

**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:** 83 (1985)

**Heft:** 9: Sonderheft zum Rücktritt und 70. Geburtstag von Prof. Dr. Dr. h. c. H. H. Schmid

**Artikel:** H. Schmid und das PAGEOS-Weltnetz

**Autor:** Rinner, K.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-232606>

### **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:** 14.01.2026

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

# H. Schmid und das PAGEOS-Weltnetz

K. Rinner

## 1. Vorbemerkung

Der Name des Jubilars, Prof. DDr. Ing. e. h. Hellmut Schmid, ist für alle Zeiten mit dem geodätischen Weltnetz PAGEOS (passiver geodätischer Satellit) verbunden. Denn von ihm stammt die faszinierende Idee einer weltumfassenden Triangulation mit Hilfe von Satelliten, er hat die Konstruktion des PAGEOS und den Bau einer Aufnahmekammer angeregt und überwacht. Er hat die Berechnungsverfahren konzipiert und entwickelt. Schliesslich hat er mit Captain Swanson die Durchführung der Messungen geplant und überwacht, und er hat auch die Berechnungen geleitet und interpretiert.

Um den Beitrag des Photogrammeters H. Schmid zum PAGEOS-Weltnetz würdigen zu können, erscheint es notwendig, erst auf die Situation der Geodäsie vor dem Aufkommen der Satelliten einzugehen und dann den Weg zu betrachten, der H. Schmid zum PAGEOS-Weltnetz geführt hat. Daraus wird sich die bemerkenswerte Tatsache ergeben, dass im PAGEOS-Weltnetz ein höchstentwickeltes photogrammetrisches Verfahren Anwendung fand und mit diesem eine Pionierleistung in der Erdmessung erbracht werden konnte. H. Schmid gebührt somit auch das Verdienst, zwischen verschiedenen Disziplinen der Vermessung eine Brücke geschlagen und die Bedeutung und Notwendigkeit des von ihm vertretenen Messingenieurs in allen technischen Disziplinen bestätigt zu haben.

## 2. Über die Bedeutung der Satellitengeodäsie

Seit Anbeginn hat die Geodäsie die Aufgabe, die geometrische Form der Erdoberfläche und der darauf befindlichen künstlichen und natürlichen Objekte zu bestimmen und diese in Karten, Plänen, Verzeichnissen und digitalen Modellen darzustellen. Dazu kommt die Einteilung der Erdoberfläche und die Absteckung von technischen Projekten als Grundlage für die wirtschaftliche Erschliessung und Nutzung sowie die Einrichtung eines globalen, die nationalen Grenzen überschreitenden geodätischen Referenzsystems. Da für diese Aufgaben auch die Kenntnis des Schwerfeldes der Erde notwendig ist, gehört auch die Bestimmung der Parameter des Schwerfeldes zu den geodätischen Aufgaben. Schliesslich soll die Geodäsie auch die zeitlichen Veränderungen ihrer Aussagen erfassen. Aus

dieser Aufzählung folgt, dass der Geodäsie geometrische und physikalische (gravimetrische) Aufgaben übertragen sind.

Vor dem Start der Satelliten konnten für die Lösung dieser Aufgaben nur geometrische, astronomische und gravimetrische Messdaten benutzt werden, welche zwischen oder auf Punkten der Erdoberfläche ermittelt wurden. Es sind dies Richtungen, Winkel und Strecken als geometrische Daten, astronomische Längen, Breiten und Azimute als astronomische Daten und die Schwerkraft und ihre Ableitungen als physikalische Daten. Mit diesen Daten können geometrische, astronomische und gravimetrische Systeme und kombinierte Verfahren für die Lösung der geodätischen Aufgaben gebildet werden. Die astronomischen und die geometrischen Verfahren der Triangulation und Trilateration sind jedoch nur auf den Kontinenten ausführbar, die gravimetrischen Verfahren jedoch mit verminderter Genauigkeit auch auf den Ozeanen. Daher führen nur kombinierte geometrische und gravimetrische Verfahren zu einem geodätischen Weltsystem. Wegen der Ungenauigkeit der Messungen auf den Ozeanen ist die damit erreichbare Genauigkeit jedoch nicht befriedigend. Da aus Gründen des weltweiten Verkehrs, aus wirtschaftlichen, militärischen und auch aus wissenschaftlichen Forderungen ein dringendes Bedürfnis für ein genaues, globales Vermessungssystem vorliegt, bestand nach 1950 eine empfindliche Lücke zwischen den gestellten Anforderungen und den Möglichkeiten der Geodäsie.

Diese Lücke wurde durch die nach dem 4.10.1957 erfolgten Start des ersten Satelliten Sputnik 1 entstandene Satellitengeodäsie geschlossen. Gleichzeitig ergaben sich dadurch neue, faszinierende Möglichkeiten und Techniken, welche zu einer Erhöhung der Genauigkeit, einer Erweiterung der Vollständigkeit und einer Verkürzung der Zeit führte, in welcher die geodätischen Aussagen erbracht werden können. Zur Satellitengeodäsie werden nun alle jene geodätischen Verfahren gerechnet, bei welchen künstliche Satelliten als Träger von Zielen oder/und von Sende-, Empfangs- oder Messeinrichtungen verwendet werden. Dabei wird der Satellit entweder als Hochziel angesehen oder als Körper, der sich nach den Newtonschen Bewegungsgesetzen im Schwerfeld der Erde bewegt.

Zwischen den terrestrischen Punkten und bestimmten Positionen des Satelliten werden (in der Regel geometrische) Messdaten ermittelt. Es sind dies elektromagnetische Entfernungen, aus Dopplerfrequenzen oder aus interferometrischen Verfahren folgende Entfernungsdifferenzen sowie Richtungen, welche durch photographischen Anschluss mit oder ohne Zeitmessung im erd- oder himmelfesten astronomischen Äquatorialsystem orientiert sind. Ausserdem können die Höhen des Satelliten über dem Meer (Altimeterhöhen) sowie Entfernungsdifferenzen zwischen Satelliten und Schwereableitungen ermittelt werden.

Jede Messgrösse, welche von einem terrestrischen Punkt nach einem Satelliten gemessen wird, gibt Anlass zu einer Beobachtungsgleichung, in welcher die dreidimensionalen (3D) euklidischen Koordinaten des terrestrischen und des Satellitenpunktes enthalten sind. Werden letztere mit Hilfe der Bewegungsgleichung durch die Parameter (Kugelfunktionskoeffizienten) des Schwerepotentials ausgedrückt, so folgt daraus eine Gleichung, in welche sowohl die Koordinaten des terrestrischen Punkte als auch die Parameter des Schwerepotentials, also die geometrischen und die gravimetrischen (physikalischen) Unbekannten des Problems auftreten. Erfolgen jedoch die terrestrischen Messungen nach Satelliten in geeigneten Gruppen simultan, so kann die Elimination der Koordinaten der Satellitenpunkte und damit auch der Schwereparameter erfolgen. In diesem Fall wird eine Trennung von geometrischen und gravimetrischen Unbekannten durchgeführt und ein Gleichungssystem erhalten, in welchem nur Koordinaten als Unbekannte auftreten.

Da im erstgenannten Verfahren die Newtonschen Bewegungsgleichungen benutzt werden, wird es als dynamisch bezeichnet. In die Berechnung können alle Messdaten, also auch nicht simultane Daten, eingeführt werden. Das Verfahren vermittelt die allgemeine Lösung, also den Vektor der zum Erdschwerpunkt orientierten geometrischen Daten (Koordinaten) und den Vektor der gravimetrischen Daten (Koeffizienten der Kugelfunktionsentwicklung). Nachteilig ist jedoch, dass die zugehörigen Cofaktoren- und Korrelationsmatrizen durch Annahme eingeführt werden müssen und dadurch das Ergebnis beeinflusst wird.

Das zweite genannte Verfahren liefert nur die geometrischen Unbekannten (Koordinaten der terrestrischen Punkte) und die Matrix ihrer Cofaktoren; es ist einfach auszuführen, ausser der Refraktion werden keine physikalischen oder gravimetrischen Annahmen eingeführt. Das Ergebnis ist im erd- oder himmelsfesten Äquatorialsystem (zum mittleren Pol und zum mittleren Meridian von Greenwich) orientiert, nicht aber zum Erdschwerpunkt. Als Messdaten können nur simultane Beobachtungen verwendet werden. Daher sind besondere Instrumente und Beobachtungsverfahren für die sich rasch bewegenden Ziele erforderlich. Aber auch die Zentrierung exzentrischer Messungen ist theoretisch denkbar.

Nach diesen Betrachtungen ist es nicht verwunderlich, dass in der ersten Zeit der Satellitengeodäsie Geodäten das besonders einfache und durchsichtige geometrische Verfahren gepflegt haben. Das dabei benutzte euklidische 3D-Richtungs- und Streckennetz war den Geodäten vertraut und führte ohne Voraussetzung zur geometrischen Form und zur astronomischen Orientierung der Erde. Wohl auch aus diesem Grunde befasste sich der Photogrammeter und Geodät H. Schmid trotz vielfacher Erfolge anderer Techniken wie SECOR und Doppler mit diesen Verfahren und wurde dadurch zum PAGEOS-Weltnetz geführt.

Doch sei erwähnt, dass die erste geodätische Nutzung des ersten Satelliten Sputnik 1 von Professor Buchar, Prag, durch Berechnung der Erdabplattung aus Bahnbeobachtungen, also nach dem dynamischen Prinzip, erfolgte. In der Folgezeit wurden ausschliesslich dynamische Verfahren zur Bestimmung von Erdmodellen benutzt. Die zunehmende Kenntnis der Korrelationen zwischen geometrischen und physikalischen Daten sowie die Verbesserung der Genauigkeit der Messdaten und die Vermehrung ihrer Anzahl hat zu einer Verfeinerung der geodätischen Aussagen geführt. Die Koordinaten eines Systems von etwa 40 Fundamentalpunkten wurden laufend verbessert, die Anzahl der Koeffizienten der Kugelfunktionsentwicklung laufend vermehrt. Aus den zu Beginn der Satellitengeodäsie bekannten drei- bis fünf zonalen Koeffizienten sind nun mehrere tausend Koeffizienten der allgemeinen Entwicklung geworden, in einer vorgesehenen Neuberechnung sollen es etwa 30 000 sein.

Das PAGEOS-Weltnetz hat zu dieser Entwicklung die Kenntnis der Fehlerstruktur des geometrischen Anteils erbracht und damit Hinweise für die Kenntnis der Fehlerstruktur des physikalischen Teiles und der Korrelationen zwischen beiden gegeben.

### 3. Der Weg von H. Schmid zum PAGEOS-Weltnetz

H. Schmid wurde 1914 in Dresden geboren, besuchte dort die Volksschule und die Höhere Schule, leistete dort nach dem 1934 erreichten Abitur die studentische Arbeitsdienstpflicht ab und begann im gleichen Jahr das Studium des Vermessungswesens an der Technischen Hochschule in Dresden. Bereits in dieser ersten Etappe seiner Ausbildung war die Liebe zu den Bergen ein wesentliches Motiv für sein Handeln. Die Kletterei im Elb-Sandstein-Gebirge und die Skitouren im Riesengebirge stellten hohe Anforderungen an den jungen Schüler, die er durch hartes, systematisches Training neben seinen Schulverpflichtungen zu bewältigen lernte. Bereits in dieser Zeit war die Freude an der Leistung und der Überwindung von Widerständen erkennbar, beide spornten ihn zu neuen Leistungen im geistigen und sportlichen Wettbewerb an. Seine schulischen Leistungen waren gut, seine Lehrer bedauerten jedoch manchmal das zu geringe Interesse an ihren Fächern und sahen in der Hinwendung zu den Bergen einen fehlerhaften Einsatz seiner Begabungen. Für H. Schmid jedoch folgte daraus eine gegenseitige Anregung zwischen der geistigen und psychischen Betätigung und Leistung im Sinne des *«mens sana in corpore sano»* von Juvenal.

Auch die Entscheidung zum Studium des Vermessungswesens ist auf die in diesem Fach vermutete Aktivität in der Natur zurückzuführen. Während des in der regulären Zeit von vier Jahren 1938 absolvierten Studiums fand H. Schmid viel Zeit für die Ausübung seiner alpinen Liebhaberei. Im Sommer war er in den steilen, hohen Wänden der mitteleuropäischen Alpen, im Winter an ihren Skihängen und Hochtouren öfter zu sehen als an der Hochschule. In extremen Klettereien und in Skiwettbewerben (Abfahrt, Langlauf und Sprunglauf) brachte er es zu Meisterwürden. H. Schmid wurde deshalb und auch wegen seiner Studienleistungen von seinen Kollegen und seinen Lehrern sehr geschätzt.

Obwohl er einen wesentlichen Teil seiner verfügbaren Zeit der sportlichen Betätigung widmete, waren seine fachlichen Leistungen über dem Durchschnitt. Sein klarer Verstand suchte den Grund der Dinge oder den Gipfel, von dem aus die Zusammenhänge sichtbar werden. Seine Aussagen waren daher immer gut begründet, seine wissenschaftliche Denkweise wurde durch das sportliche Erleben gestärkt und förderte umgekehrt seinen sportlichen Fortschritt. Er lernte die Härte des sportlichen Wettbewerbes um den Sieg kennen und übertrug diese auf seine fachlichen Aktivitäten.

Mit dem 1938 erworbenen Diplom strebte er eine Betätigung im, oder wenigstens in der Nähe des alpinen Bereichs an und bewarb sich daher um eine Stellung in der österreichischen (damals ostmärkischen) Hauptvermessungsabteilung in Wien. Um die hierfür gestellten Vorbedingungen nach photogrammetrischen Kenntnissen zu erfüllen, wurde er Assistent bei Prof. Hugershoff an der TH Dresden und promovierte, trotz bergsteigerischer Hochleistungen, im Jahre 1941 mit einer Arbeit über Probleme der Luftbildtriangulation langer Streifen.

Im Anschluss daran wurde er der Heeresversuchsstelle Peenemünde zugeteilt, in welcher die Entwicklung der deutschen Raketenwaffen erfolgte. Hier wurde H. Schmid mit der Durchführung der vielfältigen Vermessungen betraut, welche bei der Entwicklung der deutschen Raketen, insbesondere der später als V2 bezeichneten Rakete, auftraten. Hier hatte er Gelegenheit, seine geodätischen, photogrammetrischen und mathematischen Kenntnisse sowie seine messtechnische Begabung voll einzusetzen. Hier entwickelte er neue Verfahren der Flugbahnvermessung mit dem Kinotheodolit und mit einem von ihm vorgeschlagenen Präzisions-Phototheodolit, und hier lernte er auch ein vom Fernmeldetechniker Prof. Wolmann entwickeltes Dopplerverfahren kennen. In Peenemünde war damals ein Stab hervorragender Wissenschaftler und Ingenieure tätig, unter denen sich auch Wernher von Braun befand. Hier erhielt der junge Doktor viele Anregungen und konnte seine eigenen Ideen zur Diskussion stellen. Hier lernte er den von den Professoren Hopmann und Lohmann bereits 1943 gemachten Vorschlag kennen, Richtungen nach einem Flugobjekt durch photographischen Anschluss an das System der Fixsterne zu bestimmen. Ein Verfahren, das auch in der 1947 von Väisälä publizierte Stellartriangulation enthalten ist und später von H. Schmid in verfeinerter Form auch im PAGEOS-Weltnetz verwendet wurde. Auch Verfahren der Kreiselsteuerung von Raketen und die Positionierung durch Dopplermessungen, die von Prof. Wolmann entwickelt und erstmals angewendet wurde, konnte H. Schmid studieren.

Die von H. Schmid mit dem Kinotheodolit durchgeführte geodätische und die mit dem Phototheodolit erfolgte photogrammetrische Flugbahnbestimmung führte zu dreidimensionalen (euklidischen) Bestimmungsverfahren, in der Regel zum räumlich orientierten Vorwärtsschnitt. Die Berechnungen hierfür wurden mit Tischrechnern ausgeführt. H. Schmid musste hierbei auch Fähigkeiten als Koordinaten-Manager entwickeln. Die hohe Zielgenauigkeit

der V2-Raketen war ein Beweis für die Richtigkeit und Güte auch seiner Arbeit als Wissenschaftler, Ingenieur und Manager.

Nach Kriegsende wurde H. Schmid mit einer von Wernher von Braun geleiteten Gruppe von Wissenschaftlern und Technikern aufgefordert, nach den USA zu gehen und dort erst in Fort Bliss in Texas und dann auf dem ersten US-Raketenschiessplatz White Sands in New Mexico zu arbeiten. Dort war er erst als Leiter der Gruppe für die Vermessung von Flugbahnen tätig, mit dem Ziel, die in Peenemünde gewonnenen Erfahrungen und Ergebnisse zu rekonstruieren und für die US-Armee bereitzustellen. Trotz der für deutsche Nachkriegsverhältnisse bevorzugten Behandlung war H. Schmid mit dieser Tätigkeit des Repetierens nicht befriedigt. Er strebte eine Stelle an, die höhere Anforderungen an seinen wachen, regen, mit Erfahrungen und Wissen und Tatendrang geladenen Geist stellte und auch seine wissenschaftlichen Ambitionen befriedigen konnte. Er fand diese 1950 in den Ballistic Research Laboratories (BRL) und dem zugehörigen US Army Aberdeen Proving Ground in Maryland. In dieser für die Vermessung weittragender Geschossbahnen zuständigen Dienststelle stellte H. Schmid eine aus Mathematikern, Elektro- und Mechanik-Ingenieuren bestehende Gruppe zusammen. Im BRL waren auch die Pioniere der elektronischen Datenverarbeitung, Prof. Neumann und Prof. Wiener, beratende Mitarbeiter. Dieser Gruppe stand ein leistungsfähiges Rechenzentrum zur Verfügung, dessen mit Röhren betriebene Computer Zimmer füllten und heute wie Ungetüme aus grauer Vorzeit anzusehen sind. Mit diesen konnten aber die komplizierten Berechnungen für weite Flugbahnen wesentlich rascher als mit gut organisierten Handmaschinen durchgeführt werden. Dies war Anlass zu neuen Theorien, Mess- und Auswertverfahren. H. Schmid hatte sich mit dieser Gruppe einen ähnlichen Mitarbeiterstab wie in Peenemünde geschaffen, der aber in der Rechenleistung weit überlegen war.

Hier konnte die von ihm bereits früh erkannte Überlegenheit der photogrammetrischen Methode gegenüber dem Kinotheodoliten voll ausgenutzt werden. H. Schmid entwickelte strenge Formelsysteme für die Grundaufgaben der analytischen Photogrammetrie, für die Orientierung von Aufnahmen und für die Rekonstruktion von Bahnkurven und Objekten. Auf seine Anregung und unter seiner Leitung entstanden genauere und leistungsfähigere Geräte für die Aufnahme und die Auswertung, wie die ballistische Wild Kammer BC4 und der Präzisions-Stereokomparator Wild STK1.

Im BRL erlebte H. Schmid 1957 die Schockwirkung und Herausforderung der US-Wissenschaftler, Techniker und Militärs durch den Start von Sputnik 1 und 2. Für ihn war dies Anlass, über den Einsatz von Satelliten für die Durchführung geodätischer Aufgaben, insbesondere der Schaffung eines Weltnetzes, nachzudenken. Als Folge seiner Aktivitäten wurde er 1962 wissenschaftlicher Berater des Direktors der «US Army Geodesy, Intelligence, Mapping Research and Development Agency». Dort konnte er seine Chefs und Mitarbeiter von der Möglichkeit und der Notwendigkeit eines weltweiten geodätischen dreidimensionalen Kontrollnetzes überzeugen. Sein Vorschlag einer geometrischen, optischen Stellartriangulation wurde angenommen und in der Folge auch vom US-Verteidigungsministerium unterstützt. Um seinen Vorschlag ausführen zu können, wurde H. Schmid 1963 wissenschaftlicher Berater des Direktors des US Coast and Geodetic Survey und 1966 Direktor für Forschung und Entwicklung im gleichen Amt. In diesen Funktionen wurde er mit der wissenschaftlichen und technischen Verantwortung für das zum nationalen geodätischen Satellitenprogramm erklärte Projekt betraut.

H. Schmid hat auf dem Weg zu diesem hohen Amt Erstaunliches geleistet. Vom dienstverpflichteten, rechtlosen Angehörigen eines besiegten Landes ist er zum Leiter eines grundlegenden, weltweiten Projektes aufgestiegen, das für die Wissenschaft und Praxis sowie für das Militär von grosser Bedeutung war und von den USA, dem Sieger, als Prestigeprojekt zur Wiederherstellung des angeschlagenen Vertrauens in die eigene Kraft angesehen wurde. Dieser Weg war durch harte Arbeit, ernsthaftes Studium und Ringen um Erkenntnis unter schwierigen Anfangsbedingungen und die Gabe, dieses verständlich zu machen, durch seine Ausdauer bei Verhandlungen sowie durch seine Redlichkeit, durch seine sportliche Kondition und auf die auch in harten Diskussionen durchbrechende Herzenswärme und Einsicht gekennzeichnet. Durch das glückliche Zusammentreffen dieser Eigenschaften konnte er unter vielen Tausenden von privilegierten Bewerbern zum Ziel gelangen.

Während seiner Tätigkeit im BRL und im Coast and Geodetic Survey habe ich ihn mehrfach besucht. In seinem Haus, auf Spaziergängen, im Amt und am Flugplatz diskutierten wir über die faszinierenden vorliegenden fachlichen Aufgaben für Photogrammeter und Geodäten. Seine gründlichen Untersuchungen zum PAGEOS-Netz regten mich an, Grazer Studien über «Systematic investigations of network in space» auszuführen. Diese enthielten

ihn interessierende Ergebnisse. Sogar vom Flugzeug aus wurde der Gedankenaustausch manchmal noch schriftlich fortgesetzt.

Gast in der Familie Schmid zu sein, war nicht nur fachlich, sondern auch menschlich ein Gewinn. Fest in das ländliche Leben seines Wohnsitzes eingebunden, von seiner Frau bestens betreut und unterstützt, auch die Aufgaben des Tages ohne Hast bewältigend, immer hilfsbereit, war die Familie ein hochgeschätzter Stützpunkt. In ihrem Heim wirkte europäische Kultur und Wohlbehagen, amerikanische Technik wurde benutzt, aber herrschte nicht. Hier holte sich H. Schmid einen Teil der Kraft, die er in seinem beruflichen Leben benötigte.

Die Situation für die geodätische Forschung in den USA war in dieser Zeit des Aufholens östlichen Fortschrittes für einen Europäer recht verwirrend. Armee, Luftwaffe und Marine suchten auf getrennten Wegen zum Ziel eines weltweiten geodätischen Netzes zu gelangen, das für die Steuerung von Raketen und Satelliten und für die Navigation von U-Booten benötigt wurde. Dazu kam die Aktivität des zivilen Coast and Geodetic Survey. Jede dieser Organisationen hatte hierfür eigene Forschungsgruppen eingerichtet, die verschiedene Systeme entwickelten. Die Armee befasste sich mit SECOR (Sequential collocation of ranges), einem Trilaterationssystem, bei dem Entfernungen gleichzeitig vom Satelliten nach vier oder mehreren Erdstationen gemessen werden konnten. Die Marine entwickelte das NNSS (Navy Navigation Satellite System), bei dem wie beim Vorschlag von Prof. Wolmann in Peenemünde Dopplerfrequenzen verwendet wurden, und brachte dieses zu hoher Reife. In der Luftwaffe wurde ein Stellartriangulationsverfahren mit einer langbrennweitigen Kammer BC1000 und Lichtblitzen verwendet. Die drei Systeme standen in Konkurrenz, eine Koordinierung fehlte. Auch die Erprobung fand in verschiedenen Testfeldern statt. Benachbarte Punkte verschiedener Testfelder waren oft nicht geodätisch verbunden, so dass Vergleiche der Ergebnisse nicht möglich waren. Ein Zustand, der in einer Diskussion als geodetic crime (geodätische Verbrechen) bezeichnet wurde. In dieser Situation entwickelte H. Schmid unter Benutzung seiner in Peenemünde und in Aberdeen (BRL) gewonnenen Erfahrungen mit der photogrammetrischen Stellartriangulation strenge physikalische und mathematische Modelle für die einzelnen Phasen der Aufnahme und Berechnung und führte Untersuchungen zur Auffindung optimaler geodätischer Konfigurationen durch. Dabei wurde auch die Frage studiert, wie sich



das Fehlen von Punkten in den russischen und in den pazifischen Netzlücken, die aus politischen und geographischen Gründen vorlagen, auswirken würde. Zu dieser Frage konnten auch in Graz durchgeführte Betrachtungen für simultane sphärische Weltnetze benutzt werden. Bei diesen fundamentalen und mit geodätisch-wissenschaftlicher Akribie durchgeführten Untersuchungen stand H. Schmid das grosse fachliche und personelle Potential des Coast and Geodetic Survey zur Verfügung. In der Folge werden Daten über das entstandene PAGEOS-Weltnetz und über seine Bedeutung mitgeteilt.

#### 4. Das PAGEOS-Weltnetz

Das PAGEOS-Weltnetz ist ein mit Hilfe des passiven geodätischen Satelliten PAGEOS geschaffenes, geometrisches Richtungsnetz mit 45 über die gesamte Erde verteilten Punkten, in dem sechs räumliche Verbindungsstrecken von Netzpunkten (Basen) nach terrestrischen klassischen Verfahren bestimmt wurden. PAGEOS war ein im Juni 1965 gestarteter Ballonsatellit mit einem Durchmesser von 30 m, der sich in einer etwa 4000 m hohen kreisförmigen Polarbahn um die Erde bewegte. Dieser Satellit wurde von mindestens je zwei Punkten des Weltnetzes synchron gegen den Fixsternhimmel fotografiert und die Epoche der Aufnahmen registriert. Die Aufnahme erfolgte mit der nach photogrammetrischen Prinzipien entwickelten Kammer Wild BC4 (Brennweite  $f=45$  cm, Öffnungswinkel  $\alpha=25^\circ$ , Öffnungsverhältnis 1:3.4), bei der durch einen Drehscheibenverschluss die Satellitenbahn und durch einen Zentralverschluss die Sternbahnen in Punkte und Striche unterteilt werden. Die zugehörigen Zeitepochen werden durch Anschluss an eine genaue Uhr ermittelt. Dadurch ist es möglich, die auf verschiedenen Standpunkten erhaltenen simultanen Aufnahmen von Punkten der Satellitenspur aufzufinden.

Mit dieser Kammer wurden je Aufnahme bis 600 Satelliten- und 750 Sternbilder erhalten. Durch die relativ kurze Brennweite und die hohe Anzahl der Stern- und Satellitenbilder unterscheidet sich das angewendete photogrammetrische Verfahren von dem in der Astronomie üblichen, bei dem lange Brennweiten ( $f=100$  cm) und ein geringerer Öffnungswinkel ( $\alpha=5^\circ$ ) und daher auch eine geringere Zahl von Passsternen verwendet werden. In der Zeit von November 1966 bis November 1970 wurden insgesamt 3600 Photographie aufgenommen, davon waren 851 simultan von zwei Stationen, 216 von drei und 15 von vier Stationen.

Die Orientierung der Photographie erfolgt durch Rekonstruktion und Einpas-

sung des aus dem Photogramm folgenden Bündels der Richtungen nach den Fixsternen in das entsprechende, durch Rektaszension, Deklination und die Zeit bestimmte astronomische Bündel im ortsfesten Äquatorsystem. Mit den ermittelten simultan orientierten Richtungen konnte ein räumliches Richtungsnetz gebildet werden, das die terrestrischen Standpunkte und die angezielten Satellitenpunkte enthält und die Form des Polyeders der terrestrischen Punkte bestimmt. Der Massstab wird durch Messung einer Polyederseite (Basis) erhalten, im PAGEOS-Weltnetz wurden zu Kontrollzwecken sechs Basen in der Länge von 2000 bis 4000 km bestimmt, davon zwei in den USA, zwei in Australien und je eine in Europa und Afrika.

Für die Orientierung einer Aufnahme sind bei angenommenen, fehlerfreien Messungen und Instrumenten drei Parameter der Orientierungsmatrix und drei Elemente der inneren Orientierung zu bestimmen. Im praktisch vorliegenden Fall kommen dazu Parameter der Verzeichnung, der Zentrierung, der Refraktion und des Komparators. Mit diesen erhöht sich die Zahl der Unbekannten auf etwa 20 je Aufnahme. Um die Auswirkung der Szintillation und auch systematische Koordinatenmessfehler auszuschalten, wurde in die gemessenen Satellitenbildpunkte ein Polynom 6. Ordnung interpoliert. Für die weitere Berechnung wurden mit Hilfe dieser Kurve fünf bis sieben fingierte Richtungen eingeführt und orientiert und diese für die Netzbildung verwendet. Bei der Berechnung des Netzes sollten im idealen Fall nur Verschiebungen der orientierten Richtungen und die Koordinatenverbesserungen zu bestimmen sein, im praktischen Fall kommen dazu die Elemente einer differentiellen Drehmatrix und ein Massstabsfaktor.

Die Basislinien in den USA, Australien und Afrika wurden durch dreidimensionale, astronomisch orientierte Polygonzüge bestimmt. In den Punkten des Polygons wurden die astronomische Breite, Länge und das Azimut und die horizontalen und vertikalen Winkel gemessen. Die Polygonseiten wurden lichtelektrisch (mit dem Geodimeter) ermittelt und durch geeignete überbestimmte Konfigurationen kontrolliert. In Europa erfolgte die Bestimmung der Basis mit Hilfe einer Dreieckskette, welche aus dem europäischen Dreiecksnetz ED 50 gebildet und durch Geodimetermessungen verstärkt wurde.

Eine Fehlerdiskussion ergab für die Messung der Bildkoordinaten Fehler von  $\pm 1,6$  m, für orientierte Richtungen im Zentralbereich der Aufnahmen  $\pm 0,3''$ , für Basislinien  $\pm 1,5$  ppm und für die dreidimensionalen Stationskoordinaten im Raum  $\pm 6$  m oder  $\pm 5$  m in der

horizontalen Ebene und  $\pm 8,5$  m für die Höhen. Dies entspricht einer Relativgenauigkeit von  $\pm 1,5$  ppm für die Lage und  $\pm 2,0$  ppm für die Höhen.

Die Feldarbeiten für das gesamte Projekt dauerten von Juni 1966 bis September 1971, die Berechnungen wurden 1972 abgeschlossen. Für die Feldarbeiten waren 16 Messtrupps mit über 50 Fachkräften tätig, für die Berechnungen 38 Fachkräfte. Der Aufwand letzterer betrug 266 Mannjahre.

#### 5. Über die Bedeutung des PAGEOS-Weltnetzes

Das PAGEOS-Weltnetz liegt nun vor, die dreidimensionalen Koordinaten seiner 45 Punkte, ihre Kovarianzmatrizen und Punktfehler sind bekannt. Die verwendeten Geräte und Verfahren sind in Publikationen beschrieben und dokumentiert. Die Messdaten (3600 Photographie, Bildkoordinaten für Satelliten und Sternbilder sowie Zeitregistrierungen), die benutzten Programme und die numerischen Zwischen- und Endergebnisse sind archiviert. Es ist bekannt, dass die erreichte Punktgenauigkeit bei  $\pm 6$  m liegt.

In der Zwischenzeit wurden dynamische Verfahren entwickelt und eingesetzt, mit welchen wesentlich höhere Genauigkeiten einfacher und in kürzerer Zeit erreicht werden können. Mit Laser-Entfernungen lassen sich genaue Bahnparameter und terrestrische Positionen im Zentimeterbereich ermitteln. Ähnliche Genauigkeiten folgen aus interferometrischen Verfahren, welche die natürliche Strahlung von Quasaren (VLBI) oder die künstlichen Strahlungen von Satelliten (GPS) benutzen. Durch Messung der Dopplerverschiebung von Frequenzen, welche vom Satelliten ausgestrahlt werden, können die Bahndaten der Satelliten und bei Vorliegen dieser die terrestrischen Positionen mit Metergenauigkeit ermittelt werden. Die relative Genauigkeit von Punkten liegt bei einigen Dezimetern. Das Navy Navigation Satellite System (NNSS) wird weltweit verwendet, sein Nachfolger, das Global Positioning System (GPS) ist im Stadium des Aufbaues und wird in einigen Jahren voll eingesetzt werden können. Dabei werden für die absoluten Positionsgenauigkeiten von einigen Dezimetern für Verbindungsvektoren Zentimeter-Genauigkeiten erwartet.

Welche Bedeutung hat angesichts dieser Situation das PAGEOS-Weltnetz von H. Schmid für die Geodäsie von heute und morgen? Die Beantwortung dieser Frage ergibt sich aus den nachfolgenden Betrachtungen.

Das PAGEOS-Weltnetz ist offen und von jeder Geheimhaltung frei, die Ergebnisse können von jedem Interessierten eingesehen und benutzt werden. Durch

das PAGEOS-Projekt wurde bisher einmalig und erstmals ein System von global verteilten Fundamentalpunkten nach dem geometrischen Prinzip der Satellitengeodäsie mit astronomisch orientierten photogrammetrischen Strahlenbündeln bestimmt. Die dabei benutzten strengen mathematischen und instrumentellen Modelle sowie die statische Interpretation der Ergebnisse können als Vorbild für Folgeprojekte und für Verbesserungen der Methode benutzt werden.

In der PAGEOS-Triangulation werden Sterne als Passrichtungen verwendet. Diese stehen ohne Kosten zu jeder Zeit und an jedem Ort zur Verfügung (wenn optische Sicht vorliegt). Sterne können auch nicht wie Satelliten abgeschaltet, zerstört oder weggeschafft werden. Der passive Ballonsatellit enthält keine Apparaturen, er ist daher verhältnismäßig billig und braucht keine Wartung.

Räumliche Netze mit orientierten Richtungen lassen sich derzeit mit geringerer Genauigkeit bestimmen als Strecken. Gründe hierfür liegen in der Szintillation, in der Refraktion, den Fehlern der Bildkoordinatenmessungen, im photographischen Prozess und der Ungenauigkeit in den Sternkatalogdaten. Sie tragen jedoch zur Bildung eines räumlichen Netzes in höherem Masse bei als Strecken. Denn für orientierte Strecken sind (theoretisch) neben den Koordinatenverbesserungen nur die Parameter einer Verschiebung als Unbekannte einzuführen, für Strecken jedoch zusätzlich noch Drehparameter. Daher erscheint es sinnvoll, für die Bestimmung

der geometrischen Form eines Netzes vor allem Strecken, für die Orientierung jedoch Richtungen zu benutzen.

Das PAGEOS-Weltnetz ist ein wesentlicher Beitrag zu den Anfängen der Satellitengeodäsie und bezeichnet eine Entwicklungsstufe dieser Disziplin. Es hat die Folgeverfahren gestützt und steht derzeit als abgeschlossenes, ein-satzfähiges, transparentes Verfahren für geodätische Folgeaufgaben zur Verfügung.

Diese Aufgaben betreffen vor allem die Schaffung von Kontrollpunkten in lokalen Bereichen, können aber auch in der Verbesserung der Gestirnskoordinaten sowie in Beiträgen zur Orientierung eines globalen Referenzsystems liegen. Im PAGEOS-Weltnetz wird die klare, transparente, mehrfach kontrollierte und in allen Phasen überschaubare Methode der klassischen Triangulation fortgesetzt. In diesem System werden begehbare Kontrollpunkte bestimmt, seit langem bekannte und immer verfügbare sichtbare astronomische Ziele und einfache, nur reflektierende Ballonsatelliten benutzt. Es unterscheidet sich dadurch von anderen Verfahren, welche eine Fläche bestimmen, die es in der Natur nicht gibt (das Geoid), die an der Erdoberfläche, auf der wir leben, nicht interessiert sind und die Orientierung der Aussagen mit Zielen (Quasaren) durchführen, die wir nicht sehen und deren Struktur und Langzeitverhalten nicht bekannt sind.

Wohl aus all diesen Gründen wurde in Japan ein Ballonsatellit EGP (Experimental Geodetic Payload) entwickelt,

der 1986 gestartet wird und sowohl für die Messung von astronomisch orientierten Richtungen nach dem im PAGEOS-Weltnetz benutzten Verfahren als auch für Lasermessungen geeignet ist. Es ist anzunehmen, dass durch diesen Satelliten eine Wiederbelebung und wahrscheinlich auch eine Weiterentwicklung der geometrischen Verfahren der Satellitengeodäsie erfolgen wird. Besondere Beachtung verdient auch die Tatsache, dass H. Schmid ein Verfahren der photogrammetrischen Raumtriangulation den bei der Stellartriangulation vorliegenden Verhältnissen angepasst hat. Denn damit wurde das hohe Leistungspotential dieser Disziplin ersichtlich und der Nachweis erbracht, dass die erst nur für topographische oder Katasteraufgaben eingesetzte Photogrammetrie auch Aufgaben der höheren Geodäsie zu lösen vermag und daher auch als Werkzeug dieser Disziplin angesehen werden kann. H. Schmid gebührt das Verdienst, diese Entwicklung eingeleitet und an einem spektakulären Beispiel erfolgreich eingesetzt zu haben. Ohne Zweifel hat er sich damit ein Monument geschaffen, das von seiner Tätigkeit auch in späteren Zeiten Zeugnis ablegen wird.

Adresse des Verfassers:  
Prof. Dr. mult. Karl Rinner  
Institut für Landesvermessung und  
Photogrammetrie  
Technische Universität Graz  
Rechbauerstrasse 12, A-8010 Graz

## The Legacy and Effect of Prof. Dr. H. H. Schmid on Photogrammetry in the United States

Ch. C. Slama, R. H. Hanson

It is a difficult task to single out one individual as being the sole innovator or creator in a complex and multi-disciplined science such as photogrammetry. When advances are made in photogrammetry, they are usually brought about by lengthy processes involving many individuals and organizations. In other words, the evolution is normally slow and the process of change covers a period of years. On the other hand, most attempts to improve on existing systems in photogrammetric practice are usually initiated and spurred on by only a few people who have the insight to recognize a potential

improvement and the motivation to see the process through to the end. During his thirty years in the United States, Dr. H. H. Schmid played a major role as both an innovator and taskmaster in the sciences of photogrammetry and geodesy. His unique general appreciation of precision, ability to recognize important and critical aspects of the problem at hand, and engineer's approach to the solution, made him a leader in the field. All these characteristics, coupled with a dynamic personality, led to a working environment among his colleagues which encouraged competition, loyalty, and most importantly, results.

The science of photogrammetry in the United States has made giant strides over the past 30 years and much of the preliminary work can be attributed to H. H. Schmid. Foremost, in the minds of those who worked with him, was his early recognition of the application of Von Gruber's collinearity equations as the basic mathematical definition of photogrammetric reconstruction. In spite of the fact that large main-frame digital computers were not yet perfected, he possessed the foresight to envision applications of these equations to solutions of large photogrammetric networks that today are commonplace.