

Wörthersee 3D – Empirischer Vergleich von Flachwasserbathymetriedaten: UAS Photogrammetrie versus Single Beam Echolot

GERNOT PAULUS¹, KARL-HEINRICH ANDERS¹, MELANIE ERLACHER¹,
PETER MAYR² & RUDI SCHNEEBERGER³

Zusammenfassung: 2018 fand in Kärnten mit der Befliegung des gesamten Wörtherseeufers durch ein professionelles unbemanntes Luftfahrzeug („UAS- Unmanned Aerial System“, „Drohne“) eines der flächenmäßig größten wissenschaftlichen drohnenbasierten Geodaten-erfassungsprojekte in Österreich statt. Im Rahmen einer interdisziplinären Forschungskoope-ration wurde das gesamte Wörtherseeufer mit einer Länge von fast 50 km mit einem zertifi-zierten Multirotorsystem ausgerüstet mit einem hochauflösendem Kamerasystem vollständig befliegen und photogrammetrisch ausgewertet. Im Rahmen dieses Konferenzbeitrags fokussie-ren wir auf den empirischen Vergleich von Bathymetriedaten der Flachwasserbereiche des Wörthersees. Single Beam Echolot Profile, die im Rahmen der Echolotvermessung des Wörthersees (Herbst 2017) erfasst wurden, werden mit UAS-basierten photogrammetrisch ab-geleiteten Oberflächenmodellen (Befliegung Frühjahr 2018) von ausgewählten Flachwasser-bereichen quantitativ verglichen und die ersten Ergebnisse präsentiert.

1 Einleitung

Der Wörthersee steht wie viele Seen in Europa im Zentrum des gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Interesses. Die anthropogene Nutzung der Seen und ihrer Ufer steht oft im Gegensatz zum Interesse, den guten ökologischen Zustand von Gewässern nachhaltig für kommende Generationen zu bewahren. Besonders die Uferbereiche, die als Puffer zwischen den terrestrischen und aquatischen Zonen fungieren, stellen aufgrund ihrer Diversität ökologisch hochwertige Lebensräume dar. Neben den chemisch-physikalischen bzw. biologischen Parameter muss bei der Umsetzung der EU Wasserrahmenrichtlinie eine Bewertung der strukturellen Gegebenheiten der Seeufer durchgeführt werden.

Im Rahmen einer interdisziplinären Forschungskoope-ration zwischen der Abteilung 8 Umwelt, Wasser und Naturschutz des Amtes der Kärntner Landesregierung, den Industriepartnern flussbau iC GesmbH und ViewCopter e.U. sowie dem Studiengang Geoinformation und Umwelttechnologien an der FH Kärnten als wissenschaftlichen Partner wurde das gesamte Wörtherseeufer mit einer Länge von fast 50 km mit einem zertifizierten Multirotorsystem ausgerüstet mit einem hoch-auflösendem Kamerasystem vollständig befliegen und photogrammetrisch ausgewertet.

Ziel dieses Projektes ist die Erstellung eines sehr genauen digitalen dreidimensionalen Gelände- und Oberflächenmodells des Uferstreifens des Wörthersees unter besonderer Berücksichtigung des Wasser- Landübergangsbereiches. Die erwarteten Ergebnisse sind der „missing digital link“ –

¹ FH Kärnten, Geoinformation und Umwelttechnologien, Europastrasse 4, A-9524 Villach, E-Mail: [g.paulus, k.anders, m.erlacher]@fh-kaernten.at

² flussbau iC GesmbH, 10. Oktoberstrasse 23, A-9500 Villach, E-Mail: p.mayr@ic-group.at

³ ViewCopter e.U., Lilienweg 2, A-9560 Feldkirchen, E-Mail: rudi@vcopter.net

der fehlende digitale Baustein zu einem nahtlosen, durchgängigen und vollständigen 3D Modell zwischen den bereits vorliegenden Laserscan-Geländedaten der Seeumgebung und der im Winter 2017 durchgeführten Echolotvermessung des Wörthersees.

2 Problemstellung

Herausforderungen in diesem angewandten Forschungsprojekt sind: (1) die Flugplanung zur Durchführung der Drohnenbefliegung gliedert in einzelne Teilmissionen von ca. 1 km Länge, um den gesetzlichen Sichtflugvorgaben zu entsprechen sowie die enge Kommunikation mit der Austro Control am Tower des Flughafens Klagenfurt; (2) die Sicherstellung der Lage- und Positionsgenauigkeit der erfassten Daten durch Referenzmessungen im gesamten Projektgebiet; (3) das Management und die photogrammetrische Prozessierung der riesigen anfallenden digitalen Datenmenge und, last, but not least, (4) die Integration der verschiedenen 3D Gelände- und Oberflächendaten der Seeumgebung, des Übergangsbereiches und des Seeuntergrundes zu einem ganzheitlichen, lückenlosen dreidimensionalen digitalen 3D Modell des Wörthersees.

Im Rahmen dieses Konferenzbeitrags fokussieren wir auf den empirischen Vergleich von Bathymetriedaten der Flachwasserbereiche des Wörthersees. Single Beam Echolot Profile, die im Rahmen der Echolotvermessung des Wörthersees (Herbst 2017) erfasst wurden, werden mit UAS-basierten photogrammetrisch abgeleiteten Oberflächenmodellen (Befliegung Frühjahr 2018) von ausgewählten Flachwasserbereichen quantitativ verglichen und die ersten Ergebnisse präsentiert.

3 Methodik

Im Zuge einer primären Datenerfassungskampagne wurde im Zeitraum 27. März bis 18. April 2018 innerhalb von 11 Flugmissionstagen der gesamte Wörtherseeuferstreifen mit einem professionellen, Klasse C zertifizierten UAS-Multirotorsystem befliegen und die dabei erfassten Einzelbilder photogrammetrisch ausgewertet. Als Referenzdaten dienten einerseits für die photogrammetrische Prozessierung mittels DGPS erfasste Passpunkte und andererseits für den empirischen Vergleich der Flachwasserbereiche Single Beam Echolot Punktmessungen, die im Rahmen der Echolotvermessungskampagne des Wörthersees im Herbst und Winter 2017 erfasst wurden.

3.1 UAS Datenerfassung und photogrammetrische Prozessierung

Als Grundlage für die UAS Flugmissionsplanung wurden vom der Abteilung 8 Umwelt des Amtes der Kärntner Landesregierung ausgehend von der Uferlinie (45.935 km) des Wörthersees ein see-seitiger und landseitiger ca. 80m breiter Puffer mit einer Gesamtflächenausdehnung von ca. 5.5km² vorgegeben.

Die Befliegung wurde von einem professionellen Dienstleistungsunternehmen (ViewCopter e.U.) mit einem für die Befliegung von besiedelten Gebieten zugelassenen UAS Multirotorsystem (Viewcopter V6H - Adaptierter und erweiterter Hexacopter auf Basis DJI Matrice 600 Pro) mit einer Flugzeit von ca. 25 Minuten durchgeführt. Als Kamerasensor wurde eine SONY ILCE-A7RM2 Vollformatkamera mit 44 MP und einem 28mm Objektiv verwendet. Abbildung 1 zeigt das UAS System im Einsatz.



Abb. 1: UAS Multirotorsystem ViewCopter V6 H mit SONY A7R im Einsatz.

Auf Grund der aktuellen gesetzlichen Rahmenbedingungen sind in Österreich nur UAS Befliegungen mit direkter Sichtverbindung des Piloten zum UAS und einer maximalen Flughöhe von 150m AGL möglich (AUSTRO CONTROL 2018). Auf Grund dieser gesetzlichen Rahmenbedingungen wurde das gesamte Projektgebiet in 54 Flugmissionssegmente unterteilt. Jedes Segment wurde mit 4-5 Flugstreifen mit 70% Überlappung in Flugrichtung und 70% Überlappung zwischen den einzelnen Flugstreifen geplant. Besonderes Augenmerk bei der Flugplanung wurde dabei sowohl auf eine Überlappung von mindestens 100m zwischen angrenzenden Segmenten als auch auf eine ausreichende Erfassung über die vorgegebenen Projektgebietsgrenzen hinaus, um eine stabile photogrammetrische Prozessierung der Randbereiche zu gewährleisten. Ausgehend von der vorgegebenen 5.5.km² großen Projektgebietsgröße beträgt die Gesamtabdeckung der UAS Befliegung bei einer Flughöhe von 150m und einer Bodenauflösung von ca. 2cm 14.5 km² (Tab. 1).

Die photogrammetrische Prozessierung wurde mit AGISOFT Photoscan Pro (Version 1.4.1.) durchgeführt. Dabei wurden die UAS Daten der 54 Flugmissionssegmente zu insgesamt 9 Prozessierungsregionen zusammengefasst. Als Serverinfrastruktur wurde ein XEON Server mit 24 Kernels, 4 GPU NVIDIA 20N Graphikkarten und 128 GB RAM Arbeitsspeicher eingesetzt. Die Gesamtmenge der zu prozessierenden Daten umfasst 17589 Einzelbilder mit einem Datenvolumen von 605.54 GB. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die erfassten Bilddaten und die Ergebnisse der photogrammetrischen Auswertung.

Tab. 1: Überblick über die erfassten Bilddaten und die Ergebnisse der photogrammetrischen Auswertung

UAS Survey Lake Woerthersee 2018 27.3.2018-18.4.2018 11 Flight Missions Photogrammetric Processing	Number Flight Segments	Number Images Total	Number Images Aligned	Flying Altitude m AGL	Ground Resolution cm/pix	Coverage Mission Area km ²	Dense Point Cloud # points	# Control Points	RMSE X Control Points (cm)	RMSE Y Control Points (cm)	RMSE Z Control Points (cm)	RMSE Total Control Points (cm)
Mission Area 01	6	1899	1811	153	2.33	1.39	469,875,189	12	5.66	4.23	4.1	8.17
Mission Area 02	6	1893	1883	154	2.34	1.61	666,340,903	20	1.34	1.15	0.85	1.97
Mission Area 03	6	1952	1924	149	2.27	1.76	865,558,108	23	1.26	1.69	0.85	2.27
Mission Area 04	5	1667	1618	152	2.28	1.75	840,883,589	25	1.26	0.97	0.95	1.85
Mission Area 05	5	1686	1684	153	2.31	1.41	586,423,132	15	0.71	1.39	0.99	1.85
Mission Area 06	6	1907	1208	156	2.33	1.02	390,318,553	12	0.69	1.43	0.56	1.68
Mission Area 07	7	2592	2534	154	2.27	2.07	883,664,917	23	1.47	1.46	0.74	2.2
Mission Area 08	6	2105	2099	153	2.26	1.74	802,798,064	24	2.07	2.26	1.81	3.57
Mission Area 09	7	1888	1888	147	2.23	1.71	816,115,969	26	1.24	0.99	1.33	2.07
	54	17589	16649	152	2.29	14.46	6,321,978,424	180	1.74	1.73	1.35	2.85
	Total Sum	Total Sum	Total Sum	Mean	Mean	Total Sum	Total Sum	Total Sum	Mean	Mean	Mean	Mean

3.2 Referenzmessungen

Als Referenzdaten wurden einerseits für die photogrammetrische Prozessierung mittels DGPS erfasste Passpunkte und andererseits für den empirischen Vergleich der Flachwasserbereiche Single Beam Echolot Punktmessungen, die im Rahmen der Echolotvermessungskampagne des Wörthersees im Herbst und Winter 2017 erfasst wurden, verwendet.

3.2.1 Terrestrische DGPS Passpunkte

Die Erfassung der terrestrischen Passpunkte wurde von der Firma flussbau iC GsmBH mittels TRIMBLE R8S DGPS (RTK-APOS) unter Verwendung einer lokalen Transformation erfasst. Eine besondere Herausforderung der Erfassung der Passpunkte bei diesem Projekt ist der sehr hohe Verbauungsgrad des Wörtherseeufers verbunden mit der sehr eingeschränkten freien Zugänglichkeit des Uferbereiches. Als Passpunkte wurden daher landseitig gut erkennbare markante Punkte (Kanaldeckel) entlang der Uferstrasse verwendet. Zusätzlich wurden mittels Boot markante Punkte an Stegen seeseitig eingemessen. Insgesamt wurden mit diesem Zugang 417 Passpunkte erhoben.

3.2.2 Echolotmessungen

- Positionierung und Höhenbestimmung

Die gesamte Positionierung und Höhenbestimmung der Echolotvermessung erfolgte mittels RTK-DGNSS, wobei die Korrekturdaten von APOS bezogen wurden. Die Kontrolle erfolgt über die amtlichen Festpunkte. Die Kontrolle des Wasserspiegels wurde zusätzlich am Pegel Pörschach (HZB-Nummer: 212985) durchgeführt.

- Fächerecholotmessung

Das eingesetzte Fächerecholot arbeitet mit einer Frequenz von 400kHz. Der Öffnungswinkel variiert zwischen 150° und 165°. Die entsprechende Beamöffnung beträgt quer 0,5° und längs 1°. Die Tiefenaufklärung kann mit 6mm angenommen werden. Die maximale Ping Rate beträgt 50Hz. Als Inertialsystem wird die Messeinheit Octans V mit einer Richtungsgenauigkeit von 0,1° und von 0,01° bei Roll, Pitch und Yaw sowie einer Auflösung von 0,001° verwendet. Zur integrativen

Stützung kam ein GNSS Heading System der AsteRx-U Marine von Septentrio zum Einsatz. Die Temperatur und das Wasserschallgeschwindigkeitsprofil wurde mit der VALEPORT Swift SVP Sonde gemessen.

- Sedimentecholotmessung „Sub Bottom Profiling“

Die Sedimentecholotung wurde mit dem SES-2000 compact durchgeführt. Das SES-2000 arbeitet mit einer hohen Frequenz (85 – 115kHz) und mit einer niedrigen Frequenz (2 – 22kHz). Die Schwingeröffnung ist $4^\circ \times 4^\circ$. Die maximale Ping Rate beträgt dabei 40 Hz.

- Ergänzungsmessung mit Singlebeam Echolot

Das eingesetzte Singlebeam Admodus Sonar arbeitet mit einer Frequenz von 210kHz und 33kHz oder 15kHz mit einem Öffnungswinkel von $\pm 4.5^\circ$ und $\pm 9^\circ$ oder $\pm 13.5^\circ$. Die Auflösung am Boden beträgt 1cm. Die maximale Ping Rate beträgt bis 20 Hz. Insgesamt liegen für die Flachwasserbereiche des Wörthersees 8295 Single Beam Echoloteinzelpunktmessungen vor. Davon wurden in einer ersten empirischen Vergleichsuntersuchung 1504 Single Beam im Ostteil des Wörthersees im Bereich von Krumpendorf bis Klagenfurt (Uferlänge ca. 5.5 km) verwendet.

4 Erste Ergebnisse

Nachfolgend werden erste Ergebnisse der empirischen Vergleichsmessungen zwischen photogrammetrisch berechneten digitalen Oberflächenmodellen von ausgewählten Flachwasserbereichen und Single Beam Echolot Einzelpunktmessungen aus dem Ostteil des Wörthersees zwischen Krumpendorf und Klagenfurt vorgestellt. Abbildung 2 zeigt einen Detailausschnitt eines Orthophotos eines ausgewählten Flachwasserbereiches in Krumpendorf. Die Orthophotoauflösung beträgt 2.37 cm pro Pixel. Abbildung 3 zeigt das photogrammetrisch berechnete digitale Oberflächenmodell (4.55 cm/pix) denselben Ausschnitts. In Abbildung 4 sind für den Abschnitt Krumpendorf – Klagenfurt (Uferlänge von ca. 5.5 km; 1505 Single Beam Referenzpunkte) die Absoluthöhen aus Echolotmessung und photogrammetrisch berechnetem digitalen Oberflächenmodell vergleichend gegenübergestellt. Die Messpunkte sind nach aufsteigenden Absoluthöhen (von tiefen Wasserbereichen zu Flachwasserbereichen) angeordnet. Die Höhe des Wasserspiegels wurde visuell auf Grundlage des hochauflösenden Orthophotos an gut erkennbaren flachen Uferbereichen identifiziert und dann im digitalen Oberflächenmodell gemessen. Ein Vergleich mit dem Pegel in Pörschach zum Befliegungszeitpunkt wurde noch nicht durchgeführt.



Abb. 2: Detailausschnitt Orthophoto (2.27 cm/Pixel) & Single Beam Referenzpunkte im Bereich Krumpendorf

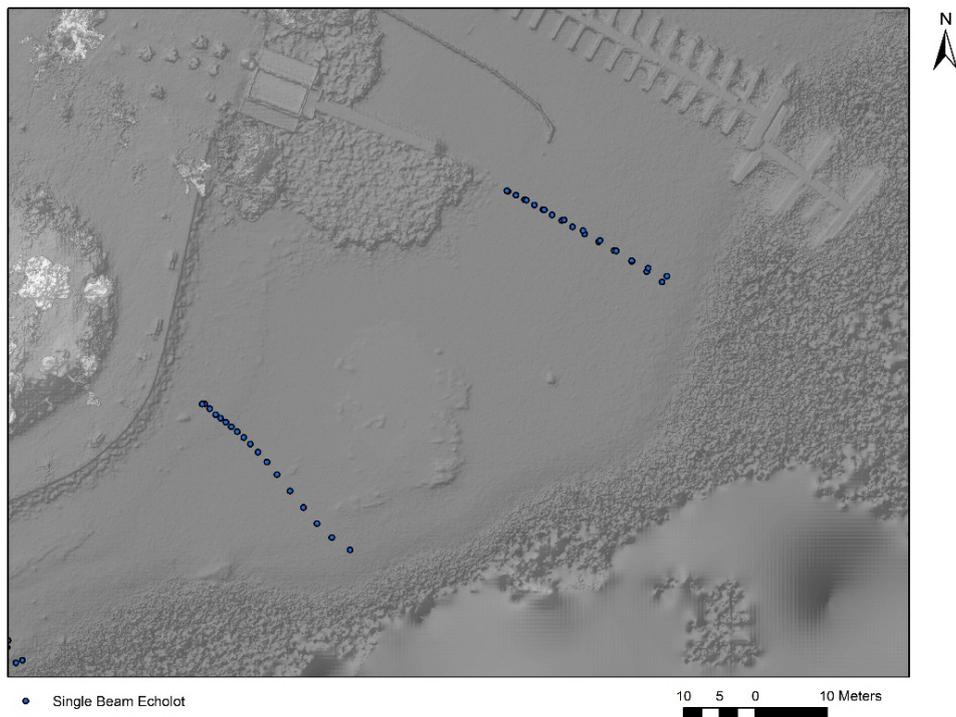


Abb. 3: Detailausschnitt Digitales Oberflächenmodell (4.55 cm/Pixel) & Single Beam Referenzpunkte im Bereich Krumpendorf

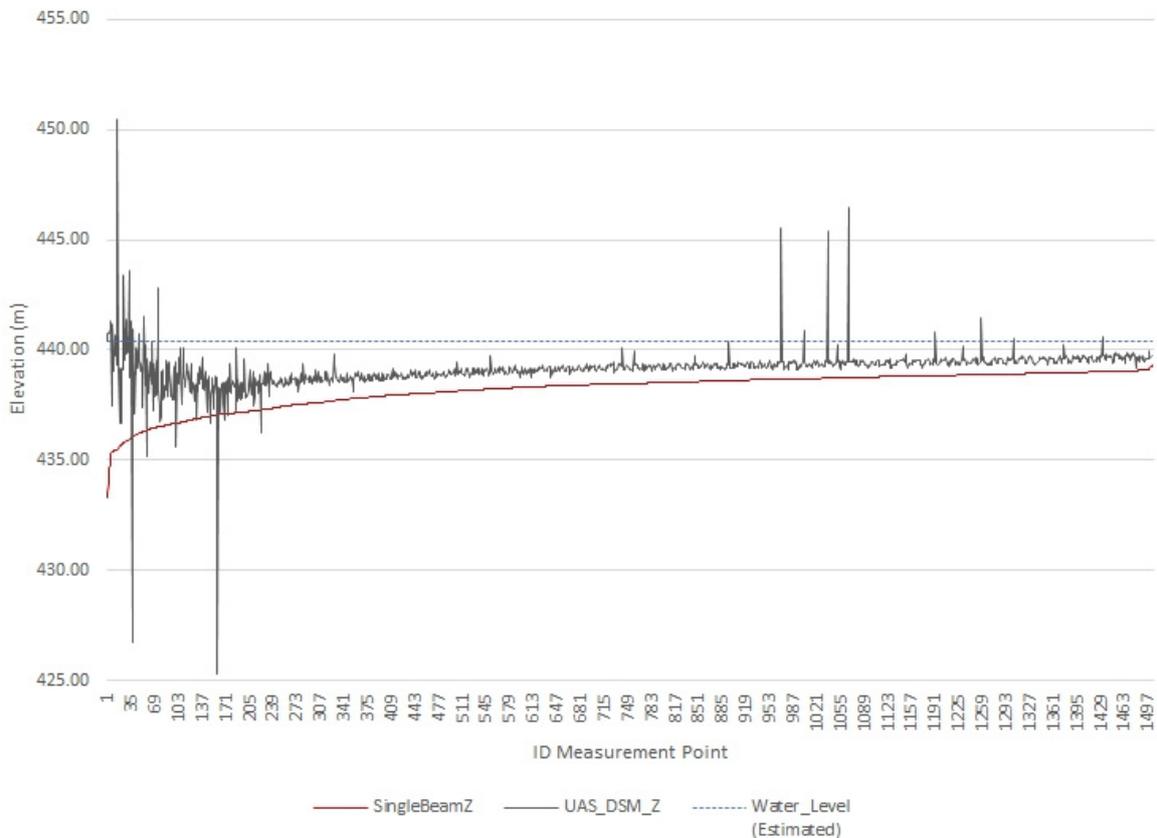


Abb. 4: Vergleich der Absoluthöhen von Single Beam Echolotmessung („*SingleBeamZ*“) und photogrammetrisch berechnetem digitalen Oberflächenmodell („*UAS_DSM_Z*“) für einen ca. 5.5. km Uferabschnitt zwischen Krumpendorf und Klagenfurt. Die Messpunkte sind von links nach rechts nach zunehmender Absoluthöhe geordnet. Eine Refraktionskorrektur wurde nicht durchgeführt.

5 Fazit & Ausblick

Das hier vorgestellte Projekt stellt aktuell eines der flächenmäßig größten wissenschaftlichen drohnenbasierten Geodatenerfassungsprojekte in Österreich statt. Im Rahmen einer interdisziplinären Forschungsk Kooperation zwischen der Abteilung 8 Umwelt, Wasser und Naturschutz des Amtes der Kärntner Landesregierung, den Industriepartnern flussbau iC und ViewCopter sowie dem Studiengang Geoinformation und Umwelttechnologien an der FH Kärnten als wissenschaftlichen Partner wurde das gesamte Wörtherseeufer mit einer Länge von fast 50 km mit einem zertifizierten Multirotorsystem ausgerüstet mit einem hochauflösendem Kamerasystem vollständig erfolgreich befliegen und photogrammetrisch durch die Verwendung von Passpunkten mit der notwendigen Genauigkeit erfolgreich berechnet. Um die Datenmenge zu reduzieren und für die Einbindung in das Geodatenportfolio des Kärnten Geographischen Informationssystems KAGIS zu optimieren, wurden sowohl die Orthophotos als auch die digitalen Oberflächenmodelle der 9 Teilprozessierungsgebiete zu einem Gesamtdatensatz fusioniert. Dabei wurden das finale Orthophoto auf 5cm Auflösung pro Pixel und das digitale Oberflächenmodell auf 10cm pro Pixel resampled und auf

Basis der beim KAGIS verwendeten Luftbildblattschnitte organisiert. Aktuell arbeitet das KAGIS daran, die UAS Orthophotos in die bestehenden KAGIS Daten zu integrieren und via Kärnten Atlas (<http://gis.ktn.gv.at>) im 1. Quartal 2019 der Öffentlichkeit bereitzustellen.

Es wurden desweiteren erste Ergebnisse eines empirischen Vergleichs der hochauflösenden UAS digitalen Oberflächendaten mit Single Beam Echolot Referenzpunktmessungen im Flachwasser für einen ausgewählten Bereich im Ostteil des Wörthersees gezeigt. In weiterer Folge werden diese vergleichenden Untersuchungen für den gesamten Wörthersee durchgeführt.

6 Danksagung

Die photogrammetrische Auswertung dieses Projekts wurde im Rahmen einer Forschungskoope-
ration zwischen der Abteilung 8 Umwelt und Naturschutz des Amtes der Kärntner Landesregie-
rung und dem Studiengang für Geoinformation und Umwelttechnologien an der FH Kärnten
durchgeführt. Die Single Beam Echolot Referenzdaten wurden vom Kärntner Geographischen In-
formationssystem KAGIS zur Verfügung gestellt.

7 Literaturverzeichnis

AUSTRO CONTROL, 2018: LBTH Nr. 67 - Lufttüchtigkeits- und Betriebstüchtigkeits-anforderungen
für unbemannte Luftfahrzeuge der Klasse 1. [https://www.austrocon-
trol.at/jart/prj3/ac/data/dokumente/LTH_LFA_ACE_067_2018-12-03_1212958.pdf](https://www.austrocontrol.at/jart/prj3/ac/data/dokumente/LTH_LFA_ACE_067_2018-12-03_1212958.pdf), letzter
Zugriff 27.12.2018.