

# **Echtzeit-Georegistrierung von Videodaten mit Hilfe von Navigationssensoren geringer Qualität und digitalen 3D-Landschaftsmodellen**

**D i s s e r t a t i o n**

zur Erlangung des akademischen Grades Doktor-Ingenieur  
(Dr.-Ing.)

im Fach Informatik

eingereicht an der

Mathematischen-Naturwissenschaftlichen Fakultät II  
der Humboldt-Universität zu Berlin

von  
Hannes Eugster  
Dipl. Geomatik-Ing. ETH  
geb. 18. September 1977 in Zürich

Präsident der Humboldt-Universität zu Berlin  
Prof. Dr. Jan-Hendrik Olbertz

Dekan der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät II  
Prof. Dr. Elmar Kulke

Gutachter/Gutachterin

1. Prof. Dr. Ralf Reulke
2. Prof. Dr. Verena V. Hafner
3. Prof. Dr. Stephan Nebiker

Tag der Verteidigung: 11. Oktober 2011

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1	Motivation.....	2
1.2	Ziele und Abgrenzung.....	5
1.3	Überblick über die Arbeit.....	6
<b>2</b>	<b>Konzepte und Grundlagen</b> .....	<b>9</b>
2.1	<b>Konzepte zur Video-Georeferenzierung</b> .....	<b>10</b>
2.1.1	Direkte und integrierte Georeferenzierung in der Photogrammetrie.....	10
2.1.2	Video Registration.....	11
2.1.3	Objektrekonstruktion aus Bildsequenzen .....	12
2.1.4	Simultaneous Localisation and Mapping.....	15
2.1.5	Zusammenstellung und Beurteilung .....	17
2.2	<b>Grundlagen zur Bild-zu-3D-Stadtmodell-Zuordnung</b> .....	<b>19</b>
2.2.1	Zuordnungsverfahren.....	19
2.2.2	Bild-zu-Modell-Zuordnung und Kanten-Matching .....	25
2.3	<b>Grundlagen zur photogrammetrischen Einzel- und Mehrbildorientierung</b> .....	<b>30</b>
2.3.1	Indirekte Georeferenzierung .....	31
2.3.2	Direkte Georeferenzierung.....	36
2.3.3	Integrierte Georeferenzierung.....	39
2.3.4	Gegenüberstellung der Bildorientierungsansätze .....	40
2.4	<b>Grundlagen zur Kalman-Filter-basierten Sensordatenfusion</b> .....	<b>41</b>
2.5	<b>Basistechnologien</b> .....	<b>43</b>
2.5.1	Virtuelle Globen.....	43
2.5.2	Unbemannte Flugsysteme.....	44
2.5.3	INS/GNSS-basierte Navigationssysteme .....	45
2.5.4	Videotechnik und -übertragung .....	47
<b>3</b>	<b>Mobile Video-Georegistrierung</b> .....	<b>49</b>
3.1	<b>Architektur und Integrationskonzept</b> .....	<b>50</b>
3.1.1	Ausgangslage und Voraussetzungen .....	50
3.1.2	Datenverarbeitungskette und Architektur.....	51
3.1.3	Zweistufige Video-Georegistrierung.....	53

<b>3.2</b>	<b>Direkte Video-Georeferenzierung - Registrierungsstufe I .....</b>	<b>55</b>
3.2.1	Umsetzung direkte Video-Georeferenzierung .....	55
3.2.2	Navigationsdaten geringer Qualität .....	62
<b>3.3</b>	<b>Integrierte Video-Georeferenzierung - Registrierungsstufe II.....</b>	<b>67</b>
3.3.1	Architektur des integrierten Lösungsansatzes .....	67
3.3.2	Bild-zu-Modell-Zuordnung.....	69
3.3.3	Bildorientierung und Online-Triangulation .....	85
3.3.4	Kontinuierliche Fehlerzustandsschätzung .....	92
<b>4</b>	<b>Prototypanwendung und Umsetzung.....</b>	<b>99</b>
<b>4.1</b>	<b>Umsetzungskonzept und Programmsysteme.....</b>	<b>100</b>
<b>4.2</b>	<b>UAVision - Drohnenbasierte direkte Video-Georeferenzierung und -Integration .....</b>	<b>101</b>
4.2.1	Entwicklungsumgebung.....	102
4.2.2	Video-Datenverarbeitung und -Integration .....	103
4.2.3	Funktionalität und Anwendungen .....	104
<b>4.3</b>	<b>VGR-Prototyp - Drohnenbasierte integrierte Video-Georeferenzierung .....</b>	<b>105</b>
4.3.1	Entwicklungsumgebung.....	106
4.3.2	Umsetzung Video-Georegistrierung .....	107
4.3.3	Steuerparameter und Prozessierungseinstellungen.....	109
<b>5</b>	<b>Testflüge und Ergebnisse.....</b>	<b>111</b>
<b>5.1</b>	<b>Aufnahmeplattformen und Testgebiete .....</b>	<b>112</b>
5.1.1	Mikro- und Minidrohnenysteme.....	112
5.1.2	Testgebiete und 3D-Stadtmodelle.....	114
<b>5.2</b>	<b>Testsequenzen und Untersuchungen.....</b>	<b>116</b>
5.2.1	Systemkalibrierung.....	116
5.2.2	Testsequenzen und Resultate .....	117
5.2.3	Untersuchungen .....	121
<b>5.3</b>	<b>Beurteilung und Erfahrungen .....</b>	<b>128</b>
5.3.1	Unzulänglichkeiten und Schwächen .....	128
5.3.2	Echtzeitfähigkeit .....	129
<b>6</b>	<b>Fazit und Ausblick .....</b>	<b>131</b>
<b>6.1</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>132</b>
<b>6.2</b>	<b>Empfehlungen .....</b>	<b>133</b>
<b>6.3</b>	<b>Anwendungsmöglichkeiten .....</b>	<b>134</b>
<b>6.4</b>	<b>Ausblick .....</b>	<b>135</b>
	<b>Literatur .....</b>	<b>137</b>