

Zeitschrift: Mensuration, photogrammétrie, génie rural
Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) =
Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF))
Band: 72-F (1974)
Heft: 3

Artikel: Kontrolle von Tunnelvortriebsmaschinen mit dem Lasertheodolit
Autor: Ehbets, H. / Schwendener, H.R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-226702>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.03.2025

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

Kontrolle von Tunnelvortriebsmaschinen mit dem Lasertheodolit

H. Ehbets und H. R. Schwendener

Zusammenfassung

Nach einer Beschreibung des Aufbaus und der Wirkungsweise des Laserokulars GLO1 der Wild Heerbrugg AG wird über einen typischen praktischen Einsatz im Stollenbau berichtet.

Resumé

Après description du principe et du mode de fonctionnement de l'oculaire laser GLO1 de Wild Heerbrugg SA, on rend compte d'un travail pratique typique de la construction d'une galerie.

Seit Inbetriebnahme des ersten HeNe-Gas-Lasers im Jahre 1960 hat es nicht an Bemühungen gefehlt, für diese neue Lichtquelle Anwendungsmöglichkeiten zu finden. Der rote, eng gebündelte, helle Lichtstrahl legte den Gedanken nahe, diese sichtbare Bezugslinie für Arbeiten zu verwenden wie Tunnelbau, Kanalbau, Ausrichten von Maschinen usw. Bisher wurden für die Kontrolle solcher Arbeiten Theodolite, Nivelliere und Fluchtfernrohre verwendet; dabei mußte der Arbeitende jeweils vom Beobachter am Fernrohr des Vermessungsinstrumentes eingewiesen werden. Mit einer sichtbaren, «materialisierten» Ziellinie ist eine Orientierung direkt am Arbeitsort möglich, was erhebliche Zeiteinsparungen zur Folge hat.

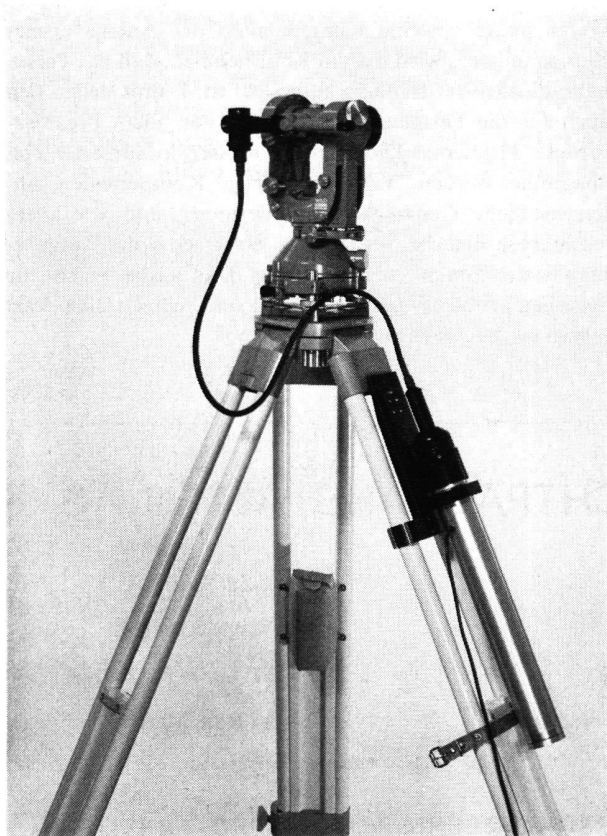


Abb. 1 T2 mit Laserokular Wild GLO1

Inzwischen sind Lasergeräte im Bauwesen weit verbreitet. Sie werden mit Vorteil eingesetzt, wo Rohre und Leitungen mit einer bestimmten Präzision zu verlegen sind oder wo Maschinen mit hoher Zuverlässigkeit einer vorgeschriebenen Achse folgen müssen. Die dazu verwendeten Bau- oder Tunnellaser sind robuste Geräte, die jedoch meist keine Meßeinrichtung zum genauen Orientieren des Laserstrahls besitzen. Deshalb wird in einem ersten Schritt mit einem konventionellen Vermessungsinstrument die gewünschte Richtung eingemessen und markiert und dann der Baulaser so aufgestellt und eingerichtet, daß der Laserstrahl mit der vorher markierten Richtung zusammenfällt. Falls die Vermessungsgrundlagen vorhanden und die Bauachsen gerade sind, bereitet der Einsatz solcher Geräte keine Schwierigkeiten, und jeder Vorarbeiter auf einer Baustelle wird die neue Technik bald beherrschen und schätzen.

Schwieriger wird der Einsatz von Lasern als Leitlinie, sobald die Bauachse gekrümmt ist. Es ist zwar theoretisch denkbar, durch geeignete optische Einrichtungen den Laserstrahl in Form eines Sehnen- oder Tangentenpolygons der projektierten Kurve entlangzulenken. Dieses Verfahren hat sich jedoch in der Praxis nicht bewährt. Für derartige Aufgaben hat sich der Lasertheodolit als geeignet erwiesen.

Als Lasertheodolit kann man einen Theodolit bezeichnen, dessen optische Ziellinie durch geeignete Kombination mit einem Laser sichtbar gemacht werden kann. Wild Heerbrugg offeriert dazu ein Spezialokular, das Laserokular GLO1, das mittels Bajonettverschluß anstelle des Standard-Fernrohrokulars eingesetzt wird. Derzeit ist dies möglich bei den Theodoliten T1 A, T16 und T2 sowie außerdem beim neuen Modell des automatischen Nivelliers NA2 und beim Präzisionsnivellier N3.

Als Lichtquelle für das GLO1 (Abb. 1) dient ein HeNe-Laser der amerikanischen Firma Hughes mit einer Ausgangsleistung von 3 mW. Der Laser ist über einen flexiblen Lichtleiter mit dem Okular verbunden, in dem sich, geschützt durch einen kunststoffbeschichteten Metallschlauch, die lichtleitende Glasfaser befindet. Im Falle des GLO1 werden sogenannte Einzelmodefasern verwendet, die speziell zur Nachrichtenübermittlung mittels Laserstrahlen entwickelt wurden. Sie haben einen Durchmesser von etwa 100 μm und einen sehr dünnen Kern von etwa 2 μm Durchmesser mit geringfügig größerem Brechungsindex als das Mantelmaterial. Der Vorteil dieser Faser besteht darin, daß das durch den Kern «strömende» Laserlicht seine wesentlichen Eigenschaften (Kohärenz und Grundschwingungstyp) beibehält.

Um möglichst die gesamte Strahlung in den Kern der Faser überzuführen, wird die Laserstrahlung mit einem kurz-brennweitigen Objektiv auf einen Fleck mit etwa 2 μm

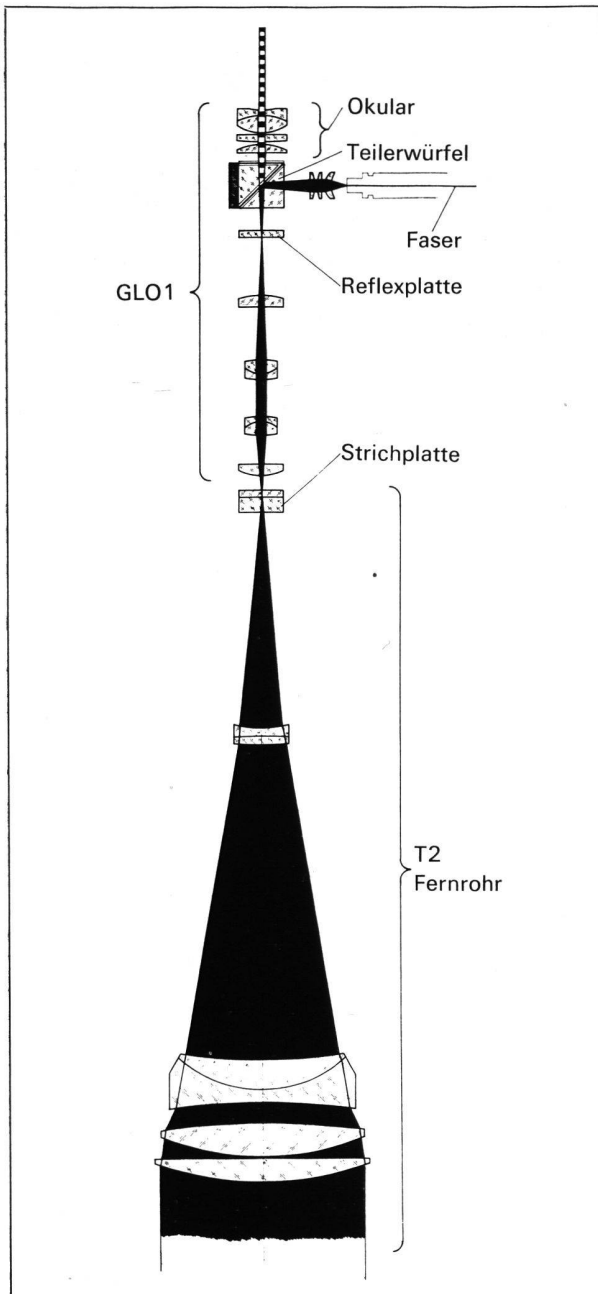


Abb. 2 Optikschemata des Laserokulars GLO1

Durchmesser fokussiert und auf die Eintrittsfläche der Faser abgebildet. Das okularseitig aus der Faser austretende Licht (Abb. 2) wird durch ein Objektiv über den Teilerwürfel auf die Vorderseite einer planparallelen Platte (Reflexplatte) fokussiert, von der etwa 1% reflektiert wird. Der reflektierte Teil des Laserlichts gelangt durch den Teilerwürfel hindurch in das Okular. Durch die Teilerschicht des Würfels und eine zusätzliche Schutzschicht auf der dem Okular zugewandten Seite des Würfels wird der reflektierte Anteil des Laserlichts nochmals um den Faktor 10^{-5} geschwächt, so daß der im Okular sichtbare Reflexpunkt eine für das Auge angenehme und ungefährliche Helligkeit besitzt. Die Teilerschicht des Würfels ist eine aus vielen dielektrischen Schichten aufgebaute Spiegelschicht mit der Eigenschaft, Licht der Laserwellenlänge von $633 \mu\text{m}$ mit über 90% zu reflektieren und gleichzeitig das übrige sichtbare Licht durchzulassen.

Ähnliches gilt für die Laserschutzschicht auf dem Würfel. Dadurch ist es möglich, daß der größte Teil des Laserlichts in das Fernrohr transportiert wird und gleichzeitig das Fernrohrsehfeld noch ausreichend hell ist. Das vom Teilerwürfel kommende und durch die Reflexplatte hindurchgehende Licht wird über ein Umkehrsystem in die Ebene des Fadenkreuzes fokussiert. Daher bildet das Fernrohr die Laserstrahlung immer in diejenige Ebene im Objektivraum ab, auf die das Fernrohr scharfgestellt ist. Beim Blick in das Okular sieht der Beobachter das anvisierte Objekt, das Fadenkreuz und den Reflexpunkt. Mit der Planverstellung des Lichtleiters am Laserokular läßt sich der Reflexpunkt auf Mitte Fadenkreuz zentrieren, so daß die Achse des aus dem Fernrohr kommenden Laserstrahlungsbündels genau in der Zielachse des Fernrohrs liegt.

Die bei präzisen Ausrichtarbeiten gefürchtete Richtungsinstabilität des Leitstrahls infolge Änderung der Richtung des Laserstrahls zum Lasergehäuse bleibt beim Laserokular ohne Einfluß. Beim GLO1 wird nämlich, bedingt durch die Konstruktion mit der Einzelmodefaser, bei einer Richtungsänderung des aus dem Laser austretenden Laserstrahls lediglich die durch die Faser transportierte Strahlungsleistung vermindert, nicht aber Austrittsort und Austrittsrichtung der Laserstrahlung am okularseitigen Faserende verändert. Das bedeutet, daß sich beim Laserokular Richtungsinstabilitäten des in die Faser fokussierten Laserstrahls nur als Schwankung der Ausgangsleistung am Fernrohr auswirken, was dem GLO1 für genaue Arbeiten eine hohe Zuverlässigkeit verleiht.

Im Frühjahr 1973 hatten die Autoren die Gelegenheit, den Lasertheodolit bei einer praktischen Aufgabe zu erproben. Es handelte sich um den Bau des Druckschachtes Mapragg der Kraftwerke Sarganserland. Verantwortlich für den Schachtbau war eine Arbeitsgemeinschaft der Firmen Schmalz AG, Bern, Kopp AG, Luzern, und Thyssen Schachtbau GmbH, Mülheim. Im Grundriß ist der Stollen gerade. Im Längenprofil jedoch verläuft er, von der Zentrale her gesehen, zuerst in einer Flachstrecke von 450 m Länge, geht dann über in einen Kreisbogen mit einem Radius von 120 m, bis er eine Neigung von 70% erreicht, die er über eine Länge von 840 m bis zum Wasserschloß beibehält. Laut Pflichtenheft war beim Vortrieb die projektierte Achse auf 5 cm genau einzuhalten.

Der Stollen mit einem Durchmesser von 4,2 m wurde vom Start weg mit einer «Tunnelfräse» der Firma Demag ausgebrochen. Zur Maschinensteuerung wurde in den Geraden ein Tunnellaser der Firma Stolz AG eingesetzt, der etwa 40 cm unter dem Stollenfirst montiert war. Hinter dem Bohrkopf der Maschine befand sich ein Selenzellengerät, das den auftreffenden Laserstrahl lokalisiert und in Steuerimpulse umwandelt. Dieses System hat sich in den Geraden sehr gut bewährt. Die nutzbare Reichweite des Tunnellasers in Kombination mit dem Selenzellengerät beträgt etwa 400 m, weshalb das aufwendige Neueinrichten des Lasers nur in Abständen von mehreren Wochen notwendig war. Besondere Maßnahmen waren beim Steuern der Tunnelfräse in der Vertikalkurve erforderlich. Die äußeren Abmessungen der Maschine erlaubten den freien Durchblick zum Bohrkopf nur in einem Abstand unter First von 20 cm bis 100 cm. Wegen der Fördereinrichtungen und der übrigen Installationen war außerdem der Abstand der Instru-

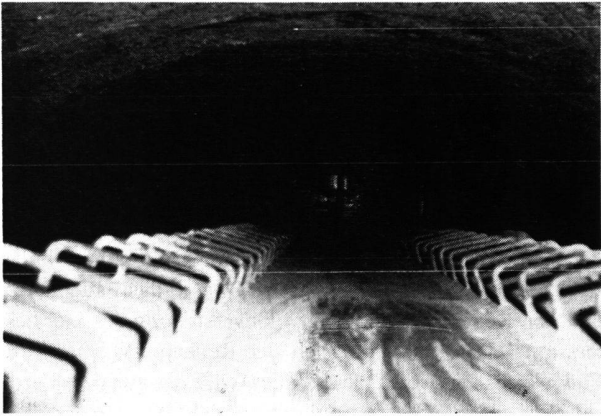


Abb. 3 Blick vom Führerstand Richtung Bohrkopf

mentenplattform vom First auf 120 cm begrenzt. Alle diese Begrenzungen und der Kurvenradius von 120 m beschränkten den größtmöglichen Abstand zwischen Instrument und Bohrkopf auf etwa 28 m. Da die Plattformen zudem erst hinter dem Führerhaus montiert werden konnten, ergab sich schließlich eine Vortriebsdistanz von nur 14 m, entsprechend etwa einer Tagesleistung, bei welcher dann das Instrument jeweils auf eine neue vorgeschobene Plattform umgesetzt werden mußte. Da das tägliche Umsetzen und Neu-einrichten eines Tunnellasers ohne Theodoliteigenschaften zu umständlich und zeitraubend gewesen wäre, wurde für die Vertikalkurve der Lasertheodolit eingesetzt. Dabei wurde auf die automatische Steuerung mittels Selenzellengerät verzichtet, da dies ein kontinuierliches Nachführen des Fernrohres erfordert hätte. Anstelle des Selenzellengerätes wurde eine 80 cm lange Latte mit Zentimereinteilung pendelnd derart montiert, daß sie unabhängig von der Neigung der Maschine immer vertikal (Abb. 3) hing. Die Lage des Lattenaufhängepunktes relativ zur tatsächlichen «Bohr-ebene» konnte aus den vermaßten Zeichnungen der Maschine entnommen werden.

In einem vertikalen Koordinatensystem wurden der Horizontalabstand und die Höhendifferenz der Lattenaufhängepunkte relativ zum Bogenanfang für Vortriebsintervalle von 40 cm auf einem elektronischen Tischrechner vorausberechnet.

Die definitiven Fahrprotokolle, also die jeweilige Soll-Höhe des Laserstrahls an der Latte in Abhängigkeit von der Vortriebsdistanz, ließen sich jedoch nicht vorausberechnen, da dazu erst die Lage und Höhe des Lasertheodolits und die Neigung des Fernrohres zu bestimmen waren, was immer erst nach der Montage einer Plattform möglich war.

Für die 72 m lange Kurve mußte der Lasertheodolit sechsmal umgesetzt werden, wobei im Einzelfalle wie folgt vorgegangen wurde:

- Montieren der Instrumentenplattform im Stollenfirst.
- Einfluchten einer Zielmarke im Theodolitendreifuß auf der neuen Plattform durch Richtungsübertragung von den hinteren Plattformen mittels Zwangszentrierung.
- Einmessen und Berechnen der Lage und Höhe der Kippachse des neuen Lasertheodolit-Standpunktes mittels Distanzmessung und trigonometrischer Höhenmessung.

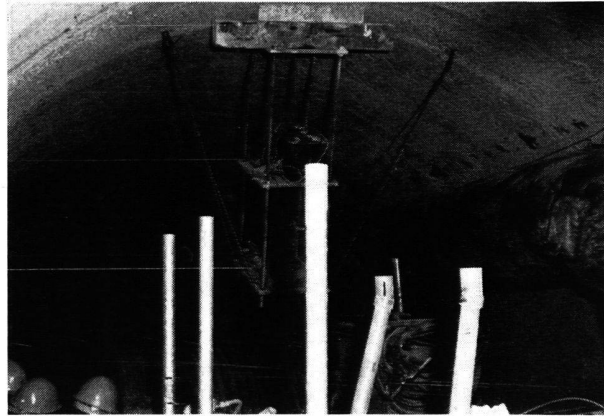


Abb. 4 Instrumentenplattform mit Lasertheodolit und Batterie

- Orientieren des Lasertheodolits im neuen Standpunkt nach den hinteren Plattformen und Einstellen der Vortriebsrichtung am Horizontalkreis.
- Einstellen der durch die Sichtbegrenzung maximal möglichen Neigung des Fernrohres und Ablesen des Vertikalkreises am Vertikalkreis.
- Berechnen und Erstellen des Fahrprotokolls, also der Soll-Höhen des Laserstrahls an der Latte in Abhängigkeit der Vortriebsdistanz.

Als wichtigster Punkt folgte darauf die Übergabe des Fahrprotokolls mit den notwendigen Erklärungen und Instruktionen an den Vorarbeiter. Der Maschinenführer konnte vom Führerstand aus die Latte mit dem hellen Laserpunkt bequem beobachten und führte dementsprechend die Steuerbefehle manuell aus. Für die laufende Bestimmung der Vortriebsdistanz genügte die Messung mit dem Doppelmeter.

Wichtiger als etwa die Einhaltung von Bautoleranzen ist bei derartigen Problemlösungen der wirtschaftliche Aspekt, im vorliegenden Falle also die Antwort auf die Frage: Mit welcher Lösungsvariante wird die durch die Vermessung bedingte Stillstandzeit der Maschine so kurz wie möglich? Mit der beschriebenen Lösung mit dem Lasertheodolit betrug der Zeitaufwand nach dem Montieren der neuen Plattform bis zur Übergabe des neuen Fahrprotokolls an den Maschinenführer zwei bis drei Stunden, wobei diese Zeit zum Teil durch Servicearbeiten an der Maschine ausgenutzt wurde. Bei Anwendung eines normalen Tunnellasers hätte die Stillstandzeit pro Standortwechsel etwa das Doppelte betragen.

Eine hinsichtlich Stillstandzeit dem Lasertheodolit gleichwertige Alternative wäre der dauernde Einsatz eines Beobachters an einem konventionellen Theodolit während des ganzen Kurvenvortriebs (Betrieb in drei Schichten). Rechnet man mit einer dafür erforderlichen Präsenzzeit eines Technikers von 150 bis 200 Stunden, so resultieren daraus Mehrkosten von 6000 bis 8000 Schweizer Franken, was etwa dem Kaufpreis einer kompletten Laserokularausrüstung entspricht. Daraus läßt sich schließen, daß eine solche Ausrüstung bereits bei einem derart kurzen Einsatz voll amortisiert wird.