

100. Jahrgang Heft 1/2012

Österreichische Zeitschrift für

# vgi

# Vermessung & Geoinformation

Wir schauen auf  
unsere Erde



11. Geodätentag

Velden 2012

# TAGUNGSBAND



  Visit [iFlyUltraCam.com](http://iFlyUltraCam.com) to see the PMC video. Or scan tag and watch on your mobile phone.

Download the free tag reader app at <http://gettag.mobi>.

“Reliability, efficiency, and exceptional picture quality. That’s why **I fly UltraCam.**”



With plans to establish a high-resolution aerial image library of China and customers across 30 different government departments, Peace Map Co., Ltd. (PMC) needs a quality digital photogrammetric system to effectively serve their large market. That’s why PMC chooses Microsoft UltraCam for their digital-image acquisition.

Mr. Xiang knows that the cost to fly missions is his greatest operational expense. Thanks to the large image footprint and stable performance of the UltraCam, he has seen a significant increase in efficiency compared to other digital aerial cameras. The continual innovation of the UltraCam helps PMC deliver breathtaking images to customers, reduce costs, and plan for steady growth into the future.



The UltraCam Eagle is the latest technological advance, featuring an ultra-large image footprint and revolutionary enhancements for high-quality imagery at unprecedented efficiencies. For details, visit [www.UltraCamEagle.com](http://www.UltraCamEagle.com).





# Österreichische Zeitschrift für **Vermessung & Geoinformation**

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

100. Jahrgang 2012

Heft: 1/2012

ISSN: 1605-1653

Schriftleiter: Dipl.-Ing. Stefan Klotz

Stellvertreter: Dipl.-Ing. Ernst Zahn

Dipl.-Ing. Andreas Pammer

A-1020 Wien, Schiffamtsgasse 1-3

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

Tagungsband:

## **11. Österreichischer Geodätentag**

### **Grußworte**

*R. Mitterlehner:*

**Grußworte des Bundesministers für Wirtschaft, Familie und Jugend 3**

*G. Steinkellner, G. Rabl:*

**Willkommen beim 11. Österreichischen Geodätentag 4**

*F. Vouk:*

**11. Österreichischer Geodätentag – „Ein Wort zuvor“ 5**

### **Tagungsbeiträge**

#### *Die Erde im Blickfeld*

*W. Wagner:*

**Neue Satellitenmissionen zur globalen  
Beobachtung der Bodenfeuchtigkeit 11**

*G. Bokelmann:*

**Deformation in der Erde: Von Erdbeben bis zur Plattentektonik 17**

## Neue Abbilder der Erde

<i>R. Pail:</i>		
	<b>GOCE goes application – Status und Erkenntnisgewinn</b>	<b>19</b>
<i>U. Stilla:</i>		
	<b>Änderungsdetektion beim Laserscanning urbaner Gebiete durch Helikopter und UAVs</b>	<b>28</b>
<i>M. Becker, S. Rödelsperger, G. Läufer, J. Schneider:</i>		
	<b>Erfassung von hochfrequenten und langfristigen Deformationsprozessen mit terrestrischer Mikrowelleninterferometrie</b>	<b>29</b>

## Die Erde und wo bin ich?

<i>B. Hofmann-Wellenhof:</i>		
	<b>Galileo – und wo bist du?</b>	<b>36</b>
<i>R. Mautz:</i>		
	<b>Aktuelle Technologien zur Positionsbestimmung in Gebäuden</b>	<b>44</b>
<i>T. Gaisecker, M. Pfennigbauer, Ch. Sevcik, N. Studnicka:</i>		
	<b>Terrestrisches Laser Scanning in den Alpen mit dem RIEGL VZ-4000 – für Geländeerfassung, Hangrutschungsüberwachung und Gletschermonitoring</b>	<b>45</b>

## Menschen in Bewegung

<i>G. Gartner, M. Schmidt:</i>		
	<b>Moderne Kartographie – Technologische Entwicklungen und Implikationen</b>	<b>53</b>
<i>I. Mandl-Mair:</i>		
	<b>GIP.at – das österreichische Verkehrsbezugssystem für Österreich</b>	<b>61</b>
<i>T. Konetzki:</i>		
	<b>Flughafen Frankfurt am Main – Einsatz und Nutzen von Geoinformationen</b>	<b>62</b>

	<b>Impressum</b>	<b>6</b>
	<b>Tagungsprogramm</b>	<b>7</b>
	<b>Ausstellerverzeichnis</b>	<b>63</b>
	<b>Sponsoren</b>	<b>76</b>



## Grüßworte des Bundesministers für Wirtschaft, Familie und Jugend

Seit über 100 Jahren vertritt die Österreichische Gesellschaft für Vermessung und Geoinformation (OVG) die Interessen und Anliegen all jener, die mit Geodäsie, Geoinformation, Photogrammetrie und Vermessung befasst sind. Gerade in der heutigen Zeit ist die Zusammenarbeit von Wissenschaft, öffentlichem Dienst, den freien Berufen und der Wirtschaft besonders wichtig. Die damit verbundene moderne Aufbereitung von Daten sowohl für die Eigentumssicherung als auch für die Beschreibung unserer Umwelt gewinnt weiterhin an Bedeutung.

Ich wünsche daher den Veranstaltern und Teilnehmern des 11. Geodäten-Tages in Velden am Wörthersee einen gelungenen Kongress und eine erfolgreiche Fachmesse. Angesichts der Präsentation von neuen Entwicklungen und durch die hochkarätigen Vortragenden aus dem In- und Ausland erwartet Sie wieder ein informatives Programm. Ein qualifizierter Meinungs- und Erfahrungsaustausch kann durch nichts ersetzt werden.

A handwritten signature in blue ink, which reads "Reinhold Mitterlehner". The signature is fluid and cursive, with a prominent initial "R".

Dr. Reinhold Mitterlehner  
Bundesminister für Wirtschaft, Familie und Jugend



## Willkommen beim 11. Österreichischen Geodätentag

Sehr geehrte Damen und Herren,  
liebe Kolleginnen und Kollegen,

herzlich willkommen in Velden am Wörthersee! Die Österreichische Gesellschaft für Vermessung und Geoinformation (OVG) hat diesmal die Wörtherseeregion im Süden Österreichs als Veranstaltungsort des 11. Österreichischen Geodätentages 2012 gewählt – „zu Gast bei Freunden“ verbindet Wissenschaft, Information und die Menschen.

Unter dem Motto „Wir schauen auf unsere Erde“ vermittelt der Kongress den Besuchern einen Blick in und auf unsere Erde mittels Fernerkundung, aber auch, wie wir uns in unserer Welt mit Hilfe der Vermessung und Geoinformation in ihr zurechtfinden.

Der Kongress hat fünf Themenschwerpunkte gewählt – *Die Erde im Blickfeld; Neue Abbilder der Erde; Die Erde und wo bin ich?; Menschen in Bewegung*. Elf Vorträge aus den vier Themengruppen werden durch Impulsreferate zum Thema „*Die Erde und Daten für alle*“, weiteren sieben Referaten der Österreichischen Geodätischen Kommission und dem Festvortrag ergänzt.

Neben dem Vortragsprogramm und den Fachexkursionen wird den Teilnehmern auch ein äußerst interessantes und unterhaltsames Rahmenprogramm angeboten. So darf der „Geodätentreff“ nach Eröffnung der Fachmesse nicht fehlen, ein festlicher Abend „Grüß Euch – Willkommen in Velden“ begrüßt alle Gäste des Kongresses und verabschieden möchten wir uns mit einem Seefest an den Ufern des Wörthersees.

Die begleitende Fach- und Firmenmesse informiert zusätzlich über die neuesten Entwicklungen, Produkte und Dienstleistungen im Bereich der Vermessung und Geoinformation.

Die Österreichische Gesellschaft für Vermessung und Geoinformation als Veranstalter gemeinsam mit dem Organisationsteam freuen sich, Sie als Besucher des 11. Österreichischen Geodätentages vom 8. bis 10. Mai 2012 in Velden am Wörthersee begrüßen zu dürfen.

  
Dipl.-Ing. Gert Steinkellner  
Präsident der OVG

  
Dipl.-Ing. Gunther Rabl  
Kongressdirektor



## 11. Österreichischer Geodätentag – „Ein Wort zuvor“

Geschätzte Tagungsteilnehmerinnen und Tagungsteilnehmer!

Ich freue mich ganz besonders, dass in diesem Jahr Velden am Wörthersee als Veranstaltungsort für den 11. Österreichischen Geodätentag ausgewählt wurde. Ich heiße alle Teilnehmer in der Tourismusregion Wörthersee herzlich willkommen. Velden hat eine jahrzehntelange Tradition als Tagungs- und Kongressort. Tagen in angenehmer Umgebung, direkt am Ufer des Wörthersees und immer mit Blick auf die Veldener Bucht. Gemeinsam mit dem Casino Velden bieten wir allen Teilnehmern die Annehmlichkeiten, die Sie sich auch erwarten.

Ich wünsche allen einen interessanten und guten Verlauf der Tagung sowie einen schönen Aufenthalt am Wörthersee im Herzen der Region Kärnten – Friaul – Slowenien.

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized letters and a wavy line at the end.

*Ferdinand Vouk*

*Bürgermeister der Marktgemeinde  
Velden am Wörthersee*

# Impressum



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

100. Jahrgang 2012 / ISSN: 1605-1653

**Herausgeber und Medieninhaber:** Österreichische Gesellschaft für Vermessung und Geoinformation (OVG), Austrian Society for Surveying and Geoinformation, Schiffamtsgasse 1-3, A-1020 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-1020 Wien.

**Sekretariat der Gesellschaft:** Dipl.-Ing. Karl Haussteiner, Tel.(01) 21110-2311, Fax (01) 2167551, Schiffamtsgasse 1-3, A-1020 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-1020 Wien. Fax (01) 2167551, E-Mail: vgi@ovg.at.

**Manuskripte:** Bitte direkt an die Schriftleitung senden. Es wird dringend ersucht, alle Beiträge in digitaler Form zu übersenden. Genaue Angaben über die Form der Abfassung des Textes sowie der Abbildungen (Autoren-Richtlinien) können bei der Schriftleitung angefordert werden bzw. sind auf <http://www.ovg.at> unter „VGI Richtlinien“ zu ersehen. Beiträge können in Deutsch oder Englisch abgefasst sein; Hauptartikel bitte mit einer deutschsprachigen Kurzfassung und einem englischen Abstract sowie Schlüsselwörter bzw. Keywords einsenden. Auf Wunsch können Hauptartikel einem „Blind-Review“ unterzogen werden. Nach einer formalen Überprüfung durch die Schriftleitung wird der Artikel an ein Mitglied des Redaktionsbeirates weitergeleitet und von diesem an den/die Reviewer verteilt. Artikel, die einen Review-Prozess erfolgreich durchlaufen haben, werden als solche gesondert gekennzeichnet. 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.

**Redaktionsbeirat für Review:** Univ.-Prof. Dr. Fritz K. Brunner, Univ.-Prof. Dr. Norbert Pfeifer, Univ.-Prof. Dr. Harald Schuh, Dipl.-Ing. Gert Steinkellner, Prof. Dr. Josef Strobl, O.Univ.-Prof.

Dipl.-Ing. Dr. Hans Sünkel und Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr.iur. Christoph Twaroch

**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-1020 Wien. Unterlagen über Preise und technische Details werden auf Anfrage gerne zugesendet.

**Erscheinungsweise:** Vierteljährlich in zwangloser Reihenfolge (1 Jahrgang = 4 Hefte). Auflage: 2000 Stück.

**Abonnement:** Nur jahrgangsweise 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 exklusive 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-1020 Wien zur Gänze.

**Aufgabe der Gesellschaft:** gem. § 1 Abs. 1 der Statuten (gen. mit Bescheid der Bundespolizeidirektion Wien vom 26.11.2009): 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.



<http://www.ovg.at>



<http://www.oegk-geodesy.at>

# Tagungsprogramm

## Dienstag 8. Mai 2012

	Vorträge	Fachmesse	Rahmenprogramm
8:00	Öffnung Tagungsbüro		
11:00	Eröffnung der Fachmesse		
11:30 13:00	<b>A2.1 Geodätentreff</b>		
	<b>Die Erde im Blickfeld</b>		
	Begrüßung der Kongressteilnehmer		
Moderation	Univ.-Prof. Dr. Roland Pail		
13:15	Neue Satellitenmissionen zur globalen Beobachtung der Bodenfeuchtigkeit Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Wagner, TU Wien	Besuchen Sie die Fachmesse. Machen Sie mit beim Messequiz	R2.1 Altstadtspaziergang in Klagenfurt 13:30-16:30 R2.2 Geschichte in Kärnten - der Magdalensberg 13:30-17:00
14:00	Deformation in der Erde: Von Erdbeben bis zur Plattentektonik Univ.-Prof. Dr. Götz Bokelmann, Universität Wien		
14:45 15:15	Pause		
	<b>Neue Abbilder der Erde</b>		
Moderation	Univ.-Prof. Dr. Andreas Wieser		
15:15	GOCE goes application - Status und Erkenntnisgewinn Prof. Dr. Roland Pail, TU München		
15:50	Änderungsdetektion beim Laserscanning urbaner Gebiete durch Helikopter und UAVs Prof. Dr.-Ing. Uwe Stilla, TU München		
16:25	Erfassung von hochfrequenten und langfristigen Deformationsprozessen mit terrestrischer Mikrowelleninterferometrie Prof. Dr.-Ing. Matthias Becker, TU Darmstadt		
17:00			
18:00	<b>Eröffnung des 11. Geodätentages</b>		
	Festvortrag: Die Erfindung des Zufalls Univ.-Prof. Dr. Rudolf Taschner		
18:30			
19:30			
19:45	<b>A2.2 „Grüß Euch“ - Willkommen in Velden</b> im Schlosshotel Velden		

### A2.1 Geodätentreff

Im Anschluss an die Eröffnung der Fachmesse im Casineum Velden findet der Geodätentreff statt. Die erste Möglichkeit zum informellen kollegialen Treffen bei Imbiss und Umtrunk.

Dienstag, 8.5.2012, 11:30 bis 13:00 Uhr  
Das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen begrüßt Sie herzlich.



### A2.2 „Grüß Euch“ - Willkommen in Velden

Nach der offiziellen Eröffnung des Geodätentages laden wir zu einem festlichen Willkommensabend im „Schlosshotel Velden“ ein. Das „Geodäten Buffet“ mit Unterhaltung erwartet alle Gäste des Kongresses und der Fachmesse.

Dienstag, 8.5.2012, ab 19:45  
Die Kammer der ZiviltechnikerInnen für Steiermark und Kärnten wünscht einen unterhaltsamen Abend.

Preis € 45,00



## Mittwoch 9. Mai 2012

	Vorträge	Fachmesse	Fachexkursion	Rahmenprogramm
08:00	Öffnung Tagungsbüro			
08:30	Öffnung Fachmesse			
11:00	<b>Präsentation der Hauptsponsoren</b>			
Moderation	Dr. Christine Ressel			
	Vexcel Imaging 			
	Trimble 			
	rmDATA 			
12:00	<b>Österreichische Geodätische Kommission</b>			
Moderation	Univ.-Prof. Dr. Harald Schuh			
13:00	Kombination spektraler und räumlicher Information für die Analyse von Hyperspektraldaten zur Erfassung von Vegetationsparametern Dr. Clement Atzberger	Besuchen Sie die Fachmesse Machen Sie mit beim Messequiz	F3.1 Kölnbreinsperre 08:00-13:00	R3.1 Malta Hochalmstraße 08:00-13:00
	Präzise Absolutkalibration des Jason-2 Altimeters mit Hilfe eines Mikrowellentransponders Dr. Walter Hausleitner		F3.2 Koralmtunnel 08:00-12:30	R3.2 Altstadtspaziergang Villach 09:00-12:00
	Transformationsflächen für die Umrechnung zwischen ETRS89 und MGI in Österreich DI Jürgen Otter		F3.3 Tagbau Omya 08:30-12:30	
	Aktuelle Multi-GNSS Implementierungsszenarien – Sicht der Systembetreiber und des IGS Dr. Robert Weber			
	Die Lagerung der Gleisvermessungen der ÖBB Dr. Thomas Weinold			
	Faseroptische Erweiterungen des geodätischen Messlabors der TU Graz Dr. Helmut Woschitz			
14:45 15:00	Pause			R3.3 Schifffahrt am Wörthersee 14:00-16:30
	Verleihung des Karl Rinner Preises 2010 Karl Rinner Preisträger 2010 - Dr. Tobias Nilsson Weather and Climate: Signal and Noise for Geodesy			R3.4 Ausflug nach Gemona und Buja / San Daniele 13:00-17:30
15:45 16:00	Pause			
	<b>Die Erde und wo bin ich?</b>			
Moderation	Univ.-Prof. Dr. Werner Lienhart			
16:00	Galileo - und wo bist du? Univ.-Prof. Dr. Bernhard Hofmann-Wellenhof, TU Graz			
16:35	Aktuelle Technologien zur Positionsbestimmung in Gebäuden Dr. Rainer Mautz, ETH Zürich			
17:10	Terrestrisches Laser Scanning in den Alpen - für Geländeerfassung, Hangrutschungsüberwachung und Gletschermonitoring DI Christian Sevcik, Fa. Riegl, Wien			
17:45				
18:00	A3.1 Die Aussteller laden ein zur			
18:30	Standparty ins Casineum Velden			
23:00	Weitere Informationen finden Sie auf Seite 5			
	A3.2 Casineum - Versuch dein Glück Die Casino AG lädt Sie zu einem „Spieleabend“ ein. Bitte beachten Sie, dass Sie zum Eintritt ins Casino einen Ausweis benötigen!			
			Musik gesponsert von	
				
				

# Donnerstag 10. Mai 2012

	Vorträge	Fachmesse	Fachexkursion	Rahmenprogramm
8:00	Öffnung Tagungsbüro			
8:30	Öffnung Fachmesse			
9:00	<b>Menschen in Bewegung</b>			
Moderation	Univ.-Prof. Dr. Andreas Wieser			
9:00	Neokartographie - Ubiquitäre Anwendungen, LBS und Crowd Sourcing Univ.-Prof. Dr. Georg Gartner, TU Wien	Besuchen Sie die Fachmesse Machen Sie mit beim Messequiz		
9:35	Das österreichische Verkehrsbezugssystem GIP.at und beispielhafte Anwendungen DI Irmgard Mandl-Mair, GIP - Land Kärnten			R4.1 Schifffahrt am Wörthersee 9:30-12:00
10:10	Flughafen Frankfurt am Main – Einsatz und Nutzen von Geoinformationen DI Thomas Konezki, Flughafen Frankfurt			R4.3 Altstadtspaziergang Klagenfurt 9:00-12:00
10:45 11:15	Pause			
	<b>Die Erde und Daten für Alle?</b>			
Moderation	DI Wernher Hoffmann			
11:15	Fünf Impulsreferate beleuchten „open government data - Gratisdaten für alle?“ mit Diskussion			
13:00	<b>Würstelbuffet</b>		F4.1 Kanzelhöhe - Observatorium 14:00-17:30 F4.2 Terra Mystica - Terra Montana 14:00-17:30 F4.3 Verschiebebahnhof Villach 14:00-17:30	R4.2 Terra Mystica 14:00-17:30 R4.4 Pliz- u. Puppenmuseum 14:00-16:30
16:30				
17:30				
18:00	<b>A4.1 Seefest in der Villa Bulfon</b>			

### A4.1 Seefest in der Villa Bulfon

Zum offiziellen Abschluss des 11. österreichischen Geodätentages treffen wir uns zu einem Seefest. In der „Villa Bulfon“ werden Sie kärntnerisch kulinarisch und musikalisch verwöhnt - im traumhaften Park am See soll Ihnen der Abschied vom schönen Wörthersee schwer fallen.

Donnerstag, 10.5.2012, ab 18:00

**Preis € 45,-**

### A3.1 Standparty

Lernen Sie die Fachmesse im Casineum Velden von einer anderen Seite kennen!

Mittwoch, 9.5.2012, ab 18:00

Leica Geosystems und Riegl sorgen für die musikalische Unterhaltung.



## Montag 7. Mai 2012

10:00	Öffnung Tagungsbüro	
	<b>Universitäten - Vermessung - Studierende</b>	
14:00	Begrüßung durch Univ.-Prof. Dr. Harald Schuh	Casino
	TU Wien - Univ.-Prof. Dr. Georg Gartner	Vortragssaal
	TU Graz - Univ.-Prof. Dr. Norbert Bartelme	
	FH Technikum Kärnten - FH Prof. Dr. Gernot Paulus	
	Universität Innsbruck - Univ.-Prof. Dr. Klaus Hanke	
	Universität Salzburg - Univ.-Prof. Dr. Josef Strobl	
15:25 15:45	Pause	
	Universität Wien - Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Kainz	
	BOKU Wien - Univ.-Prof. Dr. Clement Atzberger	
	FH Wiener Neustadt - DI Brigitte Rudel	
	Montanuniversität Leoben - Ass.-Prof. Dr. Reinfried Pilgram	
	Universität Graz - Ao.Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Sulzer	
	Universität Klagenfurt - Ass.-Prof. Dr. Peter Mandl	
17:15	<b>Podiumsdiskussion</b> Thema: Ausbildung im Fachbereich „Vermessung & Geoinformation“ in Österreich	
18:00 19:00	<b>A1.1 Studenten- und Absolvententreff</b> Wörtherseeschiffahrt, Rundfahrt von 18:00 bis 19:00 Uhr, danach liegt das Schiff an der Schiffsanlegestelle.	 <b>SYNERGIS</b>
24:00		

## Freitag 11. Mai 2012

	<b>Vorträge</b>	
8:45	Öffnung Tagungsbüro	
	<b>Praktikertag</b>	
9:00	<b>GDB-Neu - In Theorie und Praxis</b>	
	<b>Teil 1</b>	
10:45	<b>Pause</b>	
11:15	<b>Teil 2</b>	
13:00		

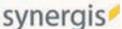
**A1.1 Studenten- und Absolvententreff**

Professor Kraus hatte die Idee, dass sich die Studierenden und die Absolventen der Vermessungsstudienrichtungen der letzten zehn Jahre anlässlich des Geodätentages zum Gedanken- und Erfahrungsaustausch treffen sollten. Diese Tradition wollen wir gerne fortführen! Natürlich sind auch ältere Absolventen bei der Seerundfahrt mit einer „Jausn und an Bier“ herzlich willkommen!  
Wörtherseeschiffahrt, Rundfahrt von 18:00 bis 19:00 Uhr, danach liegt das Schiff an der Schiffsanlegestelle

Montag, 7.5.2012, 18:00 bis 24:00 Uhr

Die Firma SynerGIS und

Hirter Bier laden Sie gerne ein.

 synergis

**Preis € 20,--**

Kostenfrei für Jugendliche  
bis zum 26. Geburtstag





## Neue Satellitenmissionen zur globalen Beobachtung der Bodenfeuchtigkeit

Wolfgang Wagner, Wien

### Kurzfassung

Die Bodenfeuchtigkeit – das gespeicherte Wasser in der Wurzelzone – ist ein entscheidender Parameter für eine Vielzahl von Anwendungsgebieten. Die Ableitung der Bodenfeuchtigkeit aus Mikrowellendaten ist seit den 1970er Jahren ein wichtiger Forschungsbereich innerhalb der Fernerkundung, aber erst in den letzten Jahren hat es bedeutende Fortschritte hin zu operationellen Anwendungen gegeben. Dies wurde ermöglicht durch Entwicklungen im Bereich der Auswertungsalgorithmen und der Sensortechnologie. In diesem Vortrag werden die technischen Eigenschaften der ersten beiden Satelliten, die speziell für den Zweck der Messung der Bodenfeuchtigkeit entwickelt wurden, vorgestellt und mit denen operationeller Mikrowellensensoren verglichen. Beide Satelliten arbeiten bei einer etwas längeren Wellenlänge (21 cm) als bei vergleichbaren operationellen Mikrowellensensoren verwendet wird. Die ersten umfangreichen Validierungsstudien zeigen, dass der erste der beiden neuen Satelliten gute Ergebnisse liefert, aber noch nicht den erwarteten Qualitätssprung im Vergleich zu den bestehenden Sensoren gebracht hat. Erst durch weitere Forschungsarbeiten, und vor allem durch den Start des zweiten neuartigen Satelliten, wird die Frage zu beantworten sein, ob die Genauigkeit der Bodenfeuchtigkeitsmessungen durch den Einsatz langwelliger, und somit auch kostspieliger, Mikrowellensensoren signifikant verbessert werden kann.

**Schlüsselwörter:** Mikrowellenfernerkundung, Bodenfeuchtigkeit, Satelliten

### Abstract

Soil moisture – the water content of the soil with the reach of the plant roots – is an important parameter in a number of application areas. The retrieval of soil moisture from microwave remote sensing measurements has hence been an important topic in the field of remote sensing since the 1970s. But only within in the last decade significant progress towards the establishment of operational services has been made. This progress became possible thanks to the development of innovative sensor technologies, and because of improvements in the retrieval algorithms. In this paper the two first satellites, which were designed solely for the purpose of soil moisture retrieval over land, are presented. Both satellites use a longer wavelength (21 cm) compared to comparable operational microwave sensors. The first few comprehensive validation studies show that the first of the two dedicated soil moisture satellites delivers good results. However, it has not yet surpassed the quality of soil moisture data retrieved from operational sensors. Further research is therefore necessary to determine of how much better the new satellites perform compared to the operational systems.

**Keywords:** Microwave remote sensing, Soil moisture, Satellites

### Einleitung

Der Wassergehalt des Bodens hat einen starken Einfluss auf die physikalischen und biologischen Prozesse an der Landoberfläche [1]. Die Bodenfeuchtigkeit ist somit ein entscheidender Parameter für eine Vielzahl von Anwendungsgebieten: In Echtzeit verfügbare Informationen zur Bodenfeuchtigkeit sind unter anderem von Bedeutung für die Wettervorhersage [2], die Abflussvorhersage [3], der Erfassung von Dürreereignissen [4] oder in Fragen des Zivilschutzes [5]. Historische Bodenfeuchtigkeitszeitreihen sind wichtig für ein verbessertes Verständnis des Klimas [6–7] und Änderungen des Kohlenstoffkreislaufes [8]. Durch die Auswirkungen der Bodenfeuchtigkeit auf die Pflanzen- und Tierwelt sind auch viele Anwendungen in der Ökologie und der epidemiologischen Modellierung vorherzusehen. Trotz der Wichtigkeit der Bodenfeuchtig-

keit in dieser Vielzahl von Anwendungen gab es bis vor kurzem kaum die Möglichkeit, Messdaten für größere Regionen und längere Zeiträume zu erhalten. In einigen Regionen wurden zwar in-situ Messungen regelmäßig durchgeführt, aber erst durch das Internet und verbesserten Datenübertragungsmöglichkeiten hat sich der Zugriff auf diese Daten verbessert. Die aktuell umfangreichste Sammlung globaler in-situ Messungen ist das *International Soil Moisture Network* (ISMN) das von Studenten der Technischen Universität Wien (TU Wien) entwickelt wurde [9]. Parallel zu dem Ausbau der in-situ Messnetze wurde die Wichtigkeit der Bodenfeuchtigkeit auch von Raumfahrtsbehörden, allen voran der *Europäischen Raumfahrtsbehörde* (ESA) und der *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), erkannt. ESA und NASA haben daher Wissenschaftler- und Technikerteams beauftragt,

Satelliten für den primären Zweck der Messung der Bodenfeuchtigkeit über Land zu entwerfen. In beiden Fällen war der Vorschlag der Expertenteams, die Bodenfeuchtigkeit aus langwelligen ( $\lambda=21$  cm) Mikrowellenmessungen aufgenommen mittels passiver Mikrowellenradiometer zu gewinnen. In diesem Beitrag werden die technischen Eigenschaften der beiden Bodenfeuchtigkeitssatelliten der ESA und NASA vorgestellt und mit denen operationeller Mikrowellensensoren, die etwas kürzere Wellenlängen ( $\lambda=3-6$  cm) verwenden, verglichen. Die Frage ist, inwieweit die Genauigkeit der Bodenfeuchtigkeitsmessungen durch den Einsatz langwelliger, und somit auch kostspieliger, Mikrowellensensoren verbessert werden kann?

### Messprinzip

Wasser hat aufgrund des permanenten elektrischen Dipolmoments der Wassermoleküle bei niedrigen Frequenzen eine sehr hohe Dielektrizitätskonstante ( $\sim 80$  bei 50 Hz). Auch im langwelligen Ende des Mikrowellenbereichs ( $\lambda > 3$  cm) ist die Dielektrizitätskonstante noch sehr hoch (typischerweise größer als 70 in Abhängigkeit von der Temperatur). Erst bei kürzeren Wellenlängen bzw. höheren Frequenzen sind die Wasserdipole nicht mehr in der Lage, den Schwingungen des elektromagnetischen Feldes zu folgen, womit die Dielektrizitätskonstante rasch abnimmt [10]. Wenn daher Wasser der Bodenmatrix zugefügt wird, d.h. die Bodenfeuchtigkeit ansteigt, nimmt speziell im langwelligen Mikrowellenbereich bei Wellenlängen  $< 3$  cm die Dielektrizitätskonstante rasch zu. Daher ist es möglich, entweder anhand der von Boden selbst ausgestrahlten Mikrowellenstrahlung (passives Messverfahren), oder durch die mittels eines Radars gemessene Rückstreuung (aktives Messverfahren), den Bodenfeuchtigkeitsgehalt auf eine relativ direkte Art und Weise zu ermitteln. Allerdings werden sowohl die passiven als auch die aktiven Mikrowellenmessungen zusätzlich noch von der Rauigkeit der Bodenoberfläche und der Vegetation beeinflusst. Es ist daher notwendig, diese Einflüsse im Auswerteverfahren zu berücksichtigen, bzw. Sensoren zu verwenden, die diese störenden Einflüsse so gut als möglich minimieren [11].

### Neue Satellitenmissionen

Nachdem das Durchdringungsvermögen von elektromagnetischen Wellen durch die Vegetation im Regelfall mit zunehmender Wellenlänge zunimmt, wurde für die ersten beiden Satelliten, die speziell für die Messung der Bodenfeuchtig-

keit entwickelt wurden, eine möglichst lange Wellenlänge im so-genannten L-Band ( $\lambda=21$  cm) gewählt [12]. Allerdings ist es bei längeren Wellenlängen deutlich schwieriger, eine gute räumliche Auflösung zu erzielen, da die räumliche Auflösung direkt proportional mit der Wellenlänge ansteigt. Dem kann durch die Verwendung sehr großer Antennen entgegengewirkt werden, wobei der Größe der Antennen auf Satelliten aber enge physikalische Grenzen gesetzt sind. Daher waren für die *Soil Moisture and Ocean Salinity Mission* (SMOS) der ESA, die im November 2009 gestartet wurde, und der für 2014 geplanten *Soil Moisture Active Passive* (SMAP) Mission der NASA innovative technische Ansätze nötig, die zu beachtlichen Kosten dieser Missionen geführt haben. SMOS löst dieses Problem dadurch, dass es ein aus der Radioastronomie bekanntes Messprinzip erstmals im Weltraum verwendet: Der interferometrischen Zusammenschaltung vieler kleiner Antennen, um eine größere virtuelle Antenne entstehen zu lassen [13]. Mittels dieses physikalischen Tricks erzielt SMOS bei einer Flughöhe des Satelliten von 760 km eine räumliche Auflösung von ca. 40 km. Ähnlich wie das Very Large Array – einer Anordnung von 27 Radioteleskopen in der Ebene von San Agustin in New Mexico – verwendet SMOS 69 Antennen von jeweils 165 mm Durchmesser entlang dreier Y-förmig angeordneter Ausleger (Abb. 1 links oben). Bei SMAP wird das Problem der großen Antenne durch die Verwendung eines ultraleichten 6 m großen Gitterspiegels (mesh reflector) gelöst, der mit 14.6 Umdrehungen pro Minute über dem eigentlichen Satellitenkörper rotieren wird (Abb. 1 rechts oben). Die größte technische Herausforderung von SMAP wird es sein, die durch die Rotation des Reflektors verursachten Schwingungen und anderwärtigen Störungen so gering als möglich zu halten [14]. Ein weiterer innovativer Aspekt von SMAP ist die Verbindung von den passiven Radiometermessungen mit einer räumlichen Auflösung von 40 km mit (aktiven) Radarmessungen mit einer Auflösung von 3 km [15].

Trotz dieser beeindruckenden technischen Innovationen erscheint die von SMOS und SMAP erzielte Auflösung auf den ersten Blick noch immer zu grob zu sein, um nutzbringend verwendet werden zu können. Allerdings können bei dieser Auflösung die durch atmosphärische Prozesse (Verdunstung, Niederschlag) erzeugten Bodenfeuchtigkeitsmuster bereits sehr gut erfasst werden [16], was schlussendlich sogar

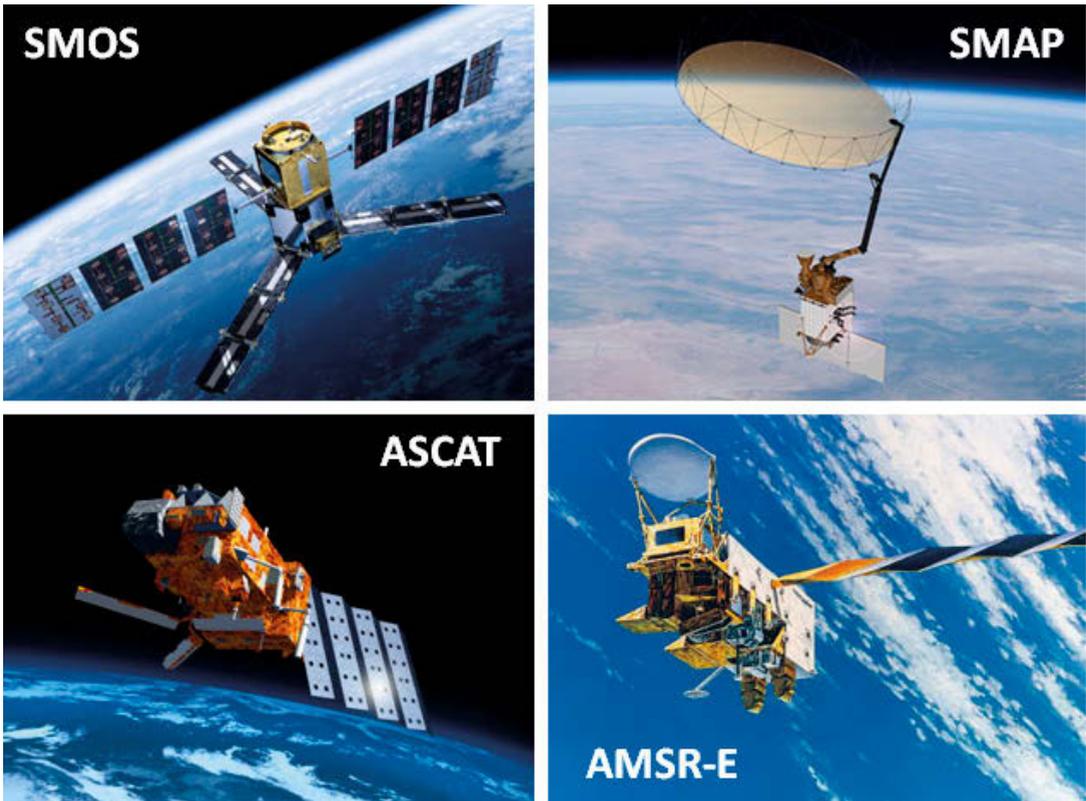


Abb. 1: Visualisierungen der Satelliten/Sensoren SMOS (links oben), SMAP (rechts oben), ASCAT (links unten) und AMSR-E (rechts unten). Die Originalgraphiken stammen von den Webseiten der europäischen, amerikanischen und japanischen Raumfahrtbehörden ESA, NASA und JAXA.

Rückschlüsse auf das lokale zeitliche Verhalten der Bodenfeuchtigkeit erlaubt [17].

### Operationelle Satellitensysteme

Wenn man nun Mikrowellensensoren verwendet, die bei kürzen Wellenlängen (C-Band oder X-Band) arbeiten, so kann bei gleichbleibender räumlicher Auflösung die Antenne im selben Verhältnis wie die Wellenlänge verkleinert werden. Solche Sensoren sind bereits operationell im Einsatz und wurden in den letzten Jahren vermehrt für die Messung der Bodenfeuchtigkeit eingesetzt. Das in der Wissenschaft am meisten verwendete Instrument war das *Advanced Microwave Scanning Radiometer* (AMSR-E), das von der Japanischen Raumfahrtbehörde JAXA [18] gebaut, und auf dem amerikanischen Satelliten Aqua über einen Zeitraum von über neun Jahren (2002 bis 2011) betrieben wurde. AMSR-E war ein passives Mikrowellenradiometer, das Strahlungstemperaturmessungen in 6 Frequenzkanälen erhoben hat (Abb. 1 rechts unten). Der Kanal mit der längsten Wellenlänge lag bei

4.3 cm, was bei einer Antennengröße von 1.6 m eine räumliche Auflösung von  $43 \times 74 \text{ km}^2$  ergab. Basierend auf AMSR-E wurden bereits mehrere globale Bodenfeuchtigkeitsdatensätze abgeleitet [19–20], aber keines dieser Produkte hat einen operationalen Status erreicht. Dies ist erstmalig mit dem *Advanced Scatterometer* (ASCAT) gelungen, für das seit Ende 2008 operationelle Bodenfeuchtigkeitsdaten in quasi Echtzeit von der *Europäischen Organisation für die Nutzung meteorologischer Satelliten* (EUMETSAT) generiert wurde. Von der Datenaufnahme, über die Verteilung der Daten über ein Satellitenkommunikationsnetz bis zum Empfang der Daten durch die Nutzer vergehen weniger als 130 Minuten. ASCAT ist ein aktives Mikrowelleninstrument das über sechs bis zu 3 m lange Stabantennen verfügt (Abb. 1 links unten). Es arbeitet bei einer Wellenlänge von 5.7 cm und erzielt damit eine räumliche Auflösung von 25 km. Der von EUMETSAT verwendete Algorithmus zur Ableitung der Bodenfeuchtigkeit wurde von der TU Wien entwickelt [21–22]

## Vergleich der Satellitenmessungen

Für die Ableitung der Bodenfeuchtigkeit aus den Satellitenmessungen benötigt man physikalische Modelle, die alle wichtigen Einflussgrößen berücksichtigen. Obwohl die Sensoren wie oben besprochen sehr unterschiedliche Messkonzepte und unterschiedlichen Wellenlängen verwenden, und sich auch vielfach die Algorithmen zur Ableitung der Bodenfeuchtigkeit stark unterscheiden, zeigen die neuesten wissenschaftlichen Ergebnisse, dass die Daten oftmals überraschend gut übereinstimmen. So zeigt Abb. 2 globale Bodenfeuchtheitsmessungen von ASCAT, AMSR-E und SMOS für den 15. August 2010. Abgesehen von den unterschiedlichen Aufnahmestreifen sieht man vor allem eine große Ähnlichkeit zwischen den ASCAT Daten (abgeleitet mit dem Algorithmus entwickelt von

der TU Wien) und den AMSR-E Daten (abgeleitet mit einem von der NASA und der Freien Universität Amsterdam entwickelten Algorithmus [23]). Die SMOS Bodenfeuchtheitsdaten zeigen teilweise unterschiedliche Muster, was aber in erster Linie an der Verwendung einer unterschiedlichen globalen Bodenkarte zurückzuführen ist, d.h. es ist nicht ein Problem der Satellitenmessungen per se. Ebenso fallen noch die vereinzelt Datenlücken im SMOS Datensatz auf, was wahrscheinlich eine Folge von strikten Qualitätskriterien bei der Datenprozessierung ist.

Die ersten ausführlichen Validierungsstudien, die ASCAT, AMSR-E und SMOS mit unabhängigen in-situ und Modelldaten verglichen haben, sind gerade erst in den letzten Monaten erschienen. Die erste Studie, in der ASCAT und AMSR-E Bodenfeuchtheitsdaten mit in-situ Messun-

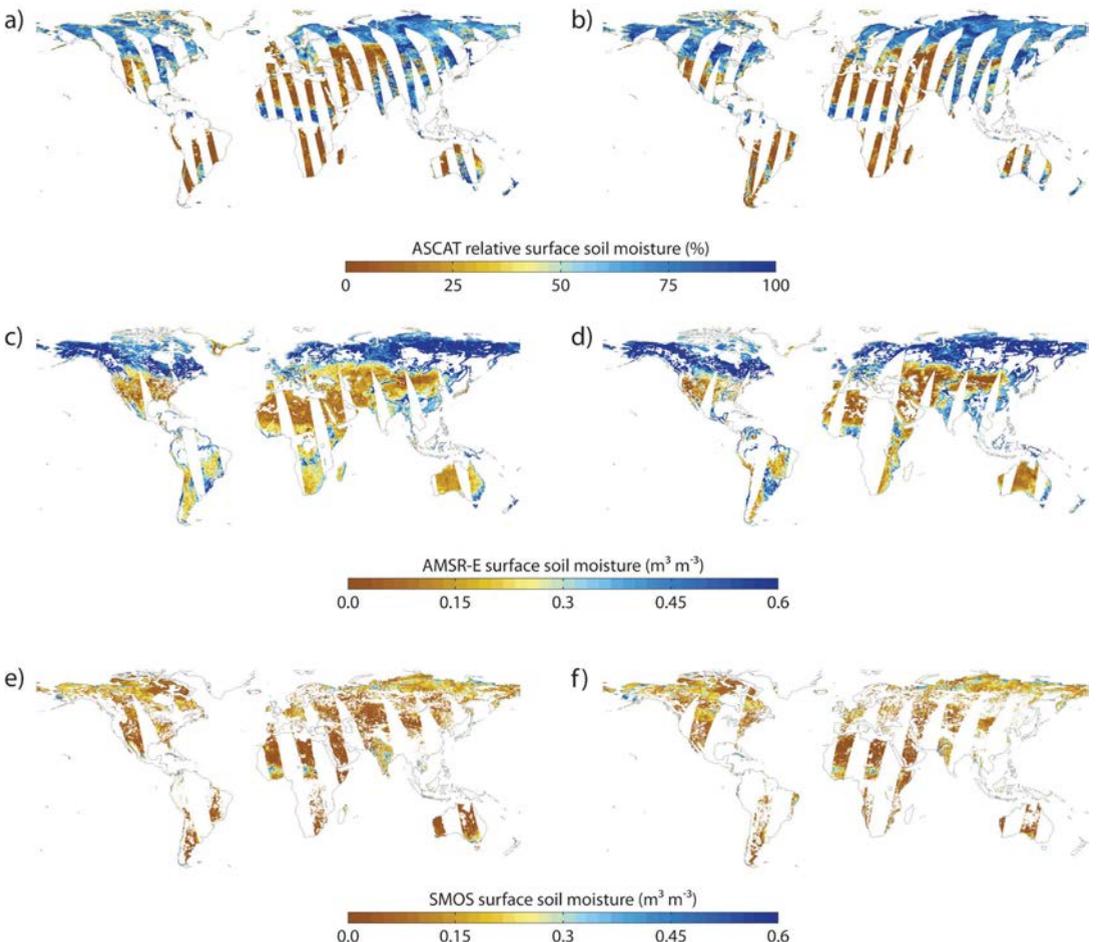


Abb. 2: Tägliche Bodenfeuchtheitskarte (vom 15. August 2010) abgeleitet aus ASCAT, AMSR-E, und SMOS Satellitenmessungen für aufsteigende (links) und absteigende (rechts) Satellitenorbits.

gen von 17 Messnetze aus vier Ländern (Italien, Spanien, Frankreich und Luxemburg) von einem internationalen Forscherteam verglichen wurden, kam zum Schluss, dass die Qualität der AMSR-E Bodenfeuchtigkeitsdaten stark vom einzusetzen Algorithmus abhängt, dass aber die besten AMSR-E Ergebnisse mit denen von ASCAT gut übereinstimmen [24]. Eine weitere, sehr detaillierte Vergleichsstudie von ASCAT und SMOS wurde von einem Wissenschaftlerteam des Französischen Wetterdienstes durchgeführt. Dieses Team kam zum Schluss, dass sowohl SMOS als auch ASCAT die Bodenfeuchtigkeitsmuster über Frankreich gut erfassen können, obwohl speziell im Hinblick auf die Beobachtung kurzfristiger Schwankungen, welche nach Niederschlagsereignissen auftreten, ASCAT sogar bessere Ergebnisse liefert [25]. Und zuletzt soll eine Studie des *Europäisches Zentrums für mittelfristige Wettervorhersage* (EZMW) erwähnt werden, die SMOS und ASCAT Daten mit in-situ Messungen von 200 Stationen aus Afrika, Europa, Amerika und Australien verglichen hat. Auch diese Studie kam zum Schluss, dass mit SMOS und ASCAT vergleichbar gute Ergebnisse erzielt werden können [26].

### Ausblick

SMOS verwendet eine neuartige Technologie (passive Interferometrie), die in dieser Art und Weise erstmalig im Weltraum eingesetzt wird. Nachdem SMOS erst Ende 2009 gestartet wurde, sind die bisherigen Ergebnisse noch mit viel Vorsicht zu interpretieren; signifikante Verbesserungen der mit SMOS abgeleiteten Bodenfeuchtigkeitsdaten sind noch zu erwarten. Trotzdem ist es eine Überraschung, dass die ersten Validierungsstudien nicht den erwarteten Qualitätssprung von SMOS gegenüber etablierten Sensoren wie ASCAT und AMSR-E beweisen konnten. Denn auch für ASCAT und AMSR-E werden die Algorithmen laufend verbessert, womit es im Moment noch nicht absehbar ist, welcher der Sensoren am Ende die besten Daten liefern wird. Somit steht die Frage im Raum, ob die Wahl einer Wellenlänge im L-Band unbedingt notwendig ist, oder ob nicht auch kürzere Wellenlängen (C-Band und X-Band) bei entsprechender Optimierung des Signal-zu-Rauschverhaltens nicht genauso gute Ergebnisse erzielen können (bei geringen Entwicklungskosten und eventuell sogar einer besseren räumlichen Auflösung)? Die weiteren Forschungsarbeiten mit SMOS, ASCAT und AMSR-E werden Antworten über diese nicht nur aus technischer Sicht sehr

interessante Frage geben. Der Start von SMAP, vorgesehen für 2014, sollte diese Frage dann abschließend beantworten.

### Danksagung

Ich bedanke mich bei Dipl.-Ing. Sebastian Hahn für die Erstellung der Abb. 2. Die Forschungsarbeiten der TU Wien mit dem ASCAT Sensors wurden dankenswerterweise vom Österreichischen Weltraumprogramme ASAP (Projekt GMSM) und der Europäischen Organisation für die Nutzung meteorologischer Satelliten EUMETSAT (Projekt H-SAF) unterstützt.

### Literaturverzeichnis

- [1] Legates, D. R.; Mahmood, R.; Levita, D. F.; DeLiberato, T. L.; Quiring, S. M.; Houser, C.; Nelson, F. E.: Soil moisture: A central and unifying theme in physical geography, *Progress in Physical Geography*. 2011, 35(1), 65–86.
- [2] Dharssi, I.; Bovis, K. J.; Macpherson, B.; Jones, C. P.: Operational assimilation of ASCAT surface soil wetness at the Met Office, *Hydrology and Earth System Sciences*. 2011, 15(8), 2729–2746.
- [3] Brocca, L.; Melone, F.; Moramarco, T.; Wagner, W.; Naeimi, V.; Bartalis, Z.; Hasenauer, S.: Improving runoff prediction through the assimilation of the ASCAT soil moisture product, *Hydrology and Earth System Sciences*. 2010, 14(10), 1881–1893.
- [4] Smith, A.; Scipal, K.; Wagner, W.; Cracknell, A.: Active Microwave Systems for Monitoring Drought Stress, in *Monitoring and Predicting Agricultural Drought: A Global Study*, Boken, V.; Cracknell, A.; Heathcote, R. Eds. New York: Oxford University Press, 2005.
- [5] Ponziani, F.; Pandolfo, C.; Stelluti, M.; Berni, N.; Brocca, L.; Moramarco, T.: Assessment of rainfall thresholds and soil moisture modeling for operational hydrogeological risk prevention in the Umbria region (central Italy), *Landslides*. 2011, 1–9.
- [6] Künzer, C.; Zhao, D.; Scipal, K.; Sabel, D.; Naeimi, V.; Bartalis, Z.; Hasenauer, S.; Mehl, H.; Dech, S.; Wagner, W.: El Niño southern oscillation influences represented in ERS scatterometer-derived soil moisture data, *Applied Geography*. 2009, 29, 463–477.
- [7] Seneviratne, S. I.; Corti, T.; Davin, E. L.; Hirschi, M.; Jaeger, E. B.; Lehner, I.; Orlowsky, B.; Teuling, A. J.: Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate – a review, *Earth-Science Reviews*. 2010, 99(3–4), 125–161.
- [8] Verstraeten, W. W.; Veroustraete, F.; Wagner, W.; van Roey, T.; Heyns, W.; Verbeiren, S.; Feyen, J.: Remotely sensed soil moisture integration in an ecosystem carbon flux model. The spatial implication, *Climatic Change*. 2010, 103(1–2), 117–136.
- [9] Dorigo, W. A.; Wagner, W.; Hohensinn, R.; Hahn, S.; Paulik, C.; Xaver, A.; Gruber, A.; Drusch, M.; Mecklenburg, S.; van Oevelen, P.; Robock, A.; Jackson, T.: The International Soil Moisture Network: a data hosting facility for global in situ soil moisture measurements, *Hydrology and Earth System Sciences*. 2011, 15(6), 1675–1698.

- [10] Schanda, E.: Physical fundamentals of remote sensing, Springer Verlag: Berlin Heidelberg New York Tokyo, 1986, pp. 187.
- [11] Wagner, W.; Naeimi, V.; Scipal, K.; de Jeu, R.; Martinez-Fernandez, J.: Soil moisture from operational meteorological satellites, Hydrogeology Journal. 2007, 15(1), 121–131.
- [12] Wagner, W.; Blöschl, G.; Pampaloni, P.; Calvet, J.-C.; Bizzarri, B.; Wigneron, J.-P.; Kerr, Y.: Operational readiness of microwave remote sensing of soil moisture for hydrologic applications, Nordic Hydrology. 2007, 38(1), 1–20.
- [13] Kerr, Y. H.: Soil moisture from space: Where are we?, Hydrogeology Journal. 2007, 15(1), 117–120.
- [14] Spencer, M.; Chan, S.; Veilleux, L.; Wheeler, K.: The Soil Moisture Active/Passive (SMAP) mission radar: A novel conically scanning SAR, Proceedings of 2009 IEEE Radar Conference, Pasadena, USA, 2009, 1–2, 656–659.
- [15] Entekhabi, D.; Njoku, E. G.; O'Neill, P. E.; Kellog, K. H.; Crow, W. T.; Edelstein, W. N.; Entin, J. K.; Goodman, S. D.; Jackson, T. J.; Johnson, J.; Kimball, J.; Piepmeier, J. R.; Koster, R.; Martin, N.; McDonald, K. C.; Moghaddam, M.; Moran, S.; Reichle, R.; Shi, J. C.; Spencer, M. W.; Thurman, S. W.; Tsang, L.; Van Zyl, J.: The Soil Moisture Active Passive (SMAP) mission, Proceedings of the IEEE. 2010, 98(5), 704–716.
- [16] Vinnikov, K. Y.; Robock, A.; Speranskaya, N. A.; Schlosser, A.: Scales of temporal and spatial variability of midlatitude soil moisture, Journal of Geophysical Research-Atmospheres. 1996, 101(D3), 7163–7174.
- [17] Martinez-Fernandez, J.; Ceballos, A.: Temporal Stability of Soil Moisture in a Large-Field Experiment in Spain., Soil Sci. Soc. Am. J. 2003, 67, 1647–1656.
- [18] Koster, R. D.; Mahanama, S. P. P.; Yamada, T. J.; Balsamo, G.; Berg, A. A.; Boissarie, M.; Dirmeyer, P. A.; Doblas-Reyes, F. J.; Drewitt, G.; Gordon, C. T.; Guo, Z.; Jeong, J. H.; Lawrence, D. M.; Lee, W. S.; Li, Z.; Luo, L.; Malyshev, S.; Merryfield, W. J.; Seneviratne, S. I.; Stanelle, T.; van den Hurk, B.; Vitart, F.; Wood, E. F.: Contribution of land surface initialization to sub-seasonal forecast skill: First results from a multi-model experiment, Geophysical Research Letters. 2010, 37.
- [19] Njoku, E. G.; Jackson, T. J.; Lakshmi, V.; Chan, T. K.; Nghiem, S. V.: Soil moisture retrieval from AMSR-E, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2003, 41(2), 215–229.
- [20] de Jeu, R.; Wagner, W.; Holmes, T.; Dolman, H.; van de Giesen, N. C.; Friesen, J.: Global soil moisture patterns observed by space borne microwave radiometers and scatterometers, Surveys in Geophysics. 2008, 29, 399–420.
- [21] Wagner, W.; Scipal, K.; Pathe, C.; Gerten, D.; Lucht, W.; Rudolf, B.: Evaluation of the agreement between the first global remotely sensed soil moisture data with model and precipitation data, Journal of Geophysical Research D: Atmospheres. 2003, 108(D19), Art. No. 4611.
- [22] Bartalis, Z.; Wagner, W.; Naeimi, V.; Hasenauer, S.; Scipal, K.; Bonekamp, H.; Figa, J.; Anderson, C.: Initial soil moisture retrievals from the METOP-A Advanced Scatterometer (ASCAT), Geophys. Res. Lett. 2007, 34, L20401.
- [23] Owe, M.; de Jeu, R.; Holmes, T.: Multisensor historical climatology of satellite-derived global land surface moisture, Journal of Geophysical Research-Earth Surface. 2008, 113(F1), F01002.
- [24] Brocca, L.; Hasenauer, S.; Lacava, T.; Melone, F.; Moramarco, T.; Wagner, W.; Dorigo, W.; Matgen, P.; Martinez-Fernandez, J.; Llorens, P.; Latron, J.; Martin, C.; Bittelli, M.: Soil moisture estimation through ASCAT and AMSR-E sensors: An intercomparison and validation study across Europe, Remote Sensing of Environment. 2011, 115, 3390–3408.
- [25] Parrens, M.; Zakharova, E.; Lafont, S.; Calvet, J.-C.; Kerr, W.; Wagner, W.; Wigneron, J.-P.: Comparing soil moisture retrievals from SMOS and ASCAT over France, Hydrology and Earth System Sciences. 2012, 16, 423–440.
- [26] Albergel, C.; de Rosnay, P.; Gruhier, C.; Muñoz-Sabater, J.; Hasenauer, S.; Isaksen, L.; Kerr, Y.; W., W.: Evaluation of remotely sensed and modelled soil moisture products using global ground-based in situ observations, Remote Sensing of Environment. 2012, 118, 215–226.

#### Anschrift des Autors

Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Wagner, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Wien, Gusshausstraße 27–29, 1040 Wien.  
E-mail: ww@ipf.tuwien.ac.at.

#### Vortragender

**Univ.-Prof. Dipl.Ing. Dr.techn. Wolfgang Wagner**

geb. 1969 Wels

1995 Dipl.Ing. in Physik, TU Wien

1999 Dr.techn. TU Wien, Fernerkundung

1993–2001 Forschungsaufenthalte in Bern, NASA Goddard Space Flight Center, ESA, Joint Research Center der EC, DLR

2001 Professor für Fernerkundung an der TU Wien



## Deformation in der Erde: Von Erdbeben bis zur Plattentektonik

Götz Bokelmann, Wien

### Kurzfassung

Geodätische Beobachtungen haben große Bedeutung für das Verständnis von Bewegungen der Erdoberfläche, beispielsweise im Zusammenhang mit großen Erdbeben, oder auch was die Bewegung tektonischer Platten betrifft. So sind beeindruckende Fortschritte u.a. mithilfe von GPS und INSAR gemacht worden, die die Veränderung der Erdoberfläche durch Erdbeben zeigen. Der Vergleich von Stationen auf verschiedenen Kontinenten zeigt die (plattentektonische) Bewegung der Erdplatten im Großen und bestätigt geologische Plattenbewegungsmodelle, die auf geologischen Beobachtungen beruhen, und damit nur sehr lang andauernde Bewegungen beschreiben können. Offenbar ist die langfristige Bewegung repräsentativ auch für die aktuellen Plattenbewegungen.

Wesentlich schwieriger ist das Verständnis von Verschiebungen und Deformationen innerhalb der Erde. Zwar können geodätische Daten benutzt werden, um Rückschlüsse auf die Gesamtdeformation in der Tiefe zu ziehen, wie sie im Zusammenhang mit Erdbeben entstehen. In der Praxis ist dafür jedoch wichtiges A-priori-Wissen notwendig, etwa die Lage und Orientierung der Herdfläche. Noch unbestimmter ist die Frage nach den zugrundeliegenden Kräften, die zu den plattentektonischen Verschiebungen und Deformationen führen. Es ist also lohnenswert, sich darauf zu konzentrieren, wie man Deformation im Inneren der Erde bestimmen kann, und von welchen Kräften diese herrührt.

An der Erdoberfläche kann man die Deformation beobachten, in kurzen Zeitskalen durch Geodäsie, und in sehr langen Zeitskalen durch Geologie, i.B. durch Betrachtung der im Gestein „gespeicherten“ Deformation. Wie sich Gestein intern deformiert, ist bestimmt durch die Mineralzusammensetzung und den dominanten Deformationsmechanismus, der von Druck und Temperatur abhängt. Für hohe Drücke und Temperaturen, wie sie im Erdmantel vorherrschen, ist Dislokationskriechen ein wichtiger Mechanismus, welcher zur Einregelung von Kristallen führt. Vorzugsrichtungen von Kristallen verursachen eine effektive Anisotropie des Gesteins, und damit eine Doppelbrechung seismischer Wellen, ähnlich der optischen Doppelbrechung von Licht in Kristallen.

Die Anisotropie kann verwendet werden, um Aussagen über die in-situ Deformation im Inneren der Erde zu bestimmen. Anisotropie verändert die Ausbreitungsgeschwindigkeit seismischer Wellen im Erdinneren, und sie führt zur Doppelbrechung von Scherwellen. Seismische Anisotropie ist in den letzten 20 Jahren viel untersucht worden, und es sind bereits wesentliche Erkenntnisse über das Erdinnere gewonnen worden. Wir möchten im Folgenden diskutieren, wie man diese Methoden auf eine der großen Fragestellungen der Geodynamik anwenden kann, die Frage der Antriebskräfte der Plattentektonik. Diese Frage ist von besonderem Interesse, da sie das noch fehlende Element in der Kontinentaldrift-Theorie von Alfred Wegener darstellt, bzw. seiner heutigen Form, der Plattentektonik, und weil diese Frage nach wie vor offen ist.

Seismische Anisotropie kann es u.a. ermöglichen, den Deformationssinn zu bestimmen, falls es gelingt, die Richtung des Einfallens der Vorzugsrichtung zu bestimmen. Wenn dies möglich ist, kann man im Prinzip unterscheiden, ob die an der Basis der Lithosphärenplatten angreifenden Kräfte die Bewegung der Platte eher befördern, oder eher behindern. Damit wäre es möglich, die Rolle der „basalen“ Kräfte für tektonische Plattenbewegungen zu verstehen. Bis jetzt ist noch unbekannt, ob sich der Erdmantel unter den Platten schneller oder langsamer als die jeweilige Platte bewegt.

Wir zeigen Beobachtungen der seismischen Anisotropie unter Nordamerika (e.g., Bokelmann 2002), die darauf hindeuten, dass sich der Mantel in der Tat schneller bewegt als die Platte, was den Schluß nahelegt, dass die Nordamerikanische Platte von den unter der Platten befindlichen Konvektionszellen angetrieben wird, eher als von Kräften, die von der Seite her an der Platte anliegen. Interessanterweise hat diese Schlußfolgerung prädiktiven Charakter, in Anbetracht der Geometrie der Konvektionszellen im Erdinneren. Falls dies richtig ist, wird die Bewegung des Nordamerikanischen Kontinent notwendigerweise zum Stillstand kommen, innerhalb von ca. 20–30 Millionen Jahren. In der Tat zeigen die Modelle der plattentektonischen Entwicklung von Nordamerika, da sich die Bewegung Nordamerikas seit ca. 100 Millionen Jahren stark verlangsamt hat, ganz entsprechend der Voraussage aus der seismischen Anisotropie.

### Literaturstelle:

Bokelmann, G.H.R., 2002, Which forces drive North America?, *Geology*, 30, 11, 1027–1030.

**Vortragender*****Univ.-Prof. Dr. Götz Bokelmann***

1987 Diplom, Universität Bochum

1992 PhD, Princeton University, USA

1997 Habilitation, Universität Bochum

1998–2003 Visiting Associate Professor, Stanford University, USA

2003–2010 Professur für Geophysik an der Universität Montpellier, Frankreich

seit 2010 Professur für Geophysik am Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Wien

**Forschungsschwerpunkte:**

Seismologie, Beobachtung der Erdaktivität mit geophysikalischen Methoden, Erdbeben, Dynamik der Erdkruste und seismisches Risiko, Geodynamik und Antriebskräfte der Plattentektonik



## GOCE goes application – Status und Erkenntnisgewinn

Roland Pail, München

### Kurzfassung

Die ESA-Schwerefeldmission GOCE (Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer) vermisst seit Oktober 2009 das globale Schwerefeld der Erde. Die wissenschaftliche Datenauswertung und Schwerefeldmodellierung wird im Rahmen des ESA-Projektes „GOCE High-Level Processing Facility (HPF)“ durchgeführt. Die bislang veröffentlichten drei GOCE-Schwerefeldmodelle, die auf ca. 2/6/12 Monaten GOCE-Daten beruhen und unter Anwendung der „time-wise“-Methode berechnet wurden, zeigen kontinuierlich verbesserte Genauigkeiten. Die dritte Version erreicht globale Genauigkeiten von ca. 4.5 cm in Geoidhöhe und ca. 1.35 mGal hinsichtlich Schwereanomalien bei einer räumlichen Auflösung von 100 km räumlicher Wellenlänge. Eine weitere Verbesserung ist durch einen gesicherten Missionsbetrieb bis Dezember 2012 gewährleistet. Neben diesen ausschließlich auf GOCE-Daten basierenden Modellen führt eine im Rahmen der GOCO-Initiative durchgeführte konsistente Kombination mit komplementärer Schwerefeldinformation zu weiteren Verbesserungen sowohl im langwelligen Bereich (durch GRACE und SLR) als auch in hohen Frequenzen durch terrestrische Schwerefeldinformation und Daten der Satellitenaltimetrie über den Ozeanen. Viele Anwendungen im Bereich der Geodäsie, Ozeanographie und Geophysik profitieren schon jetzt von dem sich durch die neuen GOCE-Modelle ergebenden Erkenntnisgewinn. Am Beispiel der Ableitung globaler Transportprozesse in den Ozeanen durch Kombination von Satellitenaltimetrie und Schwerefeld kann demonstriert werden, dass GOCE signifikant zu einem besseren Verständnis von Prozessen im System Erde beitragen kann.

**Schlüsselwörter:** GOCE, Erdschwerefeld, Schwerefeldmodellierung, Kombinationslösungen, Schwerefeldanwendungen

### Abstract

Since October 2009 ESA's dedicated satellite gravity mission GOCE (Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer) observes the global gravity field of the Earth. The scientific data processing and gravity field modelling is performed in the frame of the ESA project „GOCE High-Level Processing Facility (HPF)“. Up to now, three releases of GOCE gravity field models, which are based on approximately 2/6/12 months of GOCE data, have been processed applying the time-wise method. The third release achieves global geoid height accuracies of 4.5 cm and gravity anomaly accuracies of 1.35 mGal at a spatial wavelength of 100 km. Further improvement is expected, because the operation of the GOCE mission has been extended to at least December 2012. In addition to these pure GOCE-only models, in the frame of the GOCO initiative consistent combined gravity field models are processed by including GRACE and SLR data (improving the long wavelengths), as well as terrestrial gravity information and satellite altimetry (improving the high-frequency component). Numerous fields of applications in geodesy, oceanography and geophysics can benefit already now from the new GOCE models. As an example, the derivation of global ocean transport processes from a combination of satellite altimetry and global gravity information demonstrates that GOCE can contribute significantly to an improved understanding of processes in system Earth.

**Keywords:** GOCE, Earth's gravity field, gravity field modelling, combined solutions, gravity field applications

### 1. Einleitung

Die Satelliten-Schwerefeldmission GOCE (Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer; Abb. 1), eine Earth Explorer Mission der ESA, wurde am 17. März 2009 erfolgreich in eine extrem niedrige Umlaufbahn von ca. 255 km gebracht und liefert seit Oktober 2009 operationelle Messdaten. Hauptziel von GOCE ist die Bestimmung des globalen Schwerefeldes der Erde mit hoher Genauigkeit und räumlicher Auflösung. Missionsspezifikationen sind 2 cm Genauigkeit des globalen Geoids und 1 mGal

hinsichtlich Schwereanomalien bei einer räumlichen Wellenlänge von 100 km ([6]).

Das Messkonzept von GOCE basiert auf Sensorfusion: Der langwellige Anteil des globalen Schwerefeldes wird aus der Analyse hochgenauer Bahninformation gewonnen (satellite-to-satellite tracking in high-low mode; hl-SST). Dabei kann die Bahn des GOCE-Satelliten mittels kontinuierlicher GPS-Ortung mit einer 3D-Positionsgenauigkeit von ca. 2 cm bestimmt werden ([3]). Das Kerninstrument des GOCE-Satelliten ist das weltweit erstmals gebaute und eingesetzte



Abb. 1: GOCE-Satellit in seiner Umlaufbahn um die Erde (Quelle: AOES Medialab)

Gravitations-Gradiometer. Mittels des Verfahrens der Satelliten-Gravitationsgradiometrie (SGG), also der Beobachtung zweiter Ableitungen des Gravitationspotentials, werden die mittel- bis kurzwelligen Anteile des Erdschwerefeldes gemessen. Daneben leistet das Gradiometer auch die Messung der auf den Satelliten wirkenden nicht-konservativen Kräfte, wie z. B. Luftwiderstand oder Solardruck. Diese werden mittels Ionenstrahltriebwerken aktiv kompensiert, sodass sich der Satellit im freien Fall um die Erde bewegt. Nur diese Kompensation des auf den Satelliten wirkenden Luftwiderstands ermöglicht die extrem niedrige Flughöhe von nur ca. 255 km und damit eine Messung möglichst nahe am Untersuchungsobjekt Erde, um eine hohe räumliche Auflösung der Detailstrukturen des Erdschwerefeldes zu erzielen.

In diesem Beitrag sollen der aktuelle Status der GOCE-Mission und die bislang erzielten Ergebnisse präsentiert werden. Weiters werden exemplarisch einige wichtige Anwendungsfelder von GOCE-Schwerefeldmodellen und der daraus ableitbare Erkenntnisgewinn diskutiert und ein kurzer Ausblick hinsichtlich noch zu erwartender Verbesserungen gegeben.

## 2. Das globale Erdschwerefeld, GOCE-Beobachtungsgrößen und Modellierungsstrategien

Das globale Gravitationsfeld der Erde  $V$  wird üblicherweise als harmonische Reihenentwicklung in sphärischen Koordinaten (Radius  $r$ , geographische Ko-Breite  $\vartheta$  und Länge  $\lambda$ ) parametrisiert:

$$V(r, \vartheta, \lambda) = \frac{GM}{R} \sum_{n=0}^L \left(\frac{R}{r}\right)^{n+1} \cdot \sum_{m=-n}^n \bar{P}_{nm}(\cos \vartheta) [\bar{C}_{nm} \cos(m\lambda) + \bar{S}_{nm} \sin(m\lambda)] \quad (1)$$

wobei  $G$  die Gravitationskonstante,  $M$  und  $R$  die Erdmasse und den Referenzradius der Erde,  $\bar{P}_{nm}$  die vollständig normierten Legendre-Polynome von Grad  $n$  und Ordnung  $m$ , und  $\{\bar{C}_{nm}, \bar{S}_{nm}\}$  die zugehörigen Koeffizienten darstellen. Ziel ist es also, die Koeffizienten der Reihenentwicklung  $\{\bar{C}_{nm}, \bar{S}_{nm}\}$  sowie zugehörige Genauigkeitsinformation bis zu einem maximalen Grad der Reihenentwicklung  $L$  bestmöglich aus den GOCE-Beobachtungen zu schätzen. Letztere sind Funktionale des Gravitationspotentials  $V$ . Gemessen werden – neben kinematischen GPS-Orbits – die Gravitationsgradienten, also zweite räumliche Ableitungen des Potentials

$$V_{ij} = \frac{\partial^2 V}{\partial x_i \partial x_j}, \quad (2)$$

in einem lokalen, rotierenden Referenzrahmen, dessen Achsen  $x_i$ , mit  $i, j = X, Y, Z$ , nach den Gradiometer-Achsen ausgerichtet sind und von einem idealen radial ausgerichteten Referenzrahmen um  $3\text{--}5^\circ$  abweichen ([22]). Abbildung 2 zeigt das spektrale Verhalten des Gradiometer-Rauschens als Leistungsdichtespektrum für alle sechs Gradiometrie-Komponenten  $V_{ij}$ . Das Gradiometer besteht aus sechs 3D-Beschleunigungsmessern, die je zwei hochgenaue und eine um einen Faktor von ca. 1000 weniger genaue Messrichtung aufweisen. Aufgrund der speziellen Anordnung innerhalb des Gradiometers unterscheiden sich die sechs Gradiometrie-Komponenten hinsichtlich der Rauschamplituden eklatant. Nur die Komponenten  $V_{XX}$ ,  $V_{YY}$ ,  $V_{ZZ}$  und  $V_{XZ}$  weisen eine hohe Messgenauigkeit innerhalb der Messbandbreite von 5-100 mHz auf, da in diese nur Messungen entlang der hochgenauen Achsen der Beschleunigungsmesser eingehen ([22]).

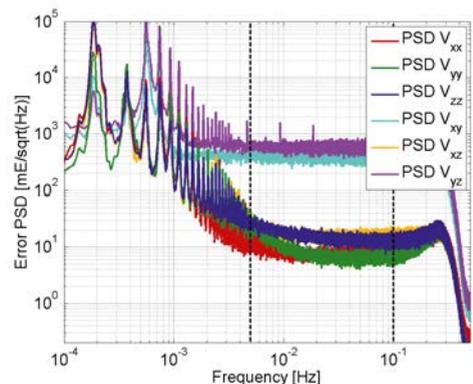


Abb. 2: Leistungsdichtespektrum des Rauschens der sechs GOCE-Gradiometrie-Komponenten

GOCE-Schwerefeldmodelle werden im Rahmen des ESA-Projekts “High-Level Processing Facility” ([20]), einem Konsortium aus 10 europäischen Universitäten und Forschungseinrichtungen, berechnet. Aufgrund der Tatsache, dass GOCE ein völlig neuartiges Messsystem darstellt, werden von drei Teilkonsortien unabhängige und komplementäre Prozessierungsstrategien angewendet, die als „direct method“ (DIR; [4]), „time-wise method“ (TIM; [17]) und „space-wise method“ (SPW; [15]) bezeichnet werden. Einen Überblick über diese unterschiedlichen Ansätze und eine Bewertung und Validierung der damit erzielten Ergebnisse findet sich in [16]. Die in diesem Beitrag vorwiegend dargestellten TIM-Modelle werden in einer Kooperation von TU Graz, Universität Bonn und TU München berechnet.

### 3. GOCE-Schwerefeldmodelle

Im Rahmen der „time-wise“-Methode werden volle Normalgleichungen für SST-hl und SGG aufgestellt und optimal miteinander kombiniert. Für ein Modell bis Grad/Ordnung  $L = 250$  werden also ca. 63 000 Parameter und die zugehörige Genauigkeitsinformation in Form einer vollen Varianz-Kovarianz-Matrix (VKM) mittels einer strengen Ausgleichung ermittelt. Ein Kernelement der SGG-Prozessierung ist die korrekte stochastische Modellierung des farbigen Rauschverhaltens aller Gradiometrie-Komponenten  $V_{ij}$  ([12]; siehe Abb. 2) sowie der Bahnfehler der kinematischen Orbits. Die Lösungen sind hinsichtlich der (nahe-)zonalen Koeffizienten sowie den Koeffizienten der Grade  $n > 180$  Kaula-regularisiert.

Ein Spezifikum dieser TIM-Schwerefeldmodelle ist die Tatsache, dass sie völlig unabhängig von externer Schwerfeldinformation sind und somit ausschließlich auf GOCE-Daten basieren. Es wird kein externes Referenzmodell benutzt, und auch die Regularisierung wird gegen ein Nullmodell durchgeführt. Damit eignen sich diese TIM-Modelle hervorragend für eine konsistente Kombination mit externer, komplementärer Schwerfeldinformation (siehe Abschnitt 4). Details zur TIM-Strategie finden sich in [16], [17].

Bislang wurden drei TIM-Schwerefeldmodelle berechnet und der Nutzergemeinde zur Verfügung gestellt ([icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/](http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/)). Tabelle 1 zeigt eine Übersicht über die wesentlichsten Eigenschaften dieser Modelle: den maximalen Entwicklungsgrad  $L$ , die zugrunde liegende Datenperiode und die effektiv verwendete

Anzahl von Beobachtungsepochen (nach Reduktion von Datenlücken und Ausreißern).

Modell	Max. Grad	Datenperiode	# Epochen (in Mio.)
TIM_R1	224	01/11/2009 – 11/01/2010	6.2
TIM_R2	250	01/11/2009 – 05/07/2010	19.5
TIM_R3	250	01/11/2009 – 17/04/2011	31.3

Tabelle 1: Charakteristika der drei GOCE-TIM-Schwerefeldmodelle

Abbildung 3 zeigt als Maß für die erzielten Genauigkeiten die Gradmediane der formalen Fehler:

$$\sigma_n = \text{median}_m \left\{ \sigma_{\bar{c}_{nm}}, \sigma_{\bar{s}_{nm}} \right\} \quad (3)$$

Sie illustriert die kontinuierliche Steigerung der erzielbaren Genauigkeit bei Inkludierung von mehr und mehr GOCE-Daten. Die Verbesserungen gehorchen näherungsweise dem Gaußschen Gesetz unkorrelierter Beobachtungen gemäß  $\sqrt{N}$ . Der Genauigkeitssprung von TIM\_R1 zu TIM\_R2, das ca. die dreifache Datenmenge enthält, ist also in etwa  $\sqrt{3}$ , TIM\_R3 zeigt gegenüber TIM\_R2 eine weitere Genauigkeitssteigerung fast um  $\sqrt{2}$ .

Diverse externe Validierungen zeigen, dass aufgrund der realistischen stochastischen Modellierung aller Beobachtungskomponenten, die als Gewichtung in die Ausgleichung eingehen, die sich ergebenden formalen Fehler eine sehr realistische Schätzung für die wahren Genauigkeiten der TIM-Schwerefeldmodelle sind. Abbildung 4 zeigt die globale Verteilung von Geoidhöhenungenauigkeiten bei Grad/Ordnung  $L = 200$ ,

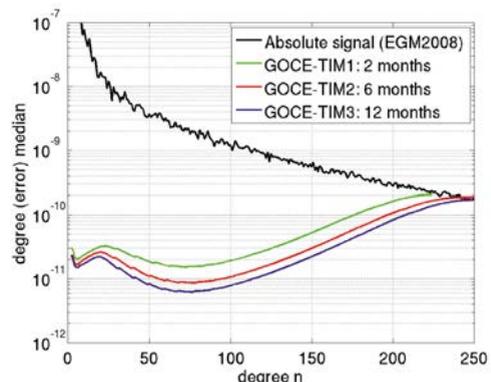


Abb. 3: Fehlermediane je harmonischen Grad der 3 TIM-Schwerefeldlösungen

die sich durch strenge Kovarianzfortpflanzung basierend auf der vollen Koeffizienten-VKM ergeben. Die leichte Asymmetrie bezüglich des Äquators resultiert aus der GOCE-Orbitkonfiguration und einer etwas größeren mittleren Orbithöhe über der Südhemisphäre. Die charakteristische Struktur südlich von Australien in TIM\_R2 und TIM\_R3 spiegelt Datenprobleme der  $V_{YY}$ -Komponente wider. Diese Messungen wurden regional eliminiert, sodass sich hier eine geringe Anzahl von Beobachtungen ergibt.

Neben der Betrachtung der reinen formalen Fehler ist zur Beurteilung der Güte eines Schwerfeldes natürlich auch der Vergleich mit exter-

ner Schwerfeldinformation erforderlich. Abbildung 5 zeigt Schweranomalie-Differenzen bis Grad/Ordnung  $L=200$  zum unabhängigen globalen Schwerfeldmodell EGM2008 ([19]), das vor allem auf GRACE-Satellitendaten, terrestrischer Schwerfeldinformation und Satellitenaltimetrie über den Ozeanen basiert, also noch keine GOCE-Information enthält. Generell ist zu beobachten, dass die Differenzen in Regionen, wo schon bislang sehr gute Schwerfeldinformation vorhanden war, also z. B. in Nordamerika, Australien, Europa und teilweise auch den Ozeanen, durch Inkludierung von mehr und mehr GOCE-Daten kleiner werden. Detailanalysen zeigen, dass die schrittweisen Verbesserungen in diesen Regionen tatsächlich konsistent mit der Verringerung der formalen Fehler gemäß  $\sqrt{N}$  sind. Daraus lässt sich auch folgern, dass die TIM-GOCE-Modelle keine signifikanten systema-

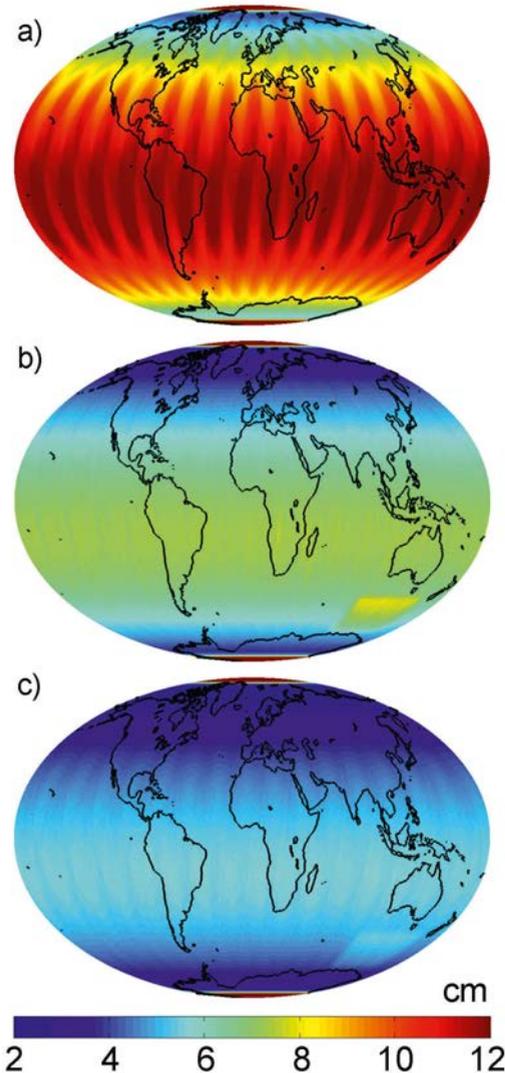


Abb. 4: Geoidhöhenfehler der TIM-Schwerfeldmodelle bei Grad/Ordnung 200: a) TIM\_R1; b) TIM\_R2; c) TIM\_R3

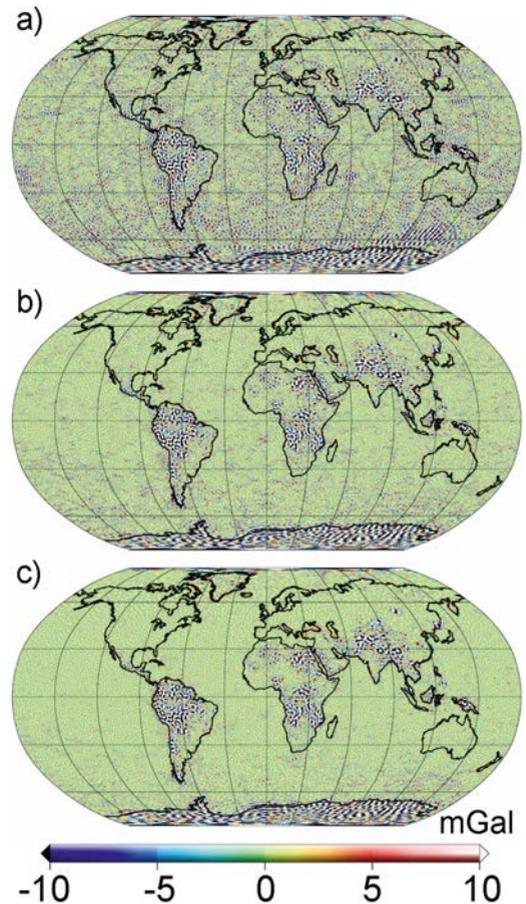


Abb. 5: Differenzen der 3 TIM-Schwerfeldlösungen zu EGM2008 bis Grad/Ordnung 200: a) TIM\_R1; b) TIM\_R2; c) TIM\_R3

tischen Fehleranteile enthalten. Außerdem sind in einigen Regionen signifikante Unterschiede zu EGM2008 erkennbar, die bei umfangreichere GOCE-Datenmenge umso deutlicher werden. Es handelt sich dabei um Regionen, die auch für die geophysikalische Interpretation und Modellierung von hohem Interesse sind, wie z. B. Himalaya, die Subduktionszone in Südamerika oder der Ostafrikanische Grabenbruch. In diesen Gebieten, in denen bislang kaum oder nur schlechte terrestrische Schwerefeldmessungen vorhanden waren, liefert GOCE also gänzlich neue Schwerefeldinformation.

Eine weitere Möglichkeit der externen Validierung besteht im Vergleich der GOCE-Modelle mit aus Präzisionsnivellement und Langzeit-GPS-Beobachtungen ermittelten „direkten“ Geoidbeobachtungen ([8]). Exemplarisch wird dies in Abbildung 6 für 673 Stationen in Deutschland für einen maximalen Entwicklungsgrad von  $L=190$  gezeigt. Neben den drei TIM-Lösungen wurde auch das aktuelle Bonner GRACE-Modell ITG-Grace2010S ([14]; hier nur bis zum maximalen Grad  $L=180$  dieses Modells) dieser Validierung unterzogen.

Auch hier zeigt sich, dass die GOCE-Lösungen durch größere Datenvolumina immer besser

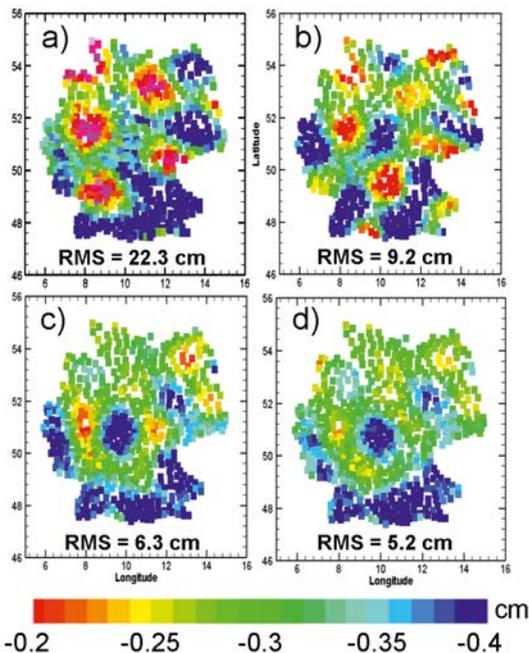


Abb. 6: Geoidhöhendifferenzen an 673 GPS/Nivellementpunkten in Deutschland, evaluiert bis Grad/Ordnung 190: a) ITG-GRACE2010S, b) TIM\_R1; c) TIM\_R2; d) TIM\_R3

werden. Zu beachten ist dabei, dass die Ungenauigkeit der GPS/Nivellementbeobachtungen selbst mit ca. 3-4 cm angenommen werden kann. Mittlerweile stellte sich im Rahmen neuer Messungen im Rahmen der Generierung des neuen Deutschen Haupthöhennetzes DHHN 2006-2011 heraus, dass das charakteristische Minimum in Zentraldeutschland auf einen systematischen Fehler im Nivellement zurückzuführen ist und die neue Version in dieser Region wesentlich konsistenter zu GOCE sein wird. Daraus kann geschlossen werden, dass mit GOCE mittlerweile global (!) ein Genauigkeitsniveau erreicht wird, um damit terrestrische Präzisionsnivellements validieren zu können.

#### 4. Kombinationmodelle

Im Rahmen der Projektinitiative GOCO („Gravity Observation Combination“) wird an einer konsistenten Kombination von GOCE mit komplementärer Schwerefeldinformation gearbeitet. Mit dem Modell GOCO01S konnte die weltweit erste Kombinationslösung aus GRACE und GOCE berechnet werden ([18]). Das Nachfolgemodell GOCO02S ([7]) enthält neben 7 Jahren GRACE auch Normalgleichungen basierend auf 8 Jahren CHAMP und 5 Jahren Satellite Laser Ranging (SLR) zu 5 Satelliten. Abbildung 7 zeigt die formalen Fehler des Modells GOCO02S sowie seiner beiden Hauptbeiträge GOCE (entsprechend der Datenbasis des TIM\_R2-Modells) und GRACE (Normalgleichungen von ITG-Grace2010S). Es ist deutlich zu erkennen, dass GRACE aufgrund der Messtechnologie des Mikrowellen-Trackings zwischen zwei einander in ca. 200 km Abstand auf derselben Bahnspur folgenden Satelliten in den niedrigen bis mittleren Graden  $n$  überlegen ist, während GOCE in den hohen Graden dominiert. Die anderen Beobachtungskomponenten CHAMP und SLR spielen nur eine untergeordnete Rolle. GOCO02S ist eine optimale Kombinationslösung aus all diesen in Summe ca. 280 Millionen satellitenbasierten Schwerefeldbeobachtungen. Am Nachfolgemodell GOCO03S wird derzeit gearbeitet.

Neben reinen Satellitenmodellen wird im Rahmen von GOCO auch an Kombinationsmodellen mit terrestrischer Schwerefeldinformation und Satellitenaltimetrie gearbeitet. Ziel ist hier, ein kombiniertes globales Schwerefeldmodell basierend auf vollen Normalgleichungen bis zum maximalen Grad 720 (ca. 520 000 Unbekannte) zu berechnen ([5]). Eine erste GOCO-C-Lösung wird für Ende 2012 angestrebt.

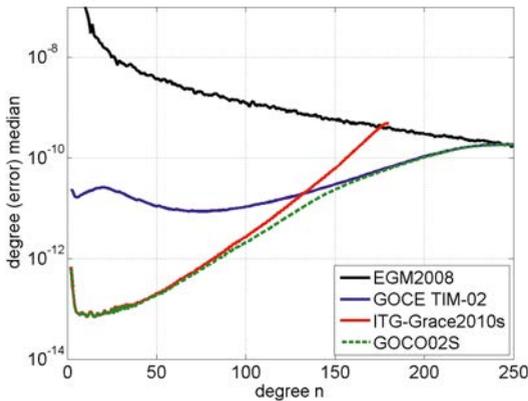


Abb. 7: Fehlermediane je Grad des Schwerefeldmodells GOCO02S (grün) und seiner beiden Hauptbeiträge GRACE (rot) und GOCE (blau)

## 5. GOCE-Anwendungen

Die neuen GOCE-Schwerefeldmodelle finden zahlreiche Anwendungsfelder. In der Geodäsie kann GOCE unter anderem dazu beitragen, nationale Höhensysteme zu vereinheitlichen und an ein global konsistentes Höhensystem zu koppeln ([21]). Im Bereich der Geophysik liefert GOCE Randwerte zur Modellierung von Strukturen und Prozessen der Lithosphäre ([9]) und kann zur Schätzung von Grenzflächen, wie z. B. der Moho, genutzt werden ([25]). Eines der wichtigsten geowissenschaftlichen Anwendungsgebiete ist die Ozeanographie, wo die statische Schwerefeldinformation, kombiniert mit Langzeitmessungen des mittleren Meeresspiegels mittels Satellitenaltimetrie, zur Berechnung der mittleren dynamischen Ozeantopographie und damit der geostrophischen Oberflächenströmungen der Ozean verwendet wird ([2], [11]). Erstmals ist es damit also möglich, ausschließlich aus (Satelliten-)Messungen globale Transportprozesse in den Ozeanen in hohem Detailgrad bis zu Wellenlängen von 100 km direkt zu beobachten. Dies soll hier exemplarisch erläutert werden.

Die (geodätische) mittlere dynamische Topographie (MDT)  $H$  ist definiert als die Differenz zwischen dem mittleren Meeresspiegel  $h$  und dem statischen Geoid  $N$ :  $H = h - N$ . Zweites kann aus globalen Schwerefeldmodellen berechnet werden. Die geostrophischen Oberflächengeschwindigkeiten können dann aus einer vereinfachten Form der Navier-Stokes-Gleichung berechnet werden, wobei Beschleunigungs- und Reibungsterme sowie horizontale Druckgradienten in der Atmosphäre vernachlässigt wurden:

$$u = -\frac{\gamma}{f} \frac{1}{R} \frac{\partial H}{\partial \vartheta} \quad (4)$$

$$v = \frac{\gamma}{f} \frac{1}{R \sin \vartheta} \frac{\partial H}{\partial \lambda}$$

Hier bezeichnet  $f = 2\Omega \cos \vartheta$  den Coriolis-Term und  $\Omega$  die Erddrehrate. Man beachte, dass die Ostkomponente  $u$  durch Differentiation der MDT bezüglich der (Ko-)Breite  $\vartheta$  und die Nordkomponente  $v$  durch Differentiation bezüglich der Länge  $\lambda$  erhalten wird. Physikalisch betrachtet bedeutet dies, dass die Ozeanströmungen nicht von höheren zu niedrigeren Werten der MDT fließen, sondern entlang ihrer Isolinien. Der nicht-geostrophe Anteil ist vergleichsweise sehr klein, daher sind geostrophe Geschwindigkeiten eine sehr gute Näherung für totale Ozeanströmungsgeschwindigkeiten.

Die MDT und Strömungsgeschwindigkeiten wurden aus dem mittleren Meeresspiegel des Modells DGF110 ([1]), das aus Daten der mehrerer Satellitenaltimetrie-Missionen für die Periode Oktober 1992 bis April 2010 abgeleitet wurde, und verschiedenen Schwerefeldmodellen berechnet. Um spektrale Konsistenz zu gewährleisten, wurde allen Daten durch Anwendung eines Gauss-Filters ([10]) auf eine einheitliche Wellenlänge entsprechend Grad/Ordnung 180 gebracht. Die Resultate werden verglichen mit in-situ mittels Schwimmbojen gemessenen Geschwindigkeiten, die im Rahmen des Projekts „Drifter Data Assembly Center“, einem Segment des von NOAA und AOML koordinierten „Global Drifter“ Programms, kompiliert wurden ([13]). In Abbildung 8 sei hier exemplarisch das Ergebnis für den Golfstrom gezeigt. Als statisches Schwerefeldmodell wurden entweder das GRACE-Modell ITG-Grace2010S (a) oder das GOCE-Modell TIM\_R3 (b) verwendet. Während bei der Verwendung von GRACE noch deutliche numerische Artefakte zu erkennen sind, gibt GOCE die Strömungsgeschwindigkeiten des Golfstroms sehr sauber und deutlich wider. Auch ein Vergleich mit den Schwimmer-Daten (c) zeigt gute Konsistenz. Ein Teil der verbleibenden Differenzen (d) ist auch darauf zurückzuführen, dass die Schwimmer-Daten nur punktweise Beobachtungen und keine flächige Information liefern, sodass die räumliche Auflösung dieser Schwimmer-Daten dadurch limitiert ist.

## 6. GOCE: Status und Ausblick

Die ursprüngliche nominelle Missionsphase von GOCE war bis April 2011 geplant. Aufgrund des großen Erfolges und der sich schon jetzt

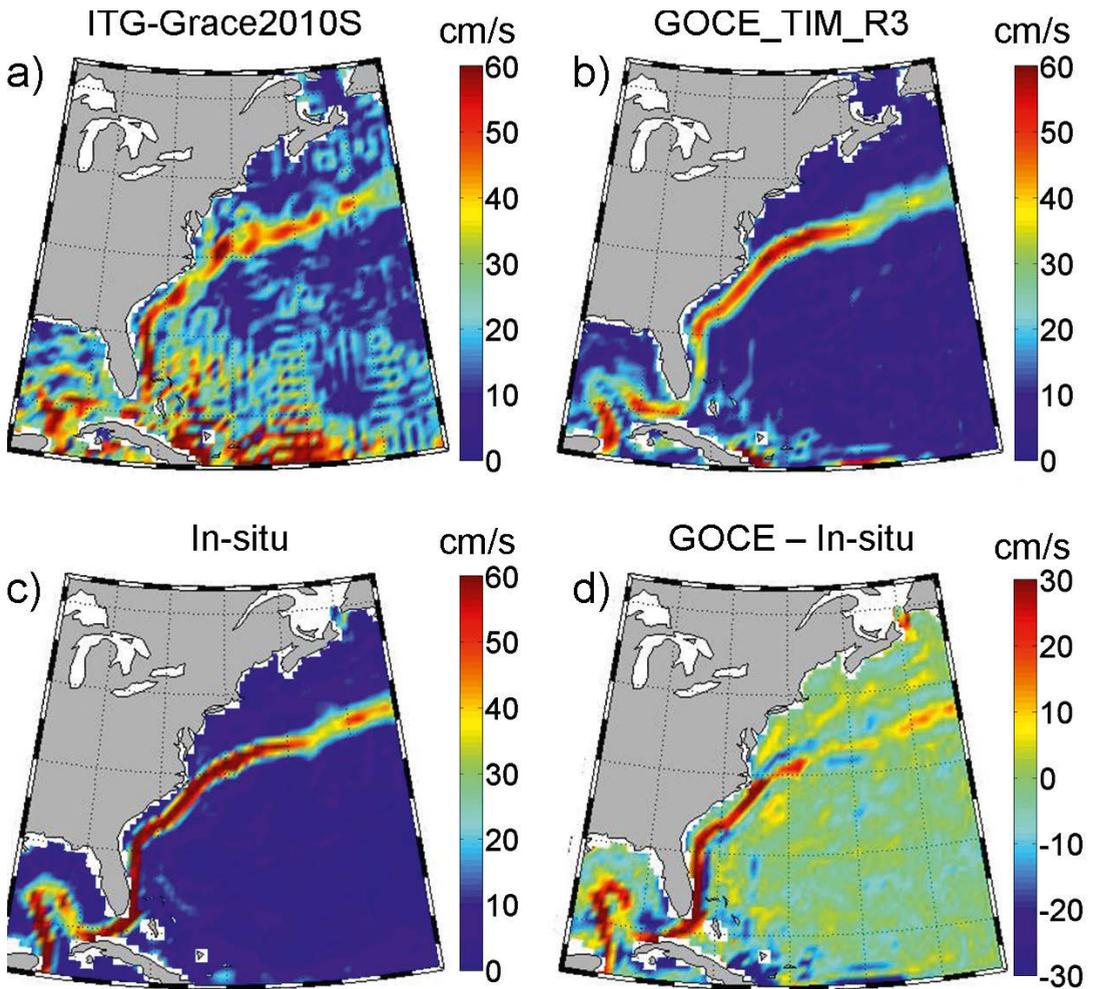


Abb. 8: Ozeanströmungsgeschwindigkeiten, abgeleitet aus geodätischer MDT basierend auf dem mittleren Meeressniveau DGF12010 und: a) ITG\_GRACE2010S; b) GOCE\_TIM\_R3. c) Strömungsgeschwindigkeiten aus in-situ Schwimmerdaten; d) Differenz zwischen GOCE\_TIM\_R3 und Schwimmerdaten

abzeichnenden vielversprechenden Ergebnisse wurde die GOCE-Mission bis mindestens Dezember 2012 verlängert.

Abbildung 9 zeigt die aktuell mit GOCE erzielbaren Genauigkeiten in Form von kumulativen Schwereanomalienfehlern, sowie eine Vorhersage unter der Annahme kontinuierlicher Messungen bis Ende 2012. Mit dem Modell TIM\_R3 (blau) wird bei Grad/Ordnung 200 (= 100 km halbe Wellenlänge) eine Genauigkeit von 1.35 mGal erreicht. Laut der hochgerechneten Genauigkeit für Ende 2012 (schwarz) wird mit 0.8 mGal die Missionsspezifikation von 1 mGal deutlich unterschritten werden können. Eine ähnliche Analyse für Geoidhöhenfehler zeigt, dass die Missionsspezifikation von 2 cm auch Ende

2012 nicht ganz erreicht werden kann, es wird eine globale Geoidhöhen-Genauigkeit von 2.9 cm zu erzielen sein.

Potential für weitere Genauigkeitssteigerungen ergibt sich dadurch, dass die Gradienten-Vorprozessierung modifiziert wurde, was signifikant verbesserte Gradientenprodukte insbesondere im Bereich langer bis mittlerer Wellenlängen erwarten lässt. Die von [23] entwickelten Algorithmen wurden in den offiziellen Prozessor der ESA implementiert ([24]). Sämtliche Missionsdaten seit 2009 werden nun reprozessiert und der Nutzergemeinde zur Verfügung gestellt. Diese reprozessierten Daten werden dann auch für die nächsten Schwerefeldmodelle verwendet werden.

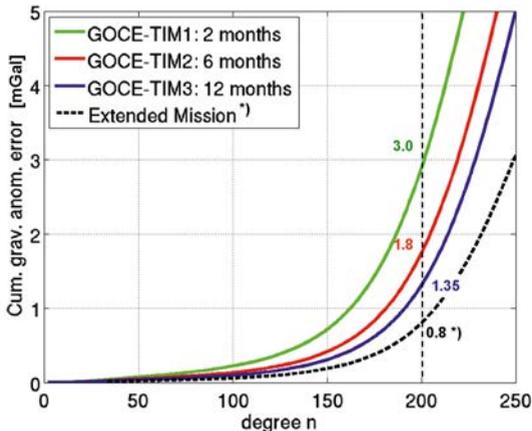


Abb. 9: Kumulative Schwereanomalie-Fehler je Grad  $n$  der 3 TIM-Schwerefeldmodelle und Prädiktion für Missionsbetrieb bis Ende 2012

Aus heutiger Sicht ist ein Weiterbetrieb von GOCE auch nach 2012 möglich. Wenn die Vorschläge für die zukünftige Sonnenaktivität und – damit direkt korreliert – die Atmosphärendichte eintreffen, wird GOCE Ende 2012 noch Treibstoff für ein weiteres Jahr Missionsbetrieb in einer mittleren Orbithöhe von 255 km haben. Es gibt allerdings auch Überlegungen, einen kürzeren Zeitraum in einer um 10 bis 20 km niedrigeren Höhe zu fliegen, um damit noch näher am Untersuchungsobjekt Erde zu sein und damit noch höhere Auflösungen zu erzielen. Simulationen zur Abschätzung von Nutzen und Risiken sind im Gange.

## 7. Schlussfolgerungen

Aus den Daten der GOCE-Mission konnten globale statische Schwerefeldmodelle abgeleitet werden, deren Genauigkeit mit der Inkludierung von mehr und mehr GOCE-Daten kontinuierlich steigt. Schon heute werden die a priori definierten Missionsziele weitgehend erreicht. Eine konsistente Kombination von GOCE mit komplementärer Schwerefeldinformation führt zu weiteren Verbesserungen sowohl im langwelligen Bereich (durch GRACE und SLR), aber auch die räumliche Auflösung kann durch Kombination mit terrestrischer Schwerefeldinformation und Daten der Satellitenaltimetrie weiter gesteigert werden.

GOCE bedient zahlreiche Anwendungsfelder in der Geodäsie, Ozeanographie und Geophysik. Am Beispiel einer ozeanographischen Anwendung, nämlich der Ableitung globaler Transportprozesse in den Ozeanen, konnte eindrucksvoll demonstriert werden, dass GOCE zu einem besseren Verständnis des Erdsystems beiträgt und

damit eine wichtige Komponente des Globalen Geodätischen Beobachtungssystems (GGOS) darstellt.

## Danksagung

Dank geht an die European Space Agency für die Bereitstellung der GOCE-Daten. Signifikante Teile dieser Arbeit sind im Rahmen des ESA-Projekts GOCE High-Level Processing Facility (Vertrag Nr. 18308/04/NL/MM) entstanden. Dank geht an die Projektpartner von GOCE HPF und GOCO. Dank geht ebenfalls an das Leibniz Rechenzentrum für die Bereitstellung umfangreicher Rechenkapazitäten.

## Literatur

- [1] Albertella, A., Savcenko, R., Janjic, T., Rummel, R., Bosch, W., Schröter, J. (2012): First experiments with high resolution dynamic topography computation from GOCE. Submitted to Geophys. J. Int.
- [2] Bingham, R. J., Knudsen, P., Andersen, O., Pail, R. (2011): An initial estimate of the North Atlantic steady-state geostrophic circulation from GOCE. Geophys. Res. Lett., 38, EID L01606, American Geophysical Union, doi: 10.1029/2010GL045633.
- [3] Bock, H., Jäggi, A., Meyer, U., Visser, P., van den IJssel, J., van Helleputte, T., Heinze, M., Hugentobler, U. (2011): GPS-derived orbits for the GOCE satellite. J. Geod., 85:11, 807–818, doi: 10.1007/s00190-011-0484-9.
- [4] Bruinsma, S.L., Marty, J.C., Balmino, G., Biancale, R., Förste, C., Abrikosov, O., Neumayer, H. (2010): GOCE Gravity Field Recovery by Means of the Direct Numerical Method. In: Lacoste-Francois H (ed.): Proceedings of the ESA Living Planet Symposium, ESA Publication SP-686, ESA/ESTEC, Noordwijk, The Netherlands.
- [5] Fecher, T., Pail, R., Gruber, T. (2011): Global gravity field determination by combining GOCE and complementary data. In: Ouwehand, L. (eds.): Proceedings of the 4th International GOCE User Workshop, ESA Publication SP-696, ESA/ESTEC, Noordwijk, The Netherlands.
- [6] Floberghagen, R., Fehring, M., Lamarre, D., Muzi, D., Frommknecht, B., Steiger, C., Piñeiro, J., da Costa, A. (2011): Mission design, operation and exploitation of the gravity field and steady-state ocean circulation explorer mission. J. Geod., 85:11, 749–758, doi: 10.1007/s00190-011-0498-3.
- [7] Goiginger, H., Höck, E., Rieser, D., Mayer-Gürr, T., Maier, A., Krauss, S., Pail, R., Fecher, T., Gruber, T., Brockmann, J.M., Krasbutter, I., Schuh, W.-D., Jäggi, A., Prange, L., Hausleitner, W., Baur, O., Kusche, J. (2011): The combined satellite-only global gravity field model GOCO02S. Presented at the 2011 General Assembly of the European Geosciences Union, Vienna, Austria, April 4–8, 2011.
- [8] Gruber, T., Visser, P. N. A. M., Ackermann, C., Hosse, M. (2011): Validation of GOCE gravity field models by means of orbit residuals and geoid comparisons. J. Geod., 85:11, 845–860, Springer, doi: 10.1007/s00190-011-0486-7.
- [9] Hosse, M., Pail, R., Horwath, M., Mahatsente, R., Götze, H., Jahr, T., Jentzsch, M., Gutknecht, B.D., Köther,

- N., Lücke, O., Sharma, R., Zeumann, S. (2011): Integrated Modeling of Satellite Gravity Data of active Plate Margins - Bridging the Gap between Geodesy and Geophysics. Poster presented at AGU Fall Meeting 2011, San Francisco, October 8, 2011.
- [10] Jekeli, C. (1981): Alternative methods to smooth the earth's gravity field. OSU Report no. 327, D. Sci. & Surv., Ohio State University, Columbus, Ohio.
- [11] Knudsen, P., Bingham, R., Andersen, O., Rio, M.-H. (2011): A global mean dynamic topography and ocean circulation estimation using a preliminary GOCE gravity model. *J. Geod.*, 85:11, 861–879, doi: 10.1007/s00190-011-0485-8.
- [12] Krasbutter, I., Brockmann, J. M., Kargoll, B., Schuh, W.-D., Goiginger, H., Pail, R. (2011): Refinement of the stochastic model of GOCE scientific data in a long time series. In: Ouwehand, L. (eds.): Proceedings of the 4th International GOCE User Workshop, ESA Publication SP-696, ESA/ESTEC, Noordwijk, The Netherlands.
- [13] Lumpkin, R., Pazos, M. (2006): Measuring surface currents with Surface Velocity Program drifters: the instrument, its data, and some recent results. In: Griffo et al. (eds.): Lagrangian Analysis and Prediction of Coastal and Ocean Dynamics (LAPCOD), chapter 2, Cambridge University Press.
- [14] Mayer-Gürr, T., Kurtenbach, E., Eicker, A. (2010): ITG-Grace2010 Gravity Field Model. <http://www.igg.uni-bonn.de/apmg/index.php?id=itg-grace2010>.
- [15] Migliaccio, F., Reguzzoni, M., Sansò, F., Tscherning, C.C., Veicherts, M. (2010): GOCE data analysis: the space-wise approach and the first space-wise gravity field model. In: Lacoste-Francis H. (ed) Proceedings of the ESA Living Planet Symposium, ESA Publication SP-686, ESA/ESTEC, Noordwijk, The Netherlands.
- [16] Pail, R., Bruinsma, S., Migliaccio, F., Förste, C., Goiginger, H., Schuh, W.-D., Höck, E., Reguzzoni, M., Brockmann, J.M., Abrikosov, O., Veicherts, M., Fecher, T., Mayrhofer, R., Krasbutter, I., Sansò, F., Tscherning, C.C. (2011): First GOCE gravity field models derived by three different approaches. *J. Geod.*, 85:11, 819–843, doi: 10.1007/s00190-011-0467-x.
- [17] Pail, R., Goiginger, H., Mayrhofer, R., Schuh, W.-D., Brockmann, J.M., Krasbutter, I., Höck, E., Fecher, T. (2010): Global gravity field model derived from orbit and gradiometry data applying the time-wise method. In: Lacoste-Francis H. (ed.) Proceedings of the ESA Living Planet Symposium, ESA Publication SP-686, ESA/ESTEC, Noordwijk, The Netherlands.
- [18] Pail, R., Goiginger, H., Schuh, W.-D., Höck, E., Brockmann, J.M., Fecher, T., Gruber, T., Mayer-Gürr, T., Kusche, J., Jäggi, A., Rieser, D. (2010): Combined satellite gravity field model GOCO01S derived from GOCE and GRACE. *Geophys. Res. Lett.*, 37: EID L20314, American Geophysical Union, doi: 10.1029/2010GL044906.
- [19] Pavlis, N.K., Holmes, S.A., Kenyon, S.C., Factor J. (2008). *An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008*. Presented at the 2008 General Assembly of the European Geosciences Union, Vienna, Austria, April 13-18, 2008
- [20] Rummel, R., Gruber, T., Koop, R (2004): High Level Processing Facility for GOCE: Products and Processing Strategy. In: Lacoste H (ed.): Proceedings of the 2nd International GOCE User Workshop "GOCE, The Geoid and Oceanography", ESA SP-569, ESA, Noordwijk, The Netherlands.
- [21] Rummel, R., Ihde, J., Liebsch, G., Sideris, M., Rangelova, E., Woodworth, P., Hughes, C., Gerlach, C. (2011): GOCE's Impact on World Height System Unification. Poster presented at AGU Fall Meeting 2011, San Francisco, October 9, 2011.
- [22] Rummel, R., Yi, W., Stummer, C. (2011): GOCE gravitational gradiometry. *J. Geod.*, 85:11, 777–790, doi: 10.1007/s00190-011-0500-0.
- [23] Stummer, C., Fecher, T., Pail, R. (2011): Alternative method for angular rate determination within the GOCE gradiometer processing. *J. Geod.*, 85:9, 585–596, Springer, doi: 10.1007/s00190-011-0461-3.
- [24] Stummer, C., Siemes, C., Pail, R., Frommknecht, B., Floberghagen, R. (2012): Upgrade of the GOCE Level 1b gradiometer processor. *Advances in Space Research*, 49:4, 739–752, doi: 10.1016/j.asr.2011.11.027, 2012.
- [25] Tecla, G.E., van der Meijde, M., Nyblade, A.A., van der Meer, F.D. (2011): A crustal thickness map of Africa derived from a global gravity field model using Euler deconvolution. *Geophys. J. Int.*, 187:1, 1-9, doi: 10.1111/j.1365-246X.2011.05140.x.

#### Anschrift des Autors

Univ.-Prof. Mag.rer.nat. Dr.techn. Roland Pail, Institut für Astronomische und Physikalische Geodäsie, Technische Universität München, Arcisstraße 21, D-80333 München. E-mail: pail@bv.tum.de

#### Vortragender

##### Univ.-Prof. Dr. Roland Pail

- geb. 1972 Mariazell
- 1995 Magister der Naturwissenschaften (Geophysik), Universität Wien
- 1999 Doktorat an der TU Graz, Promotion sub auspiciis praesidentis
- 2002 Habilitation: Lehrbefugnis in Theoretischer Geodäsie, TU Graz
- 2002–2009 Universitätsdozent, TU Graz, Institut für Navigation und Satellitengeodäsie
- seit 2010 Universitätsprofessor, TU München, Lehrstuhl für Astronomische und Physikalische Geodäsie

#### Forschungsschwerpunkte:

Satellitengeodäsie, Satellitengradiometrie, globale und regionale Erdschwerefeldbestimmung

Mehr als 65 Publikationen.

#### Auszeichnungen:

Josef-Krainer-Förderungspreis 2000, Allmer-Löschner-Preis der Österreichischen Geodätischen Kommission (ÖGK), Young Authors Award 2005 der International Association of Geodesy (IAG)



## Änderungsdetektion beim Laserscanning urbaner Gebiete durch Helikopter und UAVs

*Uwe Stilla, München*

### **Kurzfassung**

Helikopter und UAVs (Unmanned aerial vehicles) bieten flexible Einsatzmöglichkeiten in niedrigen Flughöhen und variablen Geschwindigkeiten über urbanen Räumen. Dabei können vorwärtsblickende Laserscanner durch Mehrfachüberflüge nicht nur umfassende Punktwolken von urbanen Bereichen aufnehmen, sondern könnten auch unter Kenntnis der aufzunehmenden 3D-Geometrie zur Navigation und Änderungsdetektion während des Flugs eingesetzt werden. Eine grundlegende Voraussetzung der Nutzung von Punktwolken aus mehrfachen Überflügen mit verschiedener Blickrichtung ist jedoch eine exakte Koregistrierung. Diese kann durch eine automatische Selbstkalibrierung der inneren Systemparameter und bei unzureichenden externen Navigationsdaten durch ein Matching der aufgenommenen Objektmerkmale bestimmt werden. Der Vortag gibt zunächst einen kurzen Überblick zum Themengebiet UAV und geht dann mit anschaulichen Beispielen auf die Prozesskette der Aufnahme von Punktwolken bis hin zur Änderungsdetektion ein.

---

### **Vortragender**

#### ***Prof. Dr.-Ing. Uwe Stilla***

geb. 1957 Köln

1980 Diplom (Dipl.-Ing.) im Fachbereich Nachrichtentechnik, Paderborn

1987 Diplom (Dipl.-Ing.) in der Biomedizinischen Technik, Karlsruhe

1993 Promotion Universität Karlsruhe über automatische Bildverarbeitung und Mustererkennung

2004 Professur für Photogrammetrie und Fernerkundung an der Technischen Universität München

## Erfassung von hochfrequenten und langfristigen Deformationsprozessen mit terrestrischer Mikrowelleninterferometrie



Matthias Becker, Sabine Rödelsperger, Gwendolyn Läufer, Jens Schneider, Darmstadt

### Kurzfassung

In den letzten 10 Jahren hat sich die terrestrische Mikrowelleninterferometrie zu einem wichtigen Instrument bei der Beobachtung von Massenbewegungen und Bauwerken entwickelt. Das Messverfahren ermöglicht sowohl das wiederholte Erfassen von langfristigen Deformationen flächenhafter Objekte (2D), als auch die Bestimmung von hochfrequenten Bewegungen eines Profils (1D).

Dieser Vortrag stellt die technischen und physikalischen Grundlagen des Mess- und Auswerteverfahrens dar und zeigt drei Anwendungsbeispiele. Die Anwendungsmöglichkeiten dieser Technik sind vielfältig und reichen von der Bestimmung von modalen Parametern (Eigenfrequenz, Eigenform, Dämpfung) von Bauwerken wie Brücken und Türmen bis hin zu Monitoring von Bewegungen im Bergbau, an Hangrutschungen, Gletschern, Vulkanen und Staudämmen. Die wesentlichen Vorteile der Technik gegenüber herkömmlichen Verfahren sind das berührungslose Messen (d.h. kein Zugang zum Objekt ist erforderlich), sowie die Unabhängigkeit von Tageslicht und Wetterverhältnissen.

**Schlüsselwörter:** Mikrowelleninterferometrie, bodengestütztes SAR, IBIS, GeoMonitoring

### Abstract

Terrestrial microwave interferometry has become an important instrument for displacement monitoring in the past ten years.

Here, the principles of the microwave interferometer IBIS (Image by Interferometric Survey) are presented, as well as its advantages and disadvantages compared to common monitoring techniques. IBIS can be operated in two modes: IBIS-S is a microwave interferometer capable of high frequency displacement monitoring of buildings and structures (up to 200 Hz); IBIS-L is a ground-based SAR for long-term displacement monitoring of buildings and natural phenomena as landslides, glaciers, etc.

Exemplary three applications are presented, to show the achievable accuracies and resolution, as well as the variety of possible applications of this technology.

**Keywords:** Displacement monitoring, microwave interferometry, ground-based Synthetic Aperture Radar, IBIS.

### 1. Einleitung

Das terrestrische SAR Instrument IBIS (Image by Interferometric Survey) der Firma IDS (Pisa, Italien) ermöglicht die Fernerkundung eines Objektes bis zu einer Distanz von 4 km, indem es Mikrowellen mit einer Frequenz von 17.2 GHz aussendet und die reflektierten Echos empfängt (Bernadini et al., 2007 [1]). IBIS kann in zwei Versionen betrieben werden. IBIS-S liefert Amplituden und Phasenmessungen von Auflösungszellen entlang eines Profils einer Struktur, d.h. es können Bereiche mit verschiedenen Entfernungen voneinander unterschieden werden. Diese Entfernungsauflösung wird durch die sog. SFCW-Technik (Stepped Frequency Continuous Wave) erreicht. Mit einer maximalen Messrate von 200 Hz sind die wesentlichen Anwendungsgebiete

dieser Messtechnik die Aufzeichnung von Deformationen und Schwingungen von Bauwerken sowie die Bestimmung ihrer modalen Parameter (Eigenfrequenzen, Eigenmoden und Dämpfung). Die maximal erreichbare Genauigkeit liegt unter optimalen Bedingungen bei 0.01 mm.

IBIS-L ist ein bodengestütztes Radar mit synthetischer Apertur (SAR). Das Ergebnis einer Aufnahme mit IBIS-L ist ein zwei-dimensionales Bild mit Entfernungs- und Azimutauflösung. Alle 5 bis 10 Minuten wird ein zweidimensionales Amplituden- und Phasen-Bild generiert, mit einer Auflösung von 0.75 m in Entfernung und 4.4 mrad in Azimut (4.4 m in 1 km Entfernung). Die Technik zur Entfernungsauflösung entspricht der Technik bei IBIS-S. Zusätzlich dazu wird der Sensor entlang einer Schiene bewegt wodurch

eine künstliche Vergrößerung der Antenne (i.e. synthetische Apertur) bewirkt wird. Einsatzgebiet dieser Geräteversion ist im Wesentlichen die Deformationsüberwachung von flächenhaften Objekten wie Staudämme, Hangrutschungen, Gletscher und Vulkane sowie Schneehöhen- und Lawinenüberwachung (siehe auch Rödelsperger et al., 2010 [2]).

## 2. Mikrowelleninterferometrie

### 2.1 Grundprinzip

Mikrowellen werden ausgesendet und im Messgebiet reflektiert. Gemessen werden Amplitude und Phase des reflektierten Signals. Die Amplitude ist abhängig von der Intensität der Rückstreuung, Kanten, Ecken und Felsen reflektieren gut, Vegetation oder Sandboden nur gering.

Die gemessene Phase  $\varphi^w$  ist abhängig von der Strecke  $r$  zwischen Instrument und Objekt:

$$\varphi^w = W \left\{ \frac{4\pi}{\lambda} r \right\},$$

wobei  $W$  für den Wrapping Operator steht und  $\lambda$  für die Wellenlänge. Da nur das Phasenreststück messbar ist und nicht die ganzzahlige Anzahl von Wellendurchläufen, liegt  $\varphi^w$  immer zwischen  $-\pi$  und  $+\pi$ . Wird die Differenz zweier Phasenmessungen, i.e. die interferometrische Phase  $\phi^w$ , gebildet, kann aus den Phasenänderungen auf Streckenänderungen geschlossen werden:

$$\phi^w = W \{ \varphi_1 - \varphi_2 \} = W \left\{ \frac{4\pi}{\lambda} (r_1 - r_2) \right\}.$$

Auch die interferometrische Phase liegt zwischen  $-\pi$  und  $+\pi$  und ist eine Summe mehrerer Komponenten:

$$\phi^w = -\frac{\lambda}{4\pi} d + \phi_{atm} + \phi_{noise} - 2\pi n,$$

hierbei ist  $d$  die geometrische Streckenänderung zwischen Instrument und Objekt,  $\phi_{atm}$  die atmosphärisch bedingte Phasendifferenz,  $\phi_{noise}$  das Rauschen und  $n$  die Phasenmehrdeutigkeit, da nur das Phasenreststück bestimmbar ist. Übersteigt die Bewegung zwischen zwei Messungen ein Viertel der Wellenlänge, kann sie nicht eindeutig erkannt werden, da keine absoluten Entfernungen bestimmt werden, direkt können nur Verschiebungen kleiner als  $d_{max}$  gemessen werden:

$$|d_{max}| = \pm \frac{\lambda}{4}.$$

Zur Auflösung von Deformationszeitreihen aus mehreren Bildern und Zeitreihen werden die

aus der satellitengestützten Radarinterferometrie bekannten Verfahren der „Persistent Scatterer“ (PS) eingesetzt (Ferretti et al., 2001 [3]; Kampes, 2006 [4]).

### 2.2 Vor- und Nachteile des Mikrowellenverfahrens

Das berührungslose Messverfahren stellt einen großen Vorteil gegenüber vielen traditionellen Messsystemen, wie beispielsweise Extensometer, Inklinometer und Beschleunigungssensoren, dar. Die Kombination von hoher räumlicher Auflösung und hoher Genauigkeit ermöglicht zudem die gleichzeitige Analyse vieler Messpunkte. Bei punktuellen Messverfahren können oft nur wenige Sensoren eingesetzt werden und der Installationsaufwand ist meist hoch. Mit IBIS kann die Messung eines gesamten Objekts relativ schnell und einfach durchgeführt werden, ohne das Objekt betreten oder für den eventuell vorhandenen Verkehr sperren zu müssen. Aufgrund der aktiven Messtechnik und des verwendeten Frequenzbereiches, können die Messungen unabhängig von Tageslicht und Wetter (z. B. Nebel, Regen) durchgeführt werden.

Die Vor- und Nachteile von IBIS gegenüber herkömmlichen Messsystemen können wie folgt zusammengefasst werden:

#### Vorteile

- Berührungsloses Messverfahren, d.h. es ist kein Zugang zum Objekt erforderlich, die Eigenschaften des Objekts werden nicht durch Aufbringen von Messfühlern verändert, bei Naturgefahren muss das gefährdete Gelände nicht betreten werden,
- Simultane Beobachtung aller Auflösungszellen (gleicher Zeitstempel), nicht wie z.B. beim Laserscanner nacheinander,
- Unabhängigkeit von Tageszeit und Wetter, da mit Mikrowellen sowohl in Dunkelheit als auch bei Nebel, Regen oder Schnee gemessen werden kann,
- Hohe Genauigkeit (bis zu 0.01 mm) und hohe räumliche Auflösung (bis zu 0.75 m in Blickrichtung).

#### Nachteile

- Atmosphärische Refraktion (insbesondere Feuchteänderungen spielen bei Mikrowellen eine Rolle) ist eine signifikante Fehlerquelle,
- Messung relativer Bewegungen in Blickrichtung, d.h. nur eine Komponente des dreidimensionalen Bewegungsvektors wird ge-

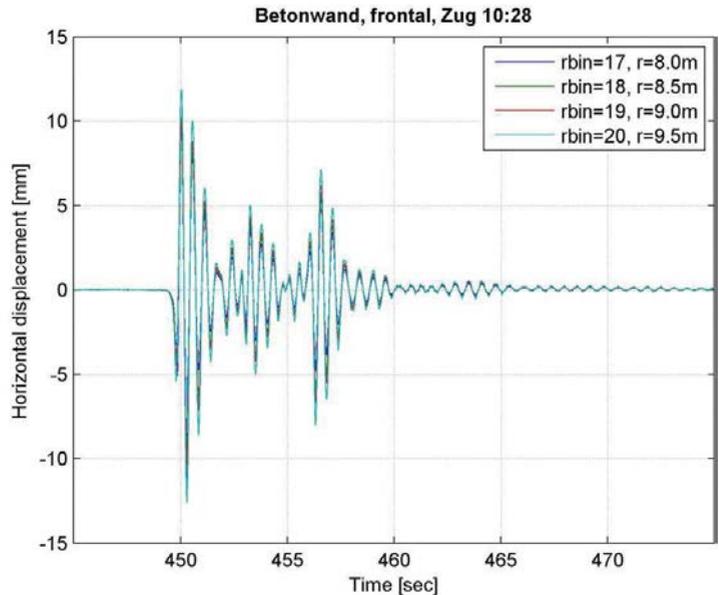


Abb. 1: Messung einer Beton-Schallschutzwand mit IBIS-S; Messaufbau (links); Bewegung von vier Punkten an der Wand während der Durchfahrt eines Zuges (rechts). Mit rbin ist die geräte-interne Punktnummer angegeben; r gibt die Schrägentfernung der Punkte zum Sensor an (je größer r, desto höher liegt der Punkt an der Wand).

messen und es werden keine absoluten Entfernungen gemessen,

- Teilweise schwierige Punktzuordnung, da es aufgrund des Messkonzeptes bei der Entfernungsauflösung zu Punktüberlagerungen kommen kann,
- Reflektivität der Objektoberfläche bestimmt Messbarkeit und Genauigkeit.

In den folgenden Abschnitten werden die Anwendungsmöglichkeiten des Messverfahrens anhand dreier Beispiele exemplarisch aufgezeigt.

### 3. Anwendungsbeispiele

#### 3.1 Schwingung einer Lärmschutzwand (IBIS-S)

Das erste Beispiel zeigt den Einsatz von IBIS-S zur Messung und Analyse des Verhaltens von Schallschutzwänden entlang von Zugstrecken. Die hier gezeigten Messwerte wurden im Januar 2011 an der ICE-Strecke Frankfurt-Köln gemessen.

Abbildung 1 zeigt links das Foto einer Beton-Schallschutzwand mit dem IBIS-Standpunkt frontal davor und rechts die Zeitreihen von vier Punkten auf einem vertikalen Profil der Schallschutzwand.

Der vorbeifahrende ICE bestand aus zwei Zugteilen. Die Maximalausschläge werden jeweils bei Zuganfang, -ende und zwischen den Zugteilen aufgrund der Druck- und Sogwellen erreicht. Der maximale horizontale Ausschlag betrug in diesem Fall mehr als 10 mm. In Abbildung 2 ist die Frequenzanalyse der Schwingung eines Punktes am oberen Rand der Schallschutzwand dargestellt.

#### 3.2 Modalanalyse einer Fußgängerbrücke (IBIS-S)

Das „Champalimaud Centre for the Unknown“ befindet sich in Lissabon, Portugal. Benannt nach einem portugiesischen Arzt und Forscher,

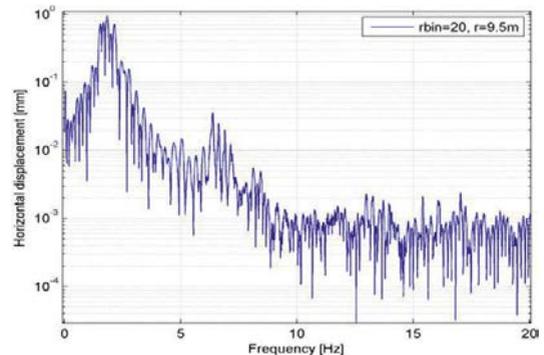


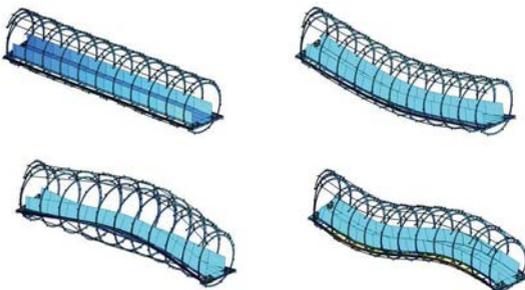
Abb. 2: Frequenzanalyse der Schwingung des Punktes am oberen Rand der Schallschutzwand in Abbildung 1



**Abb. 3:** Die Glasbrücke zur Verbindung von zwei Gebäudeteilen im Champalimaud Centre for the Unknown, Lissabon (Architekt: Charles Correa, Tragwerksplanung: Schlaich Bergermann und Partner)

der sein Vermögen nach seinem Tod der Champalimaud Foundation hinterließ, bietet es Räumlichkeiten zur klinischen Forschung. Es besteht aus zwei Gebäuden, welche durch eine 21 m lange Fußgängerbrücke verbunden sind (siehe Abbildung 3). Das Primärtragwerk der Brücke, ein unterspannter Einfeldträger, wird durch eine filigrane Stahlkonstruktion gebildet, die zugleich als Unterkonstruktion für die Hülle aus gebogenen Glasscheiben dient. Die Brücke wurde im Herbst 2010 fertig gestellt.

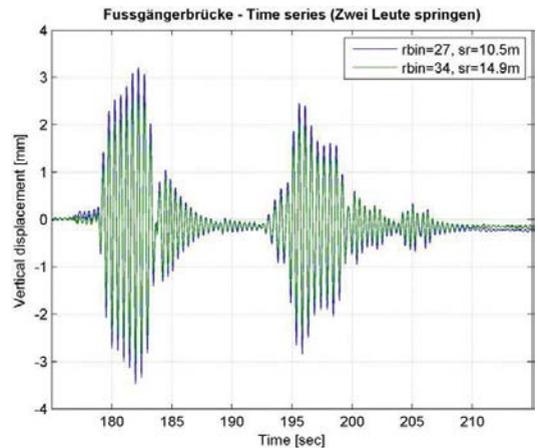
Zur rechnerischen Beurteilung der Schwingungsanfälligkeit der Brücke bei Anregung durch die querenden Fußgänger wurden mit Hilfe einer dynamischen Analyse am räumlichen Gesamtmodell der Brücke mit der Methode der Finiten Elemente die Eigenfrequenzen bestimmt (Abbildung 4). Mit der ersten Eigenfrequenz von 1.2 Hz liegt die Brücke zwar theoretisch im kritischen Bereich, praktisch wird auf Grund der



**Abb. 4:** Eigenformen und Eigenfrequenzen der Brücke, ermittelt am räumlichen Gesamtmodell mit der Methode der Finiten Elemente: (a) System; (b) 1. Eigenform 1.20Hz; (c) 2. Eigenform 1.42Hz (Torsion); (d) 3. Eigenform 1.71Hz

guten Dämpfungseigenschaften ein schnelles Abklingen erwartet.

Zur experimentellen Validierung der Eigenfrequenzen wurde die Brücke durch unterschiedliche Aktivitäten angeregt (Gehen, Laufen, Springen) und die dabei auftretenden Vertikalbewegungen wurden mit IBIS-S beobachtet. Das Gerät wurde dazu unter der Brücke aufgestellt, Blickrichtung schräg entlang der Brücke. Mikrowellen penetrieren Glas nicht, daher wurde die Oberfläche der Glaskonstruktion angemessen. In Abbildung 5 sind beispielhaft Zeitreihen für zwei Punkte im Abstand von 10.5 und 14.9 m vom Brückenanfang gezeigt. Deutlich erkennbar ist die hier durch Springen im Zeitraum 179 s bis 184 s und 193 s bis 200 s entstandene Anregung.



**Abb. 5:** Zeitreihe der Schwingungen zweier Punkte verursacht durch Springen von zwei Personen auf der Fußgängerbrücke. *rbin* ist die geräte-interne Punktnummer, *sr* gibt den horizontalen Abstand der Punkte zum Anfang der Brücke an.

Um den direkten Einfluss der Anregung selbst auszuschließen wurden zur Schätzung von Eigenfrequenz, Eigenform und Dämpfung die Zeiträume des Ausschlagens nach der Anregung verwendet. Aufgrund der großen Dämpfung beträgt der Zeitraum des Ausschlagens nur wenige Sekunden. Die Analyse ergab für die erste Eigenfrequenz einen Wert von 2.4 Hz (siehe Abbildung 6).

Beim Vergleich mit den rechnerischen Analysen (1. Eigenfrequenz bei nur 1.2 Hz) muss berücksichtigt werden, dass in diesen Analysen die Steifigkeit der Glashülle vernachlässigt wurde, da die Gläser statisch so gelagert sind, dass sie nur ausfachend wirken damit zum Einen die Eigenfrequenzen erhöhen und zum Anderen nicht für die Bemessung des Brückentragwer-

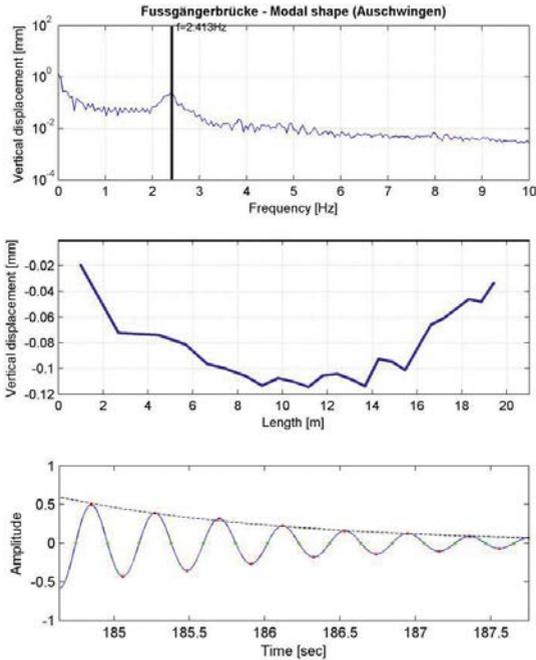


Abb. 6: Frequenzanalyse (oben), Eigenform der Brücke bei Frequenz 2.4 Hz (Mitte) und Schätzung der Dämpfung bei Frequenz 2.4 Hz (unten)

kes herangezogen werden können. Eine zweite dynamische Analyse mit Berücksichtigung der Dehn- und Biegesteifigkeit des Glases als voll aussteifendes Element ergab einen Wert von 5 bis 6 Hz für die erste Eigenform. Die tatsächlichen mit IBIS bestimmten Eigenfrequenzen liegen in der Mitte der beiden Modellrechnungen. Sie bestätigen die Annahmen zur Dämpfung und zeigen die Defizite der Modellannahmen der dynamischen Modellierung.

Zur Schätzung der Dämpfung aus den Messungen wurden die Extrempunkte der Zeitreihe des Ausschwingens bei der Frequenz von 2.4 Hz bestimmt (siehe Abbildung 6). Anschließend wurde die Abklingkonstante geschätzt. Der Dämpfungsgrad beträgt 4.6 %.

In einem weiteren Schritt wurden aus den Messungen die auftretenden Vertikalbeschleunigungen abgeleitet. Dabei ergab sich ein mittlerer Wert von 0.03 m/s<sup>2</sup> während des Gehens einer Gruppe und von 0.15 m/s<sup>2</sup> während des Rennens einer Gruppe von 12 Personen. Die maximale Vertikalbeschleunigung, die für Menschen bei Brückentragwerken noch behaglich ist, liegt bei etwa 0.7 – 1.0 m/s<sup>2</sup> (je nach Norm). Diese Werte wurden nur sehr kurzzeitig beim Rennen überschritten.

### 3.3 Hangrutschung Steinlehnen (IBIS-L)

Im Sommer 2010 und Sommer 2011 wurde die Hangrutschung Steinlehnen in Österreich jeweils einen Monat lang kontinuierlich mit IBIS-L beobachtet. Das Gerät wurde in einer Schutzhütte aufgebaut, in welcher zusätzlich meteorologische Sensoren und eine Webcam installiert wurden.

In Abbildung 7 sind die meteorologischen Messungen des Sommers 2010 dargestellt. Die Beobachtungen begannen bei sonnigem Wetter mit Temperaturen um 30°C. Ab Tag 4 fing es an zu regnen und die Hangrutschung lag hinter Wolken. An Tag 11 fiel die Temperatur auf 0°C ab und der Regen wurde zu Schnee, für wenige Stunden war die Hangrutschung mit Schnee bedeckt, welcher jedoch am selben Tag wieder schmolz.

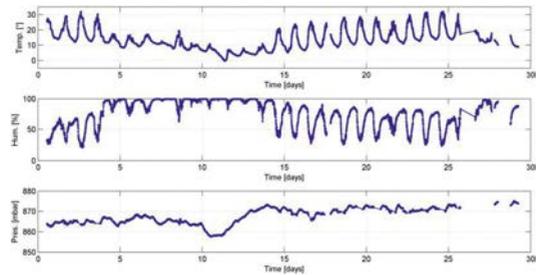


Abb. 7: Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftdruck, gemessen im 09. Juni bis 08. Juli 2010 in Steinlehnen, Österreich

In Abbildung 8 sind die kumulierten Verschiebungen beider Kampagnen dargestellt. Negative Verschiebungen bedeuten eine Bewegung in Richtung des Radar-Sensors. Aus Tachymetrie-Messungen wurde als reale Bewegung ein Abrutschen talwärts entlang des Hanges ermittelt. Dies entspricht in etwa der Blickrichtung des Radars. Die aktive Zone ist durch eine signifikant höhere Bewegungsrate deutlich zu erkennen. Die maximalen Verschiebungen betragen im Sommer 2010 mehr als 0.12 m in Richtung des Radars. Das Unwrapping wurde mit dem von Sabine Rödelsperger entwickelten SePSi-Algorithmus (Rödelsperger, 2011 [5]) durchgeführt.

Während der Messperiode 2011 fanden wesentlich mehr Steinschläge statt als in 2010. Diese sprunghaften Bewegungen, die über  $d_{max}$  hinausgehen und in der Phasenmessung nicht eindeutig erfasst werden können, äußern sich als Rauschen. Dies ist im oberen und im unteren Bereich der Hangrutschung deutlich im rechten Bild in Abbildung 8 zu erkennen. Die dort abgebildeten Bewegungen können nicht als Ver-

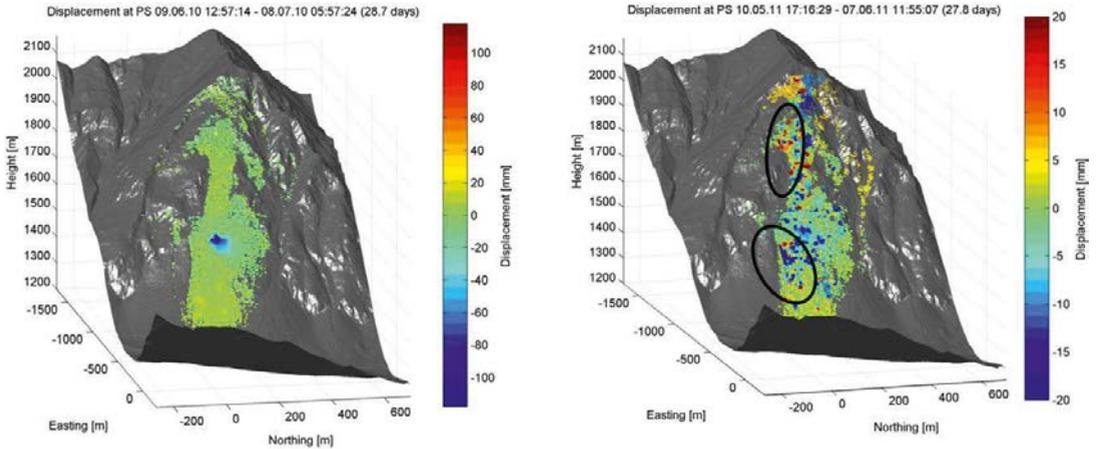


Abb. 8: Mit IBIS-L gemessene Verschiebungen an der Hangrutschung Steinlehen, Österreich, beobachtet zwischen 09.06.2010 und 08.07.2010 (links) sowie zwischen 10.05.2011 und 07.06.2011 (rechts). Die schwarzen Ovale in der rechten Abbildung markieren Gebiete höheren Rauschens auf Grund von Steinschlägen.

schiebungen interpretiert werden. In dem 2010 aktiven Bereich der Hangrutschung fanden sich auch 2011 wieder Verschiebungen, allerdings lagen sie bei maximal 20 mm innerhalb der Messperiode.

Der Zusammenhang von Wetter und Hangrutschung zeigt sich in der Zeitreihe von fünf ausgesuchten Persistent Scatterer (über einen längeren Zeitraum stabile Rückstreuer) im Sommer 2010 (Abbildung 9). Die größte Beschleunigung tritt am Tag 11 auf als nach einigen Tagen starken Regens die Temperaturen unter 0°C fielen. Vier Tage später geht die Verschiebungsrate auf fast Null zurück.

Steinschläge lassen sich in den Interferogrammen als Zonen erhöhten Rauschens leicht erkennen und genau lokalisieren (siehe Abbildung 10). Es konnte ein deutlicher Anstieg von Steinschlägen während aktiver Zeiten der Hangrutschung

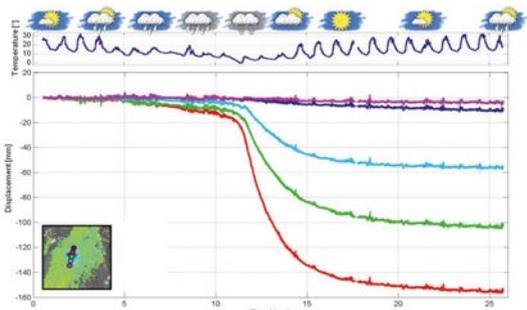


Abb. 9: Zeitreihen von fünf Persistent Scatterer (PS) während des Sommers 2010. Die Positionen der fünf PS sind in der linken unteren Ecke dargestellt. Oben sind Wetterbedingungen und die gemessene Temperatur aufgetragen.

verzeichnet werden. Ebenso gibt es ein erhöhtes Steinschlag-Aufkommen während starker Regenphasen. In Abbildung 11 sind die Steinschläge sowie der niedergegangene Regen während der Messperiode 2011 gegenüberge-

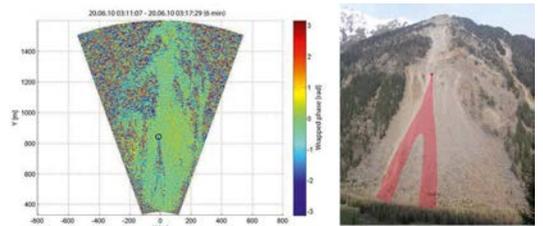


Abb. 10: Lokalisierung eines Steinschlags im Interferogramm (links) und im Foto (rechts) der Hangrutschung Steinlehen, Österreich. In rot ist die vom Steinschlag betroffene Zone dargestellt.

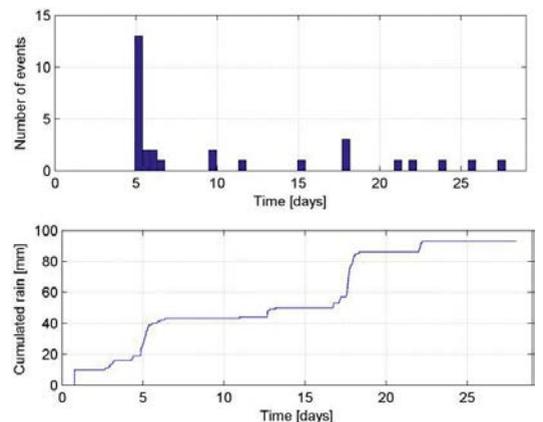


Abb. 11: Anzahl der aufgetretenen Steinschläge (oben) und kumulierte Regenmenge (unten) während der Messperiode 2011

stellt. An Tag 5 und Tag 17 fand ein Niederschlag von mehr als 20mm/Tag statt.

#### 4. Fazit

Dieser Beitrag zeigt einige Anwendungsmöglichkeiten der Mikrowelleninterferometrie zur Bestimmung von Schwingungen an Bauwerken und zur Überwachung von Massenbewegungen. Die Vor- und Nachteile gegenüber traditionellen Messverfahren und das enorme Potential von kontinuierlichen Multi-Parameter Überwachungsmessungen wurden dargestellt. Die wesentlichen Vorteile liegen im berührungslosen Verfahren, der hohen Genauigkeit und der erreichbaren Auflösung. Ein limitierender Faktor ist die atmosphärische Refraktion, die vor allem bei Überwachungsmessungen über einen längeren Zeitraum berücksichtigt werden muss. Auch die Auflösung der vollen Wellenlänge bei größeren Bewegungen ist ein kritischer Faktor.

Bei einer Vielzahl von Aufgabenstellungen im Bereich der dynamischen und statischen Analyse von Bauwerken sowie beim Monitoring von Naturgefahren kann Mikrowelleninterferometrie die Messungen wesentlich verbessern und erleichtern. Trotz allem muss jede Messung vorher sorgfältig geplant werden. Die Wahl des Gerätestandpunktes spielt eine entscheidende Rolle für die Qualität und Auswertbarkeit der Messung. Er ist im Wesentlichen von Geometrie und Material des Objektes abhängig.

Die drei exemplarischen Beispiele mit ganz unterschiedlichen Zielgrößen zeigen das große Spektrum der Anwendungen und die dabei erreichbaren Auflösungen und Genauigkeiten.

#### Danksagung

Das IBIS Geräte wurde im Rahmen des Geotechnologienprojektes „Exupery“ vom Bundesministerium für Forschung und Technologie beschafft. Die Messungen in Steinlehen erfolgten im Rahmen des EU finanzierten KASIP-Projektes von Prof. A. Eichhorn, TU Darmstadt in Zusammenarbeit mit TU Wien und Alp-S.

#### Literaturverzeichnis

[1] *Bernadini, G.; De Pasquale, G. Bicci, A.; Marra, M.; Coppi, F.; Ricci, P.; Pieraccini, M. (2007): Microwave interferometer for ambient vibration measurement on civil engineering structures: 1. Principles of the radar technique and laboratory tests. Experimental Vibration Analysis for Civil Engineering Structures, Proceedings of EVACES'07, 24-26 October 2007, Porto, Portugal.*

- [2] *Rödelsperger, S.; Läufer, G.; Gerstenecker, C. and Becker, M. (2010): Monitoring of displacements with ground-based microwave interferometry: IBIS-S and IBIS-L. Journal of Applied Geodesy, 4, pp. 41–54.*
- [3] *Ferretti, A.; Prati, C.; Rocca, F. and others (2001): Permanent scatterers in SAR interferometry. Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 39, pp. 8–20.*
- [4] *Kampes, B. (2006): Radar Interferometry: Persistent Scatterer Technique. Remote Sensing and Digital Image Processing Series, Springer.*
- [5] *Rödelsperger, S. (2011): Real-time Processing of Ground Based Synthetic Aperture Radar (GB-SAR) Measurements. Dissertation, Schriftenreihe der Fachrichtung Geodäsie, Technische Universität Darmstadt, ISBN 978-3-935631-22-8. <http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de>*

#### Anschrift der Autoren

**Prof. Dr.-Ing. Matthias Becker**, Physikalische Geodäsie und Satellitengeodäsie, TU Darmstadt, Petersenstraße 13, D-64287 Darmstadt.  
E-mail: becker@ipg.tu-darmstadt.de

**Dr.-Ing. Sabine Rödelsperger**, Physikalische Geodäsie und Satellitengeodäsie, TU Darmstadt, Petersenstraße 13, D-64287 Darmstadt.  
E-mail: roedelsperger@ipg.tu-darmstadt.de

**Dr.-Ing. Gwendolyn Läufer**, Physikalische Geodäsie und Satellitengeodäsie, TU Darmstadt, Petersenstraße 13, D-64287 Darmstadt.  
E-mail: laeuer@ipg.tu-darmstadt.de

**Prof. Dr.-Ing. Jens Schneider**, Institut für Werkstoffe und Mechanik im Bauwesen, TU Darmstadt, Petersenstraße 12, 64287 Darmstadt.  
E-mail: schneider@iwmb.tu-darmstadt.de

#### Vortragender

##### **Prof. Dr.-Ing. Matthias Becker**

geb. 1955 Hanau

1979 Geodäsie an der TU Darmstadt

1984 Doktorat - Promotion zur Gravimetrie

2000–2004 Professor für Allgemeine Geodäsie an der Universität der Bundeswehr München

seit 2004 Professor für Physikalische Geodäsie und Satellitengeodäsie am Institut für Geodäsie, TU Darmstadt

#### Forschungsschwerpunkte:

GNSS, Referenzsysteme und Geodynamik, GNSS und INS Integration, Altimetrie, Gravimetrie und zeitvariable Schwereänderungen, Deformationsanalyse



## Galileo – und wo bist du?

Bernhard Hofmann-Wellenhof, Graz

### Kurzfassung

Das amerikanische GPS funktioniert seit dem Jahr 1995 ohne Unterbrechung, das russische GLONASS folgte 1996, war allerdings über viele Jahre nicht voll verfügbar, das chinesische COMPASS wird mit unglaublicher Geschwindigkeit aufgebaut, diese und alle weiteren Systeme und deren Erweiterungen werden mit dem Begriff GNSS (Global Navigation Satellite Systems) erfasst. Brauchen wir trotzdem Galileo, obwohl andere Systeme verfügbar sind?

Nach den beiden Testsatelliten GIOVE A und B mit Startdatum in den Jahren 2005 und 2008 wurden am 21. Oktober 2011 vom Raumfahrtgelände Kourou in Französisch-Guayana die beiden ersten Galileo-Satelliten von einer russischen Trägerrakete in ihre Umlaufbahnen gebracht. Im Sommer 2012 sollen die beiden nächsten Satelliten folgen. Im Jahr 2015 sollen 18 von insgesamt 30 Satelliten verfügbar sein. Es dauert also noch eine Weile, bis Galileo immer und überall zur Verfügung stehen wird. Läuft die Zeit davon?

Der gegenwärtige Stand von GNSS sowie die zukünftigen Entwicklungen sollen einerseits einen Überblick geben und schließlich auch die Frage beantworten, ob wir Galileo brauchen, ob Galileo sinnvoll ist.

**Schlüsselwörter:** EGNOS, Galileo, GNSS

### Abstract

Since 1995, the US GPS has been working continuously. In 1996, the Russian GLONASS reached the same status; however, due to the lack of satellites, the system was not fully available for many years. Currently, the Chinese COMPASS is being developed rapidly. These and additional systems together with respective augmentations are covered by the term GNSS (Global Navigation Satellite Systems). Under those circumstances, is there any need for Galileo despite the (free) availability of the other systems?

After the two successful launches of the two testing satellites GIOVE A and B in 2005 and 2008, a milestone as seen from the European perspective occurred on 21. October 2011: the first two Galileo satellites were successfully launched from the European Space Center Kourou in French-Guiana onboard a Russian Soyuz launch vehicle. In this summer, two more satellites are scheduled. In 2015, 18 out of the total of 30 satellites ought to be available. In other terms, there will flow some water in the river before Galileo will become a global system being available anywhere and at any time. Is this sufficient to compete with the other systems?

The current status of GNSS and future developments are described to answer the questions for the need of Galileo and its usefulness.

**Keywords:** EGNOS, Galileo, GNSS

### 1. Die Historie von Systemen zur satellitengestützten Positionierung

Dieser Abschnitt stützt sich wesentlich auf [1] Hofmann-Wellenhof et al. (2008: Seiten 4-7). Das Zeitalter der satellitengestützten Positionierungssysteme reicht zurück in die späten 50er-Jahre. Der eigentliche Vorläufer der heutigen modernen Systeme ist das amerikanische Transit System, auch als Navy Navigation Satellite System (NNSS) bezeichnet. Das Konzept aus den späten 50er-Jahren wurde in den 60er-Jahren umgesetzt. Es handelte sich um eine militärische Entwicklung, die primär zur Bestimmung der Koordinaten (und auch der Zeit) von Schiffen und für militärische Landeinsätze verwendet wurde. Später wurde das System auch für die zivile Verwendung zugelassen. Damit stand seinem weltweiten Gebrauch sowohl für Navigation

als auch für die klassische Vermessung nichts mehr im Weg.

Es ist verblüffend, zu sehen, wie ähnlich Transit den heutigen modernen Systemen war. Es bestand aus sechs Satelliten in niedrigen, kreisförmigen Polbahnen, wobei die Höhe nur etwa 1.100 km betrug. Die Satelliten sendeten zwei Trägerwellen mit 150 und 400 MHz. Auf diese Trägerwellen waren sowohl Zeitmarken als auch Bahninformation aufmoduliert.

Mit Einfrequenzempfängern, die nur eine der beiden Trägerwellen empfangen konnten, wurden Positionsgenauigkeiten im Bereich von 100 m erzielt. Für Zweifrequenzempfänger verbesserte sich die Genauigkeit auf etwa 20 m. Aber schon damals wurde in Experimenten der ehemaligen US Defense Mapping Agency (DMA)

und des US Coast Guard & Geodetic Survey gezeigt, wie die Genauigkeit auf etwa 1 m gesteigert werden könnte, wenn man die Beobachtungen auf einem Punkt über mehrere Tage oder sogar Wochen ausdehnte. Sehr bald erkannte man auch das Potential von Relativmessungen. So wurden Doppler-Empfänger im sogenannten „translocation mode“ eingesetzt. Das heißt, es wurden simultane Beobachtungen mehrerer Empfänger verwendet, um relative Koordinaten von Punkten zu bestimmen. Damit wurden bereits Genauigkeiten im Submeter-Bereich erzielt, wobei es ausreichte, die weniger genauen Broadcast-Ephemeriden zu verwenden und auf die genaueren Präzisen Ephemeriden, die erst a posteriori bestimmt werden konnten, zu verzichten.

Eine kleine Facette sei hier angemerkt, weil sie historisch interessant ist. Für die Amerikaner bedeutete der Start des ersten künstlichen Satelliten, Sputnik, im Jahr 1957 durch die damalige Sowjetunion einen schweren Schlag in der Raumfahrtgeschichte. Sehr schnell erkannten Wissenschaftler, wie man aus der Doppler-Verschiebung des empfangenen Satellitensignals zunächst die genaue Zeit der größten Annäherung des Satelliten ermitteln konnte. Neben Christian Doppler spielten die Erkenntnisse eines weiteren Wissenschaftlers, der u.a. in Graz und Linz geforscht hatte, nämlich Johannes Kepler, eine entscheidende Rolle für die Weiterentwicklung. Denn die (globale) Bestimmung von Koordinaten in Echt-

zeit benötigt die Kepler-Elemente der Satellitenbahnen.

Wer mehr über Transit erfahren will, sei auf [2] Hofmann-Wellehof et al. (2003: Seiten 169-172) verwiesen. Die russische Antwort auf Transit lautete Tsikada (auch Cicada). Beide Systeme arbeiteten nach dem gleichen Prinzip. Auch die erzielbare Genauigkeit war vergleichbar. Bei Tsikada gibt es zwei Satelliten-Konstellationen, eine für militärische und eine für zivile Anwendungen. Die militärische Konstellation, sie funktioniert noch heute, besteht aus sechs Satelliten, wobei der erste im Jahr 1974 in die Umlaufbahn gebracht wurde. Die zivile Konstellation besteht aus nur vier Satelliten.

Im Vergleich zu den heutigen Systemen haben Transit und Tsikada zwei gravierende Nachteile. Durch die geringe Anzahl an Satelliten musste man immer wieder rund 90 Minuten auf die Satelliten warten, bis man einen „Durchgang fixieren“ konnte. Es war also keine kontinuierliche, simultane Messung zu mehreren Satelliten möglich. Folglich resultiert daraus als zweiter Nachteil die geringe erzielbare Genauigkeit. Insbesondere die Bestimmung der Höhe war mangelhaft.

**2. Heute und morgen**

Das amerikanische Global Positioning System (GPS) wurde vom US Militär primär entwickelt, um die gerade genannten Nachteile von Transit auszuschalten. Mit GPS ist die Möglichkeit gege-

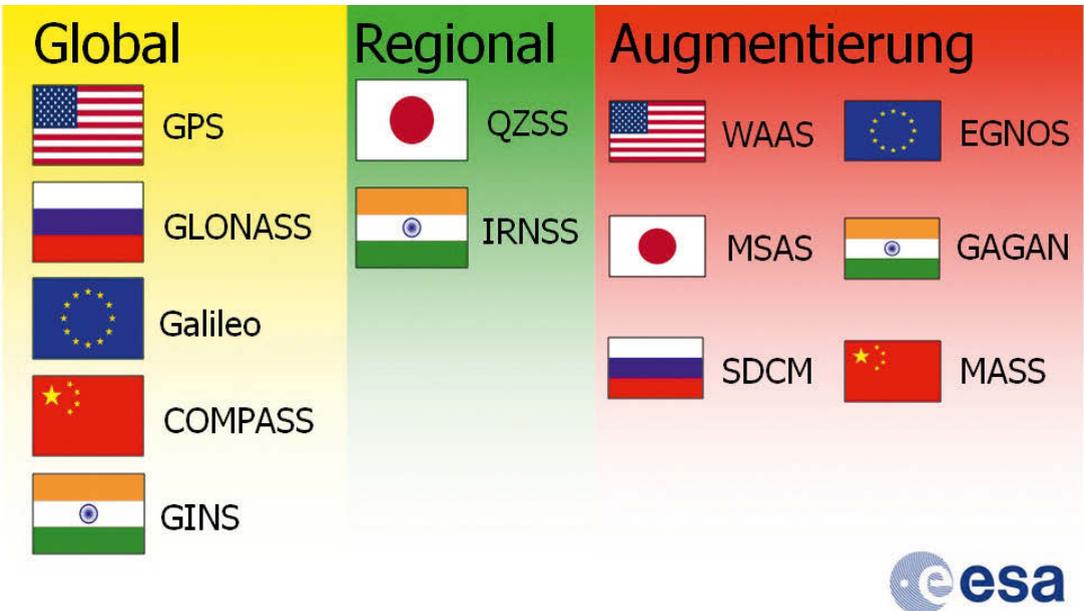


Abb. 1: Weltweite Flaggenparade für globale oder regionale Systeme und deren Erweiterungen

ben, überall, zu jeder Zeit und bei jedem Wetter die Fragen nach den Koordinaten zu beantworten. Darüber hinaus kann auch die Geschwindigkeit eines Objekts ermittelt werden, und auch die Zeit ist hochpräzise bestimmbar.

Das russische Global Navigation Satellite System (GLONASS) ist ebenfalls ein militärisches System und stellt das Gegenstück zu GPS dar, wobei es einige signifikante Unterschiede gibt.

Aus europäischer Sicht kommt Galileo hinzu, dessen Fertigstellung allerdings noch in weiter Ferne ist.

Und China entwickelt COMPASS, das aus der Vorläuferentwicklung Beidou, einem regionalen System, entsteht.

Die Welt ist aber noch wesentlich bunter. Diese und alle weiteren Systeme und deren Erweiterungen werden mit dem Begriff GNSS (Global Navigation Satellite Systems) erfasst. Eine Übersicht gibt Abbildung 1.

Neben den bereits genannten globalen Systemen GPS, GLONASS, Galileo und COMPASS gibt es auch in Indien Überlegungen, ein eigenes Global Indian Navigation System (GINS) zu etablieren. Jedenfalls ist Indien bei den regionalen Systemen bereits durch das Indian Regional Navigation Satellite System (IRNSS) vertreten. Regionale Systeme sind Systeme, die nur regional eingesetzt werden können, weil nur in den entsprechenden Regionen die Satellitensignale empfangen werden können. In dieser Kategorie ist auch Japan mit seinem Quasi-Zenith Satellite System (QZSS) vertreten, das die ostasiatische Region und Ozeanien abdeckt.

Unter Augmentierungen versteht man zusätzliche Komponenten, die zu einem globalen oder regionalen System gehören. Warum werden diese benötigt? Die Services, die z.B. von GPS und GLONASS angeboten werden, reichen mit ihren Leistungen im Alltag vielfach nicht aus. Typische Beispiele sind Landungen von Flugzeugen oder Hafenanäherungen bzw. Einfahrten in Häfen von Schiffen. Für derartige Operationen reicht weder die Genauigkeit noch die Integrität des Services. Um diese Defizite zu beheben, wurden die Augmentierungen konzipiert und umgesetzt. In Figur 1 ist eine Reihe von Augmentierungen aufgezählt: zum amerikanischen GPS gehört das Wide Area Augmentation System (WAAS), zum russischen GLONASS das System for Differential Correction and Monitoring (SDCM). In Japan wird das Multi-Transport Satellite-based Augmentation System (MSAS) verwendet, in Indien GAGAN (benannt nach dem Hindi-Wort für

Himmel) und in China das Satellite Navigation Augmentation System (SNAS) – es existiert für die chinesische Augmentierung auch das Akronym MASS. Und in Europa? Da existiert das European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS), dessen Open Service am 1. Oktober 2009 für operationell erklärt wurde. Dabei handelt es sich um eine für Europa konzipierte Ergänzung zu GPS. Im nächsten Abschnitt folgen einige Details zu EGNOS.

### 3. EGNOS

Das Raumsegment von EGNOS besteht aus drei geostationären Satelliten. Die GNSS Signale werden in 34 Receiver Integrity Monitoring Stations (RIMS) ausgewertet. Die Ergebnisse werden über das EGNOS Wide-Area Network (EWAN) zu den vier Master Control Centers (MCC) geschickt, wobei nur eines der vier Zentren benötigt wird, die übrigen werden nur für Backup und im Fall von Problemen benötigt. Über die Navigation Land Earth Stations (NLES) wird die Augmentierungsinformation zu den drei geostationären Satelliten geschickt. Auch bei den NLES gibt es einen Sicherheitsfaktor: pro geostationärem Satellit werden zwei NLES eingesetzt, eine ist aktiv und die andere ist für den Backup verantwortlich.

Für die Anwendbarkeit von EGNOS gibt es verschiedene Entwicklungsstufen. In der ersten ist der Überdeckungsbereich durch eine Fläche gegeben, die durch die European Civil Aviation Conference (ECAC) definiert wurde. Im nächsten Entwicklungsschritt wird die Überdeckung auch Afrika umfassen. Für die weitere Entwicklung von EGNOS sei auf [3] European Space Agency (2005) verwiesen.

Die EGNOS-Information kann auch über das Internet erhalten werden, weil die European Space Agency (ESA) das Signal entsprechend entwickelte. Der Fachausdruck hierzu heißt Signal-In-Space over Internet und wird mit SISNeT abgekürzt. An die Daten gelangt man über einen Anbieter. Das zugehörige Service wird als EGNOS Data Access System (EDAS) bezeichnet.

Um anschaulich zu demonstrieren, wie die Leistung mit EGNOS im Vergleich zu GPS allein steigt, betrachte man Abbildung 2. Es handelt sich dabei um eine maritime Anwendung in Portugal aus dem Jahr 2007.

Die Daten wurden freundlicherweise von der Firma TeleConsult Austria GmbH zur Verfügung gestellt. Das Schiff fuhr zwischen Almada und Lissabon. Die Referenztrajektorie wurde durch

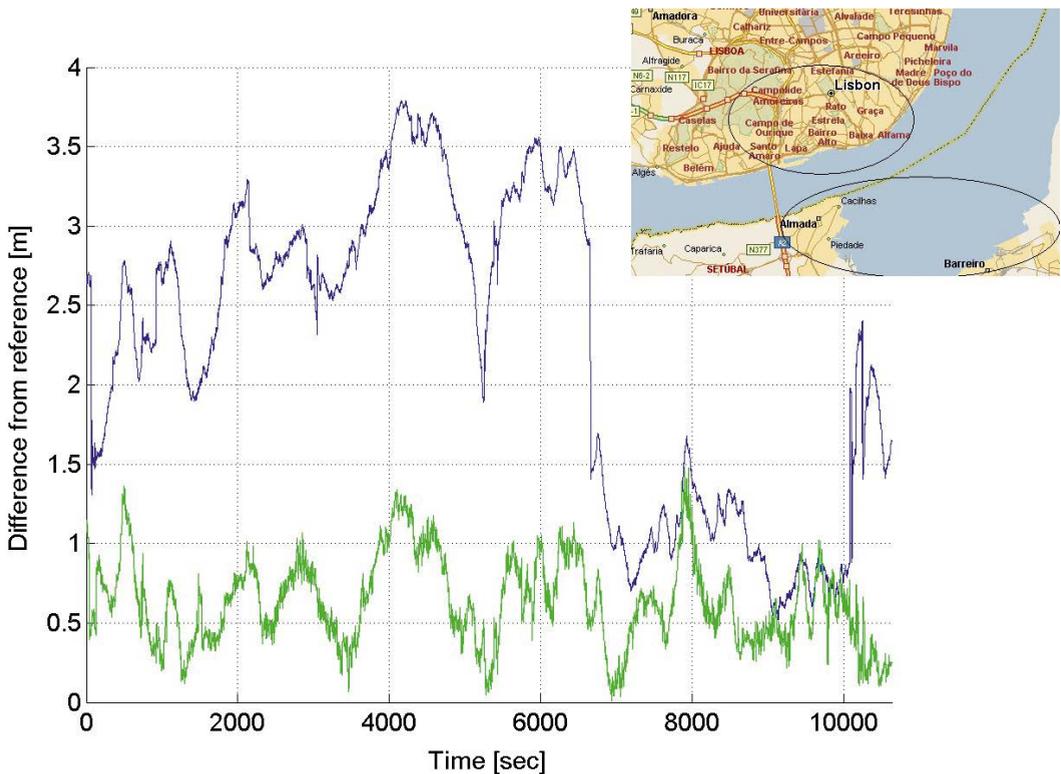


Abb. 2: Steigerung der Genauigkeit durch EGNOS

die relative Positionierungsmethode real-time kinematic, siehe [1] Hofmann-Wellenhof et al. (2008: Seiten 438 und 439), auf wenige Zentimeter genau bestimmt. Im Vergleich dazu gibt die blaue Kurve die Abweichungen von der Referenztrajektorie in Metern an, wenn nur GPS nach der Methode der Einzelpunktbestimmung, siehe [1] Hofmann-Wellenhof et al. (2008: Sect. 6.1.1), verwendet wird. Im Vergleich dazu gibt die grüne Kurve die Differenz zur Referenztrajektorie an, wenn EGNOS mitverwendet wird. Die deutliche Genauigkeitsverbesserung ist evident.

Wie schon erwähnt, ist EGNOS nur in Kombination mit GPS einsetzbar, da es sich um ein Augmentierungssystem handelt. Jedenfalls ist, in Bezug auf satellitengestützte Navigationssysteme, EGNOS die erste wichtige Komponente, die Europa geliefert hat. Man kann darüber geteilter Meinung sein, aber irgendwie empfinde ich es als geniale Idee, mit einer Augmentierung zu beginnen, weil die Entwicklung und der Aufbau des Gesamtsystems viel mehr Zeit in Anspruch nimmt. Aus europäischer Sicht wird EGNOS manchmal auch GNSS-1 genannt, um anzudeuten, dass es dich dabei um die erste europäische Komponente handelt. Folglich ist GNSS-2

die zweite Entwicklungsstufe. Damit wird Galileo bezeichnet, dessen Entwicklung im folgenden Abschnitt zusammengefasst wird.

#### 4. Galileo

Am 21. Oktober 2011 kam von der Europäischen Kommission folgende Pressemitteilung:

“Today Europe takes a major step in its history by launching the first two operational Galileo satellites at 12h30 CET from Kourou, French Guiana with a Soyuz launcher to reach their orbit at 23.000 kilometers. Europe is now a step closer to having its own smart satellite navigation system, which will bring many benefits to our economies and our daily lives. European industry is in pole position to benefit from the Galileo program, by providing businesses and citizens direct access to a satellite navigation signal powered in Europe.

From 2014, the new constellation will enable improved services ranging from more precise in-car navigation, effective road transport management, search and rescue services, more secure banking transactions as well as reliable electricity provision, which all rely heavily on satellite navigation technologies to work efficiently.



(EGNOS), und GNSS-2 (Galileo). Der Name Galileo wurde provisorisch im Jahr 1999 zum ersten Mal verwendet. Wie so oft mit Provisorien, sie zeichnen sich gerne durch Beständigkeit aus. So auch hier, denn mittlerweile hat sich der Name etabliert. Bei der Bezeichnung Galileo handelt es sich um kein Akronym, sondern um eine Würdigung des Wissenschafters und Astronomen Galileo Galilei (1564-1642).

Auch für Galileo gibt es einen Stufenplan, der in Abbildung 4 gezeigt wird. Eine kritische Anmerkung sei hier erlaubt. Diese Abbildung, die ich vielfach bei Galileo-Vorträgen präsentiert habe, ist die von mir am öftesten veränderte, weil immer wieder der Zeitplan zu adaptieren war. Ursprünglich war die Full Operational Capability (FOC), also das Erreichen der Vollausbaustufe mit allen 30 Satelliten, für das Jahr 2008 (!) vorgesehen gewesen. Die Verspätung aus der heutigen Sicht beträgt bis zum Erreichen von FOC 10 bis 12 Jahre. Hoffentlich gibt es keine weiteren Verzögerungen, denn der internationale GNSS-Wettbewerb hat längst begonnen, und Europa sollte ein Mitbewerber sein. Diese Situation animierte auch zu der Titelfrage: „Galileo – und wo bist du?“

Abgesehen von der zeitlichen Verzögerung taucht immer wieder die Frage nach der Notwendigkeit von Galileo auf. So schreibt beispielsweise Manfred Bauer (2011) in [4]: „Aus technischer Sicht ist die Vielfalt der GNSS pure Geldverschwendung. Aus politischer Sicht kann aber nicht geleugnet werden, dass die GNSS als Dual-Use Systeme nicht nur von großer Bedeutung für die zivile Wirtschaft, sondern mehr noch von herausragender Bedeutung für das Militär sind – auch wenn weltweit die zivile Nutzung überwiegt.“ Andere Meinungen bringen die Kosten von Galileo ins Spiel und fragen, wozu Galileo nötig sei, wenn doch GPS kostenfrei zur Verfügung stehe. Diese Stimmen haben offenbar die Zeit der Selective Availability schon vergessen, siehe [1] Hofmann-Wellenhof et al. (2008: Sect. 9.3.3). Allein schon die Erinnerung an die Steuerbarkeit der Genauigkeit, wie dies durch Einführen der Selective Availability gemacht wurde, zeigt, wie wichtig es ist, unabhängig von einem (militärischen) Systembetreiber zu sein. Mit zwei Beispielen soll gezeigt werden, dass einerseits ein System allein für manche Anwendungen nicht ausreichend ist und andererseits der potentielle wirtschaftliche Nutzen, der aus einem eigenen System resultieren kann.

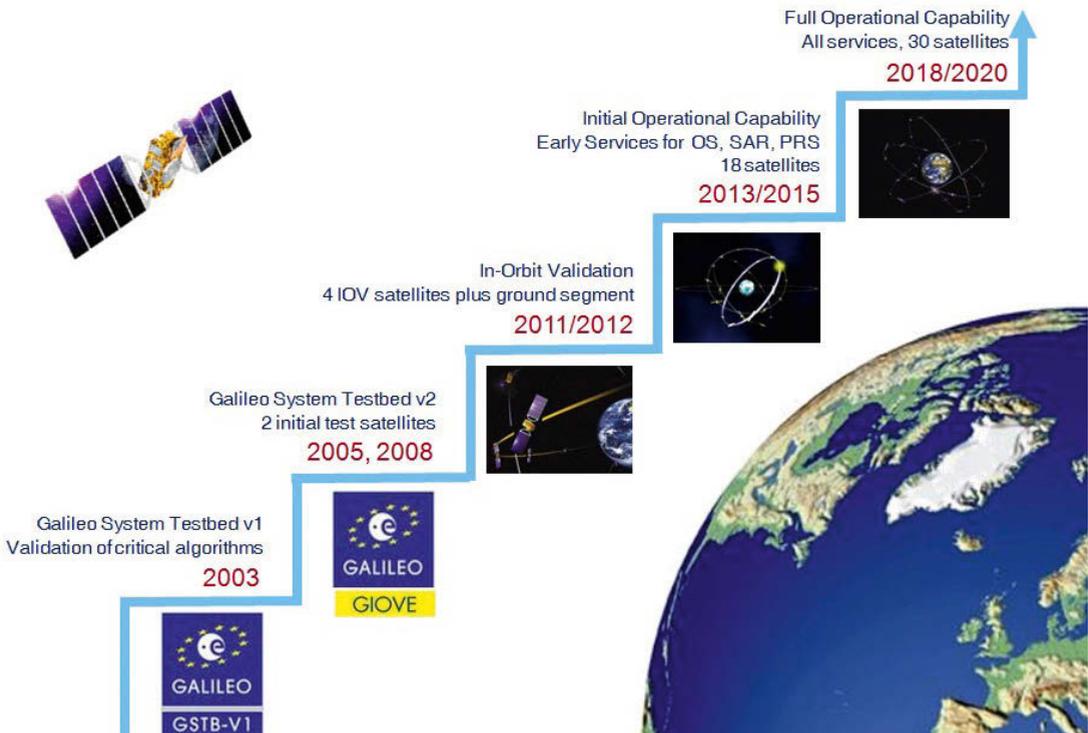


Abb. 4: Zeitlicher Stufenplan für die Entwicklung von Galileo

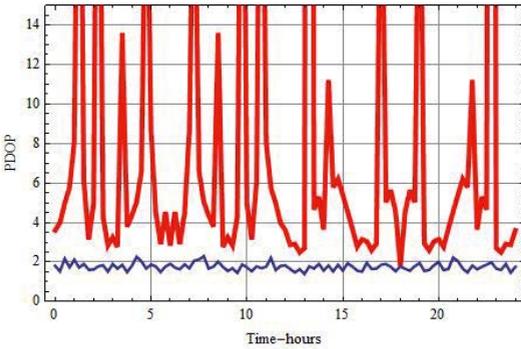


Abb. 5: PDOP für GPS (rot) und für GPS+Galileo (blau) [mit freundlicher Genehmigung von J. Spilker]

In Abbildung 5 ist folgendes Szenario dargestellt: ein Beobachtungsstandort in Kalifornien mit starken Abschattungen, so dass Satelliten erst ab einem Elevationswinkel von 30 Grad gesehen werden können. Wenn für diesen Standort die Geometrie der GPS-Satelliten, die durch PDOP (Position Dilution of Precision) dargestellt ist, für 24 Stunden berechnet wird, resultiert der rote Graph. Von einer guten Geometrie spricht man, wenn PDOP kleiner als 3 ist. Aus Abbildung 5 ist ersichtlich, dass die GPS-Satelliten allein nahezu den ganzen Tag über keine gute Geometrie aufweisen. Das ändert sich signifikant, wenn die Galileo-Satelliten dazu genommen werden. Der dann resultierende blaue Graph zeigt

eine signifikante Verbesserung, denn nun liegt der PDOP-Wert für den ganzen Tag meist unter 2. Situationen mit starker Abschattung kommen insbesondere in Städten, aber auch im alpinen Gelände häufig vor.

Der wirtschaftliche Nutzen eines eigenen Systems kann nur abgeschätzt werden. Es liegt dazu eine große Zahl von Untersuchungen vor. Zwei Beispiele aus dem umfangreichen GNSS Market Report der European GNSS Agency [5] sollen das erwartete Wachstum auf dem Sektor von GNSS zeigen.

Abbildung 6 zeigt eine Prognose bis zum Jahr 2020 und spezifiziert den GNSS Markt nach Produkten, die einerseits direkt GNSS zuordenbar sind wie entsprechende Empfänger, Karten, Navigationssoftware (linke Säule beim jeweiligen Jahr) und andererseits den erweiterten Markt, der z.B. auch den vollen Verkaufspreis der GNSS Mobiltelefone enthält.

Es ist auch interessant, bei den direkt GNSS zuordenbaren Produkten die Verteilung der Marktsegmente zu studieren. Umgelegt auf 100% entfallen nur 0.2% auf die Luftfahrt, 0.6% auf die Landwirtschaft, 42.8% auf location-based Services, 56.4% auf straßenbezogene Anwendungen. Das erwartete Wachstum im Zeitraum von 2008 bis 2020 liegt bei 11% jährlich!

Schließlich gibt Abbildung 7 eine Prognose über die verkauften Geräte, die einen GNSS-Bezug haben. Die Säulen unterscheiden zwischen der Europäischen Union, Nordamerika und dem Rest der Welt. Besonders der Vergleich zwischen der Europäischen Union und Nordamerika ist interessant. In Nordamerika ist der jährlich Bedarf wesentlich höher als in Europa, allerdings das Wachstum wesentlich geringer als in Europa.

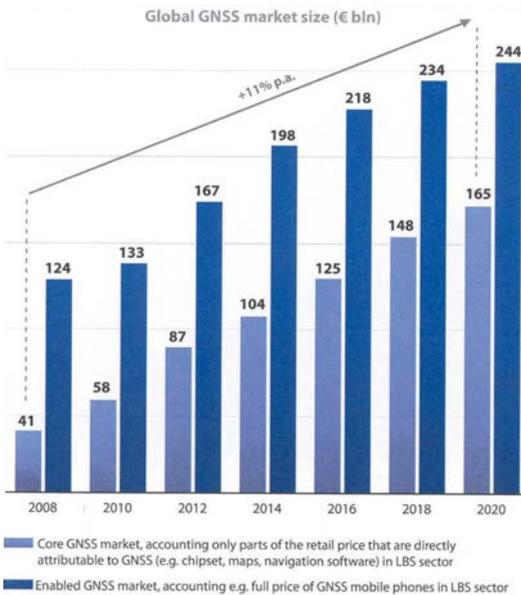


Abb. 6: Erwartetes GNSS Wachstum (Angaben in Milliarden Euro) aus dem GNSS Market Report der European GNSS Agency

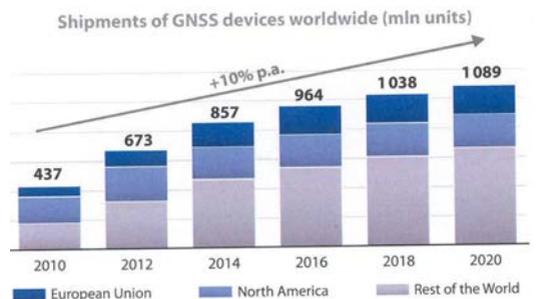


Abb. 7: Prognose für verkaufte Geräte mit GNSS-Bezug (in Millionen) aus dem GNSS Market Report der European GNSS Agency

## 5. Zusammenfassung

Die weltweiten GNSS-Aktivitäten gleichen einem Wettlauf um Marktanteile. Wer jetzt nicht mitmacht, kommt wohl auch später nicht mehr zum Zug. Europa ist mit Galileo einer der aussichtsreichen Mitbewerber neben den USA mit GPS, Russland mit GLONASS und China mit COMPASS. Auch andere Staaten wie Indien und Japan sind zumindest regional beteiligt. „Galileo – wo bist du?“ lautete die Titelfrage. Trotz der enormen Verzögerungen ist Europa mit Galileo noch im Rennen. Wie wichtig ein eigenständiges System ist, zeigt nicht nur die Notwendigkeit der Kombination von mehreren Satellitennavigationssystemen, um auch im verbauten Gebiet oder im stark alpinen Gelände noch Positionen mit ausreichender Genauigkeit bestimmen zu können, sondern auch die Marktanalyse der European GNSS Agency, die für die kommenden Jahre einen riesigen GNSS-Wirtschaftsfaktor prognostiziert.

### Literaturverzeichnis

- [1] Hofmann-Wellenhof B, Lichtenegger H, Wasle E (2008): GNSS – GPS, GLONASS, Galileo & more. Springer, Wien New York.
- [2] Hofmann-Wellenhof B, Legat K, Wieser M (2003): Navigation – principles of positioning and guidance. Springer, Wien New York.
- [3] European Space Agency (2005): EGNOS news, 5(2). Verfügbar unter [www.egnos-pro.esa.int/newsletter](http://www.egnos-pro.esa.int/newsletter)

[4] Bauer M (2011): Vermessung und Ortung mit Satelliten – Globale Navigationssatellitensysteme (GNSS) und andere satellitengestützte Navigationssysteme, 6. Auflage. Wichmann, Karlsruhe.

[5] European GNSS Agency (2010): GNSS Market Report. Verfügbar unter [www.gsa.europa.eu](http://www.gsa.europa.eu)

### Anschrift des Autors

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Dr.h.c.mult. Bernhard Hofmann-Wellenhof, Institut für Navigation, Technische Universität Graz, Steyrergasse 30, A-8010 Graz.  
E-mail: [hofmann-wellenhof@tugraz.at](mailto:hofmann-wellenhof@tugraz.at)

### Vortragender

**o.Univ.-Prof. Dr. Bernhard Hofmann-Wellenhof**

1976 Geodäsie an der TU Graz

1978 Promotion an der TU Graz

1983 Habilitation an der TU Graz

1986 Universitätsprofessor an der TU Graz

2011 Vizerektor für Lehre an der TU Graz

### Auszeichnungen:

Doctor honoris causa (Dr. h.c.) der Todor Kableschkov Higher School of Transport, Sofia, Bulgarien (2005)

Mitglied der Österreichischen Geodätischen Kommission (2007)

Doctor honoris causa (Dr. h.c.) der Budapest University of Technology and Economics, Budapest, Ungarn (2009) 



## Aktuelle Technologien zur Positionsbestimmung in Gebäuden

*Rainer Mautz, Zürich*

### Kurzfassung

Globale, satellitengestützte Positionssysteme haben durch ihre Leistungsfähigkeit im Außenraum weite Anwendungsfelder für Massenmärkte in Navigation, Tracking und Vermessung gefunden. Die fehlende Performanz dieser Systeme im Innenraum wird immer stärker als Mangel erkannt, da ein Großteil der Anwendungen erst dann ermöglicht wird, wenn die Funktionalität übergangslos auch innerhalb von Gebäuden gewährleistet ist. Je nach Anwendung unterscheiden sich die Anforderungen an die Innenraumpositionierung bezüglich Genauigkeit, Abdeckung, Kosten und vielen weiteren Leistungsparametern sehr stark. Der Diversität der Anforderungen steht eine Vielfalt von Lösungsansätzen gegenüber, die verdeutlicht, dass sich keine umfassende Einzellösung der Aufgabe abzeichnet. Im Vortrag werden die einzelnen Technologien zur Innenraumpositionierung kategorisiert, charakterisiert und in ihrer Leistung quantifiziert.

---

### Vortragender

#### **Dr. Rainer Mautz**

- geb. 1969 Wiesbaden, Deutschland
- 1991–1996 Studium des Vermessungswesens an der Technischen Hochschule in Darmstadt
- 1998–2002 Promotion, Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Institut für Geodäsie und Geoinformationstechnik an der Technischen Universität Berlin
- 2002–2003 Gastwissenschaftler (Feodor-Lynen Stipendiat der Alexander von Humboldt Stiftung), Department of Civil and Environmental Engineering and Geodetic Science, Ohio State University, USA
- 2004–2006 Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Centre for Engineering Geomatics, Imperial College, London, England
- seit 2006 Oberassistent, Dozent, Fachgebiet Ingenieurgeodäsie und Geodätische Messtechnik, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, Schweiz

## Terrestrisches Laser Scanning in den Alpen mit dem RIEGL VZ-4000 – für Geländeerfassung, Hangrutschungsüberwachung und Gletschermonitoring



Thomas Gaisecker, Martin Pfennigbauer, Christian Sevcik, Nikolaus Studnicka, Horn

### Kurzfassung

Seit Jahren sind Laserscanner in der Landvermessung etabliert. Um sie auch für die Geländeerfassung und -überwachung im alpinen Raum effizient einsetzen zu können, sind vor allem hohe Reichweiten und Messraten erforderlich. Mit dem neu entwickelten terrestrischen Laserscanner RIEGL VZ-4000 steht nun erstmalig ein Messgerät zur Verfügung, das diese Kriterien erfüllt und dabei auch noch einen augensicheren Laser nutzt. Der Scanner weist eine Reichweite von vier Kilometer und eine Messrate von bis zu 147.000 Messungen pro Sekunde auf. Die Integration von GPS-Empfänger, Kompass und Neigungssensoren ermöglicht die Registrierung der Scandaten ohne den Einsatz künstlicher Zielmarken, was Planung und Durchführung von Feldeinsätzen signifikant erleichtert. Das Einfärben der erzeugten Punktwolke erfolgt mittels der eingebauten kalibrierten Kamera.

Dieser Beitrag beschäftigt sich mit der zugrundeliegenden Messtechnik, wie der Digitalisierung der Echosignale und dem dadurch ermöglichten „Online Waveform Processing“. Dieses Verfahren bietet dem Anwender neben einer höheren Genauigkeit auch die Möglichkeit der Mehrzielfähigkeit, was die Durchdringung von Vegetation erlaubt. Weiters wird neben der kalibrierten Amplitude mit dem Reflexionsgrad eine entfernungsabhängige Eigenschaft der Zielobjekte bestimmt.

Wir diskutieren das Potential von digitalisierenden Laserscannern für verschiedene Vermessungsaufgaben und geben einen Ausblick auf zukünftige Weiterentwicklungen dieser Geräteserie.

**Schlüsselwörter:** Terrestrisches Laserscanning, Mehrzielfähigkeit, Multiple Time Around, Monitoring, Terrainfilter

### Abstract

Laser scanners have been well established in surveying applications since several years. For the realization of efficient surveying and monitoring missions in alpine regions long range instruments with high scanning rates are obligatory.

With the new RIEGL VZ-4000 there is a laser scanner available fully satisfying these requirements using an eye safe laser. The scanner is capable of up to 4,000 m range and 147,000 measurements per second. On-board inclination sensors, integrated compass and GPS receiver with antenna allow for scan data registration without the use of artificial reflective targets, thus reducing the expense for field missions significantly. A built-in calibrated digital camera provides additional information required for true colour representation of the scandata.

This article gives an insight into the applied state-of-the-art measuring technique, like echo digitization and online waveform processing, which result in an increased accuracy as well as an excellent multi target capability for high penetration of obstructions (e.g. vegetation). Furthermore additional attributes of the targets like calibrated amplitude and reflectance can be derived.

We will discuss the potential of digitizing laser scanners for various surveying applications and provide an outlook to further developments such as measuring on snow and ice.

**Keywords:** Long range terrestrial laser scanning, multiple target, multiple time around, monitoring, bare earth filter

### 1. Das Messsystem RIEGL VZ-4000

Konventionelle terrestrische Laserscanner liefern mit hoher Taktrate Messdaten, die aus vielen einzelnen Entfernungs- und Winkelmessungen bestehen. Jede Einzelmessung liefert mindestens einen diskreten Messpunkt im dreidimensionalen Raum. Mit einer modernen digitalen Signalverarbeitung, wie sie RIEGL mit der V-Serie

verwirklicht hat, können nun neben der echten Mehrzielfähigkeit noch zusätzliche Informationen gewonnen werden, wie kalibrierte Messung des relativen Reflexionsgrades der Zieloberfläche und ein Maß für die Güte des empfangenen Laserimpulses. Vollkommen neu für terrestrische Laserscanner ist die Möglichkeit, über den durch die Lichtgeschwindigkeit und die Laserpulswiederholrate gegebenen Eindeutigkeitsbereich



Abb. 1: RIEGL VZ-4000

Messbereich	5 – 4000 m / Zielreflektivität 90% 5 – 2300 m / Zielreflektivität 20%
Messgenauigkeit	15 mm
Wiederholbarkeit	10 mm
Mehrzielfähigkeit	ja
Messrate	bis zu 147.000 Messungen/Sekunde
Scanbereich	-30° bis +30° vertikal 0° bis +360° horizontal
Laserklasse	Klasse 1, nahes Infrarot
Abmessungen / Gewicht	ca. 236 × 226,5 × 450 mm / 14,5kg

Tabelle 1: Spezifikation RIEGL VZ-4000

hinaus messen zu können. Diese Eigenschaft in Kombination mit größeren Optiken und stärkeren Lasern ermöglicht Reichweiten, die mit kommerziell verfügbaren und augensicheren Geräten bisher noch nicht möglich waren.

Im Folgenden soll das Messsystem und die dabei realisierten Techniken näher beschrieben werden. Die wichtigsten Kenndaten des RIEGL VZ-4000 (Abbildung 1) sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Um die angegebenen Spezifikationen realisieren zu können, verfügt das System über eine spezielle Anordnung der Sende- und Empfangsoptik. Es handelt sich dabei um einen biaxialen Aufbau, der sich vor allem durch eine ausgezeichnete optische Isolation von Sende- und Empfangskanal auszeichnet. Dadurch wird ein Übersprechen des Signals weitgehend verhindert, was entscheidend für die Qualität der Messungen ist.

Trotz Einsatz eines gegenüber anderen Geräten stärkeren Lasers erfüllt das System die Bedingungen der Augensicherheit und kann als Gerät der Laserklasse 1 eingestuft werden. Achsparallel zur Empfangsoptik wurde bei diesem System eine Kamera verbaut, die eine Auflösung von 5 Megapixel bei einem Field of View von 7,2°x5,5° liefert. Das Einzelbild wird mit einer automatischen Belichtungssteuerung über den Ablenkspiegel aufgenommen. Für größere Bereiche werden die Einzelbilder zusammengesetzt.

Der Zugriff auf alle Gerätefunktionen erfolgt über einen Touchscreen. Zusätzlich stehen noch die von den V-Line Geräten bekannten Steuerungsmöglichkeiten über Laptop oder mobiles Endgerät zur Verfügung.

Der RIEGL VZ-4000 ist bereits in der Basisconfiguration mit zusätzlichen Sensoren, die eine reflektorlose Registrierung ermöglichen, ausgestattet. Der eingebaute L1 GPS Receiver liefert WGS84-Koordinaten mit einer Genauigkeit von wenigen Metern. Die hochpräzisen Neigungssensoren mit Genauigkeiten von +/- 0.008° garantieren die automatische Nivellierung des Scanners. Letztendlich liefert ein eingebauter magnetischer Kompass die Nordrichtung mit einer maximalen Abweichung von lediglich 0,5°. Die Deklination, also die Abweichung von magnetisch Nord zu geographisch Nord wird ebenfalls berücksichtigt. Diese weltweit unterschiedlichen Abweichungen sind im Scanner als Isogonentabellen abgespeichert und unter Heranziehung der GPS-Koordinaten wird der lokale Korrekturwert angewendet. Somit liegt bereits vollautomatisch eine grobe Registrierung der Scandaten im WGS84 Koordinatensystem vor. Auch ein externer GPS-Receiver kann in das System integriert werden. Hierfür wird die GPS-Antenne des internen Receivers abgenommen und durch den externen GPS-Empfänger ersetzt. Die RTK-Daten des externen GPS-Receiver werden über die integrierte NMEA-Schnittstelle, die hinsichtlich der verschiedenen GPS-Hersteller konfigurierbar ist, eingelesen. Somit ist die Lage des Scanners in einem beliebigen Benutzer-Koordinatensystem bestimmbar.

## 2. Messtechnik

Konventionelle terrestrische Laserscanner liefern Punktwolken, die aus vielen einzelnen Entfernungs- und Winkelmessungen bestehen. Neben Zusatzinformationen wie der Echostärke liefert jede Einzelmessung im Allgemeinen genau einen diskreten Messpunkt im dreidimen-

sionalen Raum. Diese Laserscanner arbeiten mit analoger Signalverarbeitung. RIEGL hat mit der Einführung der V-Line Geräteserie auf die moderne digitale Signalverarbeitung umgestellt. Auf diese neue Technik und den damit verbundenen Vorteilen für den Anwender wird in den folgenden Kapiteln detailliert eingegangen.

### 2.1. Prinzip der Echodigitalisierung

Die erste Zeile des in Abbildung 2 dargestellten Diagramms stellt den Verlauf des analogen Echosignals dar. Der erste Impuls auf der linken Seite beschreibt den Sendepuls, also den Start der Entfernungsmessung. Alle weiteren Impulse beschreiben die verschiedenen Reflexionen eines einzelnen ausgesendeten Laserimpulses an einem oder mehreren Zielobjekten. Der zeitliche Abstand eines Empfangsimpulses in Bezug auf den Sendepuls korrespondiert über die Lichtgeschwindigkeit mit der Entfernung des Scanners zum jeweiligen Objekt. Der letzte Impuls auf der rechten Seite beschreibt die Reflexion des am weitesten entfernten Objekts, welches ein hinreichend großes Signal im Empfänger liefert. Das analoge Signal wird in konstanten Zeitintervallen abgetastet (mittlere Zeile) und danach Analog/Digital konvertiert. Der resultierende digitale Datenstrom ist in der untersten Zeile dargestellt. Aus diesem digitalen Datenstrom werden in Echtzeit mittels „Online Waveform Processing“ die Zielentfernungen ermittelt.

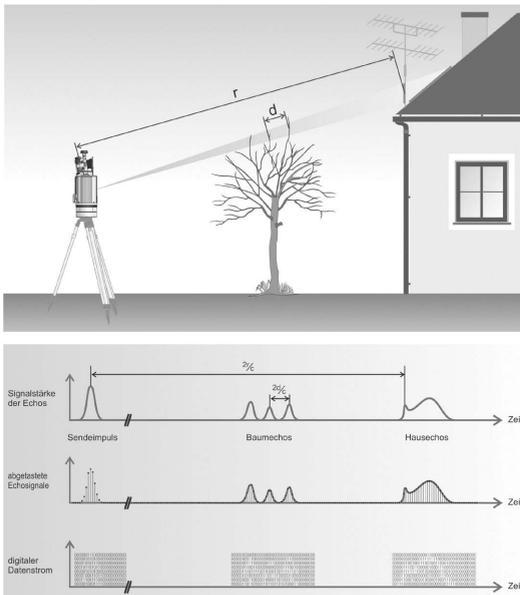


Abb. 2: Prinzip der Echodigitalisierung

### 2.2. Mehrzielfähigkeit und Messqualität

Aus den digitalen Abtastwerten werden bereits im Scanner selbst durch Anwendung von speziell für diese Aufgabe entwickelten und optimierten Algorithmen die Zielinformationen extrahiert. Zu jedem Ziel kann die Zielentfernung, die optische Echoamplitude, der relative Reflexionsgrad des Ziels, die Zielklassifizierung („single target“, „first target“, „last target“ und „other target“) und die Messqualität des Zieles als Messattribut der weiteren Nachverarbeitung zur Verfügung gestellt werden.

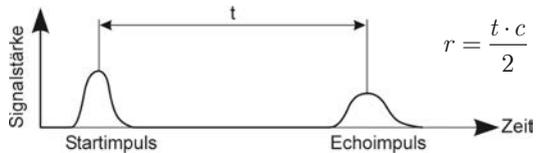


Abb. 3: Prinzip der Laufzeitmessung

Die zeitliche Position des Echoimpulses im Bezug zum Sendepuls  $t$  ergibt über die Lichtgeschwindigkeit im Medium  $c$  die absolute Objektentfernung  $r$  zum Ursprung des Laserscanners. Der zeitliche Abstand zwischen zwei Echoimpulsen repräsentiert die Distanz  $d$  zwischen zwei Zielobjekten. Die minimal messbare Distanz zwischen zwei tiefengestaffelten Zielen wird Mehrzielauflösung genannt. Je höher die Mehrzielauflösung ist, desto näher zusammenliegende Ziele können unterschieden werden.

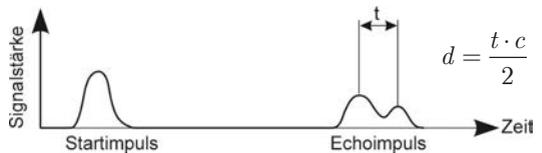


Abb. 4: Mehrzielauflösung

Die Mehrzielauflösung stößt an ihre Grenzen, wenn der zeitliche Abstand der Echos von unterschiedlichen getroffenen Zielen nicht deutlich größer als die Dauer der vom Laser abgegebenen Pulse ist. Dies tritt auf, wenn nahe beieinander liegende diskrete Ziele oder „tiefe“ Ziele, wie beispielsweise Objekte mit einer hohen Rauigkeit, Dunst, Nebel oder Staub getroffen werden. In diesem Fall ist die Messung mit einer hohen Unsicherheit behaftet, was vom Gerät erkannt wird und mit einem erhöhten Wert des Attributs „Deviation“ dem Messergebnis beigefügt wird.

### 2.3. Multiple Time Around (MTA)

Die hier besprochene Messtechnik ist in dieser Form in allen RIEGL V-Line Geräten realisiert.

Der RIEGL VZ-4000 ermöglicht sehr hohe Messraten bei gleichzeitig hoher Reichweite. Genau diese Eigenschaft kann zu Mehrdeutigkeiten bei der Distanzbestimmung führen. Wird ein Laserpuls ausgesandt, dessen Laufzeit zum Ziel und zurück zum Empfänger länger ist als das Pulsrepetitionsintervall (= 1/Pulsrepetitionsrate) sprechen wir von „Multiple Time Around“-Echos. Es sind dabei mehrere Laserpulse gleichzeitig auf dem Weg, und empfangene Echos können nicht mehr eindeutig ihrem ursächlichen Laserpuls zugeordnet werden.

Solange ein emittierter Laserpuls stets zu einem unmittelbar folgenden zugehörigen Echo führt, ist die Messdistanz kleiner als der Eindeutigkeitsbereich. Die Größe des Eindeutigkeitsbereiches ist durch die Lichtgeschwindigkeit und das Pulsrepetitionsintervall gegeben.

Bei einer Zielentfernung von 4000m entspricht dies einer max. Pulsrepetitionsrate von 37.500 Messungen pro Sekunde. Der RIEGL VZ-4000 misst allerdings selbst auf dieser hohen Entfernung noch mit 50kHz. Dadurch sind mehrere Laserpulse gleichzeitig unterwegs und der Echopuls kann nicht mehr eindeutig einem Sendepuls zugeordnet werden.

Abhängig von der gewählten Messrate lässt sich der Entfernungsmessbereich in Zonen, innerhalb derer sich der Echopuls eindeutig dem Sendepuls zuordnen lässt, einteilen (MTA-Zonen). Der RIEGL VZ-4000 hat bei einer Messrate

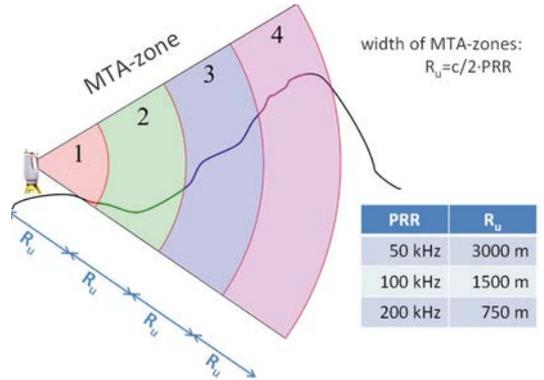


Abb. 5: MTA-Zonen

von 200kHz eine max. Reichweite von 2400m. Dadurch ist bei diesem Messprogramm eine Einteilung in 4 MTA-Zonen à 750m erforderlich (Abbildung 5). Um die korrekte Zone zu bestimmen, werden Blöcke zeitlich aufeinanderfolgender Messungen bezüglich ihrer Entfernungsvariationen in den verschiedenen MTA-Zonen mit eigens dafür entwickelten Algorithmen untersucht und letztendlich automatisch der korrekten MTA-Zone zugewiesen (Abbildung 6).

**2.4. Aufnahmestrategie – Registrierung ohne Zielmarken**

Gerade bei den hohen Reichweiten, die der RIEGL VZ-4000 ermöglicht, stellt sich die Frage der korrekten Registrierung der Scandaten. Aus

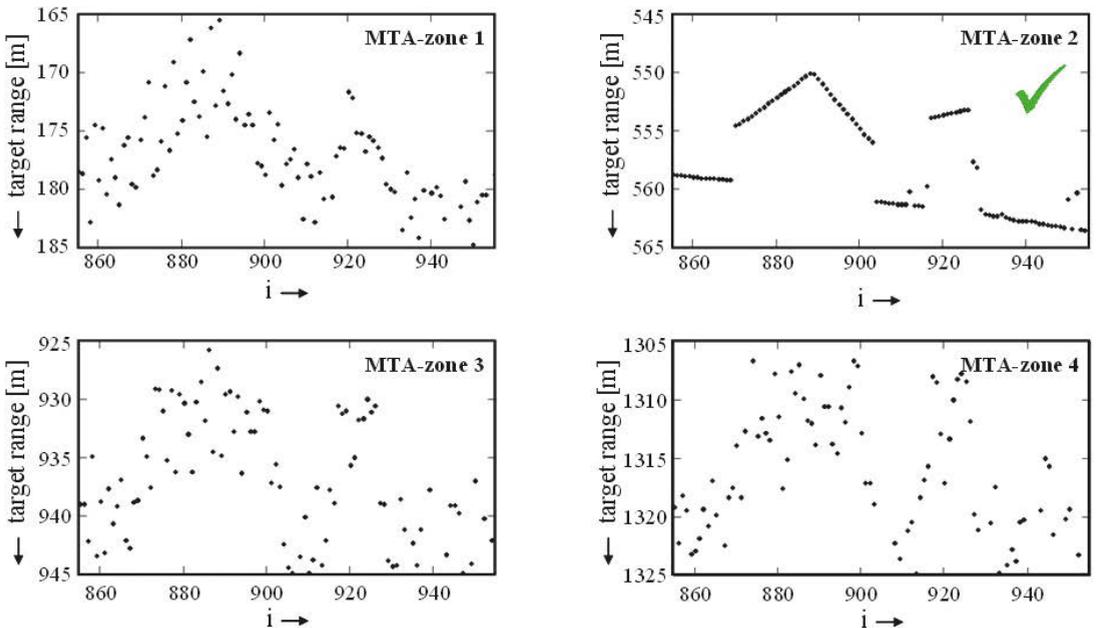


Abb. 6: Entfernungsvariationen in verschiedenen MTA-Zonen

vermessungstechnischer Sicht ist ein „stabiles“ Reflektornetz gefordert. D.h. die Messmarken müssen über das gesamte Untersuchungsgebiet gleichmäßig verteilt sein (siehe Abbildung 7). Eine Extrapolation aus diesem Messfeld führt unweigerlich zu beträchtlichen Klaffungen in den Scandaten. Daher scheint der Weg über Reflektormarken bei diesen Entfernungen nicht zielführend.

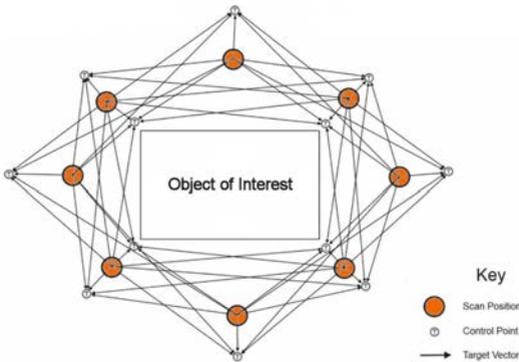


Abb. 7: Registrierung der Scandaten via Messmarken

Anstelle von Reflektoren/Messmarken bietet sich hier die Einbeziehung der gescannten Oberfläche selbst in die Registrierung an. Das RIEGL Software-Modul Multi Station Adjustment (MSA) verwendet hierfür einen modifizierten ICP-Algorithmus (Iterative Closest Point Algorithm). Diese Berechnung beruht auf der Auswertung der Lage korrespondierender ebener Flächen (Abbildung 8).

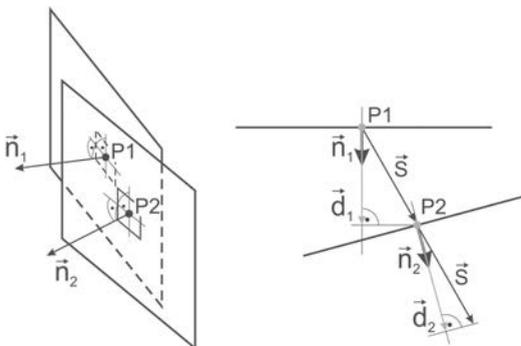


Abb. 8: Ebenen werden durch ihre Position und ihren Normalenvektor charakterisiert

In den Überlappungsbereichen unabhängig aufgenommener Scan-Positionen werden in den jeweiligen Punktwolken Teilbereiche gesucht, die durch eine Fläche gut angenähert werden können. Aus diesen Bereichen werden Ebenen-

Stücke bestimmt und durch Mittelpunkt  $P_i$ , Normalvektor  $n_i$  und Ausdehnung charakterisiert. Im nächsten Schritt werden zu den  $N$  Flächen, die in einer Punktwolke aufgefunden wurden, die korrespondierenden Flächen in den übrigen Punktwolken gesucht. Die Information über die Lage einzelner, in verschiedenen Punktwolken aufgefunderer, korrespondierender Ebenen bildet die Ausgangsbasis für die folgende Ausgleichsrechnung. Diese basiert auf der iterativen Änderung der Position und der Rotation um alle 3 Achsen jeder einzelnen Scan-Position, bis der mittlere quadratische Normalabstand (siehe Formeln) sämtlicher korrespondierender Flächen ein Minimum erreicht hat.

$$d_1 = (\vec{P}_2 - \vec{P}_1) \cdot \vec{n}_1$$

$$d_2 = (\vec{P}_2 - \vec{P}_1) \cdot \vec{n}_2$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \left( \frac{d_1 + d_2}{2} \right)^2}{N}}$$

Die Eingangsgenauigkeit der Position (= GPS-Genauigkeit) wird ebenfalls berücksichtigt. Jede Scan-Position darf nicht weiter als die angegebene GPS-Genauigkeit bewegt werden. Diese Methode der Registrierung gewährleistet ein stabiles Netz (Scan-Positionen, überlappende Scanbereiche), das eine exakte Registrierung der Scandaten im gesamten Untersuchungsgebiet gewährleistet.

Neben dem wichtigsten Indikator für eine korrekte Registrierung, nämlich der Standardabweichung, liefert MSA auch ein Histogramm der Restklaffungen der Flächen, sowie einen Polarplot, der Auskunft über die Orientierungen der für die Ausgleichsrechnung benutzen Flächen gibt. Eine kleine Standardabweichung unter Berücksichtigung möglichst vieler Flächen, sowie eine annähernd symmetrische Verteilung der Restklaffungen der Ebenen bei gleichzeitiger hoher Variabilität der Flächen-Orientierungen, sind Indikatoren für eine exakte und robuste Registrierung (siehe Abbildung 9). Rahmenbedingung für diese Art der Registrierung sind mindestens drei unabhängige Scan-Positionen, sowie genug Überlappungsbereiche in den Scandaten.

### 3. Praktische Anwendungsbeispiele

Die hohen Messdistanzen prädestinieren das System für den Einsatz in Gebieten mit beschränkter Zugänglichkeit wie beispielsweise Tagebau oder Hangrutschungen im alpinen Gelände. Im Tagebau finden diese Geräte hauptsächlich Anwendung zur Bestimmung der Abbauvolumina. Dazu wird in bestimmten Zeitintervallen der Minenbe-

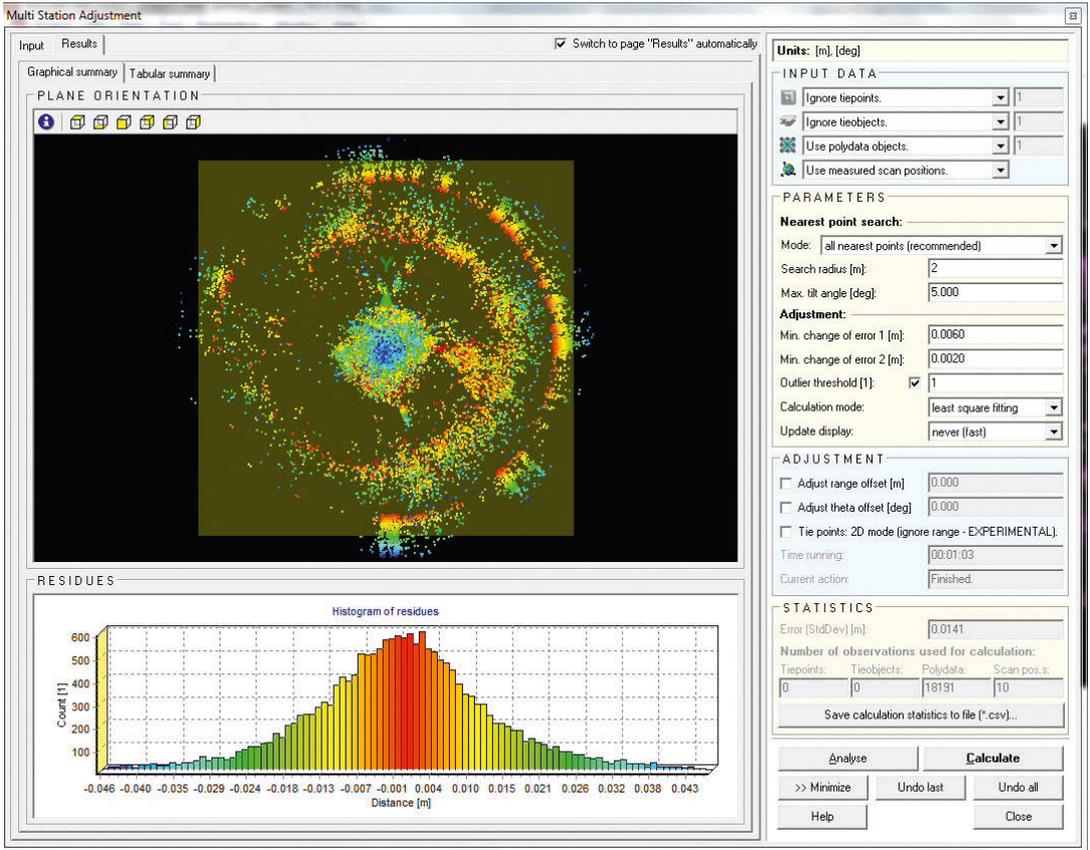


Abb. 9: MultiStation Adjustment – Residuenplot

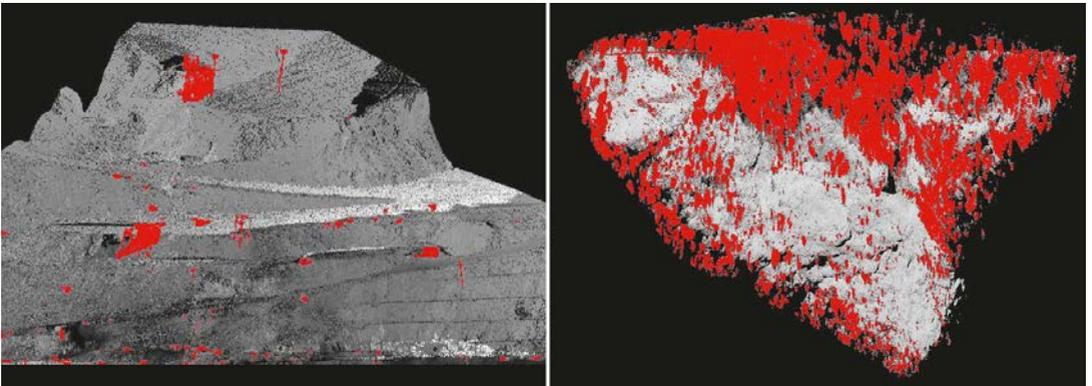


Abb. 10: automatische Filterergebnisse: links Abbaumaschinen im Tagebau, rechts Vegetation im alpinen Gelände

reich gescannt. Aus der Punktwolke werden mittels automatischer Filtermethoden künstliche Objekte (Abbaumaschinen, Freileitungen, ...) entfernt, sodass aus den übrigen Bodenpunkten ein Geländemodell gerechnet werden kann. Mit derselben Methode lässt sich durch Variation der Filterparameter die Vegetation in bewaldeten Gebieten sehr effektiv selektieren. Der

hierarchisch arbeitende Filter nähert dabei das Geländemodell vom Groben ins Feine an und untersucht dabei die Abweichungen der einzelnen Laserpunkte von einer dynamisch generierten Ausgleichsfläche. Der Filter liefert eine Selektion aller Nicht-Bodenpunkte, sodass die Geländepunkte von der gesamten Punktwolke sehr leicht separiert werden können.

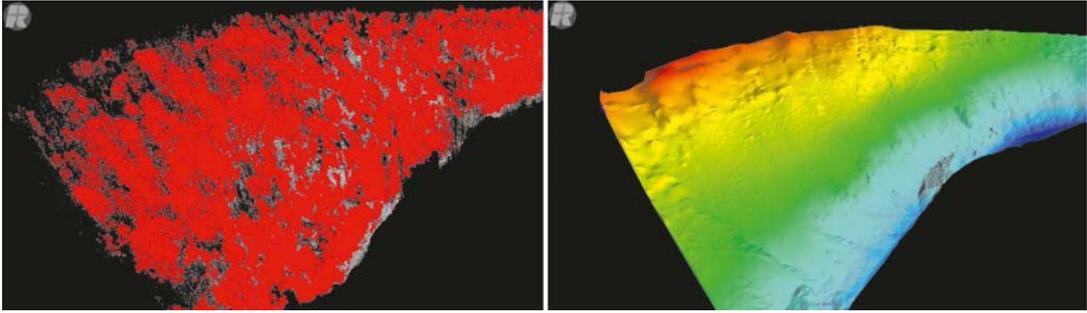


Abb. 11: Filterung der Vegetation und trianguliertes Geländemodell

Aus den Bodenpunkten wird anschließend mittels Triangulation ein Geländemodell gerechnet. Dieses kann - je nach eingesetzter Minenplanungssoftware - direkt als Dreiecksnetz oder in Form von extrahierten Bruchkanten an die Software übergeben werden.

Aus den Geländemodellen unterschiedlicher Aufnahmen kann dann ein Differenzmodell gebildet werden, anhand dessen die Abbauveränderungen feststellbar sind.

Ein spezieller Anwendungsbereich ist die Überwachung von Rutschhängen oder instabilen Geländeformen. Dabei ist es notwendig, dass das Scansystem kontinuierlich oder in definierten Intervallen Messdaten liefert. Mittels der speziell für diesen Einsatzzweck entwickelten Software RiMONITOR können diese Daten in Echtzeit ausgewertet und mit einer Referenzmessung oder einem Referenzmodell verglichen werden. Dabei wird der Scanner außerhalb des Gefahrenbereichs positioniert und mit einer Rechenstation gekoppelt. Stellt das System Abweichungen zu

den Referenzdaten fest, löst dies ein Alarmsignal aus, welches beispielsweise in Form von SMS oder e-mail weitergegeben wird. Aufgrund der wiederholten Messungen und der dadurch mehrfach redundanten Information, können mittels statistischer Methoden bereits kleinste Änderungen in der Geometrie des überwachten Objekts zuverlässig detektiert werden.

#### 4. Ausblick

Die Weiterentwicklung dieser Geräteserie sieht eine Modellvariante für Messungen auf schneebedeckten Oberflächen vor. Die Wellenlänge des Gerätes wird auf das Reflexionsverhalten von Schnee und Eis angepasst, sodass sich dieses Gerät speziell für Anwendungen wie beispielsweise Gletschermonitoring oder Untersuchungen an Lawinhängen empfiehlt.

#### Literaturverzeichnis

- [1] Gaisecker, T. (2010): Die Laserscanner der neuen RIEGL V-Line@: Höhere Datenqualität durch Einsatz neuer Technologien, Flexibilität im Feld durch Integra-

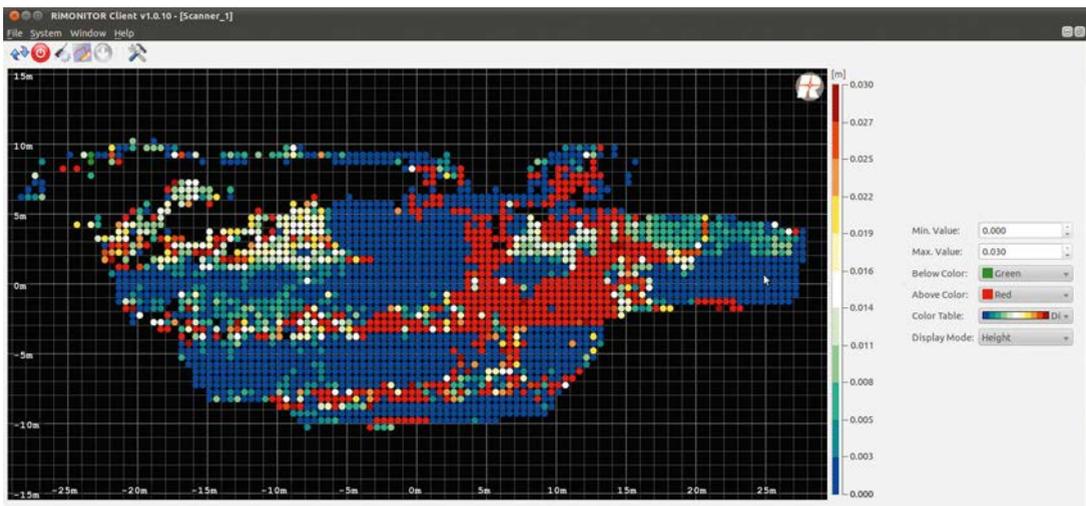


Abb. 12: RiMONITOR Client

tion zusätzlicher Sensoren, 11. Geokinematischer Tag Freiberg, 2010.

- [2] *Gaisecker, T., Pfennigbauer, M., Studnicka, N. (2009): Die Laserscanner der neuen V-Serie von RIEGL: Höhere Datenqualität durch Einsatz neuer Messmethoden, 15. Internationale Geodätische Woche Oberurgl, 2009.*
- [3] *Studnicka, N., Ullrich, A. (2008): Echosignaldigitalisierung und Full-Waveform Processing für terrestrisches Laser Scanning, Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2008, Wichmann.*
- [4] *Rieger P., Ullrich, A., (2011): Resolving range ambiguities in high repetition rate airborne LIDAR applications, Proc. SPIE 8186A, 8186A-9.*
- [5] *Pfennigbauer, M., Ullrich, A. (2010): Improving quality of laser scanning data acquisition through calibrated amplitude and pulse deviation measurement, Proc. SPIE 7684, 7684-53.*
- [6] *RiMONITOR Datenblatt, RIEGL Laser Measurement Systems GmbH. Technische Daten auf [ww.riegl.com](http://www.riegl.com), 2012.*

#### **Anschrift der Autoren**

**Mag. Thomas Gaisecker**, Senior Manager International Sales, RIEGL Laser Measurement Systems GmbH, Riedenburgstraße 48, A-3580 Horn.  
E-mail: [tgaisecker@riegl.com](mailto:tgaisecker@riegl.com)

**Dr. Martin Pfennigbauer**, Director Research & Intellectual Property, RIEGL Laser Measurement Systems GmbH, Riedenburgstraße 48, A-3580 Horn.  
E-mail: [mpfennigbauer@riegl.com](mailto:mpfennigbauer@riegl.com)

**Dipl.-Ing. Christian Sevcik**, Software Application Engineer International Sales, RIEGL Laser Measurement Systems GmbH, Riedenburgstraße 48, A-3580 Horn.  
E-mail: [csevcik@riegl.com](mailto:csevcik@riegl.com)

**Dipl.-Ing. Nikolaus Studnicka**, Manager Business Development, RIEGL Laser Measurement Systems GmbH, Riedenburgstraße 48, A-3580 Horn.  
E-mail: [nstudnicka@riegl.com](mailto:nstudnicka@riegl.com)

---

#### **Vortragender**

##### **Dipl.-Ing. Christian Sevcik**

- 1999–2000 Freier Mitarbeiter am Institut für digitale Bildverarbeitung der Forschungsgesellschaft Joanneum Research, Graz
- 2000 Abschluß des Diplomstudiums Vermessung und Geoinformation an der Technischen Universität Graz
- 2001–2008 Projektmanager Photogrammetrie und Laserscanning, GeoDATA Informationstechnologie GmbH
- 2008–2010 Client Support Manager, MET GeoInfo GmbH
- seit 2011 Software Application Engineer, International Sales, RIEGL Laser Measurement Systems GmbH

# Moderne Kartographie – Technologische Entwicklungen und Implikationen<sup>1</sup>



*Georg Gartner, Manuela Schmidt, Wien*

## Kurzfassung

In diesem Beitrag wird argumentiert, dass die Kartographie als Disziplin vielleicht mehr denn je von technologischen Impulsen und Entwicklungen beeinflusst und vorangetrieben wird. Wesentliche neue Möglichkeiten der Akquisition räumlicher Daten, deren Verarbeitung und Modellierung und schließlich deren Verbreitung stehen zur Verfügung. Im Kontext neuer Technologien ist eine Vielzahl von Anwendungen verfügbar und in Entwicklung, die sich auf Karten bzw. kartographische Ausdrucksformen beziehen und zu einem neuen Bild der Kartographie beitragen. Es wird in diesem Beitrag argumentiert, dass es notwendig ist, die theoretisch-methodischen Fundamente der Kartographie offensiv zu definieren und mit technologischen Entwicklungen zu integrieren. Einige Aspekte technologischer Entwicklungen und kartographischer Implikationen werden im Folgenden in diesem Kontext diskutiert.

**Schlüsselwörter:** Kartographie, Web Mapping, LBS, NeoGeography

## Abstract

In this contribution it is argued, that cartography as discipline may be more than ever affected and advanced by technological innovations and developments. In the context of new technologies there is a great variety of innovative cartographic forms of expression possible and can therefore lead to a new role of cartography. In this article it is argued, that it is necessary to define the theoretical basis of cartography in a way that technological developments can be integrated.

**Keywords:** Cartography, Web Mapping, LBS, NeoGeography.

## 1. Moderne Kartographie – Was ist das?

Karten und kartographische Ausdrucksformen sind in vielerlei Hinsicht zu ungeahnter Popularität aufgestiegen, wenn man die Aufrufe von Karten im Internet oder mobilen Internet zum Maßstab nimmt. Viele Menschen nutzen vor allem durch das Internet öfter und verstärkt Karten (vgl. Peterson 2009). Karten in ihrer Funktion als Schnittstelle zu mächtigen Informationssystemen sowie als Präsentationsform raumbezogener Informationen werden in vielerlei Hinsicht „allgegenwärtig“ angeboten, sei es durch ihre Anwendung auf mobilen Ein- und Ausgabegeräten oder im Internet.

Gleichwohl die Anzahl und die Verwendung von Karten und kartenverwandten Ausdrucksformen also steigt, entstehen viele dieser populären Anwendungen teilweise ohne Einfluss der traditionellen Kartographie und deren Theorie und Methodenlehre. Bei genauerer Betrachtung muss man dieser entstehenden Parallelwelt der

Kartographie als Folge der Verwendung neuer Technologien häufig attestieren, dass der Rahmen der kartographischen Modellbildung meist vordefiniert ist, wenig methodische Spielräume erlaubt und Nutzern bei selbst definierbaren Prozessen keine Hilfestellung hinsichtlich der Einhaltung grundlegender kartographischer Regeln angeboten wird.

Ein Kennzeichen der modernen Kartographie ist also, dass eine Ambivalenz zwischen der Popularität von Anwendungen im Umfeld neuer Technologien und der Rolle der traditionellen Kartographie besteht. Dieser scheinbare Widerspruch lässt sich auflösen, wenn man Karten als Mittel zur Kommunikation von raumbezogenen Informationen begreift, die durch die unterschiedlichen Dimensionen der Kommunikation Platz für eine Bandbreite von unterschiedlichen Möglichkeiten der Abdeckung von Bedürfnissen von Menschen im Kontext kartographischer Kommunikationsprozesse aufweisen. Im Kontext der

<sup>1)</sup> Nachdruck des Artikels „G. Gartner, M. Schmidt: "Moderne Kartographie – Technologische Entwicklungen und Implikationen"; Kartographische Nachrichten, 6 (2010), S. 299–305.“ mit geringfügigen Änderungen.

modernen Kartographie umfasst das deutlich zunehmend den Unterhaltungsaspekt, gleichwohl die Funktion der eigentlichen Informationsvermittlung durch Karten unverändert bedeutsam bleibt. Dadurch kann man zusammenfassend feststellen, dass es neben bestehenden qualitativ hochwertigen kartographischen Produkten eine Zunahme von „quick and dirty“ produzierten kartographischen Ausdrucksformen gibt. Diese weisen häufig andere Nutzungs- und Erstellungsmuster („Wegwerfkarten“) auf und beachten häufig simple kartographische Grundprinzipien (Lesbarkeit, Harmonisierung) nicht.

## 2. Technologische Entwicklungen als Treiber für neue kartographische Anwendungen

Zahlreiche technologische Entwicklungen finden im Kontext raumbezogener Daten statt und haben direkt oder indirekt Auswirkungen auf die Kartographie. Diese umfassen sowohl die Datenakquisition, Datenmodellierung und –verarbeitung als auch die Präsentation durch kartographische Ausdrucksformen sowie deren Verbreitung. So können beispielsweise Datenakquisitionstechnologien wie das LaserScanning, Range Cameras oder hochauflösendere Satellitenbilder genauso Auslöser neuer Entwicklungen und Anwendungen in der Kartographie (wie beispielsweise das „Rapid Mapping“ als das rasche Erstellen von kartographischen Entscheidungshilfen im Falle von Katastrophen) sein wie neue Rahmenbedingungen in der Datenmodellierung durch beispielsweise die Service-oriented Architecture (SOA), das Cloud Computing oder die Möglichkeit in Fast-Echtzeit Daten zu übermitteln (Real-Time Data Streaming).

In weiterer Folge werden ausgewählte Entwicklungen im Bereich der Internet Kartographie, des „Crowd Sourcing“, des Ubiquitous Computing, LBS und Augmented Reality stellvertretend für jene Technologien genannt, die zwar in unterschiedlichem Ausmaß, aber als besonders wichtige „Treiber“ von neuen Anwendungen im Kontext der Kartographie angesehen werden können.

### Internet-Kartographie

Das Internet wird bereits seit Mitte der 1990er Jahre zur Darstellung von Karten verwendet, aber erst die Einführung so genannter Web Mapping Services ab 2005 machte Web Mapping zu einem Massenphänomen.

Schmidt (2009) und Plewe (2007) identifizierten vier Generationen in der Entwicklung des Web Mapping entsprechend ihrer technischen

Rahmenbedingungen. Abbildung 1 bringt diese Generationen in einen zeitlichen Zusammenhang mit der Veröffentlichung wichtiger Mapping-Software und unterstützender Webtechnologien und -standards. Die erste Generation von Internetkarten basierte auf einfachen Webprotokollen, die auf Klick des Nutzers eine statische Karte bereitstellten. Vorreiter war dabei der 1993 von Xerox veröffentlichte PARC Map Viewer. Die zweite Generation der Internetkarten zeichnete sich durch erweiterte Interaktivität und Funktionalitäten aus, die durch Technologien wie DHTML, Java und ActiveX ermöglicht wurden. Viele Anwendungen aus dieser Zeit wurden vom öffentlichen Sektor entwickelt, wie z.B. der Online-Stadtplan ViennaGIS, der seit 1995 eine Adresssuche und Kartendarstellung auf Basis der städtischen Daten ermöglichte. Basis dieser Kartenanwendungen waren meist proprietäre Software-Pakete, wie z.B. Argus MapGuide, Intergraph Geomedia Web und ESRI ArcIMS, oder Open Source-Software, wie der UMN Mapserver.

Ein wichtiger Ausgangspunkt der dritten Generation von Internetkarten sind Google Maps. Als Google Maps im Februar 2005 veröffentlicht wurde, sorgte es mit der Verwendung von asynchronem JavaScript und XML (AJAX) für ein neues Level der Interaktion des Nutzers mit der Karte (Taylor 2005). Statt dem Klick auf Richtungs- oder Zoom-Buttons und langen Wartezeiten für das Neuladen einer Seite, kann der Kartenausschnitt nun mit Klicken und Ziehen der Maus verändert werden; das Scrollrad ist mit Zoom-Funktionen belegt und angrenzend, nicht sichtbare Teile der Karte werden bereits im Hintergrund nachgeladen, so dass Wartezeiten weitgehend eliminiert werden. Die intuitive Navigation in Kombination mit einer übersichtlicheren Benutzeroberfläche führte zu einer wesentlich angenehmeren User Experience als in früheren Generationen von Internetkarten. Dadurch entstand ein Verhalten, das Peterson (2008) den „Google Maps Effekt“ nennt: Nutzer, die an die Handhabung von Google Maps gewöhnt sind, sind nicht mehr bereit, Karten mit weniger intuitiven Formen der Navigation zu verwenden. Das führte schließlich dazu, dass auch andere Anwendungen, z.B. die Open Source UI-Library OpenLayers (<http://www.openlayers.org>), diese Form des Smart Map Browsing (Schütze 2007) übernommen haben.

Neben den durch AJAX ermöglichten einfachen und intuitiven Benutzeroberflächen, zeichnet das Erscheinen von öffentlichen APIs (engl. Application Programming Interfaces, Program-

mierschnittstellen) die dritte Generation von Web Maps aus. APIs ermöglichen den Zugriff auf zentral gelagerte Software und Daten. Anwendungen, die Daten verschiedener Quellen mit Hilfe von APIs kombinieren, werden Mashups genannt. Die Möglichkeit, auf fertig aufbereitete Grundlagendaten in Form von Karten, Satellitenbildern und Straßenansichten zurückzugreifen, ersetzt die kostspielige und aufwändige eigene Datenvorhaltung. Waren für das Aufsetzen und Entwickeln eines Map-Servers noch umfassende Programmier- und Systemkenntnisse vonnöten, so sind APIs einfacher zu handhaben und sprechen daher eine größere Zielgruppe von Entwicklern an, die Geodaten erstellen, teilen und mit verschiedenen Datensätzen kombinieren (Haklay et al. 2008).

Der Erfolg des heutigen Web Mapping ist nach Haklay et al. (2008) auf die Verfügbarkeit einfacher Tools zurückzuführen, die bei Anwendung zu einer angenehmeren und effektiveren User Experience führen. Im Gegensatz zu vorhergehenden Generationen von Web Mapping-Anwendungen motivieren die Interaktionsmöglichkeiten, die Ansprechgeschwindigkeit und die Möglichkeiten, mit neuen Formen der Integration geographischer Information zu experimentieren, viele Entwickler dazu, geographische Informationen zu verwenden. Dabei spielen auch unterschiedliche Lizenzmodelle eine Rolle, die zwischen kostenpflichtig/proprietär, frei/proprietär und frei/Open Source rangieren. So sind viele APIs zwar frei zu benutzen, unterliegen aber den Lizenzbedingungen der Service-Anbieter. Wichtigste Akteure der dritten Generation sind die sog. Neogeographen, die ohne klassische geographische oder kartographische Ausbildung, dafür aber mit guten Computerkenntnissen diverse Tools nutzen, um geographische Inhalte im Web zu erstellen (Erle et al. 2005).

Im Mittelpunkt der vierten Generation von Web Maps stehen digitale Globen, die ein dynamisches, stufenloses Zoomen und Browsen in Satelliten- und Kartendaten ermöglichen. Wichtigster Vertreter dieser Kategorie von Kartenbetrachtungsanwendungen ist Google Earth, eine ursprünglich von Keyhole Inc. und später von Google entwickelte Software, die im Juni 2005 veröffentlicht wurde. Obwohl bereits 2004 eine ähnliche Applikation – NASA World Wind – erhältlich war, schaffte es erst Google Earth zu großer Bekanntheit, u.a. durch breite Medienberichterstattung, die auch allgemein das öffentliche Interesse an Geotechnologien und -anwendungen erhöhte (Scharl 2007). Besonderheit ist neben

der intuitiven Benutzeroberfläche vor allem auch die Möglichkeit, einfach und ohne Programmierkenntnisse selbst Inhalte zu erstellen. So können vor allem auch Privatnutzer von GPS-Geräten ihre Daten schnell visualisieren. Das dafür verwendete Dateiformat KML (Keyhole Markup Language) wurde anfangs nur für Google Earth entwickelt, etablierte sich in der Folge aber auch als Auszeichnungssprache für zweidimensionale Kartenanwendungen und andere 3-dimensionale digitale Globen. Seit April 2008 ist KML vom OGC (Open Geospatial Consortium) als Standard anerkannt (OGC 2008). Neben Google Earth und dem bereits erwähnten NASA World Wind gibt es mittlerweile eine Reihe weiterer virtueller Globen, die sich in der Art des Clients, den Lizenzen und Nutzungsbedingungen sowie ihren technischen Merkmalen unterscheiden (World Wind Central 2009). Zu erwähnen wären beispielsweise Bing Maps 3D, das mit Plugin im Browser läuft, oder ArcGIS Explorer, das als Client für die kommerziellen ESRI-Produkte ArcGIS Server und ArcIMS verwendet werden kann.

Betrachtet man die Entwicklung von der zweiten Generation des WebMapping zu der dritten und vierten Generation, so wird ein eindeutiger Paradigmenwechsel deutlich. Vergleicht man sehr frühe Beispiele der Internetkarten, wie z.B. den PARC Map Viewer, mit heutigen Internetkarten, so fällt auf, dass der hauptsächlichste Unterschied nicht in der Entwicklung grundsätzlich neuer Funktionalitäten zur kartographischen Informationsvermittlung liegt, sondern in dynamischen, interaktiven Benutzeroberflächen, die einfach und intuitiv in der Handhabung sind. Sie bieten außerdem den Nutzern die Möglichkeit, selbst Karten zu erstellen. Sie sind einfacher zu implementieren und stärker skalierbar als frühere Generationen von Internetkarten. Zudem stehen sie zum großen Teil kostenlos oder kostengünstig zur Verfügung. Diese Veränderung in den Werkzeugen und Philosophien wird von einigen Autoren mit dem Begriff Web Mapping 2.0 bezeichnet (Haklay et al 2008; Gartner 2009).

Zurzeit ist eine rasante Entwicklung neuer Trends zu beobachten, die man in weiterer Folge als fünfte Generation bezeichnen könnte. Dabei steht insbesondere die Verbindung von sozialen Netzwerken, offenen Datenquellen und standardisierten Schnittstellen im Vordergrund. In Kombination mit mobilen Ein- und Ausgabegeräten und der Verwendung derer Sensoren (z.B. für die Positionierung) ist die Personalisierung solcher Kartendienste auch im mobilen Gebrauch

von steigender Bedeutung (Haklay et al. 2008; Gartner 2009).

### Neogeography

Der Begriff „Neogeography“ wird zunehmend verwendet, um den kollaborativen Charakter der integrativen Möglichkeiten der modernen Internet Kartographie auszudrücken (Turner 2006). Andere verwenden stattdessen den Begriff „volunteered geographic information (VGI)“, um die Besonderheit der Bereitschaft vieler Nutzer auszudrücken, freiwillig Informationen zur Verfügung zu stellen (Goodchild 2007). Goodchild spezifiziert dabei unterschiedliche Ausprägungen in Abhängigkeit ihrer Komplexität. So gibt es freiwillige Datensammlungen, die vollständig von individuellen Nutzern produzierte einfache Sammlungen von Ortsbeschreibungen, Multimedia-Informationen und Hyperlinks zu den spezifischen Orten (Beispiel: <http://www.wikimapia.com>) darstellen. Im Open Street Map – Projekt werden von vielen freiwilligen Nutzern nicht nur GPS-aufgezeichnete Trajektorien jedermann zur Verfügung gestellt, sondern auch Attributierungen und substantieller technischer Inhalt volontär erarbeitet (<http://www.openstreetmap.org>). Schließlich gibt es Projekte, bei denen Nutzer ihre Informationen mittels einfach zu verwendender vorgefertigter Web 2.0 Schnittstellen zur Verfügung stellen können, wie das beispielsweise in Google Maps oder Google Earth der Fall ist (<http://maps.google.at>). Der kollaborative und soziale Aspekt der „neuen Internet Kartographie“ hat auch zur Anwendung des Begriffes „wikification“ im Zusammenhang mit „mapping“ geführt, in Anlehnung an die von vielen Nutzern gemeinsam („crowd sourcing“) erstellte Enzyklopädie „Wikipedia“ (Sui 2007).

Viele Debatten beziehen sich insbesondere auf die Rolle des Nutzers als Kartenproduzent. Es gibt offensichtlich ein Interesse vieler Nutzer, eigene „private“ Kartendarstellungen zu erstellen und individuelle räumliche Daten zu visualisieren. Eine enorm große Zahl von Nutzern ist willens ohne einen finanziellen Anreiz dafür viel Zeit zu investieren (vgl. Haklay et al. 2008). Abgesehen von der heterogenen Qualität der dabei entstehenden Datensammlungen und Visualisierungen und der Tatsache, dass viele Präsentationen keinerlei kartographischen Standards entsprechen, ist der Trend in Richtung nutzergenerierter Datensammlungen und kartographischer Präsentationsformen signifikant. Es scheint außer Frage, dass daher die traditionelle Kartographie gefordert ist, ihre Standards in ein-

fach zu verwendende und effiziente Werkzeuge zu gießen, um die fehlenden Qualitätsstandards zur Verfügung zu stellen.

Nutzer bringen naturgemäß unterschiedliches Vorwissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten bei der Verwendung räumlicher Daten und Karten mit. Die Frage der Verlässlichkeit und Qualität ist im Kontext von Web 2.0 daher von entscheidender Bedeutung. Eine Information über die Verlässlichkeit der Datenquellen und deren Erzeuger wäre ein wesentlicher Vorteil im Sinne steigenden Nutzervertrauens. Vorhandene Meta-Daten sind möglicherweise für diesen Zweck nicht nützlich. Neue Modelle für das Erreichen und Behalten von Vertrauen müssen getestet und angewandt werden. Im Web 2.0 finden u.a. Modelle Anwendung, bei denen nutzergenerierte „Wertungen“ (rating system) verwendet werden. So bewerten Kunden von „ebay“ andere Kunden, Nutzer von „Facebook“ können unangebrachtes Verhalten anderer Nutzer öffentlich machen und Wikipedia – Inhalte werden bei Zweifeln durch Nutzer und „vertrauenswürdige Nutzer“ editiert. Mechanismen für den Erhalt einer Art „räumlichen Vertrauens“ müssen im Bereich des Web Mapping 2.0 erst entwickelt und angewandt werden. Dabei sind vor allem Regeln erforderlich, die dazu beitragen können, Konflikte aus und zwischen von Nutzer erstellten Datensammlungen und Visualisierungen zu lösen (vgl. <http://wiki.openstreetmap.org/index.php/Disputes>).

Die Gestaltung von Karten im Bereich des WebMapping 2.0 stellt eine große Herausforderung dar. Dies liegt generell an den Limitationen und Restriktionen von Bildschirmen als Ausgabemedium für Karten und speziell an den durch das Internet entstehenden Bedingungen der Nutzung. Kartographen sind erst am Beginn der Erstellung von neuen Gestaltungsrichtlinien für moderne Webkarten, die sowohl der interaktiven Nutzerumgebung gerecht werden als auch eine effiziente Vermittlung raumbezogener Informationen ermöglichen bzw. ästhetischen Gesichtspunkten entsprechen. Internetnutzer sind nicht notwendigerweise mit existierenden kartographischen Prinzipien vertraut. Daher finden sich häufig als Ergebnis nutzerdefinierter kartographischer Präsentationsformen unleserliche oder ungünstig gestaltete Karten. Es besteht in diesem Zusammenhang ein großer Bedarf nach Verbindung kartographischer Gestaltungsrichtlinien mit nutzerdefinierten Möglichkeiten der Nutzung von Web-Karten.

Eine der größten Herausforderungen im Zusammenhang mit Web 2.0 – Anwendungen stellt

zweifelsohne das Thema Datenschutz und Nutzerrechte dar. Viele Befürchtungen drehen sich darum, inwiefern private Daten von kommerziellen und anderen Interessen verwendet und kontrolliert werden können. Offene Projekte müssen daher den Nutzern erlauben, ihre Daten selbst zu kontrollieren. Dennoch bestehen hier potentielle Konflikte zwischen den prinzipiellen Ideen einer kollaborativen Webseite, die dem „Creative Commons Licensing“ (Standard-Internetlizenzverträge, bei denen Autoren der Allgemeinheit diverse Rechte einräumen können) folgt, und den starken Kontrollinteressen des kommerziellen Sektors.

### **Ubiquitous Computing, Sensornetzwerke und Echtzeitkartographie**

Das Internet steht vor einer neuen Entwicklungsstufe, indem es zunehmend auch Bestandteil alltäglicher Gegenstände werden kann. Mithilfe von miniaturisierten Sensoren und Prozessen können auch Alltagsgegenstände in der Lage sein, drahtlos miteinander zu kommunizieren. Der Begriff des pervasive computing (engl.: durchdringend) oder ubiquitous computing (engl.: allgegenwärtig) bezeichnet dabei die „ganzheitliche Integration“ von Informationstechnologie in Lebensräume, Prozesse und Nutzungssituationen.

Schlüsseltechnologien dabei stellen die drahtlose Kommunikation sowie die Mikroelektronik dar, die dazu führen können, dass Informationstechnologie in die Infrastruktur (smart spaces) oder in Alltagsgegenstände (smart things) eingebettet werden kann. Dadurch wird es beispielsweise möglich, Geosensornetzwerke (GSN) zu implementieren, bestehend aus zahlreichen winzigen, elektronischen, kostengünstigen Geräten, die ihre Umgebung überwachen, einfache Rechenschritte ausführen und miteinander kommunizieren können. Derartige Geosensornetzwerke sind zukünftig als automatisierte Datengewinnungsmethoden für verschiedenste Anwendungsfelder interessant (Born et al 2008).

Aus Sicht der Kartographie sind die Veränderungen in der Infrastruktur zur Informationsvermittlung von höchstem Interesse, weil diese der Aufgabe der Kartographie entgegenkommen. Überall verfügbares mobiles Equipment, das über drahtlose Kommunikationsnetze angesprochen werden kann, kann dazu genutzt werden, kartographische Kommunikationsprozesse (z.B. Orientierungsaufgaben) zu unterstützen (Morita 2005). Dabei besteht das Ziel darin, einen in-

teraktiven, in Echtzeit ablaufenden, permanent und überall verfügbaren Prozess anzustreben, der kontextangepasste Informationsvermittlung erlaubt. Damit ist eine maßgeschneiderte Unterstützung bei der Lösung räumlicher Probleme oder Entscheidungen gemeint, die egozentrisch abläuft, d.h. positionsbezogen. Das generelle Ziel der ubiquitären Kartographie kann also wie folgt definiert werden (Morita 2005): Die Befähigung des Nutzers, Karten überall und jederzeit nutzen und erstellen zu können, um raumbezogene Probleme zu lösen. Als gängiges Beispiel kann man ein Navigationsszenario ansehen, bei dem die Umgebung selbst dazu beiträgt, dass ein Nutzer seine Route erkennt und findet.

Echtzeit-Karten nutzen von Sensoren erfasste Daten. Ein typischer Einsatz von Echtzeit-Daten sind Verkehrs- oder Wetterkarten. Die meisten dieser Applikationen sind Mashups, also Anwendungen, die die Echtzeitdaten auf der Basis von bestehenden Web Mapping - Kartendiensten visualisieren. Die Möglichkeit, auch kartographisch anspruchsvollere Anwendungen zu erstellen, demonstrieren Lienert et al. (2010) durch die Visualisierung von hydrographischen Daten in beinahe Echtzeit in einer Applikation in der Schweiz, die demonstriert, dass kartographische Regeln auch im WebMapping und im Zeitalter neuer Technologien anwendbar und sinnvoll einhaltbar sind.

### **Location-based Services**

Im Zusammenhang mit der Verfügbarkeit immer neuer Generationen von mobilen Ein- und Ausgabegeräten (Mobiltelefon, smart phones), der dynamisch expandierenden Telekommunikationsindustrie und der wachsenden Datenübertragungsraten des Mobilfunkes hat insbesondere die Entwicklung von Informationsdiensten bzw. Unterhaltungsdiensten für mobile Geräte aller Art hohe Priorität. Wenn dabei die geographische Position des Gerätes in irgendeiner Form Relevanz für die Informationsvermittlung bzw. -präsentation aufweist, spricht man bei diesbezüglichen Diensten von „Location Based Services“. In diesem Fall können aufgrund der Bestimmung der Position, und damit in der Regel auch des Nutzers, die ermittelten Koordinaten als Variable für die Ermittlung bzw. Präsentation von Informationen verwendet werden. Ersteres ist zutreffend, wenn aufgrund der bestimmten Position eine „Umkreissuche“ nach Objekten bzw. Sachverhalten durchgeführt wird (z.B. „Apotheken“), während in zweitem Fall die Darstellung der Information in Form einer Karte durch die Koordi-

naten der Positionsbestimmung insofern beeinflusst werden kann, als die Ausschnittwahl bzw. der Kartenausschnittsmittelpunkt im Kontext mit der ermittelten Position stehen kann.

Die Öffnung bzw. Installation von Entwicklungsplattformen der großen Betriebssystemanbieter von mobilen Ein- und Ausgabegeräten (beispielsweise Symbian, Android, BlackBerry RIM, Apple iOS, Windows CE) hat zu einer enormen Zunahme und Verbreitung von spezifischen Anwendungen (so genannten „Apps“) geführt. Viele davon nutzen Sensoren der Geräte, wie beispielsweise GPS, um kartenbasierte LBS Anwendungen zu entwickeln und (über die „app stores“) verfügbar zu machen.



Abb. 1: Screenshort der LBS Anwendung „Lola“ – Tourist Guide Vienna (TU Wien, Forschungsgruppe Kartographie)

### Augmented Reality

Augmented Reality, kurz AR, ist eine innovative Art der Mensch-Technik Interaktion. Bei dieser Technologie wird das Sichtfeld des Betrachters mit gespeicherter Information zur aktuellen Umgebung des Benutzers angereichert, sodass eine intuitive Nutzung des Sichtfeldes und der zusätzlichen Information möglich wird. Die reale Umgebung wird etwa in einer 3D-Brille oder auf dem Bildschirm eines Smartphones durch virtuelle Elemente ergänzt. Dabei bilden Smartphones eine geeignete Plattform für Augmented Reality und können mit Hilfe von GPS, Magnetometer und Inertialsensoren die Position, Lage und Ausrichtung des Geräts in Echtzeit bestimmen.

AR kann in vielerlei Hinsicht Anwendung finden, wie beispielsweise als Hilfestellung bei komplexen Aufgaben, v. a. in Konstruktion, Wartung und Medizin durch Anzeigen von Zusatzinformationen und durch Darstellung nicht sichtbarer Elemente. Im Bereich der Darstellung von raumbezogenen Daten können mittels Augmented Reality digitale Planungsdaten mit vorhandenen realen Geometrien abgeglichen, Navigationshinweise ins Sichtfeld eingeblendet bzw. im Bereich des Katastrophenmanagements

eingesetzt werden, wo AR für die Darstellung und interaktive Analyse von Karten und Geländemerkmale verwendet werden kann. Andere Anwendungen visualisieren Daten zu historischen Gebäuden oder geben einfache Hinweise auf Attribute von Geobjekten (vgl. beispielsweise [www.wikitude.org](http://www.wikitude.org)).



Abb. 2: MIXARE – Open Source AR Software, Anwendung für eine kombinierte social Media AR Applikation für Wien von Hannes Boran, TU Wien (2010)

### 3. Ausgewählte Implikationen für die Kartographie

Aus den ausgewählten Beispielen von Technologien im Kontext der Vermittlung raumbezogener Informationen ist ersichtlich, dass es einen starken „Technologiedruck“ („technology-push“) im Kontext der Kartographie gibt. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass neue technologische Ansätze zur Verfügung stehen, raumbezogene Information zu erfassen, zu modellieren, zu präsentieren und zu verteilen. Es lassen sich einige grundlegende Implikationen aus diesem Technologiedruck ableiten.

#### Implikation: Unveränderte Aufgabe der Kartographie

Menschen haben in vielerlei Hinsicht Bedarf an raumbezogenen Informationen. So sind sie beispielsweise interessiert daran, Navigations- und Orientierungsaufgaben zu lösen, Muster und Verteilungen raumbezogener Objekte und Sachverhalte zu erkennen oder auch einfach nur daran interessiert, Erkenntnisse oder Planungen in einem räumlichen Bezugssystem zu verorten. Es kann postuliert werden, dass die Bedürfnisse und Gründe für raumbezogene Informationsvermittlung sich nicht ändern.

Die Kartographie beschäftigt sich mit der Befriedigung dieser Bedürfnisse durch Vermittlung von Informationen über raumbezogene Objekte bzw. Sachverhalte. Der Kern der kartographischen Aufgabe ist dabei die Aufbereitung und

Gestaltung von Präsentationen raumbezogener Sachverhalte bzw. Objekte durch vor allem graphische Mittel, um die oben genannten Bedürfnisse und Erfordernisse möglichst effizient zu erfüllen.

### **Implikation: Kartographisches Dogma Lesbarkeit und graphische Gestaltung**

Die Vermittlung von Informationen zu raumbezogenen Objekten bzw. Sachverhalten durch graphische Mittel beinhaltet unveränderliche Grundbedingungen, zum einen, dass dabei geometrisch gebundene graphische Zeichen mit vereinbarten Bedeutungen versehen werden, die dazu führen, dass die Darstellungselemente klassifizierte Verallgemeinerungen darstellen, d.h. keine individuellen Merkmale mehr aufweisen, zum anderen, dass jedenfalls ein Verkleinerungsverhältnis vorliegt sowie schließlich, dass die Wahrnehmung der resultierenden Präsentation durch den Nutzer perceptiv erfolgt. Diese Tatsachen führen dazu, dass Karten als Mittel des Informationstransportes immanente Eigenschaften aufweisen. Diese umfassen das Informationsübermittlungspotenzial der Grafik selbst sowie die - aus den für die Erhaltung der perceptiven Wahrnehmbarkeit trotz Verkleinerungsverhältnis notwendigen Eingriffen resultierende - Geometrie und Semantik der Darstellungselemente, die im Vergleich zur Geometrie und Semantik eines Primärmodells notwendigerweise verändert, unvollständig, heterogen und z.T. unscharf ist. Solange also ein Konsens darüber besteht, dass Karten bzw. kartographische Präsentationsformen aller Art lesbar sein sollen, um effizient raumbezogene Informationen kommunizieren zu können, sind diese immanenten Eigenschaften relevant.

Es ist allerdings klar sichtbar, dass dieses Grunddogma der Kartographie, lesbare graphische Darstellungen zu erzeugen, im Falle der Adaption und Verwendung neuer und innovativer Technologien nicht oder nur unzureichend beachtet wird. Die daraus entstehenden kartographischen Präsentationsformen (wie beispielsweise die oben genannten „mashups“ oder nutzergenerierte Karten wie man sie häufig z.B. bei Google Maps oder ähnlichen Anwendungen findet) entsprechen diesem Grunddogma häufig nicht, haben aber dennoch eine sehr große Popularität, wenn man die quantifizierbaren Nutzungen zum Maßstab nimmt.

### **Implikation: Verbindung von traditioneller und Neo-Kartographie**

Im Zusammenhang mit der Entwicklung der Kartographie wurde vor allem der Kontrolle der syn-

taktischen und semantischen Dimension des kartographischen Kommunikationsprozesses Beachtung geschenkt. Dabei wurde überlegt, welche graphischen Zeichen und Variablen für die Übermittlung geeignet sind. Mit dem kollaborativen und partizipativen Charakter der Web Mapping 2.0 Anwendungen ist es nun unerlässlich, der pragmatischen Dimension mehr Beachtung zu schenken. Es ist das Verhalten der Nutzer und deren Interessen, das den Kommunikationsprozess im Web 2.0 bestimmt. Die semantische Dimension und insbesondere auch die Symbol- und Zeichensyntax sind dabei üblicherweise außerhalb der Kontrolle der kollaborativen Nutzer.

Die Kartographie ist im Zeitalter partizipativer kartographischer Informationssysteme also herausgefordert, ihre Regeln, Methoden und Techniken so anzubieten, dass sie im kollaborativen Kontext angewandt werden kann. Themen wie kartographische Generalisierung, kartographische Symbolisierung und Visualisierungstechniken werden sowohl in Geodateninfrastrukturen als auch in Web Mapping 2.0 – Anwendungen, in mobilen Anwendungen oder Anwendungen unter Verwendung von freier und offener Software und Daten eine entscheidende Rolle spielen. Neben den bleibenden und bestehenden Regeln und Wissen im Bezug auf syntaktische und semantische Fragestellungen ist die Kartographie stark herausgefordert, die pragmatische Dimension der kartographischen Kommunikationsprozesse im Kontext des Web Mapping 2.0 passend zu untersuchen.

## **4. Zusammenfassung**

Der Technologiedruck führt zur Schaffung von kartographischen Parallelwelten. Auf der einen Seite gibt es die traditionelle Kartographie mit langer Geschichte, profunden Kenntnissen und erprobten Methoden und auf der anderen Seite viele Amateurnutzer, die mit neuen zur Verfügung stehenden Technologien „spielerisch“ und häufig eher zum Unterhaltungszweck kartographische Ausdrucksformen erzeugen und nutzen.

Es benötigt also Strategien, diese Welten zu verbinden, wenn man postuliert, dass dies vorteilhaft wäre. Darunter könnten neue und veränderte Ausbildungsprogramme zu verstehen sein genau wie das proaktive und verstärkte Einbringen kartographischen Expertenwissens in die Welt neuer Anwendungen. Damit könnte man die Forderung von Freitag (2008) nach einer Weiterentwicklung der theoretischen Grundlagen der Kartographie dazu benutzen, den aktuellen Phänomenen einen erklärenden Platz zu geben.

Freitag (2008) argumentiert ja, dass allen theoretischen Modellen des kartographischen Kommunikationsprozesses die Berücksichtigung des sozialen Kontexts der Kommunikation fehlt. Um alle Aspekte der kartographischen Kommunikation abbilden zu können, schlägt er ein Modell vor, das dialog-orientierte mit kollaborativen Prozessen integrativ verbindet. Er schlägt weiters vor, dass die Funktion der Karte für bestimmte Nutzergruppen explizit verdeutlicht wird, damit das zugrundeliegende Kommunikationsmodell für die konkreten Handlungen der Nutzer relevant wird (vgl. Dransch 2003). Ein solches Modell würde die Kartographie wesentlich ganzheitlicher definieren als das bislang der Fall ist und die sozialen Aspekte der Kommunikation gleichrangig neben die technischen Gesichtspunkte stellen.

#### Literaturverzeichnis

- [1] *Born A., Reichenbach F., Bill R., Timmermann D. (2008):* Lokalisierung in Ad-hoc Geosensornetzwerken mittels geodätischer Ausgleichstechnik. In: GIS 1/2008. S.4–18.
- [2] *Dransch D. (2003):* Handeln mit Karten. Grundzüge einer handlungsorientierten Kartographie. In: Kartographische Nachrichten, 6/2003, S. 266–270.
- [3] *Erle S., Gibson R., Walsh J. (2005):* Mapping hacks: Tips & tools for electronic cartography. Sebastapol, CA : O'Reilly Media, Inc., 2005.
- [4] *Freitag U. (2008):* Von der Physiographik zur kartographischen Kommunikation – 100 Jahre wissenschaftliche Kartographie. In: Kartographische Nachrichten 58, 2008/2. S.59–67.
- [5] *Gartner G. (2009):* Web Mapping 2.0. In: M. Dodge und R. Kitchin: Rethinking Maps. Routledge, 2009.
- [6] *Goodchild M.F. (2007):* Citizens as Voluntary Sensors: Spatial Data Infrastructure in the World of Web 2.0. In: International Journal of Spatial Data Infrastructures Research 2, 2007. S.24-32.
- [7] *Haklay M., Singleton A., Parker C. (2008):* Web Mapping 2.0: The Neogeography of the GeoWeb. Geography Compass 2. 2008, S. 2011–2039.
- [8] *Lienert C., Sieber R. (2010):* Temporal Hydrological Atlases - Adding Value through inclusion of the real time. Proceedings of the 3rd International Conference on Cartography and GIS. Nessebar, Bulgaria, ISSN: 1314–0604.
- [9] *Morita T. (2005):* A working framework of ubiquitous mapping. Proceedings of the 22nd International Cartographic Conference, Moskau, 2005.
- [10] *Peterson M. (2008):* Maps and the Internet: What a Mess It Is and How to Fix It. Cartographic Perspectives. 2008, 59, S. 4–11.
- [11] *Plewe B. (2007):* Web cartography in the United States. Cartography and Geographic Information Science 34, 2, 2007. S. 133–136.
- [12] *Scharl A. (2007):* Towards the Geospatial Web – Media Platforms for Managing Geo-Tagged Knowledge Repositories. In: Arno Scharl und Klaus Tochtermann. The Geospatial Web – How Geobrowsers, Social Software and the Web 2.0 are Shaping the Network Society. London : Springer, 2007.
- [13] *Schmidt M. (2009):* Konzepte webbasierter Technologien zur Präsentation thematischer Karten: Entwicklung eines Decision Support Tools zur Findung eines geeigneten Konzeptes. Diplomarbeit, Hochschule München, 2009.
- [14] *Schütze E. (2007):* Stand der Technik und Potential von Smart Map Browsing im Webbrowser. Osnabrück, Dipl.Arbeit.
- [15] *Sui D. (2007):* Volunteered Geographic Information: A tetradic analysis using McLuhan's law of the media. In: Workshop on Volunteered Geographic Information, December 13-14, 2007 <http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/vgi/products.html>
- [15] *Taylor B. (2005):* Official Google Blog: Mapping your way. Google, 8. Februar 2005. <http://googleblog.blogspot.com/2005/02/mapping-your-way.html>.
- [16] *Turner A. (2006):* Introduction to Neogeography. Sebastopol: O'Reilly Short Cuts.

#### Anschrift der Autoren

**Univ.-Prof. Mag. Dr. Georg Gartner**, Institut für Geoinformation und Kartographie, Technische Universität Wien, Gusshausstraße 27-29, 1040 Wien.  
E-mail: [georg.gartner@tuwien.ac.at](mailto:georg.gartner@tuwien.ac.at)

**Univ.-Ass. Dipl.-Ing. (FH) Manuela Schmidt**, Institut für Geoinformation und Kartographie, Technische Universität Wien, Gusshausstraße 27-29, 1040 Wien.  
E-mail: [manuela.schmidt@tuwien.ac.at](mailto:manuela.schmidt@tuwien.ac.at)

#### Vortragender

##### Univ.-Prof. Mag. Dr. Georg Gartner

- |           |   |
|-----------|---|
| 1984–1990 | Studium Geographie Stzw. Kartographie an der Universität Wien   |
| 1991–1995 | Doktoratstudium der Naturwissenschaften an der Technischen Universität Wien                               |
| 1991      | Universitätsassistent am Institut für Kartographie der TU Wien  |
| 1997      | Fulbright Research Grant University of Nebraska at Omaha, Department of Geography                         |
| 2001      | Habilitation an der TU Wien: Bedeutung der Interaktivität für die kartographische Informationsvermittlung |

Georg Gartner ist Professor für Kartographie und Geo-Medientechnik an der Technischen Universität Wien. Er war Fulbright-Gastwissenschaftler an der University of Nebraska at Omaha, Research visiting fellow am Royal Melbourne Institute of Technology, Gastprofessor an der South China Normal University und der University of Nottingham. Er ist zur Zeit Präsident der International Cartographic Association (ICA). Er fungiert zur Zeit als Studiendekan für Geodäsie und Geoinformation an der Technischen Universität Wien. Er ist Editor der Buchserie "Lecture Notes on Geoinformation and Cartography" des Springer-Verlages und Editor des „Journal on LBS“.



## GIP.at – das österreichische Verkehrsbezugs- system für Österreich

*Irmgard Mandl-Mair, Klagenfurt am Wörthersee*

### Kurzfassung

Ziel des Projekts GIP.at ist es, dass Verkehrsdaten nach einheitlichen Regeln digital verwaltet werden können. Der daraus resultierende multimodale Verkehrsgraph für Österreich – GIP.at ist die Basis für Verkehrsinformation, Verkehrsmanagement und Verkehrssteuerung in allen Verwaltungseinheiten. Die GIP umfasst alle Verkehrsarten (Motorisierter Individualverkehr, Öffentlicher Verkehr, Radfahren, zu Fuß gehen) und kann diese zudem intermodal verknüpfen.

GIP.at ist ein gemeinsames Projekt der österreichischen Bundesländer, der ASFINAG, der ÖBB, des BMVIT und des Partners ITS Vienna Region. Der österreichische Städtebund ist ein assoziierter Partner.

### Abstract

The objective of the GIP.at project is to provide the possibility of managing transport data digitally according to uniform rules and to provide a basis for transport information, transport management und traffic control across all administrative boundaries. GIP includes all types of traffic modes (road traffic, public traffic, cycling, pedestrian) and is able to connect them intermodal. The GIP.at project is a joint project of the Austrian federal states, ASFINAG, ÖBB, Austrian Federal Ministry for Transport, Innovation and Technology (BMVIT) and ITS Vienna Region. The Austrian Association of Cities and Towns is an associated partner.

---

### Vortragender

#### **Dipl.-Ing. Irmgard Mandl-Mair**

geb. 1961

Studium der Geodäsie

1990–1995 Forschungsassistentin am Institut für Geographie der Alpe Adria Universität

1998–2002 Abteilung 17 - Straße und Brücke / Uabt. Verkehrsplanung

seit 2002 Abteilung 7- Kompetenzzentrum Wirtschaftsrecht und Infrastruktur / Uabt Verkehrsplanung SGL: IT Straße und Verkehr



## Flughafen Frankfurt am Main – Einsatz und Nutzen von Geoinformationen

*Thomas Konetzki, Frankfurt am Main*

### Kurzfassung

Der Flughafen Frankfurt am Main steht für Mobilität, Wachstum und Innovation. Mit über 70.000 Arbeitsplätzen ist er größte lokale Arbeitsstätte in Deutschland. Die Betreibergesellschaft Fraport AG setzt bei der Umsetzung einer Vielzahl von Geschäftsprozessen auf den Einsatz von Geoinformationen. Der Bereich Geoinformation+Vermessung, Gebäudedatenbestand und Zentralarchiv stellt mit dem Aufbau und der Aktualisierung von digitalen grafischen Daten Planungssicherheit für Neu- und Umbauprojekte her. Ferner nutzt das Unternehmen die Geoinformationen in den kaufmännischen Bereichen und für die Sicherheit. Der Referent zeigt in seinem Vortrag praktische Beispiele, wie mit Geodaten, Transparenz und Vertrauen, aber auch inhaltliche Schärfe erreicht wird. Der Bereich sieht sich als den Service-Provider für Geodaten und Analysen für die Fraport AG, aber auch die ortsansässigen Unternehmen; die da sind, Luftverkehrsgesellschaften, Speditionen, Konzessionäre etc.

---

### Vortragender

**Dipl.-Ing. Thomas Konetzki**

geb. 1952 Hofheim am Taunus, Deutschland

1974–1978 Geodäsiestudium in Frankfurt am Main

seit 1978 Mitarbeiter des Flughafenbetreibers Fraport AG (früher FAG) am Flughafen Frankfurt am Main

seit 1993 Verantwortlich für die damalige Vermessungsabteilung

seit 1995 Umgestaltung der Vermessungsabteilung in den Bereich Geoinformation und Vermessung

seit 2000 Erweiterung des Bereichs um die Fachgebiete Architektur und Technische Gebäudeausstattung

		
<b>AGEO – ÖSTERREICHISCHER DACHVERBAND FÜR GI</b>	<b>BAIK, BFG VERMESSUNGSWESEN</b>	<b>BEV</b>
<p>Der österreichische Dachverband für GI vertritt als fachübergreifende Vereinigung von Firmen, Behörden, akademischen Institutionen und Fachvereinigungen die Interessen seiner Mitglieder in Österreich und in internationalen Organisationen. Durch fachübergreifende Information der Öffentlichkeit über GI und Förderung von Initiativen zur technischen und methodischen Weiterentwicklung unterstützt AGEO das Bemühen, Österreich als starken Standort für Geoinformation zu entwickeln und die hohe Qualität der GI-Ausbildung in Österreich zu erhalten. Zahlreiche Initiativen von AGEO haben zum Aufbau einer nationalen Geodaten-Infrastruktur beigetragen.</p> <p><b>Produkte und Dienstleistungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Öffentlichkeitsarbeit</li> <li>■ Fachveranstaltungen</li> <li>■ Initiativen</li> <li>■ Bewußtseinbildung</li> <li>■ GI Standards</li> <li>■ Aus- und Weiterbildung</li> </ul>	<p>Bundeskammer der Architekten und Ingenieurkonsulenten</p> <p>Die Kammern der Architekten und Ingenieurkonsulenten sind Körperschaften öffentlichen Rechts und die gesetzlichen Berufsvertretungen der staatlich befugten und beideten Ziviltechniker/innen (Architekt/innen und Ingenieurkonsulent/innen mit rund sechzig Befugnissen auf ingenieur- und naturwissenschaftlichen, montanistischen Fachgebieten und Fachgebieten der Bodenkultur).</p> <p><b>Produkte und Dienstleistungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Katastrale Vermessung</li> <li>■ Technische Vermessung, wie z.B. <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Ingenieurgeodät. Netzmes- sung</li> <li>■ Landeskoordinatenanschluss</li> <li>■ GPS-Messungen</li> <li>■ Nivellement</li> <li>■ Photogrammetrie</li> <li>■ Gelände- u. Bestandsver- messung</li> <li>■ Geoinformationen, GIS- Systeme</li> </ul> </li> </ul> <p><b>Mitaussteller:</b> MANZ Solutions GmbH</p>	<p>Das BEV – Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen ist eine Bundesdienststelle des Bundesministeriums für Wirtschaft, Familie und Jugend. Sitz der Zentrale ist Wien, österreichweit ist das BEV mit 64 Dienststellen in allen Bundesländern vertreten.</p> <p><b>Aufgabenbereiche:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Mess- und Eichwesen</li> <li>■ Vermessung und Geoinformation <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Grundlagenvermessung</li> <li>■ Topographie, Kartographie</li> <li>■ Anlegung und Führung des Katasters</li> <li>■ Österreichische Vermessungsbehörde</li> </ul> </li> </ul> <p><b>Produkte und Dienstleistungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ APOS (GNSS-Positionierung)</li> <li>■ Lage- und Höhenfestpunkte</li> <li>■ Orthophotos und Luftbilder</li> <li>■ Staatliche Landkarten</li> <li>■ Grundstückskataster</li> <li>■ Kartographische Modelle</li> <li>■ Digitales Landschaftsmodell</li> <li>■ Digitales Geländehöhenmodell</li> <li>■ Adressregister</li> <li>■ INSPIRE Geodatendienste</li> <li>■ Qualifizierter Zeitstempeldienst</li> </ul>
<p>Stand FA-2</p> <p>AGEO – Österreichischer Dachverband für GI</p> <p>Bürgerstrasse 34 6020 Innsbruck Österreich</p> <p>Tel.: +43 512 588091 1301 Fax: +43 512 588091 1253 E-Mail: office@ageo.at www.ageo.at</p>	<p>Stand SW-8</p> <p>Bundeskammer der Architekten und Ingenieurkonsulenten (BAIK)</p> <p>Karlgasse 9/2 1040 Wien Österreich</p> <p>Tel.: +43 1 505 58 07 Fax: +43 1 505 32 11 E-Mail: office@arching.at www.arching.at</p>	<p>Stand FI-6</p> <p>BEV - Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen</p> <p>Schiffamtsgasse 1-3 1020 Wien Österreich</p> <p>Tel.: +43 1 21110 2160 Fax: +43 1 21110 2161 E-Mail: kundenservice@bev.gv.at www.bev.gv.at</p>

		
<b>VERMESSUNG DETTELBACHER</b>	<b>EPOSA</b>	<b>FORSTHUBER-IGLIS</b>
<p>Vermessungsbüro mit Firmensitzen in Ossiach und Graz. Über 30 Jahre praktische Erfahrungen. Spezialisierungen 1980 bis 2012:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Leitungskataster – Leitungsdokumentation</li> <li>■ Großflächige Bestandsaufnahmen (Naturbestand)</li> <li>■ Photogrammetrische Verfahren einschließlich Messbildflugwesen</li> <li>■ Modernste Instrumentenausstattungen</li> </ul> <p><b>Produkte und Dienstleistungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Leitungskataster: <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Wasser, Kanal, Strom, Gas, Fernwärme, Telefon</li> <li>■ Förderungsberatung und Förderungsabwicklung</li> </ul> </li> <li>■ Bestandsaufnahmen – Basisdaten: <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Sachdatenerhebungen</li> <li>■ GIS-Daten Aufbereitung</li> <li>■ Datenschnittstellen</li> <li>■ Setzungs- und Deformationsmessungen</li> </ul> </li> <li>■ Photogrammetrie: <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Digitale Geländemodelle</li> <li>■ Beweissicherung</li> <li>■ Rekonstruktionen</li> </ul> </li> <li>■ Vermessung – Consulting: <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Kostenschätzungen</li> <li>■ Leistungsbilder</li> <li>■ Analysen</li> <li>■ Lösungsvorschläge</li> </ul> </li> </ul>	<p>Die Partner BEWAG, ÖBB-IKT GmbH und Wien Energie Stromnetz GmbH haben EPOSA mit dem Ziel gegründet, Infrastruktur für hochgenaue Positionierung in Echtzeit zur Verfügung zu stellen. Durch die hohen Anforderungen innerhalb der Gründungsunternehmen hat sich ein außerordentlicher Standard der Problemlösung für Positionierungsaufgaben entwickelt. Das Know-how von EPOSA entspricht der Kompetenz aus drei Hightech-Betrieben. Daraus resultiert ein Angebot an hochgenauen Positionsdaten in Echtzeit und für Post Processing- Anwendungen.</p> <p><b>Produkte und Dienstleistungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ DGNSS-Korrekturdaten</li> <li>■ L1 / L2 – GPS / GLONASS</li> <li>■ RINEX-Daten (GPS / GLONASS)</li> <li>■ Online Transformationsparameter</li> <li>■ Anwenderschulungen</li> <li>■ EPOSA Hotline +43 1 90190 32930</li> </ul>	<p>Die Firma DI Forsthuber Gesellschaft m.b.H. wurde im Jahr 1990 gegründet. Firmenzweck ist die Produktion und der Vertrieb des GIS-Programms IGLIS, sowie die Erbringung von Dienstleistungen bei der Datenmodellierung, Datenbankdesign und die Unterstützung bei der Datenerfassung und Verwaltung. IGLIS wurde von Informatikern und Vermessungsingenieuren anhand konkreter Projekte entwickelt und inkludiert alle geodätischen Berechnungsprogramme. Alle relevanten Daten werden in einer relationalen ORACLE-Datenbank gespeichert. IGLIS ist aktuell und individuell. Maßgeschneiderte Lösungen für die verschiedenen Einsatzgebiete garantieren ein breites Anwendungsspektrum. Regelmäßige Updates und kostengünstiges Service heißt, dass wir mit unseren Kunden in engem persönlichen Kontakt stehen und schnell auf ihre Wünsche und Anregungen reagieren können. Eine Vielzahl von Schnittstellen und Anbindungen garantiert die Einbettung in bestehende EDV-Infrastrukturen. Das jüngste Projekt ist eine Anbindung von IGLIS an ArcGIS von ESRI.</p> <p><b>Produkte und Dienstleistungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ IGLIS</li> </ul>
<p>Stand SW-2</p> <hr/> <p>DETTELBACHER Photo-grammetrie und Vermessungs-GmbH</p> <p>Altossiach 51 9570 Ossiach Österreich</p> <p>Tel.: +43 664 9140005 Fax: +43 4243 8016 E-Mail: vermessung@dettelbacher.at www: dettelbacher.at</p>	<p>Stand FI-1</p> <hr/> <p>Wien Energie Stromnetz GmbH</p> <p>Mariannengasse 4-6 1095 Wien Österreich</p> <p>Tel.: +43 1 90190 32900 Fax: +43 1 90190 9932900 E-Mail: info@eposa.at www.eposa.at</p>	<p>Stand SW-9</p> <hr/> <p>DI Forsthuber Gesellschaft m.b.H.</p> <p>Kohlbauernstrasse 17 2630 Ternitz Österreich</p> <p>Tel.: +43 2630 382500 Fax: +43 2630 3825014 E-Mail: johannes.forsthuber@iglis.at www.iglis.at</p>

 	 	 <a href="http://www.geoinfograz.at">www.geoinfograz.at</a>
<b>GEODAESIE AUSTRIA</b>	<b>GEODIS AUSTRIA</b>	<b>GEOINFOGRAZ</b>
<p>Geodaesie Austria ist seit über 8 Jahren der offizielle Vertriebspartner von Trimble in Österreich für Produkte aus dem Bereich Vermessungswesen und Maschinensteuerung. Von Steyr in OÖ sowie den Vertriebsmitarbeiterstandorten in Brandenburg bei Wörgl und Wels betreuen wir ganz Österreich. Neben kompetenter und umfassender Beratung bieten wir einen technischen Service sowie Support und Schulungen an. Ein umfangreicher Zubehörcatalog sowie Miet- und Leihgeräte runden unser Angebot ab.</p> <p><b>Produkte und Dienstleistungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Optische Totalstationen</li> <li>■ GPS &amp; GNSS-Systeme</li> <li>■ Nivelliere</li> <li>■ VRS-Netzwerke</li> <li>■ 3D-Laserscanning</li> <li>■ Maschinensteuerung</li> <li>■ Vermessungssoftware</li> <li>■ Vermessungszubehör</li> <li>■ Service &amp; Support</li> <li>■ Schulungen &amp; Workshops</li> </ul>	<p>GEODIS AUSTRIA GmbH wurde im Jahre 2006 als Tochtergesellschaft der GEODIS Brunn gegründet. Vorerst nur für den Vertrieb optischer Geräte von TOPCON in Österreich. Seit dem Jahr 2009 hat GEODIS AUSTRIA GmbH auch den Exklusivvertrieb von TOPCON Positioning Produkten und Technologien. Darunter fallen Totalstationen, Nivelliere, GNSS Sensoren, GPS für GIS und Laserscannersysteme. Ebenfalls im Verkaufsprogramm stehen Lasergeräte für die Baubranche, 2D und 3D Maschinensteuerungssysteme und Systeme für die Steuerung von Landwirtschaftsmaschinen. GEODIS Austria steht auch die zertifizierte Servicewerkstätte der Muttergesellschaft für professionelles und rasches Service der verkauften Produkte zur Verfügung.</p> <p><b>Produkte und Dienstleistungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ GNSS Netzwerkrover</li> <li>■ Referenzstationempfänger</li> <li>■ Handheld GPS GIS Empfänger</li> <li>■ Robotik Totalstationen</li> <li>■ Imaging Totalstationen</li> <li>■ Ingenieurtachymeter</li> <li>■ Laser Scanner, Mobile Mapping</li> <li>■ Maschinensteuerungssysteme</li> <li>■ Baulaser und Nivelliere</li> </ul>	<p>Die GeoInfoGraz ist vorwiegend im Bereich „Geoinformatik“ mit den Stützpfählern Geographische Informationssysteme (GIS) und Kartographie tätig. Der Mitarbeiterstab besteht aus Spezialisten der Vermessung, Geographie, Telematik und Betriebswirtschaft.</p> <p><b>Produkte und Dienstleistungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Geoinformatik</li> <li>■ Geomarketing</li> <li>■ Kartographie</li> <li>■ WebGIS</li> <li>■ Leitungskataster</li> <li>■ GeoOffice</li> <li>■ ArcGIS</li> <li>■ MobileGIS</li> </ul> <p><b>Mitaussteller bei:</b> SynerGIS</p>
<p>Stand SI-7</p> <p>Geodaesie Austria</p> <p>Ennsnerstraße 83 4407 Steyr-Gleink Österreich</p> <p>Tel.: +43 7252 87165 0 Fax: +43 7252 87165 40 E-Mail: <a href="mailto:office@geodaesie.at">office@geodaesie.at</a> <a href="http://www.geodaesie.at">www.geodaesie.at</a></p>	<p>Stand SI-5</p> <p>GEODIS Austria GmbH</p> <p>Campus21, Liebermannstr. A01 304 2345 Brunn am Gebirge Österreich</p> <p>Tel.: +43 2236 315891 Fax: +43 2236 315891 15 E-Mail: <a href="mailto:topconbusiness@geodisgroup.at">topconbusiness@geodisgroup.at</a> <a href="http://www.geodisgroup.at">www.geodisgroup.at</a></p>	<p>Stand FI-5</p> <p>GeoInfo Informationssysteme GmbH.</p> <p>Zwerggasse 13 8010 Graz Österreich</p> <p>Tel.: +43 316 32 70 93 Fax: +43 316 32 70 93-20 E-Mail: <a href="mailto:office@geoinfograz.at">office@geoinfograz.at</a> <a href="http://www.geoinfograz.at">www.geoinfograz.at</a></p>

		
GEO-KONZEPT	GEOLAND.AT	GOECKE AUSTRIA GMBH
<p>Die geo-konzept GmbH wurde 1992 gegründet und ist Ihr zuverlässiger Partner für die Vermessung, die Fernerkundung und im Bergbau. Die angebotenen Technologien reichen von hochgenauen GPS/GNSS-Komponenten über Lasermesstechnologie bis zu angepasster Software zur Verarbeitung von Geodaten und mobilen GIS-Lösungen. Dazu bieten wir Ihnen umfangreiches Zubehör an. Weitere Geschäftsfelder sind der Vertrieb von wegweisender, GPS-gestützter Navigation in der Landwirtschaft sowie Softwareentwicklung.</p> <p><b>Produkte und Dienstleistungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Lasermesstechnik</li> <li>■ GPS/GNSS-Technik</li> <li>■ Fernerkundung</li> <li>■ UAV</li> <li>■ Multispektralmesstechnik</li> <li>■ Robuste Handrechner und Tablet-PCs</li> <li>■ GIS-Software und professionelle Software-Lösungen</li> </ul>	<p>Der Geodatenverbund geoland.at ermöglicht einen offenen und einfachen, österreichweiten Zugriff auf Geodaten und Services der Bundesländer für unterschiedlichste Zwecke. Die Offenheit des Geodatenverbundes mit verteilter Datenhaltung auf Grundlage internationaler Standards (OGC, ISO, CEN) und nationaler Normen (ISO, EN, ON) bietet überdies die Möglichkeit, weitere Geobasis- und Fachdaten einzubinden bzw. zu verknüpfen.</p> <p><b>Produkte und Dienstleistungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Viewer</li> <li>■ Services</li> <li>■ Informationen zu LänderGIS</li> <li>■ Metadaten für INSPIRE</li> </ul>	<p>GOECKE ist einer der führenden Anbieter für Vermessungszubehör und Vermarktungsmaterial in Europa. Beim „Ausrüster für die Vermessungstechnik“ erhält der Kunde fast alle Produkte, die er im vermessungstechnischen Außendienst benötigt. Kompetente Beratung, qualitativ hochwertige Produkte und eine zuverlässige und schnelle Auftragsabwicklung haben GOECKE auch in Österreich innerhalb von wenigen Jahren zu einem Top-Ansprechpartner für alle Geometer gemacht.</p> <p><b>Produkte und Dienstleistungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Vermarktungsmaterial</li> <li>■ Vermessungszubehör</li> <li>■ Wetterschutzbekleidung</li> <li>■ EDM- und GPS-Zubehör</li> <li>■ Fahrzeugeinrichtungen</li> </ul>
<p>Stand SI-4</p> <hr/> <p>geo-konzept Gesellschaft für Umweltplanungssysteme mbH Gut Wittenfeld 85111 Adelschlag Deutschland</p> <p>Tel.: +49 8424 89 89 0 Fax: +49 8424 89 89 80 E-Mail: geo@geo-konzept.de</p> <p>www.geo-konzept.de</p>	<p>Stand SW-14, Poster</p> <hr/> <p>geoland.at Flatschacher Straße 70 9020 Klagenfurt Österreich</p> <p>www.geoland.at</p>	<p>Stand SW-1</p> <hr/> <p>GOECKE AUSTRIA GmbH Cankarstr. 65 1220 Wien Österreich</p> <p>Tel.: +43 1 774 16 04 Fax: +43 1 774 16 40 E-Mail: herbert.eckert@goecke-austria.at</p> <p>www.goecke-austria.at</p>

		
<b>GRID-IT GMBH</b>	<b>HHK DATENTECHNIK GMBH</b>	<b>IDC EDV GMBH</b>
<p>GRID-IT hilft Ihnen als Spezialist für Geoinformatik und Fernerkundung bei der Erfassung, Veredelung und Organisation Ihrer Geodaten. Mit eigenen UAV's führen wir Befliegungen durch und unterstützen Sie mit luftbildbasierten Monitoring-Konzepten. Für die Verarbeitung und Prozessierung der Daten stehen wir Ihnen als Vertriebspartner von Intergraph/ERDAS mit modernsten Werkzeugen zur Seite. Für spezielle Anforderungen entwickeln wir kundenspezifische Lösungen für raumbezogenes Informationsmanagement.</p> <p><b>Produkte und Dienstleistungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ ERDAS-Produkte</li> <li>■ UAV-Befliegungen</li> <li>■ Change Detection</li> <li>■ Photogrammetrische Auswertungen</li> <li>■ THEMIS - Baustellendokumentation</li> <li>■ Numerische Simulationsmodelle</li> <li>■ Informationssysteme</li> <li>■ Applikationsentwicklung</li> </ul>	<p>Die HHK Datentechnik GmbH ist einer der führenden Software- und Lösungsanbieter im Bereich der Vermessung und Geoinformation. Die Erfolgsgeschichte von HHK begann im Jahr 1984. Durch langjährige Erfahrungen, innovative Lösungen und durch engen Kundenkontakt entwickelte sich ein stetig wachsender Kundenkreis.</p> <p><b>Produkte und Dienstleistungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ GEOgraf</li> <li>■ GEOgraf A<sup>3</sup></li> <li>■ GEObüro</li> <li>■ GEOcheck</li> <li>■ Produktschulungen</li> <li>■ Softwareberatung</li> <li>■ Service und Dienstleistung</li> <li>■ Feldrechner</li> </ul>	<p>Die IDC EDV GmbH entwickelt seit nunmehr 15 Jahren Software für die Vermessungsbranche. Die Produktpalette Geosi bietet für alle Anforderungen eines Vermessungsbüros die richtigen Lösungen. Mehrere hundert Kunden sind von der einfachen Bedienung und der schnellen kompetenten Hotline begeistert.</p> <p>Geosi und die CAD-Software Bricscad sind ein perfektes Team mit einem unschlagbaren Preis-/Leistungsverhältnis. Das jüngste Kind in der Softwarefamilie ist Panorama – ein modernes und leistungsfähiges Programm zur Erstellung, Bearbeitung und Auswertung digitaler Geländemodelle.</p> <p><b>Produkte und Dienstleistungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Vermessungssoftware Geosi</li> <li>■ CAD-Software Bricscad</li> <li>■ Geländemodell Panorama</li> <li>■ Digitale Bildverzerrung Monobild</li> </ul>
<p>Stand SW-13</p> <p>GRID-IT Gesellschaft für angewandte Geoinformatik mbH</p> <p>Technikerstraße 21a 6020 Innsbruck Österreich</p> <p>Tel.: +43 512 5074860 Fax: +43 512 5074869 E-Mail: office@grid-it.at</p> <p>office@grid-it.at</p>	<p>Stand SI-6</p> <p>HHK Datentechnik GmbH</p> <p>Hamburger Straße 277 38114 Braunschweig Deutschland</p> <p>Tel.: +49 531 2881 0 Fax: +49 531 2881 111 E-Mail: info@hkh.de</p> <p>www.hkh.de</p>	<p>Stand FI-4</p> <p>IDC EDV GmbH</p> <p>Eichenweg 42 6460 Imst Österreich</p> <p>Tel.: +43 5412 63200 Fax: +43 5412 63200-26 E-Mail: vertrieb@idc-edv.at</p> <p>www.geosi.at</p>

		
INGENIEURBÜROS FÜR VERMESSUNGSWESEN	INTERGEO® 2012 IN HANNOVER	IXBLUE
<p>Die Ingenieurbüros für Vermessungswesen sind ein Teil des „Fachverbandes der Ingenieurbüros“ und damit Mitglieder der Wirtschaftskammer Österreich. Das Ingenieurbüro arbeitet unabhängig, neutral und treuhändisch, weil es an der Ausführung des Werkes nicht teilnimmt. Der Berechtigungsumfang ist umfassend im §134 GewO verankert, die Standesregeln durch eine VO des Wirtschaftsministers definiert.</p> <p><b>Produkte und Dienstleistungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ gesamtes Gebiet der Vermessung</li> <li>■ Planungsgrundlagen</li> <li>■ Bauabsteckungen</li> <li>■ Bildmessung</li> <li>■ Katastervermessung</li> <li>■ Bauüberwachungsmessungen</li> <li>■ Bestandspläne für Gebäude</li> <li>■ Leitungskataster – GIS</li> <li>■ Gutachten</li> <li>■ Vertretung gegenüber Behörden</li> </ul>	<p>Die INTERGEO® 2012 findet vom 9.–11. Oktober 2012 in Hannover statt. Auf mehr als 25000 qm werden ca. 500 Aussteller ihre Produkte und Dienstleistungen präsentieren.</p> <p>Das Kongressprogramm umfasst insgesamt mehr als 160 Vorträge zu unterschiedlichen Themen. Neben klassischen Bereichen wie Ingenieurvermessung, Erdmessung, Landmanagement und Wertermittlung wird auch das Themenfeld der Kartographie angesprochen. Zudem ist die traditionelle Geodätische Woche und erstmals der 3rd European Surveyors Congress in die diesjährige INTERGEO eingebunden. Im Zuge der INTERGEO finden die 1. Deutsche INSPIRE-Konferenz und zum zweiten Mal die Navigationskonferenz statt.</p>	<p>iXBlue ist ein führender Anbieter für inertielle Meß- und Navigationssysteme (IMU/INS) basierend auf Fiber-Optic Gyroscope Technologie (FOG). Wir liefern präzise ‚turnkey‘-INS/GPS-Lösungen für kinematische Anwendungen zur Positionierung und Orientierung landgestützter Meßsysteme, für hydrographische Vermessungen mit Fächerecholot (multibeam) und Laserscanner sowie für Messungen von geflogenen Plattformen.</p> <p><b>Produkte und Dienstleistungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ LANDINS</li> <li>■ AIRINS</li> <li>■ QUADRANS (Land)</li> <li>■ QUADRANS (Air)</li> <li>■ HYDRINS</li> <li>■ OCTANS</li> <li>■ DELPH INS</li> <li>■ EVO-10</li> <li>■ EVO-20</li> <li>■ EVO-30</li> </ul>
<p>Stand SW-12</p> <hr/> <p>Fachverband Ingenieurbüros Schaumburgergasse 20/1 1040 Wien Österreich</p> <p>Tel.: +43 590 900 3248 Fax: +43 590 900 229 E-Mail: ftbi@wko.at</p> <p>www.ingenieurbueros.at</p>	<p>Stand FA-3</p> <hr/> <p>INTERGEO® 2012 c/o LGLN</p> <p>Podbielskistr. 331 30659 Hannover Deutschland</p> <p>Tel.: +49 511 64609 379 E-Mail: hannover2012@intergeo.de</p> <p>www.intergeo.de</p>	<p>Stand SI-2</p> <hr/> <p>iXBlue GmbH</p> <p>Fernroder Strasse 9 30161 Hannover Deutschland</p> <p>Tel.: +49 511 12 35 95 75 Fax: +49 511 12 35 95 76 E-Mail: arne.hoof@ixblue.com</p> <p>www.ixblue.com</p>

		
<b>KAGIS – KÄRNTNER GEOGRAPHISCHES IN- FORMATIONSSYSTEM</b>	<b>KUBIT</b>	<b>LANDMARK ÖSTERREICH</b>
<p>KAGIS ist seit 1991 Datendreh-scheibe und Auskunftssystem des Landes Kärnten für alle raumbezogenen Fragestellungen. KAGIS ist ein integrativer Baustein in der gesamten IT - Lösung des Landes Kärnten, denn die „räumliche Sicht“ als Funktionsbereich der IT- Welt beim Land Kärnten ist unentbehrlich in den Verwaltungsprozessen aller Fachbereichen.</p> <p><b>Produkte und Dienstleistungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ GIS Services</li> <li>■ Webmapping Anwendungen</li> <li>■ Verwaltunginterne Dienste</li> </ul>	<p>Seit nunmehr 12 Jahren bietet die kubit GmbH, mit Sitz in Dresden, sensorunabhängige, vorrangig CAD-basierte Softwarelösungen an, die der Bewältigung allgemeiner Vermessungsprobleme und -aufgaben in verschiedensten Branchen dienen (z.B. klassische Vermessung, Architektur, Archäologie...).</p> <p>Ziel der Entwicklung ist es, jedem Anwender intuitive und effiziente Werkzeuge zur Messdatenerfassung und -dokumentation, in 2D als auch 3D, zur Verfügung zu stellen. Neben der reinen Entwicklung bietet kubit ebenso Software-schulungen als auch komplette Systemlösungen an.</p> <p><b>Produkte und Dienstleistungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ TachyCAD</li> <li>■ PhoToPlan</li> <li>■ PointSense (PSPlant/Point-Cloud)</li> <li>■ VirtuSurv</li> <li>■ hylasFM</li> <li>■ MonuMap</li> <li>■ DistToPlan</li> <li>■ Vermessungshardware</li> <li>■ Schulungen/Trainings</li> </ul>	<p>Service – Qualität – Zufriedenheit – dafür steht LANDMARK Österreich seit mehr als 20 Jahren. Wir bieten Produkte, die zum Messen, Vermessen und Vermarken benötigt werden und sind in Österreich einer der größten Anbieter. LAND-MARK-Produkte zeichnen sich durch ein hervorragendes Preis-Leistungsverhältnis und kompromisslose Qualitätsorientierung aus. Bei uns erwarten Sie eine kompetente Beratung, faire Preise, schnelle Lieferung und vor allem ein auf Ihre Bedürfnisse hin ausgerichtetes Produktprogramm. Sonderanfertigungen, individuelle Aufschriften, spezielle Adapter sind kein Problem für uns. Neben dem Verkauf bieten wir auch einen Reparatur- und Wartungsservice für Vermessungsinstrumente und Theodoliten aller Hersteller an.</p> <p><b>Produkte und Dienstleistungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Vermessungsnägel, Bolzen</li> <li>■ Markierfarbe und Zubehör</li> <li>■ Grenzmarken, Stahlmarken</li> <li>■ Laser-Entfernungsmesser Leica Disto</li> <li>■ Werkzeuge und Warnmarkierung</li> <li>■ Prismen, DreifüÙe u. Prismen-träger</li> </ul>
<p>Stand SW-14</p> <p>Land Kärnten - KAGIS</p> <p>Flatschacher Straße 70 9020 Klagenfurt Österreich</p> <p>Tel.: +43 50 536 18302 Fax: +43 50 536 18300 E-Mail: kagis@ktn.gv.at</p> <p>www.kagis.ktn.gv.at</p>	<p>Stand SW-4</p> <p>kubit GmbH</p> <p>Fiedlerstraße 36 01307 Dresden Deutschland</p> <p>Tel.: +49 351 41767-0 Fax: +49 351 41767-29 E-Mail: info@kubit.de</p> <p>www.kubit.de</p>	<p>Stand SW-6</p> <p>Landmark Produktions- u. HandelsmbH</p> <p>Bahnhofstr. 8b 6922 Wolfurt, Österreich</p> <p>Tel.: +43 557 463549 Fax: +43 557 463639 E-Mail: info@landmark.at</p> <p>www.landmark.at</p>

		
LEICA GEOSYSTEMS	MANZ SOLUTIONS	MICROSOFT / VEXCEL IMAGING
<p>Leica Geosystems ist mit nahezu 200 Jahren Erfahrung der Pionier in der Entwicklung und Produktion von Vermessungsinstrumenten. Das Unternehmen bietet ein umfassendes Spektrum von innovativen Produkten und Lösungen zur exakten Erfassung von Daten und räumlicher Informationen. Leica Geosystems ist ein global tätiges Unternehmen mit Sitz in Heerbrugg, Schweiz. Zehntausende Kunden werden von rund 3.500 Mitarbeitern weltweit betreut. Leica Geosystems Austria ist das Kompetenzzentrum für Österreich. Mit regional verankerten Verkaufingenieurern und den Bereichen Kundensupport und Technische Werkstatt stellen wir unseren Kunden maßgeschneiderte Beratung und umfassende Dienstleistungen zur Verfügung.</p> <p><b>Produkte und Dienstleistungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Totalstationen, Theodolite</li> <li>■ GNSS/GPS Systeme</li> <li>■ Terrestrische Laserscanner</li> <li>■ GeoMonitoring-Lösungen</li> <li>■ Lösungen für Bauvermessung</li> <li>■ Vermessungszubehör</li> <li>■ Schulungen</li> <li>■ Technisches Service</li> </ul>	<p>MANZ Solutions entwickelt zukunftsweisende Produkte zur Wissensaufbereitung und Wissensvernetzung, die unter anderen vom österreichischen Marktführer für Online-Rechtsinformation und Österreichs größtem Fachverlag, dem MANZ Verlag Wien, der zugehörigen RDB (Rechtsdatenbank) und der Bundeskammer für Architekten und Ingenieurkonsulenten (bAIK) erfolgreich eingesetzt werden. Innovative Lösungen, hochwertige Technologien und qualifizierte Serviceleistungen ermöglichen es Manz Solutions, Gesamtlösungen nicht nur anzubieten, sondern auch erfolgreich umzusetzen und unsere Kunden dabei zufrieden zu stellen.</p> <p><b>Produkte und Dienstleistungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Informationserschließung</li> <li>■ Datenaufbereitung</li> <li>■ Projekt- &amp; Qualitätsmanagement</li> <li>■ Webapplikationsplanung</li> <li>■ Websiteplanung &amp; -umsetzung</li> <li>■ Entwicklungsleistungen</li> <li>■ IT Infrastruktur &amp; -hosting</li> </ul> <p><b>Mitaussteller bei:</b> bAIK, Bundesfachgruppe Vermessungswesen</p>	<p>Die im Mai 2006 von Microsoft Corporation übernommene Vexcel Imaging gilt als ein führender Anbieter von digitalen großformatigen Luftbildkameras. Die Familie der UltraCam-Sensoren umfasst heute die digitalen photogrammetrischen Luftbildkamerasysteme UltraCamXp, UltraCamXp Wide Angle, UltraCam Lp sowie die kürzlich vorgestellte UltraCam Eagle. Abgerundet wird das UltraCam-Angebot durch die photogrammetrische UltraMap Workflow-Software, die einen automatischen projekt-basierten Farbausgleich und weitere Instrumente zur Qualitätskontrolle bietet.</p> <p><b>Produkte und Dienstleistungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ UltraCam Eagle</li> <li>■ UltraCam Lp</li> <li>■ UltraCam Xp</li> <li>■ UltraCam Xp Wide Angle</li> <li>■ UltraMap Workflow-Software</li> </ul>
<p>Stand FI-2</p> <p>Leica Geosystems Austria GmbH Gudrunstrasse 179 1100 Wien Österreich</p> <p>Tel.: +43 1 98 122 0 Fax: +43 1 98 122 50 E-Mail: lgs.austria@leica-geosystems.com www.leica-geosystems.at</p>	<p>Stand SW-8</p> <p>Manz Solutions GmbH Johannesgasse 23 1010 Wien Österreich</p> <p>Tel.: +43 1 512 74 02 0 Fax: +43 1 512 74 02 599 E-Mail: info@manz.at www.manz-solutions.at</p>	<p>Stand SW-7</p> <p>Microsoft / Vexcel Imaging GmbH Anzengruebergasse 8 8010 Graz Österreich</p> <p>Tel.: +43 316 849 066 0 Fax: +43 316 849 066 999 E-Mail: mpsinfo@microsoft.com www.lflyUltraCam.com</p>

		
<b>ÖBB- INFRASTRUKTUR AG</b>	<b>OVG</b>	<b>PETERSCHINEGG GESMBH</b>
<p>Unser Kerngeschäft besteht im Bereitstellen einer bedarfsgerechten und zuverlässigen Bahninfrastruktur sowie dem sicheren und pünktlichen Betrieb des Eisenbahnverkehrs. Zu unseren Aufgaben gehören der diskriminierungsfreie, kundenorientierte Netzzugang und die Betreuung unserer Kunden vor, während und nach einer Zugfahrt. Wir inspizieren, warten und entstoren ÖBB-Infrastrukturanlagen und erbringen eisenbahnspezifische Baudienstleistungen. Planung, Bau und Finanzierung von Schieneninfrastrukturprojekten sind ein weiteres Aufgabengebiet.</p> <p><b>Produkte und Dienstleistungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Sichere, pünktliche und zuverlässige Betriebsführung im ÖBB-Schiennetz</li> <li>■ Diskriminierungsfreier, kundenorientierter Netzzugang</li> <li>■ Planung, Bau und Finanzierung von Infrastrukturprojekten</li> <li>■ eisenbahnspezifische Baudienstleistungen</li> <li>■ Zugbildung</li> <li>■ Bahnstromversorgung</li> <li>■ Telekomleistungen</li> <li>■ Immobilieneigentümer</li> <li>■ Sauberkeit &amp; Kundenservice</li> </ul>	<p>Die OVG ist ein Verein, der die Interessen aller Bereiche der Vermessung, Kartographie, Geodäsie und Geoinformation in Österreich und in internationalen Organisationen und Dachverbänden vertritt. In der OVG sind sowohl die privaten Berufe und die Beamtenschaft als auch Lehre und Forschung sowie die Studierenden vertreten.</p> <p>Die OVG ist Herausgeber der Österreichischen Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation (VGI) und Veranstalter des Österreichischen Geodätentags (OGT).</p>	<p>Die Firma Peterschinegg kann auf 30 Jahre CAD-Erfahrung zurückgreifen und ist der älteste Autodesk Partner Österreichs. Unser Hauptaugenmerk liegt auf Architektur, Tiefbau, GIS und Multimedia. Zusätzlich zu den Autodesk Produkten bieten wir Eigenentwicklungen wie PLATEIA, AQUATERRA, URBANO KANAL/WASSER/GIS und Anpassungen für AutoCAD Map 3D (Topobase) im Bereich Kanal/Wasser/Strom/DKM... an. Kompetente Beratung ist für uns genauso wichtig wie die Unterstützung während der Nutzung der Software.</p> <p><b>Produkte und Dienstleistungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ AutoCAD Civil 3D</li> <li>■ AutoCAD Map 3D</li> <li>■ „Topobase“</li> <li>■ Autodesk Infrastructure Map Server</li> <li>■ Plateia (Straßenbau, Flußbau)</li> <li>■ Urbano (Kanal, Wasser, GIS)</li> <li>■ Visualisierung</li> <li>■ Individual Schulungen</li> <li>■ Projekt Begleitung</li> <li>■ Programmanpassungen</li> </ul>
<p>Stand FI-3</p> <p>ÖBB-Infrastruktur AG</p> <p>Praterstern 3 1020 Wien Österreich</p> <p>Tel.: +43 1 93000 33057 Fax: +43 1 93000 25614 E-Mail: arnold.eder@oebb.at www.oebb.at/infrastruktur</p>	<p>Stand FI-7</p> <p>Österreichische Gesellschaft f. Vermessung u. Geoinformation</p> <p>Schiffamtsgasse 1-3 1020 Wien Österreich</p> <p>Tel.: +43 1 216 75 51 Fax: +43 1 216 75 51 E-Mail: office@ovg.at www.ovg.at</p>	<p>Stand SW-11</p> <p>Peterschinegg GesmbH</p> <p>Schindlergasse 31 1180 Wien Österreich</p> <p>Tel.: +43 1 470 74 13 Fax: +43 1 479 23 14 E-Mail: office@peterschinegg.at www.peterschinegg.at</p>

		
<p style="text-align: center;"><b>RIEGL LMS</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>RMDATA</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>HELMUT SCHULTZ - GESELL. FÜR VERMES- SUNGSTECHNIK MBH</b></p>
<p>Seit mehr als 30 Jahren steht der Name RIEGL für Vermessungsinstrumente von herausragender Technik und höchster Qualität. Unsere leistungsfähigen terrestrischen, mobilen, luftgestützten und industriellen Laserscanner kombinieren wir mit speziell entwickelten RIEGL Softwarepaketen für Datenaufnahme und -verarbeitung zu optimierten Gesamtsystemen für unterschiedlichste Vermessungsaufgaben. Als aktuelle „Innovation in 3D“ präsentieren wir den neuen terrestrischen Laserscanner RIEGL VZ-4000 mit bis zu 4000 m Reichweite.</p> <p><b>Produkte und Dienstleistungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Terrestrische Laserscanner</li> <li>■ Mobile Laserscanner</li> <li>■ Airborne Laserscanner</li> <li>■ Industrielle Laserscanner</li> <li>■ Mobiles Scanningsystem VMX</li> <li>■ Airborne Scanningsystem NP680i</li> <li>■ Entsprechende Softwarepakete</li> <li>■ Optimierte Gesamtlösungen</li> </ul>	<p>rmDATA ist eines der führenden Software-Häuser für Vermessung und Geoinformation in Österreich. Die Produktpalette umfasst skalierbare Software-Lösungen und ein breites Dienstleistungsangebot (Support, Schulung etc.). Seit 1985 steht das Unternehmen für innovative Technologien und konsequente Ausrichtung am Kundennutzen. Für die Vermessung steht eine durchgängige Software-Palette für sämtliche Arbeitsprozesse der Kataster- und ingenieurgeodätischen Vermessung bis hin zum GIS zur Verfügung.</p> <p><b>Produkte und Dienstleistungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ rmGEO (Geodätische Berechnung)</li> <li>■ rmNETZ (Netzausgleichung)</li> <li>■ rmMAP (Planerstellung)</li> <li>■ rmKATOffice (Schriftverkehr)</li> <li>■ GeoModeller (Geländemodell)</li> <li>■ GeoDiscoverer (Geodatenbezug)</li> <li>■ Geospatial Viewer (GIS Auskunft)</li> <li>■ GeoWeb (GIS im Internet)</li> </ul>	<p>Vermessungstechnik liefern wir unser ganzes Leben; Sozusagen von Geburt an. Kein Wunder, dass Vermessungs-Spezialisten seit über einem halben Jahrhundert bei uns in guten Händen sind. Unsere Vertriebsingenieure beraten und beantworten alle Fragen rund um dieses Thema.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Robotic-Systeme</li> <li>■ GNSS Systeme</li> <li>■ GIS Systeme</li> <li>■ Vermessungstechnik für den Bau</li> <li>■ Vermarktungsmaterial</li> <li>■ Infrarot-Wärmebildkameras</li> <li>■ Zubehör</li> </ul> <p>... und den Service im eigenen Haus! Ihre Vermessungsinstrumente geben wir nicht aus den Händen! Versprochen! Kalibrierungen, Wartungen und Instandsetzungen führen unsere eigenen Techniker durch; Autorisiert und auditiert.</p> <p><b>Produkte und Dienstleistungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tachymeter-Systeme</li> <li>■ GNSS-Systeme</li> <li>■ Vermarktungsmaterial</li> <li>■ vermessungstechn. Zubehör</li> <li>■ Infrarot-Kameras</li> <li>■ Instrumente für die Bauvermessung</li> </ul>
<p><b>Stand SW-5</b></p> <p>RIEGL Laser Measurement Systems GmbH Riedenburgstraße 48 3580 Horn Österreich</p> <p>Tel.: +43 2982 4211 Fax: +43 2982 4210 E-Mail: office@riegl.com www.riegl.com</p>	<p><b>Stand SI-1</b></p> <p>rmDATA GmbH Industriestraße 6 7423 Pinkafeld Österreich</p> <p>Tel.: +43 3357 43333 Fax: +43 3357 43333 76 E-Mail: office@rmdata.at www.rmdata.at</p>	<p><b>Stand SW-10</b></p> <p>Helmut Schultz - Gesellschaft für Vermessungstechnik mbH Elsässer Strasse 5 66119 Saarbrücken Deutschland</p> <p>Tel.: +49 681 910 28 0 Fax: +49 681 910 28 28 E-Mail: Vertrieb@helmut-schultz.de www.helmut-schultz.de</p>

 works for you	 TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN Vienna University of Technology	
<b>SYNERGIS</b>	<b>INST. F. GEODÄSIE U. GEOPHYSIK, TU-WIEN</b>	<b>ZENTRUM FÜR GEOIN- FORMATIK – Z_GIS, UNI- VERSITÄT SALZBURG</b>
<p>Die SynerGIS Unternehmensgruppe (Ursprung 1973) ist Esri Distributor in Österreich und der Slowakei sowie an der AED-SYNERGIS GmbH in Deutschland beteiligt. Über 100 motivierte Mitarbeiter, mehrheitlich Akademiker und HTL Absolventen in verschiedenen Fachbereichen, arbeiten bei uns – für Sie. Als Systemhersteller, Applikationsentwickler und Implementierungs- sowie Integrationspartner für GIS- und Infrastrukturmanagement sind wir eines der führenden Unternehmen im deutschsprachigen Raum und zudem in europäischen Ländern, Amerika und dem arabischen Raum aktiv.</p> <p><b>Produkte und Dienstleistungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Esri Distribution</li> <li>■ ArcGIS Produkte</li> <li>■ Esri Consulting und Schulungen</li> <li>■ Applikationsentwicklung</li> <li>■ GeoOffice – Desktop-Produktlinie</li> <li>■ WebOffice – WebGIS Plattform</li> <li>■ ePaper – GIS-Berichte</li> <li>■ ProOffice – Infrastrukturmanagement</li> <li>■ Systemintegration</li> <li>■ INSPIRE / GDI / SDI</li> </ul> <p><b>Mitaussteller:</b> GeoInfo Graz</p>	<p>Das Institut für Geodäsie und Geophysik besteht aus den 3 Forschungsgruppen: Ingenieur-geodäsie, Geophysik und Höhere Geodäsie. Innerhalb der Höheren Geodäsie werden die Gebiete Satellitengeodäsie, VLBI, Interaktionen im System Erde, Referenzsysteme und Atmosphärenmonitoring vorrangig behandelt. In diesen Bereichen werden durch FWF und FFG geförderte Forschungsarbeiten durchgeführt, deren Erkenntnisse in die Master- und Doktoratsstudiengänge unserer Studienrichtung einfließen.</p> <p><b>Produkte und Dienstleistungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ GNSS Datenprozessierung</li> <li>■ GNSS Echtzeitreferenznetze</li> <li>■ Satellitenbahnbestimmung</li> <li>■ Räumliche Referenzsysteme</li> <li>■ VLBI</li> <li>■ Erdrotation</li> <li>■ Atmosphärenmonitoring</li> <li>■ Ray-Tracing SW</li> <li>■ GNSS-Navigation</li> </ul>	<p>Das Z_GIS ist als größte nicht kommerzielle Einrichtung in Österreich im Bereich Geoinformatik als interdisziplinäres Kompetenzzentrum an der an der Universität Salzburg eingerichtet. Die wichtigsten Aufgabenbereiche des Z_GIS liegen in Forschung und Entwicklung, Ausbau internationaler Beziehungen, Organisation von Fachtagungen (AGIT – Symposium und Fachmesse für Angewandte Geoinformatik) und in Aus- und Weiterbildung (UNIGIS Fernstudien). Die vorrangige Aufgabe des Zentrums ist die Unterstützung der GIS - Praxis in allen Anwendungsgebieten in enger Kooperation mit Wirtschaft, öffentlicher Verwaltung und internationalen Organisationen.</p> <p><b>Produkte und Dienstleistungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Einjähriger Studiengang „UNIGIS professional“</li> <li>■ Zweijähriger postgradualer Studiengang „UNIGIS MSC“</li> <li>■ AGIT 2012 – Symposium und Fachmesse für Angewandte Geoinformatik</li> </ul>
<p>Stand FI-5</p> <hr/> <p>SynerGIS Informationssysteme GmbH</p> <p>Technologiestraße 10 /Geb. E 1120 Wien Österreich</p> <p>Tel.: +43 1 878 06 0 Fax: +43 1 878 06 99 E-Mail: wien@mysynergis.com www.mysynergis.com</p>	<p>Stand SI-3</p> <hr/> <p>Inst. f. Geodäsie u. Geophysik, FG Höhere Geodäsie, TU-Wien</p> <p>Gusshausstrasse 27-29 1040 Wien Österreich</p> <p>Tel.: +43 1 58801 12806 Fax: +43 1 58801 12896 E-Mail: harald.schuh@tuwien.ac.at www.hg.tuwien.ac.at</p>	<p>Stand FA-1</p> <hr/> <p>Zentrum für Geoinformatik - Z_GIS, Universität Salzburg</p> <p>Hellbrunnerstraße 34 5020 Salzburg Österreich</p> <p>Tel.: +43 662 8044 5210 Fax: +43 662 8044 5260 E-Mail: zgis@sbg.ac.at www.zgis.at</p>



## ZOLLER + FRÖHLICH

Zoller + Fröhlich zählt zu den weltweit führenden Unternehmen im Bereich der berührungslosen Lasermesstechnik und verfügt aufgrund langjähriger Tätigkeit, sowie einer Vielzahl durchgeführter Projekte, über einen enormen Erfahrungsschatz. Mit Niederlassungen in England und den USA sowie zahlreichen Vertriebskooperationen ist Z+F weltweit in über 40 Ländern vertreten und kann dadurch erstklassigen Service und eine persönliche Beratung garantieren.

### Produkte und Dienstleistungen:

- Z+F IMAGER® 5010
- Z+F PROFILER 9012
- IMAGER 5006EX
- Z+F LaserControl

### Stand SW-3

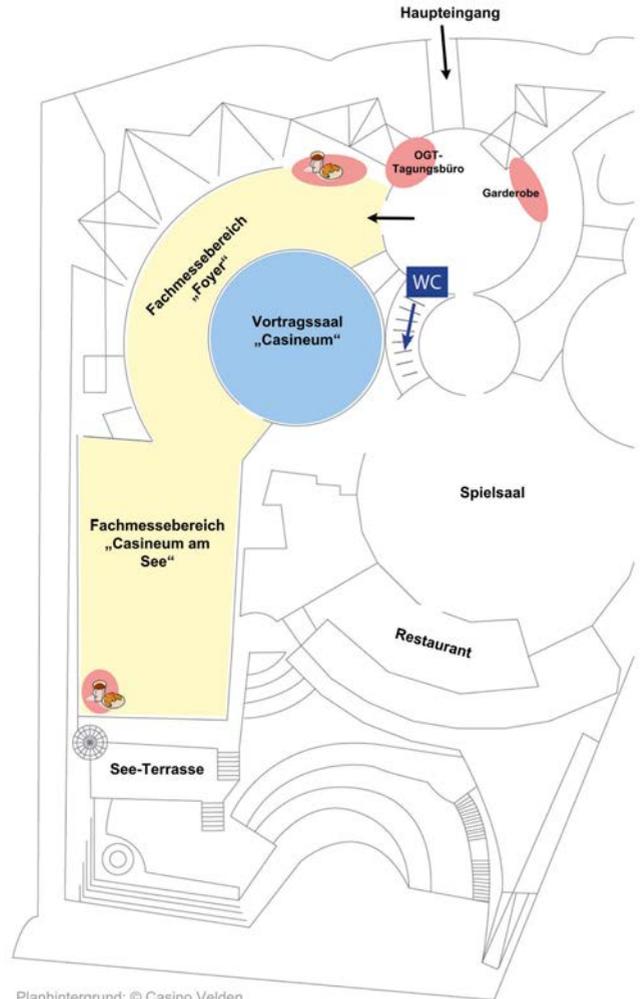
Zoller + Fröhlich GmbH

Simoniusstr. 22  
88239 Wangen im Allgäu  
Deutschland

Tel.: +49 7522 9308 0  
Fax: +49 7522 9308 252  
E-Mail: info@zf-laser.com

www.zf-laser.com

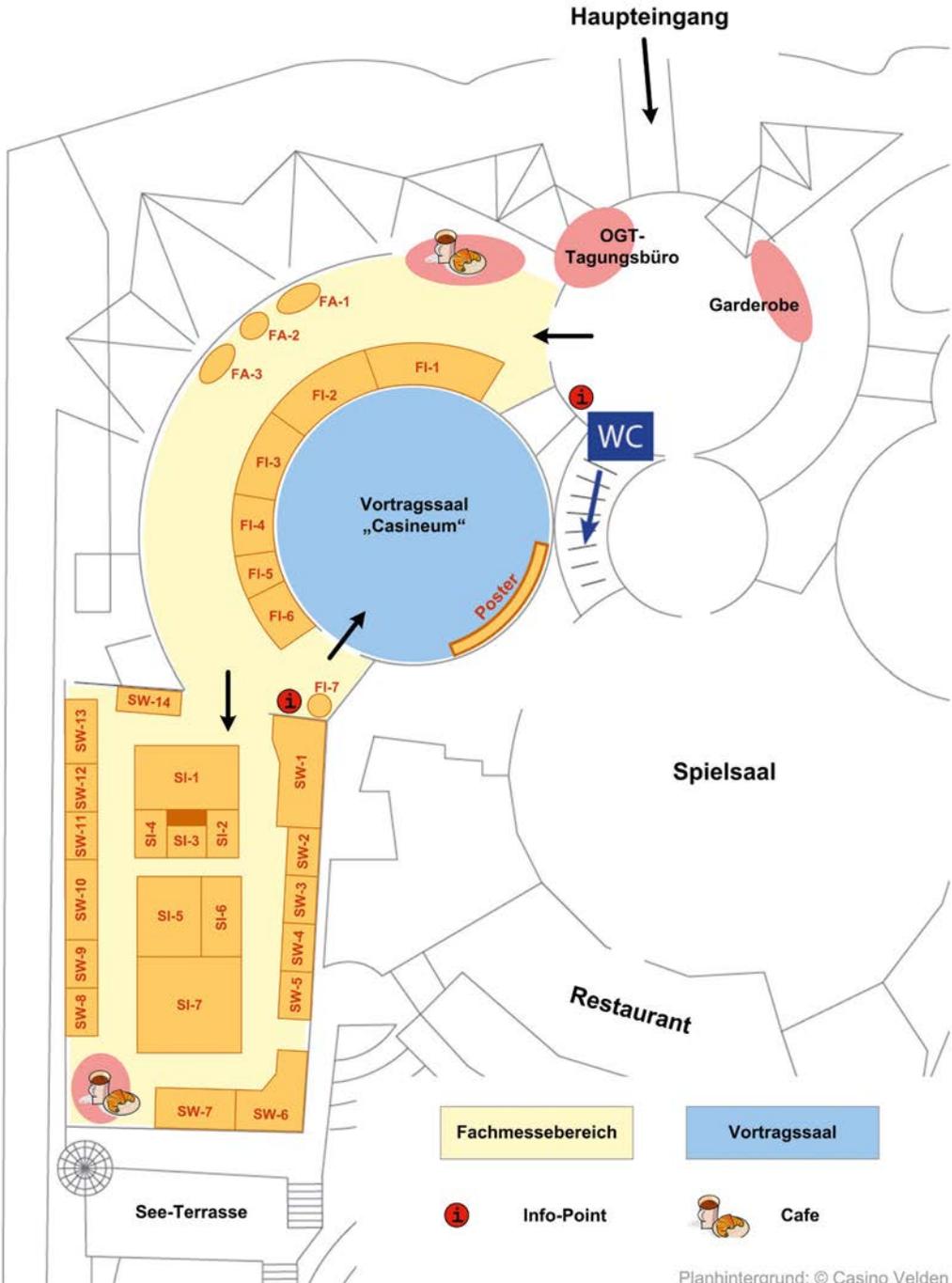
## OGT VERANSTALTUNGSBEREICH IM CASINO VELDEN



Planhintergrund: © Casino Velden



# FACHMESSE OGT 2012 STANDÜBERSICHT



## Hauptsponsoren



[www.rmdata.at](http://www.rmdata.at)



[www.lflyUltraCam.com](http://www.lflyUltraCam.com)

[www.trimble.com](http://www.trimble.com)

## Gold Sponsoren



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



[www.arching.at](http://www.arching.at)



[www.casinos.at](http://www.casinos.at)



[www.leica-geosystems.at](http://www.leica-geosystems.at)



[www.riegl.com](http://www.riegl.com)



[www.mysynergis.com](http://www.mysynergis.com)



[www.velden.gv.at](http://www.velden.gv.at)  
[www.velden.co.at](http://www.velden.co.at)

## Silber Sponsoren



[www.goecke.de](http://www.goecke.de)



[www.grintec.com](http://www.grintec.com)



[www.hirterbier.at](http://www.hirterbier.at)



[www.idc-edv.at](http://www.idc-edv.at)



[www.ingenieurbueros.at](http://www.ingenieurbueros.at)

## Medianpartner



[www.woche.at/kaernten](http://www.woche.at/kaernten)



Vermessung

**SIND SIE BEREIT?**

Mit Software von rmDATA sind Sie bereit!

- > ...für die neue Vermessungsverordnung
- > ...für das neue Grundbuch
- > ...für die neue Planerstellung in der Vermessung
- > ...für die neuen GIS-Anforderungen Ihrer Kunden

*WICHTIG!  
ÖGT in Velden  
8. - 10. Mai 2012  
rmDATA-Stand!*

Unsere Produkte unterstützen Sie perfekt bei Ihren Aufträgen.

**Die beste Software für erfolgreiche Kunden**

Vermessung · Geoinformation · Geodatenmanagement

**rmDATA Vermessung**  
Technologiezentrum Pinkafeld  
Industriestraße 6  
7423 Pinkafeld, Österreich

Tel: +43 3357 43333  
Fax: +43 3357 43333-76  
office@rmdata.at  
www.rmdata.at



member of **rmDATA**Group



# Habe ich wirklich alle Punkte aufgenommen?

## TRIMBLE VISION TECHNOLOGY



Die Trimble® Vision™ Technology hilft diese Frage zu beantworten. Denn Sie sehen, was Ihr Instrument „sieht“ und misst – direkt auf dem Bildschirm Ihrer Kontrolleinheit:

- Anzielen durch Tippen auf dem Bildschirm
- Messpunkte erscheinen direkt im Video/Bild – Sie sehen sofort, ob alles richtig erfasst wurde
- Mehr als nur Koordinaten – halten Sie wichtige Begleitumstände bildlich fest

Trimble VISION Technology – Produktivität durch Innovation.

**Weitere Infos unter:**  
[www.zoomerang.com/Survey/WEB22EV38GPR4Q](http://www.zoomerang.com/Survey/WEB22EV38GPR4Q)

