

# Gefügemessungen in gefrästen Stollen

von

Sven JACOBS & Ewald TENTSCHERT

mit 3 Abbildungen

## Anschrift der Verfasser:

Dr. Ewald Tentschert  
Tiroler Wasserkraftwerke AG  
Landhausplatz 2  
A-6020 Innsbruck

Dr. Sven Jacobs  
Tiroler Wasserkraftwerke AG  
Bauleitung Amlach  
A-9900 Lienz

## Inhalt

Zusammenfassung, Summary .....	48
1. Allgemeines .....	48
2. Ermittlung der Gefügedaten mit der Lagenkugel .....	49
3. Rechnerische Erfassung der Gefügedaten aus den Verschnittwerten der Trenn- flächen .....	53
4. Literatur .....	56

## Zusammenfassung

Geologische Gefügaufnahmen sind im gefrästen Stollen mit dem Kompaß kaum möglich. Es werden zwei Methoden vorgestellt, die ohne Kompaß auskommen.

Eine graphische Methode ermittelt die Gefügedaten mit Hilfe der Lagenkugel.

Bei der rechnerischen Methode werden die gebräuchlichen Lagedaten (CLAR-Notation) mittels PC errechnet.

## Summary

The geological structure in general (schistosity, stratification, joints and faults) within machine bored tunnels is still difficult to determine by using compass-measurements.

This paper introduces two alternative methods without necessarily using the compass.

The graphical method provides the structural data by the Wulff-net procedure.

On the other side, these geological CLAR-data will be obtained by a calculation procedure using the geometric data of the intersecting planes.

## 1. Allgemeines

Die geologische Stollenaufnahme bietet für den aufnehmenden Geologen eine Menge von Erschwernissen: schlechte Beleuchtung, Lärm, Staub, Dunst, Nässe sowie stellenweise viel Eisen (Stahlbögen, Schienen, Felsanker, Hochspannungskabel, Förder-einrichtungen, etc.). K. AEBERLI (1978) hat dies treffend charakterisiert: „Welcher Geologe würde obertags in einer Gewitternacht bei Neumond kartieren?“

Gefräste Stollen bieten noch zusätzliche Hindernisse: Der sonst so vielgeliebte Geologenkompas kann kaum verwendet werden (ebenso der Hammer); durch den gebirgs-schonenden Ausbruch und die relativ glatten Stollenlaibungen entstehen nur selten Ausbrüche als mögliche Anlegeflächen – zudem macht eine lange Nachläufer- und Fördereinrichtung auch Peilungen in den ersten 200 m hinter der Stollenbrust unmöglich.

Durch die kreiszylindrische Stollenwandung ist überdies eine Stollenbanddarstellung als Kastenabwicklung nur mit großen Abweichungen von der Wirklichkeit möglich und daher abzulehnen (WANNER, 1978).

**Bisher verwendete Methoden:**

Der Verschnitt von ebenen geologischen Flächen (Schicht-, Schieferungs- und Kluftflächen) mit der zylindrischen Stollenlaibung erzeugt Schnittellipsen, die in der Abwicklung Sinuskurven ergeben.

Ein direktes Zeichnen vor Ort ist zwar bei geübtem räumlichen Vorstellungsvermögen möglich, erfordert aber dennoch durch das Reinzeichnen viel Zeit und ist zudem in stark wasserführenden Zonen nur auf Plastikfolien mit weichem Bleistift möglich.

Gefügedaten (beispielsweise für Sammeldiagramme) sind daraus noch nicht direkt ermittelbar.

Kompaßpeilungen in der Flucht der Kluftspur (eingestellt auf drei Schnittpunkte der Kluftausbißlinie mit Firstlinie und den beiden Seitenmitten) ergeben bei schleifendem Verschnitt mit der Stollenachse große Fehler oder sind überhaupt nicht möglich.

Ein Umklappen nach den Gesetzen der Darstellenden Geometrie ist sehr aufwendig, die so ermittelten wahren Winkel müßten erst noch in ein Lagenkugeldiagramm übertragen werden.

Das Anlegen von Aluplatten an die fallweise vorhandenen Mini-Ausbrüche oder das Einschieben der Platten in offene Spalten ist in günstigen Fällen zwar möglich, aber im Normalfall nicht anwendbar.

AEBERLI (1978) beschreibt eine vereinfachte geometrische Methode:

Die Station der Seitenmittelpunkte und der Firstpunkt der Verschnittkurve werden notiert, das Streichen daraus in den Stollengrundriß eingetragen. Durch den Firstpunkt wird im Stollengrundriß die Normale auf das Streichen gezeichnet und die Länge dieser Strecke ergibt in einem eigens entwickelten Nomogramm dann den wahren Einfallswinkel. Dies ist möglich, wenn Stollendurchmesser und Stollenrichtung konstant sind.

Ansonsten wäre bei Änderungen jeweils ein eigenes Nomogramm nötig.

Bei der NAGRA löste man das Problem der Kluftverschnitte in ausgespiegelten Bohrlöchern durch eigens angefertigte Schablonen, wobei als Meßpunkte ebenfalls drei eingemessene Verschnittpunkte dienten (E. BÜCHI, mündl. Mitteilung).

## 2. Ermittlung der Gefügedaten mit der Lagenkugel (E. TENTSCHERT)

### a) Stollen:

Da die genannten Methoden für die routinemäßige Stollenaufnahme als zu ungenau oder als zu aufwendig erschienen, wurden die Gefügedaten der vier Frässtollen der Kraftwerksgruppe Sellrain-Silz (Bauzeit 1977–1980) mit nachfolgend beschriebenem Verfahren ermittelt:

Die Verschnittlinien werden zuerst in einen Stollenbandvordruck (bei Wasserzutritten auf Plastikfolie) gezeichnet. Zusätzlich wird an der Mittellinie einer Stollenumhle der scheinbare Einfallswinkel  $\beta'$  mittels Klinometer gemessen. (Bei kurzen Verschnittlängen und eisenfreier Umgebung kann auch die Streichrichtung gemessen werden, ist aber nicht unbedingt nötig.)

Die weitere Vorgangsweise ist aus den Abb. 1 und 2 ersichtlich.

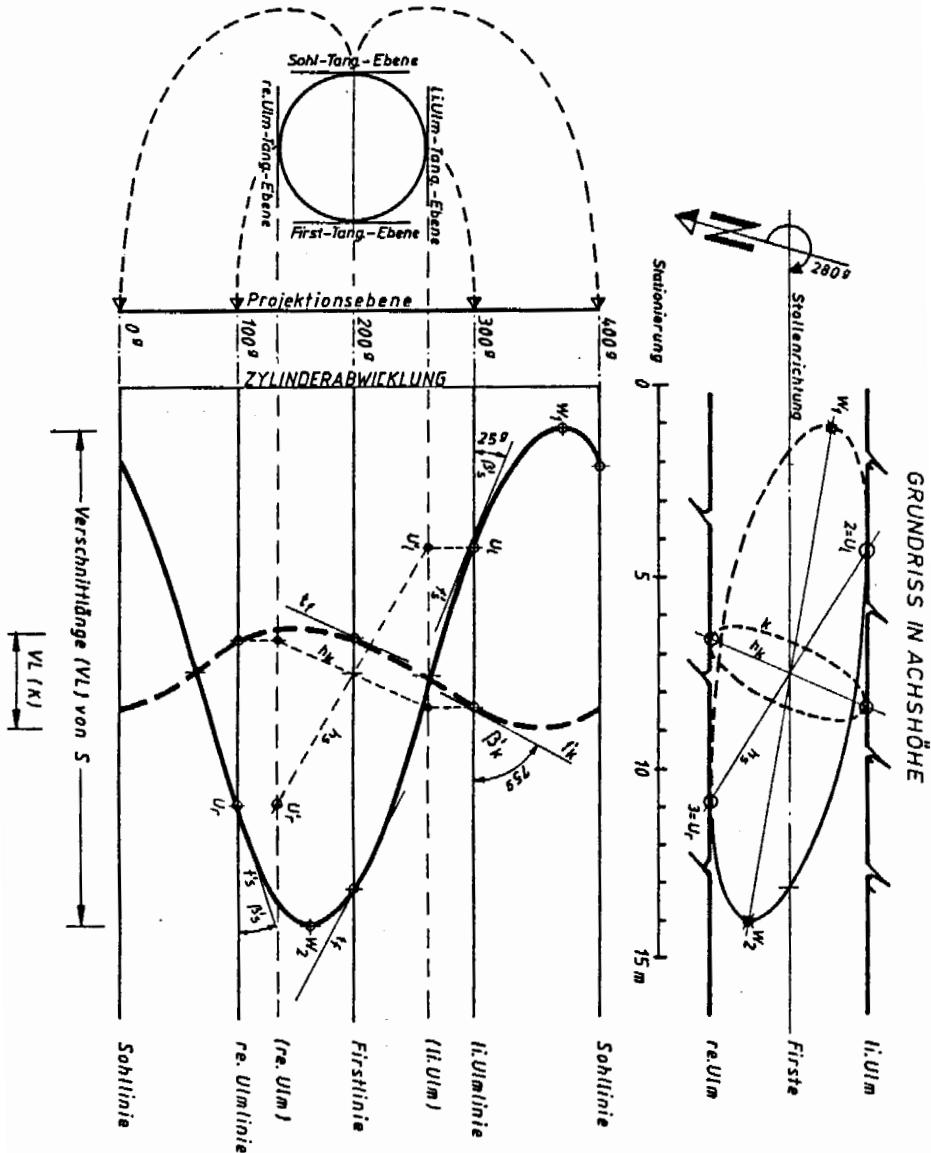


Abb. 1: Lageplan und Stollenabwicklung

Achsrichtung =  $280^\circ$ Stollen  $\phi = 4$  m

ss = 012/45

K = 305/75

(400<sup>9</sup>-Teilung)

## Verzeichnis der Abkürzungen:

- F = Schnittpunkt mit Firstlinie
- W<sub>1</sub>, W<sub>2</sub> = Wendepunkte
- U<sub>l</sub>, U<sub>r</sub> = Schnittpunkt mit li. bzw. re. Ulminlinie (in Vortriebsrichtung gesehen)
- U<sub>l</sub>', U<sub>r</sub>' = Schnittpunkt mit einprojizierten Ulmen des Grundrisses in Achshöhe
- h<sub>s</sub>, h<sub>k</sub> = Streichrichtung von SSS bzw. K im Horizontalstollen
- h<sub>s</sub>', h<sub>k</sub>' = Scheinbare Streichrichtung (SS bzw. K) im Schrägschacht
- f<sub>s</sub>, f<sub>k</sub> = Scheinbare Falllinie von SS bzw. K (identisch mit Tangente an Schnittkurve in der Ulm-Tangential-Ebene)
- f<sub>s</sub>' = Falllinie SS
- β<sub>s</sub>', β<sub>k</sub>' = Scheinbarer Einfallswinkel von SS bzw. K
- β = wahrer Einfallswinkel von SS bzw. K
- ss = Verschnittlinie bzw. Großkreis der Schichtfläche 012/45
- K = Verschnittlinie bzw. Großkreis der Kluft 305/75

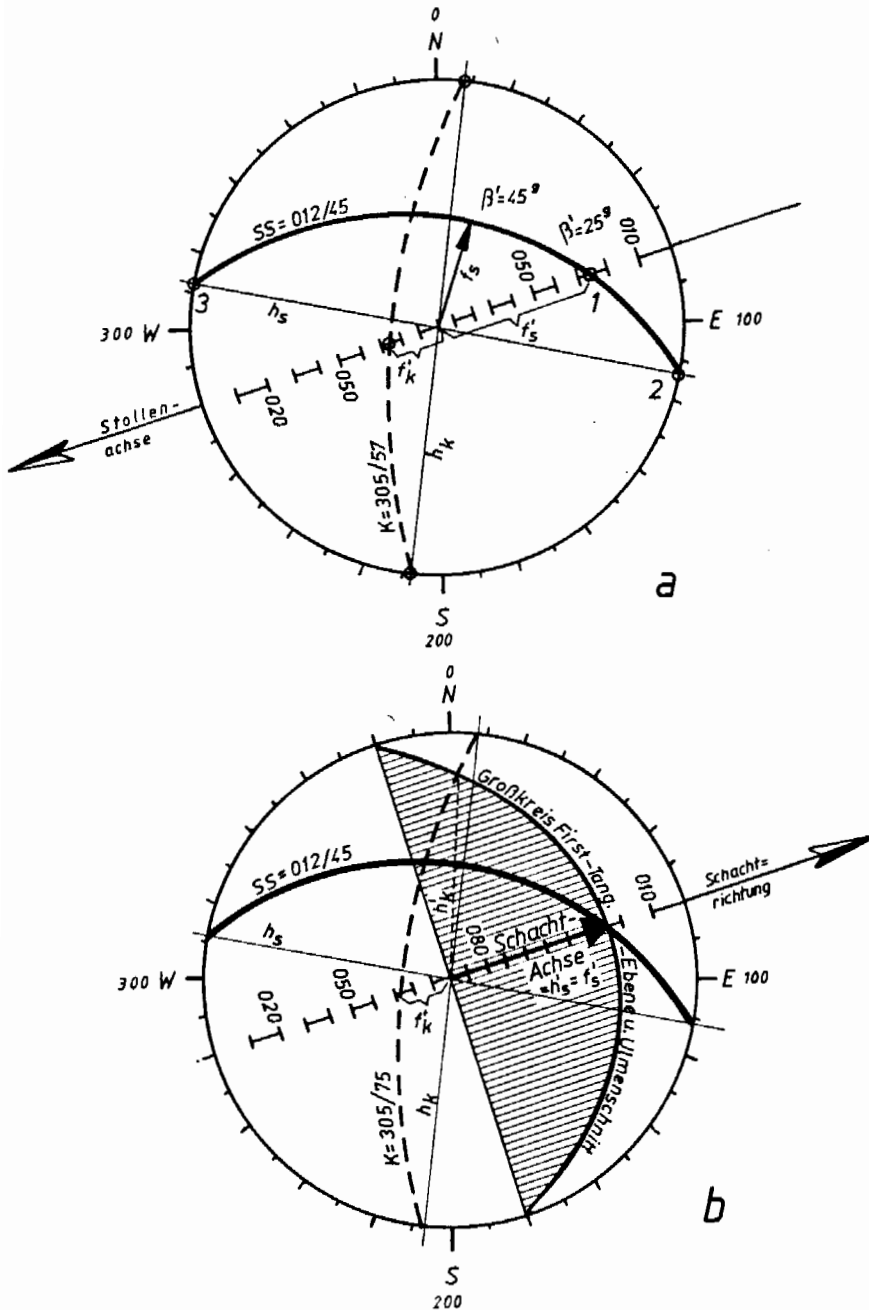


Abb. 2: Graphische Ermittlung von Gefügedaten in Frässtollen.  
 Wulff'sches Netz, Teilung 400<sup>g</sup>, Bezifferung großkreis-gerecht  
 2 a) Horizontalstollen wie in Abb. 1  
 2 b) Schrägschacht mit gleicher Richtung; Schachtneigung 25° (080/25)

In eine Oleate wird die Stollenrichtung eingezeichnet. Diese entspricht aber auch dem Großkreis aller achsenparallelen Vertikalebene – somit auch den Tangentialebene an den Mantelerzeugenden in den Ulmen – Mitten (in der Abb.: Ulmlinien).

Da die scheinbare Fallinie  $f'$  (mit dem scheinbaren Einfallswinkel  $\beta'$ ) aber in der Ulmtangentialebene liegt, kann sie über die Wulff'sche Gradteilung in die Oleate direkt eingetragen werden. (Punkt 1).

Die Punkte 2 und 3 werden aus dem Stollengrundriß direkt entnommen – zur Vereinfachung kann man eine Projektion des Stollengrundrisses direkt in das Stollenband übernehmen (eingeklammerte Bezeichnungen in Abb. 1). Wird die Oleate mit eingerichteter Stollenrichtung direkt auf das Stollenband gelegt, kann man die Streichrichtung  $h$  durchzeichnen, sie muß im Stollenband dann nicht eingezeichnet werden.

Auf dem Wulff'schen Netz (wegen der Winkeltreue!) wird jetzt der Großkreis aufgesucht, den die Punkte 1, 2 und 3 gemeinsam haben. Daraus ergeben sich Azimut und Einfallswinkel der Schichtung  $SS$  in Clar-Koordinaten.

Da diese Prozedur immer noch etwas Aufwand erfordert, wird man sie natürlich nicht bei jeder einzelnen geologischen Fläche durchführen, sondern mehrmals je Kluffschar pro Stollenbandschnitt von 200 m.

Die in die Profilebene projizierten scheinbaren Einfallswinkel sind konstruiert, da die Tangentialebene parallel zum Achs-Längsschnitt liegen. Dies erleichtert die Konstruktion von Längsschnitten.

#### b) Schrägschächte:

In Schrägschächten wird der Vorgang um einen Schritt länger, da die Streichrichtung  $h$  nicht mehr direkt ermittelt werden kann (der Ulmenschnitt ist eine schiefe Ebene).

Der Großkreis dieses Ulmenschnittes (= Großkreis der First- und Sohl-Tangentialebene) ergibt als Schnittlinie mit dem Großkreis der geologischen Fläche die Verbindung der Ulmenschnittpunkte  $h'$ , die im Stollenband eingetragen wurde.

Der scheinbare Einfallswinkel  $\beta'$  wird wie bei Horizontalstollen ermittelt. Allerdings ist hier zu beachten, daß die Mantellinie nicht horizontal ist – es ist also nicht der Winkel zur Stollenachse, sondern zur Horizontalen zu messen.

Der Großkreis, den die Endpunkte von  $f'$  und  $h'$  gemeinsam haben, ergibt die gesuchten Gefügedaten.

#### Erfahrungen

Da diese Methode immer noch einen gewissen Aufwand erfordert, werden nur zumeist einige pro Stollenbandschnitt von 200 m auf diese Weise ermittelt und die Werte auf Flächen des gleichen Systems übertragen.

Größere Fehler ergeben sich vor allem bei sehr flach verlaufenden Verschnitten von  $f'$  (bzw. bei Schrägschächten auch von  $h'$ ); dem kann aber durch Benützung eines großen Gradnetzes mit höherer Ablesegenauigkeit begegnet werden.

In Schrägschächten gibt es einen nicht auflösbaren Sonderfall: nämlich, wenn  $f'$  und  $h'$  die gleiche Richtung aufweisen; dies kommt aber nur dann vor, wenn  $h'$  in Schachtrichtung verläuft. (Vgl. Großkreis für  $S$  in Abb. 2b). Es sind in diesem Falle viele Lösungen möglich.

Ansonsten sind mit dieser Methode die scheinbaren Fallwinkel für Längsschnitte als auch die Gefügedaten ermittelbar – insbesondere vor Ort oder bei Fehlen eines Rechners auf der Baustelle.

Der noch elegantere Weg mittels Kleinrechners wird im nächsten Abschnitt beschrieben.

### 3. Rechnerische Erfassung der Gefügedaten aus den Verschnittwerten der Trennflächen (S. JACOBS)

Im Jahr 1979 nahm der Autor mit der Fernsehsonde der Tauernkraftwerke-AG Sondierbohrungen im Krafthausbereich Häusling auf. Für lotrechte Bohrungen existierte ein Vorsatz, über den ein Kompaß eingespiegelt wurde, der die Orientierung der beobachteten Trennflächen möglich machte. Bei der Fernsehsondierung horizontaler und mäßig geneigter Bohrungen gab es zunächst keine Möglichkeit, die Ellipsen in beliebiger Lage, die der Schnitt des (Bohrloch-)Zylinders mit den (Trennflächen-) Ebenen in beliebiger Lage ergab, den zwei gebräuchlichen Lagedaten Fallrichtung und Fallwinkel zuzuordnen.

Das Bild des Monitors gibt folgende Information über die Lage der Ebene aus den Daten der elliptischen Schnittfläche:

- 1) Den Winkel zwischen der Vertikalebene durch die Stollenachse (normal auf die Objektiv- bzw. Betrachterebene mit Sicht in Bohr- bzw. Vortriebsrichtung) und der Ebene, die durch Stollenachse und die große Halbachse der Ellipse aufgespannt wird, im folgenden „Verschnittwinkel“ (VW), genannt (Abb. 3).
- 2) Die auf die Achse projizierte Länge des Ellipsenverschnitts im folgenden „Verschnittlänge“ (VL) genannt.

Beide Parameter lassen sich sehr einfach genau ermitteln: eine über den Monitor gelegte Folie mit 400 $\mu$ -Kreis ermöglicht den Verschnittwinkel direkt abzulesen; aus der Markierung am Einschubgestänge oder am Übertragungskabel vom vordersten bis zum hintersten Schnittpunkt der Trennfläche ergibt sich ebenso direkt die Verschnittlänge.

Vom Zylinder sind der Radius (R) und die Achsrichtung (AR) bekannt. Diese bleiben im allgemeinen über die gesamte Bohrlochlänge konstant. Bei allfälligen Abweichungen (insbesondere der AR) sind entsprechende Korrekturen erforderlich.

Die Länge der Falllinie auf der Ellipse errechnet sich als

$$L_v = R^3 \sin^2 VW + L^2 \cos^2 VW, \quad \text{wobei } L = VL/2.$$

Die Länge der Streichlinie ist analog:

$$L_h = R^2 \cos^2 VW + L^2 \sin^2 VW.$$

Der „Streichwinkel“

$$\sin \alpha' = R/L_h$$

d. h. der Winkel zwischen Streichen der Ebene und der Achsrichtung gibt durch Addition bzw. Subtraktion der Achsrichtung = 100 $\mu$  (je nach Quadrant der Objektivenebene, in dem die große Halbachse der Ellipse beginnt) die Fallrichtung ( $\alpha$ ).

05/17/86 08:54:00

PROJEKT : E. H. WEISS

von Station : 0  
bis Station : 60

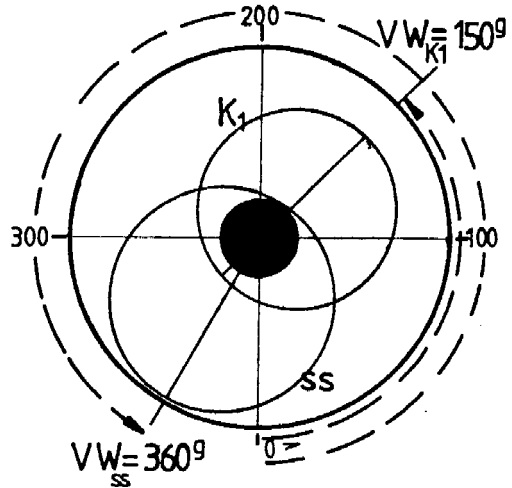
Durchmesser : 4.0 m

Achsrichtung: 280.0 g

Stat|Alfa / Beta|Kennung

1	11 / 44	ss
7.5	306 / 76	K1

2 Messungen 08:56:39  
Ende der Berechnung



05/17/86 09:05:21

PROJEKT: E. H. WEISS

STATION/LOKALITÄT:  
1926 -1986

Abb. 3a):  
Blick in Achsrichtung, Darstellung des Verschnittwinkels (Lage der großen Ellipsenhalbachse zu 400g Bezugssystem).

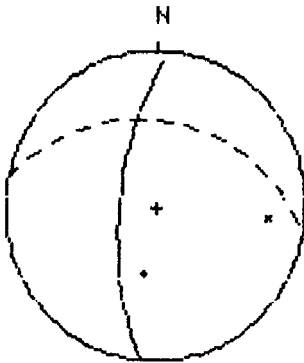


Abb. 3b):  
Beispiel eines Rechnerausdrucks sowie dazugehöriges Gefügediagramm.

+	-->	s-Fl	o	-->	Stör
x	-->	K1	●	-->	Zerr
↑	-->	Harn.			
-----		s-Flächen			
=====		Klütze			
=====		Störungen			
xxxxxxxxx		Zerrüttung			
↑↑↑↑↑↑↑		Harnische			



$$\begin{array}{ll} \text{Der Fallwinkel} & \text{tg } \beta = \text{tg} \gamma / \sin \alpha \\ \text{wobei} & \sin \gamma = R/L_v \end{array}$$

ergibt den zweiten Wert zur Darstellung der Fläche in CLAR-Notierung.

Da die eingangs angeführten Hindernisse bei der Gefügaufnahme in gefrästen Stollen trotz Begehrbarkeit ähnlich sind, lag es nahe, auch dort alle Gefügedaten rechnerisch zu ermitteln. Das erste Mal wurde diese Methode konsequent bei der geologischen Dokumentation des Drassnitz- und Lamnitzstollens (11 km) für das Kraftwerk Wölla der Kärntner Elektrizitäts-AG angewendet.

Für die geologischen Stollenaufnahmen für das im Bau befindliche KW Strassen-Amlach der TIWAG (in Summe 23 km) wurde die Aufnahmetechnik im Stollen auf die Bedürfnisse eines Rechners abgestimmt. Die Aufnahmen erfolgen bis auf tektonisch zu komplizierte Bereiche oder Aufnahmen im Maschinenbereich ausschließlich auf Diktaphon. Punktförmigen oder flächigen Elementen wie Wasserzutritten oder Entspannungserscheinungen werden eine Station und ein Winkelwert im 400 $\emptyset$  Bezugssystem zugeordnet, linearen Elementen wie petrographischen oder tektonischen Trennflächen aller Art werden Verschnittlänge, Verschnittwinkel, Mächtigkeit und Kennung, die auch alle Charakteristika enthält, zugeordnet.

Die detaillierte mündliche Stollenbeschreibung wird während des Abhörens reingezeichnet, gleichzeitig Gefügedaten gerechnet und Gefügediagramme ausgeplottet.

Im vorliegenden Fall wurden die gleichen Ebenen wie die in der Lagenkugelermittlung (vgl. Abb. 1 und 2) verwendet:

$$\begin{array}{ll} \text{Stollenkonstante:} & R = 2 \text{ m, } AR = 280\emptyset \\ \text{SS-Fläche:} & VL = 13 \text{ m, } VW = 360\emptyset \\ k_1\text{-Fläche:} & VL = 2,5 \text{ m, } VW = 150\emptyset \end{array}$$

Lagedaten: SS-Fläche: 011/44;  $k_1$ -Fläche: 306/76 (vgl. Abb. 3)

Die bisherigen (Mai 1986) Erfahrungen bei der Dokumentation von ca. 10 km Druckstollen zeigen die nach Meinung der Autoren großen Vorteile der Methode: mit vergleichsweise geringem Zeitaufwand ist eine detaillierte Gefügaufnahme samt Auswertung möglich: Gegenüber der graphischen Methode sind die Abweichungen der gerechneten Werte äußerst gering. Die großen Streuungen bei Kompaßmessungen an buckligen Flächen werden durch die Integration über die Einhüllende der geologischen Fläche ausgeglättet.

Bereiche mit starkem Wasserandrang (beim gegenständlichen Stollen z. B. durchgehend von Station 4500 bis 6800 m, am Portal max. 730 l/sec.), können mit gleicher Genauigkeit beschrieben werden; die Zeichnung des Stollenbandes erfolgt im Trockenem.

#### Ausblick:

Zur Zeit wird daran gearbeitet, die Einzelprogramme: Berechnung der Lagedaten, Gefügediagramme und das Plotten von Kluftverschnitten, die für einen Portable-Computer EPSON HX 20 des Autors geschrieben worden waren, in einen auf der Baustelle installierten IBM-PC zu übersetzen und zu einem Programmsystem zu verketten. Dieses Programm wird für die Berechnung in Stollen und Schächten in beliebiger Lage erstellt. Ein vom Plotter gelieferter „Stollenbandrohling“ wird niemals das händisch gezeichnete Stollenband ersetzen. Aus einer vollständigen Stollendatei (umfaßt von

Seiten des Geologen z. B. Gesteins-, Gefüge-, Wasserdaten, von Seiten der Bauleitung z. B. Sicherungsausbau, Fräsenkennwerte etc.) könnten jedoch ohne großen Zeitaufwand thematisch zusammenfassende Darstellungen gezeichnet werden.

#### 4. Literatur

AEBERLI, U.: Einsatz von Tunnelvortriebsmaschinen in schwach metamorphen kalkigen Sedimentgesteinen. Abhängigkeit des Vortriebs von geologisch-petrographischen Bedingungen. – Diss. ETH-Zürich, 1978.

BÜCHI, E.: mündliche Mitteilung 01/1986

PATEK, R.: entscheidende Mithilfe bei der Formulierung der Algorithmen.

WANNER, H.: Advantages of the Computer-Aided Mapping of Tunnels. IAEG-Symposium "Engineering Geological Mapping" Newcastle upon Tyne. – Bull. IAEG, 19, 314–319, 1978.

Manuskript eingelangt am 22. April 1986

angenommen am 23. Juli 1986

