

GPS/IMU-unterstützte Georeferenzierung der Daten flugzeuggetragener multispektraler Scanner

CHRISTINE RIES, HELMUT KAGER, PHILIPP STADLER¹

Zusammenfassung: In diesem Beitrag wird der prinzipielle Ablauf der Georeferenzierung von GPS/IMU-unterstützten multispektralen Flugzeugscannerdaten besprochen. Weiters wird präsentiert, wie durch eine Erweiterung des mathematischen Modells während der Ausgleichung und durch Bereitstellung zusätzlicher Pass- und Verknüpfungsinformation Driftphänomene in vorhandenen GPS/IMU-Daten korrigiert oder zumindest gedämpft werden können.

1 Einleitung

Im Rahmen des Projekts BIOTOPMONITORING WIEN des Österreichischen Bundesinstituts für Gesundheitswesens (ÖBIG) wird seit über zehn Jahren ein umfangreiches Informationssystem über Status und Veränderungen des Wiener Grünraums geschaffen und laufend aktualisiert (PILLMANN & KELLNER, 2001). Als Hauptinformationsquelle für die Grünraumuntersuchungen dienten bisher Farbinfrarot-Luftbilder aus drei Messflügen von Wien in den Jahren 1991, 1997 und 2000. Zusätzlich zu diesen Luftbildern wurden bei diesen Messflügen auch multispektrale Scanneraufnahmen aufgezeichnet. Die Erfassung der Scannerdaten erfolgte in Erwartung künftiger Entwicklungen in der automatischen Datenverarbeitung, die im Rahmen des Projekts BIOTOPMONITORING WIEN eine Steigerung der Kosteneffizienz erhoffen lassen. Mit einer Bodenpixelgröße von 2.5 m und 10 spektralen Kanälen im Bereich des sichtbaren Lichts bis zum mittleren Infrarot und einem Thermalkanal bieten die Aufnahmen des multispektralen Rotationsscanners Daedalus AADS 1268 eine hervorragende Datengrundlage für dieses Vorhaben. Vor der weiteren Verwendung der Scannerdaten müssen diese in Bezug zum Landessystem geometrisch entzerrt, also georeferenziert, werden.

Die Georeferenzierung der Scannerdaten des Messfluges 2000 erfolgt am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung (I.P.F.) der Technischen Universität Wien. In diesem Beitrag wird der prinzipielle Ablauf der Georeferenzierung besprochen und weiters präsentiert, wie durch eine Erweiterung des mathematischen Modells während der Ausgleichung und durch Bereitstellung zusätzlicher Pass- und Verknüpfungspunkte Driftphänomene in den für den Messflug 2000 vorhandenen GPS/IMU-Daten korrigiert oder zumindest gedämpft werden können.

2 Datenmaterial

Der Messflug Wien 2000 wurde vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) im Auftrag des ÖBIG durchgeführt. Das gesamte Stadtgebiet von Wien wurde in 24 Nord-Süd-Streifen aufgenommen. Die wichtigsten technischen Daten des multispektralen

¹ Dipl.-Ing. Christine Ries, Dr. Helmut Kager, Dipl.-Ing. Philipp Stadler, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Wien, Gußhausstraße 27-29, A-1040 Wien, URL: <http://www.ipf.tuwien.ac.at>

Rotationsscanners Daedalus AADS 1268 und die wichtigsten Kenngrößen des Messfluges 2000 sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Gesamtöffnungswinkel:	42.9°	Flughöhe über Grund:	~ 2200 m
Ebener momentaner Gesichtsfeldwinkel:	1.25 mrad	Bodenauflösung im Nadir:	~ 2.5 m
Anzahl der Pixel pro Zeile:	716	Streifenbreite:	~ 1800 m
Scanrate:	25 Hz	Streifenquerüberdeckung	~ 30-40 %

Tab. 1: Technische Daten des Daedalus AADS 1268 und Kenngrößen des Messfluges 2000

Beim Messflug 2000 kam ein integriertes GPS/IMU-System vom Typ CCNS AEROcontrol der Fa. IGI zum Einsatz. Bei Flugeinsätzen mit dem Daedalus-Scanner wird das Potential des GPS/IMU-Systems in der Regel nicht vollständig ausgeschöpft; zur Genauigkeit der gelieferten GPS/IMU-Daten waren der Datenbeschreibung folgende Angaben zu entnehmen:

Positionen: regional unterschiedliche Genauigkeiten im Bereich von 1-3 m
(bezogen auf WGS84)

Rotationen: Roll und Pitch besser $0.01^\circ \rightarrow$ Bogen am Boden: ~ 0.4 m
Yaw besser $0.1^\circ \rightarrow$ Bogen am Streifenrand: ~ 1.5 m

Die GPS/IMU-Daten standen mit einer Wiederholrate von 50 Hz zur Verfügung und wurden am I.P.F. für die weitere Verwendung mittels österreichweit gültiger mittlerer Transformationsparameter ins Österreichische Landessystem Gauss-Krüger-M34 transformiert.

Abb. 1 zeigt Diagramme der GPS/IMU-Daten des Flugstreifens 12 des Messfluges 2000. Auffällig sind bei diesem Streifen die großen Abweichungen der Z-Beobachtungen vom Mittelwert in der Größenordnung von ± 20 m, während andere Flugstreifen eine maximale Abweichung von ± 5 m in der Höhenkomponente aufweisen. Auf diesen Aspekt wird im Abschnitt 5 näher eingegangen.

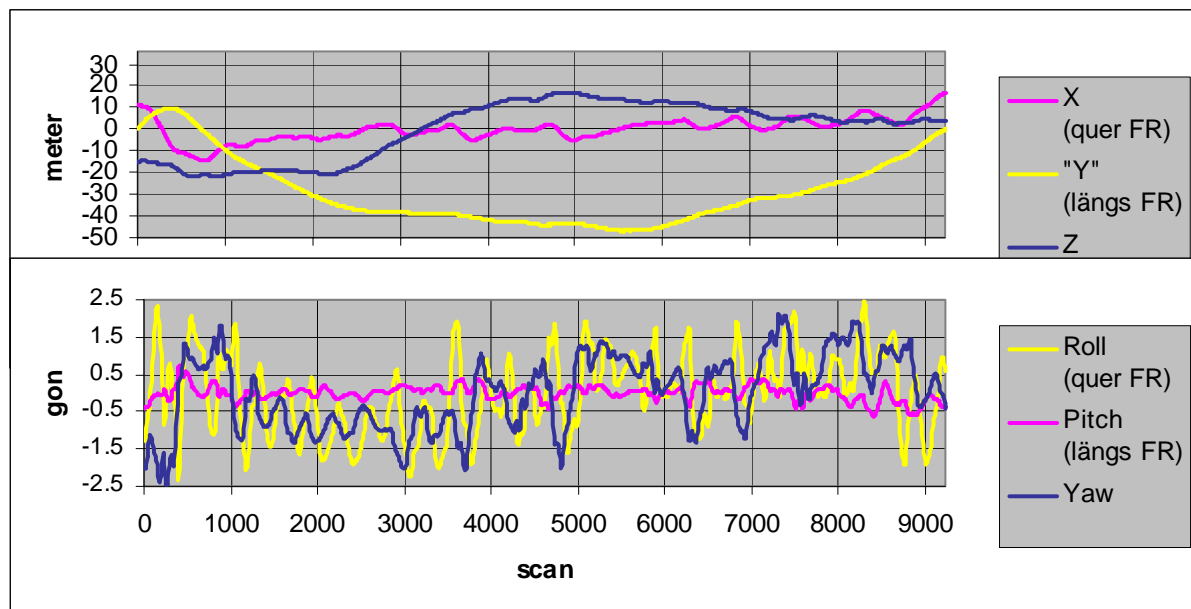


Abb. 1: Diagramme der GPS/IMU-Daten vom Flugstreifen 12 des Messfluges Wien 2000
oben: GPS/IMU-Positionen, unten GPS/IMU-Rotationen; FR ... Flugrichtung
"Y" ... Abweichung von der gleichförmigen Bewegung in Flugrichtung

Als Quelle für Passpunkte stand die digitale Mehrzweckkarte (MZK) von Wien im Rasterformat zur Verfügung. Mit einer Pixelgröße von 25 cm bildet die MZK flächendeckend

eine ausgezeichnete Referenzinformation zur Kontrolle der georeferenzierten Scannerdaten. Die notwendigen Höhen der Passpunkte wurden aus einem digitalen Geländemodell interpoliert, welches eine durchschnittliche Höhengenaugigkeit von ca. ± 1.5 m aufweist; dies wirkt sich am Streifenrand mit einer Lageunsicherheit quer zur Flugrichtung von ± 0.6 m $\hat{=}$ ± 0.25 Pixel aus.

3 Prinzipieller Ablauf der Georeferenzierung

Für die Georeferenzierung muss in einem ersten Schritt die äußere Orientierung des Scanners entlang der Flugbahn jedes Streifens bestimmt werden. In einem zweiten Schritt erfolgt die Umbildung der Scannerdaten in das Landeskoordinatensystem, wobei als Eingangsdaten die Scanneraufnahmen, deren innere und äußere Orientierung und ein digitales Geländemodell dienen (ECKER ET AL., 1993).

Prinzipiell stellen die GPS/IMU-Daten obige äußere Orientierung dar und könnten sofort für die Umbildung der Scanneraufnahmen herangezogen werden; man spricht dann von direkter Georeferenzierung. Allerdings besteht dabei das Risiko eventueller Datumsprobleme in den GPS/IMU-Beobachtungen, was erst im georeferenzierten Bild mittels entsprechender Kontrollinformation aufgedeckt werden könnte. Datumsprobleme in den GPS/IMU-Daten können im Prinzip mit Hilfe weniger Passpunkte im Rahmen einer Ausgleichung korrigiert werden.

4 Hybride Ausgleichung von Scannerdaten mit GPS/IMU-Daten

Für die Georeferenzierung der multispektralen Scannerdaten des Messfluges 2000 wurde das hybride Ausgleichungsprogramm ORIENT (KAGER, 1995) verwendet. ORIENT wurde am I.P.F. entwickelt und ermöglicht die simultane Ausgleichung verschiedener Beobachtungstypen.

Die zeitliche Variation der äußeren Orientierung bei Flugzeugscanneraufnahmen ist in ORIENT mathematisch mittels einer sechsdimensionalen Funktion aus zusammengesetzten kubischen Polynomen modelliert, welche im folgenden kurz Orientierungsfunktion (Spline) genannt wird. Die einzelnen Spline-Segmente stoßen in den sogenannten Knoten mit zumindest erster stetiger Ableitung zusammen. Sind die Knoten bestimmt, so ist die gesamte Orientierungsfunktion definiert. (z. B.: FORKERT, 1994; RIES ET AL., 2001)

Die GPS/IMU-Beobachtungen werden als direkte Beobachtungen von Werten der Orientierungsfunktion (in dieser Anwendung der Knoten der Orientierungsfunktion) in die Ausgleichung eingeführt und definieren im einfachsten Fall ein in sich starres Beobachtungsmodell für die Orientierungsfunktionen aller Flugstreifen. Mit Hilfe von wenigen Passpunkten kann eine Datumskorrektur durch Verschieben und Drehen des GPS/IMU-Modells erfolgen. Im nächst einfachen Fall kann für jeden einzelnen Flugstreifen ein eigenes GPS/IMU-Modell gebildet und mit Pass- und Verknüpfungspunkte ins Landessystem eingepasst werden.

Wenn in den GPS/IMU-Daten innerhalb eines Streifens Driftphänomene enthalten sind (wie es bei einigen Flugstreifen des Messfluges 2000 der Fall ist), so besteht in ORIENT die Möglichkeit, Korrekturpolynome für derartige GPS/IMU-Modelle zu definieren, und die Koeffizienten dieser Korrekturpolynome als "zusätzliche Parameter" in der Ausgleichung zu

bestimmen (KAGER & KRAUS, 2001). Folgen die Driftphänomene (näherungsweise) einem polynomialen Verlauf, so kann durch diesen Ansatz die Drift korrigiert (oder ihre Auswirkung zumindest gedämpft) werden. Eine Datumskorrektur mit Verschieben und Drehen des GPS/IMU-Modells entspricht in diesem Zusammenhang einem Korrekturpolynom vom Grad 0.

Bei einem "sprunghaften" Verhalten der GPS/IMU-Daten kann das GPS/IMU-Modell für einen Flugstreifen in mehrere Teilmodelle unterteilt werden; für jedes Teilmodell kann ein eigenes Korrekturpolynom im Rahmen der Ausgleichung bestimmt werden, was unetwete erste Ableitungen erlaubt. Eine Überlappung sorgt für einen stetigen Übergang zwischen den Teilmodellen.

Die Einführung von Korrekturpolynomen ist naturgemäß mit der Einführung zusätzlicher Freiheitsgrade ("dof" – degree of freedom) in die Ausgleichung verbunden. Zum Beispiel erhöht die Einführung eines Korrekturpolynoms vom Grad 3 (Exponenten "0,1,2,3" → 4 dof) für alle drei Positionsbeobachtungen eines GPS/IMU-Modells die Anzahl der dof um

$$3 \text{ Koordinaten} \times 4 \text{ dof} = 12 \text{ zusätzliche dof.}$$

Die gleiche Anzahl zusätzlicher dof erhält man durch eine Unterteilung des GPS/IMU-Modells in 3 Teilmodelle und Definition von Korrekturpolynomen vom Grad 1 (Exponenten "0,1" → 2 dof) für drei Positionsbeobachtungen:

$$3 \text{ Teilmodelle} \times 3 \text{ Koordinaten} \times 2 \text{ dof} = 18 \text{ neue dof.}$$

Jedoch kommen hierbei 3 Verknüpfungsbedingungen in 2 Überlappungsbereichen ($3 \times 2 = 6$) hinzu, sodass schließlich für dieses Beispiel zusätzliche $18 - 6 = 12$ dof in der Ausgleichung bestimmt werden müssen.

5 Verbesserung der Georeferenzierung der Daedalus-Scannerdaten durch Driftmodellierung

In Hinblick auf weitere geplante Untersuchungen wurden in den Daedalus-Scannerdaten flächendeckend und möglichst gleichmäßig verteilt etwa 80-90 Passpunkte pro Flugstreifen mit der MZK bestimmt, und entlang des Überlappungsbereichs benachbarter Flugstreifen wurden durchschnittlich 60 Verknüpfungspunkte gemessen. Somit stehen jene Passpunkte, die in einer Ausgleichung nicht zur Bestimmung der Unbekannten verwendet werden, als Kontrollpunkte zur Verfügung.

Im Projektverlauf stellte sich heraus, dass die einfachsten Fälle "direkte Georeferenzierung", "Einpassung eines Block-GPS/IMU-Modells für alle Streifen gemeinsam" und auch die "Einpassung von Streifen-GPS/IMU-Modellen für jeden Flugstreifen" nur unzureichende Ergebnisse lieferten. Bei der Einpassung der Streifen-GPS/IMU-Modelle wiesen einige Flugstreifen eine homogene und ausgezeichnete Genauigkeit mit Restklaffungen < 1 Pixel auf, während in anderen Flugstreifen deutlich systematische Restklaffungen von bis zu 4-5 Pixeln festgestellt wurden.

Die 24 Flugstreifen des Blocks wurden in sogenannte "Gut-Streifen" und "Problemstreifen" unterteilt und es ergaben sich fast 50% "Problemstreifen". Als Ursache für das unterschiedliche Bild der Restklaffungen für verschiedene Flugstreifen konnten nur "Inhomogenitäten" bzw. "Driftphänomene" in den GPS/IMU-Beobachtungen angenommen werden. Nähere Betrachtung der Flugbahnen der "Problemstreifen" ergab, dass eben in diesen Flugstreifen die Z-Kurve die auffälligen Abweichungen von der mittleren Flughöhe

von bis zu ± 20 m aufweist (vgl. Abb. 1). Dagegen wiesen die Z-Kurven der "Gut-Streifen" nur sehr kleine Abweichungen von der mittleren Flughöhe im Bereich von ± 5 m auf.

In der Folge wurde ein Teilblock von drei Flugstreifen (von West nach Ost: Str.13, Str.12 und Str.11) für Detail-Untersuchungen ausgewählt, wobei die äußeren beiden Streifen Str.13 und Str.11 als "Gut-Streifen" und der mittlere Flugstreifen Str.12 als "Problemstreifen" klassifiziert waren. Für diesen Teilblock wurden unterschiedliche Strategien zur Qualitätssteigerung der Georeferenzierung getestet, welche im Folgenden kurz charakterisiert werden sollen. Zum Vergleich der Varianten sind die mittleren Gewichtseinheitsfehler a posteriori (σ_0) und die mittleren Diskrepanzen im jeweiligen Scannerstreifen (rms in Pixel) an den nicht in der Ausgleichung beteiligten Kontrollpunkten in Tab. 2 zusammengefasst.

Variante DG – "Direkte Georeferenzierung":

Die großen mittleren Diskrepanzen veranschaulichen, dass die GPS/IMU-Daten im Falle des Messfluges 2000 auf jeden Fall noch einer Datumskorrektur bedürfen.

Variante BE – "Block-GPS/IMU-Modell-Einpassung":

Ein GPS/IMU-Modell für den gesamten Block wird über zwei Passpunktbänder im Norden und Süden an den Streifenenden und unter Verwendung der vorhandenen Verknüpfungspunkte eingepasst. Die mittleren Diskrepanzen quer zur Flugrichtung für Str.12 sind deutlich schlechter (Faktor 1.6) als die der beiden benachbarten Flugstreifen.

Variante SE – "Streifen-GPS/IMU-Modell-Einpassung" (100%-Referenz):

Definition von GPS/IMU-Modellen für jeden Streifen und Einpassung dieser Streifen-GPS/IMU-Modelle über zwei Passpunktbänder im Norden und Süden am Streifenende und unter Verwendung der vorhandenen Verknüpfungspunkte.

Str.13 und Str.11 weisen nun eine sehr gute Genauigkeit auf; Str.12 tritt in dieser Variante deutlicher als "Problemstreifen" hervor: mittlere Diskrepanzen quer zur Flugrichtung sind in Str.12 um den Faktor 3 schlechter als in den benachbarten "Gut-Streifen".

Vorbemerkungen zu den Varianten P2, P4, S2 und S4:

Korrektur der in Str.12 enthaltenen Driftphänomene erfolgt einerseits mittels Korrekturpolynomen (P) für die Positionsinformation des Streifen-GPS/IMU-Modells und andererseits mittels Unterteilung (S – "Splitten") des GPS/IMU-Modells von Str.12 in drei Teile und Bestimmung von getrennten Korrekturpolynomen für jedes Teilmodell.

Den Varianten P und S ist gemeinsam, dass neben den beiden Passpunktbändern an den Streifenenden zusätzliche Passpunkte zur Verfügung gestellt werden muss, um die zusätzlichen Freiheitsgrade im Rahmen der Ausgleichung zu bestimmen. Um (teure) Vollpasspunkte einzusparen, wurde bei diesen 4 Varianten folgender Versuch durchgeführt: Die Verknüpfungspunkte, die am Gelände liegen, werden als Höhenpasspunkte in die Ausgleichung eingeführt. Dazu wurden die Lage-Koordinaten der Gelände-Verknüpfungspunkte aus Variante SE verwendet, um die zugehörige Geländehöhe aus dem Geländemodell zu interpolieren; die interpolierte Geländehöhe wurde als Höhen-Passinformation in der Ausgleichung verwendet. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass hinreichend gute Näherungen für die Lage-Koordinaten der Verknüpfungspunkte bekannt sind, und dass das Geländemodell an diesen Stellen näherungsweise horizontal ist. Beide Voraussetzungen können im Fall des Messfluges 2000 als erfüllt betrachtet werden. In den dargestellten Varianten P2, P4, S2 und S4 sind alle Gelände-Verknüpfungspunkte als Höhenpasspunkte verwendet worden.

Variante P2 – "Polynomkorrektur für Str.12, 2 Passpunktbänder":

Für Str.12 wird aufbauend auf Variante SE ein Korrekturpolynom bis zum Grad 4 für die Positionsdaten des GPS/IMU-Modells definiert. Polynomgrad 4 hat sich für dieses spezielle Anwendungsbeispiel als günstig erwiesen (PORTALES, 2002). Für jeden Fall ist aber gesondert abzuwägen, welcher Grad geeignet ist. Als Passinformation werden wie bisher zwei Passpunktbänder an den Streifenenden verwendet. Zusätzlich werden die Gelände-Verknüpfungspunkte als Höhenpasspunkte eingeführt.

Variante P4 – "Polynomkorrektur für Streifen 12, 4 Passpunktbänder":

wie Variante P2, jedoch zwei zusätzliche Passpunktbänder wie unter Variante S4 beschrieben.

Variante S2 – "Splitted Model für Str.12, 2 Passpunktbänder":

Aus Abb. 1 ist ersichtlich, dass sich zwei Stellen innerhalb des GPS/IMU-Modells für Str.12 gut als "Bruchstelle" für die Unterteilung eignen. Die erste Bruchstelle wurde im Bereich um Scan 2400 eingeführt und die zweite im Bereich um Scan 4900. Für jedes GPS/IMU-Teilmodell wurden für die Position Korrekturpolynome maximal bis zum Grad 2 angesetzt. Vollpasspunkte: wieder zwei Passpunktbänder an den Streifenenden und die Höhenpassinformation der Gelände-Verknüpfungspunkte.

Variante S4 – "Splitted Model für Str.12, 4 Passpunktbänder":

wie Variante S2, jedoch wurden an den zwei Bruchstellen der GPS/IMU-Modelle zusätzlich zwei Bänder von Vollpasspunkten in die Ausgleichung eingeführt.

					Streifen 13					Streifen 12					Streifen 11				
Typ	PP	G	σ_0	% σ_0	Anz	rms l	rms q	% l	% q	Anz	rms l	rms q	% l	% q	Anz	rms l	rms q	% l	% q
DG					82	3.09	3.32	549	448	90	6.11	5.90	901	284	83	3.61	3.53	682	549
BE	2b	0	0.47	100	66	0.74	0.94	131	127	76	0.67	1.63	99	78	71	0.47	1.02	88	159
SE	2b	0	0.45	100	66	0.56	0.74	100	100	76	0.68	2.08	100	100	71	0.53	0.64	100	100
P2	2b	4	0.30	66	66	0.55	0.76	98	103	76	0.51	0.81	76	39	71	0.54	0.65	102	102
P4	4b	4	0.31	68	55	0.56	0.64	99	86	68	0.47	0.76	70	36	63	0.51	0.65	96	101
S2	2b	2	0.27	60	66	0.56	0.74	99	100	76	0.51	0.68	75	33	71	0.55	0.65	103	101
S4	4b	2	0.28	63	55	0.55	0.61	98	83	68	0.47	0.63	69	30	63	0.51	0.65	97	102

Tab. 2: Vergleich verschiedener Varianten der Georeferenzierung von Str.13, Str.12 und Str.11 des Messfluges Wien 2000: **Typ**: Kurzbezeichnung der Variante / **PP**: Passpunktconfiguration: **2b** - Zwei "Bänder" von Passpunkten am südlichen und nördlichen Streifenende, insgesamt 32 Passpunkte; **4b** – wie 2b plus zwei weitere "Bänder" von Passpunkten im Bereich der "Bruchstellen" der GPS/IMU-Daten in Str.12, insgesamt 51 Passpunkte / **G**: maximaler Grad der Korrekturpolynome / **σ_0** : mittlerer Gewichtseinheitsfehler a posteriori / **Anz**: Anzahl der Kontrollpunkte im Streifen / **rms**: mittlere Diskrepanzen an den Kontrollpunkten in Pixel / **l**: längs Flugrichtung / **q**: quer zur Flugrichtung

Aus Tabelle 2 ist ersichtlich, dass für alle vier Varianten P2/4 und S2/4 eine deutliche Verbesserung erzielt werden konnte: σ_0 wurde zwischen 30 % und 40 % verbessert, die mittleren Diskrepanzen quer zur Flugrichtung erfahren im Str.12 eine eindrucksvolle Verbesserung von bis zu 70 % (siehe auch Abb. 3 am Ende dieses Beitrages), dagegen bleiben sie in den "Gut-Streifen" Str.13 und Str.11 in etwa gleich. Nach der Driftmodellierung sind die mittleren Diskrepanzen auch quer zur Flugrichtung aller drei Streifen homogen.

Der Vergleich der Varianten P2 mit P4 und S2 mit S4 zeigt, dass die Einführung von vielen Höhenpasspunkten ohne zusätzliche Vollpasspunkte in diesem Anwendungsbeispiel in der

Lage ist, eine deutliche Verbesserung zu bringen. Es wurden auch die Varianten P4 und S4 mit "normalen" Verknüpfungspunkten (ohne Höhenpassinformation) versuchsweise berechnet, aber hier nicht dargestellt. Das Ergebnis ist mit dem der Varianten P2 und S2 vergleichbar. In diesem Fall kann also ein Teil der (teuren) Vollpasspunkte durch (billigere) Höhenpassinformation in den Verknüpfungspunkten ersetzt werden.

Am Besten schneiden die Varianten S2 und S4 ab, was darauf hindeutet, dass für dieses Beispiel die Unterteilung des Streifen-GPS/IMU-Modells in drei Teile günstiger ist als ein Korrekturpolynom für den gesamten Streifen (vgl. Abb. 2). Welche Strategie der Driftkorrektur gewählt wird, ist aber im Einzelfall immer gesondert zu entscheiden. Nachteil der Polynomkorrektur ist sicherlich, dass Polynome höheren Grades zum Ausschwingen neigen und unangenehme Nebeneffekte auftreten können. Eine Folge von Teilmodellen mit eigenen Korrekturpolynomen niederen Grades ist hinsichtlich Ausschwingungsverhalten sicherlich die "ungefährlichere" Lösung wenn auch weniger gut automatisierbar.

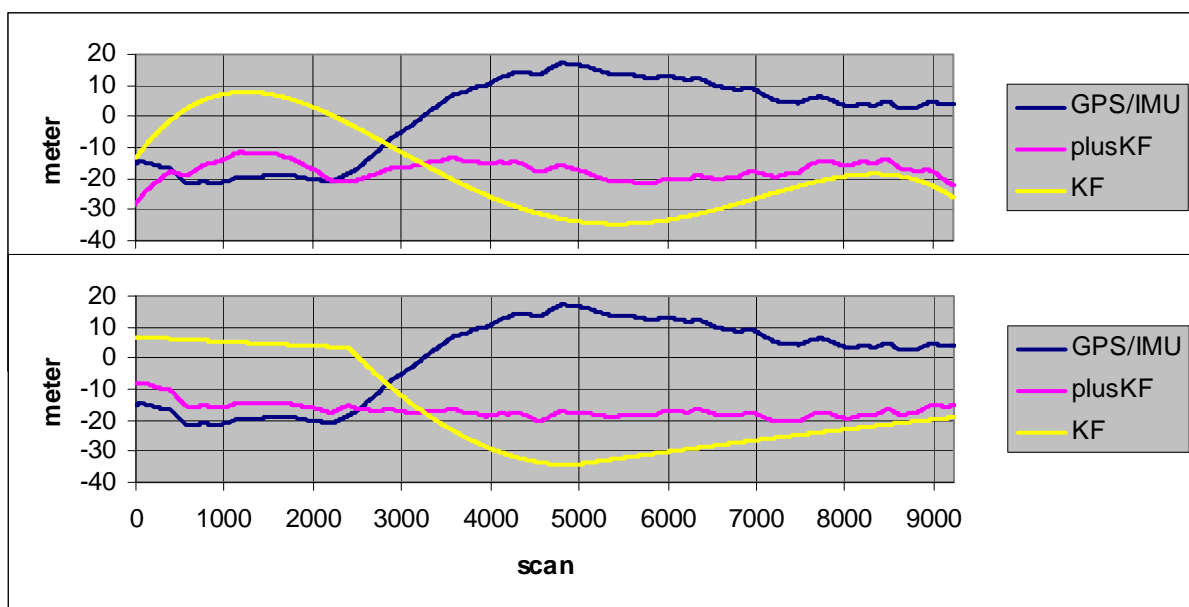


Abb. 2: Z-Korrektur durch Driftmodellierung: oben Variante P2; unten Variante S2
 GPS/IMU: originale GPS/IMU-Z-Daten; KF: Korrekturfunktion;
 plusKF: Z-Werte nach Anbringen der Korrekturfunktion,

6 Zusammenfassung

Eine hohe Qualität der Georeferenzierung von multispektralen Scannerdaten ist für die Qualität der abgeleiteten Folgeprodukte (Klassifizierungen, Zeitreihen, etc.) entscheidend. Nicht korrigierte Datumsprobleme oder Driftphänomene in den GPS/IMU-Beobachtungen beeinträchtigen die Qualität der georeferenzierten Scannerdaten. In diesem Beitrag wurde gezeigt, dass eventuell in GPS/INS-Daten vorhandene Driftphänomene im Rahmen einer hybriden Ausgleichung durch Erweiterung des mathematischen Modells korrigiert oder zumindest gedämpft werden können. Die Wahl der Strategie "Korrekturpolynom" oder "Model-Splitting" und auch die Wahl der Polynomgrade ist in jedem Anwendungsfall individuell zu entscheiden. Von Vorteil wäre es, aus der GPS/IMU-Prozessierung Hinweise hinsichtlich Schwachstellen zu erhalten.

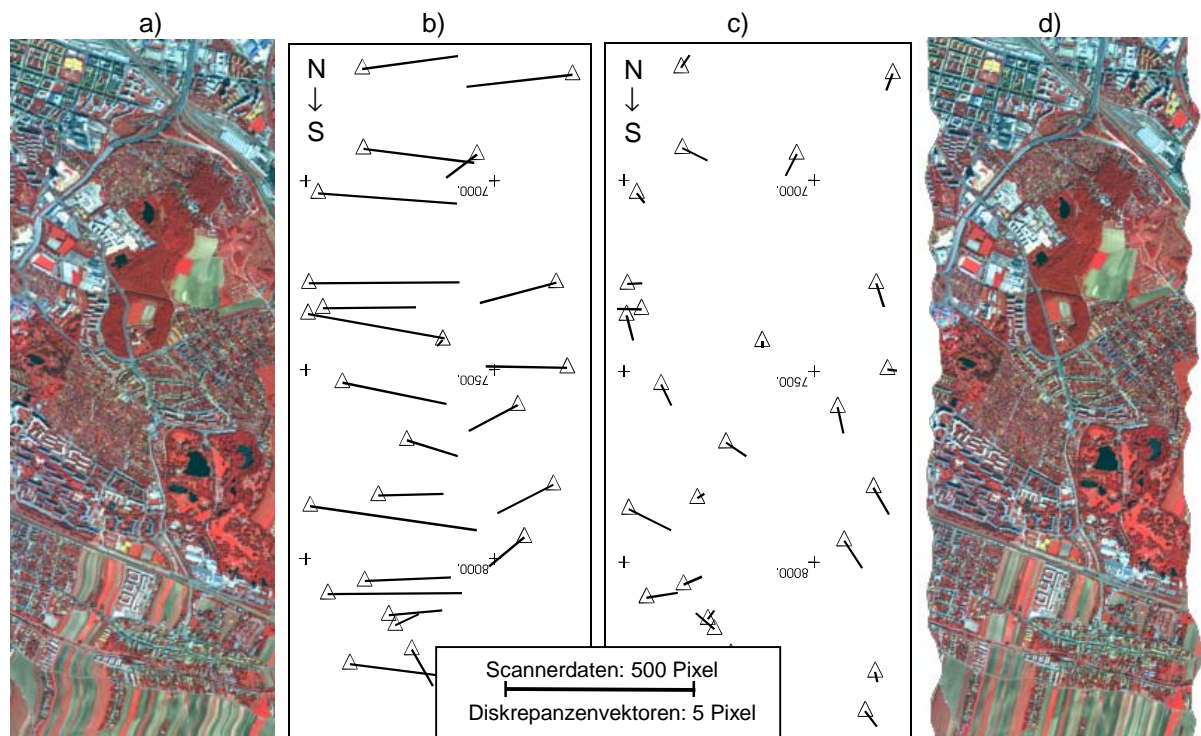


Abb. 3: Beispiel aus Str.12: **a)** Ausschnitt aus den Scannerdaten, Flugrichtung Nord → Süd; **b)** und **c)** Diskrepanzen in den Scannerdaten an den Checkpoints Variante SE (b) und Variante S2 (c); **d)** Ausschnitt aus den georeferenzierten Scannerdaten

7 Danksagung

Die Arbeiten zu diesem Beitrag wurden vom Österreichischen Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF) gefördert (Forschungsprojekt P13432-MAT). Weiters danken die Autoren dem Österreichischen Bundesinstitut für Gesundheitswesen (ÖBIG) für die freundliche Unterstützung.

8 Literaturverzeichnis

- ECKER, R., KALLIANY, R., OTEPKA, G. (1993): High quality rectification and image enhancement techniques for digital orthophoto production. - Photogrammetric Week 93, Stuttgart, Wichmann Verlag, Karlsruhe 1993 pp.142-155.
- FORKERT, G. (1994): Die Lösung photogrammetrischer Orientierungs- und Rekonstruktionsaufgaben mittels allgemeiner kurvenförmiger Elemente. - Dissertation an der Technischen Universität Wien, Geowissenschaftliche Mitteilungen der Studienrichtung Vermessungswesen, Heft 41, Juli 1994.
- KAGER, H. (1995): Orient: A Universal Photogrammetric Adjustment System, Reference Manual. - Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Wien, 1995.
URL: http://www.ipf.tuwien.ac.at/produktinfo/orient/html_hjk/orient.html
- KAGER, H., KRAUS, K. (2001): Height Discrepancies between Overlapping Laser Scanner Strips. In Grün/Kahmen (Eds.): Optical 3-D Measurement Techniques V, 2001, pp. 103 -110.
- PILLMANN, W., KELLNER, K. (2001): Monitoring of Green Urban Spaces and Sealed Areas – Application of remote sensing time series for the BiotopMonitoring Vienna. 2nd International Symposium "Remote Sensing of Urban Areas 2001", 22-23 June, Regensburg/Germany.
- PORTALES, C., (2002): Geometric Rectification of GPS/IMU-Supported Airborne Multi-spectral Scanner Data. Diplomarbeit am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien.
- RIES, CH., KAGER, H., RESSL, C., STADLER, P. (2001): Rektifizierung von Flugzeug-scanneraufnahmen mit Hilfe von Splinefunktionen. Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 9., 2001, S. 229 - 236.