtal zusammen mit den Tälern der Maritza und Tunja, sind im ostägäischen Einzugsgebiet enthalten. Das Arda Flußtal wird als das wasserführendeste Tal in dem Land definiert – aus dem etwa 4 Mrd. m³ Wasser kommen, das 10% der gesamten Wasserressourcen in Bulgarien darstellt. Das große Wasserkraftpotential des Flußes ist der Grund für den Entwurf der Kaskade „Gorna Arda“.

Die Idee der Kaskade „Gorna Arda“ entstand in den achtziger Jahren des 20. Jahrhunderts. Das approbierte Projekt sieht den Bau von drei Dämmen – „Madan“, „Ardino“ und „Sarnitsa“ vor, die zwischen dem Dorf Wehtino und der Stauwand des Kardjali Stausees gelegen sind.

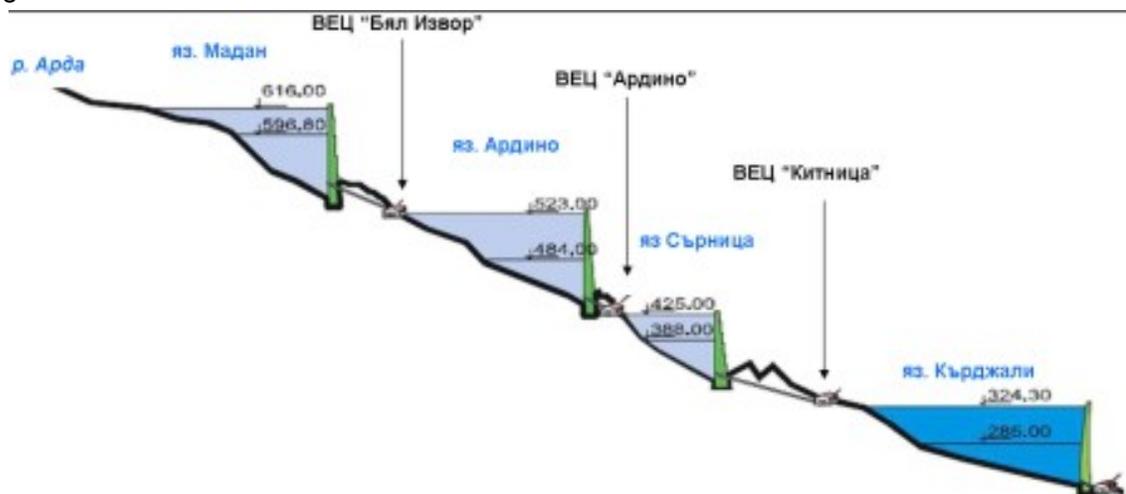


Abb. 1 Kaskade "Gorna Arda"¹

¹ <http://www.ardino.bg/?pid=5,5>



Abb. 2 Hydrographische Karte der Gemeinde Ardino ¹

Diese Diplomarbeit stellt eine weitere Lösung für den Ausbau der Kaskade „Gorna Arda“ vor, in der der letzte Damm „Sarnitsa“ mit einem längeren Druckstollen, der fast zehn Kilometer ist, geplant wird. Mit dieser Lösung werden die Bau- und Betriebskosten der Anlage deutlich reduziert, während das volle Wasserkraftpotenzial des Arda-Flusses genutzt wird.

1.2 Beschreibung der Hauptanlagen

Gegenstand der eingehenden Untersuchung ist der Triebwasserweg „Ardino“, der die Zweite und in diesem Fall die letzte Stufe der Kaskade „Gorna Arda“ ist. Die Grundanlagen sind:

¹ <http://www.ardino.bg/?pid=5,5>

- Speicher „Ardino“ – Steinschüttdamm mit Stahlbetonoberflächendichtung
- Triebwasserweg, der aus Wasserentnahmebauwerk, Druckstollen, Wasserschloss und gepanzertem Druckstollen besteht;
- WKW „Kitnitsa“

1.2.1 Speicher „Ardino“

Der Speicher „Ardino“ befindet sich etwa 5 km nordwestlich der Stadt Ardino. Das Einzugsgebiet des Speichers „Ardino“ beläuft sich auf 1104,8 km², in dem der durchschnittliche jährliche Abfluss 669 Mio. m³ beträgt. Bei Staukote 523 m beträgt das Gesamtvolumen des Speichers 93 Mio. m³. Es ist geplant, die Talsperre als Steinschüttdamm mit einer Höhe von 100,1 m und einer Länge der Krone von 273 m zu errichten. ¹

Koten der Wasserspiegel im Speicher „Ardino“:

∇ Stauziel (OWS _{max})	=	523,00 m
∇ Überstau	=	525,50 m
∇ OWS _{min}	=	484,00 m

1.2.2 Triebwasserweg

Der Triebwasserweg ist für eine maximale Ausbauwassermenge von 68 m³/s bemessen. Die Daten über den Druckstollen und das Wasserschloss sind aus einer parallel ausgeführten Diplomarbeit, die ihre detaillierte Betrachtung und Bemessung beinhaltet, entnommen.

➤ Wasserentnahmebauwerk:

Das Wasserentnahmebauwerk sollte einen gleichmäßigen Übergang zwischen dem Wasser im Speicher und im Druckstollen gewährleisten. Es wird ein vertikaler Wasserentnahmeturm gewählt. Es wird empfohlen, dass der Turm rechteckig sollte, da diese Art leichter wegen der einfachen Schalungsformen gebaut werden kann. Das Wasser wird größtenteils für energetische Zwecke verwendet, so ist es nicht notwendig, die Wasserentnahme aus verschiedenen Wasserschichten mit unterschiedlichen Temperaturen zu entnehmen. Im Einlaufbereich des Entnahmeturms wird ein Rechen vorgesehen. Dieser Rechen soll den Druckstollen von den verschiedenen schwimmenden Objekten, die eine Gefahr für die Anlage darstellen können, schützen.

¹ Vgl. Liubenov 2009, S.3-4.

➤ Druckstollen

Der Druckstollen hat eine Gesamtlänge $L=9550,67$ m und eine konstante Neigung von $i=0,2\%$. Er hat einen kreisförmigen Querschnitt mit einem Durchmesser $D=5,50$ m.

➤ Wasserschloss

Es wird ein Zweikammerwasserschloss gewählt. Die obere Kammer bildet ein Ausgleichbecken. Der Querschnitt des Wasserschlosses ist zylindrisch mit einem Durchmesser von $D=11,50$ m.

➤ Gepanzerter Druckstollen

- Horizontaler Abschnitt – nach dem Wasserschloss und hat eine Länge von 20 m und eine minimale Neigung $i=1\%$. Er trägt zu einer gleichmäßigen Verbindung zwischen dem Druckstollen, dem Wasserschloss und dem gepanzerten Druckstollen bei.
- Stark geneigter Abschnitt – anschließender Triebwasserweg bis zum Wasserkraftwerk. Dies führt zur Reduzierung der hydraulischen Verluste und zur Verbesserung des Wirkungsgrades. Dieser Abschnitt hat eine Länge von $L=354,70$ m und eine Neigung von $i=22^\circ$.
- Stollenanfang – befindet sich direkt hinter die Baustelle des WKWs „Kitnitsa“. So wird eine problemlose Bewegung der Baumaschinen bei der Ausführung der Ausbruchs-, Abstützungs- und Auskleidungsarbeiten gewährleistet.

➤ Zugangstollen

Der Zweck dieses Stollens ist es, den Zugang während des Baues von den Anlagen des Triebwasserweges zu ermöglichen. Er erricht das Ende des Druckstollens beim Wasserschloss. Im Eingangsbereich ist es eine Baustelleneinrichtung vorgesehen, deren Geometrie mit dem Verfahren zum Abbau des Triebwasserweges und des Stollens abgestimmt ist.

1.2.3 WKW „Kitnitsa“

Das Wasserkraftwerk ist oberirdisch. Im Maschinenraum werden zwei Francis-Turbinen mit vertikaler Achse installiert. Die Gesamtleistung ist 99,76MW bei einer Berechnungsnettofallhöhe von 173,24m.

1.3 Trassierung des gepanzerten Druckstollens

Der Ausfall der dritten Stufe der Kaskade „Gorna Arda“ im Rahmen des Projekts eröffnet die Möglichkeit von zwei Varianten zur Trassierung des Triebwasserweges – auf der linken und auf der rechten Seite des Arda Flusses. In diesem Fall wird die zweite Variante ausgewählt, bei der der Triebwasserweg auf die rechte Seite vorgesehen ist. Maßgebend für die Auswahl der Trasse ist der Druckstollen. Die Entwicklung und Vergleich der beiden Varianten wird in der parallel ausgeführten Diplomarbeit gemacht, in der die Hauptaufgabe der Ausbau und die Bemessung des Druckstollens ist.

Der gepanzerte Druckstollen in dem aktuellen Projekt besteht aus einem stark geneigten Abschnitt. Dadurch wird die Länge reduziert, was die hydraulischen Längsverluste und die Investitionen reduziert. Diese Variante wurde auch gewählt, um eine einzige Bauverfahrenstechnik für den gesamten Druckstollen zu verwenden.

2 Vorläufige Berechnungen

2.1 Ermittlung des Durchmessers des gepanzerten Druckstollens

$$D_{g,DS} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{Ausbau}}{v_{g,DS} \cdot \pi}}$$

$$Q_{Ausbau} = 68,00 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$V_{opt} = 4,30 \text{ m/s} - \text{angenommene Geschwindigkeit im gepanzerten Druckstollen } V_{optimal} = (3 \div 5) \text{ m/s}$$

$$D_{g,DS} = \sqrt{\frac{4 \cdot 68,00}{4,3 \cdot 3,14}} = 4,49 \text{ m}$$

$$\Rightarrow D_{g,DS} = 4,50 \text{ m}$$

$$V_{opt} = \frac{Q_{Ausbau}}{F_{g,DS}}$$

$$V_{opt} = \frac{Q_{Ausbau}}{\frac{\pi \cdot D_{g,DS}^2}{4}} = \frac{68,00}{\frac{3,14 \cdot 4,50^2}{4}} = 4,276 \text{ m/s}$$

$$\Rightarrow V_{opt} = V_{g,DS} = 4,276 \text{ m/s}$$

$$F_{g,DS} = 15,904 \text{ m}^2 - \text{Querschnittfläche des gepanzerten Druckstollens}$$

$$F_{g,DS}^{Verzw.} = \frac{F_{g,DS}}{2} = \frac{15,904}{2} = 7,952 \text{ m}^2 - \text{Querschnittsfläche nach der}$$

Verzweigung des gepanzerten Druckstollens

$$D_{g,DS}^{Verzw.} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{DRL}^{Verzw.}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 7,952}{3,14}} = 3,182 \text{ m}$$

$$\Rightarrow D_{g,DS}^{Verzw.} = 3,20 \text{ m}$$

$$F_{g,DS}^{Verzw.} = \frac{\pi \cdot (D_{DRL}^{Verzw.})^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 3,20^2}{4} = 8,042 \text{ m}^2$$

$$V_{g,DS}^{Verzw.} = \frac{Q_{Ausbau.}/2}{F_{g,DS}^{Verzw.}} = \frac{68/2}{8,042} = 4,228 \text{ m/s}$$

$$\Rightarrow V_{g,DS}^{Verzw.} = 4,228 \text{ m/s} \Rightarrow \text{die Geschwindigkeit ist innerhalb der Grenzen } V_{opt} = (3 \div 5) \text{ m/s}$$

2.2 Ermittlung des Drucks in dem gepanzerten Druckstollen

▼ OWS _{min}	484.00	m
▼ OWS _{max}	523.00	m
▼ UWS	326.30	m

2.2.1 Ermittlung der Brutto- und Nettofallhöhe

$$H_{br}^{max} = \nabla OWS_{max} - \nabla UWS = 523,00 - 326,30 = 196,70 \text{ m}$$

$$H_{br}^{min} = \nabla OWS_{min} - \nabla UWS = 484,00 - 326,30 = 157,70 \text{ m}$$

Die hydraulischen Verluste im gepanzerten Druckstollen müssen bei der Berechnung der Nettofallhöhe bekannt sein. Für erste Annäherungen können die Fallhöhenverluste zwischen 5 – 10% der Bruttofallhöhe angenommen werden. Im nächsten Punkt (3. Hydraulische Bemessungen bei stationären Prozessen) werden die tatsächlichen Verluste und damit die entsprechenden Werte der Nettofallhöhe bestimmt.

$$\Delta h_{\Sigma} = (5 \div 10) \% \cdot H_{br}, \text{ für die Berechnungen werden } 6\% \text{ angenommen}$$

$$\Delta h_{\Sigma}^{max} = 0,06 \cdot 196,70 = 11,80 \text{ m}$$

$$\Delta h_{\Sigma}^{min} = 0,06 \cdot 157,70 = 9,46 \text{ m}$$

$$H_{netto} = H_{br} - \Delta h_{\Sigma}$$

$$\Rightarrow H_{netto}^{max} = 196,70 - 11,80 = 184,90 \text{ m}$$

$$H_{netto}^{min} = 157,70 - 9,46 = 148,24 \text{ m}$$

$$H_{netto}^* = \frac{2 \cdot H_{netto}^{max} + H_{netto}^{min}}{3} = \frac{2 \cdot 184,90 + 148,24}{3} = 172,68 \text{ m}$$

H_{netto}^* - durchschnittliche Nettofallhöhe (Berechnungsdruck)

2.3 Ermittlung des Durchmessers des Eingangs zu der Turbinenspirale

2.3.1 Ermittlung der Ausbauleistung des WKWs „Kitnitsa“

$$P_{Ausbau.} = 9,81 \cdot \eta_T \cdot \eta_G \cdot Q_{Ausbau.} \cdot H_{netto}^* \text{ [kW]}$$

$$\eta_T = 0,89 - \text{Wirkungsgrad der Turbine}$$

$$\eta_G = 0,97 - \text{Wirkungsgrad des Generators}$$

$$P_{Ausbau.} = 9,81 \cdot 0,89 \cdot 0,97 \cdot 172,68 = 99443,56 \text{ kW}$$

$$P_{Ausbau.} = 99,44 \text{ MW}$$

2.3.2 Auswahl der Turbine

Nach der maximalen Nettotallhöhe und der Ausbauwassermenge werden aus Abb.3 zwei Francis-Turbinen auf vertikaler Achse für das Wasserkrafthaus ausgewählt. Das ermöglicht den Betrieb beim Ausfall einer Turbine.

$$\left| \begin{array}{l} Q_{\text{Ausbau.}} = \frac{68}{2} = 34 \text{ m}^3 / \text{s} \\ H_{\text{netto}}^{\text{max}} = 184,90 \text{ m} \end{array} \right.$$

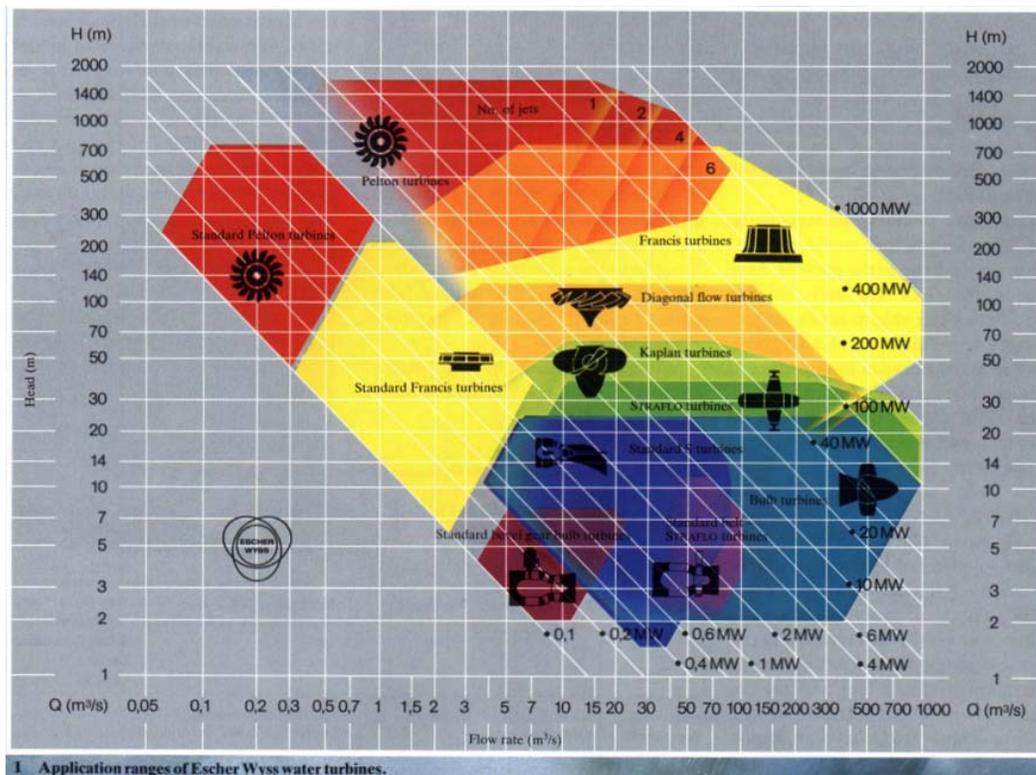


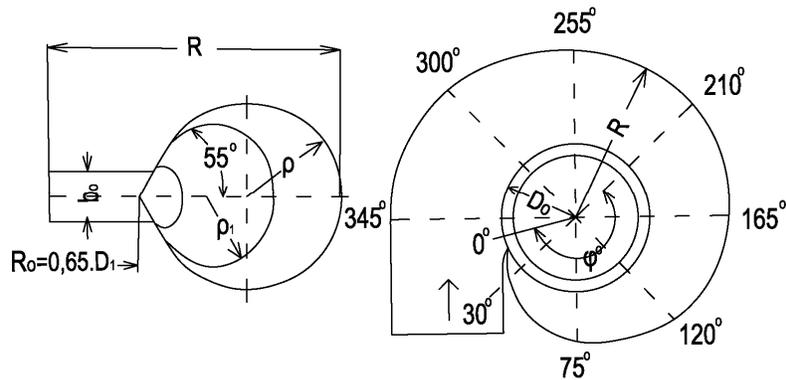
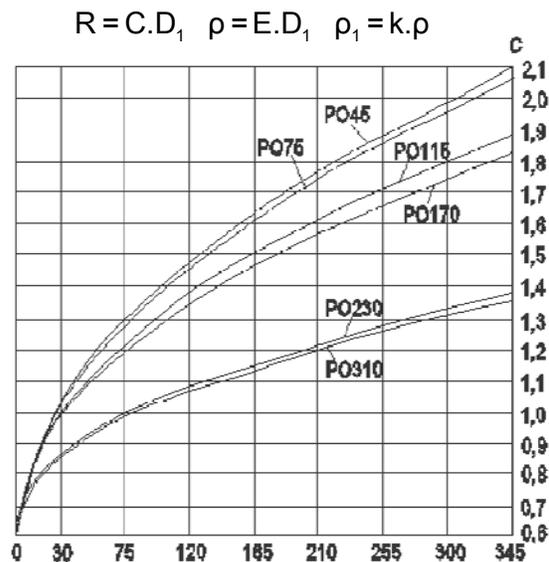
Abb. 3 Graphik für die Anwendung der verschiedenen Arten von Turbinen ¹

Das Modell der Turbine wird aus Abb.4 durch die Nomenklaturgraphik für Turbinen bestimmt.

$$\left| \begin{array}{l} P_{\text{Ausbau.}} = \frac{99,44}{2} = 49,72 \text{ MW} \\ H_{\text{netto}}^{\text{max}} = 184,90 \text{ m} \end{array} \right. \rightarrow \text{gewählt ist Turbinentyp PO230}$$

¹ Kisliakov 2011, S.3.

Zur Vorbereitung des Vorentwurfs werden die Hauptabmessungen der Turbinenkammer als eine Funktion des Durchmessers vom Laufrad D_1 und des Koordinatenwinkels ϕ° bestimmt. Für Spiralen werden der Radius R im Grundriß und den Radien ρ und ρ_1 des kreisförmigen und elliptischen Querschnitts durch die folgende Beziehungen bestimmt:¹

Abb. 5 Spirale²

Aus Abb.6 wird abgelesen

$$\left. \begin{array}{l} \varphi = 345^\circ \\ \text{PO230} \end{array} \right\} \rightarrow C = 1.39$$

$$R = C \cdot D_1 = 1,39 \cdot 2,10 = 2,92 \text{ m}$$

$$D_0 = 1,3 \cdot D_1 = 1,3 \cdot 2,10 = 2,73 \text{ m}$$

$$D_{\text{Einlauf der TS}} = R_{345} - \frac{D_0}{2} = 2,92 - \frac{2,73}{2} = 1,55 \text{ m}$$

$$\Rightarrow D_{\text{Einlauf der TS}} = 1,60 \text{ m}$$

Abb. 6 Graphik für die Bestimmung der Hauptabmessungen der Spiralen³

Es wird ein glatter Konusübergang mit Länge 9,14 m von der Verzweigung des gepanzerten Druckstollens mit $D_{\text{g.DS}}^{\text{Verzw.}} = 3,20 \text{ m}$ bis zum Einlauf der Turbinenspirale mit dem Durchmesser $D_{\text{Einlauf der TS}} = 1,60 \text{ m}$ angenommen.

¹ Vgl. Ts. Tsolovski und R. Nikolaeva 1991, S.248.

² Vgl. ebenda.

³ Vgl. ebenda, S250.

3 Hydraulische Bemessungen bei stationären Prozessen des WKWs „Kitnitsa“

Die hydraulische Bemessungen beim stationären Betrieb des Kraftwerks laufen auf der Bestimmung der hydraulischen Verluste (Ort- und Längsverluste) im Druckstollen und im gepanzerten Druckstollen hinaus.

$$\begin{aligned}\Sigma \Delta h_{\text{gesamt}} &= \Sigma \Delta h_{\text{Wasserentnahme}} + \Sigma \Delta h_{\text{Druckstollen}} + \Sigma \Delta h_{\text{g.DS}} \\ \Sigma \Delta h_{\text{Wasserentnahme}} &= \Delta h_{\text{Rechen}} + \Delta h_{\text{Einlauf}} + \Delta h_{\text{Übergang}} \\ \Sigma \Delta h_{\text{Druckstollen}} &= \Delta h_{\text{Länge}} + \Delta h_{\text{Krümmung}} + \Delta h_{\text{Ausgang}} \\ \Sigma \Delta h_{\text{g.DS}} &= \Delta h_{\text{Länge}} + \Delta h_{\text{Rechen}} + \Delta h_{\text{Einlauf}} + \Delta h_{\text{Knicke}} + \Delta h_{\text{Verschlußorgan}} + \\ &+ \Delta h_{\text{Verzw.}} + \Delta h_{\text{Länge}}^{\text{Verzw.}} + \Delta h_{\text{Krümmung}} + \Delta h_{\text{Verengung}}\end{aligned}$$

Die Verluste im Druckstollen werden in einer anderen Diplomarbeit berechnet. Hier sind nur die Verluste im gepanzerten Druckstollen berechnet.

Aus Punkt 2 „Vorläufige Berechnungen“ wurde

- Durchmesser des gepanzerten Druckstollen - $D_{\text{g.DS}} = 4,50 \text{ m}$
- Geschwindigkeit in des gepanzerten Druckstollen - $V_{\text{g.DS}} = 4,276 \text{ m/s}$
- Durchmesser nach der Verzweigung - $D_{\text{g.DS}}^{\text{Verzw.}} = 3,20 \text{ m}$
- Geschwindigkeit nach der Verzweigung - $V_{\text{g.DS}}^{\text{Verzw.}} = 4,228 \text{ m/s}$
- Durchmesser des Einlaufs der Turbinenspirale - $D_{\text{Einlauf der TS}} = 1,60 \text{ m}$

Länge der verschiedenen Abschnitte:

- Horizontaler Abschnitt - $L_{\text{horizontal}} = 20,00 \text{ m}$
- Stark geneigter Abschnitt - $L_{\text{geneigt}} = 354,70 \text{ m}$
- Kollektorbereich - $L_{\text{Kollektor}} = 15,00 \text{ m}$
- Verzweigter Abschnitt - $L_{\text{verzw.}} = 31,16 \text{ m}$

ermittelt.

3.1 Berechnung der Ort- und Längsverluste im gepanzerten Druckstollen

3.1.1 Längsverluste - $\Delta h_{\text{Länge}}$

$$\Delta h_{\text{Länge}} = \frac{L_{\text{g,DS}} \cdot V_{\text{g,DS}}^2}{C_{\text{g,DS}}^2 \cdot R_{\text{g,DS}}} \quad [m]_1$$

$$L_{\text{g,DS}} = L_{\text{horizontal}} + L_{\text{geneigt}} + L_{\text{Kollektor}} = 20,00 + 354,70 + 15,00 = 389,70 \text{ m}$$

$$V_{\text{g,DS}} = 4,276 \text{ m/s}$$

$$R_{\text{g,DS}} = \frac{D_{\text{DRL}}}{4} = \frac{4,50}{4} = 1,125 \text{ m}$$

$$C_{\text{g,DS}} = \frac{1}{n} \cdot R_{\text{g,DS}}^{1/6} = \frac{1}{0,012} \cdot 1,125^{1/6} = 84,985 \text{ m}^{1/2} / \text{s}$$

$n = 0,012$ - Rauigkeitsbeiwert

$$\Rightarrow \Delta h_{\text{Länge}} = \frac{389,70 \cdot 4,276}{84,985^2 \cdot 1,125} = 0,877 \text{ m}$$

3.1.2 Hydraulische Verluste beim Grobrechen - $\Delta h_{\text{Rechen}}^2$

Der Rechen wird am Einlauf des gepanzerten Druckstollens aufgestellt, um die Anlage vor schwimmenden Objekte zu schützen. Der Rechen besteht aus längs gesetzte Stahlstäbe, die an einigen Stellen mit Querverbindungen verbunden sind. Der Druckverlust kann durch die Formel von Kirshmer

$$\Delta h_{\text{Rechen}} = \xi_{\text{Rechen}} \cdot \frac{V_{\text{Rechen}}^2}{2 \cdot g} = \beta \cdot \sin \alpha \cdot \left(\frac{d}{a} \right)^{4/3} \cdot \frac{V_{\text{Rechen}}^2}{2 \cdot g} \quad [m], \text{ bestimmt.}$$

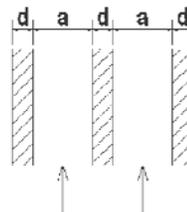
β - Formbeiwert des Rechenstabes

α - Neigungswinkel des Rechens. Der Neigungswinkel wird so angenommen, um eine leichte Reinigung des Rechens zu ermöglichen. In der Regel ist $60^\circ - 80^\circ$

d, a - Stabdicke und Abstand zwischen den Rechenstäben

Angenommene Größen:

$$\left| \begin{array}{l} h_{\text{Rechen}} = 5,0 \text{ m} \\ b_{\text{Rechen}} = 4,7 \text{ m} \end{array} \right. \rightarrow d = 0,02 \text{ m}; a = 0,1 \text{ m}$$



¹ Marinov 2003, S.170.

² Vgl. ebenda, S.168.

$$\Rightarrow F_{\text{Rechen}}^{\text{br}} = b_{\text{Rechen}} \cdot h_{\text{Rechen}} = 4,75,0 = 23,5 \text{ m}^2$$

$$k = \frac{a}{a+d} = \frac{0,1}{0,1+0,02} = 0,833$$

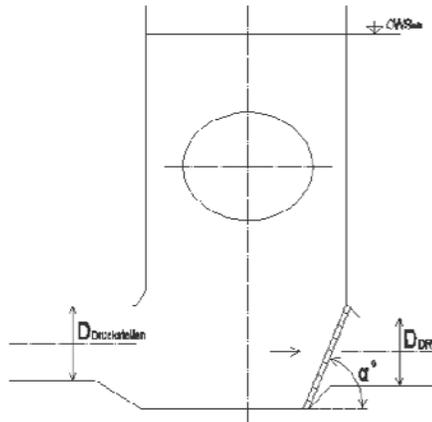
$$F_{\text{Rechen}}^{\text{netto}} = k \cdot F_{\text{Rechen}}^{\text{br}} = 0,833 \cdot 23,5 = 19,583 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{Rechen}} = \frac{Q_{\text{Ausbau.}}}{F_{\text{Rechen}}^{\text{netto}}} = \frac{68}{19,583} = 3,472 \text{ m/s}$$

$\alpha = 70^\circ$ - angenommener Neigungswinkel

$\beta = 2,34$ - für rechteckige Stäbe

$$\Delta h_{\text{Rechen}} = 2,34 \cdot \sin 70^\circ \cdot \left(\frac{0,02}{0,1} \right)^{4/3} \cdot \frac{3,472^2}{2,9,81} = 0,158 \text{ m}$$



3.1.3 Einlaufverluste - $\Delta h_{\text{Einlauf}}$

$$\Delta h_{\text{Einlauf}} = (1 + \xi_{\text{Einlauf}}) \cdot \frac{V_{\text{Einlauf}}^2}{2 \cdot g} [\text{m}]_1$$

$\xi_{\text{Einlauf}} = 0,25$ - bei konischem Übergang

$$V_{\text{Einlauf}} = V_{\text{Rechen}} = 3,472 \text{ m/s}$$

$$\Delta h_{\text{Einlauf}} = (1 + 0,25) \cdot \frac{3,472^2}{2,9,81} = 0,768 \text{ m}$$



3.1.4 Knickverluste - Δh_{Knick}

$$\Delta h_{\text{Knick}} = \xi_{\text{Knick}} \cdot \frac{V_{\text{g,DS}}^2}{2 \cdot g} [\text{m}]$$

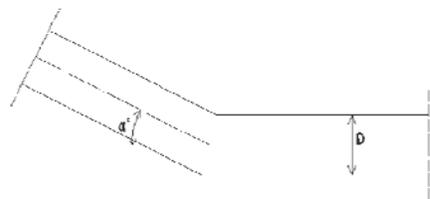
$$\xi_{\text{Knick}} = 0,946 \cdot \sin^2 \frac{\alpha}{2} + 2,047 \cdot \sin^4 \frac{\alpha}{2}^2$$

$\alpha = 22^\circ$ - ergänzender Winkel

$$\xi_{\text{Knick}} = 0,946 \cdot \sin^2 \frac{22}{2} + 2,047 \cdot \sin^4 \frac{22}{2} = 0,037$$

Es gibt Knicke an der oberen und unteren Seite, damit die Verluste Δh_{Knicke} durch 2 multipliziert werden.

$$\Delta h_{\text{Knicke}} = 2 \cdot \Delta h_{\text{Knick}} = 2 \cdot \xi_{\text{Knick}} \cdot \frac{V_{\text{g,DS}}^2}{2 \cdot g} = 2 \cdot 0,037 \cdot \frac{4,276^2}{2,9,81} = 0,069 \text{ m}$$



¹ Ts. Tsolovski und R. Nikolaeva 1991, S.201.

² Stanchev 1974, S.179.

3.1.5 Verluste bei den Verschlußorganen - $\Delta h_{\text{Verschlußorgan}}$

$$\Delta h_{\text{Verschlußorgan}} = \xi_{\text{Verschlußorgan}} \cdot \frac{V_{\text{Verschlußorgan}}^2}{2 \cdot g} \text{ [m]}$$

Es sind kugelförmige Verschlußorgane angenommen

$$\Rightarrow \xi_{\text{Verschlußorgan}} = 0$$

$$\Delta h_{\text{Verschlußorgan}} = 0 \text{ m}$$

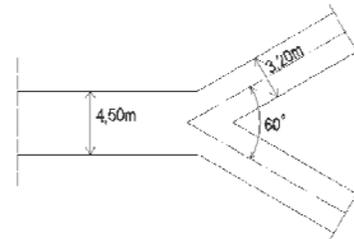


3.1.6 Verluste bei der Verzweigung (beim Hosenrohr) - $\Delta h_{\text{Verzw.}}$

$$\Delta h_{\text{Verzw.}} = \xi_{\text{Verzw.}} \cdot \frac{V_{\text{g.DS.}}^{\text{Verzw.2}}}{2 \cdot g} \text{ [m]}$$

$$\xi_{\text{Verzw.}} = 0,38$$

$$\Delta h_{\text{Verzw.}} = 0,38 \cdot \frac{4,228^2}{2 \cdot 9,81} = 0,346 \text{ m}$$



3.1.7 Längsverluste nach der Verzweigung - $\Delta h_{\text{Länge}}^{\text{Verzw.}}$

$$\Delta h_{\text{Länge}}^{\text{Verzw.}} = \frac{L_{\text{g.DS.}}^{\text{Verzw.}} \cdot V_{\text{g.DS.}}^{\text{Verzw.2}}}{C_{\text{g.DS.}}^{\text{Verzw.2}} \cdot R_{\text{g.DS.}}^{\text{Verzw.}}} \text{ [m]} \quad 1$$

$$R_{\text{Länge}}^{\text{Verzw.}} = \frac{D_{\text{Länge}}^{\text{Verzw.}}}{4} = \frac{3,20}{4} = 0,8 \text{ m}$$

$$C_{\text{Länge}}^{\text{Verzw.}} = \frac{1}{n} \cdot R_{\text{Länge}}^{\text{Verzw.}1/6} = \frac{1}{0,012} \cdot 0,8^{1/6} = 80,291 \text{ m}^{1/2} / \text{s}$$

$$\Delta h_{\text{Länge}}^{\text{Verzw.}} = \frac{31,16 \cdot 4,228^2}{80,291^2 \cdot 0,8} = 0,108 \text{ m}$$

¹ Marinov 2003, S.170.

3.1.8 Krümmungsverluste - $\Delta h_{\text{Krümmung}}$

$$\Delta h_{\text{Krümmung}} = \xi_{\text{Krümmung}} \cdot \frac{V_{\text{g.DS}}^{\text{Verz.2}}}{2 \cdot g} \text{ [m]}$$

In gekrümmten Abschnitten, die als Bögen eines Kreises mit dem Radius r_0 geformt sind, kann der Koeffizient $\xi_{\text{Krümmung}}$ aus der Abhängigkeit bestimmt werden:

$$\xi_{\text{Krümmung}} = \xi_{90^\circ \text{k}} \cdot \frac{\alpha^0}{90^0}$$

$\xi_{90^\circ \text{k}}$ - Werte sind in Tabelle 1 in Abhängigkeit vom Verhältnis $d / 2 \cdot r_0$ angegeben

$d = 3,20 \text{ m}$

$r_0 = 4,33 \text{ m}$

$d / 2 \cdot r_0 = \frac{3,20}{2 \cdot 4,33} = 0,37$

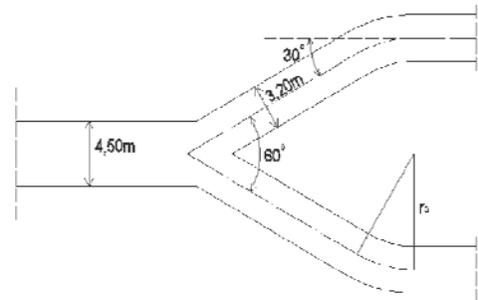
$d/2 \cdot r_0$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
$\xi_{90^\circ \text{k}}$	0,13	0,14	0,16	0,21	0,29	0,44	0,66	0,98

Tabelle 1²

$\xi_{90^\circ \text{k}} = 0,195$

$\xi_{\text{kp.}} = 0,195 \cdot \frac{30^0}{90^0} = 0,065$

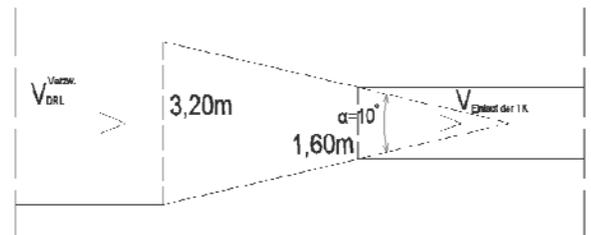
$\Delta h_{\text{Krümmung}} = \xi_{\text{Krümmung}} \cdot \frac{V_{\text{g.DS}}^{\text{Verz.2}}}{2 \cdot g} = 0,065 \cdot \frac{4,228^2}{2 \cdot 9,81} = 0,059 \text{ m}$



3.1.9 Verengungsverluste - $\Delta h_{\text{Verengung}}$

$$\Delta h_{\text{Verengung}} = \xi_{\text{Verengung}} \cdot \frac{V_{\text{Einlauf der TS}}^2}{2 \cdot g} \text{ [m]}$$

Für die Bestimmung vom Koeffizients des örtlichen Widerstands $\xi_{\text{Verengung}}$ kann die folgende Abhängigkeit verwendet werden:



¹ Marinov 2003, S.165.

² Ebenda, S.166.

$$\xi_{\text{Verengung}} = \frac{\lambda_*}{8 \cdot \sin(\alpha/2)} \cdot \frac{n_1^2 - 1}{n_1^2}, \text{ wo: } 1$$

λ_* - durchschnittlicher Wert des Koeffizients von Darcy

n_1 - Grad der Verengung:

$$n_1 = D_1 / D_2 = 3,20 / 1,60 = 2$$

α - Winkel der Verengung $\alpha = 10^\circ$

λ - wird nach der Formel von Colebrook - White bestimmt

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left[\frac{2,51}{\text{Re} \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{K}{3,71 \cdot D_i} \right]^2$$

K - absolute Rauigkeitsbeiwert - es wird $0,045 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ angenommen

$$\text{Reynoldszahl: } \text{Re} = \frac{V_i \cdot D_i}{\nu}$$

ν - kinematische Viskosität des Wassers, die abhängig von der Wassertemperatur in der Druckrohrleitung ist - es wird eine Temperatur von 10° C angenommen

Temperatur, °C	Kinematische Viskosität, $\nu[\text{m}^2/\text{s}]$
0	$1,79 \cdot 10^{-6}$
10	$1,31 \cdot 10^{-6}$
20	$1,01 \cdot 10^{-6}$
30	$0,81 \cdot 10^{-6}$

$$\text{Re}_1 = \frac{V_{\text{g,DS}}^{\text{Verzw.}} \cdot D_{\text{g,DS}}^{\text{Verzw.}}}{\nu} = \frac{4,228 \cdot 3,2}{1,31 \cdot 10^{-6}} = 10,33 \cdot 10^6 \frac{1}{2}$$

$$\text{Re}_2 = \frac{V_{\text{Einlauf der TS}} \cdot D_{\text{Einlauf der TS}}}{\nu} = \frac{16,91 \cdot 1,6}{1,31 \cdot 10^{-6}} = 20,65 \cdot 10^6$$

$$F_{\text{Einlauf der TK}} = \frac{\pi \cdot (D_{\text{Einlauf der TS}})^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1,6^2}{4} = 2,011 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{Einlauf der TS}} = \frac{Q_{\text{Ausbau}} / 2}{F_{\text{g,DS}}^{\text{Verengung}}} = \frac{68 / 2}{2,011} = 16,91 \text{ m/s}$$

¹ Marinov 2003, S.163.

² Ebenda, S.155.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_1}} = -2 \log \left[\frac{2,51}{10,33 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{\lambda_1}} + \frac{0,045 \cdot 10^{-3}}{3,71 \cdot 3,2} \right] \rightarrow \lambda_1 = 0,0093$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_2}} = -2 \log \left[\frac{2,51}{20,65 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{\lambda_2}} + \frac{0,045 \cdot 10^{-3}}{3,71 \cdot 1,6} \right] \rightarrow \lambda_2 = 0,098$$

$$\lambda_* = \frac{(\lambda_1 + \lambda_2)}{2} = 0,00955$$

$$\xi_{\text{Verengung}} = \frac{0,00955}{8 \cdot \sin(10/2)} \cdot \frac{2^2 - 1}{2^2} = 0,01$$

$$\Delta h_{\text{Verengung}} = 0,01 \cdot \frac{16,91^2}{2 \cdot 9,81} = 0,150 \text{ m}$$

3.2 Berechnung der Gesamtverluste

$$\begin{aligned} \Sigma \Delta h_{\text{g,DS}} &= \Delta h_{\text{Länge}} + \Delta h_{\text{Rechen}} + \Delta h_{\text{Einlauf}} + \Delta h_{\text{Knicke}} + \Delta h_{\text{Verschlußorgan}} + \Delta h_{\text{Verzw.}} + \Delta h_{\text{Länge}}^{\text{Verzw.}} + \Delta h_{\text{Krümmung}} \\ &+ \Delta h_{\text{Verengung}} = 0,877 + 0,158 + 0,768 + 0,069 + 0 + 0,346 + 0,108 + 0,059 + 0,150 = \\ &= 2,536 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\left. \begin{array}{l} \Sigma \Delta h_{\text{Wasserentnahme}} = 0,559 \text{ m} \\ \Sigma \Delta h_{\text{Druckstollen}}^{\text{max}} = 13,10 \text{ m} \\ \Sigma \Delta h_{\text{Druckstollen}}^{\text{min}} = 7,37 \text{ m} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Die Verluste in dem Druckstollen und} \\ \text{in dem Wasserentnahmebauwerk} \\ \text{sind in der anderen Diplomarbeit bestimmt.} \end{array}$$

$$\Sigma \Delta h_{\text{gesamt}} = \Sigma \Delta h_{\text{Wasserentnahme}} + \Sigma \Delta h_{\text{Druckstollen}}^{\text{min}} + \Sigma \Delta h_{\text{g,DS}} = 0,559 + 7,37 + 2,536 = 10,465 \text{ m}$$

3.3 Berechnung der Netto- und Bruttofallhöhe

$$H_{\text{br}}^{\text{max}} = \nabla \text{OWS}_{\text{max}} - \nabla \text{UWS} = 523,00 - 326,30 = 196,70 \text{ m}$$

$$H_{\text{br}}^{\text{min}} = \nabla \text{OWS}_{\text{min}} - \nabla \text{UWS} = 484,00 - 326,30 = 157,70 \text{ m}$$

$$H_{\text{netto}}^{\text{max}} = H_{\text{br}}^{\text{max}} - \Sigma \Delta h_{\text{gesamt}} = 196,70 - 10,465 = 186,24 \text{ m}$$

$$H_{\text{netto}}^{\text{min}} = H_{\text{br}}^{\text{min}} - \Sigma \Delta h_{\text{gesamt}} = 157,70 - 10,465 = 147,24 \text{ m}$$

Durchschnittliche Nettofallhöhe :

$$H_{\text{netto}}^* = \frac{2 \cdot H_{\text{netto}}^{\text{max}} + H_{\text{netto}}^{\text{min}}}{3} = \frac{2 \cdot 186,24 + 147,24}{3} = 173,24 \text{ m}$$

4 Ausrüstung des WKWs „Kitnitsa“

4.1 Auswahl der Turbinenausrüstung

Es wird für das Wasserkraftwerk zwei Turbinen vorausgesehen. Dadurch wird ein weiterer Betrieb beim Ausfall einer Turbine ermöglicht. Die Verbindung zwischen dem gepanzerten Druckstollen und der Turbinenspirale wird durch eine Y-förmige Rohrverzweigung bewerkstelligt.

Die Anwendungsbereich der Turbinen wird durch die maximale Nettofallhöhe $H_{\text{netto}}^{\text{max}} = 186,24 \text{ m}$ und durch den Durchfluss jeder Turbine $Q_T = \frac{Q_{\text{Ausbau.}}}{2} = \frac{68}{2} = 34 \text{ m}^3 / \text{s}$ bestimmt. Abb. 7 zeigt, dass für diesen Fall die Francis-Turbinen geeignet sind.

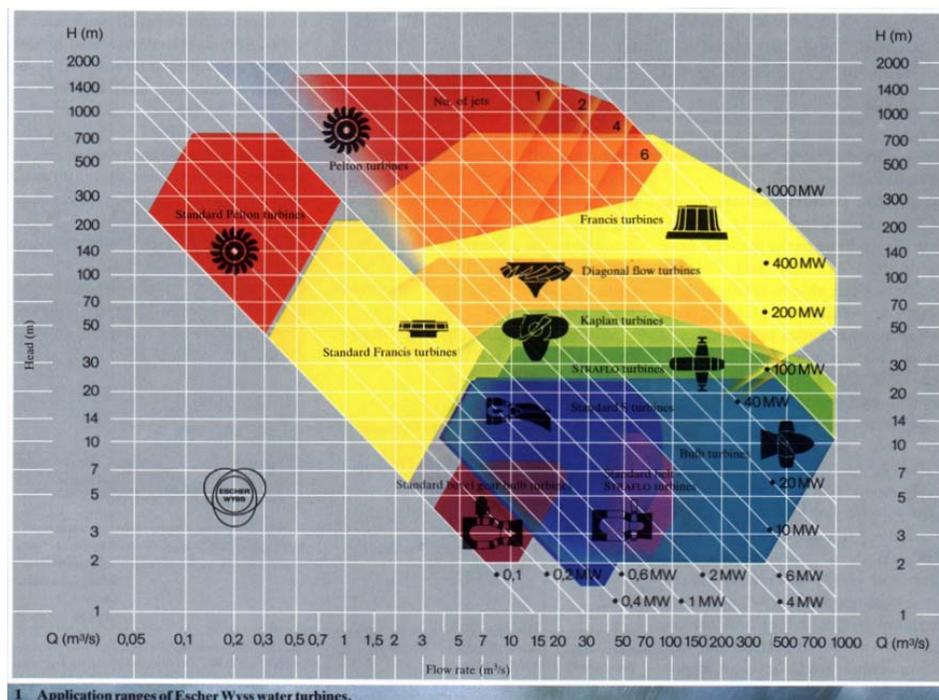


Abb. 7 Graphik für die Anwendung der verschiedenen Arten von Turbinen¹

4.1.1 Ermittlung der Ausbauleistung des WKWs „Kitnitsa“

Bezogen auf die berechnete durchschnittliche Nettofallhöhe $H_{\text{netto}}^* = 173,24 \text{ m}$ und auf die angegebene Ausbauwassermenge $Q_{\text{Ausbau.}} = 68 \text{ m}^3 / \text{s}$ kann die Leistung des Kraftwerks bestimmt werden.

¹ Kisliakov 2011, S.3.

$$P_{\text{Ausbau.}} = 9,81 \cdot \eta_T \cdot \eta_G \cdot Q_{\text{Ausbau.}} \cdot H_{\text{netto}}^* \quad [\text{kW}]$$

$\eta_T = 0,89$ - angenommener Wirkungsgrad der Turbine

$\eta_G = 0,97$ - angenommener Wirkungsgrad der Generator

$$P_{\text{Ausbau.}} = 9,81 \cdot 0,89 \cdot 0,97 \cdot 173,24 = 99764,58 \text{ kW}$$

$$P_{\text{Ausbau.}} = 99,76 \text{ MW}$$

4.1.2 Auswahl des Turbinenmodells

Das Modell der Turbine wird aus Abb.8 durch die Nomenklaturgraphik für Turbinen bestimmt.

$$\frac{P_{\text{Ausbau.}}}{2} = \frac{99,76}{2} = 49,88 \text{ MW} \rightarrow \text{gewählt ist PO230}$$

$$H_{\text{netto}}^{\text{max}} = 186,24 \text{ m}$$

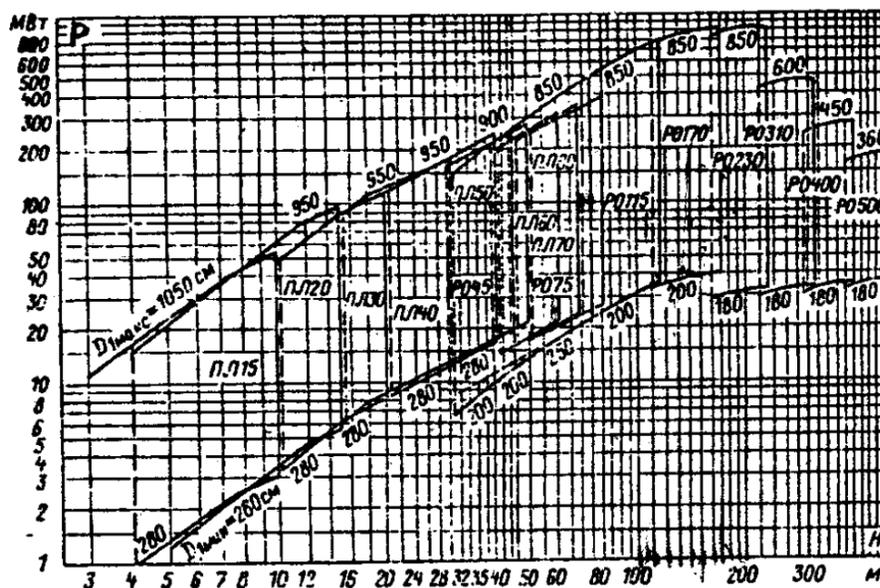


Abb. 8 Nomenklatur von Kaplan und Francis-Turbinen¹

4.1.3 Hauptparameter der Turbine

Der Durchmesser des Laufrades und die tatsächliche Drehzahl der Turbine werden nach den Ähnlichkeitsgleichungen bestimmt. Das Laufrad der Modeltturbine hat einen Durchmesser $D'_1 = 1 \text{ m}$ und ist überprüft bei $H'_1 = 1 \text{ m}$. Vom Betriebsmuschelkurve für Turbinentyp PO230 wird nach dem Erfordernis für maximalen Wirkungsgrad $n'_1 = 64 \text{ min}^{-1}$ $\rightarrow Q'_1 = 0,62 \text{ m}^3/\text{s}$ abgelesen.²

¹ Ts. Tsolovski und R. Nikolaeva 1991, S.243.

² Ebenda, S.308.

➤ Der Durchmesser des Laufrades ist:

$$Q_T = \frac{Q_{\text{Ausbau.}}}{2} = \frac{68}{2} = 34 \text{ m}^3 / \text{s} - \text{der Durchfluss jeder Turbine}$$

$$D_1 = \sqrt{\frac{Q_T \cdot D_1'^2}{Q_1'} \sqrt{\frac{H_1'}{H_{\text{netto}}^*}}} = \sqrt{\frac{34 \cdot 1^2}{0,62} \sqrt{\frac{1}{173,24}}} = 2,041 \text{ m}$$

$$\Rightarrow D_1 = 2,10 \text{ m}$$

➤ Die tatsächliche Drehzahl der Turbine ist:

$$n = n_1' \cdot \frac{D_1'}{D_1} \cdot \sqrt{\frac{H_{\text{netto}}^*}{H_1'}} = 64 \cdot \frac{1}{2,1} \cdot \sqrt{\frac{173,24}{1}} = 401 \text{ min}^{-1}$$

Die Synchrondrehzahl des Generators ist:

$$n_{\text{synchron.}} = \frac{f}{p} = \frac{3000}{7} = 428,57 \text{ min}^{-1} \rightarrow \text{am nächsten zu der tatsächlichen Drehzahl}$$

$f = 50 \text{ Hz} = 3000 \text{ min}^{-1}$ - Frequenz des elektrischen Stroms in dem Netzwerk

$p = 7$ - Anzahl der Polpaare

Die korrigierten Werte der Parameter der Modellturbine können bestimmt werden:

$$n_{1,\text{max}}' = n \cdot \frac{D_1}{D_1'} \cdot \sqrt{\frac{H_1'}{H_{\text{netto}}^{\text{min}}}} = 428,57 \cdot \frac{2,1}{1} \cdot \sqrt{\frac{1}{147,24}} = 74,17 \text{ min}^{-1},$$

$$n_{1,*}' = n \cdot \frac{D_1}{D_1'} \cdot \sqrt{\frac{H_1'}{H_{\text{netto}}^*}} = 428,57 \cdot \frac{2,1}{0,6} \cdot \sqrt{\frac{1}{173,24}} = 68,38 \text{ min}^{-1}$$

$$n_{1,\text{min}}' = n \cdot \frac{D_1}{D_1'} \cdot \sqrt{\frac{H_1'}{H_{\text{netto}}^{\text{min}}}} = 428,57 \cdot \frac{2,1}{1} \cdot \sqrt{\frac{1}{186,24}} = 65,95 \text{ min}^{-1}$$

$$Q_{1,\text{max}}' = Q_T \cdot \frac{D_1'^2}{D_1^2} \cdot \sqrt{\frac{H_1'}{H_{\text{netto}}^{\text{min}}}} = 34 \cdot \frac{1^2}{2,1^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{147,24}} = 0,64 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$Q_{1,*}' = Q_T \cdot \frac{D_1'^2}{D_1^2} \cdot \sqrt{\frac{H_1'}{H_{\text{netto}}^*}} = 34 \cdot \frac{1^2}{2,1^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{173,24}} = 0,59 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$Q_{1,\text{min}}' = Q_T \cdot \frac{D_1'^2}{D_1^2} \cdot \sqrt{\frac{H_1'}{H_{\text{netto}}^{\text{min}}}} = 34 \cdot \frac{1^2}{2,1^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{186,24}} = 0,56 \text{ m}^3 / \text{s}$$

4.1.4 Ermittlung der zulässigen Saughöhe

Einer der wichtigsten Indikatoren für die Turbinen ist die zulässige Saughöhe H_s . Das ist die Höhe zwischen dem unteren Wasserstand und diesem Teil der Turbine, wo möglich ist. Sie wird durch die folgende Formel

$$H_s^{\max} \leq 10 - \frac{\nabla UWS}{900} - \sigma_T \cdot H_{\text{netto}}^{\max} \quad \text{bestimmt.}^1$$

$$\nabla UWS = 326,30 \text{ m}$$

σ_T - Kavitationskoeffizient, der wird durch den kritischen Wert $\sigma = 0,07$ (aus der Betriebsmuschelkurve der Turbine PO230 abgelesen²) und den Sicherheitsbeiwert k_σ ermittelt.

$$k_\sigma = (1,1 \div 1,2) \text{ angenommen } k_\sigma = 1,1^3$$

$$\sigma_T = \sigma \cdot k_\sigma = 0,07 \cdot 1,1 = 0,077^4$$

$$H_s^{\max} \leq 10 - \frac{326,30}{900} - 0,077 \cdot 186,11$$

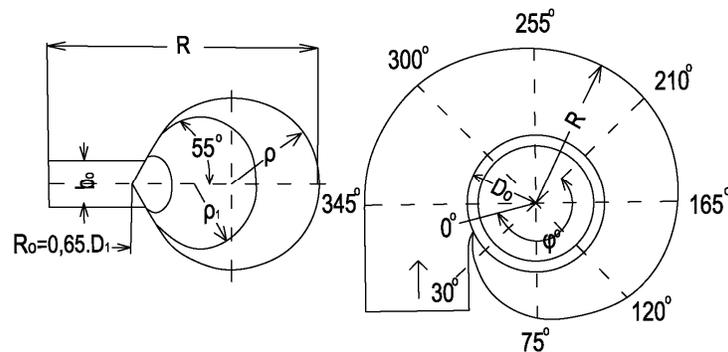
$$\Rightarrow H_s^{\max} \leq -4,69 \text{ m}$$

Überprüfung der Bedingung:

$$\nabla \text{Achse}_{\text{Turbine}} = 321 \text{ m}$$

$$H_s^{\max} = \nabla \text{Achse}_{\text{Turbine}} - \nabla UWS = 321 - 326,30 = -5,30 \text{ m} < -4,69 \text{ m}$$

4.1.5 Konstruktive Gestaltung der Turbinenspirale und des Saugrohres



Für Spiralen werden der Radius R im Grundriß und die Radien ρ und ρ_1 des kreisförmigen und elliptischen Querschnitts durch die folgende Beziehungen:

¹ Ts. Tsolovski und R. Nikolaeva 1991, S.232.

² Ebenda, S.308.

³ Ebenda, S.233.

⁴ Ebenda, S.233.

$R = C \cdot D_1$ $\rho = E \cdot D_1$ $\rho_1 = k \cdot \rho$ bestimmt.

$C = f(\varphi)$; $E = f(\varphi)$; $k = f(\varphi)$ - Sie werden aus den Graphiken für die Bestimmung der Hauptabmessungen der Spiralen (Abb. 7) abgelesen.

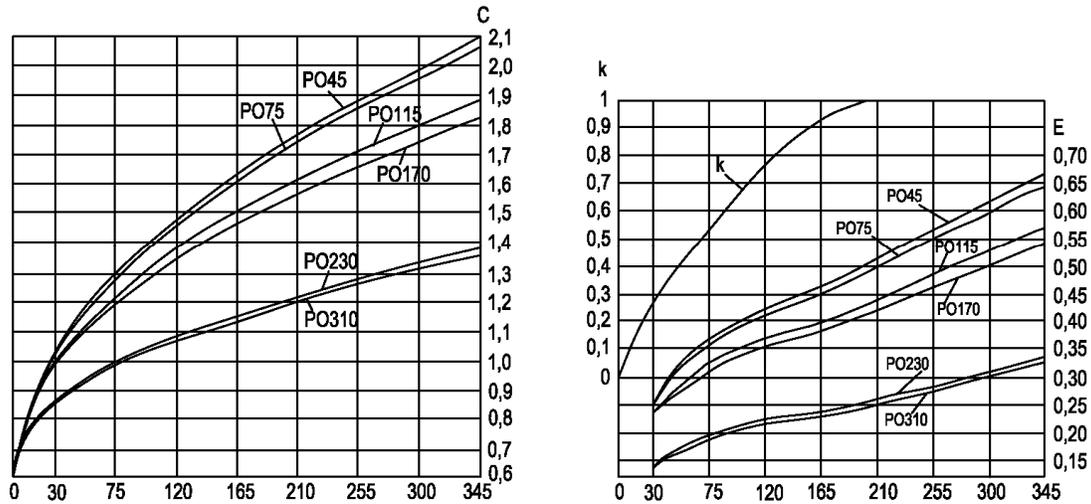


Abb. 9 Graphiken für die Bestimmung der Hauptabmessungen der Spiralen ¹

φ	30	75	120	165	210	255	300	345
C	0.87	1	1.09	1.15	1.22	1.28	1.33	1.39
R	1.827	2.1	2.289	2.415	2.562	2.688	2.793	2.919
E	0.15	0.2	0.225	0.235	0.26	0.28	0.31	0.33
ρ	0.315	0.42	0.473	0.494	0.546	0.588	0.651	0.693
K	0.27	0.53	0.76	0.92	1	-	-	-
ρ_1	0.085	0.223	0.359	0.454	0.546	-	-	-

Tabelle 2 – Größe der Spirale mit Laufraddurchmesser $D_1=2,10$ m

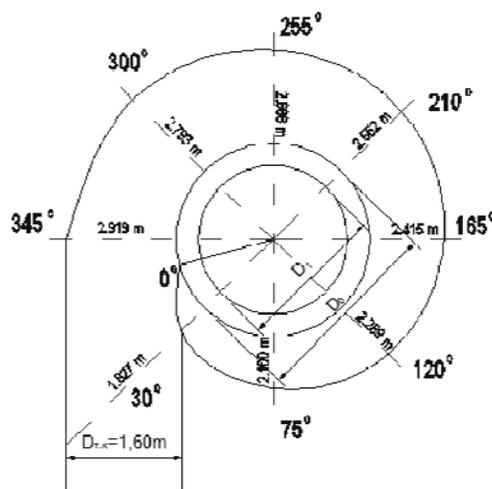


Abb. 10 Schema der Spirale

¹ Ts. Tsolovski und R. Nikolaeva 1991, S.250.

Aus Tabelle 3 wird Typ des Saugrohres 20 für Francis-Turbine PO230 ausgewählt. Diese Abmessungen beziehen sich auf eine Turbine mit Laufraddurchmesser $D_1=1.0\text{m}$. Die tatsächlichen Abmessungen des Saugrohres werden durch Multiplikation der Werte in der Tabelle mit $D_1=2,1\text{m}$ erhalten.

Typ des Saugrohres		h	h_1	h_2	h_3	h_4	D_3	D_4	L	L_1	B	h_5	h_6	Modell der Turbine
20	$D_1=1.0\text{m}$	2.3	0.106	0.006	1.148	1.04	0.705	1.040	3.5	1.41	2.17	0.937	0.51	PO230
	$D_1=2.1\text{m}$	4.83	0.223	0.013	2.411	2.183	1.481	2.184	7.350	2.961	4.557	1.968	1.071	

Tabelle 3 – Größe des Saugrohres¹

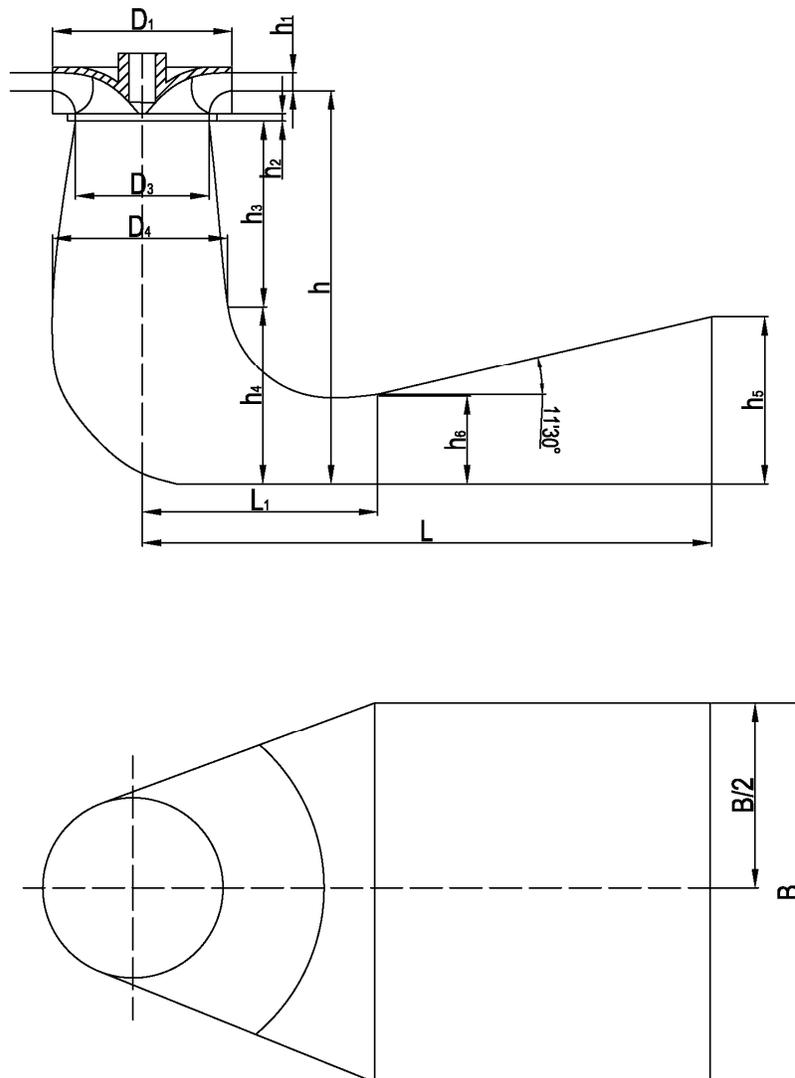


Abb. 11 Schema des Saugrohres¹

¹ Vgl. Ts. Tsolovski und R. Nikolaeva 1991, S.253.

4.1.6 Bestimmung des Gewichts von der Turbine und dem Laufrad➤ Turbine²

$$G_T = 3,6 \cdot D_1^{2,5} \cdot H_{\text{netto}}^{\text{max} \cdot 0,2} \cdot k_{\text{SK}} = 3,6 \cdot 2,1^{2,5} \cdot 186,24^{0,2} \cdot 1 = 65,44 \text{ t}$$

k_{SK} - Koeffizient für die Masse der Spiralkammer

$k_{\text{SK}} = 1,0$ - für Stahlspiralen

➤ Laufrad³

$$G_{\text{Laufrad}} = k_{\text{Laufrad}} \cdot D_1^3 = 0,6 \cdot 2,1^3 = 5,56 \text{ t}$$

$$k_{\text{Laufrad}} = (0,55 \div 0,65)$$

$$k_{\text{Laufrad}} = 0,6$$

4.2 Auswahl des Generators

Die Auswahl des Generators wird auf der Drehzahl n_{synchron} und der Wirkleistung P_a oder der vollen (Schein-) Leistung S basieren. Die Leistung des Wasserkraftwerks wird durch die durchschnittliche Nettofallhöhe $H_{\text{netto}}^* = 173,24 \text{ m}$ berechnet. Im Fall einen maximalen Wasserspiegel entsteht es ein Problem für den Generator, aber nicht für die Turbine. Daher wird die Wirkleistung bei der Auswahl des Generators mit der maximalen Nettofallhöhe $H_{\text{netto}}^{\text{max}} = 186,24 \text{ m}$ berechnet.

$$P = 9,81 \cdot \eta_T \cdot \eta_G \cdot Q_{\text{Ausbau}} \cdot H_{\text{netto}}^{\text{max}} \text{ [kW]}$$

$$P = 107251,2 \text{ kW}$$

$$\Rightarrow P_a = \frac{P}{2} = \frac{107251,2}{2} = 53625,6 \text{ kW}$$

$$S = \frac{P_a}{\cos\varphi} = \frac{53625,6}{0,8} = 67031,97 \text{ kVA}^3$$

$\cos\varphi$ - Leistungsbeiwert, der wird wie folgt :

S [MVA]	< 125	125 ÷ 360	> 360
cosφ	0,80	0,85	0,90

⁴ angenommen.

¹ Ebenda, S.252.

² Vgl. Ts. Tsolovski und R. Nikolaeva 1991, S.254.

³ Vgl. ebenda, S.255.

³ Ebenda, S.278.

⁴ Ebenda, S.278.

Bestimmung des erforderlichen Durchmessers von dem Rotor D_i :

$$D_i = \sqrt[3]{\frac{120 \cdot f \cdot C \cdot S}{\pi \cdot \beta \cdot n_o^2}} = (45,708 \div 63,384) \sqrt[3]{\frac{S}{n_{\text{synchron}}^2}} \quad [\text{m}]^1$$

$$\Rightarrow D_{i,\text{min}} = 3,27 \text{ m}; D_{i,\text{max}} = 4,53 \text{ m}$$

$$P_{\text{Ausbau}} = 53625,6 \text{ kW}$$

$$S = 67031,97 \text{ kVA}$$

$$n_{\text{synchron}} = 428,57 \text{ min}^{-1} \rightarrow \text{CB425 / 182 - 16, wo :}$$

$$D_i = (3,27 \div 4,53) \text{ m}$$

CB - Synchrongenerator auf vertikaler Achse

425 - Außendurchmesser des Aktivteils des Stators [cm]

182 - Aktive Höhe des Rotors und des Stators [cm]

16 - Anzahl der Pole (8 Polpaare)

Der Analoggenerator wird durch Nomenklatur ausgewählt.²

Typ des Generators	Drehzahl n_c, min^{-1}	Leistung		Wirkungsgrad $\eta_G, \%$	Schwungmoment GD^2, tm^2	Durchmesser des Rotors D_i, cm	Gewicht	
		Volle (Schein-) Leistung S, kVA	Wirkleistung P_a, kW				des Rotors G_R, t	des Generators G_G, t
CB425/182-16	375	45000	36000	97,2	850	360	130	310

4.2.1 Ermittlung der Parameter des gesuchten Generators

- Durchmesser des Rotors

$$D_i = D_{i,\text{analog}} = 3,60 \text{ m}$$

- Maschinenkonstant C des Analoggenerators³

$$C_{\text{analog}} = \frac{D_i^2 \cdot I_{a,\text{analog}} \cdot n_{\text{synchron,analog}}}{S_{\text{analog}}} = \frac{3,6^2 \cdot 1,82 \cdot 375}{45} = 196,56 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1} / \text{MVA}$$

¹ Vgl. Ts. Tsolovski und R. Nikolaeva 1991, S.285.

² Vgl. ebenda, S.280-284.

³ Vgl. ebenda, S.279

- Aktive Höhe des Rotors und des Stators¹

$$l_a = \frac{C_{\text{analog}} \cdot S}{D_i^2 \cdot n_{\text{synchron.}}} = \frac{196,56.67,03}{3,6^2 \cdot 428,57} = 2,37 \text{ m}$$

Für die anderen Parameter wird Korrekturkoeffizient verwendet

$$k = \frac{l_a}{l_{a,\text{analog}}} = \frac{2,37}{1,82} = 1,303$$

- Trägheitsmoment des Rotors²

$$GD^2 = k \cdot GD_{\text{analog}}^2 = 1,303 \cdot 850 = 1107,89 \text{ t} \cdot \text{m}^2$$

- Gewicht des Rotors³

$$G_R = k \cdot G_{R,\text{analog}} = 1,303 \cdot 130 = 169,44 \text{ t}$$

- Gesamtgewicht des Generators⁴

$$G_G = k \cdot G_{G,\text{analog}} = 1,303 \cdot 310 = 404,05 \text{ t}$$

Der gesuchte Generator ist: **Synchrongenerator auf vertikaler Achse CB425/237-14**

¹ Vgl. Ts. Tsolovski und R. Nikolaeva 1991, S.286.

² Vgl. ebenda, S.285.

³ Vgl. ebenda

⁴ Vgl. ebenda

5 Universalmuschelkurven der Francis-Turbine PO230

5.1 Hauptmuschelkurve ¹

Als Indikator für die Betriebsführung der Turbinen wird die Hauptmuschelkurve genutzt. Diese Muschelkurve wird bei konstanten Werten des Durchmessers des Laufrades D_1 und der Druckhöhe H_1 in einem Koordinatensystem (Q_1, n_1) , die auf den Modelluntersuchungen (Modellmuschelkurve) basiert ist, ermittelt. In der Hauptmuschelkurve werden in Form von Isolinien die Testdaten (der Wirkungsgrad η , der Kavitationskoeffizient σ und die Öffnung des Leitapparats α_0) berücksichtigt. In der Hauptmuschelkurve werden der Durchmesser des Modellaufrades und die Modelldruckhöhe, in dem geprüft wird, gezeigt. In der Regel werden die Daten für Q und n auf die Modelluntersuchungen mit $D_1=1$ m und $H_1=1$ m berücksichtigt. Die Linie der 5% Leistungsreserve ist in der Hauptmuschelkurve eingetragen. Außerhalb von dieser soll die Turbine nicht betrieben werden, weil es zu einem instabilen Zustand der gesamten Anlage führt.

5.2 Betriebsmuschelkurven ²

Die Betriebsmuschelkurven haben zwei Bestimmungsparameter und werden von zwei unabhängigen Variablen bestimmt. Es gibt einige Arten von Betriebsmuschelkurven, in denen die Beziehungen von Variablen definiert sind:

- Druck-Leistung Betriebsmuschelkrurve – sie wird im Koordinatensystem P, H (Leistung und Druck) bei konstant angegebenen Werten von D_1 und n erstellt. In ihr befinden sich Isolinien des Wirkungsgrads η der Turbine in Natur. Die einschränkenden Linien werden auch eingetragen. Sie bestimmen den eigentlichen Betriebsbereich der Turbine für die aufgegebenen Betriebsbedingungen.
 - Linie, die mit der Generatorleistung verbunden ist (vertikal)
 - Linie, die mit dem maximalen Grad der Öffnung des Leitapparates verbunden ist (geneigt)
- Druck-Durchfluss Betriebsmuschelkurve – sie wird im Koordinatensystem Q, H (Wassermenge und Druck) bei konstant aufgegebenen Werten von D_1 und n erstellt. In ihr befinden sich Isolinien des Wirkungsgrads η der Turbine in Natur. Die gleichen einschränkenden Linien werden eingetragen, die den tatsächlichen Betriebsbereich der Turbine bestimmen.

¹ Vgl. Kisliakov 2008, S.22-23.

² Vgl. ebenda, S.20-21.

Die beide Betriebsmuschelkurven können von der Hauptmuschelkurve mit der Hilfe der Ähnlichkeitsgesetze abgeleitet werden.

In diesem Fall sind die Daten aus P.4 – Auswahl der Ausrüstung des Wasserkraftwerkes „Kitnitsa“ - $D_1=D_T=2,10$ m $n_{syn.}=n_T=428,57$ min⁻¹ gewonnen.

5.2.1 Ermittlung der Betriebsmuschelkurven der Francis-Turbine PO230

- Für verschiedene Werte von Drehzahlen werden die entsprechende Werte für Fallhöhen durch die folgende Formel:

$$H_T \Rightarrow H_i \cdot \left(\frac{n_T \cdot D_T}{n_i \cdot D_i} \right)^2 \cdot \left(\frac{\eta_i}{\eta_T} \right); \quad \frac{\eta_i}{\eta_T} = 1$$

- Der hydraulische Wirkungsgrad wird durch die Formel von A.A.Morozov ermittelt:

$$\eta_T = 1 - (1 - \eta_i) \cdot \left(\frac{D_i}{D_T} \right)^{0,2} \cdot \left(\frac{H_i}{H_T} \right)^{0,05} \quad 1$$

- Nach der Betriebsähnlichkeitsbedingungen wird bestimmt:

$$Q_T = Q_i \cdot \frac{D_T^2}{D_i^2} \cdot \sqrt{\frac{H_T}{H_i}} \cdot \sqrt{\frac{\eta_T}{\eta_i}}$$

$$\Rightarrow P_T = 9,81 \cdot Q_T \cdot H_T \cdot \eta_T$$

Die erhaltenen Daten sind in Tabelle 4 angegeben.

D_i	1	m
D_T	2.100	m
H_i	1	m
n_T	428.57	min ⁻¹

H_T	m	459.18	459.18	382.79	382.79	382.79	382.79	382.79	382.79	324.00	324.00	324.00
n_i	min ⁻¹	42	42	46	46	46	46	46	46	50	50	50
η_i	-	0.75	0.75	0.75	0.78	0.8	0.8	0.78	0.75	0.75	0.78	0.8
η_T	-	0.841	0.841	0.840	0.859	0.872	0.872	0.859	0.840	0.839	0.858	0.871
Q_i	m ³ /s	0.320	0.580	0.264	0.313	0.410	0.540	0.617	0.677	0.246	0.272	0.300
Q_T	m ³ /s	32.029	58.053	24.105	28.343	36.932	48.642	55.871	61.816	20.648	22.645	24.846
P_T	MW	121.39	220.02	76.031	91.442	120.92	159.27	180.25	194.97	55.036	61.750	68.774

¹ Liubenov 1990, S.430.

H_T	m	324	324.00	324.00	324.00	324.00	324.00	277.77	277.77	277.77	277.77	277.77
n'_i	min^{-1}	50	50	50	50	50	50	54	54	54	54	54
η'_i	-	0.82	0.84	0.82	0.8	0.78	0.75	0.75	0.78	0.8	0.82	0.84
η_T	-	0.8837	0.897	0.884	0.871	0.858	0.839	0.837	0.857	0.870	0.883	0.896
Q'_i	m^3/s	0.358	0.47	0.593	0.643	0.672	0.71	0.238	0.261	0.28	0.312	0.35
Q_T	m^3/s	29.502	38.547	48.869	53.254	55.945	59.595	18.483	20.106	21.460	23.795	26.567
P_T	MW	82.873	109.86	137.27	147.40	152.55	158.84	42.174	46.947	50.868	57.247	64.858

H_T	m	277.77	277.77	277.77	277.77	277.77	277.77	277.77	240.78	240.78	240.78	240.78
n'_i	min^{-1}	54	54	54	54	54	54	54	58	58	58	58
η'_i	-	0.86	0.86	0.84	0.82	0.8	0.78	0.75	0.75	0.78	0.8	0.82
η_T	-	0.9089	0.9089	0.896	0.883	0.870	0.857	0.837	0.836	0.856	0.869	0.882
Q'_i	m^3/s	0.403	0.533	0.607	0.65	0.68	0.7	0.73	0.238	0.26	0.277	0.3
Q_T	m^3/s	30.451	40.273	46.075	49.573	52.117	53.925	56.693	17.197	18.637	19.755	21.292
P_T	MW	75.420	99.749	112.48	119.26	123.53	125.91	129.35	33.965	37.675	40.547	44.360

H_T	m	240.78	240.78	240.78	240.78	240.78	240.78	240.78	240.78	240.78	240.78	240.78
n'_i	min^{-1}	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58	58
η'_i	-	0.84	0.86	0.87	0.88	0.88	0.87	0.86	0.84	0.82	0.8	0.78
η_T	-	0.8951	0.9082	0.9148	0.921	0.921	0.915	0.908	0.895	0.882	0.869	0.856
Q'_i	m^3/s	0.33	0.366	0.388	0.407	0.53	0.58	0.597	0.648	0.675	0.698	0.714
Q_T	m^3/s	23.311	25.738	27.226	28.498	37.111	40.699	41.984	45.776	47.906	49.780	51.179
P_T	MW	49.290	55.219	58.832	62.022	80.766	87.945	90.071	96.789	99.811	102.17	103.46

H_T	m	210.718	210.718	210.718	210.718	210.71	210.71	210.71	210.71	210.71	210.71	210.71
n'_i	min^{-1}	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62
η'_i	-	0.75	0.78	0.8	0.82	0.84	0.86	0.87	0.88	0.89	0.89	0.88
η_T	-	0.83506	0.85485	0.86805	0.88124	0.894	0.908	0.914	0.921	0.927	0.927	0.921
Q'_i	m^3/s	0.24	0.26	0.277	0.301	0.328	0.357	0.37	0.393	0.423	0.544	0.574
Q_T	m^3/s	16.2117	17.4245	18.4712	19.9755	21.667	23.478	24.281	25.735	27.642	35.550	37.588
P_T	MW	27.9847	30.7912	33.1446	36.3886	40.061	44.050	45.887	48.987	52.994	68.153	71.549

H_T	m	210.718	210.718	210.718	210.718	210.718	210.71	185.95	185.95	185.95	185.95	185.95
n'_i	min^{-1}	62	62	62	62	62	62	66	66	66	66	66
η'_i	-	0.87	0.86	0.84	0.82	0.8	0.78	0.75	0.78	0.8	0.82	0.84
η_T	-	0.91423	0.90763	0.89444	0.88124	0.86805	0.855	0.834	0.854	0.867	0.881	0.894
Q'_i	m^3/s	0.6	0.618	0.656	0.68	0.701	0.72	0.245	0.268	0.283	0.308	0.332
Q_T	m^3/s	39.3740	40.6429	43.3340	45.1274	46.7450	48.253	15.537	16.863	17.719	19.193	20.594
P_T	MW	74.4111	76.2548	80.1221	82.2069	83.8787	85.268	23.638	26.269	28.031	30.828	33.577

H_T	m	185.950	185.950	185.950	185.950	185.950	185.950	185.95	185.95	185.95	185.95	185.95
n'_i	min^{-1}	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66
η'_i	-	0.86	0.87	0.88	0.89	0.89	0.88	0.87	0.86	0.84	0.82	0.8
η_T	-	0.90705	0.91369	0.92033	0.92697	0.92697	0.92033	0.914	0.907	0.894	0.881	0.867
Q'_i	m^3/s	0.362	0.38	0.405	0.433	0.551	0.581	0.607	0.624	0.653	0.678	0.698
Q_T	m^3/s	22.3570	23.4186	24.9071	26.5744	33.8164	35.7309	37.408	38.538	40.507	42.250	43.703
P_T	MW	36.9926	39.0328	41.8153	44.9363	57.1822	59.9869	62.350	63.766	66.042	67.861	69.137

H_T	m	185.950	165.306	165.306	165.306	165.306	165.306	165.306	165.306	165.30	165.30	165.30
n'_i	min^{-1}	66	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
η'_i	-	0.78	0.75	0.78	0.8	0.82	0.84	0.86	0.87	0.88	0.89	0.89
η_T	-	0.85394	0.83305	0.85308	0.86644	0.87979	0.89315	0.90650	0.913	0.920	0.927	0.927
Q'_i	m^3/s	0.713	0.259	0.282	0.299	0.32	0.348	0.385	0.41	0.445	0.477	0.54
Q_T	m^3/s	44.8636	15.4770	16.7217	17.6432	18.7939	20.3463	22.412	23.817	25.797	27.596	31.240
P_T	MW	69.8863	20.9082	23.1329	24.7899	26.8137	29.4692	32.9466	35.270	38.481	41.463	46.939

H_T	m	165.306	165.306	165.306	165.306	165.306	165.306	165.306	147.918	147.91	147.91	147.91
n'_i	min^{-1}	70	70	70	70	70	70	70	74	74	74	74
η'_i	-	0.88	0.87	0.86	0.84	0.82	0.8	0.78	0.75	0.78	0.8	0.82
η_T	-	0.91986	0.91318	0.90650	0.89315	0.87979	0.86644	0.85308	0.83212	0.852	0.866	0.879
Q'_i	m^3/s	0.575	0.595	0.616	0.642	0.667	0.682	0.7	0.28	0.307	0.328	0.35
Q_T	m^3/s	33.3327	34.5637	35.8592	37.5354	39.1735	40.2431	41.5078	15.8186	17.212	18.300	19.437
P_T	MW	49.7225	51.1844	52.7145	54.3657	55.8899	56.5443	57.4223	19.1006	21.286	22.989	24.796

H_T	m	147.918	147.918	147.918	147.918	147.918	147.918	147.918	147.918	147.918	147.91	133.13
n'_i	min^{-1}	74	74	74	74	74	74	74	74	74	74	78
η'_i	-	0.84	0.86	0.87	0.87	0.86	0.84	0.82	0.8	0.78	0.75	0.75
η_T	-	0.89255	0.90598	0.91270	0.91270	0.90598	0.89255	0.87912	0.86569	0.85226	0.832	0.831
Q'_i	m^3/s	0.39	0.43	0.474	0.568	0.586	0.62	0.64	0.662	0.678	0.69	0.323
Q_T	m^3/s	21.5621	23.6717	26.0395	31.2034	32.2596	34.2783	35.5425	36.9356	38.0119	38.982	17.303
P_T	MW	27.9266	31.1202	34.4868	41.3259	42.4103	44.3962	45.3409	46.3982	47.0095	47.069	18.785

H_T	m	133.13	133.13	133.13	133.13	133.13	133.13	133.13	133.13	133.13	120.46	120.46	120.46
n'_i	min^{-1}	78	78	78	78	78	78	78	78	78	82	82	82
η'_i	-	0.78	0.8	0.82	0.84	0.84	0.82	0.8	0.78	0.75	0.75	0.78	0.75
η_T	-	0.851	0.865	0.878	0.892	0.892	0.878	0.865	0.851	0.831	0.830	0.851	0.830
Q'_i	m^3/s	0.357	0.39	0.42	0.47	0.56	0.6	0.62	0.645	0.66	0.4	0.52	0.6
Q_T	m^3/s	18.980	20.635	22.121	24.645	29.364	31.601	32.805	34.292	35.356	20.372	26.286	30.558
P_T	MW	21.108	23.312	25.380	28.711	34.209	36.258	37.061	38.136	38.384	19.992	26.427	29.987

Tabelle 4 – Eingangsdaten für den Aufbau der Betriebsmuschelkurven

5.2.2 Ermittlung der einschränkenden Linien

Um die Daten in den Tabellen 5 und 6 zu bestimmen, werden die Ähnlichkeitsgesetze verwendet.

H_T	m	144.000	165.306	191.716	225.000
n'_i	min^{-1}	75.000	70.000	65.000	60.000
η'_i	-	0.867	0.883	0.882	0.872
η_T	-	0.911	0.922	0.922	0.916
Q'_i	m^3/s	0.558	0.569	0.576	0.584
Q_T	m^3/s	31.013	33.682	36.758	40.573
P_T	MW	39.893	50.354	63.724	82.018

Tabelle 5 - Einschränkende Linie, die mit dem maximalen Grad der Öffnung des Leitapparates verbunden ist

H_T	m	300.000	250.000	200.000	150.000
η_T	-	0.845	0.890	0.924	0.839
$P_{\text{застр.}}/2$	MW	49.880	49.880	49.880	49.850
Q_T	m^3/s	20.058	22.852	27.514	40.378

Tabelle 6 – Einschränkende Linie, die mit der Generatorsleistung verbunden ist

5.2.3 Graphische Darstellung der Betriebsmuschelkurven

Die Betriebsmuschelkurven (P-H/Abb.12 und Q-H/Abb.13) werden mit Hilfe des Programms **AutoCad Land Desktop** dargestellt.

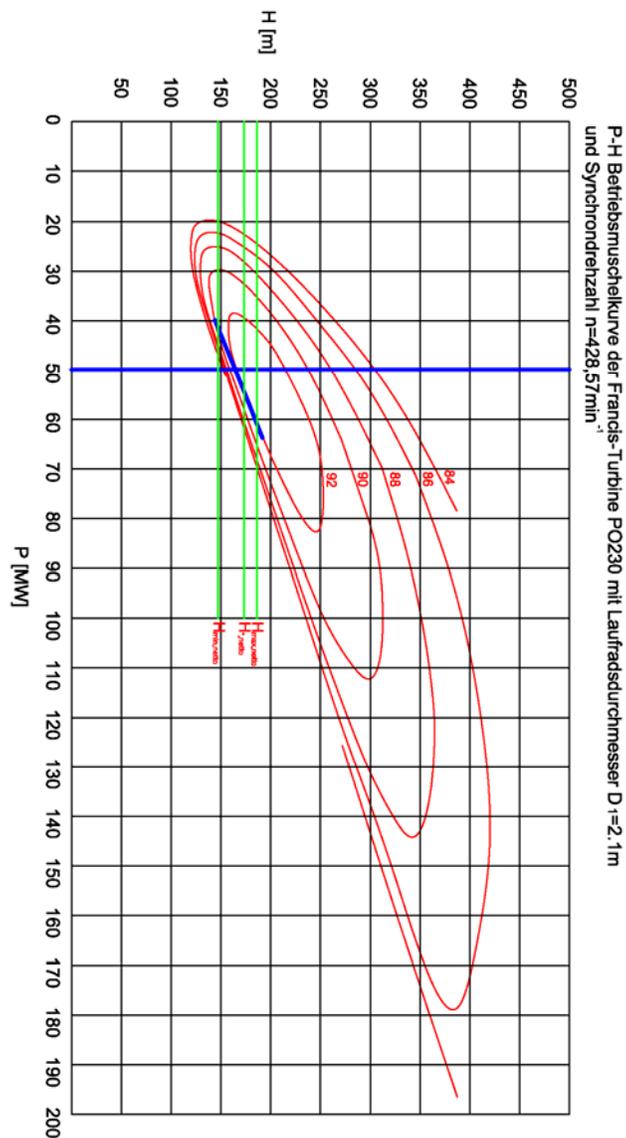


Abb. 12 P-H Betriebsmuschelkurve

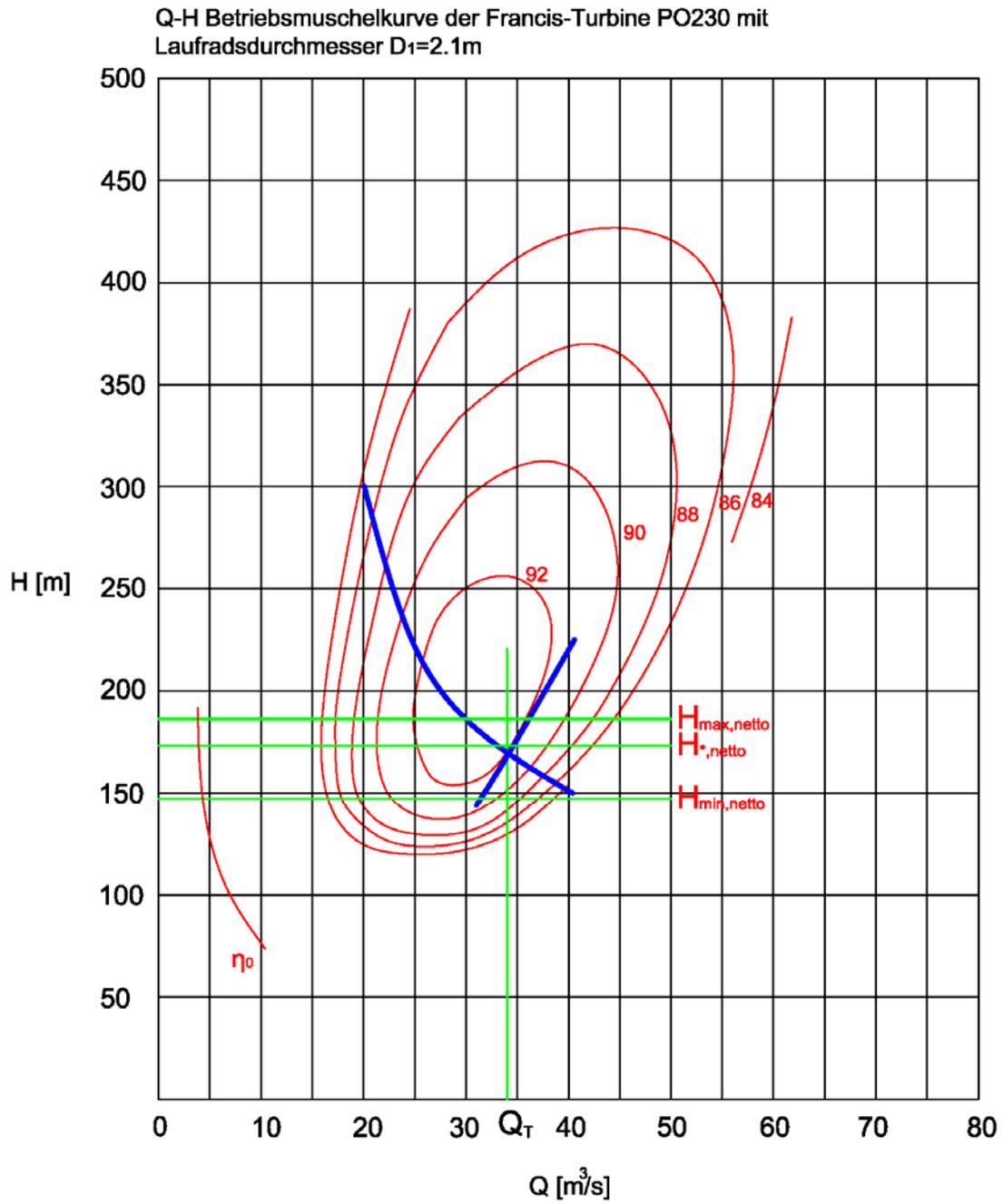


Abb. 13 Q-H Betriebsmuschelkurve

Auf den grafischen Darstellungen der Betriebsmuschelkurven ist es sichtbar, dass die bei den so gegebenen Daten, die Turbine in einem Bereich niedriger Wirkungsgradwerte arbeitet. Deshalb ist die so gewählte Turbine für die Parameter des gegebenen Kraftwerkes nicht geeignet.

Die Berechnungen wurde mit dem nächsten Modell der Francis-Turbine PO310 wiederholt. Aber die Ergebnisse haben wieder nicht die notwendigen Anforderungen erfüllt.

Die weiteren Berechnungen sind mit Francis-Turbine PO230 fortgesetzt.

5.3 Betriebskurve des Wasserkraftwerkes

Auf Abb.14 und Abb.15 sind die Betriebskurven dargestellt.

Q (1T)	Q (2T)	η_t
3.92	7.84	0
15.84	31.68	84
17.24	34.48	86
18.88	37.76	88
21.28	42.56	90
25.22	50.44	92

P (1T)	P (2T)	η_t
0	0	0
22.58	45.16	84
25.16	50.32	86
28.14	56.28	88
32.6	65.2	90
39.4	78.8	92

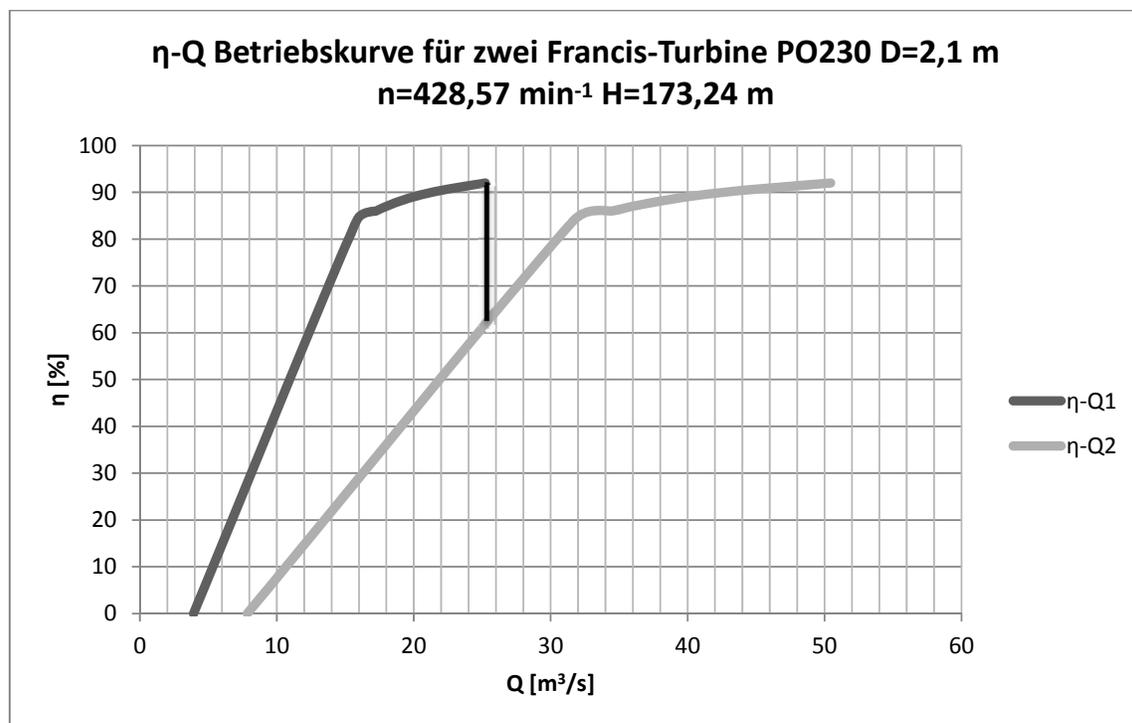
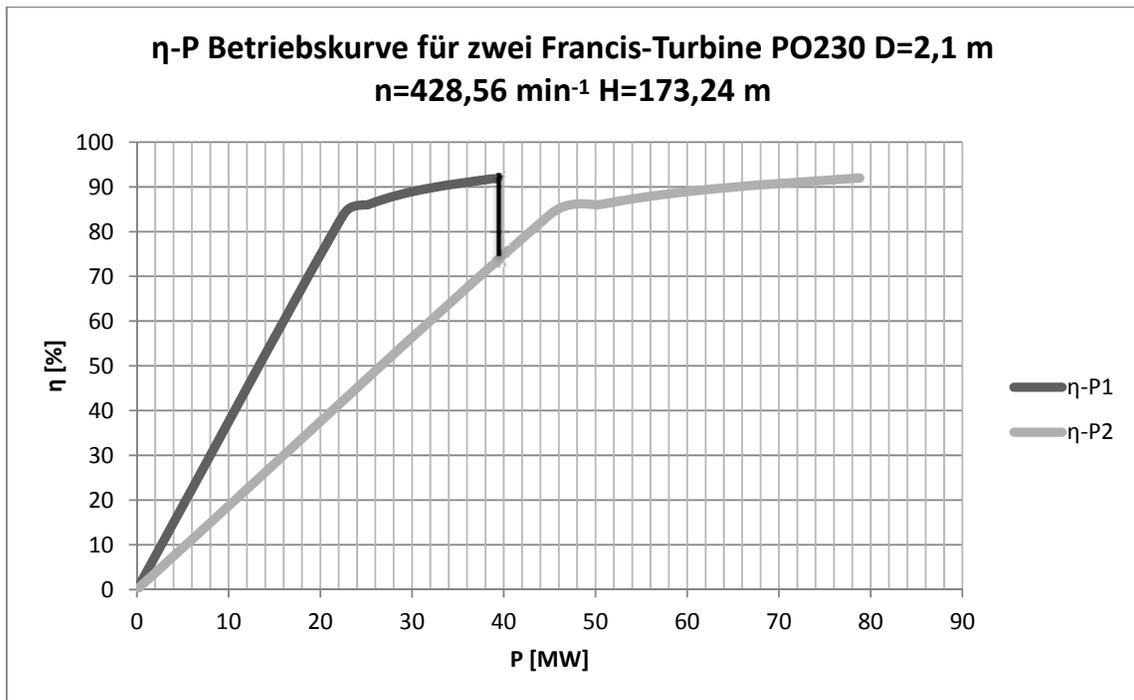


Abb. 14 Betriebskurve η -Q

Abb. 15 Betriebskurve η -P

6 Hydraulische Bemessungen bei instationären Prozessen des WKWs „Kitnitsa“

6.1 Erläuterung der hydraulischen Berechnungen bei instationären Prozessen des WKWs „Kitnitsa“

Die hydraulischen Berechnungen des gepanzerten Druckstollens werden durchgeführt, um die größten Schwankungen des Wasserspiegels und des Druckstoßes zu berechnen, die maßgebend für die statische Berechnung der Auskleidung des gepanzerten Druckstollens sind. Es werden Berechnungen für den Druckstollen bei ungünstigsten instationären Prozessen durchgeführt:

- bei einer Notabschaltung des WKWs infolge eines Lastausfalls des Generators, wenn die maximale Erhöhung des Drucks entsteht,
- bei der Inbetriebnahme des zweiten Aggregats, wenn die maximale Verringerung des Drucks entsteht.

Damit diese Untersuchung realistisch ist, sollen die instationären Prozesse des Druckstoßes im gepanzerten Druckstollen und die Druckschwankungen im Wasserschloss gleichzeitig untersucht werden, die auch durch physikalische Gesetze zu gleicher Zeit auftreten. Aber solche Untersuchungen brauchen komplizierte Software, damit diese Prozesse gleichzeitig simuliert werden können. Aus diesem Grund werden Annahmen gemacht, die eine getrennte Untersuchung der beiden Prozesse, unabhängig voneinander, erlauben. Die Ergebnisse sollen möglichst nahe der Realität sein. Außerdem sollen die Berechnungen so geführt werden, dass am Ende die maximalen Berechnungswerte eine ausreichende Sicherheit für nachfolgende Untersuchungen besitzen.

Es wird im Voraus die maximale Erhöhung des Drucks von 30% des maximalen hydrostatischen Drucks angenommen, damit die Untersuchung des Druckstoßes im gepanzerten Druckstollen durchgeführt werden kann. Für diese Annahme wird die Schließzeit des Leitapparats bei einem Notfall berechnet.

6.2 Abfolge der Berechnungen

6.2.1 Ermittlung der Parameter des Druckstoßes

6.2.2 Modellierung des Druckstoßes

6.2.2.1 Ermittlung des maximalen Anstiegs des Drucks bei Lastveränderung von 100% zu 0% in Rahmen der Schließzeit des Leitapparats und konstantem Wasserstand im Wasserschloss gleich $\nabla OWS_{\max} - \Delta h_{\text{Wasserentnahme}} - \Delta h_{\text{Druckstollen}}$. Es wird überprüft, ob

die maximale Erhöhung nicht mehr als 30% des maximalen hydrostatischen Drucks überschreitet.

6.2.2.2 Ermittlung der maximalen Absenkung des Drucks bei Lastveränderung von 50% zu 100% in Rahmen der Schließzeit des Leitapparats und konstantem Wasserstand im Wasserschloss gleich $\nabla OWS_{\min} - \Delta h_{\text{Wasserentnahme}} - \Delta h_{\text{Druckstollen}}$. Es wird eine Prüfung gegen Vakuum gemacht.

6.2.1 Parameter des Druckstoßes

➤ Geometrische Eigenschaften des gepanzerten Druckstollens

Die Werte sind aus den Berechnungen in den vorhergehenden Punkten erhalten:

$$L_{g,DS} = 20 + 354,70 + 15 = 389,70 \text{ m}$$

$$V_{g,DS} = 4,276 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$D_{g,DS} = 4,50 \text{ m}$$

$$Q_{\text{Ausbau.}} = 68 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Es ist erforderlich, die Parameter für die Strukturelemente der Auskleidung und die Gebirgsmitwirkung anzunehmen

$$\delta_{\text{Panz.}} = 0,02 \text{ m}$$

$$d_{\text{Beton}} = 0,30 \text{ m}$$

$$d_{\text{Spritzbeton}} = 0,05 \text{ m}$$

$$l_{\text{Injektionszone}} = 0,6 \cdot D_{\text{DRL}} = 0,6 \cdot 4,50 = 2,70 \text{ m}$$

$$R = D / 2 = 4,50 / 2 = 2,25 \text{ m}$$

$$R_1 = R + \delta_{\text{Panz.}} = 2,25 + 0,02 = 2,27 \text{ m}$$

$$R_2 = R_1 + d_{\text{Beton}} = 2,27 + 0,30 = 2,57 \text{ m}$$

$$R_3 = R_2 + d_{\text{Spritzbeton}} = 2,57 + 0,05 = 2,62 \text{ m}$$

$$R_4 = R_3 + l_{\text{Injektionszone}} = 2,62 + 2,70 = 5,32 \text{ m}$$

➤ Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Stoßwelle im gepanzerten Druckstollen

$$a_1 = \frac{c}{\sqrt{1 + \frac{k_W}{k_{\text{Querschnitt}}}}} \text{ [m/s]}, \text{ wo:}$$

1

$c = 1425 \text{ m/s}$ - Ausbreitungsgeschwindigkeit von Druck im Wasser

$k_W = 2100 \text{ MPa}$ - Kompressionsmodul des Wassers

$k_{\text{Querschnitt}}$ - Koeffizient der relativen Änderung des Querschnitts von dem Druck

Für angenommenen Komponenten der Auskleidung wird für $k_{\text{Querschnitt}}$ die Formel von Ing.L.N.Kurek als Spezialfall verwendet.

$$k_{\text{Querschnitt}} = \frac{1}{2} \cdot (A_0 + B_1 + B_2 + C + N), \text{ wo:}$$

$$A_0 = \frac{E_{\text{St}} \cdot \delta_{\text{Panz}}}{R_1} \rightarrow \text{für Stahlpanzerung}$$

$$B_1 = \frac{E_{\text{Beton}} \cdot \ln \frac{R_2}{R_1}}{1 - \mu_B^2} \rightarrow \text{für Beton}$$

$$B_2 = \frac{E_B \cdot \ln \frac{R_3}{R_2}}{1 - \mu_B^2} \rightarrow \text{für Spritzbeton}$$

$$C = \frac{E_{\text{inj.Gebirge}} \cdot \ln \frac{R_4}{R_3}}{1 - \mu_{\text{inj.Gebirge}}^2} \rightarrow \text{für die injizierte Schicht des Gebirges}$$

$$N = \frac{E_{\text{Gebirge}}}{1 + \mu_{\text{Gebirge}}} \rightarrow \text{für das natürliche Gebirge}$$

$E_{\text{St}} = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$ - Modul der linearen Verformung des Stahls

$E_B = 31,5 \cdot 10^3 \text{ MPa}$ - Modul der linearen Verformung des Betons B30

$E_{\text{Gebirge}} = 100 \cdot k_0 \cdot (1 + \mu_{\text{Gebirge}})$ - durchschnittlicher Modul der linearen Verformung

$k_0 = 1300 \text{ N/cm}^3$ - Koeffizient des relativen elastischen Widerstands

$\mu_{\text{Gebirge}} = 0,28$ - Poissonzahl für das Gebirge

$E_{\text{Gebirge}} = 100 \cdot 1300 \cdot (1 + 0,28) = 1664 \text{ MPa}$

$\mu_B = 0,20$ - Poissonzahl für den Beton

$\mu_{\text{inj.Gebirge}} = 0,22$ - Poissonzahl für das injizierte Gebirge

Annahme - $E_{\text{inj.Gebirge}} = 1,2 \cdot E_{\text{Gebirge}} = 1,2 \cdot 1664 = 1996,8 \text{ MPa}$

¹ Vgl. Ts. Tsolovski und R. Nikolaeva 1991, S.177.

$$\Rightarrow A_0 = \frac{E_{\text{St}} \cdot \delta_{\text{Panz.}}}{R_1} = \frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot 0,02}{2,27} = 1850,22 \text{ MPa}$$

$$B_1 = \frac{E_B \cdot \ln \frac{R_2}{R_1}}{1 - \mu_B^2} = \frac{31,5 \cdot 10^3 \cdot \ln \frac{2,57}{2,27}}{1 - 0,2^2} = 4072,89 \text{ MPa}$$

$$B_2 = \frac{E_B \cdot \ln \frac{R_3}{R_2}}{1 - \mu_B^2} = \frac{31,5 \cdot 10^3 \cdot \ln \frac{2,62}{2,57}}{1 - 0,2^2} = 632,25 \text{ MPa}$$

$$C = \frac{E_{\text{inj. Gebirge}} \cdot \ln \frac{R_4}{R_3}}{1 - \mu_{\text{inj. Gebirge}}^2} = \frac{1996,8 \cdot \ln \frac{5,32}{2,62}}{1 - 0,22^2} = 1486,27 \text{ MPa}$$

$$N = \frac{E_{\text{Gebirge}}}{1 + \mu_{\text{Gebirge}}} = \frac{1664}{1 + 0,28} = 1300 \text{ MPa}$$

$$\Rightarrow k_{\text{Querschnitt}} = \frac{1}{2} \cdot (1850,22 + 4072,89 + 632,25 + 1486,27 + 1300) = 4670,81 \text{ MPa}$$

$$\Rightarrow a_1 = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{2100}{4670,81}}} = 1183,56 \text{ m/s}$$

➤ Geometrische Eigenschaften des gepanzerten Druckstollen nach der Verzweigung

Die Werte sind aus den Berechnungen in den vorhergehenden Punkten erhalten:

$$L_{\text{g,DS}}^{\text{Verzw.}} = 31,16 \text{ m}$$

$$V_{\text{g,DS}}^{\text{Verzw.}} = 4,228 \text{ m/s}$$

$$D_{\text{g,DS}}^{\text{Verzw.}} = 3,20 \text{ m}$$

$$Q_{\text{Ausbau.}} = 34 \text{ m}^3 / \text{s}$$

➤ Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Stoßwelle

$$a_2 = \frac{c}{\sqrt{1 + \frac{k_W}{k_{\text{Querschnitt}}}}} \text{ [m/s]}, \text{ wo :}$$

$c = 1425 \text{ m/s}$ - Ausbreitungsgeschwindigkeit von Druck im Wasser

$k_W = 2,1 \cdot 10^3 \text{ MPa}$ - Kompressionsmodul des Wassers

$k_{\text{Querschnitt}}$ - Koeffizient der relativen Änderung des Querschnitts von dem Druck

$$k_{\text{Querschnitt}} = E_{\text{St.}} \cdot \frac{\delta}{D}$$

$E_{\text{St.}} = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$ - Elastizitätsmodul des Stahls

δ und D - Wanddicke und Durchmesser des gepanzerten Stollens

⇒ Die Formel der Fortpflanzungsgeschwindigkeit sieht so :

$$a_2 = \frac{c}{\sqrt{1 + 0,01 \frac{D}{\delta}}}$$

- Die Bestimmung der Dicke des Rohrs wird mit der Hilfe der Kesselformel durchgeführt und gleichzeitig wird eine Festigkeitsberechnung des Rohrs gemacht:

$$\delta = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot R}, \text{ wo: } ^1$$

p - Wasserdruck

$$p = 9,81 \cdot H_{\text{dyn.}} = 9,81 \cdot 1,3 \cdot H_{\text{br}}^{\text{max}} = 9,81 \cdot 1,3 \cdot 188,77 = 2407,38 \text{ kN/m}^2$$

$$H_{\text{br}}^{\text{max}} = \nabla OWS_{\text{max}} - \Delta h_{\text{Wasserentnahme}} - \Delta h_{\text{Druckstollen}}^{\text{min}} - \nabla UWS = 523 - 0,559 - 7,37 - 326,3 = 188,77 \text{ m}$$

$\varphi = 1,0$ - Koeffizient der Schweißnähte

R_{gr} - Grenzwiderstand des Stahls, der durch die Formel

$$R_{\text{gr}} = R_{\text{N}} \cdot C \cdot \frac{Y_c}{Y_m \cdot Y_n} \text{ bestimmt wird. } ^2$$

$R_{\text{N}} = 325 \text{ MPa}$ - normativer Widerstand des Stahls 09Г2С

$C = 1,15$

$Y_c = 0,6$ - Betriebszustandskoeffizient

$Y_m = 1,15$ bei $310 \text{ MPa} < R_{y,n} = 325 \text{ MPa} < 410 \text{ MPa}$ - Sicherheitskoeffizient des Materials

Y_n - Zuverlässigkeitskoeffizient

$Y_n = 1,0$ für erstklassige Anlagen

$$\Rightarrow R_{\text{gr}} = R_{\text{N}} \cdot C \cdot \frac{Y_c}{Y_m \cdot Y_n} = 325 \cdot 1,15 \cdot \frac{0,6}{1,15 \cdot 1,0} = 195 \text{ MPa}$$

$$\Rightarrow \delta = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot R_{\text{gr}}} = \frac{2407,38 \cdot 3,20}{2 \cdot 1 \cdot 195 \cdot 1000} = 0,0197 \text{ m} = 19,7 \text{ mm} \approx 20 \text{ mm}$$

Es ist notwendig, $1 \div 2 \text{ mm}$ zu der Dicke des Rohrs gegen Korrosion hinzufügen.

$$\Rightarrow \delta = 20 + 1 = 21 \text{ mm}$$

¹ Vgl. Ts. Tsolovski und R. Nikolaeva 1991, S.185.

² Vgl. ebenda, S.169.

Überprüfung nach der Festigkeit:

$$R = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot \delta} = \frac{2,40738 \cdot 3200}{2 \cdot 1 \cdot 21} = 183,42 \text{ MPa} < R_{gr} = 195 \text{ MPa}$$

$$\Rightarrow a_2 = \frac{1425}{\sqrt{1 + 0,01 \frac{3,2 \cdot 1000}{21}}} = 896,99 \text{ m/s}$$

➤ Ermittlung der durchschnittlichen Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Stoßwelle

$$a_m = \frac{L_{g,DS}^{gesamt}}{\frac{L_{g,DS}}{a_1} + \frac{L_{Verzw.}}{a_2}} = \frac{420,86}{\frac{389,70}{1183,56} + \frac{31,16}{896,99}} = 1156,21 \text{ m/s}$$

➤ Ermittlung des mittleren Durchmessers des gepanzerten Druckstollens

$$V_m = \frac{\sum V_i \cdot L_i}{\sum L_i} = \frac{4,276 \cdot 389,70 + 4,228 \cdot 31,16}{420,86} = 4,272 \text{ m/s}$$

$$F_m = \frac{Q}{V_m} = \frac{68}{4,272} = 15,92 \text{ m}^2$$

$$D_m = \sqrt{\frac{4 \cdot F_m}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 15,92}{3,14}} = 4,50 \text{ m}$$

➤ Ermittlung der Trägheitskonstante des Maschinensatzes¹

$$T_a = \frac{GD^2 \cdot n_{synchr.}^2 \cdot \eta_G}{365 \cdot P_a} = \frac{1107,89 \cdot 428,57^2 \cdot 0,97}{365 \cdot 53626} = 10,08 \text{ s}$$

$$GD^2 = 1107,89 \text{ t} \cdot \text{m}^2$$

$$n_{synchr.} = 428,57 \text{ min}^{-1}$$

$$\eta_G = 0,97$$

$$P_a = 53626 \text{ kW}$$

➤ Ermittlung der Schließzeit des Leitapparats

$$T_s = 2 \cdot \Delta\beta \cdot T_a = 2 \cdot 0,5 \cdot 10,08 = 10,08 \text{ s}$$

Annahme: $\Delta\beta = 0,5$ - 50% erlaubte Überhöhung der Drehzahl

¹ Vgl. Ts. Tsolovski und R. Nikolaeva 1991, S.279.

- Ermittlung der Reflektionszeit¹

$$T_r = \frac{2 \cdot L_{DRL}}{a_m} = \frac{2 \cdot 420,86}{1156,21} = 0,73 \text{ s}$$

$$T_s = 10,08 \text{ s} > T_r = 0,73 \text{ s} \rightarrow \text{indirekter Druckstoß}$$

- Ermittlung des Turbinenbeiwerts

$$k = \frac{\Delta Q_1' / \Delta Q_{1,0}'}{\Delta n_1' / n_1'} = -\text{tg}\gamma$$

$$\gamma = 9,91^\circ$$

$$\Rightarrow k = -0,175$$

Der Turbinenbeiwert wird von der Hauptmuschelkurve bestimmt, wobei der Winkel γ zwischen der Senkrechte zu Q_1' und der Linie der maximalen Öffnung des Leitapparats abgelesen wird. Der Turbinenbeiwert charakterisiert die Veränderung der Durchlässigkeit der Turbine mit der Veränderung ihrer Drehzahl.

6.2.2 Modellierung des Druckstoßes

Bei einem Lastausfall des Generators aus dem Netz, wegen des verminderten Widerstandes, erhöht das Aggregat seine Drehgeschwindigkeit. Da beginnt der automatische Regler den Leitapparat zu schließen, um den Wasserzufluss zum Laufrad zu vermindern. Bei langsamem Schließen kann die Überdrehzahl auftreten, und wenn die Schließung zu schnell ist, ein großer Druckstoß. Die vorliegende Untersuchung hat zum Zweck die Überdrehzahl nicht so groß werden zu lassen und gleichzeitig die Erhöhung des Drucks im gepanzerten Druckstollen durch den Druckstoß innerhalb der zulässigen Grenzen zu halten.

Als Randbedingung für den Anfang des gepanzerten Druckstollens in Bezug auf den Druck wird ein Behälter mit konstantem Wasserstand gleich $\nabla OWS_{\max} / \nabla OWS_{\min} - \Delta h_{\text{Wasserentnahme}} - \Delta h_{\text{Druckstollen}}$ angenommen. Gegenüber dem Druck am Ende des gepanzerten Druckstollens wird die Randbedingung der hydraulischen Verluste in ihr abgelesen.

Die Berechnungen, die die Veränderung des Drucks in den einzelnen Punkten des Druckstollens in Abhängigkeit von den Wassermengen ergeben, werden mit dem Software HIUD, das in UABG-Sofia entwickelt wurde, durchgeführt. Die instationären Prozesse im

¹ Vgl. Ts. Tsolovski und R. Nikolaeva 1991, S.178.

gepanzerten Druckstollen werden in einem System von Gleichungen beschrieben und diese Gleichungen werden unter der Verwendung der Methode von Charakteristiken gelöst.

Es ist notwendig, einige Berechnungen zu machen:

- Druck am Anfang

$$H_{br}^{max} = \nabla OWS_{max} - \Delta h_{Wasserentnahme} - \Delta h_{Druckstollen}^{min} - \nabla UWS = 523 - 0,559 - 7,37 - 326,3 = 188,77 \text{ m}$$

⇒ Last 100% - 0%

$$H_{br}^{min} = \nabla OWS_{min} - \Delta h_{Wasserentnahme} - \Delta h_{Druckstollen}^{max} - \nabla UWS = 484 - 0,559 - 13,1 - 326,3 = 144,04 \text{ m}$$

⇒ Last 50% - 100%

- Druck am Ende

$$H_{netto}^{max} = H_{br}^{max} - \Delta h_{g,DS} = 188,77 - 2,536 = 186,24 \text{ m} \Rightarrow \text{Last 100\% - 0\%}$$

$$H_{netto}^{min} = H_{br}^{min} - \Delta h_{g,DS} = 144,04 - 2,536 = 141,50 \text{ m} \Rightarrow \text{Last 50\% - 100\%}$$

$$T_{krit.} = T_s + 2 \cdot T_r = 10,08 + 2 \cdot 0,73 = 11,54 \text{ s}$$

6.2.2.1 Ermittlung des maximalen Anstiegs des Drucks bei Lastveränderung von 100% zu 0%

Die maximale Erhöhung des Drucks soll nicht mehr als 30% von dem maximalen hydrostatischen Druck.

$$H_{dyn.} = 1,3 \cdot H_{br}^{max} = 1,3 \cdot 188,77 = 245,40 \text{ m}$$

HIUD-Eingangsdaten sind in Form eines Textfiles mit der folgenden Form eingegeben:

21 5 5 3

420.86 4.5 1156.21 0.012 68 188.77 186.24 0 11.54

3

0 10.08 11.54

1. 0. 0.

-0.175

wo:

21 – Anzahl der Berechnungspunkten entlang der Länge

5 – Anzahl der Zeitschritte, in welchem die Ergebnisse dargestellt werden

5 – Zeigt die Randbedingung am Anfang des Druckstollens – Behälter mit konstantem Wasserspiegel

- 3 – Zeigt Randbedingung am Ende des Druckstollens – Francis-Turbine
- 420.86 – Länge des gepanzerten Druckstollens
- 4.5 – Mittleren Durchmesser
- 1156.21 – Durchschnittliche Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Stoßwelle
- 0.012 – Rauigkeitsbeiwert
- 68 – Anfangswassermenge
- 188.77 – Maximaler Brutto Druck am Anfang
- 186.24 – Maximaler Netto Druck am Ende
- 0 – Kote Turbinenachse im Bezug des Unterwassers
- 11.54 – Berechnungszeit
- 3 – Randbedingung No3 – Francis-Turbine am Ende des Druckstollens
- 0, 10.08, 11.54 – Beschreibt die Zeiten aus dem Schließgesetz
- 1. 0. 0. – Beschreibt die Öffnungsphasen
- 0.175 – Turbinenbeiwert

Ausführliche Ergebnisse des HIUD-Programms sind in dem Anhang gegeben.

S,m	H _{min} ,m	H _{max} ,m
0.000	188.77	188.77
21.043	187.81	189.73
42.086	186.85	190.69
63.129	185.89	191.65
84.172	184.92	192.62
105.215	183.96	193.58
126.258	183.00	194.54
147.301	182.04	195.50
168.344	181.08	196.46
189.387	180.12	197.42
210.430	179.15	198.39
231.473	178.19	199.35
252.516	177.23	200.31

273.559	176.27	201.27
294.602	175.31	202.23
315.645	174.35	203.19
336.688	173.39	204.16
357.731	172.42	205.12
378.774	171.46	206.08
399.817	170.50	207.04
420.860	169.68	208.00

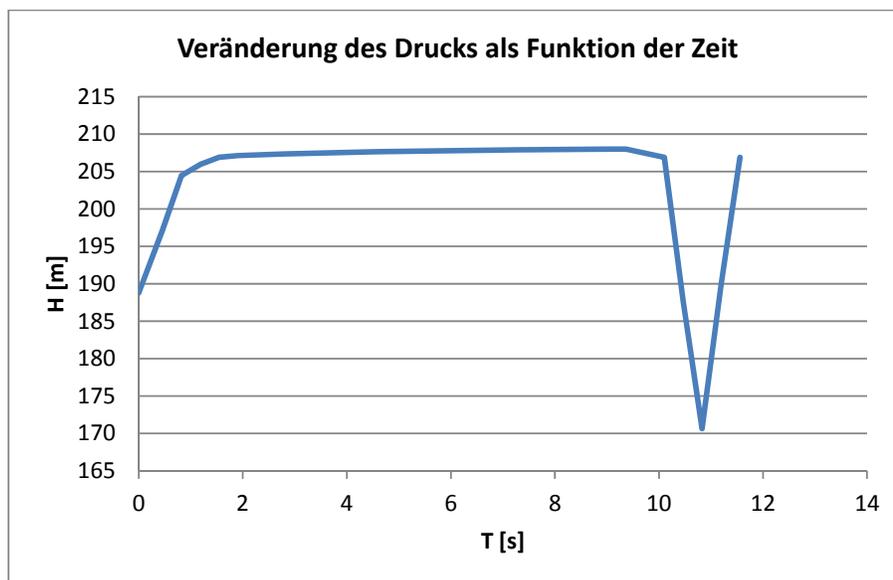


Abb. 16 Graphik der Veränderung des Drucks gegen die Zeit bei der Bestimmung des maximalen Anstiegs

$208,00 < H_{\text{dyn.}} = 245,40 \text{ m} \Rightarrow$ Die maximale Erhöhung des Drucks überschreitet nicht ihren vorläufigen angenommenen Wert.

Der Leitapparat der Turbine wird in kürzerer Zeit als die Berechnete geschlossen. In diesem Fall ist erforderlich einen synchronisierten Auslaß zu montieren, um gefährliche Erhöhung der Drehgeschwindigkeit des Aggregats zu vermeiden.

6.2.2.2 Ermittlung der maximalen Absenkung des Drucks bei Lastveränderung von 50% zu 100%

Es wird eine Prüfung gegen das Vakuum gemacht, wo die Linie des minimalen Drucks nicht die Nivellettelinie des gepanzerten Druckstollens schneiden soll.

HIUD-Eingangsdaten:

21 5 5 3

420.86 4.5 1156.21 0.012 34 144.04 141.50 0 11.54

3

0 10.08 11.54

1. 2. 2.

-0.175

Ausführliche Ergebnisse des HIUD-Programms sind in dem Anhang gegeben.

S,m	H _{min} ,m	H _{max} ,m
0.000	144.04	144.04
21.043	143.55	143.96
42.086	143.07	143.88
63.129	142.58	143.79
84.172	142.09	143.71
105.215	141.61	143.63
126.258	141.12	143.54
147.301	140.64	143.46
168.344	140.15	143.38
189.387	139.66	143.30
210.430	139.18	143.22
231.473	138.69	143.13
252.516	138.21	143.05
273.559	137.72	142.97
294.602	137.24	142.89
315.645	136.75	142.80
336.688	136.27	142.72
357.731	135.78	142.64
378.774	135.30	142.55
399.817	134.82	142.47
420.860	134.33	142.40

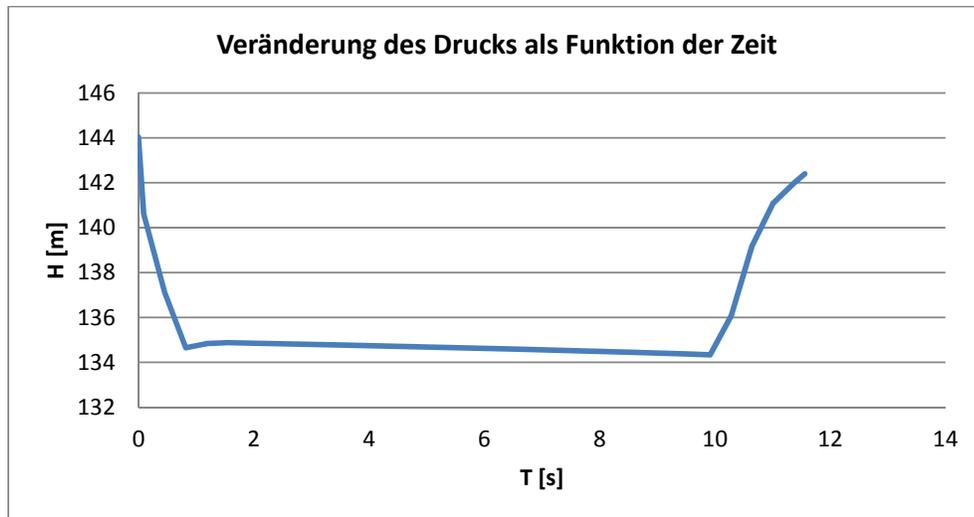


Abb. 17 Graphik der Veränderung des Drucks gegen die Zeit bei der Bestimmung der maximalen Absenkung

Die Linie des minimalen Drucks schneidet nicht die Nivellettelinie des gepanzerten Druckstollens, woraus folgt, dass im Druckstollen keine Gefahr der Entwicklung eines Vakuums ist.

7 Abstützung

Unter der Abstützung im Untertagebau wird eine Ingenieur-Struktur bezeichnet, die in den meisten Fällen ein Bestandteil der zukünftigen Auskleidung ist. Diese Struktur hat die Aufgabe die Zerstörung des unterirdischen Ausbruchs unter dem Einfluss vom Gebirgsdruck zu verhindern und einen sicheren Zustand bis zum Bau der endgültigen Auskleidung zu erhalten.

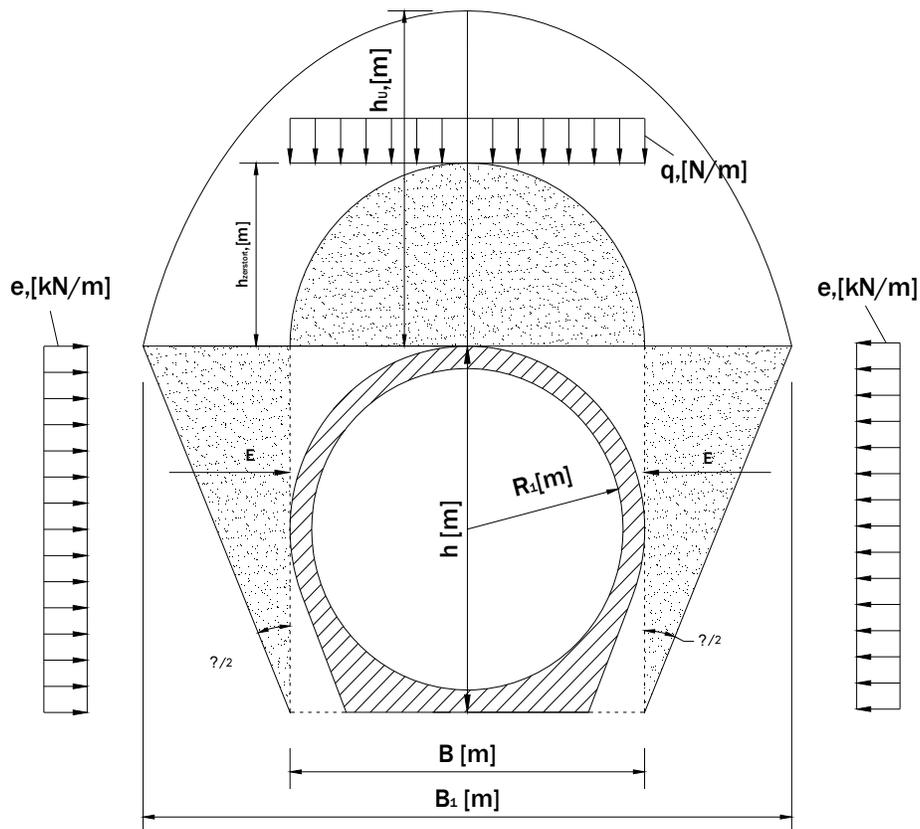
7.1 Gebirgsdruck

Der Gebirgsdruck ist eine Belastung, die eine probabilistische Natur hat. Je nach den Klüftungen und der Beschaffenheit des Felsens und nach der Bauverfahrenstechnik kann der Gebirgsdruck in voller Größe oder überhaupt nicht auftreten. Mit modernen Methoden zur Abstützung des Ausbruchs ist es möglich die Erscheinungsform des Gebirgsdrucks, auch in relativ instabilem Gebirge, auf geringfügige Größe zu begrenzen. Mit der Hilfe der Berechnungsmethoden wird die größtmögliche Größe des Gebirgsdrucks bestimmt.

Als Folge der Ausbrucharbeiten wird der Fels um den vorgesehenen Querschnitt aufgelockert. Zugspannungen entstehen in der Zone der Firste, die wegen der kleinen Zugfestigkeit des Felsens zur Entstehung von Rissen führen können. Das enorme Eigengewicht der gestörten Zonen ist Voraussetzung für die Bildung eines entspannten Felskörpers, der sich aus dem Gebirge abtrennt, und kann als eine Voraussetzung für des Vertragen der Gesamtheit des Querschnitts sein. Der Gebirgsdruck ist genau dieses Eigengewicht des gestörten Felskörpers, das von der temporären oder permanenten Konstruktion der Abstützung übernommen werden soll.

Bei einem maschinellen Vortrieb wird diese Auflockerungszone reduziert. Wegen der komplizierten Felsreaktion ist es sehr schwer eine theoretische Bestimmung der Größe der Auflockerungszone durchzuführen, daher wird die Höhe dieser Zone angenommen. Es ist möglich, dass die festgestellte Größe sich von der angenommenen unterscheidet und in diesem Fall sollen die entsprechenden Verbesserungen gemacht werden.

In den Bemessungsnormen für die Ermittlung des Gebirgsdrucks wird die Theorie von Protodiakonov benutzt. Laut dieser Theorie ist der Grundparameter für die Bemessung der Festigkeitsbeiwert des Felsen – f . Der Gebirgsdruck wird als das Eigengewicht der Auflockerungszone um den Querschnitt definiert, der eine parabolische Form hat. Der vertikale und horizontale Gebirgsdruck soll als eine gleichmäßig verteilte Last angesehen werden, dessen Größe von der parabolischen Verteilung bestimmt werden kann.



7.2 Auswahl der Abstützungskonstruktion

Die Parameter für jeden Abschnitt sind in der Aufgabestellung gegeben:

Abschnitt		Parameter					
		f_{PR}	RMR	c , kPa	ϕ , °	γ , kN/m ³	u
I	P.1 – P.4	5	52	180	38	24	0.23
II	P.4 – P.10	4	45	146	35	24	0.25
III	P.10 – P.12	2	28	115	31	23	0.33
IV	P.12 – P.16	5	52	180	38	24	0.22
V	P.16 – P.21	2	26	112	31	22	0.33

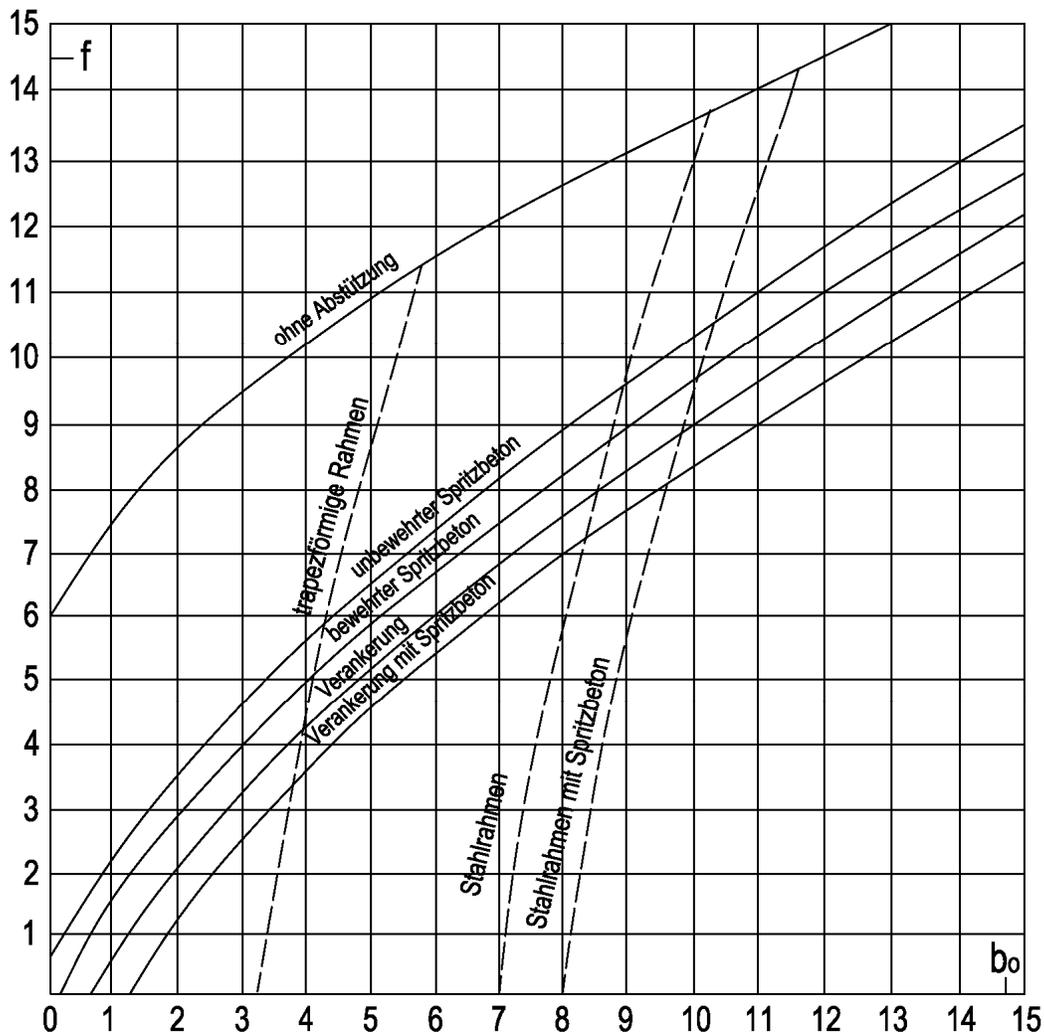


Abb. 18 Anwendungsbereich der verschiedenen Typen von Abstützungen¹

Angenommene Abstützungen:

Abschnitt		f_{PR}	Abstützungskonstruktion
I	P.1 – P.4	5	Kombinierte Abstützung aus unbewehrten Spritzbeton und Kunstharzklebeankern
II	P.4 – P.10	4	Kombinierte Abstützung aus bewehrten Spritzbeton und Kunstharzklebeankern
III	P.10 – P.12	2	Kombinierte Abstützung aus bewehrten Spritzbeton und Stahlrahmen
IV	P.12 – P.16	5	Kombinierte Abstützung aus unbewehrten Spritzbeton und Kunstharzklebeankern
V	P.16 – P.18	2	Kombinierte Abstützung aus bewehrten Spritzbeton und Stahlrahmen

¹ Vgl. Georgiev 2004, S.278.

7.3 Bemessung der Abstützungs konstruktion

7.3.1 Abschnitt I und IV ($f=5$, $K_0 = 2400 \text{ N/cm}^3$)

$$D_{\text{Aushub}} = D_{\text{g,DS}} + 2 \cdot d_{\text{Panz.}} + 2 \cdot d_{\text{Auskleidung}} + 2 \cdot d_{\text{SB}} = 4,5 + 2 \cdot 0,02 + 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,04 = 5,22 \text{ m}$$

Angenommene Daten:

$$\text{Dicke der Panzerung} - d_{\text{Panz.}} = 0,02 \text{ m}$$

$$\text{Dicke der Auskleidung} - d_{\text{Auskleidung}} = 0,3 \text{ m}$$

$$\text{Dicke des Spritzbetons} - d_{\text{SB}} = 0,04 \text{ m}$$

$$B = D_{\text{Aushub}}$$

$$h = D_{\text{Aushub}} - d_{\text{SB}} + 0,2 = 5,22 - 0,04 + 0,2 = 5,38 \text{ m}$$

$$k_a - \text{Auflockerungskoeffizient} = 0,15$$

$$h_{\text{zerstört}} = k_a \cdot D_{\text{Aushub}} = 0,15 \cdot 5,22 = 0,78 \text{ m}$$

- Ermittlung des Gebirgsdrucks beim Festigkeitsbeiwert nach Protodiakonov $f \geq 4$ und

$$h_{\text{Ü}} > 2 \cdot h_{\text{zerstört}} \quad 1$$

- Vertikaler Gebirgsdruck - $q = \beta \cdot \gamma_{\text{Fels}} \cdot h_{\text{zerstört}}$
- Horizontaler Gebirgsdruck - $e = 0$

$h_{\text{Ü}}$ - Überlagerungshöhe

$h_{\text{zerstört}}$ - Höhe der zerstörten Zone

$$\beta - \text{Querschnittsbeiwert} \begin{cases} \beta = 0,7 \text{ bei } B < 5,5 \text{ m} \\ \beta = 1,0 \text{ bei } B > 7,5 \text{ m} \end{cases}$$

$$\beta = 0,7 \text{ bei } B = 5,22 \text{ m} \Rightarrow q = 13,154 \text{ kN/m}^2 \\ e = 0 \text{ kN/m}^2$$

- Ermittlung der Ankerlänge

$$l_a = h_{\text{zerstört}} + l_{\text{Haft}} \quad 2$$

¹ Vgl. Georgiev 2004, S.48.

² Vgl. ebenda, S.270.

- Haftstrecke für Kunstharzklebeanker

$$l_{\text{Haft}} = \max \left\{ \begin{array}{l} l_{\text{Haft}} = \frac{R_{\text{St}} \cdot d_a}{4 \cdot \tau_a} = \frac{375,0 \cdot 0,02}{4 \cdot 3} = 0,63 \text{ [m]} \\ l_{\text{Haft}} = \frac{R_{\text{st}} \cdot d_a^2}{4 \cdot \tau_F \cdot d_{\text{Loch}}} = \frac{375,0 \cdot 0,02^2}{4 \cdot 1,8 \cdot 0,03} = 0,70 \text{ [m]} \end{array} \right\}^1$$

$\tau_a = (2,5 \div 3,5) \text{ MPa}$ - Reibung zwischen Ankerstahl und Kunstharz

$\tau_F = (1,8 \div 2,3) \text{ MPa}$ - Reibung zwischen Fels und Kunstharz

$R_{\text{St}} = 375 \text{ MPa}$ - Zugfestigkeit des Stahls A - III

$d_a = \text{N16} \div \text{N25}$ Diameter des Kunstharzklebeankers

Angenommen $d_a = 20 \text{ mm}$

$d_{\text{Loch}} = d_a + (10 \div 15)^2 = 20 + 10 = 30 \text{ mm} = 0,03 \text{ m}$

$$l_{\text{Haft}} = 0,70 \text{ m}$$

$$h_{\text{zerstört}} = 0,78 \text{ m}$$

$$l_a = h_{\text{zerstört}} + l_{\text{Haft}} = 0,78 + 0,70 = 1,48 \text{ m} \Rightarrow 1,50 \text{ m}$$

- Ermittlung des Abstands zwischen den Ankern

$$\left| \begin{array}{l} a = 1,80 - 0,184 \cdot l_a^3 = 1,80 - 0,184 \cdot 1,50 = 1,52 \text{ m} \\ a \geq 0,8 \text{ m} \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow a = 1,50 \text{ m}$$

- Ermittlung der Anzahl des Ankers

$$n_{\text{Anker}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{Aushub}}}{2 \cdot a} = \frac{3,14 \cdot 5,22}{2 \cdot 1,50} = 5,47$$

a - Abstand zwischen den Ankern

$$\Rightarrow n = 6 \text{ Anker}$$

¹ Vgl. Georgiev 1974, S.380.

² Vgl. Georgiev 2004, S.269.

³ Vgl. Tashev 2011

➤ Ermittlung der Dicke des unbewehrten Spritzbetons

$$d_{SB} = 0,80 \sqrt{\frac{\gamma_F \cdot a^3}{f_V \cdot R_{SB}}} \quad [\text{cm}]^1$$

$f_V = 5,2$ - Verbesserter Festigkeitsbeiwert abgelesen

von Abb.319 "Unterirdische Wasserkraftanlagen" - Univ. Prof. Dipl. - Ing. Ljubomir Georgiev

$R_{SB} = 380 \cdot 10^5 [\text{N} / \text{m}^2] = 3800 [\text{N} / \text{cm}^2]$ - Druckfestigkeit des Spritzbetons abgelesen von

Abb. 320 "Unterirdische Wasserkraftanlagen" - Univ. Prof. Dipl. - Ing. Ljubomir Georgiev

$\gamma_F = 0,024$ - Volumengewicht des Felsen $[\text{N} / \text{cm}^3]$

$a = 150 \text{ cm}$ - Abstand zwischen den Ankern

$$d_{SB} = 0,80 \sqrt{\frac{0,024 \cdot 150^3}{5,2 \cdot 3800}} = 1,62 \text{ cm}$$

⇒ $d_{SB} = 4 \text{ cm}$ - minimale Dicke des Spritzbetons

7.3.2 Abschnitt II ($f=4$, $K_o = 1800 \text{ N/cm}^3$)

$$D_{Aushub} = D_{g,DS} + 2 \cdot d_{Panz.} + 2 \cdot d_{Auskleidung} + 2 \cdot d_{SB} = 4,5 + 2 \cdot 0,02 + 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,04 = 5,22 \text{ m}$$

Angenommene Daten:

Dicke der Panzerung - $d_{Panz.} = 0,02 \text{ m}$

Dicke der Auskleidung - $d_{Auskleidung} = 0,3 \text{ m}$

Dicke des Spritzbetons - $d_{SB} = 0,04 \text{ m}$

$$B = D_{Aushub}$$

$$h = D_{Aushub} - d_{SB} + 0,2 = 5,22 - 0,04 + 0,2 = 5,38 \text{ m}$$

k_a - Auflockerungskoeffizient = 0,2

$$h_{zerstört} = k_a \cdot D_{Aushub} = 0,2 \cdot 5,22 = 1,04 \text{ m}$$

➤ Ermittlung des Gebirgsdrucks beim Festigkeitsbeiwert nach Protodiakonov $f \geq 4$ und

$$h_n > 2 \cdot h_{Hap \ 2}$$

- Vertikaler Gebirgsdruck - $q = \beta \cdot \gamma_F \cdot h_{zerstört}$
- Horizontaler Gebirgsdruck - $e = 0$

¹ Vgl. Georgiev 1974, S.386.

² Vgl. Georgiev 2004, S.48.

$h_{\bar{U}}$ - Überlagerungshöhe

$h_{\text{zerstört}}$ - Höhe der zerstörten Zone

β - Querschnittsbeiwert $\left\{ \begin{array}{l} \beta = 0,7 \text{ bei } B < 5,5 \text{ m} \\ \beta = 1,0 \text{ bei } B > 7,5 \text{ m} \end{array} \right.$

$\beta = 0,7$ bei $B = 5,22 \text{ m}$

$\Rightarrow q = 17,539 \text{ kN/m}^2$

$e = 0 \text{ kN/m}^2$

➤ Ermittlung der Ankerlänge

$$l_a = h_{\text{zerstört}} + l_{\text{Haft}}^1$$

- Haftstrecke für Kunstharzklebeanker

$$l_{\text{Haft}} = \max \left\{ \begin{array}{l} l_{\text{Haft}} = \frac{R_{\text{St}} \cdot d_a}{4 \cdot \tau_a} = \frac{375,0 \cdot 0,025}{4 \cdot 4,3} = 0,78 \text{ [m]} \\ l_{\text{Haft}} = \frac{R_{\text{St}} \cdot d_a^2}{4 \cdot \tau_F \cdot d_{\text{Loch}}} = \frac{375,0 \cdot 0,025^2}{4 \cdot 1,8 \cdot 0,04} = 0,81 \text{ [m]} \end{array} \right. ^2$$

$\tau_a = (2,5 \div 3,5) \text{ MPa}$ - Reibung zwischen Ankerstahl und Kunstharz

$\tau_F = (1,8 \div 2,3) \text{ MPa}$ - Reibung zwischen Fels und Kunstharz

$R_{\text{St}} = 375 \text{ MPa}$ - Zugfestigkeit des Stahls A - III

$d_a = \text{N16} \div \text{N25}$ Diameter des Kunstharzklebeankers

Angenommen $d_a = 25 \text{ mm}$

$d_{\text{Loch}} = d_a + (10 \div 15)^3 = 25 + 15 = 40 \text{ mm} = 0,04 \text{ m}$

$$l_{\text{Haft}} = 0,81 \text{ m}$$

$$h_{\text{zerstört}} = 1,04 \text{ m}$$

$$l_a = h_{\text{zerstört}} + l_{\text{Haft}} = 1,04 + 0,81 = 1,85 \text{ m}$$

➤ Ermittlung des Abstands zwischen den Ankern

$$a = 1,80 - 0,184 \cdot l_a^4 = 1,80 - 0,184 \cdot 1,85 = 1,46 \text{ m}$$

$$a \geq 0,8 \text{ m}$$

¹ Vgl. Georgiev 2004, S.270.

² Vgl. Georgiev 1974, S. 380.

³ Vgl. Georgiev 2004, S. 269.

⁴ Vgl. Tashev 2011

$$\Rightarrow a=1,45 \text{ m}$$

➤ Ermittlung der Anzahl des Ankers

$$n_{\text{Anker}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{Aushub}}}{2 \cdot a} = \frac{3,14 \cdot 5,22}{2 \cdot 1,45} = 5,65$$

a - Abstand zwischen den Ankern

$$\Rightarrow n=6 \text{ Anker}$$

➤ Ermittlung der Dicke des bewehrten Spritzbetons

$$d_{\text{SB}} = \frac{-F_{\text{St}} \cdot R_{\text{St}} + \sqrt{(F_{\text{St}} \cdot R_{\text{St}})^2 + (0,0464 \cdot \gamma_{\text{F}} \cdot a^3 \cdot l^2 \cdot R_{\text{H}}) \cdot \gamma_{\text{fV}}}}{0,333 \cdot R_{\text{SB}} \cdot l} \quad [\text{cm}]^1$$

$f_{\text{V}} = 4,4$ - Verbesserter Festigkeitsbeiwert abgelesen

von Abb.319 "Unterirdische Wasserkraftanlagen" - Univ. Prof. Dipl. - Ing. Ljubomir Georgiev

$l = 200 \text{ cm}$ - Vortriebslänge

$R_{\text{SB}} = 390 \cdot [10^5 \text{ N} / \text{m}^2] = 3900 \text{ [N} / \text{cm}^2]$ - Druckfestigkeit des Spritzbetons abgelesen von

Abb. 320 "Unterirdische Wasserkraftanlagen" - Univ. Prof. Dipl. - Ing. Ljubomir Georgiev

$\gamma_{\text{ck}} = 0,024$ - Volumengewicht des Felsen $[\text{N} / \text{cm}^3]$

$a = 145 \text{ cm}$ - Abstand zwischen den Ankern $[\text{cm}]$

$R_{\text{St}} = 5500 \cdot [10^5 \text{ N} / \text{m}^2] = 55000 \text{ [N} / \text{cm}^2]$ - Zugfestigkeit des Stahls

$F_{\text{St}} = 0,196 \text{ cm}^2$ - Querschnittsfläche des Stahls BSt500M - DIN 488 f5 150 / 150

$$d_{\text{SB}} = \frac{-0,196 \cdot 55000 + \sqrt{(0,196 \cdot 55000)^2 + (0,0464 \cdot 0,024 \cdot 145^3 \cdot 200^2 \cdot 3900) \cdot 4,4}}{0,333 \cdot 3900 \cdot 200} = 1,30 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow d_{\text{SB}} = 4 \text{ cm, minimale Dicke des Spritzbetons}$$

7.3.3 Abschnitt III (f=2, $K_0 = 800 \text{ N/cm}^3$)

Die Bemessung der Abstützungskonstruktion in diesem Abschnitt wird mit Hilfe der Neuen Österreichische Tunnelbaumethode (NÖT) überprüft, wobei die Tragfähigkeit der Elementen mit den entstandenen äußeren Lasten verglichen werden.

$$D_{\text{Aushub}} = D_{\text{g,DS}} + 2 \cdot d_{\text{Panz.}} + 2 \cdot d_{\text{Auskleidung}} + 2 \cdot d_{\text{SB}} = 4,5 + 2 \cdot 0,02 + 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,25 = 5,64 \text{ m}$$

Angenommene Daten:

Dicke der Panzerung - $d_{\text{Panz.}} = 0,02 \text{ m}$

¹ Vgl. Georgiev 1974, S.387.

Dicke der Auskleidung - $d_{\text{Auskleidung}} = 0,3\text{m}$

Dicke des Spritzbetons - $d_{\text{SB}} = 0,25\text{m}$

$$B = D_{\text{Aushub}}$$

$$h = D_{\text{Aushub}} - d_{\text{SB}} + 0,2 = 5,64 - 0,25 + 0,2 = 5,59\text{m}$$

$$B_1 = b + 2 \cdot h \cdot \text{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = 5,64 + 2 \cdot 5,59 \cdot \text{tg} \left(45^\circ - \frac{31^\circ}{2} \right) = 11,97\text{m} \quad 1$$

$$h_{\text{zerstört}} = \frac{B_1}{2 \cdot f} = \frac{11,97}{2 \cdot 2} = 2,99\text{m}$$

➤ Ermittlung des Gebirgsdrucks beim Festigkeitsbeiwert nach Protodiakonov $f < 4$ und

$$h_U > 2 \cdot h_{\text{zerstört}} \quad 2$$

- Vertikaler Gebirgsdruck - $q = \beta \cdot \gamma_F \cdot h_{\text{zerstört}}$
- Horizontaler Gebirgsdruck - $e = \gamma_F \cdot (h_{\text{zerstört}} + 0,5 h) \cdot \text{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right)$

h_U - Überlagerungshöhe

$h_{\text{zerstört}}$ - Höhe der zerstörten Zone

$$\beta - \text{Querschnittsbeiwert} \quad \left| \begin{array}{l} \beta = 0,7 \text{ bei } B < 5,5 \text{ m} \\ \beta = 1,0 \text{ bei } B > 7,5 \text{ m} \end{array} \right.$$

$$\beta = 0,736 \text{ bei } B = 5,64 \text{ m}$$

$$\Rightarrow q = 50,637 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$e = 42,601 \text{ kN} / \text{m}^2$$

➤ Ermittlung der Tragfähigkeit des Spritzbetons

Scherfestigkeit des Spritzbetons - $\tau_{\text{SB}} = 3,00 \text{ MPa}$

Dicke des Spritzbetons - $d_{\text{SB}} = 0,25\text{m}$

$$R = \frac{D_{\text{Aushub}}}{2} = \frac{5,64}{2} = 2,82 \text{ m}$$

$$\alpha = 45^\circ - \frac{\varphi}{2} = 45^\circ - \frac{31^\circ}{2} = 29,5^\circ < 30^\circ \Rightarrow \alpha = 30^\circ - \text{Schervinkel des Felses}$$

$$P_{\text{SB}} = \frac{d_{\text{SB}} \cdot \tau_{\text{SB}}}{R \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(\alpha)} = \frac{0,25 \cdot 3000}{2,82 \cdot \sin(30^\circ) \cdot \cos(30^\circ)} = 614,2 \text{ kN} / \text{m}^2$$

¹ Vgl. Georgiev 2004, S.47.

² Vgl. ebenda, S.48.

➤ Ermittlung der Tragfähigkeit der Stahlrahmen

Angenommener Abstand zwischen der Stahlrahmen - $l_{\text{Rahmen}} = 1 \text{ m}$.

Es werden Stahlrahmen IPN Doppel-T-Profilen №140 (DIN 1025) mit Fläche $F = 18,6 \text{ cm}^2$ angenommen.

$$d_{\text{Rahmen}} = \frac{F}{l_{\text{Rahmen}}} = \frac{0,00186}{1} = 0,00186 \text{ m}$$

$$\text{Scherfestigkeit des Stahls} - \tau_{\text{St}} = \frac{E_{\text{St}}}{E_{\text{SB}}} \cdot \tau_{\text{SB}}$$

$$\tau_{\text{St}} = \frac{210000000}{35000000} \cdot 3000 = 18000,00 \text{ kN / m}^2$$

$$P_{\text{Rahmen}} = \frac{d_{\text{St}} \cdot \tau_{\text{St}}}{R \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(\alpha)} = \frac{0,00186 \cdot 18000,00}{2,82 \cdot \sin(30^\circ) \cdot \cos(30^\circ)} = 27,42 \text{ kN / m}^2$$

➤ Ermittlung der Tragfähigkeit der Bewehrung

Die Tragfähigkeit wird nicht berücksichtigt, dies erhöht die Sicherheit. Wenn die Dicke der Spritzbeton größer als 15 cm ist, werden zwei Stahlnetze vorgesehen. Das Bewehrungsstahlnetz wird aus STOMANA Industry S.A., Typ Q131 Blattgröße 6,00x2,15m, $A_{\text{E5}} \text{ mm} - 150 / 150 \text{ mm}$, ausgewählt. ¹

➤ Gesamttragfähigkeit der Abstützungsstruktur

$$P_{\text{Gesamt}} = P_{\text{SB}} + P_{\text{Rahmen}} + P_{\text{Bewehrung}} = 614,2 + 27,42 + 0 = 641,6 \text{ kN / m}^2$$

➤ Felsbelastung

$$P_{\text{Last}} = \frac{2 \cdot \sigma_y}{\xi + 1} = \frac{2 \cdot 1118,95}{3,124 + 1} = 542,65 \text{ kN / m}^2$$

$$\xi = \frac{1 + \sin(\varphi)}{1 - \sin(\varphi)} = \frac{1 + \sin(31^\circ)}{1 - \sin(31^\circ)} = 3,124^2$$

$$\sigma_y = \gamma_F \cdot H_{\text{Überlagerung}} = 23,48,65 = 1118,95 \text{ kN / m}^2$$

$H_{\text{Überlagerung}} = 48,65 \text{ m}$ - maximale Überlagerung dieses Abschnitts gemessen von der Längsprofil

$$P_{\text{Gesamt}} = 641,6 \text{ kN / m}^2 > P_{\text{Last}} = 542,65 \text{ kN / m}^2 \Rightarrow \text{Die Abstützungsstruktur ist tragfähig}$$

¹ <http://www.stomana.bg/online/products.aspx?catid=32&code=products&langid=1>

² Vgl. Georgiev 1974, S.107.

7.3.4 Abschnitt V ($f=2$, $K_0 = 800 \text{ N/cm}^3$)

Die Bemessung der Abstützungsstruktur in diesem Abschnitt wird mit der Hilfe der Neuen Österreichische Tunnelbaumethode (NÖT) überprüft, wobei die Tragfähigkeit der Elemente mit den entstandenen äußeren Lasten verglichen wird.

$$D_{\text{Aushub}} = D_{\text{g.DS}} + 2 \cdot d_{\text{Panz.}} + 2 \cdot d_{\text{Auskleidung}} + 2 \cdot d_{\text{SB}} = 4,5 + 2 \cdot 0,02 + 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,15 = 5,44 \text{ m}$$

Angenommene Daten:

$$\text{Dicke der Panzerung} - d_{\text{Panz.}} = 0,02 \text{ m}$$

$$\text{Dicke der Auskleidung} - d_{\text{Auskleidung}} = 0,3 \text{ m}$$

$$\text{Dicke des Spritzbetons} - d_{\text{SB}} = 0,15 \text{ m}$$

$$B = D_{\text{Aushub}}$$

$$h = D_{\text{Aushub}} - d_{\text{SB}} + 0,2 = 5,44 - 0,15 + 0,2 = 5,49 \text{ m}$$

$$B_1 = b + 2 \cdot h \cdot \text{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = 5,44 + 2 \cdot 5,49 \cdot \text{tg} \left(45^\circ - \frac{31^\circ}{2} \right) = 11,65 \text{ m} \quad 1$$

$$h_{\text{zerstört}} = \frac{B_1}{2 \cdot f} = \frac{11,65}{2 \cdot 2} = 2,91 \text{ m}$$

- Ermittlung des Gebirgsdrucks beim Festigkeitsbeiwert nach Protodiakonov $f < 4$ bei

$$h_{\text{Ü}} > 2 \cdot h_{\text{zerstört}} \quad 2$$

- Vertikaler Gebirgsdruck - $q = \beta \cdot \gamma_F \cdot h_{\text{zerstört}}$
- Horizontaler Gebirgsdruck - $e = \gamma_F \cdot (h_{\text{zerstört}} + 0,5 h) \text{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right)$

$h_{\text{Ü}}$ - Überlagerungshöhe

$h_{\text{zerstört}}$ - Höhe der zerstörten Zone

$$\beta - \text{Querschnittsbeiwert} \begin{cases} \beta = 0,7 \text{ bei } B < 5,5 \text{ m} \\ \beta = 1,0 \text{ bei } B > 7,5 \text{ m} \end{cases}$$

$$\beta = 0,7 \text{ bei } B = 5,44 \text{ m}$$

$$\Rightarrow q = 44,861 \text{ kN / m}^2$$

$$e = 39,845 \text{ kN / m}^2$$

- Ermittlung der Tragfähigkeit des Spritzbetons

Scherfestigkeit des Spritzbetons - $\tau_{\text{SB}} = 3,00 \text{ MPa}$

Dicke des Spritzbetons - $d_{\text{SB}} = 0,15 \text{ m}$

$$R = \frac{D_{\text{Aushub}}}{2} = \frac{5,44}{2} = 2,72 \text{ m}$$

¹ Vgl. Georgiev 2004, S.47.

² Vgl. ebenda, S.48.

$$\alpha = 45^\circ - \frac{\varphi}{2} = 45^\circ - \frac{31^\circ}{2} = 29,5^\circ < 30^\circ \Rightarrow \alpha = 30^\circ - \text{Scherwinkel des Felses}$$

$$P_{SB} = \frac{d_{SB} \cdot \tau_{SB}}{R \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(\alpha)} = \frac{0,15 \cdot 3000}{2,72 \cdot \sin(30^\circ) \cdot \cos(30^\circ)} = 382,1 \text{ kN / m}^2$$

➤ Ermittlung der Tragfähigkeit der Stahlrahmen

Angenommener Abstand zwischen der Stahlrahmen - $l_{\text{Rahmen}} = 1 \text{ m}$.

Es sind Stahlrahmen IPN Doppel-T-Profilen №120 (DIN 1025) mit Fläche $F = 14,5 \text{ cm}^2$ angenommen.

$$d_{\text{Rahmen}} = \frac{F}{l_{\text{Rahmen}}} = \frac{0,00145}{1} = 0,00145 \text{ m}$$

$$\text{Scherfestigkeit des Stahls } - \tau_{St} = \frac{E_{St}}{E_{SB}} \cdot \tau_{SB}$$

$$\tau_{St} = \frac{210000000}{35000000} \cdot 3000 = 18000,00 \text{ kN / m}^2$$

$$P_{\text{Rahmen}} = \frac{d_{St} \cdot \tau_{St}}{R \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(\alpha)} = \frac{0,00145 \cdot 18000,00}{2,72 \cdot \sin(30^\circ) \cdot \cos(30^\circ)} = 22,16 \text{ kN / m}^2$$

➤ Ermittlung der Tragfähigkeit der Bewehrung

Die Tragfähigkeit wird nicht berücksichtigt, dies erhöht die Sicherheit. Wenn die Dicke der Spritzbeton größer als 15 cm ist, werden zwei Stahlnetze vorgesehen. Das Bewehrungsstahlnetz wird aus STOMANA Industry S.A., Typ Q131 Blattgröße 6,00x2,15m, $\bar{A}E5 \text{ mm} - 150 / 150 \text{ mm}$, ausgewählt. ¹

➤ Gesamttragfähigkeit der Abstützungskonstruktion

$$P_{\text{Gesamt}} = P_{SB} + P_{\text{Rahmen}} + P_{\text{Bewehrung}} = 382,10 + 22,16 + 0 = 404,26 \text{ kN / m}^2$$

➤ Felsbelastung

$$P_{\text{Last}} = \frac{2 \cdot \sigma_y}{\xi + 1} = \frac{2 \cdot 775,28}{3,124 + 1} = 375,98 \text{ kN / m}^2$$

$$\xi = \frac{1 + \sin(\varphi)}{1 - \sin(\varphi)} = \frac{1 + \sin(31^\circ)}{1 - \sin(31^\circ)} = 3,124 \quad ^2$$

$$\sigma_y = \gamma_F \cdot H_{\text{Überlagerung}} = 22 \cdot 35,24 = 775,28 \text{ kN / m}^2$$

¹ <http://www.stomana.bg/online/products.aspx?catid=32&code=products&langid=1>

² Vgl. Georgiev 1974, S.107.

$H_{\text{Überlagerung}} = 35,24 \text{ m}$ - maximale Überlagerung dieses Abschnitts gemessen von der Längsprofil

$P_{\text{Gesamt}} = 404,26 \text{ kN / m}^2 > P_{\text{Last}} = 375,98 \text{ kN / m}^2 \Rightarrow$ Die Abstützungsstruktur ist tragfähig

7.4 Norwegische Tunnelbaumethode (NTM)

Die norwegische Tunnelbaumethode wird verwendet, um den Zustand des Felsens und die Art der Abstützungsstrukturen im Voraus zu bestimmen. Während der Bauphase können die Daten aktualisiert werden.

Die Charakteristik des Felsens wird bei dem so genannten Q-System (Abb.19) bestimmt. Dieses Q-System gibt eine numerische Beurteilung des Felsens und ermöglicht eine geeignete Auswahl der Abstützungsstruktur. Die Klassifikationsmethode und die zugehörigen Ausbauvorschläge basieren auf einer großen Datenbank, die in dem Q-System synchronisiert und erneuert ist. Das System kann Gebirgsqualitäts- oder Tunnelbauqualitätsindex (Q-System) aber auch NGI Klassifikation (norwegisches Geotechnikinstitut) benennen.

7.4.1 Bestimmung der Parameter

Für die Ermittlung der Felsqualität (Q) sind 6 Parameter notwendig, die in der folgenden Formel enthalten sind:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF} \quad 1$$

RQD - Index für die Bestimmung der Felsqualität

J_n - Kluftcharanzahl

J_r - Zahl für Kluftrauhigkeit

J_a - Kluftverwitterungszahl

J_w - Abminderung für Gebirgswasser

SRF - Spannungabminderungsfaktor

Die grundlegenden geotechnischen Parameter laut BARTON (1988) sind die Blockgröße, die minimale Scherfestigkeit und der aktive Druck. Diese grundlegenden geotechnischen Parameter werden durch folgende Verhältnisse ausgedrückt:

1 – Kluftkörpergröße (RQD/J_n) ²

2 – Scherfestigkeit zwischen Kluftkörpern (J_r/J_a)

3 – Aktiver Spannungszustand (J_w/SRF)

¹ Vgl. Hoek 2007, S.12.

² Vgl. Hoek 2007, S.13.

In der Tabelle 7 sind die Parameter angenommen ¹, die die Felsqualität (Q) bestimmen.

Abschnitt	RMR	Jv	RQD	Jn	Jr	Ja	Jw	SRF	Q
I - IV	52	18	55.6	4	2	3	1	5	1.853
II	45	20	49	4	1.5	4	1	5	0.919
III	28	25	32.5	6	1	5	0.66	7.5	0.095
V	26	26	29.2	6	1	5	0.66	7.5	0.086

Tabelle 7 – Bestimmung der Felsqualität (Q)

Der RQD Index ist definiert als der Prozentsatz von vollständigen Bohrkernstücken, die länger als 10 cm sind, zu der Gesamtlänge des Bohrkerns:

$$RQD = \frac{\sum L_{10}}{L} \cdot 100 [\%] \quad 2$$

Diese Bewertung ist die einfachste Art RQD zu bestimmen. Falls keine Bohrkern vorhanden sind, wird eine indirekte Methode benutzt. Palström (1982) schlug vor, falls Anzeichen von Unstetigkeit an der Oberfläche oder in Untersuchungsstollen erkennbar sind, den RQD Wert aufgrund der Klüfte pro Einheitsvolumen (m³ Fels) Jv abzuschätzen. Jv ist die Summe der Klüfte pro Einheitslänge in einem tonfreien Gebirge. Für Jv < 4,5 RQD=100

$$RQD = 115 - 3,3 \cdot Jv \quad 3$$

In der Aufgabestellung ist die Beurteilung des Felsens nach RMR gegeben, dann wird Jv für jeden Abschnitt so interpoliert, dass RQD die selbe Felsklassifizierung aufweist.

Um den Q-Wert mit dem Verhalten und den Abstützungserfordernissen eines Untergrundhohlraumes in Beziehung zu bringen, wurde der Ausdruck der Vergleichsgröße (De) definiert. Diese wird durch die Division der Spannweite, des Durchmessers oder der Hohlraumhöhe, durch eine Größe, die Hohlraumstützmittelverhältnis (ESR) genannt wird, erhalten.

¹ Vgl. ebenda, S.15-17.

² Vgl. ebenda, S.4.

³ Vgl. ebenda.

Vergleichsgröße (De) = $\frac{\text{Spannweite oder Höhe (m)}}{ESR}$ ¹

ESR = 1,6 für Wassertunnels für Wasserkraft (angenommen Hockdruckleitungen)

Es sollte mit einbezogen werden, dass die Längen der Anker in den Abstützungstabellen nicht spezifiziert werden. Die Ankerlänge wird durch folgende Gleichung ausgedrückt :

$$L = 2 + \frac{0,15 \cdot B}{ESR} \text{ [m]} \quad ^2$$

B - Hohlraumbreite

Abschnitt	Q	h	ESR	De	B	L
I und IV	1.853	5.38	1.6	3.36	5.22	2.49
II	0.919	5.38	1.6	3.36	5.22	2.49
III	0.095	5.59	1.6	3.49	5.64	2.53
V	0.086	5.49	1.6	3.43	5.44	2.51

Tabelle 8 – Parameter für die Bestimmung der Abstützungskonstruktion

7.4.2 Auswahl der Abstützungskonstruktionen

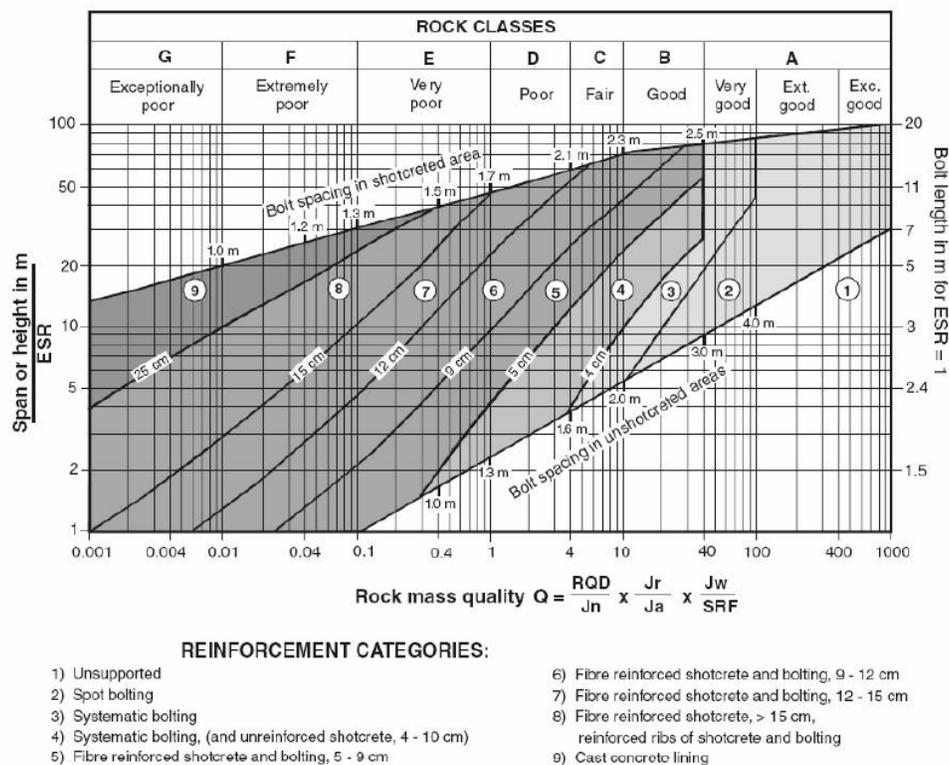


Abb. 19 Bestimmung der Abstützungskonstruktionen nach Q-System (Nach Grimstad und Barton, 1993, erneuert von Palmstrom und Broch, 2006) ³

¹ Vgl. Hoek 2007, S.14.

² Vgl. ebenda, S.18.

³ Ebenda, S.19.

Aus Abb. 19 ist es sichtbar, dass die Abschnitte I, II, IV in der vierten Kategorie fallen, wo die Abstützung aus systematischen Verankerung und unbewehrtem Spritzbeton (4-10 cm) besteht. Die Abstützungsstruktur für die Abschnitte III und V ist aus der sechsten Kategorie – Spritzbeton mit Fasern (9-12 cm) und Verankerung.

7.4.3 Vergleich zwischen der Bestimmung der Abstützungsstrukturen nach Protodiakonov f und nach dem Q-System (NTM)

Tabelle 9 zeigt einen Vergleich der ausgewählten Abstützungsstrukturen und beinhaltet auch die Dicke des Spritzbetons, die Länge und der Abstand zwischen den Ankern.

Abschnitt	Abstützungsstruktur		d _{SB}		la		a	
			1	2	1	2	1	2
	1	2	cm		m		m	
I und IV	unbewehrter Spritzbeton und Kunstharzklebeanker	Verankerung und unbewehrter Spritzbeton	4	4-10	1.50	2.50	1.50	1.90
II	bewehrter Spritzbeton und Kunstharzklebeanker (Bewehrungsstahlnetz)	Verankerung und unbewehrter Spritzbeton	4	4-10	1.85	2.50	1.45	1.70
III	bewehrter Spritzbeton und Stahlrahmen (Bewehrungsstahlnetz)	Verankerung und bewehrter Spritzbeton mit Fasern	25	4-10	-	2.55	-	1.30
V	bewehrter Spritzbeton und Stahlrahmen (Bewehrungsstahlnetz)	Verankerung und bewehrter Spritzbeton mit Fasern	15	4-10	-	2.55	-	1.30

Tabelle 9 - Vergleich zwischen die Abstützungsstrukturen; 1 – Abstützung nach Protodiakonov f; 2 – Abstützung nach dem Q-System / Norwegische Tunnelbaumethode (NTM)

8 Statische Analyse der Stahlpanzerung

In solchen Anlagen werden am häufigsten gepanzerten Auskleidungen verwendet. Nur mit ihnen kann die Dichtheit dieser Anlagen bei hohem Druck versichert werden.

Bei der Bemessung der Stahlpanzerung auf internen Wasserdruck wird angenommen, dass der Beton um das Rohr Radialrisse hat. Die Aufgabe dieses Betons ist es den Gebirgsdruck, das Eigengewicht, den Druck von externem Wasser und seismischen Lasten zu übernehmen und Teil des internen Wasserdrucks auf Felsmasse zu übertragen. ¹

8.1 Überprüfung der Tragfähigkeit auf internen Wasserdruck p_i

Die tangentielle Zugspannungen von internen Wasserdruck werden durch die folgenden zwei Fällen bestimmt:

- Mit Berücksichtigung von der Felstragwirkung

$$\sigma_z = \frac{p_i \cdot r_0 + a_r \cdot K_{0,n}}{t + 4,33 \cdot 10^{-6} \cdot r_0 \cdot K_{0,n}} \text{ [MPa]} \quad 2$$

p_i - interner Wasserdruck

$$p_i = \gamma_w \cdot H_{\text{dyn.}} \text{ [MPa]}$$

$H_{\text{dyn.}}$ - dynamischer Wasserdruck, der für jeden Abschnitt um die maximale Erhöhung des Drucks abgelesen wurde. Er ist im Punkt 6 - Hydraulische Bemessung bei instationären Prozessen des WKWs "Kitnitsa" berechnet.

$$r_0 = \frac{r_1 + r_2}{2} \text{ - mittlerer Radius der Panzerung}$$

r_1 - Innenradius der Stahlpanzerung

r_2 - Außenradius der Stahlpanzerung

$$r_2 = r_1 + t$$

t - Dicke der Stahlpanzerung

a_r - Fugenbreite zwischen der Panzerung und dem Beton um die Rohr

$$a_r = 3 \cdot 10^{-4} \cdot r_0$$

r_3 - Außenradius der Betonauskleidung

$$r_3 = r_2 + d_B + a_r$$

K_0 - relativ elastischer Widerstand [N / cm^3]

¹ Vgl. Georgiev 2004, S.164.

² Vgl. ebenda, S.166.

$K_{0,w}$ - Koeffizient des relativen elastischen Widerstands

$$K_{0,w} = \frac{1}{\frac{1}{E_6} \cdot \ln\left(\frac{r_3}{r_0}\right) + \frac{1}{K_0}} \quad [N/cm^3] \quad 1$$

➤ Keine Felstragwirkung

$$\frac{a_r}{r_0} \geq B$$

$$B = 4,33 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{P_i \cdot r_0}{t} \quad 2$$

Die Tangentialspannungen in diesem Fall werden mit Hilfe der folgenden Formel berechnet :

$$\sigma_z = \frac{P_i \cdot r_0}{t} \quad [MPa]$$

Abschnitt	Ko	P _i	t	r ₁	r ₂	r ₀	a _r	d _B	r ₃	a _r /r ₀		B
	N/cm ³	MPa	m	m	m	m	-	m	m	-		
1	2400	0.5541	0.014	2.25	2.264	2.257	0.000677	0.3	2.564677	0.0003	<	0.000387
1.1	2400	0.7875	0.014	2.25	2.264	2.257	0.000677	0.3	2.564677	0.0003	<	0.00055
2	1800	1.2808	0.014	2.25	2.264	2.257	0.000677	0.3	2.564677	0.0003	<	0.000894
3	800	1.4375	0.014	2.25	2.264	2.257	0.000677	0.3	2.564677	0.0003	<	0.001003
4	2400	1.7693	0.014	2.25	2.264	2.257	0.000677	0.3	2.564677	0.0003	<	0.001235
5	800	2.0886	0.022	2.25	2.272	2.261	0.000678	0.3	2.572678	0.0003	<	0.000929
5.1	800	2.0958	0.022	2.25	2.272	2.261	0.000678	0.3	2.572678	0.0003	<	0.000933

In allen Abschnitten wird der Felswiderstand berücksichtigt.

➤ Zulässige Spannungen

$$\sigma_z \leq \sigma_{zul.} = \frac{\gamma_c \cdot R_y}{\gamma_n} = \frac{0,75 \cdot 345}{1,25} = 207 \text{ MPa}$$

$\gamma_c = 0,75$ - Betriebszustandskoeffizient

$\gamma_n = 1,25$ - Zuverlässigkeitskoeffizient für erstklassige Anlage

$R_y = 345 \text{ MPa}$ - Streckgrenze des Stahls

Es ist warmgewalztes Stahlblech von STOMANA IndustryS.A. Klasse des Stahls S355J2 + N gewählt

¹ Vgl. Georgiev 2004, S. 164.

² Vgl. ebenda, S.166.

Abschnitt	E_B	r_0	r_3	K_0	$K_{0,w}$	a_r	p_i	t	σ_z	$\sigma_{zul.}$
	MPa	m	m	N/cm ³	N/cm ³	m	MPa	m	MPa	MPa
1	31500	2.257	2.564677	2400	2376.857	0.000677	0.5541	0.014	76.82201	207
1.1	31500	2.257	2.564677	2400	2376.857	0.000677	0.7875	0.014	90.97199	207
2	31500	2.257	2.564677	1800	1786.951	0.000677	1.2808	0.014	130.3322	207
3	31500	2.257	2.564677	800	797.4119	0.000677	1.4375	0.014	173.6508	207
4	31500	2.257	2.564677	2400	2376.857	0.000677	1.7693	0.014	150.4941	207
5	31500	2.261	2.572678	800	797.3848	0.000678	2.0886	0.022	176.5786	207
5.1	31500	2.261	2.572678	800	797.3848	0.000678	2.0958	0.022	177.1248	207

Tabelle 10 – Überprüfung der Tragfähigkeit auf internen Wasserdruck

Bei der so gewählten Dicke der Stahlpanzerung, Art des Stahls, Klasse und Dicke der Betonauskleidung ist die Tragfähigkeit des Druckstollens auf internen Wasserdruck gewährleistet.

8.2 Überprüfung der Tragfähigkeit auf externen Wasserdruck p_e

$$\sigma_z = \frac{p_e \cdot r_0}{t} [\text{MPa}] \leq \sigma_{zul.} \quad \text{I} = \frac{\gamma_c \cdot R_y}{\gamma_n} = \frac{0,75 \cdot 345}{1,25} = 207 \text{ MPa}$$

p_e - externer Wasserdruck

$$p_e = 0,5 \cdot H_{\bar{U}}$$

$H_{\bar{U}}$ - Überlagerung

$\gamma_c = 0,75$ - Betriebszustandskoeffizient

$\gamma_n = 1,25$ - Zuverlässigkeitskoeffizient für erstklassige Anlage

$R_y = 345 \text{ MPa}$ - Streckgrenze des Stahls

Es ist warmgewalztes Stahlblech von STOMANA Industry S.A.

Klasse des Stahls S355J2 + N gewählt

Abschnitt	$H_{\bar{U}}$	p_e	t	r_0	σ_z	$\sigma_{zul.}$
	m	MPa	m	m	MPa	MPa
1	61.85	0.30925	0.014	2.257	49.85552	207
1.1	60.24	0.3012	0.014	2.257	48.55774	207
2	60.24	0.3012	0.014	2.257	48.55774	207
3	44.41	0.22205	0.014	2.257	35.79763	207
4	35.76	0.1788	0.014	2.257	28.82511	207
5	28.15	0.14075	0.022	2.261	14.46526	207
5.1	24.18	0.1209	0.022	2.261	12.42522	207

Tabelle 11 – Überprüfung der Tragfähigkeit auf externen Wasserdruck

¹ Vgl. Georgiev 2004, S.167.

Bei der so gewählten Dicke der Stahlpanzerung, Art des Stahls, Klasse und Dicke der Betonauskleidung ist die Tragfähigkeit des Druckstollens auf externen Wasserdruck gewährleistet.

8.3 Überprüfung der Tragfähigkeit auf axiale Spannungen

8.3.1 Axiale Spannungen von Temperaturveränderungen zwischen dem inneren und äußeren Rand des dünnwandigen Rohres

$$\sigma_{x,1} = \beta \cdot E \cdot \Delta t \text{ [MPa]}^1$$

β - Koeffizient der linearen thermischen Dehnung des Materials

$$\beta = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ - für Stahl}$$

$$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa - Modul der linearen Verformung von Stahl}$$

$$\Delta t = \pm (10 \div 20) \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Annahme } \Delta t = \pm 10^\circ\text{C}$$

$$\Rightarrow \sigma_{x,1} = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot (\pm 10) = \begin{cases} +25,2 \text{ MPa - bei internen Wasserdruck} \\ -25,2 \text{ MPa - bei externen Wasserdruck} \end{cases}$$

8.3.2 Axiale Spannungen von der Wirkung der Poisson

$$\sigma_{x,2} = -\nu \cdot \sigma_z \text{ [MPa]}^2$$

$$\nu = 0,3 \text{ - Poissonszahl}$$

Abschnitt	$\sigma_{z,i}$	$\sigma_{z,e}$	$\sigma_{x2,i}$	$\sigma_{x2,e}$		$\sigma_{zul.}$
	MPa	MPa	MPa	MPa		MPa
1	76.82201	49.85552	-23.0466	-14.9567	<	207
1.1	90.97199	48.55774	-27.2916	-14.5673	<	207
2	130.3322	48.55774	-39.0997	-14.5673	<	207
3	173.6508	35.79763	-52.0953	-10.7393	<	207
4	150.4941	28.82511	-45.1482	-8.64753	<	207
5	176.5786	14.46526	-52.9736	-4.33958	<	207
5.1	177.1248	12.42522	-53.1374	-3.72757	<	207

Tabelle 12 – Axiale Spannungen von der Wirkung der Poisson

8.3.3 Axiale Spannungen des Eigengewichts

$$\sigma_{x,3} = -\frac{\gamma_{st} \cdot \sum (r_1 \cdot t \cdot l \cdot \sin \alpha)}{r_1 \cdot t} \text{ [MPa]}^3$$

¹ Vgl. Georgiev 2004, S.439.

² Vgl. ebenda.

³ Vgl. ebenda.

$$\gamma_{st.} = 78,5 \text{ kN/m}^3$$

r_1 - Innenradius des Stahlrohrs

t - Dicke der Panzerung in den entsprechenden Abschnitt

α - Neigung des Abschnittes

Abschnitt	r_1	t	α	l	σ_{x3}		$\sigma_{zul.}$
	m	m	°	m	MPa		MPa
1	2.25	0.014	1	20	-0.0274	<	207
1.1	2.25	0.014	22	54.45	-1.60119	<	207
2	2.25	0.014	22	114	-3.35235	<	207
3	2.25	0.014	22	36.23	-1.0654	<	207
4	2.25	0.014	22	76.69	-2.25519	<	207
5	2.25	0.022	22	73.33	-2.15639	<	207
5.1	2.25	0.022	1	15	-0.02055	<	207

Tabelle 13 – Axiale Spannungen des Eigengewicht

8.3.4 Summe von den axialen Spannungen

$$\sigma_x = \sigma_{x,1} + \sigma_{x,2} + \sigma_{x,3} \text{ [MPa]}$$

Abschnitt	$\sigma_{x,1i}$	$\sigma_{x,1e}$	$\sigma_{x,2i}$	$\sigma_{x,2e}$	$\sigma_{x,3}$	σ_{xi}	σ_{xe}		$\sigma_{zul.}$
	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa		MPa
1	25.2	-25.2	-23.0466	-14.9567	-0.0274	2.125998	-38.0307	<	207
1.1	25.2	-25.2	-27.2916	-14.5673	-1.60119	-3.69279	-43.4601	<	207
2	25.2	-25.2	-39.0997	-14.5673	-3.35235	-17.252	-57.0193	<	207
3	25.2	-25.2	-52.0953	-10.7393	-1.0654	-27.9607	-63.8999	<	207
4	25.2	-25.2	-45.1482	-8.64753	-2.25519	-22.2034	-56.051	<	207
5	25.2	-25.2	-52.9736	-4.33958	-2.15639	-29.93	-59.4696	<	207
5.1	25.2	-25.2	-53.1374	-3.72757	-0.02055	-27.958	-56.8856	<	207

Tabelle 14 – Summe der axialen Spannungen

8.3.5 Überprüfung der ersten Gruppe der Grenzzustände

Der allgemeine Spannungszustand der Panzerung wird durch eine entsprechende Spannung bestimmt.

$$\sigma_{ent,i} = \sqrt{(\sigma_{z,i})^2 + (\sigma_{x,i})^2} - (\sigma_{z,i}) \cdot (\sigma_{x,i}) \leq \frac{R_y \cdot \gamma_c}{\gamma_n} \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_{ent,e} = \sqrt{(\sigma_{z,e})^2 + (\sigma_{x,e})^2} - (\sigma_{z,e}) \cdot (\sigma_{x,e}) \leq \frac{R_y \cdot \gamma_c}{\gamma_n} \text{ [MPa]}^1$$

¹ Vgl. Georgiev 2004, S.166.

Abschnitt	σ_{xi}	σ_{xe}	σ_{zi}	σ_{ze}	σ_{enti}	σ_{ente}		$\sigma_{zul.}$
	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa		
1	2.125998	-38.0307	76.82201	49.85552	75.78138	76.34096	<	207
1.1	-3.69279	-43.4601	90.97199	48.55774	92.87347	79.73055	<	207
2	-17.252	-57.0193	130.3322	48.55774	139.7591	91.53026	<	207
3	-27.9607	-63.8999	173.6508	35.79763	189.1872	87.47651	<	207
4	-22.2034	-56.051	150.4941	28.82511	162.7358	74.75475	<	207
5	-29.93	-59.4696	176.5786	14.46526	193.2894	67.86836	<	207
5.1	-27.958	-56.8856	177.1248	12.42522	192.6315	64.00912	<	207

Tabelle 15 – Überprüfung der ersten Gruppe der Grenzzustände

Bei den so gewählten Daten sind die Bedingungen für die Überprüfung befriedigt und die Druckstollen ist beständig.

8.4 Überprüfung gegen Beulen der Stahlpanzrung

8.4.1 Prüfmethode SNIIP /Russische Methode/

Die Bemessung auf das Beulen hängt von

$$p_e < p_i = \frac{Y_e \cdot p_{kr} \cdot \xi}{Y_n} [\text{MPa}], \text{ ab. } ^1$$

p_{kr} - kritischer Wasserdruck, der das Beulen verursacht

Von den Verhältnissen a_r / r_0 und r_0 / t wird der kritische Wasserdruck in Abb. 8.17 auf Seite 168 "Tunnels" Univ. Prof. Dipl. - Ing. Ljubomir Georgiev 2004 abgelesen.

Der Koeffizient $\xi = f\left(\frac{p_{kr} \cdot r_0}{t \cdot R_y}\right)$ wird aus Tab. 8.10 auf Seite 168

"Tunnels" Univ. Prof. Dipl. - Ing. Ljubomir Georgiev 2004 abgelesen.

Abschnitt	a_r	r_0	t	R_y	a_r/r_0	r_0/t	p_{kr}	ζ	p_e	p_i
	m	m	m	MPa	-	-	MPa	-	MPa	MPa
1	0.000677	2.258	0.016	345	0.0003	141.125	0.57	1	0.30925	0.342
1.1	0.000677	2.258	0.016	345	0.0003	141.125	0.57	1	0.3012	0.342
2	0.000677	2.258	0.016	345	0.0003	141.125	0.57	1	0.3012	0.342
3	0.000677	2.257	0.014	345	0.0003	161.2143	0.45	1	0.22205	0.27
4	0.000677	2.257	0.014	345	0.0003	161.2143	0.45	1	0.1788	0.27
5	0.000678	2.261	0.022	345	0.0003	102.7727	1.46	1	0.14075	0.876
5.1	0.000678	2.261	0.022	345	0.0003	102.7727	1.46	1	0.1209	0.876

Tabelle 16 – Überprüfung gegen Beulen – Russische Methode

¹ Vgl. Georgiev 2004, S.167.

In den ursprünglichen Daten war der externe Wasserdruck größer als der innere Wasserdruck in den ersten drei Abschnitten, deshalb wird für diese Abschnitte eine größere Dicke der Stahlpanzrung angenommen.

8.4.2 Österreichische Prüfmethode von Montel

$$p_{kr.} > p_e$$

$$p_{kr.} = \frac{5 \cdot R_y}{\left(\frac{r_2}{t}\right)^{3/2} \cdot \left[1 + 1,2 \left(\eta + 2 \cdot a_r \cdot \frac{1}{t}\right)\right]} \cdot \frac{1}{k_s}$$

$k_s = 1,5$ - Sicherheitsbeiwert

$$\eta = w_1 \cdot \left[1 - \cos\left(\frac{50^\circ \cdot \pi}{180^\circ}\right)\right]; w_1 = 5 \cdot 10^{-4} \cdot a_r$$

Abschnitt	r_1	t	r_2	r_0	a_r	R_y	η	p_{kr}	p_e
	m	m	m	m	m	MPa	-	MPa	MPa
1	2.25	0.014	2.264	2.257	0.000677	345	0.000403	0.486005	0.30925
1.1	2.25	0.014	2.264	2.257	0.000677	345	0.000403	0.486005	0.3012
2	2.25	0.014	2.264	2.257	0.000677	345	0.000403	0.486005	0.3012
3	2.25	0.014	2.264	2.257	0.000677	345	0.000403	0.486005	0.22205
4	2.25	0.014	2.264	2.257	0.000677	345	0.000403	0.486005	0.1788
5	2.25	0.022	2.272	2.261	0.000678	345	0.000404	0.999769	0.14075
5.1	2.25	0.022	2.272	2.261	0.000678	345	0.000404	0.999769	0.1209

Tabelle 17 – Überprüfung gegen Beulen – Methode von Montel

Die Werte p_{kr} sind größer als die Werte des externen Wasserdrucks in allen Abschnitten, woraus folgt, dass die Bedingung gegen Beulen erfüllt ist.

¹ Vgl. Bambei Jr. 2012, S.65.

8.4.3 Prüfmethode von Amstutz

Bedingung gegen Beulen (weilers in Tabelle 18 auf linke und rechte Seite aufgeteilt):

$$\underbrace{(\sigma_N - \sigma_v) \left[\left(\frac{r_0}{i} \right)^2 \frac{\sigma_N}{E^*} \right]^{3/2}}_{\text{linke Seite}} \leq \underbrace{(\sigma_F - \sigma_N) \cdot \left(\frac{n}{2} \right) \cdot 1,73 \left(\frac{r_0}{e} \right) \left[1 - 0,225 \left(\frac{r_0}{e} \right) \frac{\sigma_F - \sigma_N}{E^*} \right]}_{\text{rechte Seite}}$$

$$p_{kr.} = \left(\frac{F}{r_0} \right) \sigma_N \left[1 - 0,175 \left(\frac{r_0}{e} \right) \frac{\sigma_F - \sigma_N}{E^*} \right] \cdot \frac{1}{k_s}$$

$k_s = 1,5$ - Sicherheitsbeiwert

$$i = \frac{t}{\sqrt{12}}; e = \frac{t}{2}; F = t$$

$$\sigma_v = - \left(\frac{a_r}{r_0} \right) E^*, \gamma = \frac{a_r}{r_0} = 3 \cdot 10^{-4}$$

$$E^* = \frac{E_{St}}{1 - \nu^2}$$

$$\sigma_F = \mu \cdot R_y \sqrt{1 - \nu + \nu^2}$$

$$\mu = 1,5 - 0,5 \left[\frac{1}{1 + 0,002 \frac{E_{St}}{R_y}} \right]$$

1

n - Anzahl der Wellen, die bei dem Beulen entstehen; Es wird $n = 2$ angenommen

E_{St} - Modul der linearen Verformung des Stahls; $E_{St} = 2,1 \cdot 10^5$ MPa

ν - Poissonszahl für den Stahl; $\nu = 0,3$

Abschnitt	r_1	t	r_2	r_0	a_r	a_r/r_0	i	e	E_{St}	ν	E^*	R_y
	m	m	m	m	m	-	m	m	MPa	-	MPa	MPa
1	2.25	0.014	2.264	2.257	0.000677	0.0003	0.004041	0.007	210000	0.3	230769.2	345
1.1	2.25	0.014	2.264	2.257	0.000677	0.0003	0.004041	0.007	210000	0.3	230769.2	345
2	2.25	0.014	2.264	2.257	0.000677	0.0003	0.004041	0.007	210000	0.3	230769.2	345
3	2.25	0.014	2.264	2.257	0.000677	0.0003	0.004041	0.007	210000	0.3	230769.2	345
4	2.25	0.014	2.264	2.257	0.000677	0.0003	0.004041	0.007	210000	0.3	230769.2	345
5	2.25	0.022	2.272	2.261	0.000678	0.0003	0.006351	0.011	210000	0.3	230769.2	345
5.1	2.25	0.022	2.272	2.261	0.000678	0.0003	0.006351	0.011	210000	0.3	230769.2	345

¹ Vgl. U.S. Army Corps of Engineers 1997, S.15.

Abschnitt	μ	Gv	G _F	G _N	p _{kr}	linke Seite	rechte Seite	Δ	p _e
	-	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	%	MPa
1	1.398308	-69.2308	542.7608	90.564	0.337222	216377.2	216379.1	-0.00088	0.30925
1.1	1.398308	-69.2308	542.7608	90.564	0.337222	216377.2	216379.1	-0.00088	0.3012
2	1.398308	-69.2308	542.7608	90.564	0.337222	216377.2	216379.1	-0.00088	0.3012
3	1.398308	-69.2308	542.7608	90.564	0.337222	216377.2	216379.1	-0.00088	0.22205
4	1.398308	-69.2308	542.7608	90.564	0.337222	216377.2	216379.1	-0.00088	0.1788
5	1.398308	-69.2308	542.7608	136.149	0.830533	132806.1	132806.4	-0.00021	0.14075
5.1	1.398308	-69.2308	542.7608	136.149	0.830533	132806.1	132806.4	-0.00021	0.1209

Tabelle 18 – Überprüfung gegen Beulen – Methode von Amstutz

Die Werte p_{kr} sind größer als die Werte des externen Wasserdrucks in allen Abschnitten, woraus folgt, dass die Bedingung gegen Beulen erfüllt ist.

8.4.4 Prüfmethode von Jacobsen

Verwendung der Prüfmethode von Jacobsen zur Bestimmung des kritischen Drucks des Beulens für zylindrische Stahlrohrleitungen erfordert gleichzeitige Lösung von drei Gleichungen mit drei Unbekannten. Um diese Gleichungen zu lösen, wird das Programm MathCad verwendet. Die drei Gleichungen mit den drei Unbekannten α , β , und p_{kr} sind:

$$\left| \frac{r_1}{t} \right| = \sqrt{\frac{\left(\frac{9\pi^2}{4\beta^2} - 1 \right) \cdot \left[\pi - \alpha + \beta \cdot \left(\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} \right)^2 \right]}{12 \cdot \left(\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} \right)^3 \cdot \left[\alpha - \frac{\pi \cdot \Delta}{r_1} - \beta \cdot \left(\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} \right) \left(1 + \frac{\text{tg}^2(\alpha - \beta)}{4} \right) \right]}}}$$

$$\left| \frac{p_{kr}}{E^*} \right| = \frac{\left(\frac{9\pi^2}{4\beta^2} - 1 \right)}{12 \cdot \left(\frac{r_1}{t} \right)^3 \cdot \left(\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} \right)^3}$$

¹ Vgl. U.S. Army Corps of Engineers 1997, S.15.

$$\left| \frac{R_y}{E^*} = \frac{t}{2r_1} \cdot \left(1 - \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \right) + \frac{p_{kr} \cdot r_1 \cdot \sin \alpha}{E^* \cdot t \cdot \sin \beta} \cdot \left[1 + \frac{4\beta \cdot r_1 \cdot \sin \alpha \cdot \text{tg}(\alpha - \beta)}{\pi \cdot t \cdot \sin \beta} \right] \right|$$

$\Delta = a_r$ - Fugenbreite zwischen der Panzerung und dem Beton um das Rohr

$\alpha \rightarrow 1/2$ des gegenüberliegenden Zentriwinkels

1

$\beta \rightarrow 1/2$ des gegenüberliegenden Winkels für den neuen Radius, der von dem Beulen gebildet ist

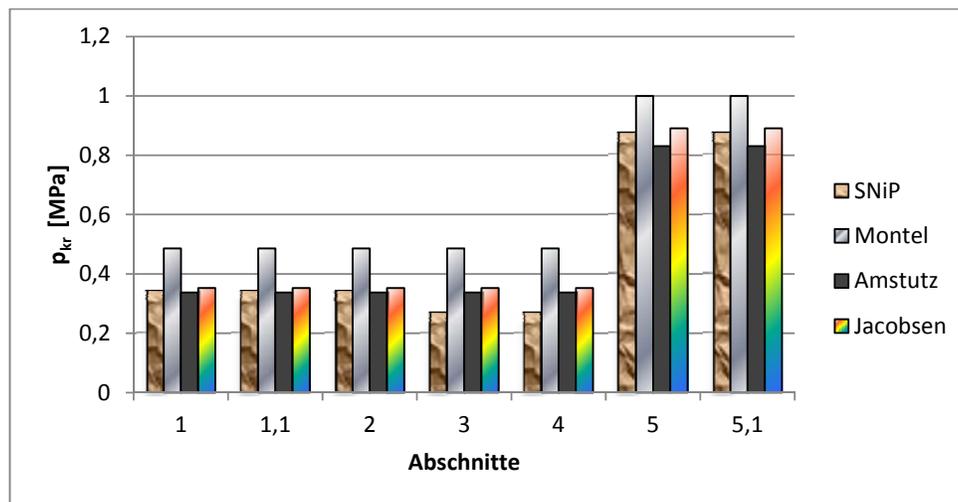
In Tabelle 19 wird p_{kr} mit $\frac{1}{k_s}$ multipliziert; $k_s = 1,5$ - Sicherheitsbeiwert

Abschnitt	t	α	β	α	β	p_{kr}	p_e
	m	rad	rad	°	°	MPa	MPa
1	0.014	0.421	0.381	24.12152	21.82969	0.352667	0.30925
1.1	0.014	0.421	0.381	24.12152	21.82969	0.352667	0.3012
2	0.014	0.421	0.381	24.12152	21.82969	0.352667	0.3012
3	0.014	0.421	0.381	24.12152	21.82969	0.352667	0.22205
4	0.014	0.421	0.381	24.12152	21.82969	0.352667	0.1788
5	0.022	0.531	0.5	30.42406	28.64789	0.890667	0.14075
5.1	0.022	0.531	0.5	30.42406	28.64789	0.890667	0.1209

Tabelle 19 – Überprüfung gegen Beulen – Methode von Jacobsen

Die Werte p_{kr} sind größer als die Werte des externen Wasserdrucks in allen Abschnitten, woraus folgt, dass die Bedingung gegen Beulen erfüllt ist.

8.4.5 Vergleich zwischen den Prüfmethode gegen Beulen



Die Prüfmethode von Amstutz wird als maßgebend angenommen, weil diese Methode in den meisten Abschnitten niedrigste Werte für p_{kr} bei geringsten Dicken der Stahlpanzrung ergibt.

¹ Vgl. U.S. Army Corps of Engineers 1997, S.15.

9 Bauverfahrenstechnik des gepanzerten Druckstollens

9.1 Ausbrucharbeiten

Die Ausbrucharbeiten werden durch maschinellen Vortrieb mit Teilschnittmaschine durchgeführt. Der gepanzerte Druckstollen wird von unten nach oben ausgehoben werden, weil dadurch die Lade- und Transportarbeiten sowie auch die Entwässerung des Ausbruchs vereinfacht werden. Bei Ausbruchprofilen mit einer Neigung bis 30° (in diesem Fall 22° bei dem stark geneigten Abschnitt) kann eine schienenlose Ausrüstung verwendet werden.¹ Der maschinelle Vortrieb hat viele Vorteile, einer der wichtigsten ist die wesentliche Reduzierung der Auflockerungszone. Dadurch wird die Standfestigkeit des Gebirges erhalten, was auch den Gebirgsdruck vermindert.² Diese Verfahrenstechnik erlaubt einen glatten Abbau des Felsens, der zur Verringerung der Ausbrucharbeiten und der erforderlichen Menge von Füllbeton führt. Es wird eine Einsparung vom Ausbruch bis zu 30% und vom Füllbeton bis zu 25% erreicht.³ Mit einer guten Organisation der Leistungsfähigkeit aller Maschinen in dem Prozess wird eine höhere Vortriebsgeschwindigkeit und eine wesentliche Reduktion der Mitarbeiter, die unter viel günstigeren Bedingungen arbeiten.

9.1.1 Ausrüstung bei der Ausführung der Ausbrucharbeiten

Es wird empfohlen, eine Firma, die sich mit der Herstellung von Produkten für den Tunnelbau beschäftigt, zu konsultieren. Für den besonderen Fall ist eine Teilschnittmaschine gewählt, die den Querschnitt in Teilen ausbricht. Die geologischen und geometrischen Parameter des gepanzerten Druckstollens sollten dabei berücksichtigt werden.



Abb. 20 Teilschnittmaschine⁴

¹ Vgl. Georgiev 2004, S. 448.

² Vgl. ebenda, S. 386.

³ Vgl. ebenda.

⁴ www.mining.sandvik.com

Bei neueren Maschinen wird das Gestein mit einer Ladeschaufel aufgenommen und von zwei rotierenden Ladescheiben zu einem mittig durch die Teilschnittmaschine laufenden Förderband geschoben und transportiert. Das Förderband soll hoch genug sein, damit sich das Transportgerät problemlos unter der Teilschnittmaschine positionieren kann. Dadurch kann der Abbau ununterbrochen laufen, was die Ausbrucharbeiten wesentlich erleichtert.

Die Teilschnittmaschinen können den Querschnitt horizontal und vertikal in Abhängigkeit von den Felseigenschaften fräsen. Üblicherweise wird eine optimale Leistungsfähigkeit bei horizontaler Bewegung des Fräskopfes erreicht. Wenn das Abbauwerkzeug das Ende des Querschnitts erreicht, wird es vertikal zu einer neuen Position umgesetzt, wo der Fräsvorgang bis zur Erreichung der angegebenen Profilgröße fortgesetzt wird.



Abb. 21 Teilschnittmaschine¹

9.1.2 Ausrüstung für die Schutterung des Ausbruchmaterials

Bei einem Vortrieb mit Teilschnittmaschine ist es sinnvoll, ein Transportgerät unter dem Förderband der Teilschnittmaschine während des gesamten Ausbruchprozesses zu haben, wodurch direkte Beladung und Abfuhr des Ausbruchmaterials ermöglicht werden. Aufgrund dem relativ kurzen gepanzerten Druckstollen und der Deponie für das Ausbruchmaterial in der Nähe vom Einlaufbereich ist es nur eine Transportmaschine vorgesehen. Die Abladezeit des Transportgeräts kann verwendet werden, um die Schneidzähne der Teilschnittmaschine zu kühlen. Angesichts des Ausbruchs von unten nach oben werden die Transportkosten, die mit den Kraftstoffen und Schmiermitteln verbunden sind, reduziert. Der Muldenkipper bewegt sich beladen nach unten und leer nach oben, wenn

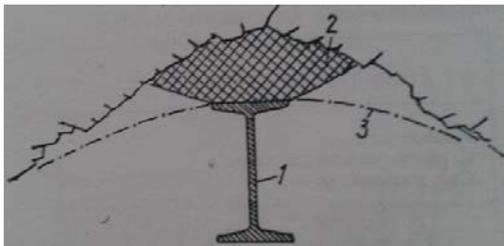
¹ www.mining.sandvik.com

er den Widerstand von der Neigung überwinden muss. Aufgrund der Neigung des Stollens müssen die gewählten Geräte eine entsprechende Steigfähigkeit aufweisen.

9.2 Abstützungsstrukturen

9.2.1 Ausführung von Stahlrahmen und Konsolidierungsinjektion im Lockergestein

Die kombinierte Abstützung von Stahlrahmen und Spritzbeton ist gut geeignet für Lockergestein.¹ Solche Ausführung ist für die Abschnitte III und V mit Festigkeitsbeiwert nach Protodiakonov $f=2$ bestimmt. Zwischen die Stützrahmen werden Stahlnetze montiert, auf denen dann eine Schicht aus Spritzbeton aufgebracht wird, die die Stahlrahmen in einer räumlichen Schalenkonstruktion mit großer Tragfähigkeit umfasst. Die Stabilisierung in Längsrichtung wird mittels Stahlstreben erreicht. Um die volle Tragfähigkeit der Stahlrahmen zu verwenden, werden die Hohlräume zwischen der Felsoberfläche und den Stahlrahmen



mit Spritzbeton gefüllt. (Abb. 22)

Abb. 22 Auffüllen der Hohlräume zwischen dem Fels und den Stahlrahmen mit Spritzbeton (1- Stahlrahmen; 2- Füllung aus Spritzbeton; 3- Umriss des Ausbruchquerschnitts)²

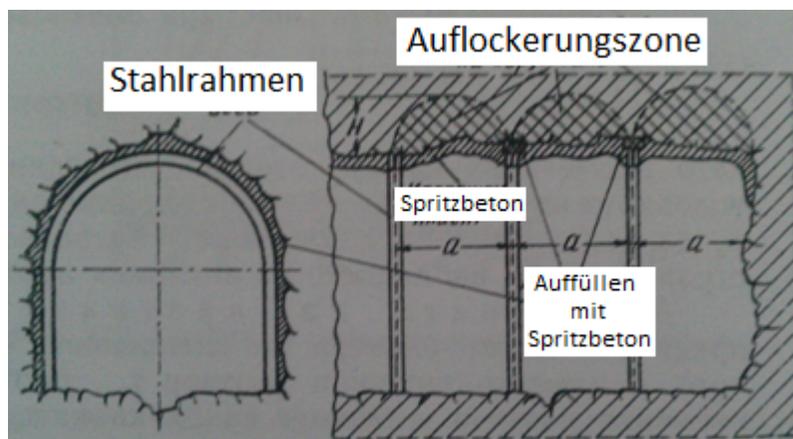


Abb. 23 Kombinierte Abstützung von Stahlrahmen und Spritzbeton³

¹ Vgl. Georgiev 2004, S. 277.

² Vgl. ebenda.

³ Vgl. ebenda.

Um die Teilschnittmaschine durch das Lockergestein fahren zu können, ist es erforderlich, eine Verbesserung der schwachen Zone durch Verwendung von Konsolidierungsinjektion durchzuführen. Die Injektionsarbeiten haben eine Verfestigung und Verdichtung zum Ziel, um den Ausbruch bewerkstelligen zu können.

Geologische Untersuchungen sind notwendig, um den Zustand des Felses festzustellen. Basierend darauf können die Möglichkeiten zur Injektion durch Bestimmung der optimalen Lösung, Drucks und Technologie und auch der Wirkung der Injektionsarbeiten geklärt werden. Einige Vorbohrungen werden gemacht, in denen etappenweise Zementmörtel injiziert wird. Die Injektionsfähigkeit des Felses und das Ergebnis der durchgeführten Injektionsarbeiten werden durch die Wasserdurchlässigkeit beurteilt. Die Wasserdurchlässigkeit wird durch die relative Wasseraufnahme, die durch Wassereinspritzung in den Bohrlöchern ermittelt wird, geschätzt. Es wird das absorbierte Wasser bei einem bestimmten Druck gemessen. Wenn der gemessene Wert der relativen Wasseraufnahme nach der Injektion geringer als der im Projekt berechnete Wert ist, wird die Injektion weiter durch allmähliche Näherung des Abstandes zwischen den Bohrungen fortgesetzt.¹

Für die Vorbereitung und die Einspritzung von der Mischung wird prinzipiell eine Hydraulikpumpe/Mischungsmixer verwendet.

Nach Abschluss der Verfestigung und Verdichtung des Felses kann die Teilschnittmaschine weiter betrieben werden. Die Abstützung wird sofort nach den Ausbrucharbeiten durchgeführt.

9.2.2 Kunstharzklebeanker

Kunstharze als Füllstoff haben viele Vorteile. Sie haben hohe Festigkeit, die je nach Stabilität des Felses eingestellt werden kann. Kunstharze werden in Form von Kapseln hergestellt. Die Vorteile sind:

- Kunstharze haben eine große Aushärtungsgeschwindigkeit und die Anker erreichen schnell eine hohe Tragfähigkeit
- Sie werden nicht zusätzlich gespannt
- Lasten können fast sofort übernommen werden
- Kunstharze haben eine sehr wirksame Abdichtung der Löcher in Gegenwart von Wasser und Feuchtigkeit und verhindern nachfolgende Verschlechterung
- Sie erhalten ihre Eigenschaften in Gegenwart von Vibrationen
- Durch die Kunstharze entstehen keine Innenspannungen im Fels

¹ Vgl. Georgiev 2004, S.315.

- Kunstharze haben in Abhängigkeit von verschiedenen Bedingungen eine Vielzahl von Längen und Härtungsgeschwindigkeit
- Einfach zu montieren ¹

Die Kapsel ist gewöhnlich eine Zwei-Komponente-Kapsel. Diese Patrone ist ein auf den beiden Seiten versiegeltes Rohr aus Polyesterfolie. Die erste Komponente enthält Harz, die zweite Härter.

Die Veränderung der Härtezeit und der Temperatur sollte berücksichtigt werden, wenn das Harz in warmen oder kalten Abschnitten verwendet wird.

Ausführung der Kunstharzklebeanker:

1. Die Lagerung der Kunstharzkapsel soll zusammen mit dem Anker innerhalb dem Druckstollen sein, damit sie die gleiche Temperatur haben und dadurch schnell die vorgeschriebene Verbindungsgeschwindigkeit erreichen.
2. Der Bohrlochdurchmesser wird durch das Projekt festgelegt und bestimmt somit den Durchmesser der Kunstharzpatrone.
3. Die Länge des Ankerlochs soll um etwa 2,5 cm tiefer sein als die Ankerlänge. Außerdem soll das Ankerloch von Staub und anderen Partikeln gereinigt werden.
4. Es wird die Art der Kunstharzpatronen, die am besten geeignet für die Arbeit ist, gewählt. Danach wird die erforderliche Anzahl von Kunstharzkapsel eingesteckt.
5. Der Anker wird mit Drehbewegung in das Bohrloch eingebracht, sodass alle Kunstharzpatronen gemischt werden.
6. Einige Zentimeter vor dem Bohrlochende wird der Anker für die erforderliche Mischzeit gedreht.
7. Der Anker wird eingeschlagen und es wird auf das Erhärten des Kunstharzes gewartet.
8. Nachdem das Kunstharz hart ist, soll der Anker nicht mehr gedreht werden, weil dadurch das Kunstharz zerstört werden kann und der Anker seine volle Tragfähigkeit nicht erreichen kann. ²

¹ Vgl. Minova RSA 2012, S. 2.

² Vgl. Minova RSA 2009, S. 7.

Manche Teilschnittmaschinen haben die Möglichkeit eine Ausrüstung für Verankerung anzubauen, wodurch die Ankerlöcher und die Montage der Anker schneller und parallel mit dem Ausbruch gemacht werden können. Dadurch kann die Vortriebsdauer etwas reduziert werden.

Der Vorteil der Variante eine separate Bohrmaschine auszuwählen ist, dass der Bohrhammer unabhängig von der Teilschnittmaschine ist und an schwer zugänglichen Stellen für die Teilschnittmaschine Bohrarbeiten ausgeführt werden können.

9.2.3 Spritzbeton

Die Stützwirkung des Spritzbetons ergibt sich aufgrund der Füllung der Risse zwischen den einzelnen Felsblöcken. Der Bereich wird dadurch verfestigt und die Felsoberfläche wird geglättet, welche zu einer Verringerung der Spannungskonzentrationen führt. Außerdem wird eine räumliche verformbare Schalenkonstruktion geschaffen, die stark mit dem Felsen verbunden ist. Somit wird der Fels vom Belastungselement in ein lasttragendes Element verwandelt. ¹

Der Spritzbeton wird in Schichten bis zur gewünschten Dicke aufgetragen. Bei bewehrtem Spritzbeton ist es erforderlich das Bewehrungsnetz auf den Stahlrahmen zu befestigen oder mittels der Anker für das Ausbruchprofil. Es ist eine universelle Maschine mit Spritzmanipulator für die Ausführung Spritzbetonarbeiten empfohlen. Der Spritzmanipulator muss einsetzbar für die Anwendung in stark geneigten Bereichen sein.

9.3 Auskleidungsarbeiten

Der Druckstollen wird mit einer Stahlpanzerung ausgekleidet. Die Herstellung von Stahlrohren erfordert eine Vielzahl von speziellen Maschinen und Anlagen, wie Walzen, Pressen, Brennschneidwerkzeuge, Schweißmaschinen, Prüf-, Radiographik-, und Fördertechnik. Wenn die Rohr-Einheiten in Rohrabschnitte in situ zusammengesetzt werden, ist es meist wirtschaftlicher, die Stahlblätter und zugehörigen Materialien im Stammwerk des Herstellers vorbereiten und sie an den Ort für die Montage zu versenden. Diese Vorbereitung in der Hauptanlage besteht üblicherweise aus dem Schneiden der Blätter, der Vorbereitung der Kanten für das Schweißen, und dem Rollen in zwei oder mehr kreisförmige Segmente. Die Anzahl der Segmente ist abhängig vom Durchmesser des Druckstollens und der Länge der verfügbaren Blätter. Die Länge der Abschnitte wird durch verschiedene Faktoren, wie die Breite der Einheiten, die Handhabung, Transport, etc beeinflusst. ²

¹ Vgl. Georgiev 2004, S.244, 253.

² Vgl. USBR 1977, S.37-38.

Die Stahlrohreinheiten werden mit einer Länge von 6,0 m hergestellt. Alle Schweißnähte werden auf Wasserdichtigkeit durch eine Beschichtung außen mit Kalkmilch und innen mit heißem Erdöl überprüft. Außerdem sollten mindestens 25% der Länge der Längsschweißnähte, 10% der Quer- und 50% der Montageschweißnähte mit Gammastrahlen und Ultraschall geprüft werden. Um die Montage zu erleichtern, werden die Rohreinheiten in der Fabrik eingepasst. Dort werden die Verbindungen zwischen den Rohreinheiten auf den horizontalen und vertikalen Durchmesser markiert und auf die äußere Oberfläche werden die laufende Nummer, das Gewicht der Einheit und die Wasserrichtung bezeichnet. Abweichungen von mehr als $\pm 1\%$ zwischen dem theoretischen und tatsächlichen Durchmesser bzw. Länge sind nicht zulässig. ¹

Um die Kreisform der Rohre bei dem Transport und der Montage zu erhalten, werden sie temporär von innen mit Kreuzungen aus Baustahl verstärkt. Die Rohre sind mit allen erforderlichen Vorsichtsmaßnahmen aufzuladen und auf dem Lastzug oder Transportwagen so zu befestigen, dass jede Bewegung vermieden wird. Scharfe Metallkanten dürfen nicht an den Rohroberflächen schaben. Die Schlingen zur Handhabung der Rohre müssen gepolstert sein, um Beschädigungen an Umhüllungen und Auskleidungen zu vermeiden. Die Transportschutzmaßnahmen müssen zur Minderung von Beschädigungen auf das Rohrschutzsystem ausgelegt sein. ²

Das Abladen wird mittels Bagger oder Kran ausgeführt. Die Hebevorrichtungen sind nach Rohrgewicht, erforderlichen Abmessungen und örtlichen Bedingungen auszuwählen. Das Hebewerkzeug muss bei Versorgungsausfall die Last sicher halten können. Das Einbringen darf nur mit Maschinen erfolgen, die eine einstellbare Lastbegrenzung besitzen. Die Maschinen sollten eine kontinuierliche Erfassung und Dokumentation der Last ermöglichen. Beim Einzug muss ein Einführungsschutz zur Vermeidung von Beschädigungen des Inliners installiert werden. Die zulässigen Biegeradien des Inliners dürfen beim Einbauvorgang nicht unterschritten werden. Kommen beim Abladen von Einzelrohren Bagger oder Kräne zum Einsatz, sind immer Schlingen (aus Terylen, Nylon oder anderen geeigneten Werkstoffen) oder zweiarmige Hebel, ausgestattet mit speziellen gepolsterten Haken, zu verwenden. ³

Es ist notwendig, den Ausbruch für die Montage der Stahlpanzerung vorzubereiten. Die Felsoberflächen werden hauptsächlich mit Druckwasser gereinigt, wenn die Felsen relativ fest sind und es einen Mangel an Grundwasserströmung gibt. Dies ist auch

¹ Vgl. Georgiev 2004, S. 453.

² Vgl. Electrosteel, S.3.

³ Vgl. ebenda, S.4.

ausreichend, wenn eine Abstützung vorhanden ist, die als permanenter Teil der Auskleidung verbleibt. ¹

Damit die künftige Struktur der Grundwasserströmung nicht belastet wird, gibt es drei Möglichkeiten:

1. Das Grundwasser wird über Drainagesystem abgeführt
2. Verdichtung des Felsens durch Injektion
3. Abdichtung mit wasserdichten Schichten

Möglichkeit 1 – Das Grundwasser wird mit der Hilfe von Kunststoffschläuchen entnommen, wo es durch die Abstützung eindringt. Während des Baus wird das eindringende Grundwasser zusammen mit dem Prozesswasser in vorgefertigten Entwässerungsgraben am Boden des Ausbruchs abgeführt. Beim Aufbau der Auskleidung wird das Grundwasser zur Längsentwässerung (aus gewelltem PVC-Rohr) gerichtet, der in dem Entwässerungsgraben liegt. ²

Die Drainage kann dort eingesetzt, wo der Fels im Hinblick auf Suffosion stabil ist. Ansonsten besteht die Gefahr einer Verletzung der Stabilität der Anlage während des Betriebes. In solchen Fällen können Möglichkeit 2 oder 3 verwendet werden.

Möglichkeit 2 – Die Verdichtung des Felsens ist in der Regel der beste Weg, um Grundwasser zu bekämpfen, wenn die Zusammensetzung des Felses die Sperrung von allen Wasserwegen erlaubt. Leider ist dies jedoch nicht immer möglich. In den meisten Fällen wird dadurch eine Reduktion des Grundwasserdurchflusses erreicht. ³

Wenn die Injektion nicht die gewünschte Wirkung hat, kann es Möglichkeit 3 angewandt werden.

Möglichkeit 3 – Die am häufigsten verwendete Hydroisolation besteht aus Geotextil und Polymerfolie mit einer Dicke von 2-3 mm. Die Abdichtung wird auf den Spritzbeton gelegt und mit Leim befestigt. Die Polymerfolie wird mit Heißluft verschweißt. Das anfallende Grundwasser wird durch das Geotextil abgeführt. Auch die Unebenheiten der Spritzbetonschicht werden durch das Geotextil ausgeglichen. ⁴

¹ Vgl. Georgiev 2004, S. 453-454.

² Vgl. ebenda, S. 368.

³ Vgl. ebenda, S. 369.

⁴ Vgl. ebenda, S.369.

9.3.1 Montage der Rohr-Einheiten

Mit der Montage der Rohr-Einheiten in dem vorbereiteten Ausbruch wird von unten nach oben angefangen. Es gibt mehrere Optionen für die Montage der Rohr-Einheiten in den unterirdischen Ausbruch:

- mit speziellen Loren, die auf Schienen laufen, die im Stollen betoniert werden. Die Rohre werden in den Ausbruch mit Stahlseil und Ankerwinde abgesenkt;¹
- mit unterer Einschienenbahn und seitlichen Federrollen. Wenn die Betonauskleidung gebaut ist, werden die Stahl-Einheiten durch die Einschienenbahn und die seitlich befestigten Federrollen transportiert. Die Einschienenbahn kann demontiert werden, sobald die Rohre ausgerichtet und verschweißt werden;²
- mit oberer Einschienenbahn und Ankerwinde.³

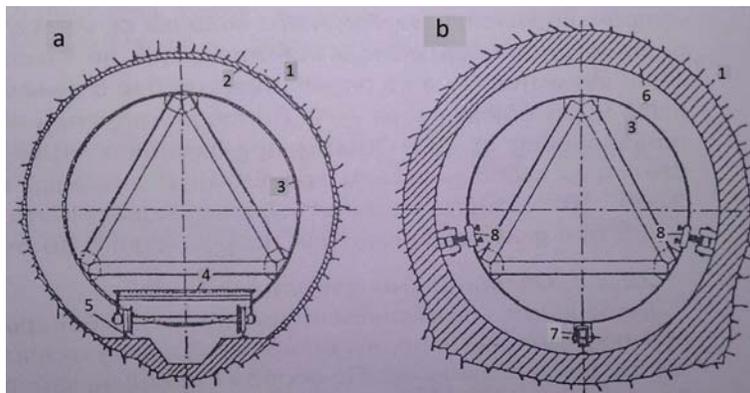


Abb. 24 Montage der Stahlrohr-Einheiten im Ausbruch: a - mittels einer Lore; b - mittels einer Einschienenbahn und seitlicher Federrollen; 1 - Fels; 2 - Spritzbeton; 3 - Stahlrohr; 4 - Lore; 5 - Schienen; 6 - Betonauskleidung; 7 - untere Einschienenbahn; 8 - seitliche Federrollen⁴

Weil die Montageschweißnähte Schwachstellen in der Konstruktion sind, ist es wünschenswert, ihren Anteil auf ein Minimum zu reduzieren. Zu diesem Zweck werden zwei oder mehr Rohre auf der Oberfläche verschweißt und geprüft. So werden auf einmal Abschnitte von 12 - 18 m Länge oder mehr montiert.⁵

¹ Vgl. Georgiev 2004, S.455.

² Vgl. ebenda, S.455.

³ Vgl. ebenda, S.454.

⁴ Vgl. ebenda, S.454.

⁵ Vgl. ebenda, S.455.

Wenn die Größe des Stollens nicht ausreichend ist, um das Stahlrohr durchzuführen, kann es an den Ort der Montage als Rolle geliefert werden. Die Rolle wird im unterirdischen Ausbruch entrollt und in Längsrichtung verschweißt. Die Nähte sind unbedingt durch Ultraschall oder Gammastrahlen zu prüfen.¹

Die Montage der Rohre wird erleichtert, wenn das obere Ende mit einem externen Stahlring ausgestattet ist. Sobald die Rohr-Einheit zentriert ist, wird sie durch Beton- oder Holzblöcke stabilisiert. Nach der endgültigen Zentrierung der Querverbindungen, werden die Rohr-Einheiten geschweißt. Die Schweißnaht wird überprüft und notfalls verschweißt. Das Rohr wird im Voraus in dem Bereich der Naht auf 120 bis 160 °C erhitzt, um eine thermische Verformung zu vermeiden. Die Naht wird nach dem Schweißen von der Innenseite geschliffen.

9.3.2 Betoniervorgang

9.3.2.1 Vorbereitung für den Betoniervorgang

Vor dem Anschluss der Rohr-Einheiten bleibt ein Teil der schon verlegten Rohr-Einheit nicht betoniert. Sie soll von Spritzern, Festbeton, Rost und anderen Verunreinigungen gereinigt werden. Die Rohre werden durch Rippen gegen Auftrieb befestigt. Diese Rippen liegen so im Spritzbeton, dass ein lokales Quetschen oder Anheben des Rohres durch den ausgefüllten Beton verhindert wird. Die Fuge zwischen zwei betonierten Rohr-Einheiten wird so lange gereinigt, bis die Oberfläche sauber ist. Die Felsoberfläche, die Fuge und die äußere Oberfläche der Rohre werden mit Wasser-Luftstrahl unter Druck gereinigt. Die Stirnschalung für die Fuge zwischen zwei betonierten Abschnitten wird senkrecht zur Achse des Ausbruchs montiert.

9.3.2.2 Betoniervorgang

Der Betoniervorgang erfolgt in Abschnitten mit einer Länge von 18 m. Der Beton wird nach der Prüfung der letzten Naht eingefüllt. Wenn die Felsüberdeckung über den unterirdischen Ausbruch nicht mehr als 100 m ist, kann der Beton darin mit senkrechten Rohren von der Oberfläche eingefüllt werden. Die Erfahrung zeigt, dass bei der Anwendung von Rohren mit Längen bis zu 100 m der Beton nicht entmischt wird. Zu diesem Zweck werden Stahlrohre mit einem Durchmesser von 150-500 mm verwendet, die mit einem Schieber an der Unterseite ausgestattet sind. Sie werden in Bohrlöchern aufgebracht, die

¹ Vgl. Georgiev 1974, S.966

von der Bodenoberfläche zum Ausbruch in Abständen von ca. 200 m gebohrt sind. Der Beton wird im Stollen in Betonpumpe übergeben, die den Beton in die Schalung pumpt.¹

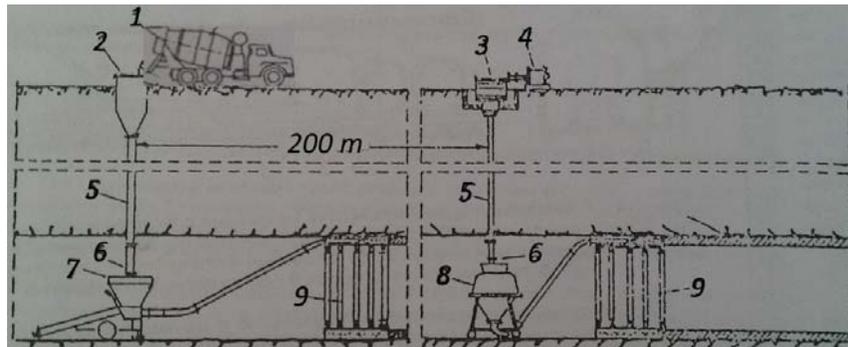


Abb. 25 Betonierung durch Abgabe der Betonmischung von der Oberfläche; 1 – Betonlieferwagen; 2 – Trichter; 3 – Schnecke; 4 – Motor; 5 – Betonleitung; 6 – Schieber; 7 – Kolbenbetonpumpe; 8 – pneumatische Betonpumpe; 9 – Schalungseinheit²

In diesem Fall wird die Betonpumpe an der Unterseite des Wasserturms angeordnet. Die Betonmischung wird aus dem Betonlieferwagen in einen Trichter gegossen, der mit der an der Wand des Turms befestigten Betonleitung verbunden ist. Der Rüssel der Betonpumpe ist in die Firste des Stollens durch Rollen frei gehängt. Das Ende des Rüssels muss 2 m in einen Betonierabschnitt eingetaucht sein und danach vorsichtig gezogen werden, sodass die Firste unter Druck steht.

9.4 Injektionsarbeiten

9.4.1 Auffüllinjektionen

Gegebenenfalls verbliebene Hohlräume zwischen dem Felsen und der Auskleidung sind vom statischem Gesichtspunkt ungünstig. Diese Bedingung, die zu Rissen der unterirdischen Struktur führen kann, wird durch Auffüllen der Hohlräume und Schaffung eines festen Kontakts zwischen der Auskleidung und dem Felsen vermieden. Diese Aufgabe übernimmt die Auffüllinjektion, die unmittelbar nach der Erreichung der ausreichenden Festigkeit vom Beton durchgeführt wird, damit der Beton dem Gebirgsdruck und dem Einspritzdruck standhalten kann.

Die Injektionslösung wird durch zusätzliche Löcher eingespritzt, die mit einer Luftpistole mit Wasser gebohrt sind. Die Bohrtiefe wird 15 cm in den Fels erweitert. Das Einspritzen wird in Etappen und Abschnitten mit fertiger Auskleidung mit Längen von 10-20 m durchgeführt. Der Löcherabstand im Querschnitt liegt bei 2 - 4 m, zwischen den verschiedenen Querschnitten bei 3 - 5 m. Zuerst werden die Hauptlöcher gebohrt, dann

¹ Vgl. Georgiev 2004, S.305-306.

² Vgl. ebenda, S. 306.

werden Kontrolllöcher zwischen ihnen nach der Verbindung und Erhärtung der Lösung gemacht. Wenn die Wasseraufnahme in den Kontrollöchern unter dem zulässigen Wert liegt, war die Injektion erfolgreich. Andernfalls wird das Kontrollloch in ein Produktionsloch verwandelt. In das Produktionsloch wird Lösung eingespritzt, bis es nichts mehr aufnehmen kann. Nach der Verbindung der Injektionslösung zwischen dem Produktionsloch und Hauptloch wird ein neues Kontrollloch gebohrt, mit dem auf gleichen Weise wie zuvor verfahren wird. ¹

Je nach Größe der Hohlräume wird Zementmörtel oder Zementsandmörtel in Verhältnis von 1:1 bis 1:3 verwendet. Die Korngröße der Sandkörner soll 3 mm nicht übersteigen. Die Injektion in Querrichtung wird ausgehend von der untersten Bohrung durchgeführt, bis die Mischung aus einem benachbarten Bohrloch austritt. Dann wird auf eine gegenüberliegende Bohrung übertragen, und so bis die letzte Bohrung in die Firste. ²

9.4.2 Hohlrauminjektionen

Bei gepanzerter Auskleidung zwischen dem Stahlrohr und dem Beton um das Rohr entsteht nach einiger Zeit ein Hohlraum als Folge des Schwindens, Kriechens und der plastischen Verformung des Betons und der Abkühlung des Stahls. Dies wirkt sich sehr negativ auf die Panzerung aus, sodass diese Hohlräume gefüllt werden sollen. Zu diesem Zweck wird Zementmörtel zwischen der Stahlpanzerung und dem Beton eingespritzt, der die Spalte auffüllt. Für diese Injektionsarbeit wird Zementmörtel von gewöhnlichem Zement oder Quellzement verwendet.

Der Zementmörtel wird gleichzeitig in Öffnungen in der Stahlpanzerung eingespritzt. Diese Öffnungen sind mit gelochten Metallrohren, die an der Außenoberfläche der Panzerung in der Richtung der Wasserbewegung in dem horizontalen und vertikalen Durchmesser vor der Montage befestigt sind, ausgestattet. Um die Injektionsrohre vom Eintritt des Betons bei dem Betoniervorgang zu schützen, wird auf die Perforation ein dünner Gummischlauch gezogen. Beim Einspritzen der Injektionslösung platzt dieser durch den aufgebrachten Druck. Das Auffüllen des Hohlraums ist relativ gleichmäßig von unten nach oben und gleichzeitig wird das Stahlrohr angespannt. Der Injektionsdruck soll kleiner als der kritische Druck für das Beulen des Rohres sein. ³

¹ Vgl. Georgiev 2004, S. 332-333.

² Vgl. ebenda, S. 333.

³ Vgl. ebenda, S. 337-338.

9.4.3 Korrosionsschutz

Der Korrosionsschutz der Panzerung ist von großer Bedeutung für den Betrieb der unterirdischen Anlagen. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, um die Stahlpanzerung vor den schädlichen Auswirkungen der Korrosion zu schützen (Mehrlagenbeschichtung von Minium, Ölfarbe, Asphaltmischgut, synthetische Harze und andere). Jede Beschichtung wird in unterschiedlicher Weise auf die Oberfläche des Rohres nach Fertigstellung der Anlage aufgebracht. Diese Arbeit ist zeitaufwendig und komplex, daher wird sie von spezialisierten Unternehmen durchgeführt.

Die Korrosionsschutzschicht besteht gewöhnlicherweise aus einem zweikomponentigen, lösungsmittelfreien Epoxid-Polyamin-Anstrich mit hervorragenden rostbeständigen Eigenschaften.

Die Bindemittel beinhalten Hilfsstoffe, die eine exzellente Haftung des Anstrichs auf dem Untergrund sicherstellen. Die Pigmente bestehen aus speziell entwickelten abriebfesten Füllstoffen und Farbstoffen. Hochmolekulare Elastifizierungsmittel sind zugesetzt, um ausreichende Elastizität zu bewirken. Die daraus resultierende Zusammensetzung kombiniert exzellente Haftung, hohe Abriebfestigkeit und Schlagbeständigkeit und ist gleichzeitig wasserbeständig. ¹

Die Basis oder A-Komponente beinhaltet:

- nicht-kristallisierende, lösungsmittelfreie Epoxid-Harze
- Hilfsstoffe und Elastifizierungsmittel
- lamellare, abriebfeste und schlagbeständige Füllstoffe und Farbpigmente ²

Die Komponente B beinhaltet den Polyamin-Härter-Komplex. ³



Abb. 26 Aufbringen einer Korrosionsschutzschicht auf die Panzerung ⁴

¹ Vgl. Corro Tec Korrosionsschutz Vertriebsges m.b.H. 2012.

² Vgl. Corro Tec Korrosionsschutz Vertriebsges m.b.H. 2012.

³ Vgl. ebenda.

⁴ www.corrotec.at/projekt_Wehr.htm.

10 Umweltschutzmaßnahmen

Nach der ISO 14001:2004 wird ein Umweltschutzbauleiter ernannt, der die Maßnahmen zur Reduktion der negativen Auswirkungen auf die Umwelt und die Bevölkerung zu beaufsichtigen hat. Die ISO 14001:2004 ist ein System, das über alle Aspekte der Minimierung der Auswirkungen des Baus auf die Umwelt verfügt. Diese Aspekte werden in einige wichtige Bereiche unterteilt:

- Minimierung der Auswirkungen von Baumaschinen auf die Umwelt und die Menschen;
- Behandlung von Abfällen;
- Steinbruch und Quellen von Materialien;
- Optimierung der Transportwege;

Die Maßnahmen, die für die Abminderung der Auswirkungen auf die Umwelt während der Bauzeit erfüllt wurden, sind im Einklang mit den Normen der Umweltwirkung und umfassen:

➤ Schutzmaßnahmen für die Luft

- An trockenen Tagen muss eine regelmäßige Reinigung und ein Anfeuchten der Transportwege und der offenen Baustellen unternommen werden;
- Transport von staubigen Materialien ohne Zerstäubung (mit Bedeckungen) darf nur in Abstimmung mit der Stadtverwaltung erfolgen.

Auf der Baustelle gibt es Bedingungen für Luftverschmutzung mit Abgasen aufgrund der Dieselaggregate und der Transportgeräte. Um die schädlichen Emissionen zu verringern, sollen nur neuwertige Transportgeräte benutzen werden, die den Normen für die erlaubten Emissionen entsprechen. Die Arbeit im Leerlauf soll möglichst vermieden und reduziert werden.

➤ Schutzmaßnahmen für das Wasser

- In dem Baugeneralplan werden Plätze für die Arbeiter und Plätze für die Ladung der Baumaschinen mit Treib- und Schmierstoffe vorgesehen. Die Plätze müssen mit einer dichten, undurchlässigen, erdölbeständigen Schicht bedeckt sein. Ihre Aufgabe ist es den Ablauf der versehentlich verschütteten Flüssigkeit außerhalb der Baustelle zu verhindern. Die Baustelle muss sauber

sein und ausgestattet mit Mitteln zur Reinigung von Ölpest: Sorbens, Holzharke, Behälter für mit Öl verschmutztes Sorbens.

- Die Lagerung von Ölprodukten sowie Reparatur- und Instandhaltungsarbeiten (zB Ölwechsel) der Baumaschinen außerhalb der entsprechenden Plätze der Baustelle sind verboten;
- Eine regelmäßige Reinigung der Baustellen ist vorgesehen.

➤ Schutzmaßnahmen für den Boden, die Geologie und die Landschaft

- Die Humusschicht muss nach den Anforderungen der Verordnung №26 erhalten werden;
- Vermeidung von Verdichtung der oberen vegetativen Schichten. Pflügen des ausgetretenen Bodens nach dem Abschluss der Bauarbeiten;
- Die überschüssige Erde soll wenn möglich für die Landschaftsgestaltung der Gemeindeobjekte in der Nähe der Stelle in Absprache mit den lokalen Behörden verwendet werden;
- Die Baustellen müssen in einem geordneten Zustand in Zeiten der Unterbrechung der Bauarbeit hinterlassen werden;
- Es dürfen nur geregelte Steinbrüche für Baustoffe (Sand, Kies, etc.) verwendet werden;
- Rekultivierung der betroffenen Bauflächen nach Abschluss der Bauarbeiten.

➤ Schutzmaßnahmen für die Abfälle

Die Bauabfälle werden auf geregelte Deponien transportiert. Ein Teil der Erdmasse wird verwendet, um Aufschüttungs- und Planungsarbeiten durchzuführen. Die überschüssige Erdmasse von den Ausbrucharbeiten wird in Deponien entsorgt. Es wird die Möglichkeit der Verwertung dieser Erdmassen untersucht. Der Transport der überschüssigen Erdmassen und Bauabfälle wird mit LKW mit einer Bedeckung durchgeführt. Bei Gefahr von Staubbelastung werden die Abfälle bewässert.

Die gemischten Abfälle (Hausmüll) von den Arbeitern auf der Baustelle werden in geschlossenen Metallbehältern gesammelt und regelmäßig zur Deponie transportiert, die im Voraus vom Auftraggeber bestimmt wird.

Während der Bauphase werden auch andere Abfälle (wie Eisen, Stahl und Schweißabfälle) erzeugt.

Diesbezüglich werden die Schutzmaßnahmen für Verringerung der schädlichen Auswirkungen von Abfällen auf:

- Entsorgung der Bauabfälle nur auf Deponien, die in Abstimmung mit den lokalen Behörden geregelt sind;
- Sammlung und umweltgerechte Behandlung von Hausmüll;

beschränkt.

➤ Schutzmaßnahmen für die Biosphäre, Schutzgebiete und die menschliche Gesundheit:

- Verbot der Baumaschinen und der Verkehrsmittel durch besiedelte Gebiete zu fahren;
- Ausführung bestimmter Arbeiten außerhalb der Baustelle (zB. Betonherstellung, Vorbereitung der Bewehrung, etc.);
- Isolierung der Baustellen von unerlaubtem Zugriff;
- Einhaltung der Umweltschutzvorschriften und den zuständigen Behörden und Erhalt der erforderlichen Genehmigungen.

Um die Durchführung der oben genannten Schutzmaßnahmen zu gewährleisten, wird ein ökologischer Berater bestellt. Zusätzlich müssen alle Arbeiter einen speziellen Kurs hinsichtlich umweltfreundliche Bauweise besuchen.

11 Anhang

11.1 Ergebnisse des HIUD-Programms, die bei der Bestimmung der maximalen Erhöhung des Drucks im gepanzerten Druckstollen erhalten sind

EINGANGSDATEN

ANZAHL DER BERECHNUNGSPUNKTEN	:	21
ANZAHL DER ZEITSCHRITTE	:	5
RANDBEDINGUNG AM ANFANG	:	5
RANDBEDINGUNG AM ENDE	:	3
LÄNGE	=	420.86m
DURCHMESSER	=	4.500m
FORTPFLANZUNGSGESCHWINDIGKEIT DER STOßWELLE	=	1156.21m/s
RAUHIGKEITSBEIWERT	=	0.012
Q ₀	=	68.000m ³ /s
H ANFANG	=	188.77m
H ENDE	=	186.24m
Z PUMPE	=	0.00m
T ENDE	=	12.s

TURBINE AM ENDE DES DRUCKSTOLLENS

SCHLIEßGESETZ

ZEIT, s	STUNDE
0.	1.000
10.	0.000
12.	0.000

ERGEBNISSE BEI T = 0.091s

ALFA = 1.000

H, m									
188.77	188.64	188.52	188.39	188.26	188.14	188.01	187.88	187.76	187.63
187.50	187.38	187.25	187.13	187.00	186.87	187.17	187.46	187.76	188.06
188.36									
V, m/s									
4.279	4.279	4.279	4.279	4.279	4.279	4.279	4.279	4.279	4.279
4.279	4.279	4.279	4.279	4.279	4.279	4.275	4.272	4.268	4.265
4.261									
Q, m ³ /s									
68.053	68.053	68.053	68.053	68.053	68.053	68.053	68.053	68.053	68.053
68.053	68.053	68.053	68.053	68.053	68.053	67.997	67.940	67.883	67.825
67.768									

ERGEBNISSE BEI T = 0.182s

ALFA = 1.000

H, m									
188.77	188.64	188.52	188.39	188.26	188.14	188.01	187.88	187.76	187.63
187.51	187.80	188.09	188.39	188.69	188.99	189.29	189.59	189.89	190.20
190.50									
V, m/s									
4.282	4.282	4.282	4.282	4.282	4.282	4.282	4.282	4.282	4.282
4.282	4.279	4.275	4.272	4.268	4.264	4.261	4.257	4.253	4.250
4.246									
Q, m ³ /s									
68.107	68.107	68.107	68.107	68.107	68.107	68.107	68.107	68.107	68.107
68.107	68.050	67.993	67.936	67.879	67.821	67.764	67.706	67.648	67.590
67.532									

ERGEBNISSE BEI T = 0.273s

ALFA = 1.000

H, m									
188.77	188.64	188.52	188.39	188.26	188.14	188.43	188.73	189.02	189.32
189.62	189.92	190.22	190.52	190.83	191.13	191.44	191.75	192.06	192.37
192.68									
V, m/s									
4.286	4.286	4.286	4.286	4.286	4.286	4.282	4.278	4.275	4.271

Q, m ³ /s
66.100 66.099 66.099 66.098 66.097 66.095 66.093 66.091 66.089 66.086
66.082 66.079 66.075 66.071 66.066 66.061 66.056 66.050 66.044 66.038
66.031

ERGEBNISSE BEI T = 0.819s

ALFA = 1.000

H, m
188.77 189.54 190.32 191.09 191.87 192.64 193.42 194.19 194.97 195.74
196.52 197.29 198.07 198.84 199.62 200.39 201.21 202.02 202.83 203.64
204.45

V, m/s
4.122 4.122 4.122 4.121 4.121 4.121 4.121 4.121 4.121 4.121
4.121 4.120 4.120 4.120 4.119 4.119 4.118 4.118 4.117 4.116
4.116

Q, m ³ /s
65.551 65.551 65.551 65.550 65.549 65.547 65.545 65.543 65.540 65.537
65.534 65.530 65.526 65.522 65.517 65.512 65.502 65.491 65.480 65.469
65.458

ERGEBNISSE BEI T = 0.910s

ALFA = 1.000

H, m
188.77 189.56 190.34 191.13 191.92 192.71 193.50 194.28 195.07 195.86
196.65 197.47 198.30 199.12 199.94 200.76 201.59 202.41 203.22 204.04
204.86

V, m/s
4.087 4.087 4.087 4.087 4.086 4.086 4.086 4.086 4.086 4.086
4.086 4.085 4.084 4.084 4.083 4.083 4.082 4.081 4.081 4.080
4.079

Q, m ³ /s
64.995 64.995 64.994 64.993 64.992 64.990 64.989 64.986 64.984 64.981
64.977 64.968 64.960 64.950 64.941 64.931 64.921 64.911 64.901 64.891
64.880

ERGEBNISSE BEI T = 1.001s

ALFA = 1.000

H, m
188.77 189.57 190.37 191.17 191.97 192.77 193.61 194.45 195.29 196.12
196.95 197.79 198.62 199.45 200.28 201.11 201.94 202.77 203.60 204.42
205.25

V, m/s
4.051 4.051 4.051 4.051 4.051 4.051 4.050 4.050 4.049 4.049
4.048 4.048 4.047 4.047 4.046 4.046 4.045 4.045 4.044 4.043
4.043

Q, m ³ /s
64.430 64.430 64.429 64.429 64.427 64.426 64.419 64.411 64.404 64.396
64.388 64.380 64.372 64.363 64.354 64.345 64.336 64.327 64.317 64.307
64.297

ERGEBNISSE BEI T = 1.092s

ALFA = 1.000

H, m
188.77 189.62 190.47 191.32 192.17 193.02 193.86 194.71 195.55 196.40
197.24 198.08 198.92 199.76 200.60 201.44 202.28 203.11 203.95 204.78
205.62

V, m/s
4.015 4.015 4.014 4.014 4.014 4.013 4.013 4.012 4.012 4.012
4.011 4.011 4.010 4.010 4.009 4.009 4.008 4.008 4.007 4.006
4.006

Q, m ³ /s
63.857 63.852 63.846 63.841 63.835 63.829 63.822 63.816 63.809 63.802
63.794 63.787 63.779 63.771 63.763 63.755 63.746 63.737 63.728 63.719
63.709

ERGEBNISSE BEI T = 1.183s

ALFA = 1.000

H, m
188.77 189.66 190.56 191.45 192.34 193.24 194.09 194.95 195.80 196.65
197.50 198.35 199.20 200.05 200.90 201.74 202.59 203.43 204.28 205.12
205.96

V, m/s
3.975 3.975 3.975 3.975 3.975 3.975 3.975 3.975 3.974 3.974
3.973 3.973 3.973 3.972 3.972 3.971 3.971 3.970 3.970 3.969
3.969

Q, m ³ /s
63.227 63.227 63.227 63.227 63.227 63.226 63.221 63.215 63.208 63.202

63.195 63.189 63.181 63.174 63.167 63.159 63.151 63.143 63.134 63.126
63.117

ERGEBNISSE BEI T = 1.274s

ALFA = 1.000

H,m
188.77 189.67 190.56 191.46 192.36 193.26 194.15 195.05 195.95 196.84
197.74 198.60 199.46 200.31 201.17 202.02 202.87 203.73 204.58 205.43
206.28
V,m/s
3.936 3.936 3.936 3.936 3.936 3.936 3.936 3.936 3.936 3.936
3.935 3.935 3.935 3.934 3.934 3.933 3.933 3.932 3.932 3.931
3.931
Q,m3/s
62.596 62.596 62.596 62.596 62.595 62.595 62.594 62.594 62.593 62.592
62.591 62.585 62.579 62.572 62.565 62.558 62.551 62.543 62.536 62.528
62.520

ERGEBNISSE BEI T = 1.365s

ALFA = 1.000

H,m
188.77 189.67 190.57 191.47 192.37 193.27 194.17 195.07 195.97 196.87
197.77 198.67 199.57 200.47 201.37 202.27 203.14 204.00 204.85 205.71
206.57
V,m/s
3.896 3.896 3.896 3.896 3.896 3.896 3.896 3.896 3.896 3.896
3.896 3.896 3.896 3.895 3.895 3.895 3.895 3.894 3.894 3.894
3.893
Q,m3/s
61.963 61.963 61.963 61.962 61.962 61.962 61.961 61.961 61.960 61.959
61.958 61.957 61.956 61.955 61.954 61.953 61.946 61.939 61.932 61.925
61.918

ERGEBNISSE BEI T = 1.456s

ALFA = 1.000

H,m
188.77 189.67 190.58 191.48 192.38 193.29 194.19 195.10 196.00 196.90
197.81 198.71 199.61 200.52 201.42 202.32 203.23 204.13 205.03 205.93
206.84
V,m/s
3.856 3.856 3.856 3.856 3.856 3.856 3.856 3.856 3.856 3.856
3.856 3.856 3.856 3.856 3.856 3.855 3.855 3.855 3.855 3.855
3.855
Q,m3/s
61.328 61.328 61.328 61.327 61.327 61.327 61.326 61.326 61.325 61.324
61.323 61.323 61.322 61.320 61.319 61.318 61.317 61.315 61.314 61.312
61.310

ERGEBNISSE BEI T = 1.547s

ALFA = 1.000

H,m
188.77 189.68 190.58 191.49 192.40 193.30 194.21 195.12 196.02 196.93
197.84 198.74 199.65 200.56 201.46 202.37 203.28 204.19 205.09 206.00
206.91
V,m/s
3.816 3.816 3.816 3.816 3.816 3.816 3.816 3.816 3.816 3.816
3.816 3.816 3.816 3.816 3.816 3.815 3.815 3.815 3.815 3.815
3.815
Q,m3/s
60.691 60.691 60.691 60.691 60.691 60.690 60.690 60.689 60.689 60.688
60.687 60.686 60.685 60.684 60.683 60.682 60.680 60.679 60.677 60.676
60.674

ERGEBNISSE BEI T = 1.638s

ALFA = 1.000

H,m
188.77 189.68 190.59 191.50 192.41 193.32 194.23 195.14 196.05 196.96
197.87 198.78 199.69 200.60 201.51 202.42 203.33 204.24 205.15 206.06
206.97
V,m/s
3.776 3.776 3.776 3.776 3.776 3.776 3.776 3.776 3.776 3.776
3.776 3.776 3.776 3.775 3.775 3.775 3.775 3.775 3.775 3.775
3.775
Q,m3/s
60.053 60.053 60.053 60.053 60.052 60.052 60.052 60.051 60.051 60.050
60.049 60.048 60.047 60.046 60.045 60.043 60.042 60.041 60.039 60.038
60.036

ERGEBNISSE BEI T = 1.729s										
ALFA = 1.000										
H,m										
188.77	189.68	190.60	191.51	192.42	193.33	194.25	195.16	196.08	196.99	
197.90	198.82	199.73	200.64	201.56	202.47	203.38	204.29	205.20	206.12	
207.03										
V,m/s										
3.736	3.736	3.736	3.736	3.736	3.736	3.736	3.736	3.735	3.735	
3.735	3.735	3.735	3.735	3.735	3.735	3.735	3.735	3.735	3.735	
3.735										
Q,m3/s										
59.413	59.413	59.413	59.413	59.413	59.413	59.412	59.411	59.411	59.410	
59.409	59.408	59.407	59.406	59.405	59.404	59.402	59.401	59.400	59.398	
59.397										

ERGEBNISSE BEI T = 1.820s										
ALFA = 1.000										
H,m										
188.77	189.69	190.60	191.52	192.44	193.35	194.27	195.19	196.10	197.02	
197.93	198.85	199.76	200.68	201.59	202.51	203.42	204.34	205.25	206.17	
207.08										
V,m/s										
3.695	3.695	3.695	3.695	3.695	3.695	3.695	3.695	3.695	3.695	
3.695	3.695	3.695	3.695	3.695	3.695	3.695	3.695	3.695	3.694	
3.694										
Q,m3/s										
58.773	58.772	58.772	58.772	58.771	58.771	58.770	58.770	58.769	58.768	
58.768	58.767	58.766	58.765	58.764	58.763	58.762	58.761	58.760	58.758	
58.757										

ERGEBNISSE BEI T = 1.911s										
ALFA = 1.000										
H,m										
188.77	189.69	190.61	191.53	192.45	193.37	194.29	195.21	196.12	197.04	
197.96	198.88	199.79	200.71	201.63	202.55	203.46	204.38	205.29	206.21	
207.13										
V,m/s										
3.655	3.655	3.655	3.655	3.655	3.655	3.655	3.655	3.655	3.655	
3.655	3.655	3.655	3.655	3.655	3.654	3.654	3.654	3.654	3.654	
3.654										
Q,m3/s										
58.129	58.129	58.129	58.128	58.128	58.128	58.128	58.127	58.127	58.126	
58.126	58.125	58.124	58.123	58.123	58.122	58.121	58.120	58.119	58.118	
58.116										

ERGEBNISSE BEI T = 2.002s										
ALFA = 1.000										
H,m										
188.77	189.69	190.61	191.53	192.45	193.38	194.30	195.22	196.14	197.06	
197.98	198.90	199.82	200.74	201.66	202.58	203.50	204.41	205.33	206.25	
207.17										
V,m/s										
3.614	3.614	3.614	3.614	3.614	3.614	3.614	3.614	3.614	3.614	
3.614	3.614	3.614	3.614	3.614	3.614	3.614	3.614	3.614	3.614	
3.614										
Q,m3/s										
57.484	57.484	57.484	57.484	57.484	57.484	57.484	57.484	57.483	57.483	
57.483	57.482	57.482	57.481	57.480	57.479	57.479	57.478	57.477	57.476	
57.475										

ERGEBNISSE BEI T = 2.093s										
ALFA = 1.000										
H,m										
188.77	189.69	190.61	191.54	192.46	193.38	194.30	195.23	196.15	197.07	
197.99	198.92	199.84	200.76	201.68	202.60	203.52	204.45	205.36	206.28	
207.20										
V,m/s										
3.574	3.574	3.574	3.574	3.574	3.574	3.574	3.574	3.574	3.574	
3.574	3.574	3.574	3.574	3.574	3.574	3.574	3.574	3.573	3.573	
3.573										
Q,m3/s										
56.840	56.840	56.840	56.840	56.839	56.839	56.839	56.839	56.839	56.839	
56.838	56.838	56.838	56.837	56.837	56.836	56.836	56.835	56.834	56.833	
56.832										

ERGEBNISSE BEI T = 2.184s										
ALFA = 1.000										

H,m									
188.77	189.69	190.62	191.54	192.46	193.39	194.31	195.23	196.16	197.08
198.00	198.93	199.85	200.77	201.70	202.62	203.54	204.47	205.39	206.31
207.24									
V,m/s									
3.533	3.533	3.533	3.533	3.533	3.533	3.533	3.533	3.533	3.533
3.533	3.533	3.533	3.533	3.533	3.533	3.533	3.533	3.533	3.533
3.533									
Q,m ³ /s									
56.195	56.195	56.195	56.195	56.195	56.195	56.194	56.194	56.194	56.194
56.193	56.193	56.193	56.192	56.192	56.192	56.191	56.191	56.190	56.190
56.189									

ERGEBNISSE BEI T = 2.275s

ALFA = 1.000

H,m									
188.77	189.69	190.62	191.54	192.47	193.39	194.32	195.24	196.17	197.09
198.01	198.94	199.86	200.79	201.71	202.64	203.56	204.48	205.41	206.33
207.26									
V,m/s									
3.493	3.493	3.493	3.493	3.493	3.493	3.493	3.493	3.493	3.493
3.493	3.493	3.493	3.493	3.493	3.493	3.493	3.492	3.492	3.492
3.492									
Q,m ³ /s									
55.550	55.550	55.550	55.550	55.550	55.550	55.549	55.549	55.549	55.549
55.549	55.548	55.548	55.548	55.547	55.547	55.546	55.546	55.545	55.545
55.544									

ERGEBNISSE BEI T = 2.366s

ALFA = 1.000

H,m									
188.77	189.70	190.62	191.55	192.47	193.40	194.32	195.25	196.17	197.10
198.02	198.95	199.88	200.80	201.73	202.65	203.58	204.50	205.43	206.35
207.28									
V,m/s									
3.452	3.452	3.452	3.452	3.452	3.452	3.452	3.452	3.452	3.452
3.452	3.452	3.452	3.452	3.452	3.452	3.452	3.452	3.452	3.452
3.452									
Q,m ³ /s									
54.905	54.905	54.905	54.905	54.904	54.904	54.904	54.904	54.904	54.904
54.903	54.903	54.903	54.902	54.902	54.902	54.901	54.901	54.900	54.900
54.899									

ERGEBNISSE BEI T = 2.457s

ALFA = 1.000

H,m									
188.77	189.70	190.62	191.55	192.48	193.40	194.33	195.25	196.18	197.11
198.03	198.96	199.89	200.81	201.74	202.67	203.59	204.52	205.44	206.37
207.30									
V,m/s									
3.412	3.412	3.412	3.412	3.412	3.412	3.412	3.412	3.412	3.412
3.412	3.412	3.411	3.411	3.411	3.411	3.411	3.411	3.411	3.411
3.411									
Q,m ³ /s									
54.259	54.259	54.259	54.259	54.259	54.259	54.259	54.259	54.258	54.258
54.258	54.258	54.257	54.257	54.257	54.256	54.256	54.256	54.255	54.255
54.254									

ERGEBNISSE BEI T = 2.548s

ALFA = 1.000

H,m									
188.77	189.70	190.62	191.55	192.48	193.41	194.33	195.26	196.19	197.12
198.04	198.97	199.90	200.82	201.75	202.68	203.61	204.53	205.46	206.39
207.31									
V,m/s									
3.371	3.371	3.371	3.371	3.371	3.371	3.371	3.371	3.371	3.371
3.371	3.371	3.371	3.371	3.371	3.371	3.371	3.371	3.371	3.371
3.371									
Q,m ³ /s									
53.614	53.614	53.614	53.614	53.614	53.613	53.613	53.613	53.613	53.613
53.613	53.612	53.612	53.612	53.611	53.611	53.611	53.610	53.610	53.609
53.609									

ERGEBNISSE BEI T = 2.639s

ALFA = 1.000

H,m									
188.77	189.70	190.63	191.55	192.48	193.41	194.34	195.27	196.20	197.12

V,m/s									
3.127	3.127	3.127	3.127	3.127	3.127	3.127	3.127	3.127	3.127
3.127	3.127	3.127	3.127	3.127	3.127	3.127	3.127	3.127	3.127
3.127									
Q,m3/s									
49.739	49.739	49.739	49.739	49.739	49.738	49.738	49.738	49.738	49.738
49.738	49.737	49.737	49.737	49.737	49.736	49.736	49.736	49.735	49.735
49.735									

ERGNISSE BEI T = 3.185s

ALFA = 1.000

H,m									
188.77	189.70	190.64	191.57	192.50	193.43	194.37	195.30	196.23	197.17
198.10	199.03	199.96	200.90	201.83	202.76	203.70	204.63	205.56	206.49
207.43									

V,m/s									
3.087	3.087	3.087	3.087	3.087	3.087	3.087	3.087	3.087	3.087
3.087	3.087	3.087	3.087	3.087	3.087	3.087	3.087	3.087	3.087
3.086									

Q,m3/s									
49.093	49.093	49.093	49.093	49.092	49.092	49.092	49.092	49.092	49.092
49.092	49.091	49.091	49.091	49.091	49.090	49.090	49.090	49.089	49.089
49.089									

ERGNISSE BEI T = 3.276s

ALFA = 1.000

H,m									
188.77	189.70	190.64	191.57	192.50	193.44	194.37	195.31	196.24	197.17
198.11	199.04	199.97	200.91	201.84	202.77	203.71	204.64	205.58	206.51
207.44									

V,m/s									
3.046	3.046	3.046	3.046	3.046	3.046	3.046	3.046	3.046	3.046
3.046	3.046	3.046	3.046	3.046	3.046	3.046	3.046	3.046	3.046
3.046									

Q,m3/s									
48.446	48.446	48.446	48.446	48.446	48.446	48.446	48.446	48.446	48.446
48.445	48.445	48.445	48.445	48.444	48.444	48.444	48.444	48.443	48.443
48.442									

ERGNISSE BEI T = 3.367s

ALFA = 1.000

H,m									
188.77	189.70	190.64	191.57	192.51	193.44	194.38	195.31	196.25	197.18
198.11	199.05	199.98	200.92	201.85	202.79	203.72	204.65	205.59	206.52
207.46									

V,m/s									
3.005	3.005	3.005	3.005	3.005	3.005	3.005	3.005	3.005	3.005
3.005	3.005	3.005	3.005	3.005	3.005	3.005	3.005	3.005	3.005
3.005									

Q,m3/s									
47.800	47.800	47.800	47.800	47.800	47.800	47.800	47.800	47.800	47.799
47.799	47.799	47.799	47.799	47.798	47.798	47.798	47.797	47.797	47.797
47.796									

ERGNISSE BEI T = 3.458s

ALFA = 1.000

H,m									
188.77	189.71	190.64	191.58	192.51	193.45	194.38	195.32	196.25	197.19
198.12	199.06	199.99	200.93	201.86	202.80	203.73	204.67	205.60	206.54
207.47									

V,m/s									
2.965	2.965	2.965	2.965	2.965	2.965	2.965	2.965	2.965	2.965
2.965	2.965	2.965	2.965	2.965	2.965	2.965	2.965	2.965	2.965
2.965									

Q,m3/s									
47.154	47.154	47.154	47.154	47.154	47.154	47.154	47.153	47.153	47.153
47.153	47.153	47.152	47.152	47.152	47.152	47.151	47.151	47.151	47.150
47.150									

ERGNISSE BEI T = 3.549s

ALFA = 1.000

H,m									
188.77	189.71	190.64	191.58	192.51	193.45	194.39	195.32	196.26	197.19
198.13	199.06	200.00	200.94	201.87	202.81	203.74	204.68	205.61	206.55
207.49									

V,m/s									
-------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

2.517
 Q, m³/s
 40.040 40.040 40.040 40.040 40.040 40.040 40.040 40.040 40.040 40.040
 40.039 40.039 40.039 40.039 40.039 40.038 40.038 40.038 40.038 40.037
 40.037

ERGEBNISSE BEI T = 4.550s

ALFA = 1.000

H, m
 188.77 189.71 190.66 191.60 192.54 193.49 194.43 195.37 196.31 197.26
 198.20 199.14 200.09 201.03 201.97 202.92 203.86 204.80 205.75 206.69
 207.63

V, m/s
 2.477 2.477 2.477 2.477 2.477 2.477 2.477 2.477 2.477 2.477
 2.477 2.477 2.477 2.477 2.477 2.477 2.477 2.477 2.477 2.477
 2.477

Q, m³/s
 39.393 39.393 39.393 39.393 39.393 39.393 39.393 39.393 39.393 39.393
 39.392 39.392 39.392 39.392 39.392 39.391 39.391 39.391 39.391 39.390
 39.390

ERGEBNISSE BEI T = 4.641s

ALFA = 1.000

H, m
 188.77 189.71 190.66 191.60 192.54 193.49 194.43 195.38 196.32 197.26
 198.21 199.15 200.09 201.04 201.98 202.93 203.87 204.81 205.76 206.70
 207.64

V, m/s
 2.436 2.436 2.436 2.436 2.436 2.436 2.436 2.436 2.436 2.436
 2.436 2.436 2.436 2.436 2.436 2.436 2.436 2.436 2.436 2.436
 2.436

Q, m³/s
 38.746 38.746 38.746 38.746 38.746 38.746 38.746 38.746 38.746 38.745
 38.745 38.745 38.745 38.745 38.745 38.744 38.744 38.744 38.743 38.743
 38.743

ERGEBNISSE BEI T = 4.732s

ALFA = 1.000

H, m
 188.77 189.71 190.66 191.60 192.55 193.49 194.44 195.38 196.32 197.27
 198.21 199.16 200.10 201.05 201.99 202.93 203.88 204.82 205.77 206.71
 207.66

V, m/s
 2.396 2.396 2.396 2.395 2.395 2.395 2.395 2.395 2.395 2.395
 2.395 2.395 2.395 2.395 2.395 2.395 2.395 2.395 2.395 2.395
 2.395

Q, m³/s
 38.099 38.099 38.099 38.099 38.099 38.099 38.099 38.099 38.098 38.098
 38.098 38.098 38.098 38.098 38.097 38.097 38.097 38.097 38.096 38.096
 38.096

ERGEBNISSE BEI T = 4.823s

ALFA = 1.000

H, m
 188.77 189.71 190.66 191.60 192.55 193.49 194.44 195.38 196.33 197.27
 198.22 199.16 200.11 201.05 202.00 202.94 203.89 204.83 205.78 206.72
 207.67

V, m/s
 2.355 2.355 2.355 2.355 2.355 2.355 2.355 2.355 2.355 2.355
 2.355 2.355 2.355 2.355 2.355 2.355 2.355 2.355 2.355 2.355
 2.355

Q, m³/s
 37.452 37.452 37.452 37.452 37.452 37.452 37.451 37.451 37.451 37.451
 37.451 37.451 37.451 37.450 37.450 37.450 37.450 37.449 37.449 37.449
 37.449

ERGEBNISSE BEI T = 4.914s

ALFA = 1.000

H, m
 188.77 189.72 190.66 191.61 192.55 193.50 194.44 195.39 196.33 197.28
 198.22 199.17 200.12 201.06 202.01 202.95 203.90 204.84 205.79 206.73
 207.68

V, m/s
 2.314 2.314 2.314 2.314 2.314 2.314 2.314 2.314 2.314 2.314
 2.314 2.314 2.314 2.314 2.314 2.314 2.314 2.314 2.314 2.314
 2.314

30.328 30.328 30.328 30.328 30.328 30.327 30.327 30.327 30.327 30.327
30.326

ERGEBNISSE BEI T = 5.915s

ALFA = 1.000

H,m
188.77 189.72 190.67 191.62 192.57 193.53 194.48 195.43 196.38 197.33
198.28 199.23 200.18 201.13 202.09 203.04 203.99 204.94 205.89 206.84
207.79
V,m/s
1.866 1.866 1.866 1.866 1.866 1.866 1.866 1.866 1.866 1.866
1.866 1.866 1.866 1.866 1.866 1.866 1.866 1.866 1.866 1.866
1.866
Q,m3/s
29.681 29.681 29.681 29.681 29.681 29.681 29.681 29.681 29.681 29.681
29.680 29.680 29.680 29.680 29.680 29.680 29.679 29.679 29.679 29.679
29.679

ERGEBNISSE BEI T = 6.006s

ALFA = 1.000

H,m
188.77 189.72 190.67 191.62 192.58 193.53 194.48 195.43 196.38 197.33
198.29 199.24 200.19 201.14 202.09 203.04 203.99 204.95 205.90 206.85
207.80
V,m/s
1.825 1.825 1.825 1.825 1.825 1.825 1.825 1.825 1.825 1.825
1.825 1.825 1.825 1.825 1.825 1.825 1.825 1.825 1.825 1.825
1.825
Q,m3/s
29.033 29.033 29.033 29.033 29.033 29.033 29.033 29.033 29.033 29.033
29.033 29.032 29.032 29.032 29.032 29.032 29.032 29.031 29.031 29.031
29.031

ERGEBNISSE BEI T = 6.097s

ALFA = 1.000

H,m
188.77 189.72 190.67 191.63 192.58 193.53 194.48 195.43 196.39 197.34
198.29 199.24 200.19 201.15 202.10 203.05 204.00 204.95 205.91 206.86
207.81
V,m/s
1.785 1.785 1.785 1.785 1.785 1.785 1.785 1.785 1.785 1.785
1.785 1.785 1.785 1.785 1.785 1.785 1.785 1.785 1.785 1.785
1.785
Q,m3/s
28.385 28.385 28.385 28.385 28.385 28.385 28.385 28.385 28.385 28.385
28.385 28.385 28.384 28.384 28.384 28.384 28.384 28.384 28.383 28.383
28.383

ERGEBNISSE BEI T = 6.188s

ALFA = 1.000

H,m
188.77 189.72 190.67 191.63 192.58 193.53 194.48 195.44 196.39 197.34
198.29 199.25 200.20 201.15 202.10 203.06 204.01 204.96 205.91 206.87
207.82
V,m/s
1.744 1.744 1.744 1.744 1.744 1.744 1.744 1.744 1.744 1.744
1.744 1.744 1.744 1.744 1.744 1.744 1.744 1.744 1.744 1.744
1.744
Q,m3/s
27.737 27.737 27.737 27.737 27.737 27.737 27.737 27.737 27.737 27.737
27.737 27.737 27.737 27.736 27.736 27.736 27.736 27.736 27.735 27.735
27.735

ERGEBNISSE BEI T = 6.279s

ALFA = 1.000

H,m
188.77 189.72 190.68 191.63 192.58 193.53 194.49 195.44 196.39 197.35
198.30 199.25 200.20 201.16 202.11 203.06 204.02 204.97 205.92 206.87
207.83
V,m/s
1.703 1.703 1.703 1.703 1.703 1.703 1.703 1.703 1.703 1.703
1.703 1.703 1.703 1.703 1.703 1.703 1.703 1.703 1.703 1.703
1.703
Q,m3/s
27.089 27.089 27.089 27.089 27.089 27.089 27.089 27.089 27.089 27.089
27.089 27.089 27.089 27.088 27.088 27.088 27.088 27.088 27.088 27.087

ERGEBNISSE BEI T = 7.280s

ALFA = 1.000

H,m

188.77	189.73	190.68	191.64	192.60	193.55	194.51	195.47	196.42	197.38
198.34	199.30	200.25	201.21	202.17	203.12	204.08	205.04	205.99	206.95
207.91									

V,m/s

1.255	1.255	1.255	1.255	1.255	1.255	1.255	1.255	1.255	1.255
1.255	1.255	1.255	1.255	1.255	1.255	1.255	1.255	1.255	1.255
1.255									

Q,m3/s

19.959	19.959	19.959	19.959	19.959	19.959	19.959	19.959	19.959	19.959
19.959	19.959	19.959	19.959	19.958	19.958	19.958	19.958	19.958	19.958
19.958									

ERGEBNISSE BEI T = 7.371s

ALFA = 1.000

H,m

188.77	189.73	190.68	191.64	192.60	193.56	194.51	195.47	196.43	197.38
198.34	199.30	200.26	201.21	202.17	203.13	204.08	205.04	206.00	206.96
207.91									

V,m/s

1.214	1.214	1.214	1.214	1.214	1.214	1.214	1.214	1.214	1.214
1.214	1.214	1.214	1.214	1.214	1.214	1.214	1.214	1.214	1.214
1.214									

Q,m3/s

19.311	19.311	19.311	19.311	19.311	19.311	19.311	19.311	19.311	19.311
19.310	19.310	19.310	19.310	19.310	19.310	19.310	19.310	19.310	19.309
19.309									

ERGEBNISSE BEI T = 7.462s

ALFA = 1.000

H,m

188.77	189.73	190.68	191.64	192.60	193.56	194.51	195.47	196.43	197.39
198.34	199.30	200.26	201.22	202.17	203.13	204.09	205.05	206.00	206.96
207.92									

V,m/s

1.173	1.173	1.173	1.173	1.173	1.173	1.173	1.173	1.173	1.173
1.173	1.173	1.173	1.173	1.173	1.173	1.173	1.173	1.173	1.173
1.173									

Q,m3/s

18.662	18.662	18.662	18.662	18.662	18.662	18.662	18.662	18.662	18.662
18.662	18.662	18.662	18.662	18.662	18.662	18.661	18.661	18.661	18.661
18.661									

ERGEBNISSE BEI T = 7.553s

ALFA = 1.000

H,m

188.77	189.73	190.69	191.64	192.60	193.56	194.52	195.47	196.43	197.39
198.35	199.31	200.26	201.22	202.18	203.14	204.09	205.05	206.01	206.97
207.92									

V,m/s

1.133	1.133	1.133	1.133	1.133	1.133	1.133	1.133	1.133	1.133
1.133	1.133	1.133	1.133	1.133	1.133	1.133	1.133	1.133	1.133
1.133									

Q,m3/s

18.014	18.014	18.014	18.014	18.014	18.014	18.014	18.014	18.014	18.014
18.014	18.014	18.014	18.013	18.013	18.013	18.013	18.013	18.013	18.013
18.013									

ERGEBNISSE BEI T = 7.644s

ALFA = 1.000

H,m

188.77	189.73	190.69	191.64	192.60	193.56	194.52	195.48	196.43	197.39
198.35	199.31	200.27	201.22	202.18	203.14	204.10	205.06	206.01	206.97
207.93									

V,m/s

1.092	1.092	1.092	1.092	1.092	1.092	1.092	1.092	1.092	1.092
1.092	1.092	1.092	1.092	1.092	1.092	1.092	1.092	1.092	1.092
1.092									

Q,m3/s

17.366	17.366	17.366	17.366	17.365	17.365	17.365	17.365	17.365	17.365
17.365	17.365	17.365	17.365	17.365	17.365	17.365	17.365	17.364	17.364
17.364									

ERGEBNISSE BEI T = 7.735s

ALFA = 1.000

H,m									
188.77	189.73	190.69	191.64	192.60	193.56	194.52	195.48	196.44	197.39
198.35	199.31	200.27	201.23	202.19	203.14	204.10	205.06	206.02	206.98
207.93									
V,m/s									
1.051	1.051	1.051	1.051	1.051	1.051	1.051	1.051	1.051	1.051
1.051	1.051	1.051	1.051	1.051	1.051	1.051	1.051	1.051	1.051
1.051									
Q,m3/s									
16.717	16.717	16.717	16.717	16.717	16.717	16.717	16.717	16.717	16.717
16.717	16.717	16.717	16.716	16.716	16.716	16.716	16.716	16.716	16.716
16.716									

ERGEBNISSE BEI T = 7.826s

ALFA = 1.000

H,m									
188.77	189.73	190.69	191.65	192.60	193.56	194.52	195.48	196.44	197.40
198.36	199.31	200.27	201.23	202.19	203.15	204.11	205.06	206.02	206.98
207.94									
V,m/s									
1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010
1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010	1.010
1.010									
Q,m3/s									
16.069	16.069	16.069	16.069	16.069	16.068	16.068	16.068	16.068	16.068
16.068	16.068	16.068	16.068	16.068	16.068	16.068	16.068	16.067	16.067
16.067									

ERGEBNISSE BEI T = 7.917s

ALFA = 1.000

H,m									
188.77	189.73	190.69	191.65	192.61	193.56	194.52	195.48	196.44	197.40
198.36	199.32	200.28	201.23	202.19	203.15	204.11	205.07	206.03	206.99
207.94									
V,m/s									
0.970	0.970	0.970	0.970	0.970	0.970	0.970	0.970	0.970	0.970
0.970	0.970	0.970	0.970	0.970	0.970	0.969	0.969	0.969	0.969
0.969									
Q,m3/s									
15.420	15.420	15.420	15.420	15.420	15.420	15.420	15.420	15.420	15.420
15.420	15.420	15.420	15.419	15.419	15.419	15.419	15.419	15.419	15.419
15.419									

ERGEBNISSE BEI T = 8.008s

ALFA = 1.000

H,m									
188.77	189.73	190.69	191.65	192.61	193.57	194.52	195.48	196.44	197.40
198.36	199.32	200.28	201.24	202.20	203.15	204.11	205.07	206.03	206.99
207.95									
V,m/s									
0.929	0.929	0.929	0.929	0.929	0.929	0.929	0.929	0.929	0.929
0.929	0.929	0.929	0.929	0.929	0.929	0.929	0.929	0.929	0.929
0.929									
Q,m3/s									
14.771	14.771	14.771	14.771	14.771	14.771	14.771	14.771	14.771	14.771
14.771	14.771	14.771	14.771	14.771	14.771	14.771	14.771	14.770	14.770
14.770									

ERGEBNISSE BEI T = 8.099s

ALFA = 1.000

H,m									
188.77	189.73	190.69	191.65	192.61	193.57	194.53	195.48	196.44	197.40
198.36	199.32	200.28	201.24	202.20	203.16	204.12	205.08	206.04	206.99
207.95									
V,m/s									
0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888
0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888	0.888
0.888									
Q,m3/s									
14.123	14.123	14.123	14.123	14.123	14.123	14.123	14.123	14.123	14.123
14.123	14.123	14.122	14.122	14.122	14.122	14.122	14.122	14.122	14.122
14.122									

ERGEBNISSE BEI T = 8.190s

ALFA = 1.000

H,m									
188.77	189.73	190.69	191.65	192.61	193.57	194.53	195.49	196.45	197.40
198.36	199.32	200.28	201.24	202.20	203.16	204.12	205.08	206.04	207.00
207.96									
V,m/s									
0.847	0.847	0.847	0.847	0.847	0.847	0.847	0.847	0.847	0.847
0.847	0.847	0.847	0.847	0.847	0.847	0.847	0.847	0.847	0.847
0.847									
Q,m3/s									
13.474	13.474	13.474	13.474	13.474	13.474	13.474	13.474	13.474	13.474
13.474	13.474	13.474	13.474	13.474	13.474	13.474	13.473	13.473	13.473
13.473									

ERGEBNISSE BEI T = 8.281s

ALFA = 1.000

H,m									
188.77	189.73	190.69	191.65	192.61	193.57	194.53	195.49	196.45	197.41
198.37	199.33	200.29	201.25	202.20	203.16	204.12	205.08	206.04	207.00
207.96									
V,m/s									
0.806	0.806	0.806	0.806	0.806	0.806	0.806	0.806	0.806	0.806
0.806	0.806	0.806	0.806	0.806	0.806	0.806	0.806	0.806	0.806
0.806									
Q,m3/s									
12.826	12.826	12.826	12.826	12.826	12.826	12.826	12.826	12.825	12.825
12.825	12.825	12.825	12.825	12.825	12.825	12.825	12.825	12.825	12.825
12.825									

ERGEBNISSE BEI T = 8.372s

ALFA = 1.000

H,m									
188.77	189.73	190.69	191.65	192.61	193.57	194.53	195.49	196.45	197.41
198.37	199.33	200.29	201.25	202.21	203.17	204.13	205.09	206.05	207.01
207.97									
V,m/s									
0.766	0.766	0.766	0.766	0.766	0.766	0.766	0.766	0.766	0.766
0.766	0.766	0.766	0.766	0.766	0.766	0.766	0.766	0.766	0.766
0.766									
Q,m3/s									
12.177	12.177	12.177	12.177	12.177	12.177	12.177	12.177	12.177	12.177
12.177	12.177	12.177	12.177	12.177	12.176	12.176	12.176	12.176	12.176
12.176									

ERGEBNISSE BEI T = 8.463s

ALFA = 1.000

H,m									
188.77	189.73	190.69	191.65	192.61	193.57	194.53	195.49	196.45	197.41
198.37	199.33	200.29	201.25	202.21	203.17	204.13	205.09	206.05	207.01
207.97									
V,m/s									
0.725	0.725	0.725	0.725	0.725	0.725	0.725	0.725	0.725	0.725
0.725	0.725	0.725	0.725	0.725	0.725	0.725	0.725	0.725	0.725
0.725									
Q,m3/s									
11.528	11.528	11.528	11.528	11.528	11.528	11.528	11.528	11.528	11.528
11.528	11.528	11.528	11.528	11.528	11.528	11.528	11.528	11.528	11.527
11.527									

ERGEBNISSE BEI T = 8.554s

ALFA = 1.000

H,m									
188.77	189.73	190.69	191.65	192.61	193.57	194.53	195.49	196.45	197.41
198.37	199.33	200.29	201.25	202.21	203.17	204.13	205.09	206.05	207.01
207.97									
V,m/s									
0.684	0.684	0.684	0.684	0.684	0.684	0.684	0.684	0.684	0.684
0.684	0.684	0.684	0.684	0.684	0.684	0.684	0.684	0.684	0.684
0.684									
Q,m3/s									
10.880	10.880	10.880	10.880	10.880	10.880	10.880	10.880	10.880	10.879
10.879	10.879	10.879	10.879	10.879	10.879	10.879	10.879	10.879	10.879
10.879									

ERGEBNISSE BEI T = 8.645s

ALFA = 1.000

H,m

188.77	189.73	190.69	191.65	192.61	193.57	194.53	195.49	196.45	197.41
198.37	199.33	200.29	201.25	202.21	203.18	204.14	205.10	206.06	207.02
207.98									
V,m/s									
0.643	0.643	0.643	0.643	0.643	0.643	0.643	0.643	0.643	0.643
0.643	0.643	0.643	0.643	0.643	0.643	0.643	0.643	0.643	0.643
0.643									
Q,m3/s									
10.231	10.231	10.231	10.231	10.231	10.231	10.231	10.231	10.231	10.231
10.231	10.231	10.231	10.231	10.231	10.231	10.230	10.230	10.230	10.230
10.230									

ERGEBNISSE BEI T = 8.736s

ALFA = 1.000									
H,m									
188.77	189.73	190.69	191.65	192.61	193.57	194.53	195.49	196.45	197.41
198.38	199.34	200.30	201.26	202.22	203.18	204.14	205.10	206.06	207.02
207.98									
V,m/s									
0.602	0.602	0.602	0.602	0.602	0.602	0.602	0.602	0.602	0.602
0.602	0.602	0.602	0.602	0.602	0.602	0.602	0.602	0.602	0.602
0.602									
Q,m3/s									
9.582	9.582	9.582	9.582	9.582	9.582	9.582	9.582	9.582	9.582
9.582	9.582	9.582	9.582	9.582	9.582	9.582	9.582	9.582	9.582
9.581									

ERGEBNISSE BEI T = 8.827s

ALFA = 1.000									
H,m									
188.77	189.73	190.69	191.65	192.61	193.57	194.53	195.49	196.46	197.42
198.38	199.34	200.30	201.26	202.22	203.18	204.14	205.10	206.06	207.02
207.98									
V,m/s									
0.562	0.562	0.562	0.562	0.562	0.562	0.562	0.562	0.562	0.562
0.562	0.562	0.562	0.562	0.562	0.562	0.562	0.562	0.562	0.562
0.562									
Q,m3/s									
8.934	8.934	8.934	8.934	8.934	8.934	8.933	8.933	8.933	8.933
8.933	8.933	8.933	8.933	8.933	8.933	8.933	8.933	8.933	8.933
8.933									

ERGEBNISSE BEI T = 8.918s

ALFA = 1.000									
H,m									
188.77	189.73	190.69	191.65	192.61	193.57	194.53	195.50	196.46	197.42
198.38	199.34	200.30	201.26	202.22	203.18	204.14	205.10	206.06	207.02
207.99									
V,m/s									
0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521
0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521	0.521
0.521									
Q,m3/s									
8.285	8.285	8.285	8.285	8.285	8.285	8.285	8.285	8.285	8.285
8.285	8.285	8.285	8.285	8.284	8.284	8.284	8.284	8.284	8.284
8.284									

ERGEBNISSE BEI T = 9.009s

ALFA = 1.000									
H,m									
188.77	189.73	190.69	191.65	192.61	193.57	194.54	195.50	196.46	197.42
198.38	199.34	200.30	201.26	202.22	203.18	204.14	205.11	206.07	207.03
207.99									
V,m/s									
0.480	0.480	0.480	0.480	0.480	0.480	0.480	0.480	0.480	0.480
0.480	0.480	0.480	0.480	0.480	0.480	0.480	0.480	0.480	0.480
0.480									
Q,m3/s									
7.636	7.636	7.636	7.636	7.636	7.636	7.636	7.636	7.636	7.636
7.636	7.636	7.636	7.636	7.636	7.636	7.636	7.636	7.636	7.636
7.635									

ERGEBNISSE BEI T = 9.100s

ALFA = 1.000									
H,m									
188.77	189.73	190.69	191.65	192.61	193.58	194.54	195.50	196.46	197.42

198.38	199.34	200.30	201.26	202.22	203.19	204.15	205.11	206.07	207.03
207.99									
V,m/s									
0.439	0.439	0.439	0.439	0.439	0.439	0.439	0.439	0.439	0.439
0.439	0.439	0.439	0.439	0.439	0.439	0.439	0.439	0.439	0.439
0.439									
Q,m3/s									
6.987	6.987	6.987	6.987	6.987	6.987	6.987	6.987	6.987	6.987
6.987	6.987	6.987	6.987	6.987	6.987	6.987	6.987	6.987	6.987
6.987									

ERGEBNISSE BEI T = 9.191s

ALFA = 1.000

H,m									
188.77	189.73	190.69	191.65	192.61	193.58	194.54	195.50	196.46	197.42
198.38	199.34	200.30	201.26	202.23	203.19	204.15	205.11	206.07	207.03
207.99									
V,m/s									
0.399	0.399	0.399	0.399	0.399	0.399	0.399	0.399	0.399	0.399
0.399	0.399	0.399	0.399	0.399	0.399	0.399	0.399	0.399	0.399
0.399									
Q,m3/s									
6.339	6.339	6.339	6.339	6.339	6.339	6.339	6.339	6.338	6.338
6.338	6.338	6.338	6.338	6.338	6.338	6.338	6.338	6.338	6.338
6.338									

ERGEBNISSE BEI T = 9.282s

ALFA = 1.000

H,m									
188.77	189.73	190.69	191.65	192.61	193.58	194.54	195.50	196.46	197.42
198.38	199.34	200.30	201.27	202.23	203.19	204.15	205.11	206.07	207.03
207.99									
V,m/s									
0.358	0.358	0.358	0.358	0.358	0.358	0.358	0.358	0.358	0.358
0.358	0.358	0.358	0.358	0.358	0.358	0.358	0.358	0.358	0.358
0.358									
Q,m3/s									
5.690	5.690	5.690	5.690	5.690	5.690	5.690	5.690	5.690	5.690
5.690	5.690	5.690	5.690	5.690	5.690	5.689	5.689	5.689	5.689
5.689									

ERGEBNISSE BEI T = 9.373s

ALFA = 1.000

H,m									
188.77	189.73	190.69	191.65	192.62	193.58	194.54	195.50	196.46	197.42
198.38	199.34	200.31	201.27	202.23	203.19	204.15	205.11	206.07	207.03
208.00									
V,m/s									
0.317	0.317	0.317	0.317	0.317	0.317	0.317	0.317	0.317	0.317
0.317	0.317	0.317	0.317	0.317	0.317	0.317	0.317	0.317	0.317
0.317									
Q,m3/s									
5.041	5.041	5.041	5.041	5.041	5.041	5.041	5.041	5.041	5.041
5.041	5.041	5.041	5.041	5.041	5.041	5.041	5.041	5.041	5.041
5.041									

ERGEBNISSE BEI T = 9.464s

ALFA = 1.000

H,m									
188.77	189.73	190.69	191.65	192.62	193.58	194.54	195.50	196.46	197.42
198.38	199.35	200.31	201.27	202.23	203.19	204.15	205.11	206.07	207.04
208.00									
V,m/s									
0.276	0.276	0.276	0.276	0.276	0.276	0.276	0.276	0.276	0.276
0.276	0.276	0.276	0.276	0.276	0.276	0.276	0.276	0.276	0.276
0.276									
Q,m3/s									
4.392	4.392	4.392	4.392	4.392	4.392	4.392	4.392	4.392	4.392
4.392	4.392	4.392	4.392	4.392	4.392	4.392	4.392	4.392	4.392
4.392									

ERGEBNISSE BEI T = 9.555s

ALFA = 1.000

H,m									
188.77	189.73	190.69	191.65	192.62	193.58	194.54	195.50	196.46	197.42
198.38	199.35	200.31	201.27	202.23	203.19	204.15	205.11	206.08	207.04

208.00
 V,m/s
 0.235 0.235 0.235 0.235 0.235 0.235 0.235 0.235 0.235 0.235
 0.235 0.235 0.235 0.235 0.235 0.235 0.235 0.235 0.235 0.235
 0.235
 Q,m³/s
 3.743 3.743 3.743 3.743 3.743 3.743 3.743 3.743 3.743 3.743
 3.743 3.743 3.743 3.743 3.743 3.743 3.743 3.743 3.743 3.743
 3.743

ERGEBNISSE BEI T = 9.646s

ALFA = 1.000
 H,m
 188.77 189.73 190.69 191.65 192.62 193.58 194.54 195.50 196.46 197.42
 198.38 199.35 200.31 201.27 202.23 203.19 204.15 205.12 206.08 207.04
 208.00
 V,m/s
 0.195 0.195 0.195 0.195 0.195 0.195 0.195 0.195 0.195 0.195
 0.195 0.195 0.195 0.195 0.195 0.195 0.195 0.195 0.195 0.195
 0.195
 Q,m³/s
 3.095 3.095 3.095 3.095 3.095 3.095 3.095 3.095 3.095 3.095
 3.095 3.095 3.095 3.095 3.095 3.094 3.094 3.094 3.094 3.094
 3.094

ERGEBNISSE BEI T = 9.737s

ALFA = 1.000
 H,m
 188.77 189.73 190.69 191.65 192.62 193.58 194.54 195.50 196.46 197.42
 198.39 199.35 200.31 201.27 202.23 203.19 204.15 205.12 206.08 207.04
 208.00
 V,m/s
 0.154 0.154 0.154 0.154 0.154 0.154 0.154 0.154 0.154 0.154
 0.154 0.154 0.154 0.154 0.154 0.154 0.154 0.154 0.154 0.154
 0.154
 Q,m³/s
 2.446 2.446 2.446 2.446 2.446 2.446 2.446 2.446 2.446 2.446
 2.446 2.446 2.446 2.446 2.446 2.446 2.446 2.446 2.446 2.446
 2.446

ERGEBNISSE BEI T = 9.828s

ALFA = 1.000
 H,m
 188.77 189.73 190.69 191.65 192.62 193.58 194.54 195.50 196.46 197.42
 198.39 199.35 200.31 201.27 202.23 203.19 204.16 205.12 206.08 207.04
 208.00
 V,m/s
 0.113 0.113 0.113 0.113 0.113 0.113 0.113 0.113 0.113 0.113
 0.113 0.113 0.113 0.113 0.113 0.113 0.113 0.113 0.113 0.113
 0.113
 Q,m³/s
 1.797 1.797 1.797 1.797 1.797 1.797 1.797 1.797 1.797 1.797
 1.797 1.797 1.797 1.797 1.797 1.797 1.797 1.797 1.797 1.797
 1.797

ERGEBNISSE BEI T = 9.919s

ALFA = 1.000
 H,m
 188.77 189.73 190.69 191.65 192.62 193.58 194.54 195.50 196.46 197.42
 198.39 199.35 200.31 201.27 202.23 203.19 204.16 205.12 206.08 207.04
 208.00
 V,m/s
 0.072 0.072 0.072 0.072 0.072 0.072 0.072 0.072 0.072 0.072
 0.072 0.072 0.072 0.072 0.072 0.072 0.072 0.072 0.072 0.072
 0.072
 Q,m³/s
 1.148 1.148 1.148 1.148 1.148 1.148 1.148 1.148 1.148 1.148
 1.148 1.148 1.148 1.148 1.148 1.148 1.148 1.148 1.148 1.148
 1.148

ERGEBNISSE BEI T = 10.010s

ALFA = 1.000
 H,m
 188.77 189.73 190.69 191.65 192.62 193.58 194.54 195.50 196.46 197.42
 198.39 199.35 200.31 201.27 202.23 203.19 204.16 205.12 206.08 207.04
 208.00

V,m/s									
0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031
0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031
0.031									
Q,m3/s									
0.499	0.499	0.499	0.499	0.499	0.499	0.499	0.499	0.499	0.499
0.499	0.499	0.499	0.499	0.499	0.499	0.499	0.499	0.499	0.499
0.499									

ERGEBNISSE BEI T = 10.101s

ALFA = 1.000

H,m									
188.77	189.73	190.69	191.65	192.62	193.58	194.54	195.50	196.46	197.42
198.39	199.35	200.31	201.27	202.23	203.19	204.16	205.12	206.08	206.89
206.89									

V,m/s									
-0.009	-0.009	-0.009	-0.009	-0.009	-0.009	-0.009	-0.009	-0.009	-0.009
-0.009	-0.009	-0.009	-0.009	-0.009	-0.009	-0.009	-0.009	-0.009	-0.008
0.000									

Q,m3/s									
-0.149	-0.149	-0.149	-0.149	-0.149	-0.149	-0.149	-0.149	-0.149	-0.149
-0.149	-0.149	-0.149	-0.149	-0.149	-0.149	-0.149	-0.149	-0.149	-0.130
0.000									

ERGEBNISSE BEI T = 10.192s

ALFA = 1.000

H,m									
188.77	189.73	190.69	191.65	192.62	193.58	194.54	195.50	196.46	197.42
198.39	199.35	200.31	201.27	202.09	202.09	202.09	202.09	202.09	202.09
202.09									

V,m/s									
-0.050	-0.050	-0.050	-0.050	-0.050	-0.050	-0.050	-0.050	-0.050	-0.050
-0.050	-0.050	-0.050	-0.050	-0.049	-0.041	-0.033	-0.024	-0.016	-0.008
0.000									

Q,m3/s									
-0.798	-0.798	-0.798	-0.798	-0.798	-0.798	-0.798	-0.798	-0.798	-0.798
-0.798	-0.798	-0.798	-0.798	-0.779	-0.649	-0.519	-0.389	-0.260	-0.130
0.000									

ERGEBNISSE BEI T = 10.283s

ALFA = 1.000

H,m									
188.77	189.73	190.69	191.65	192.62	193.58	194.54	195.50	196.46	197.28
197.28	197.28	197.28	197.28	197.28	197.28	197.28	197.28	197.28	197.28
197.28									

V,m/s									
-0.091	-0.091	-0.091	-0.091	-0.091	-0.091	-0.091	-0.091	-0.091	-0.090
-0.082	-0.073	-0.065	-0.057	-0.049	-0.041	-0.033	-0.024	-0.016	-0.008
0.000									

Q,m3/s									
-1.447	-1.447	-1.447	-1.447	-1.447	-1.447	-1.447	-1.447	-1.447	-1.427
-1.298	-1.168	-1.038	-0.908	-0.779	-0.649	-0.519	-0.389	-0.260	-0.130
0.000									

ERGEBNISSE BEI T = 10.374s

ALFA = 1.000

H,m									
188.77	189.73	190.69	191.65	192.47	192.47	192.47	192.47	192.47	192.47
192.47	192.47	192.47	192.47	192.47	192.47	192.47	192.47	192.47	192.47
192.47									

V,m/s									
-0.132	-0.132	-0.132	-0.132	-0.131	-0.122	-0.114	-0.106	-0.098	-0.090
-0.082	-0.073	-0.065	-0.057	-0.049	-0.041	-0.033	-0.024	-0.016	-0.008
0.000									

Q,m3/s									
-2.096	-2.096	-2.096	-2.096	-2.076	-1.946	-1.817	-1.687	-1.557	-1.427
-1.298	-1.168	-1.038	-0.908	-0.779	-0.649	-0.519	-0.389	-0.260	-0.130
0.000									

ERGEBNISSE BEI T = 10.465s

ALFA = 1.000

H,m									
188.77	187.81	187.66	187.66	187.66	187.66	187.66	187.66	187.66	187.66
187.66	187.66	187.66	187.66	187.66	187.66	187.66	187.66	187.66	187.66
187.66									

V,m/s

0.050	0.050	0.050	0.050	0.049	0.041	0.033	0.024	0.016	0.008
0.000									
Q,m3/s									
0.798	0.798	0.798	0.798	0.798	0.798	0.798	0.798	0.798	0.798
0.798	0.798	0.798	0.798	0.779	0.649	0.519	0.389	0.260	0.130
0.000									

ERGNISSE BEI T = 11.011s

ALFA = 1.000

H,m									
188.77	187.81	186.85	185.89	184.92	183.96	183.00	182.04	181.08	180.26
180.26	180.26	180.26	180.26	180.26	180.26	180.26	180.26	180.26	180.26
180.26									
V,m/s									
0.091	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091	0.091	0.090
0.082	0.073	0.065	0.057	0.049	0.041	0.033	0.024	0.016	0.008
0.000									
Q,m3/s									
1.447	1.447	1.447	1.447	1.447	1.447	1.447	1.447	1.447	1.427
1.298	1.168	1.038	0.908	0.779	0.649	0.519	0.389	0.260	0.130
0.000									

ERGNISSE BEI T = 11.102s

ALFA = 1.000

H,m									
188.77	187.81	186.85	185.89	185.07	185.07	185.07	185.07	185.07	185.07
185.07	185.07	185.07	185.07	185.07	185.07	185.07	185.07	185.07	185.07
185.07									
V,m/s									
0.132	0.132	0.132	0.132	0.131	0.122	0.114	0.106	0.098	0.090
0.082	0.073	0.065	0.057	0.049	0.041	0.033	0.024	0.016	0.008
0.000									
Q,m3/s									
2.096	2.096	2.096	2.096	2.076	1.946	1.817	1.687	1.557	1.427
1.298	1.168	1.038	0.908	0.779	0.649	0.519	0.389	0.260	0.130
0.000									

ERGNISSE BEI T = 11.193s

ALFA = 1.000

H,m									
188.77	189.73	189.88	189.88	189.88	189.88	189.88	189.88	189.88	189.88
189.88	189.88	189.88	189.88	189.88	189.88	189.88	189.88	189.88	189.88
189.88									
V,m/s									
0.154	0.154	0.147	0.139	0.131	0.122	0.114	0.106	0.098	0.090
0.082	0.073	0.065	0.057	0.049	0.041	0.033	0.024	0.016	0.008
0.000									
Q,m3/s									
2.446	2.446	2.336	2.206	2.076	1.946	1.817	1.687	1.557	1.427
1.298	1.168	1.038	0.908	0.779	0.649	0.519	0.389	0.260	0.130
0.000									

ERGNISSE BEI T = 11.284s

ALFA = 1.000

H,m									
188.77	189.73	190.69	191.65	192.62	193.58	194.54	194.68	194.68	194.68
194.68	194.68	194.68	194.68	194.68	194.69	194.69	194.68	194.69	194.69
194.69									
V,m/s									
0.113	0.113	0.113	0.113	0.113	0.113	0.113	0.106	0.098	0.090
0.082	0.073	0.065	0.057	0.049	0.041	0.033	0.024	0.016	0.008
0.000									
Q,m3/s									
1.797	1.797	1.797	1.797	1.797	1.797	1.797	1.687	1.557	1.427
1.298	1.168	1.038	0.908	0.779	0.649	0.519	0.389	0.260	0.130
0.000									

ERGNISSE BEI T = 11.375s

ALFA = 1.000

H,m									
188.77	189.73	190.69	191.65	192.62	193.58	194.54	195.50	196.46	197.42
198.39	199.35	199.49	199.49	199.49	199.49	199.49	199.49	199.49	199.49
199.49									
V,m/s									
0.072	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072
0.072	0.072	0.065	0.057	0.049	0.041	0.033	0.024	0.016	0.008

0.000
 Q,m³/s
 1.148 1.148 1.148 1.148 1.148 1.148 1.148 1.148 1.148 1.148
 1.148 1.148 1.038 0.908 0.778 0.649 0.519 0.389 0.260 0.130
 0.000

ERGEBNISSE BEI T = 11.466s

ALFA = 1.000

H,m
 188.77 189.73 190.69 191.65 192.62 193.58 194.54 195.50 196.46 197.42
 198.39 199.35 200.31 201.27 202.23 203.19 204.15 204.30 204.30 204.30
 204.30

V,m/s
 0.031 0.031 0.031 0.031 0.031 0.031 0.031 0.031 0.031 0.031
 0.031 0.031 0.031 0.031 0.031 0.031 0.031 0.024 0.016 0.008
 0.000

Q,m³/s
 0.499 0.499 0.499 0.499 0.499 0.499 0.499 0.499 0.499 0.499
 0.499 0.499 0.499 0.499 0.499 0.499 0.499 0.389 0.259 0.130
 0.000

ERGEBNISSE BEI T = 11.557s

ALFA = 1.000

H,m
 188.77 189.73 190.69 191.65 192.62 193.58 194.54 195.50 196.46 197.42
 198.39 199.35 200.31 201.27 202.23 203.19 204.15 205.12 206.08 206.89
 206.89

V,m/s
 -0.009 -0.009 -0.009 -0.009 -0.009 -0.009 -0.009 -0.009 -0.009 -0.009
 -0.009 -0.009 -0.009 -0.009 -0.009 -0.009 -0.009 -0.009 -0.009 -0.008
 0.000

Q,m³/s
 -0.149 -0.149 -0.149 -0.149 -0.149 -0.149 -0.149 -0.149 -0.149 -0.149
 -0.149 -0.149 -0.149 -0.149 -0.149 -0.149 -0.149 -0.149 -0.149 -0.130
 0.000

S,m	Hmin,m	Hmax,m
0.000	188.77	188.77
21.043	187.81	189.73
42.086	186.85	190.69
63.129	185.89	191.65
84.172	184.92	192.62
105.215	183.96	193.58
126.258	183.00	194.54
147.301	182.04	195.50
168.344	181.08	196.46
189.387	180.12	197.42
210.430	179.15	198.39
231.473	178.19	199.35
252.516	177.23	200.31
273.559	176.27	201.27
294.602	175.31	202.23
315.645	174.35	203.19
336.688	173.39	204.16
357.731	172.42	205.12
378.774	171.46	206.08

399.817	170.50	207.04
420.860	169.68	208.00

11.2 Ergebnisse des HIUD-Programms, die bei der Bestimmung der maximalen Absenkung des Drucks im gepanzerten Druckstollen erhalten sind

EINGANGSDATEN

ANZAHL DER BERECHNUNGSPUNKTEN	:	21
ANZAHL DER ZEITSCHRITTE	:	5
RANDBEDINGUNG AM ANFANG	:	5
RANDBEDINGUNG AM ENDE	:	3
LÄNGE	=	420.86m
DURCHMESSER	=	4.500m
FORTPFLANZUNGSGESCHWINDIGKEIT DER STOßWELLE	=	1156.21m/s
RAUHIGKEITSBEIWERT	=	0.012
Q ₀	=	34.000m ³ /s
H ANFANG	=	144.04m
H ENDE	=	141.50m
Z PUMPE	=	0.00m
T ENDE	=	12.s

TURBINE AM ENDE DES DRUCKSTOLLENS

SCHLIEßGESETZ

ZEIT, s	STUNDE
0.	1.000
10.	2.000
12.	2.000

ERGEBNISSE BEI T = 0.091s

ALFA = 1.000

H, m									
144.04	143.91	143.79	143.66	143.53	143.40	143.28	143.15	143.02	142.90
142.77	142.64	142.52	142.39	142.26	142.13	141.83	141.52	141.22	140.91
140.61									
V, m/s									
2.143	2.143	2.143	2.143	2.143	2.143	2.143	2.143	2.143	2.143
2.143	2.143	2.143	2.143	2.143	2.143	2.144	2.146	2.147	2.149
2.150									
Q, m ³ /s									
34.078	34.078	34.078	34.078	34.078	34.078	34.078	34.078	34.078	34.078
34.078	34.078	34.078	34.078	34.078	34.078	34.102	34.126	34.150	34.174
34.198									

ERGEBNISSE BEI T = 0.182s

ALFA = 1.000

H, m									
144.04	143.91	143.79	143.66	143.53	143.40	143.28	143.15	143.02	142.90
142.77	142.46	142.16	141.85	141.55	141.24	140.94	140.63	140.33	140.02
139.72									
V, m/s									
2.148	2.148	2.148	2.148	2.148	2.148	2.148	2.148	2.148	2.148
2.148	2.149	2.151	2.152	2.154	2.155	2.157	2.158	2.160	2.161
2.163									
Q, m ³ /s									
34.155	34.155	34.155	34.155	34.155	34.155	34.155	34.155	34.155	34.155
34.155	34.180	34.204	34.228	34.252	34.276	34.300	34.324	34.348	34.372
34.395									

ERGEBNISSE BEI T = 0.273s

ALFA = 1.000

H, m									
144.04	143.91	143.79	143.66	143.53	143.40	143.10	142.79	142.49	142.18
141.88	141.57	141.27	140.96	140.66	140.36	140.05	139.75	139.45	139.14
138.84									

ERGEBNISSE BEI T = 2.639s

ALFA = 1.000

H,m

144.04	143.58	143.12	142.66	142.20	141.74	141.27	140.81	140.35	139.89
139.43	138.97	138.51	138.05	137.59	137.13	136.67	136.20	135.74	135.28
134.82									

V,m/s

2.633	2.633	2.633	2.633	2.633	2.633	2.633	2.633	2.633	2.633
2.633	2.633	2.633	2.633	2.633	2.633	2.633	2.633	2.633	2.633
2.633									

Q,m3/s

41.875	41.875	41.875	41.876	41.876	41.876	41.876	41.876	41.876	41.876
41.876	41.876	41.876	41.876	41.876	41.876	41.876	41.876	41.876	41.877
41.877									

ERGEBNISSE BEI T = 2.730s

ALFA = 1.000

H,m

144.04	143.58	143.12	142.66	142.20	141.73	141.27	140.81	140.35	139.89
139.43	138.97	138.51	138.05	137.58	137.12	136.66	136.20	135.74	135.28
134.82									

V,m/s

2.652	2.652	2.652	2.652	2.652	2.652	2.652	2.652	2.652	2.652
2.652	2.652	2.652	2.652	2.652	2.652	2.652	2.652	2.652	2.652
2.652									

Q,m3/s

42.174	42.174	42.174	42.174	42.174	42.174	42.174	42.175	42.175	42.175
42.175	42.175	42.175	42.175	42.175	42.175	42.175	42.175	42.175	42.176
42.176									

ERGEBNISSE BEI T = 2.821s

ALFA = 1.000

H,m

144.04	143.58	143.12	142.66	142.19	141.73	141.27	140.81	140.35	139.89
139.43	138.96	138.50	138.04	137.58	137.12	136.66	136.20	135.74	135.27
134.81									

V,m/s

2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671
2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671	2.671
2.671									

Q,m3/s

42.473	42.473	42.473	42.473	42.473	42.473	42.473	42.473	42.473	42.473
42.474	42.474	42.474	42.474	42.474	42.474	42.474	42.474	42.474	42.474
42.474									

ERGEBNISSE BEI T = 2.912s

ALFA = 1.000

H,m

144.04	143.58	143.12	142.66	142.19	141.73	141.27	140.81	140.35	139.89
139.42	138.96	138.50	138.04	137.58	137.12	136.65	136.19	135.73	135.27
134.81									

V,m/s

2.689	2.689	2.689	2.689	2.689	2.689	2.689	2.689	2.689	2.689
2.689	2.689	2.689	2.689	2.689	2.689	2.689	2.689	2.689	2.689
2.689									

Q,m3/s

42.772	42.772	42.772	42.772	42.772	42.772	42.772	42.772	42.772	42.772
42.772	42.772	42.773	42.773	42.773	42.773	42.773	42.773	42.773	42.773
42.773									

ERGEBNISSE BEI T = 3.003s

ALFA = 1.000

H,m

144.04	143.58	143.12	142.65	142.19	141.73	141.27	140.81	140.35	139.88
139.42	138.96	138.50	138.04	137.57	137.11	136.65	136.19	135.73	135.26
134.80									

V,m/s

2.708	2.708	2.708	2.708	2.708	2.708	2.708	2.708	2.708	2.708
2.708	2.708	2.708	2.708	2.708	2.708	2.708	2.708	2.708	2.708
2.708									

Q,m3/s

43.071	43.071	43.071	43.071	43.071	43.071	43.071	43.071	43.071	43.071
43.071	43.071	43.071	43.071	43.072	43.072	43.072	43.072	43.072	43.072
43.072									

ERGEBNISSE BEI T = 3.094s

ALFA = 1.000

H,m									
144.04	143.58	143.12	142.65	142.19	141.73	141.27	140.81	140.34	139.88
139.42	138.96	138.49	138.03	137.57	137.11	136.65	136.18	135.72	135.26
134.80									
V,m/s									
2.727	2.727	2.727	2.727	2.727	2.727	2.727	2.727	2.727	2.727
2.727	2.727	2.727	2.727	2.727	2.727	2.727	2.727	2.727	2.727
2.727									
Q,m3/s									
43.370	43.370	43.370	43.370	43.370	43.370	43.370	43.370	43.370	43.370
43.370	43.370	43.370	43.370	43.370	43.370	43.371	43.371	43.371	43.371
43.371									

ERGEBNISSE BEI T = 3.185s

ALFA = 1.000

H,m									
144.04	143.58	143.12	142.65	142.19	141.73	141.27	140.80	140.34	139.88
139.42	138.95	138.49	138.03	137.57	137.11	136.64	136.18	135.72	135.26
134.79									
V,m/s									
2.746	2.746	2.746	2.746	2.746	2.746	2.746	2.746	2.746	2.746
2.746	2.746	2.746	2.746	2.746	2.746	2.746	2.746	2.746	2.746
2.746									
Q,m3/s									
43.668	43.668	43.668	43.669	43.669	43.669	43.669	43.669	43.669	43.669
43.669	43.669	43.669	43.669	43.669	43.669	43.669	43.669	43.670	43.670
43.670									

ERGEBNISSE BEI T = 3.276s

ALFA = 1.000

H,m									
144.04	143.58	143.11	142.65	142.19	141.73	141.26	140.80	140.34	139.88
139.41	138.95	138.49	138.03	137.56	137.10	136.64	136.18	135.71	135.25
134.79									
V,m/s									
2.764	2.764	2.764	2.764	2.764	2.764	2.764	2.764	2.764	2.764
2.765	2.765	2.765	2.765	2.765	2.765	2.765	2.765	2.765	2.765
2.765									
Q,m3/s									
43.967	43.967	43.967	43.967	43.967	43.967	43.967	43.967	43.967	43.968
43.968	43.968	43.968	43.968	43.968	43.968	43.968	43.968	43.968	43.968
43.969									

ERGEBNISSE BEI T = 3.367s

ALFA = 1.000

H,m									
144.04	143.58	143.11	142.65	142.19	141.73	141.26	140.80	140.34	139.87
139.41	138.95	138.49	138.02	137.56	137.10	136.63	136.17	135.71	135.25
134.78									
V,m/s									
2.783	2.783	2.783	2.783	2.783	2.783	2.783	2.783	2.783	2.783
2.783	2.783	2.783	2.783	2.783	2.783	2.783	2.783	2.783	2.783
2.783									
Q,m3/s									
44.266	44.266	44.266	44.266	44.266	44.266	44.266	44.266	44.266	44.266
44.266	44.266	44.266	44.267	44.267	44.267	44.267	44.267	44.267	44.267
44.267									

ERGEBNISSE BEI T = 3.458s

ALFA = 1.000

H,m									
144.04	143.58	143.11	142.65	142.19	141.72	141.26	140.80	140.34	139.87
139.41	138.95	138.48	138.02	137.56	137.09	136.63	136.17	135.70	135.24
134.78									
V,m/s									
2.802	2.802	2.802	2.802	2.802	2.802	2.802	2.802	2.802	2.802
2.802	2.802	2.802	2.802	2.802	2.802	2.802	2.802	2.802	2.802
2.802									
Q,m3/s									
44.565	44.565	44.565	44.565	44.565	44.565	44.565	44.565	44.565	44.565
44.565	44.565	44.565	44.565	44.565	44.566	44.566	44.566	44.566	44.566
44.566									

ERGEBNISSE BEI T = 3.549s

ALFA = 1.000

H,m									
144.04	143.58	143.11	142.65	142.19	141.72	141.26	140.80	140.33	139.87
139.41	138.94	138.48	138.02	137.55	137.09	136.63	136.16	135.70	135.24
134.77									
V,m/s									
2.821	2.821	2.821	2.821	2.821	2.821	2.821	2.821	2.821	2.821
2.821	2.821	2.821	2.821	2.821	2.821	2.821	2.821	2.821	2.821
2.821									
Q,m ³ /s									
44.863	44.863	44.864	44.864	44.864	44.864	44.864	44.864	44.864	44.864
44.864	44.864	44.864	44.864	44.864	44.864	44.864	44.864	44.865	44.865
44.865									

ERGEBNISSE BEI T = 3.640s

ALFA = 1.000

H,m									
144.04	143.58	143.11	142.65	142.19	141.72	141.26	140.79	140.33	139.87
139.40	138.94	138.48	138.01	137.55	137.09	136.62	136.16	135.70	135.23
134.77									
V,m/s									
2.840	2.840	2.840	2.840	2.840	2.840	2.840	2.840	2.840	2.840
2.840	2.840	2.840	2.840	2.840	2.840	2.840	2.840	2.840	2.840
2.840									
Q,m ³ /s									
45.162	45.162	45.162	45.162	45.162	45.162	45.162	45.162	45.162	45.162
45.163	45.163	45.163	45.163	45.163	45.163	45.163	45.163	45.163	45.163
45.164									

ERGEBNISSE BEI T = 3.731s

ALFA = 1.000

H,m									
144.04	143.58	143.11	142.65	142.18	141.72	141.26	140.79	140.33	139.87
139.40	138.94	138.47	138.01	137.55	137.08	136.62	136.16	135.69	135.23
134.76									
V,m/s									
2.858	2.858	2.858	2.858	2.858	2.858	2.858	2.858	2.858	2.858
2.858	2.858	2.858	2.858	2.858	2.858	2.858	2.858	2.858	2.858
2.858									
Q,m ³ /s									
45.461	45.461	45.461	45.461	45.461	45.461	45.461	45.461	45.461	45.461
45.461	45.461	45.461	45.461	45.462	45.462	45.462	45.462	45.462	45.462
45.462									

ERGEBNISSE BEI T = 3.822s

ALFA = 1.000

H,m									
144.04	143.58	143.11	142.65	142.18	141.72	141.26	140.79	140.33	139.86
139.40	138.94	138.47	138.01	137.54	137.08	136.61	136.15	135.69	135.22
134.76									
V,m/s									
2.877	2.877	2.877	2.877	2.877	2.877	2.877	2.877	2.877	2.877
2.877	2.877	2.877	2.877	2.877	2.877	2.877	2.877	2.877	2.877
2.877									
Q,m ³ /s									
45.760	45.760	45.760	45.760	45.760	45.760	45.760	45.760	45.760	45.760
45.760	45.760	45.760	45.760	45.760	45.760	45.760	45.761	45.761	45.761
45.761									

ERGEBNISSE BEI T = 3.913s

ALFA = 1.000

H,m									
144.04	143.58	143.11	142.65	142.18	141.72	141.25	140.79	140.33	139.86
139.40	138.93	138.47	138.00	137.54	137.08	136.61	136.15	135.68	135.22
134.75									
V,m/s									
2.896	2.896	2.896	2.896	2.896	2.896	2.896	2.896	2.896	2.896
2.896	2.896	2.896	2.896	2.896	2.896	2.896	2.896	2.896	2.896
2.896									
Q,m ³ /s									
46.058	46.058	46.058	46.058	46.058	46.058	46.058	46.058	46.058	46.059
46.059	46.059	46.059	46.059	46.059	46.059	46.059	46.059	46.059	46.059
46.060									

ERGEBNISSE BEI T = 4.004s

ALFA = 1.000

H,m

144.04	143.58	143.11	142.65	142.18	141.72	141.25	140.79	140.32	139.86
139.39	138.93	138.46	138.00	137.54	137.07	136.61	136.14	135.68	135.21
134.75									
V,m/s									
2.915	2.915	2.915	2.915	2.915	2.915	2.915	2.915	2.915	2.915
2.915	2.915	2.915	2.915	2.915	2.915	2.915	2.915	2.915	2.915
2.915									
Q,m3/s									
46.357	46.357	46.357	46.357	46.357	46.357	46.357	46.357	46.357	46.357
46.357	46.357	46.357	46.357	46.358	46.358	46.358	46.358	46.358	46.358
46.358									

ERGEBNISSE BEI T = 4.095s

ALFA = 1.000									
H,m									
144.04	143.58	143.11	142.65	142.18	141.72	141.25	140.79	140.32	139.86
139.39	138.93	138.46	138.00	137.53	137.07	136.60	136.14	135.67	135.21
134.74									
V,m/s									
2.934	2.934	2.934	2.934	2.934	2.934	2.934	2.934	2.934	2.934
2.934	2.934	2.934	2.934	2.934	2.934	2.934	2.934	2.934	2.934
2.934									
Q,m3/s									
46.655	46.656	46.656	46.656	46.656	46.656	46.656	46.656	46.656	46.656
46.656	46.656	46.656	46.656	46.656	46.656	46.656	46.657	46.657	46.657
46.657									

ERGEBNISSE BEI T = 4.186s

ALFA = 1.000									
H,m									
144.04	143.57	143.11	142.64	142.18	141.71	141.25	140.78	140.32	139.85
139.39	138.92	138.46	137.99	137.53	137.06	136.60	136.13	135.67	135.20
134.74									
V,m/s									
2.952	2.952	2.952	2.952	2.952	2.952	2.952	2.952	2.952	2.952
2.952	2.952	2.952	2.952	2.952	2.952	2.952	2.952	2.952	2.952
2.952									
Q,m3/s									
46.954	46.954	46.954	46.954	46.954	46.954	46.954	46.954	46.954	46.954
46.954	46.955	46.955	46.955	46.955	46.955	46.955	46.955	46.955	46.955
46.956									

ERGEBNISSE BEI T = 4.277s

ALFA = 1.000									
H,m									
144.04	143.57	143.11	142.64	142.18	141.71	141.25	140.78	140.32	139.85
139.39	138.92	138.46	137.99	137.52	137.06	136.59	136.13	135.66	135.20
134.73									
V,m/s									
2.971	2.971	2.971	2.971	2.971	2.971	2.971	2.971	2.971	2.971
2.971	2.971	2.971	2.971	2.971	2.971	2.971	2.971	2.971	2.971
2.971									
Q,m3/s									
47.253	47.253	47.253	47.253	47.253	47.253	47.253	47.253	47.253	47.253
47.253	47.253	47.253	47.253	47.253	47.254	47.254	47.254	47.254	47.254
47.254									

ERGEBNISSE BEI T = 4.368s

ALFA = 1.000									
H,m									
144.04	143.57	143.11	142.64	142.18	141.71	141.25	140.78	140.31	139.85
139.38	138.92	138.45	137.99	137.52	137.06	136.59	136.12	135.66	135.19
134.73									
V,m/s									
2.990	2.990	2.990	2.990	2.990	2.990	2.990	2.990	2.990	2.990
2.990	2.990	2.990	2.990	2.990	2.990	2.990	2.990	2.990	2.990
2.990									
Q,m3/s									
47.551	47.551	47.551	47.551	47.551	47.551	47.551	47.551	47.552	47.552
47.552	47.552	47.552	47.552	47.552	47.552	47.552	47.552	47.552	47.553
47.553									

ERGEBNISSE BEI T = 4.459s

ALFA = 1.000									
H,m									
144.04	143.57	143.11	142.64	142.18	141.71	141.24	140.78	140.31	139.85

139.38	138.92	138.45	137.98	137.52	137.05	136.59	136.12	135.65	135.19
134.72									
V, m/s									
3.009	3.009	3.009	3.009	3.009	3.009	3.009	3.009	3.009	3.009
3.009	3.009	3.009	3.009	3.009	3.009	3.009	3.009	3.009	3.009
3.009									
Q, m ³ /s									
47.850	47.850	47.850	47.850	47.850	47.850	47.850	47.850	47.850	47.850
47.850	47.850	47.850	47.850	47.851	47.851	47.851	47.851	47.851	47.851
47.851									

ERGNISSE BEI T = 4.550s

ALFA = 1.000

H, m									
144.04	143.57	143.11	142.64	142.18	141.71	141.24	140.78	140.31	139.84
139.38	138.91	138.45	137.98	137.51	137.05	136.58	136.12	135.65	135.18
134.72									
V, m/s									
3.027	3.027	3.027	3.027	3.027	3.027	3.027	3.027	3.027	3.027
3.027	3.027	3.027	3.027	3.027	3.027	3.027	3.027	3.027	3.027
3.027									
Q, m ³ /s									
48.148	48.148	48.148	48.148	48.148	48.148	48.149	48.149	48.149	48.149
48.149	48.149	48.149	48.149	48.149	48.149	48.149	48.149	48.150	48.150
48.150									

ERGNISSE BEI T = 4.641s

ALFA = 1.000

H, m									
144.04	143.57	143.11	142.64	142.17	141.71	141.24	140.78	140.31	139.84
139.38	138.91	138.44	137.98	137.51	137.04	136.58	136.11	135.64	135.18
134.71									
V, m/s									
3.046	3.046	3.046	3.046	3.046	3.046	3.046	3.046	3.046	3.046
3.046	3.046	3.046	3.046	3.046	3.046	3.046	3.046	3.046	3.046
3.046									
Q, m ³ /s									
48.447	48.447	48.447	48.447	48.447	48.447	48.447	48.447	48.447	48.447
48.447	48.447	48.447	48.448	48.448	48.448	48.448	48.448	48.448	48.448
48.448									

ERGNISSE BEI T = 4.732s

ALFA = 1.000

H, m									
144.04	143.57	143.11	142.64	142.17	141.71	141.24	140.77	140.31	139.84
139.37	138.91	138.44	137.97	137.51	137.04	136.57	136.11	135.64	135.17
134.71									
V, m/s									
3.065	3.065	3.065	3.065	3.065	3.065	3.065	3.065	3.065	3.065
3.065	3.065	3.065	3.065	3.065	3.065	3.065	3.065	3.065	3.065
3.065									
Q, m ³ /s									
48.745	48.745	48.745	48.745	48.745	48.745	48.746	48.746	48.746	48.746
48.746	48.746	48.746	48.746	48.746	48.746	48.746	48.746	48.747	48.747
48.747									

ERGNISSE BEI T = 4.823s

ALFA = 1.000

H, m									
144.04	143.57	143.11	142.64	142.17	141.71	141.24	140.77	140.30	139.84
139.37	138.90	138.44	137.97	137.50	137.04	136.57	136.10	135.63	135.17
134.70									
V, m/s									
3.084	3.084	3.084	3.084	3.084	3.084	3.084	3.084	3.084	3.084
3.084	3.084	3.084	3.084	3.084	3.084	3.084	3.084	3.084	3.084
3.084									
Q, m ³ /s									
49.044	49.044	49.044	49.044	49.044	49.044	49.044	49.044	49.044	49.044
49.044	49.044	49.044	49.045	49.045	49.045	49.045	49.045	49.045	49.045
49.045									

ERGNISSE BEI T = 4.914s

ALFA = 1.000

H, m									
144.04	143.57	143.11	142.64	142.17	141.70	141.24	140.77	140.30	139.83
139.37	138.90	138.43	137.97	137.50	137.03	136.56	136.10	135.63	135.16

134.70
 V,m/s
 3.102 3.102 3.102 3.102 3.102 3.102 3.102 3.102 3.102 3.102
 3.102 3.102 3.102 3.102 3.102 3.102 3.103 3.103 3.103 3.103
 3.103
 Q,m³/s
 49.342 49.342 49.342 49.342 49.342 49.342 49.342 49.343 49.343 49.343
 49.343 49.343 49.343 49.343 49.343 49.343 49.343 49.343 49.344 49.344
 49.344

ERGEBNISSE BEI T = 5.005s

ALFA = 1.000
 H,m
 144.04 143.57 143.10 142.64 142.17 141.70 141.23 140.77 140.30 139.83
 139.36 138.90 138.43 137.96 137.49 137.03 136.56 136.09 135.62 135.16
 134.69
 V,m/s
 3.121 3.121 3.121 3.121 3.121 3.121 3.121 3.121 3.121 3.121
 3.121 3.121 3.121 3.121 3.121 3.121 3.121 3.121 3.121 3.121
 3.121
 Q,m³/s
 49.641 49.641 49.641 49.641 49.641 49.641 49.641 49.641 49.641 49.641
 49.641 49.641 49.641 49.641 49.642 49.642 49.642 49.642 49.642 49.642
 49.642

ERGEBNISSE BEI T = 5.096s

ALFA = 1.000
 H,m
 144.04 143.57 143.10 142.64 142.17 141.70 141.23 140.77 140.30 139.83
 139.36 138.89 138.43 137.96 137.49 137.02 136.56 136.09 135.62 135.15
 134.68
 V,m/s
 3.140 3.140 3.140 3.140 3.140 3.140 3.140 3.140 3.140 3.140
 3.140 3.140 3.140 3.140 3.140 3.140 3.140 3.140 3.140 3.140
 3.140
 Q,m³/s
 49.939 49.939 49.939 49.939 49.939 49.939 49.939 49.939 49.939 49.940
 49.940 49.940 49.940 49.940 49.940 49.940 49.940 49.940 49.940 49.941
 49.941

ERGEBNISSE BEI T = 5.187s

ALFA = 1.000
 H,m
 144.04 143.57 143.10 142.64 142.17 141.70 141.23 140.76 140.30 139.83
 139.36 138.89 138.42 137.95 137.49 137.02 136.55 136.08 135.61 135.15
 134.68
 V,m/s
 3.159 3.159 3.159 3.159 3.159 3.159 3.159 3.159 3.159 3.159
 3.159 3.159 3.159 3.159 3.159 3.159 3.159 3.159 3.159 3.159
 3.159
 Q,m³/s
 50.238 50.238 50.238 50.238 50.238 50.238 50.238 50.238 50.238 50.238
 50.238 50.238 50.238 50.238 50.238 50.238 50.239 50.239 50.239 50.239
 50.239

ERGEBNISSE BEI T = 5.278s

ALFA = 1.000
 H,m
 144.04 143.57 143.10 142.63 142.17 141.70 141.23 140.76 140.29 139.82
 139.36 138.89 138.42 137.95 137.48 137.01 136.55 136.08 135.61 135.14
 134.67
 V,m/s
 3.177 3.177 3.177 3.178 3.178 3.178 3.178 3.178 3.178 3.178
 3.178 3.178 3.178 3.178 3.178 3.178 3.178 3.178 3.178 3.178
 3.178
 Q,m³/s
 50.536 50.536 50.536 50.536 50.536 50.536 50.536 50.536 50.536 50.536
 50.536 50.537 50.537 50.537 50.537 50.537 50.537 50.537 50.537 50.537
 50.538

ERGEBNISSE BEI T = 5.369s

ALFA = 1.000
 H,m
 144.04 143.57 143.10 142.63 142.17 141.70 141.23 140.76 140.29 139.82
 139.35 138.88 138.42 137.95 137.48 137.01 136.54 136.07 135.60 135.14
 134.67

V,m/s									
3.196	3.196	3.196	3.196	3.196	3.196	3.196	3.196	3.196	3.196
3.196	3.196	3.196	3.196	3.196	3.196	3.196	3.196	3.196	3.196
3.196									
Q,m3/s									
50.834	50.834	50.834	50.834	50.834	50.835	50.835	50.835	50.835	50.835
50.835	50.835	50.835	50.835	50.835	50.835	50.835	50.836	50.836	50.836
50.836									

ERGNISSE BEI T = 5.460s

ALFA = 1.000

H,m									
144.04	143.57	143.10	142.63	142.16	141.70	141.23	140.76	140.29	139.82
139.35	138.88	138.41	137.94	137.48	137.01	136.54	136.07	135.60	135.13
134.66									

V,m/s									
3.215	3.215	3.215	3.215	3.215	3.215	3.215	3.215	3.215	3.215
3.215	3.215	3.215	3.215	3.215	3.215	3.215	3.215	3.215	3.215
3.215									

Q,m3/s									
51.133	51.133	51.133	51.133	51.133	51.133	51.133	51.133	51.133	51.133
51.133	51.133	51.133	51.133	51.134	51.134	51.134	51.134	51.134	51.134
51.134									

ERGNISSE BEI T = 5.551s

ALFA = 1.000

H,m									
144.04	143.57	143.10	142.63	142.16	141.69	141.22	140.76	140.29	139.82
139.35	138.88	138.41	137.94	137.47	137.00	136.53	136.06	135.59	135.13
134.66									

V,m/s									
3.234	3.234	3.234	3.234	3.234	3.234	3.234	3.234	3.234	3.234
3.234	3.234	3.234	3.234	3.234	3.234	3.234	3.234	3.234	3.234
3.234									

Q,m3/s									
51.431	51.431	51.431	51.431	51.431	51.431	51.431	51.431	51.431	51.431
51.431	51.432	51.432	51.432	51.432	51.432	51.432	51.432	51.432	51.432
51.433									

ERGNISSE BEI T = 5.642s

ALFA = 1.000

H,m									
144.04	143.57	143.10	142.63	142.16	141.69	141.22	140.75	140.28	139.81
139.35	138.88	138.41	137.94	137.47	137.00	136.53	136.06	135.59	135.12
134.65									

V,m/s									
3.253	3.253	3.253	3.253	3.253	3.253	3.253	3.253	3.253	3.253
3.253	3.253	3.253	3.253	3.253	3.253	3.253	3.253	3.253	3.253
3.253									

Q,m3/s									
51.729	51.729	51.729	51.729	51.729	51.730	51.730	51.730	51.730	51.730
51.730	51.730	51.730	51.730	51.730	51.730	51.730	51.731	51.731	51.731
51.731									

ERGNISSE BEI T = 5.733s

ALFA = 1.000

H,m									
144.04	143.57	143.10	142.63	142.16	141.69	141.22	140.75	140.28	139.81
139.34	138.87	138.40	137.93	137.46	136.99	136.52	136.05	135.58	135.11
134.64									

V,m/s									
3.271	3.271	3.271	3.271	3.271	3.271	3.271	3.271	3.271	3.271
3.271	3.271	3.271	3.271	3.271	3.271	3.271	3.271	3.271	3.271
3.271									

Q,m3/s									
52.028	52.028	52.028	52.028	52.028	52.028	52.028	52.028	52.028	52.028
52.028	52.028	52.028	52.028	52.028	52.029	52.029	52.029	52.029	52.029
52.029									

ERGNISSE BEI T = 5.824s

ALFA = 1.000

H,m									
144.04	143.57	143.10	142.63	142.16	141.69	141.22	140.75	140.28	139.81
139.34	138.87	138.40	137.93	137.46	136.99	136.52	136.05	135.58	135.11
134.64									

V,m/s									
-------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

3.478
 Q, m³/s
 55.308 55.308 55.308 55.308 55.308 55.308 55.308 55.308 55.308 55.308
 55.308 55.308 55.308 55.308 55.309 55.309 55.309 55.309 55.309 55.309
 55.309

ERGEBNISSE BEI T = 6.825s

ALFA = 1.000
 H, m
 144.04 143.57 143.09 142.62 142.15 141.67 141.20 140.73 140.25 139.78
 139.31 138.83 138.36 137.89 137.41 136.94 136.47 135.99 135.52 135.05
 134.57
 V, m/s
 3.496 3.496 3.496 3.496 3.496 3.496 3.496 3.496 3.496 3.496
 3.496 3.496 3.496 3.496 3.496 3.496 3.496 3.496 3.496 3.496
 3.496
 Q, m³/s
 55.606 55.606 55.606 55.606 55.606 55.606 55.606 55.606 55.606 55.606
 55.606 55.606 55.606 55.606 55.607 55.607 55.607 55.607 55.607 55.607
 55.607

ERGEBNISSE BEI T = 6.916s

ALFA = 1.000
 H, m
 144.04 143.57 143.09 142.62 142.15 141.67 141.20 140.72 140.25 139.78
 139.30 138.83 138.36 137.88 137.41 136.93 136.46 135.99 135.51 135.04
 134.57
 V, m/s
 3.515 3.515 3.515 3.515 3.515 3.515 3.515 3.515 3.515 3.515
 3.515 3.515 3.515 3.515 3.515 3.515 3.515 3.515 3.515 3.515
 3.515
 Q, m³/s
 55.904 55.904 55.904 55.904 55.904 55.904 55.904 55.904 55.904 55.904
 55.904 55.904 55.904 55.905 55.905 55.905 55.905 55.905 55.905 55.905
 55.905

ERGEBNISSE BEI T = 7.007s

ALFA = 1.000
 H, m
 144.04 143.57 143.09 142.62 142.14 141.67 141.20 140.72 140.25 139.77
 139.30 138.83 138.35 137.88 137.40 136.93 136.46 135.98 135.51 135.03
 134.56
 V, m/s
 3.534 3.534 3.534 3.534 3.534 3.534 3.534 3.534 3.534 3.534
 3.534 3.534 3.534 3.534 3.534 3.534 3.534 3.534 3.534 3.534
 3.534
 Q, m³/s
 56.202 56.202 56.202 56.202 56.202 56.202 56.202 56.202 56.202 56.202
 56.202 56.202 56.202 56.203 56.203 56.203 56.203 56.203 56.203 56.203
 56.204

ERGEBNISSE BEI T = 7.098s

ALFA = 1.000
 H, m
 144.04 143.57 143.09 142.62 142.14 141.67 141.19 140.72 140.25 139.77
 139.30 138.82 138.35 137.87 137.40 136.93 136.45 135.98 135.50 135.03
 134.55
 V, m/s
 3.552 3.552 3.552 3.552 3.552 3.552 3.552 3.552 3.552 3.552
 3.553 3.553 3.553 3.553 3.553 3.553 3.553 3.553 3.553 3.553
 3.553
 Q, m³/s
 56.500 56.500 56.500 56.500 56.500 56.500 56.500 56.500 56.500 56.500
 56.500 56.500 56.500 56.501 56.501 56.501 56.501 56.501 56.501 56.501
 56.502

ERGEBNISSE BEI T = 7.189s

ALFA = 1.000
 H, m
 144.04 143.57 143.09 142.62 142.14 141.67 141.19 140.72 140.24 139.77
 139.29 138.82 138.34 137.87 137.40 136.92 136.45 135.97 135.50 135.02
 134.55
 V, m/s
 3.571 3.571 3.571 3.571 3.571 3.571 3.571 3.571 3.571 3.571
 3.571 3.571 3.571 3.571 3.571 3.571 3.571 3.571 3.571 3.571
 3.571

58.287	58.287	58.287	58.287	58.287	58.287	58.288	58.288	58.288	58.288
58.288	58.288	58.288	58.288	58.288	58.288	58.288	58.289	58.289	58.289
58.289									

ERGEBNISSE BEI T = 7.735s

ALFA = 1.000

H,m									
144.04	143.56	143.09	142.61	142.13	141.66	141.18	140.70	140.23	139.75
139.27	138.80	138.32	137.84	137.37	136.89	136.42	135.94	135.46	134.99
134.51									
V,m/s									
3.684	3.684	3.684	3.684	3.684	3.684	3.684	3.684	3.684	3.684
3.684	3.684	3.684	3.684	3.684	3.684	3.684	3.684	3.684	3.684
3.684									
Q,m3/s									
58.585	58.585	58.585	58.585	58.585	58.585	58.585	58.585	58.586	58.586
58.586	58.586	58.586	58.586	58.586	58.586	58.586	58.587	58.587	58.587
58.587									

ERGEBNISSE BEI T = 7.826s

ALFA = 1.000

H,m									
144.04	143.56	143.09	142.61	142.13	141.66	141.18	140.70	140.23	139.75
139.27	138.79	138.32	137.84	137.36	136.89	136.41	135.93	135.46	134.98
134.50									
V,m/s									
3.702	3.702	3.702	3.702	3.702	3.702	3.702	3.702	3.702	3.702
3.702	3.702	3.702	3.702	3.702	3.702	3.702	3.702	3.702	3.702
3.702									
Q,m3/s									
58.883	58.883	58.883	58.883	58.883	58.883	58.883	58.883	58.883	58.883
58.884	58.884	58.884	58.884	58.884	58.884	58.884	58.884	58.884	58.885
58.885									

ERGEBNISSE BEI T = 7.917s

ALFA = 1.000

H,m									
144.04	143.56	143.09	142.61	142.13	141.65	141.18	140.70	140.22	139.75
139.27	138.79	138.31	137.84	137.36	136.88	136.40	135.93	135.45	134.97
134.50									
V,m/s									
3.721	3.721	3.721	3.721	3.721	3.721	3.721	3.721	3.721	3.721
3.721	3.721	3.721	3.721	3.721	3.721	3.721	3.721	3.721	3.721
3.721									
Q,m3/s									
59.181	59.181	59.181	59.181	59.181	59.181	59.181	59.181	59.181	59.181
59.181	59.181	59.181	59.182	59.182	59.182	59.182	59.182	59.182	59.182
59.183									

ERGEBNISSE BEI T = 8.008s

ALFA = 1.000

H,m									
144.04	143.56	143.08	142.61	142.13	141.65	141.17	140.70	140.22	139.74
139.26	138.79	138.31	137.83	137.35	136.88	136.40	135.92	135.44	134.97
134.49									
V,m/s									
3.740	3.740	3.740	3.740	3.740	3.740	3.740	3.740	3.740	3.740
3.740	3.740	3.740	3.740	3.740	3.740	3.740	3.740	3.740	3.740
3.740									
Q,m3/s									
59.479	59.479	59.479	59.479	59.479	59.479	59.479	59.479	59.479	59.479
59.479	59.479	59.479	59.479	59.480	59.480	59.480	59.480	59.480	59.480
59.480									

ERGEBNISSE BEI T = 8.099s

ALFA = 1.000

H,m									
144.04	143.56	143.08	142.61	142.13	141.65	141.17	140.70	140.22	139.74
139.26	138.78	138.31	137.83	137.35	136.87	136.39	135.92	135.44	134.96
134.48									
V,m/s									
3.758	3.758	3.758	3.758	3.759	3.759	3.759	3.759	3.759	3.759
3.759	3.759	3.759	3.759	3.759	3.759	3.759	3.759	3.759	3.759
3.759									
Q,m3/s									
59.776	59.776	59.776	59.776	59.776	59.777	59.777	59.777	59.777	59.777

59.777 59.777 59.777 59.777 59.777 59.777 59.778 59.778 59.778 59.778
59.778

ERGEBNISSE BEI T = 8.190s

ALFA = 1.000

H,m
144.04 143.56 143.08 142.61 142.13 141.65 141.17 140.69 140.21 139.74
139.26 138.78 138.30 137.82 137.35 136.87 136.39 135.91 135.43 134.95
134.48
V,m/s
3.777 3.777 3.777 3.777 3.777 3.777 3.777 3.777 3.777 3.777
3.777 3.777 3.777 3.777 3.777 3.777 3.777 3.777 3.777 3.777
3.777
Q,m3/s
60.074 60.074 60.074 60.074 60.074 60.074 60.074 60.074 60.074 60.075
60.075 60.075 60.075 60.075 60.075 60.075 60.075 60.075 60.076 60.076
60.076

ERGEBNISSE BEI T = 8.281s

ALFA = 1.000

H,m
144.04 143.56 143.08 142.60 142.13 141.65 141.17 140.69 140.21 139.73
139.25 138.78 138.30 137.82 137.34 136.86 136.38 135.91 135.43 134.95
134.47
V,m/s
3.796 3.796 3.796 3.796 3.796 3.796 3.796 3.796 3.796 3.796
3.796 3.796 3.796 3.796 3.796 3.796 3.796 3.796 3.796 3.796
3.796
Q,m3/s
60.372 60.372 60.372 60.372 60.372 60.372 60.372 60.372 60.372 60.372
60.372 60.372 60.373 60.373 60.373 60.373 60.373 60.373 60.373 60.373
60.374

ERGEBNISSE BEI T = 8.372s

ALFA = 1.000

H,m
144.04 143.56 143.08 142.60 142.12 141.65 141.17 140.69 140.21 139.73
139.25 138.77 138.29 137.81 137.34 136.86 136.38 135.90 135.42 134.94
134.46
V,m/s
3.815 3.815 3.815 3.815 3.815 3.815 3.815 3.815 3.815 3.815
3.815 3.815 3.815 3.815 3.815 3.815 3.815 3.815 3.815 3.815
3.815
Q,m3/s
60.670 60.670 60.670 60.670 60.670 60.670 60.670 60.670 60.670 60.670
60.670 60.670 60.670 60.670 60.670 60.671 60.671 60.671 60.671 60.671
60.671

ERGEBNISSE BEI T = 8.463s

ALFA = 1.000

H,m
144.04 143.56 143.08 142.60 142.12 141.64 141.16 140.69 140.21 139.73
139.25 138.77 138.29 137.81 137.33 136.85 136.37 135.89 135.41 134.94
134.46
V,m/s
3.833 3.833 3.833 3.833 3.833 3.833 3.833 3.833 3.833 3.833
3.833 3.833 3.833 3.833 3.833 3.833 3.833 3.833 3.833 3.833
3.833
Q,m3/s
60.967 60.967 60.967 60.967 60.967 60.967 60.967 60.967 60.968 60.968
60.968 60.968 60.968 60.968 60.968 60.968 60.968 60.969 60.969 60.969
60.969

ERGEBNISSE BEI T = 8.554s

ALFA = 1.000

H,m
144.04 143.56 143.08 142.60 142.12 141.64 141.16 140.68 140.20 139.72
139.24 138.77 138.29 137.81 137.33 136.85 136.37 135.89 135.41 134.93
134.45
V,m/s
3.852 3.852 3.852 3.852 3.852 3.852 3.852 3.852 3.852 3.852
3.852 3.852 3.852 3.852 3.852 3.852 3.852 3.852 3.852 3.852
3.852
Q,m3/s
61.265 61.265 61.265 61.265 61.265 61.265 61.265 61.265 61.265 61.265
61.265 61.265 61.266 61.266 61.266 61.266 61.266 61.266 61.266 61.267
61.267

61.267

ERGEBNISSE BEI T = 8.645s									
ALFA = 1.000									
H,m									
144.04	143.56	143.08	142.60	142.12	141.64	141.16	140.68	140.20	139.72
139.24	138.76	138.28	137.80	137.32	136.84	136.36	135.88	135.40	134.92
134.44									
V,m/s									
3.871	3.871	3.871	3.871	3.871	3.871	3.871	3.871	3.871	3.871
3.871	3.871	3.871	3.871	3.871	3.871	3.871	3.871	3.871	3.871
3.871									
Q,m3/s									
61.563	61.563	61.563	61.563	61.563	61.563	61.563	61.563	61.563	61.563
61.563	61.563	61.563	61.563	61.563	61.564	61.564	61.564	61.564	61.564
61.564									

ERGEBNISSE BEI T = 8.736s									
ALFA = 1.000									
H,m									
144.04	143.56	143.08	142.60	142.12	141.64	141.16	140.68	140.20	139.72
139.24	138.76	138.28	137.80	137.32	136.84	136.36	135.88	135.40	134.92
134.44									
V,m/s									
3.890	3.890	3.890	3.890	3.890	3.890	3.890	3.890	3.890	3.890
3.890	3.890	3.890	3.890	3.890	3.890	3.890	3.890	3.890	3.890
3.890									
Q,m3/s									
61.860	61.860	61.860	61.860	61.860	61.860	61.860	61.860	61.860	61.861
61.861	61.861	61.861	61.861	61.861	61.861	61.861	61.861	61.862	61.862
61.862									

ERGEBNISSE BEI T = 8.827s									
ALFA = 1.000									
H,m									
144.04	143.56	143.08	142.60	142.12	141.64	141.16	140.68	140.20	139.71
139.23	138.75	138.27	137.79	137.31	136.83	136.35	135.87	135.39	134.91
134.43									
V,m/s									
3.908	3.908	3.908	3.908	3.908	3.908	3.908	3.908	3.908	3.908
3.908	3.908	3.908	3.908	3.908	3.908	3.908	3.908	3.908	3.908
3.908									
Q,m3/s									
62.158	62.158	62.158	62.158	62.158	62.158	62.158	62.158	62.158	62.158
62.158	62.158	62.158	62.159	62.159	62.159	62.159	62.159	62.159	62.159
62.160									

ERGEBNISSE BEI T = 8.918s									
ALFA = 1.000									
H,m									
144.04	143.56	143.08	142.60	142.12	141.64	141.15	140.67	140.19	139.71
139.23	138.75	138.27	137.79	137.31	136.83	136.35	135.86	135.38	134.90
134.42									
V,m/s									
3.927	3.927	3.927	3.927	3.927	3.927	3.927	3.927	3.927	3.927
3.927	3.927	3.927	3.927	3.927	3.927	3.927	3.927	3.927	3.927
3.927									
Q,m3/s									
62.455	62.455	62.455	62.455	62.455	62.455	62.455	62.456	62.456	62.456
62.456	62.456	62.456	62.456	62.456	62.456	62.456	62.457	62.457	62.457
62.457									

ERGEBNISSE BEI T = 9.009s									
ALFA = 1.000									
H,m									
144.04	143.56	143.08	142.60	142.11	141.63	141.15	140.67	140.19	139.71
139.23	138.75	138.26	137.78	137.30	136.82	136.34	135.86	135.38	134.90
134.41									
V,m/s									
3.946	3.946	3.946	3.946	3.946	3.946	3.946	3.946	3.946	3.946
3.946	3.946	3.946	3.946	3.946	3.946	3.946	3.946	3.946	3.946
3.946									
Q,m3/s									
62.753	62.753	62.753	62.753	62.753	62.753	62.753	62.753	62.753	62.753
62.753	62.753	62.753	62.754	62.754	62.754	62.754	62.754	62.754	62.755
62.755									

ERGEBNISSE BEI T = 10.010s

ALFA = 1.000

H,m										
144.04	143.55	143.07	142.58	142.10	141.61	141.13	140.64	140.16	139.67	
139.19	138.70	138.22	137.73	137.25	136.76	136.28	135.79	135.31	134.82	
134.34										
V,m/s										
4.151	4.151	4.151	4.151	4.151	4.151	4.151	4.151	4.151	4.151	4.151
4.151	4.151	4.151	4.151	4.151	4.151	4.151	4.151	4.151	4.151	4.151
4.151										
Q,m3/s										
66.024	66.024	66.024	66.024	66.024	66.024	66.024	66.024	66.025	66.025	66.025
66.025	66.025	66.025	66.025	66.025	66.025	66.025	66.026	66.026	66.026	66.026
66.026										

ERGEBNISSE BEI T = 10.101s

ALFA = 1.000

H,m										
144.04	143.55	143.07	142.58	142.10	141.61	141.13	140.64	140.16	139.67	
139.18	138.70	138.21	137.73	137.24	136.76	136.27	135.79	135.30	134.84	
134.51										
V,m/s										
4.170	4.170	4.170	4.170	4.170	4.170	4.170	4.170	4.170	4.170	4.170
4.170	4.170	4.170	4.170	4.170	4.170	4.170	4.170	4.170	4.170	4.170
4.169										
Q,m3/s										
66.321	66.321	66.321	66.322	66.322	66.322	66.322	66.322	66.322	66.322	66.322
66.322	66.322	66.322	66.322	66.322	66.323	66.323	66.323	66.323	66.323	66.320
66.299										

ERGEBNISSE BEI T = 10.192s

ALFA = 1.000

H,m										
144.04	143.55	143.07	142.58	142.10	141.61	141.12	140.64	140.15	139.67	
139.18	138.69	138.21	137.72	137.26	136.93	136.60	136.27	135.94	135.62	
135.29										
V,m/s										
4.189	4.189	4.189	4.189	4.189	4.189	4.189	4.189	4.189	4.189	4.189
4.189	4.189	4.189	4.189	4.189	4.187	4.186	4.185	4.183	4.182	4.182
4.181										
Q,m3/s										
66.619	66.619	66.619	66.619	66.619	66.619	66.619	66.619	66.619	66.619	66.619
66.619	66.619	66.619	66.620	66.616	66.595	66.574	66.553	66.532	66.511	66.511
66.490										

ERGEBNISSE BEI T = 10.283s

ALFA = 1.000

H,m										
144.04	143.55	143.07	142.58	142.09	141.61	141.12	140.64	140.15	139.69	
139.36	139.03	138.70	138.37	138.04	137.71	137.38	137.05	136.72	136.40	
136.07										
V,m/s										
4.207	4.207	4.207	4.207	4.207	4.207	4.207	4.207	4.207	4.207	4.207
4.206	4.205	4.203	4.202	4.201	4.199	4.198	4.197	4.195	4.194	4.194
4.193										
Q,m3/s										
66.916	66.916	66.916	66.916	66.916	66.916	66.916	66.916	66.916	66.916	66.913
66.892	66.871	66.850	66.829	66.808	66.787	66.766	66.745	66.724	66.703	66.703
66.682										

ERGEBNISSE BEI T = 10.374s

ALFA = 1.000

H,m										
144.04	143.55	143.07	142.58	142.12	141.79	141.46	141.13	140.80	140.47	
140.14	139.81	139.48	139.15	138.82	138.49	138.16	137.83	137.50	137.18	
136.85										
V,m/s										
4.226	4.226	4.226	4.226	4.226	4.225	4.223	4.222	4.221	4.219	4.219
4.218	4.217	4.215	4.214	4.213	4.211	4.210	4.209	4.207	4.206	4.206
4.205										
Q,m3/s										
67.213	67.213	67.213	67.213	67.210	67.189	67.168	67.147	67.126	67.105	67.105
67.083	67.062	67.041	67.020	66.999	66.978	66.957	66.936	66.915	66.894	66.894
66.873										

ERGEBNISSE BEI T = 10.465s

ALFA = 1.000

H,m									
144.04	143.87	143.56	143.23	142.90	142.57	142.24	141.91	141.58	141.25
140.92	140.59	140.26	139.93	139.60	139.27	138.94	138.62	138.29	137.96
137.63									
V,m/s									
4.242	4.242	4.241	4.239	4.238	4.237	4.235	4.234	4.233	4.231
4.230	4.229	4.227	4.226	4.225	4.223	4.222	4.221	4.219	4.218
4.217									
Q,m ³ /s									
67.462	67.462	67.444	67.423	67.401	67.380	67.359	67.338	67.317	67.296
67.275	67.254	67.232	67.211	67.190	67.169	67.148	67.127	67.106	67.085
67.063									

ERGNISSE BEI T = 10.556s

ALFA = 1.000

H,m									
144.04	143.87	143.69	143.52	143.35	143.17	143.00	142.69	142.36	142.03
141.70	141.37	141.04	140.72	140.39	140.06	139.73	139.40	139.07	138.74
138.41									
V,m/s									
4.247	4.247	4.247	4.247	4.247	4.247	4.247	4.246	4.245	4.243
4.242	4.241	4.239	4.238	4.237	4.235	4.234	4.233	4.231	4.230
4.229									
Q,m ³ /s									
67.547	67.547	67.547	67.547	67.547	67.547	67.547	67.529	67.508	67.487
67.466	67.445	67.423	67.402	67.381	67.360	67.339	67.317	67.296	67.275
67.254									

ERGNISSE BEI T = 10.647s

ALFA = 1.000

H,m									
144.04	143.87	143.69	143.52	143.35	143.17	143.00	142.83	142.65	142.48
142.31	142.14	141.83	141.50	141.17	140.84	140.51	140.18	139.85	139.53
139.20									
V,m/s									
4.252	4.252	4.252	4.252	4.252	4.252	4.252	4.252	4.252	4.252
4.252	4.252	4.251	4.250	4.249	4.247	4.246	4.245	4.243	4.242
4.241									
Q,m ³ /s									
67.633	67.633	67.633	67.633	67.633	67.633	67.633	67.632	67.632	67.632
67.632	67.632	67.614	67.593	67.572	67.550	67.529	67.508	67.487	67.466
67.444									

ERGNISSE BEI T = 10.738s

ALFA = 1.000

H,m									
144.04	143.87	143.69	143.52	143.35	143.18	143.00	142.83	142.66	142.49
142.31	142.14	141.97	141.79	141.62	141.45	141.28	140.97	140.64	140.31
139.98									
V,m/s									
4.258	4.258	4.258	4.258	4.258	4.258	4.258	4.258	4.258	4.258
4.258	4.258	4.258	4.258	4.258	4.258	4.258	4.257	4.255	4.254
4.253									
Q,m ³ /s									
67.718	67.718	67.718	67.718	67.718	67.718	67.718	67.718	67.717	67.717
67.717	67.717	67.717	67.717	67.717	67.717	67.716	67.698	67.677	67.656
67.635									

ERGNISSE BEI T = 10.829s

ALFA = 1.000

H,m									
144.04	143.87	143.70	143.52	143.35	143.18	143.01	142.83	142.66	142.49
142.32	142.14	141.97	141.80	141.63	141.45	141.28	141.11	140.94	140.77
140.64									
V,m/s									
4.263	4.263	4.263	4.263	4.263	4.263	4.263	4.263	4.263	4.263
4.263	4.263	4.263	4.263	4.263	4.263	4.263	4.263	4.263	4.263
4.263									
Q,m ³ /s									
67.803	67.803	67.802	67.802	67.802	67.802	67.802	67.802	67.802	67.802
67.802	67.802	67.802	67.802	67.802	67.801	67.801	67.801	67.801	67.800
67.794									

ERGNISSE BEI T = 10.920s

ALFA = 1.000

H,m									
144.04	143.87	143.70	143.52	143.35	143.18	143.01	142.84	142.66	142.49
142.32	142.15	141.98	141.80	141.64	141.51	141.38	141.25	141.13	141.00
140.87									
V,m/s									
4.268	4.268	4.268	4.268	4.268	4.268	4.268	4.268	4.268	4.268
4.268	4.268	4.268	4.268	4.268	4.268	4.268	4.267	4.267	4.266
4.266									
Q,m ³ /s									
67.887	67.887	67.887	67.887	67.887	67.887	67.887	67.887	67.887	67.887
67.886	67.886	67.886	67.886	67.885	67.879	67.873	67.867	67.861	67.855
67.848									

ERGEBNISSE BEI T = 11.011s

ALFA = 1.000

H,m									
144.04	143.87	143.70	143.53	143.35	143.18	143.01	142.84	142.67	142.50
142.37	142.25	142.12	141.99	141.86	141.74	141.61	141.48	141.35	141.22
141.10									
V,m/s									
4.274	4.274	4.274	4.274	4.274	4.274	4.274	4.274	4.274	4.274
4.273	4.273	4.273	4.272	4.272	4.271	4.271	4.271	4.270	4.270
4.269									
Q,m ³ /s									
67.971	67.971	67.971	67.971	67.971	67.971	67.971	67.971	67.971	67.970
67.964	67.958	67.952	67.946	67.939	67.933	67.927	67.921	67.915	67.909
67.903									

ERGEBNISSE BEI T = 11.102s

ALFA = 1.000

H,m									
144.04	143.87	143.70	143.53	143.36	143.23	143.11	142.98	142.85	142.72
142.60	142.47	142.34	142.21	142.09	141.96	141.83	141.70	141.58	141.45
141.32									
V,m/s									
4.279	4.279	4.279	4.279	4.279	4.279	4.278	4.278	4.277	4.277
4.277	4.276	4.276	4.276	4.275	4.275	4.274	4.274	4.274	4.273
4.273									
Q,m ³ /s									
68.055	68.055	68.055	68.055	68.054	68.048	68.042	68.036	68.030	68.024
68.018	68.012	68.006	68.000	67.994	67.988	67.982	67.975	67.969	67.963
67.957									

ERGEBNISSE BEI T = 11.193s

ALFA = 1.000

H,m									
144.04	143.96	143.84	143.71	143.58	143.46	143.33	143.20	143.07	142.95
142.82	142.69	142.57	142.44	142.31	142.18	142.06	141.93	141.80	141.67
141.55									
V,m/s									
4.283	4.283	4.283	4.283	4.282	4.282	4.282	4.281	4.281	4.280
4.280	4.280	4.279	4.279	4.279	4.278	4.278	4.277	4.277	4.277
4.276									
Q,m ³ /s									
68.125	68.125	68.119	68.114	68.108	68.102	68.096	68.090	68.084	68.078
68.072	68.066	68.060	68.054	68.048	68.042	68.036	68.030	68.023	68.017
68.011									

ERGEBNISSE BEI T = 11.284s

ALFA = 1.000

H,m									
144.04	143.96	143.87	143.79	143.71	143.63	143.54	143.42	143.30	143.17
143.04	142.92	142.79	142.66	142.53	142.41	142.28	142.15	142.03	141.90
141.77									
V,m/s									
4.285	4.285	4.285	4.285	4.285	4.285	4.285	4.285	4.284	4.284
4.283	4.283	4.283	4.282	4.282	4.282	4.281	4.281	4.280	4.280
4.280									
Q,m ³ /s									
68.148	68.148	68.148	68.148	68.148	68.148	68.148	68.143	68.137	68.131
68.125	68.119	68.113	68.107	68.101	68.095	68.089	68.083	68.077	68.071
68.065									

ERGEBNISSE BEI T = 11.375s

ALFA = 1.000

H,m

144.04	143.96	143.87	143.79	143.71	143.63	143.54	143.46	143.38	143.30
143.21	143.13	143.01	142.88	142.76	142.63	142.50	142.38	142.25	142.12
142.00									
V,m/s									
4.286	4.286	4.286	4.286	4.286	4.286	4.286	4.286	4.286	4.286
4.286	4.286	4.286	4.286	4.285	4.285	4.285	4.284	4.284	4.283
4.283									
Q,m3/s									
68.172	68.172	68.172	68.172	68.172	68.172	68.172	68.172	68.172	68.172
68.172	68.172	68.167	68.161	68.155	68.149	68.143	68.137	68.131	68.125
68.119									

ERGEBNISSE BEI T = 11.466s

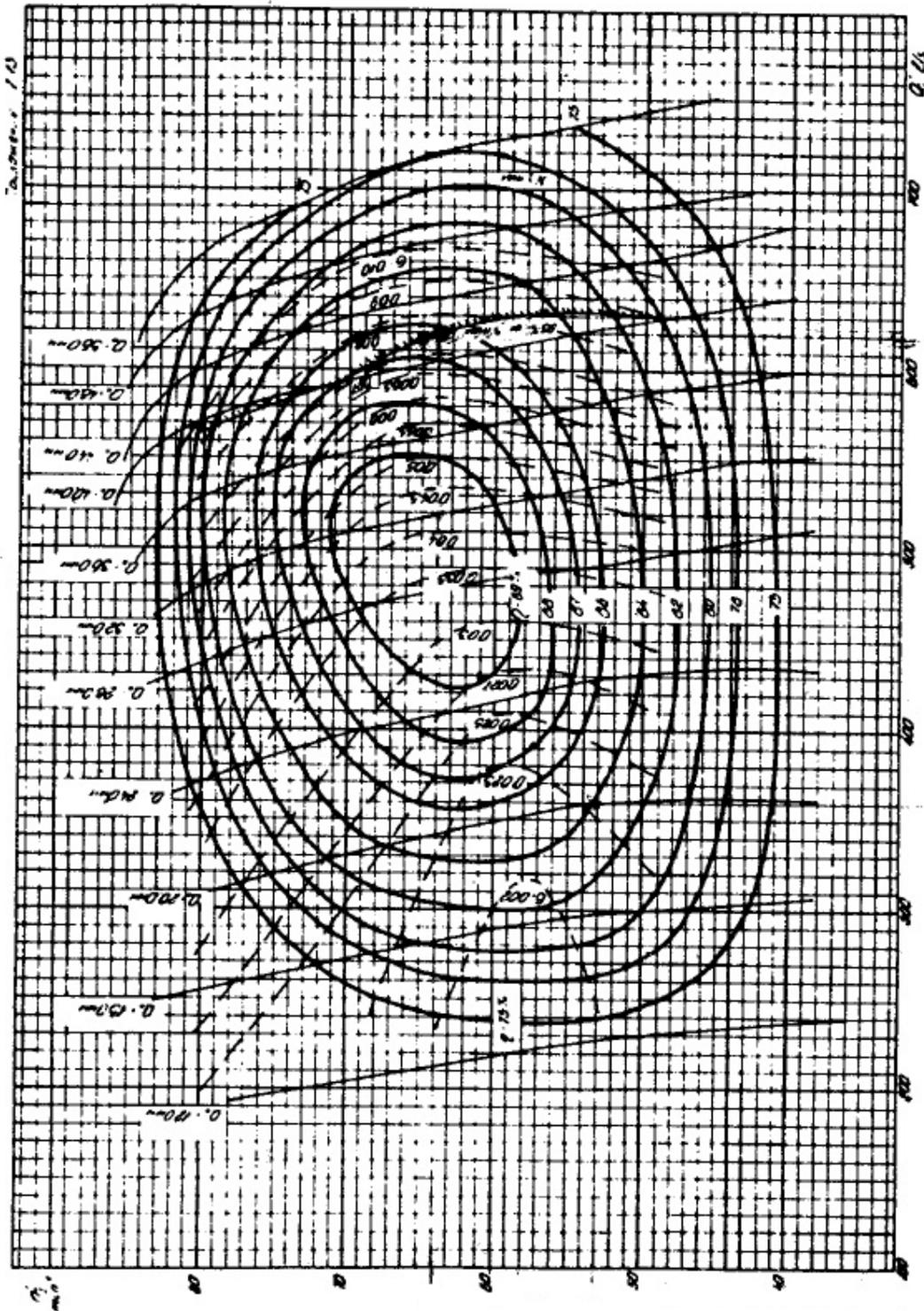
ALFA = 1.000									
H,m									
144.04	143.96	143.87	143.79	143.71	143.63	143.54	143.46	143.38	143.30
143.21	143.13	143.05	142.97	142.88	142.80	142.72	142.60	142.47	142.34
142.22									
V,m/s									
4.288	4.288	4.288	4.288	4.288	4.288	4.288	4.288	4.288	4.288
4.288	4.288	4.288	4.288	4.288	4.288	4.288	4.288	4.287	4.287
4.286									
Q,m3/s									
68.196	68.196	68.196	68.196	68.196	68.196	68.196	68.196	68.196	68.196
68.196	68.196	68.196	68.196	68.196	68.195	68.195	68.190	68.184	68.178
68.172									

ERGEBNISSE BEI T = 11.557s

ALFA = 1.000									
H,m									
144.04	143.96	143.87	143.79	143.71	143.63	143.54	143.46	143.38	143.30
143.22	143.13	143.05	142.97	142.89	142.80	142.72	142.64	142.55	142.47
142.40									
V,m/s									
4.289	4.289	4.289	4.289	4.289	4.289	4.289	4.289	4.289	4.289
4.289	4.289	4.289	4.289	4.289	4.289	4.289	4.289	4.289	4.289
4.289									
Q,m3/s									
68.219	68.219	68.219	68.219	68.219	68.219	68.219	68.219	68.219	68.219
68.219	68.219	68.219	68.219	68.219	68.219	68.219	68.219	68.219	68.219
68.217									

S,m	Hmin,m	Hmax,m
0.000	144.04	144.04
21.043	143.55	143.96
42.086	143.07	143.88
63.129	142.58	143.79
84.172	142.09	143.71
105.215	141.61	143.63
126.258	141.12	143.54
147.301	140.64	143.46
168.344	140.15	143.38
189.387	139.66	143.30
210.430	139.18	143.22
231.473	138.69	143.13
252.516	138.21	143.05
273.559	137.72	142.97
294.602	137.24	142.89
315.645	136.75	142.80
336.688	136.27	142.72
357.731	135.78	142.64
378.774	135.30	142.55
399.817	134.82	142.47
420.860	134.33	142.40

11.3 Universalmuschelkurve der Francis-Turbine PO230



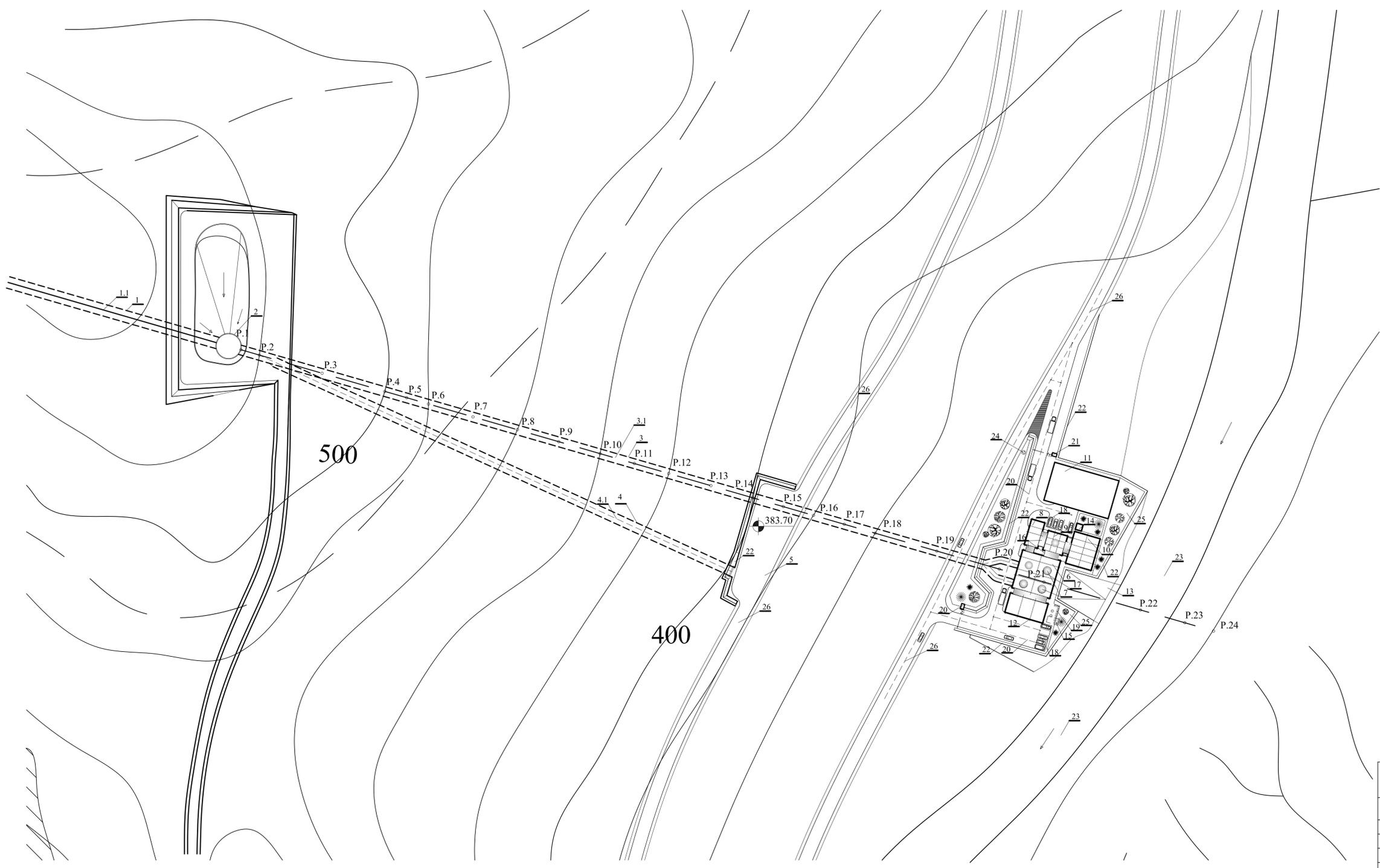
Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 KASKADE "GORNA ARDA"	5
Abb. 2 HYDROGRAPHISCHE KARTE DER GEMEINDE ARDINO	6
Abb. 3 GRAPHIK FÜR DIE ANWENDUNG DER VERSCHIEDENEN ARTEN VON TURBINEN	12
Abb. 4 NOMENKLATUR VON KAPLAN UND FRANCIS- TURBINEN	13
Abb. 5 METALLTURBINENKAMMER	14
Abb. 6 GRAPHIK FÜR DIE BESTIMMUNG DER HAUPTABMESSUNGEN DER METALLTURBINENKAMMERN	14
Abb. 7 GRAPHIK FÜR DIE ANWENDUNG DER VERSCHIEDENEN ARTEN VON TURBINEN	22
Abb. 8 NOMENKLATUR VON KAPLAN UND FRANCIS- TURBINEN	23
Abb. 9 GRAPHIKEN FÜR DIE BESTIMMUNG DER HAUPTABMESSUNGEN DER METALLTURBINENKAMMERN	26
Abb. 10 SCHEMA DER METALLTURBINENKAMMER	26
Abb. 11 SCHEMA DES SAUGROHRES	27
Abb. 12 P-H BETRIEBSMUSCHELKURVE	35
Abb. 13 Q-H BETRIEBSMUSCHELKURVE	36
Abb. 14 BETRIEBSKURVE H-Q	37
Abb. 15 BETRIEBSKURVE H-P	38
Abb. 16 GRAPHIK DER VERÄNDERUNG DES DRUCKS GEGEN DIE ZEIT BEI DER BESTIMMUNG DES MAXIMALEN ANSTIEGS	48
Abb. 17 GRAPHIK DER VERÄNDERUNG DES DRUCKS GEGEN DIE ZEIT BEI DER BESTIMMUNG DER MAXIMALEN ABSENKUNG	50
Abb. 18 ANWENDUNGSBEREICH DER VERSCHIEDENENTYPEN VON ABSTÜTZUNGEN	53
Abb. 19 BESTIMMUNG DER ABSTÜTZUNGSKONSTRUKTIONEN NACH Q-SYSTEM	65
Abb. 20 TEILSCHNITTMASCHINE	77
Abb. 21 TEILSCHNITTMASCHINE	78
Abb. 22 AUFFÜLLEN DER HOHLRÄUME ZWISCHEN DEM FELS UND DEN STAHLRAHMEN MIT SPRITZBETON	79
Abb. 23 KOMBINIERTER ABSTÜTZUNG VON STAHLRAHMEN UND SPRITZBETON	79
Abb. 24 MONTAGE DER STAHLROHR-EINHEITEN IM AUSBRUCH	85
Abb. 25 BETONIERUNG DURCH ABGABE DER BETONMISCHUNG VON DER OBERFLÄCHE	87
Abb. 26 AUFBRINGEN EINER KORROSIONSSCHUTZSCHICHT AUF DIE PANZERUNG	89

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1 - („HYDRAULIK“ -2003 UABG – UNIV. PROF. DIPL.-INJ. EMIL MARINOV, SEITE 166, TABELLE 5.5)	19
TABELLE 2 – GRÖÖE DER TURBINENKAMMER MIT LAUFRADSDURCHMESSER $D_1=2,10$ M	26
TABELLE 3 – GRÖÖE DES SAUGROHRES	27
TABELLE 4 – EINGANGSDATEN FÜR DEN AUFBAU DER BETRIEBSMUSCHELKURVEN	34
TABELLE 5 – EINSCHRÄNKENDE LINIE, DIE MIT DEM MAXIMALEN GRAD DER ÖÖFFNUNG DES LEITAPPARATES VERBUNDEN IST	34
TABELLE 6 – EINSCHRÄNKENDE LINIE, DIE MIT DER GENERATORSLEISTUNG VERBUNDEN IST	35
TABELLE 7 – BESTIMMUNG DER FELSQUALITÄT (Q)	64
TABELLE 8 – PARAMETER FÜR DIE BESTIMMUNG DER ABSTÜTZUNGSKONSTRUKTION	65
TABELLE 9 – VERGLEICH ZWISCHEN DIE ABSTÜTZUNGSKONSTRUKTIONEN	66
TABELLE 10 – ÜBERPRÜFUNG DER TRAGFÄHIGKEIT AUF INTERNEN WASSERDRUCK	69
TABELLE 11 – ÜBERPRÜFUNG DER TRAGFÄHIGKEIT AUF EXTERNEN WASSERDRUCK	70
TABELLE 12 – AXIALE SPANNUNGEN VON DER WIRKUNG DER POISSON	70
TABELLE 13 – AXIALE SPANNUNGEN DES EIGENGEWICHT	71
TABELLE 14 – SUMME DER AXIALEN SPANNUNGEN	71
TABELLE 15 – ÜBERPRÜFUNG DER ERSTEN GRUPPE DER GRENZZUSTÄNDE	72
TABELLE 16 – ÜBERPRÜFUNG GEGEN BEULEN – RUSSISCHE METHODE	73
TABELLE 17 – ÜBERPRÜFUNG GEGEN BEULEN – METHODE VON MONTEL	73
TABELLE 18 – ÜBERPRÜFUNG GEGEN BEULEN – METHODE VON AMSTUTZ	75
TABELLE 19 – ÜBERPRÜFUNG GEGEN BEULEN – METHODE VON JACOBSEN	76

-
- [1] AUSTIN, S.A.; ROBINS, P.J. : *Chapter 8: Design of tunnel support*, In: *Sprayed Concrete: Properties, Design and Application*, published by Whittles Publishing, 1995
- [2] BAMBEI Jr., John : *Steel Penstocks*, 2.Auflage – Reston Virginia, American Society of Civil Engineers, 2012
- [3] Corro Tec Korrosionsschutz Vertriebsges.m.B.H. : *Technische Datenblätter*, <http://www.corrotec.at/> , 2012
- [4] Electrosteel Europe S.A. : *Einbauanleitung, Empfehlungen, Handhabung und Lagerung*, <http://www.electrosteel.de/> , S.3-4.
- [5] GEORGIEV, Liubomir : *Tunnelbau*, 3.Auflage – Sofia, 2004
- [6] GEORGIEV, Liubomir : *Unterirdische Wasserkraftanlagen*, 1.Auflage – Sofia, Staatsverlag „Technik“, 1974
- [7] HOEK, Evert : *Chapter - Rock mass classification*, In: *Practical Rock Engineering*, http://www.rocscience.com/hoek/corner/Practical_Rock_Engineering.pdf, 24.04.2007, S. 53-75.
- [8] KISLIAKOV, Dimitar : *Hydraulische Maschinen*, Vorlesungsblätter – Sofia, 2008
- [9] KISKLIAKOV, Dimitar : *Wasserkraftwerke und Pumpspeicherwerke – Einführung*, Präsentation, Vorlesung Wasserkraftwerke und Pumpspeicherwerke – Sofia, 2011, Nr1, S. 3.
- [10] LIUBENOV, Nikolai : *Nutzung der Wasserressourcen im Arda Einzugsgebiet für Stromerzeugung – die Zukunft der Kaskade “Gorna Arda”*, Präsentation, *Internationale Konferenz “Der Klimawandel und seine Auswirkungen auf die Wasserressourcen”*, Kardzhali, 2009, S. 3-4.
- [11] LIUBENOV, Slavcho : *Wasserkraftanlagen und –systeme*, 1. Auflage – Sofia, Staatsverlag „Technik“, 1990
- [12] MARINOV, Emil : *Hydraulik*, 2. Auflage – Sofia, UABG, 2003
- [13] MINOVA Rsa: *Lokset Resin Capsules*, <http://www.minova.com.au/assets/Uploads/8660-Lokset-Resin.2.pdf>, 2009, S. 7.
- [14] MINOVA Rsa: *Lokset Resin Capsules, Polyester resin anchoring system for bolting in mining and tunnelling*, <http://82.141.32.66/BOIN/media/107714/Overview%20-%20Lokset%20Resin%20Capsules.pdf>, 2012, S. 2.
- [15] STANCHEV, Stefan : *Hydraulik*, 3.Auflage – Sofia, Staatsverlag “Technik“, 1974
- [16] TASHEV, Viktor : *Unterirdische Wasserkraftanlagen*, UABG, Vorlesungsblätter - Sofia, 2011
- [17] TSOLOVSKI, TS. ; NIKOLAEVA, R. : *Handbuch für Proektierung von Wasserkraftanlagen*, Sofia, UABG, 1991
- [18] United States Bureau of Reclamation: *Welded steel penstocks*, In: *Engineering Monograph №3*, Washington DC,U.S. Government Printing Office, 1977, S.37-38.
- [19] U.S. Army Corps of Engineers : *Chapter 9: Design of Permanent, Final Linings*, In: *Tunnels and shafts in rock*, 2.Auflage – Washington DC, 30.05.1997

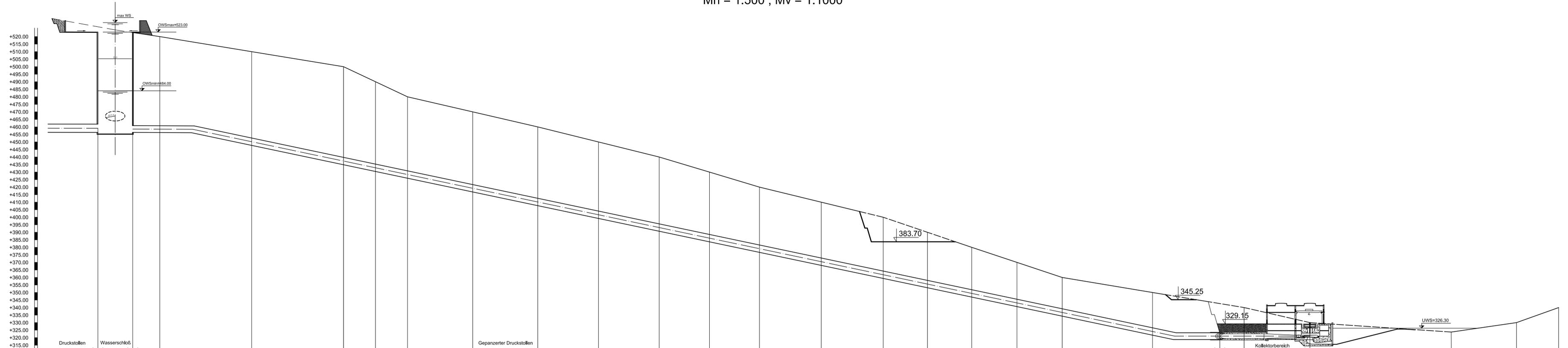


- Legende:**
- 1. Druckstollen
 - 1.1. Achse des Druckstollens
 - 2. Wasserschloss
 - 3. Gepanzerter Druckstollen
 - 3.1. Achse des gepanzerten Druckstollens
 - 4. Zugangstollen
 - 4.1. Achse des Zugangstollens
 - 5. Baustelle des Zugangstollens
 - 6. Maschinenraum
 - 7. Achse der Francis-Turbinen
 - 8. Elektrischer Block
 - 9. Leitwarte
 - 10. Lagerraum
 - 11. Schaltanlage
 - 12. Kfz-Park
 - 13. Auslauf
 - 14. Bohrbrunnen
 - 15. Abwasserreinigungsanlage
 - 16. Verbindung
 - 17. Lichtkuppeln
 - 18. Parkplatz
 - 19. Erholungsbereich
 - 20. Kommunikationsplatz
 - 21. Kontrollpunkt mit Zutrittskontrolle
 - 22. Stützmauer
 - 23. Flußbett
 - 24. Unternehmenslogo
 - 25. Grünplatz
 - 26. Dienstweg

Universität für Architektur, Bauwesen und Geodäsie - Sofia Technische Universität - Wien		
Objekt	Gepanzerter Druckstollen des WKWs "Kitnitsa"	
Zeichnung № 1	Grundriß	M 1:1000
Diplomant	Doncho Vasilev	Matr. № 0927921
Betreuer	Prof. Dipl.-Ing. Viktor Tashev	
Rezensent		

Längsschnitt des gepanzerten Druckstollens

Mh = 1:500 ; Mv = 1:1000



PUNKTNUMMERIERUNG		T.1	T.2	T.3	T.4	T.5	T.6	T.7	T.8	T.9	T.10	T.11	T.12	T.13	T.14	T.15	T.16	T.17	T.18	T.19	T.20	T.21	T.22	T.23	T.24																					
GELÄNDEHÖHE		522.70	520.00	510.00	500.00	495.00	485.00	480.00	470.00	460.00	450.00	440.00	430.00	420.00	410.00	400.00	390.00	380.00	370.00	360.00	350.00	340.00	330.00	320.00	310.00																					
HORIZONTALER ABSTAND		9	30.60	30.60	10.65	10.65	21.70	21.70	20.20	20.20	16.75	16.75	20.60	20.60	14.75	14.75	15.05	15.05	30.10	30.50	21.90	47.15	21.65	14.05																						
HEKTOMETRIERUNG		0.00	9.00	39.60	70.20	80.85	91.50	113.20	134.90	155.10	175.30	192.05	208.70	229.30	249.90	264.65	279.40	294.45	309.50	339.60	370.10	392.00	439.15	460.80	474.85																					
LÄNGE / NEIGUNG		i=1.0% L=20.00 m		L=354.70 m												i=40.4%		i=1.0% L=15.00 m		i=1.0% L=31.16 m																										
KILOMETRIERUNG		0	0 +100										0	0 +200										0	0 +300										0	0 +400										0
EIGENSCHAFTEN DES FELSES		Ko = 2400 N/cm ³ , f = 5					Ko = 1800 N/cm ³ , f = 4					Ko = 800 N/cm ³ , f = 2					Ko = 2400 N/cm ³ , f = 5					Ko = 800 N/cm ³ , f = 2																								
ABSTÜTZUNG		Kombinierte Abstützung aus unbewehrten Spritzbeton und Kunstharzklebeankern la = 1.50 m n = 6, d _{SB} = 0.04 m					Kombinierte Abstützung aus bewehrten Spritzbeton und Kunstharzklebeankern la = 1.45 m n = 6, d _{SB} = 0.04 m					Kombinierte Abstützung aus bewehrten Spritzbeton und Kunstharzklebeankern Stahlrahmen IPN No. 140 d _{SB} = 0.25 m					Kombinierte Abstützung aus unbewehrten Spritzbeton und Kunstharzklebeankern la = 1.50 m n = 6, d _{SB} = 0.04 m					Kombinierte Abstützung aus bewehrten Spritzbeton und Stahlrahmen IPN No. 120 d _{SB} = 0.15 m																								
FÜLLBETON		B30 d _{FB} = 0.30 m					B30 d _{FB} = 0.30 m					B30 d _{FB} = 0.30 m					B30 d _{FB} = 0.30 m					B30 d _{FB} = 0.30 m																								
PANZERUNG		Stahlblech von STOMANA Industry S.A. Klasse S355J2+N d _{Panz.} = 0.014 m					Stahlblech von STOMANA Industry S.A. Klasse S355J2+N d _{Panz.} = 0.014 m					Stahlblech von STOMANA Industry S.A. Klasse S355J2+N d _{Panz.} = 0.014 m					Stahlblech von STOMANA Industry S.A. Klasse S355J2+N d _{Panz.} = 0.022 m					Stahlblech von STOMANA Industry S.A. Klasse S355J2+N d _{Panz.} = 0.022 m																								

Universität für Architektur, Bauwesen und Geodäsie - Sofia
Technische Universität - Wien

Objekt: Gepanzertes Druckstollen des WKWs "Kitritsa"

Zeichnung № 2: Längsschnitt

Diplomant: Doncho Vasilev

Betreuer: Prof. Dipl.-Ing. Viktor Tashev

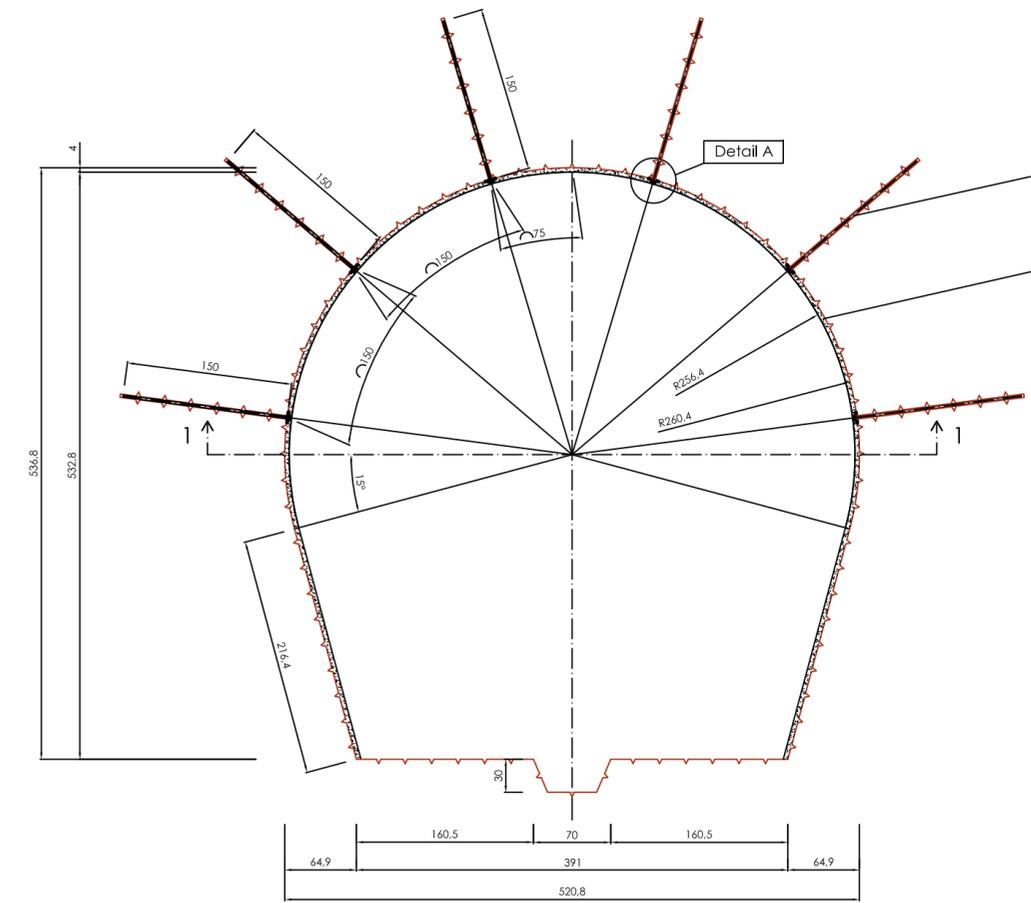
Rezensent:

Mh 1:500

Mv 1:1000

Modr. № 0927921

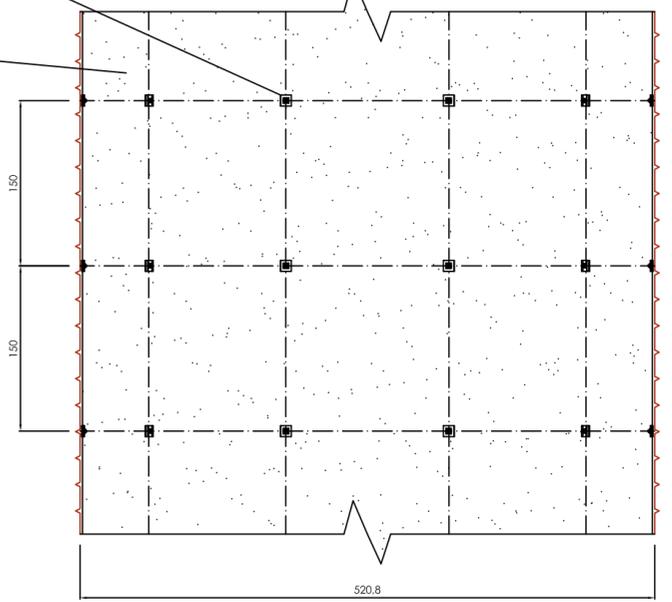
Kombinierte Abstützung aus unbewehrten Spritzbeton und Kunstharzklebeankern für Abschnitte I und IV - f=5 (RMR = 52)



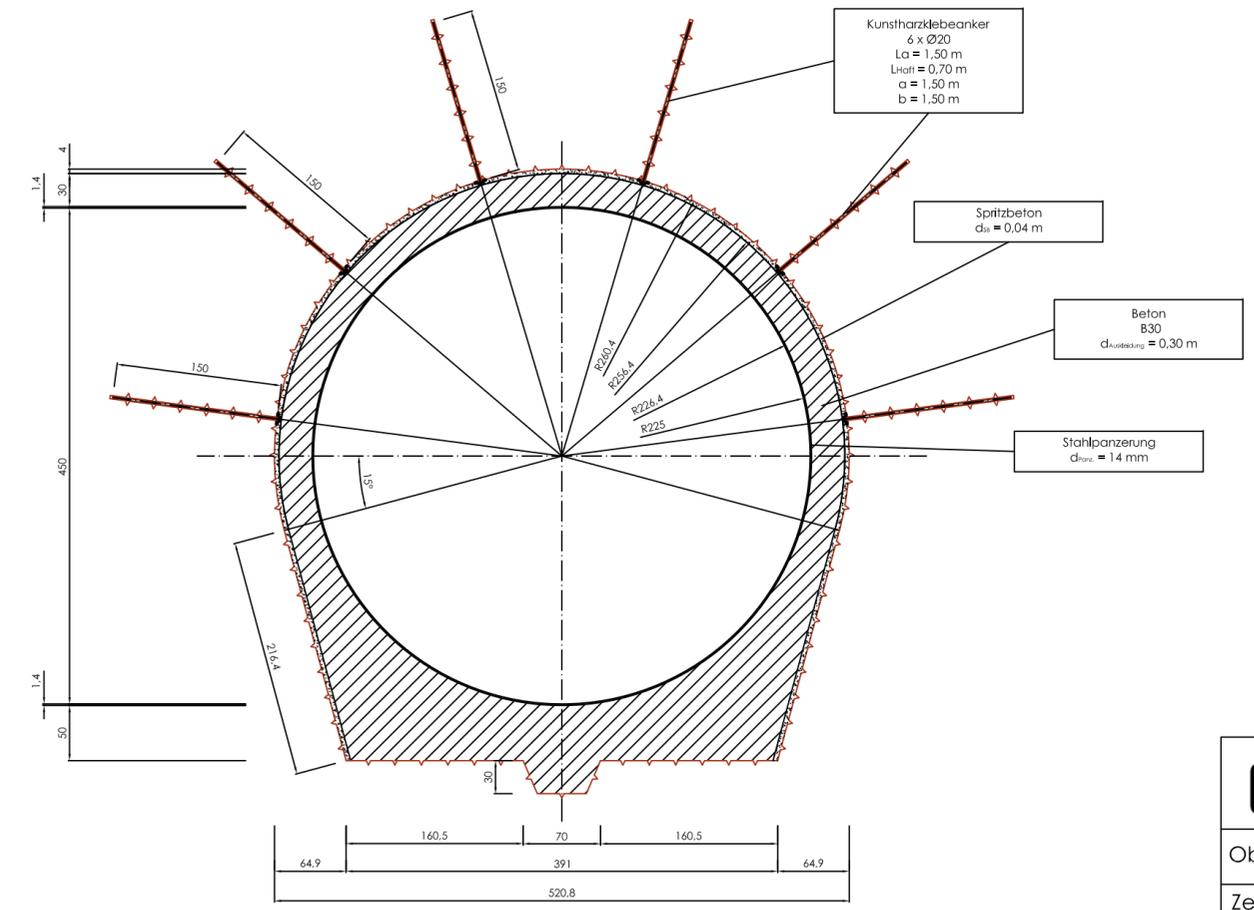
Kunstharzklebeanker
6 x Ø20
L_{eff} = 1,50 m
L_{hohl} = 0,70 m
a = 1,50 m
b = 1,50 m

Spritzbeton
d_{st} = 0,04 m

Schnitt 1-1



Auskleidung für Abschnitte I und IV - f=5 (RMR = 52)



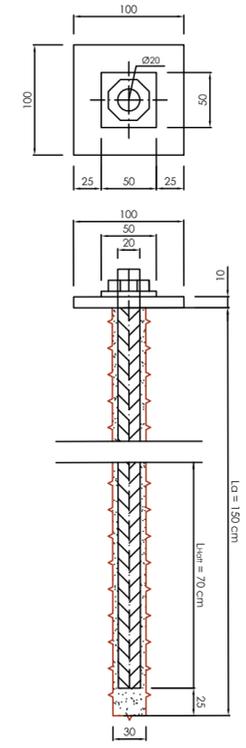
Kunstharzklebeanker
6 x Ø20
L_{eff} = 1,50 m
L_{hohl} = 0,70 m
a = 1,50 m
b = 1,50 m

Spritzbeton
d_{st} = 0,04 m

Beton B30
d_{Auskleidung} = 0,30 m

Stahlpanzerung
d_{neu} = 14 mm

Detail A
M 1:5



Kunstharzklebeanker
6 x Ø20
L_{eff} = 1,50 m
L_{hohl} = 0,70 m
a = 1,50 m
b = 1,50 m

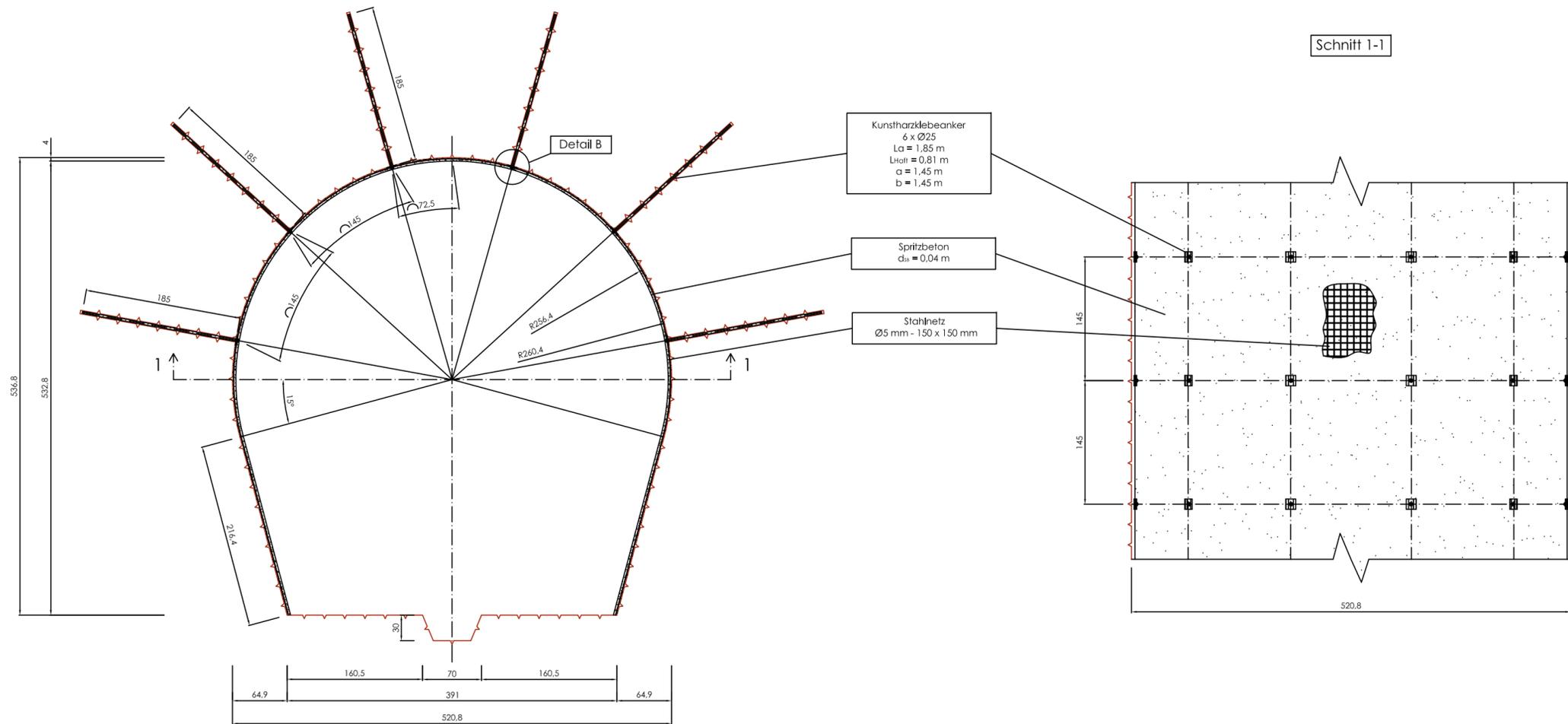


Universität für Architektur, Bauwesen und Geodäsie - Sofia
Technische Universität - Wien

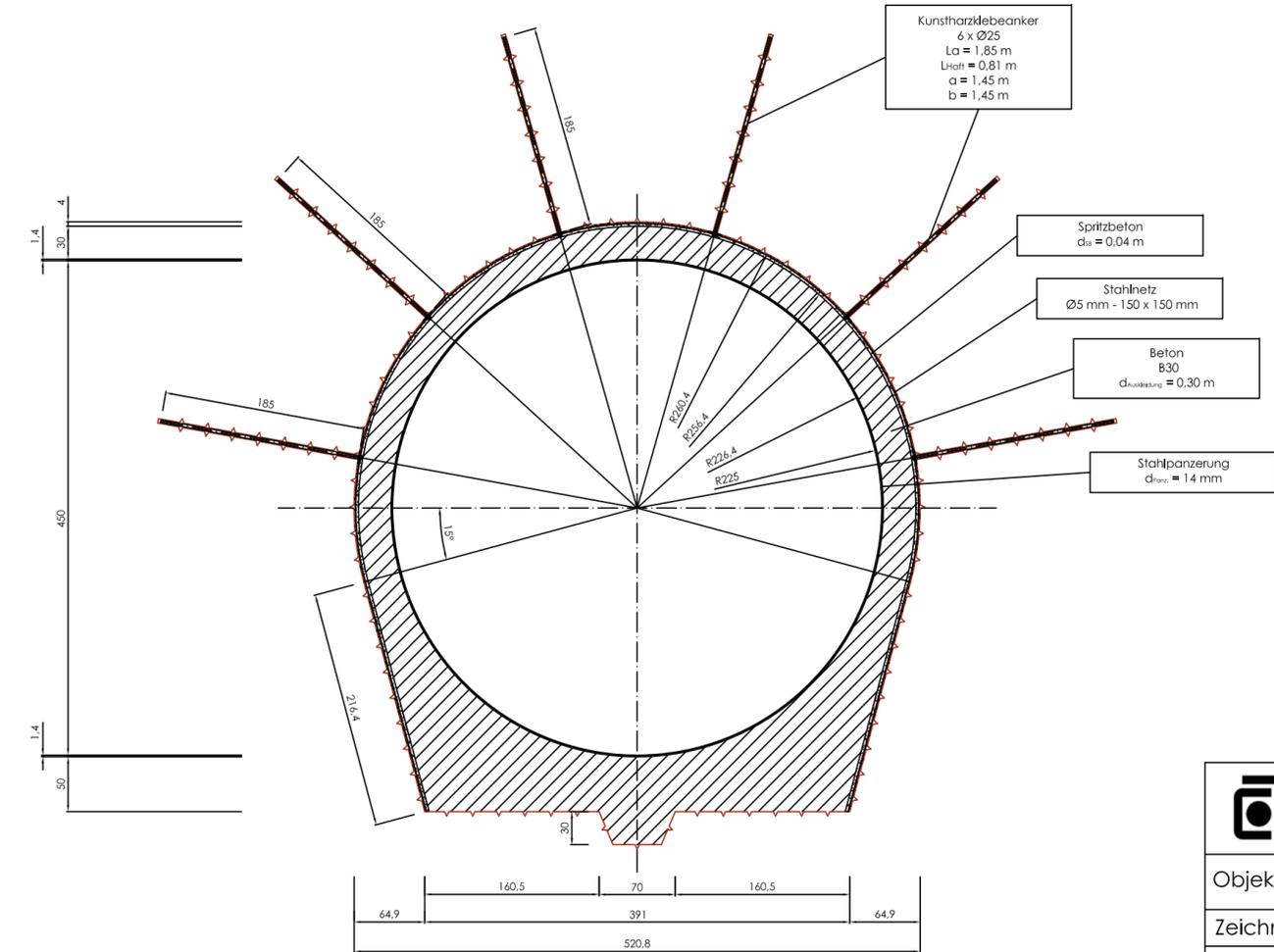


Objekt	Gepanzerter Druckstollen des WKWS "Kitnitsa"	Abschnitte I und IV
Zeichnung № 3	Abstützung und Auskleidung	M 1:50
Diplomant	Doncho Vasilev	Matr. № 0927921
Betreuer	Prof. Dipl.-Ing. Viktor Tashev	
Rezensent		

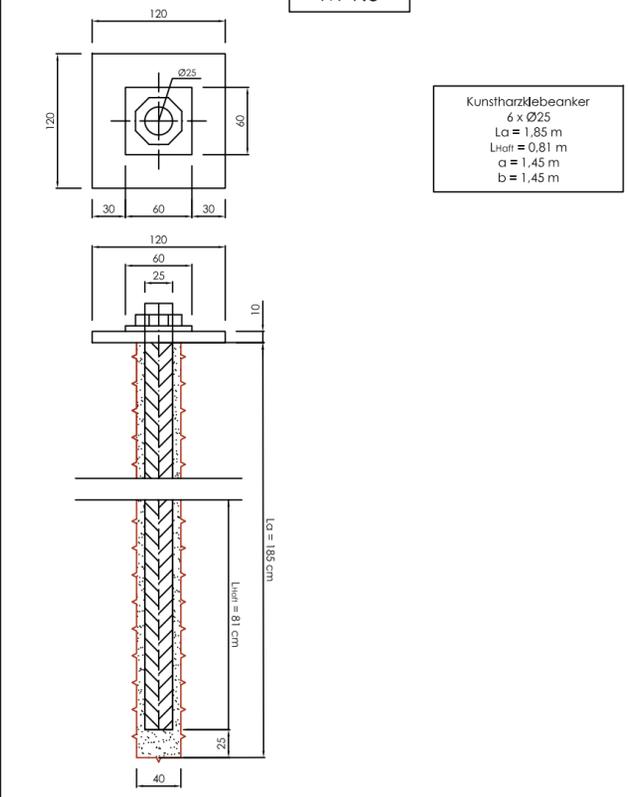
Kombinierte Abstützung aus bewehrten Spritzbeton und Kunstharzklebeankern für Abschnitt II - f=4 (RMR = 45)



Auskleidung für Abschnitt II - f=4 (RMR = 45)

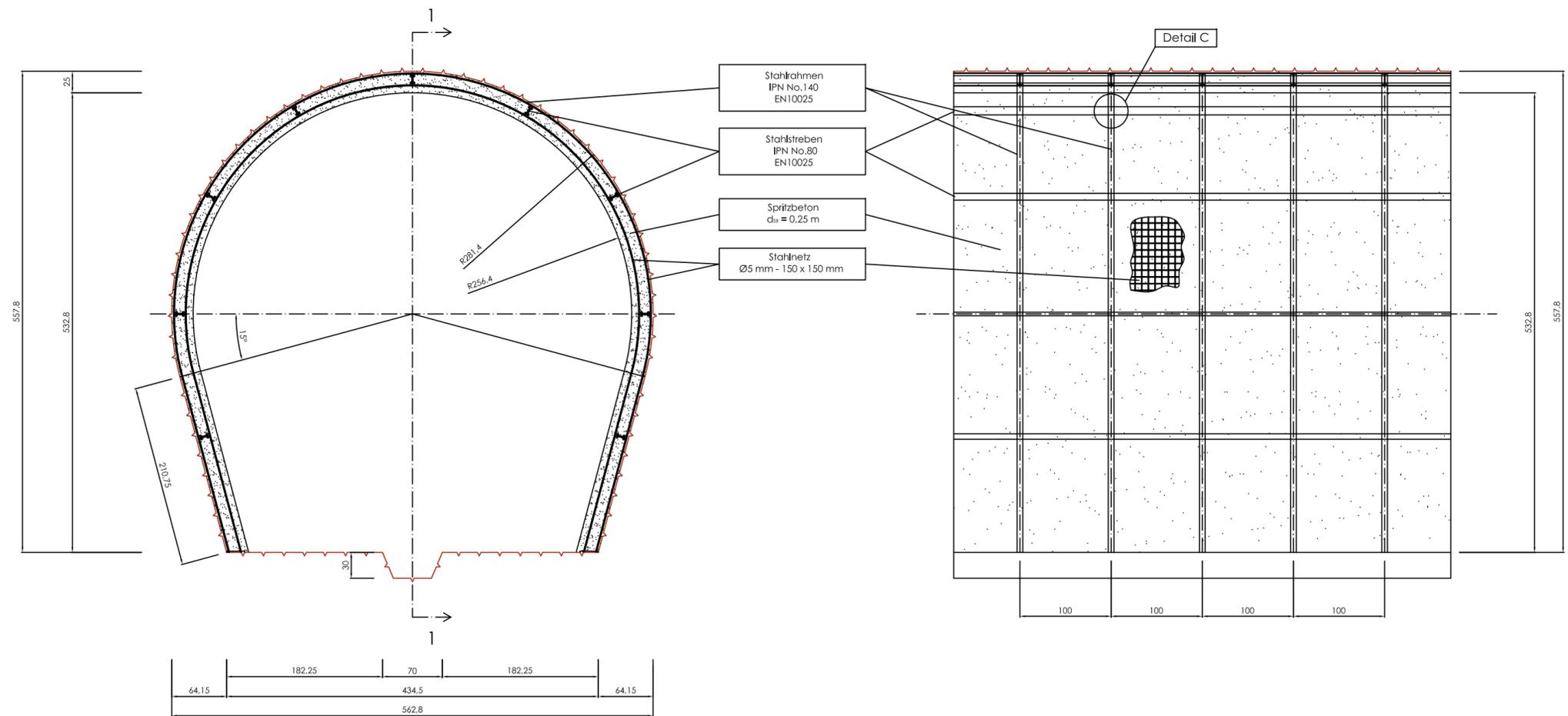


Detail B
M 1:5

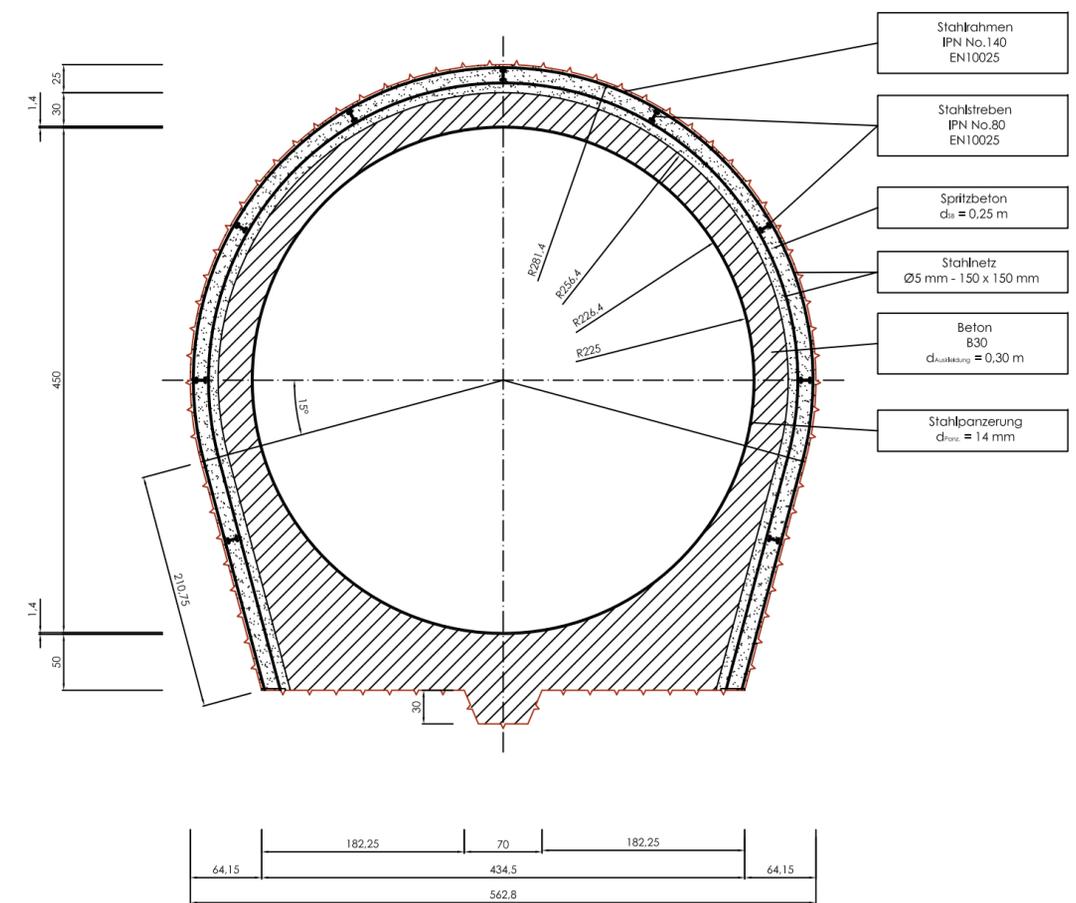


 Universität für Architektur, Bauwesen und Geodäsie - Sofia Technische Universität - Wien		
Objekt	Gepanzerter Druckstollen des WKWs "Kitnitsa"	Abschnitt II
Zeichnung № 4	Abstützung und Auskleidung	M 1:50
Diplomant	Doncho Vasilev	Matr. № 0927921
Betreuer	Prof. Dipl.-Ing. Viktor Tashev	
Rezensent		

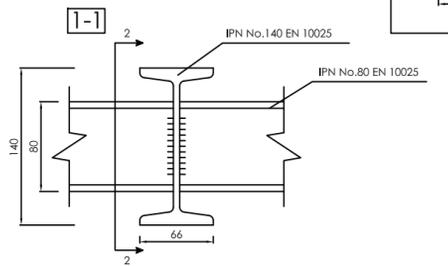
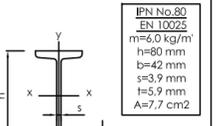
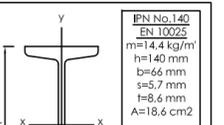
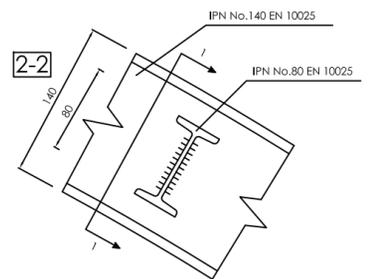
Kombinierte Abstützung aus bewehrten Spritzbeton und Stahlrahmen für Abschnitt III - f=2 (RMR = 28)



Auskleidung für Abschnitt III - f=2 (RMR = 28)

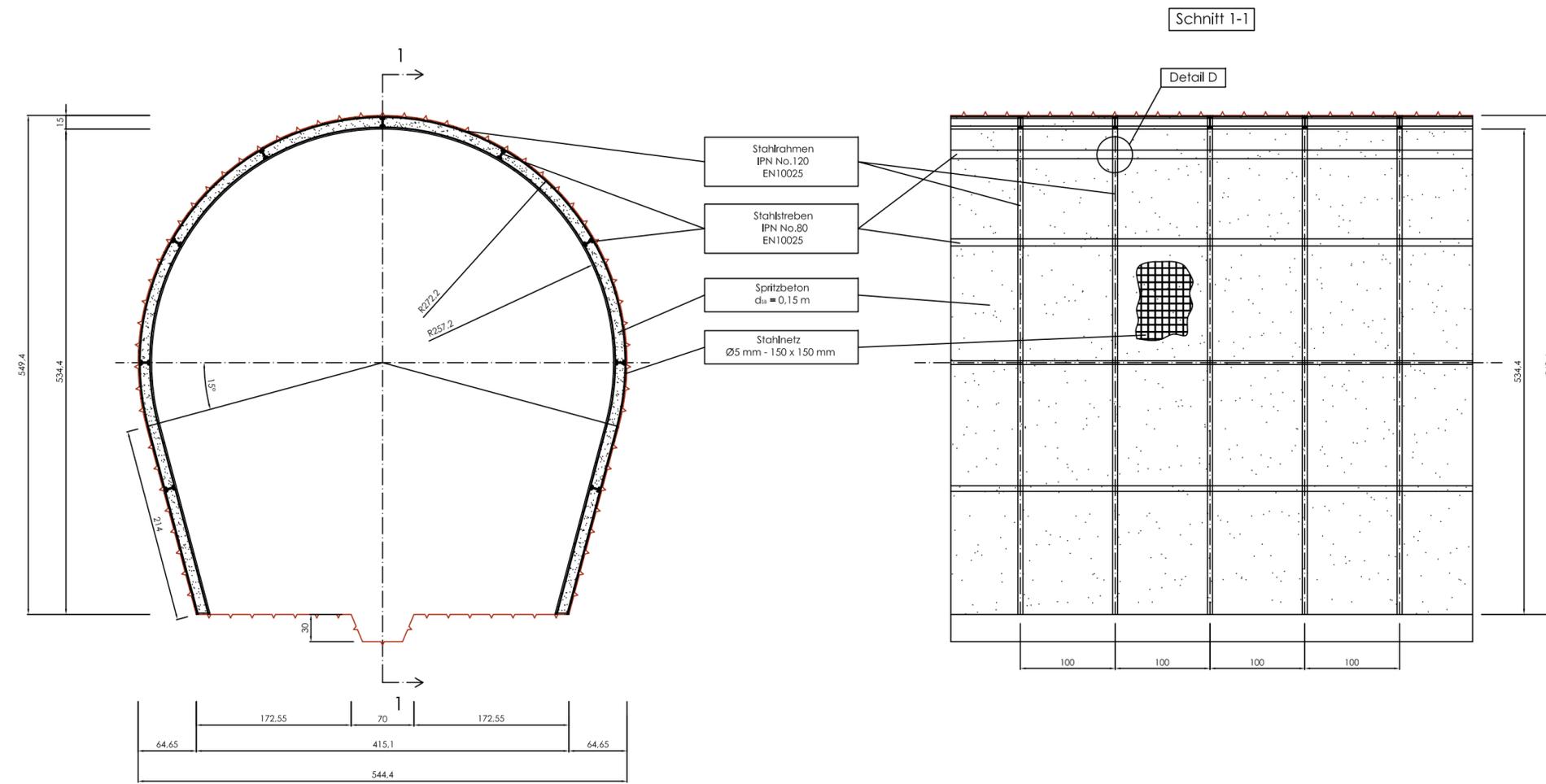


Detail C
M 1:5

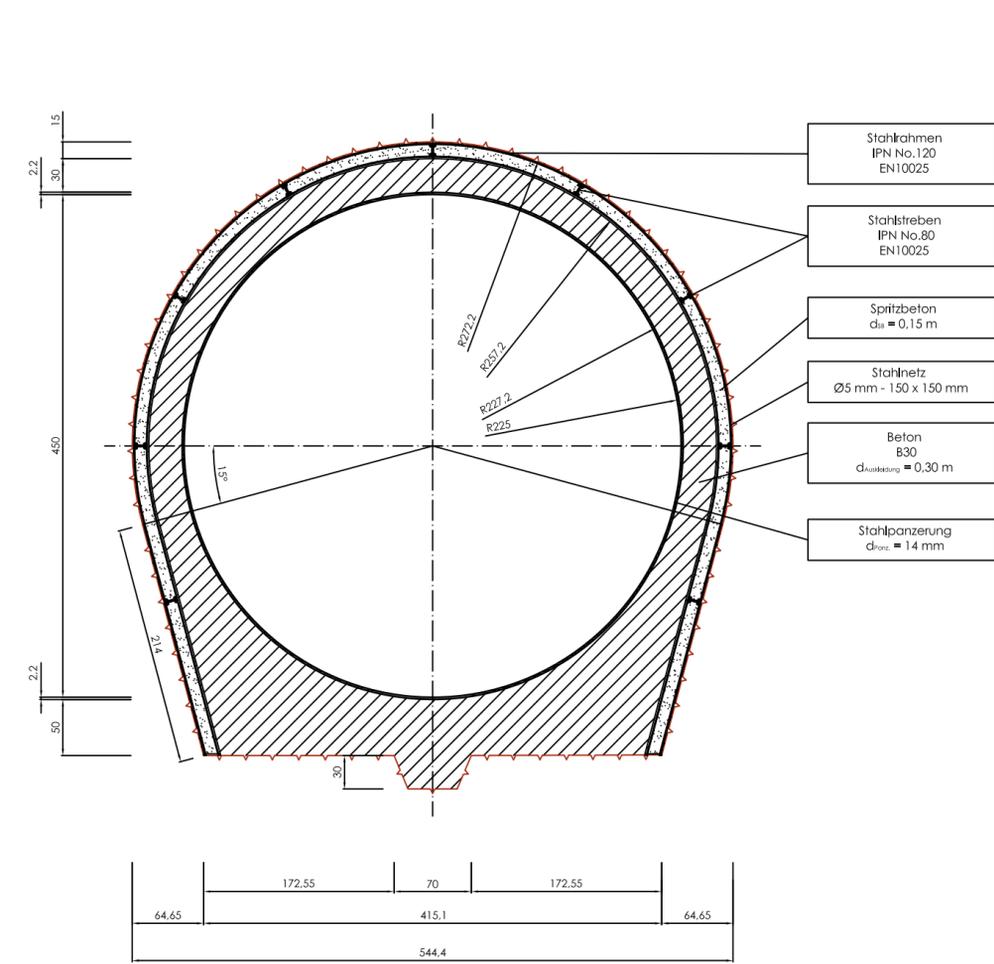


Objekt	Gepanzertes Druckstollen des WKWs "Kitnitsa"	Abschnitt III
Zeichnung № 5	Abstützung und Auskleidung	M 1:50
Diplomant	Doncho Vasilev	Matr. № 0927921
Betreuer	Prof. Dipl.-Ing. Viktor Tashev	
Rezensent		

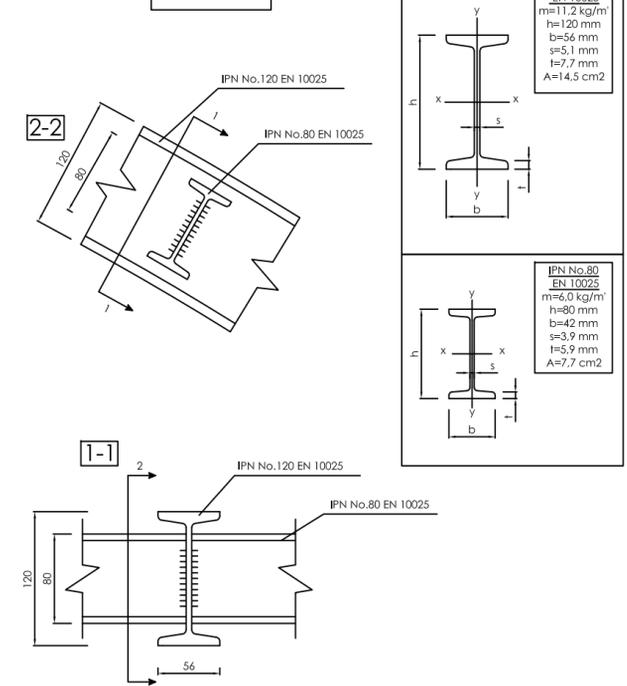
Kombinierte Abstützung aus bewehrten Spritzbeton und Stahlrahmen für Abschnitt V - f=2 (RMR = 26)



Auskleidung für Abschnitt V - f=2 (RMR = 26)



Detail D
M 1:5



 Universität für Architektur, Bauwesen und Geodäsie - Sofia Technische Universität - Wien 		
Objekt	Gepanzerter Druckstollen des WKWs "Kitnitsa"	Abschnitt V
Zeichnung № 6	Abstützung und Auskleidung	M 1:50
Diplomant	Doncho Vasilev	Matr. № 0927921
Betreuer	Prof. Dipl.-Ing. Viktor Tashev	
Rezensent		