

General Survey Antipodes Expedition: Kann die Anwendung von PODA-Messverfahren einen methodischen Verlust an Allgemeinen-Vermessungs-Daten durch subjektive Standpunkt-Fehler kompensieren?

VALENTIN P. BEINROTH^a, TITUS LANIAKEA^b

^a IflGS - International Institute for General Survey / Internationales Institut für Allgemeine Vermessung, Frankfurt am Main, Deutschland

^b Department of Metrology, Imperial College Wellington, Neuseeland

ABSTRACT

Im vorliegenden Beitrag soll die GSAE 2014/2015 - General Survey Antipodes Expedition vorgestellt werden. Ziel dieser vom *Internationalen Institut für Allgemeine Vermessung* initiierten Expedition war die Datenerhebung in antipodaler Umgebung, den zwei Hauptinseln Neuseelands, im Rahmen einer Feldstudie zur *Allgemeinen Vermessung*, unter Verwendung von eigens zu diesem Zweck entwickelten Messinstrumenten. Neben der Darstellung der einzelnen Phasen und dem Verlauf der Expedition soll in diesem Beitrag ein besonderes Augenmerk auf die entwickelten Messinstrumente (PODA - Photo-Optical-Distortion-Array) und die methodische Vorgehensweise der Messung selbst geworfen werden. Die im vorliegenden Beitrag erläuterte Untersuchung der Wirksamkeit von PODA-Verfahren zur Kompensation eines methodischen Verlustes bei Allgemeinen-Vermessungs-Daten durch subjektive Standpunkt-Fehler war nur ein Aspekt dieser umfassenden Feldstudie. Es werden exemplarische Messwerte gezeigt und Facetten des Messverfahrens besprochen.

Einleitung

Men go out into the void spaces of the world for various reasons. Some are actuated simply by the love of adventure, some have the keen thirst for scientific knowledge, and other again are drawn by 'the lure of little voices', the mysterious fascination of the unknown."

Ernest Shackleton¹

Das Forschungsvorhaben zur Neuvermessung Neuseelands wurde bereits 2012 begonnen. Unter dem Umstand des wieder neu entdeckten Gebiets und der mit moderner Technik immens verbesserten Verfahren der *Allgemeinen Vermessung* stand die Frage im Raum, welche Ergebnisse diese Werkzeuge

in antipodaler Umgebung ergeben würden, in welcher derartige Vermessungen bislang noch nie ausgeführt worden waren.

Nach ersten Studien und Feldversuchen innerhalb Deutschlands wurde Ende 2012 der Entschluss gefasst, eine Expedition „ans anderen Endes der Welt“ zu unternehmen. Es soll eine Feldstudie zur *Allgemeinen Vermessung* auf beiden Hauptinseln Neuseelands vorgenommen werden, unter Verwendung der eigens zu diesem Zweck entwickelten PODA-Messinstrumente, in Kombination mit der Erfassung spezieller empirischer Daten.

Das Expeditionsvorhaben gliederte sich dabei entsprechend üblicher Vorgehensweisen.² In Phase 1 begann die ausführliche

¹ Ernest Shackleton zu Beginn des ersten Kapitels in *The Heart of the Antarctic*, SHACKLETON 1909,1.

² Für umfangreiche Informationen zum Thema Expeditions-Organisation siehe WINSER 2004.

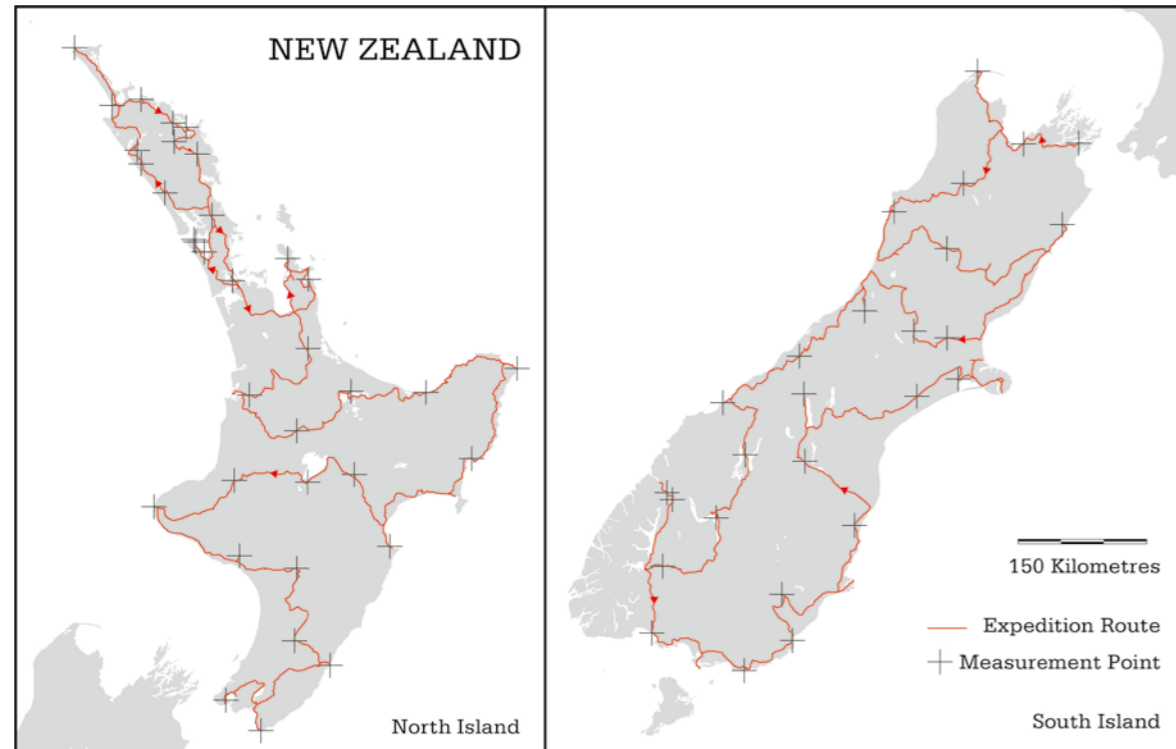


Abb. 1: Expeditionsroute und Messpunkte der General Survey Antipodes Expedition 2014/2015 © Valentin Beinroth

Planung des Expeditionsvorhabens. Neben der Entwicklung der Messinstrumente und dem Zusammenstellen und Optimieren der für die Anforderungen erforderlichen Ausrüstung war das Gewinnen von Partnern zur Realisierung der Expedition ein Teil dieser Phase. Unter der Trägerschaft des *Internationalen Instituts für Allgemeine Vermessung* wurde die Forschungsreise dann in Phase 2 von November 2014 bis Februar 2015 unternommen. Dieser Zeitraum wurde bewusst gewählt, da die für die Messungen voraussetzenden Wetterbedingungen in dieser Zeit des neuseeländischen Sommers statistisch am wahrscheinlichsten sind. Nach der Rückkehr begann Phase 3, die Sichtung, Quantifizierung und Auswertung des umfangreichen Datenmaterials, welche bis zum aktuellen Zeitpunkt noch andauert. Im Rahmen der Forschungsreise wurde eine Fülle von Informationen gewonnen, welche wiederum als Basis für weitere Forschung verschiedener wissenschaftlicher Bereiche dienen kann.

³ Zu den Grundlagen und der Geschichte der Photogrammetrie siehe FINSTERWALDER & HOFMANN 1968 und ALBOTA 1976.

GSAE 2014/2015 - General Survey Antipodes Expedition

Zeitraum: 21.11.2014 bis 08.02.2015
Expeditionsträger: International Institute for General Survey - IifGS
Expeditionsteilnehmer:
Valentin P. Beinroth (*Expedition Leader, Chief General Surveyor*)
Ulrike Bellmann (*Head of Transport and Logistics, Additional Photographer*)
Artur K. Beinroth (*Research Assistant*)

Auf der 8.978 Kilometer langen in Neuseeland zurückgelegten Strecke wurden Messungen an 61 Punkten vorgenommen, von $34^{\circ} 25' 43.7''$ S, $172^{\circ} 40' 42.7''$ O im Norden bis $46^{\circ} 40' 26.2''$ S, $169^{\circ} 00' 04.1''$ O im Süden (Abb. 1).

Die Vermessung folgt in der Messmethode einem photogrammetrischen Ansatz³ in Kombination mit systematischer Beobachtung. Das Messsystem besteht dabei aus optisch-mechanischen Messgeräten in Verbindung mit Instrumenten zur Richtungs- und Positionsbestimmung sowie weiteren Messmitteln.

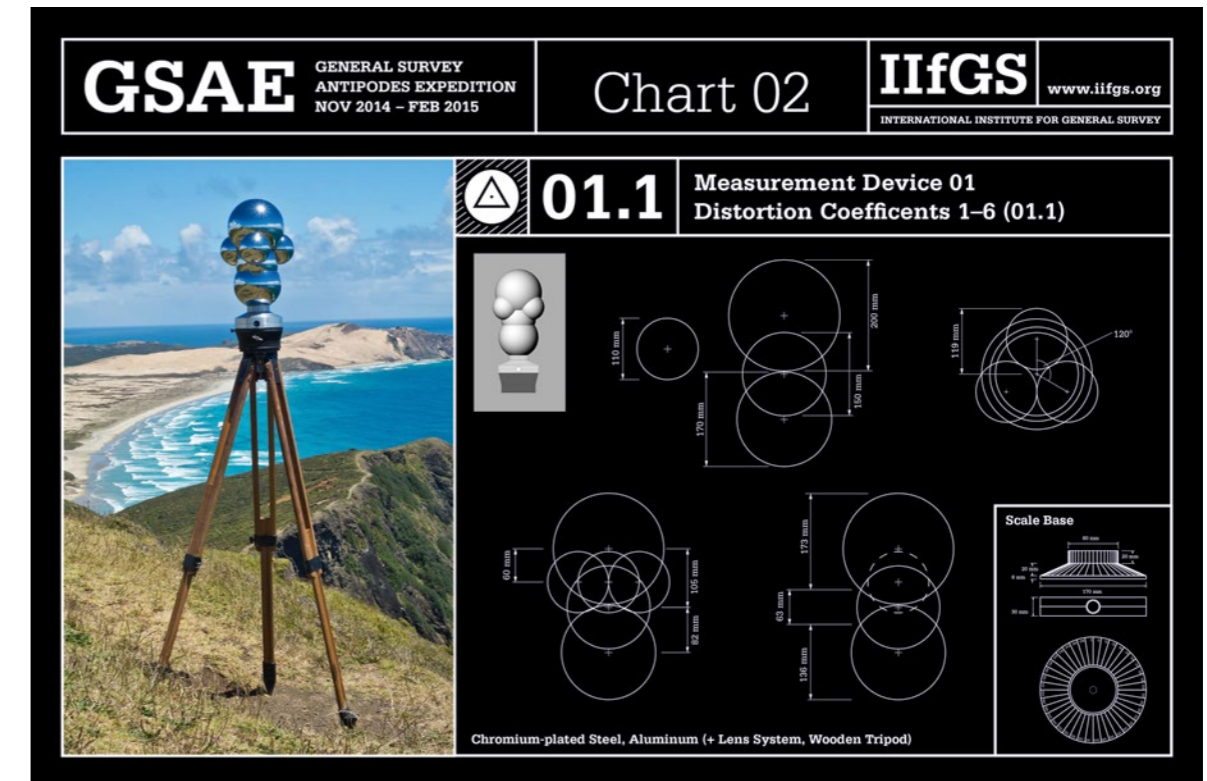


Abb. 2: GSAE Messkopf 01.1 mit Konstruktionsskizzen © Valentin Beinroth

Das eigens für die Expedition entwickelte PODA-Vermessungsverfahren ist ein passives Fernerkundungsverfahren zur berührungslosen Rekonstruktion des Messobjekts (der räumlichen Umgebung) aus der fotografisch festgehaltenen Reflexion seiner Strahlung im Messgerät. Der reflektierende Messkopf des Messinstrumentes weist dabei eine spezifische Verzeichnung bzw. einen spezifischen Verzerrungs-Koeffizienten auf (Specific Distortion Coefficient - SDC).

An räumlich verteilten Orten in Neuseeland wurden mit Hilfe der Messeinrichtung Messbilder erstellt. Der Messaufbau erfolgte unter genauer Bestimmung der geografischen Position und Ausrichtung des Messgeräts; es folgte die Aufnahme der Fotografien des Messkopfes unter bestimmten Richtungswinkeln.

Der Messaufbau und die Durchführung wurden fotografisch dokumentiert und die Messwerte mittels Feldbuchführung festgehalten. Den Ansprüchen der Reproduzierbarkeit entsprechend wurde neben der Protokollierung vor Ort die Vermarkung der Messpunkte mit Hilfe einer dauerhaft befestigten Vermarkungsscheibe vorgenommen.

IifGS - Das Institut

In Phase 1, im Vorfeld der Expedition, wurde das *International Institute for General Survey / Internationales Institut für Allgemeine Vermessung (IifGS)* in Frankfurt am Main gegründet, es ist Auftraggeber des gesamten Vorhabens. Als Träger der Expedition übernahm es besonders im Vorfeld und in der Planungsphase umfangreiche Gebiete der Organisation der Expedition. Vor allem bei der erforderlichen Logistik sowie der Zollabwicklung für die Expeditionsausrüstung konnten die Mitarbeiter des Instituts wertvolle Dienste leisten. In den Laboren und Werkstätten des Instituts erfolgte die Entwicklung der Expeditionsausrüstung, insbesondere der Messinstrumente, sowie die vorbereitende primäre Kalibrierung aller Messinstrumente. Gegenwärtig werten die Mitarbeiter das gesamte Datenmaterial der Forschungsreise aus. In dieser Auswertung sowie der weiteren Erforschung der aus den Ergebnissen der Auswertung entstehenden weiteren Fragestellungen liegen die Kernaufgaben des Instituts.



Abb. 3.1: Messfoto 1 - 77° aus der Messreihe an Messpunkt Nr. 2916, Cape Reinga - Atua Peruperu, am nördlichen Ende der Nordinsel. © IflGS

Messinstrument

Das eigens für die Expedition entwickelte Messverfahren bedient sich im Ansatz Methoden der Photogrammetrie, welche in erster Linie ein Messverfahren aus der Geodäsie ist, also der Wissenschaft von der Ausmessung und Abbildung der Erdoberfläche (HELMERT 1880).

Als Mittel zur passiven Fernerkundung ist es von Vorteil sich dieser bewährten Methoden zu bedienen und für die Verfahren der Generellen-Vermessung dienstbar zu machen. So wurde hier ein Messsystem entwickelt, welches aus einem mehrteiligen, drehbaren Messkopf und einem separat zu positionierenden Referenzkamera-Modul besteht.

Abb. 3.2: Ausschnitt aus dem Feldbucheintrag zu Messpunkt Nr. 2916. © IflGS

Das Kernstück der Messeinrichtung im PODA-Verfahren (Photo-Optical-Distortion-Array) ist der hochreflektierende Messkopf (Abb. 2 und 3.1). Die einzelnen sphärischen Module am Messkopf des primären Messinstruments bilden einen Komplex zur Erfassung der Umgebung. Diese Anordnung erlaubt es, ein der spezifischen Verzeichnung entsprechendes, reproduktives Abbild der Umgebung, direkt wie indirekt, in verschiedenen Graden, festzuhalten. Das Verfahren beruht hierbei unter anderem auf Verhältnismäßigkeiten aus Teilgebieten der Riemannschen Geometrie (JOST 2008; JOYCE 2007).

Die Messung vor Ort folgte dieser foto-optischen Verfahrensweise, indem fotografische Messbilder der Messapparatur aus unterschiedlichen, genau bestimmten Winkeln von der zweiten Vorrichtung aus mit Hilfe der Referenzkamera erstellt wurden. Die Festlegung der Messpunkte folgte einem dem GSAE-Kartierungssystem entsprechenden Muster, verteilt auf der Nord- und Südinsel Neuseelands.

GSAE 2014 / 2015 GENERAL SURVEY DATA SHEET			
Mark ID	2916	Date	2016-11-30
Station name	Cape Reinga	Site visit #	1
Surveyed by	VB	Start time	1322
Arbitrariness level (1-16)	7	End time	1457
Magnetic declination		18	
LAT	534° 25' 42.7"		
LON	172° 40' 42.7"		
Location Atua Peruperu			
Impression level (1-4)	4	Nice (Y/N)	Y
Area	3	Anthropogenic intervention (Y/N)	Y
Chromaticity score:	21	Consistency	12
Description			
Measurement	Angle (S)	Measurement	Angle (S)
1	77°		
2	165°		
3	121°		



Abb. 4.1: Referenz-Vorrichtung zur Bestimmung des spezifischen Verzerrungskoeffizienten (Specific Distortion Coefficient Reference Device SDCRD - CubicSquare 64-98.75-REF-C3), mit geöffnetem Zugang an der Rückseite. Foto: Valentin Beinroth

Alle zur Messung erforderlichen Geräte und Werkzeuge waren in einer Ausrüstungskiste untergebracht. Spezielle Vorrichtungen an der insg. 44 Kilogramm schweren Kiste ermöglichten es, sie in Form einer Lasten-Rikscha auch zu Fuß über unebenes Gelände zu den Messpunkten zu transportieren.

⁴ Zu Grundlagen der Messung siehe CROUCH & SKOOG 2007.

⁵ Für einen Einblick in die Geometrie und Symmetrie in der Physik siehe Schottenloher 1995 und zur Grundlage photogrammetrischer Aufnahmekammern WESTER-EBBINGHAUS 1985.

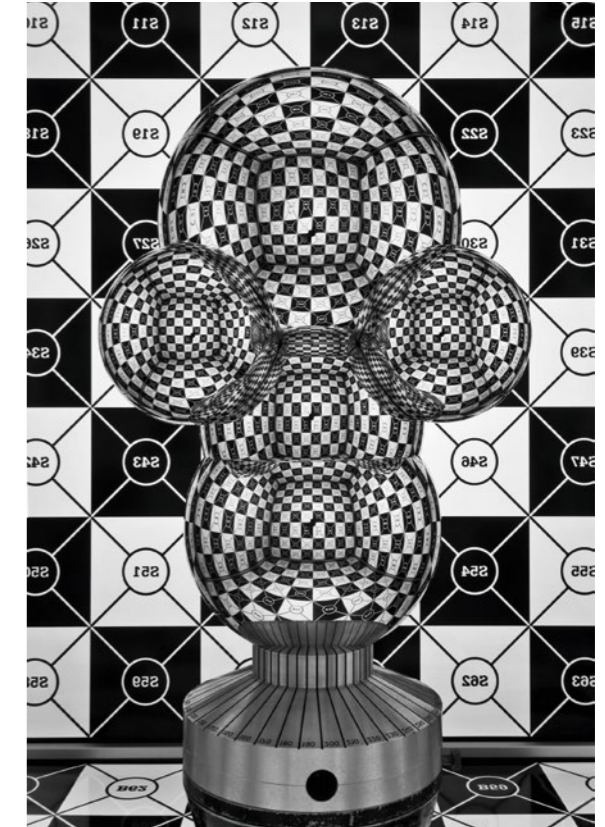


Abb. 4.2: Messfoto Nr.: GS4789-97, Rotation Angle: 194°. Foto: Valentin Beinroth

Kalibrierung des Messinstruments

Zur Kalibrierung⁴ des im Rahmen der Expedition verwendeten PODA-Messkopfes, wurde im IflGS im Vorfeld eine spezielle Referenz-Vorrichtung entwickelt. Bei der Kalibrierung kam zur Ermittlung der Verzeichnungsparameter innerhalb des Systems eine photogrammetrische Aufnahmekammer zum Einsatz.⁵

Abbildung 4.1 zeigt diese Referenz-Vorrichtung für den spezifischen Verzerrungskoeffizienten (Specific Distortion Coefficient Reference Device SDCRD - CubicSquare 64-98.75-REF-C3) mit geöffnetem Zugang an der Rückseite. In Abbildung 4.2 ist ein exemplarisches Messfoto aus der Kalibrier-Serie zu sehen. Die Vorrichtung dient der Bestimmung des spezifischen Verzerrungskoeffizienten (Specific Distortion Coefficient - SDC) des bei der Expedition 2014/15 verwendeten Messkopfes (Measurement Instrument GSAE 01.1). Mit den sich aus den Messergebnissen erge-



Abb. 5: Anpeilen des Zielstabs des Referenzkamera-Moduls an Messpunkt Nr. 8210, an der äußersten Südspitze der Südinself (Slope Point). Außerdem zu sehen ist die zum Transport der Messinstrumente verwendete Ausrüstungskiste. Foto: Ulrike Bellmann

benden SDC-Werten wurde die Kalibrierung des Messinstrumentes vorgenommen. Die Werte spielen außerdem eine wichtige Rolle bei der Justierung der Messapparatur, welche in diesem Vorgang das erste Mal vorgenommen wurde („as found“ bzw. „as left“).

Beschreibung des Verfahrens zur Kalibrierung: Der Messkopf wird mittig im Inneren des würfelförmigen Messraums platziert. Der Messraum ist rundum mit einem Messgitter-Muster aus Messmarken versehen. Alle sechs Flächen weisen von außen eine durchgehende Beleuchtung auf. Die Beleuchtungsvorrichtung besteht aus pyramidal angebrachten Befestigungsstangen, die zusammen die Form eines Rhombendodekaeders bilden. Durch eine kleine, kreisförmige Öffnung in der nördlichen Fläche des Würfels wird für jeden Rotationswinkel des Messkopfes ein Messfoto aufgenommen. Je nach Genauigkeitsgrad der Messserie wird der Messkopf vor jedem Messfoto um den jeweiligen Grad-Wert entlang seiner Rotationsachse weiter gedreht.

⁶ Für vermessungstechnische Grundlagen siehe FRÖHLICH 1993.

Messvorgehen im Feld

Das technische Messvorgehen im Feld⁶ erfolgt in folgender Reihenfolge:

1. Vermarkung des Messpunktes mit Hilfe der speziell entwickelten Vermarktungsscheibe; der Messpunkt wird bleibend festgelegt.
2. Zentrierung der Standachse des Messkopf-Instrumentes über dem Messpunkt.
3. Horizontierung des Messgerätes.
4. Ausrichtung des Messkopfes nach Süden (magnetischer Süden).
5. Aufstellung der zweiten Messvorrichtung mit Registerkamera und Zielstab.
6. Bestimmung des Winkels der Registerkamera zum Messinstrument. Der Winkel zu Süden wird erfasst, indem der Fluchtstab des zweiten Stativs mit der Peilvorrichtung am Messkopf angepeilt wird. (Danach erfolgt die Rückführung des Messkopfes auf Nullwert).
7. Fotografische Messdatenerfassung mit der Registerkamera.

Das Vorgehen (Punkte 5 bis 7) wird für jeden Messpunkt mehrfach, mit unterschiedlichen Standpositionen der Registerkamera und dadurch aus verändertem Blickwinkel, wiederholt (Abb. 5).

Messdaten

Die erhobenen Messdaten beinhalten statistisch notwendigen Angaben, Zeitangaben, geografischen Positions-Werte des Messpunktes, Messfotos und Messwinkel. Außerdem wurden jeweils zusätzliche Werte zu folgenden Attributen und Messgrößen bestimmt: *Area nomenclature*, *Chromaticity score*, *Consistency*, *Impression level (1-4)*, *Anthropogenic intervention (Y/N)*, *Nice (Y/N)*, *Arbitrariness level (1-16)* (Siehe Feldbucheintrag in Abb. 3.2).

In der vorgenommenen Feldstudie zur *Allgemeinen Vermessung* war die Untersuchung der Wirksamkeit von PODA-Verfahren unter anderen ein wichtiger Aspekt bei diesem Forschungsvorhaben. Besonders etwaige Vorteile des PODA-Verfahrens bezüglich des Ausgleichs von Problemen der systemgebundenen Messfehler bei konventionellen *Allgemeinen Vermessungsverfahren* sollten untersucht werden.⁷ Diesbezüglich wurde besonders der Aspekt der Verluste an Allgemeinen-Vermessungs-Daten durch subjektive Standpunkt-Fehler betrachtet. Das PODA-Verfahren versprach hier besonders wegen des verwendeten Komplexes an Modulen und der Kombination von spezifischen Verzerrungsparametern eine Verbesserung, durch eine Reduzierung der Messabweichung.

In Abbildung 3.1 ist exemplarisch ein Messfoto aus der Messreihe an Messpunkt Nr. 2916 zu sehen (Cape Reinga - Atua Peruperu). Der Ausschnitt aus dem Feldbucheintrag (Abb. 3.2) zeigt die an diesem Messpunkt gemessenen Werte.

⁷ Siehe ausführliche Beschreibung der Zusammenhänge im englischsprachigen Paper: *Waste of light: Could the use of the photo-optical-distortion-array-procedure (PODA) compensate the methodical loss of general survey perception data through subjective point-of-view errors?* BEINROTH 2015.

Ausblick

Da sich das Forschungsprojekt momentan noch in seiner dritten Phase befindet, in welcher die Sichtung und Quantifizierung des gesammelten Datenmaterials erfolgt, müssen ausführliche Ergebnisberichte späteren Publikationen vorbehalten bleiben. Aufgrund des großen Umfangs des Datenmaterials dauert die Auswertung zu diesem Zeitpunkt noch an.

Obwohl eine abschließende Aussage zur Fragestellung der verbesserten Genauigkeit der PODA-Verfahren zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht getroffen werden kann, so können doch erste Zusammenhänge erkannt werden, welche auf entsprechende Gesetzmäßigkeiten innerhalb des Messsystems hinweisen. Dem aktuellen Stand der Auswertung zufolge zeigen erste Anhaltspunkte, dass trotz eines Anstiegs der Messgenauigkeit eine Kompensation der subjektiven Standpunkt-Fehler durch Verwendung der PODA-Technik hierbei in keinen kausalen Zusammenhang gesetzt werden kann. Der erwartete zur gegenseitigen Auslöschung führende Effekt bei der auswertenden Fehlerfortpflanzungsrechnung konnte nicht in signifikantem Maße beobachtet werden. Trotz dieses Umstandes hat sich die Technik als ein präzises, aber dennoch äußerst vielseitiges und, besonders für das Feld der *Allgemeinen Vermessung*, als probates Werkzeug erwiesen. Eine Weiterentwicklung dieses vielversprechenden Verfahrens unter Berücksichtigung der erlangten Daten und Erfahrungsberichte könnte das PODA-Verfahren zu einem wichtigen Instrument für die *Allgemeine Vermessung* machen.

Es sei noch erwähnt, dass nach Abschluss der Auswertung zum gegebenen Zeitpunkt die Messdaten und Ergebnisse in einer zusammenführenden Publikation präsentiert werden.

Danksagung

Mein Dank gebührt im Besonderen den Teilnehmer_innen der Expedition, sowie den Mitarbeiter_innen am IfGS, ohne deren kollektive Mithilfe die Realisierung dieses Forschungsvorhabens nicht möglich gewesen wäre.

Literatur

ALBOTA, M.G. 1976. *Short Chronological History of Photogrammetry*, Proceedings of XIII Congress of the International Society for Photogrammetry, Commission VI, Helsinki, 20 pp

BEINROTH, V. P. 2015. *Waste of light: Could the use of the photo-optical-distortion-array-procedure (PODA) compensate the methodical loss of general survey perception data through subjective point-of-view errors?* Frankfurt am Main: IfGS, Online unter: <http://www.iifgs.org/publications/467298> (21.12.2017)

CROUCH, S.; SKOOG, D. A. 2007. *Principles of Instrumental Analysis*. Pacific Grove: Brooks/Cole.

FINSTERWALDER, R.; HOFMANN, W. (Hg.) 1968. *Photogrammetrie*, Berlin: Walter de Gruyter

FRÖHLICH, H. 1993. *Vermessungstechnische Handgriffe: Basiswissen für den Außendienst*. Bonn: Dümmler

HELMERT, F. R. 1880. *Die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie Teil 1*. Leipzig: Teubner (Unveränderter Nachdruck Frankfurt am Main: Minerva GmbH, 1962)

JOST, J. 2008. *Riemannian Geometry and Geometric Analysis (5th ed.)*. Berlin, New York: Springer-Verlag

JOYCE, D. D. 2007. *Riemannian Holonomy Groups and Calibrated Geometry*. Oxford: Oxford University Press

SCHOTTENLOHER, M. 1995. *Geometrie und Symmetrie in der Physik*, Wiesbaden: Vieweg

SHACKLETON, E. H. Sir, 1909. *The heart of the Antarctic; being the story of the British Antarctic Expedition 1907-1909*, Philadelphia: J. B. Lippincott Company

WESTER-EBBINGHAUS, W. 1985. *Verfahren zur Feldkalibrierung von photogrammetrischen Aufnahmekammern im Nahbereich*. Deutsche Geodatische Kommission, Reihe B, Nr. 275: S. 106-114

WINNER, S. (Hg.) 2004. *Royal Geographical Society: Expedition Handbook*. London: Profile Books Ltd

Kontakt

Valentin P. Beinroth
International Institute for General Survey
Gutleutstraße 8-12
60329 Frankfurt am Main
v.p.beinroth@iifgs.org

www.valentinbeinroth.com