

Pumpspeicherwerk Forbach – Neue Unterstufe

**Antragsunterlagen zum
Planfeststellungsverfahren**

Antragsteil B.VII.4 Felsbaustatik Kavernenwasserspeicher

Stand: 30.11.2018



Pumpspeicherwerk Forbach – Neue Unterstufe

Antragsunterlagen zum Planfeststellungsverfahren

Antragsteil B.VII.4 Felsbaustatik Kavernenwasserspeicher

Unterschriftenblatt:

Antragstellerin:

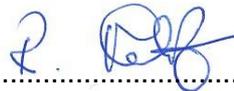
EnBW AG
Schelmenwasenstraße 15
70567 Stuttgart



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

Stuttgart, den 30.11.2018

Bearbeiter/Verfasser:



.....
(R. Achatz)

München, den 30.11.2018

Pumpspeicherwerk Forbach – Neue Unterstufe

Antragsunterlagen zum Planfeststellungsverfahren

Antragsteil B.VII.4 Felsbaustatik Kavernenwasserspeicher

Dokumentenprüfblatt:

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

Projekt:

Pumpspeicherwerk Forbach

**Genehmigungsplanung Neue Unterstufe
B.VII.4
Felsbaustatik Kavernenwasserspeicher**

Auftraggeber:

EnBW Energie Baden-Württemberg AG
Schelmenwasenstraße 15
70567 Stuttgart

Auftragnehmer:

Ingenieurarbeitsgemeinschaft PSW Forbach
bestehend aus:
Lahmeyer Hydroprojekt GmbH
Geoconsult ZT GmbH
Lahmeyer International GmbH

c/o Lahmeyer Hydroprojekt GmbH
Elsenheimerstraße 11
80687 München

Projektleitung:

Dipl.-Ing. Robert Achatz

Bearbeitung:

Dipl. Ing. Peter Strasser

München, 11.01.2018

Ing.-ARGE PSW Forbach



Robert Achatz
Projektleiter



Peter Strasser
Teilprojektleiter

Detailliertes Inhaltsverzeichnis

1. Allgemeines	1
1.1 Inhalt und Zweck.....	1
1.2 Geltungsbereich.....	1
2. Grundlagen und Richtlinien.....	1
3. Statische Nachweise	2
3.1 Rechenquerschnitt Nebenstollen	2
3.2 Rechenquerschnitt Hauptstollen	3
3.3 Orientierung Kavernenwasserspeicher	4
3.4 Felsmechanische Eigenschaften	5
3.5 Standsicherheitsnachweise.....	6
3.5.1 Beschreibung des Berechnungsverfahrens	6
3.5.2 Einwirkungen	7
3.5.3 Stützmittel.....	7
3.5.4 Berechnungsergebnisse	7

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Rechenquerschnitt Nebentollen 3
 Abbildung 2: Rechenquerschnitt Hauptstollen 4
 Abbildung 3: Layout Kavernenwasserspeicher 4
 Abbildung 4: HKRs Bereich Nebentollen aus [Q3] 5
 Abbildung 5: HKRs Bereich Hauptstollen aus [Q5] 6

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1: Übersicht Pläne Nebentollen 2
 Tabelle 2: Übersicht Pläne Hauptstollen 3
 Tabelle 3: Gefügedaten 5
 Tabelle 4: Trennflächenkennwerte 6

Anhangverzeichnis:

- Anhang 1 - Ergebnisse Keilstatik Nebentollen I bis IV
- Anhang 2 - Ergebnisse Keilstatik Nebentollen V bis VI
- Anhang 3 - Ergebnisse Keilstatik Hauptstollen
- Anhang 4 - Felsstatische Planung aus der Variantenstudie

1. Allgemeines

1.1 Inhalt und Zweck

Dieser Bericht beinhaltet die Grundlagen für die technische Planung, Berechnung und Bemessung der Kavernenwasserspeicher im Rahmen der Erweiterung der Anlage mit der Neuen Unterstufe Kraftwerkskaverne und ist entsprechend im Rahmen nachfolgender Leistungsphasen zu aktualisieren und fortzuschreiben.

1.2 Geltungsbereich

Dieser Bericht beschreibt die felsmechanischen Berechnungen zur Untersuchung der Standsicherheit möglicher Bruchkörper im geklüfteten Granitgestein im Bereich der geplanten Kavernenwasserspeicher (Neben- und Hauptstollen) als Voraussetzung für die Wahl bzw. Planung geeigneter Sicherungsmaßnahmen.

Im Rahmen der Variantenstudie wurden die Nebenstollen der Neuen Unterstufe einer detaillierten felsstatischen Betrachtung unterzogen. Die felsstatische Planung aus der Variantenstudie wird im Anhang 4 beigelegt.

2. Grundlagen und Richtlinien

- [Q1] PSW Forbach Neubau Unterstufe - Alternative „Kaverne (klein)“ Geotechnisches und hydrogeologisches Gutachten, Gesellschaft für Baugeologie und –meßtechnik mbH Baugrundinstitut (GBM) und Mailänder Geo Consult GmbH, 04.10.2011 (*siehe geotechnisches und hydrogeologisches Gutachten, Sammlung der zusätzlichen Stellungnahmen Unterstufe*)
- [Q2] PSW Forbach Neubau Unterstufe – Alternative „Kaverne (klein)“ Kartierung geologischer Strukturen in Geländeaufschlüssen im Bereich der Kaverne (klein), GBM, 30.12.2012(*siehe geotechnisches und hydrogeologisches Gutachten, Sammlung der zusätzlichen Stellungnahmen Unterstufe*)
- [Q3] Stellungnahme „PSW Forbach, Unterstufe 50 MW Kavernenkraftwerk, Trennflächenauswertung im Bereich Standort Speicherkaverne und Zufahrtsstollen Nord“, GBM, 25.02.2015(*siehe geotechnisches und hydrogeologisches Gutachten, Sammlung der zusätzlichen Stellungnahmen Unterstufe*)
- [Q4] Stellungnahme „PSW Forbach, Unterstufe 50 MW Kavernenkraftwerk, Gebirgskennwerte für Granitgebirge und Lockergesteine im Bereich Unterstufe Forbach“, GBM, 28.02.2015(*siehe geotechnisches und hydrogeologisches Gutachten, Sammlung der zusätzlichen Stellungnahmen Unterstufe*)
- [Q5] Stellungnahme „PSW Forbach, Unterstufe 50 MW Kavernenkraftwerk, Trennflächenauswertung im Bereich Standort Hauptstollen und Auslaufstollen Nord“, GBM, 02.03.2015(*siehe geotechnisches und hydrogeologisches Gutachten, Sammlung der zusätzlichen Stellungnahmen Unterstufe*)
- [Q6] Stellungnahme „PSW Forbach, Unterstufe 50 MW Kavernenkraftwerk, Vergrusungsauswertung“, GBM, 11.03.2015(*siehe geotechnisches und hydrogeologisches Gutachten, Sammlung der zusätzlichen Stellungnahmen Unterstufe*)
- [Q7] Handbuch Unwedge v3.020 (2011). Underground Wedge Stability Analysis. Rocscience Inc., Toronto, Kanada.

3. Statische Nachweise

3.1 Rechenquerschnitt Nebenstollen Kavernenwasserspeicher

Die Nebenstollen sind in den folgenden Plänen dargestellt:

Tabelle 1: Übersicht Pläne Nebenstollen Kavernenwasserspeicher

Bezeichnung	Dokumenten Nr.
PSW Forbach – Neue Unterstufe Grundriss und Schnitte Kavernenwasserspeicher Nebenstollen I Bautechnischer Längsschnitt	B.V.4.1
PSW Forbach – Neue Unterstufe Grundriss und Schnitte Kavernenwasserspeicher Nebenstollen II Bautechnischer Längsschnitt	B.V.4.2
PSW Forbach – Neue Unterstufe Grundriss und Schnitte Kavernenwasserspeicher Nebenstollen III Bautechnischer Längsschnitt	B.V.4.3
PSW Forbach – Neue Unterstufe Grundriss und Schnitte Kavernenwasserspeicher Nebenstollen IV Bautechnischer Längsschnitt	B.V.4.4
PSW Forbach – Neue Unterstufe Grundriss und Schnitte Kavernenwasserspeicher Nebenstollen V Bautechnischer Längsschnitt	B.V.4.5
PSW Forbach – Neue Unterstufe Grundriss und Schnitte Kavernenwasserspeicher Nebenstollen VI Bautechnischer Längsschnitt	B.V.4.6
PSW Forbach – Neue Unterstufe Grundriss und Schnitte Kavernenwasserspeicher Nebenstollen Regelquerschnitt	B.V.4.8

Der Rechenquerschnitt der Nebenstollen und die gewählte Ausbruchsgeometrie für die Gefügeanalyse sind in der Abbildung 1 dargestellt.

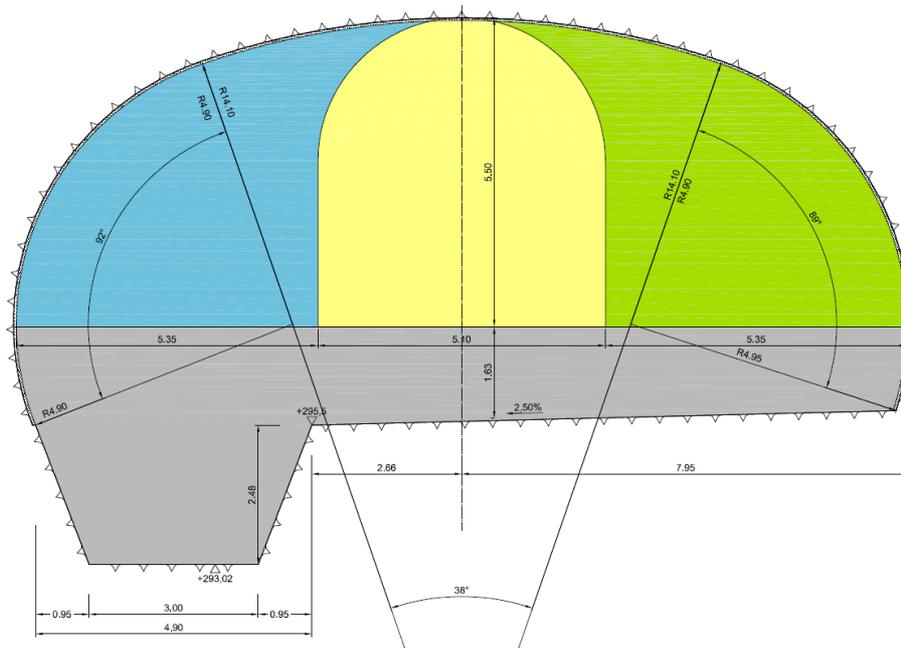


Abbildung 1: Rechenquerschnitt Nebenstollen

3.2 Rechenquerschnitt Hauptstollen Kavernenwasserspeicher

Der Hauptstollen ist in den folgenden Plänen dargestellt:

Tabelle 2: Übersicht Pläne Hauptstollen Kavernenwasserspeicher

Bezeichnung	Dokumenten Nr.
PSW Forbach – Neue Unterstufe Grundriss und Schnitte Kavernenwasserspeicher Hauptstollen Bautechnischer Längsschnitt	B.V.4.9
PSW Forbach – Neue Unterstufe Grundriss und Schnitte Kavernenwasserspeicher Hauptstollen Regelquerschnitt	B.V.4.11

Der Rechenquerschnitt des Hauptstollens und die gewählte Ausbruchsgeometrie für die Gefügeanalyse sind in der Abbildung 2 dargestellt.

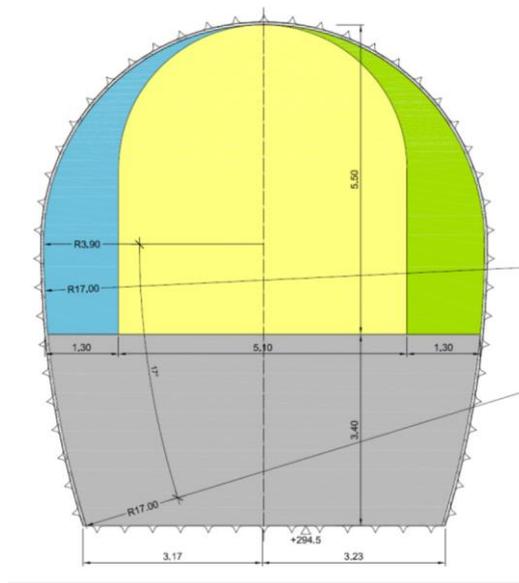


Abbildung 2: Rechenquerschnitt Hauptstollen

3.3 Orientierung Kavernenwasserspeicher

- Orientierung Nebenstollen I bis IV: 355° geg. Nord, Stollenlänge 330 m
- Orientierung Nebenstollen V bis VI: 90° geg. Nord, Stollenlänge 200 m
- Orientierung Hauptstollen: 42° geg. Nord, Stollenlänge ca. 1'023 m

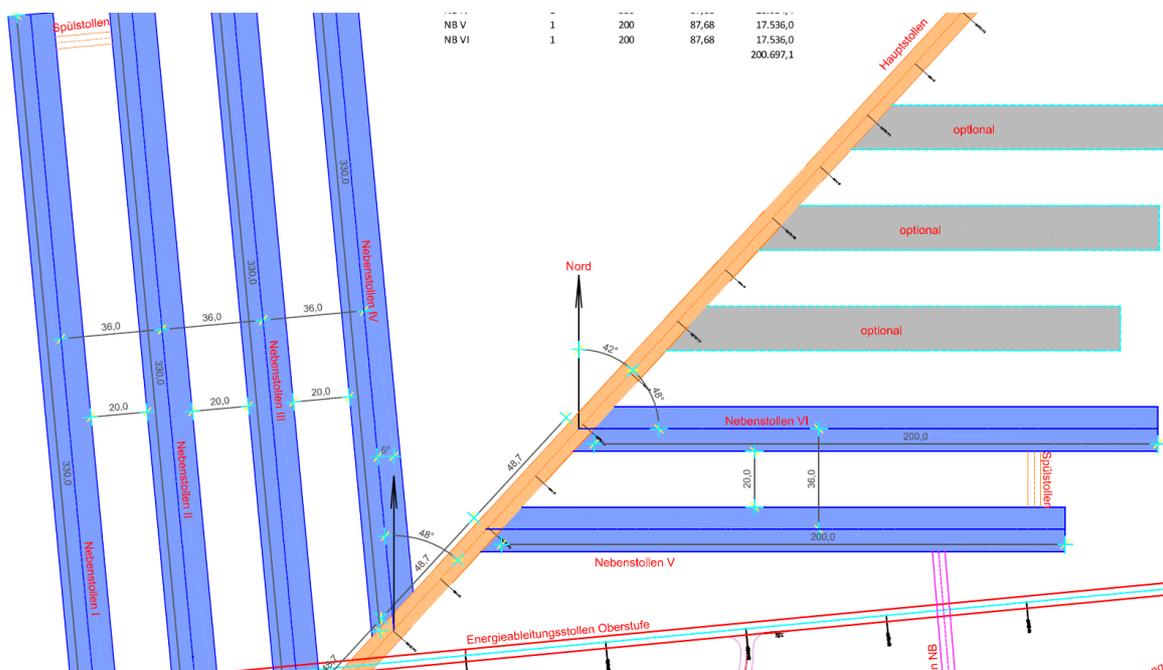


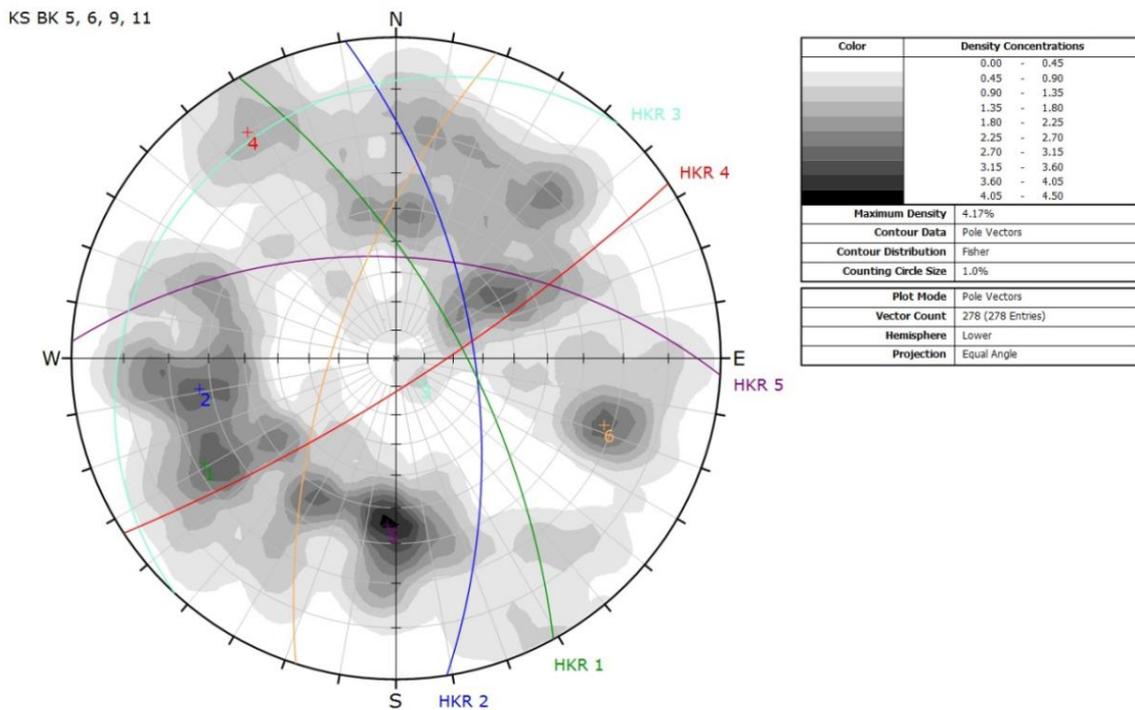
Abbildung 3: Layout Kavernenwasserspeicher

3.4 Felsmechanische Eigenschaften

Aufgrund der lokalen Trennflächenauswertungen für den Bereich des geplanten Kavernenwasserspeichers lassen sich die in der untenstehenden Tabelle dargestellten Hauptkluftrichtungen (HKR) angeben (nach [Q3], [Q4] und [Q5]).

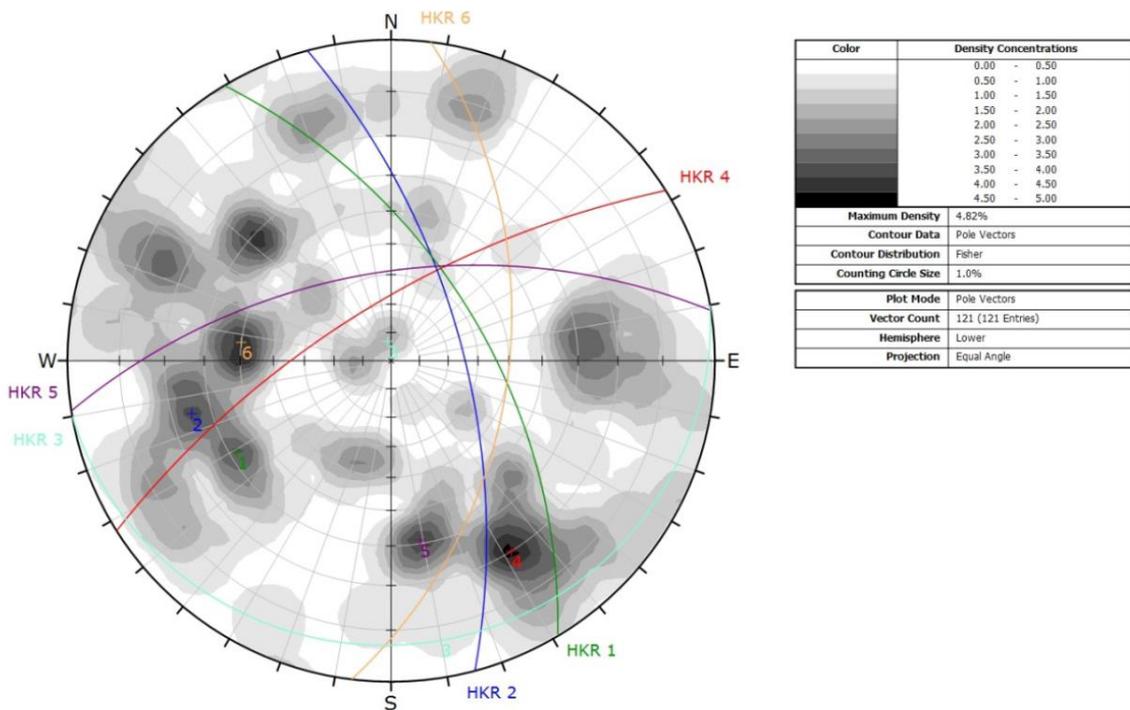
Trennfläche	Fallrichtung / Fallwinkel [°]		Ausbisslänge [m]
	Nebenstollen	Hauptstollen	
HKR 1	60 / 68	59 / 58	5 bis 10
HKR 2	80 / 63	75 / 65	5 bis 10
HKR 3	313 / 12	170 / 7	5 bis 10
HKR 4	147 / 80	328 / 70	5 bis 10
HKR 5	3 / 55	351 / 59	1 bis 5
HKR 6	288 / 68	97 / 50	1 bis 5

Tabelle 3: Gefügedaten



Trennflächen aus den Bohrungen KS BK 5, 6, 9, 11 im Tiefenniveau der Bauwerke

Abbildung 4: HKRs Bereich Nebenstollen aus [Q3]



Trennflächen aus den Bohrungen KS BK 6, 7 und 10 im Tiefenniveau der Bauwerke

Abbildung 5: HKRs Bereich Hauptstollen aus [Q5]

Als charakteristische Rechenwerte werden die für den stark verwitterten Granit (Granit, w3-w4, stark verwittert, z.T. zersetzt, RQD<65%) angegebenen Trennflächenkennwerte angenommen (nach [Q4]).

Trennfläche Reibungswinkel

Trennfläche	Reibungswinkel [°]	Kohäsion [kPa]	Zugfestigkeit [kPa]
HKR 1 bis HKR 6	30	5	0

Tabelle 4: Trennflächenkennwerte

Die Gesteinsdichte wird mit $\rho=2,6 \text{ g/cm}^3$ angesetzt (Granit, unverwittert).

3.5 Standsicherheitsnachweise

3.5.1 Beschreibung des Berechnungsverfahrens

Durch den Verschnitt der Trennflächen im Gebirge mit dem Hohlraum werden ebene/räumliche Bruchkörper definiert. Die Standsicherheit der zu erwartenden instabiler Kluffkörper wird mit dem Programm UNWEDGE – “Underground Wedge Stability Analysis” (Rocscience 2011, V3.020) untersucht. Das Programm ermittelt die Sicherheit gegen Versagen durch Überschreitung der Scherfestigkeit in den Kluffflächen von 3-dimensionalen Blockgleitkörpern, die sich bei den angegebenen Trennflächensystem und Scherparametern ausbilden. Als möglicher Bewegungsmechanismus wird nur der rein gravitativ induzierte Versagensmechanismus untersucht (spannungsinduzierte Versagensmechanismen sind nicht Teil dieses Dokumentes).

Das Programm ermöglicht die Ermittlung von:

- Gleitebene und Gleitrichtung der Keile
- auf dem jeweiligen Keil wirkenden Kräften
- günstigste Stollenorientierung für die jeweilige Querschnittsgeometrie
- Stützkraft infolge Einbau von Stützmitteln (Spritzbeton und Anker)
- Sicherheitsfaktor gegen Gleiten

Gesteinsdichte, Scherparameter auf der Gleitfläche, Trennflächensystem und maximale Größe der Felskeile werden wie oben beschrieben angesetzt. Als Bruchkriterium wird das Mohr-Coulomb-Kriterium angesetzt.

3.5.2 Einwirkungen

Für die Standsicherheitsuntersuchungen der Bruchkeile wird angenommen, dass das Abgleiten der Felsblöcke auf einer vorgegebenen Trennfläche ausschließlich infolge Schwerkraft durch die Kräfte aus Eigengewicht parallel zur Gleitfläche erfolgt. In-situ-Spannungen werden dabei nicht angesetzt.

Um zu gewährleisten, dass realistische Blockgrößen ermittelt werden, wird für alle Trennflächen eine mögliche Kantenlänge von maximal 10 m angesetzt.

3.5.3 Stützmittel

Als Stützmittel wird für jeder Ausbruchphase ein Ausbau bestehend aus 5 cm Spritzbeton C20/25 (nur Kavernenlaibung) und Spot Bolting (Länge $L = 2,0$ bis $3,0$ m, Ankerkraft = 250 KN, Kavernenlaibung und Stirnwand) angenommen.

3.5.4 Berechnungsergebnisse

In der Gefügeanalyse wird ein globaler Sicherheitsfaktor (ResistingForce/DrivingForce) von 1,5 festgelegt, um die Standsicherheit eines Felskeils auszuweisen.

Die Nachweise erfolgen durch Kombination von jeweils drei Trennflächen und zeigen, dass die sich ausbildenden Klufkörper mit minimaler Stützmittelaufwand einen Sicherheitsfaktor $> 1,5$ aufweisen.

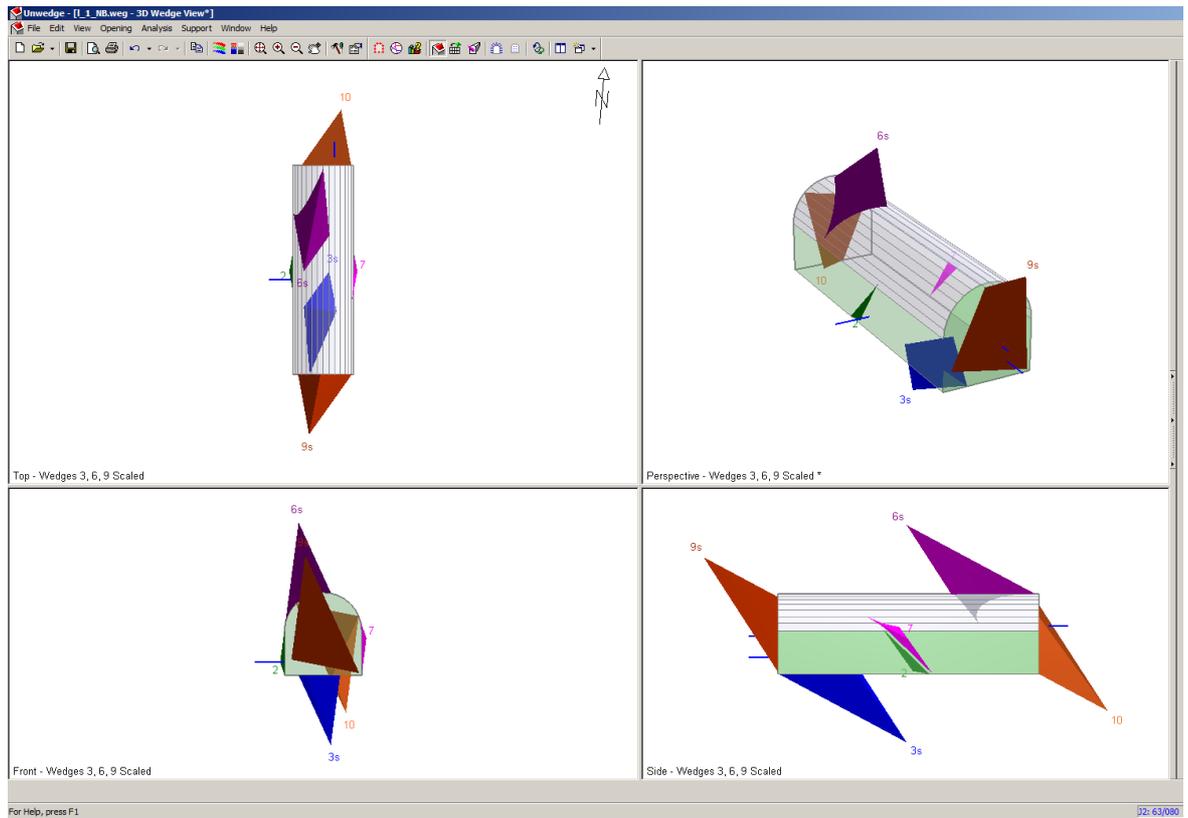
Die Ergebnisse der Standsicherheitsuntersuchungen sind in der Anlage beigelegt.

Anhang 1

Ergebnisse Keilstatik

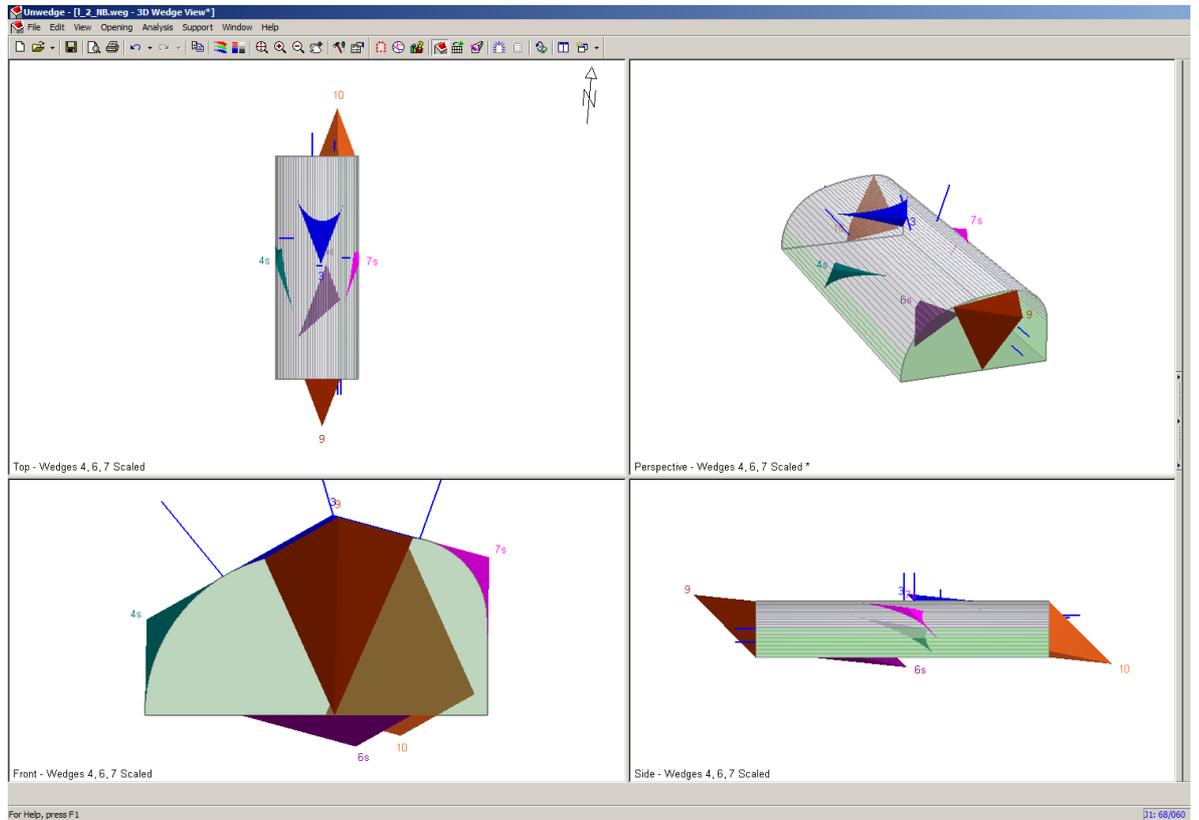
Kavernenwasserspeicher Nebentollen I bis IV

Nebenstollen I bis IV – Ausbruchphase 1



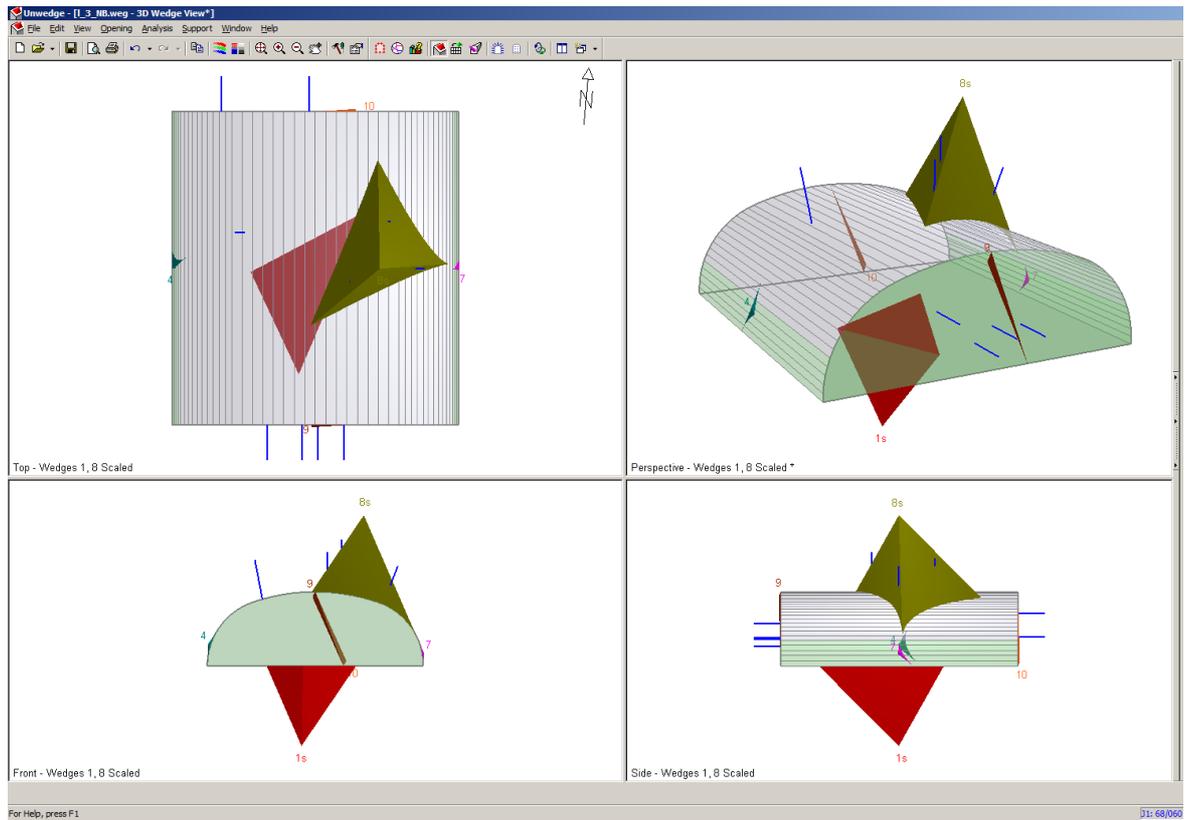
Combination	Joint_A	Joint_B	Joint_C	Safety Factor	Wedge Volume m ³
1	1	2	5	1.61	20.83
2	2	5	6	2.07	17.42
3	2	4	5	2.14	19.10
4	1	3	4	2.15	0.06
5	1	4	6	2.15	0.05
6	1	4	5	2.18	0.06
7	1	5	6	2.69	4.47
8	1	3	6	2.84	15.71
9	1	2	6	2.89	17.34
10	2	3	4	3.20	0.25
11	2	4	6	3.48	0.20
12	3	4	5	3.73	20.26
13	3	4	6	4.00	7.44
14	1	2	4	4.20	0.02
15	2	3	6	4.90	17.13
16	4	5	6	5.35	5.17
17	1	3	5	8.50	1.67
18	3	5	6	9.32	1.60
19	2	3	5	9.71	1.44
20	1	2	3	11.29	2.77

Nebenstollen I bis IV – Ausbruchphase 2



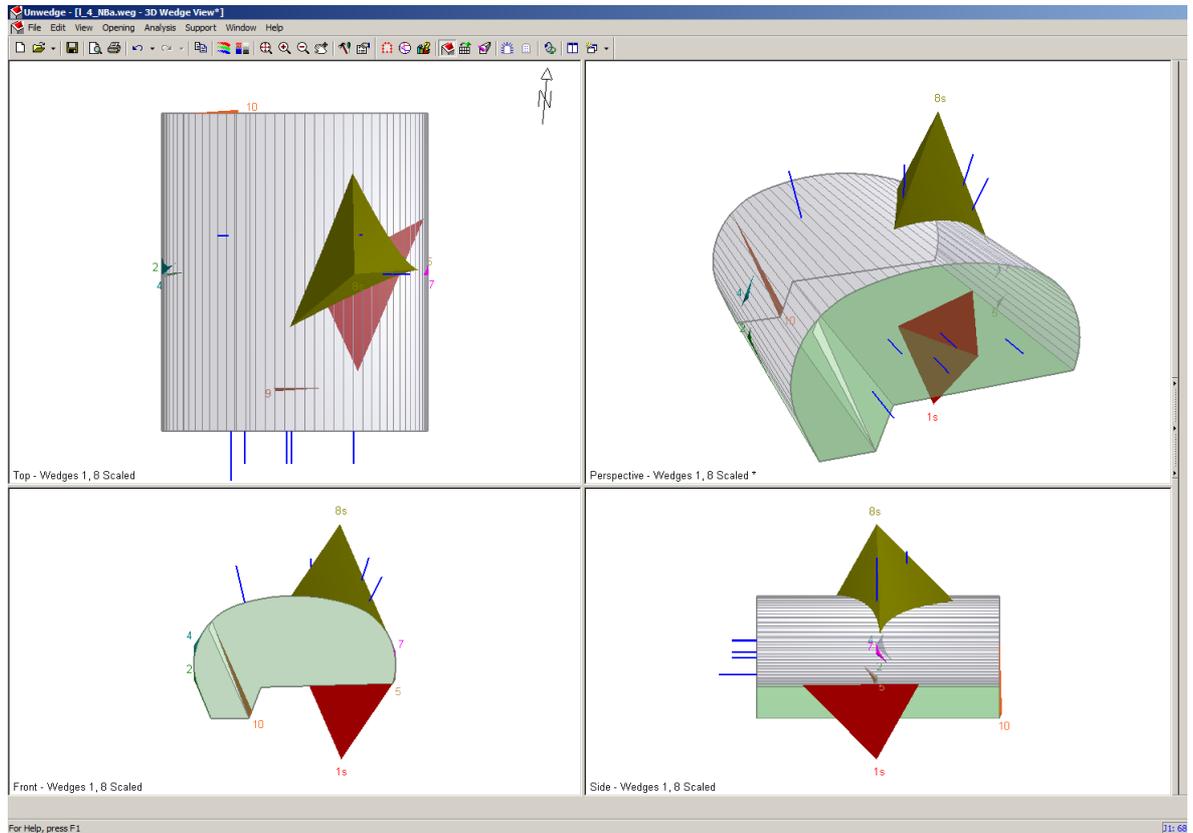
Combination	Joint_A	Joint_B	Joint_C	Safety Factor	Wedge Volume m³
1	1	3	6	1.50	23.75
2	1	4	6	1.61	38.83
3	2	5	6	1.72	15.55
4	1	2	5	1.75	21.87
5	1	4	5	1.82	33.31
6	1	3	4	2.15	0.06
7	2	4	5	2.29	25.68
8	1	2	6	2.65	15.96
9	1	5	6	2.73	4.46
10	4	5	6	2.88	12.92
11	1	3	5	2.88	11.89
12	2	4	6	3.11	18.59
13	3	5	6	3.11	11.71
14	2	3	6	3.17	17.13
15	2	3	4	3.20	0.25
16	2	3	5	3.22	10.22
17	3	4	6	3.29	10.59
18	3	4	5	3.63	19.49
19	1	2	4	4.20	0.02
20	1	2	3	5.23	0.30

Nebenstollen I bis IV – Ausbruchphase 3



Combination	Joint_A	Joint_B	Joint_C	Safety Factor	Wedge Volume m ³
1	1	4	6	1.62	51.44
2	2	5	6	1.73	15.54
3	1	2	5	1.75	21.54
4	1	4	5	1.75	33.02
5	3	4	6	1.78	10.61
6	4	5	6	1.82	5.17
7	2	4	5	1.86	25.56
8	2	4	6	2.09	19.29
9	1	3	4	2.15	0.06
10	1	3	5	2.16	24.29
11	1	3	6	2.34	23.87
12	1	2	6	2.62	15.46
13	1	5	6	3.16	4.31
14	2	3	6	3.17	17.13
15	2	3	4	3.20	0.25
16	2	3	5	3.22	10.22
17	3	4	5	3.63	19.47
18	3	5	6	4.20	11.71
19	1	2	3	5.23	0.30
20	1	2	4	5.68	2.09

Nebenstollen I bis IV – Ausbruchphase 4



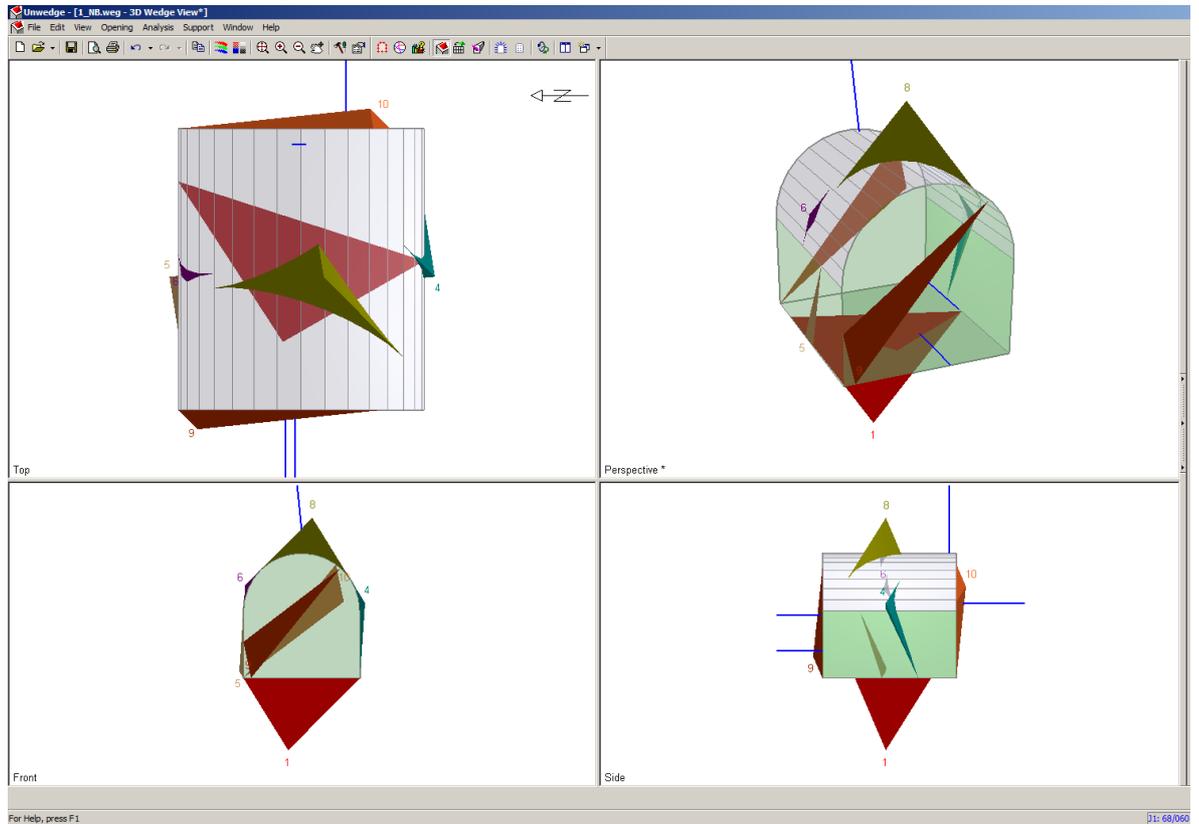
Combination	Joint_A	Joint_B	Joint_C	Safety Factor	Wedge Volume m ³
1	1	4	6	1.594	0.142
2	3	4	6	1.597	32.129
3	4	5	6	1.642	13.898
4	1	3	4	1.657	0.141
5	1	4	5	1.692	0.143
6	2	5	6	1.798	15.494
7	2	4	5	1.86	25.553
8	1	3	6	1.982	37.068
9	1	3	5	2.144	24.345
10	1	2	5	2.185	21.547
11	2	3	4	2.543	0.55
12	2	4	6	2.559	0.555
13	1	2	6	2.907	18.568
14	3	5	6	3.114	11.705
15	1	5	6	3.159	4.313
16	1	2	4	3.206	0.057
17	2	3	5	3.222	10.224
18	3	4	5	3.831	42.953
19	1	2	3	4.266	0.651
20	2	3	6	4.902	17.134

Anhang 2

Ergebnisse Keilstatik

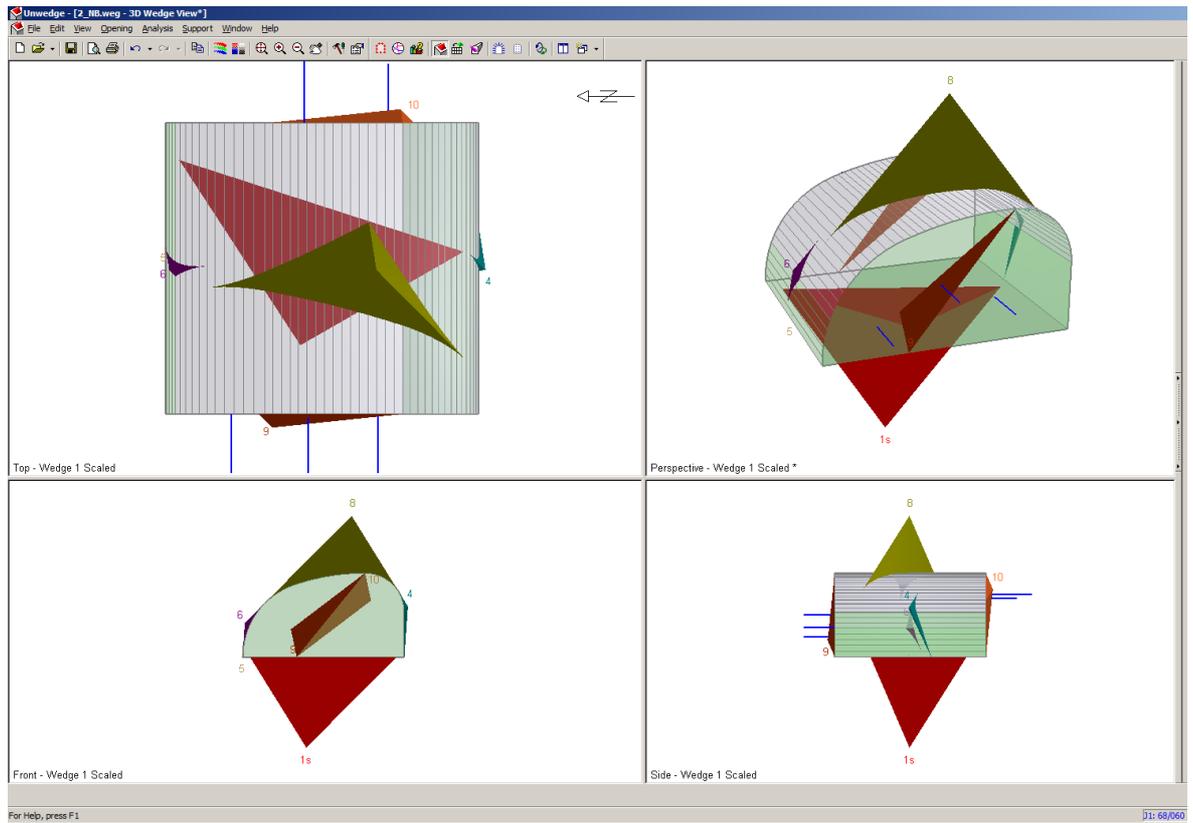
Kavernenwasserspeicher Nebentollen V bis VI

Nebenstollen V bis VI – Ausbruchphase 1



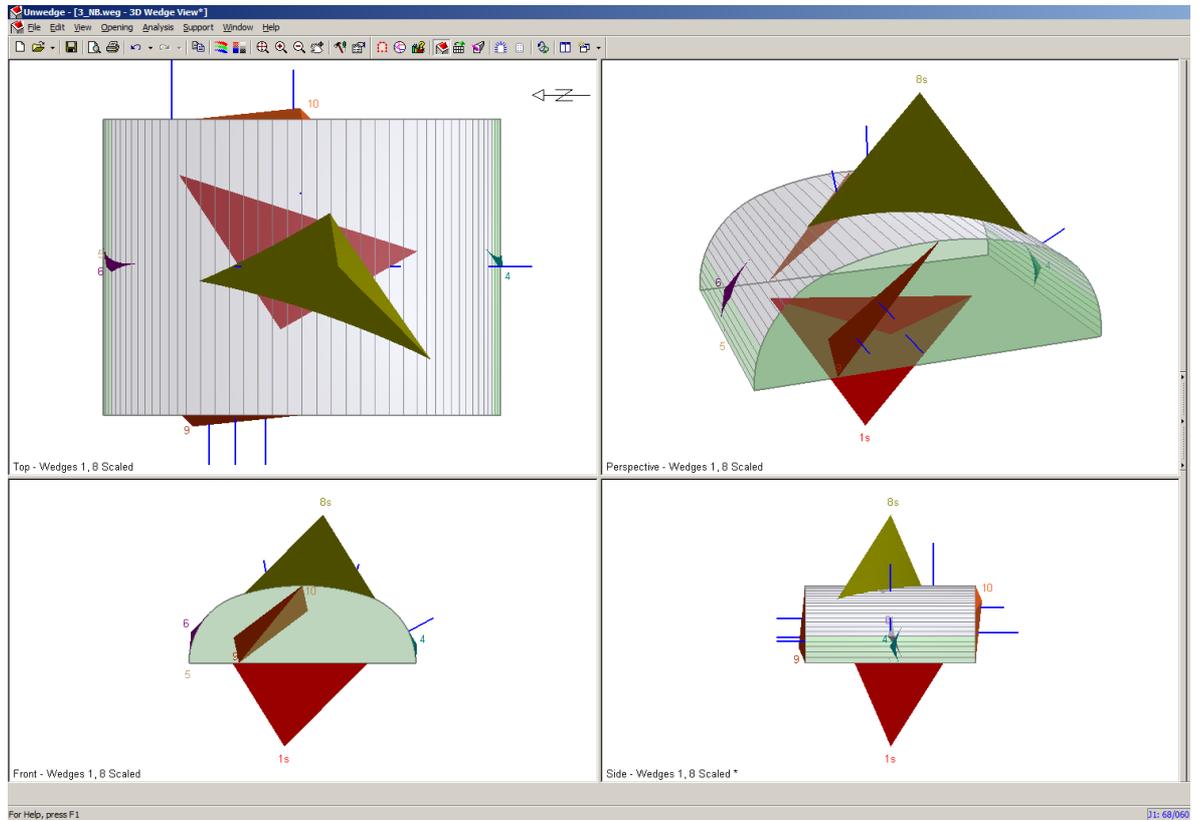
Combination	Joint_A	Joint_B	Joint_C	Safety Factor	Wedge Volume
					m ³
1	2	5	6	1.52	23.58
2	1	2	4	1.74	1.64
3	1	4	5	1.77	23.53
4	3	4	6	2.02	4.10
5	3	4	5	2.32	14.26
6	2	4	6	2.32	0.84
7	1	3	6	2.32	31.88
8	2	4	5	2.53	15.98
9	4	5	6	2.63	1.33
10	1	3	5	2.79	0.14
11	1	2	5	2.87	0.15
12	1	5	6	3.12	0.07
13	1	3	4	3.28	4.65
14	2	3	6	4.75	17.99
15	2	3	5	5.56	0.30
16	1	4	6	5.63	0.03
17	2	3	4	5.67	0.37
18	1	2	3	7.86	0.34
19	3	5	6	8.70	6.81
20	1	2	6	24.55	0.64

Nebenstollen V bis VI – Ausbruchphase 2



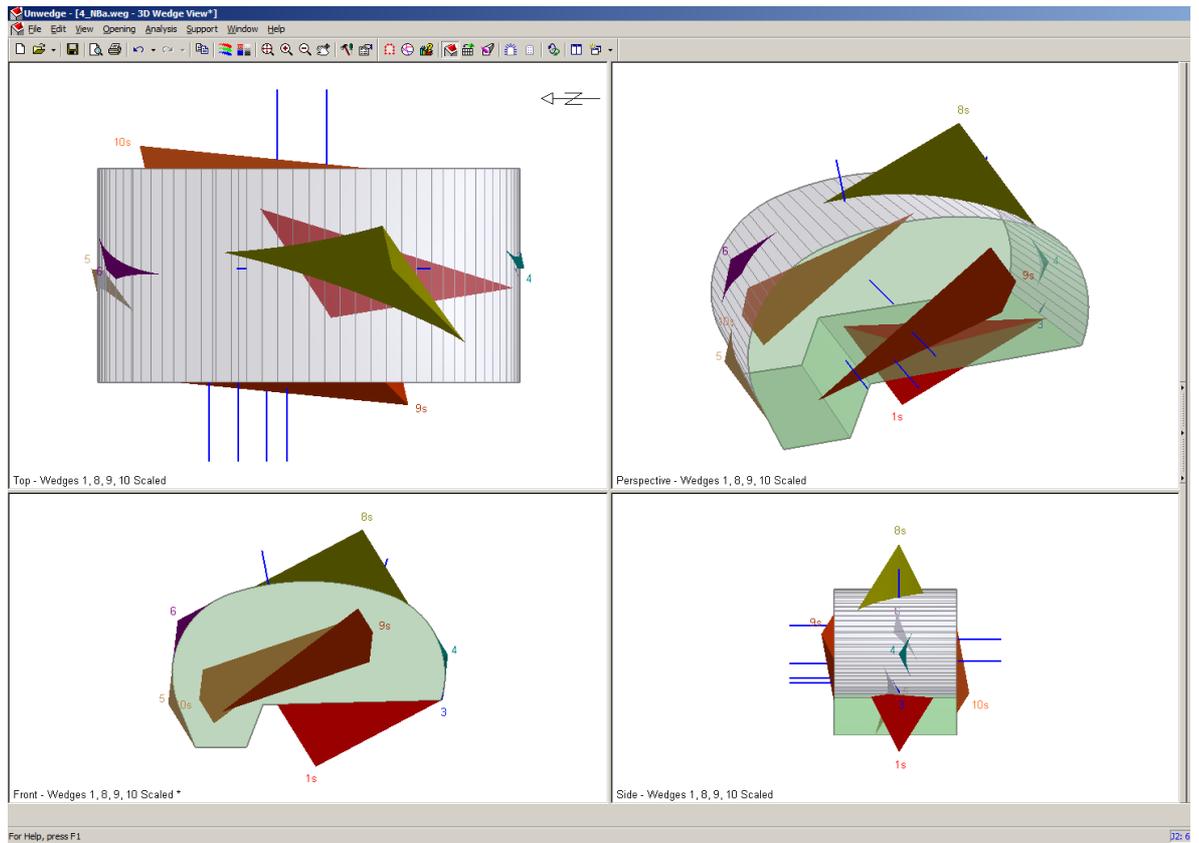
Combination	Joint_A	Joint_B	Joint_C	Safety Factor	Wedge Volume
					m³
1	2	5	6	1.52	23.98
2	1	4	5	1.57	20.97
3	4	5	6	1.65	24.69
4	2	4	5	1.77	10.01
5	1	3	4	2.10	8.33
6	1	2	5	2.20	16.82
7	1	3	6	2.28	32.88
8	1	3	5	2.56	0.18
9	3	4	6	2.81	20.30
10	1	4	6	2.85	13.21
11	1	5	6	2.88	0.10
12	3	4	5	3.33	22.80
13	2	4	6	3.98	3.12
14	3	5	6	4.22	2.75
15	2	3	5	4.25	1.90
16	2	3	6	4.25	0.91
17	2	3	4	4.25	2.64
18	1	2	4	5.52	2.13
19	1	2	3	5.65	2.18
20	1	2	6	9.15	3.60

Nebenstollen V bis VI – Ausbruchphase 3



Combination	Joint_A	Joint_B	Joint_C	Safety Factor	Wedge Volume
					m³
1	1	4	6	1.71	30.27
2	1	2	4	1.74	1.64
3	2	4	5	1.77	10.01
4	2	5	6	1.88	28.79
5	1	4	5	1.91	22.93
6	3	4	5	2.00	5.22
7	4	5	6	2.04	24.86
8	1	3	6	2.29	36.98
9	1	2	5	2.37	19.56
10	1	3	5	2.56	0.18
11	3	4	6	2.84	20.26
12	1	5	6	2.88	0.10
13	1	2	6	3.18	13.18
14	1	3	4	3.40	8.55
15	2	4	6	3.81	12.49
16	3	5	6	4.22	2.75
17	2	3	4	4.25	2.64
18	2	3	6	4.25	0.91
19	2	3	5	4.25	1.90
20	1	2	3	5.65	2.18

Nebenstollen V bis VI – Ausbruchphase 4



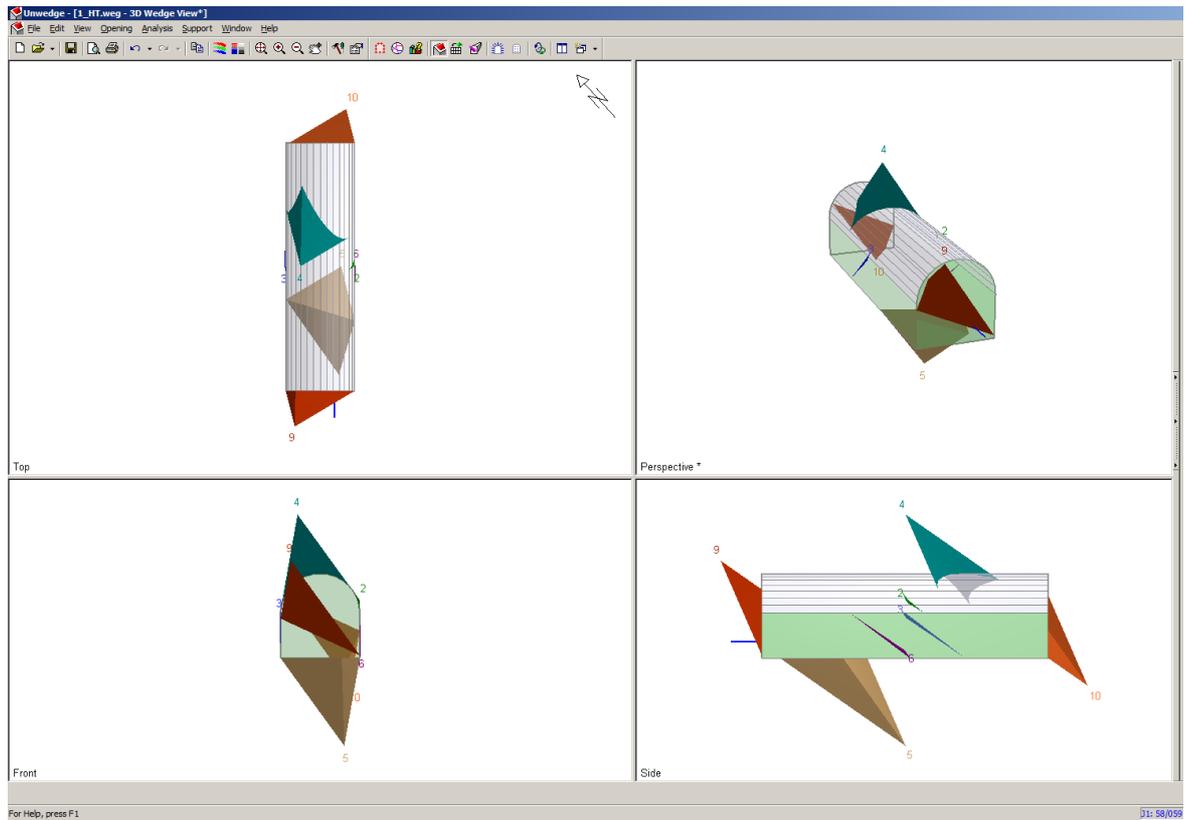
Combination	Joint_A	Joint_B	Joint_C	Safety Factor	Wedge Volume m ³
1	1	4	5	1.525	25.885
2	1	3	4	1.538	24.444
3	4	5	6	1.652	24.988
4	1	4	6	1.707	30.262
5	1	2	4	1.735	1.637
6	2	4	5	1.773	10.006
7	1	2	5	1.864	20.212
8	2	5	6	1.868	28.678
9	1	5	6	2.18	0.272
10	3	4	5	2.628	48.409
11	1	3	6	2.756	45.747
12	2	4	6	3.086	12.505
13	1	3	5	3.129	0.509
14	1	2	6	3.183	13.174
15	3	4	6	3.444	27.099
16	2	3	6	4.247	0.912
17	2	3	4	4.247	2.643
18	2	3	5	4.247	1.895
19	1	2	3	4.544	16.84
20	3	5	6	5.735	3.702

Anhang 3

Ergebnisse Keilstatik

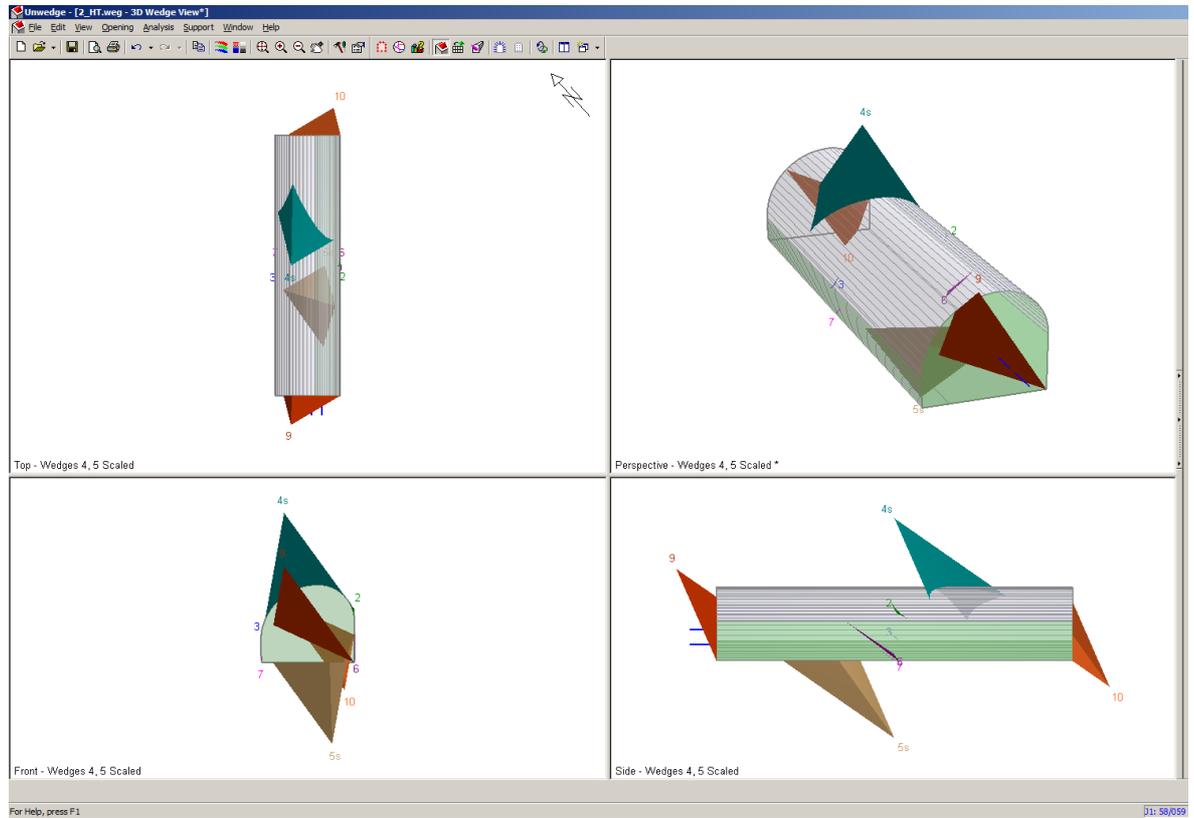
Kavernenwasserspeicher Hauptstollen

Hauptstollen – Ausbruchphase 1



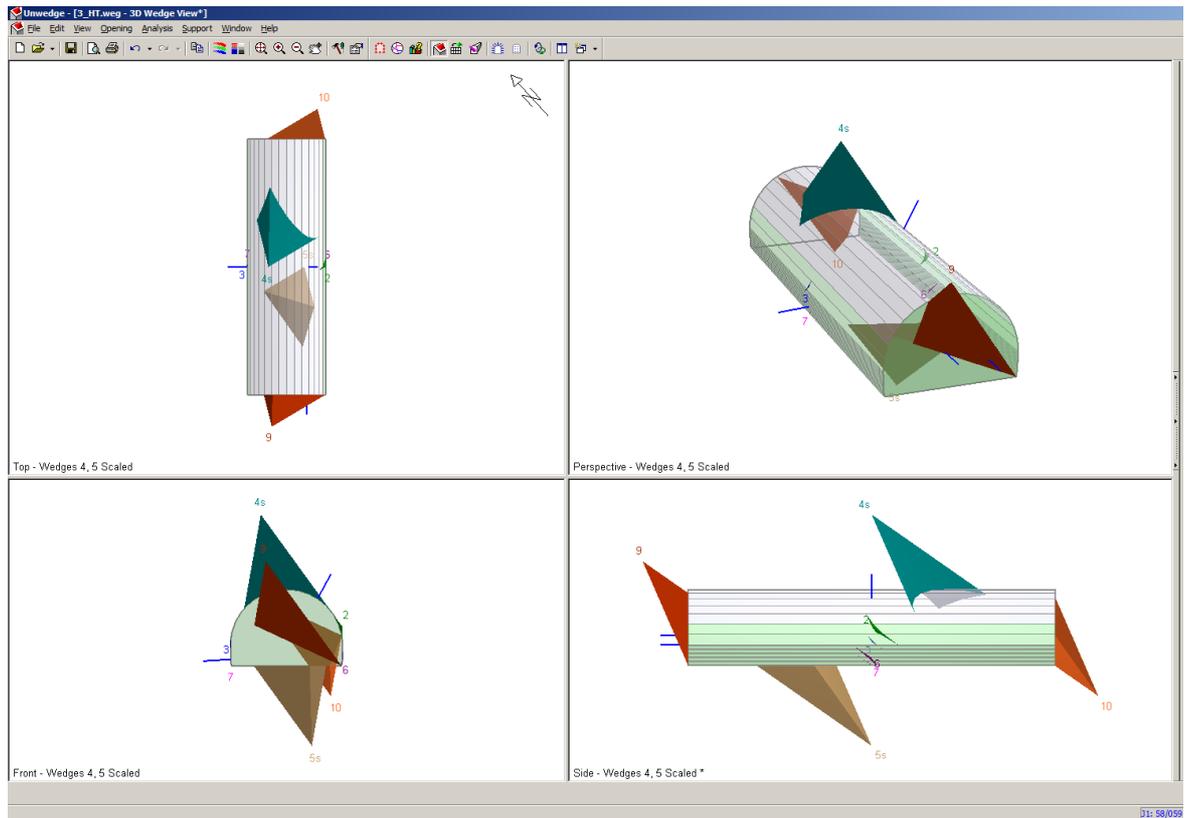
Combination	Joint_A	Joint_B	Joint_C	Safety Factor	Wedge Volume m ³
1	3	4	5	2.46	6.79
2	2	5	6	2.66	0.42
3	2	4	6	2.75	0.42
4	4	5	6	2.98	4.23
5	1	4	6	3.13	5.05
6	2	3	4	3.17	6.82
7	1	5	6	3.46	4.50
8	2	3	5	3.67	5.11
9	3	4	6	3.80	11.61
10	1	3	6	3.94	18.98
11	3	5	6	4.13	7.09
12	1	2	4	4.70	0.29
13	2	3	6	4.70	18.01
14	2	4	5	5.03	0.20
15	1	2	5	5.75	0.18
16	1	2	6	6.91	0.30
17	1	3	4	6.93	4.98
18	1	4	5	7.39	0.08
19	1	3	5	7.43	3.18
20	1	2	3	10.52	1.36

Hauptstollen – Ausbruchphase 2



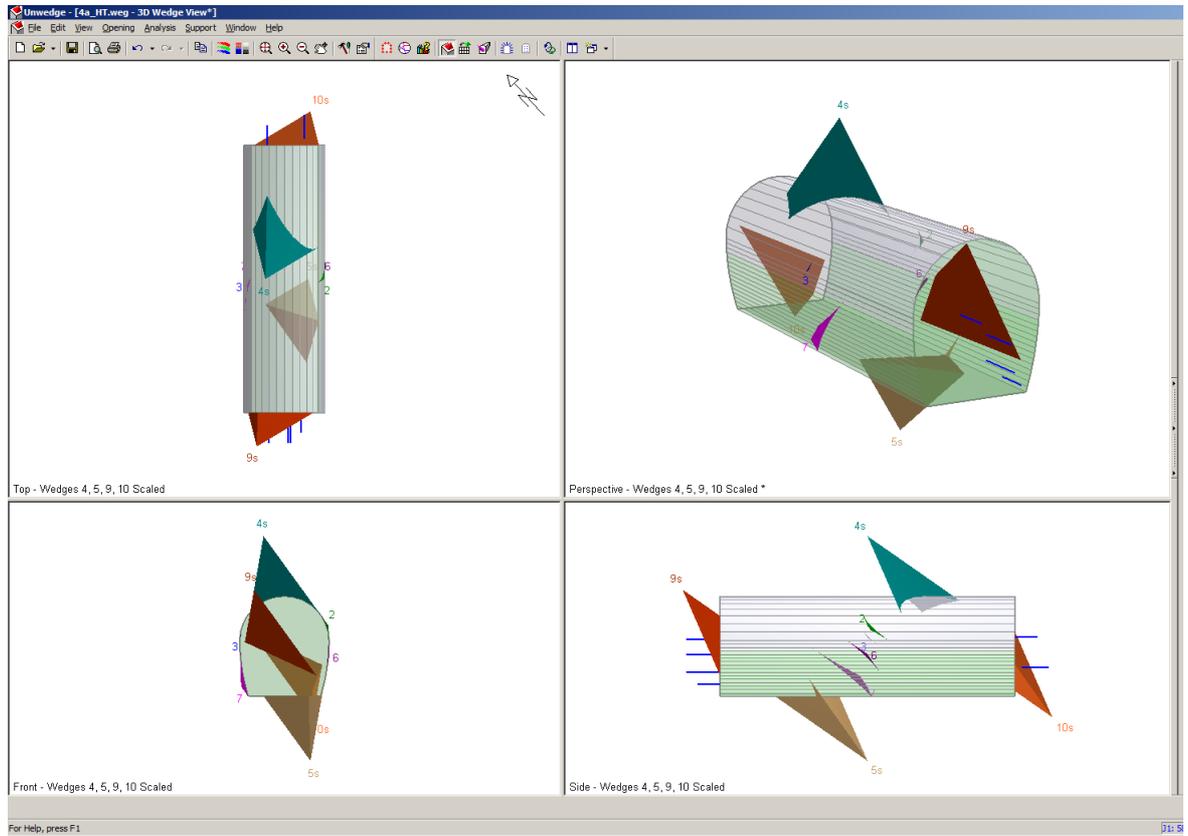
Combination	Joint_A	Joint_B	Joint_C	Safety Factor	Wedge Volume m ³
1	1	4	6	1.80	19.68
2	1	5	6	2.39	13.74
3	3	4	5	2.44	7.33
4	2	5	6	2.57	0.48
5	2	4	6	2.66	0.47
6	4	5	6	2.98	4.23
7	3	5	6	3.04	11.41
8	2	3	4	4.31	8.71
9	2	3	5	4.50	7.64
10	3	4	6	4.60	16.04
11	1	2	4	4.70	0.29
12	1	3	6	4.99	20.21
13	2	4	5	5.03	0.20
14	1	3	4	5.50	3.06
15	2	3	6	5.60	16.22
16	1	2	5	5.75	0.18
17	1	3	5	6.27	2.55
18	1	2	6	6.64	0.36
19	1	4	5	7.39	0.08
20	1	2	3	9.45	2.54

Hauptstollen – Ausbruchphase 3



Combination	Joint_A	Joint_B	Joint_C	Safety Factor	Wedge Volume m ³
1	1	4	6	1.77	20.82
2	1	5	6	1.90	19.17
3	2	3	5	2.26	10.09
4	2	3	4	2.39	10.41
5	2	5	6	2.41	0.61
6	3	4	5	2.43	7.43
7	2	4	6	2.51	0.60
8	4	5	6	2.98	4.23
9	3	5	6	3.73	15.81
10	1	3	6	3.77	20.36
11	3	4	6	3.99	20.19
12	2	3	6	4.25	16.25
13	1	2	4	4.70	0.29
14	2	4	5	5.03	0.20
15	1	2	5	5.75	0.18
16	1	3	4	6.19	8.47
17	1	2	6	6.25	0.48
18	1	3	5	6.27	6.03
19	1	4	5	7.39	0.08
20	1	2	3	8.74	4.15

Hauptstollen – Ausbruchphase 4



Combination	Joint_A	Joint_B	Joint_C	Safety Factor	Wedge Volume m ³
1	1	4	6	1.772	20.741
2	2	5	6	1.923	1.468
3	1	5	6	1.932	18.762
4	3	5	6	1.99	26.312
5	3	4	5	2.138	24.199
6	2	3	5	2.248	19.228
7	4	5	6	2.982	4.233
8	2	3	4	2.994	27.231
9	2	4	6	3.109	12.882
10	1	3	4	3.365	5.76
11	3	4	6	3.63	45.442
12	1	3	5	3.845	4.656
13	2	3	6	4.692	20.934
14	1	2	4	4.695	0.292
15	1	3	6	4.944	20.23
16	2	4	5	5.031	0.199
17	1	2	5	5.747	0.175
18	1	2	3	6.947	4.49
19	1	4	5	7.392	0.083
20	1	2	6	11.986	2.816

Anhang 4

Felsstatische Planung aus der Variantenstudie

Felsstatische Planung

Im Rahmen der Variantenstudie wurden die Nebenstollen einer detaillierten felsstatischen Betrachtung unterzogen.

Zunächst wurde die Orientierung der Nebenstollen analysiert. Eingangsparmeter hierzu waren die vorhandenen Spannungen, die vermuteten geologischen Störzonen und die vermutete Gefügeorientierung. Die Gefügeorientierung wurde durch die Ingenieurarbeitgemeinschaft Pumpspeicherwerk Forbach auf Basis des Baugrundgutachtens [Q1] und eigener Begehungen des Geländes eingeschätzt.

Es wurden numerische 2D Berechnungen mit verschiedenen Querschnittsgeometrien und geologischen Verhältnissen (Granit mit Verwitterungsgrad w_0 , w_1 und w_2 (w_3)) zur Verifikation des Systemverhaltens und des erforderlichen Stützmittelsystems, zur Verifikation der Orientierung der Nebenstollen, zur Analyse der Wechselwirkung zwischen den einzelnen Stollen (Felspfeiler) und zur Optimierung von Querschnittsgeometrie bzw. Stollenlänge durchgeführt.

Für die Berechnungen wurde der Fall ohne Ausbau betrachtet, um das Gebirgsverhalten und die kritischen Zonen und mögliche Versagensmechanismen zu identifizieren.

Eingangsparmeter

Die Überlagerung wird mit 300 m angesetzt. Dies entspricht der im Bereich der Nebenstollen zu erwartenden Überlagerung.

Für das Gebirge werden im geotechnischem Gutachten [Q1] die Kennwerte für den Granit mit Verwitterungsgrad w_0 , w_1 und w_2 (w_3) angegeben, welche in die Berechnung eingehen. Die Wichte vom Granit wird auch der Ermittlung der Überlagerungsspannung zugrunde gelegt. Die Querdehnzahl wird mit 0,25 angenommen. Das verwendete Fließkriterium ist jenes nach Mohr – Coulomb; es wird keine Dilatanz oder Entfestigung angenommen. Es wird ohne Einfluss von Wasser simuliert, da der Bergwasserspiegel während der Bauphase in jedem Falle abgesenkt ist.

Die empfohlenen Kennwerte werden zur Feststellung des Systemverhaltens nicht weiter abgemindert. Zur Berechnung der Primärspannungen wird ein Seitendruckbeiwert von 0,5 berücksichtigt.

Berechnungsergebnisse

Das Verhalten der Hohlräume ohne Ausbau (Verschiebungen und plastische Zonen) zeigt:

- beim Verwitterungsgrad w_0 , w_1 ist die Standsicherheit des ungestützten Hohlraums gegeben und der Pfeiler zwischen den Nebenstollen ist nicht überbeansprucht.
- beim Verwitterungsgrad w_2 (w_3) ist ein Ausbau erforderlich, um den Hohlraumrand zu stabilisieren (Begrenzung der Verschiebungen) und die Überbelastung des Gebirges zu reduzieren (Reduktion der aktiven plastischen Zonen).
- ein erhöhter Seitendruckbeiwert wirkt sich bei den gegebenen Querschnittsgeometrien und Spannungsverhältnissen positiv aus.

Die wesentlichen Berechnungsergebnisse sind hier unten beigefügt.

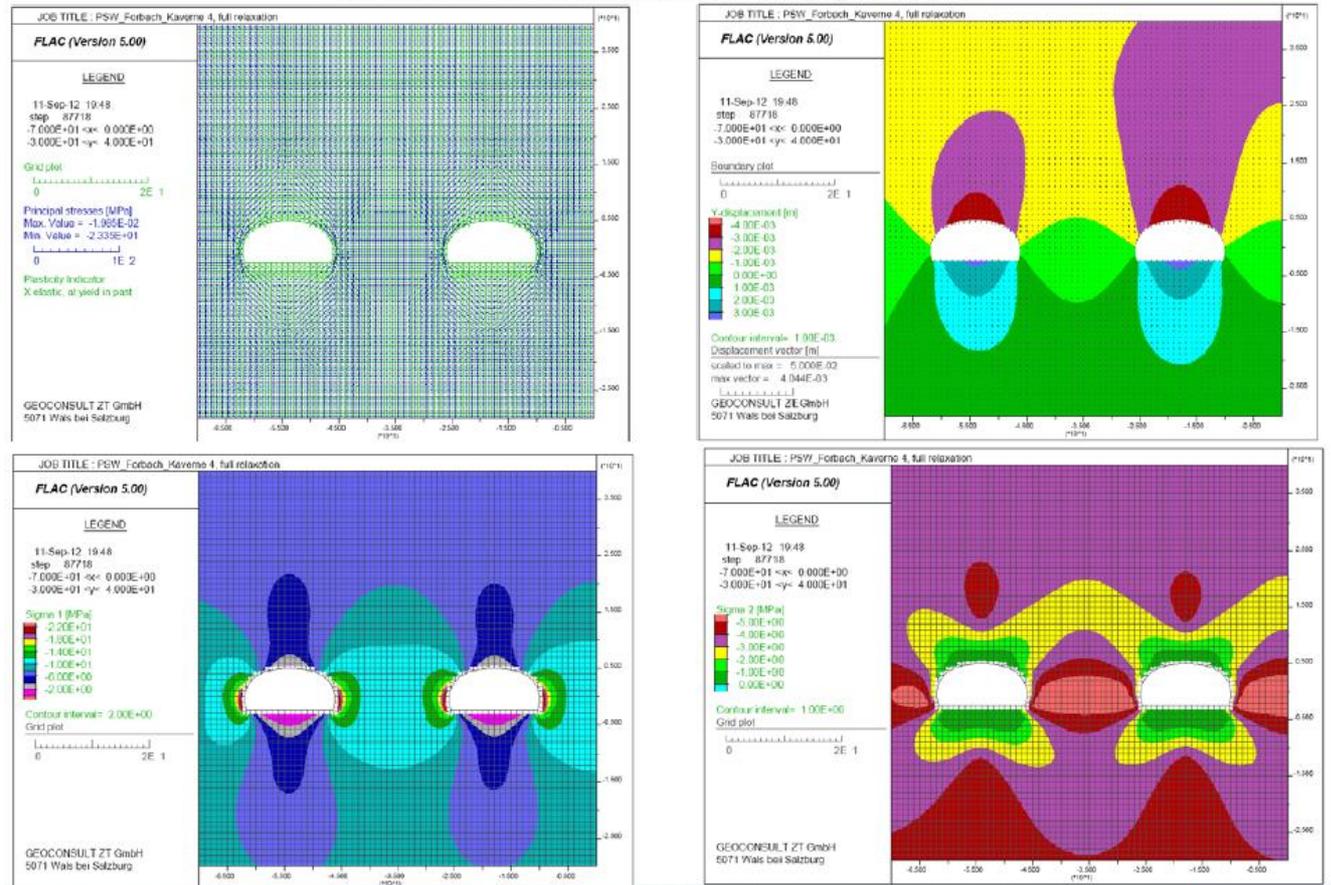
NEBENSTOLLEN

Durchgeführte numerische Berechnungen:

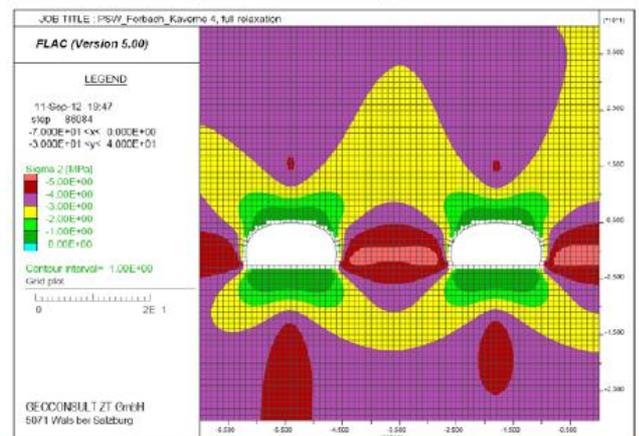
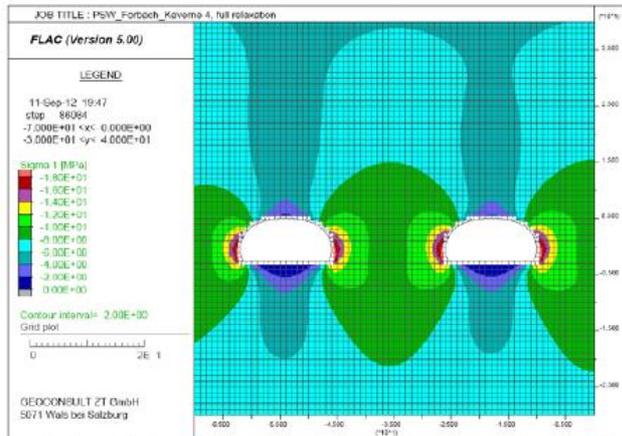
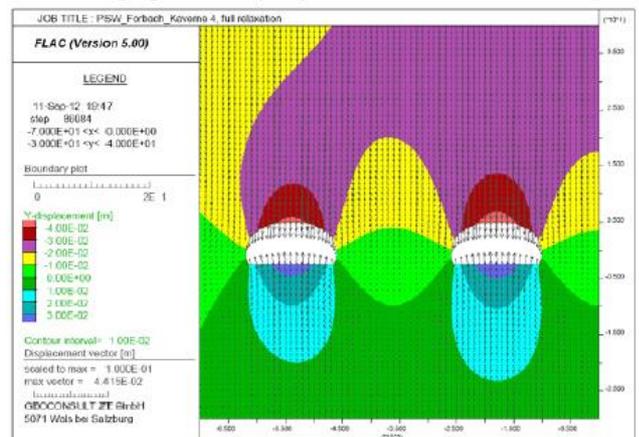
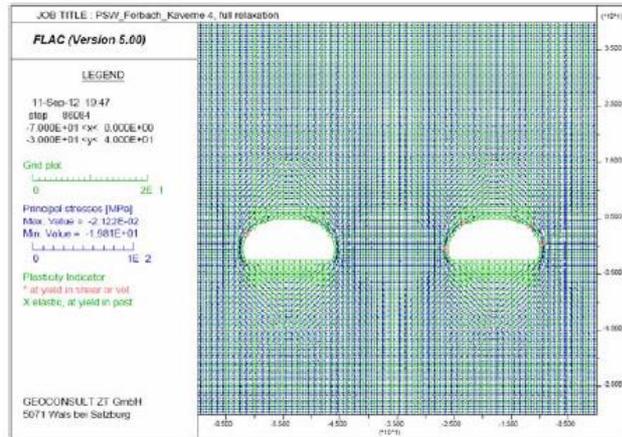
- Querschnitt 1, Granit mit Verwitterungsgrad w0, w1
- Querschnitt 1, Granit mit Verwitterungsgrad w2
- Querschnitt 4, Granit mit Verwitterungsgrad w0, w1
- Querschnitt 4, Granit mit Verwitterungsgrad w2
- Querschnitt 4, Granit mit Verwitterungsgrad w2, mit höherem Seitendruckbeiwert

Querschnitt 1: $A_{was} = 89,63 \text{ m}^2$
 Querschnitt 2: $A_{was} = 97,65 \text{ m}^2$
 Querschnitt 3: $A_{was} = 101,59 \text{ m}^2$
 Querschnitt 4: $A_{was} = 105,24 \text{ m}^2$

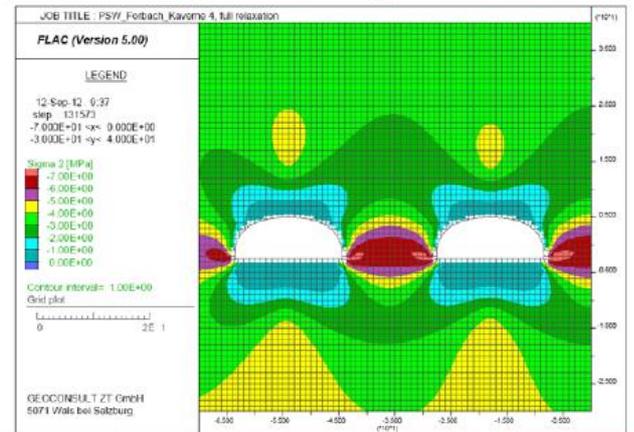
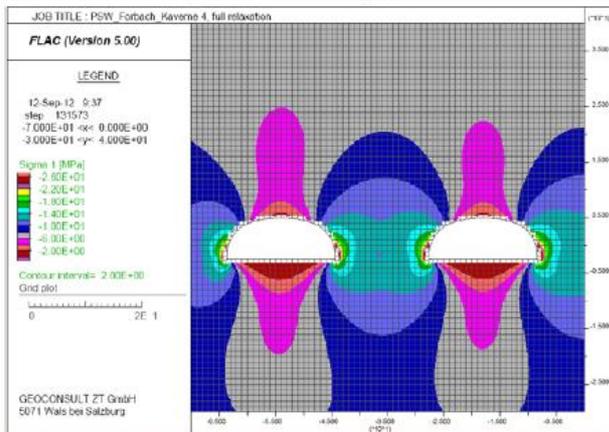
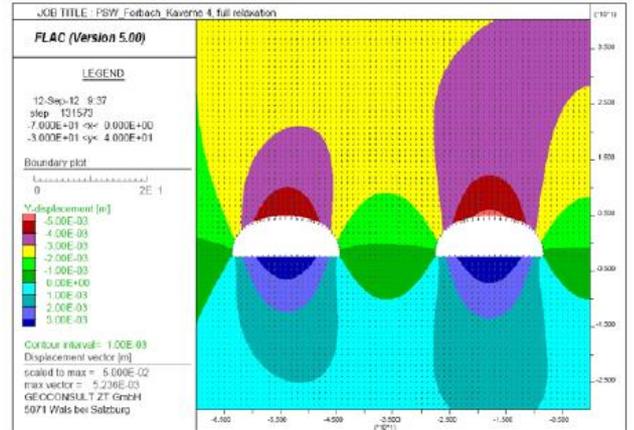
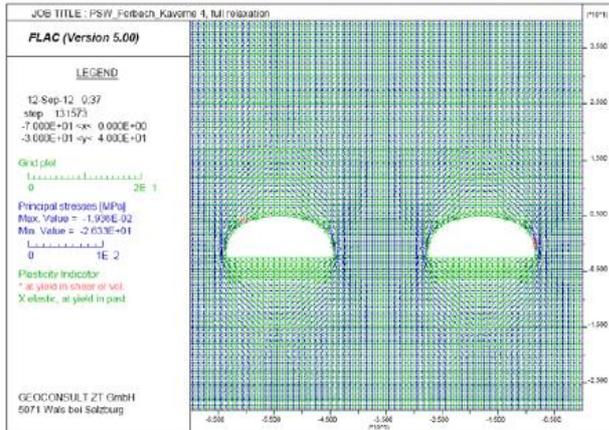
Querschnitt 1, Granit mit Verwitterungsgrad w0, w1



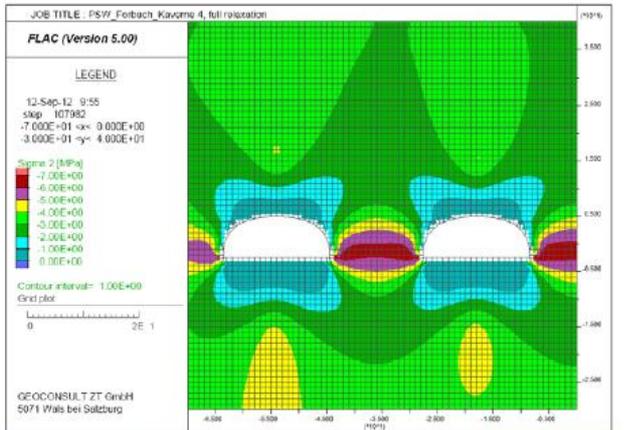
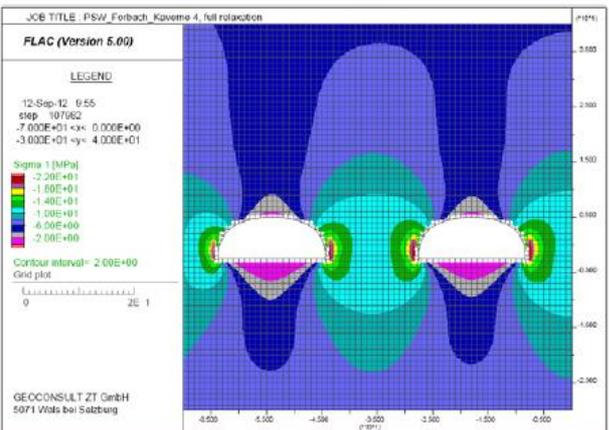
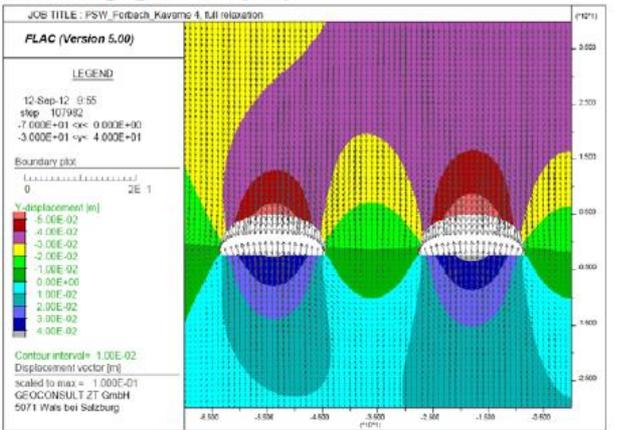
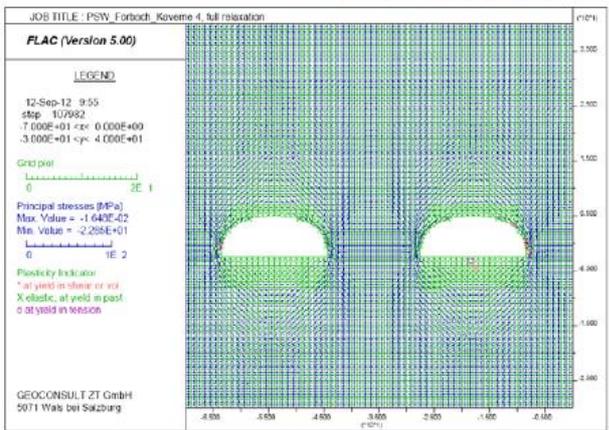
Querschnitt 1, Granit mit Verwitterungsgrad w2 (w3)



Querschnitt 4, Granit mit Verwitterungsgrad w0, w1



Querschnitt 4, Granit mit Verwitterungsgrad w2 (w3)



Querschnitt 4, Granit mit Verwitterungsgrad w2, mit höherem Seitendruckbeiwert

