**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:** 92 (1994)

**Heft:** 2

**Artikel:** Automatisierte polare Messsysteme : Technik und Anwendungen

**Autor:** Ingensand, H.

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-235044

**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:** 14.07.2025

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

# Automatisierte polare Messsysteme

## Technik und Anwendungen

*H. Ingensand*

**In den letzten 15 Jahren gab es weltweit verschiedene Entwicklungen zur Automatisierung der Detailaufnahme auf der Basis von elektronischen Tachymetern. Der 1982 von Prof. Matthias vorgestellte Topomat, der im Rahmen einer Zusammenarbeit von Hochschule und Industrie bis zu einem Prototyp entwickelt wurde, hat die aktuellen Entwicklungen nachhaltig beeinflusst und ist auch heute noch von seiner Konzeption als wegweisend zu bezeichnen. Auch wenn die rasanten Fortschritte und Leistungen des Global Positioning Systems (GPS) diese Entwicklungen, insbesondere im Bereich der Navigation von Schiffen, fast völlig ersetzt haben, ist in der Detailvermessung ein Nebeneinander und eine gegegenseitige Unterstützung beider Messtechniken vorhersehbar.**

***Au cours de ces quinze dernières années et sur la base des tachymètres électroniques, on a développé, partout dans le monde, divers systèmes d'automatisation des levés de détail. Le Topomat, présenté en 1981 par le professeur Matthias, a été conçu en prototype dans le cadre d'une collaboration entre l'EPFZ et l'industrie; il a durablement influencé les développements actuels et, aujourd'hui encore, sa conception sert de modèle. Même si les progrès fulgurants et les performances du système global de positionnement (GPS) ont presque complètement supplantés les développements en question, en particulier dans le domaine de la navigation maritime, on peut envisager, dans le cadre de la mensuration de détail, un cheminement parallèle et une combinaison des deux techniques de mesures.***

### Die Entwicklungen bis heute

Der Gedanke, Theodolite durch weitere Zusatzausrüstungen wie elektronische Zieleinrichtungen zu automatisieren, wurde bereits 1957 von Gigas [1] in Zusammenarbeit mit der Berliner Firma Askania mit dem sogenannten elektrischen Auge verfolgt. Leider war die Technik damals noch nicht so weit fortgeschritten, so dass man nicht über ein Versuchsstadium hinauskam.

Naheliegender waren evolutionäre Entwicklungsschritte für Theodoliten, indem zunächst die optische Teilkreisablesung durch elektronische Winkelabgriffe ersetzt wurde und später mit der Integration von elektronischen Distanzmessern fortgesetzt wurde. Ebenso sind seit Mitte der siebziger Jahre motorisierte theodolitähnliche Systeme mit automatischer Zielerfassung aus dem Spezialaufgabenbereich einer Überprüfung von Flugzeugnavigationsanlagen bekannt. Eines der bekanntesten Geräte ist das sogenannte MINILIR der Societé Anonyme de Telecommunication, welches verschiedentlich auch im küstennahen Bereich zur Bestimmung der Position von Spezialschiffen eingesetzt wurde. Mit ähnlicher Zielsetzung wurden im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 109 von der TU Hannover [2] ein selbstzielendes Tachymeter entwickelt. Das POLARFIX von Krupp Atlas wurde 1982 insbesondere für die Navigation von Vermessungsschiffen auf Binnenwasserstrassen konzipiert. Dieses Gerät ist inzwischen durch das sogenannte NAVITRACK der Firma Ibeo ergänzt worden. Alle diese Instrumente waren vorwiegend für Navigationsaufgaben konzipiert, die inzwischen fast völlig durch das Global Positioning System (GPS) substituiert worden sind. Zur Steuerung von Baumaschinen und Schiffen auf Binnengewässern wurde an der Universität Stuttgart ein System entwikkelt, welches auf dem WILD TM2000 mit aufgesetzter Detektorkamera basiert [4]. Als weitere Entwicklungen in den Anwendungsbereichen einer permanenten Überwachung von Deformationen und Hangrutschungen sind der GEOROBOT [5] und das TUMA System zur Steuerung von Tunnelvortriebsmaschinen TUMA [6] zu erwähnen. Für Messaufgaben im industriellen Bereich ist stellvertretend für ähnliche Systeme das Leica SMART 310 System als trackingfähiges System mit eingebautem Interfermometer zu nennen.

### Der Topomat

Wie schon der Name Topomat (TOPOs = [gr.] der Ort, autoMAT) sagt, geht die 1982 von Matthias vorgestellte Idee [7] in Richtung einer weiteren Automatisierung geodätischer Messsystene zur Erleichterung und Rationalisierung der Detailaufnahme. Mit dieser Veröffentlichung wird vor allem erstmals ein geschlossenes Konzept bestehend aus dem motorisierten Theodolit mit automatischer Zielerfassung, einem sogenannten Registrier- und Rechentablett und dem Zielpunktgerät beschrieben, ohne dass es zu diesem Zeitpunkt bereits eine technische Realisierung gab.

Das Pflichtenheft sah einen Arbeitsbereich von 3–300 Metern bei einer Punktgenauigkeit von 3–5 mm vor. Aus dieser Konzeptstudie ergab sich ein Projekt [9], welches 1988 mit einem Funktionsmuster abgeschlossen wurde, das die geforderten Anforderungen erfüllte. Als erstes Serieninstrument erschien 1990 das Geotronics System 4000, welches auch als One-Man-System bezeichnet wurde. Abgesehen von dem «Registrier- und Rechentablett» entsprach es dem von Matthias vorgestellten Konzept. Als neueste Entwicklung mit gleicher Zielsetzung ist das Theodolitsystem mit automatischer Zielverfolgung AP-L1 der Firma Topcon zu erwähnen, welches 1992 erstmals vorgestellt wurde. Die Leistungen der vorgenannten Systeme sollen in einer Tabelle gegenüber gestellt werden.

### Zielerfassungstechniken und ihre Problematik

Die Zielerfassungstechniken der verschiedenen Entwicklungen sind ein Spiegelbild des technischen Standes zum Zeitpunkt der Entwicklung. Bevor sogenannte positionsempfindliche Detektoren (PSD) entwickelt waren, wurden mechanisch-elektrische Verfahren eingesetzt, bei denen Teilbilder der Lichtquelle, die sich im Zielpunkt befindet, mittels einer Schwingblende zeitlich nacheinander abgebildet und verglichen [1]. Eine der interessantesten Lösungen ist der sogenannte Tracker des MINILIR. Bei diesem System rotierte eine Scheibe mit einem exzentrischen sternförmigen Muster vor einer lichtempfindlichen Zelle. Die Position des abgebildeten Lichtpunktes des Zieles wird bei horizontaler Bewegung in eine Phasenverschiebung und bei vertikaler Verschiebungsrichtung in eine Frequenzmodulation umgeformt.

Der Autor hat 1981 an der Universität Bonn auf der Basis elektronischer Tachymeter ein Verfahren zur Zieleinstellung nach dem Intensitätsmaximumprinzip entwikkelt [12], welches die Intensität des reflektierten Distanzmessersignales nutzt. Dieses Verfahren wird u.a. im WILD TM3000D zur Einstellung der Reflektoren während permanenter Deformationsmessungen erfolgreich eingesetzt.

Alle weiteren serienmässig hergestellten trackingfähigen Systeme basieren vorwiegend auf der 4 Quadranten- oder Lateraldiodentechnik [3]. Diese Technik ermöglicht zwar eine einfache Elektronik und ist zur Zeit noch digitalen Bildverarbeitungs-

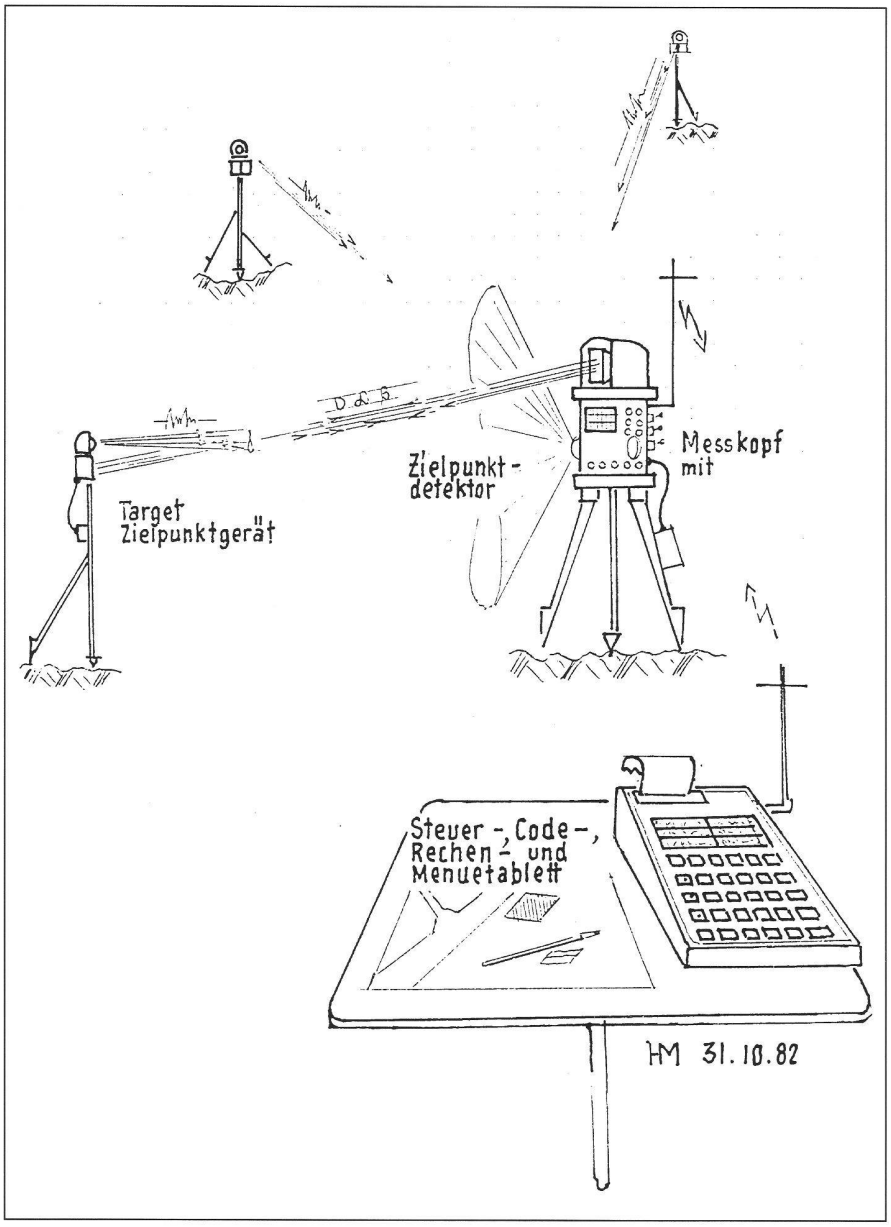



**Abb. 1: Systemkonzept «Topomat» [8].**

systemen hinsichtlich der Geschwindigkeit überlegen, hat jedoch den Nachteil, dass Reflexe nur unvollkommen erkannt werden. Das Geotronics System löst das Problem dadurch, dass vom Tachymeter aus ein zweiter Laserstrahl ausgesandt wird, der vom Prisma im Zielpunkt reflektiert wird und wiederum vom Instrument detektiert wird. Eine Messung wird als ungestört erkannt, wenn der direkte Strahl von der Zieleinheit (RPU) und der vom Prisma reflektierte Strahl empfangen werden. Das CCD-basierende Zielerfassungsverfahren des Topomat ist jedoch aus heutiger Sicht als richtungsweisend zu bewerten, da eine digitale Bildverarbeitung eine wesentlich zuverlässigere Erfassung und Interpretation eines durch Reflexe gestörten Zieles erlaubt [10].
Man wird sich nun fragen müssen, warum automatisierte polare Messsysteme nicht in grossen Stückzahlen verbreitet sind? Zum einen ist die in der Zwischenzeit sehr leistungsfähige zweite Generation der GPS Messtechnik zurückzuführen, die vor allem in offenem Gelände durch den kinematischen Mode den Wunschvorstellungen einer weiteren Automatisierung in der Vermessung nahe kommt. Die nächste Generation, das sogenannte Real-Time GPS, befindet sich zur Zeit bei allen GPS Herstellern in der Erprobungsphase und wird erstmals auch ein Abstecken von Punkten ermöglichen.
Andererseits hat das Topomatprojekt, wie auch die anderen Realisierungen gezeigt, dass die Probleme der Grobortung in einem halbkugelförmigen Suchraum noch nicht zufriedenstellend gelöst sind. Die sequentiellen Suchbewegungen (Scans) der aktuellen Systeme sind noch verbesserungsbedürftig, da sie zur Zeit noch vom Operateur unterstützt werden müssen. Dagegen ist die Feinzielung von allen Systemen gelöst. Die Punktgenauigkeiten, wie sie vom Aufgabenbereich der Detailvermessung gefordert werden, sind erreichbar.
Generell gilt ebenso für Theodolit- oder GPS basierende Systeme, dass in Hausecken, unter Dächern und Bäumen, d.h. in den Fällen, in denen das spezifische Messverfahren nicht funktioniert, entsprechende «Zielpunktempfänger» oder Verfahren entwickelt werden müssen, die auch in diesen Bereichen eine Messung ermöglichen. Für theodolitbasierende Systeme ist der sogenannte Zielstab mit mehreren übereinanderliegenden Reflektoren ein brauchbarer Lösungsansatz.

## Systemkonfiguration von automatisierten geodätischen Messsystemen

Alle automatisierten Systeme im geodätischen Bereich, einschliesslich der GPS basierenden Systeme, zeigen grundsätzlich drei wesentliche Hauptkomponenten, wie sie bereits im ersten Topomatkonzept [6] beschrieben wurden:

*A) Die Referenzstation*

sei es der fixe GPS Empfänger oder ein motorisiertes Tachymeter eines selbstzielenden Messsystems

| | TOPOMAT | GEOTRONICS | TOPCON |
|---|---|---|---|
| Messbereich | 3–300 m | 3–500 m | 4–400 m |
| Messzeit (Feindetektion) | 10 s | 3–5 s | 3 s |
| Genauigkeit (Feindetektion) | 2–5 mm | 5 mm | 10 mm |
| Feindetektion | CCD | 4-Quad. | 4-Quad. |
| Grobsuche | eigenes System Scan | Scan | Scan |
| Reflexerkennung | Bildverarbeitung | 2. Strahl | n. bekannt |

**Tab. 1: Vergleich der Leistungsmerkmale.**

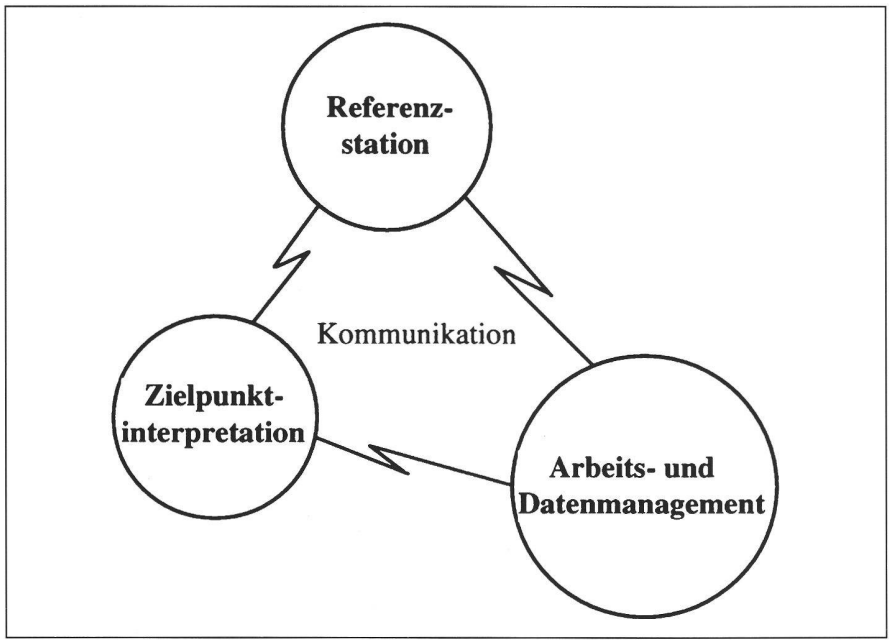



**Abb. 2: Systemkonfiguration von automatisierten geodätischen Systemen.**

*B) Der Zielpunktempfänger*

in der Form des mobilen GPS Empfängers oder des Reflektors auf einem entsprechenden Zielstab zum Interpretieren und Signalisieren des Messobjektes

*C) Die «Feld Intelligenz»*

in der Form eines feldtauglichen portablen Rechners mit graphischer Darstellungs- und Bearbeitungsmöglichkeit.

Alle drei Komponenten tauschen Daten und Befehle untereinander aus, wobei die Art und die Aufgaben der Kommunikation in Abhängigkeit von den Systemkomponenten differieren. So ist es bei einem GPS basierenden System der Austausch der GPS spezifischen Informationen. Bei einem polaren Messsystem wird es in Zukunft neben den vektoriellen Informationen Richtung und Distanz die zusätzliche Übertragung des Videobildes des automatischen Zieldetektionssystems sein. Die dazu notwendigen Kommunikationsmedien wie z.B. Funkübertragung sind zur Zeit weniger ein technisches Problem, als ein Problem der Beschränkungen durch Vorschriften in einzelnen Ländern.

## Automatisierung im Zeitalter von GPS

Im Zeitalter der GPS Messtechnik wird man sich von der Vorstellung lösen müssen, dass nur spezifische Messverfahren für eine Automatisierung prädestiniert sind. Es ist in der Detailvermessung prinzipiell ohne Bedeutung, mit welchen Messverfahren – Theodolit, GPS oder Inertialsystem – die geometrische Informationen wie z.B. Koordinaten bestimmt werden. Der Hauptumfang der Messtätigkeit besteht zunehmend in einer Interpretation der Messpunkte und dem Daten- und Arbeitsmanagement. In naher Zukunft wird man einen Teildatensatz des übergeordneten Rauminformationssystems (GIS/LIS, etc.) im Feld präsent haben wollen, um diese Informationen vor Ort zu bearbeiten und zu ergänzen.

Hier kommt der graphischen Darstellung und Bearbeitung, wie sie aus der Zeit des Messtisches bekannt ist, eine grosse Bedeutung zu. Die Kombination von Handriss, Skizze, Feldbuch und Karte auf einem elektronischen Datenträger mit einer einheitlichen geodäsiebezogenen Datenstruktur in einer portablen, leistungsfähigen Datenbank sind die Forderungen der nächsten Jahre. Teilfunktionen davon sind heute in Theodoliten oder Datenerfassungsterminals vorhanden, sie sind jedoch mehr oder weniger an die firmenspezifische Hard- und Software gekoppelt.

Neuere Entwicklungen der Computerindustrie zeigen erste Ansätze, die alle die vorgenannten Forderungen hinsichtlich der Hardware und der Betriebssystemsoftware erfüllen könnten. Sogenannte Pen-Based-Systeme, d.h. Laptop ähnliche, tragbare Computer, die mit einem Stift bedient werden können, lassen sich als eine Fortsetzung zum «elektronischen Messtisch» verstehen, von dem die Messensoren wie GPS, automatisierte Tachymeter oder andere zukünftige Instrumente gesteuert werden. Der Gedanke des «Registrier- und Rechentabletts» des Topomatkonzepts steht damit vor der Realisierung.

Neben den vorgenannten Entwicklungen der Computerindustrie ist mit einer weiteren Miniaturisierung eine Kombination von GPS und automatisierten polaren Messsystemen denkbar.

Die polare Messstation positioniert sich zunächst mittels Freier Stationierung zu Festpunkten oder auch durch sequentielles Anmessen des mobilen GPS Empfängers, der mit einem Reflektor ausgerüstet ist. Ebenso ist eine Verbindung polare

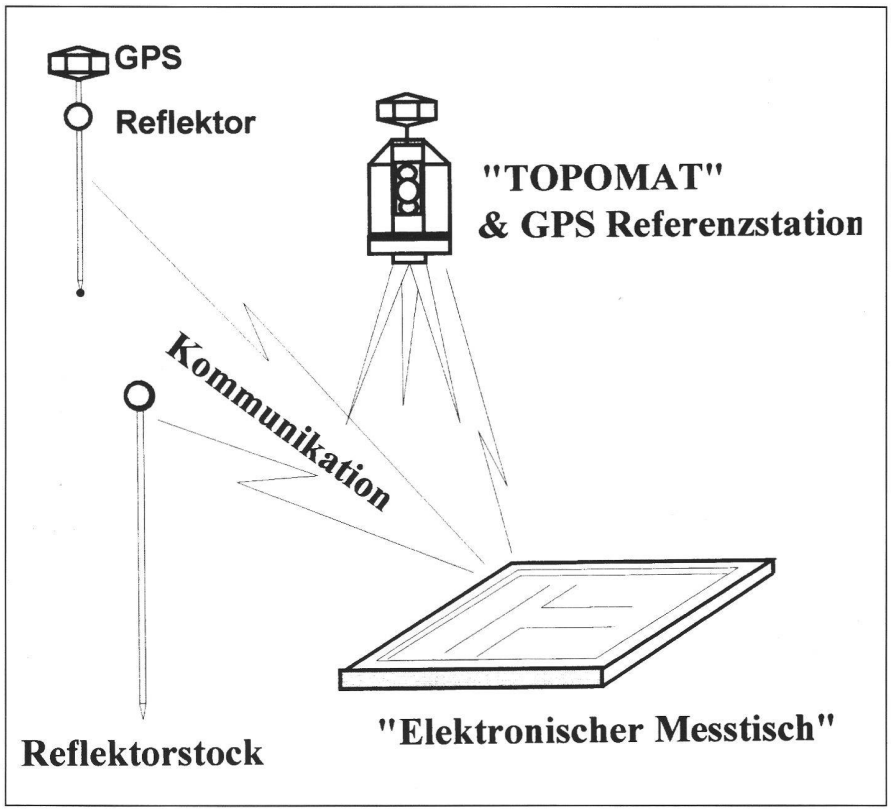



**Abb. 3: Die Kombination von «Topomat» und GPS.**

Messstation und GPS Empfänger denkbar, der nach der Positionsbestimmung als Fixstation des GPS Messsystems dient. Danach ist ein simultanes Aufnehmen und Abstecken in den für die jeweilige Messtechnik optimalen Bereich eines Projektes denkbar.

## Schluss

Das Topomatkonzept mit digitaler Bildverarbeitung hat auch heute noch im Zeitalter von GPS seine Berechtigung im Bereich der Detailaufnahme und Absteckung sowie bei Spezialaufgaben. Die anstehenden technischen Probleme der Grobortung müssen jedoch weiterverarbeitet und gelöst werden. Die Kombination verschiedener Messtechniken in einem System, bei dem der «elektronische Messtisch» zur führenden Hauptkomponente eines automatisierten Messsystemes wird, ist vorhersehbar. Die heutigen Messinstrumente wandeln sich dann zu austauschbaren Sensoren, die je nach Aufgabe und Umgebungsbedingungen eingesetzt werden.

*Literatur:*


[1] Gigas, E., Ebeling, K.: Elektrisches Auge. DGK, Reihe B, Nr. 51, Frankfurt 1957.

[2] Kahmen, H.: Elektronische Tachymeter und Messroboter. Vermessungskunde, Berlin, New York 1993, S. 211–224.

[3] Krzystek, P.: Theoretische und experimentielle Genauigkeitsuntersuchungen für ein optisches Positionsmesssystem zur hochgenauen Vermessung von bewegten Objekten. DGK, Reihe C, Nr. 363, München 1990.

[4] Kahmen, H.: Surveillance de zones de glissements et de modifications tectonique. Le système tachéométrique GEOROBOT à visée automatique. Vermessung, Photogrammetrie und Kulturtechnik. Heft 3, 1987, S. 99–101.

[5] Jakobs, E.: Die Bau- und Vermessungsarbeiten für den Kanaltunnel Dover-Calais. Der Vermessungsingenieur, Heft 4, 1989, S. 120–129.

[6] Matthias, H.: Der Topomat. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik. Heft 4/82, S. 123–125.

[7] Matthias, H.: Robot Systems; Techniques Applications and Metamorphic Effects on the Profession. Paper No. 507. FIG XIX International Kongress Helsinki, Finnland, 1990.

[8] Matthias, H.: Der Roboter-Theodolit Topomat. Technik, Anwendungen und Auswirkungen auf den Beruf. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik. Heft 8/91, S. 427–431.

[9] Celio, T.: Der Topomat, Schlussbericht, Zürich 1988 (unveröffentlicht).

[10] Schneuwly, B., Celio, T.: Der Topomat, ein Vermessungsroboter. X. Internationaler Kurs für Ingenieurvermessung, München 1988, Beitrag Nr. A 8.

[11] Sippel, K., Rüeger, J.: Automated surveying: The arrival of Surveying Robots. Proceeding, 33 rd Australian Surveyors Congress, 6–10 April 1991, Albury-Wodonga, Paper No. 4, 12 pp.

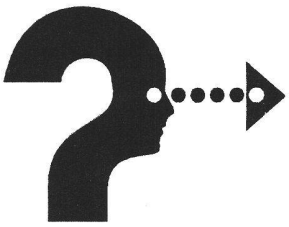
[12] Ingensand, H.: Ein Beitrag zur Entwicklung eines elektronischen Tachymeters mit automatischer Richtungsmessung. Forum 4/81, S 186–192. Die Weiterentwicklung der automatischen Zieleinstellung nach dem Intensitätsmaximumprinzip und Entwicklung eines elektromechanischen Stativs für ein «beobachterloses» elektronisches Tachymeter. Forum 4/83, S. 212–223.

[13] Ingensand, H., Kampmann, G.: Die intelligente Freie Stationierung im WILD TC1610. «Erste Schritte zur Expert Intelligenz» im Felde.



Prof. Dr. Hilmar Ingensand
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie
ETH Hönggerberg
CH-8093 Zürich





**Wohn- und Büroeinrichtung / Bürotechnik**
- K + E Vertretung (LEROY, HERCULENE, STABILENE etc.)
- Fax- und Kopiergeräte, allgem. bürotechn. Geräte / Systeme

**Vermessungstechnik**
- Laser- und Nivelliergeräte
- Kabellichtlote / Längenmessgeräte
- allgem. Vermessungszubehör

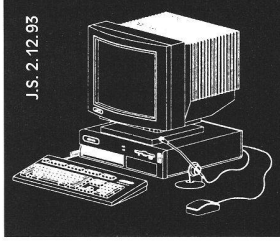
**Wernli & Co**

Telefon 064 - 81 01 75
Fax 064 - 81 01 76

Dorfstrasse 272
5053 Staffelbach

ab Lager ab Fr. 2194.- COMPAQ

COMPAQ Deskpro XE
Die Business PCs der Superlative



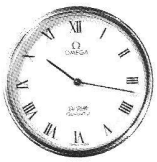
J.S. 2.12.93

teleprint tdc SA
COMPUTER PERIPHERIE

Grubenstrasse 107
3322 Schönbühl/BE
Telefon 031/859 73 73
Fax 031/859 73 76

Industriestrasse 2
8108 Dällikon
Telefon 01/844 18 19
Fax 01/844 51 77

Wer aufhört zu werben, um Geld zu sparen,



könnte genauso seine Uhr stehen lassen, um Zeit zu sparen.