

## **Inhaltsverzeichnis**

1 Motivation .....	4
1.1 Allgemeine Bemerkungen .....	4
1.2 Trennflächen und ihre Bedeutung .....	5
1.3 Entstehung von Klüften .....	7
1.4 Das Untersuchungsgebiet .....	9
1.5 Geologie des Untersuchungsgebietes .....	10
2 Aufnahme des Trennflächeninventars .....	14
2.1 Bedeutung der Statistik für die Tektonik .....	14
2.2 Messung mit dem Geologenkompaß .....	15
2.3 Beschreibung der Trennflächen .....	16
2.4 Darstellung des Trennflächengefüges.....	17
3 Versagensmechanismen bei Böschungen im Fels .....	20
3.1 Grundlagen .....	20
3.2 Gleiten auf einer Trennfläche .....	23
3.3 Gleiten von räumlichen, auf zwei Trennflächen gelagerten Felskeilen.....	24
4 Auswahl relevanter Berechnungsquerschnitte.....	27
4.1 Vorbemerkungen .....	27
4.2 Darstellung der Gleitkeile .....	28
4.3 Zusammenfassung der Gleitkeildarstellung .....	34
4.4 Diskussion der Sicherungsmaßnahmen.....	36
4.5 Vorzugslösungen.....	36
5 Auswertung mit Programmsystem solidPack 2.0.....	37

---

5.1 Grundsätzliches.....	37
5.2 Programmteil solidDIP.....	37
5.3 Programmteil solidWEDGE.....	38
6 Bautechnische Möglichkeiten der Hangstabilisierung.....	40
6.1 Grundsätze.....	40
6.2 Reduzierung der Einwirkungen.....	41
6.3 Erhöhung der Widerstände.....	41
7 Verankerungen.....	43
7.1 Allgemeines.....	43
7.2 Bemessung.....	43
7.3 Ankerarten.....	45
7.4 Herstellung.....	47
8 Weitere Standsicherheitsaspekte.....	50
9 Zusammenfassung und Ausblicke.....	54
10 Abbildungsverzeichnis.....	55
11 Verwendete Abkürzungen.....	57
12 Literaturverzeichnis.....	58

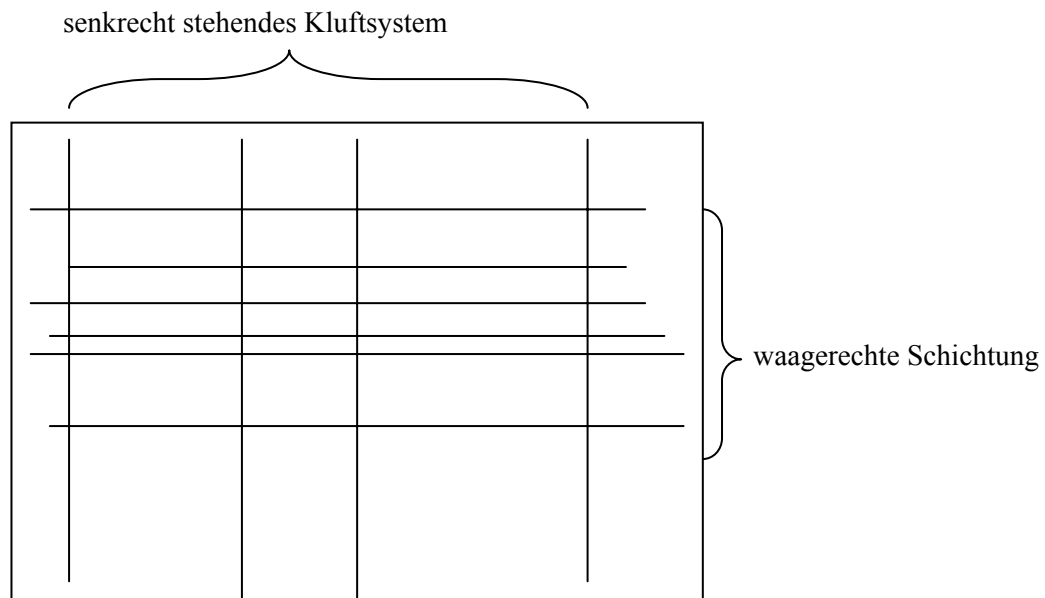
---

## 4 Auswahl relevanter Berechnungsquerschnitte

### 4.1 Vorbemerkungen

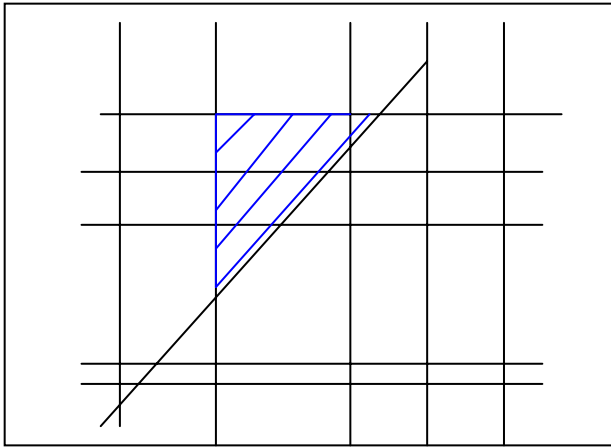
Wie schon beschrieben sind zur Bildung gleitfähiger Klufkörper einige Voraussetzungen zu erfüllen. Unter anderen sind dies: das Bilden einer Verschneidungslinie zwischen zwei Klufscharen und das flachere Einfallen dieser Verschneidungslinie im Bezug zur Böschungsneigung.

Ist nun aus geologischer Sicht eine Situation gegeben, bei der die Schichtung nahezu waagrecht verläuft, und somit die Hauptklufscharen im 90°- Winkel einfallen, bilden sich keine Gleitflächen aus. Das Modell für solch eine Situation wären aufgeschichtete Quader oder Blöcke (Mauerwerk).



**Bild 19: Schematische Darstellung des Trennflächensystems**

Die Keile entstehen durch den Verlauf von Diagonalklüften (bankschräge Klüfte) in diesem meist vertikalen System der Hauptklufscharen (bankrecht stehende Klüfte). Es liegt also ein Sonderfall des Abgleitens auf zwei Flächen vor, da eine der beiden Flächen immer von einer Fläche der Hauptklufschar gebildet wird und deshalb nicht als Gleitfläche angenommen wird.



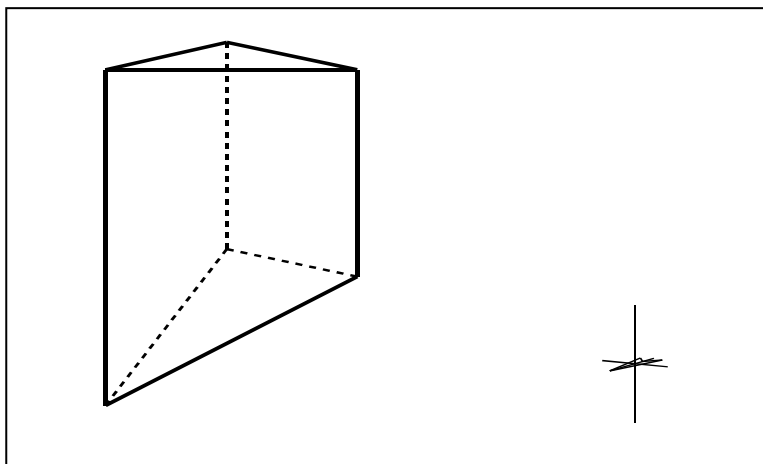
**Bild 20: Bildung eines Gleitkeiles durch eine Diagonalkluft (blau gekennzeichnet)**

Im Steinbruch Rittersdorf findet man im Gegensatz zu benachbarten Steinbrüchen eine geologische Situation mit kleinen Kluftabständen (0,5-2,0 m) und nur wenigen Diagonalklüften vor. Abrutschungsgefährdete Keile wie sie aufgrund des Vorhandensein von Diagonalklüften entstanden sind, sind daher an lediglich 5 Stellen des gesamten Steinbruches zu finden. Es ist allerdings nicht auszuschließen, daß

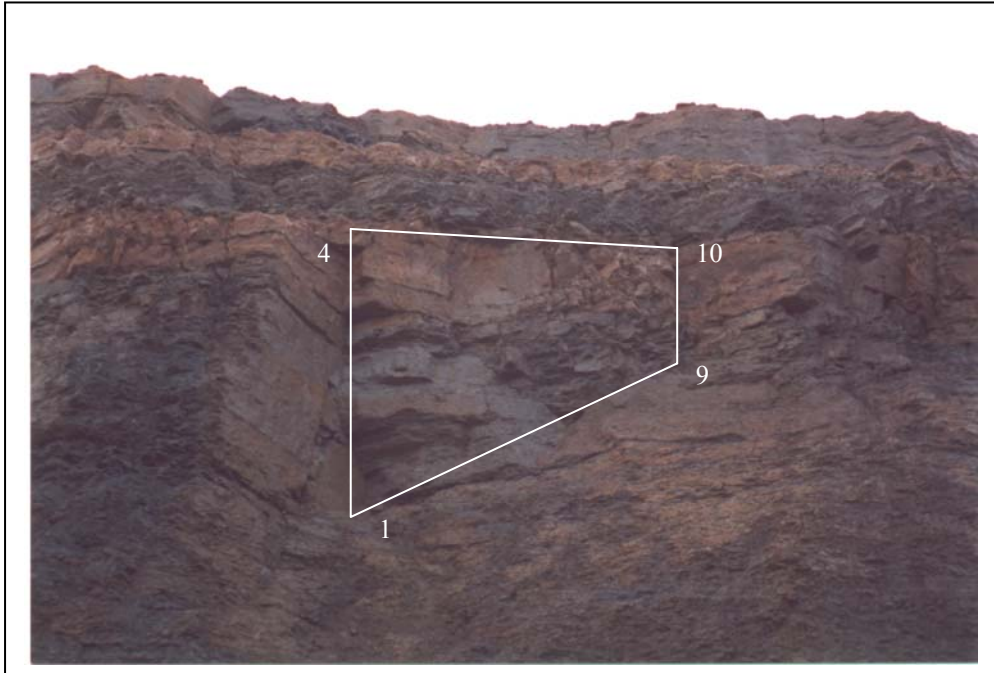
## 4.2 Darstellung der Gleitkeile

### 4.2.1 Keil 1

Profil 1 und somit Keil 1 befindet sich am oberen Steinbruchrand der Süd – Seite des Steinbruches. Er hat ein Volumen von  $19,83 \text{ m}^3$  und bei einer Gesteinsdichte von  $26,5 \text{ kN/m}^3$  ein Eigengewicht von  $525,36 \text{ kN}$  ( $\approx 52,5 \text{ t}$ ). Seine Höhe von der Spitze bis zur Dachfläche beträgt ca.  $6,20 \text{ m}$ . Er wird durch eine senkrecht stehende Kluftfläche eine geneigte Kluftfläche und die Böschungsfläche gebildet.



**Bild 21: Geometrie des Keil 1**



**Bild 22: Nahaufnahme Gleitkeil 1 (Eigenaufnahme 11/00)**

Fläche	Fallrichtung [°]	Fallwinkel [°]
1	96 (276)	90
2	22	40

Die erforderliche Ankerkraft bei Wegfall jeglicher Kohäsion und einer Sicherheit von  $\eta = 1,4$  (Dauerzustand) müßte eine Größe von 276,8 kN haben.

Die angenommene Gleitfläche hat eine Größe von 5,61 m<sup>2</sup>. Der Anteil der Materialbrücken ist bei einer erforderlichen Kohäsion von 26,74 kN/m<sup>2</sup> errechnet sich ein Materialbrückenanteil von ca. 300 cm<sup>2</sup>.

#### 4.2.2 Keil 2

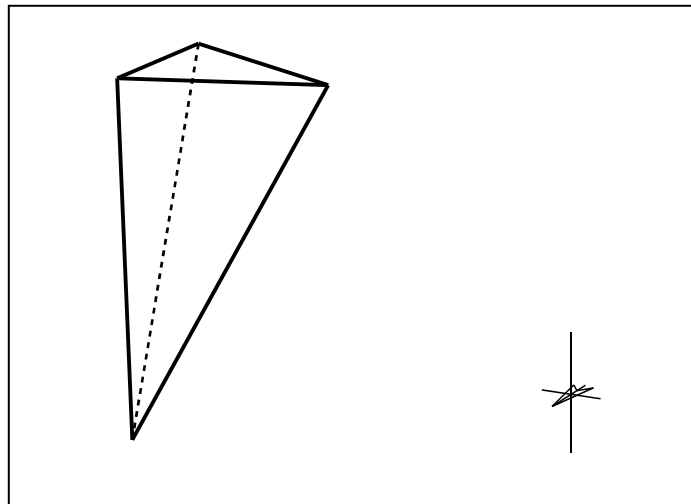
Der Gleitkeil Nr.2 ist ein typischer Keil, wie er entsteht, wenn ein Fundamentales Kluftsystem vorherrscht. Es ist ein tetraedrischer Gleitkeil, d.h. er wird durch lediglich vier Flächen gebildet. Diese sind 2 Gleitflächen, eine Böschungfläche und die horizontale Dachfläche. Eine der beiden sich verschneidenden Flächen steht annähernd senkrecht, somit gibt es nur eine Gleitfläche.

Die Höhe des Keils von der Spitze zur Dachfläche beträgt 16,5 m.

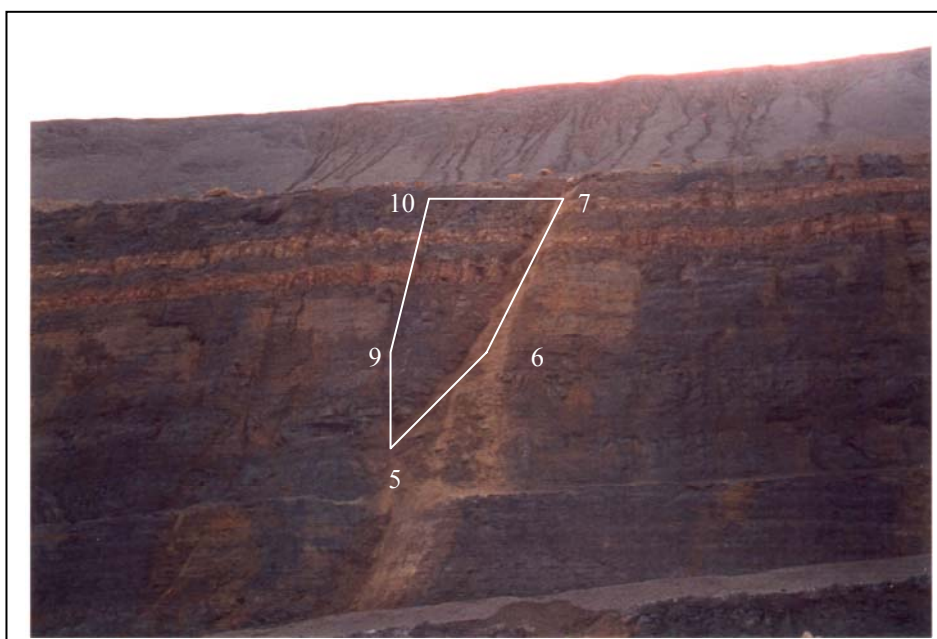
Das Volumen des Keiles beträgt  $108,39 \text{ m}^3$ . Somit beträgt seine Masse bei einer Gesteinsdichte von  $26,5 \text{ kN/m}^3$  ca.  $2872,42 \text{ kN}$  ( $287 \text{ t}$ ).

Bei einer Sicherheit gegen Abgleiten von 1,4 und außer acht lassen der Kohäsion ist eine Ankerkraft von  $5156 \text{ kN}$  erforderlich. Um diese Verankerungskraft in das Gestein übertragen zu können sind 8-9 Anker mit jeweils ca.  $600 \text{ kN}$  Vorspannkraft notwendig. Größere Kräfte die bei einer Verankerung punktförmig in den zu verankernden Felskeil eingeleitet würden, könnten nicht aufgenommen werden. Der Ankerkopf würde sich beim Vorspannen in das Gestein „hineinziehen“.

Möglichkeiten die Anzahl der Anker zu reduzieren wär das Vorspannen mit Hilfe eines Stahlbetonriegels oder einer Stahlbetonplatte. Diese könnte auch als Spritzbetonschale hergestellt werden.



**Bild 23: Geometrie des Keil 2**



**Bild 24: Nahaufnahme Gleitkeil 2 (Eigenaufnahme 11/00)**

Fläche	Fallrichtung [°]	Fallwinkel [°]
1	22	60
2	96 (276)	90

Die Kohäsion in der Gleitfläche ist bei schon beschriebenen Annahmen  $30,98 \text{ kN/m}^2$ . Das Verhältnis von Scherfestigkeit des Gesteins und der Größe der Kohäsion läßt auf einen Materialbrückenanteil von  $0,62 \%$ , was in etwa  $0,43 \text{ m}^2$  der Gleitfläche von ca.  $70 \text{ m}^2$  Größe sind.

#### 4.2.3 Teil 3

Der Gleitkeil Nr. 3 befindet sich am oberen Rand des Steinbruches an der West – Wand. Er ergibt sich ebenfalls aus einer senkrecht fallenden Kluftfläche und einer Diagonalkluft. Die Diagonalkluft wird mit hoher Wahrscheinlichkeit die einzige Gleitfläche für diesen Keil darstellen.

Er ist etwa  $5,0 \text{ m}$  hoch und hat ein Volumen von  $19,26 \text{ m}^3$ . Somit hat er eine Masse von  $510,4 \text{ kN}$  ( $51 \text{ t}$ ).

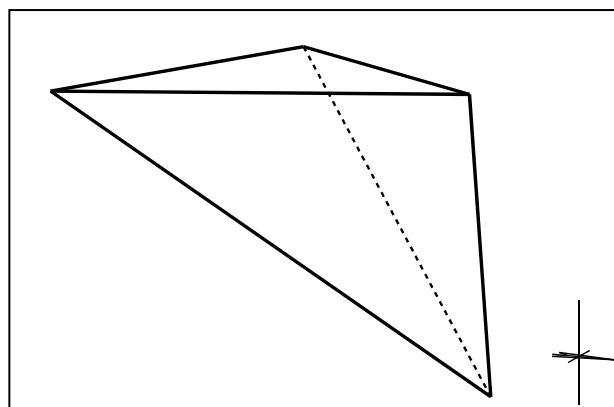
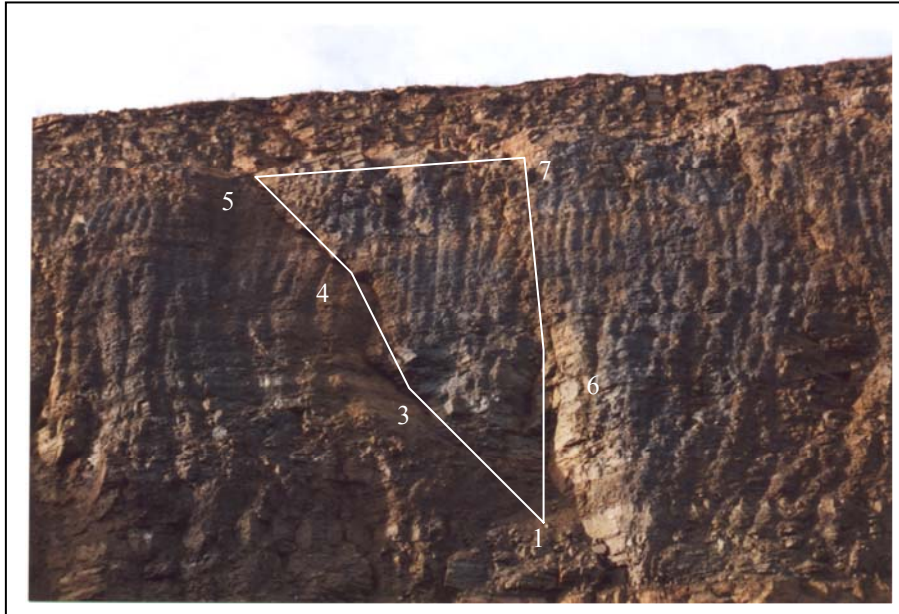


Bild 25: Geometrie des Keil 3

Fläche	Fallrichtung	Fallwinkel
1	30	45
2	120 (300)	90

Die Gleitfläche mit einer Größe von  $16,49 \text{ m}^2$  weist eine scheinbare Kohäsion von  $11,68 \text{ kN/m}^2$  auf und hat damit einen Materialbrückenanteil von  $0,23 \%$ . Das entspricht bei dieser Gleitfläche Materialbrücken auf  $0,04 \text{ m}^2$  ( $400 \text{ cm}^2$ ).

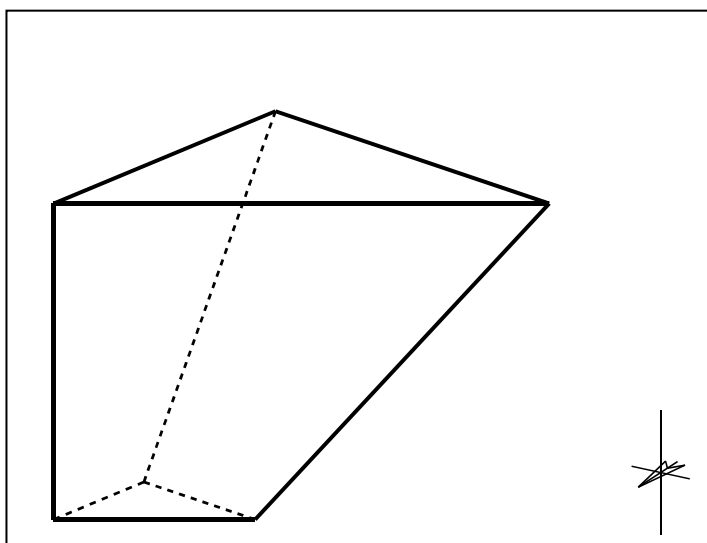


**Bild 26: Nahaufnahme Keil 3 (Eigenaufnahme 11/00)**

#### 4.2.4 Keil 4

Der Keil Nr. 4 befindet sich unterhalb des Keiles Nr.1 an der S – Wand des Steinbruches. Er ist zum jetzigen Zeitpunkt des Abbaues noch nicht absturzgefährdet, da die Verschneidungslinie der beiden keilbildenden Planare noch nicht aus der Böschung heraustreten. Sollte aber in nächster Zukunft die Tiefe des Steinbruches um nur ca.2,0 m erhöht werden, ist dieser Keil ein typischer tetraedrischer Gleitkeil, der für das Abgleiten prädestiniert ist.

Der Keil Nr.4 ist ca. 7,0m hoch und hat ein Volumen von ca. 94m<sup>3</sup>. Somit ist seine Masse etwa 2503,7 kN (250,4 t).

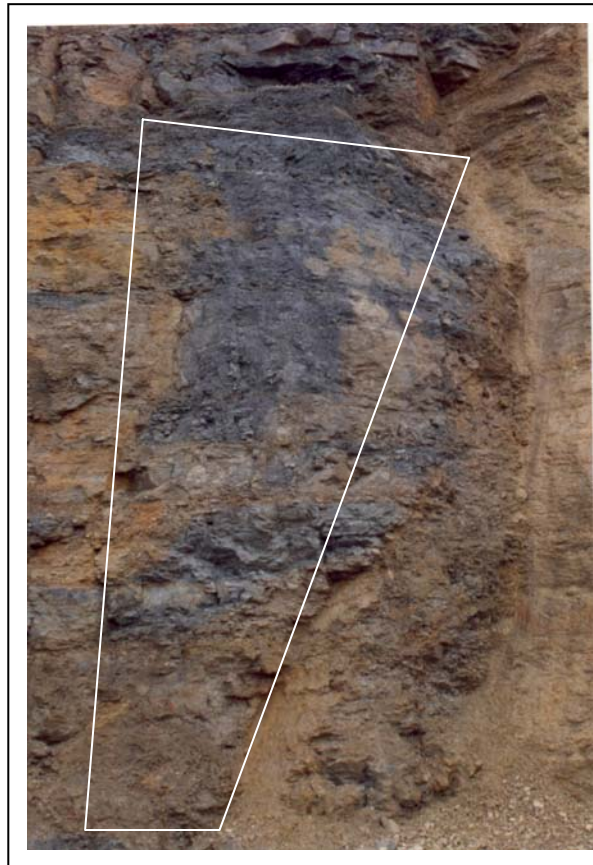


**Bild 27: Geometrie Keil 4**



Fläche	Fallrichtung [°]	Fallwinkel [°]
1	282 (102)	90
2	12	60

Der Keil 4 ist im Foto schwer zu erkennen, da seine Böschungsfläche durch das Abbaugerät stark strukturiert worden ist. Die eingezeichnete gibt aber in etwa Auskunft über seine Form.



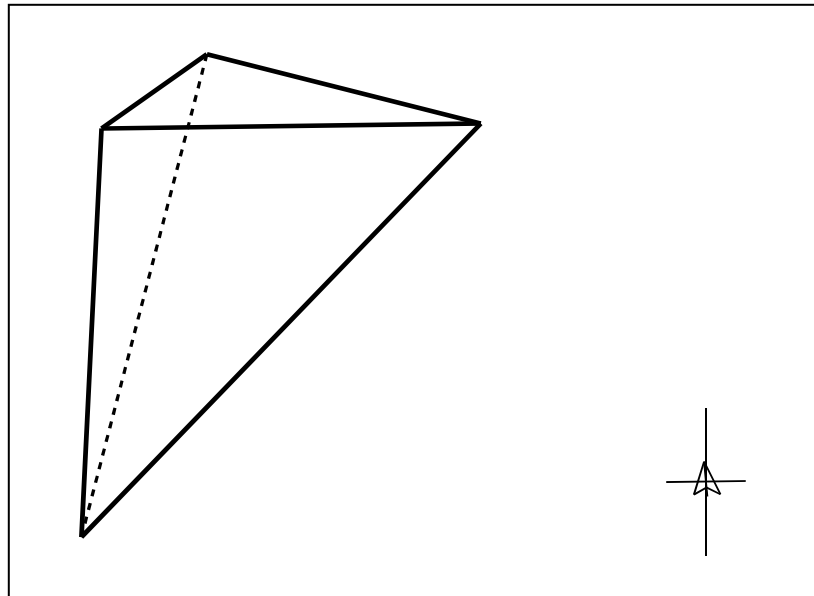
**Bild 28: Nahaufnahme Keil 4 (Eigenaufnahme 11/00)**

Die Berechnung der Kohäsion in der Gleitfläche ergab einen Wert von  $36,84 \text{ kN/m}^2$ . Bei der Gleitflächengröße von  $42,99 \text{ m}^2$  ist das ein Materialbrückenanteil von  $0,74 \%$  was einer Fläche von  $0,32 \text{ m}^2$  entspricht. Zur Verankerung im jetzigen Zustand wäre eine Ankerkraft von  $3141,8 \text{ kN}$  ( $314 \text{ t}$ ) aufzubringen. Hier würden auf Grund der sehr hohen Spannkraft zwischen 5 und 6 Anker mit einer zulässigen Belastung von  $600 \text{ kN}$  zum Einsatz kommen, um das Gestein gleichmäßig zu belasten.

### 4.2.5 Keil 5

Keil Nr. 5 befindet sich direkt an der Fahrstraße am Beginn der Zufahrt in den Tagebau. Er ist der einzige Keil an der N – Wand des Steinbruches. Er wird aus einer nach SW fallenden und einer nach SE fallenden Gleitfläche gebildet und stellt einen tetraedrischen Keil dar. Die wahrscheinliche Gleitfläche wird die nach SW fallenden Trennfläche sein.

Seine Höhe beträgt ca. 6 m und sein Volumen  $14,5 \text{ m}^3$ . Somit beträgt seine Masse  $384,2 \text{ kN}$  ( $38,4 \text{ t}$ ).



**Bild 29: Geometrie Keil 5 (Straßenrand; N – Seite)**

Fläche	Fallrichtung [°]	Fallwinkel [°]
1	216	58
2	300 (120)	90

Die Gleitfläche des Gleitkeil 5 hat eine scheinbare Kohäsion von  $14,11 \text{ kN/m}^2$ . Das bedeutet bei einer Gleitflächengröße von  $16,36 \text{ m}^2$  einen Materialbrückenanteil von  $0,28 \%$ , was einer Fläche von  $0,05 \text{ m}^2$  ( $500 \text{ cm}^2$ ) entspricht.

Zur Verankerung des Keil 5 ist ein Kraft von  $443,3 \text{ kN}$  bei einem Sicherheitsbeiwert von  $1,4$  aufzubringen. Hier ist die Verwendung eines Spanngliedes mit  $600 \text{ kN}$  ausreichend.

### 4.3 Zusammenfassung der Gleitkeildarstellung

Die betrachteten Gleitkeile werden generell aus zwei sich verschneidenden Flächen und der Böschungsfläche gebildet. Weitere Begrenzungsflächen können eine Dachfläche oder eine Fußfläche sein. Alle betrachteten Gleitkeile haben unterschiedliche Größen und Massen. Weiterhin haben die

Gleitflächen unterschiedliche Neigung (Fallwinkel), was zur Bildung des Wertes der scheinbaren der Kohäsion in Form von Materialbrücken beiträgt.

Die Ankerkräfte wurden nur zur vollständigen Beschreibung des Standsicherheitsproblems erwähnt, da es bei allen Keilen nicht notwendig ist zu verankern. Der Wert der Ankerkraft ist immer unter den Randbedingungen eines Reibungswinkels von 20°, einer Sicherheit von 1,4 und nur einer wirksamen Gleitfläche errechnet worden. Die Materialkennwerte sind Mittelwerte und stammen aus umfangreichen Laboruntersuchungen zu einem Bauvorhaben in der Umgebung von Erfurt bei dem auch Gesteine des Unteren Muschelkalk untersucht wurden. Diese stellte die Firma Kirchner Bauunternehmung aus Bad Hersfeld zur Bearbeitung dieser Arbeit freundlicherweise zur Verfügung.

Die Modellierungen mit Hilfe der zur Bearbeitung zur Verfügung gestandenen Software sind reine Idealisierungen um der mathematischen Behandlung des Gleitproblems eine Grundlage zu erstellen. Über die wahre Gestalt kann man sich in den Fotos eine Vorstellung verschaffen.

Einige Parameter hinsichtlich der scheinbaren Kohäsion und Zusammenhang zwischen Ankerkraft und Reibungswinkel auf einen Blick:

Nummer	Kohäsion [kN/m <sup>2</sup> ]	Material- Brücken [%]	Material- Brücken [m <sup>2</sup> ]	Ankerkraft bei φ = 20° [kN]	Ankerkraft bei φ = 22° [kN]	Ankerkraft bei φ = 25° [kN]
1	26,74	0,53	0,03	276,8	256,5	226,8
2	30,98	0,62	0,43	5156,8	4799,6	4318,6
3	11,68	0,23	0,04	339,5	317,0	284,4
4	36,84	0,74	0,32	3141,8	2945,6	2672,7
5	14,11	0,28	0,05	443,4	415,9	377,6

Grundlage für die Berechnung der Kohäsion waren folgende Formeln nach KOVARI und FRITZ [11]: für die Berechnung der Kohäsion aus der Beziehung

$$\eta = \frac{\tan \varphi}{\tan \alpha} + \frac{c \cdot F}{G \cdot \sin \alpha} \Rightarrow c = G \cdot \sin \alpha \left( \eta - \frac{\tan \varphi}{\tan \alpha} \right) \cdot \frac{1}{F}$$

mit:	$c$	Kohäsion [kN/m <sup>2</sup> ]
	$\alpha$	Fallwinkel, Neigungswinkel der Gleitfläche [°]
	$\eta$	Sicherheitsfaktor
	$F$	Größe der Gleitfläche [m <sup>2</sup> ]
	$G$	Eigengewicht des Gleitkörpers [kN]

Für die Berechnung der Ankerkraft wurde die schon erwähnte Formel verwendet:

$$R = \frac{\eta \cdot \sin \alpha - \cos \alpha \cdot \tan \varphi}{\eta \cdot \cos(\alpha + \beta) + \sin(\alpha + \beta) \cdot \tan \varphi} \cdot \left( 1 - \frac{c \cdot F}{G} \cdot \frac{1}{\eta \cdot \sin \alpha - \cos \alpha \cdot \tan \varphi} \right) \cdot G$$

mit:             $R$                     Ankerkraft [kN]  
                    $\beta$                     Neigungswinkel der Ankerkraft [°]

Die Bedeutung der restlichen Variablen ist gleich der vorherigen Formel.

#### 4.4 Diskussion der Sicherungsmaßnahmen

Generell ist zu allen Felskeilen zu sagen, daß sie aufgrund der Berechnungen nicht standsicher sind, da für den Fall ohne Kohäsion Ankerkräfte erforderlich sind, um das Gleichgewicht der Kräfte am Felskeil zu gewährleisten. Die Tatsache, daß alle Felskeile noch in der Böschung hängen, läßt auf Kohäsion in Form von Materialbrücken in den Gleitflächen schließen.

Zur Gefahrenabwehr im Steinbruch, speziell an den steilen Steinbruchwänden stehen zwei Vorgehensweisen zur Auswahl. Zum einen die Sicherung des jeweiligen Felskeiles durch Verankerung, zum anderen das Herauslösen durch Sprengen bzw. mit Hilfe eines Baggers. Das Sichern mit Hilfe von Ankern wäre nur dann erforderlich, wenn im speziellen Fall des Steinbruches, der Felskeil einen Teil der Baustraße bildet und somit unter keinen Umständen seine Lage ändern darf. In allen anderen Fällen ist das Sprengen des jeweiligen Keils die gängige Lösung.

#### 4.5 Vorzugslösungen

Das Verankern von Felskeilen an schlecht zugänglichen Stellen, wie z.B. steilen Felsböschungen ist immer sehr kostenintensiv. Daher wird man nur dort auf die Ankerungstechnik zurückgreifen, wo keine andere Lösung zum Erfolg führt. Die im Steinbruch Rittersdorf untersuchten Keile befanden sich ausnahmslos an Stellen, wo sie nicht einen Teil der Baustraße und damit erhaltenswerten Teil des Steinbruches bildeten. Somit ist es hier nirgends erforderlich Felskeile zu verankern. In allen anderen Fällen ist es weniger aufwendig, hinsichtlich der Kosten und des Arbeitsaufwands, die Keile abzusprengen. Hierbei würde ein erfahrener Sprengmeister eine Sprengladung in einer teilweise geöffneten Kluft oder in einen extra angebrachten Bohrloch in der Kluftfläche anbringen, die den Keil zum Absturz bringt.

---

## **5 Auswertung mit Programmsystem solidPack 2.0**

### **5.1 Grundsätzliches**

Im Zeitalter der rechnergestützten Datenverarbeitung geschieht auch die Auswertung geologischer Daten etwas komfortabler per Computer. Schon Anfang der 90er Jahre entwickelte Dipl.-Geol. N. Graf aus Bochum ein Programmsystem zur Auswertung geologischer Daten namens GEODAT. Es basierte auf dem DOS-Modus. Im Laufe der Jahre wurde es weiterentwickelt und liegt heute als WINDOWS - Version solidPack vor.

Wie bei allen Anwendungen auf Computersystemen, nimmt ein Programm dem Nutzer nur bedingt den Arbeitsaufwand ab. Nach wie vor muß man sich als Bediener eines Programmes genauestens über die Hintergründe der Eingangsdaten sowie der Ergebnisse im Klaren sein, um sie richtig interpretieren zu können.

Für die vorliegende Arbeit waren nur die Programmteile solidDIP und solidWEDGE zur Auswertung der Ergebnisse von Bedeutung und sind deshalb hier näher erläutert.

### **5.2 Programmteil solidDIP**

Der Programmteil solidDIP wird zur Darstellung der Ergebnisse der Trennflächenaufnahme in den verschiedenen Darstellungsformen verwendet. Es ist dabei möglich, verschiedene Eingabedaten als Eingangswerte für die Auswertung zu verwenden. So können Werte in Grad oder Gon und Kombinationen aus Fallrichtung, Fallwinkel und Streichrichtung eingegeben werden. Die Erleichterung liegt beim Programmteil solidDIP darin, die große Anzahl von Meßwerten bei der Aufnahme des Kluftsystems (in der vorliegenden Arbeit ca. 750 Messungen im gesamten Bereich des Steinbruchs) darzustellen, zu verändern und zu kombinieren. Denkbare Kombinationen wären eine Darstellung für eine Wand bzw. des gesamten Untersuchungsgebietes. In der vorliegenden Arbeit wurde die Darstellung in Form von Rosendiagrammen gewählt. Es sind jedoch im Sinne der Vollständigkeit auch die anderen Darstellungsformen, wie z. B. Isoliniendiagramme und Histogramme der Fallrichtungen im Anhang zu finden, da mit allen Formen in der Praxis gearbeitet wird.

Um die ermittelten Kluftrosen der jeweiligen Stelle im Untersuchungsgebiet zuzuordnen ist ein Export in gebräuchliche Programme wie z.B. AutoCAD oder Office – Anwendungen in Form von .dxf – Dateien möglich.

---

### 5.3 Programmteil solidWEDGE

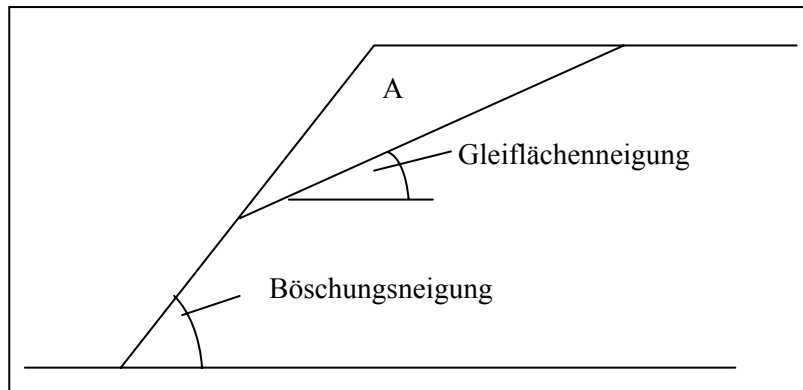
Das Programm solidWEDGE ist ein Programm zur Berechnung der Standsicherheit von Gleitkörpern in Böschungen. Es ist möglich Gleitkörper mit bis zu 10 unterschiedlich orientierten Grenzflächen zu berücksichtigen. Die Berechnung der Gleitkörpergeometrie erfolgt nach den Routinen von GOODMAN und SHI (1985). Die Berechnung der Standsicherheitsparameter nach Methoden von KOVARI und FRITZ (1976). Das Programm beinhaltet folgende Programmfunktionen:

- Variable Gleitkörpergeometrien: ebener Gleitkeil, tetraedrischer Gleitkeil, beliebige Gleitkeilgeometrie
- Eingabeparameter zur Berechnung der Standsicherheit: Sicherheitsfaktor, Reibungswinkel und Kohäsion der Gleitflächen, Kluftwasserdruck, äußere Belastung nach Größe und Richtung, Erdbebenbelastung
- Berechenbare Parameter der Standsicherheit: Gleitkörpergeometrie, Dimension des Gleitkörpers, Sicherheitsfaktor, notwendige Ankerkräfte bei vorgegebenen Sicherheitsfaktor
- Ausgabemöglichkeiten: Darstellung des Gleitkörpers in jeder Projektionsrichtung, Darstellung von Reibungskegelisolines, Grafische Darstellung der Lastfälle im Lagenkugeldiagramm

Während bei den Programmoptionen ebener und tetraedrischer Gleitkeil schon einige Eingabeparameter vom Programm voreingestellt bzw. berücksichtigt werden, ist die Eingabe der Programmparameter beim beliebigem Gleitkeil etwas umfangreicher. Der Vorteil liegt aber bei diesen beiden Programmoptionen in der hohen Flexibilität hinsichtlich der Geometrie des zu berechnenden Gleitkeils. Große Aufmerksamkeit bei der Eingabe erfordern in den meisten Fällen die Parameter Halbraumcode und Normalenabstände, welche im Wesentlichen das Aussehen des Gleitkörpers beschreiben.

Aus diesem Grund sollen hier einige Erläuterungen zum Halbraumcode gegeben werden. Der Halbraumcode des Flächensystems wurde von GOODMAN & SHI 1985 entwickelt. Er setzt sich aus den Code – Nummern der einzelnen Flächen zusammen.

<b>Codenummer</b>	<b>Bedeutung</b>
0	Körper liegt oberhalb der entsprechenden Fläche
1	Körper liegt unterhalb der entsprechenden Fläche
2	Fläche ist keine Grenzfläche des Körpers
3	Körper liegt zwischen zwei Flächen der gleichen Orientierung



**Bild 30: Beispiel für die Bildung des Halbraum - Code**

Für den im Bild 30 dargestellten Gleitkörper A wäre der Halbraumcode zu bilden aus Gleitfläche, Böschungsfläche und Dachfläche. Im Beispiel würde er lauten 011.

Im Programmteil solidWEDGE ist es auch möglich Erdbebenbelastungen zu berücksichtigen. Dazu ist ein Erdbebenfaktor einzugeben, der letztendlich die Erdbebenlast als zusätzlichen Anteil der Eigenlast des Felskeils berücksichtigt. Solche Belastungen treten mit Sicherheit bei Sprengungen auf. Die genauen Angaben der Erdbeschleunigung müssten allerdings in Form einer in situ Messung erfolgen, da die DIN 4149 (Bauten in deutschen Erdbebengebieten) hier nicht angewandt werden kann. Der Verlauf eines Erdbebens hat eine andere Charakteristik als eine Sprengung. Lastannahmen der größten Bei der Berechnung der Ankerkräfte wurde daher die Zusatzbelastung durch Erdbeben nicht berücksichtigt.

## 6 Bautechnische Möglichkeiten der Hangstabilisierung

### 6.1 Grundsätze

Im folgenden Abschnitt sollen Möglichkeiten der Sicherung der gegebenen Situation erläutert und auch diskutiert werden. Grundsätzlich ist dabei nach aktiven und passiven Maßnahmen zu unterscheiden. Aktive Maßnahmen können sowohl in der Reduzierung der Einwirkungen als auch in der Erhöhung der Widerstände bestehen. Auf diese soll hier näher eingegangen werden, da die passiven Maßnahmen auf dem Gelände eines Tagebaues ohnehin schon eingehalten sind.

Als passive Maßnahmen sei hier das Absperren des Rutschgebietes, das Verbot von Eingriffen in dem Gebiet und Eigentumsbeschränkung erwähnt. Es ist jedoch zu bemerken, daß viele aktive Sicherungsmaßnahmen im konkreten Einzelfall aus technischen und wirtschaftlichen Gründen nicht realisierbar sind. Trotzdem soll auf alle Möglichkeiten und deren Kombinationen eingegangen werden.

Um die geeignetste Maßnahme zu ermitteln ist im ersten Schritt genaue Kenntnis der Rutschursache erforderlich.

Der Einfluß von aktiven Sicherungsmaßnahmen sollte auch immer quantitativ ermittelt werden. Grundlage für das Wirkprinzip jeder einzelnen Maßnahme ist folgende Formel in Anlehnung an LANG/HUDER (1994): [4]

$$F = \frac{\sum c' \cdot \Delta l + [(G + V) \cos \alpha - u \cdot \Delta l] \tan \varphi'}{\sum (G + V) \sin \alpha - \frac{a}{R} \cdot H}$$

mit: $c'$	effektive Kohäsion
$\varphi'$	effektiver Reibungswinkel
$G$	Eigengewicht der Lamelle
$V$	Auflast auf Lamelle
$H$	rückhaltende äußere Horizontalkraft
$u$	Porenwasserdruck
$\alpha$	Neigungswinkel der Gleitfläche
$\Delta l$	Gleitflächenlänge der Lamelle
$a$	Hebelarm
$R$	Radius des Gleitkreises



## **6.2 Reduzierung der Einwirkungen**

### **6.2.1 Änderung der Oberflächenbelastung**

Die Auflast geht auch wie das Eigengewicht als Belastung in die Formel ein. Die Gleitsicherheit nimmt also mit höherer Auflast ab. Als Maßnahme kann das Verbot von Lagern von Material oder Baustoffen auf dem Böschungskopf erwähnt werden.

### **6.2.2 Änderung der Porenwasserdrücke**

Diese Möglichkeit der Hangstabilisierung ist eher im Zusammenhang mit Erdböschungen zu sehen. Gemeint sind hier Maßnahmen gegen eindringendes Niederschlagswasser, sowie Tiefentwässerungsmaßnahmen mit Hilfe von Brunnen oder Bohrungen. Diese Maßnahmen haben in nichtbindigen Böden natürlich mehr Erfolg als in bindigen Böden.

Gleiches Ziel wird auch mit dem Absenken des Wasserspiegels von Seen und Flüssen erreicht. Hier kommt es vor allem auf die Vermeidung von extremen Wasserständen und zu hohen Absenkgeschwindigkeiten an.

### **6.2.3 Änderung der Topographie**

Mit der Änderung der Topographie ändert sich das Eigengewicht der Lamellen und damit die Gleitsicherheit. Dies geschieht entweder durch Reduzierung des Gewichts an der Oberkante oder Erhöhung an der Unterkante der Böschung. Da zur Veränderung der Topographie Erdbewegungen erforderlich sind, kann dieses Verfahren nur für kleine, begrenzte Böschungen gelten bzw. wirtschaftlich sein.

Zu erwähnen ist in diesem Zusammenhang auch das Vermeiden von Hangfußentlastungen durch fließendes oder stehendes Wasser (Wellenschlag, Flußerosion).

## **6.3 Erhöhung der Widerstände**

### **6.3.1 Änderung der Scherfestigkeitsparameter**

Es handelt sich hier um die Änderung der Eigenschaften des abrutschenden Bodens oder Felskeil an sich. Insbesondere sollen Verfahren wie Auffüllinjektionen, Verpreßungen, Verdichtung und soilcret-Verfahren (Düsenstrahlverfahren) den Kohäsionsanteil auf Dauer erhöhen.

---

---

Man muß allerdings bei allen diesen Injektionsverfahren eine Verschlechterung der Durchlässigkeit und Drainagebedingungen in Kauf nehmen.

### 6.3.2 Änderung der Topographie

Die Änderung der Topographie, also das Verändern der äußeren Form kann auch im Sinne der Erhöhung des Widerstandes erfolgen. Maßnahmen wie Verstärkung des Hang- bzw. Böschungsfußes o. ä. sind hier geeignet.

### 6.3.3 Einleitung rückhaltender äußerer Kräfte

Die wohl am meisten verwendete Art der aktiven Hangsicherung ist das Einleiten äußerer Kräfte in Form von Verankerungen, Vernagelungen bzw. das Abstützen mit Stützmauern. Nach der oben angeführten Formel bedeutet das eine Verkleinerung des Nenners.

Eine kleine Auswahl von Stützkonstruktionen können sein (BRANDL, 1987):

- konventionelle Stützmauern (Schwergewichtsmauern, Winkel- und Konsolmauern, eventl. verankert)
  - Verbundkonstruktionen (Stützmauern aus verfestigten Erdkörpern, Gabionen, Geotextilwände)
  - Bodenvernagelung und –verdübelung (Kleindübel, Pfähle, Schächte)
  - Ankerwände, aufgelöste Pfahlwände usw.
-

## 7 Verankerungen

### 7.1 Allgemeines

Verpreßanker kommen überall dort zum Einsatz, wo Gewichtskonstruktionen durch Verankerungen im Boden ersetzt werden müssen. Sie bestehen aus Stahlzuggliedern, die in Bohrlöcher von 80-150 mm Durchmesser eingebaut werden. Diese Stahlzugglieder sind durch einen aus Zementmörtel hergestellten Verpreßkörper in der Erde verankert. Im Bereich der freien Ankerlänge zwischen Verpreßkörper und Ankerkopf werden keine Kräfte in den Baugrund übertragen. Das Tragverhalten wird durch Anspannen gegen die zu verankernde Konstruktion überprüft. Bei einwandfreier baulicher Ausführung tritt keine Beeinflussung durch das Widerlager oder ein Kraftkurzschluß auf.

### 7.2 Bemessung

Für die Bemessung, Ausführung und Prüfung von Verbundankern gilt DIN 4125 (Nov. 1990). Zur Bemessung der Verankerung, d.h. zur Ermittlung der notwendigen Ankerkraft kommt aus folgender Situation ein Kräfteck zustande:

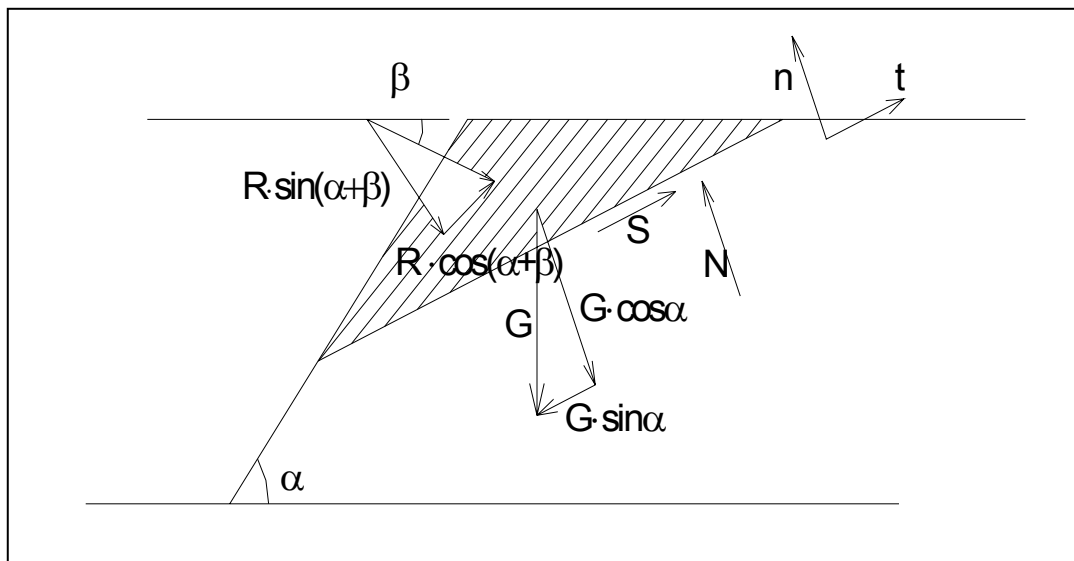
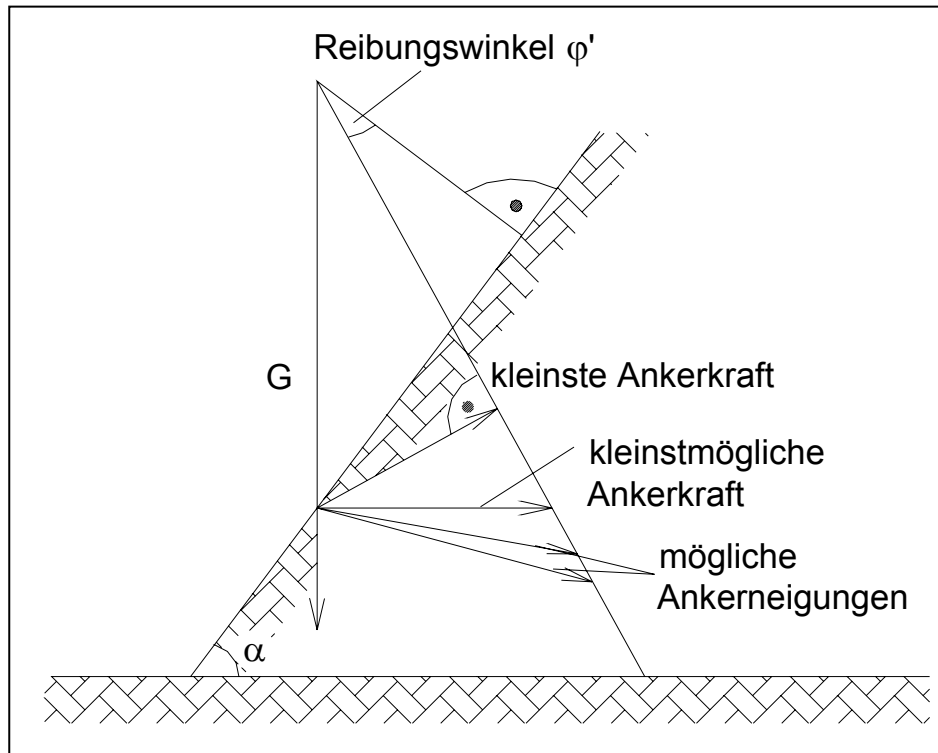


Bild 31: Kräfteck-Situation am Gleitkeil



**Bild 32: Zusammenhang Ankerkraft - Ankerneigung**

Das Kräfteck macht die Wirkung der Ankerung sehr deutlich. Die kleinste Ankerkraft erhält man dann, wenn die Richtung des Ankers genau senkrecht auf der Geraden steht, die sich aus der Normalen auf der Gleitfläche abzüglich des Reibungswinkels  $\varphi'$  ergibt. Diese ist in der Skizze gestrichelt dargestellt.

Konstruktiv möglich sind aber erst Ankerneigungen genau waagrecht bzw. nach unten geneigt, da sonst ein Herstellen des Verpreßkörpers nicht möglich ist. Üblich sind  $10^\circ$  Ankerneigung nach unten.

Bei der Berechnung der zulässigen Ankerkraft ist die zulässige Ankerkraft für den Verpreßkörper  $F_K$  mit dem Sicherheitsfaktor  $\eta_K = 1,5$  und die zulässige Ankerkraft für das Stahlzugglied  $F_S$  mit dem Sicherheitsfaktor  $\eta_S = 1,75$  im Regelfall im Lastfall 1 einzusetzen. Die maximal aufnehmbare Ankerkraft bei Permanentankern ist der kleinere Wert der beiden Sicherheitsdefinitionen. In einigen Herstellerunterlagen ist diese in Form von Tabellen schon explizit ausgewiesen.

Des Weiteren wird der ungünstigste Fall angenommen, d.h. kohäsionsloser Zustand der Gleitfläche. Dies kann auch im ersten Moment als Annahme in die Berechnung eingehen, da der sichtbare Teil der Klufffläche keinen Anlaß dazu gibt eine Kohäsion anzunehmen.

Die für die Berechnung der Ankerkräfte erforderlichen Eingangswerte wie Wichte des anstehenden Gesteins und Winkel der inneren Reibung sind für jede Untersuchung im Labor zu ermitteln. Für die vorliegende Arbeit wurden dafür vom Bereich Geotechnik der Betreiberfirma Hermann Kirchner GmbH & Co. KG Eingangsparameter zur Verfügung gestellt. Diese sehr umfangreichen Daten

entstanden im Rahmen des Baues eines Autobahnteilstückes im Raum Erfurt und können in etwa auf die Eigenschaften des Gesteines des Steinbruchs Rittersdorf übertragen werden.

Aufgrund der Tatsache, daß die betrachteten Felskeile ihre Lage noch nicht geändert haben, muß also noch eine haltende Komponente vorhanden sein. Überlegungen über die Beschaffenheit der Gleitfläche auf der sich der Keil befindet können nur theoretischer Natur sein. Infrage käme eine Kohäsion in Form von Materialbrücken, die sich durch Zementationsprozesse im Anschluß an die eigentliche Kluftentstehung gebildet haben. Den Anteil der Materialbrücken kann man ermitteln, indem man die Ankerkraft außer acht läßt und den Wert der Kohäsion ermittelt.

Erhält man beispielsweise für den Gleitkeil – Nr. 1 einen Wert der Kohäsion von  $27 \text{ kN/m}^2$  bei Sicherheitsfaktor  $\eta = 1,0$  und geht man aufgrund früherer Untersuchungen des Gesteins von einer Scherfestigkeit von  $5 \text{ MN/m}^2$  aus, kann man beide Werte ins Verhältnis setzen. Im Beispiel würde sich der Anteil der Materialbrücken ergeben zu:

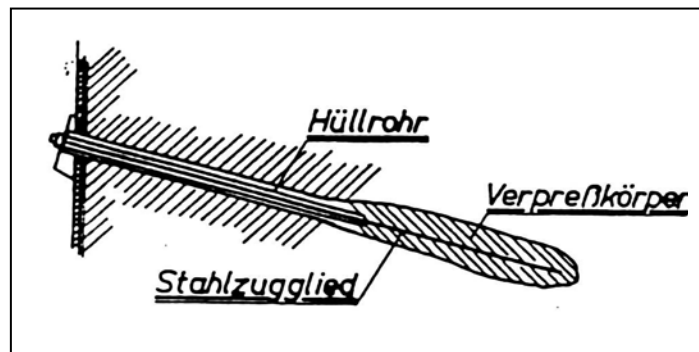
$$\frac{27 \text{ kN/m}^2}{5000 \text{ kN/m}^2} \cdot 100\% = 0,54\%$$

Bei einer Gleitfläche von  $5,61 \text{ m}^2$  sind also ca.  $300 \text{ cm}^2$  nicht durchtrennt und halten den Gleitkörper in seiner gegenwärtigen Position. Diese Angabe ist insofern fehlerbehaftet, daß man die tatsächliche Beschaffenheit der Gleitfläche nicht oder nur mit umfangreichen Erkundungsmethoden, wie z.B. Bohrungen, beurteilen kann.

### **7.3 Ankerarten**

Verpreßanker, wie sie in der Bautechnik Verwendung finden, unterscheidet man nach der Dauer der Ankerung, nach der Konstruktion und nach der Tragwirkung. Für die Dauer der Ankerung kommen Dauer oder Temporäranker (auch Kurzzeitanker) zum Einsatz. Dabei geht man bei Temporärankern von einer Nutzungsdauer von ca. 2 Jahren aus. Der Unterschied besteht lediglich in der Auslegung des Korrosionsschutzes. Genauere Angaben darüber sind den Herstellerunterlagen oder Zulassungsbescheiden zu entnehmen. Die Konstruktion von Ankern ist im eigentlichen Sinne ein Zugglied, welches aus einem Stab (Einstabanker) oder mehreren Litzen (Litzenanker oder Mehrstabanker) zu einem Bündel besteht.

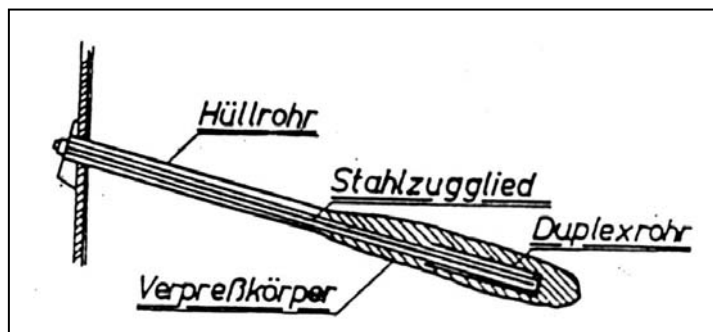
Die Krafteintragung vom Zugglied in das Gestein kann in Abhängigkeit von der Festigkeit auf zwei Arten erfolgen. Man unterscheidet nach Verbundankern und nach Druckrohrankern. Bei Verbundankern wird der Verpreßkörper auf Zug belastet.



**Bild 33: Prinzipieller Aufbau Verbundanker**

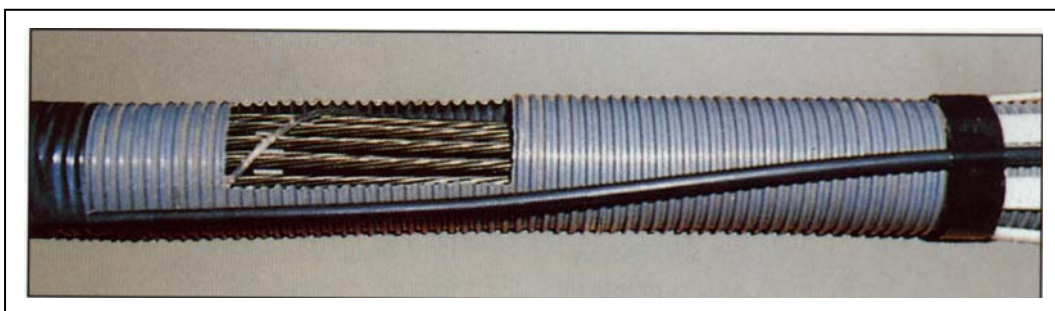
Während bei Druckrohrankern die Zugkraft des Ankers über eine Fußplatte oder ein Wellrohr als Druckkraft in den Verpreßkörper eingeleitet wird.

Letzterer ist für den Verpreßkörper günstiger, da Zugkräfte immer zu Rissen im Beton führen, welche negative Auswirkungen auf die Dauerhaftigkeit haben.



**Bild 34: Prinzipieller Aufbau Druckrohranker**

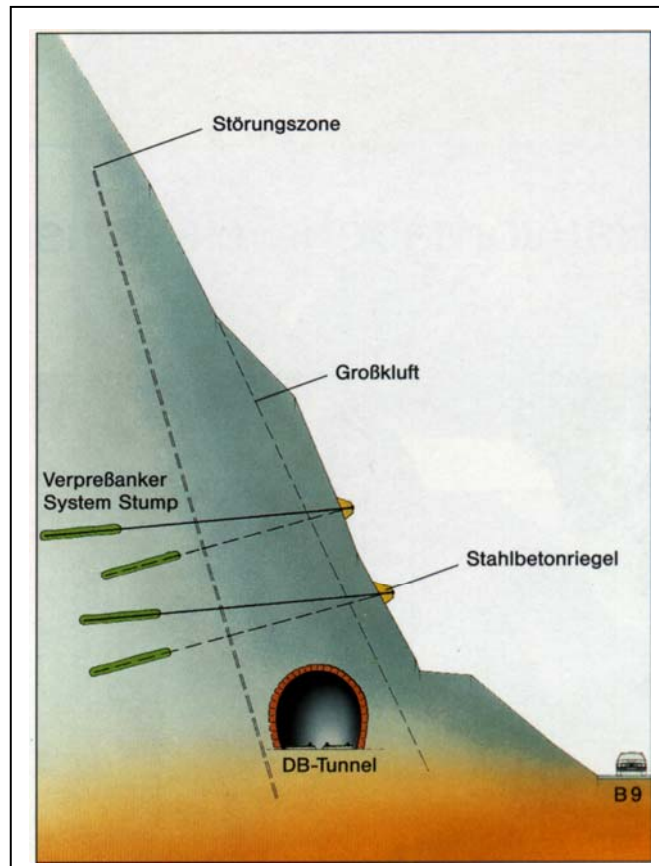
Den Aufbau eines Litzenankers zeigt Bild 12. Zu erkennen sind hier das Litzenbündel als Tragglied im Inneren mit PVC - Schnur, das gerippte PVC – Rohr und die Verpressleitung.



**Bild 35: Aufbau eines Litzenankers (Firmenprospekt Fa. STUMP)**

## 7.4 Herstellung

Die Herstellung einer Verankerung beginnt, gleich welcher Typ Anker gewählt wurde, mit dem Bohren des Bohrloches. Dabei ist der Mindestbohrlochdurchmesser so zu wählen, daß der Anker mit den Abstandshaltern einwandfrei eingeführt werden kann. Die Tiefe des Bohrloches muß ausreichend sein, daß der Verpreßkörper im Festgestein unterhalb der Gleitebene hergestellt werden kann. Es ist eine Einbindungslänge von ca. 5 m ins feste Gestein zu gewährleisten. Die Abbildung zeigt deutlich die Lage des Verpreßkörpers hinter der Gleitfläche.



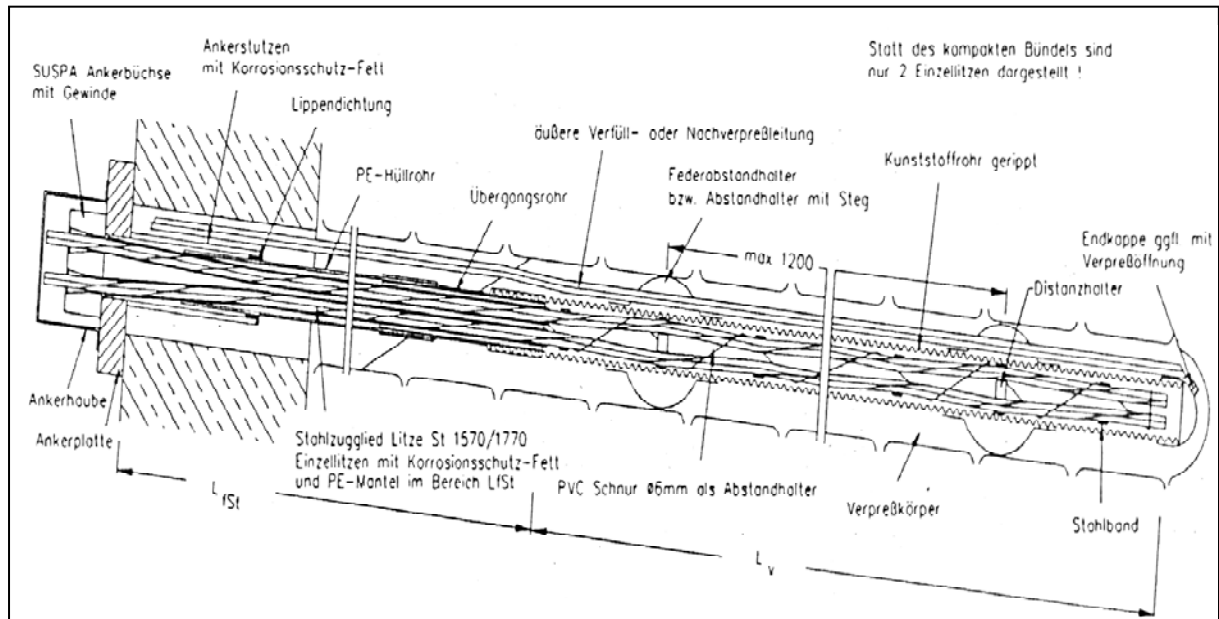
**Bild 36: Lage der Verpreßkörper  
(Firmenprospekt Fa. STUMP)**

Nach Einbau der Ankerkonstruktion ist das Bohrloch mit Zementmörtel nach DIN 4125 zu verpressen. Dabei ist darauf zu achten, daß das Einfüllen immer vom tiefstgelegenen Punkt und die Entlüftung des Bohrloches am höchstgelegenen Punkt zu erfolgen hat. Bei nach unten geneigten Ankern kann das Verfüllen des Bohrloches auch vor dem Einbau der Ankerkonstruktion erfolgen. Nebenstehendes Bild zeigt die Lage von Verpreßkörper und freier Ankerlänge zur Kluff.

Die Krafteintragungslänge ist durch folgende Verfahren zu begrenzen:

- a) durch Ausspülen überschüssigen Zementmörtels (mit Wasser oder Bentonitsuspension) mit Hilfe eines auf dem Hüllrohr montierten Spülschlauches dessen ersten seitlichen Austrittsöffnungen 50 cm oberhalb der planmäßigen Verankerungslänge liegen
- b) durch Ausspülen des überschüssigen Zementmörtels mit einer nach unten hin verschlossenen Spüllanze, die bis ca. 1,0 m oberhalb der planmäßigen Verankerungslänge  $l_v$  einzuführen ist
- c) durch Absperren der Krafteintragungslänge mit Packern (die Eignung des Verfahrens ist nachzuweisen)

Nachverpressungen sind nach DIN 4125 durchzuführen. Anschließend ist die freie Ankerlänge freizuspülen.



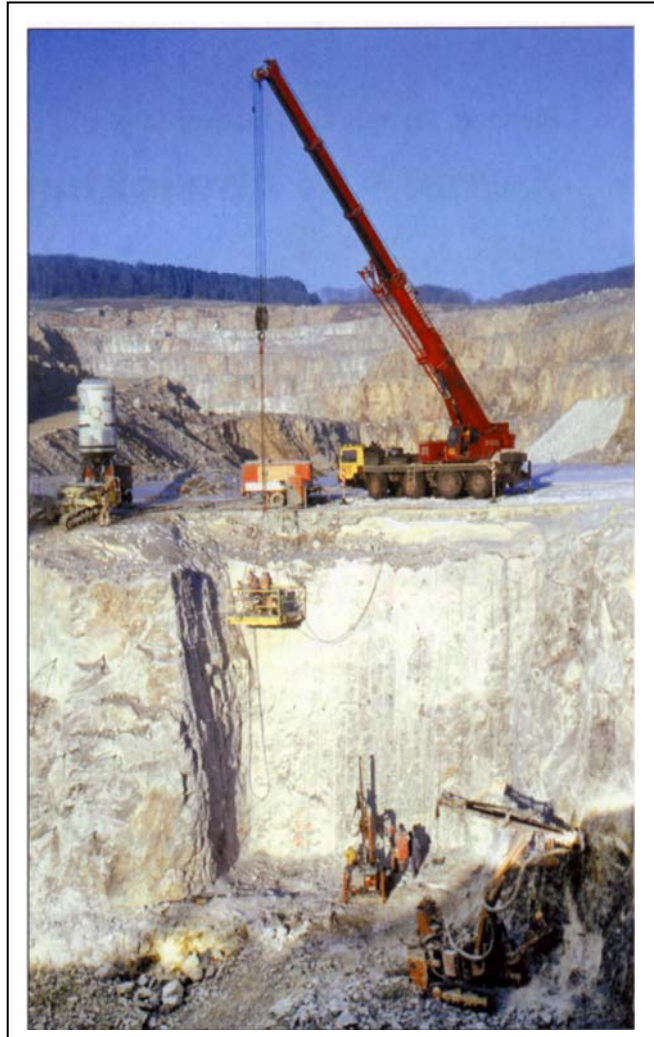
**Bild 37: Schematische Darstellung eines Litzens – Dauerankers (Fa. STUMP)**

Die Realisierung der Verankerung ist mit verschiedenen Maßnahmen möglich. Entscheidend für die Wahl des Verfahrens ist letztendlich die Kostenfrage. Für das Anbringen eines Ankers an einer steilen Felsböschung wäre eine Art Konsolkonstruktion an der Felswand denkbar. Ebenso ist das Arbeiten von einer am Kran hängenden Arbeitsbühne eine Möglichkeit der Realisierung. Beide Arbeitsweisen zeigen folgende Bilder aus Firmenmaterial der Firma STUMP Spezialtiefbau GmbH.



**Bild 38: Konsol als Arbeitsplattform**





**Bild 39: Arbeitsbühne am  
Kran**

## 8 Weitere Standsicherheitsaspekte

In diesem Abschnitt möchte ich noch zu einigen Erscheinungen im Steinbruch Stellung nehmen. So gibt es Stellen im Steinbruch, welche mathematisch nicht zu beschreiben sind, jedoch trotzdem ein Standsicherheitsproblem und somit eine Unfallquelle darstellen.

So gibt es an der West – Seite einen Quader minderwertigen Gesteins. Da das Material des Steinbruches als Frostschutz für den Straßenbau verwendet werden soll, müssen ständig Untersuchungen über den Wassergehalt Auskunft geben. Besonders Muschelkalk ist in dieser Hinsicht ein sehr schwieriges Gestein, da seine Eigenschaften wie Porosität und Wassergehalt von Schicht zu Schicht unterschiedlich sein können. Sollte das Material einer Strosse diese Prüfung nicht bestehen, wird es nicht abgebaut. Meist ist das dort der Fall, wo große Öffnungsweiten von Klüften nachträglich mit oxidierten Gesteinsmaterial (meist Goethit und Kalzit) verfüllt wurden. Das Gestein ist dort stark entfestigt.



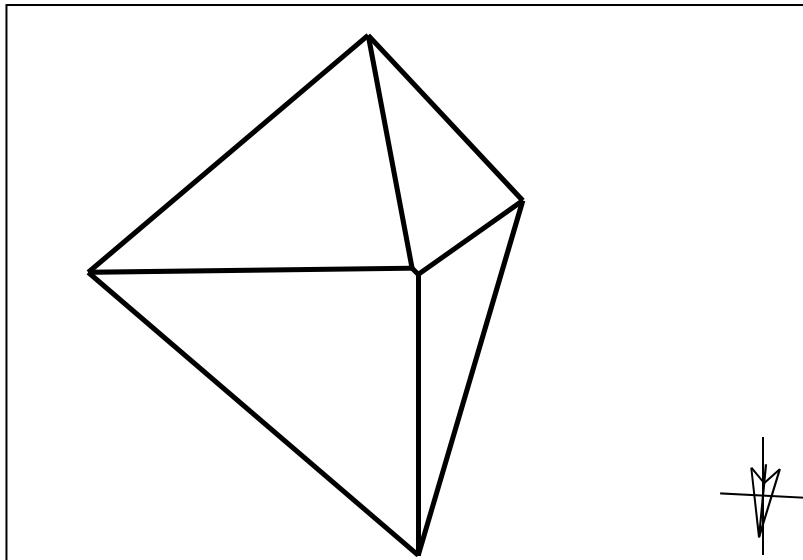
**Bild 40: stark klüftiges frostempfindliches Material (Eigenaufnahme 11/00)**

Im Steinbruch gibt es durch den Abbau entstandene Keile, die nicht abrutschgefährdet sind, da ihre Gleitlinie nicht flacher als die Böschungsneigung ist. Es besteht also kinematisch nicht die Möglichkeit einer Bewegung laut Definition in vorherigen Abschnitten dieser Arbeit. Jedoch ist es notwendig darauf hinzuweisen die Blöcke rechtzeitig abzubauen, da sie eine Gefahr für die Abbauarbeiten darstellen.



**Bild 41: Keil als Unfallrisiko (Eigenaufnahme 11/00)**

Da im jetzigen Zustand keine Gefährdung zu erkennen ist, sollte man sich folgende Aspekte verdeutlichen. Am Fuße dieses Gleitkeils verläuft die Fahrstraße, welche hier nur hinter dem aufgeschütteten Damm im Vordergrund zu erahnen ist. Zur Modellierung des Gleitkeils wurde die Gleitfläche nach unten verlängert und die Böschungsflächen im weiteren Verlauf nach unten rechtwinklig angenommen. Mit Hilfe des Rechnerprogrammes erhält man folgende Geometrie:



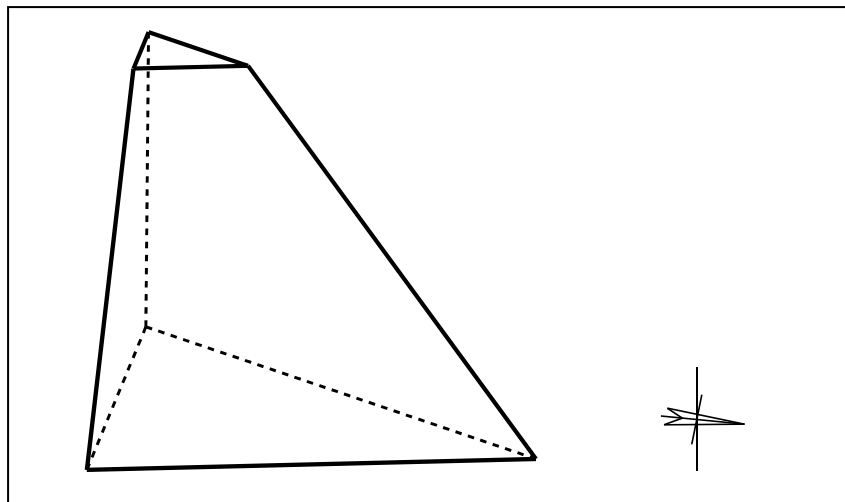
**Bild 42: Geometrie des entstehenden Gleitkörpers**

In der Graphik ist gut zu erkennen, daß der untere Teil des Keiles größer als der obere wäre. Der Gesamtkörper hätte ein Volumen von ca.  $160 \text{ m}^3$  und damit eine Masse von  $4240 \text{ kN}$  ( $424 \text{ t}$ ).

Einen weiteren Gefahrenpunkt stellt ein Keil im 4. Meßquadrant dar. Er ist durch zwei sehr stark ausgebildete senkrechte Klufflächen gekennzeichnet. Die Kluffläche rechts im Bild weist eine starke Belagsschicht auf, welche auf einen Durchtrennungsgrad von nahezu 100% schließen läßt. Eine Modellierung des zukünftigen Gleitkörpers, wie er entstehen würde wenn die Sohle 10m tiefer liegt, ist hier aus folgenden Grund nicht möglich. Die beiden Trennflächen stehen saiger (senkrecht) und die Böschung hat einen Fallwinkel von ca.  $60^\circ$ . Es entsteht also mit der weiteren Vertiefung kein Gleitkeil, sondern ein von der festen Gesteinsmasse gelöster, ca. 30m hoher Block. Bei einer Belastung des Plateaus oberhalb könnte dieser nach vorne wegkippen. Im derzeitigen Zustand ist er ohne weiteres durch den Bagger abzubauen.



**Bild 43: Keil als mögliche Gefahrenquelle (Eigenaufnahme 11/00)**



**Bild 44: Geometrie des Keiles 7**

Da die Sohle des Steinbruches bis zu ihrer Endteufe noch um ca. 10 m nach unten verlegt wird, sieht man schnell das Gefahrenpotential dieser Keile. Es ist nicht auszuschließen, daß solche Situationen auch noch an anderer Stelle des Steinbruches entstanden sind. Diese beiden Beispiele waren im Rahmen der Aufnahme des Trennflächengefüges jedoch auffällig.

---



## 9 Zusammenfassung und Ausblicke

Von der Aufsichtsbehörde des Steinbruches Rittersdorf (Bergamt Gera) wird in regelmäßigen Abständen ein Standsicherheitsnachweis für die der Behörde unterstellten Bergbaubetriebe verlangt. Die Standsicherheit eines Steinbruches hängt entscheidend vom vorherrschenden Trennflächengefüge ab. Der Standsicherheitsnachweis bezieht sich daher auf speziell durch den Abbau gebildete abrutschgefährdete Felskeile in der Böschung des Steinbruches.

Zur Erstellung eines solchen Standsicherheitsnachweises wurde die Bedeutung des Trennflächengefüges für das mechanische Verhalten von Festgestein erörtert. Daraufhin wurde die Situation vor Ort dargestellt. Als erste Arbeit wurde das tektonische Inventar des zu begutachtenden Steinbruches gefügekundlich aufgenommen. Dazu wurde das Abbaugelände in Planquadrate eingeteilt um später eine genaue Zuordnung der Meßwerte zu den Meßstellen zu gewährleisten.

Das aufgenommene Trennflächengefüge wurde hinsichtlich der einzelnen Kluftrichtungen ausgewertet und planlich dargestellt.

Ausgehend vom ausgewerteten Trennflächengefüge wurden anhand ausgewählter Querprofile Fragen der Standsicherheit der Steinbruchwand über rechnergeführte Standsicherheitsnachweise geführt.

Die Arbeit gliedert sich in folgende Teile:

- Aufnahme, Analyse und Auswertung des Trennflächeninventars
- Erstellen der Berechnungsquerschnitte
- Berechnung der Gleitkörper und Lösungsvorschläge der Sicherung

Die Berechnungen der Standsicherheiten der betrachteten Felskeile ergab, daß nicht ein Felskeil unter den getroffenen Annahmen für die Verhältnisse in der Gleitfuge standsicher ist. Daraufhin wurde nach Erklärungen für die gegenwärtige Situation gesucht. Am wahrscheinlichsten sind nachträglich gebildete Materialbrücken (Kluftzementation), die als haltende Komponente wirken.

Weiterhin wurden bezüglich der Standsicherheit bedenkliche Erscheinungen im Steinbruch beurteilt und ebenfalls Lösungsvorschläge dazu gemacht.

Für die zukünftigen Abbauarbeiten im Steinbruch ist zu empfehlen, schon während des Abbaus die noch stehende Böschung auf Gleitkeile zu untersuchen. Es ist dann wesentlich einfacher solche Gleitkeile zu entfernen oder zu sichern, als dann später im Nachgang Keile von einer 30 m hohen Böschung abzusprengen bzw. zu verankern. Für das Erkennen solcher Keile bedarf es keiner speziellen umfangreichen geologischen Ausbildung der Mitarbeiter des Steinbruchs. Einige Stunden zur Unterweisung sind völlig ausreichend. Der Einspareffekt durch Wegfall extremer Arbeitsmethoden der Sicherung bzw. Entfernung ist erheblich.

---

## 10 Abbildungsverzeichnis

Bild 1: Beispiel für ein Trennflächengefüge .....	6
Bild 2: International verwendete Brucharten von Festgestein.....	8
Bild 3: Topographische Lage des Steinbruchs Rittersdorf M 1: 200 000 .....	9
Bild 4: Schichtenfolge des Buntsandsteins und Muschelkalk in Thüringen aus [1] .....	11
Bild 5: Blick auf die W – Wand mit Terebratel – Zone als ockerfarbene doppelte Bank unterhalb der Karsthöhle (Eigenaufnahme 11/00).....	12
Bild 6: Terebratelzone (Nahaufnahme 11/00).....	12
Bild 7: Blockstreifen des Thüringer Becken aus [1] .....	13
Bild 8: Einmessen einer Gefügefläche aus [5] .....	15
Bild 9: Lagenkugeldarstellung [5].....	15
Bild 10: Aufsicht auf Gefügekompas nach CLAR .....	16
Bild 11: Anordnung einer Fläche in der Halbkugel und Darstellung im Schmidtschen Netz.....	18
Bild 12: Darstellung des Trennflächengefüges aus [2] .....	19
Bild 13: Bruchbedingung nach MOHR – COULOMB.....	20
Bild 14: Einteilung der Gesteine nach ihrem Korngefüge aus [3] .....	21
Bild 15: Mögliche Translationsbewegung eines Felskeils aus [3] .....	22
Bild 16: Mögliche Rotationsbewegung eines Felskeils aus [3].....	22
Bild 17: Kräfte am Felskeil .....	23
Bild 18: Translationsbewegung eines Keiles auf zwei Trennflächen aus [3].....	25
Bild 19: Schematische Darstellung des Trennflächensystems .....	27
Bild 20: Bildung eines Gleitkeils durch eine Diagonalkluft.....	28
Bild 21: Geometrie Keil 1 .....	28
Bild 22: Nahaufnahme Gleitkeil 1 (Eigenaufnahme 11/00).....	29
Bild 23: Geometrie Keil 2 .....	30
Bild 24: Nahaufnahme Gleitkeil 2 (Eigenaufnahme 11/00).....	30
Bild 25: Geometrie Keil 3 .....	31
Bild 26: Nahaufnahme Gleitkeil 3 (Eigenaufnahme 11/00).....	32
Bild 27: Geometrie Keil 4 .....	32
Bild 28: Nahaufnahme Gleitkeil 4 (Eigenaufnahme 11/00).....	33
Bild 29: Geometrie Keil 5 .....	34
Bild 30: Beispiel für die Bildung des Halbraum – Codes .....	39
Bild 31: Kräftesituation am Gleitkeil .....	43
Bild 32: Zusammenhang Ankerkraft – Ankerneigung .....	44
Bild 33: Prinzipieller Aufbau Verbundanker .....	46
Bild 34: Prinzipieller Aufbau Druckrohranker.....	46
Bild 35: Aufbau Litzenanker (Firmenprospekt Fa. STUMP).....	46

---

Bild 36: Lage der Verpreßkörper (Firmenprospekt Fa. STUMP) .....	47
Bild 37: Schematische Darstellung eines Litzen – Dauerankers .....	48
Bild 38: Konsole als Arbeitsplattform (Firmenprospekt Fa. STUMP) .....	49
Bild 39: Arbeitsbühne am Kran (Firmenprospekt Fa. STUMP) .....	49
Bild 40: stark klüftiges frostempfindliches Gestein (Eigenaufnahme 11/00) .....	50
Bild 41: Keil als Unfallrisiko (Eigenaufnahme 11/00).....	51
Bild 42: Geometrie des entstehenden Gleitkörpers .....	51
Bild 43: Keil als mögliche Gefahrenquelle (Eigenaufnahme 11/00) .....	52
Bild 44: Geometrie des Keiles 7.....	52

---



## 11 Verwendete Abkürzungen

FR Fallrichtung

FW Fallwinkel

m üNN Meter über Normalnull (Höhenangabe)

ha Hektar

t Tonne

NW Nordwesten

SE Südosten (für Osten wird der Buchstabe E von east verwendet)

---

---

## 12 Literaturverzeichnis

- [1] *Klengel, K.J.; Wagenbreth, O.*: Ingenieurgeologie für Bauingenieure, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1984
  - [2] *Prinz, H.*: Abriß der Ingenieurgeologie, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, 1991
  - [3] *Smolczyk, U.* (Hrsg.): Grundbautaschenbuch, Teil 1, 4.Auflage, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften Berlin, 1990
  - [4] *Oddsson, B.* (Hrsg.): Instabile Hänge und andere risikorelevante Prozesse, Monte Verita , Birkhäuser Verlag Basel, 1996
  - [5] *E. Fecker, G. Reik*: Baugeologie, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, 1987
  - [6] *D. Meier, P. Kronberg*: Klüftung in Sedimentgesteinen, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, 1989
  - [7] *Smolczyk, U.* (Hrsg.): Grundbautaschenbuch, Teil 2, 4.Auflage, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften Berlin, 1991
  - [8] *R. Adler, W. Fenchel, A. Pilger*: Statistische Methoden in der Tektonik I aus CLAUSTHALER TEKTONISCHE HEFTE, Verlag Ellen Pilger, Clausthal – Zellerfeld, 1965
  - [9] *R. Adler, W. Fenchel, A. Pilger*: Statistische Methoden in der Tektonik II aus CLAUSTHALER TEKTONISCHE HEFTE, Verlag Ellen Pilger, Clausthal – Zellerfeld, 1982
  - [10] *H. Flick, H. Quade, G.-A. Stache*: Einführung in die tektonischen Arbeitsmethoden aus CLAUSTHALER TEKTONISCHE HEFTE, Verlag Ellen Pilger, Clausthal – Zellerfeld, 1981
  - [11] *K. Kovari, P. Fritz*: Stabilitätsberechnung ebener und räumlicher Felsböschungen, Rock Mechanics, 8.1976
  - [12] Firmenprospekt Firma STUMP Spezialtiefbau GmbH
-