

**Zeitschrift:** Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

**Herausgeber:** Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

**Band:** 76 (1978)

**Heft:** 7

**Artikel:** Bestimmung der Ausbruchflächen anhand photographischer Aufnahmen : Bericht über eine bei Bau des Gotthard.Strassentunnels angewandte Methode

**Autor:** Lützelschwab, R.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-229222>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 02.05.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Schweizerischen Datum erfolgte mit dem in [1] angegebenen Verfahren.

### Literatur

- [1] Elmiger, A.: Das Geoid in der Schweiz. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, Fachblatt III/IV-1975.
- [2] Elmiger, A.: Studien über Berechnung von Lotabweichungen aus Massen, Interpolation von Lotabweichungen und Geoidbestimmung in der Schweiz. Mitt. aus dem Inst. f. Geodäsie u. Photogrammetrie der ETHZ, Nr. 12, 1969.
- [3] Gurtner, W.: Das Geoid in der Schweiz. Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz, Band 32, 1978, sowie Mitt.

aus dem Inst. f. Geodäsie und Photogrammetrie der ETHZ, Nr. 20, 1978.

- [4] Jordan, S.: Self-Consistent Statistical Models for the Gravity Anomaly, Vertical Deflections, and Undulations of the Geoid. Journal of Geophysical Research, Vol. 77, No. 20, 1972.
- [5] Moritz, H.: Elements of Collocation. Methoden und Verfahren der mathematischen Physik, Band 13, B. I.-Wissenschaftsverlag, Mannheim/Wien/Zürich 1975.

Adresse des Verfassers:

Dr. W. Gurtner, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich

---

# Bestimmung der Ausbruchflächen anhand photographischer Aufnahmen

Bericht über eine beim Bau des Gotthard-Strassentunnels angewandte Methode

R. Lützel Schwab

### Résumé

*Lors du percement des tunnels, il est très important de lever un très grand nombre de profils en travers. En effet, au cours de l'abattage de la roche, suivant la nature des couches, des cavités d'une certaine importance peuvent se présenter par suite d'éboulements. Ces cavités hors-profil doivent être bétonnées et font l'objet d'un décompte hors-forfait pour l'entreprise. Il faut donc pouvoir déterminer ces cubes hors-profil. La méthode traditionnelle, levé polaire dans chaque profil, est fastidieuse et insuffisante. Pour obtenir une certaine sécurité et éviter des surprises, il faut procéder par la méthode photographique. Cette méthode n'est pas nouvelle, mais ce qui est nouveau c'est l'appareil mis au point par Electrowatt en collaboration avec l'institut photographique de l'EPF de Zurich. L'appareil a pour but la restitution quasi automatique avec indication de la surface des profils à l'aide de l'intégrateur QUANTIMET de l'Institut.*

*L'article mentionne les impératifs du système, Théodolit Laser centrage parfait de la camera, point d'ajustages nécessaires pour la restitution, etc.*

*Malheureusement les conditions optimales ne sont pas toujours remplies: zones humides donnant des négatifs peu nets, obstacles de chantier, etc. On adopte alors un système semi-automatique, avec digimètre. Exactitude env. 1/2 %. Le dispositif qui nécessite une équipe de 5 hommes est assez coûteux; il se justifie pour les grands tunnels.*

### 1. Allgemeine Betrachtungen

Seit 1969 sind die Vortriebsarbeiten am Gotthard-Strassentunnel im Gange. In den beiden Losen haben die Unternehmungen für den Ausbruch des Tunnelprofils die konventionelle Methode angewandt. Danach werden am Vortrieb Bohrlöcher gebohrt. Es wird ge-

sprengt, und nach erfolgter Schutterung (Auflad und Abtransport des gesprengten Materials) werden die Sicherungsmassnahmen (Versetzen von Felsankern, Auftrag von Spritzbeton usw.) angebracht. Anschliessend wiederholt sich der Zyklus in der gleichen Reihenfolge.

Auf Grund dieses Vorgehens entsteht entlang dem Tunnelprofil eine unregelmässige Felsoberfläche, deren Strukturen eine direkte Funktion der Felsqualität, der Felsbeschaffenheit (Schichtung, Klüftung), der Bohrlochdichte, des Sprengschemas, der Abschlagslänge usw. ist. Beim Betonieren der Tunnelauskleidung müssen die ausserhalb des theoretischen Tunnelprofils liegenden Hohlräume mit Beton ausgefüllt werden. Diese als Überprofilbeton bezeichnete Menge wird der Unternehmung mit einem Abzug entschädigt, welcher eine direkte Funktion der vertraglich definierten Ausbruchklassen ist.

Aus dieser Art der Abrechnung ergibt sich die Notwendigkeit, das gesprengte Tunnelprofil genau auszumessen, damit die Überprofilbetonkubaturen möglichst genau bestimmt werden können. Entsprechend dem Umfang des Bauvorhabens und der voraussichtlich aufzubereitenden Betonkubaturen war es angezeigt, für den Gotthard-Strassentunnel eine neue genaue Methode zur einfachen Ermittlung des gesprengten Tunnelprofils zu entwickeln. Die Beschreibung dieser Methode ist Gegenstand des vorliegenden Berichtes.

### 2. Aufgabenstellung

Die bisherige Methode zur Kontrolle der Tunnelquerschnitte am Gotthard-Strassentunnel beruht auf der Einzelpunktaufnahme. Ein in die Tunnelhauptachse gebrachter Scheinwerfer bildet Lichtpunkte (deren Richtungen sind durch entsprechende Führungen im umschliessenden Blechmantel festgelegt) an der Tunnelwand ab, nach welchen die Radien mit Messstangen ge-

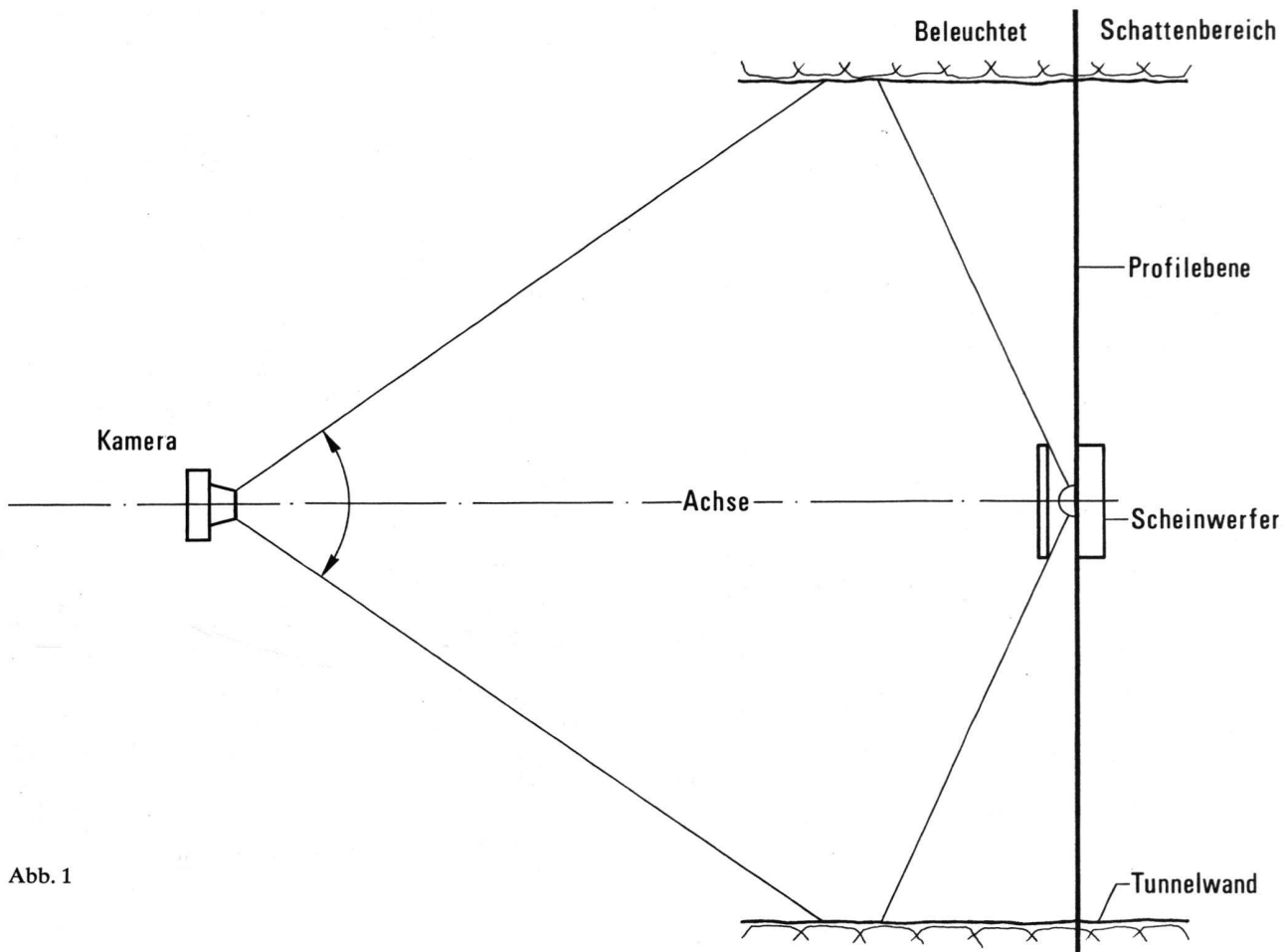


Abb. 1

messen werden. Diese Polarkoordinaten werden in einem dafür vorbereiteten Formblatt aufgetragen und ergeben die Grundlage für die Zeichnung und Berechnung des Profils. Bei dieser Erfassung charakteristischer Punkte ergeben sich in grosser Zahl elementare Messvorgänge mit anschliessender Aufschreibung der Messwerte. Dabei können nicht kontrollierbare Fehler auftreten, deren Auswirkungen bedeutend sind. Auch ist keine Aussage über den Verlauf der Profillinie zwischen den einzelnen aufgenommenen Punkten möglich. Es drängt sich der Gedanke auf, die durch die Photographie gegebene Möglichkeit zu nutzen und beispielsweise die Profilebene als Grenzfläche von Licht und Schatten dargestellt zu registrieren.

Es liegen heute Veröffentlichungen vor über instrumentelle Ausrüstungen, mit denen derartige Aufgaben gelöst werden können (Hubeny 1957 und 1965, Beyer 1972, Matthias 1972). Grundsätzlich wird dabei eine Lichtspur an der Tunnelwand erzeugt, diese mit einer geeigneten, parallel zur Profilebene ausgerichteten Messkamera photographiert und anschliessend anhand des Bildnegativs ausgewertet.

Gewünscht war ein Profilmessgerät für die ausschliessliche Kubaturenbestimmung. Die Aufnahmeapparatur sollte einfach zu handhaben sein, damit das Aufsichtspersonal der örtlichen Bauleitung diese Messungen durchführen könnte. Ausserdem sollte sie so ausgelegt werden, dass deren Bilder mit dem vorhandenen Flächenmessgerät QUANTIMET des Photographischen Institutes der ETH Zürich ausgewertet werden können

mit einer Genauigkeit, die für die zu folgernden Schlüsse in der Kubaturberechnung nötig ist.

Es gab bislang keine fertige Apparatur, die diesen Wünschen entsprach. Dies veranlasste die Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, zusammen mit dem Photographischen Institut der ETH Zürich, eine solche Apparatur, die sich für Aufträge der Grössenordnung des Gotthard-Strassentunnels (Ausbruchfläche Los Nord 70 m<sup>2</sup>) eignet, zu entwickeln.

### 3. Bau einer geeigneten Aufnahmeapparatur

Die wesentlichen Voraussetzungen für eine einwandfreie Auswertung der Umrissbestimmung mittels Normalaufnahme im Sinne der Photogrammetrie bestehen darin, dass die Profilebene und die Kontrastebene sich decken, die Filmebene der Aufnahmekamera dazu parallel verläuft und die Profilebene senkrecht auf der Tunnelachse steht (Abb. 1).

#### 3.1 Aufnahmekamera

Für Tunnelröhren mit 12 m Durchmesser hat man in Vorversuchen das minimale Bildformat 6 × 6 cm festgelegt. Die Bedingungen, dass die fertige Aufnahme etwa  $\frac{2}{3}$  formatfüllend, die Kamera möglichst nahe bei der Lichtschnittebene aufgestellt und fernbedienbar sein sollte, führte zur elektronischen Hasselblad-Kamera mit einem 40-mm-Weitwinkelobjektiv. Mit dieser Kombination beträgt der Abstand zwischen der Kamerabildebene und der Lichtschnittebene 12 m.

### 3.2 Scheinwerfer

Das Aufnahmeprinzip verlangt die Erzeugung einer möglichst kontrastreichen Lichtspur an der Tunnelwand.

Es wurde eine Punktlichtquelle (Autoscheinwerfer 24 V) benutzt.

Wendel-Ausdehnung und Abstand der schattenerzeugenden Scheinwerferkante bestimmen die Grösse des Halbschattenbereichs an der Tunnelwand. Sie waren so abzustimmen, dass der Halbschattenbereich im Auflösungsvermögen des Films untergeht.

Um die Umrisse auf der Tunnelperipherie möglichst einheitlich abzubilden, muss die Lampe im Zentrum stehen.

### 3.3 Passpunkte

Die Passpunkte werden benötigt, um die fertigen Bilder in der Auswertearratur justieren zu können. Sie sind möglichst weit voneinander entfernt als Lichtpunkte in der Schnittebene aufzustellen. Sie definieren in unserem Fall die untere Begrenzungslinie des Profiles, die dem Niveau des fertigen Strassenbelages entspricht.

### 3.4 Aufnahmegerüst

Nachdem die definitiven Abmessungen vorlagen, wurde der Bau eines Prototypes in Auftrag gegeben. Die Apparatur sollte im wesentlichen folgende Bedingungen erfüllen:

- Kameravorrichtung auf stabiler Basiskonstruktion
- starre Verbindung von Lampe und Messkamera
- leichte Transport- und Orientierungsmöglichkeit (Personalaufwand)
- kurze Aufnahmezeit

Das konstruierte Gerät (siehe Abb. 2) besteht aus einem dreiteiligen Längsträger (1), dessen Enden bei der Lampe auf einem massiven dreibeinigen Photostativ (2) und bei der Kamera auf einer ausschwenkbaren Zweibeinstütze (3) aufgelegt werden, einer Photostütze (4), die am Längsträger eingesteckt wird, einem aufschraubbaren Lampengestell (5) und zwei Seitenausleger (6), die am Längsträger angehängt sind, und an deren Enden je eine beleuchtbare Zielmarke (7) starr angebracht ist. Der Mittelteil des Längsträgers ist mit einem Nummernkasten (8) versehen. Das Kreiskorn (9) unter der Messkamera (10) und die Zielscheibe (11) auf dem dreibeinigen Photostativ sind die Bezugspunkte für die räumliche Orientierung der Apparatur. Am Seitenausleger mit der Schaltanlage und dem Transformator (12) wird das Gestell durch eine einklappbare Stütze mit Hilfe einer Röhrenlibelle seitlich horizontalisiert. Die Speisung für die Beleuchtung des Scheinwerfers, der zwei Passpunktlampen, des Nummernkastens und der einzelnen Trägerlampen erfolgt mittels Netzanschluss. Die Konsole für die Messkamera ist in der Horizontalebene schwenkbar und kann um die Querachse des Gerätes geneigt werden. Damit kann die Messkamera auf den Mittelpunkt der Lampe gerichtet werden. Genau wie die Punktlichtquelle muss auch die Kamera in der Tunnelhauptachse stehen. Diese Orientierung erfolgt anhand eines Laserstrahls, der in einem vorgegebenen Abstand unterhalb dieser Achse vorgängig ausgerichtet wird. Die durch den Scheinwerfer erzeugte Kontrastebene steht senkrecht zur Hauptachse.

Somit ist die Bildebene in der Kamera eine massstäbliche, unverzerrte Verkleinerung der Profilebene.

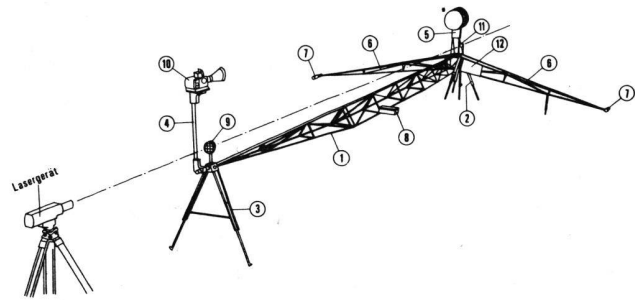


Abb. 2 Aufnahmeapparatur; im Vordergrund Lasergerät

## 4. Praktische Durchführung der Messungen

### 4.1 Vorbereitung der Aufnahmen

Mit einem Laser-Theodolit wird ein Strahl derart gerichtet, dass er in der Vertikalebene der theoretischen Tunnelachse liegt und – gemäss Konstruktion der Aufnahmeapparatur – 80 cm tiefer parallel zu dieser Achse verläuft. Grundlage dazu bilden die Absteckungsfixpunkte, die dazu dienen, die entsprechenden Profilstandorte mit einem ausgelegten Messband festzulegen. Diese Absteckungspunkte sind am Boden, ungefähr in Tunnelmitte, als Körner auf einer einbetonierten Messingplatte vorgegeben.

### 4.2 Photographische Aufnahmen

Das Aufstellen des Gerätes beginnt mit dem Zusammenkuppeln des Längsträgers und dem Einvisieren des bereitstehenden Dreibeinstativs in den Laserstrahl. Der Längsträger wird nun in den Gelenkkopf am Dreibeinstativ gelegt, die Zweibeinstütze aufgeklappt und nach Einstecken des Kreiskorns die Kameraseite nach dem Laser ausgerichtet. Danach werden die beiden Seitenausleger am Längsträger angehängt und mit einer Stütze horizontalisiert. Nachdem kein störendes Licht mehr vorhanden ist, kein Hindernis in der Profillinie steht, die Passpunkte beleuchtet sind und die Zahl im Nummernkasten mit der Profilmessung übereinstimmt, löst der Bedienungsmann den Verschluss zur Aufnahme aus.

Das Versetzen des Gerätes geschieht durch Abheben des Längsträgers vom Dreibeinstativ, welches für das nächste Profil neu aufgestellt und im Falle einer geradlinigen Fortsetzung nach dem Laserstrahl gerichtet wird. Danach wird der Längsträger angehoben und auf dem Dreibeinstativ eingerastet, die Kameraseite nach dem Laserstrahl gerichtet, die Seitenausleger horizontalisiert und die neue Profilvernummer eingerastet. In Kurven verfährt man nach den einschlägigen Näherungsmethoden der Bogenabsteckung, wobei sowohl der Abstich für die Lage des Kreiskornes wie der Zielscheibe bestimmt werden muss (Abb. 3).

## 5. Auswertung

Nachdem das Profilbild auf dem entwickelten Negativ in massstäblicher unverzerrter Verkleinerung vorliegt, kann die Auswertung auf dem vorhandenen automati-

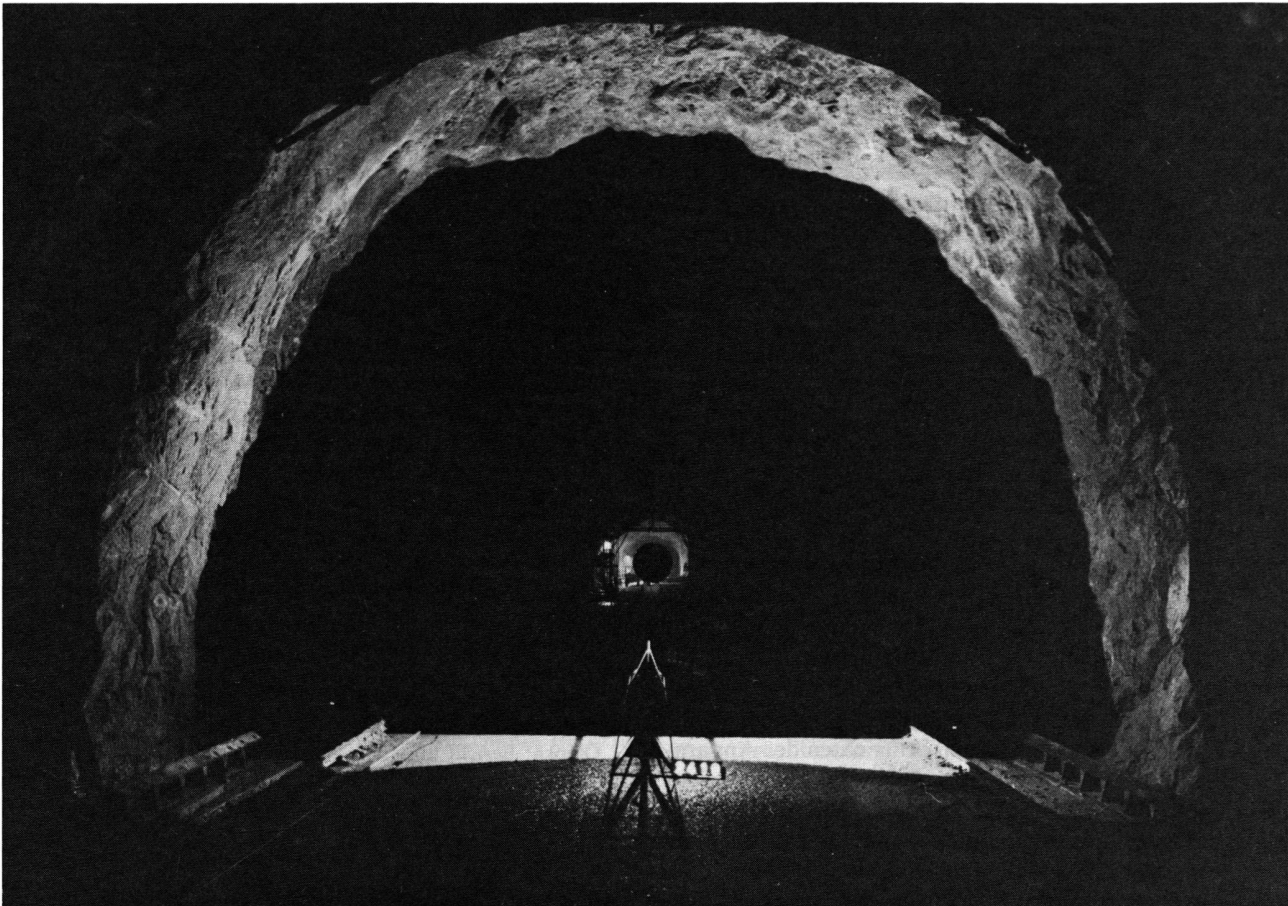


Abb. 3 Photographische Aufnahme eines Ausbruchprofiles; im Hintergrund Kontrastebene mit den beiden Passpunkten, vorne Profilnummerangabe

schen Flächenmessgerät QUANTIMET des Photographischen Institutes der ETH Zürich erfolgen.

Das Instrument gehört in die Klasse der elektronischen Fernseh-Scanner, d. h. das auszuwertende Bildformat wird bildpunktweise abgetastet.

Das auszuwertende Negativ wird auf einer optischen Bank vor einem Projektor so montiert, dass es von der VIDICON-Fernsehkamera abgebildet werden kann. Am Monitor erscheint zur Kontrolle dieses Bild (Abb. 4).

Die eigentliche Auswertung erfolgt so, dass zu einem kontinuierlich einstellbaren photometrischen Niveau (Grauton) zwischen weissen und dunklen Bildelementen unterschieden werden kann. Die Integration über alle hellen Bildelemente liefert in unserem Fall das Flächenmass für diese. Voraussetzung, um eine Fläche auswerten zu können, ist eine geschlossene Konturlinie und ein gleichmässiger Kontrast gegenüber dem Hintergrund. Das Resultat ist digital ablesbar und kann auf Grund des genormten Abstandes der Passpunkte sofort in  $m^2$  umgerechnet werden. Die Flächenmessung am QUANTIMET wurde mit Hilfe geeigneter Normflächen geeicht.

## 6. Bewertung des Auswertungsverfahrens

Die Messung der Negative selbst ist stark vom eingestellten Niveau abhängig. Bei guten Negativen ist die Flächenbestimmung auf ein halbes Prozent genau. Ist die Konturlinie auf dem Negativ nicht einheitlich, dann sinkt die Genauigkeit rasch ab.

Schwierigkeiten treten auf

- wenn die Reflexionseigenschaften an der Konturlinie nicht gleichmässig sind (nasse Passagen), weil der Kontrast im Negativ variiert
- weil oft im an sich ausgeleuchteten Teil Flächen auf Grund von Felsnasen unbeleuchtet bleiben
- wenn künstliche Hindernisse wie Bohrgerüste, Zu- und Abluftleitungen, Deponien usw. die Tunnelkontur verdecken.

Um dennoch automatisch auswerten zu können, muss das Negativ von Hand retuschiert werden.

Dadurch verliert natürlich die Quantimet-Auswertung an Attraktivität.

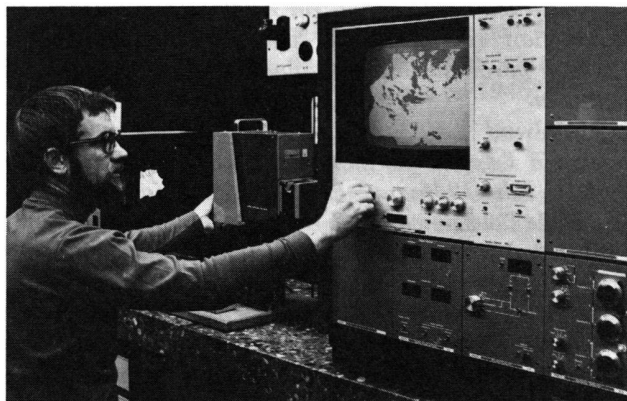


Abb. 4 Auswertung am Quantimet

Abhilfe wurde geschaffen durch den Einsatz eines halbautomatischen Verfahrens. Es wird ein registrierender Koordinatograph (Digitizer) in Kombination mit einem Tischcomputer eingesetzt, der mit geeigneten Programmen die Flächenintegration durchführt. Der Operateur verfolgt auf dem Auswertetisch den Tunnelumriss im vergrösserten Negativ mit der Messlupe und korrigiert nötigenfalls Unzulänglichkeiten in der Aufnahme.

Es hat sich gezeigt, dass diese Methode mindestens ebenso rasch wie die Auswertung am Quantimet ist, falls man die Retuschierzeit berücksichtigt (5 Minuten pro Bild). Ferner könnte die Auswertung beim digitalisierten Profil durch weitere Programme mit einem im Computer abgespeicherten Normprofil verglichen und so die Positionsabweichungen wie Über- und Unterprofil ermittelt werden.

## 7. Zusammenfassung

Mit der entwickelten festen Apparatur können Querschnittsflächen in Strassentunnels schnell und auf einfache Weise photographisch aufgenommen werden. Der Tunnel wird dabei längs der Profillinie in einen beleuchteten und einen unbeleuchteten Teil getrennt und photographiert. Der Transport und das Aufrichten der Apparatur sowie das Ausrichten des Laserstrahls (1½ Stunden) sind relativ aufwendig. Deshalb lohnt sich vor allem der Einsatz für grössere Tunnelabschnitte. Es wäre wünschenswert, das Aufnahmegestell fahrbar zu machen. Die Aufnahmen werden durch einen Einsatzleiter, einen Kameraoperateur, einen Elektriker und zwei Hilfskräfte ausgeführt. Der starke Helligkeitskontrast zwischen der Pro-

filfläche und der vor der Profillinie liegenden Tunnelpartien ermöglicht die vollautomatische photometrische Auswertung, wenn die Tunnelleibung auf dem Negativ einheitlich abgebildet wird und wenn im ausgeleuchteten Teil keine Flächen auf Grund von Felsnasen unbeleuchtet bleiben. Dies war bei den aktuellen Aufnahmen nicht durchweg der Fall, weshalb die Auswertung der Profilflächen teilweise halbautomatisch mit einem registrierenden Koordinatographen erfolgen musste. Die Genauigkeit bei guten Negativen wie auch bei der halbgraphischen Auswertung beträgt ½ % der Fläche. Weitere Auswertungen für die Kontrolle des Vortriebes liessen sich relativ leicht automatisieren.

## Literatur

- K. Hubeny: Tunnelprofile durch Lichtschnitte. Zeitschrift für Vermessungswesen, Heft 5, 1957.  
K. Hubeny: Photogrammetrische Registrierung von Profilen. Österr. Zeitschrift für Vermessungswesen, Heft 6, 1965.  
H. Beyer: Lichtschnittprofile zur Vortriebskontrolle bei Strassentunnels. Österr. Ingenieur-Zeitschrift, Heft 7, 1972.  
H. Matthias: Tunnelprofilmessungen beim Bau des Heitersberg-tunnels der SBB. Schweiz. Bauzeitung, Heft 48, 1975.  
G. Otepka: Bericht über den Einsatz der terrestrischen Kammer Wild P 32 beim Wiener U-Bahn-Bau. Wild Reporter 8, 1975.

Adresse des Verfassers:

R. Lützelshwab, c/o Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, 8022 Zürich

---

# Les 125 ans de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne

A. Miserez

## Zusammenfassung

Im Sommer 1853 wurde die «Ecole spéciale de Lausanne» auf privater Basis gegründet und am 7. November mit 13 Schülern im «Maison Bischoff» an der Rue de Saint-Pierre eingeweiht. Im August 1855 wurden die ersten fünf «certificats de capacité» verliehen, einige Wochen bevor die 1854 gegründete ETHZ den Betrieb aufnahm.

1869 wird die «Ecole spéciale» zur «Faculté technique de l'Académie», 1890 zur «Ecole d'ingénieurs» und im Jahr 1946 zur «Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne (EPUL)».

Am 1. Januar 1969 wird die EPUL – neben der ETHZ – die zweite Technische Hochschule der Schweiz: die «Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL)».

Der Aufsatz gibt – zum Anlass des 125jährigen Jubiläums – einen Überblick über die wichtigsten Etappen der ältesten Technischen Hochschule unseres Landes.

Dans les annales de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 1978 sera sans doute bien mis en évidence. Cette année est d'abord celle du départ de notre Président le Professeur Maurice Cosandey, appelé à la Présidence du Conseil des Ecoles polytechniques. 1978 c'est aussi l'inauguration officielle des premiers bâtiments de la nouvelle construction à Ecublens et c'est enfin et surtout l'année du 125ème anniversaire de l'Ecole célébré avec enthousiasme et simplicité les 2 et 3 juin derniers. A cette occasion, nous allons rappeler brièvement quelques grandes étapes de la vie et du développement de la plus ancienne école polytechnique de notre pays.

## L'Ecole spéciale et la Faculté technique de l'Académie

En été 1853, cinq personnalités romandes fondent l'Ecole spéciale de Lausanne, établissement privé inspiré par le modèle de l'Ecole Centrale de Paris et qui a pour but «de donner des connaissances théoriques et pratiques nécessaires aux jeunes gens qui se destinent aux