



Institut für Photogrammetrie und GeoInformation
Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover

Bachelorarbeit

Untersuchung von Faktoren, die Genauigkeit und Wirtschaftlichkeit multikoptergestützter Vermessung beeinflussen

Stefanie Hahn
10028253

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. habil. Christian Heipke

Zweitprüfer: M.Sc. Amadeus Langer

Betreuer: Dr.-Ing. Jakob Unger

Hannover, 16. Februar 2023

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, Stefanie Hahn, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Alle Stellen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäß aus anderen Quellen übernommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde noch keiner Prüfungsbehörde in gleicher oder ähnlicher Form vorgelegt.

Ort, Datum

Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	Motivation und Zielsetzung	6
2	Theoretische Grundlagen	7
2.1	Photogrammetrie	7
2.1.1	Bilderfassung	7
2.1.2	Zentralprojektion	7
2.1.3	Kamerakalibrierung	8
2.1.4	Bündelblockausgleichung	9
2.1.5	Structure from Motion	10
2.2	Unmanned Aerial Vehicle	11
2.2.1	Prinzip Real Time Kinematic	11
2.3	UAV-Photogrammetrie	12
2.4	UAV-Bildflugplanung	13
2.4.1	Einflussfaktoren	14
3	Rahmenbedingungen	18
3.1	Verwendete Hard- und Software	18
3.1.1	Technische Daten UAV	18
3.1.2	Auswertesoftware	19
3.2	Befliegungsprojekte	20
3.2.1	Einsatzszenarien	20
3.2.2	Kleinräumiges Gebiet: Neuharlingersiel	21
3.2.3	Großräumiges Gebiet: Ridderade-Stophel	24
3.2.4	Genauigkeitsabschätzung	26
4	Variation der Einflussfaktoren und Auswertung mit Diskussion der Ergebnisse	29
4.1	Vorgehen in der Auswertesoftware	31
4.2	Änderungen an kleinräumigem Gebiet	31
4.2.1	Variation unterschiedlicher Flughöhen	31
4.2.2	Reduktion Bildanzahl	34
4.2.3	Reduktion Streifenanzahl mit und ohne Wendebereiche	38
4.2.4	Anpassung Anzahl Passpunkte	46
4.3	Änderungen an großräumigem Gebiet	49
4.3.1	Reduktion Bildanzahl	49
4.3.2	Reduktion Streifenanzahl mit und ohne Wendebereiche	53
4.3.3	Reduktion von Schrägaufnahmen	56
4.3.4	Anpassung Anzahl Passpunkte	62
5	Ergebnisvergleich mit der Referenz	63
5.1	Genauigkeitsbetrachtung	63
5.1.1	RMSE an den Kontrollpunkten	63
5.2	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	65
5.2.1	Gegenüberstellung des Zeitfaktors	65
5.3	Abschätzung effizienter Szenarien	68
6	Fazit und Ausblick	69

Literaturverzeichnis	70
Tabellenverzeichnis	72
Abbildungsverzeichnis	73
Anlagen	74

Abkürzungsverzeichnis

BauGB	Baugesetzbuch
bDOM	Bildbasiertes digitales Oberflächenmodell
CCD	Charged-Coupled Device
CMOS	Complementary Metal-Oxide Semiconductor
DGM	Digitales Geländemodell
DHM	Digitales Höhenmodell
DOM	Digitales Oberflächenmodell
FlurbG	Flurbereinigungsgesetz
GNSS	Globales Navigationssatellitensystem
GPS	Globales Positionsbestimmungssystem
GSD	Ground Sampling Distance
HEPS	Hochpräziser Echtzeit-Positionierungs-Service
LGLN	Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen
LiegVermErlass	Erhebung von Geobasisdaten durch Liegenschaftsvermessungen
PlanZV	Planzeichenverordnung
RANSAC	Random Sample Consensus
RMSE	Root Mean Square Error
RTK	Real Time Kinematic
SAPOS	Satellitenpositionierungsdienst
SfM	Structure from Motion
trueDOP	True Orthophoto
UAS	Unmanned Aerial/Aircraft Systems
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
VKV	Vermessungs- und Katasterverwaltung

1 Einleitung

Die unbemannten Luftfahrzeuge (UAVs - *Unmanned Aerial Vehicles*), umgangssprachlich auch Drohnen, erreichen heutzutage eine immer größer werdende Bedeutung. Die UAVs ermöglichen eine neue Variante zur Erhebung von Daten, da sie die Lücke zwischen der klassischen Luftbildphotogrammetrie mithilfe von Flugzeug oder Helikopter und der geodätischen/photogrammetrischen Aufnahme vom Boden schließen [Arbeitskreis 3 „Messmethoden und Systeme“, 2018].

Die Drohnen finden sowohl im privaten als auch im kommerziellen Bereich Anwendung. Da eine Vielzahl von unterschiedlichen Sensoren angebracht werden können, sind die Einsatzbereiche ebenso vielfältig.

Neben der Vermessung dienen sie aktuell zum Beispiel zur Aufnahme von Luftbildern zu Werbezwecken, zur effizienteren Bewirtschaftung in der Landwirtschaft, zur Inspektion von Windkraftanlagen oder zur militärischen Grenzüberwachung. In der Zukunft ist sogar eine schnellere Paketzustellung zu den Endverbrauchern denkbar [Verband Unbemannte Luftfahrt, 2019], [Verband Unbemannte Luftfahrt, 2021].

Laut dem Verband Unbemannte Luftfahrt gab es in Deutschland bereits im Jahr 2019 ungefähr 430.700 Drohnen, wovon 45.200 Drohnen kommerziell genutzt wurden. Die Vermessung stellt dabei den größten Anteil mit 79 % dar. Der Verband stellt die Prognose auf, dass bis zum Jahr 2025 die Anzahl auf etwa 132.000 steigen wird. Somit bedeutet dies einen immensen Anstieg von jeder neunten auf jede dritte Drohne, die kommerziell verwendet wird [Verband Unbemannte Luftfahrt, 2019].

1.1 Motivation und Zielsetzung

Der Drohneneinsatz hinsichtlich vermessungstechnischer Aufgaben hat auch in der VKV zugenommen. Die VKV greift die aktuellen technischen Entwicklungen im Zukunftskonzept 2025 auf und bildet Projektgruppen, die den effizienten Einsatz im alltäglichen Betrieb des LGLN integrieren.

Folglich sollen sowohl die Möglichkeiten in der Photogrammetrie als auch in der Fernerkundung vertieft werden. Dazu sollen neue Erhebungsverfahren realisiert sowie die klassisch bestehenden ergänzt oder abgelöst werden. Diesbezüglich ist die Aktualisierung von 3D-Messdaten in kleinräumigen Gebieten mittels UAV zu analysieren. Beispielhafte Untersuchungen können die Fortführung von DGM und DOM, Topographie, Gebäuden oder Planunterlagen sein. Gemäß den Ansprüchen der Nutzerinnen und Nutzer sind die Gebäude mit einer besseren Aktualität, vollständig und in dritter Dimension im Liegenschaftskataster nachzuweisen [Projektgruppe VKV 2025, 2017]. Die Effizienz stellt bei multikoptergestützter Vermessung in Bezug auf Genauigkeit und Wirtschaftlichkeit eine Herausforderung dar.

Das Ziel dieser Arbeit ist es anhand von zwei bereits vorhandenen Befliegungsprojekten Faktoren zu untersuchen, die die Genauigkeit und die Wirtschaftlichkeit beeinflussen. Eine Steigerung der Wirtschaftlichkeit ist hauptsächlich durch Minimierung der investierten Arbeitszeit und damit einhergehend eine Senkung der Kosten zu erreichen. Die gesteckten Ziele wurden in vielen Fällen überschritten. Die dabei zu erreichenden Genauigkeiten wurden übertroffen, was ineffizientes Arbeiten bedeutet. Unterschiedliche Faktoren beeinflussen die Befliegung und müssen optimal angepasst werden, um sowohl die gewünschte Produktqualität als auch eine möglichst kurze Zeitdauer zur Durchführung des gesamten Projektes zu garantieren. Außerdem ist der Zeitfaktor vor allem für eine schnelle Weitergabe der Endprodukte an die Auftraggeber von Interesse. Zudem kann die hiermit geschaffene Grundlage für kommende Projekte genutzt werden.