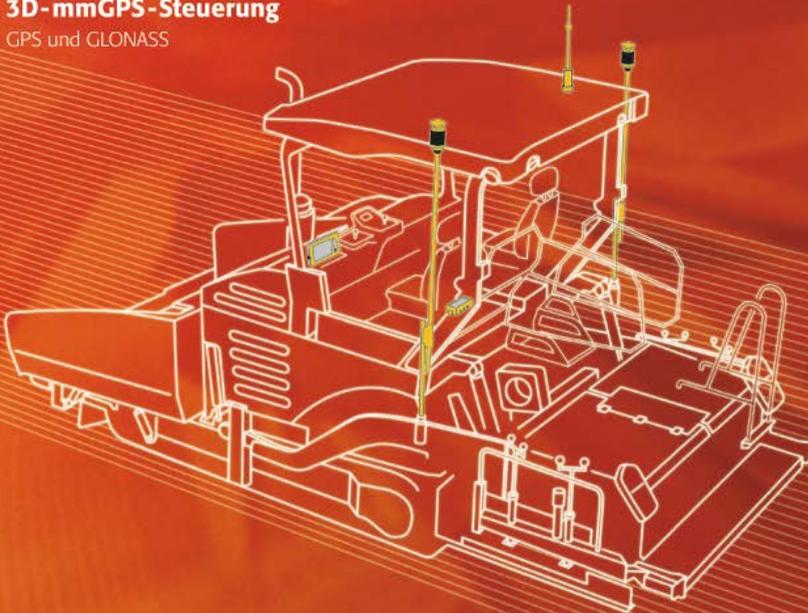


## Millimetergenau

### 3D-mmGPS-Steuerung

GPS und GLONASS



Von der einfachen 1D bis zur  
komplexen 3D Steuerung



[www.am-laser.at](http://www.am-laser.at)

### **Comparison between Window Technique and Modified Stokes' Kernel in Geoid Determination for Austria**

H. Abd-Elmotaal, N. Kührtreiber

### **Zum Gedenken an Prof. Karl Kraus**

F. Ackermann

### **Verleihung der Karl Rinner Preise 2005 und 2006**

C. Twaroch, F. Brunner

### **High-Sensitivity GPS: Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung**

A. Wieser

### **„Intelligente“ Steuerung bildgebender Sensoren in der Ingenieurgeodäsie**

A. Reiterer





Österreichische Zeitschrift für  
**Vermessung &  
Geoinformation**

**Organ der Österreichischen Gesellschaft für Vermessung und Geoinformation  
und der Österreichischen Geodätischen Kommission**

95. Jahrgang 2007

Heft: 4/2007

ISSN 0029-9650

Schriftleiter: Dipl.-Ing. Stefan Klotz

Stellvertreter: Dipl.-Ing. Ernst Zahn

Dipl.-Ing. Andreas Pammer

A-1025 Wien, Schiffamtsgasse 1-3

Internet: <http://www.ovg.at>

*H. Abd-Elmotaal, N. Kührtreiber:*

**Comparison between Window Technique and Modified  
Stokes' Kernel in Geoid Determination for Austria** 267

*F. Ackermann:*

**Zum Gedenken an Prof. Karl Kraus** 275

*C. Twaroch, F. Brunner:*

**Verleihung der Karl Rinner Preise 2005 und 2006** 280

*A. Wieser:*

**High-Sensitivity GPS: Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung** 284

*A. Reiterer:*

**„Intelligente“ Steuerung bildgebender Sensoren in der  
Ingenieurgeodäsie** 294

**Recht und Gesetz** 302

**Veranstaltungskalender** 304

**Buchbesprechungen** 305

**Mitteilungen und Tagungsberichte** 308

# Impressum



**Organ der Österreichischen Gesellschaft für Vermessung und Geoinformation und der Österreichischen Geodätischen Kommission**

95. Jahrgang 2007 / ISSN: 0029-9650  
<http://www.ovg.at>

**Herausgeber und Medieninhaber:** Österreichische Gesellschaft für Vermessung und Geoinformation (OVG), Austrian Society for Surveying and Geoinformation, Schiffamtsgasse 1-3, A-1025 Wien zur Gänze. Bankverbindung: Österreichische Postsparkasse BLZ 60000, Kontonummer PSK 1190933. ZVR-Zahl 403011926.

**Präsident der Gesellschaft:** Dipl.-Ing Gert Steinkellner, Tel. (01) 21110-2714, Fax (01) 21110-4624, Schiffamtsgasse 1-3, A-1025 Wien.

**Sekretariat der Gesellschaft:** Dipl.-Ing. Karl Haussteiner, Tel. (01) 21110-2311, Fax (01) 2167551, Schiffamtsgasse 1-3, A-1025 Wien.

**Schriftleitung:** Dipl.-Ing. Stefan Klotz, Tel. (01) 21110-3609, Dipl.-Ing. Ernst Zahn, Tel. (01) 21110-3209, Dipl.-Ing. Andreas Pammer, Tel. (01) 21110-5336, Schiffamtsgasse 1-3, A-1025 Wien. Fax (01) 2167551, Email: [vgi@ovg.at](mailto:vgi@ovg.at).

**Manuskripte:** Bitte direkt an die Schriftleitung senden. Es wird dringend ersucht, alle Beiträge in digitaler Form auf Diskette zu übersenden. Genaue Angaben über die Form der Abfassung des Textteiles sowie der Abbildungen (Autoren-Richtlinien) können bei der Schriftleitung angefordert werden. Beiträge können in Deutsch oder Englisch abgefaßt sein; Hauptartikel bitte mit einer deutschsprachigen Zusammenfassung und einem englischen Abstract einsenden. Namentlich gezeichnete Beiträge geben die Meinung des Autors wieder, die sich nicht mit der des Herausgebers decken muß. Die Verantwortung für den Inhalt des einzelnen Artikels liegt daher beim Autor. Mit der Annahme des Manuskriptes sowie der Veröffentlichung geht das alleinige Recht der Vervielfältigung und Wiedergabe auf den Herausgeber über.

**Copyright:** Jede Vervielfältigung, Übersetzung, Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen sowie

Mikroverfilmung der Zeitschrift oder von in ihr enthaltenen Beiträge ohne Zustimmung des Herausgebers ist unzulässig und strafbar. Einzelne Photokopien für den persönlichen Gebrauch dürfen nur von einzelnen Beiträgen oder Teilen davon angefertigt werden.

**Anzeigenbearbeitung und -beratung:** Dipl.-Ing. Stefan Klotz, Tel. (01) 21110-3609, Schiffamtsgasse 1-3, A-1025 Wien. Unterlagen über Preise und technische Details werden auf Anfrage gerne zugesendet.

**Erscheinungsweise:** Vierteljährlich in zwangloser Reihenfolge (1 Jahrgang = 4 Hefte). Auflage: 1200 Stück.

**Abonnement:** Nur jahrgangswise möglich. Ein Abonnement gilt automatisch um ein Jahr verlängert, sofern nicht bis zum 1.12. des laufenden Jahres eine Kündigung erfolgt. Die Bearbeitung von Abonnementangelegenheiten erfolgt durch das Sekretariat. Adressänderungen sind an das Sekretariat zu richten.

**Verkaufspreise:** Einzelheft: Inland 15 €, Ausland 18 €; Abonnement: Inland 50 €, Ausland 60 €; alle Preise exclusive Mehrwertsteuer. OVG-Mitglieder erhalten die Zeitschrift kostenlos.

**Satz und Druck:** Buchdruckerei Ernst Becvar Ges.m.b.H., A-1150 Wien, Lichtgasse 10.

**Offenlegung gem. § 25 Mediengesetz**

**Medieninhaber:** Österreichische Gesellschaft für Vermessung und Geoinformation (OVG), Austrian Society for Surveying and Geoinformation, Schiffamtsgasse 1-3, A-1025 Wien zur Gänze.

**Aufgabe der Gesellschaft:** gem. § 1 Abs. 1 der Statuten (gen. mit Bescheid der Sicherheitsdirektion Wien vom 08.04.2003): a) die Vertretung der fachlichen Belange der Vermessung und Geoinformation auf allen Gebieten der wissenschaftlichen Forschung und der praktischen Anwendung, b) die Vertretung aller Angehörigen des Berufsstandes, c) die Förderung der Zusammenarbeit zwischen den Kollegen der Wissenschaft, des öffentlichen Dienstes, der freien Berufe und der Wirtschaft, d) die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses, e) die Herausgabe einer Zeitschrift mit dem Namen „Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation“ (VGI).

**Erklärung über die grundlegende Richtung der Zeitschrift:** Wahrnehmung und Vertretung der fachlichen Belange aller Bereiche der Vermessung und Geoinformation, der Photogrammetrie und Fernerkundung, sowie Information und Weiterbildung der Mitglieder der Gesellschaft hinsichtlich dieser Fachgebiete.



ÖSTERREICHISCHE GEODÄTISCHE KOMMISSION

ÖGK



## Comparison between Window Technique and Modified Stokes' Kernel in Geoid Determination for Austria

Hussein A. Abd-Elmotaal, Minia, Egypt, Norbert Kühtreiber, Graz

### Abstract

It has already been proved that there is a problem in combining the different wavelengths of the gravity field in the geoid determination process. Different approaches for correctly combining the gravity field wavelengths exist. The window technique has been suggested to get rid of the double consideration of the topographic-isostatic masses within the data window in the framework of the remove-restore technique. The modified Stokes' kernel has been suggested to possibly combine the local data signals with the global geopotential models. Both techniques have been used in computing a gravimetric geoid for Austria. The available data for the current research are described. The EGM96 geopotential model has been used. A wide comparison among classical Stokes' kernel, modified Stokes' kernel and window techniques has been carried out within this investigation in the framework of the geoid determination. The obtained results have proved that the reduced gravity anomalies using the window technique are the smoothest, un-biased and have the smallest range. Both the modified Stokes kernel and the window technique can correctly handle the combination of the geoid wavelengths within the remove-restore scheme.

**Keywords:** Stokes modified kernel, window technique, remove-restore technique, geoid determination.

### Kurzfassung

Eine bekannte Aufgabe im Rahmen der Geoidbestimmung ist die notwendige Kombination der verschiedenen Wellenlängen des Schwerfeldes der Erde. Zur korrekten Kombination existieren verschiedene Ansätze. Die „window technique“ ist eine Methode, die die doppelte Berücksichtigung der topographisch-isostatischen Massen innerhalb des Datenfensters umgeht und auf der Remove-Restore-Technik aufbaut. Eine andere mögliche Methode stellt die Modifizierung des Stokes-Kerns dar, welche die spektralen Komponenten der lokalen Daten mit den Signalen eines globalen Erdschwermodells kombiniert. Beide Methoden werden zur Berechnung eines gravimetrischen Geoids von Österreich verwendet. Die zur Untersuchung verwendeten Daten werden eingehend beschrieben. Als globales Erdschwermodell wird EGM96 verwendet. Ein ausführlicher Vergleich zwischen den verschiedenen Methoden, der klassischen Geoidberechnung mittels Stokes, der „window technique“ und der Methode des modifizierten Stokes-Kerns wird auf Basis der Geoidhöhe durchgeführt. Die homogensten Schwereanomalien (trendfrei, kleinste Extremwerte) werden durch die Anwendung der „window technique“ zur Schwereerdrückung erreicht. Die Ergebnisse zeigen, dass mittels beider Methoden eine korrekte Kombination der unterschiedlichen Wellenlängen des Geoids möglich ist.

**Schlüsselwörter:** Modifizierung des Stokes-Kerns, „window technique“, Remove-Restore-Technik, Geoidberechnung

### 1. Introduction

The optimum combination of the different wavelengths of the gravity field is a critical research point. There are different approaches for such a combination of wavelengths. The current investigation considers a comparison of two approaches, namely the window technique (Abd-Elmotaal and Kühtreiber, 2003) [1] and the modified Stokes' kernel technique.

The used data sets are described. The Stokes' technique of geoid determination, within the remove-restore scheme, with classical un-modified and modified Stokes' kernel, after Meissl (1971) [7], is described. The window technique (Abd-Elmotaal and Kühtreiber, 2003) [1] within the remove-restore scheme has been outlined. The harmonic analysis of the topographic-isostatic

potential is then given. The reduced gravity using both techniques under investigations are then computed and compared. Both techniques, as well as the traditional Stokes' kernel, have been used in computing a gravimetric geoid for Austria. A wide comparison among classical Stokes' kernel, modified Stokes' kernel and window techniques has been carried out within this investigation in the framework of the geoid determination. The comparison is made on two different levels: the residual gravity anomalies after the remove step and the computed geoid signals.

It should be noted that many scholars have suggested different modifications of the Stokes' kernel and have studied the topic of the optimum combination of gravity field wavelengths. The reader may refer, e.g., to Sjöberg and Hunegnaw

(2000) [14]; Novák et al. (2001) [8]; Sjöberg (2003a) [11]; (2003b) [12]; (2004) [13]; Vaníček and Featherstone (1998) [16]; Featherstone (1999) [2]; (2003) [3]; Huang et al. (2000) [6]; Silva et al. (2002) [10].

## 2. The Used Data

### 2.1 Gravity Data

The gravitational data set for this investigation is a set of free-air gravity anomalies at 5796 stations in Austria and neighbouring countries (Fig. 1). Fig. 1 shows, more or less, a homogeneous data distribution within Austria. The gravity data outside Austria have been included to correct the edge effect in the computed gravimetric geoid for Austria. The gravity data covers the window ( $45.7^{\circ}\text{N} \leq \phi \leq 49.7^{\circ}\text{N}$  and  $8.5^{\circ}\text{E} \leq \lambda \leq 18.2^{\circ}\text{E}$ ).

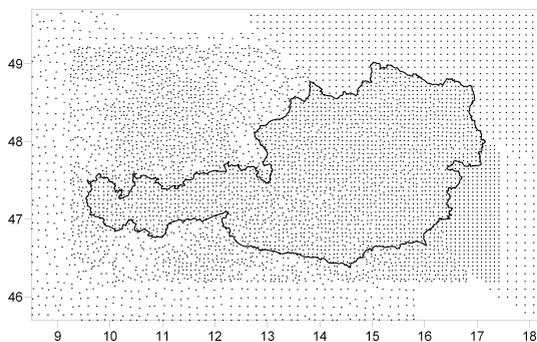


Fig. 1: Distribution of the used gravity data set

### 2.2 GPS Benchmarks

Fig. 2 shows the distribution of the available GPS (referred to ITRF96) benchmarks with known orthometric heights (referred to UELN98) in Austria. It shows that most of the stations are located in the eastern part of Austria. Only few stations are located at the mountainous western part of Austria.

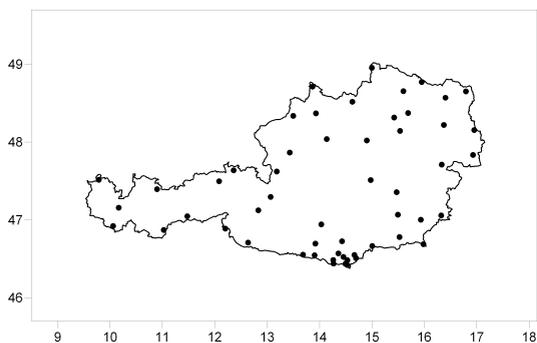


Fig. 2: Used GPS benchmarks with known orthometric heights

### 2.3 Digital Height Models

Two different digital height models are available. A coarse model of  $90'' \times 150''$  resolution in the latitude and the longitude directions, respectively, and a fine model of  $11.25'' \times 18.75''$  resolution. The fine DHM covers the window  $44.75^{\circ}\text{N} \leq \phi \leq 50.25^{\circ}\text{N}$ ;  $7.75^{\circ}\text{E} \leq \lambda \leq 19.25^{\circ}\text{E}$ . The coarse DHM covers the window  $40^{\circ}\text{N} \leq \phi \leq 52^{\circ}\text{N}$ ;  $5^{\circ}\text{E} \leq \lambda \leq 22^{\circ}\text{E}$ .

The coarse DHM has been created by integrating the Austrian fine DHM with GTOPO30 ( $30'' \times 30''$ ) (Gesch and Larson, 1996) [4] and global bathymetry model provided by the Naval Oceanographic Office ( $1' \times 1'$ ). Fig. 3 shows the coarse digital height model used for this investigation. It shows the high mountainous structure of the Alps.

### 3. Traditional Remove-Restore Technique

Within the well-known remove-restore technique, the effect of the topographic-isostatic masses is removed from the source gravitational data and then restored to the resulting geoidal heights. For example, in the case of gravity data, the reduced gravity anomalies in the framework of the remove-restore technique is computed by

$$\Delta g_{red} = \Delta g_F - \Delta g_{GM} - \Delta g_h, \quad (1)$$

where  $\Delta g_F$  stands for the free-air anomalies,  $\Delta g_h$  is the effect of topography and its compensation on the gravity anomalies, and  $\Delta g_{GM}$  is the effect of the reference field on the gravity anomalies. Thus the final computed geoid  $N$  within the remove-restore technique can be expressed by:

$$N = N_{GM} + N_{\Delta g} + N_h, \quad (2)$$

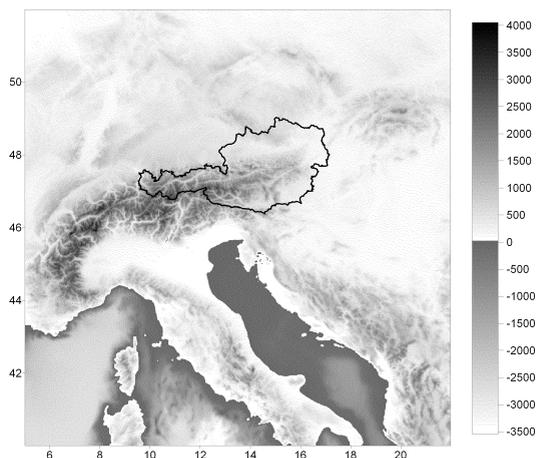


Fig. 3: The coarse ( $90'' \times 150''$ ) digital height model

where  $N_{GM}$  gives the contribution of the reference field,  $N_{\Delta g}$  gives the contribution of the reduced gravity anomalies, and  $N_h$  gives the contribution of the topography and its compensation (the indirect effect).

**4. Stokes' Integral with Classical Stokes' Kernel**

The contribution of the reduced gravity anomalies  $N_{\Delta g}$  can be given by Stokes' integral (Heiskanen and Moritz, 1967, p. 94) [5]

$$N_{\Delta g} = \frac{R}{4\pi\gamma} \int \int \Delta g_{red} S(\psi) d\sigma, \tag{3}$$

where  $\gamma$  is the normal gravity,  $R$  is the mean earth's radius and  $S(\psi)$  stands for the classical Stokes' kernel given by (ibid., p. 94) [5]

$$S(\psi) = \frac{1}{s} - 4 - 6s + 10s^2 - (3 - 6s^2) \ln(s + s^2), \tag{4}$$

with

$$s = \sin \frac{\psi}{2}, \tag{5}$$

and  $\psi$  is the spherical distance between the computational point  $P$  and the running point  $Q$ .

It is believed that using classical un-modified Stokes kernel in the remove-restore technique implies a wrong combination of gravity field wavelengths. This will be proved in the sequel.

**5. Stokes' Integral with Modified Stokes' Kernel**

The contribution of the reduced gravity anomalies  $N_{\Delta g}$  can be given by

$$N_{\Delta g} = \frac{R}{4\pi\gamma} \int \int \Delta g_{red} S^{ME}(\psi) d\sigma, \tag{6}$$

where  $S^{ME}(\psi)$  is the modified Stokes' kernel after Meissl (1971) [7] given by

$$S^{ME}(\psi) = S(\psi) - S(\psi_0) \text{ for } (0 < \psi < \psi_0), \tag{7}$$

where the optimal cap size  $\psi_0$  is empirically determined through the comparison to the GPS/levelling derived geoid.

**6. The Window Technique**

The conventional way of removing the effect of the topographic-isostatic masses faces a theoretical problem. A part of the influence of the topographic-isostatic masses is removed twice as it is already included in the global reference field. This leads to some double consideration of that part of the topographic-isostatic masses. Fig. 4 shows schematically the conventional gravity reduction for the effect of the topographic-isostatic masses. The short-wavelength part depending on the

topographic-isostatic masses is computed for a point  $P$  for the masses inside the circle (say till 167 km around the computational point  $P$ ). Removing the effect of the long-wavelength part by a global earth's gravitational potential reference field normally implies removing the influence of the global topographic-isostatic masses, shown as a rectangle in Fig. 4. The double consideration of the topographic-isostatic masses inside the circle (double hatched) is thus seen.

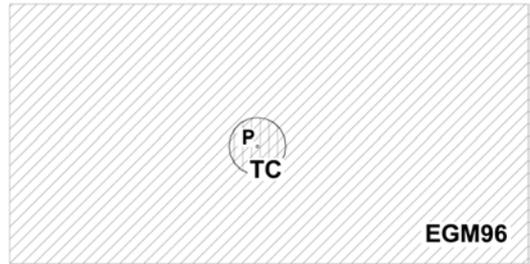


Fig. 4: The traditional remove-restore technique

A possible way to overcome this difficulty is to adapt the used reference field due to the effect of the topographic-isostatic masses for a fixed data window. Fig. 5 shows the advantage of the window remove-restore technique schematically. Consider a measurement at point  $P$ , the short-wavelength part depending on the topographic-isostatic masses is now computed by using the masses of the whole data area (small rectangle). The adapted reference field is created by subtracting the effect of the topographic-isostatic masses of the data window, in terms of potential coefficients, from the reference field coefficients. Thus, removing the long-wavelength part by using this adapted reference field does not lead to a double consideration of a part of the topographic-isostatic masses (no double hatched area in Fig. 5).

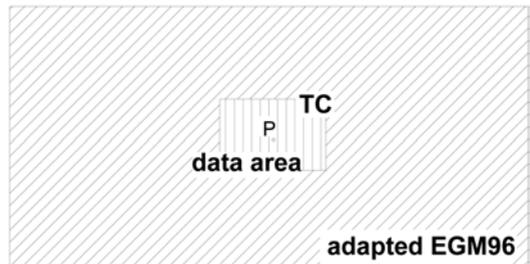


Fig. 5: The window remove-restore technique

The remove step of the window remove-restore technique can then mathematically be written as

$$\Delta g_{red} = \Delta g_F - \Delta g_{GM\ Adapt} - \Delta g_h, \quad (8)$$

where  $\Delta g_{GM\ Adapt}$  is the contribution of the adapted reference field. The restore step of the window remove-restore technique can be written as

$$N = N_{GM\ Adapt} + N_{\Delta g} + N_h, \quad (9)$$

where  $N_{GM\ Adapt}$  gives the contribution of the adapted reference field.

It should be noted that the contribution of the reduced gravity anomalies  $N_{\Delta g}$  is computed using the Stokes' integral (3) with the classical unmodified Stokes' kernel given by (4).

## 7. Harmonic Analysis of the Topographic-Isostatic Potential

The harmonic coefficients of the topography and its isostatic compensation as well as the harmonic series expansion of the topographic-isostatic potential can be expressed by (Abd-Elmotaal and Kührtreiber, 2003, pp. 78–79) [1]:

$$T_{TI}(P) = \frac{GM}{r_p} \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{R}{r_p}\right)^n \sum_{m=-n}^n \bar{T}_{nm} \bar{R}_{nm}(P), \quad (10)$$

where

$$\begin{aligned} \bar{T}_{nm} = & \frac{R^3}{M(2n+1)(n+3)} \iint_{\sigma} \left\{ \delta\rho_Q \left[ \left(1 + \frac{H_Q}{R}\right)^{n+3} - 1 \right] + \right. \\ & \left. + \delta\rho_Q \left(1 - \frac{T_o}{R}\right)^{n+3} \left[ \left(1 - \frac{t_Q}{R-T_o}\right)^{n+3} - 1 \right] \right\} \bar{R}_{nm}(Q) d\sigma_Q \end{aligned} \quad (11)$$

where  $T_o$  is the normal crustal thickness,  $H$  is the topographic height,  $t$  is the compensating root/antiroot and  $M$  denotes the mass of the earth, given by

$$M \cong \frac{4\pi R^3}{3} \rho_M, \quad (12)$$

where  $\rho_M$  denotes the mean earth's density (Sünkel, 1985) [15]

$$\rho_M \cong 5.517 \text{ g/cm}^3.$$

For the practical determination of the harmonic coefficients of the topographic-isostatic potential, (11) may be written as

$$\begin{aligned} \bar{T}_{nm} = & \frac{3\Delta\phi\Delta\lambda}{4\pi\rho_M(2n+1)(n+3)} \sum_i^{\phi} \sum_j^{\lambda} \left\{ \rho_{ij} \left[ \left(1 + \frac{H_{ij}}{R}\right)^{n+3} - 1 \right] + \right. \\ & \left. + \Delta\rho_{ij} \left(1 - \frac{T_o}{R}\right)^{n+3} \left[ \left(1 - \frac{t_{ij}}{R-T_o}\right)^{n+3} - 1 \right] \right\} \\ & \cdot \left\{ \begin{array}{l} \cos m\lambda_j \\ \sin m\lambda_j \end{array} \right\} \bar{P}_{nm}(\cos\theta_i) \cos\theta_i, \end{aligned} \quad (13)$$

where  $\sum$  denotes the summation along  $\phi$  and  $\lambda$ ,  $\Delta\phi$  and  $\Delta\lambda$  are the grid sizes of the used digital

height model in the latitude and the longitude directions, respectively,  $\rho$  is given by

$$\begin{aligned} \rho &= \rho_o & \text{for } H \geq 0, \\ \rho &= \rho_o - \rho_w & \text{for } H < 0, \end{aligned} \quad (14)$$

where  $\rho_o$  denotes the density of the topography and  $\rho_w$  is the density of ocean's water. The density anomaly  $\Delta\rho$  is given by

$$\Delta\rho = \rho_1 - \rho_o, \quad (15)$$

where  $\rho_1$  is the density of the upper mantle.

In case of the Airy-Heiskanen isostatic model, the thickness of the root/antiroot  $t$  is determined by applying the principle of mass balance, which can be written in the spherical approximation as (Rummel et al., 1988, p. 3) [9]

$$\begin{aligned} \rho_o R^3 \left[ \left(1 + \frac{H}{R}\right)^3 - 1 \right] = \\ = (\rho_1 - \rho_o)(R - T_o)^3 \left[ 1 - \left(1 - \frac{t}{R-T_o}\right)^3 \right]. \end{aligned} \quad (16)$$

This condition can be written for the thickness of the root/antiroot  $t$  as follows:

$$\frac{t}{R-T_o} = 1 - \left\{ 1 - \frac{\rho}{\rho_1 - \rho_o} \left(1 - \frac{T_o}{R}\right)^{-3} \left[ \left(1 + \frac{H}{R}\right)^3 - 1 \right] \right\}^{\frac{1}{3}}, \quad (17)$$

where  $\rho$  is given by (14).

## 8. Gravity Reduction

The following parameter set has been used during the gravity reduction and the geoid determination process:

$$T_o = 30 \text{ km}, \quad (18)$$

$$\rho_o = 2.67 \text{ g/cm}^3, \quad (19)$$

$$\Delta\rho = 0.2 \text{ g/cm}^3. \quad (20)$$

The EGM96 geopotential model has been used for the traditional remove-restore technique. An adapted reference field has been created by subtracting the potential coefficients of the topographic-isostatic masses of the data window ( $40^\circ\text{N} \leq \phi \leq 52^\circ\text{N}$ ;  $5^\circ\text{E} \leq \lambda \leq 22^\circ\text{E}$ ) computed by (13) from the EGM96 coefficients. This adapted reference field has been used for the window remove-restore technique.

Table 1 shows the statistics of the gravity reduction after each reduction step for the traditional and window remove-restore techniques. It should be noted that the reduced anomalies for Stokes' integral with modified Stokes' integral are the same as those for the Stokes' integral with the classical unmodified Stokes' integral (the upper part of the table).

Reduced gravity	Statistical parameters (mgal)			
	Min.	Max.	Average	St. dev.
$\Delta g_F$	-154.16	187.15	9.70	42.16
$\Delta g_F - \Delta g_{GM}$	-210.72	132.27	-12.91	37.60
$\Delta g_F - \Delta g_{GM} - \Delta g_{TI}$	-123.66	81.97	-20.09	25.88
$\Delta g_F - \Delta g_{GM Adapt}$	-194.55	204.99	-1.46	44.43
$\Delta g_F - \Delta g_{GM Adapt} - \Delta g_{TI Win}$	-62.39	71.60	0.23	20.32

Table 1: Statistics of the reduced gravity after each reduction step

Table 1 shows that using the window technique gives the best reduced gravity anomalies. The range has dropped to its one-third and the standard deviation drops by about 20%. Also the reduced anomalies are perfectly centered (un-biased). This property makes the window-technique reduced anomalies suit best for interpolation and other geodetic purposes.

- Stokes' integral using Meissl's modified Stokes' kernel (Stokes/Meissl geoid),
- Stokes' integral using window technique (Window geoid).

All computed geoids are compared to the GPS/levelling derived geoid.

### 9. Geoid Determination for Austria

Three methods are used in the current investigation to compute a gravimetric geoid for Austria. They are:

- Stokes' integral using classical un-modified Stokes' kernel (classical Stokes geoid),

Fig. 6 shows the absolute geoid differences between the classical Stokes geoid and the GPS/levelling derived geoid. Fig. 6 shows a high-order polynomial structure of the differences. The range of the differences is quite large (about 2 m).

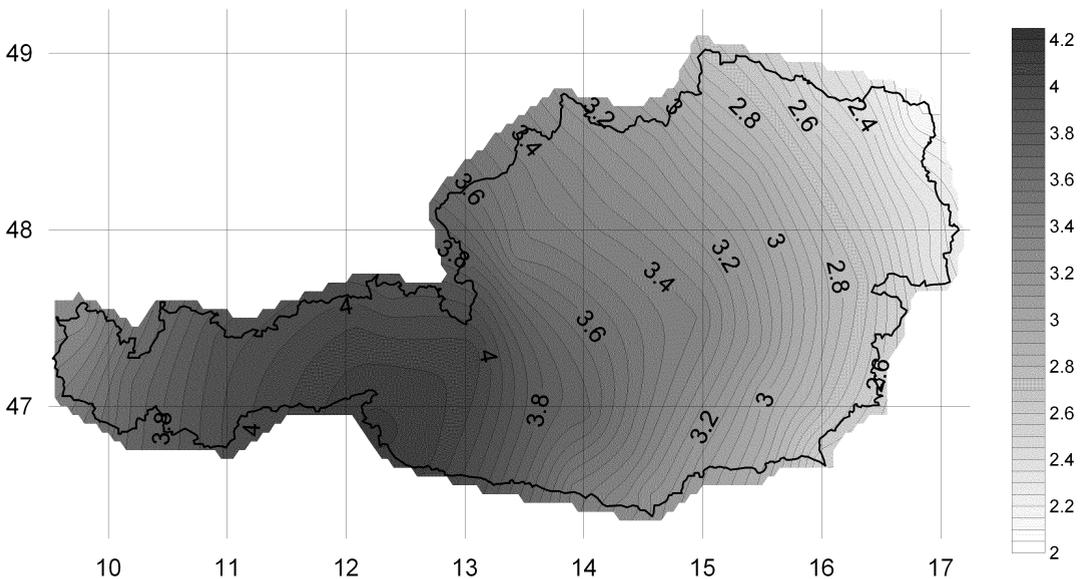


Fig. 6: Absolute geoid differences between classical Stokes geoid and GPS/levelling derived geoid. Contour interval: 5 cm

Cap size	Differences to GPS/levelling derived geoid (m)			
	Min.	Max.	Average	St. dev.
$\psi_o = 0.5^\circ$	-4.58	-1.31	-2.57	0.81
$\psi_o = 1.0^\circ$	-2.73	-1.28	-1.90	0.40
$\psi_o = 1.5^\circ$	-1.69	-1.09	-1.30	0.14
$\psi_o = 1.7^\circ$	-1.37	-0.91	-1.08	0.10
$\psi_o = 2.0^\circ$	-1.10	-0.44	-0.78	0.14

Table 2: Statistics of the empirical tests for the cap size  $\psi_o$  for the Stokes/Meissl geoid

As mentioned earlier, the optimum cap size  $\psi_o$  can be empirically determined. This is achieved by comparing the computed Stokes/Meissl geoid to the GPS/levelling derived geoid. Table 2 shows the statistics of the empirical tests for the cap size  $\psi_o$  for the Stokes/Meissl geoid. It shows that  $\psi_o = 1.7^\circ$  gives the optimum cap size in view of the standard deviation of the absolute differences to the GPS/levelling derived geoid.

Fig. 7 shows the absolute geoid differences between the Stokes/Meissl geoid (cap size

$\psi_o = 1.7^\circ$ ) and the GPS/levelling derived geoid. Fig. 7 shows a better polynomial structure of the differences than that in the case of Stokes geoid. The range of the differences drops to about 45 cm.

Fig. 8 shows the absolute geoid differences between the window geoid and the GPS/levelling derived geoid. Fig. 8 shows a better polynomial structure of the differences than that in the case of Stokes geoid. The range of the differences drops to about 1 m.

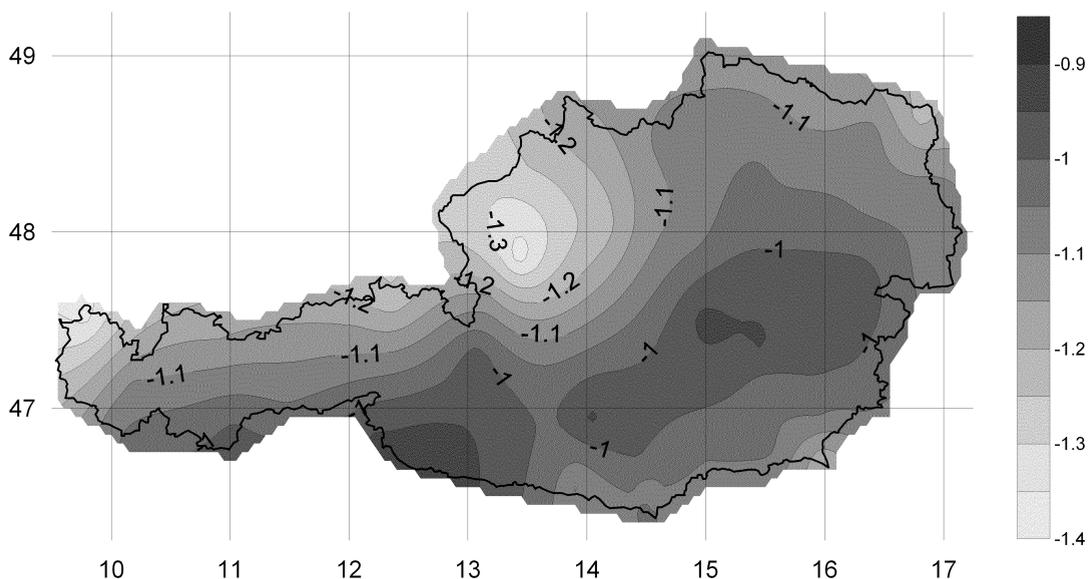


Fig. 7: Absolute geoid differences between Stokes/Meissl geoid (cap size  $\psi_o = 1.7^\circ$ ) and GPS/levelling derived geoid. Contour interval: 5 cm

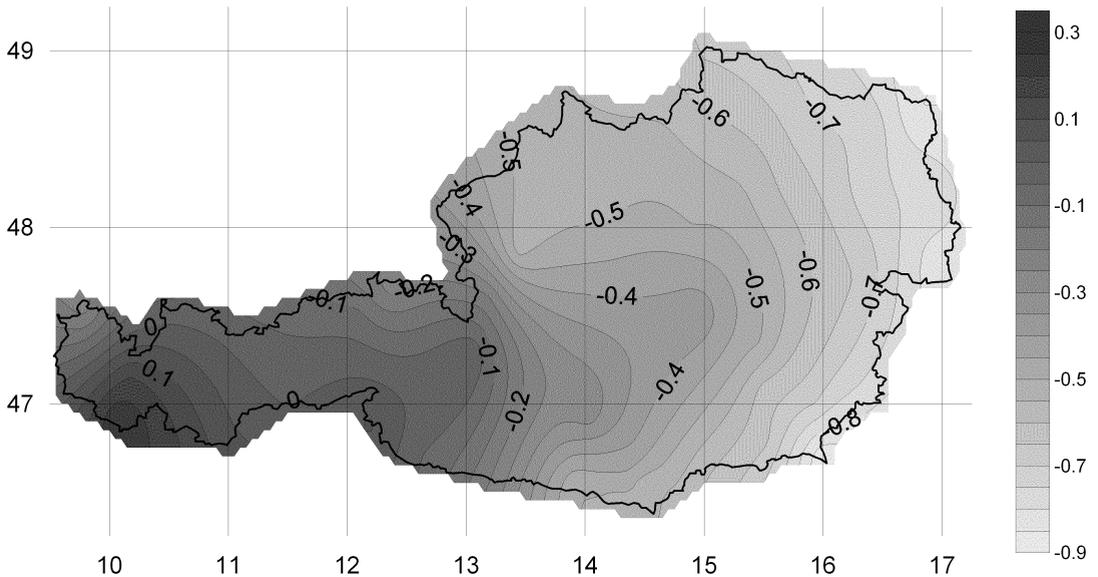


Fig. 8: Absolute geoid differences between window geoid and GPS/levelling derived geoid. Contour interval: 5 cm

Geoid technique	Statistical parameters (m)			
	Min.	Max.	Average	St. dev.
Stokes	2.10	4.16	3.27	0.52
Stokes/Meissl	-1.37	-0.91	-1.08	0.10
Window	-0.89	0.24	-0.44	0.27

Table 3: Statistics of the absolute geoid differences between the computed geoids and the GPS/levelling derived geoid

Table 3 illustrates the statistics of the absolute geoid differences between the computed geoids within the current investigation and the GPS/levelling derived geoid. Table 3 shows that the Stokes geoid has the worst differences to the GPS/levelling derived geoid. This confirms what has been stated earlier that using the classical unmodified Stokes kernel in the remove-restore technique implies a wrong combination of gravity field wavelengths. Table 3 shows also that either using the window technique or the modified

Stokes' kernel gives better differences to the GPS/levelling derived geoid (in terms of either the mean difference or the range/standard deviation).

Table 4 illustrates the statistics of the geoid differences between the computed geoids within the current investigation and the GPS/levelling derived geoid after removing a third order surface polynomial trend function. Table 4 shows that the window technique gives the minimum range and standard deviation of the remaining differences.

Geoid technique	Statistical parameters (cm)			
	Min.	Max.	Average	St. dev.
Stokes	-22.1	16.7	38.8	7.3
Stokes/Meissl	-25.3	12.5	37.8	6.9
Window	-21.3	14.8	36.1	6.6

Table 4: Statistics of the geoid differences between the computed geoids and the GPS/levelling derived geoid after removing a trend function

## 10. Conclusions

Stokes technique, within the remove-restore scheme, with the classical un-modified Stokes' kernel cannot correctly handle the combination of the geoid wavelengths. A modification of the kernel or a new technique should be introduced. Both the modified Stokes' kernel and the window technique can correctly handle the combination of the geoid wavelengths within the remove-restore scheme. The reduced gravity anomalies using the window technique are the smoothest (20% less in the standard deviation), un-biased and have the smallest range (one-third less). This property makes the window-technique reduced anomalies suit best for interpolation and other geodetic purposes.

## References

- [1] *Abd-Elmotaal, H., Kühtreiber, N. (2003):* Geoid Determination Using Adapted Reference Field, Seismic Moho Depths and Variable Density Contrast, *Journal of Geodesy*, 77, 77–85.
- [2] *Featherstone, W. (1999):* A Comparison of Gravimetric Geoid Models over Western Australia, Computed using Modified Forms of Stokes' Integral, *Journal of the Royal Society of Western Australia*, 82, 137–145.
- [3] *Featherstone, W. (2003):* Software for Computing Five Existing Types of Deterministically Modified Integration Kernel for Gravimetric Geoid Determination, *Computers* 193.
- [4] *Gesch, D.B., Larson, K.S. (1996):* Techniques for Development of Global 1-Kilometer Digital Elevation Models, In: *Pecora Thirteen, Human Interactions with the Environment – Perspectives from Space*, Sioux Falls, South Dakota, August 20–22, 1996.
- [5] *Heiskanen, W.A., Moritz, H. (1967):* *Physical Geodesy*, Freeman, San Francisco.
- [6] *Huang, J., Vaniček, P., Novák, P. (2000):* An Alternative Algorithm to FFT for the Numerical Evaluation of Stokes' Integral, *Studia geoph. et geod.*, 44, 374–380.
- [7] *Meissl, P. (1971):* A Study of Covariance Functions Related to the Earth's Disturbing Potential, Department of Geodetic Science, The Ohio State University, Columbus, Ohio, 151.
- [8] *Novák, P., Vaniček, P., Véronneau, M., Holmes, S., Featherstone, W. (2001):* On the Accuracy of the Modified Stokes' Integration in High-Frequency Gravimetric Geoid Determination, *Journal of Geodesy*, 74, 644–654.
- [9] *Rummel, R., Rapp, R.H., Sünkel, H., Tscherning, C.C. (1988):* Comparison of Global Topographic/Isostatic Models to the Earth's Observed Gravity Field, Department of Geodetic Science, The Ohio State University, Columbus, Ohio, 388.
- [10] *Silva, M.A., Blitzkow, D., Lobianco, M.C.B. (2002):* A Case Study of Different Modified Kernel Applications in Quasi-Geoid Determination, *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Meeting of the International Gravity and Geoid Commission*, Thessaloniki, Greece, August 26–30, 2002, 138–143.
- [11] *Sjöberg, L.E. (2003a):* A Computational Scheme to Model the Geoid by the Modified Stokes' Formula Without Gravity Reductions, *Journal of Geodesy*, 77, 423–432.
- [12] *Sjöberg, L.E. (2003b):* A General Model for Modifying Stokes' Formula and its Least-Squares Solution, *Journal of Geodesy*, 77, 459–464.
- [13] *Sjöberg, L.E. (2004):* A Spherical Harmonic Representation of the Ellipsoidal Correction to the Modified Stokes' Formula, *Journal of Geodesy*, 78, 180–186.
- [14] *Sjöberg, L.E., Hunegnaw, A. (2000):* Some Modifications of Stokes' Formula that Account for Truncation and Potential Coefficient Errors, *Journal of Geodesy*, 74, 232–238.
- [15] *Sünkel, H. (1985):* An Isostatic Earth Model, Department of Geodetic Science, The Ohio State University, Columbus, Ohio, 367.
- [16] *Vaniček, P., Featherstone, W. (1998):* Performance of Three Types of Stokes' Kernel in the Combined Solution for the Geoid, *Journal of Geodesy*, 72, 684–697.

## Contact

**Hussein A. Abd-Elmotaal**, Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Minia University, Minia, Egypt  
email: [abdeltmotaal@lycos.com](mailto:abdeltmotaal@lycos.com)

**Norbert Kühtreiber**, Institute of Navigation and Satellite Geodesy, TU Graz, Steyrergasse 30, A-8010 Graz, Austria  
e-mail: [norbert.kuehtreiber@tugraz.at](mailto:norbert.kuehtreiber@tugraz.at)



## Zum Gedenken an Prof. Karl Kraus

**Vortrag bei der Dreiländertagung der SGPBF, DGPF und OVG  
am 20.6.2007 in Muttenz/Basel**

*Friedrich Ackermann, Stuttgart*

Es ist sehr zu begrüßen, dass die Veranstalter dieser Dreiländertagung eine Gedenkstunde für den am 5. April 2006 verstorbenen Professor Karl Kraus aus Wien eingeplant haben, und ich eröffne sie gerne mit einem Rückblick auf seine ersten Jahre in Stuttgart, als er an meinem damaligen Institut arbeitete.

Als mich im vergangenen Jahr die Nachricht vom plötzlichen Tod von Prof. Karl Kraus erreichte, war ich wie alle anderen völlig überrascht und entsetzt. Er befand sich in seinem letzten aktiven Berufsjahr und sah seiner Emeritierung erwartungsvoll entgegen. Dennoch war er als ordentlicher Professor und Vorstand des Instituts für Photogrammetrie und Fernerkundung an der TU Wien nach wie vor höchst engagiert und aktiv. Wir kannten ihn alle als noch sehr stabilen und vielfältig tätigen Kollegen, obwohl ihm seine ständige Überlastung gesundheitlich doch mehr zu schaffen gemacht hat als bekannt war. Jedenfalls kam sein plötzlicher Tod für alle unerwartet, der ihn aus einem Symposium in Berlin herausriß, bei dem er noch am Tag vorher mit einem Vortrag aufgetreten war.

Ich fühlte mich besonders betroffen, hatte ich doch aus seiner Stuttgarter Zeit relativ enge berufliche und auch familiäre Kontakte aufrecht erhalten. Ich möchte deshalb hier noch einmal seiner Frau Ursula und den beiden Töchtern mein herzlichstes Mitgefühl ausdrücken. Karl Kraus hat von 1970–74 seine Lehr- und Reifejahre, wie wir sie bezeichnen können, an meinem Institut für Photogrammetrie in Stuttgart verbracht. Ich werde deshalb im folgenden diese Gedenkveranstaltung für Prof. Karl Kraus mit einigen Ausführungen über diese kurzen Jahre in Stuttgart eröffnen, ehe anschließend Prof. Pfeifer, sein Nachfolger, seine Tätigkeiten und Erfolge in Wien beleuchten wird.

### Vorgeschichte

Zunächst einige Lebensdaten von Karl Kraus. Er wurde am 23. April 1939 in Obermichelbach geboren. Das liegt im Kreis Dinkelsbühl in Franken. Er hat dann 1958–62 Vermessungswesen an der TH München studiert und war von 1962–66 Hochschulassistent am dortigen Institut

für Photogrammetrie und Kartographie, zunächst noch bei Prof. Richard Finsterwalder. Er schloss diese Tätigkeit mit seiner Promotion zum Dr.Ing. mit der Dissertation „Untersuchungen zur rechnerischen Blockausgleichung für photogrammetrische Katastervermessungen“ ab, ehe er anschließend als Referendar bei der Vermessungs- und Flurbereinigungsverwaltung tätig war und 1968 die zweite Staatsprüfung ablegte. In der Folge war er noch zwei Jahre an der Staatsbauschule München als Dozent tätig, ehe ich ihn an mein Institut nach Stuttgart holte. Wie das zustande kam, muss ich ein wenig erläutern.

Ich war zum 1. April 1966 vom ITC in Delft als Professor auf den Lehrstuhl für Photogrammetrie und Vermessungswesen an der TH Stuttgart berufen worden, als Nachfolger von Prof. Gotthardt, der seit 1949 in Stuttgart tätig gewesen und 1964 als Nachfolger von Prof. Finsterwalder an die TH München gegangen war. Ein photogrammetrisches Institut gab es damals in Stuttgart noch nicht. Mein Hauptinteresse lag aber eindeutig bei der Photogrammetrie, und ich gründete alsbald das Institut für Photogrammetrie, nachdem ich auf das Angebot von Prof. Ramsayer, als Co-Direktor zum geodätischen Institut zu gehen, nicht hatte eingehen wollen. Nun hatte aber Prof. Gotthardt aus der Personalsituation der 50er Jahre heraus und als extrem pflichtbewusster Professor eine sehr große Überlast an Lehrverpflichtungen, in einem Ausmaß, das man sich schon damals kaum vorstellen konnte, um von heute ganz zu schweigen. Die Photogrammetrie ist dabei eher in den Hintergrund geraten. Ich musste wohl oder übel fast alle seine Lehrverpflichtungen übernehmen, die neben der Photogrammetrie hauptsächlich Vermessungskunde und Ausgleichsrechnung umfassten. Bei meiner Berufung konnte ich lediglich die Vermessungskunde für Architekten und die Kartenprojektion ausgliedern. Insgesamt hatte ich damals unter allen Professoren der TH Stuttgart die größte Lehrbelastung. Z.B. waren im Vorlesungsverzeichnis des WS 1966/67 auf meinen Namen 38 Semester-Wochenstunden für Vorlesungen, Übungen und Seminare ausgewiesen.



*Univ. Prof. Dipl. Ing. Dr. Dr. h.c. Karl Kraus, 1939–2006*

Dabei machte mir besonders die Vorlesung Vermessungskunde III und IV zu schaffen. Ich hatte ja seit dem Studium nie als Vermessungsingenieur gearbeitet und wollte mich in dieses Fach nicht besser einarbeiten, sondern trachtete es los zu werden. In diesem Zusammenhang habe ich an Karl Kraus gedacht, als ich eine Dauerstelle für ihn hatte. Also habe ich ihn irgendwann im Sommer 1969 angerufen, ob er nicht Lust hätte, zum WS 69/70 nach Stuttgart zu kommen.

Ich hatte Karl Kraus zwar gekannt, aber wir hatten nach meiner Erinnerung keine eingehenden persönlichen Begegnungen gehabt. Vor allem aber kannte ich einige seiner Veröffentlichungen, die sich schon mit der Blockausgleichung unabhängiger Modelle und den Möglichkeiten der Katasterphotogrammetrie unter integrierter Einbeziehung terrestrischer Messungen befasst hatten. Jedenfalls wusste ich von ihm, und das genügte, um ihn als Wunschkandidaten an das Institut für Photogrammetrie holen zu wollen, obwohl die Vermessungskunde den formalen und unmittelbaren Anlass bildete.

Ich rief ihn also an und fragte, ob er Interesse hätte, zu uns nach Stuttgart zu kommen. Er sagte nach ganz kurzer Überlegung zu, und wir bereiteten die Formalien vor. Als Lehraufgabe wurde ihm die Vermessungskunde III und IV für

Geodäten übertragen, d.h. die Vermessungskunde im zweiten Jahr der Geodäsie Ausbildung, einschließlich der Hauptvermessungsübung. Er war genügend mit der damaligen Vermessungstechnik vertraut. Und in seiner frischen, mitreißenden Art waren seine Vorlesungen interessant und erfolgreich. Durch sein jungendliches Engagement hatte er stets besonders guten Kontakt mit den Studenten und war generell höchst anerkannt und beliebt.

Auf die Vermessungskunde brauche ich hier nicht weiter einzugehen. Ich war sie jedenfalls los und hatte sie in bessere Hände gegeben. Später übernahm dann Prof. Ruopp diesen Bereich. Er war ebenfalls sehr erfolgreich und beliebt. Entscheidend war aber, dass das spezielle Interesse von Karl Kraus wie bei mir der Photogrammetrie galt. Ich erhielt in ihm einen unglaublich aktiven und interessierten Mitarbeiter, der an der erfolgreichen Entwicklung des Instituts einen großen persönlichen Anteil hatte.

### **Die Arbeiten in Stuttgart**

Der zentrale Arbeitsschwerpunkt des Instituts war damals die Aerotriangulation bzw. insbesondere die Blockausgleichung. Dafür war das bekannte Programm PAT-M entwickelt worden. Karl Kraus war an dieser Entwicklung nicht mehr unmittelbar beteiligt, die sich damals schon in einem fortgeschrittenen Stadium befand. Er kümmerte sich dafür von Anfang an sehr intensiv um die Anwendung in der Katasterphotogrammetrie und um deren weitere Entwicklung. Für diese Anwendung hatten wir anfänglich noch ein eigenes Programm, das ursprünglich in Algol programmiert worden war. Die Katastervermessung bot mit den signalisierten Grenzpunkten besonders günstige Voraussetzungen für die Photogrammetrie, die alsbald auf ein extremes Genauigkeitsniveau gehoben werden konnte. Kraus nahm sich dieses Sektors an, und ich überließ ihm auch weitgehend die Initiative. Er arbeitete vor allem mit der Flurbereinigungsverwaltung von Baden-Württemberg zusammen und hatte dort bald eine begeisterte Gruppe um sich, die das Verfahren weiter auszubauen half, es erprobte und praktisch anwendete.

Die Weiterentwicklung betraf vor allem die systematische Genauigkeitssteigerung und die Einbeziehung terrestrischer Messungen auch zur Erhöhung der Zuverlässigkeit. Damals bestand noch die Vorschrift bei der Katastervermessung, möglichst viele Spannmaße zu messen, die allerdings nur zur Kontrolle der Punktkoordinaten

verwendet wurden. Wir führten dagegen die Spanmaße als zusätzliche Beobachtungen in die erweiterte Blockausgleichung ein. Mit der gleichen Zielsetzung wurden, wo notwendig, auch Punkttupel signalisiert. Sie erlaubten die eindeutige Identifizierung einzelner Grenzpunkte und bewirkten eine weitere Genauigkeitssteigerung, indem entsprechende Geraden- und Abstandsbedingungen in die Ausgleichung eingeführt wurden.

Diese technischen Entwicklungen waren nicht sehr problematisch. Wir hatten sie selber in der Hand. Daneben gab es, ebenso wichtig, viele Diskussionen und Beratungen, auch mit dem Landesvermessungsamt, wie die Ergebnisse aufzubereiten waren, um überhaupt katastermäßig anerkannt zu werden. Das Koordinatenkataster war ja noch nicht wirklich etabliert. Daneben hatten wir noch erhebliche andere Schwierigkeiten, z.B. bei den ersten Berechnungen. An der Universität hatten wir nämlich inzwischen einen Großrechner CDC 6600 erhalten, der aber nur einen sehr schwachen und langsamen Algol Compiler hatte und von dessen Kernspeicher die Uni zunächst mit 50 K (Sie haben richtig gehört: 50 K!) nur die Hälfte in Anspruch nehmen durfte. Das brachte uns bei dem ersten Block für ein echtes Flurbereinigungsverfahren in größte Schwierigkeiten, als wir viele Läufe brauchten und dabei oft die Kostengrenze von 50 K überschreiten mussten. Jedenfalls bekam ich – und zwar ich persönlich – am Ende von Control Data eine Rechnung über 40 000 DM auf den Tisch, von denen das CDC Management auch nach wiederholten Besprechungen, an denen auch Karl Kraus teilnahm, nicht abrücken wollte, und die Universität wies ohnehin alles von sich. Diese Anmerkungen sollen nur darauf hinweisen, dass die tatsächlichen Entwicklungen wesentlich komplexer und turbulenter verliefen, als es im nachhinein aussieht, wenn man einfach sagt, Karl Kraus habe sich der Entwicklung der Katasterphotogrammetrie angenommen.

Ohne hier auf weitere Einzelheiten einzugehen, sei allgemein daran erinnert, dass die Katasterphotogrammetrie mit signalisierten Punkten auf eine Koordinaten-Messgenauigkeit von 2  $\mu\text{m}$  im Bild kam. Dies entsprach bei einem Bildmaßstab von 1:4000 einer Endgenauigkeit von 1 cm im Gelände, und zwar nicht nur örtlich sondern auch flächenhaft regional, abhängig von der Qualität des Passpunktfeldes. Insofern hat die Katasteranwendung das hohe geometrische Genauigkeitspotential der Photogrammetrie unter Beweis gestellt und zur Anerkennung gebracht, unab-

hängig von diesem besonderen Anwendungsgebiet. Wie Sie ja wissen, ist die photogrammetrische Katastervermessung aus anderen Gründen in den späteren 70er Jahren auf die elektronische Tachymetrie übergegangen, die bezüglich der Feldarbeiten im Vorteil war.

Das zweite Arbeitsgebiet von Karl Kraus waren schon ab 1970 die digitalen Geländemodelle. Der Hintergrund war die sog. Kleinste Quadrate Interpolation. Kraus hat diese Methode aus der statistischen Literatur übernommen. Er war nämlich der bei uns mit Abstand belesenste Mitarbeiter. Er wohnte mit seiner Familie in Herrenberg, und hat die tägliche, etwa 1-stündige Zugfahrt, die er strikt einhielt, konsequent benutzt, um Fachliteratur zu lesen. Jedenfalls schien diese Kleinste Quadrate Interpolation, von der bei uns sonst niemand etwas wusste, eine sehr leistungsfähige allgemeine Methode zu sein, die für die Interpolation von digitalen Geländemodellen aus Höhenmessungen geeignet war. Wir wendeten diese Methode auch bei der Katasterphotogrammetrie an, um verbleibende systematische Spannungen des Blocks gegenüber dem Festpunktnetz zu korrigieren. Die Methode wurde aber hauptsächlich für die Interpolation digitaler Geländemodelle programmiert, bei denen zunächst noch die automatische Generierung von Höhenschichtlinien im Vordergrund stand, worauf der Name SCOP (= Stuttgart Contour Program) des Programms zurückgeht. Wir zielten aber von Anfang an auf große Punktmengen und hatten vor allem das DTM als eigenständiges Produkt im Blick. Die Ableitung von Höhenschichtlinien, aber auch von Neigungsmodellen oder Gefällstufenkarten, wurde entsprechenden Folgeprogrammen zugewiesen.

Es gelang uns bald, dieses Programm SCOP bei der Straßenbauverwaltung des Bundes einzubringen, was allerdings erhebliche weitere Entwicklungen und Untersuchungen erforderte. Die Stichworte Bruchkanten, punktarmer Gebiete, Datenfilterung und Kombination mit Tachymeteraufnahmen sollen genügen, um die weiteren Arbeiten zu charakterisieren. Karl Kraus hat sich mit Eifer in diese erweiterten Aufgaben gestürzt und in den kaum fünf Jahren, die er bei uns war, erhebliche Beiträge eingebracht. Tatsächlich ist die allgemeine Entwicklung und der Vertrieb dieses Programms SCOP dann an die Firma Inpho als Ableger des Instituts übertragen worden, und Karl Kraus hat sich in seinen Wiener Jahren um die weitere Entwicklung und Anwendung der digitalen Geländemodelle intensiv gekümmert. Er hat dabei stets engen Kontakt

zur Stuttgarter Gruppe gehalten, sodass SCOP als gemeinsames Produkt angesehen werden kann. In jüngster Zeit hat er dabei durch eine Abwandlung des Interpolationsprinzips eine Version entwickelt, mit der auch Daten von Laser-scannern über Waldgebieten bearbeitet werden können.

### Würdigung

Karl Kraus war, wie gesagt, sehr kreativ und aktiv tätig. Er wurde auch außerhalb sehr bald bekannt und gewürdigt. Dazu haben nicht zuletzt die 25 Veröffentlichungen beigetragen, die er von 1970–74 verfasst hat. Auf weitere Einzelheiten der Aktivitäten von Karl Kraus in jenen Jahren brauche ich hier nicht näher einzugehen. Sie sind auch nicht so wichtig im Hinblick auf die weitere Entwicklung und Entfaltung seiner Laufbahn als Professor in Wien, d.h. als Lehrer, Forscher und Vorstand des Instituts einschließlich seiner internationalen Verbindungen. Wichtig ist jedoch – das ist meine persönliche Erfahrung – dass man in seinen Lehrjahren gefördert und unterstützt wird, sich entfalten und wichtige Themen wie auch neue Hilfsmittel aufgreifen kann. Insofern bin ich heute noch froh und ein wenig stolz, dass wir ihm in Stuttgart die Plattform bieten konnten, auf der er unbeschwert arbeiten konnte und die sozusagen das Sprungbrett bildete für seine weitere, höchst bemerkenswerte und erfolgreiche Laufbahn in Wien.

Mir war jedenfalls völlig klar, dass ihn sein persönliches Engagement, seine wissenschaftliche Kompetenz, sein großartiges Verhältnis zu Studenten und Mitarbeitern, aber auch sein Verständnis der praktischen Belange der Disziplin für eine akademische Laufbahn prädestinierten, die früher oder später auf ihn zukommen würde. In dieser Hinsicht waren auch seine zupackende Art, seine Kontaktfähigkeit und unkomplizierte Entscheidungsfreudigkeit von Bedeutung. Zu letzterem kann ich anmerken, dass anlässlich des Abschiedsdinners des Council der ISPRS nach dem Kongress in Wien 1996 der damalige Präsident, Shunji Murai, im Hinblick auf den Kongressdirektor Karl Kraus in seiner Tischrede gesagt hat, dass ihm noch nie ein Mensch mit dieser Fähigkeit zu schnellen, klaren und definitiven ja-nein Entscheidungen begegnet sei, wo es doch im Japanischen zwischen ja und nein mindestens 10 Zwischenstufen gäbe.

Es kam dann früher als erwartet, und Karl Kraus wollte es kaum glauben, als ihn der Ruf an die TU Wien im Alter von kaum 35 Jahren erreichte.

Er hat ja in Stuttgart nur eine sehr kurze Anlaufzeit gehabt, die er sehr erfolgreich genutzt und die ihn schon weithin, auch international, bekannt gemacht hat. Das hat bei uns natürlich eine kaum zu schließende Lücke gerissen, aber wir nahmen Anteil an seiner Auszeichnung und an seinen weiteren Erfolgen. Ich habe mich stets über seine persönliche Entwicklung, über seine Rolle an der TU Wien und über seine wissenschaftlichen Erfolge sehr gefreut und zolle bis heute seiner Lebensleistung größten Respekt. Umso mehr bedauern wir alle, dass es ihm nicht mehr vergönnt war, die Früchte und die weitere Anerkennung seiner Arbeiten in einem erholsamen Ruhestand zu genießen.

### Veröffentlichungen von Karl Kraus vor 1970

- Untersuchungen zur ebenen verketteten linearen Ähnlichkeitstransformation, ZfV 1966, 123–130.
- Untersuchungen zur rechnerischen Blockausgleichung für photogrammetrische Katastervermessungen (Dissertation), DGK, Reihe C, 96, München 1966.
- Kurzfassung der Dissertation, BuL 1967, 29–30.
- Genauigkeitssteigerung der photogrammetrischen Katastervermessung mit Hilfe terrestrischer Messungen, BuL 1967, 70–74.
- Trigonometrisches Einschneiden mittels der Geradengleichung in Hessescher Normalform, ZfV 1967, 189–192.
- Zur photogrammetrischen Lageblockausgleichung unabhängiger Einzelmodelle, BuL 1967, 151–156
- Einbeziehung terrestrischer Messelemente in die photogrammetrische Katastervermessung, ZfV 1969, 353–356.
- Die Unsicherheit der Ergebnisse der großen Staatsprüfung, Mitteilungsblatt des Landesvereins Bayern des DVW 1969, 145–150.

### Auswahl aus den Veröffentlichungen von Karl Kraus von 1970–1974

- mit R. Bettin, Kombinierte photogrammetrisch-terrestrische Katastervermessung, BuL 1970, 241–248.
- Interpolation nach kleinsten Quadraten in der Photogrammetrie, ZfV 1970, 387–389.
- Automatische Berechnung digitaler Höhenlinien, ZfV 1971, 233–239.
- Kombinierte photogrammetrisch-terrestrische Katastervermessung – Programmbeschreibung und Diskussion praktischer Ergebnisse, Nachrichten aus dem Karten- und Vermes-

- sungswesen, Reihe I, Heft 53, Frankfurt 1971, 99–122.
- Film Deformation Correction with Least Squares Interpolation, Photogrammetric Engineering, 1972, 487–493.
  - mit P.B. Stewardson und D.C. Gsell, Digital Automatic Contouring System, presented paper, XII. Kongreß der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie, Ottawa 1972.
  - mit E.M. Mikhail, Linear Least Squares Interpolation, Photogrammetric Engineering 1972, 1016–1029.
  - mit E. Stark, Flächenhafte Verzeichnungskorrektur in der numerischen Photogrammetrie, BuL 1973, 49–56.
  - Rationalisierung der tachymetrischen Geländeaufnahme zur Automatisierung der Weiterverarbeitung zur großmaßstäbigen Karte, AVN 1973, 2–15.
  - Die Katasterphotogrammetrie im praktischen Einsatz, AVN 1973, 121–137.
  - Prädiktion und Filterung mit zwei verschiedenen Stützpunktgruppen, ZfV 1973, 146–153.
  - Ein allgemeines digitales Geländemodell – Theorie und Anwendungsmöglichkeiten, in F. Ackermann (Hrsg.) „Numerische Photogrammetrie“, Neue Folge – Buchreihe Band 5, Wichmann-Verlag, Karlsruhe 1973, 225–253.
  - Untersuchung zur Genauigkeit der Interpolation nach kleinsten Quadraten, ZfV 1974, 198–205.
  - Rationelle photogrammetrische und terrestrische Datenerfassung für ein universelles digitales Kartierungssystem, invited paper, XIV. FIG Kongreß, Washington 1974.
- BuL = Bildmessung und Luftbildwesen  
ZfV = Zeitschrift für Vermessungswesen  
AVN = Allgemeine Vermessungsnachrichten
- Anschrift des Autors**  
Prof. Dr.-Ing. Friedrich Ackerman, Pfeilstrasse 22,  
D-70569 Stuttgart, Deutschland

## Verleihung der Karl Rinner Preise 2005 und 2006

Zur Förderung von hervorragenden Leistungen von jungen österreichischen Wissenschaftlern/Innen verleiht die Österreichische Geodätische Kommission (ÖGK) jährlich den Karl Rinner Preis. Beurteilungskriterium für die Verleihung ist die herausragende Qualität einer Präsentation an einer internationalen Tagung oder einer Publikation in einer internationalen Zeitschrift im Fachgebiet Geodäsie.

Über die Stiftung des Preises und die Bestimmung für die Verleihung des Karl Rinner Preises wurde im Heft 3/2005 dieser Zeitschrift berichtet (VGI 2005/3, 137).

Auf Grund der eingelangten Vorschläge zur Verleihung des Förderpreises der ÖGK für junge Wissenschaftler aus dem Bereich Geodäsie wurde von der Kommission

**Dr. Andreas Wieser** als Preisträger für das Jahr 2005

und

**Dr. Alexander Reiterer** als Preisträger für das Jahr 2006

ausgewählt.

Im Anschluss an die interne Sitzung der ÖGK am 8. November 2006 fand eine öffentliche Veranstaltung der ÖGK mit der Preisverleihung und dem Vortrag des Rinner-Preisträgers 2005 zum Thema „High Sensitivity GPS: Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung“ statt (siehe den Artikel in diesem Heft).



Preisverleihung an Dr. Andreas Wieser

Die Preisverleihung an den Rinner-Preisträger 2006 und dessen Vortrag zum Thema „Intelligente Steuerung bildgebender Sensoren in der Ingenieurgeodäsie“ (siehe den Artikel in diesem Heft) fand im Anschluss an die interne Sitzung der ÖGK am 9. Mai 2007 im Rahmen einer öffentlichen Veranstaltung der ÖGK statt.

*Christoph Twaroch*

### **Festrede anlässlich der Verleihung des Karl Rinner Preises am 8. November 2006 an Dr. Andreas Wieser**

Sehr geehrte Festversammlung,

ich freue mich, Sie zur Karl Rinner Preisverleihung der Österreichischen Geodätischen Kommission (ÖGK) für das Jahr 2005 herzlich begrüßen zu dürfen. Besonders freut es mich, auch den Karl Rinner Preisträger 2004, Herrn Dr. J. Böhm, begrüßen zu können.

Erlauben Sie mir, Ihnen zuerst kurz den Sinn des Karl Rinner Preises zu erklären und Ihnen anschließend daran den Preisträger für das Jahr 2005, Herrn Dr. Andreas Wieser, vorzustellen.

Die ÖGK ist stolz darauf, dass Österreich im Verhältnis zur Bevölkerungszahl eine besonders hohe Zahl von sehr talentierten jungen Wissenschaftlern in der Geodäsie hat. Um diesen Stolz auszudrücken, hat sich die ÖGK entschlossen, jährlich einen Preis für herausragende geodätische Leistungen eines jungen Wissenschaftlers zu verleihen. Der Preis besteht aus einer Urkunde und einer Geldsumme, ausreichend für eine Konferenzteilnahme. Es ist die Aufgabe der ÖGK, Sponsoren für diesen Preis zu finden.

Der Name des Preises soll das komplette Spektrum der Geodäsie abdecken. Kein anderer österreichischer Wissenschaftler hat in so vielen modernen Gebieten gearbeitet wie Herr Professor Karl Rinner. Daher wurde der Preis als Karl Rinner Preis der ÖGK bezeichnet.

Für den Lebenslauf und die Würdigung der Leistungen von Professor Rinner möchte ich Sie auf die schöne und persönlich gehaltene Arbeit von Herrn Professor Moritz „Karl Rinner und die universale Geodäsie“, erschienen in der Festschrift „Geodaesia Universalis“ (Mitteilung der geodätischen Institute der TU Graz, Folge 40) verweisen.

Jetzt ist es aber wirklich an der Zeit, Ihnen den Karl Rinner Preisträger 2005 vorzustellen.

Andreas Wieser wurde 1969 in Lienz geboren. 1987 hat er mit Auszeichnung maturiert. Nach dem Militärdienst hat er ein Musikstudium in Wien begonnen und 1989 mit dem Studium des Vermessungswesens an der TU Wien erweitert. Beide Studien hat er abgeschlossen und zwar 1993 das Musikstudium für Klarinette und 1995 Vermessungswesen mit Auszeichnung. Von 1993 bis 1998 war er Mitglied im Concertus Musicus Wien unter der Leitung von Nikolaus Harnoncourt. Von 1996 bis 1998 war er an der TU Wien Forschungsassistent bei Herrn Prof. Kahmen mit dem Schwerpunkt „Digitale Bildverarbeitung“. Danach übersiedelte er für die Doktorarbeit als Universitätsassistent an die TU Graz und zwar an mein Institut, möchte ich stolz hinzufügen. Mit Auszeichnung hat er 2001 seine Doktorarbeit „Robust and fuzzy techniques for parameter estimation and quality assessment in GPS“ verteidigt.

In den folgenden Jahren hat Dr. Wieser herausragende Leistungen erbracht. Hervorheben möchte ich das Schrödinger Stipendium des FWF, das er im Jahr 2003/04 an der University of Calgary mit Herrn Professor Lachapelle als Gastgeber verbracht hat. Seit Abschluss seiner Dissertation beschäftigte er sich mit dem Thema „Ingenieurnavigation“ und dazu werden Sie von ihm später mehr erfahren.

Dr. Wieser hat zur Zeit der Beurteilung durch die ÖGK Ende 2005 30 Arbeiten in Zeitschriften und Tagungsbänden veröffentlicht. Inzwischen sind wieder weitere Publikationen dazugekommen.

Die Kriterien für den Karl Rinner Preis erfüllt Dr. Wieser in allen Aspekten in hohem Maße. Die herausragende Präsentation, auf die sich der Karl Rinner Preis 2005 bezieht, hat er am ION GNSS 2005 Meeting in Kalifornien gehalten, wo er die Arbeit „Accurate tropospheric correction for local GPS monitoring networks with large height differences“ vorgetragen hat. Für die Präsentation erhielt er den Best Paper Award.

Die ÖGK hat den Vorschlag für die Preisverleihung voll akzeptiert und so freue ich mich riesig, heute Herrn Dr. Andreas Wieser den Karl Rinner Preis 2005 überreichen zu können.

Die Preissumme hat Herr Dipl.-Ing. Peter Schmid, Ingenieurkonsulent in Wien, mit Freude gestiftet. Ich möchte Herrn DI Schmid ersuchen, diesen Teil des Preises persönlich zu überreichen.

*Fritz K. Brunner*  
Präsident der ÖGK

### **Festrede anlässlich der Verleihung des Karl Rinner Preises am 9. Mai 2007 an Herrn Dr. Alexander Reiterer**

Sehr geehrte Festversammlung,

ich freue mich, Sie zur Karl Rinner Preisverleihung der Österreichischen Geodätischen Kommission (ÖGK) für das Jahr 2006 herzlich begrüßen zu können. Diese öffentliche Veranstaltung besteht aus der Preisverleihung, gefolgt vom Vortrag des Preisträgers. Es ist eine besondere Freude, heute hier in Graz – der Wirkungsstätte von Herrn Professor Karl Rinner – den Preis Herrn Dr. Reiterer, den ich Ihnen dann später näher vorstellen werde, zu überreichen. Vorher möchte ich aber noch den Karl Rinner Preis erklären.

Die ÖGK ist stolz darauf, dass wir so viele besonders begabte geodätische Wissenschaftler in Österreich haben. Wir haben daher überlegt, unseren Stolz zu zeigen, indem wir eine Preisverleihung machen – und zwar jährlich und immer nur an besonders begabte junge Wissenschaftler in Österreich. Nachdem die Österreichische Geodätische Kommission alle geodätischen Bereiche betreuen möchte, haben wir nach einem entsprechenden Namen gesucht. Der Name, der uns sofort eingefallen ist, ist Karl Rinner. Manche sagen, er war das „letzte geodätische Universalgenie“. Das ist natürlich nicht ganz richtig, denn es sitzen ja nur solche heute hier, aber aus der früheren Zeit möchte ich sagen, war Karl Rinner das Universalgenie der Geodäsie. Das kann man auch an seinen vielen Publikationen und Büchern erkennen, insbesondere denke ich dabei an Jordan/Eggert/Kneissl „Handbuch der Geodäsie“. Also der Name wurde gefunden und dann haben wir natürlich auch gedacht, wenn man so einen Preis vergibt, kann man nicht nur ein Dokument überreichen und zu einem Vortrag einladen, sondern man muss auch eine entsprechende Summe zur Verfügung stellen. Die ÖGK hat es auf sich genommen, die Sponsoren jedes Mal für diesen Preis zu finden und ich werde Ihnen den Sponsor für den Preis 2006 später vorstellen.

Der leider früh verstorbene Professor Karl Kraus hat bei der letzten Verleihung zu mir gesagt, ich möge doch unbedingt auch auf den Lebenslauf von Karl Rinner eingehen. Das hätte ihm besonders gefallen. Daher möchte ich Ihnen hier einige Aspekte aus dem reichen Leben von Professor Rinner mitteilen. Für meine Rede habe ich einige Meilensteine aus Riners Leben ausgewählt. Also Karl Rinner wurde im Oktober 1912 in Gratkorn bei Graz geboren und ist auch in Gratkorn 1991 verstorben. Er kam aus bürgerlich-

chen Verhältnissen, sein Vater war Gastwirt und Bürgermeister aus Gratkorn und seine Mutter stammte aus einer Handwerkerfamilie. Rinner hat dann an der Universität Graz Mathematik und Darstellende Geometrie studiert und gleichzeitig an der Technischen Hochschule Graz – wie sie damals noch hieß – Vermessungswesen studiert. Das Studium des Vermessungswesen hat er dann 1936 – also schon in einer turbulenten Zeit – mit ausgezeichnetem Erfolg abgeschlossen. Ich möchte jetzt auf einige Aspekte eingehen, die heute – in einer Zeit, in der wir mit Gremien, paritätischen Kommissionen, etc., leben – unmöglich wären. Wenige Monate nach seinem Diplom hat er bei der Akademie der Wissenschaften die 18 Seiten lange Arbeit „Beiträge zur Wiener'schen Imaginärprojektion“ eingereicht. Der damalige Mathematikprofessor hier an der Technischen Hochschule Graz, Prof. Baule, hat diese Arbeit für derartig wichtig eingeschätzt, dass er spontan und ohne Umstände Karl Rinner zum Dr. Rinner gemacht hat. Können Sie sich vorstellen, wie das heute ausgehen würde? Am Ende des Studiums hat sich Karl Rinner dann nach Deutschland orientiert und dort wurde er dann – der Zeit entsprechend – bei der Kriegsmarine einberufen. Er wurde bald Kapitänleutnant und hat dort viele Dienstvorschriften fachlicher Art herausgegeben. Er habilitierte sich dann an der Technischen Hochschule Berlin und am Ende vom Krieg, wie es damals so üblich war, musste man natürlich die Leute wieder auf ‚Vordermann‘ bringen und deshalb wurde er eineinhalb Jahre in verschiedenen Lagern „umgeschult“. Rinner hat sich dann entschieden, nach Australien zu gehen. Jedoch hat die britische Besatzungsbehörde seine Ausreise verweigert. Wie er mir einmal erzählt hat, war alles gepackt und einen Tag vor der Ausreise wurde ihm gesagt, dass er nicht ausreisen dürfe und so ist dann sein Kollege Legat aus Leibnitz nach Australien gegangen. Rinner hat sich mit seinem Vermessungsbüro in Graz etabliert und habilitierte sich 1953 ein zweites Mal, und zwar hier an der Technischen Hochschule in Graz. Jetzt kommt wieder so ein interessanter Aspekt, der heute unmöglich wäre. Karl Rinner wurde 1959 an die Technische Hochschule Wien berufen, aber der Professor hier in Graz, Professor Bavir, war Wiener und so haben die beiden einfach den Posten getauscht. Also stellen Sie sich vor, wenn in der heutigen Zeit zwei Professoren die Posten tauschen würden. Man müsste zuerst einmal eine administrative Einheit gründen mit ungefähr vier Personen, die dann die rechtlichen Grundlagen durchleuchten sollen.

Aber wir warten hier alle gespannt auf den Vortrag von Herrn Dr. Reiterer und so müssen hier einige Stationen im Leben von Karl Rinner unerwähnt bleiben. Er hat auch den Ruf an andere Universitäten erhalten und er wurde unter anderem auch zum Ehrendoktor in Darmstadt und in Hannover ernannt. Er war wirkliches Mitglied der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, hat ungefähr 200 Publikationen verfasst und auf den verschiedensten Gebieten Lehrbücher verfasst. Rinner war sicher ein universell begabter Geodät und daher ist die Österreichische Geodätische Kommission besonders stolz darauf, diesen Namen für den Preis verwenden zu dürfen.

Jetzt ist es an der Zeit, nachdem ich Ihnen Karl Rinner vorgestellt oder wieder ins Gedächtnis gerufen habe, Ihnen den Karl Rinner Preisträger für das Jahr 2006 kurz vorzustellen. Es ist Herr Dr. Alexander Reiterer, der 1974 in Meran geboren wurde. Er hat an der TU Wien Vermessungswesen studiert und 2001 seinen Diplomingenieur abgeschlossen. Danach hat er gleich das Doktoratsstudium fortgesetzt, das er 2004 mit der Dissertation „A Knowledge-Based Decision System for an On-Line Videotheodolite-Based Multi-sensor System“ bei Herrn Prof. Kahmen abgeschlossen hat. Seit 2004 ist er Universitätsassistent bei Herrn Prof. Kahmen und beschäftigt sich insbesondere mit Artificial Intelligence in Engineering Geodesy, Multisensor System, Sensordata Fusion and Deformation Analysis. Dr. Reiterer war dann drei Monate lang Gastwissenschaftler an der ETH Zürich. Er ist Mitglied in mehreren internationalen Studiengruppen der IAG und FIG und hat auch sein Talent bei Herrn Prof. Kahmen bei der Organisation von verschiedenen Meetings gezeigt, insbesondere der „Optical 3D Measurement Techniques“. Seit 2006 ist er auch Co-Investigator vom Forschungsprojekt „Multi-Sensor Deformation Measurement System Supported by Knowledge Based and Cognitive Vision Techniques“. Zum Zeitpunkt der Einreichung für den Karl Rinner Preis hat Herr Dr. Reiterer ungefähr 34 Arbeiten in Zeitschriften und Tagungsbänden publiziert. Die Kommission hat den Vorschlag von Herrn Prof. Kahmen, Herrn Dr. Reiterer den Karl Rinner Preis 2006 zu überreichen, sorgfältig geprüft und nach den Statuten wird ihm der Preis für die Publikation „The development of an online knowledge-based videotheodolite measurement system“ überreicht, die er in der internationalen Zeitschrift „Knowledge-Based Systems“ verfasst hat. Ich habe nun die große Freude, Herrn Dr. Reiterer den

Karl Rinner Preis 2006 zu überreichen. Herzliche Gratulation!

Das ist der visuelle Teil, für den monetären Teil haben wir einen Sponsor gefunden, den ich Ihnen auch vorstellen möchte. Das ist die Firma Rost in Wien, die durch Herrn Dr. Michael Hiermanseder

vertreten wird. Ich möchte Herrn Dr. Hiermanseder ersuchen, Herrn Dr. Reiterer die Preissumme persönlich zu übergeben.

*Fritz K. Brunner  
Präsident der ÖGK*



## High-Sensitivity GPS: Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung

Andreas Wieser, Graz

### Kurzfassung

Der Wunsch, einen Mobiltelefonbenutzer automatisch zu lokalisieren, wenn er eine Notrufnummer wählt, sowie die steigende Nachfrage nach ortsbezogenen Diensten hat die Entwicklung von sogenannten high-sensitivity (HS) GPS Empfängern angetrieben. Sie ermöglichen die Positionsbestimmung im Wald, in Straßenschluchten und selbst in Innenräumen. Während sich solche Empfänger bereits in Mobiltelefonen, einfachen Navigationsgeräten und anderen Massenmarkt-Artikeln finden, konnten sie sich in technischen Bereichen mit hohen Genauigkeitsanforderungen noch nicht etablieren. Woran liegt das? Haben die Anwender das Potential noch nicht erkannt? Ist die Entwicklung noch nicht weit genug vorangeschritten?

Dieser Beitrag gibt einen Einblick in die Grundlagen von HS-GPS. Es wird diskutiert, warum GPS Positionsbestimmung in abgeschatteten Bereichen überhaupt möglich ist, wie die Empfindlichkeit eines GPS Empfängers gesteigert werden kann, und welche zukünftigen Entwicklungen absehbar sind. Es zeigt sich, dass die Steigerung der Empfindlichkeit unweigerlich eine Reduktion der Genauigkeit bewirkt. Auch zukünftig wird HS-GPS in erster Linie für Anwendungen interessant sein, wo die Verfügbarkeit von Positionslösungen im Vordergrund steht, nicht die Genauigkeit.

**Schlüsselwörter:** GPS, Empfindlichkeit, Genauigkeit, Verfügbarkeit

### Abstract

The development of high-sensitivity (HS) GPS receivers has been driven by the US mandate on location of cell phone users who place an emergency call, and by the increasing interest in location based services. HS-GPS receivers increase the availability of position solutions in environments with limited line-of-sight satellite visibility and may allow positioning even indoors. They are now commonly used within the latest cell phones, car navigation systems and other consumer products but have not entered technical areas with stringent accuracy requirements. The paper highlights the reasons. The basic concept of HS-GPS is reviewed, examples of applications are given, and the limitations are discussed. It is shown that HS-GPS is primarily useful for applications which require position availability rather than accuracy.

**Keywords:** GPS, sensitivity, accuracy, availability

### 1. Einleitung

GPS Satelliten strahlen den C/A-Code mit einer Leistung von 27 W ab. Beim Empfang auf der Erdoberfläche beträgt die Signalleistung nur noch etwa  $10^{-16}$  W bzw.  $-160$  dBW.<sup>1)</sup> Der enorme Verlust resultiert hauptsächlich aus der sogenannten Freiraumdämpfung, also der Abnahme der Leistungsdichte mit dem Quadrat der Entfernung. Eine ausführliche Diskussion des Leistungsbudgets und Angaben zu den anderen GPS Signalen findet man z.B. in [18] und [10, S.183ff].

Die praktische Erfahrung mit konventionellen GPS Empfängern verleitet zur Annahme, dass Gebäude und andere Objekte die Signale

blockieren („abschatten“) und dass GPS Empfänger deshalb im Schatten solcher Objekte – oder in ihrem Inneren – nicht einsetzbar sind. Tatsächlich breiten sich elektromagnetische Wellen aber nicht nur entlang der direkten Sichtverbindung aus, sondern auch indirekt durch Reflexion, Beugung und Streuung, siehe z.B. [14]. Darüber hinaus können elektromagnetische Wellen Hindernisse sogar durchdringen. Dabei werden sie jedoch je nach Materialeigenschaften, Dicke des Hindernisses, Wellenlänge und Auftreffwinkel abgeschwächt, [8]. GPS Signale existieren also auch in abgeschatteten Bereichen, wie in Innenräumen, im Inneren von Fahrzeugen, oder unter dichter Beschirmung im Wald. Sie sind dort jedoch normalerweise so schwach, dass ein

<sup>1)</sup> Leistungsverhältnisse werden häufig logarithmisch angegeben, weil damit unterschiedlichste Größenordnungen bequem gehandhabt werden können. Mit der Beziehung  $R_{dB} = 10 \cdot \log(P_1/P_2)$  kann das Verhältnis von  $P_1$  zu  $P_2$  in Dezibel (dB) ausgedrückt werden. Leistungen selbst können ebenfalls in dB angegeben werden, wenn man sie als Verhältnis zu 1 W oder zu 1 mW auffasst. Dies wird durch die Dimensionen dBW oder dBm gekennzeichnet.  $-160$  dBW entspricht daher  $10^{-16}$  W bzw.  $10^{-13}$  mW und  $-130$  dBm.

konventioneller GPS Empfänger sie weder erfassen noch verfolgen kann.

Die Signalstärke in abgeschatteten Bereichen resultiert aus der Überlagerung reflektierter, gebeugter und transmittierter Wellen. Sie hängt von vielen nur näherungsweise bekannten Parametern ab und ist in der Regel zeitlich und räumlich stark variabel. Daher kann man die Signalstärke nicht deterministisch vorhersagen; eine Abschätzung auf Basis stochastischer Modelle ist jedoch möglich. Eine hilfreiche Einführung findet man in [14], konkrete Anwendungsbeispiele für GPS z.B. in [9] und [7].

Abb. 1 zeigt typische Größenordnungen der Dämpfung von GPS Signalen (C/A-Code) in unterschiedlicher Umgebung bzw. durch unterschiedliche Hindernisse. Die Werte stammen größtenteils aus experimentellen Untersuchungen des Autors, entsprechen aber auch den mittleren Dämpfungswerten die für verschiedenste Materialien und Umgebungen in der Literatur angeführt sind, [14], [2]. Konventionelle GPS Empfänger sind so ausgelegt, dass sie Signale bis zu einer Stärke von etwa  $-170$  dBW nutzen können. Solche Empfänger sind in stark abgeschatteten Bereichen nicht mehr einsetzbar, wo die Dämpfung 10 dB häufig übersteigt.<sup>2)</sup>

Marktbedürfnisse (z.B. „Location based services“) und gesetzliche Rahmenbedingungen in den USA (E911 Mandat, [3], [4]) haben in den vergangenen Jahren die Entwicklung von GPS Empfängern angetrieben, die auch im Wald, in stark verbaubtem Gebiet und sogar im Inneren von Gebäuden funktionieren. Die prinzipielle Machbarkeit wurde 1997 von Peterson et al. experimentell nachgewiesen, [13]: mit einem Versuchsaufbau gelang es, GPS Pseudostrecken in einer Umgebung zu messen, wo die Signalleistung um 60 dB (d.h., um einen Faktor  $10^6$ !) schwächer war als bei direkter Sichtverbindung zu den GPS Satelliten. Inzwischen werden von fast allen namhaften Herstellern massenmarkttauglicher Einfrequenzempfänger auch hoch sensible GPS Empfänger, sogenannte *high-sensitivity* (HS) Empfänger, angeboten, die Signale mit einer Leistung von  $\leq -180$  dBW erfassen können.

In diesem Beitrag wird zunächst skizziert, wie sich die Empfindlichkeit eines GPS Empfängers steigern lässt (Abschnitt 2). Diese Steigerung kann zu einer höheren Anzahl verfügbarer Satelliten-Beobachtungen führen; die zusätzlich gewonnenen Beobachtungen sind jedoch übli-

cherweise weniger genau als die Beobachtungen zu Satelliten mit direkter Sichtverbindung. In Abschnitt 3 wird die erreichbare Genauigkeit von HS-GPS unter diesem Aspekt diskutiert. Daraus ergeben sich dann Limitierungen für gegenwärtige und absehbare Anwendungsfelder, die in Abschnitt 4 exemplarisch vorgestellt werden.

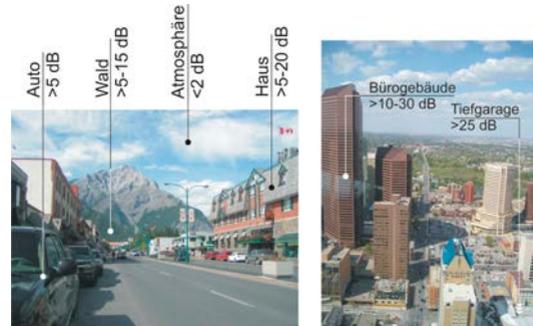


Abb. 1: Typische Dämpfung von GPS Signalen durch unterschiedliche Hindernisse im direkten Signalweg

## 2. Vom konventionellen zum hoch-sensitiven GPS Empfänger

### 2.1 Signal-Rausch-Verhältnis

Es mag zunächst naheliegend scheinen, in den Empfänger einen besseren Signalverstärker einzubauen, um auch die Signale abgeschatteter Satelliten nutzbar zu machen. Die kritische Größe ist jedoch nicht primär die Signalleistung  $p_s$ , sondern das Signal-Rausch-Verhältnis

$$\text{SNR} = 10 \cdot \log_{10} \frac{p_s}{p_N} \quad (1)$$

Dieses wird durch einen Verstärker nicht verbessert. Im Fall von GPS resultiert die Rauschleistung  $p_N$  zum überwiegenden Teil aus dem thermischen Rauschen, welches im Antennen-Empfänger-System selbst entsteht, siehe [10]. Die Energie des thermischen Rauschens ist gleichmäßig über alle Frequenzen verteilt (*weißes Rauschen*). Damit ergibt sich die Rauschleistung aus dem Produkt der sogenannten Rauschdichte  $n_0$  (in W/Hz) und der Bandbreite  $b$  (in Hz) des Systems:

$$p_N = n_0 \cdot b \quad (2)$$

Setzt man Gl. (2) in Gl. (1) ein und drückt alle beteiligten Größen logarithmisch aus, dann kann man das Signal-Rausch-Verhältnis auch wie folgt schreiben:

2)  $-170$  dBW =  $-160$  dBW  $-10$  dB; aufgrund der logarithmischen Skala sind Dämpfungen, ausgedrückt in dB, additiv.

$$\text{SNR} = P_S - N_0 - B = C/N_0 - B, \quad (3)$$

worin  $P_S$ ,  $N_0$  und  $B$  die Signalstärke (in dBW), die Rauschdichte (in dBW/Hz) und die Bandbreite (in dBHz) sind, und die ersten beiden Terme zum Signal-Rauschdichte-Verhältnis  $C/N_0$  (*carrier-to-noise-density ratio*) zusammengefasst werden. Der  $C/N_0$ -Wert kann im Empfänger praktisch nicht beeinflusst werden<sup>3)</sup> und ist ein direktes Maß für die Signalstärke, weil der Anteil  $N_0$  durch Antenne und Vorverstärker weitgehend vorgegeben ist. Für eine typische Antennen-Empfänger-Kombination beträgt die Rauschdichte ca.  $-201$  dBW/Hz und das  $C/N_0$  eines ungestörten C/A-Code Signals damit ca.  $41$  dBHz, [10], [22].

## 2.2 Signalerfassung und -verfolgung

Die Bandbreite  $B$  – und damit das Signal-Rausch-Verhältnis SNR – hängt von der Abtastrate und den eingesetzten Filtern ab. Die Bandbreite ist an verschiedenen Punkten im Antennen-Empfänger-System unterschiedlich groß. Aufgrund der C/A-Code Chiprate von  $1.023$  MHz muss die Digitalisierung des empfangenen GPS Signals mit mehr als  $2.046$  MHz erfolgen, und die Bandbreite der vorgeschalteten Filter zur Rauschunterdrückung muss diesen Wert ebenfalls übersteigen, daher gilt zunächst

$$b > 2.046 \times 10^6 \text{ Hz} \Rightarrow B > 63 \text{ dBHz}, \quad (4)$$

weil die Bandbreite der Abtastrate gleichgesetzt werden kann. Für ein typisches, nicht zusätzlich abgeschwächtes GPS Signal mit  $C/N_0 = 41$  dBHz folgt:

$$\text{SNR} < 41 - 63 \text{ dB} = -22 \text{ dB}. \quad (5)$$

Das Rauschen (Varianz) ist nach der Digitalisierung also um einen Faktor  $100$  stärker als das Signal. Zur Messung kann das Signal jedoch nur genutzt werden, wenn  $\text{SNR} > 0$ . Um das zu erreichen muss nach Gl. (3) die Bandbreite verringert werden. Rein rechnerisch scheint das durch die Wahl einer geringeren Abtastrate erreichbar. Praktisch führt das nicht zum Ziel, weil das Signal dann gemäß dem Abtasttheorem nicht mehr (eindeutig) aus den digitalisierten Werten rekonstruierbar ist, [11].

Die Lösung besteht in der Berechnung der Kreuzkorrelationsfunktion aus empfangenem Signal  $x(t)$  (inklusive Rauschen) und im Empfänger erzeugter Signalkopie  $y(t)$  (*replica code*). Der Wert der Kreuzkorrelationsfunktion wird aus  $n$

aufeinanderfolgenden abgetasteten Werten  $x_i$  und  $y_i$  wie folgt geschätzt:

$$\hat{R}_{xy}^{[n]}(\tau) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_{i+k}, \quad (6)$$

mit

$$\begin{aligned} x_i &= x(t_i), y_i = y(t_i), \tau = k \cdot \Delta t_s, \\ \Delta t_s &= t_{i+1} - t_i = \text{const.}, k \in \mathbb{Z}. \end{aligned} \quad (7)$$

Die Pseudostrecke ergibt sich dann aus der Lichtgeschwindigkeit und jenem Zeitversatz  $\tau$ , für den die Kreuzkorrelationsfunktion maximal wird. Der interessierte Leser wird für eine umfassende Darstellung von Signalerfassung, Signalverfolgung und Bestimmung der Pseudostrecken auf [18] und [16] verwiesen; eine Zusammenfassung des Prozesses in deutscher Sprache wurde z.B. in [22] gegeben.

Die Schätzung der Kreuzkorrelation nach Gl. (6) wird in der GPS Literatur als „Integration“ bezeichnet und entspricht im Prinzip einer Mittelung über  $n$  Messwerte. Das Rauschen (Varianz) geht bei einer solchen Mittelung um den Faktor  $1/n$  zurück, während die Signalleistung unverändert bleibt. Damit bewirkt die Integration über  $T_{int} = n \times \Delta t_s$  Sekunden also eine Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses um  $10 \cdot \log_{10} n$  dB (und entspricht einer Reduktion der Bandbreite um  $10 \cdot \log_{10} n$  dB). Je länger integriert wird, umso größer wird das SNR. Konkret lässt sich aus Gl. (3) das SNR nach der Integration wie folgt berechnen:

$$\text{SNR} = C/N_0 - B_s + 10 \cdot \log_{10} n, \quad (8)$$

wobei die Bandbreite des abgetasteten Signals mit  $B_s$  bezeichnet wurde. Aus Gründen der Einfachheit sind Implementierungsverluste in dieser Arbeit nicht berücksichtigt. Im realen GPS Empfänger treten bei der praktischen Umsetzung des Prinzips aus Gl. (6) noch Verluste von einigen dB auf, die von Details der Implementierung abhängen und in Gl. (8) bzw. (10) als konstanter, additiver Term berücksichtigt werden könnten.

Aus Gl. (8) erhält man wegen

$$\begin{aligned} n &= \frac{T_{int}}{\Delta t_s} = f_s \cdot T_{int} \Rightarrow \\ &\Rightarrow 10 \cdot \log_{10} n = B_s + 10 \cdot \log_{10} T_{int}, \end{aligned} \quad (9)$$

die einfachere Beziehung

$$\text{SNR} = C/N_0 + 10 \cdot \log_{10} T_{int}, \quad (10)$$

das SNR hängt also nur vom  $C/N_0$  und der Integrationsdauer ab.

<sup>3)</sup> Die Bestimmung dieses Wertes erfolgt im Empfänger durch Schätzverfahren und auf Basis von Annahmen. Unterschiedliche Empfänger können daher selbst bei Verwendung identischer Antennen und Signale verschiedene  $C/N_0$ -Werte anzeigen.

Die zuverlässige Bestimmung der Pseudostrecken erfordert, dass das Signal deutlich stärker als das Rauschen ist; als Richtwert dafür kann  $\text{SNR} > 10$  dB angenommen werden, was einem Verhältnis 10:1 von Signalleistung zu Varianz – und damit etwa einem Verhältnis 3:1 von Signalamplitude zu Standardabweichung – entspricht. Mit Hilfe von Gl. (10) kann man die minimale Integrationsdauer als Funktion der Signalstärke abschätzen. Dieser Zusammenhang ist in Abb. 2 veranschaulicht.

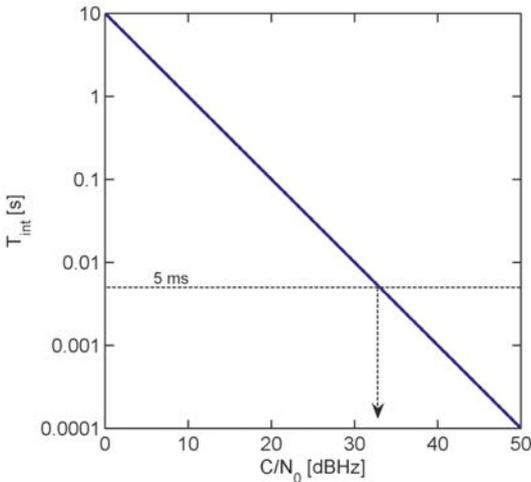


Abb. 2: Nach Gl. (10) abgeschätzte minimal erforderliche Integrationsdauer für  $\text{SNR} \geq 10$  dB

Für die oben erwähnte typische Signalstärke von 41 dBHz ist demnach eine Integration über etwa 1 ms erforderlich. Die Abbildung suggeriert, dass sich die Sensitivität des Empfängers durch längere Integration nahezu beliebig steigern lässt. In Innenräumen können GPS Signale um mehr als 30 dB gedämpft sein; nach Abb. 2 scheinen selbst solche Signale noch erfassbar, wenn die Integrationszeit 1 s oder mehr beträgt.

Allerdings kann man die Zeitdauer der sogenannten *kohärenten Integration*, mit der der Wert der Kreuzkorrelation gemäß Gl. (6) geschätzt wird, nicht beliebig ausdehnen. Die Ursache liegt in der unbekannt *exakten* Trägerfrequenz des empfangenen Codes (aufgrund der Relativbewegung zwischen Empfänger und Satellit kommt es zu einer zeitlich veränderlichen Dopplerverschiebung von bis zu  $\pm 4.5$  kHz) und in den Navigationsdaten, die dem C/A-Code mit einer Bit-Rate von 50 Hz aufmoduliert sind. Beide Effekte bewirken letztlich einen Vorzeichen-

wechsel im digitalisierten Signal  $x(t)$ , der im replizierten Code  $y(t)$  nicht enthalten ist. Bei der Integration über einen solchen Vorzeichenwechsel hinweg kommt es mit zunehmender Integrationsdauer zu einer Auslöschung des Signalanteils und damit zu einer Reduktion anstatt zu einer Steigerung des SNR. Um diesen Effekt zu vermeiden, beträgt die Integrationsdauer bei einem konventionellen GPS Empfänger typischerweise nicht mehr als 5 ms, und Signale mit einem  $C/N_0$  unter 33 dBHz können gemäß Abb. 2 nicht mehr erfasst werden. Für Details wird auf [18], [10] und [22] verwiesen.

### 2.3 Sensitivitätssteigerung

Trotz der oben angeführten Schwierigkeiten liegt der Schlüssel zu HS-GPS in einer Verlängerung der Integrationszeit. Dies wird insbesondere durch eine sogenannte *nicht-kohärente Integration* ermöglicht, bei der die Ergebnisse mehrerer aufeinanderfolgender kohärenter Integrationen zunächst quadriert und dann aufsummiert werden. Dadurch kann der Einfluss von Vorzeichenwechseln im modulierten Signal reduziert und die Integration über die Grenzen der Datenbits hinweg durchgeführt werden. Der Preis dafür ist ein einmaliger *Quadrierverlust* (Verringerung des SNR), der umso stärker ausfällt, je geringer das Signal-Rausch-Verhältnis vor dem Quadrieren ist.

Der Zusammenhang zwischen  $C/N_0$  und erforderlicher Integrationszeit aus Abb. 2 gilt nur für starke Signale (die allein mit kohärenter Integration erfasst werden können). Abb. 3 zeigt den Zusammenhang unter Berücksichtigung des Quadrierverlustes und gilt auch für schwache Signale. Die erforderliche Integrationszeit hängt nicht nur vom  $C/N_0$  sondern auch von der Dauer  $T_{coh}$  der kohärenten Integration ab, die ja das SNR vor dem Quadrieren mitbestimmt. Die Treppenform der Kurven in Abb. 3 entsteht, weil die gesamte Integrationszeit  $T_{int}$  nur ein ganzzahliges Vielfaches von  $T_{coh}$  sein kann. Wie zuvor, sind auch hier Implementierungsverluste (von typischerweise 2–10 dB) nicht berücksichtigt.

Leider ist die Integrationszeit auch mit nicht-kohärenter Integration auf etwa 1 s beschränkt. Die Hauptgründe dafür liegen in der Instabilität des Empfängeroszillators und in der Bewegung von Empfänger bzw. Antenne relativ zur Erdoberfläche. Dadurch ändert sich die Frequenz des empfangenen Signals während der Integration in nicht präzisierbarer Weise, was den SNR-Gewinn mit zunehmender Integrationsdauer wieder auslöscht, [1]. Daher ist für die Erfassung von

Signalen in stark abgeschatteten Bereichen oder in Innenräumen ( $C/N_0 < 20$  dBHz) auch eine Ausdehnung der kohärenten Integration über die oben angeführten 5 ms hinaus nötig, siehe Abb. 3. Tatsächlich gelingt das, wenn dem Empfänger Information über die Datenbits der Navigationsnachricht sowie den Frequenzfehler des Empfänger-oszillators zur Verfügung gestellt wird (*aiding*). Das kann mit Hilfe entsprechender Dienste über eine Telekommunikationsverbindung (z.B. GSM) erfolgen – man spricht dann von *assisted GPS* (A-GPS), siehe z.B. [23] –, oder über kürzere Zeiträume auch durch Prädiktionsalgorithmen im Empfänger selbst (z.B. beim Übergang von abschattungsfreier Umgebung in abgeschattete Bereiche, oder bei einem Warmstart).

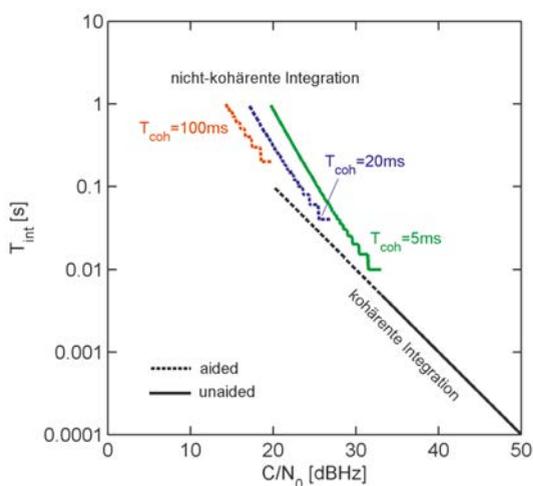


Abb. 3: Theoretisch erforderliche Integrationsdauer für  $SNR \geq 10$  dB unter Verwendung nicht-kohärenter Integration (Quadraturverlust berücksichtigt, Implementierungsverluste vernachlässigt)

Schließlich ergeben sich bei der technischen Umsetzung noch beträchtliche Probleme durch den Rechenaufwand, insbesondere während der Signal-Akquisition. Da sich der Trägerfrequenzunterschied  $\delta f_D$  zwischen empfangenem und repliziertem Signal auf den geschätzten Wert der Kreuzkorrelation auswirkt, muss der Empfänger nämlich die Integration für hinreichend viele Werte von  $\tau$  und  $\delta f_D$  durchführen, um das Maximum der Kreuzkorrelation zu finden. Damit die Signalakquisitionszeit trotzdem im Bereich weniger Sekunden (oder darunter) bleiben kann, ist massive Parallelrechnung oder der Einsatz von Fourier-Transformations-Algorithmen erforderlich. Für

weitere technische Details und Referenzen wird auf [19], [17], [2] und [22] verwiesen.

Kommerziell erhältliche HS-GPS Empfänger können Pseudostrecken bis zu einem  $C/N_0$  von ca. 12 dBHz noch verfolgen und sind damit um ca. 20 dB sensitiver als konventionelle Empfänger. Allerdings können derzeitige HS-GPS Empfänger bei Signalstärken unter ca. 27 dBHz keinen Kaltstart (keine Vorinformation über Uhrfehler, Position und Satellitenverteilung) mehr durchführen, weil die Navigationsdaten bei so schwachen Signalen nicht demoduliert und die Pseudostrecken nicht vollständig bestimmt werden können. Für einen längeren Betrieb in stark abgeschatteten Bereichen benötigen HS-GPS Empfänger daher externe Zusatzinformationen (A-GPS).

Eine Verbesserung der Kaltstart-Fähigkeit ist durch neue Acquisitions- und Demodulations-Algorithmen auf Basis erweiterter Kalman Filter und sogenannter Viterbi-Algorithmen absehbar, siehe [24]. Eine Verbesserung der Tracking-Fähigkeit zeichnet sich nicht ab, obwohl sie durch tiefe Integration von Inertialsensoren sowie die Verwendung besserer Oszillatoren theoretisch möglich wäre. Die Ursache liegt in den damit verbundenen Kosten, die für die Ziel-Märkte von HS-GPS (s. Abschnitt 4) noch zu hoch sind. Für Spezialanwendungen könnte der in [12] vorgestellte Ansatz nützlich sein, bei dem die Signalintegration und Ableitung der Messgrößen erst im Post-Processing erfolgt; allerdings fallen dabei gewaltige Datenmengen an, die zunächst gespeichert werden müssen (4 MB/s, wenn die Abtastfrequenz 16 MHz beträgt und mit einer Auflösung von 2 Bit digitalisiert wird).

Applikationen, welche die Trägerphasenmessungen benötigen, können von HS-GPS kaum profitieren. Selbst wenn es durch neue Algorithmen (wie in [24]) in Zukunft gelingen sollte, Trägerphasenmessungen auch unter 27 dBHz durchzuführen, werden diese Messungen mit häufigen Cycle-Slips kontaminiert sein und wegen des Signalempfangs über Beugung und Reflexion (statt entlang der direkten Sichtverbindung) große systematische Fehler aufweisen.

### 3. Erreichbare Genauigkeit

#### 3.1 Präzision der Messungen

Die Präzision der rohen Messwerte (Pseudostrecke, Trägerphase, Dopplerfrequenz) im Empfänger hängt insbesondere vom Signal-Rauschverhältnis ab. Die ausführliche Darstellung in [18] zeigt, dass mit abnehmendem  $C/N_0$  die Standard-

abweichung der Tracking-Loop-Ausgabe steigt. Man muss daher erwarten, dass die schwachen Signale, die ein HS-GPS Empfänger erfasst, weniger präzise Messwerte liefern, als jene Signale, die auch ein konventioneller GPS Empfänger nutzt.

### 3.2 Externe Effekte

Bei terrestrischen GPS Anwendungen geht die Signalabschwächung in der Regel nicht nur mit geringerer Präzision einher, sondern auch mit starken systematischen Abweichungen und damit geringerer Genauigkeit. Dies wird in Abb. 4 an einem Beispiel veranschaulicht. Die zugrundeliegenden Messdaten wurden mit einem u-blox TIM-LH GPS Empfänger im Februar 2006 am Dach eines TU Gebäudes in Graz aufgezeichnet. Die GPS low-cost Antenne befand sich am Boden („Station A“), in unmittelbarer Nähe der Wand eines Dachaufbaus, siehe Abb. 5.

In der stereographischen Darstellung (Abb. 4a) sind für jede volle Sekunde zwischen 10:00 und 14:00 Azimut und Elevation der Satelliten dargestellt, von denen der Empfänger eine Pseudostreckenmessung ausgeben konnte. Die Farbcodierung der Punkte zeigt die Signalstärke. Die graue Fläche kennzeichnet den durch Aufbauten abgeschatteten Bereich. Wie erwartet, sind die erfassten Signale in diesen Bereichen deutlich schwächer als im abschattungsfreien Sektor. Das sogenannte Gain-Pattern der Antenne verursacht auch im abschattungsfreien Bereich eine Abnahme des  $C/N_0$  Wertes mit abnehmender Elevation.

Die Koordinaten der Antennenposition waren durch lokale Einmessung mittels Totalstation von Messpfeilern am selben Dach mit einer Genauigkeit von wenigen Zentimetern bestimmt worden. Diese Koordinaten konnten nun für eine Analyse der Pseudostreckenmessungen als wahre Koordinaten betrachtet und in einer Ausgleichung festgehalten werden, mit deren Hilfe der Empfängerfehler geschätzt wurde. Die Residuen dieser Auswertung entsprechen (bis auf das Vorzeichen) weitgehend den Abweichungen der Pseudostreckenmessungen von ihren wahren Werten, siehe Abb. 4b. Diese Abweichungen beinhalten neben dem Rauschen aus der Tracking-Loop auch externe Effekte wie nicht-modellierte Anteile der troposphärischen und ionosphärischen Laufzeitverzögerung, oder Mehrwege- und Beugungseffekte.

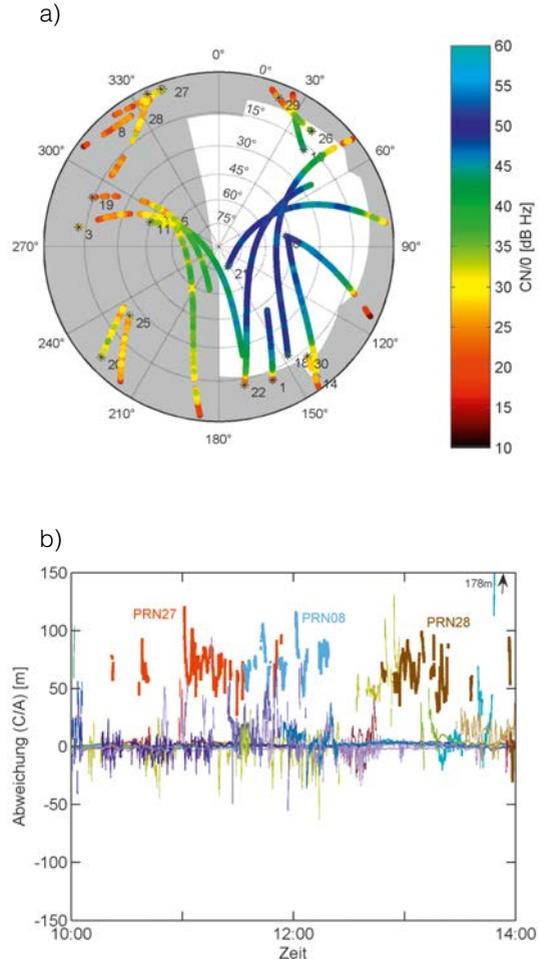


Abb. 4: (a) Satellitenverteilung und  $C/N_0$  auf Station A, (b) Abweichung der gemessenen Pseudostrecken von den Referenzwerten (siehe Text; ublox TIM-LH Empfänger, C/A Code)



Abb. 5: Station A mit Umgebung

Mit HS-GPS Empfängern können Signale von Satelliten genutzt werden, die vom Empfänger aus gar nicht mehr direkt sichtbar sind, wie hier etwa von PRN 8, 27 und 28. Solche Signale gelangen in der Regel ausschließlich über indirekte Wege zum Empfänger und die entsprechenden Messungen sind daher systematisch zu lang (positiver Bias). Dieser Bias bewirkt unweigerlich einen entsprechenden systematischen Fehler der geschätzten Empfängerposition. Er lässt sich weder durch längere Beobachtungszeit auf einer Station noch durch mehrweg-resistentere Tracking-Loops reduzieren. Abhilfe könnte nur durch Qualitätskontrolle (Ausreißerdetektion) und Modellanpassung im Rahmen der Datenauswertung erfolgen, was aber ausreichende Redundanz oder Integration zusätzlicher Sensoren voraussetzt und letztlich zu einer Eliminierung der mittels HS-GPS (mühsam) gewonnenen zusätzlichen Beobachtungen führen würde.

Folglich kann HS-GPS zwar helfen, Position, Geschwindigkeit und Zeit an Orten zu bestimmen, wo das mittels konventioneller Empfänger aufgrund der Abschattungsbedingungen nicht möglich ist (z.B. in Innenräumen), die dabei erzielbare Genauigkeit ist jedoch wesentlich geringer als mit konventionellem GPS in abschattungsarmer Umgebung. Dies wurde in [20] ausführlich diskutiert.

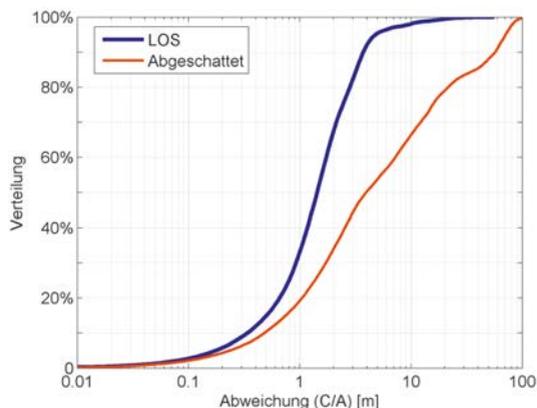


Abb. 6: Empirische Verteilung der Pseudostreckenabweichungen aus Abb. 4b

Die erzielbare Genauigkeit der Positionierung mittels HS-GPS lässt sich nicht pauschal angeben. Eine Größenordnung kann jedoch mit Hilfe der Abb. 6 abgeschätzt werden. Diese Abbildung zeigt die Verteilung der Pseudostreckenabweichungen aus dem obigen Beispiel, getrennt für die direkt sichtbaren Satelliten (LOS) und die

abgeschatteten Satelliten. Während nur 5% der LOS Beobachtungen Abweichungen von mehr als 4 m haben, weisen 50% der abgeschatteten Beobachtungen größere Fehler auf; 5% der abgeschatteten Beobachtungen haben sogar Abweichungen von mehr als 70 m. In anderen Datensätzen wurden teilweise noch größere Abweichungen festgestellt (>1 km), die durch sogenannte Kreuzkorrelationseffekte auftreten können wenn das direkte Signal nicht stark genug ist. Nicht selten weisen Positionslösungen, die unter Verwendung stark abgeschwächer Signale gewonnen werden, systematische Abweichungen mit Größenordnungen von 10–100 m, oder mehr, auf.

### 3.3 Varianzmodell

Wegen der stark unterschiedlichen Genauigkeit der Beobachtungen kommt der Modellierung der Varianzen bei HS-GPS besondere Bedeutung zu, siehe [21]. Ohne realistische Varianzmodellierung können Ausreißer (wie z.B. km-Abweichungen) nicht zuverlässig detektiert werden. Weiters sind in diesem Fall die geschätzten Parameter suboptimal und ihre berechneten Standardabweichungen falsch.

Das in anderem Zusammenhang eingeführte SIGMA- $\varepsilon$  Varianzmodell [6] eignet sich besonders gut für die Auswertung von HS-GPS Daten, [21]. Mit diesem Modell können die Varianzen der undifferenzierten Beobachtung aus den vom Empfänger gemessenen und ausgegebenen  $C/N_0$ -Werten sowie einem empirisch bestimmbar Koeffizienten  $C$  berechnet werden:

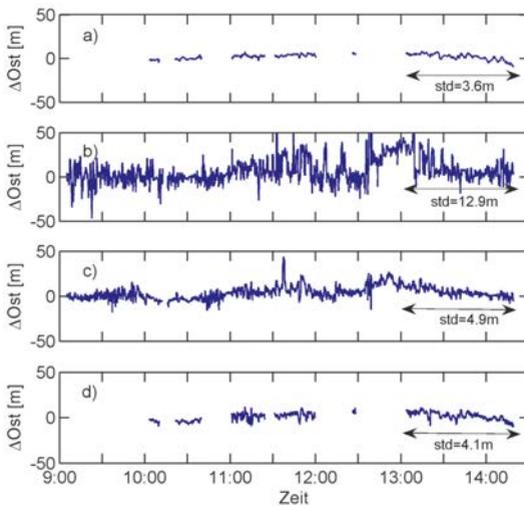
$$\sigma_i^2 = C \cdot 10^{-\frac{C/N_{0,i}}{10}}. \quad (11)$$

Für die weitere Auswertung darf dann angenommen werden, dass die Beobachtungsabweichungen unkorreliert und normalverteilt sind, mit Erwartungswert 0 und (jeweils unterschiedlicher) Varianz  $\sigma_i^2$ . Wie in [21] gezeigt wurde, repräsentiert dieses Modell in abschattungsarmer Umgebung typischerweise mehr als 99% der Beobachtungen, und selbst in stark abgeschatteten Bereichen wie z.B. in engen Straßenschluchten noch 80–90%. Die restlichen Beobachtungen müssen im Rahmen der Qualitätskontrolle als Ausreißer erkannt und eliminiert oder ausreichend abgewichtet werden.

### 3.4 Experimentelles Beispiel

Abb. 7 zeigt exemplarische Resultate aus dem angeführten Experiment. Ein konventioneller GPS Empfänger (Ashtech G12) und ein HS-GPS Empfänger (u-blox TIM-LH) waren mittels Sig-

nalsplitter zugleich an dieselbe Antenne in Station A (s. Abb. 5) angeschlossen. Die Zeitreihen zeigen die Abweichungen der geschätzten Ostkoordinaten vom bekannten Wert für unterschiedliche Berechnungsvarianten. Epochen, zu denen die interne Qualitätskontrolle nicht möglich (weniger als 5 Beobachtungen) oder nicht erfolgreich war (Modelltest negativ, Ausreißer nicht identifizierbar oder nach Modelladaption zu wenige Beobachtungen übrig), sind nicht dargestellt. Nord- und Höhenkomponenten liefern ein ähnliches Bild, werden hier aber nicht präsentiert.



**Abb. 7:** Zeitreihen der geschätzten Koordinaten (Ostkomponente, C/A-Code) für Epochen mit  $\geq 5$  Beobachtungen und erfolgreichem globalen Modelltest: (a) konventioneller Empfänger (Beobachtungen gleich gewichtet), (b) HS-GPS Empfänger (Beobachtungen gleich gewichtet), (c) HS-GPS Empfänger mit SIGMA- $\epsilon$  Varianzmodell, (d) HS-GPS Empfänger mit SIGMA- $\epsilon$  Varianzmodell, nur ausgewählte Beobachtungen verwendet (siehe Text); ausgewiesene Standardabweichung bezieht sich nur auf markierten Bereich (ab 13:00)

Die Pseudostreckenmessungen des konventionellen Empfängers liefern Koordinaten mit hoher Präzision und Genauigkeit (Abb. 7a, RMS über gesamte Zeitreihe: 3.7 m, maximale Abweichung 9 m). Aufgrund der starken Abschattungen liefert dieser Empfänger in der vorliegenden Umgebung jedoch zu wenige Beobachtungen, und eine kontrollierte Lösung steht während 50% der Zeit nicht zur Verfügung.

Der HS-GPS Empfänger liefert fast über die gesamte Zeitdauer (98.5%) eine kontrollierte Lösung, allerdings mit erheblich reduzierter

Präzision und Genauigkeit, wenn in der Auswertung gleiche Varianz aller Beobachtungen angenommen wird (Abb. 7b); der RMS Wert beträgt dann 15 m, 10% der Abweichungen sind größer als 28 m. Die Verwendung des SIGMA- $\epsilon$  Varianzmodells in der Auswertung verbessert Präzision und Genauigkeit der Lösung signifikant: der RMS Wert beträgt 7.8 m, 90% der Abweichungen sind kleiner als 13 m (Abb. 7c).

Prinzipiell sollten *zusätzliche* Beobachtungen das Ergebnis nicht verschlechtern, wenn die Beobachtungen untereinander richtig gewichtet sind und die Qualitätskontrolle im Rahmen der Auswertung funktioniert. Abb. 7a–c scheint jedoch eine solche Verschlechterung durch zusätzliche Beobachtungen anzuzeigen, wie z.B. die ausgewiesenen Standardabweichungen für den letzten Abschnitt zeigen, während dessen schon der konventionelle Empfänger ausreichend viele Beobachtungen zur Verfügung stellt. Man muss jedoch zusätzlich in Betracht ziehen, dass der konventionelle Empfänger (Abb. 7a) und der HS-GPS Empfänger (Abb. 7b–c) sich nicht nur in der HS Funktionalität und damit der Anzahl der ausgegebenen Beobachtungen unterscheiden, sondern dass es sich um gänzlich unterschiedliche Empfänger handelt. Damit weisen auch die Beobachtungen der von *beiden* Empfängern erfassten Satelliten unterschiedliche Präzision und möglicherweise unterschiedliche Verzerrung durch Mehrwegeeffekte auf. Zur Vervollständigung des Bildes wurde in Abb. 7d noch das Ergebnis einer Berechnungsvariante dargestellt, bei der nur die Beobachtungen des HS-GPS Empfängers Verwendung fanden, welche auch beim konventionellen Empfänger verfügbar sind. Diese Selektion von Beobachtungen simuliert ein Wegfallen der HS Funktionalität beim u-blox Empfänger. Im vorliegenden Fall weisen die Messwerte des u-blox HS-GPS Empfängers eine geringere Präzision auf als jene des G12 Empfängers, weshalb auch die Präzision der Koordinatenlösungen geringer ist (vgl. Abb. 7a und d).

#### 4. Anwendungsmöglichkeiten

HS-GPS Empfänger wurden aufgrund massiver Nachfrage aus Anwendungsbereichen mit geringen Genauigkeitsanforderungen entwickelt, insbesondere für die möglichst ubiquitäre Ortung von Mobiltelefonbenutzern, die eine Notrufnummer wählen. Für solche Applikationen können Positionierungsfehler von mehr als 100 m tolerierbar sein, das Hauptaugenmerk liegt auf der Verfügbarkeit von Positionslösungen auch in stark

abgeschatteten Bereichen und in Innenräumen, sowie auf minimalen Kosten.

Wie oben gezeigt wurde, ist die Steigerung der Verfügbarkeit von Positionslösungen technisch realisierbar. Sie geht jedoch nicht mit einer Steigerung der Genauigkeit einher. Vielmehr sind jene Beobachtungen, die erst durch die HS Funktionalität eines Empfängers verfügbar werden, stärker verrauscht und häufig durch Ausbreitungseffekte stark verzerrt. Positionslösungen, die hauptsächlich auf schwachen Signalen beruhen, können daher um 1–2 Größenordnungen ungenauer sein als typische GPS Positionslösungen in abschattungsarmer Umgebung. Ebenso helfen *einzelne* zusätzliche Beobachtungen eines HS-GPS Empfängers in der Regel nicht, die Genauigkeit einer bereits ohne diese Beobachtungen möglichen Positionslösung zu verbessern, weil sie bei falscher Gewichtung die Lösung verzerren und bei richtiger Gewichtung kaum etwas zur Lösung beitragen.

Neben der Aufgabe, Mobiltelefonbenutzer zu lokalisieren (siehe [3],[4]), profitieren daher wohl ortsbezogene Dienste (*location based services*) am meisten von HS-GPS, wo die Information z.B. über naheliegende Sehenswürdigkeiten, Fahrpläne öffentlicher Verkehrsmittel oder lokales Verkehrsaufkommen selbst dann relevant sind, wenn die geschätzte Position um mehr als 100 m von der wahren Position abweicht.

Auch Navigationssysteme für Landfahrzeuge werden zunehmend mit HS-GPS Empfängern ausgerüstet. In Streckenabschnitten mit häufig wechselnder Abschattungssituation, z.B. in bewaldeter Umgebung, oder auf Strecken mit zahlreichen Tunnels und Überführungen können solche Empfänger wesentlich zu einer Stabilisierung der Positionslösungen beitragen, weil sie die GPS Signale nicht so häufig verlieren und unmittelbar nach dem Verlassen der jeweiligen Abschattung wieder genaue Messwerte liefern können, während konventionelle Empfänger nach dem Austritt aus dem Signalschatten unter Umständen mehrere Sekunden benötigen, um die Signale wieder zu akquirieren. In Kombination mit gespeicherten Karten und möglicherweise mit zusätzlichen Sensoren, können HS-GPS Empfänger das Navigationssystem auch besser gegen häufige Ausfälle in stark verbauten städtischen Bereichen rüsten.

In der Literatur finden sich zahlreiche weitere Applikationen auf Basis von Pseudostreckenbeobachtungen, wo HS-GPS erfolgreich eingesetzt wird oder werden könnte. Beispiele reichen von

der näherungsweise Ortung von Lawinenopfern (zum Eingrenzen des Suchbereichs), [15], bis zur Verfolgung der Beute von Bankräubern, [5].

Für geodätische Anwendungen und insbesondere für Anwendungen, die die Auswertung der Trägerphasen erfordern, sind HS-GPS Empfänger aus den bereits diskutierten Gründen kaum geeignet. Eine Ausnahme stellt das Verfahren der GPS Okkultation dar, bei dem GPS Empfänger in „tief-fliegenden“ Satelliten verwendet werden, um Signale zu erfassen, die die Erdatmosphäre durchdringen und damit Information über die Atmosphäre liefern. Aufgrund der großen Distanz zwischen GPS Satellit und Empfänger können die Signale bei dieser Anwendung stark gedämpft sein, ohne jedoch durch indirekte Signalwege verzerrt zu sein. Hier kann HS-GPS helfen, präzise Trägerphasenmessungen besonders schwacher Signale zu erhalten. Eine nützliche technische Anwendung von HS-GPS Empfängern stellt schließlich noch ihre Verwendung zur Zeitsynchronisierung dar, z.B. in Sensornetzwerken, weil eine Genauigkeit von einigen Microsekunden selbst bei Beeinträchtigung durch indirekte Signalwege erreichbar ist.

#### Danksagung

Dieser Beitrag beruht auf einem Vortrag, den der Autor im Rahmen der Verleihung des „Karl-Rinner-Preises“ der Österreichischen Geodätischen Kommission im November 2006 gehalten hat. Besonderer Dank gilt Herrn DI Michael Schmid, dem Sponsor des Preises, und der Österreichischen Geodätischen Kommission. Weiters wird dankend erwähnt, dass Dr. Horst Hartinger und Dr. Raoul Schild HS-GPS Empfänger für die Testmessungen zur Verfügung gestellt und die in diesem Beitrag angeführten Untersuchungen teilweise ermöglicht haben.

#### Literaturverzeichnis

- [1] Chansarkar, M.M., Garin, L. (2000): Acquisition of GPS Signals at Very Low Signal to Noise Ratio. In: Proc. ION NTM 2000, Anaheim, California, 26.–28. Jänner, 731–737
- [2] Eisfeller, B., Teuber, A., Zucker, P. (2005): Untersuchung zum GPS-Satellitenempfang in Gebäuden. AVN 4/2005: 137–145
- [3] FCC (1996) Report and order and further notice of proposed rulemaking (FCC 96-264), [http://hraunfoss.fcc.gov/edocs\\_public/attachmatch/FCC-96-264A1.pdf](http://hraunfoss.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/FCC-96-264A1.pdf)
- [4] FCC (2004) 911 Sevcices. <http://www.fcc.gov/911>, Federal Communications Commission, 24.11.2004
- [5] Fuller, R., Grimm, P. (2006): Tracking System for Locating Stolen Currency. In: Proc. ION GNSS 2006, Fort Worth, Texas, 26.–29. September, 3094–3104
- [6] Hartinger, H., Brunner, F.K. (1999): Variances of GPS Phase Observations: The SIGMA- $\epsilon$  Model. GPS Solutions 2/4: 35–43

- [7] *Hu, T., Lachapelle, G., Klukas, R. (2007):* Controlled GPS Signal Simulation for Indoors. *Journal of Navigation*, 60: 265–280
- [8] *Jackson, J.D. (1998):* Classical Electrodynamics. 3. Aufl., John Wiley & Sons, New York
- [9] *Klukas, R., Lachapelle, G., Ma, C., Jee, G.-I. (2003):* GPS signal fading model for urban centres. In: *IEEE Proc.-Microw. Antennas Propag.*, Vol. 150, No. 4, August, 245–252
- [10] *Misra, P., Enge, P. (2001):* Global Positioning System – Signals, Measurement, and Performance. Ganga-Jamuna Press, Lincoln, Massachusetts
- [11] *Oppenheim, A.V., Willsky, A.S. (1997):* Signals and Systems. 2. Aufl., Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 957p
- [12] *Pany, Th. (2006):* Nutzen des Post-Processings von aufgezeichneten GPS-Zwischenfrequenzsignalen zur Positionierung bei Abschattungen und im Indoor-Bereich. *Vermessung 205*
- [13] *Peterson B., Bruckner D., Heye S. (1997):* Measuring GPS Signals Indoors. In: *Proc. ION GPS 1997*, Kansas City, Kansas, 16.–19. September, 615–624
- [14] *Rappaport, T.S. (2002):* Wireless Communications: Principles and Practice. 2. Aufl., Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey
- [15] *Schlepppe, J.B., Lachapelle, G. (2006):* GPS Tracking Performance under Avalanche Deposited Snow. In: *Proc. ION GNSS 2006*, Fort Worth, Texas, 26.–29. September, 3105–3116
- [16] *Van Dierendonck, A.J. (1996):* GPS Receivers. In: *Parkinson, B.W., Spilker, J.J. (eds) Global Positioning System: Theory and Applications*, vol 1, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington, DC, 329–407
- [17] *van Diggelen, F. (2002):* Indoor GPS theory & implementation. In: *Proc. IEEE Position, Location, and Navigation Symposium*, Palm Springs, California, 15.–18. April, 240–247
- [18] *Ward, P.W., Betz, J.W., Hegarty, C.J. (2006):* Satellite Signal Acquisition, Tracking, and Data Demodulation. In: *Kaplan, E.D., Hegarty, C.J. (Hrsg.) Understanding GPS: Principles and Applications*. 2<sup>nd</sup> ed, Artech House, Boston-London, 153–241
- [19] *Watson, J.R.A. (2005):* High-Sensitivity GPS L1 Signal Analysis for Indoor Channel Modelling. MSc thesis, University of Calgary, UCGE Report 20215, <http://www.geomatics.ucalgary.ca/links/GradTheses.html>
- [20] *Wieser, A. (2006):* High-Sensitivity GNSS: The trade-off between availability and accuracy. In: *Proc. 3<sup>rd</sup> IAG Symposium on Geotechnical and Structural Engineering*, Baden, Österreich, 22.–24. Mai, 12p
- [21] *Wieser, A., Hartinger, H., Gaggl, M. (2005):* Improved positioning accuracy with high-sensitivity GNSS receivers and SNR aided integrity monitoring of pseudo-range observations. In: *Proc. ION GNSS 2005*, Long Beach, California, 13.–16. September, 1545–1554
- [22] *Wieser, A., Hartinger, H. (2006):* High-sensitivity GPS: Technologie und Anwendungen. In: *DVW Schriftenreihe 49*, 251–274
- [23] *Wunderlich, Th.A., Preis, S., Su, C. (2006):* Wireless Assisted GPS – Technische Möglichkeiten und notwendige Infrastruktur. In: *DVW Schriftenreihe 49*, 241–250
- [24] *Ziedan, N.I. (2006):* GNSS receivers for weak signals. Artech House, Boston - London, 234p

#### Anschrift des Autors

Dr. Andreas Wieser: Institut für Ingenieurgeodäsie und Messsysteme, Technische Universität Graz, Steyrergasse 30, 8010 Graz. E-mail: [andreas.wieser@tugraz.at](mailto:andreas.wieser@tugraz.at) 



## „Intelligente“ Steuerung bildgebender Sensoren in der Ingenieurgeodäsie

Alexander Reiterer, Wien

### Kurzfassung

In der Vergangenheit benötigten Messsysteme meist künstliche Messmarken für die online Erfassung relevanter Messpunkte. In der modernen Bauindustrie sind solche Messmarken aus ästhetischen Gründen meist nicht erwünscht bzw. deren Anbringung häufig zu kostspielig. Bildgebende Sensorsysteme sind heute in der Lage, Messungen ohne signalisierte Messpunkte durchzuführen. Solche Messsysteme nutzen die Oberflächentextur des Objektes, um die künstlichen Messmarken zu ersetzen. An der Technischen Universität Wien wird seit geraumer Zeit an der Erforschung und Entwicklung solcher Messsysteme gearbeitet. Hauptaugenmerk wurde dabei auf die Automatisierung des Messprozesses gelegt.

Dieser Beitrag bildet eine Zusammenfassung des Vortrages, der anlässlich der Karl-Rinner Preisverleihung an der TU-Graz gehalten wurde. Zudem stellt er eine gekürzte Fassung des in [17] veröffentlichten Papers dar – für eine detaillierte Beschreibung sei auf den ungekürzten Text verwiesen.

**Schlüsselwörter:** Bildgebende Sensoren, Tachymeter, künstliche Intelligenz, wissensbasierte Systeme

### Abstract

In the past, high-precision online 3D-measuring required artificial targets defining the points on the objects to be monitored. For many tasks like monitoring of displacements of buildings, artificial targets are undesired. Image-based measurement systems can perform their measurements even without targeting. Such systems use the texture on the surface of the object to find "interesting points" which can replace the artificial targets. At the Vienna University of Technology a team has focused the work on the research of such a image-based measurement system. Main goal of this process is the automation of the measurement procedure.

This paper is a summary of the presentation held for the Karl-Rinner Awarding at the TU-Graz. It is notable, that the research results have already been published in a more detailed form in [17].

**Keywords:** Image-based Sensors, Tacheometer, Artificial Intelligence, Knowledge-Based Systems

### 1. Einleitung

In der Ingenieurgeodäsie stellt die hochgenaue Erfassung und Repräsentation verschiedenster Objekte eine der wichtigsten Aufgaben dar. Dabei spielt in jüngster Zeit vor allem die berührungslose Vermessung (Senkung des Gefahrenpotentials für den Vermessenden, Senkung der Kosten durch das Wegfallen aufwändiger Markierungsarbeiten, usw.) eine immer wichtigere Rolle. Optische 3D-Messtechniken wie z.B. 3D-Laser-scanner, photogrammetrische Verfahren oder Messroboter gewinnen daher auch in der Ingenieurgeodäsie zunehmend an Bedeutung.

*3D-Laserscanning Verfahren* bestechen durch eine schnelle Datenerfassung, sind jedoch für viele Einsatzbereiche (noch) zu ungenau. Des Weiteren ist die Einzelpunktinterpretation schwierig – ein aufwändiges Postprocessing ist die Folge. *Photogrammetrische Verfahren* verfügen über die Möglichkeit, konkrete Objektpunkte zu selektieren, jedoch ist eine Automatisierung dieser Verfahren durch mangelnde bzw. einge-

schränkte Online-Fähigkeit schwierig. Als mögliche „Zwischenstufe“ können *theodolit- bzw. tachymeterbasierte Verfahren* betrachtet werden.

Rasante Fortschritte bei der Miniaturisierung von Sensoren lassen es inzwischen zu, eine Vielzahl von Sensoren – elektronische Distanzmesser, CCD-Kamera, u.a. – in den Strahlengang des Tachymeterfernrohres zu integrieren [9]. Das Tachymeter ist auf diese Weise Basiskomponente eines komplexen Multi-Sensor Systems geworden. Durch die Integration einer digitalen Kamera und eines Autofokussystems können georeferenzierte Richtungsbüschel gemessen werden, die sich auf einzelne Bildelemente des CCD-Sensors beziehen [24]. Diese Entwicklungen lassen bereits vermuten, dass zukünftig auch Laser-scanner-Elemente in das Tachymeter integriert werden können [8].

Alle bisherigen Arbeiten in diesem Bereich (siehe [13, 16, 19, 20, 24, 25]) zeigen auf, dass eines der Hauptprobleme für die wirtschaftliche Nutzung bildgebender online Messsysteme die

Komplexität der verschiedenen Auswahl- und Entscheidungsprozesse darstellt. Werden dem Benutzer sämtliche Entscheidungen überlassen, führt dies zu einer ineffizienten Arbeitsweise des Gesamtsystems (vergleiche [23]). Für einen verbreiteten und produktiven Einsatz solcher Messsysteme bedarf es daher einer Steigerung von Flexibilität und Effizienz. Dies kann durch die Integration eines durchdachten Entscheidungssystems erreicht werden.

Am Institut für Geodäsie und Geophysik (IGG) der Technischen Universität Wien wurde in zwei Projekten erforscht, wie der Benutzer bei diversen Entscheidungsprozessen durch den Einsatz moderner Techniken aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz (wissensbasierte Systeme, neuronale Netze, u.a.) unterstützt werden kann. Dieser Beitrag gibt einen kurzen Überblick über die Ergebnisse der letzten Jahre. Wie in der Zusammenfassung bereits erwähnt, stellt dieser Artikel eine gekürzte Version des in [16] veröffentlichten Beitrages dar. Für eine ausführliche Beschreibung der technischen Hintergründe sei auf den Originalbeitrag verwiesen.

**2. Bildgebendes Messsystem**

Das am IGG neu entwickelte Messsystem basiert auf der „Image Assisted Total Station“ (IATS), einer Entwicklung von Leica Geosystems [24]. Bei der IATS handelt es sich um ein Tachymeter der Baureihe TPS 1100, welches durch eine in den optischen Strahlengang integrierte Kamera erweitert wurde (die Kamera verfügt über eine motorgesteuerte Fokussierung). Die Funktionen der Winkel- und Streckenmessung wurden von diesem Umbau nicht beeinflusst. Ergänzt wird dieses System durch eine am Fernrohr angebrachte Weitwinkelkamera, welche zur Aufnahme eines Überblickbildes dient. Einen Schnitt durch das Fernrohr zeigt Abb. 1.

Das Fernrohr ist auf ein Zweilinsensystem reduziert, bestehend aus Frontlinse und Fokulinse. Anstelle des Okulars wurde ein CCD-Sensor integriert, welcher das Auslesen des Sehfeldinhaltes ermöglicht. Die Bilddaten können über einen synchronisierten Framegrabber online an ein Computersystem übergeben werden.

Die Entwicklung von Leica ist nur ein Teil des in jüngster Zeit immer intensiver betriebenen Forschungsgebietes der bildgebenden Tachymetersysteme. Des weiteren erwähnenswert sind Entwicklungen an der Technischen Universität München [25], der Ruhr-Universität Bochum [20] und die langjährige Entwicklungsarbeit am Institut

für Geodäsie und Geophysik der Technischen Universität Wien [13, 16, 17, 19, 23]. Als erste kommerzielle Erfolge dieser neuen Messverfahren/techniken können die Produkte von Trimble (VX) und Topcon (GPT-7000i und GPT-9000) [21, 22] gesehen werden.

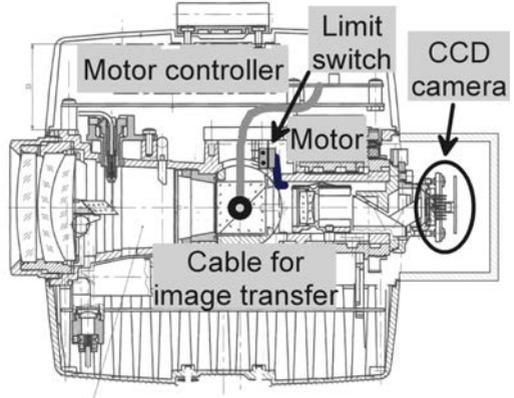


Abb. 1: Schnitt durch das modifizierte Tachymeterfernrohr [24]

Der Messsensor bildet jedoch nur die Grundlage für ein komplexes Multi-Sensor-System bzw. einen hochkomplexen Messablauf. Prinzipiell kann das System in mehrere Sub-Systeme zerlegt werden. Beispielfhaft sei hier auf das am IGG entwickelte Messsystem verwiesen. Zentrales Element dieses Systems ist dabei die **Kontrollkomponente**. Sie ist für die Ansteuerung sämtlicher Systemteile verantwortlich. An die Kontrollkomponente sind einerseits die **Sensoren** und andererseits sämtliche **Softwaremodule (SM)** angedockt. Die Schnittstelle zum Benutzer (Messsystemexperten) hin bildet das Graphische User Interface (GUI). Neben der Kontrollkomponente bildet das **Entscheidungssystem** einen der fundamentalsten Teile des Gesamtkonzeptes. Eine schematische Darstellung der Architektur zeigt Abb. 2.

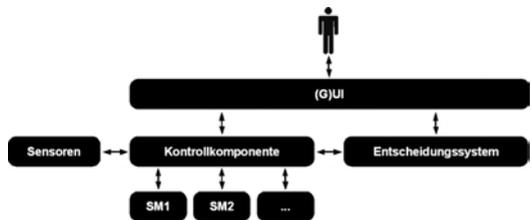


Abb. 2: Vereinfachte Darstellung der Systemarchitektur

Da vor allem das Entscheidungssystem bzw. der Entscheidungsprozess den großen Unterschied zu konventionellen Programmsystemen darstellt, seien im Folgenden ein paar Details hierzu angeführt.

In der Literatur finden sich eine Unzahl von unterschiedlichen Techniken zur Realisierung von Entscheidungssystemen. Neben konventionellen Programmiersprachen wie C++ oder Java zählen wohl künstliche neuronale Netze und wissensbasierte Systeme zu den bekanntesten Vertretern solcher Techniken.

Prinzipiell besteht jedes dieser Systeme in seiner Grundform aus drei Hauptkomponenten: (1) geeigneten Eingangsdaten, (2) einem Entscheidungsalgorithmus und (3) entsprechenden Ausgangsdaten.

Die Eingangsdaten bilden die Grundlage für den Entscheidungsprozess und müssen entsprechend mit Sorgfalt gewählt werden. Für ein Messsystem, welches auf Bilddaten basiert, bieten sich als Eingangsdaten die Grauwerte / Farbwerte der Bildmatrix bzw. Werte, welche diese in geeigneter Form repräsentieren, an. Für ein online Messsystem, bei dem Entscheidungen möglichst in Echtzeit erfolgen sollen, stellen extrahierte Bildmerkmale die beste Lösung dar. Sie können im Gegensatz zu den Rohdaten der Bildmatrix wesentlich leichter und schneller verarbeitet werden. Bildmerkmale können durch Integration eines geeigneten Bildanalyseprozesses gewonnen werden.

Um eine möglichst schnelle (online) Berechnung der Bildinformation zu ermöglichen, arbeitet das Messsystem, welches am IGG entwickelt wurde, mit folgenden Bildmerkmalen (Extraktion erfolgt direkt aus der Grauwertmatrix):

- statistische Momente erster bis dritter Ordnung [15],
- Haralick Momente<sup>1)</sup> [5].

Anschließend an die Berechnung der Bildmerkmale werden diese in qualitative Werte umgerechnet, gemeinsam mit den Ursprungswerten als so genannte Entscheidungsmatrix zusammenge-

fasst und in geeigneter Form gespeichert. Bei dieser Umrechnung werden numerische, metrisch skalierte Werte in symbolische, nominal skalierte Werte konvertiert (z.B. der Wert eines statistischen Moments in einen der symbolischen Werte „sehr klein“, „klein“, „mittel“, usw.). Dies ermöglicht es, bei der Implementierung des Entscheidungssystems (z.B. in Form eines regelbasierten Systems) abstrakte Werte heranzuziehen. Die Umrechnung ist ein Spezialfall einer „Fuzzifizierung“ der metrischen Werte, die den Grad der Zugehörigkeit eines metrischen Wertes zu jedem der symbolischen Werte festlegt. Diese symbolischen Werte werden daher im weiteren als *Fuzzy-Werte* bezeichnet.

Damit stehen für die automatisierte Entscheidungsfindung insgesamt 68 numerische Werte, deren Fuzzy-Werte und die durch Benutzerrückfragen gesammelten Informationen (z.B. über das Objekt) zur Verfügung. Eine Auflistung des Formelwerkes und eine vollständige Beschreibung der entwickelten Bild- bzw. Objektanalyse findet sich in [16].

Der eigentliche Entscheidungsalgorithmus wurde in Form eines wissensbasierten Ansatzes umgesetzt. Nähere Details hierzu finden sich in [7]. Vorteil eines wissensbasierten gegenüber einem herkömmlichen Ansatz ist vor allem die klare Trennung von Problemwissen und Wissensverarbeitung, d.h. dem Programmcode an sich. Dadurch kann eine Erweiterung bzw. Modifikation der Wissensbasis wesentlich leichter erfolgen – sogar der Austausch der gesamten Wissensbasis durch eine andere ist ohne größere Probleme durchführbar. Ein weiterer Vorteil ist, dass Expertenwissen häufig in Form von Regeln vorhanden ist. Dieses Wissen kann ohne Konvertierung in prozedurale Formen in die Wissensbasis eingebracht werden.

Für die praktische Implementierung wissensbasierter Systeme existieren verschiedene Ansätze (prozedurale Methoden, objektorientierte Methoden, logikbasierte Methoden, u.a.) und verschiedene Softwarehilfsmittel [1, 7].

<sup>1)</sup> Die 13 Haralick Momente [5] ermöglichen es, aus der Grauwert-Abhängigkeits-Matrix  $p(i, j)$  (grey-level co-occurrence matrix) statistische Merkmale zu berechnen. In der Grauwert-Abhängigkeits-Matrix werden die Auftrittshäufigkeiten von Grauwertkombinationen (für einen festgelegten Abstand und Winkel) eingetragen. Die Größe der Matrix entspricht demnach der Anzahl der unterschiedlichen Grauwerte im Bild (bei einem Grauwertbild mit 256 Grauwerten einer Matrix mit 256 Zeilen und 256 Spalten). Die Operationen zur Erstellung der Matrix beschränken sich somit auf das Zählen von Grauwertkombinationen, was sich sehr positiv auf die Rechenzeit auswirkt. Für das hier vorgestellte Verfahren wurden die Grauwert-Abhängigkeits-Matrix und die daraus resultierenden Haralick-Momente für einen Pixelabstand von 1 und die vier Richtungen  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$  berechnet (zusätzlich wird der arithmetische Mittelwert für jede Richtung berechnet).

### 3. Messprozedur

Der Messablauf kann auf Grundlage der formulierten Messsystemarchitektur folgendermaßen untergegliedert werden (entspricht der im IGG Messsystems implementierten Prozedur):

- Erfassung eines Übersichtsbildes (im Normalfall mit Hilfe der vorhandenen Weitwinkelkamera),
- Aufbereitung sämtlicher erfasster Bilder (Prozess erfolgt sequenziell),
- Strukturierung und Einteilung des Objektes in Interessensbereiche,
- Erfassung relevanter Punkte im Bild bzw. in Bildausschnitten (mit Hilfe der Okularkamera) und anschließende Erfassung der Punkte im Objektraum (3D),
- Weiterverarbeitung der Daten (z.B. Deformationsanalyse und -klassifizierung, Objektrekonstruktion, usw.)<sup>2)</sup>

Die entwickelte Automatisierung zielt im Wesentlichen auf drei Grundprozesse des Messablaufes ab: Bildvorverarbeitung, Punkterfassung und Datenverarbeitung.

#### 3.1 Bildvorverarbeitung

Eine notwendige Voraussetzung für die erfolgreiche Anwendung von Punkterfassungsalgorithmen ist eine ausreichende Bildqualität. Oft ist es im praktischen Einsatz nötig, die Qualität vorliegender digitaler Bilder durch entsprechende Bildbearbeitungsverfahren zu verbessern.

In [18] wurden verschiedene Bildbearbeitungsverfahren vorgestellt und deren Notwendigkeit bei der Anwendung von Punkterfassungsalgorithmen diskutiert. Konkret wurden für das vorliegende Messsystem folgende Algorithmen implementiert: Medianfilter, Gaußfilter, Kantenextraktionsverfahren (Sobel-, Prewitt-, Roberts Operator), Histogrammstreckung, Aufhellung, Abdunkelung.

Der Zusammenhang zwischen extrahierten Bildmerkmalen / Objektmerkmalen und Bildbearbeitungsalgorithmen wurde in Form von Regeln in eine eigene Wissensbasis implementiert. Für die wissensbasierte Bildbearbeitung sei hier beispielhaft die sehr einfache Regel für die Auswahl einer Bildaufhellung angeführt (Clips-Syntax):

```
(defrule Aufhellung
(Stat_Momente (M1_f s_klein | klein)
(Stat_Momente (M3_f mittel_positiv |
gross_positiv | s_gross_positiv))
=>
(assert (Zustand (Aufhellung JA))))
```

Grundsätzlich ist eine Regel in zwei Teile unterteilt, nämlich in den *Bedingungsteil* (*lefthand side – LHS*) und den *Aktionsteil* (*righthand side – RHS*); das Symbol „=>“ trennt die beiden Teile. Im Bedingungsteil stehen die sogenannten *Vorbedingungen*, welche für eine Ausführung der Regel erfüllt sein müssen. Erst wenn alle Vorbedingungen erfüllt sind, wird der Aktionsteil der Regel ausführbar. Unsere Beispielformel enthält zwei Vorbedingungen: (1) das statistische Moment erster Ordnung (M1) muss einen Fuzzy-Wert von *s\_klein* oder *klein* haben; (2) das statistische Moment dritter Ordnung (M3) muss einen Fuzzy-Wert von *mittel\_positiv*, *gross\_positiv* oder *s\_gross\_positiv* haben. Sind beide Vorbedingungen erfüllt, wird dem „working memory element“<sup>3)</sup> *Zustand (Aufhellung)* der Wert *JA* zugewiesen; eine Aufhellung kann durchgeführt werden.

Der Ablauf der wissensbasierten Bildbearbeitung gliedert sich in mehrere Schritte. Nach der Extraktion der Bildmerkmale werden die notwendigen Bildbearbeitungsalgorithmen ausgewählt. Im nächsten Schritt wird dem Benutzer die Möglichkeit gegeben, kritische Bearbeitungsschritte (z.B. informationsreduzierende Filter) aus dieser Auswahlliste zu entfernen. Anschließend werden für sämtliche Bearbeitungsschritte die notwendigen Parameter bestimmt und in einem letzten Schritt die Reihenfolge ihrer Anwendung festgelegt. Die getroffene Auswahl wird in eine sog. *Taskliste* geschrieben und der Systemkontrollkomponente übergeben, welche die einzelnen Algorithmen ausführt und die Ergebnisse in geeigneter Form speichert. Eine Neuberechnung der Bildmerkmale rundet diesen Systemprozess ab.

Ergebnis dieses ersten Teilsystems stellt ein für die nachfolgende automatisierte Punkterfassung besser geeignetes Bild (bzw. Bildfolge) dar.

#### 3.2 Punkterfassung

Den zweiten großen Teilschritt im Gesamtprozess stellt die Auswahl und Anwendung geeigneter

<sup>2)</sup> Bei der Durchführung einer Deformationsanalyse müssen korrespondierende Objektpunkte erfasst werden (erfolgt mit einem geeigneten Matchingverfahren – siehe [14]).

<sup>3)</sup> Die „working memory“ stellt neben den eigentlichen Regeln („rule memory“) den zweiten Teil eines regelbasierten Systems dar. Sie ist eine Sammlung von einzelnen *Typen* sowie deren *Instanzen*. Vergleichbare Formen sind *record* in Pascal oder *struct* in C. Die eigentlichen Elemente des Arbeitsspeichers („working memory elements“) sind dann *konkrete Instanzierungen*.

Punkterfassungs-Algorithmen (sog. *Interest Operatoren*) dar. Angewandt werden diese Algorithmen nun nicht mehr auf das Gesamt-Weitwinkelfeld, sondern auf einzelne Bildern, welche mit der Okularkamera erfasst wurden. Dies hat den Vorteil, dass das Laufzeitverhalten verbessert (Anzahl der Punkte wird vorab stark reduziert / eine spätere mühevoll Filterung der Punkte entfällt – vergleiche [16]), die Verzeichnung in den Bildern nieder gehalten und die erzielte Genauigkeit aufgrund der höheren Bildauflösung gesteigert werden kann. Für diese Erfassung bedarf es einer Einteilung des Objektes in Interessensbereiche. Für diese Objektstrukturierung wurde in einem derzeit noch laufenden Forschungsprojekt ein eigener Algorithmus entwickelt, der im Wesentlichen auf der Interpretation des vertikalen und horizontalen Bildhistogramms beruht. Nähere Details hierzu finden sich in [12]. Da das Ergebnis von Objektstrukturierung und Punkterfassung eine strukturierte Menge von Punkten darstellt, kann in diesem Zusammenhang von *Punktgruppe* und nicht von *Punktwolke* – wie vom Laserscanning bekannt – gesprochen werden.

*Interest Operatoren* identifizieren markante Punkte anhand der Farb- bzw. Helligkeitsänderungen im erfassten Bild. Bei der Auswahl markanter Punkte sind eine Reihe von Anforderungen zu erfüllen [4]: Deutlichkeit, Invarianz, Stabilität, Interpretierbarkeit.

In der Literatur findet man eine Unzahl von verschiedenen *Interest Operatoren* [4, 6, 14]; keiner dieser Algorithmen ist jedoch geeignet, um

unterschiedlichste Punktarten mit ausreichender Zuverlässigkeit zu erfassen. Daher wurden im vorliegenden Messsystem drei verschiedene Algorithmen implementiert: Förstner Operator, Harris Operator und Hierarchical Feature Vector Matching Operator (HFVM). Für eine Erklärung der allgemeinen Funktionsweise eines *Interest Operators* sei auf die Literatur verwiesen.

Ziel der wissensbasierten Punkterfassung ist es, die für nachfolgende Bearbeitungsschritte (z.B. Deformationsanalyse) am besten geeigneten Objektpunkte zu erfassen. Das Wissen, welches für die Implementierung des Entscheidungssystems notwendig ist, wurde im Zuge umfangreicher Tests [16] gesammelt<sup>4</sup>). Exemplarisch sei die Entscheidungsregel (Clips-Syntax) für den Förstner Operator (Abb. 3) angeführt.

Die Regel für die Auswahl des Förstner Operators beinhaltet eine ganze Reihe von Vorbedingungen, welche mit logischen UND und ODER verknüpft sind. Sind sämtliche Vorbedingungen bzw. deren Verknüpfungen erfüllt, so werden in weiterer Folge die erforderlichen Parameter bestimmt.

Werden neben dem Förstner Operator auch noch ein zweiter bzw. ein dritter *Interest Operator* als geeignet selektiert (gleiche *Interest Operatoren* mit unterschiedlichen Parametereinstellungen werden in diesem Kontext als „unterschiedliche Operatoren“ betrachtet), so wird zusätzlich die Reihenfolge ihrer Anwendung regelbasiert gesteuert.

```
(defrule foerstner
(or (or (or (and (1_Haralick_Moment (H1_0_f klein | s_klein | mittel))
(5_Haralick_Moment (H5_0_f klein | s_klein | mittel)))
(and (1_Haralick_Moment (H1_90_f klein | s_klein | mittel))
(5_Haralick_Moment (H5_90_f klein | s_klein | mittel))))
(and (and (1_Haralick_Moment (H1_0_f klein | s_klein))
(1_Haralick_Moment (H1_90_f klein | sehr_klein)))
(not (Stat_Moments (M3_f s_gross_negativ))))
(and (and (5_Haralick_Moment (H5_0_f klein | s_klein))
(5_Haralick_Moment (H5_90_f klein | s_klein)))
(not (Stat_Moments (M3_f s_gross_negativ))))))
=>
(assert (IOP (Foerstner JA)))
```

Abb. 3: Entscheidungsregel für den Förstner Operator

<sup>4</sup>) Um die „Qualität“ der *Interest Operatoren* bzw. der erfassten Bildpunkte für die jeweilige Situation zu beurteilen, wurden drei unterschiedliche Testverfahren eingesetzt: (1) rein visuelle Beurteilung der erfassten Punkte; (2) Beurteilung mit Hilfe vordefinierter Bereiche, welche vom Benutzer als geeignet bzw. ungeeignet für die Punktfindung klassifiziert wurden und (3) Beurteilung mit Hilfe vordefinierter „Soll-Koordinaten“.

Aufgenommenes Bild  
(Weitwinkel-Kamera)Automatisierte Bild/Objekt-  
strukturierungErfasste Punkte (innerhalb  
von Interessensbereichen)

Abb. 4: Messprozedur (Aufnahme mit Hilfe der Weitwinkelkamera, Strukturierung des Objektes und Punkterfassung im Bild)

Ähnlich wie bei der wissensbasierten Bildbearbeitung werden auch hier sämtliche getroffene Entscheidungen in eine *Taskliste* geschrieben und der Systemkontrollkomponente übergeben. Nach Anwendung der ausgewählten Algorithmen liegen die Bild- bzw. Objektkoordinaten<sup>5)</sup> in einzelnen Punktlisten vor.

Ein Beispiel für die beschriebenen Prozessschritte (ohne Bildaufbereitung) findet sich in Abb. 4.

### 3.3 Datenverarbeitung

Das nun vorliegende Ergebnis (3D Punkte) kann für diverse weiterfolgende Bearbeitungsschritte verwendet werden. Am IGG wird derzeit an der Integration einer automatisierten Deformationsanalyse gearbeitet.

Im Wesentlichen gliedert sich der Prozess der entwickelten Deformationsanalyse in zwei Schritte: Deformationsanalyse auf Basis einer klassischen Mehrepochenanalyse und Charakterisierung der Punktbeziehung. Ergebnis des ersten Schrittes ist eine Liste signifikant bewegter Punkte (Koordinaten sämtlicher Epochen) inklusive deren zugehöriger mittlerer Fehler. Ausgehend von diesen Informationen wird die festgestellte Deformation durch eine Zerlegung in elementare Bewegungen charakterisiert. Die Bewegung eines Punktes  $(x,y,z \rightarrow x', y', z')$  wird dabei mit Hilfe einer affinen Transformation<sup>6)</sup> beschrieben. Nähere Details zu diesem Bearbeitungsschritt finden sich in [11]. Als Ergebnis erhält man somit eine parametrische Beschreibung der einzelnen Objektteile (dies bezieht sich hierbei auf die unter Abschnitt 3.2 erfassten Objektstruktur).

Ziel ist es, auf Basis dieser „Beschreibung“ eine Interpretation der auftretenden Deformationen durchführen zu können. Hierzu bedarf es aber auch der Nutzung zusätzlicher Informationen über das Objekt – die Kombination mit einem „Finite Elemente Tool“ scheint hier der zielführendste Weg zu sein.

Des Weiteren sei erwähnt, dass auch die automatisierte Objektrekonstruktion ein Ziel für die Nutzung der strukturierten Punktgruppen sein muss. Hierbei können ähnliche Ansätze wie in der Photogrammetrie verwendet werden. Verwiesen sei vor allem auf die Arbeiten der Ruhr-Universität Bochum [20].

### 4. Ausblick

Bildgebende Tachymeter verfügen über ein großes Potential für zukünftige Entwicklungen. Abgesehen von der Verbesserung der einzelnen technischen Komponenten solcher Messsysteme, wird die Erhöhung des Automatisierungsgrades eine wichtige Rolle spielen. Eine solche könnte durch die Integration weiterer Messkomponenten, z.B. eines 3D Laserscannermodules (darunter sollte nicht fälschlicherweise die Kombination mit einem Laserscanner verstanden werden) oder eines Photonic Mixing Device (PMD) erreicht werden.

Der Auswahlprozess geeigneter Objektpunkte (Filterungsprozess) würde neuer Techniken bedürfen, welche auf Basis von „*Cognitive Vision*“ arbeiten könnten. Ein möglicher Ansatz könnte auf einem zweistufigen Arbeitsprozess beruhen:

- die erfassten Daten (Bild- und 3D Laserscannerdaten) werden für die Generierung

<sup>5)</sup> Objektkoordinaten können durch Bestimmung der „Ablageparameter“ und der daraus resultierenden Richtungsmessungen berechnet werden. Details zur Objektpunktbestimmung mit bildgebenden Tachymetern finden sich in [13].

<sup>6)</sup> Da zu diesem Zeitpunkt nur Translationen und Rotationen berücksichtigt werden, könnte hier auch von einer isometrischen Transformation gesprochen werden. In Hinblick auf eine spätere Erweiterung wird der Begriff der affinen Transformation beibehalten.

einer Szenenbeschreibung benutzt. Dies kann durch die Erkennung gewisser Objektteile und die Zuordnung dieser zu Objektklassen erfolgen. Ergebnis dieses Prozesses ist ein räumliches Informationssystem der erfassten Szene.

- diese Information kann für diverse Entscheidungsprozesse genutzt werden, z.B. der Steuerung des Messablaufes („Welcher Objektteil soll gemessen werden?“ oder „Welches Messintervall soll gewählt werden?“)

Eine weitere Flexibilisierung des Messprozesses würde die Integration eines mobilen digitalen Kamerasystems (z.B. in Form einer digitalen Spiegelreflexkamera) bringen (eine schematische Darstellung findet sich in Abb. 5). Derzeit wird am IGG an Teilen eines solchen Multi-Sensor Systems gearbeitet.



Abb. 5: Schematische Darstellung eines möglichen Multi-Sensor Systems bestehend aus bildgebendem Tachymeter, Laserscanning Modul, PMD und mobilem Bildsensor

Ein solches Messsystem wird von der effizienten Datenerfassung des 3D Laserscanners, von der erfassten Bildinformation durch Tachymeter und mobilen Bildsensor und von der Automatisierung der Entscheidungsfindung durch Cognitive Vision profitieren. Das Resultat wäre ein (semi-)automatisches Messsystem, welches in einer bekannten Umgebung auf neue Situationen reagieren und agieren könnte.

## 5. Schlussbemerkung

Der vorliegende Artikel gibt einen Überblick der in den letzten Jahren am IGG im Bereich bildge-

bende Sensorsysteme erbrachten Forschungsleistungen. Bildaufnahme, Bildaufbereitung und Punkterfassung im Objektraum wurden vollständig automatisiert. Die Nutzung der erfassten Punktgruppe befindet sich derzeit im Stadium intensiver Forschung und Entwicklung.

In Zukunft könnte ein höherer Grad an Automatisierung erreicht werden, indem zusätzliche Sensorelemente und Bildanalyseprozesse miteinbezogen werden bzw. der Bildinhalt selbst für die online Entscheidungsfindung genutzt wird. Angedacht ist zudem die Integration eines sog. Cognitive Vision Systems.

## Danksagung

Die hier vorgestellten Forschungsergebnisse entstanden im Rahmen von zwei FWF Forschungsprojekten (P14664 „Knowledge-Based Object Reconstruction“ und P18286 „Multi-Sensor Deformation Measurement System Supported by Knowledge Based and Cognitive Vision Techniques“). Ein besonderer Dank sei hier den Projektpartnern vom Institut für Informationssysteme der Technischen Universität Wien (Prof. Eiter und Prof. Egly) und dem Institut für digitale Bildverarbeitung des Joanneum Research Graz (DI Paar) ausgesprochen. Des Weiteren sei dem Fond Wissenschaftlicher Forschung (FWF) und der Jubiläumsstiftung der Stadt Wien für die finanzielle Unterstützung der diversen Forschungsprojekte gedankt. Leica Geosystems sei für die gute und fruchtbare Zusammenarbeit ausgesprochen besonders gedankt.

## Literaturverzeichnis

- [1] CLIPS: <http://www.ghg.net/clips/CLIPS.html>, (letzter Zugriff 01/2008).
- [2] Christensen, H.I.: Cognitive Vision – Cognitive vision systems. Sampling the spectrum of approaches. Springer-Verlag, 2006.
- [3] Eiter, T., Mannila, H.: Distance Measures for Point Sets and Their Computation. Acta Informatica, Vol. 34/2, S. 109-133, 1997.
- [4] Förstner, W.: Statistische Verfahren für die automatische Bildanalyse und ihre Bewertung bei der Objekterkennung und -vermessung, DGK, Vol. C, Nr. 370, München, 1991.
- [5] Haralick, R., Shapiro, L.: Computer and Robot Vision, 1. Auflage, Addison-Wesley, New York, 1993.
- [6] Harris, C., Stephens, M.: A combined corner and edge detector. In: Proceedings of the 4<sup>th</sup> ALVEY vision conference, Matthews (Hrsg.), University of Manchester, 1998.
- [7] ILOG – White Paper: <http://www.ilog.com>, (letzter Zugriff 01/2008).
- [8] Kahlmann, T., Ingensand, H.: Investigation of the 3D-Range-Image-Camera Swissranger™. In Grün/Kahmen (Hrsg.): Optical 3-D Measurement Techniques VII, Wien, 2005.
- [9] Kahmen, H.: Angewandte Geodäsie, Vermessungskunde. Walter de Gruyter, Berlin, 2006.
- [10] Kahmen, H., Niessner, A., De Seixas, A.: 3D Object Sensing Using Rotating CCD Cameras. In: Kropatsch/Bischof (Hrsg.), Digital Image Analysis, 1. Auflage, Springer, Berlin/Heidelberg/New York, 2001.

- [11] *Lehmann, M., Reiterer, A., Kahmen, H.*: Deformation Classification in High Density Point Clouds. In: Optical 3-D Measurement Techniques VIII, Grün and Kahmen (Hrsg.), Zürich, 2007.
- [12] *Miljanovic, M.*: Object Structuring for Deformation Analysis. Paper in preparation, 2008.
- [13] *Mischke, A., Kahmen, H.*: A New Kind of Measurement Robot System for Surveying of non Signalized Targets. In: Optical 3-D Measurement Techniques IV, Grün and Kahmen (Hrsg.), Herbert Wichmann, Karlsruhe, 1997.
- [14] *Paar, G., Rottensteiner, F., Pötzleitner, W.*: Image Matching Strategies. In: Kropatsch / Bischof (Hrsg.), Digital Image Analysis, 1. Auflage, Springer, Berlin/Heidelberg/New York, 2001.
- [15] *Pratt, W.*: Digital Image Processing, 1. Auflage, John Wiley and Sons, New York/Chichester/Brisbane/Toronto, 1978.
- [16] *Reiterer, A.*: A Knowledge-Based Decision System for an On-line Videotheodolite-based Multisensor System. Dissertation, Technische Universität Wien, 2004.
- [17] *Reiterer, A.*: The development of an online knowledge-based videotheodolite measurement system. Knowledge-Based Systems Journal, Nr. 20, S. 73-85, 2007.
- [18] *Reiterer, A., Kahmen, H., Egly, U., Eiter, T.*: Knowledge-Based Image Preprocessing for a Theodolite Measurement System, In: Optical 3-D Measurement Techniques VI – Vol. I, S. 183-190, Grün and Kahmen (Hrsg.), Zürich, 2003.
- [19] *Roic, M.*: Erfassung von nicht signalisierten 3D-Strukturen mit Videotheodoliten. Dissertation, Technische Universität Wien, 1996.
- [20] *Scherer, M.*: Intelligentes Tachymeter und Digitalkamera; Low-Cost aber High-Tech, Allgemeine Vermessungsnachrichten (AVN), 10/2004, S. 150-156, Herbert Wichmann Verlag, 2004.
- [21] *Topcon*: [www.topcon.com](http://www.topcon.com), (letzter Zugriff 01/2008).
- [22] *Trimble*: [www.trimble.com](http://www.trimble.com), (letzter Zugriff 01/2008).
- [23] *Vicovac, T.*: Evaluierung der Leica IATS für den Anwendungsfall der Objektrekonstruktion. Diplomarbeit in Vorbereitung, 2008.
- [24] *Walser, B.*: Development and Calibration of an Image Assisted Total Station, Dissertation, ETH-Zürich, 2004.
- [25] *Wasmeier, P.*: The Potential of Object Recognition Using a Servo-Tacheometer TCA2003. In: Optical 3-D Measurement Techniques VI – Vol. II, S. 48-54, Grün and Kahmen (Hrsg.), Zürich, 2003.

#### **Anschrift des Autors**

Dr. Alexander Reiterer: Forschungsgruppe Ingenieurgeodäsie, Institut für Geodäsie und Geophysik, Technische Universität Wien, Gußhausstraße 27–29, A-1040 Wien.  
E-mail: [alexander.reiterer@tuwien.ac.at](mailto:alexander.reiterer@tuwien.ac.at)

## Recht und Gesetz

*Zusammengestellt und bearbeitet von  
Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr.jur. Christoph Twaroch*

### VermG-Novelle „GDB-neu“; Grundbuchs-Novelle 2007

*Mit der Grundbuchs-Novelle 2007 werden legislative Maßnahmen im Bereich des Grundbuchs- und Vermessungsrechts vorgeschlagen, die die von der Bundesregierung bereits seit längerem beschlossene grundlegende technologische Erneuerung der Grundstücksdatenbank unterstützen sollen. Diese Maßnahmen schaffen nicht nur die rechtliche Grundlage für die Umstellung auf die neue Datenbank, sondern bewirken auch bleibende Verbesserungen des Grundbuchs- und Vermessungswesens.*

Die Bundesregierung hat in zwei Ministerratsitzungen vom 9. August 2005 und 18. April 2007 eine grundlegende technologische Erneuerung der Grundstücksdatenbank in all ihren Anwendungen in ressortübergreifender Zusammenarbeit von Bundesministerium für Justiz, Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Bundesministerium für Finanzen, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen und Bundesrechenzentrum GmbH beschlossen.

#### **Inhalte des Gesetzentwurfs**

Die vorgeschlagenen Maßnahmen im Bereich des Grundbuchs- und Vermessungsrechts sollen nicht nur die rechtliche Grundlage für die Umstellung auf die neue Datenbank schaffen, sondern auch bleibende Verbesserungen des Grundbuchs- und Vermessungswesens bewirken.

Besonders hervorzuheben sind die Änderungen der Sonderbestimmungen des Liegenschaftsteilungsgesetzes für die vereinfachte Verbücherung von Straßen-, Wege-, Eisenbahn- und Wasserbauanlagen. Mit diesen Änderungen kann auf Grundlage einer richtungswisenden Entscheidung des Obersten Gerichtshofs aus dem Jahr 2006 den gegenteiligen Interessen der Liegenschaftseigentümer und der (meist öffentlichen) Erhalter der Anlagen gleichermaßen entgegen gekommen werden. Im übrigen sollen die Grundbuchsabfrage ebenso wie der Zugang zu den Anschriften bücherlich Berechtigter erleichtert und nach wie vor bestehende Besonderheiten wie das Eisenbahnbuch, das nicht verbücherte öffentliche Gut und die Sondergrundbücher in drei Katastralgemeinden bereinigt werden.

Einige Änderungen des Liegenschaftsteilungsgesetzes und die Änderungen im Vermessungsgesetz verfolgen das Anliegen der Beschleunigung der

Verbücherung der Teilungspläne. Verfahrensbeschleunigende Effekte sollen auch mit den künftig möglichen gerichtsstreitübergreifenden Eintragungen erzielt werden. Im Vermessungsgesetz wäre letztlich der Vorschlag einer Ersatzregelung für den auf Grund des Erkenntnis G 203/06-7 vom 1. März 2007 des Verfassungsgerichtshofes aufgehobenen § 13 Abs. 1 bis 3 VermG zum Gutgläubensschutz anlässlich der Berichtigung des Grenzkatasters hervorzuheben.

#### **Auflistung der wesentlichsten Inhalte**

##### **Grundbuchsgesetz:**

- Aufnahme von Geburtsort, Firmenbuchnummer und Vereinsregisterzahl in Grundbuchsurkunden und Grundbuchsbeschlüsse zur Erleichterung der Abfrage des ZMR;
- Verbesserung von Formgebrechen im Grundbuchsverfahren;
- Abschaffung der Protokollanträge im Grundbuchsverfahren.

##### **Grundbuchsumstellungsgesetz:**

- Grundlage für die Umstellung der Grundstücksdatenbank auf eine GDBneu (mit einer vorübergehenden Aussetzung des Gutgläubensschutzes);
- Auflösung des Eisenbahnbuchs und Übertragung der Eisenbahngrundstücke in das allgemeine Grundbuch;
- Auflösung der in drei Katastralgemeinden (Wiener Neustadt, Salzburg und Klagenfurt) für einzelne Teile der Katastralgemeinde bestehenden besonderen Abteilungen des Hauptbuchs;
- Einbücherung des nicht verbücherten öffentlichen Gutes;
- Erweiterung der Befugnis von Notaren und Rechtsanwälten zur Abfrage des Personenverzeichnisses um die Abfrage zum Zweck eines Zwangsvollstreckungsverfahrens;
- Gemeinsame Abfrage einer Mehrzahl von Liegenschaften, die eine wirtschaftliche Einheit bilden und auf eine größere Anzahl von Grundbucheinlagen aufgeteilt sind (etwa eine Autobahn) als „Liegenschaftsgruppe“;
- Sonderregelung für den Zeitpunkt des Einlangens elektronischer Grundbuchsanträge;
- Zuständigkeit des Grundbuchsgerichts für den Vollzug seiner Entscheidung auch dann, wenn sich die Einlage im Sprengel eines anderen Gerichts befindet.

##### **Liegenschaftsteilungsgesetz:**

- Erweiterung des Anwendungsbereichs des § 13 über die lastenfreie Abschreibung geringwertiger Trennstücke;

- Neuregelung des vereinfachten Verfahrens für die Verbücherung von Straßen, Wege-, Eisenbahn- und Wasserbauanlagen (Ausweitung des Anwendungsbereichs, Verzicht auf die Einhaltung bestimmter Wertgrenzen als Voraussetzung für das Verfahren einerseits und Rechtsschutz der bücherlich Berechtigten durch ein Einspruchsrecht nach dem Vorbild des § 14 LiegTeilG andererseits);
- Ausschluss der nur teilweisen grundbücherlichen Durchführung der Teilungspläne;
- elektronische Vorlage von Teilungsplänen und Bescheinigungen nach § 39 VermG durch Verweis auf die Speicherung im Geschäftsregister der Vermessungsbehörde.

#### Urkundenhinterlegungsgesetz:

- Neuregelung der Ersichtlichmachung eines Superädifikates im Gutsbestandsblatt der betroffenen Liegenschaft;
- Umstellung der Urkundenhinterlegung auf automationsunterstützte Datenverarbeitung.

#### Allgemeines bürgerliches Gesetzbuch:

- Nachfolgeregelung für das mit dem 1. Bundesrechtsbereinigungsgesetz, BGBl. I Nr. 191/1999, mit 31. Dezember 2009 aufgehobene Hofkanzlei-Dekret über die Eintragung von „Keller-Eigentum“

#### Vermessungsgesetz :

- Neuregelung des Prozesses der Bescheinigung von Teilungsplänen nach § 39; Pläne sind in Zukunft ausschließlich automationsunterstützt bei den Vermessungsämtern einzubringen; die Vermessungsbehörden sollen auch das Vorliegen aller baubehördlichen, agrarbehördlichen, forstbehördlichen oder anderen Voraussetzungen für die Teilung (Teilungsbewilligungen) prüfen;
- Einrichtung eines „Geschäftsregisters“ als ein elektronisch geführtes, zentrales Register der Vermessungsbehörde mit Zugriff des Grundbuchs auf dieses Register;
- Darstellung der katastertechnisch geprüften Teilungspläne noch vor deren grundbücherlicher Durchführung in einer eigenen Ebene des Katasters (Vordurchführungsebene);
- Ersatzregelung für den durch den VfGH aufgehobenen § 13 Abs. 1 bis 3 VermG; wenn im Rahmen des Ermittlungsverfahrens durch die Vermessungsbehörde von einer Partei ein gutgläubiger Erwerb im Vertrauen auf den Grenzkataster behauptet wird, soll diese zivilrechtliche Frage nach dem Entwurf im Rahmen eines Gerichtsverfahrens geklärt werden.

## Veranstungskalender

### 5<sup>th</sup> INTERGEO East

19. – 20.2.2008 Belgrad, Serbien  
www.intergeo-east.com

### Geosensor Networks - Workshop 2008

20. – 22.2.2008 Hannover, Deutschland  
Tel.: +49 (511) 64609-140/149  
Fax: +49 (511) 64609-148  
info@ign.niedersachsen.de  
www.ikg.uni-hannover.de/geosensor

### 7. Internationales 3D-Forum Lindau

11. – 12. 3 2008 Lindau, Deutschland  
www.3d-geodaten.de

### FOSSGIS 2008

1. – 3.4.2008 Freiburg, Deutschland  
www.fossgis.de

### Intergraph-Forum 2008 Deutschland – Österreich – Schweiz

9. – 10.4.2008 Potsdam, Deutschland  
www.intergraph.de

### 14. Deutschsprachige ESRI Anwenderkonferenz

15. – 17.4.2008 München, Deutschland  
esri2008.esri-germany.de

### 11<sup>th</sup> AGILE 2008 Conference on GI Science

6. – 8.5.2008 Girona, Spanien  
www.agile2008.es

### CORP 2008

13. internationale Konferenz zu Stadtplanung,  
Regionentwicklung und Informations-  
gesellschaft, 3. internationale Wiener  
Immobilienkonferenz – GeoMultimedia008

19. – 21.5.2008 Wien, Österreich  
Tel.: +43 (1) 892 85 02 office@corp.at  
Fax: +43 (1) 892 85 02-15 www.corp.at

### measuring the changes 13<sup>th</sup> FIG Symposium on Deformation Measurements and Analysis & 4<sup>th</sup> IAG Symposium on Geodesy for Geotechnical

12. – 15.5.2008 Lissabon, Portugal  
Tel.: +351 218 443 483 Fax : +351 218 443 014  
http://measuringchanges.lnec.pt

### 4. GIS-Ausbildungstagung

29. – 30.5.2008 Potsdam, Deutschland  
gis2008@gfz-potsdam.de  
http://gis.gfz-potsdam.de

### GIS/SIT 2008 Schweizer Forum für Geoinformation

10. – 12.6.2008 Zürich, Schweiz  
Tel.: 061 686 77 11 E-mail: info@akm.ch  
Fax: 061 686 77 88 www.akm.ch/gis\_sit2008

### FIG Working Week and XXXI General Assembly – Integrating Generations

14. – 19.6.2008 Stockholm, Schweden  
fig@fig.net www.fig.net/fig2008

### Accuracy 2008 International Symposia on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences

25. – 27.6.2008 Shanghai, China  
http://2008.spatial-accuracy.org

### AGIT 2008

2. – 4.7.2008 Salzburg, Österreich  
Tel.: +43 662 8044 5224 office@agit.at  
Fax: +43 662 8044 525 www.agit.at

### ISPRS 2008 – 21<sup>st</sup> Congress Silk Road for Information from Imagery

3. – 11.7.2008 Peking, China  
www.isprs2008-beijing.org

### INTERGEO 2008

26.9. – 2.10.2008 Bremen, Deutschland  
www.intergeo.de

## Buchbesprechungen

### **GEOINFORMATIK GmbH (Hrsg.) ArcPad 7, Das deutschsprachige Handbuch**

Herbert Wichmann Verlag, Hüthig GmbH & Co KG, Heidelberg 2007

214 Seiten, ISBN 978-3-87907-459-4

Die Software ArcPad der Firma ESRI ist weltweit das am weitesten verbreitete mobile Geografische Informationssystem (GIS) zur Datenerfassung im Feld. Mit diesem Werk verfolgt der Herausgeber (Geoinformatik GmbH) nun das Ziel, die Lücke an deutschsprachiger Information zur Bedienung von ArcPad zu schließen, steht doch derzeit lediglich ein englischsprachiger „User Guide“ seitens ESRI zur Verfügung, der seit kurzem nur mehr in digitaler Form als PDF ausgeliefert wird.

Das Buch gliedert sich in acht Kapitel. Nach einer kurzen Einleitung zu Aufbau und Systematik des Buches führt uns Kapitel 2 allgemein in die Begriffe „Mobiles GIS“ sowie GNSS (Global Navigation Satellite System) ein. Überblicksweise wird auf die Anforderungen an die Systemkomponenten eines Mobiles GIS (mobile GIS-Software, Feldcomputer sowie GPS-Empfänger) eingegangen, während Funktionsweise und technische Rahmenbedingungen von satellitenbasierter Positionierung auf mehr als 20 Seiten genauer erläutert werden. Im Anschluss werden einige typische mobile GIS-Anwendungsbereiche (Land-, Forst- und Wasserwirtschaft, Grünflächenmanagement, Geologische und Geomorphologische Kartierung etc.) kurz vorgestellt.

Nach Beschreibung der Programminstallation (auf Desktop-PC und mobilem Gerät) folgt das mehr als 70 Seiten umfassende Kernkapitel. Step by step wird darin die Benutzeroberfläche mit den grundlegenden GIS-Funktionalitäten erklärt. Etliche Screenshots von den einzelnen Werkzeugleisten („Verwalten, Durchsuchen, Bearbeiten“) mit deren Submenüs unterstützen den Leser beim Studium der textlich detailliert beschriebenen Funktionalitäten. Die Datenerfassung als zentrale Funktionalität mobiler GISe wird im Unterkapitel – Werkzeugleiste „Bearbeiten“ behandelt. Als Methoden stehen dabei manuelle (stift- bzw. mausbasierte) und GPS-gestützte Verfahren zur Auswahl. Symbolvergabe und Beschriftung von Geo-Objekten, unterschiedliche Möglichkeiten der Abfrage und Suche nach Objekten sowie spezielle Datenerfassungsmethoden (Offset-Messungen) runden das Kernkapitel ab.

Der Tatsache, dass ein mobiles GIS in der Regel der verlängerte Arm eines zentralen GIS ist, trägt das fünfte Kapitel – Datenaustausch zwischen ArcPad und ArcGIS – Rechnung. Entsprechend der zeitlichen Abfolge eines mobilen GIS-Projektes werden folgende Arbeitsschritte erklärt: Auschecken von Daten aus einer Geodatabase, die Bearbeitung ausgecheckter Daten in ArcPad, sowie das Einchecken von bearbeiteten Daten in eine Geodatabase. Das Exportieren von Shapefile-Symbolen und ArcGIS-Styles sowie Ex- und Import von Grafik-Layern beschließen das Kernkapitel. Das sechste Kapitel gibt uns einen Überblick über die Möglichkeit

der Anpassung von ArcPad an spezifische Benutzeranforderungen. Dazu zählen unter anderem die Erstellung und Anpassung von Quickforms (Eingabemasken) sowie die Möglichkeiten erweiterter Symboldarstellungen.

Im siebenten Kapitel wird dem Leser die Möglichkeit geboten, sich anhand praktischer Übungsbeispiele (Download-Möglichkeit von Übungsdaten über die Homepage des Herausgebers: [www.gi-geoinformatik.de](http://www.gi-geoinformatik.de)) in die wichtigsten Funktionen von ArcPad (Erstellung eines ArcPad-Projektes, Layer- & Symbolverwaltung, Datenabfragen sowie manuelle und GPS-gestützte Datenerfassung) einzuarbeiten.

Dieses deutschsprachige Handbuch kann all jenen Personen empfohlen werden, die sich schnell einen soliden Überblick über die wichtigsten Funktionen des mobilen GIS ArcPad7 verschaffen wollen.

Diskussionswürdig ist, ob an Stelle des Überblicks zu GNSS/GPS (dazu gibt es ja eine Fülle an Informationen in unterschiedlichsten Publikationsformen) der Umfang der eigentlichen ArcPad-Kapitel entsprechend erweitert hätte werden sollen. All jene GIS-User, die sich über diverse „ArcPad-Spezialfunktionen“ (z.B. Navigation mit GPS, Integration von externen Sensoren wie z.B. Entfernungsmessern) informieren wollen, werden zusätzlich auf den rund 400 Seiten umfassenden englischsprachigen „User Guide“ zurückgreifen müssen.

*Roland Mittermaier*

### **Grafarend E. W. & Krumm F. W.: Map Projections: Cartographic Information Systems.**

Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 2006. XVIII + 714 Seiten, 230 Illustrationen, Preis: € 142,95. ISBN-10: 3-540-36701-2, ISBN-13: 978-3-540-36701-7.

Kartographische Abbildungen zur Orientierung und zweidimensionalen Darstellung raumbezogener Daten haben durch die Entwicklung der Geoinformation an Bedeutung noch gewonnen. Sie tauchen überall auf, auf den Bildschirmen von Fernsehempfängern, Laptops und Navigationsgeräten. Es existiert eine Vielzahl von kartographischen Produkten, die alle Bedürfnisse der Nutzer, vom Bergwanderer bis zum Statistiker, befriedigen. Für spezielle Themen wurden spezielle Abbildungen erdosen. Die für Auswahl und Herstellung solcher Abbildungen zuständigen Kartographen, Geographen, Geodäten und Geoinformatiker können sich bei ihrer Arbeit auf eine große Zahl von Lehrbüchern, Monographien und Artikeln in Fachzeitschriften stützen, worin auch die mathematische Lehre vom Kartenentwurf auf unterschiedlich hohem Niveau abgehandelt wird. Das Problem schien mehr oder weniger abgeschlossen, ist doch schon lange keine größere einschlägige Arbeit erschienen. Eine wirklich tief schürfende Studie, in der die Abbildungslehre aus der modernen Differentialgeometrie heraus entwickelt wird, fehlt überhaupt.

Nun haben die Stuttgarter Professoren Grafarend und Krumm ihr Werk vorgelegt, das in seiner Art und Bedeutung, in mathematischer Strenge und Tiefe unvergleichlich ist. Nur wenige aus dem Kreis der genannten Fachleute werden den gebotenen Stoff auf Anhieb verstehen und richtig würdigen können. Das Buch setzt ein hohes Maß an mathematisch-geometrischer Vorbildung voraus und es wäre kühn, zu behaupten, ich hätte alles verstanden. Der Inhalt zeigt deutlich die aus zahlreichen Publikationen bekannte Handschrift von Grafarend. Schon im Vorwort wird nicht herumgeredet, nichts über Sinn und Zweck der Kartographie gesagt, sondern knapp erläutert, was den Leser in einundzwanzig Hauptkapiteln und zehn Anhangskapiteln erwartet. Hat sich dieser erst in die Notation eingearbeitet, beginnt für ihn eine Tour de Force durch die moderne Differentialgeometrie: Riemannsche und Euklidische Mannigfaltigkeiten, holonomische und inholonomische Formen, injektive und bijektive Abbildungen, gewürzt mit einem gehörigen Schuß Tensorkalkül. Cauchy-Green- bzw. Euler-Lagrange-Tensor führen zu den Abbildungsverzerrungen, die Beziehung zur bekannten Indikatrix von Tissot wird hergestellt und mit der dreidimensionalen Elastizitätstheorie verknüpft.

Schon die ersten Kapitel sind durch gestochene scharfe Abbildungen ausgefallener Netzentwürfe aufgelockert, so z. B. durch die Retroazimutalprojektion von Hammer (mit „please enjoy ...“ vorgestellt), noch ohne Angabe der Abbildungsgleichungen. Zahlreiche Seiten des Buches sind ausschließlich durch Formeln und mathematische Entwicklungen ausgefüllt, allerdings sehr klar und übersichtlich gestaltet und unterstützt durch Hilfsskizzen. Wichtige Formeln und Aussagen sind grau unterlegt. Am Ende einiger Kapitel wird weiterführende Literatur zitiert. Auch werden dem Leser Aufgaben gestellt, an denen er sein Verständnis prüfen kann. Anschließend findet man die gestellten Probleme im Detail gelöst, auch mit numerischen Berechnungen. Dieser schwierige Teil sollte niemanden, der ernsthaft am Studium der mathematischen Kartographie interessiert ist, von der Lektüre abhalten. Wer durchhält, wird in den späteren Kapiteln belohnt.

Hier werden bekannte Abbildungen der Kugel und des Rotationsellipsoides auf Ebene, Zylinder und Kegel im Detail abgehandelt, jeweils in normaler (polarer), transversaler und schiefer Lage. Die Entwürfe sind durch ihre Netze samt Kontinentalumrissen und Verzerrungsellipsen in sauberen Abbildungen illustriert. Für manche Abbildungen, z. B. jene von Stab-Werner und Bonne, werden die Elemente der Indikatrix von Tissot explizit numerisch berechnet. Selbstverständlich findet man Gauß-Krüger- und UTM-Projektion behandelt, ebenso wie Datumsprobleme und Streifentransformationen. Diesen Ausführungen kann man durchaus folgen, auch wenn man den ersten Teil nicht restlos verdaut hat. Die Kapitel des Anhangs vertiefen den mathematischen Apparat: Inversion homogener Polynome, elliptische Integrale und Funktionen, Korn-Lichtenstein-, d'Alembert-Euler- und Cauchy-Riemann-Gleichungen, geodätische Krümmung und Torsion,

gemischte Zylinderprojektionen, verallgemeinerte Mollweide-Projektion, verallgemeinerte Hammer-Projektion, optimale Mercator-Projektion und Systeme auf Basis Gauß'scher Flächennormalenkoordinaten im Geometrie- und Schwererraum.

Eine Rezension darf sich nicht auf die Aufzählung des Inhalts beschränken. Zu dessen unvoreingenommener Beurteilung hilft es, sich in die Lage eines praktizierenden Geoinformatikers, eines Kartographen oder eines Studenten der Geodäsie zu versetzen. Nach anstrengenden Bemühungen, sich durch den ersten Teil zu kämpfen, empfinde ich es als leichten Spott, dass die Autoren dem Kapitel 1 ein Wort von William of Ockham voranstellen, das sinngemäß besagt: „Es bringt nichts, mehr einzusetzen, wenn weniger ausreicht“. Manche Kartographen oder Geoinformatiker werden einige in Atlanten und Weltkarten weit verbreitete Netzentwürfe vermissen, wie z. B. jene von Winkel, Wagner, Robinson, van der Grinten, oder die Trimerische Projektion von Chamberlin. Die letzten drei genannten Abbildungen sind nicht als Abbildung im Sinne der Differentialgeometrie definiert, sondern beruhen auf willkürlichen Anweisungen. Wie man auch in solchen Fällen die Tissot'schen Verzerrungsellipsen sichtbar machen kann, sucht man vergeblich. Vielleicht deshalb, weil es sehr einfach ist? Auch wer Angaben über die offiziellen Projektionssysteme verschiedener Länder erwartet, wird enttäuscht. Am Ende der Lektüre des in jeder Hinsicht gewichtigen Bandes angelangt, hat man die vage Empfindung, ein unorganisch gewachsenes Wesen vor sich zu haben. Manche Glieder scheinen nicht am richtigen Platz zu sein oder gar zu fehlen. Einige rein theoretische Ausführungen des Anhangs erwartet man eher im ersten Teil. Das dreidimensionale Ellipsoid wird zwar angesprochen, aber im Hinblick auf die Erkundung unseres Planetensystems wäre eine Betrachtung über die Abbildung nichtsphärischer Himmelskörper interessant gewesen.

Diese Kritik mindert jedoch nicht den überragenden Wert der Monographie. Aus dem Blickwinkel von Praktikern der Kartographie betrachtet, hat Ockham Recht, weniger (Mathematik) hätte genügt. Aber es war nicht die Absicht der Autoren, eine Enzyklopädie der existierenden Netzentwürfe zu schaffen, sondern die Fundamente bijektiver Abbildungen mittels der modernen Differentialgeometrie in größter Allgemeinheit und Tiefe darzustellen. Das ist ihnen in einmaliger Weise gelungen. Sie haben damit einen Standard gesetzt, an dem sich andere Autoren messen müssen. Man kann das Buch auch als Zusammenfassung der jahrzehntelangen Beschäftigung mit der Materie und der daraus entstandenen zahlreichen Publikationen des erstgenannten Autors sehen. Seine „matter of fact“-Art der Darstellung des Stoffes besticht, lässt mich aber zögern, das Werk ein Lehrbuch im klassischen Sinne zu nennen. Wer nach existierenden Netzentwürfen und weiteren praktischen Informationen sucht, findet sie in der 1387 (!) Zitate umfassenden Bibliographie. Das Buch ist vom Verlag hervorragend ausgestattet, das Layout und die Abbildungen sind vorbildlich, bis auf

wenige Ausnahmen, die, leicht grob geraten, ins Auge stechen (z. B. Fig. 17.7 auf S. 385). Es sind kaum Druckfehler zu finden, erstaunlich in einem Buch dieses Umfangs. Ein einziger Fehler ist mir aufgefallen: Auf Seite 366, in der 5. Zeile von oben muss die Hochzahl in der Formel für  $E'$  nach der Klammer korrekt  $1/2$  heißen und nicht  $1/2$ .

Die Lektüre des Buches hat mich in meiner Meinung betreffend die Ausbildung von Geodäten bestärkt. Die Geodäten leiden wegen ihrer geringen Präsenz in der öffentlichen Wahrnehmung unter einem Mangel an Selbstbewusstsein. Das verleitet dazu, in die Studienpläne immer mehr Randgebiete hinein zu stopfen, was meist auf eine Einschränkung der mathematisch-physikalischen Grundausbildung hinausläuft. So wurde an der TU Wien schon vor Jahren die mathematische Lehre vom Kartenentwurf gegen meinen Widerstand aus dem Pflichtfachkatalog gestrichen! Das war ein großer

Fehler. Die Geodäten sollten sich auf ihre Kernkompetenzen konzentrieren, darauf, was sie und nur sie beherrschen. Das sind unter anderem Koordinaten, Koordinatensysteme, ihre hierarchische Ordnung und deren Transformationen, also auch die kartographischen Abbildungen. Gewiss, auch Mathematiker kennen sich mit Koordinaten aus, aber die Geodäten müssen diese Systeme realisieren!

Jedem forschend tätigen Geodäten, aber auch jedem Studenten ist die Lektüre des Buches sehr zu empfehlen, auch wenn sie harte Arbeit erfordert. Eine verpflichtende Leseliste in den Studienplänen, wie in den USA üblich, gibt es bei uns leider nicht. Der hohe Preis mag wegen der guten Ausstattung des Buches gerechtfertigt sein, wird aber viele Studenten vom Erwerb abhalten.

*Kurt Bretterbauer*

## Mitteilungen und Tagungsberichte

### Erinnerung an Herrn Univ.Prof. Dr. h.c. Dr. István JOÓ

Unerwartet haben wir die Nachricht bekommen, dass Dr. István Joó, emeritierter Professor der Fakultät für Geoinformatik, am 5. August 2007 verstorben ist. Im Juni hat er noch unterrichtet und seine Prüfungen abgehalten. Im Sommer hat er sich mit weiteren universitären Aufgaben beschäftigt, und seine Forschungsarbeiten betrieben – plötzlich war alles zu Ende. Professor Joó wurde 78 Jahre alt.

István Joó wurde 1928 in Hidashollós im Komitat (Bezirk) Vas geboren. Seine Mutter starb, als er noch ein Kind war. Früh lernte er die Arbeit der Dorfbewohner sowie die Freuden und Sorgen einer kinderreichen Familie kennen. Die Mittelschule absolvierte er in Körmend. 1949 inskribierte er in Sopron an der im Jahre 1949 gegründeten Fakultät für Vermessungswesen. Nach einem Jahr wechselte er auf militärischen Befehl an die Technische Universität nach Budapest, wo er 1954 sein Studium an der damals gegründeten Fakultät für Ingenieuroffiziere mit Auszeichnung abschloß.

Danach arbeitete er beim Kartographiedienst des Verteidigungsministeriums als Topograph. Die militärische Laufbahn beendete er Anfang 1957, als er das sogenannte Kádár-Treuebekenntnis nicht unterschrieb. Er wurde bei der Geodäten- und Bodenprüfungs-firma angestellt und ging im Anschluss daran zu einer kartographischen Firma als technischer Sekretär. Hier wurde man auf seine ausgezeichnete Organisationsfähigkeit und auf seine Leistungsfähigkeit aufmerksam. 1961 kam er zum Staatlichen Geodätischen und Kartographischen Amt – ÁFTH – und erhielt dort die Position eines Oberingenieurs. Bereits mit 34 Jahren wurde er 1962 Leiter der technischen Hauptabteilung von ÁFTH. Damit wurde er zum obersten technischen Leiter in der ungarischen Vermessung. Diesen Posten behielt er – trotz verschiedener Umorganisationen im Amt – bis zu seinem Wechsel an die geodätische Fakultät nach Székesfehérvár.

Neben seiner Arbeit im Amt unterstützte er 1962 die Gründung des geodätischen Technikums in Székesfehérvár und schuf die materiellen Voraussetzungen zur Errichtung eines Schulgebäudes. Dieses wurde 1965 fertiggestellt und an die Fakultät übergeben. Ab 1964 übernahm er auch Lehrtätigkeiten für das Fach Geodäsie. Neben seinen wichtigen Verpflichtungen im Amt hielt er seine Lehrstunden immer gewissenhaft und pünktlich. Für mehrere Jahre war er auch Mitglied des Staatlichen Prüfungsausschusses. Während seiner Tätigkeit entstanden auf dem Gebiet der staatlichen Vermessung wesentliche Entwicklungen. Damals wurde das Projektionssystem mit der Bezeichnung HD72 eingeführt – ein neues, verebnetes Projektions- und



Univ.Prof. Dr. h.c. Dr. István Joó, 1928–2007

Kartierungssystem für die ungarische Landesvermessung.

Mit dem Namen von István Joó ist auch die Schaffung des in den 70-er Jahren eingeführten krustenbeweglichen Nivellementnetzes verbunden, das im späteren ungarischen Höhenfestpunktnetz zum Netz 1. Ordnung wurde.

Professor Joó unterstützte die Gründung des Vermessungsinstituts (FÖMI), das auch heutzutage eine wichtige Rolle in der ungarischen Forschung und Entwicklung sowie in der fachlichen Leitung von nationalen Vermessungsaufgaben einnimmt.

Nach Abschluss seines Universitätsstudiums beschäftigte er sich ständig mit wissenschaftlicher Arbeit. Seine Doktorarbeit schrieb er über die Gebietsveränderung von Ungarn in verschiedenen Projektsystemen. In seiner Kandidatenarbeit beschäftigte er sich mit Genauigkeitsuntersuchungen von Gyrotheodoliten (Kreiseltheodoliten). 1979 verteidigte er seine akademische Dissertation, in welcher er die alten und neuen verebneten Netze analysierte. Unter seiner Leitung wurden in einer internationalen Zusammenarbeit Landeskarten fertiggestellt, welche die Krustenbewegungen der Karpaten- Balkan- Region darstellen. Dieses Thema beschäftigte ihn wissenschaftlich bis zum Ende seines Lebens.

Seine zahlreichen Artikel veröffentlichte er in ungarischer aber auch in fremden Sprachen. Von seinen mehr als 350 Publikationen sind etwa zwei Drittel in ungarisch. Er ließ etwa 30 Bücher, Skripten und Kartenwerke verlegen. Viel Zeit widmete er Wissenschaftsorganisationen: Er war Mitglied und Leiter mehrerer internationaler und heimischer wissenschaftlicher Ausschüsse. Seit 1965 war er Mitglied und zwischen 1999 und 2002 Vorsitzender des Geodätischen Wissenschaftlichen Ausschusses der Ungarischen Wissenschaftlichen Akademie. Während mehrerer Zyklen war er Vorsitzender der Ungarischen Nationalen Kommission der Internationalen Assoziation für Geodäsie (IAG). Im Rahmen des Internationalen Ausschusses koordinierte er zwischen 1975 und 1990 die Untersuchungen zur Erdkrustenbewegung in der Karpaten-Balkan-Region. An der Olsztyn Universität (Polen) wurde er 1996 zum Ehrendoktor ernannt. Seine Arbeit wurde aber auch mit zahlreichen anderen staatlichen und fachlichen Auszeichnungen anerkannt. So wurde er auch 1991 am Österreichischen Geodätentag in Innsbruck zum Ehrenmitglied der Österreichischen Gesellschaft für Vermessung und Geoinformation ernannt.

1986 beendete er nach 25 Jahren seine Tätigkeit als Leiter in der staatlichen Vermessung und wurde im Sommer desselben Jahres an die Universität Sopron berufen und mit der Leitung der geodätischen Fakultät in Székesfehérvár beauftragt. Für zwei Perioden war er der Leiter dieser Hochschule und Vorstand des Lehrstuhls für Geodäsie. Während seiner Tätigkeit als Hochschulleiter trug er viel zur Entwicklung der Instrumentenausstattung und der Gebäude bei und leistete einen wesentlichen Beitrag zur landesweiten und internationalen Anerkennung der Fakultät. Er organisierte mehrere internationale und nationale Konferenzen in Székesfehérvár. Während seiner Amts-

zeit als Hochschulleiter entstand in Ungarn der erste Lehrstuhl für Geoinformatik. Am Anfang der 90-er Jahre veröffentlichter er gemeinsam mit vielen seiner Kollegen ein Buch mit dem Titel „Die ungarische Vermessung und Geographie“. Das Werk erschien in 6 Bänden. István Joó hielt regelmäßigen Kontakt mit Geodäten und Professoren in Siebenbürgen. In den letzten Jahren zog er in seine Forschungsarbeit vermehrt auch die Studierenden ein.

Neben beruflichen und wissenschaftlichen Arbeit erzog er seine 3 Kinder und 8 Enkelkinder mit vorbildlicher Sorge. Den letzten Tag seines Lebens verbrachte er auch mit ihnen. Mit seiner Heimatregion war er immer eng verbunden: Regelmäßig besuchte er dort seine Verwandten erinnerte sich gern an das dortige Leben. Aus seinen Erzählungen wissen wir, dass wenige Leute so gut den Heuwagen laden konnten wie er. Zur Ehre seines Geburtsdorfes und seiner Mutter verwendete er später beim Unterschreiben seiner Fotos oft den Namen Hollósi-Szép.

Seine fachliche Arbeit verrichtete er mit höchster Pflichterfüllung. Verbesserungen und positive Entwicklungen der ungarischen Vermessung hielt er immer für erstrangig. Er forderte viel von den anderen, aber genauso streng war er auch sich selbst gegenüber.

Die Fakultät für Geoinformation benannte jenen Saal, in welchem er mehr als 45 Jahre lang unterrichtete – den Hörsaal III – in „Istvan Joó Hörsaal“ um.

Sein Andenken werden wir in Ehren bewahren.

*Prof. Dr. Márkus Béla,  
Vorstand der Fakultät für Geoinformatik  
in Székesfehérvár  
Universität von Westungarn*

# OVG-Vorträge Sommersemester 2008

## Graz

Technische Universität Graz  
Hörsaal AE01, Parterre  
8010 Graz, Steyrergasse 30

**Mittwoch, 5. März 2008, 17 Uhr 15** **SARONTAR - Ein satellitenbasiertes Einsatzleitsystem für Rettungskräfte bei Alpinunfällen**

*Dipl.-Ing. Mag. Rainer PRÜLLER, TU Graz*  
*Dipl.-Ing. Hans-Peter RANNER, Teleconsult Austria*

**Mittwoch, 16. April 2008, 17 Uhr 15** **Geschäftsprozessoptimierung in EVUs mit GIS und hochgenauen Orthophotos**

*Dipl.-Ing. Jürgen GSTALTMAIER*  
*Dipl.-Ing. Werner SAMHABER*  
Energie Steiermark AG

**Mittwoch, 14. Mai 2008, 16 Uhr 30** Workshop: **Einsatz der Fernerkundung für das Umweltmonitoring**  
Koordinatoren: *Univ.-Prof. Dr. Mathias Schardt, Dr. Wolfgang Sulzer*  
Titel der einzelnen Beiträge werden später bekannt gegeben

**Mittwoch, 18. Juni 2008, 17 Uhr 15** **Lage- und Höhentransformationen für GNSS-Dienste und deren Implementierung im neuen RTCM 3.1 Standard**

*Prof. Dr.-Ing. Reiner JÄGER*  
Hochschule Karlsruhe, Fakultät für Geomatik

## Innsbruck

Leopold-Franzens Universität Innsbruck  
Institut für Geodäsie, HSB 6, Parterre  
6020 Innsbruck, Technikerstraße 13

**Donnerstag, 6. März 2008, 18 Uhr 15** **Vermessung und Monitoring im 57 km langen Gotthard-Basistunnel**

*Dr. sc. techn. Roland STENGELE*  
Swissphoto Group AG, Regensdorf (Schweiz)

**Donnerstag, 10. April 2008, 18 Uhr 15** **Bahnen der GNSS Satelliten, die Grundlage der präzisen Positionierung**

*Prof. Dr. rer. nat. Urs HUGENTOBLER*  
Institut für Astronomische und Physikalische Geodäsie, TU München

**Donnerstag, 8. Mai 2008, 18 Uhr 15** **Katastrophen kennen keine Grenzen - der ArgeAlp Geodatenverbund auch nicht Information sicher und aktuell dank verteilter Geodatenhaltung**

*Dipl.-Ing. Jürgen OBERRESSL*  
GIS Experte beim Amt der Vorarlberger Landesregierung

**Donnerstag, 5. Juni 2008, 18 Uhr 15** **Mobile Scansysteme von FARO**

*Carsten GERICKE, Regional Manager Austria*  
*Dipl.-Ing. (FH) Alexander BAUER, Senior Account Manager Laser Scanner*  
FARO Europe GmbH & Co. KG

# Wien

Technische Universität Wien

Hörsaal für Geodäten

1040 Wien, Gußhausstraße 27-29, 3. Stock

**Mittwoch,** Titel bei Redaktionseende noch nicht bekannt  
5. März 2008, *Dipl.-Ing. Johann Jessenk*, Autodesk  
17 Uhr 15 *Jürgen Beiglböck*, rmDATA

**Mittwoch, Geodätische Forschung - Quo Vadis?**  
2. April 2008, *Prof. Dr.-Ing. Harald Schuh*  
17 Uhr 15 Institut für Geodäsie und Geophysik, TU-Wien

Weitere Vorträge in Wien werden zu einem späteren Zeitpunkt veröffentlicht.

Jetzt mit Mobile Internet

NTRIP\*

# APOS

Austrian Positioning Service

Um einen Schritt  
schneller und  
wirtschaftlicher

## APOS - Ansprechpartner

BEV - Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen  
Kundenservice

Tel.: +43-(0)1 - 21110 - 2160

Fax: +43-(0)1 - 21110 - 2161

E-mail: [kundenservice@bev.gv.at](mailto:kundenservice@bev.gv.at)

See you: [www.bev.gv.at](http://www.bev.gv.at)

NTRIP\*

Ein vom Bundesamt  
für Kartographie und Geodäsie  
entwickeltes Verfahren  
zur Bereitstellung von  
GNSS/GPS - Datenströmen  
über das Internet.

BEV - Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen





Der Partner, den Sie benötigen,  
um auf Kurs zu bleiben.

Machen Sie sich bereit, die Segel zu setzen! Die Vermessungsindustrie durchläuft eine Revolution, mit Trimble an der Spitze. Trimble stellt Ihnen sein erfahrenes Team zur Seite, damit Sie und Ihr Unternehmen die grösstmöglichen Erfolge erzielen können. Wir sind nicht einfach nur ein bewährter Hersteller von Vermessungstechnik, wir sind ein branchenführendes Unternehmen, das Ihnen vielseitig einsetzbare Vermessungslösungen von überlegener Qualität an die Hand gibt. Wir bereiten Ihr Unternehmen auf die Zukunft vor, nicht nur im Büro, sondern auch beim Einsatz im Aussendienst. Von erhöhter Produktivität über die Amortisation, bis hin zur Vorbereitung auf die Herausforderungen im Aussendienst – das Trimble-Team begleitet Sie auf jeder Etappe!

