

**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:** 89 (1991)

**Heft:** 8

**Artikel:** Der Roboter-Theodolit Topomat : Technik, Anwendungen und Auswirkungen auf den Beruf

**Autor:** Matthias, H.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-234597>

### **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:** 20.02.2025

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

## Der Roboter-Theodolit Topomat Technik, Anwendungen und Auswirkungen auf den Beruf

H. Matthias

An der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich hat eine interdisziplinäre Forschungsgruppe in Zusammenarbeit mit der Industrie einen Roboter-Theodolit entwickelt. Solche Instrumente der Zukunft brauchen nicht bedient zu werden. Sie detektieren die Zielpunkte selbsttätig, bestimmen deren Koordinaten in einem beliebigen Koordinatensystem und übermitteln die Resultate an einen beliebigen Ort in situ und/oder in eine Informatikzentrale. Im nachstehenden Aufsatz werden die Technik, mögliche Anwendungen und die metamorphischen Kräfte derartiger Roboter auf unseren Beruf behandelt.

*A L'Ecole Polytechnique Fédérale de Zurich, un groupe de recherche interdisciplinaire – en collaboration avec un partenaire de l'industrie – a développé un théodolite-robot. De tels instruments sont capables de travailler sans opérateur. Ils détectent eux-mêmes automatiquement les points à relever, en déterminent les coordonnées dans un système quelconque et les transmettent à un endroit choisi, sur place ou vers un centre informatique. Cet article présente la technique développée pour ces instruments, des exemples d'application et les conséquences probables de l'apparition de ces robots sur les activités de la profession.*

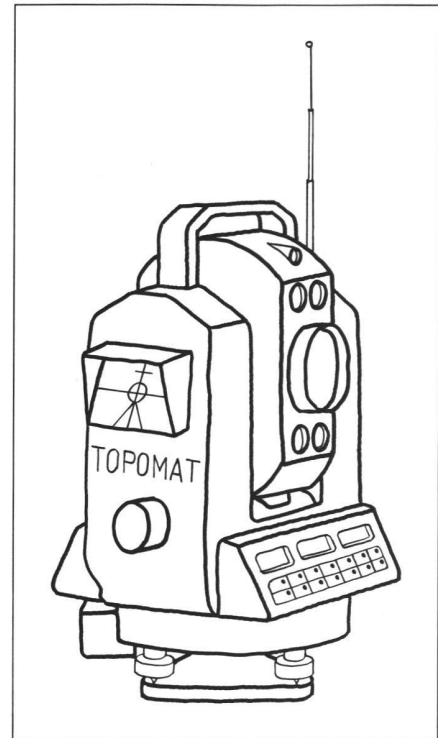


Abb. 3: Topomat 1 –  $[5 \times 10^2]$  [m].

### Die Systemauslage

Die Messassistenten sind mit Zielpunktgeräten ausgerüstet und beziehen der Reihe nach alle Aufnahmepunkte nach Anweisungen des Aufnahmeleiters. Die Zielpunktgeräte bestehen aus einer Standlatte, einem – zumeist wahrscheinlich – optischen Reflektor und einem kleinen Sender. Bei letzterem wird es sich um ein optoelektronisches Gerät handeln, das modulierte Signale in einem relativ grossen Raumwinkel sendet und das der Assistent für einen kurzen Moment nach dem Stationsbezug einschaltet. Untereinander sind Topomat, Aufnahmeleiter, Messassi-

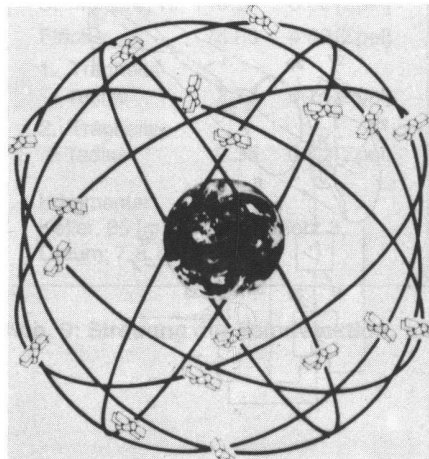


Abb. 2: Satellitenpositionierung  
 $[5 \times 10^2]$  –  $[5 \times 10^6]$  [m].

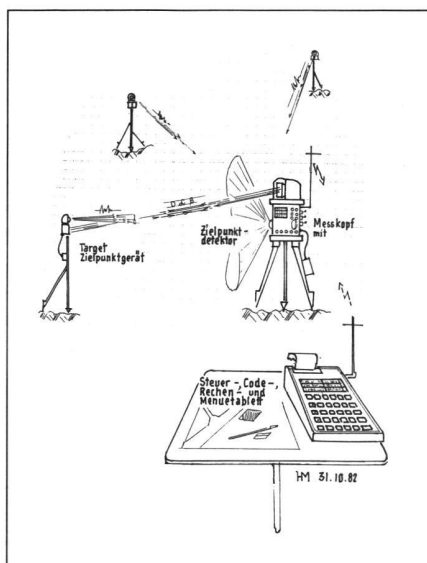


Abb. 1: Systemauslage.

stenten und eventuell eine entfernte Verarbeitungszentrale durch ein telematisches System miteinander verbunden. Auf dem Stationspunkt ist der Topomat aufgestellt. Dieser ist durch verschiedene besondere Eigenschaften gekennzeichnet. Er kann sowohl ganz selbsttätig, automatisch arbeiten als auch von einem Operateur direkt bedient werden sowie fernübertragene Anweisungen empfangen. Die von ihm ermittelten direkten Messgrössen sind in herkömmlicher Weise horizontale Richtungen, Höhenwinkel, Raumdistanzen. Die Mikroprozessoren des Topomaten vermögen darüber hinaus natürlich auch verschiedenste indirekte Messgrössen zu editieren, insbesondere durch

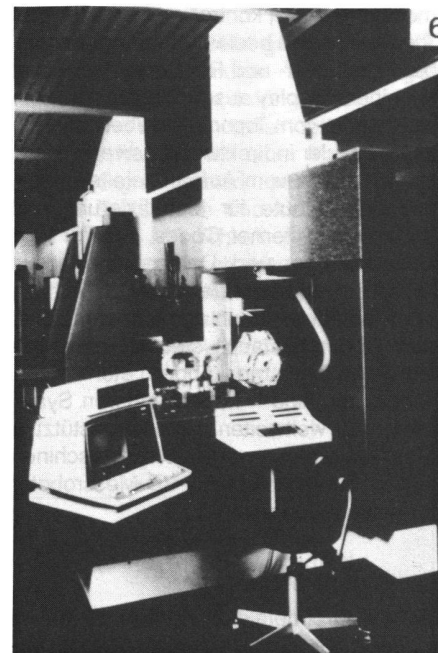
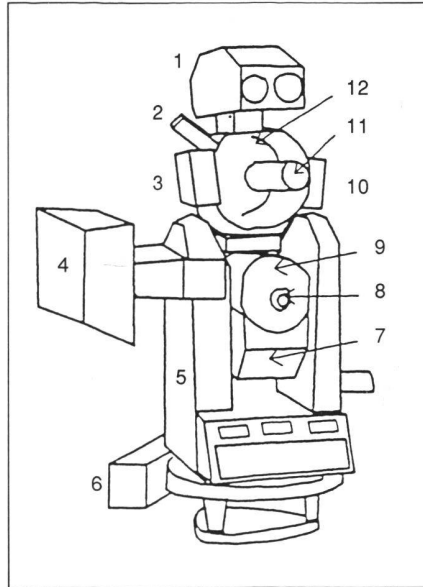
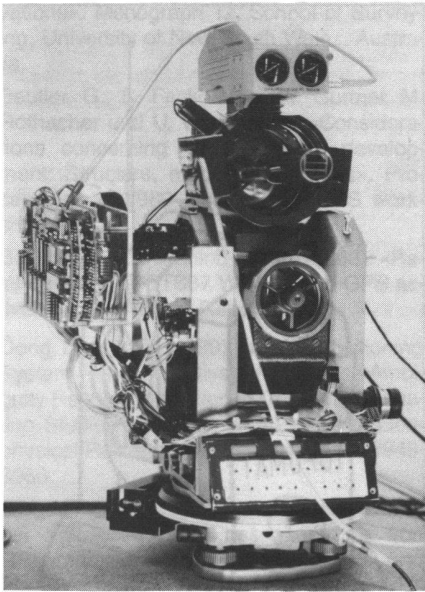


Abb. 4: 3D Koordinaten-Messsystem  
 $[1 \times 10^{-6}]$  – 1,5 [m].

eine provisorische oder definitive Lagerung (Ursprungskoordinaten, Orientierung, Metrik) gekennzeichnete Koordinaten oder gerichtete Koordinatendifferenzen in einem Projektions- oder beliebigen geodätischen System sowie Gebrauchshöhen oder gerichtete Höhendifferenzen. Der Topomat sucht die Zielpunkte selbsttätig auf. Dabei ist ihm z.B. der Sender des Zielpunktgerätes behilflich. Er kann bewegliche Ziele kontinuierlich verfolgen



- 1 Distomat DI 1000
- 2 Motor zum Umschalten, horizontale/vertikale Grobdetektion
- 3 Treiberstufe f. Lasersender
- 4 Elektronik des T 2000
- 5 T 2000, motorisiert
- 6 Motor für azimutale Drehung
- 7 Fokussierung
- 8 Sender für Feinddetektion
- 9 Feinddetektion für Fernrohr mit CCD-Kamera
- 10 Empfängerelektronik für Grobdetektion
- 11 Lasersender
- 12 Spiegeloptik mit umschaltbarer Blende für Grobdetektion

Abb. 5: Topomat Funktionsmuster. Die Bilder zeigen eine generelle Ansicht der verschiedenen Module.

und die Messwerte in beliebig definierten Intervallen editieren. Der Standort des Aufnahmeleiters ist frei. Er weist die Messassistenten an, führt und konstruiert die Vermessungsakten, kontrolliert bisweilen den Topomaten und bedient das programmierbare Registrier- und Rechentablett. Es ist mit einem Display ausgerüstet. An diesem werden die vom Topomaten übertragenen direkten oder indirekten Messwerte angezeigt, sodann vom Aufnahmeleiter eingegebene Attribute für Identifizierung und Verknüpfung, ferner Codes, z.B. für Weiterbearbeitung und Datenablage sowie Zwischen- und eventuell Schlussresultate. Vom Tablett aus kann der Aufnahmeleiter den Topomaten auch steuern, abstellen, aktivieren, Messmodi ändern etc. Topomaten sind – neben anderen Systemen, z.B. weltweiten satellitengestützten Messsystemen und 3D-Messmaschinen in der Feinwerktechnik – 3D-Messroboter für mittlere Distanzen.

## Die Grobdetektion

Bei der Grobdetektion werden Infrarotimpulse einer rechteckförmigen Diode mittels einer anamorphotischen, sphärisch-zylindrischen Optik als vertikaler Fächer in

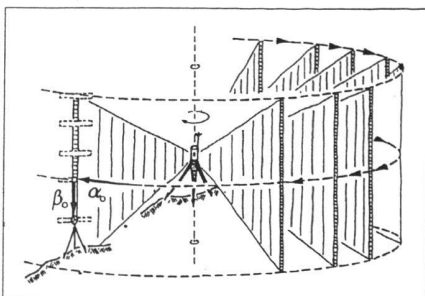
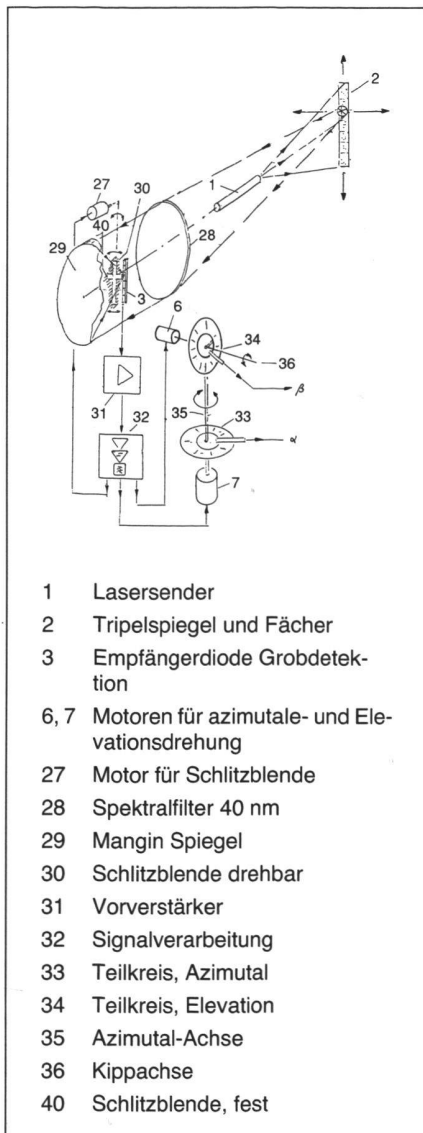


Abb. 6: Prinzip der Grobdetektion.



- 1 Lasersender
- 2 Tripelspiegel und Fächer
- 3 Empfängerdiode Grobdetektion
- 6, 7 Motoren für azimutale- und Elevationsdrehung
- 27 Motor für Schlitzeblende
- 28 Spektralfilter 40 nm
- 29 Mangin Spiegel
- 30 Schlitzeblende drehbar
- 31 Vorverstärker
- 32 Signalverarbeitung
- 33 Teilkreis, Azimutal
- 34 Teilkreis, Elevation
- 35 Azimutal-Achse
- 36 Kippachse
- 40 Schlitzeblende, fest

Abb. 7: Auslegung der Grobdetektion.

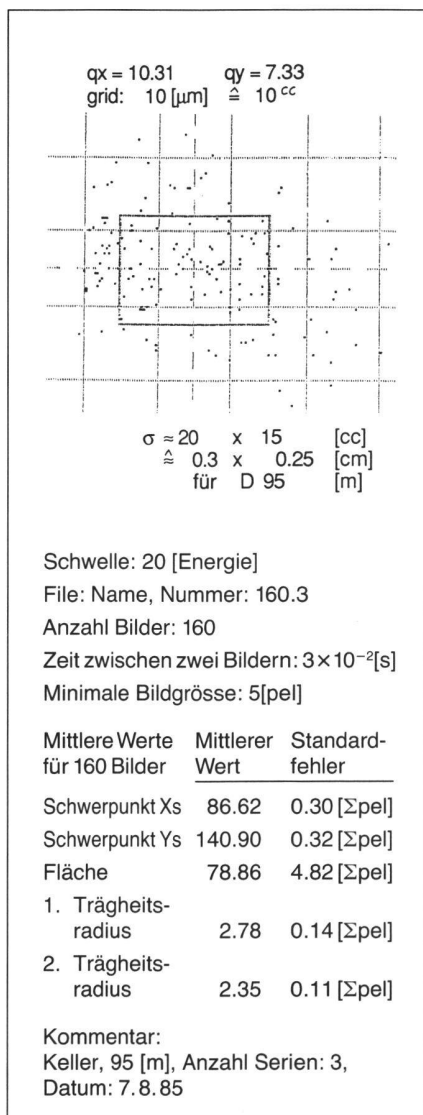
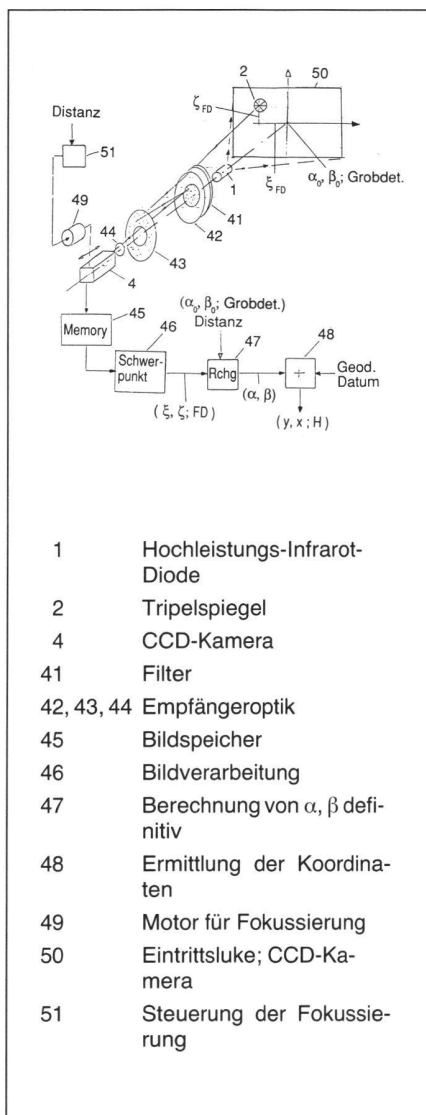
den Raum geworfen. Motorisch angetrieben, scant dieser Fächer rundherum über den Horizont oder nur in der Umgebung eines per Funk übermittelten Sektors. In dem Moment, wo auf den irgendwo positionierten Reflektor Energie auftritt, sendet er diese vollumfänglich zum elektrooptischen Empfängersystem des Topomaten zurück. Das verstärkte und verarbeitete Signal stoppt den horizontalen Antrieb. Nun erfolgt der vertikale Scanvorgang in ähnlicher Weise bei feststehender horizontaler Richtung. Die Schlitzeblende im Empfänger wird in die horizontale Lage gedreht und kippt mit dieser über den vertikalen Fächer herunter, bis das Reflektorsignal auch diesen Antrieb stoppt.

## Die Feinddetektion

Nach der automatischen Feststellung der Näherungswerte  $\alpha_0$ ,  $\beta_0$  an den Teilkreisen erfolgt die Feinddetektion. Sie umfasst die automatische elektrooptische Distanzmessung (Impulslaufzeit oder Phasemessung) und die Verbesserung der Näherungswerte  $\alpha_0$ ,  $\beta_0$ . Dazu wird die Eintrittspupille der Senderoptik über den Reflektor und die Empfängeroptik auf den Array einer CCD-Kamera abgebildet. Mit Bildverarbeitung (z.B. Schwerpunktbildung) erfolgt die Berechnung der Ablageverbesserung gegenüber der Zielachse des Systems.

## Genauigkeit

Mit dem Funktionsmuster wurden Genauigkeitsuntersuchungen dreierlei Art gemacht: alles 3-D. Die sehr erfreulichen Ergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden:



Relative Reproduzierbarkeit in der Grobdetektion horizontal und vertikal  
 $\Delta_{\max} \approx 100$  [cc]

Relative Reproduzierbarkeit in der Grob- und Feindetektion horizontal und vertikal  
 $\Delta_{\max} \approx 3$  [cc]

Absolute geodätische Genauigkeit in der Grob- und Feindetektion Distanz bis zu 300 m  
 horizontal    q < 1 [mm]  
 vertikal      q ≈ 1 [mm]

Abb. 8: Auslegung der Feinddetektion.

Abb. 9: Streuung der Feinddetektion.

### Das Pegeldiagramm

Als das eigentliche «Sine qua non» von derartigen Theodolitrobotern kann die Beherrschung der Energieverhältnisse bezeichnet werden. Erläuterung des Pegeldiagramms: Gemeint ist einerseits die Transformation der durch die Natur und technischen Rohdaten vorgegebenen Energiewerte in eine der Metrologie zugängliche Energiebilanz zwischen den Nutzsignalen und den Rauscheffekten. Andererseits ist die sehr grosse Dynamik der Nutzsignale infolge Turbulenz gemeint. Die Mittel, die dafür zur Verfügung stehen, sind mechanischer, optischer und elektronischer Art. Mit einer Massnahme wird das Signal verstärkt, in allen anderen werden Störsignale und das Rauschen nach bester Möglichkeit gemindert. Es handelt sich um mechanische Blenden in Sender(n) und Empfänger(n), optische Interferenzfilter, elektronische Filter nach Massgabe der Impulslaufzeit und der Im-

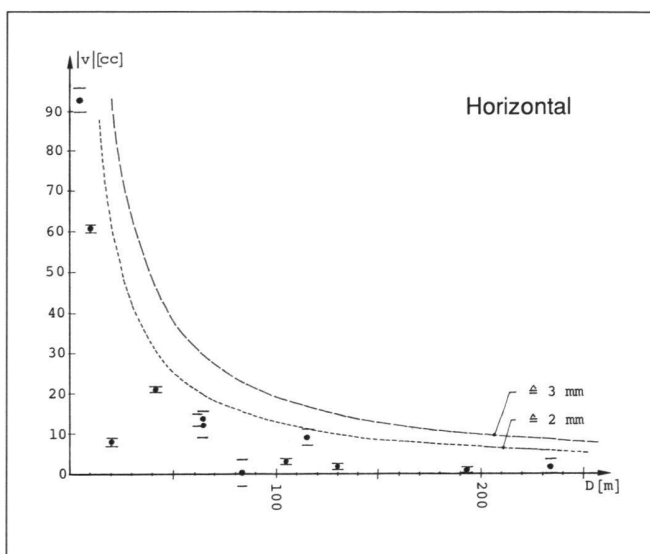


Abb. 10: Absolute Genauigkeit horizontal.

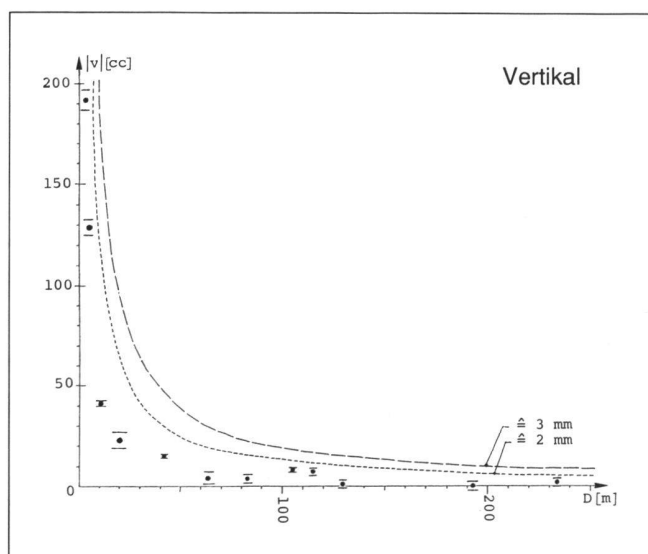


Abb. 11: Absolute Genauigkeit vertikal.

Messbereich:	Distanz:	3–300 [m]
	Azimet:	360 [°]
	Elevation:	$\pm 11$ [°] schrittweise bis $\approx \pm 75$ [°]
Messgenauigkeit: ( $2\sigma$ bis $3\sigma$ )	Distanz:	5 [mm] (DI 2000)
	Quer:	Grobdetektion 6 [mgon] ( $\triangleq 10^{-4}$ rad $\triangleq 3$ [cm] in 300 [m]) Feindetektion 0,6 [mgon] ( $\triangleq 10^{-5}$ rad $\triangleq 3$ [mm] in [300 m])
Messgeschwindigkeit:	Grobdetektion:	$\approx 100$ [ms/grad]
	Feindetektion:	$\triangleq 36$ s pro Umdrehung $\approx 10$ s
Identifikation:	Vertikale Anordnung von 2 Spiegeln (8 Stellungen in je 1 cm Abstand)	

## Technische Daten des Laborinstrumentes.

pulslänge sowie einen distanzabhängigen nicht linearen Signalprozessor.

### Lasersicherheit

Die «Accessible Emission Limits» (AEL) schreiben Maximalwerte für die flächenbezogene impulsartige Energie sowie für die gleichermassen definierte mittlere Leistung vor, welche dem Auge zugänglich sein darf. Die Energie- und Leistungsspitzen liegen beim Topomat und der jetzigen Betriebsart von 4 kHz innerhalb der Normwerte 3 A. Diese sind durch die Merkmale «nicht gefährlich bei blossen Auge, gefährlich bei optisch bewaffnetem Auge» gekennzeichnet. Bei Laserbetrieb mit 10 kHz, was eigentlich wünschenswert wäre, müsste Hand in Hand eine Reduktion der Länge der Sendeimpulse von 40 auf 20 ns erfolgen.

## Anwendungen

Ein derartiges System wird natürlich auch für Stückvermessungen aller Art, für die Ingenieurvermessung und in der Industrie von ausserordentlicher Bedeutung sein und vielerlei Methoden ändern sowie neue ermöglichen; z.B. die Einmannvermessung.

### Metamorphische Kräfte auf unseren Beruf

Die Ansätze zu Professionalismus (Ausbildung, Prüfungen mit anerkanntem Fähigkeitsausweis, Weiterbildung, Berufsstrukturen, Berufsorganisation, Rechtsgrundlagen, Fachnormen, Honorarnormen, Öffentlichkeitsarbeit) fallen in unserem Beruf und in unserem Land (und weit darüber hinaus) in den Beginn der zweiten Hälfte

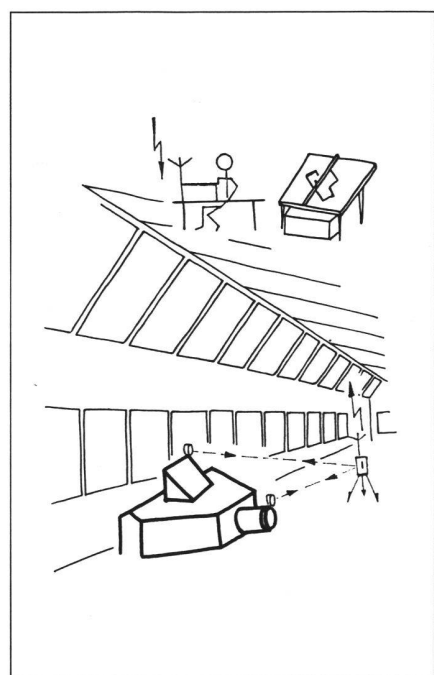
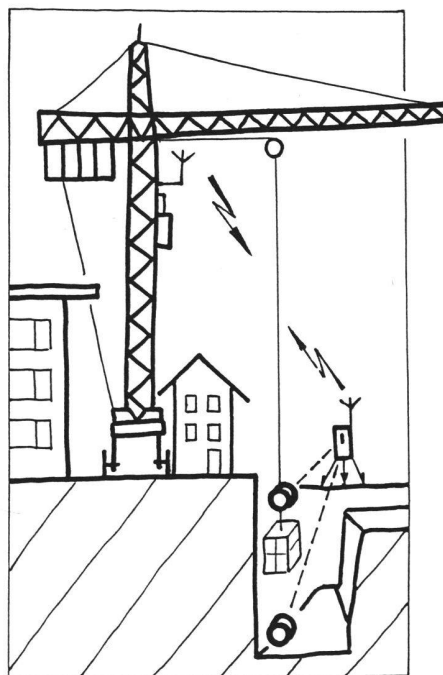
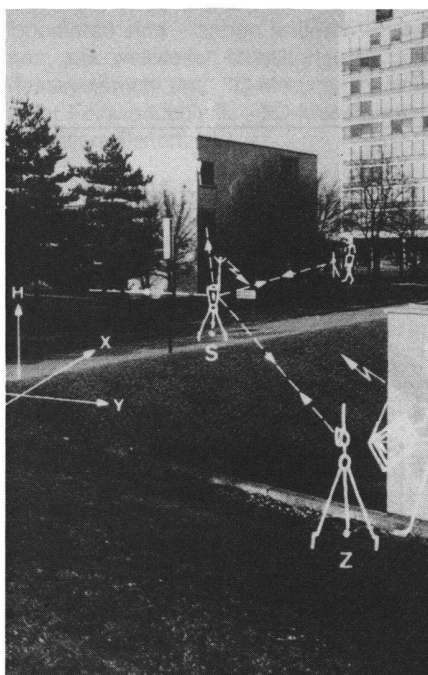
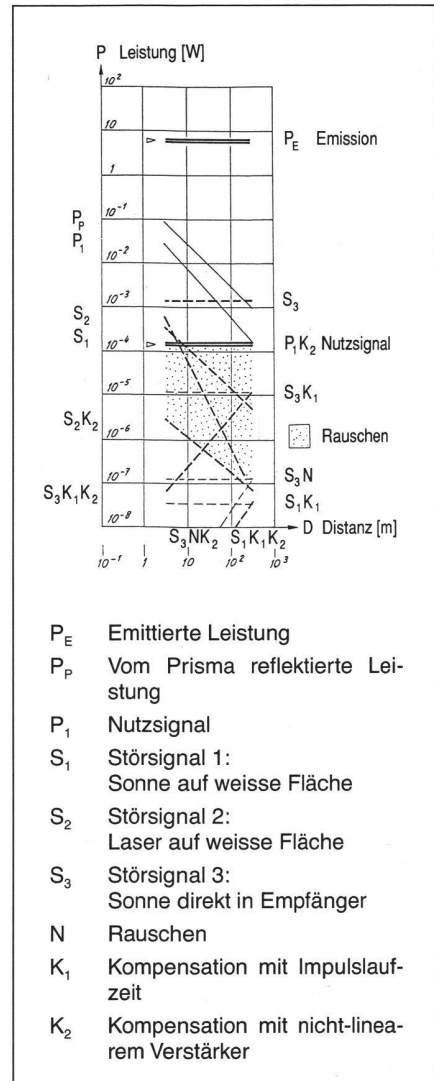


Abb. 13–15: Anwendungen.

## Forschungsteam

### Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETHZ

Prof. Dr.  
H. Matthias Grundidee, Vorsitz  
des Teams  
P. Herter Geodätische  
Messungen  
E. Bischof Buchhaltung

### Celio Engineering SA

Dr. T. Celio Technische Leitung,  
Entwicklung von Sy-  
stemkomponenten  
Lasersender  
Opto-Elektronik  
Patentredaktion

## Institut für Elektronik, ETHZ

Prof. Dr.  
W. Guggenbühl Wissenschaftliche  
Leitung Elektronik  
B. Schneuwly Realisierung  
E. Hiltbrand Opto-Elektronik  
T. Gunzinger Bildverarbeitung  
A. Morbach Modulsteuerung  
P. Aschwanden Patentrecherche

## Wild-Leitz AG

A. Spiegel Motorisierter  
Theodolit  
F. Königslehner Distanzmesser  
Dr. B. Gächter Optikrechnung  
R. Wenk Konstruktion  
Dr. K. Hildebrand Modulbau

den und qualifizierenden Inhalte können nun mehr und mehr weitgehend von Topomaten, Computern und Plottern übernommen werden. Damit wird das Landvermessen – Können und Geschäft – gegenüber dem früher sehr eng abgesteckten Kreis von Vermessungsinsidern weit geöffnet. Weitere, bisher aussenstehende Berufsgruppen und Individuen verschiedener Ausbildungsstufen werden sich im Landvermessen erfolgreich betätigen können. Es wird neue Firmen geben. Bisher ausschliesslich anders orientierte Firmen werden sich auch dieser Sparte zuwenden. Auftraggeber können die früher bestellten Werke selber beschaffen. Die Konkurrenz nimmt zu, Betriebseinheiten mit effizienterem Know-how, besserer Organisation – einschliesslich Ausstattung – und besserer Führung werden im Geschäft sein.

des 19. Jahrhunderts. In der Folge zeichneten sich die Vermessungsfachleute dadurch aus, dass sie A) im Feld mit einfachen Instrumenten bei jedem Wetter und

zu allen Jahreszeiten mit System, genau, zuverlässig und rasch die Daten numerisch und graphisch erheben, B) das Datenmaterial mit einfachen Mitteln rasch und zuverlässig überprüfen und hernach numerisch verarbeiten und C) den graphischen Output in höchster Perfektion von Hand anfertigen konnten. Wesentliche dieser berufskennzeichnen-

Adresse des Verfassers:

Prof. Dr. H. Matthias  
Institut für Geodäsie u. Photogrammetrie  
ETH-Hönggerberg  
CH-8093 Zürich

Das Projekt ist an der Nationalen Forschungsausstellung HEUREKA 1991 ausgestellt.



Rec/Elta

## Bestehen Sie auf fortschrittliche Tachymetrie



### Technische Daten

	Rec Elta 2	Rec Elta 3	Rec Elta 4
<b>Genauigkeiten</b>			
<b>Winkelmessung:</b>	Hz: 0,2 mgon/0,6" V: 0,2 mgon/0,6"	0,5 mgon/2" 0,5 mgon/2"	1 mgon/3" 1 mgon/3"
<b>Distanzmessung:</b>	2 mm + 2 ppm	3 mm + 3 ppm	3 mm + 3 ppm
<b>Reichweite</b> mit 1 Prisma maximal	1800 m 6000 m	1600 m 5000 m	1000 m 4000 m
<b>Kompensator</b> Typ		Zweiachskompens.	Zweiachskompens. Einachskompens.
<b>Registrierung</b>		austauschbarer Datenspeicher Mem E: nicht flüchtiger Speicher ohne Pufferbatterie; Datensicherheit mind. 1 Jahr; Speicherkapazität ca. 2000 Datenzeilen; on-line über Schnittstelle RS 232 C	
<b>Stromversorgung</b>	Betriebszeit ca. 8 Std.		
<b>Sensoren</b>	zur automatischen Erfassung von Luftdruck und Temperatur		
<b>Gewicht</b>	5,9 kg (inkl. Batterie)		
	Änderungen in Ausführung und Lieferumfang vorbehalten.		

Ich möchte Genaueres über die fortschrittliche Tachymetrie der

- Rec Elta 2  
 Rec Elta 3  
 Rec Elta 4 erfahren.

**Geo-Astor**

Postfach  
8840 Einsiedeln  
Telefon 055/53 40 76