

**15. Nationales Symposium für Felsmechanik und Tunnelbau  
Aachen, 19. und 20.03.2002**

## **Südportal Tunnel Dölzschen - Sicherung einer bis 65 m hohen Felswand**

Dr. Raymund M. Spang, Witten &

Dr. J. Kardel, Chemnitz.

**Zusammenfassung:** Das Autobahnamt Dresden lässt derzeit im Zuge des Neubaus der Autobahn A 17 Dresden – Prag durch die Walter Bau AG die Weißeritzquerung mit einer Talbrücke und den beiden doppelröhrigen bergmännisch aufzufahrenden Tunneln Dölzschen und Coschütz ausführen. Die Südportale des Tunnels Dölzschen liegen dabei in einer bis 65 m hohen vertikalen Felswand aus Syenodiorit, etwa 25 m über deren Fuß und schließen unmittelbar an das nördliche Widerlager der Weißeritztalbrücke an. Die Felswand war ursprünglich Prallhang der Weißeritz und dann durch einen Steinbruchbetrieb weiter versteilt worden.

Aus der Felswand ergaben sich erhebliche Steinschlag- und Felssturzrisiken durch lokale, flächenhaft verteilte Instabilitäten. Außerdem war die Felswand bis in erhebliche Tiefe durch steil bergwärts fallende, wandparallel streichende und teilweise bereits geöffnete Großklüfte kippgefährdet.

Aus Gründen der Unfallsicherheit war eine Sicherung bauzeitlich zwingend. Da die nördlichen Widerlager der Weißeritztalbrücke in zwei auszubrechenden Nischen am Tunnelportal in der Flucht der aufgehenden Felswand aufgelegt werden sollten, hätte eine Verlängerung der Tunnelröhren bis über den Gefahrenbereich hinaus einen unerwünschten Eingriff in das Erscheinungsbild der Brücke bedeutet und deren Umbemessung erfordert. Die Sicherungen waren deshalb auch für den Betriebszustand der Autobahn auszulegen.

Die durch eine geotechnische Untersuchung der Felswand von einem 68 m hohen Kranausleger festgestellten lokalen Instabilitäten wurden teils durch Beräumen, teils durch eine schlaife Felsnagelung stabilisiert. Die Steinschlagrisiken wurden durch Beräumen vom Seil und anschließendes Aufbringen von Drahtseilnetzen mit hinterlegtem Maschendrahtgeflecht beseitigt. Bauzeitliche und permanente Netze unterscheiden sich durch den bei den permanenten Netzen besonders hochwertigen Korrosionsschutz. Für die globale Sicherung gegen Kippen wurden vorgespannte Litzenanker eingesetzt.

Die Arbeiten mussten zum Teil bergsteigerisch, zum Teil mit extrem hohen Hubbühnen von oben und unten ausgeführt werden. Um den Zugang zu den Portalen zu ermöglichen musste eine 25 m hohe steile Rampe aus bewehrter Erde geschüttet werden, die für Schwerlastkräne auszulegen war. Wegen des gewünschten unmittelbaren Übergangs Tunnel/ Brücke sollte ein Portal nicht ausgebildet werden. Vielmehr war der Durchtritt der Tunnelröhren durch die Felswand dauerhaft mittels Portal-kranzankern zu sichern. Als weiteres Sicherungselement kamen Radialanker in dem unmittelbar an die Felsoberfläche anschließenden bergmännischen Vortrieb hinzu, die zur Vermeidung einer asymmetrischen Einwirkung auf die Innenschale aus dem schiefwinkligen Durchtritt der Tunnel aus der Felswand ebenfalls als Daueranker auszubilden waren.

Spritzbeton in der Felswand war aus Gründen des Landschaftsschutzes nicht zugelassen. Der Tunnelausbruch erfolgte durch Sprengen. Während der Herstellung der Sicherungen und während der oberflächennahen Sprengungen war die Felswand messtechnisch zu überwachen.

Wegen der großen Höhe, der Steilheit und Unzugänglichkeit der Felswand, der Instabilitäten unterschiedlicher Ursache und Größenordnung sowie wegen der schwierigen Randbedingungen und Auflagen für die Sicherung ergaben sich ungewöhnliche Anforderungen an Planung und Bauausführung.

**Projekt:** Die 280 m lange dreifeldrige Weißeritztalbrücke und die direkt an ihre Widerlager anschließenden zweiröhri- gen bergmännischen Tunnel Dölzsch und Co- schütz mit einer Länge von 630 bzw. 1.900 m sind Bestand des vom Autobahnamt Sachsen betriebenen westlichen Abschnitts des Neubaus der Autobahn A 17, Dresden - Prag. Die Fahrbahn wird vierstreifig mit Standstreifen erstellt und erhält eine Breite von 29,5 m. Mit der Bauausführung wurde eine interne Arbeitsgemeinschaft der Walter Bau AG beauftragt. Die Felssicherungsarbeiten wurden von der Stump GmbH, Niederlassung Chemnitz, und der Jähmig GmbH, Dorfhain, übernommen. Die geotechnischen Untersuchungen, die Planung und Überwachung der Fels- und Portalsicherungen führte im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft die Dr. Spang Ingenieurgesellschaft für Bauwesen, Geologie und Umwelttechnik, Niederlassung Freiberg, aus.

Bei dem angetroffenen Syenodiorit handelt es sich um ein rötlich-bräunliches feinkörniges magmatisches Gestein mit hoher Druckfestigkeit und großer Bruchzähigkeit. Wegen des erheblichen Quarzanteils ist der Syenodiorit nach SCHMAZEK/KNATZ (1974) stark abrasiv.

**Geotechnische Untersuchungen:** Bei Auftragsvergabe lag eine felsmechani- sche Standsicherheitsuntersuchung der Felswand nicht vor. Der Bauherr hatte die Detailuntersuchung, die Ausführungsplanung der Sicherung und die Ausführung durch Felsnägel nach Eventual- und Alternativpositionen ausgeschrieben. Die De- tailuntersuchung erfolgte von einem Autokran mit einem 68 m Teleskopausleger und angehängtem Fahrkorb. Auf die ansonsten übliche bergsteigerische Aufnahme vom Seil wurde verzichtet, da im Zuge der Untersuchungen die Konturlinien der Durch- trittsstellen der Tunnelröhren durch die Felswand auf die Wand aufgezeichnet werden sollten, was vom Seil aus zu aufwändig gewesen wäre. Bei der Befahrung wur- den das Gesteinsinventar und das Trennflächengefüge aufgenommen, alle wegen lokal ungünstiger Orientierungen bzw. Verschneidungen, weitgehender Durchtren- nung, geöffneter Trennflächen, Verwitterung oder Auflockerung potentiell labile Blö-

cke identifiziert, lokalisiert und beschrieben sowie unter Zugrundlegung der jeweils erkennbaren Bruchmechanismen hinsichtlich ihrer Standsicherheit bewertet und das Ergebnis in vorab hergestellten großformatigen Photos dokumentiert. Gleichzeitig erfolgte die Festlegung der erforderlichen Fellsicherungsmaßnahmen soweit dies konstruktiv möglich war. Einer statischen Bemessung zuzuführende größere Instabilitäten wurden geometrisch aufgenommen und mit den für die analytische Behandlung erforderlichen Zahlenangaben versehen.

Die Druckfestigkeit wurde mittels einaxialer Druckversuche und Punktlastversuchen ermittelt bzw. abgeschätzt. Die Felswand war einschließlich der am Fuß vorhandenen Industriemüllhalde trocken, die offenen Spalten ließen Bergwasserstände in relevanter Höhe ausschließen.

Im Ergebnis der Kartierung zeigten sich mit Bezug auf die raue Felsoberfläche mit zahlreichen Vor- und Rücksprüngen und lokalen Überhängen.

- Flächige Steinschlag- und Felssturzsrisiken bis 50 m<sup>3</sup> für die ganze nördliche BE- Fläche und die spätere Fahrbahn;
- Mehrere Zentimeter geöffnete Trennflächen mit steilem bergwärtigem Einfallen und böschungsparallelem Streichen (Abb. 1);
- Flach hangauswärts fallende, ebenfalls böschungsparallel streichende Trennflächen;
- Ungünstige Verschneidungen und hohe Durchtrennungsgrade an den geplanten Hohlraumrändern und im Bereich der Schlitze für die Widerlagerschäfte.

Die Kartierung wurde anschließend digitalisiert und der Planung der Sicherungsmaßnahmen zugrunde gelegt (Abb. 2). Das Trennflächengefüge wurde nach JOHN (1971) bzw. mit dem Programm GEOVEK unter Zugrundelegung von Starrkörpern kinematisch analysiert. Die Analyse ergab folgenden Befund:

- Kippgefährdung der Gesamtböschung (vgl. JOHN et al. 1979);
- Nicht ausreichend standsichere Bruchkörper in der Hohlraumumrandung;
- Nicht ausreichend standsichere Bruchkörper in den Schlitzen für die Widerlagerschäfte.

Für den Nachweis der Kippsicherheit wurde das von SPANG (1980) beschriebene Versagensmodell verwendet (Abb. 3). Der dem Nachweis zugrunde liegende Algorithmus ist in Abb. 4 dargestellt. Der Nachweis erfolgte wegen der geringen Spannungen im Verhältnis zur Gesteinsfestigkeit unter der Annahme starrer Körper. Wegen der offenen Klüfte konnte von einer Selbstsperrung, wie sie bei rauen Oberflächen und geschlossenen Klüften aufgrund der Dilatation bzw. des Aufgleitens nach PATTON (1966) zu erwarten ist, nicht ausgegangen werden. Diese verhindert bei vielen Böschungen mit steil bergwärts einfallenden Trennflächen das Kippen, da dieses kinematisch eine Scherverformung in diesen Trennflächen voraussetzt, sofern eine Auflockerung senkrecht zu den betreffenden Flächen nicht eintreten kann. Die Standsicherheitsanalyse wies die fehlende Kippsicherheit der Gesamtböschung nach und bot damit ein eindeutiges Erklärungsmodell für die bei der Kartierung der Flanken beobachteten offenen Trennflächen mit steiler bergwärtiger Fallrichtung. Gleichzeitig ergab sich aus einem Modell mit zur Tiefe abnehmender Durchtrennung eine Aufteilung in aktive und passive Blöcke, die die Optimierung der Ankerlängen und Ankerkräfte ermöglichte (Abb. 5).

Die Bruchkörper am Hohlraumrand und in den Widerlagerschlitzten wurden mit dem Programm STANSI nachgewiesen (Abb. 6).

**Felsmechanische und tunnelbautechnische Aufgabenstellung für die Planung:** Diese ergab sich aus den o.a. Erkundungsergebnissen und Standsicherheitsuntersuchungen wie folgt.

- Bauzeitliche Steinschlagsicherung für die gesamte BE- Fläche und alle Arbeitsflächen;
- Permanente Steinschlagsicherung für die Fahrbahn;
- Bauzeitliche lokale Felssturzsicherung;
- Permanente lokale Felssturzsicherung für die Fahrbahn;
- Permanente globale statische Sicherung der Felswand gegen Kippen;
- Permanente Sicherung des Ausbruchsrandes für die Portalblöcke;
- Permanente Sicherung der Widerlagerschlitzte;
- Messprogramm zur bauzeitlichen und permanenten Überwachung der Sicherungen der Felswand.

**Randbedingungen für die Planung:** Aus Auflagen der Planfeststellung und aufgrund anderer Vorgaben mussten folgende Randbedingungen beachtet werden:

- Eingriffsminimierung in der Felswand aus Gründen des Landschaftsschutzes mit vollständigem Verzicht auf Spritzbeton;
- Verzicht auf ein Portalbauwerk, die Innenschale endet in der Flucht der Felswand;
- Herstellung der Portalblöcke bis zur dritten Blockfuge von außen, dann Anschluss von innen;
- Permanente Sicherung des Ausbruchsrandes der vorderen Portalblöcke um die Innenschale wegen eines unter 59° verlaufenden schiefen Schnitts frei von asymmetrischen Einwirkungen zu halten;
- Portalanschlag 25 m über dem Fuß der Felswand;
- Erstellen der Planung und Ausführen der Sicherungen in kürzester Zeit, da die Felssicherung auf dem kritischen Pfad lag.

**Lösungen:** Folgende Lösungen wurden gewählt (Abb. 7):

- Steinschlagschutz bis 1 m<sup>3</sup> Volumen
  - Beräumen der Wandoberfläche vom Seil, von oben nach unten;
  - Abdeckung der Felsoberfläche durch Drahtseilnetze mit Maschendraht hinterlegung, von oben abgerollt; bauzeitlicher Korrosionsschutz mit Feuerverzinkung, permanent mit Supercoating.
  - Befestigung mit 3 bis 5 m langen Seilankern, zum Abrollen zunächst nur am Kopf, dann im Raster 4 x 4 m.

- Felssturzsisicherung > 1 m<sup>3</sup> Volumen
  - Abräumen mit Brecheisen oder Abbauhammer, vom Seil aus soweit möglich;
  - Verankerung mit Verbundpfählen Stump, zulässige Pfahlkraft 140 bzw. 176 kN, Ø 25 bzw. 28 mm, 7 und 8 m lang; vom Krankorb.
- Sicherung gegen Kippen
  - Rasterankerung mit vorgespannten Dauerankern Stump/Suspa Kompakt, zulässige Ankerkraft 628 bis 1.005 kN, 10 bis 31 m lang, vom Krankorb.
- Sicherung der Widerlagerschlitze:
  - Spritzbeton, bewehrt, mit Raster aus bauzeitlichen SN- Ankern mit GEWI Tragglied, zulässige Ankerkraft 205 kN, 7 m lang, Ø 28 mm;
  - Aufnahme der Brems- und Querkräfte durch Daueranker Stump/Suspa Kompakt.
- Sicherung des Ausbruchsrandes
  - Portalkranz mit 2 konzentrischen Ringen aus Dauer-Verbundpfählen Stump, zulässige Ankerkraft 359 und 561 kN, 6 und 8 m lang, Ø 40 und 50 mm;
  - Anschlagwand bauzeitlich mit SN-Ankern mit GEWI Tragglied, zulässige Ankerkraft 164 kN, 5 m lang, Ø 25 mm;
  - Ausbruchleibung mit radial angeordneten Dauer-Verbundpfählen Stump, zulässige Pfahlkraft 176 kN, Ø 28 mm.
- Messprogramm:
  - Geodätische Lage- und Höhenmessungen über Reflextargets und Laser;
  - Ankerkraftmessungen über elektrische Kraftmessdosen mit zentraler Ableitung;
  - Extensometermessungen über 4-fach Stangenextensometer.

Alle dauerhaften Sicherungselemente mussten aus landschaftskulturellen Gründen an den rötlichen Farbton des Untergrundes angepasst ausgeführt werden. Für die temporären Bauteile ist ein Rückbau zum Abschluß der Baumaßnahme vorgesehen.

**Bauausführung:** Die Leistungen wurden im Zeitraum Juli 2000 bis April 2001 in nur 10 Monaten durch die STUMP Spezialtiefbau GmbH, NL Chemnitz unter Einbeziehung der Firma Jähmig GmbH, Dorfhain, als Subunternehmer für die Vernetzung ausgeführt. Trotz einer Bauzeit durch den Winter hindurch konnten witterungsbedingte Unterbrechungen auch durch spezielle technologische Lösungen minimiert werden.

Für die Durchführung der Baumaßnahme galten folgende Prinzipien:

- Alle Leistungen so rasch als möglich, um den weiteren Bauablauf nicht zu verzögern;

- Abgestimmte Technologie, um eine höchstmögliche Sicherheit für die Baustelle selbst zu garantieren;
- Permanente Sicherheit für die Mitarbeiter auch unter den besonderen Aspekten der Höhenarbeit in der bis zu 65 m hohen Böschung vom Seil oder Krankorb aus.

Aufgrund der sorgfältigen Planung und Überwachung trat während der gesamten Baumaßnahme kein schwerer Unfall auf.

Für die Überwindung des Höhenunterschieds von bis zu 50 m zwischen Arbeitsebenen und Bohransatzpunkt mußten kurzfristig neue technische Lösungen entwickelt werden. Mit speziell konstruierten Kranbohrgeräten war trotz der großen Höhenunterschiede eine qualitätsgerechte Herstellung, insbesondere der Dauerbauteile wie Permanentanker o. ä. möglich (Abb. 8).

Unter den oben genannten Prämissen wurde folgender Bauablauf gewählt:

- Beräumung der Böschungsschulter mit teilweisem Abtrag von Überhängen und Gebäuderesten;
- Beräumung der Felsoberflächen mittels bergsteigerischer Methoden;
- Vernetzung der gesamten Böschung;
- punktuelle Sicherung von Einzelblöcken;
- Herstellung der Portalkranzverankerung mittels Kleinbohrpfählen DIN 4128;
- Herstellung der globalen Standsicherheit durch Daueranker DIN 4125.

Lokal war dabei das Raster der einzelnen Sicherungselemente, insbesondere im Zusammenhang mit der Radialsicherung der Tunnelröhren so eng, daß die Gefahr des Anbohrens der einzelnen Sicherungselemente bestanden hätte. Um das zu vermeiden, wurden die Bohrlafetten auf jedem Punkt exakt nach Neigung und Richtung eingemessen.

**Gesamtbauausführung:** Die folgende Massenaufstellung zeigt den Umfang der Arbeiten:

- ca. 2.000 m<sup>2</sup> Böschungsschulter beräumen;
- ca. 10.000 m<sup>2</sup> Felswand mit bergsteigerischen Methoden beräumen;
- ca. 9.000 m<sup>2</sup> dauerhafte und temporäre zweilagige Vernetzung inklusive Halteanker sowie Tragseilen ausführen;
- ca. 700 lfm Verbundpfähle STUMP nach bauaufsichtlicher Zulassung mit verschiedenem Tragglieddurchmesser und doppeltem Korrosionsschutz als dauerhafte Felsanker ohne Vorspannung herstellen;
- ca. 710 lfm Verbundpfähle STUMP nach bauaufsichtlicher Zulassung mit Tragglieddurchmesser von 50 und 50 mm als Portalkranzanker ohne Vorspannung einbauen;
- 73 Daueranker DIN 4125 System STUMP/SUSPA-Kompakt als Litzenfreispielanker mit 6 x 0,6“; 7 x 0,6“ und 8 x 0,6“ Litzen und Einzellängen bis 30 m herstellen;
- 60 lfm 4-fach Extensometer ausführen.

Alle Zugelemente wurden den entsprechenden Abnahme- und Eignungsprüfungen unterworfen. Dabei zeigten sich keinerlei Ausfallserscheinungen, trotz der teilweise sehr schwierigen Einbaubedingungen konnte durchgängig ein hoher Qualitätsstandard gewährleistet werden.

Alle Bauteile unterlagen den speziellen Anforderungen als zugelassene Systeme des Instituts für Bautechnik Berlin. Damit wurde den Forderungen der Landesbauordnung Sachsen und den Regeln der Technik sowie den Anforderungen der Prüfstatiker im besonderen Maße entsprochen.

Besonders erwähnenswert - weil leider nicht auf allen Baustellen selbstverständlich – ist die gute Zusammenarbeit zwischen Bauherrn, Planer, Bauüberwachung, Gesamtauftragnehmer Brücken und Tunnel sowie den beiden Firmen, die die Bauleitung ausführten. Diese gute Zusammenarbeit war jedoch die Voraussetzung für die Ausführung der Arbeiten in kurzer Zeit und hoher Qualität.

## Literatur

**JOHN, K.W. (1971):** Three-dimensional stability analyses of slopes in jointed rock. – In: Planning open pit mines, Proc. Symp. Theoret. Background Planning Open Pit Mines, Johannesburg, Aug. 29 – Sept. 4, 1970, Cape Town.

**JOHN, K.W., REUTER, G. & SPANG, R. M. (1979):** Kippen als Bruchmechanismus in Felsböschungen. – Ber. 2. Nat. Tag. Ing.-Geol., 183 – 198, Fellbach.

**PATTON, F. D. (1966):** Multiple modes of shear failure in rock and related materials. – Ph. D. Thesis, Univ. Ill.

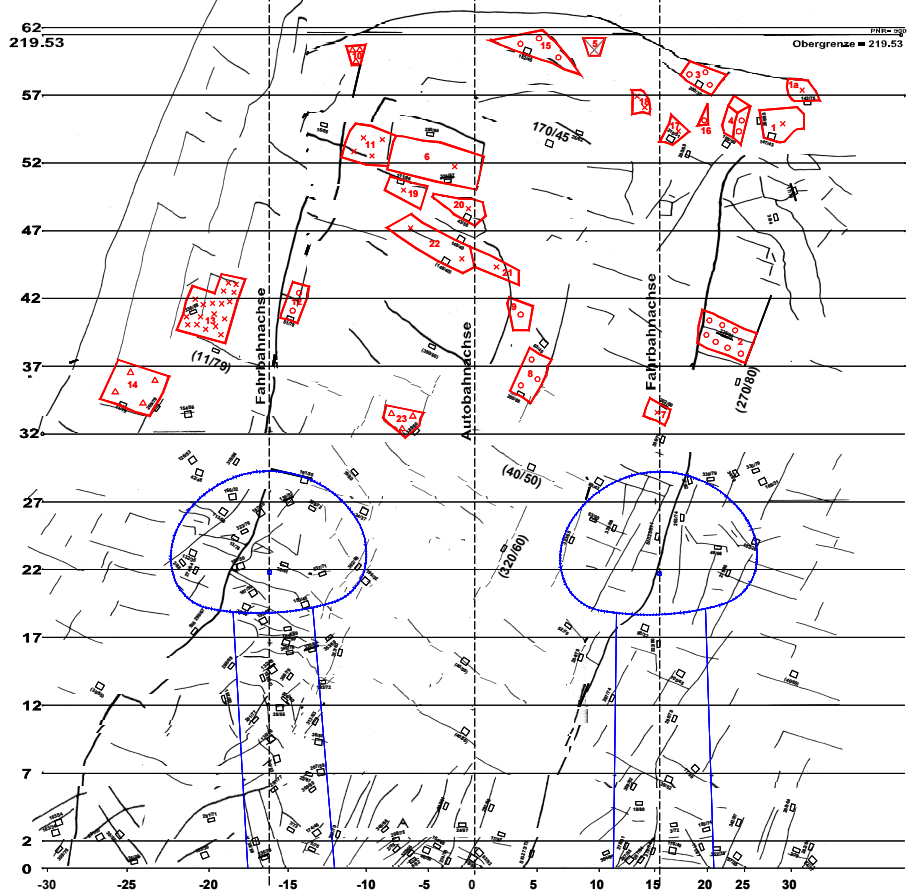
**SCHIMAZEK, J. & KNATZ, H. (1974):** Die Beurteilung der Bearbeitbarkeit von Gesteinen durch Schneid- und Rollenbohrwerkzeuge. – Vortr. 10. Arbeitstag. Bergtechnik, Ges. Dt. Metallhütten- u. Bergleute e.V., Clausthal-Zellerfeld.

**SPANG, R. M. (1980):** Die Planung sicherer und wirtschaftlicher Böschungen im Fels. – Bochumer geol. u. geot. Arb., 3, Bochum.

## Abbildungen

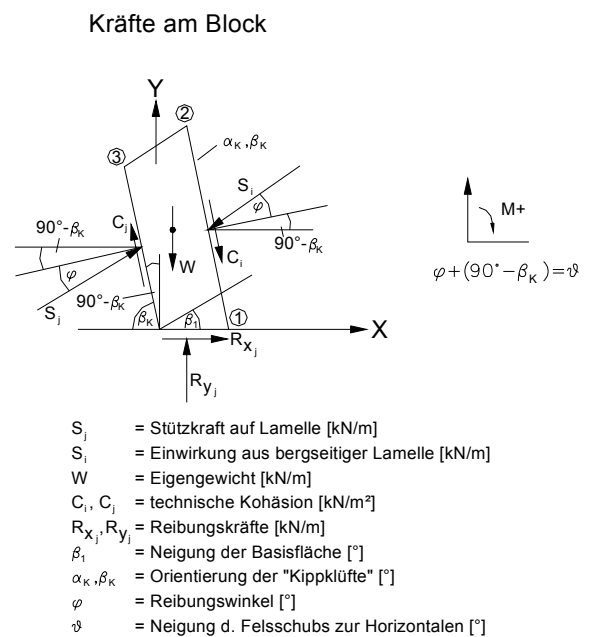
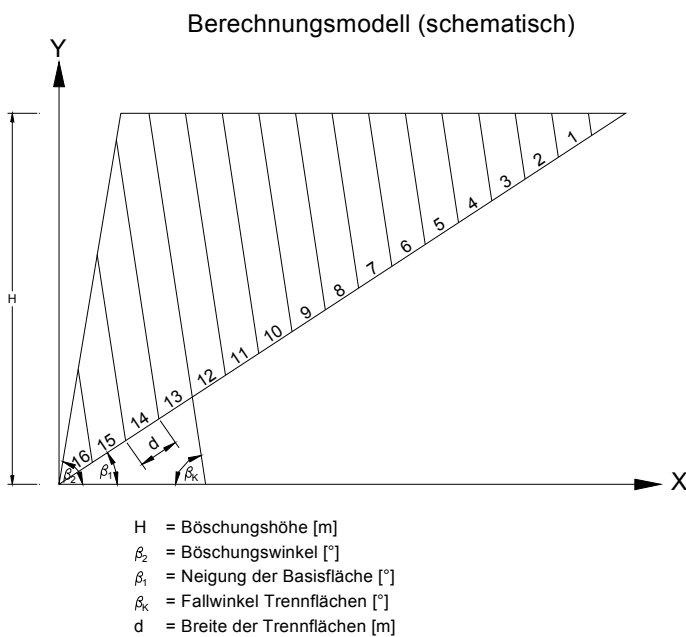


### 1. Flankenböschung mit offenen Kippklüften



### 2. Kartierergebnis





### 3. Felsmechanisches Modell

#### Berechnung der Sicherheit $\eta$

$$\begin{aligned} \sum M = 0 &= \left( \frac{X_1 + X_2}{2} - X_4 \right) \times S_i \times \sin \vartheta \\ &- \left( \frac{Y_1 + Y_2}{2} - Y_4 \right) \times S_i \times \cos \vartheta \\ &+ \left( \frac{Y_3 + Y_4}{2} \right) \times S_j \times \cos \vartheta \quad (\text{für } Y_3 > Y_4) \\ &+ \left( \frac{Y_4 + Y_3}{2} \right) \times S_j \times \sin \vartheta \quad (\text{für } Y_4 > X_3) \\ &+ W \times (X_s - X_4) \\ &+ C \times b \times \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2} \\ \Rightarrow S_j = &\left[ \left( \frac{Y_1 + Y_2}{2} - Y_4 \right) \times S_i \times \cos \vartheta - \left( \frac{X_1 + X_2}{2} - X_4 \right) \times S_i \times \sin \vartheta \right. \\ &\left. - W \times (X_s - X_4) - C \times b \times \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2} \right] \\ &\left[ \left( \frac{Y_3 - Y_4}{2} \right) \times \cos \vartheta + \left( \frac{X_4 - X_3}{2} \right) \times \sin \vartheta \right] \end{aligned}$$

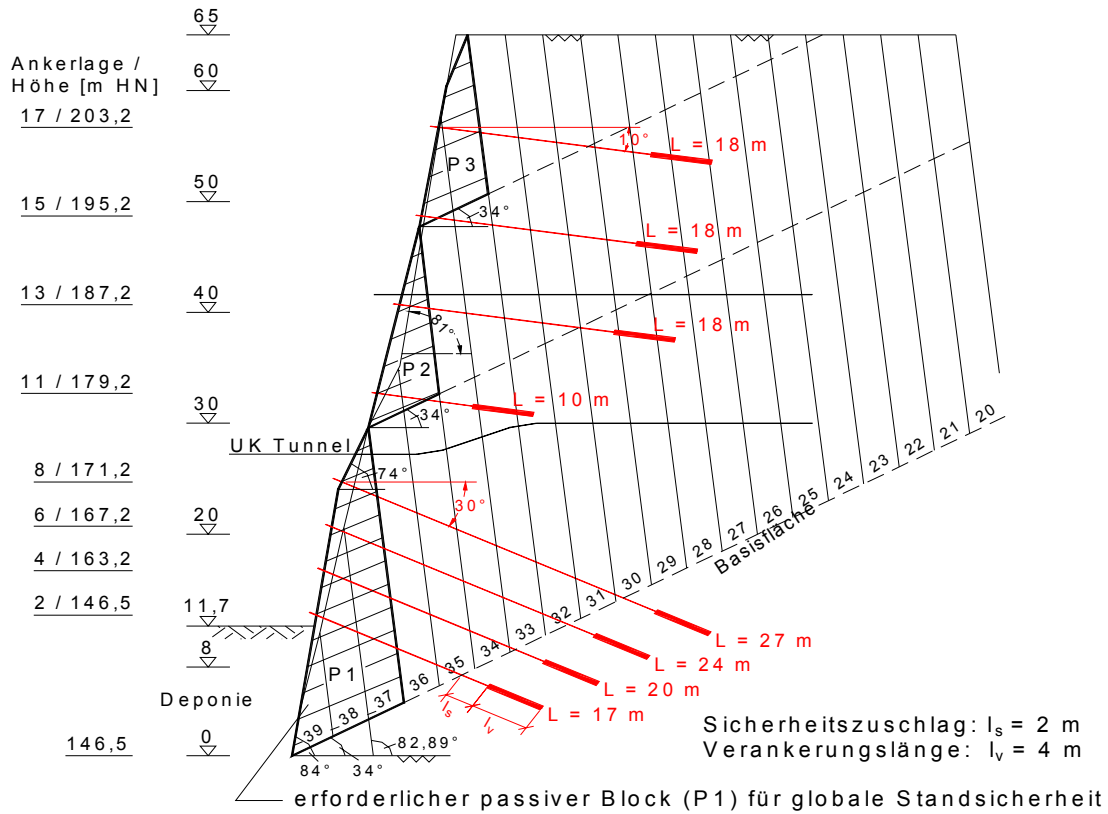
Verhältnis haltender zu treibenden Momenten:

$$\eta = \frac{M_h}{M_t}$$

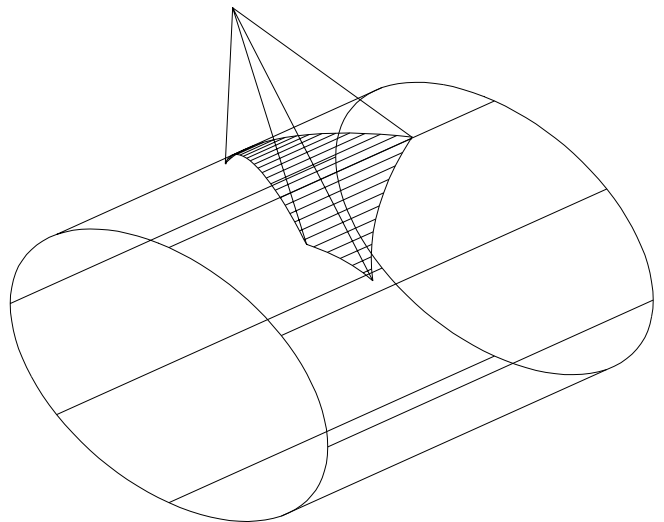
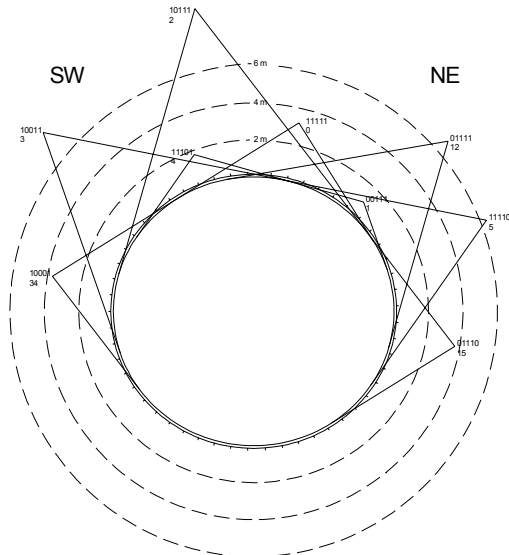
$$M_h = S_i \times \sin \vartheta \times \left( \frac{X_1 + X_2}{2} \right) + W \times X_s + C \times d$$

$$M_t = S_i \times \cos \vartheta \times \left( \frac{Y_1 + Y_2}{2} \right)$$

### 4. Kippsicherheitsnachweis



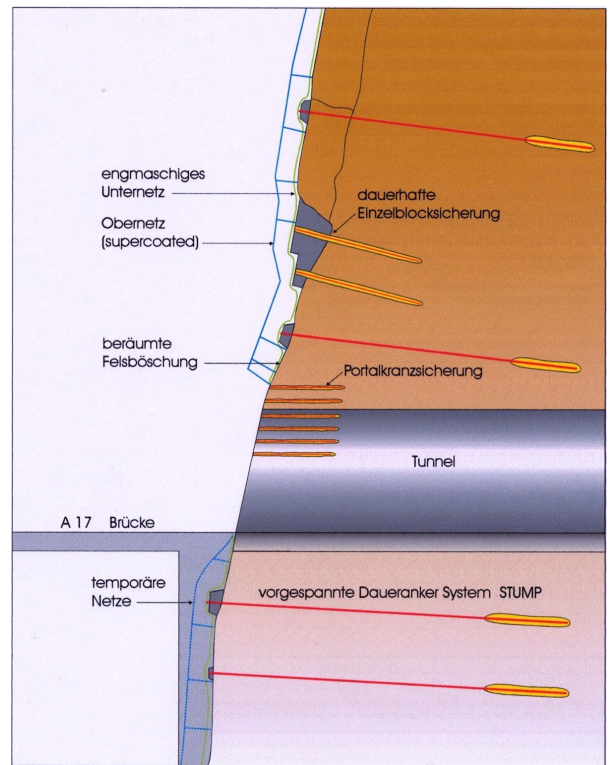
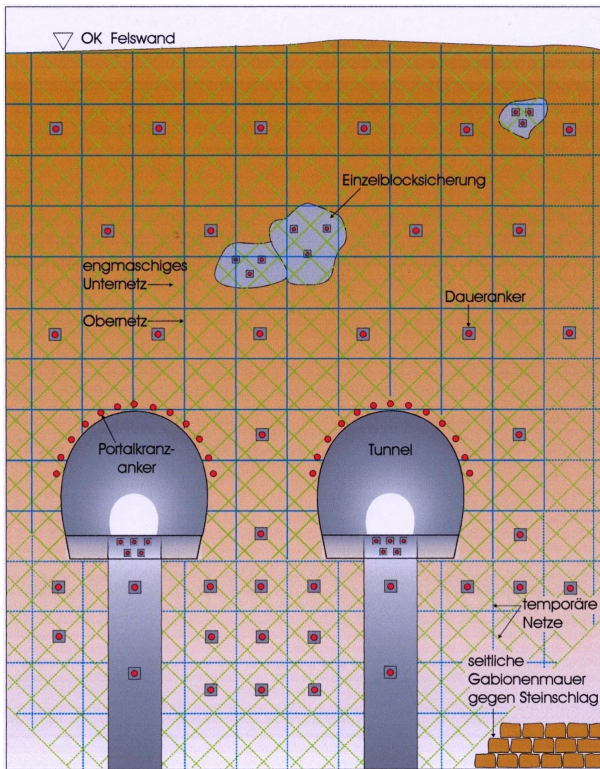
### 5. Sicherung gegen Kippen



Querschnitt			Kluftkörper			
Resultierender Kraftvektor 0/90 Tunnelachse: 333/0			Code	Gleit- modus	Fläche (m <sup>2</sup> )	Last (kN/m)
Trennflächengefüge			10111	2	55.8	1433
Azimit	Fall- winkel	Reibungs- winkel	01111	12	34.2	638
302	68	15	10011	3	40.7	637
2	85	25	11111	0	13.7	371
34	57	25	10001	34	14.5	161
113	58	25	11110	5	30.0	115
195	32	25	11101	4	5.9	95
			01110	15	14.5	61
			00111	1	2.5	55

Tunnelachse: 333/0	
Trennflächengefüge	
Azimit	Fallwinkel
302	68
2	85
34	57
113	58
195	32
Kluftkörper	
Winkelintervall: 287-50	
Halbraumcode: 10111	

### 6. Bruchkörper am Ausbruchsrund



7. Sanierungskonzept der Anschlagwand Zeichnung STUMP



8. Ankereinbau mit Hebezeug