

# **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