

Entwicklung eines Qualitätsmodells für die Generierung von Digitalen Geländemodellen aus Airborne Laser Scanning

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels
DOKTOR DER WISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von
HANS JÜRIG LÜTHY
Dipl. Ing. ETH Zürich
geboren am 02. Oktober 1971
von Schöffland AG

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. Hilmar Ingensand, Referent
Prof. Dr. Matthäus Schilcher, Ko-Referent
2007

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Ausgangslage und Motivation	1
1.2	Ziel der Arbeit	2
1.3	Gliederung der Arbeit	2
1.4	Qualitäts- und Prozessmanagement	3
1.4.1	Erläuterung zum Begriff Qualität	3
1.4.2	Grundzüge des Qualitätsmanagements	3
1.4.3	Prozesse	4
1.4.4	Qualitätsplanung	5
1.4.5	Qualitätsmanagement bei ALS-Projekten	5
1.5	Qualität im Vermessungswesen	6
1.6	Qualität von Geodaten	7
1.6.1	Produktmerkmale	7
1.6.2	Allgemeine Qualitätsmerkmale von Geodaten	7
1.6.3	Die Qualitätsmerkmale der ISO Geonormen	8
1.6.4	Der Prozess der Qualitätsprüfung	10
1.6.5	Dokumentation der Qualitätsinformation	12
1.7	Qualität von Digitalen Geländemodellen	12
1.7.1	Begriffe	12
1.7.2	Modellierungsprozesse	13
1.7.3	Klassische Qualitätsmerkmale von DGM	14
2	Datenerfassung mittels Airborne Laser Scanning	15
2.1	Laser Scanner	16
2.1.1	Laser Impuls	16
2.1.2	Ablenktechnologie	18
2.2	Positionierungs- und Orientierungssystem	19
2.2.1	Kinematisches DGPS	19
2.2.2	Inertiales Messsystem	20
2.2.3	Kombination der POS-Messgrößen	20
2.3	Vergleich der gebräuchlichsten ALS-Systeme	21
2.4	Unsicherheiten in der Datenerfassung	23
2.4.1	Unsicherheit der Objekterfassung	24
2.4.2	Messunsicherheit in der Rangebestimmung	26
2.4.3	Messunsicherheit der Winkelbestimmung	28
2.4.4	Messunsicherheit der Positions- und Orientierungsbestimmung	28
2.4.5	Kombinierte Messunsicherheit	31
2.4.6	Anmerkung zur kombinierten Messunsicherheit	34
2.5	Bestimmung und Reduktion von systematischen Einflüssen	35
2.5.1	Labor-Kalibrierung Laser Scanner	35
2.5.2	In situ Systemkalibrierung	36
2.5.3	Streifenausgleichung	37
2.6	Diskussion	37
3	Die ALS-Prozesskette	39
3.1	Produktspezifikation	40
3.2	Flugplanung	41
3.3	Flugvorbereitung und Systemkalibrierung	43
3.4	Befliegung	44

3.5	Berechnen der externen Orientierung.....	45
3.6	Prozessieren der Rohdaten	46
3.7	Filterung der Punkte	47
3.8	Modellbildung	49
3.9	Metadaten und Datenabgabe	49
3.10	Datensätze	50
3.10.1	Daten für die Planung und Vorbereitung der Arbeiten	52
3.10.2	Befliegung.....	53
3.10.3	Prozessieren der Rohdaten.....	53
3.10.4	Filterung der Punktwolke.....	54
3.10.5	Unterstützende Daten	54
3.10.6	Prozess-Aufzeichnungen.....	55
3.10.7	Qualitätskontrollen.....	56
3.11	Unsicherheiten in und aus den Prozessen.....	57
3.11.1	Umgang mit Ausreißern in der Rangebestimmung.....	57
3.11.2	Abweichungen und Fehler bei Terrain-Filterung.....	58
3.11.3	Unsicherheit aus der Modellierung	60
3.12	Diskussion	60
4	Qualitätsmodell für Airborne Laser Scanning	61
4.1	Aufbau des ALS-Qualitätsmodells.....	61
4.2	Nicht-quantitative Qualitätselemente	62
4.2.1	Allgemeine Produktdefinitionen für DGM	62
4.2.2	Definition des Produkts „DTM“	63
4.2.3	Definition des Produkts „DOM“	64
4.2.4	Nachvollziehbarkeit und Metadaten	66
4.3	Quantitative Qualitätselemente (technischen Spezifikationen).....	67
4.3.1	Auflösung.....	68
4.3.2	Räumliche Genauigkeit.....	72
4.3.3	Thematische Genauigkeit.....	75
4.3.4	Vollständigkeit.....	75
4.3.5	Zeitliche Genauigkeit.....	77
4.3.6	Logische Konsistenz	78
4.3.7	Vorschlag für technische Spezifikationen.....	78
4.4	Prozessqualität.....	81
4.5	Realisierungsprozesse	83
4.6	Managementprozesse	83
4.6.1	Projektmanagement.....	84
4.6.2	Kontinuierliche Verbesserung	84
4.6.3	Ausbildung und Training	85
4.6.4	Know-how Management.....	85
4.7	Qualitätsprüfung	85
4.7.1	Methoden der Qualitätsprüfungen	86
4.7.2	Kontrollen im Prozessablauf	86
4.7.3	Werkzeuge zur Qualitätskontrolle	88
4.7.4	Aufzeichnung der Qualitätsprüfung.....	90
4.8	Datenmanagement	90
4.9	Produktionssystem für ALS	91
4.9.1	Modul Qualitätssicherung und Visuelle Kontrolle	92

4.9.2	Modul Produktionsmonitoring.....	95
4.9.3	Modul Prozess-Manager	98
5	Analyse und Verbesserungsmöglichkeiten aus dem Projekt Landwirtschaftliche Nutzflächen.....	101
5.1	Einführung zum Projekt	101
5.2	Erarbeiten der Spezifikationen	102
5.3	Datenerfassung	103
5.3.1	Flugplanung	103
5.3.2	Schwierigkeiten in der Befliegung.....	105
5.3.3	Erkenntnisse aus der Datenerfassung im alpinen Raum	106
5.4	Prozessieren der Messwerte.....	107
5.4.1	Ableiten der Punktwolke aus den Messungen.....	107
5.4.2	Klassifizierung der Punkte	109
5.4.3	Ausbildung	109
5.4.4	ALS-Produktionssystem	109
5.5	Qualitätsmanagement	110
5.5.1	Kontrolle während der Befliegung.....	110
5.5.2	Kontrolle der Datenerfassung	111
5.5.3	Visuelle Kontrolle der Endprodukte	111
5.5.4	Resultate der quantitativen Qualitätsprüfungen	112
5.6	Diskussion der Erkenntnisse aus dem Projekt LWN.....	112
6	Schlussfolgerungen und Ausblick	115
6.1	Schlussfolgerungen.....	115
6.2	Ausblick.....	117
6.2.1	Monitoring des Scannens	117
6.2.2	Automatische Selektion der optimalen Punkte im Überlappungsbereich	119
6.2.3	Filterung der Terrainpunkte	119
6.2.4	Echtzeit-Datenauswertung	119
6.3	Dank	120
7	Literaturverzeichnis	121
8	Abbildungsverzeichnis.....	131
9	Verzeichnis der Tabellen	133
10	Anhang.....	134
10.1	Glossar und Abkürzungen	134
10.2	Fragebogen für Auftraggeber	137
10.3	Zusammenfassung der Antworten auf den Fragebogen	140