

Endbericht für die Vorstudie zum Projekt

Remplane

„Entwicklung von neuartigen Fernerkundungstechniken und deren Einsatz mit unbemannten Kleinflugzeugen zur Erfassung der marinen Säugetiere, insbesondere von Schweinswalen (*Phocoena phocoena*) sowie anthropogener Beeinflussungen in ausgewählten Bereichen von Nord- und Ostsee“

gefördert durch die



Az.: 25770, Referat 33/2

Projektbeginn: 01.02.2008

Laufzeit: 14 Monate



vorgelegt durch

Dipl.-Ing. Michael Dähne
Dipl.-Biol. Klaus Harder
Dr. Harald Benke

Deutsches Meeresmuseum Stralsund

Katharinenberg 14-20
18439 Stralsund

Dr. Görres Grenzdörffer
Dipl.-Geogr. Torsten Foy
Dipl.-Ing. (FH) Thomas Wegener

Universität Rostock
Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät (AUF)
Justus-von-Liebig Weg 6-8
18059 Rostock



am Donnerstag, 26. Februar 2009 in Stralsund und Rostock

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	v
Tabellenverzeichnis.....	vii
Abkürzungsverzeichnis und Glossar.....	viii
1. Anlass und Zielsetzung.....	1
1.1. Fragestellungen der Machbarkeitsstudie	2
2. Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden	4
2.1. Methoden zur Erfassung von Meeressäugetieren und Seevögeln und Möglichkeiten für die Nutzung von Fernerkundungsmethoden und UAVs zur Lösung aktueller Problemstellungen.....	4
2.1.1. Visuelle Erfassung (Linientranssektzählungen)	4
2.1.2. Statistische Vorgaben für Luftbildfotografie und UAVs als faunistische Erhebungsmethode	8
2.1.3. Akustische Erfassung von Schweinswalen	10
2.2. Kameraauswahl und -kalibrierung	13
2.2.1. Geometrische Eigenschaften der Kamera	14
2.2.2. Radiometrische Eigenschaft der Kamera.....	18
2.2.3. Automatische Bildauslösemechanik für die Canon Powershot G9.....	27
2.3. PFIFF Flight – das PDA-basierte Flugplanungs- und Flugmanagementsystem	27
2.3.1. PFIFF Flight.....	28
2.3.2. PFIFF Pocket.....	29
2.3.3. Validierung und Performance von PFIFF Pocket	30
2.4. Bildflugplanung – Wetter, <i>der</i> limitierende Faktor	31
2.4.1. Hot Spot	32
2.5. Bildflugorganisation	33
3. Ergebnisse	34
3.1. Durchgeführte Bildflüge	34
3.2. Ergebnisse der Bildflüge.....	36
3.2.1. Schweinswale.....	36
3.2.2. Robben.....	37
3.2.3. Seevögel	39
3.2.4. Fischerei.....	40
3.3. Entwicklung von Strategien zur automatischen Datenauswertung	41
3.3.1. HALCON 8.0.2.....	42
3.3.2. Mustererkennung.....	43
3.4. Recherche und Absprachen mit UAV-Herstellern	53
3.5. Stand rechtlicher Rahmenbedingungen.....	55
4. Diskussion	57
4.1. Inwieweit wurden die verfolgten Ziele erreicht?	59
4.2. Woraus ergaben sich Abweichungen der erhaltenen Ergebnisse?	60

4.3.	Wie gestaltete sich die Zusammenarbeit mit den unterschiedlichen Kooperationspartnern?	60
4.4.	Wird das Vorhaben oder Teile davon fortgeführt?	60
4.5.	Andere Projekte im Bereich der faunistischen Erfassung mit UAVs und fotografischen Methoden	61
5.	Öffentlichkeitsarbeit	62
5.1.	Tagung ‚Remote Sensing to assess the distribution and abundance of seabirds and marine mammals: Possible future applications for Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)‘	62
5.2.	Verwendung der Ergebnisse des Projektes	63
5.3.	Internetseite	63
6.	Fazit	63
7.	Danksagung	64
8.	Literatur	65
8.1.	Projektbezogene Veröffentlichungen	69
8.2.	Projektbezogene Vorträge	70

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Prinzip der Transektlinienzählung am Beispiel der Schweinswale	5
Abbildung 2: Hiby Circle-back Methode zur Feststellung des $g(0)$ -Korrekturfaktors.....	7
Abbildung 3: Teilung eines Bilddatensatzes zur Ermittlung von $g(0)$	10
Abbildung 4: Klicklaut eines Schweinswals (A) Amplituden-Zeit Signal und (B) Energiespektrum	11
Abbildung 5: Theoretische Grundlagen für die Berechnung von Schweinswaldichten aus akustischen Erhebungen mit T-PODs	12
Abbildung 6: Mögliche Beeinflussungen bei der Feststellung von Detektionsdistanzen.	12
Abbildung 7: Radialverzeichnung (dr) der Canon Powershot G9 bei einer Brennweite von 7,4 mm .	16
Abbildung 8: Bewegungsunschärfe der Canon Powershot G9 bei einer GSD von 2,5 cm	17
Abbildung 9: Bildfolgezeit der Canon Powershot G9 bei einer Längsüberlappung von 60 % und Weitwinkleinstellung	18
Abbildung 10: Signal-Rausch-Verhältnis der Canon Powershot G9 bei verschiedenen ISO-Werten ..	20
Abbildung 11: Siemensstern Bildmitte.....	21
Abbildung 12: Siemensstern oben rechts.....	21
Abbildung 13: MTF der Canon Powershot G9 im Bildmittenbereich bei Blende 5,0.....	22
Abbildung 14: MTF der Canon Powershot G9 im Bildrandbereich bei Blende 5,0	22
Abbildung 15: MTF der AIC 45 im Bildmittenbereich bei Blende 8,0	22
Abbildung 16: MTF eines 4.000 * 3.000 Pixel Testbildes.....	22
Abbildung 17: Bildmitte- Line Spread Function (LSF) bei Blende 5,0 und Brennweite 7,4 mm.....	23
Abbildung 18: Bildrand - Line Spread Function (LSF) bei Blende 5,0 und Brennweite 7,4 mm	23
Abbildung 19: Bildmitte - Line Spread Function (LSF) Rollei AIC	23
Abbildung 20: Line Spread Function (LSF) eines 4.000 * 3.000 Pixel Testbildes.....	23
Abbildung 21: Makro-Kontrast der Rollei AIC 45.....	24
Abbildung 22: Makro-Kontrast der Canon Powershot G9	24
Abbildung 23: Ursachen des Helligkeitsrandabfalls	24
Abbildung 24: Helligkeitsrandabfall der Canon Powershot G9 bei Blende 2,8 und Blende 8,0	26
Abbildung 25: Reduzierung des Helligkeitsrandabfalls mit der Software Vignetting Reducer 1.2.....	26
Abbildung 26: Mechanischer Bildauslöse-mechanismus für die Canon Powershot G9	27
Abbildung 27: Eingabemaske I - Projektparameter.....	29
Abbildung 28: Eingabemaske II - Projektparameter.....	29
Abbildung 29: Fluggebiet mit berechneten Flugstreifen	29
Abbildung 30: PFIFF Pocket während des Bildfluges	30
Abbildung 31: Zeitdifferenz (Δt) zwischen berechneter und tatsächlicher Bildfolgezeit.....	31
Abbildung 32: Effekt des Hot Spots - Spiegelnde Reflexion	33
Abbildung 33: Flugrouten und Bildmittenübersicht der Bildflüge vom 21.05.2008 und 11.09.2008	34
Abbildung 34: Schweinswale unter Wasser im Fjord & Bælt Center, Dänemark.....	37
Abbildung 35: Luftbild der Sandbank Rødsand vom 11.09.2008 mit 19 Robben	38
Abbildung 36: Luftbild Rødsand, 11.09.2008, 15:30 Uhr, 19 Robben am Strand.....	39
Abbildung 37: Luftbild Rødsand, 11.09.2008, 15:30 Uhr, 145 Robben am Strand.....	39
Abbildung 38: Luftbild Rødsand, 11.09.2008, 15:10 Uhr, 138 Robben liegend.....	39
Abbildung 39: Luftbild Rødsand, 18.09.2008, 15:00 Uhr, 106 Robben liegend.....	39
Abbildung 40: Kormorane und Silbermöwen auf einer Sandbank	40
Abbildung 41: Reuse südlich Lollands	41
Abbildung 42: Generelles Schema zur Mustererkennung mariner Säugetiere und Vögel	43
Abbildung 43: Luftbild 1 und Ausschnittsvergrößerung mit den zu detektierenden Schwänen	44
Abbildung 44: Definition eines Modells für die automatische Detektion von Schwänen.....	44
Abbildung 45: Standardparametersatz, berechnet aufgrund der räumlichen Definition des Modellobjektes.....	44
Abbildung 46: Luftbild 1 und Ausschnittsvergrößerung mit detektierten Schwänen	45
Abbildung 47: Luftbild 2 und eine Ausschnittsvergrößerung mit detektiertem Schwan	45

Abbildung 48: Luftbild 5 mit falsch detektiertem Objekt	46
Abbildung 49: Erstes Testergebnis für alle Luftbilder.....	46
Abbildung 50: Luftbild 5 korrigiert.....	47
Abbildung 51: Zweites Testergebnis für alle Luftbilder	47
Abbildung 52: Luftbild 3 mit falsch detektiertem Objekt	47
Abbildung 53: Drittes Testergebnis für alle Luftbilder	47
Abbildung 54: Luftbild 3 korrigiert mit Fehldetektion	48
Abbildung 55: Viertes Testergebnis für alle Luftbilder.....	48
Abbildung 56: Abschließendes Testergebnis für alle Luftbilder	48
Abbildung 57: Quellcodegenerierung und Parameteranpassung	49
Abbildung 58: Luftbild und abgeleitetes Modell einer Möwe im Flug	49
Abbildung 59: Erfolg der Mustererkennung von Möwen	50
Abbildung 60: Modell einer Robbe (Rotations- und Größeninvariant)	51
Abbildung 61: Identifizierte Robben	51
Abbildung 62: Klassifikation Meeresgrund	52
Abbildung 63: Workshop Remplane.....	62
Abbildung 64: Exponat der SWISS UAV GmbH für den Workshop.....	62

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Effektive Streifen- und Bildbreiten für ausgewählte fluggestützte Linientranssektzählungen und die fotografische Erfassung innerhalb der Vorstudie zum Projekt Remplane	8
Tabelle 2: Technische Parameter Canon Powershot G9	13
Tabelle 3: Untersuchte radiometrische und geometrische Eigenschaften der Canon Powershot G9 .	14
Tabelle 4: Parameter der inneren Orientierung der Canon Powershot G9	16
Tabelle 5: Grundrauschen der Canon Powershot G9 und der Rollei AIC 45	19
Tabelle 6: Vor- und Nachteile der Canon Powershot G9 für marine Bildfluganwendungen	27
Tabelle 7: Bildflugwettertage (2006 – 2008) in Nord- und Ostsee	32
Tabelle 8: Durchgeführte Bildflüge	34
Tabelle 9: Marktübersicht verfügbarer UAVs in Europa und den USA mit einer maximalen Flugdauer > 1 h und einer Nutzlast von > 1 kg	53

Abkürzungsverzeichnis und Glossar

AWZ	Ausschließliche Wirtschaftszone
AV	Auflösungsvermögen
CCD-Sensor	Charged-coupled Device - Sensor, lichtempfindlicher Halbleitersensor meist als Matrix
chromatische Aberration	Von der Wellenlänge (Farbe) des aufgezzeichneten Lichtes abhängiger Abbildungsfehler
Detektionsfunktion	Funktion der Sichtungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Entfernung
DFS	Deutsche Flugsicherung
FL	Flight Level
FMC	Forward Motion Compensation
$g(0)$ -Faktor	Wahrscheinlichkeit der Sichtung eines Tieres auf der Transektlinie, häufig als Skalierungsfaktor der Dichten genutzt
Georeferenzierung	Zuordnung raumbezogener Referenzinformationen zu einem Datensatz (z.B. einem Bild)
GPS	Global Positioning System, satellitengestütztes System zur Ermittlung der Position eines Empfängers
GSD	Ground Sampling Distance, Bodenauflösung
GSL	Ground Station Link, maximale Entfernung einer Bodenkontrollstation vom zu steuernden Objekt
Hörschwelle	Schalldruck bei dem Geräusche gerade noch wahrgenommen werden
Hot Spot Effekt	Stark überbelichtete Bereiche eines Bildes der Wasseroberfläche durch reflektierende Sonneneinstrahlung
INS	Inertial Navigation System, Navigation durch Trägheitssensoren
ISO	International Organization for Standardization, Internationale Organisation für Normung
Kammerkonstante	Abstand zwischen dem Projektionszentrum und seinem Lotfußpunkt, Brennweite des verwendeten Objektivs, Maß der inneren Orientierung eines photogrammetrischen Systems
Klickdetektoren	Geräte zur Erkennung von Echoortungslauten von Zahnwalen

LSF	Line Spread Function, Angabe zur Abbildung eines Schwarz-Weiß Überganges, Maß der Abbildungsqualität eines Kamerasystems im Sinne des Auflösungsvermögens
MTF	Modulationstransferfunktion, Maß des Auflösungsvermögens eines Kamerasystems im Sinne des Kontrasts
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration, Ozeanografiebehörde der USA
Observer	Beobachter während dedizierter Zählungen
Payload	Maximale Zuladung eines Flugzeuges
PDA	Personal Digital Assistant – Kleincomputer
permanente Hörschwellenverschiebung	Dauerhafte Verschiebung der Hörschwelle eines Tieres, vergleichbar mit einer Taubheit bei z.B. einer bestimmten Frequenz
PFIFF	Fernerkundungssystem der Universität Rostock
PFIFF Flight	Softwarelösung zur flexiblen Bildflugplanung
PFIFF Pocket	Softwarelösung zur flexiblen Bildflugdurchführung für PDAs zur Verwendung in Klein(st)flugzeugen
Shapedatei	Dateiformat zur Speicherung von Geometriedaten im Vektorformat zur Verwendung in Geoinformationssystemen (GIS)
SNR	Signal to Noise Ratio, Signalrauschverhältnis, Maß z.B. für die Farbreinheit eines Kamerasystems
Survey	Dedizierte Erfassung einer bestimmten Art durch Zählung von Individuen/Hinweisen
temporäre Hörschwellenverschiebung	Vorübergehende Verschiebung der Hörschwelle eines Tieres, vergleichbar mit Taubheit nach einem Diskobesuch, länger andauernde und wiederholte temporäre Hörschwellenverschiebungen können zu einer permanenten Hörschwellenverschiebung führen
T-POD	Timing-Porpoise Detektor – Klickdetektor für Zahnwale
Transekt	Bereich in dem während dedizierter Zählungen beobachtet wird
TTL-Blitzmessung	Through the lense – Blitzbelichtungsmessung durch das Objektiv
UAS	Unmanned Aerial System oder Unmanned Airborne System – siehe UAV
UAV	Unmanned Aerial Vehicle – Autonom gesteuertes Flugobjekt

1. Anlass und Zielsetzung

Durch den Ausbau der Offshore-Windenergie, die Durchführung von seismischen Erkundungen für den Abbau mariner Bodenschätze, Umlagerung von Schifffahrtsstraßen sowie die Beseitigung von Altlasten (z.B. versenkte Munition des zweiten Weltkrieges) nimmt der Mensch erhebliche Umgestaltungen mariner Ökosysteme vor. Während in terrestrischen Bereichen bereits umfangreiche Erfahrungen bezüglich der Auswirkungen von Eingriffen des Menschen in die vorhandenen Habitate vorliegen, sind die Folgen des Eingriffes in marine Ökosysteme bisher nur schwer abschätzbar.

Um den potentiellen Einfluss anthropogener Nutzungen auf die Tierwelt einschätzen zu können, müssen die Auswirkungen der Maßnahmen auf die Fauna untersucht werden. Dabei können verschiedene Einflüsse klassifiziert werden: Tiere können durch die Aktivitäten des Menschen

1. nicht gestört werden (kein Einfluss der Maßnahme),
2. in ihrem Verhalten gestört werden,
3. aus ihrem Lebensraum zeitweilig vertrieben werden,
4. aus ihrem Lebensraum langfristig vertrieben werden,
5. verletzt werden oder
6. getötet werden.

Schweinswale sind in Anhang II und IV der Fauna-Flora-Habitat Richtlinie (EU Council, 1992) genannt. Die Bestände sind dementsprechend in einen ‚günstigen Erhaltungszustand‘ zu versetzen und es müssen explizit Schutzgebiete für den Schweinswal ausgewiesen werden. Insbesondere für nach der Fauna-Flora-Habitat Richtlinie geschützte Arten sind die Punkte 5 und 6 zu vermeiden. Diese letzten Punkte sind insbesondere für Aktivitäten der Fischerei und die Beseitigung von Altlasten zu beachten.

Aber auch eine Vertreibung von Schweinswalen aus ihrem Lebensraum (Punkte 3 und 4) kann erhebliche Auswirkungen auf den Bestand haben, wenn Nahrungsressourcen in Ausweichgebieten nicht in ausreichendem Maße zur Verfügung stehen.

Beifänge von Schweinswalen und Seevögeln, z.B. in Stellnetzen innerhalb der deutschen Ostsee, sind keine Seltenheit und können im Falle der Schweinswale auch den Gesamtbestand bedrohen (Berggren et al., 2002). Die Europäische Union adressiert dieses Problem in der Richtlinie 812/2004 (EU Council, 2004) in der der Einsatz von akustischen Vergrämern (Pingern) aber auch die Durchführung von Observerprogrammen zur Überwachung der fischereilichen Maßnahmen gefordert werden. Trotzdem ist bisher nur schwer feststellbar, welcher Fischereiaufwand derzeit betrieben wird. Ein Ansatz diesen zu quantifizieren, ist die Zählung von gesichteten Fischerbooten und Netzen, wie es von Herr et al., 2007 beschrieben wird.

Die Beseitigung von Munition des zweiten Weltkrieges, die nach den Kampfhandlungen in der deutschen Nord- und Ostsee versenkt wurde, stellt eine schwere Aufgabe für die nähere Zukunft dar. Während einige Sprengstoffe unter Wasser unwirksam werden und dann ‚nur noch‘ eine Gefahr durch die Auswaschung von Schadstoffen besteht, werden andere instabil und können im Extremfall unter Einwirkung von Sauerstoff selbstständig explodieren. Behältnisse von chemischen Kampfstoffen (z.B. Senfgas) korrodieren und könnten ihren Inhalt bereits in einigen Jahren freisetzen. Die Beseitigung explosiver Kampfmittel wurde bisher hauptsächlich durch kontrollierte Zündung durchgeführt. Während der Explosion entstehen hohe Schalldrücke, die bis in eine Entfernung von ca. 14 km (Nützel, 2008) zu einer temporären Hörschwellenverschiebung bei Schweinswalen führen können. Für marine Säugetiere,

die größtenteils unter Wasser leben, ist zudem die Gefahr der Verletzung des Hörsystems gegeben (Lucke et al., 2008a; Lucke et al., 2008b). Da Schweinswale Echoortung zum Auffinden ihrer Beute nutzen, ist ein Verlust an Hörfähigkeit auch mit einer erschwerten oder unmöglichen Beutesuche verbunden. Folge ist, dass die ansonsten gesunden Tiere im Extremfall verhungern.

Der Abbau von Bodenschätzen und die Errichtung von Anlagen auf See (Windkraftanlagen, Ölbohrinseln etc.) können, neben einer vermutlich zu vernachlässigbaren Anzahl an direkt verletzten Tieren, zu einem temporären oder permanenten Verlust an Lebensraum führen (z.B. Carstensen et al., 2006; Henriksen et al., 2004; Teilmann et al., 2008b). Um Verschiebungen in der Gebietsnutzung durch Schweinswale, Seehunde (*Phoca vitulina*) und Kegelrobben (*Halichoerus grypus*) zu dokumentieren, werden derzeit verschiedene Methoden angewendet, die sich durch verschiedene Vor- und Nachteile auszeichnen. Sie werden im Kapitel 2.1 vorgestellt und erläutert. Einige der Nachteile könnten durch eine fotografische Erfassung in Kombination mit unbemannten Flugzeugen ausgeglichen oder vermindert werden.

Die Erfassung von Bestandszahlen der marinen Fauna ist jedoch nicht ausschließlich im Zusammenhang mit anthropogenen Beeinflussungen durch direkte Eingriffe in die Umwelt zu sehen. Deutschland hat durch die Unterzeichnung der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie zugestimmt, dass Schweinswale in ihrem Lebensraum in den natürlichen Verbreitungsgrenzen erhalten bleiben sollen. Dafür muss ein Monitoringprogramm realisiert werden, dass zumindest über Bestandwachstum bzw. Bestandsverringerung und Änderungen in den Verbreitungsgrenzen Aufschluss gibt. Insbesondere für küstenferne Gebiete ist dies nur mit hohem Aufwand und einem nicht zu unterschätzenden Risiko für Beobachter und Piloten verbunden. Wie das Monitoring dieser offenen marinen Regionen optimiert werden kann, muss eine der Hauptüberlegungen innerhalb dieser Machbarkeitsstudie sein.

1.1. Fragestellungen der Machbarkeitsstudie

In der Vorstudie zum Projekt Remplane sollte ermittelt werden, ob es möglich ist mit fotografischen Methoden in Kombination mit unbemannten Flugzeugen (Unmanned Aerial Vehicles, UAVs oder Unmanned Aerial Systems, UAS) schon heute Bestandszahlen für marine Säugetiere und Seevögel zu bestimmen. Dazu sind die folgenden Fragestellungen zu beantworten.

Welche theoretischen bzw. statistischen Voraussetzungen sind zu erfüllen, um eine fotografische Erfassung zu ermöglichen?

Bisherige Linientranssektzählungen in Deutschland arbeiten hauptsächlich auf Grundlage der in Buckland et al., 2001 und Hiby, 1999 vorgestellten statistischen Methoden. Es ist festzustellen, welche Anpassungen getroffen werden müssen, um diese Ansätze für fotografische Verfahren verwenden zu können.

Welche Anforderungen sind an Optik, Flughöhen und Bildqualität für die Erkennung von verschiedenen Zielobjekten zu stellen?

Es ist zu erwarten, dass für verschiedene Zielobjekte (Schweinswale, Robben, Seevögel, Abfall etc.) unterschiedliche Aufnahmeparameter zur hinreichenden fotografischen Abbildung erforderlich sind. Es ist zu ermitteln, welche Objekte die höchsten Anforderungen stellen und ob noch weitere Entwicklungen auf diesem Gebiet notwendig sind.

Wie hoch muss die Bodenauflösung gewählt werden, um marine Säugetiere und Seevögel sicher zu erfassen?

Um automatisierte Auswertungsverfahren anwenden zu können, müssen die Tiere gut auf den Bildern erkenn- und erfassbar sein. Ein Kompromiss zwischen derzeit realisierbarer (maximaler) und hinreichender Bodenauflösung erscheint angebracht. Eine gröbere Auflösung vergrößert den beobachteten Bereich und somit die Wahrscheinlichkeit der Erfassung von Tieren. Wird die Bodenauflösung zu grob, können Tiere nicht mehr erkannt werden.

Sind überlappende Bilder für die gesicherte Erkennung von Schweinswalen notwendig, wenn ja wie viele?

Geschulte Observer haben einen generellen Vorteil gegenüber der fotografischen Erfassung durch georeferenzierbare Senkrechtfotos. Sie können Bewegungen der Schweinswale wahrnehmen und somit z.B. Gruppengrößen sicher festlegen. Da bisher keinerlei Senkrechtbilder von Schweinswalen existieren, ist diese Frage ohne eine zusätzliche Datenerhebung nicht mit Sicherheit zu beantworten.

Können durch die fotografische Erfassung ähnliche Ergebnisse erzielt werden, wie durch die derzeit übliche Erfassung mit Observern?

Um ein Monitoring als effektiv beschreiben zu können, ist es notwendig die Methode unverändert über lange Zeiträume konstant durchführen zu können. Außerdem muss gewährleistet sein, dass die Ergebnisse mit anderen Methoden bzw. Untersuchungen vergleichbar sind. Im Falle der marinen Säugetiere ist die Vergleichbarkeit mit observer-gestützten Erfassungen unabdingbar.

Welche speziellen Eigenschaften sollten UAVs für die Erkennung von Schweinswalen und anderen marinen Säugetieren aufweisen?

Auch für diese Fragestellung ist es notwendig eine Unterteilung für die verschiedenen Erfassungsobjekte vorzunehmen. Sicherlich ist z.B. die notwendige Reichweite des gewählten UAVs zur Durchführung von Linientransektzählungen innerhalb eines europaweiten Monitorings von Schweinswalen höher, als für eine Erfassung von Seehunden auf Sandbänken des norddeutschen Wattenmeers.

Können UAVs genutzt werden um die Daten akustischer Datenlogger zu verifizieren?

In der Deutschen Ostsee werden derzeit Methoden zur Erfassung von Schweinswalen mittels akustischer Datenlogger, die Echoortungsgeräusche (Klicks) registrieren und erfassen, getestet. Bisher ist es nicht möglich standardisierte Surveyauswertungsverfahren zu nutzen, da keine Detektionsfunktionen für diese Geräte vorliegen. Ein möglicher Einsatzzweck für UAVs wäre die Ermittlung von Detektionsfunktionen für diese Klickdetektoren.

Welche Vorhaben existieren weltweit, die sich mit dem Einsatz von UAV-Technologien für die faunistische Erfassung beschäftigen?

Zu Beginn dieser Vorstudie existierten weltweit nur wenige Vorhaben mit dem Ziel ferngesteuerte oder autonome Flugobjekte zur Erfassung wildlebender Tiere zu nutzen. Um eine Zusammenarbeit dieser Projekte zu initiieren und die internationale Kooperation zu verstärken, sollte innerhalb des Projektes ein internationaler Expertenworkshop stattfinden.

2. Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

2.1. Methoden zur Erfassung von Meeressäugetieren und Seevögeln und Möglichkeiten für die Nutzung von Fernerkundungsmethoden und UAVs zur Lösung aktueller Problemstellungen

Die zur Beantwortung der Fragestellungen dieses Projektes relevanten Erfassungsmethoden sind die Durchführung von Linientranssektzählungen zur Feststellung absoluter Bestandszahlen und die Erfassung von relativen Dichten durch akustische Datenlogger. Beide Methoden sollen im Folgenden vorgestellt werden. Im Rahmen dieses Berichtes werden die weiteren Methoden wie z.B. Capture-Recapture oder Mark-Recapture Verfahren und Telemetrie/Datenlogger nur am Rande ausgeführt, wobei hier angemerkt sein sollte, dass Mark-Recapture Verfahren eine exzellente Methode darstellen, Populationen von Cetaceen und Pinnipedia zu erforschen. Bisher gibt es keine nicht invasive Möglichkeit diese Methoden insbesondere für Schweinswale anzuwenden.

2.1.1. Visuelle Erfassung (Linientranssektzählungen)

Für Seehunde und Kegelrobben haben sich, in Gebieten mit geringen Tierbeständen in örtlich eng begrenzten Bereichen, wiederholte Strandbegehungen oder Bootsausfahrten bewährt (z.B. Herrmann et al., 2008). In Gebieten hoher Tierdichten werden Befliegungen mit ausgebildeten Beobachtern (Observern) genutzt, um die Tierbestände zu erfassen. Die Flüge werden über den bekannten Liegeplätzen der Tiere in geringer Höhe durchgeführt. Zur Auszählung größerer Robbenanhäufungen werden außerdem nicht georeferenzierbare Luftbilder genutzt.

Um zu erfassen, wie sich die Tiere in Bezug auf anthropogene Einflüsse verhalten, reicht eine Zählung auf den Liegeplätzen nur bedingt aus. Somit kann zwar festgestellt werden, ob es sinkende oder steigende Bestandszahlen gibt, jedoch nicht, ob sinkende Bestände im Zusammenhang mit einer Baumaßnahme stehen oder ob anthropogen beeinflusste Gebiete generell gemieden werden. Für solche Zwecke lassen sich Informationen von Telemetriestudien hinzuziehen. Über die Schwimmstrecken und die bevorzugten Aufenthaltsorte eines Tieres kann rückgeschlossen werden, welchen Einfluss die menschlichen Aktivitäten auf die Tiere ausüben. Mit Trägheitssensoren können außerdem Roll- und Neigungswinkel der Tiere gemessen werden und Kiefersensoren können genutzt werden, um das Fressverhalten zu analysieren. Leider sind Telemetriestudien nur begrenzt für Aussagen auf Populationsniveau geeignet, da immer nur, im Extremfall vorbelastete, einzelne Tiere für die Auswertung genutzt werden können (Adelung et al., 2004; Liebsch et al., 2007; Müller et al., 2007; Tougaard et al., 2003).

Zur Erfassung von Schweinswalen und Seevögeln hat sich die Methode der Linientranssektzählung (Buckland et al., 2001, Abbildung 1) etabliert. Grundlage ist die Annahme, dass mit zunehmender Entfernung eines Tieres vom Beobachtungspunkt die Wahrscheinlichkeit einer tatsächlichen Sichtung sinkt. Wenn z.B. rechts und links eines Schiffes observiert wird, kann die Dichte \hat{D} der beobachteten Objekte n auf einem Transekt der Länge L , innerhalb des betrachteten Areals in einer Streifenbreite $2w$, in dem Tiere zu einem zu bestimmenden Anteil P_a detektiert werden, folgendermaßen dargestellt werden (Buckland et al., 2001):

$$\hat{D} = \frac{n}{2wLP_a} \quad (2.1)$$

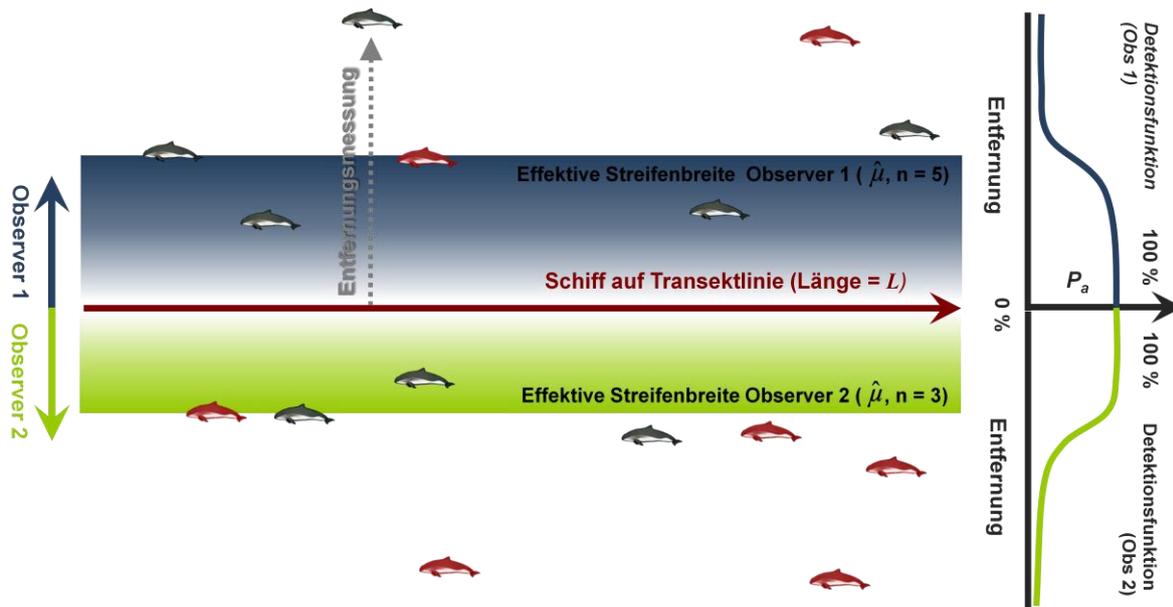


Abbildung 1: Prinzip der Transektlinienzählung am Beispiel der Schweinswale

Ein Schiff bzw. Flugzeug bewegt sich auf einer vordefinierten Linie (randomisierter Anfangspunkt). Auf beiden Seiten des Schiffes werden auftauchende Schweinswale gezählt. Wird ein Schweinswal gesehen (in der Zeichnung als schwarzer Schweinswal gekennzeichnet), wird seine Position bestimmt. Auf Grundlage der Positionen der gesichteten Tiere (Entfernung zur Transektlinie) wird eine Detektionsfunktion für unterschiedliche Observer berechnet. Aus der Detektionfunktion lässt sich dann eine effektive Streifenbreite berechnen, die zur Berechnung der Abundanz von Schweinswalen benötigt wird. In der Detektionsfunktion ist dann bereits berücksichtigt, dass einige der für den Observer erfassbaren Tiere nicht gesehen wurden (in der Zeichnung als rote Schweinswale markiert).

Wird weiterhin vorausgesetzt, dass sich durch w und P_a eine effektive halbe Streifenbreite $\hat{\mu}$ bestimmen lässt, kann die Formel zu

$$\hat{D} = \frac{n}{2L\hat{\mu}} \quad (2.2)$$

vereinfacht werden. Da n und L bekannt sind, ist die Berechnung von $\hat{\mu}$ als Funktion

$$\hat{\mu} = \int_0^w g(x) dx \quad (2.3)$$

der gemessenen rechtwinkligen Entfernung x_i aller gesichteten Objekte von der Transektlinie notwendig um Dichten und damit auch Bestandszahlen bestimmen zu können. Für die Berechnung von $\hat{\mu}$ müssen verschiedene Faktoren wie z.B. Wellengang, Sichtweite, Bewölkung, Blendbereich, Observerfähigkeiten etc. berücksichtigt werden.

Grundvoraussetzungen für die Berechnung von Abundanzen innerhalb von Linientransektzählungen sind (Buckland et al., 2001):

1. Objekte direkt auf der Transektlinie müssen immer gesichtet werden (die Wahrscheinlichkeit $g(0)$ ist 1).
2. Objekte müssen auf ihrer ursprünglichen Position detektiert werden – bevor eine potentielle Reaktion auf das Schiff bzw. Flugzeug erfolgt.
3. Die Entfernungen und, wenn erforderlich, Winkel zu den gesichteten Objekten müssen akkurat gemessen werden.

Im Falle von Linientransektzählungen für Meeressäuger, insbesondere Schweinswale, ist die Erfüllung von Voraussetzung 1 und im Falle der Schiffszählung auch von Voraussetzung 2 in Zweifel zu ziehen. Schweinswale flüchten vor großen und schnellen Schiffen schon über

weite Entfernungen (Palka, 1993). Während die Verletzung der Voraussetzung 2 in Bezug auf Flugzählungen von Schweinswalen wahrscheinlich nicht gilt, wird Voraussetzung 1 auch dort nicht erfüllt.

Schweinswale bewegen sich zwar laut Telemetriestudien zu ca. 53 % der Zeit in den oberen zwei Metern der Wassersäule (Teilmann et al., 2000), tauchen aber in der restlichen Zeit tiefer und sind dann nicht an der Wasseroberfläche auszumachen. Dementsprechend kann $g(0)$ in diesem Falle nicht 1 sein. Die Tauchtiefe eines Schweinswals ist jedoch nicht der einzige Einflussfaktor, der sich auf die Ermittlung von $g(0)$ auswirkt. Auch die Wassertiefe und -trübung haben bei einigen Arten Auswirkungen (Hiby, 1999). Ein verminderter $g(0)$ -Faktor kann in die Berechnungen übernommen werden. Palka, 2005a verglich Methoden zur Feststellung des $g(0)$ -Faktors. Während für eine simultane Durchführung von Schiffs- und Flugzählungen ein $g(0)$ -Faktor von 0,236 ermittelt wurde, ergab sich aus der Hiby Circle-back Methode (Hiby, 1999) ein $g(0)$ von 0,4. Andere Resultate bewegen sich in ähnlichen Bereichen (z.B. Hammond et al., 2002; Laake et al., 1997). Scheidat et al., 2008 geben einen $g(0)$ -Faktor von 0,37 für gute und 0,14 für moderate Sichtbedingungen an. Entsprechend dieser Ergebnisse werden also ca. 60 bis 85 % aller auf der Transektlinie befindlichen Schweinswale nicht gesehen. Um auf einige Probleme der Feststellung von $g(0)$ einzugehen, seien hier kurz Tandemflüge und die Hiby Circle-back Methode erläutert (Hiby, 1999).

Tandemflüge

Zwei Flugzeuge werden auf denselben Transektlinien in einem konstanten Abstand von ca. 3 min (ca. 9 km) eingesetzt. In dieser Entfernung kann nahezu sichergestellt werden, dass die aktuelle Tauchphase des Schweinswals, beim Überflug des Verfolgerflugzeuges, unabhängig von der beobachteten Tauchphase des Schweinswales, während der Sichtung durch das führende Flugzeug, ist. Beide Flugzeuge agieren insofern voneinander unabhängig, als dass keine Kommunikation bezüglich von Sichtungen stattfindet. Dadurch kann sichergestellt werden, dass die Observer des zweiten Flugzeuges keinen erhöhten Observierungsaufwand in Bereichen betreiben, in denen das führende Flugzeug bereits eine Sichtung festgestellt hat. Die Sichtungen beider Flugzeuge werden in einer Datenbank gesammelt und zeitlich zueinander passende Sichtungspaare zusammengestellt. Dadurch kann ausgewertet werden:

- wie viele Sichtungen einer Tiergruppe von beiden Plattformen erfasst wurden und
- wie viele Sichtungen von nur einer der beiden Plattformen erfasst wurden.

Es kann nicht festgestellt werden, ob:

- eine Tiergruppe, die theoretisch für beide Observierungsplattformen erfassbar wäre, gar nicht gesichtet wurde,
- zeitlich übereinstimmende Sichtungen wirklich von ein und derselben Tiergruppe stammen. Dies kann in sehr stark durch Schweinswale frequentierten Gebieten einen hohen Einfluss ausüben. Folge ist dann ein überhöhter $g(0)$ -Faktor.
- Da die verglichenen Sichtungen nicht direkt auf der Transektlinie liegen (müssen), sollten andere Umweltbedingungen, die die Sichtungswahrscheinlichkeit beeinflussen mit berücksichtigt werden. Eine Nichtbeachtung hätte eine Verminderung des $g(0)$ -Faktors zur Folge.

Hiby Circle-back Methode

Die Hiby Circle-back Methode erlaubt es mit nur einem Flugzeug $g(0)$ korrigierte Zählungen durchzuführen. Bei einer Sichtung durch einen der beiden Observer verfolgt der Pilot noch eine Zeit lang die Transektlinie, verlässt sie dann, fliegt parallel zum Transekt zurück und kehrt dann ca. 1,5 km vor der ursprünglichen Sichtung auf die Transektlinie zurück. So kann sichergestellt werden, dass der zweite Überflug in ca. 3 min Abstand zur ursprünglichen Sichtung erfolgt. Es wird festgestellt ob die Sichtung wiederholt werden kann.

Eine erfolgte Sichtung kann dadurch verifizieren werden. Folgende Punkte sind jedoch nicht differenzierbar:

- Es ist nicht möglich festzustellen, ob während einer wiederholten Überfliegung gemachte Sichtungen wirklich von ein und derselben Tiergruppe stammen. Dies kann in sehr stark durch Schweinswale frequentierten Gebieten einen hohen Einfluss ausüben. Folge ist dann ein überhöhter $g(0)$ -Faktor.
- Es kann nicht sichergestellt werden, dass bei einer wiederholten Überfliegung nicht mehr Observierungsaufwand betrieben wird. Folge ist ein überhöhter $g(0)$ -Faktor.
- Da die verglichenen Sichtungen nicht direkt auf der Transektlinie liegen (müssen), sollten andere Umweltbedingungen, welche die Sichtungswahrscheinlichkeit beeinflussen mit berücksichtigt werden. Eine Nichtbeachtung hätte eine Verminderung des $g(0)$ -Faktors zur Folge.

Die Unwägbarkeiten die mit der Ermittlung des $g(0)$ -Faktors einhergehen, können vermieden werden, wenn nur unkorrigierte, abstrakte Dichten statt absoluten Bestandszahlen genutzt werden (Heide-Jørgensen et al., 1993). Dann ist aber eine Vergleichbarkeit verschiedener Studien mit unterschiedlichen Observern und Randbedingungen nicht gegeben.

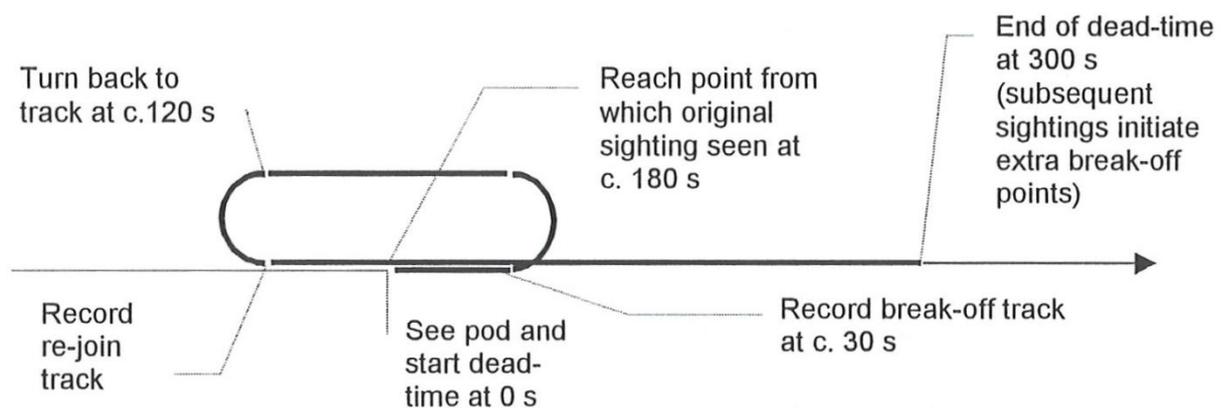


Abbildung 2: Hiby Circle-back Methode zur Feststellung des $g(0)$ -Korrekturfaktors (aus Hiby, 1999)
 Nach einer Sichtung (Zeitpunkt 0) fliegt der Pilot ca. 30 Sekunden auf der Transektlinie, dreht ab und fliegt für ca. 60 Sekunden parallel der Transektlinie zurück. Nach anschließender Rückkehr auf die Transektlinie kann die Position nach ca. 180 Sekunden wieder überflogen werden. Es wird festgestellt, ob der Schweinswal wieder gesichtet wird. Danach wird der normale Transektflug fortgesetzt.

Tabelle 1: Effektive Streifen- und Bildbreiten für ausgewählte fluggestützte Linientranssektzählungen und die fotografische Erfassung innerhalb der Vorstudie zum Projekt Remplane

Studie	Jahr	Bodenauflösung cm	Flughöhe (m)	Ermittelte effektive halbe Streifenbreite ($\hat{\mu}$)				Bildbreite (m)
				<i>Sichtbedingungen</i>		<i>gut</i>	<i>moderat</i>	
Scheidat et al., 2008		-	183	153	54	207	193	<i>n.z.</i>
Heide-Jørgensen et al., 1993	1991	-	183	165,8	<i>k.A.</i>	<i>k.A.</i>	<i>k.A.</i>	<i>n.z.</i>
	1992	-	183	223,2	<i>k.A.</i>	<i>k.A.</i>	<i>k.A.</i>	<i>n.z.</i>
Vorstudie Remplane		2	150	<i>n.z.</i>	<i>n.z.</i>	<i>n.z.</i>	<i>n.z.</i>	142
		4	300	<i>n.z.</i>	<i>n.z.</i>	<i>n.z.</i>	<i>n.z.</i>	285
		6	450	<i>n.z.</i>	<i>n.z.</i>	<i>n.z.</i>	<i>n.z.</i>	430

n.z. – nicht zutreffend, *k.A.* – keine Angabe

Um eine fotografische Erfassung von Schweinswalen mit Linientranssekt Surveys vergleichen zu können, sollte auch die effektive halbe Streifenbreite herangezogen werden (Tabelle 1).

Ohne die Beachtung der $g(0)$ -Werte konnten Scheidat et al., 2008 unter guten Sichtverhältnissen eine Streifenbreite von 207 m und unter moderaten Verhältnissen von 193 m erzielen. Wird die $g(0)$ -Korrektur hinzugezogen, ergibt sich eine Streifenbreite von 153 m und 54 m respektive. Heide-Jørgensen et al., 1993 konnten während ihrer Surveys Streifenbreiten von 165,8 m bis 223,2 m feststellen.

Für die hier vorgestellte Studie wurden Flüge mit einer Cessna 172 mit 12 cm Bodenluke durchgeführt. Gegenüber einer dedizierten Observermaschine unterscheidet sie sich durch das Fehlen von Bubblewindows (um das direkte Sehen auf die Wasseroberfläche zu ermöglichen). Weiterhin ist in der Maschine im Rückraum Platz für Kamera und Operator und vorne ein Sitzplatz für einen Observer. Eine Zählung zu beiden Seiten der Transektlinie konnte mit dieser Maschine deshalb nicht durchgeführt werden.

2.1.2. Statistische Vorgaben für Luftbildfotografie und UAVs als faunistische Erhebungsmethode

Wie in den vorhergegangenen Kapiteln geschildert, sind bestimmte Punkte der bisherigen Verfahren zur Bestimmung von Meeressäuger- und Seevogeldichten mit starken Nachteilen behaftet. Fotografische Verfahren sind

- nachvollziehbar,
- überprüfbar,
- archivierbar und
- werden durch wechselnde Sichtbedingungen gleichmäßig über den gesamten betrachteten Ausschnitt verändert.

Größte Vorteile sind derzeit zu erwarten, wenn Standard-Observerflüge dazu genutzt werden, eine genügend große Datengrundlage in Form von Senkrechtaufnahmen zu erhalten. Luftbilder stehen jederzeit für eine wiederholte Analyse zur Verfügung. Es ist also möglich adaptierte Mustererkennungsalgorithmen auf ältere Datenbestände anzuwenden. Dementsprechend sind Luftbilder auch nach Jahren der technisch fortschreitenden Entwicklung für vergleichende Studien nutzbar.

In der statistischen Analyse weisen fotografische Methoden den erheblichen Vorteil auf, dass nahezu alle einwirkenden Umweltfaktoren (mit Ausnahme der Sonnenblendung) sich gleichmäßig auf das gesamte Bild auswirken. Für Linientransektzählungen ist eine gemessene Distanz von der Transektlinie notwendig, da die Wahrscheinlichkeit einer Sichtung mit zunehmender Entfernung abnimmt. Auf einem Foto hingegen hat jeder Aufnahmepunkt des Bildes prinzipiell die gleiche Wahrscheinlichkeit Bildpunkt eines Schweinswales zu sein. Natürlich kann ein Schweinswal nur dann abgebildet werden, wenn er nahe der Oberfläche ist und nicht in fotografisch nicht erfassbaren Regionen, wie z.B. Sonnenblendbereichen und Wellenkronen auftaucht. Das heißt, dass die für Linientransektzählungen zu beachtende effektive Streifenbreite gleich der Breite des Bildes (b) abzüglich der prozentual nicht analysierbaren Bildbreite (γ) ist.

$$\hat{\mu} = b - \gamma \quad (2.4.)$$

Der Anteil eines Bildes, der für eine Auswertung nicht zur Verfügung steht, kann durch einfache Bildanalyseverfahren ermittelt werden, da sowohl spiegelnde Sonneneinstrahlung, als auch sich brechende Wellenkämme über charakteristische Frequenzanteile verfügen, die für eine automatische Auswertung genutzt werden können.

Auch für fotografische Methoden muss, um Linientransektmethoden anwenden zu können, vorausgesetzt werden, dass alle Tiere, die sich direkt auf der Transektlinie befinden, gesichtet werden. Für Schweinswale und tauchende Seevögel gilt diese Annahme nicht. Dementsprechend muss auch bei Fernerkundungsmethoden ein $g(0)$ -Faktor berechnet werden. Geht man davon aus, dass man eine doppelte fotografische Erfassung als Mark-Recapture Experiment mit der Erfassung eines Tieres auf beiden Bildern betrachtet, dann folgt laut Laake et al., 2004, dass der Petersen-Estimator (\hat{N}_c) als Maß für die in einer bestimmten Region befindlichen Tiere, sich zu

$$\hat{N}_c = \frac{n_1 n_2}{n_3} \quad (2.5.)$$

ergibt. Hierbei ist n_1 die Anzahl der detektierten Objekte des ersten Bilddatensatzes, n_2 die des zweiten Bilddatensatzes und n_3 die Anzahl der auf beiden Bildfolgen als Duplikate erkannten Objekte.

Vorteil der fotografischen Erfassung ist hier, dass die beiden potentiellen Einflussfaktoren der Wahrnehmungsfaktor und der Verfügbarkeitsfaktor innerhalb einer späteren Berechnung getrennt behandelt werden können und nicht abhängig von Personen und damit Detektionsfunktionen sind. Trotzdem ist ein Einfluss des Wahrnehmungsfaktors auf den Verfügbarkeitsfaktor zu überprüfen, da z.B. bei einer automatischen Bildauswertung potentiell unterschiedliche Ergebnisse bei unterschiedlichen Wellenbewegungen wahrscheinlich sind.

Sollen Observer und Luftbildsurveys gekoppelt werden, empfiehlt sich, für erste Versuche der statistischen Auswertung, beide Erfassungsmethoden als unabhängig voneinander zu betrachten, wie es z.B. Palka, 2005a für Schiffs- und Flugzählungen der selben Transektlinien am gleichen Tag vorgibt. Dabei muss die Berechnung von $g(0)$ für eine der beiden genutzten Methoden ermöglicht werden, um eine Skalierung der Daten anhand der berechneten Dichten zu ermöglichen:

$$g_{i, Methode a} = \frac{D_{i, unkorrigiert, Methode a} \cdot D_{i, unkorrigiert, Methode a}}{D_{i, korrigiert, Methode b}} \quad (2.6.)$$

Um die Qualität des Mustererkennungsalgorithmus evaluieren zu können, bietet sich die Auswertung von Luftbildern mit einer hohen Längsüberlappung an. Aufeinanderfolgende Bilder können in zwei separate Bilddatensätze getrennt werden (Abbildung 3).

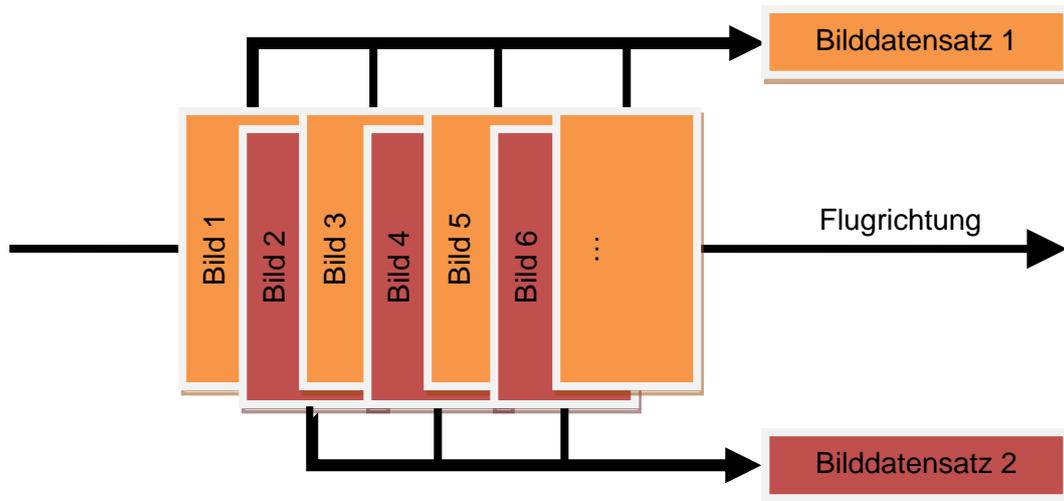


Abbildung 3: Teilung eines Bilddatensatzes zur Ermittlung von $g(0)$

Durch die Einteilung in alternierende Bilddatensätze (Satz 1 und Satz 2) können die Dichten $D_{i,Satz\ 1}$, $D_{i,Satz\ 2}$ sowie $D_{i,Duplikate}$ als Dichte der duplizierbaren Erfassungen berechnet werden. Nach Palka, 2005b kann dann ein Dichteschätzwert D_{ci} durch

$$D_{ci} = \frac{D_{i,Satz\ 1} \cdot D_{i,Satz\ 2}}{D_{i,Duplikate}} \quad (2.7.)$$

berechnet werden. Da alle Dichten über die Formel 2.2. (gegebenenfalls unter Berücksichtigung der Gruppengröße) berechnet werden können, ergibt sich so die Berechnung von $g(0)$ zu:

$$g(0)_{Satz\ 1} = \frac{n_{i,Duplikate} \cdot \hat{\mu}_{i,Satz\ 1}}{n_{i,Satz\ 1} \cdot \hat{\mu}_{i,Duplikate}} \quad (2.8.)$$

Und analog für $g(0)_{i,Satz\ 2}$.

2.1.3. Akustische Erfassung von Schweinswalen

Schweinswale nutzen Echoortungssignale, sogenannte Klicks, um sich im Raum zu orientieren (Verfuß et al., 2002b), zu navigieren (Akamatsu et al., 2007; Verfuß et al., 2005) und Beute zu fangen (Verfuß et al., 2006). Es ist anzunehmen, dass Schweinswale ihre Echoortung nahezu fortwährend anwenden (Akamatsu et al., 2007). Zur akustischen Erfassung wird ausgenutzt, dass Schweinswalklicks schmalbandig sind und die meiste Energie bei ca. 130 kHz und nahezu keine Energie bei unter 100 kHz enthalten (z.B. Kamminga et al., 1999, Abbildung 4).

Die am häufigsten eingesetzten Messgeräte sind die von Chelonia Ltd., UK entwickelten T-PODs (Timing Porpoise Detector, Tregenza, 1998) und C-PODs (Cetacean POD).

Innerhalb Deutschlands werden diese Messgeräte derzeit im vorgeschriebenen Monitoring von Natura 2000 Schutzgebieten in der Ausschließlichen Wirtschaftszone der Ostsee (Dähne et al., 2007; Gallus et al., 2008) eingesetzt.

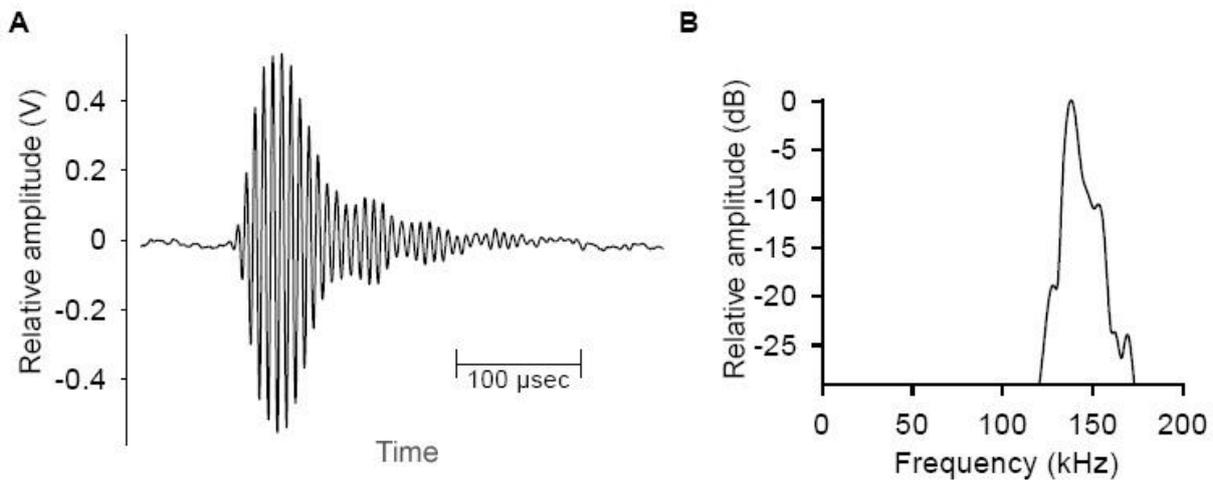


Abbildung 4: Klicklaut eines Schweinswals (A) Amplituden-Zeit Signal und (B) Energiespektrum (aus Verfuß et al., 2008)

Im Rahmen von Umweltverträglichkeitsstudien zur Ermittlung der Auswirkungen der Errichtung und des Betriebes von Windkraftanlagen haben sich diese Messgeräte ebenfalls bewährt (Carstensen et al., 2006; Diederichs et al., 2008). Bei der Rammung von Fundamenten für Windkraftanlagen werden hohe Geräuschpegel emittiert, die potentiell zu einer Vertreibung von Schweinswalen aus dem Gebiet aber auch zu direkten Hörschäden führen können (Lucke et al., 2007; Madsen et al., 2006).

Obwohl sich die Methode bereits für die Feststellung von zeitlichen Differenzen in der Gebietsnutzung von Schweinswalen bewährt hat (Dähne et al., 2007; Verfuß et al., 2007, Dähne et al., in prep), ist es bisher nicht möglich die Anzahl an Schweinswaldetektionen direkt in Dichten bzw. Bestandszahlen umzurechnen. Siebert et al., 2008 zeigen, dass ein direkter Zusammenhang zwischen schweinswalpositiven Tagen (definiert als Tag mit mindestens einer akustischen Detektion) und den innerhalb von Linientransekt-Flugzählungen gewonnen Dichten im Gebiet der Deutschen Nord- und Ostsee besteht. Dieser Zusammenhang kann zur Bestimmung von Schweinswaldichten genutzt werden, wenn Detektionsfunktionen für die einzelnen Messgeräte bekannt sind (Tougaard et al., 2006). Leider ist gerade die Bestimmung von Detektionsfunktionen mit erheblichem Aufwand verbunden, da T-PODs keinerlei Information über die Entfernung der Tiere vom Messgerät aufzeichnen.

Können Detektionsfunktionen festgestellt werden, kann eine Auswertung entsprechend der Punkt-Transpekt-Methode erfolgen (Tougaard et al., 2006, Buckland et al., 2001). Auch hier ist die Annahme, dass die Wahrscheinlichkeit einer Aufzeichnung mit steigender Entfernung zum beobachteten Objekt (bzw. akustisch erfassten Objekt) sinkt (Abbildung 5).

Die bisher angewandte Methode zur Ermittlung von Detektionsfunktionen bzw. Detektionsdistanzen beruht auf visuellen Beobachtungen von Schweinswalen von hochgelegenen Uferregionen mit gleichzeitiger Aufnahme der akustischen Signale innerhalb desselben Gebietes. Wie in Abbildung 6 dargestellt, unterliegen diese Messungen erheblichen Beeinflussungen durch das Verhalten der Schweinswale. Wünschenswert wäre für die Ermittlung von Detektionsdistanzen eine Ausbringung der Messgeräte in küstenfernen Bereichen mit homogenen Wassertiefen. Um Detektionsfunktionen dann hinreichend genau zu ermitteln, ist die Anwendung von Fernerkundungsmethoden in Form von Luftbildfotografie notwendig. Insbesondere für solche Aufgaben, die geringe Anforderungen an die Reichweite der genutzten Flugzeuge stellen, sollten UAVs eine geeignete Methode für den Feldeinsatz sein.

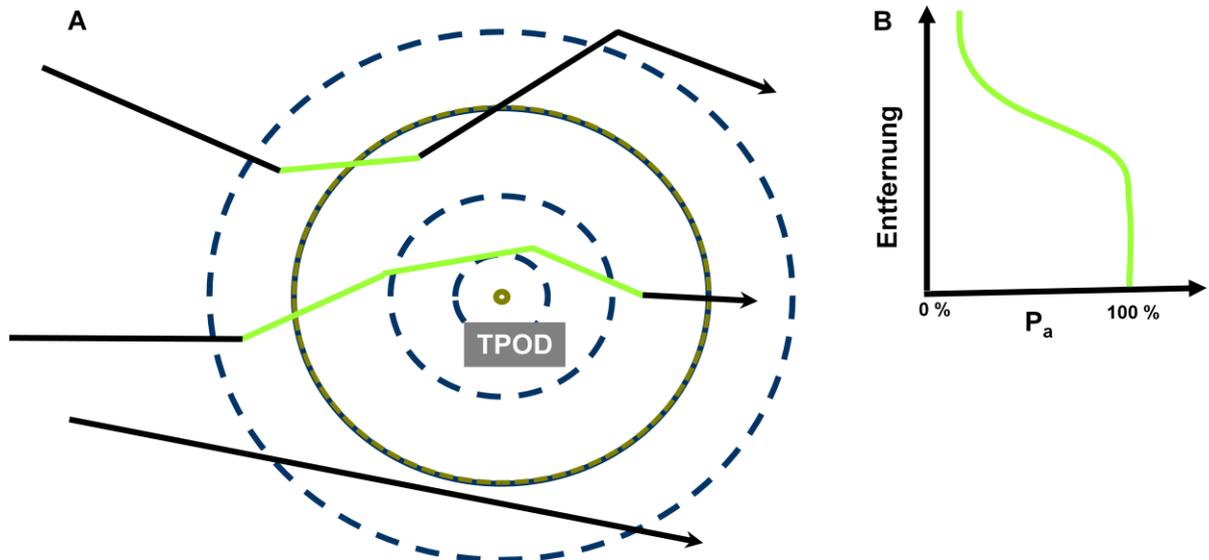


Abbildung 5: Theoretische Grundlagen für die Berechnung von Schweinswaldichten aus akustischen Erhebungen mit T-PODs

(A) Schweinswale (repräsentiert durch Pfeile) durchschwimmen das Gebiet einer T-POD Untersuchung. Solange die Schweinswale die Grenze der akustischen Detektion nicht durchschwimmen (grüner Kreis) oder ihre Schwimmrichtung nicht zum Messgerät zeigt, werden sie nicht aufgenommen (schwarze Linie). Die Linie ist grün, wenn Schweinswale detektiert werden. (B) Sind die Entfernungen eines Schweinswals zum Messgerät bei akustischer Detektion bekannt, kann eine Detektionsfunktion der Wahrscheinlichkeit der Erfassung (P_a) in Abhängigkeit der Entfernung berechnet werden. Darüber kann eine Bestandsermittlung vorgenommen werden.

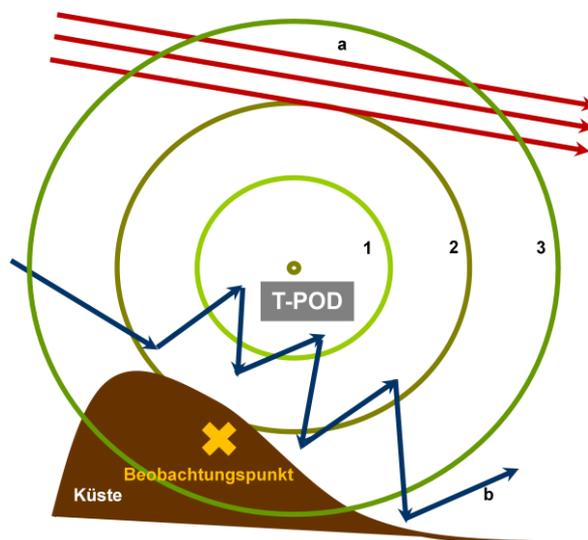


Abbildung 6: Mögliche Beeinflussungen bei der Feststellung von Detektionsdistanzen.

T-PODs unterschiedlicher Sensitivität (1 *sehr unsensitiv* bis 3 *sehr sensitiv*) sind in einem Seegebiet ausgebracht und detektieren Schweinswale (a- rote Pfeile, b – blaue Pfeile). Sind bestimmte Wanderrouen im Gebiet vorhanden, werden sensitive Geräte Schweinswale immer erfassen, während unsensitive die Tiere nie erfassen (Fall a). Resultat sind unbrauchbare Detektionsfunktionen. Nutzen Schweinswale die Küstenlinie als Orientierung (häufig bei Mutter-Kalb Paaren) erfassen Geräte unterschiedlicher Sensitivitäten die Tiere gleich gut. Während der Fall b mit einer Theodolitenmessung durchaus erfassbar ist (bei ausreichender Standpunkthöhe), ist Fall a mit einem Theodoliten kaum messbar, da die Genauigkeit der Winkelmessung mit steigender Entfernung zur Küste abnimmt.

2.2. Kameraauswahl und -kalibrierung

Die wichtigsten Anforderungen an eine Digitalkamera für photogrammetrische Anwendungen mit einem UAV sind:

- kompakt
- geringes Gewicht (< 500 g)
- manuelle Steuerung (Brennweite, Belichtungszeit, Blende etc.)
- Blitzschuh zum Abgreifen des Auslöseimpulses
- kein automatisches ‚Einschlafen‘ der Kamera
- Möglichkeiten zur externen Stromversorgung

Nach einer intensiven Produktrecherche fiel die Wahl der Kamera auf eine Canon Powershot G9, da diese die vorher genannten Anforderungen am besten erfüllt. Die wichtigsten Kennzahlen der Kamera sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Technische Parameter Canon Powershot G9

Parameter	Eigenschaft
Sensor	4.000 x 3.000 Pixel (= 12,1 Megapixel), 1/1,7-Inch-Sensor (7,6 x 5,7 mm)
Pixelgröße	~1,9 μm
Belichtungszeit	1/60-1/2.500 s
Brennweite	7,4 - 44,4 mm (35-210 mm Kleinbildäquivalent)
Manuelle Einstellungsmöglichkeiten	Fokus, Blende, Belichtungszeit etc.
Minimale Bildfolgezeit*	ca. 1,25 s/Bild
Gewicht	ca. 320 g (mit Batterie und Mechanik ca. 450 g)
Datenspeicherung	SD-Karte mit 16 GB (~ 3.000 Bilder)
Preis	ca. 350 €

*Die minimale Bildfolgezeit kann nur erreicht werden, wenn die Serienbildfunktion eingeschaltet ist. Allerdings ist bei der Nutzung der Serienbildfunktion der Kamera kein TTL-Blitzbetrieb mehr möglich. Das hat zur Folge, dass die Auslösezeitpunkte über das GPS nicht mehr aufgezeichnet werden können. Somit ist für den Bildflug die tatsächliche Bildfolgezeit größer als 2 s/Bild, wenn über das TTL-Signal die GPS-Position aufgezeichnet werden soll.

Eine allgemein in der Photogrammetrie zu beobachtende Tendenz geht dahin, immer einfachere, standardisierte Komponenten zu verwenden, die über eine sorgfältige Kalibrierung letztendlich eine ähnlich hohe Messgenauigkeit ermöglichen wie eine hochwertige Messkamera. Bei der Untersuchung der Bildqualität digitaler CCD-Aufnahmesysteme sind verschiedene Parameter zu beachten, die mit der elektronischen Bilderzeugung verbunden sind. In der nachfolgenden Tabelle sind einige wichtige geometrische und radiometrische Parameter aufgeführt, die anhand praktischer Tests untersucht wurden und anschließend noch intensiver diskutiert werden.

Tabelle 3: Untersuchte radiometrische und geometrische Eigenschaften der Canon Powershot G9

Geometrische Parameter	Radiometrische Parameter
Innere Orientierung	Farbartefakte
Stabilität des Objektivs	Linearität, Dynamik, Blooming
Auflösungsvermögen (MTF)	Rauschen (SNR)
	Helligkeitsrandabfall

2.2.1. Geometrische Eigenschaften der Kamera

Um Bilder geometrisch auswerten zu können, muss die innere und äußere Orientierung der Kamera bekannt sein. Die Genauigkeit der Elemente der inneren Orientierung ist ein klassisches Qualitätsmaß für ein photogrammetrisches Kamerasystem. Das Problem der Kamera-Kalibrierung trifft vor allem auf Teilmesskameras und digitale Aufnahmesysteme zu, deren innere Genauigkeit zeitlichen Veränderungen unterworfen ist.

Innere Orientierung

Die Parameter der inneren Orientierung eines Kamerasystems beschreiben die Lage des Projektionszentrums im kamerafesten Bildkoordinatensystem sowie die Abweichungen vom mathematischen Modell der Zentralperspektive. Dabei wird die Kamera als ein räumliches System angesehen, das aus der Bildfläche (Film, Sensor) und dem davor angebrachten Objektiv besteht. Die innere Orientierung wird durch die Kammerkonstante c , die Lage des Bildhauptpunktes x_0' , y_0' und die Verzeichnung der Kameraoptik $\Delta x'$ und $\Delta y'$ bestimmt. Mit diesen Parametern kann der auf das Projektionszentrum bezogene Abbildungsvektor \mathbf{x}' bestimmt werden.

$$\mathbf{x}' = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ -c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_p' - x_0' + \Delta x' \\ y_p' - y_0' + \Delta y \\ -c \end{bmatrix} \quad (2.9.)$$

Der überwiegende Teil der Verzeichnung wird durch radialsymmetrische Komponenten des Objektivs verursacht. Die Radialverzeichnung entsteht durch Brechungsänderungen an den Linsen des Objektivs und ist in erster Linie von der aktuellen Fokussierung abhängig. Die Verzeichnungskurve wird nach dem Ansatz von Brown, 1971 als Reihenentwicklung mit Verzeichnungsparametern von K_1 - K_3 beschrieben.

$$\Delta r' = K_1 * r'^3 + K_2 * r'^5 + K_3 * r'^7 \quad (2.10.)$$

Die asymmetrische und tangentiale Verzeichnung $\Delta x'$, y'_{\tan} wird in erster Linie durch eine Dezentrierung der Linsen im Objektiv erzeugt. Die tangentiale Verzeichnung ist in der Regel um Größenordnungen kleiner als die radialsymmetrische. Während sie bei hochwertigen Objektiven, wie sie in der Photogrammetrie eingesetzt werden, keine oder nur eine geringe Rolle spielt, so ist sie doch bei Videokameras o.ä. von Bedeutung und sollte immer mit gemessen werden. Die Verzeichnung kann mit den Koeffizienten (p_1 - p_2), wie folgt erfasst werden (Brown, 1971):

$$\begin{aligned} \Delta x'_{\tan} &= p_1 (r'^2 + 2x'^2) + 2p_2 x' y' \\ \Delta y'_{\tan} &= p_1 (r'^2 + 2y'^2) + 2p_2 x' y' \end{aligned} \quad (2.11.)$$

Für filmbasierte Kameras lassen sich zusätzliche Parameter zur Affinität und Scherung (b_1 , b_2) bestimmen, welche die Nichtorthogonalität und die Gleichmaßstäbigkeit der Koordinatenachsen des Bildkoordinatensystems erfassen (Luhmann, 1999). Diese Parameter dienen bei analogen Kameras zur Modellierung des Filmverzugs und sind bei digitalen Kameras aufgrund der Fertigungsgüte von CCD-Elementen vernachlässigbar. Zusammengefasst können die korrigierten Koordinaten x'_k und y'_k für eine beliebige Radialentfernung r' wie folgt berechnet werden:

$$\begin{aligned} x'_k &= x_0' + x_0' * (k_1 r'^2 + k_2 r'^4 + k_3 r'^6) + p_1 (r'^2 + 2x'^2) + 2p_2 x' y' \\ y'_k &= y_0' + y_0' * (k_1 r'^2 + k_2 r'^4 + k_3 r'^6) + p_1 (r'^2 + 2y'^2) + 2p_2 x' y' \end{aligned} \quad (2.12.)$$

Die Bestimmung der Parameter der inneren Orientierung wird in der Photogrammetrie üblicherweise als Kalibrierung bezeichnet und kann im Wesentlichen mit drei verschiedenen Methoden erfolgen:

- *Laborkalibrierung*: Hochgenaue Methode mit einem (Photo-)Goniometer oder Kollimator, welche insbesondere für Reihemesskamern mit einer hohen mechanischen Stabilität eingesetzt wird. Diese Methode wird, da sie nicht vom Anwender durchgeführt werden kann, bei Digitalkameras mit zeitlich variablen Parametern nicht verwendet.
- *Testfeldkalibrierung*: Weit verbreitete Methode in der terrestrischen Photogrammetrie. Bei der Testfeldkalibrierung wird ein geeignetes mobiles oder fest installiertes (2D/3D)-Testfeld von mehreren Standpunkten aus mit einer geeigneten Strahlenschnittgeometrie formatfüllend aufgenommen (Luhmann, 1999). Aus den gemessenen Bildkoordinaten und den (näherungsweise) eingeführten Objektkoordinaten werden, in einem Bündelausgleichungsprozess, sowohl die ausgeglichenen Testfeldkoordinaten, die Informationen zur äußeren Orientierung als auch die Parameter der inneren Orientierung berechnet. Das geodätische Datum wird im Rahmen einer freien Netzausgleichung festgelegt. Durch eine günstige Aufnahmekonfiguration können unerwünschte numerische Korrelationen zwischen den berechneten Parametern weitgehend vermieden werden. Für die Bestimmung der Kammerkonstante ist es unbedingt erforderlich mindestens eine in Aufnahmerichtung weisende Maßstabsinformation einzuführen. Das kann z.B. durch eine bekannte Strecke, ein 3D-Testfeld oder mit Schrägaufnahmen eines ebenen Testfeldes geschehen. Durch in der Aufnahmeachse um 90° bzw. 180° gedrehte Aufnahmen wird die Bestimmbarkeit der Hauptpunktlage und der radialen Verzeichnungsparameter entscheidend verbessert (Fraser, 1997).
- *Selbst- bzw. Simultankalibrierung*: Die Parameter der inneren Orientierung werden im Rahmen einer Objektauswertung in eine Bündelblockausgleichung als zusätzliche Unbekannten eingeführt und mitgeschätzt. Dabei können die Parameter entweder völlig neu berechnet oder genäherte Werte verbessert werden. Gegenüber der Labor- oder Testfeldkalibrierung hat die Simultankalibrierung den großen Vorteil, dass die Kalibrierung und die auszuwertenden Aufnahmen unter den gleichen äußeren Bedingungen (Temperatur, mechanische Belastung etc.) erfolgt. Bei Luftaufnahmen ist zu beachten, dass bei einem ebenen Gelände die vergleichbare Situation eines 2D Testfelds gegeben ist, was bei Senkrechtaufnahmen zur Folge hat, dass die Kammerkonstante nicht eindeutig festgelegt werden kann. Nur bei Geländehöhenunterschieden, die etwa ein Drittel der Flughöhe ausmachen, sind alle Unbekannten sicher zu schätzen.

Die Bestimmung der inneren Orientierung basierte auf jeweils 15 stark konvergierenden Weitwinkelaufnahmen, eines $3,5 \times 4,5$ m großen Testfelds das an der Decke eines Seminarraums angebracht ist. Die Weitwinkelseinstellung und die Entfernungseinstellung ‚Unendlich‘ wurden gewählt, um verwertbare Ergebnisse zu bekommen, die für Luftaufnahmen gültig

sind. Tabelle 4 gibt eine Übersicht der Parameter der inneren Orientierung der Kamera. Da die genaue Größe eines CCD-Elements als Betriebsgeheimnis behandelt wird, wurde diese aus der Größe des CCD-Chips (1/1,7-Inch-Sensor) näherungsweise (1,9 µm) abgeleitet. Deshalb weicht die ermittelte Brennweite geringfügig von den Werksangaben (7,4 mm) ab.

Tabelle 4: Parameter der inneren Orientierung der Canon Powershot G9

[mm]	c	X _h	Y _h	K ₁	K ₂	K ₃	P ₁	P ₂
Mittelwert ^{a)}	7,6798	-0,0338	-0,0588	3,77E-3	-5,78E-5	-8,36E-7	3,79E-6	-1,62E-4
Mess-ge-nauigkeit	1,95E-3	2,11E-3	1,70E-3	6,22E-5	7,15E-6	2,55E-7	1,49E-5	1,16E-5
σ ₀ ^{a)}	± 26 µm	± 75,1 µm	± 74 µm	± 1,74E-6	± 1,24E-8	± 1,75E-11	± 2,62E-6	± 8,67E-6

^{a)} aus sieben Messungen

Die Kamera weist eine tonnenförmige Verzeichnung auf, die sich in einer deutlichen Radialverzeichnung bemerkbar macht (Abbildung 7). Die Verzeichnungswerte zum Bildrand hin sind recht hoch und betragen mehr als 200 Pixel. Das bedeutet, dass für genaue geometrische Auswertungen die Verzeichnung unbedingt mit berücksichtigt werden muss.

Bildwanderung

Um Unschärfen zu vermeiden, muss die Bildwanderung, die durch die Vorwärtsbewegung des Flugzeugs während der Aufnahme entsteht, berücksichtigt und ggf. kompensiert werden. Die Bildwanderung u [µm] eines Objekts beträgt:

$$u \approx \frac{u_{th}}{2} = \frac{1}{2} * \frac{v_g * t * s_p}{GSD} \quad (2.13.)$$

wobei c die Kammerkonstante [m], v_g die Geschwindigkeit des Flugzeuges über Grund [km/h], t die Belichtungszeit [s], s_p die Größe eines Pixels [m], sowie GSD die Bodenauflösung [m] ist.

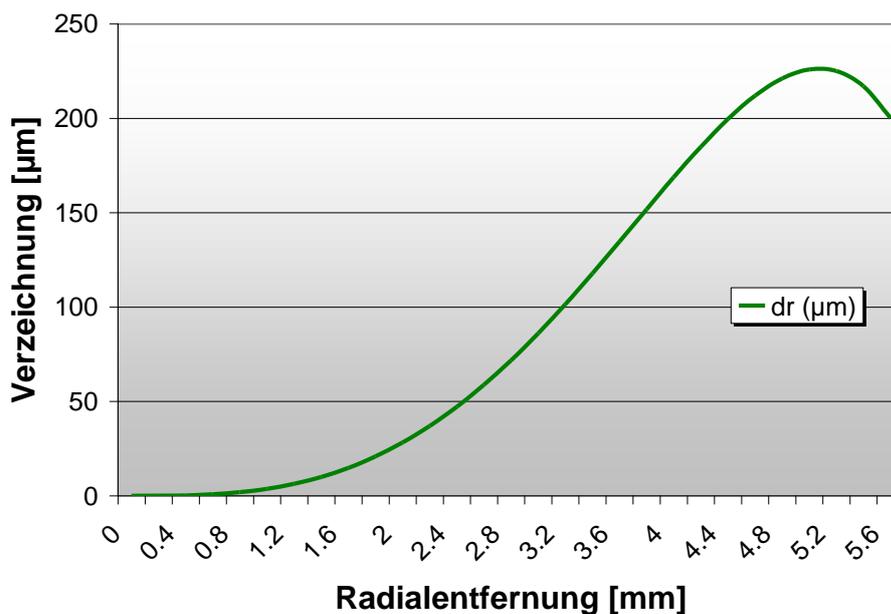


Abbildung 7: Radialverzeichnung (dr) der Canon Powershot G9 bei einer Brennweite von 7,4 mm

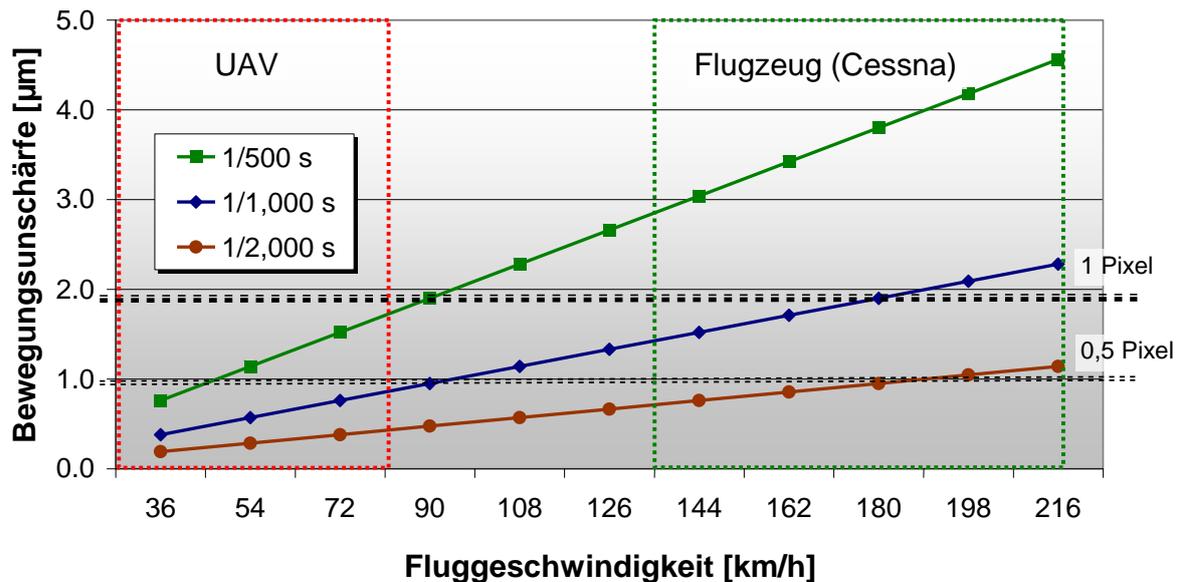


Abbildung 8: Bewegungsunschärfe der Canon Powershot G9 bei einer GSD von 2,5 cm

Anhand der Parameter wird deutlich, dass die Bewegungsunschärfe bei langen Belichtungszeiten mit einer höheren Bodenauflösung und einer höheren Geschwindigkeit des Flugzeugs zunimmt. Für die photogrammetrische Bildauswertung ist jedoch die praktische Bildwanderung von Bedeutung, die ungefähr die Hälfte der theoretischen Bildwanderung u_{th} beträgt. Damit die Bildinhalte scharf abgebildet werden, ist bei einfachen Schlitzobjektiven eine **Bewegungsunschärfe < 0,5 Pixel** erforderlich. Bei einem Zentralverschluss, der bei einer digitalen Spiegelreflexkamera üblich ist, kann eine etwas größere Bewegungsunschärfe toleriert werden.

Um die Bewegungsunschärfe bei einem Flug einer Cessna mit einer hohen Bodenauflösung von 2,5 cm und einer Geschwindigkeit von < 150 km/h zu unterdrücken ist eine Belichtungszeit von 1/1000 s notwendig (Abbildung 8).

Für Luftaufnahmen aus einem UAV mit Fluggeschwindigkeiten von 36-80 km/h kann sogar eine Belichtungszeit von 1/500 s gewählt werden. Diese generell kurzen Belichtungszeiten sind gerade bei dunklen Wasserflächen problematisch.

Generell ist bei der Bewegungsunschärfe zu berücksichtigen, dass bei digitalen Kompaktkameras noch ein zusätzlicher Verwacklungsschutz im Objektiv in Form einer beweglichen Linsengruppe integriert ist. Das so genannte Image-Stabilizer-System bleibt jedoch für den Bildflug ausgeschaltet, um unterschiedliche Ergebnisse bei benachbarten Bildern zu vermeiden.

Bildfolgezeit

Die minimale Bildfolgezeit limitiert die Längsüberlappung benachbarter Bilder. In der Photogrammetrie wird üblicherweise eine Längsüberlappung von 60 % angestrebt. Damit ist gewährleistet, dass jedes Objekt auf mindestens zwei Bildern zu finden ist. Für die Schweinswaldetektion ist die Längsüberlappung auch wichtig, denn durch überlappende Bilder können Fehlinterpretationen, die z.B. durch Wellenkämme bedingt sind, vermieden werden.

Abbildung 9 zeigt die erforderliche Bildfolgezeit der Canon Powershot G9 in Abhängigkeit von der Fluggeschwindigkeit.

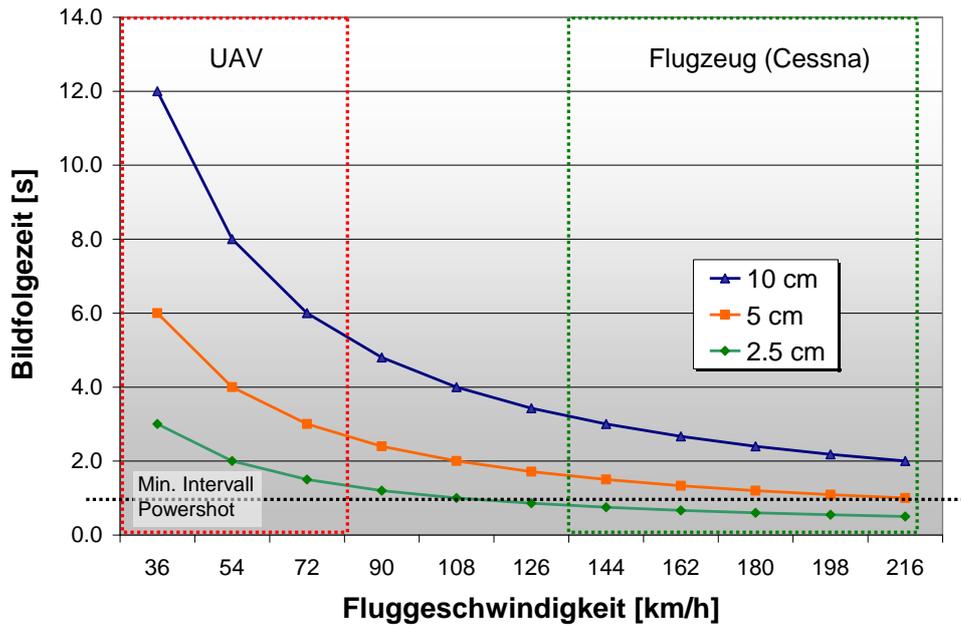


Abbildung 9: Bildfolgezeit der Canon Powershot G9 bei einer Längsüberlappung von 60% und Weitwinkleinstellung

Die Graphik verdeutlicht, dass die minimale Bildfolgezeit bei Luftaufnahmen mit einem UAV kein Problem ist und eine Längsüberlappung von 60% auch bei hohen Bodenauflösungen möglich ist. Bei Luftaufnahmen aus einem Flugzeug mit Fluggeschwindigkeiten von z.B. 150-180 km/h hingegen, sind nur Bodenauflösungen bis 4 cm/Pixel mit einer 60 prozentigen Längsüberlappung möglich.

2.2.2. Radiometrische Eigenschaft der Kamera

Die Beschreibung der Bildqualität und des Auflösungsvermögens einer Kamera ist ein komplexes Unterfangen, das nicht nur auf einige Zahlen reduziert werden kann (NASSE, 2008). Schließlich sind die Einstellungsmöglichkeiten moderner digitaler Kameras vielfältig und auch in der Nachbearbeitung kann durch die Verwendung verschiedener Filter die Bildqualität noch beeinflusst werden. Nicht zuletzt verändert sich die Bildqualität auch bei unterschiedlicher Blende, Brennweite und Belichtungszeit. Bei einem Bildflug werden für Aufnahmen im Allgemeinen eine Weitwinkleinstellung (7,4 mm Brennweite) und Blendenzahlen zwischen 2,8 und 5,0 sowie Belichtungszeiten von 1/500-1/1.000 gewählt. Dementsprechend beziehen sich die nachfolgenden Aussagen zur Bildqualität nur auf diese Kameraeinstellungen. Um einen Vergleich mit einer semiprofessionellen Fernerkundungskamera zu ermöglichen sind die Ergebnisse der Powershot G9 denen einer Rolleiflex AIC 45 gegenübergestellt.

Bildqualität der Canon Powershot G9 – Signal-Rausch-Verhältnis

Unter dem Rauschen werden im Allgemeinen kleinere zufällige Abweichungen des gemessenen Signals vom Sollwert verstanden. Das Gesamttrauschen einer Digitalkamera setzt sich aus der Überlagerung mehrerer Komponenten zusammen. Dies können z.B. sein:

- das Photonen-Rauschen, welches sowohl durch eine Variation der Anzahl der ausgesandten Photonen bei konstanter Lichtquelle hervorgerufen wird, wie auch durch die Variation der Anzahl der gesammelten Photonen bei konstanter Lichtintensität,
- das Dunkelstrom-Rauschen, welches von Elektronen herrührt, die auch bei geschlossenem Objektiv durch thermische Strahlung erzeugt werden,

- das Ladungstransfer-Rauschen, welches beim Ausleseprozess durch Ladungsverlust bzw. -verschiebung zwischen benachbarten CCD-Elementen entsteht und typische Muster erzeugt,
- das Übertragungs-Rauschen, welches durch den Signalverlust während der Übertragung der Daten innerhalb der Kamera auftritt und
- das Quantisierungs-Rauschen, welches durch Rundungseffekte bei der A/D-Wandlung in diskrete Grauwerte auftreten kann.

Bei einer Aufnahme mit geschlossenem Objektiv kann das Grundrauschen gemessen werden. Es umfasst das Dunkelstrom-Rauschen, das Ladungstransfer-Rauschen, Teile des Übertragungs-Rauschens und des Quantisierungs-Rauschens (Tabelle 5).

Tabelle 5: Grundrauschen der Canon Powershot G9 und der Rollei AIC 45

Camera	Parameter	Rot	Grün	Blau
Canon Powershot G9	Grundrauschen [DN]	0,52	0,48	0,43
	Standardabweichung	1,66	1,55	1,58
Rollei AIC 45	Grundrauschen [DN]	0,33	0,65	0,56
	Standardabweichung	1,17	1,73	1,68

Geringes Rauschen ist ein wichtiger Qualitätsparameter, insbesondere bei schwierigen Lichtverhältnissen wie sie bei dunklen Wasseroberflächen auftreten. Als Messgröße des Rauschens innerhalb eines Systems wird das Signal-Rausch Verhältnis SNR (Verhältnis der Rauschspannung zur Signalspannung) angegeben:

$$SNR = \log \frac{U_s}{U_r} \quad (2.14.)$$

Diese Größen sind direkt nur über Hardwaremanipulationen zu bestimmen. Aus diesem Grunde wird das SNR indirekt über eine Analyse der Grauwerte bestimmt.

In einem einfachen Ansatz werden dazu eine gleichmäßig ausgeleuchtete und farblich homogene Flächen mit einem stark defokussierten Objektiv aufgenommen. Dabei ist der Mittelwert der gemessenen Grauwerte das Signal und die Standardabweichung der Rauschanteil. Der Nachteil dieses Verfahrens liegt darin, dass von einer absolut homogenen Testfläche und einer einheitlichen, diffusen Beleuchtung ausgegangen wird und damit alle Restfehler komplett in das Rauschen eingehen.

Zur Bestimmung des SNR wurde der definierte Graukeil (Fotowand™ 4269) verwendet, welcher nahezu Lambertsche Reflexionseigenschaften mit einem Dichteumfang von 0-1,65 aufweist. Als homogene Lichtquelle wurde die reflektierte Sonnenstrahlung genutzt. Der Einfluss unterschiedlicher ISO-Werte auf das SNR ist in Abbildung 10 dargestellt. Die Größe der homogenen Teilflächen betrug 50 x 50 Pixel. Um das SNR über den gesamten Dynamikbereich der Kamera zu erfassen sind mehrere Aufnahmen mit unterschiedlicher Aussteuerung gemacht worden.

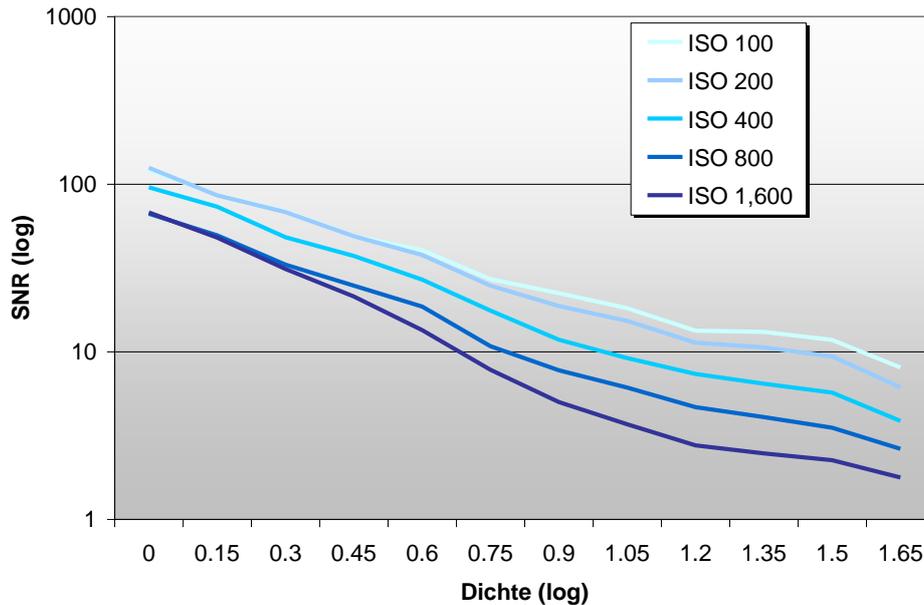


Abbildung 10: Signal-Rausch-Verhältnis der Canon Powershot G9 bei verschiedenen ISO-Werten

Grundsätzlich ist anzumerken, dass bei einem SNR von > 30 das Rauschen im Allgemeinen visuell noch nicht ins Auge fällt. Bei einem SNR < 10 hingegen ist das Rauschen schon störend. Als Ergebnis der Untersuchungen ist festzuhalten, dass ISO-Werte von 100 und 200 im Verlauf sehr ähnlich sind. Bei größeren ISO-Werten ist das SNR schon bei mittleren Grauwerten (Dichten $> 0,75$) recht gering. Außerdem weist die Kamera schon bei mittleren Grauwerten (Dichten $> 0,75$) zusätzlich ein signifikantes chromatisches Rauschen auf, das bei dunklen Vorlagen (Dichte $> 1,05$) sehr störend wirkt.

Bildqualität der Canon Powershot G9 – Modulationstransferfunktion (MTF)

Die Messung des Auflösungsvermögens (AV) eines analogen oder digitalen Systems erfolgt über die Abbildung eines Testmusters oder eines Siemenssterns dessen verschiedene Ortsfrequenzen bekannt sind. Bei dem verwendeten Siemensstern mit 96 Sektoren (48 Sektorenpaare) ergibt sich das maximale AV in lp/mm aus der Anzahl der Sektoren bezogen auf den Umfang des inneren, nicht mehr aufgelösten Unschärfekreises:

$$AV = \frac{48}{\pi \cdot d} \quad (2.15.)$$

wobei d = Strecke des nicht aufgelösten Unschärfekreises

Die gemessenen Werte des AV mit dem Siemensstern sind immer entfernungsabhängig, da der nicht mehr aufgelöste Bereich eines Siemenssterns mit der Entfernung zunimmt. Für den Bildflug ist deshalb weniger der absolute Wert des AV, der unter Laborbedingungen ermittelt wurde von Interesse, sondern der Abfall des Auflösungsvermögens zum Rand hin sowie der Vergleich zwischen verschiedenen Kamerasystemen bzw. Objektiven. Der Randabfall des AV ist bei der Canon Powershot G9 recht ausgeprägt wie die nachfolgende Abbildung 12 zeigt.

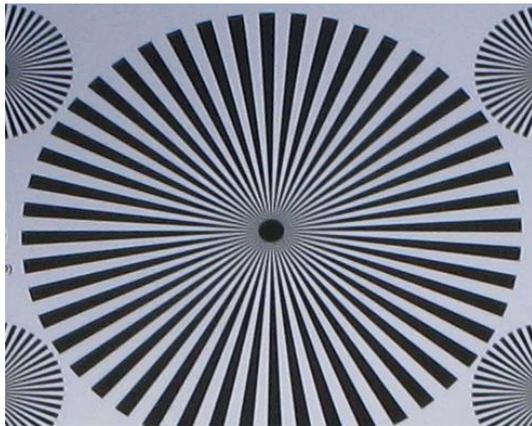


Abbildung 11: Siemensstern Bildmitte

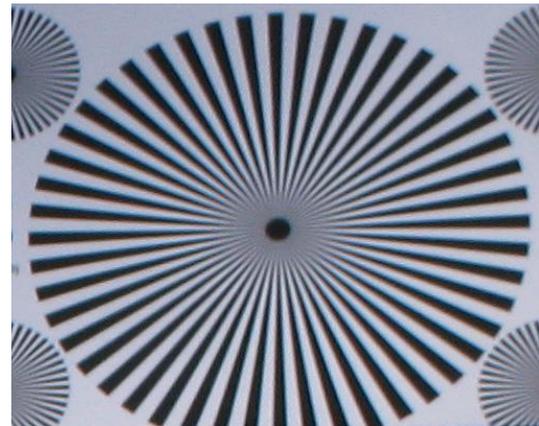


Abbildung 12: Siemensstern oben rechts

Bei einer Objektentfernung von ca. 2 m ergibt sich in der Bildmitte ein AV von 31,18 lp/mm und am Rand ein AV von 22,18 lp/mm. D.h. der Auflösungsabfall beträgt zum Rand hin ca. 30%. Ein Teil des Auflösungsabfalls ist auf die chromatische Abberation (Farbränder) zurückzuführen, die vor allem an den Bildrändern deutlich zu beobachten ist.

Eine kontrast- und entfernungsunabhängige Beschreibung des Auflösungsvermögens wird mit Hilfe der Kontrast- bzw. Modulationstransferfunktion (MTF) erreicht. Der häufig als Auflösungsvermögen angegebene Wert, ist meist die Linienzahl (lp/mm oder c/p (cycle/pixel)) bei welcher der Kontrast auf 50% gefallen ist. Die Einheit lp/mm steht für einen kleinbildäquivalenten Wert, der die MTF von verschiedenen Sensoren vergleichbar macht. Für die Umrechnung zwischen c/p in lp/mm gilt folgende Beziehung:

$$lp/mm = \frac{c/p * Pix_{DS} * 2}{S_d} * \frac{S_d}{S_{KB}} \quad (2.16.)$$

wobei Pix_{DS} = Anzahl der Pixel des digitalen Sensors (Höhe), S_d = Höhe des digitalen Sensors [mm] und S_{KB} = Höhe des Kleinbildsensors (24 mm).

Für eine Beurteilung eines Objektivs ist aber nicht nur dieser eine Wert, sondern der gesamte Kurvenverlauf wichtig. Die Messung der MTF erfolgte mit der Software QuickMTF, Version 1,02¹. Als Vorlage diente das ISO 12233 Resolution measurements Chart². Dieses wurde auf einer Größe von 850 x 600 mm mit einem Plotter ausgedruckt. Für ein formatfüllendes Bild betrug die Aufnahmedistanz etwa 1,2 m.

¹ <http://www.quickmtf.com/>

² http://www.graphics.cornell.edu/~westin/misc/ISO_12233-reschart.pdf

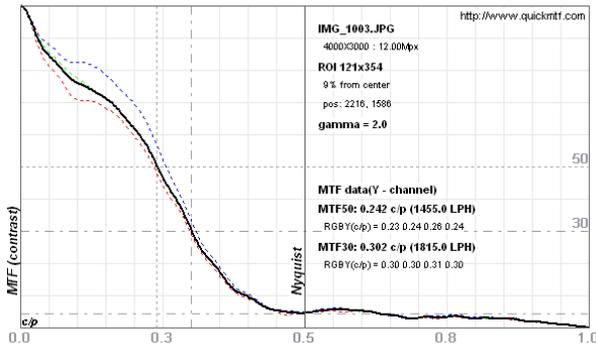


Abbildung 13: MTF der Canon Powershot G9 im Bildmittbereich mit Blende 5,0

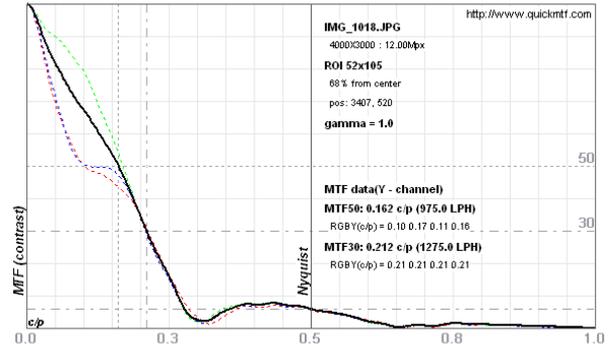


Abbildung 14: MTF der Canon Powershot G9 im Bildrandbereich mit Blende 5,0

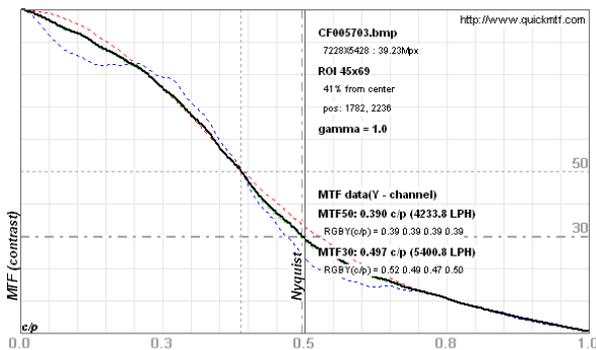


Abbildung 15: MTF der AIC 45 im Bildmittbereich mit Blende 8,0

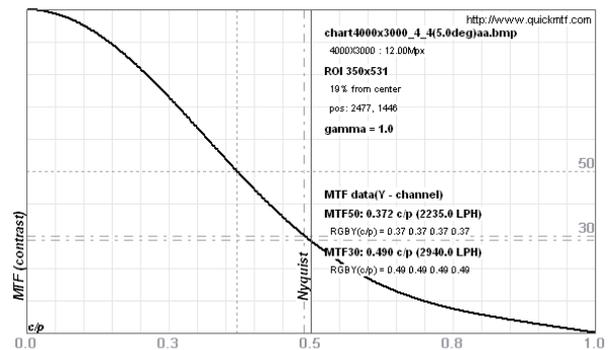


Abbildung 16: MTF eines 4.000 * 3.000 Pixel Testbildes

Der nahezu lineare Kurvenverlauf der MTF bis zum Nyquist-Grenzwert in Abbildung 13 zeigt, dass im Bildmittbereich alle Frequenzen gleichmäßig abgebildet werden. Im Bildrandbereich (Abbildung 14) hingegen werden hohe Frequenzen (= feine Details) nur sehr schlecht abgebildet. Außerdem ist der Kurvenverlauf bei den RGB-Werten aufgrund des Farbrauschens und der Farbsäume bei geringen und mittleren Frequenzen recht unterschiedlich. Die Umrechnung der c/p-Werte in lp/mm ergibt eine maximale Auflösung von 60 lp/mm, was in der Bildmitte als guter Wert angesehen werden kann. Am Bildrand fällt das Auflösungsvermögen auf 40,1 lp/mm ab, was im Vergleich mit den anhand des Siemenssterns ermittelten Werten übereinstimmt.

Um die Kontrastfunktion einschätzen und vergleichen zu können, wurden Tests mit der Mittelformatkamera Rollei AIC 45 durchgeführt, die auch für die Bildflüge zum Einsatz kam. Die Mittelformatkamera Rollei AIC 45 (Abbildung 15) zeigt ein Auflösungsvermögen von 0,39 c/p und kommt dem theoretischen Verlauf der MTF, die durch ein Testbild (Abbildung 16) verdeutlicht wird, sehr nahe.

Feine periodische Muster stellen überhaupt nur einen kleinen Teil der Motiveigenschaften dar, an denen unser Auge Bildqualität erkennt. Am wichtigsten sind eigentlich die Kanten, die Grenzlinien zwischen zwei Flächen mit unterschiedlicher Helligkeit oder Farbe. Die *Line Spread Function* (LSF) gibt an wie eine Schwarz-Weiß Kante abgebildet wird. Abbildung 17 zeigt für die Bildmitte, dass der Übergang zwischen Schwarz und Weiß 2,39 Pixel breit ist und dass durch die integrierte Kantenschärfung des Sensors leicht negative Werte vor und nach der Kante auftreten können. Abbildung 18 zeigt, dass der Kantenverlauf am Bildrand nicht mehr Schwarz-Weiß ist, sondern dass durch die chromatische Abberation ein Schwarz – Lila – Weiß Übergang entstanden ist. Zudem ist der Kantenübergang über 5 Pixel breit und zwischen den Farben deutlich unterschiedlich.

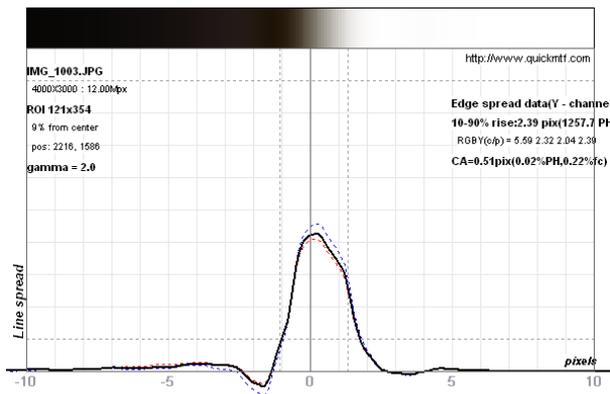


Abbildung 17: Bildmitte - Line Spread Function (LSF) mit Blende 5,0 und Brennweite 7,4 mm

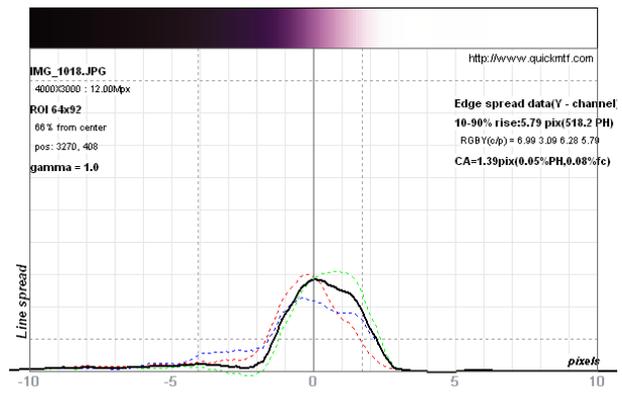


Abbildung 18: Bildrand - Line Spread Function (LSF) mit Blende 5,0 und Brennweite 7,4 mm

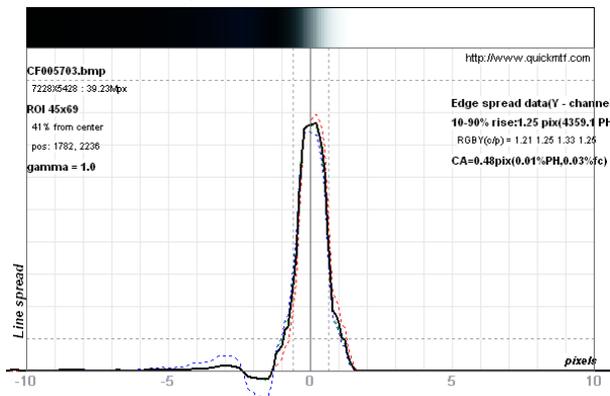


Abbildung 19: Bildmitte - Line Spread Function (LSF) Rollei AIC

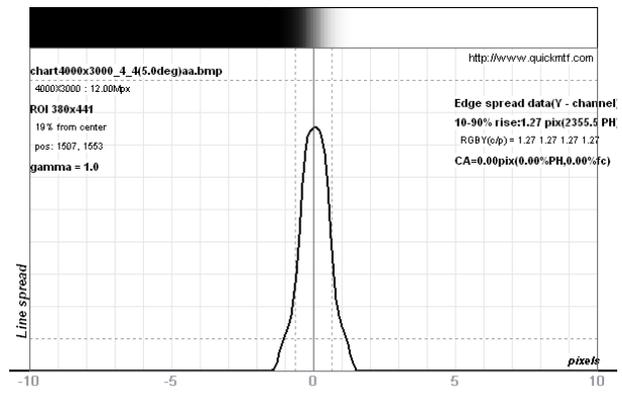


Abbildung 20: Line Spread Function (LSF) eines 4.000 * 3.000 Pixel Testbildes

Im Gegensatz dazu ist die LSF der Mittelformatkamera nahezu perfekt (Abbildung 19) und lässt sich mit einem Testbild vergleichen (Abbildung 20).

Was bedeuteten die Werte der ‚Kontrastwiedergabe‘? Die MTF und LSF bieten nur Information über *Mikro-Kontrast*, d.h. über Strukturen, die wir gerade noch oder gerade nicht mehr mit bloßem Auge sehen können. Wenn wir aber z.B. ein Schachbrett fotografieren, dann sagt die LSF und die MTF nichts über den Kontrast zwischen den schwarzen und weißen Feldern aus.

Dieser *Makro-Kontrast* hängt vom Falschlichtverhalten des Objektivs ab. Falschlicht kann durch unerwünschte Reflexionen zwischen den optischen Flächen und durch die Lichtstreuung an inneren Fassungssteilen entstehen. Alle diese Eigenschaften werden oft miteinander vermischt in dem Begriff ‚Brillanz des Bildes‘ (Nasse, 2008). Gute MTF-Werte bei niedrigen Ortsfrequenzen sind notwendig, aber sie sind noch keine Garantie für brillante Bilder, denn auch die Signalverarbeitung bzw. das Rauschen des CCD-Sensors beeinflussen die Brillanz in großem Umfang.

Abbildung 22 ist ein Beispiel für die Notwendigkeit der Betrachtung des Makro-Kontrasts anhand eines Vergleichs der Aufnahmen von der Mittelformatkamera (Rollei AIC) und der Kompaktkamera (Canon Powershot G9). Links perfekte Abbildungsqualität (Rollei AIC), rechts mäßige Abbildungsqualität mit viel Falschlicht und Rauschen (Canon Powershot G9).

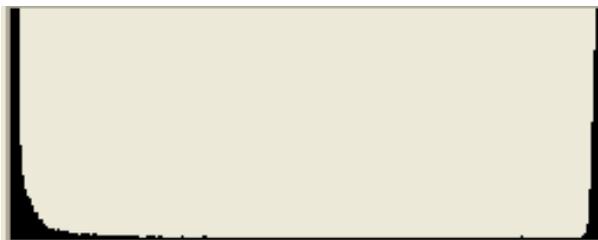
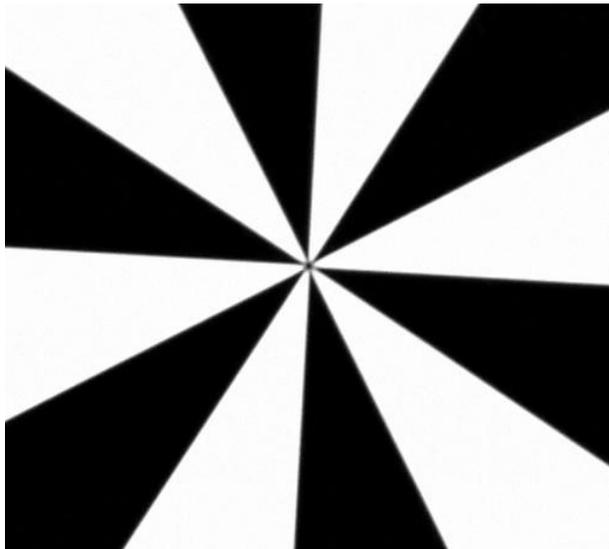


Abbildung 21: Makro-Kontrast der Rolleiflex AIC 45

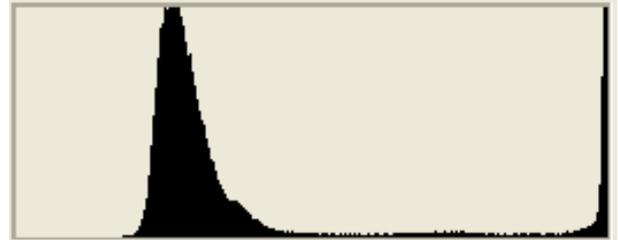
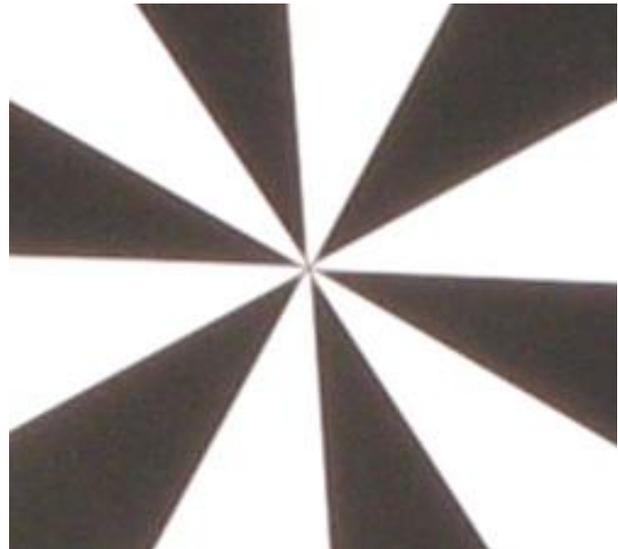


Abbildung 22: Makro-Kontrast der Canon Powershot G9

Die unterschiedlichen Abbildungseigenschaften werden durch einen Vergleich der Histogramme verdeutlicht. Beim linken Bild sind die Häufigkeiten von Schwarz und Weiß durch wenige Grauwertstufen eng begrenzt und beim rechten Bild mit dem hohen Falschlichtniveau ist die linke Spitze (Schwarz) insgesamt heller (nach rechts verschoben), da das Schwarz durch das Falschlicht aufgehellt wird. Außerdem sind zwischen Schwarz und Weiß kontinuierlich Grauwerte enthalten, die auf das Sensorrauschen hinweisen.

Helligkeitsrandabfall (Vignettierung)

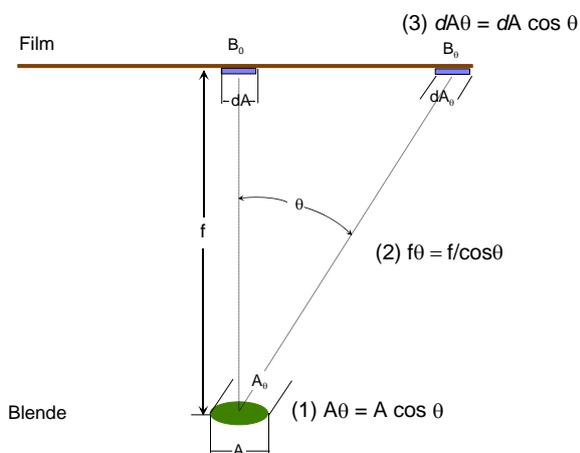


Abbildung 23: Ursachen des Helligkeitsrandabfalls (nach Lillesand & Kiefer, 1994)

Der Helligkeitsrandabfall, der in der Fotografie auch als Vignettierung bezeichnet wird, macht sich mit zunehmender Entfernung vom Bildhauptpunkt zu den Bildecken hin bemerkbar. Er ist auf drei wesentliche Ursachen zurückzuführen (Lillesand & Kiefer, 1994, Abbildung 23):

1. Die effektive Fläche der von der Blende A erfassten Fläche nimmt proportional zum $\cos \theta$ ab.
2. Die Entfernung der Linse zur Fokalebene $f\theta$ nimmt für Punkte außerhalb mit $f\theta = f/\cos \theta$ zu. Da die Beleuchtung mit dem inversen Quadrat zur Brennweite abnimmt, ergibt sich eine Abnahme von $\cos^2 \theta$.
3. Die effektive Fläche eines belichteten Elements dA nimmt zum Rand hin proportional zu $\cos \theta$ ab, $dA_\theta = dA \cos \theta$.

Aus der Kombination der genannten Einflüsse ergibt sich ein theoretischer Lichtabfall vom Nadir zum Bildrand hin von

$$B_\theta = B_0 \cos^4 \theta \quad (2.17.)$$

mit

- θ = der Winkel zwischen der optischen Achse und dem Strahl zu einem Punkt außerhalb des Nadirs (= Nadirdistanz),
- B_θ = die Belichtung für einen Punkt außerhalb der optischen Achse und
- B_0 = die Belichtung, die an diesem Punkt herrschen würde, falls er in der optischen Achse läge.

Zur Korrektur des Helligkeitsrandabfalls für eine beliebige Blendenöffnung wird die Funktion

$$f(x) = \cos^a x \quad (2.18.)$$

verwendet. Bei großer Blendenöffnung liegt der Wert für a in der Regel wesentlich höher als bei einer kleinen Blende. Da moderne Kameras einen Teil des theoretischen Helligkeitsrandabfalls durch eine gute Optik zu einem großen Teil ausgleichen können, liegt der praktische Wert für a zwischen 1,5 und 4,0 (Lillesand & Kiefer, 1994).

Die Bestimmung dieses Effekts ist beispielsweise mit Hilfe einer homogenen und diffus reflektierenden Fläche möglich, die formatfüllend aufgenommen wird. Da künstliche Lichtquellen im Allgemeinen zu einer inhomogenen Ausleuchtung einer Fläche führen, wird die Nutzung des Sonnenlichtes empfohlen. Allerdings ist hier zu beachten, dass die Aufnahmekonfiguration so gewählt wird, dass keine spiegelnde Reflexion besteht bzw. kein Hot Spot zu einer Überlagerung des Helligkeitsrandabfalls führt. Abbildung 24 zeigt den gemessenen Helligkeitsrandabfall der Canon Powershot G9 mit Blende 2,8 und Blende 8,0.

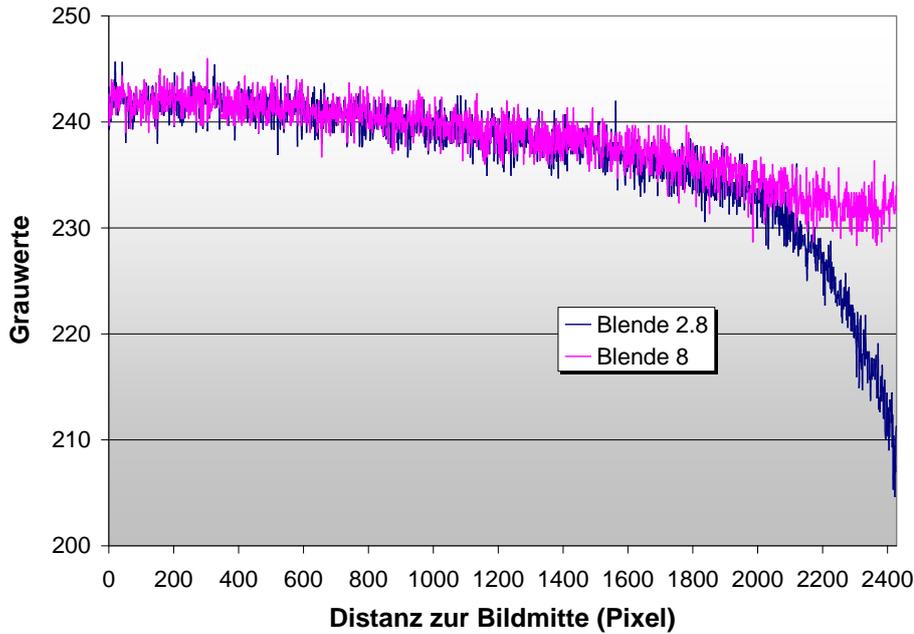


Abbildung 24: Helligkeitsrandabfall der Canon Powershot G9 bei Blende 2,8 und Blende 8,0

Die Abbildung verdeutlicht, dass bei hellen Bildern die Vignettierung bei geschlossener Blende bei 10 Grauwerten (ca. 5%) liegt. Bei weit geöffneter Blende ist dies für über 80% der Bildfläche ebenfalls zutreffend. Die Vignettierung kann durch geeignete Software, wie z.B. der Freeware *Vignetting Reducer 1.2*³ zusätzlich reduziert werden (Abbildung 25). Dabei werden zuerst Referenzbilder einer einheitlichen grauen Fläche mit der entsprechenden Blende aufgenommen. Anschließend wird der Vignettierungseinfluss berechnet und von den zu korrigierenden Bildern abgezogen. Der Effekt dieser Korrektur ist z.B. in Abbildung 25 deutlich zu beobachten.

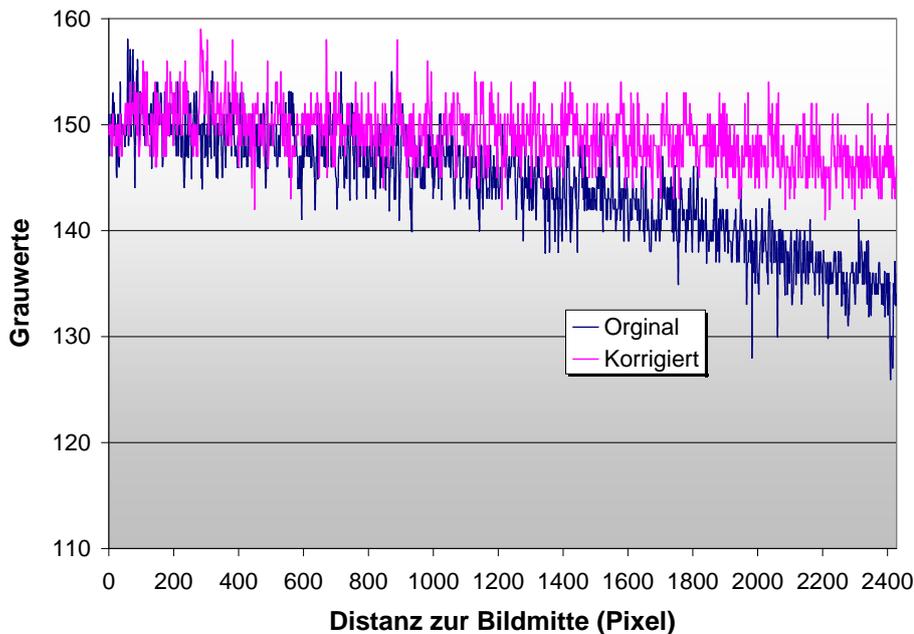


Abbildung 25: Reduzierung des Helligkeitsrandabfalls mit der Software Vignetting Reducer 1.2

³ <http://www.foto-freeware.de/vignetting-reducer.php>

Tabelle 6: Vor- und Nachteile der Canon Powershot G9 für marine Bildfluganwendungen

Vorteile	Nachteile
Geringe Vignettierung	Geringes SNR bei schlechten Lichtverhältnissen
Relativ konstante Geometrie (Innere Orientierung)	Chromatische Aberration am Bildrand
Kurze Reaktionszeit	Große Radialverzeichnung

2.2.3. Automatische Bildauslösemechanik für die Canon Powershot G9

Entgegen erster Erwartungen gestaltete sich eine elektronische Auslösung der Kamera via USB recht problematisch, da die von CANON angebotene Fernauslösesoftware nur unter Windows 2000/XP/Vista und nicht auf einem PDA (Windows CE) lauffähig ist. Um dennoch die Kamera ohne größeren Aufwand elektrisch auslösen zu können ist ein mechanischer Hubmechanismus entwickelt worden (Abbildung 26).



Abbildung 26: Mechanischer Bildauslösemechanismus für die Canon Powershot G9

Die Technik basiert auf einem magnetischen Zylinder der eine Spannung von 12 V benötigt. Zum Auslösen ist ein TTL-Signal (Spannung 5 V) notwendig. Der Hub des Magneten beträgt ca. 6 mm und es dauert ca. 1,2 s vom Triggerimpuls bis zur Auslösung. Der Hauptvorteil der entwickelten Lösung besteht darin, dass keine Kameramodifikation nötig ist. Das bedeutet folglich auch keine Einbußen bei der Garantie. Die Nachteile sind ein relativ langsamer Hubzyklus und mechanische Teile, die nicht unbedingt für eine Dauerlösung geeignet sind.

2.3. PFIFF Flight – das PDA-basierte Flugplanungs- und Flugmanagementsystem

Eine wichtige Komponente für die Erzeugung eines systematischen Bildflugs mit einem UAV ist ein Flugmanagementsystem, das die Auslösung der Kamera steuert und Informationen über die ausgelösten Aufnahmen aufzeichnet. Dabei gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten:

1. Die Auslösepunkte der Kamera werden vorab als so genannte Wegpunkte festgelegt, an denen im Laufe des Fluges die Kamera systematisch ausgelöst wird. Voraussetzung ist, dass das UAV auch die vorprogrammierte Route einschließlich der Höhe genau trifft.

2. Die Auslösepunkte der Kamera werden dynamisch berechnet, in Abhängigkeit der aktuellen Geschwindigkeit und Höhe. Damit werden, unabhängig von der geplanten Flugroute, immer Aufnahmen mit einer optimalen Überlappung aufgenommen. Dies ist sehr vorteilhaft, da das UAV bei Wind seine geplante Flugroute nicht immer korrekt einhalten kann.

Für einen photogrammetrischen Bildflug mit einem UAV wird eine minimale Anzahl von Komponenten gefordert, die in der Summe auch möglichst leicht sein sollen. Deshalb wurde als Entwicklungsplattform für das Flugmanagementsystem ein PDA gewählt, der inkl. Batterie nur ca. 180 g wiegt. Für einen erfolgreichen Bildflug sind dann nur ein PDA, eine Kamera und ein GPS-Empfänger mit externem Eventeingang notwendig. Somit ist die gesamte Masse des Equipments recht klein. Die Zeit für den Einbau des Systems in ein Flugzeug beträgt nur 15 Minuten. Um flexibel, z.B. auf plötzliche Wetteränderungen oder spezielle Anwendungen der Flugüberwachung reagieren zu können, ist die Bildflugplanungssoftware *PFIFF Flight* kurz vor der Vollendung. Im Folgenden soll zuerst die Bildflugplanung mit dem Modul *PFIFF Flight* und anschließend die Steuerung eines Bildflugs mit *PFIFF Pocket* sowie die aufgezeichneten Metadaten dargestellt werden.

2.3.1. PFIFF Flight

Die Bildflugplanungssoftware *PFIFF Flight* generiert einen Flugplan auf Grundlage eines Fluggebietes. Das Fluggebiet wird durch eine Shapedatei definiert. Diese kann z.B. ganz flexibel und einfach mit Hilfe von Google Earth erstellt und über einen kml2shp-Konverter erzeugt werden. Das bedeutet, der Nutzer benötigt kein Geo-Informationssystem (GIS) und keinen PC um den Bildflug zu planen. Im Gegenteil, da *PFIFF Flight* ein Softwareprodukt für den PDA ist, kann an jedem Ort und zu jeder Zeit die Flugplanung angepasst werden, was eine maximale Flexibilität bedeutet.

Für die Planung eines Bildflugs wird in der Regel die Bodenauflösung (engl. Ground Sampling Distance (GSD) oder die maximale Flughöhe (engl. Flight level (FL)) vorgegeben. Anhand dieser Werte und unter Berücksichtigung der mittleren Geländehöhe sowie einer zu definierenden Längs- und Querüberlappung ergeben sich weitere wichtige Kenngrößen für den Bildflug, z.B. die Bodenabdeckung eines Bildes und andere Informationen.

Nach der Auswahl der Kamera sind verschiedene Eingabeboxen auszufüllen. Eingabeboxen, die durch einen roten Stern gekennzeichnet sind, müssen als Pflichtfelder ausgefüllt werden. Mit dem Fixieren von GSD oder FL ändern sich die Pflichtfelder. Die grau hinterlegten Boxen sind reine Ausgabefelder. Mit einem einfachen Klick auf die in blau dargestellte Maßeinheit lassen sich entsprechende Eingabeboxen öffnen in denen die gewünschte Maßeinheit eingestellt werden kann (Abbildung 27).

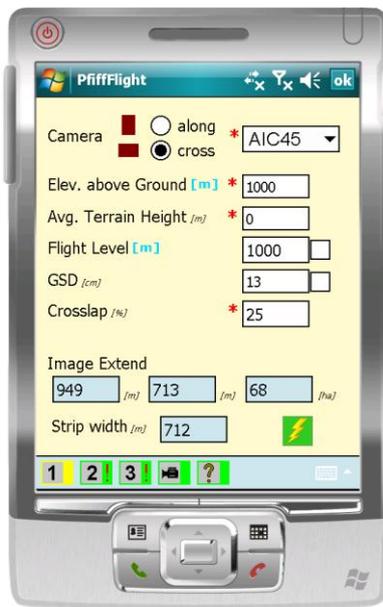


Abbildung 27: Eingabemaske I-
Projektparameter

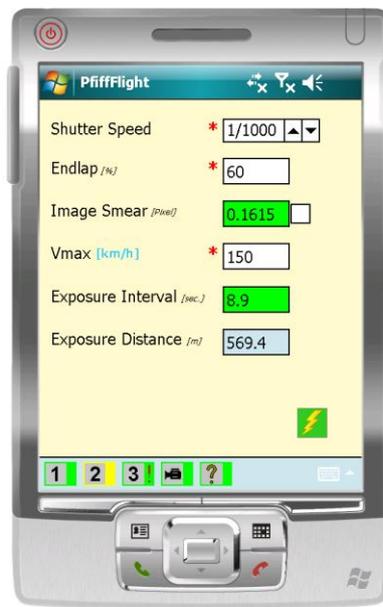


Abbildung 28: Eingabemaske II-
Projektparameter

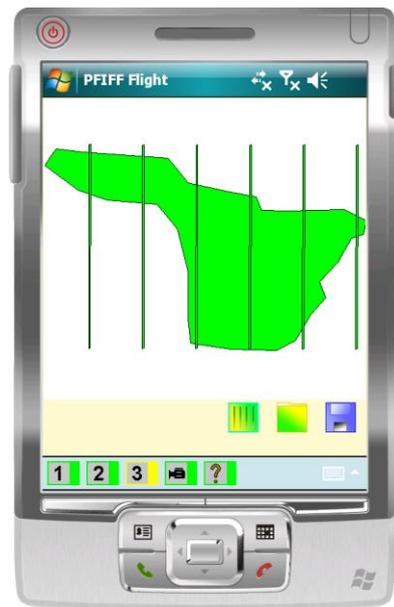


Abbildung 29: Fluggebiet mit
berechneten
Flugstreifen

Nach der Bestätigung der Eingaben in der Eingabemaske I wird die Eingabemaske II geöffnet (Abbildung 28), in der weitere Bedingungen für den Bildflug definiert werden müssen. Da UAVs nicht über eine Forward Motion Compensation (FMC) verfügen, muss in Abhängigkeit der gewünschten Fluggeschwindigkeit über Grund und der maximal möglichen Belichtungszeit ein Kompromiss gefunden werden. Zudem ist in der Regel die Bildfolgezeit limitiert, d.h. hier ist ein Kompromiss zwischen der Längsüberlappung und der Fluggeschwindigkeit zu finden.

Zur Erleichterung der Bewertung der Ergebnisse durch den Nutzer werden die Resultate nach dem Ampelprinzip eingefärbt. D.h. die Hintergrundfarbe der Boxen der Bewegungsunschärfe (engl. Image Smear) und der Bildfolgezeit (engl. Exposure Intervall) zeigt dem Nutzer sofort ob er sich ‚im grünen Bereich‘ bewegt, oder ob die gewählten Bildflugparameter mit der genutzten Kamera nicht erreichbar sind.

Bei der Planungskomponente, dem dritten Bildschirm, müssen einmalig das Ellipsoid und die Projektion des importierten Fluggebiets eingestellt werden. Erst danach ist es möglich das Fluggebiet zu laden und die Flugstreifen automatisch berechnen zu lassen (Abbildung 29).

2.3.2. PFIFF Pocket

PFIFF Pocket, das Flight-Managementsystem, unterscheidet sich von anderen Produkten einerseits durch seine Lauffähigkeit auf einem PDA und, weit wichtiger, durch einen neuen Ansatz: Aufnahmen werden nicht an vordefinierten Stellen ausgelöst, sondern dann, wenn nach einer vorgegebenen Längsüberlappung, unter Berücksichtigung von aktueller Geschwindigkeit und Flughöhe, ein Bild aufgenommen werden muss. Damit ist eine photogrammetrische Verarbeitung der Aufnahmen bzw. eine Stereoauswertbarkeit der Bilder immer gewährleistet. Beim Single-Betrieb von *PFIFF Pocket* erfolgt die Auslösung über ein 5V TTL-Signal. Mit dieser Auslöseart kann prinzipiell jede beliebige Kamera elektronisch angesteuert werden.

Vor dem eigentlichen Programmstart ist es erforderlich, verschiedene Optionen für den GPS-Empfang, den Raumbezug und die Parameter des Bildfluges einzustellen.

Die GPS-Position des Flugzeuges wird durch ein Rechteck visualisiert, das sich immer in der Mitte des Displays befindet. Mithilfe des GPS lassen sich die Geschwindigkeit und der Kurs des Flugzeuges sowie die Bildfolgezeit zwischen den Kameraauslösungen berechnen. Befindet sich das Flugzeug innerhalb des Befliegungsgebietes, so wird die automatische Auslösung aktiviert. Die Berechnung der Bildfolgezeit ist abhängig von der Geschwindigkeit und der Höhe des Flugzeuges über Grund, der gewünschten Längsüberlappung sowie von den Parametern der Kamera (Brennweite, Größe des Sensors). Für die Bestimmung der Höhe über Grund kann entweder eine mittlere Höhe des Fluggebiets angegeben oder die aktuelle Geländehöhe aus einem DGM (Digitales Gelände Modell) abgefragt werden. Ist das Flugzeug außerhalb des DGMs, so wird die mittlere Geländehöhe verwendet.



Abbildung 30: PFIFF Pocket während des Bildfluges

Jede erfolgreiche Auslösung der Kamera wird an das Programm zurück gemeldet. Daraufhin werden die dazugehörigen Metadaten in einer Textdatei protokolliert (Abbildung 30).

Alle Voreinstellungen, die vor dem Programmstart vorgenommen wurden, werden in einer Textdatei gespeichert. Für jede Auslösung kommt eine weitere Zeile hinzu. Diese enthält einen Zeitstempel, Koordinaten, Bildzähler, Bildfolgezeit, Qualitätsangaben des GPS und die DGM-Höhe während der Aufnahme.

2.3.3. Validierung und Performance von PFIFF Pocket

Das korrekte Timing ist während des Bildfluges das A und O. Ein UAV legt schließlich in einer Sekunde zwischen 10 und 30 m zurück. Zudem müssen die vom PDA berechneten Auslöseimpulse auch exakt zu den vordefinierten Intervallen an die Kamera weiter gegeben werden. Da ein windowsbasierter PDA keine echtzeitfähige Plattform ist, wurde die Performance der Software mehreren Tests im Labor, im Auto und letztendlich auch im Flugzeug unterzogen. Denn es gibt nicht bestimmbare äußere Faktoren, die das Equipment beeinflussen können. Abbildung 31 zeigt die Differenz Δt zwischen dem berechneten Aufnahmeintervall und der tatsächlich registrierten Auslösung von 68 Aufnahmen während eines Bildflugs am 15.5.2008.

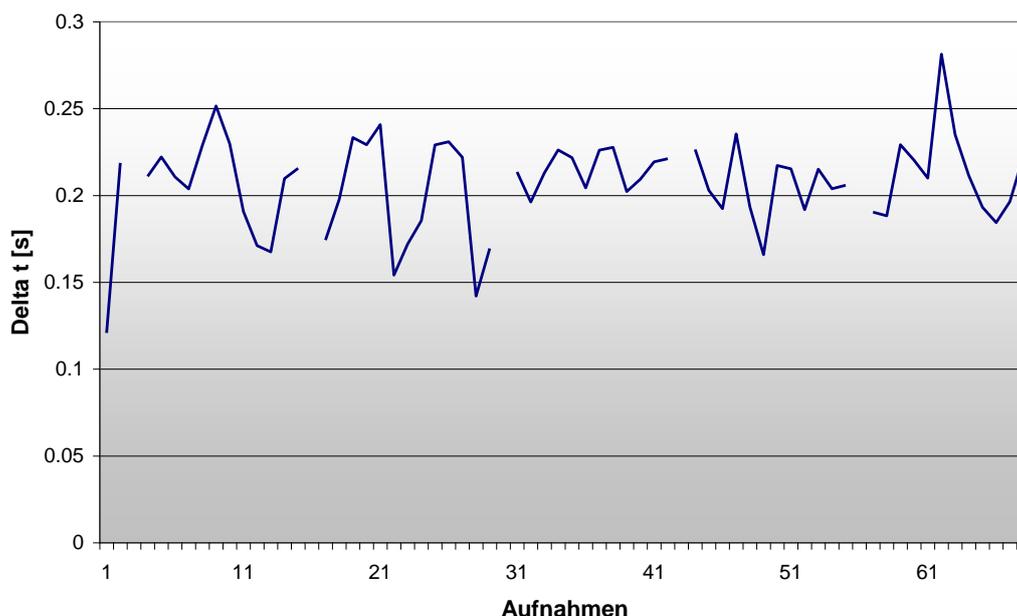


Abbildung 31: Zeitdifferenz (Δt) zwischen berechneter und tatsächlicher Bildfolgezeit

Ein in Abbildung 31 enthaltener systematischer Fehler von 200 ms war auf die Programmierung der Software zurückzuführen und wurde mittlerweile behoben. Damit kann gezeigt werden, dass die Software für den PDA sehr performant programmiert ist und eine vernachlässigbare zeitliche Verzögerung zur tatsächlichen Kameraauslösung zu beobachten ist.

2.4. Bildflugplanung – Wetter, *der* limitierende Faktor

Im Gegensatz zu Bildflügen über Land, bei denen ein wolkenloser Himmel die wichtigste meteorologische Voraussetzung ist, sind bei Bildflügen zur Erkennung von Schweinswalen weitere Rahmenbedingungen von ausschlaggebender Bedeutung:

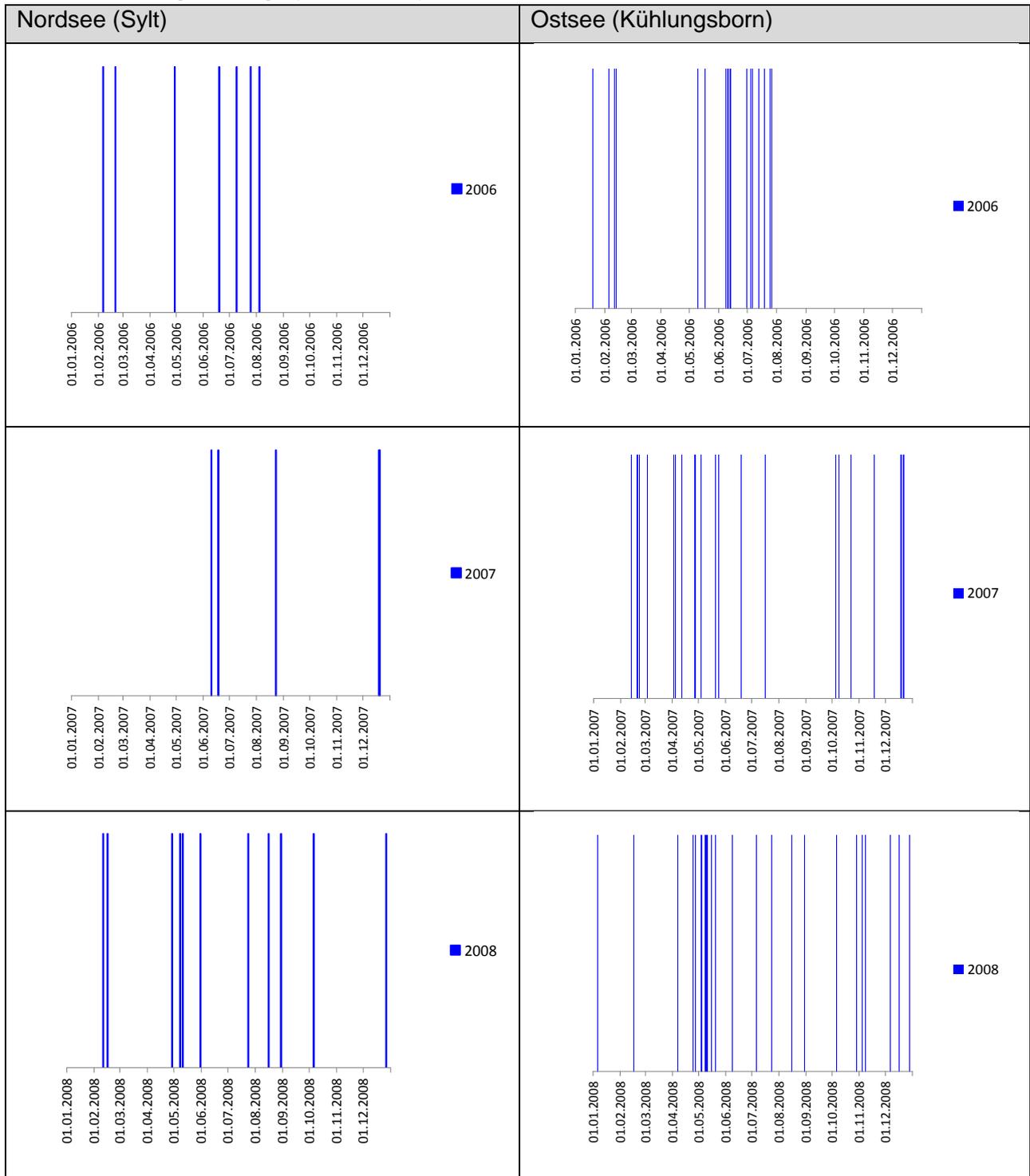
1. Wind ≤ 2 Bft.
2. Wolken (entweder keine, bzw. wenige, oder geschlossene Wolkendecke)
3. Kein Niederschlag

Eine empirische Analyse von Wetterdaten der Nord- und Ostsee gibt nachfolgend Auskunft, an wie vielen Tagen in der Ost- und Nordsee theoretisch Bildflüge durchgeführt werden können. Als Datengrundlage wurden Wetterdaten des Global Forecast System (GFS) der NOAA⁴ verwendet, die kostenfrei als Archivdaten⁵ zur Verfügung stehen. Dabei ist anzumerken, dass die Daten nicht auf tatsächlichen Messungen basieren, sondern nur auf Modellvorhersagen. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass das Modell mit einer Maschenweite von 50 km recht grob ist und dadurch kleinräumige Besonderheiten nicht berücksichtigt. Da auf der offenen See der Wind in der Regel noch stärker ist, geben an der Küste liegende Stationen ein eher optimistisches Bild möglicher Bildflugtage wieder. Die Daten zeigen deutlich, dass insbesondere in der Nordsee mögliche Bildflugtage rar sind und zwischen den einzelnen Jahren sehr große Unterschiede feststellbar sind (Tabelle 7).

⁴ <http://www.nco.ncep.noaa.gov/pmb/products/gfs/>

⁵ <http://windguru.com/de/historie.php?model=gfs>

Tabelle 7: Bildflugwettertage (2006 – 2008) in Nord- und Ostsee



2.4.1. Hot Spot

Bei Objekten mit einer glatten Oberfläche, wie z.B. Eis- oder Wasserflächen ist häufig ein vorwärts gerichtetes Maximum der Reflexion im Sinne einer spiegelnden Reflexion zu beobachten. Falls der Sensor die Sonnenspur kreuzt und der Einfallswinkel gleich dem Ausfallswinkel ist, wird der Abbildungsort überbelichtet. Es bildet sich ein Hot Spot (Abbildung 32). In diesem überstrahlten Bereich ist dann das Flugzeug zu sehen. Einen großen Einfluss

auf den Hot Spot Effekt haben Sonnenstand und Öffnungswinkel der Kamera. Während bei einem niedrigen Sonnenstand und einem schmalen Öffnungswinkel der Hot Spot Effekt nicht auftreten kann, so ist er bei einem hohen Sonnenstand und einem großen Öffnungswinkel der Kamera immer gegenwärtig. Die Überstrahlung macht sich insbesondere über Wasserflächen bemerkbar, aber auch bei anderen Oberflächen ist der Effekt vorhanden, wenn auch für den Betrachter nicht vorrangig erkennbar.

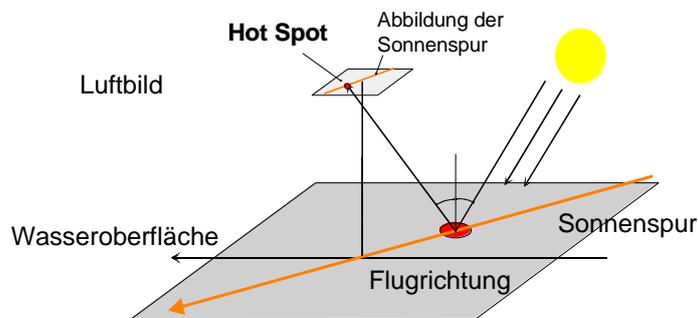


Abbildung 32: Effekt des Hot Spots - Spiegelnde Reflexion

Die Hot Spot Reflexionen haben mehrere Konsequenzen für die Bildflugplanung:

- Die Flugzeiten sollten vorzugsweise in frühen Morgen- bzw. in den Abendstunden gewählt werden, um die Abbildung der Sonnenspur zu vermeiden. Zusätzlicher Vorteil: morgens und abends ist in der Regel mit weniger Wind zu rechnen.
- Ein bewölkter Himmel ist sehr gut geeignet, da das diffuse Himmelslicht keine Spiegelungen verursacht. Allerdings bedeutet ein bedeckter Himmel in den Wintermonaten auch, dass die Lichtmenge nicht mehr ausreicht und nur unterbelichtete, bzw. verschmierte Bilder aufgenommen werden können.
- Eine Dualkamerakonfiguration und die damit verbundenen Schrägaufnahmen sind eher für Hot Spots anfällig. Hier muss bei ungünstiger Flugroute auf eine Kamera verzichtet werden.

2.5. Bildflugorganisation

Bildflüge sind generell im deutschen und dänischen Luftraum ohne große Voranmeldungen durchführbar. Dies ermöglicht eine flexible und spontane Flugplanung. Ausnahmen sind militärisch bedingte Flugverbotszonen, die insbesondere vor der Küste Schleswig-Holsteins liegen. Bildflüge in diesen Gebieten bedürfen einer längeren Vorplanung, bzw. eines bestätigten Flugplans der Deutschen Flugsicherung (DFS).

3. Ergebnisse

3.1. Durchgeführte Bildflüge

Im Rahmen des Projektes wurden insgesamt 5 Bildflüge mit dem System PFIFF (Grenzdörffer, 2006) an Bord einer einmotorigen Cessna 172 vom Flughafen Barth aus durchgeführt, deren Verlauf und Ergebnisse im Folgenden näher erläutert werden. Tabelle 8 gibt einen Überblick über die Bildflüge.

Tabelle 8: Durchgeführte Bildflüge

Datum	Flugregion	Flugdauer (h)
15.05.2008	Nördlich Darß	1
21.05. 2008	Fehmarn	3,5
11.09. 2008	Dänemark	6
18.09. 2008	Dänemark	6
10.12. 2008	westliche Ostsee	1

Die mittlere Flughöhe bei den Befliegungen lag zwischen 200 und 300 m. Die geringe Flughöhe war vor allem der notwendigen visuellen Walbeobachtung geschuldet. Als Kamera für die Bildflüge wurde eine Rollei AIC 45 mit 39 Megapixel und einem 50 mm Objektiv eingesetzt. Daraus ergibt sich bei der genannten Flughöhe eine Bodenauflösung von 2,5-3,5 cm/Pixel. Die Abdeckung pro Bild beträgt ca. 140-210 m x 190-280 m. Die minimale Bildfolgezeit der Kamera unter Bildflugbedingungen beträgt ca. 4 s. Das hat bei der geringen Flughöhe zur Konsequenz, dass die Längsüberlappung nur ca. 10% beträgt. Insgesamt wurden mehr als 1.000 Bilder aufgenommen.



Abbildung 33: Flugrouten und Bildmittenübersicht der Bildflüge vom 21.05.2008 und 11.09.2008, Quelle: topographischer Hintergrund Google Earth

Bildflug 15.05.2008 (Nördlich Darß)

Der Bildflug wurde zur ersten Datenaufnahme mit dem neu konfigurierten Kamerasystem PFIFF genutzt. Hierbei wurde überprüft, inwieweit Anpassungen am bestehenden System durch die Erhöhung der Auflösung des Mittelformatsensors auf 39 Megapixel notwendig waren. Insbesondere die möglichen Bildfolgezeiten und eine damit zusammenhängende Programmierung des zur Bildflugsteuerung verwendeten PDAs wurden untersucht. Ziel dieses ersten Fluges war primär nicht die Erfassung mariner Säugetiere und Seevögel, sondern die Bereitstellung von Fotografien der Wasseroberfläche zur Festlegung der in späteren Bildflügen verwendeten Kameraparameter und Fluggeschwindigkeiten.

Bildflug 21.05.2008 (Fehmarn)

Während des zweiten Bildfluges nördlich der Insel Fehmarn, mit den höchsten in der Deutschen Ostsee bestätigten Schweinswaldichten (Gilles et al., 2007; Scheidat et al., 2008; Verfuß et al., 2008), wurden die ersten Sichtungen gemacht. Der nördliche Bereich Fehmarns wurde an diesem Tag zweimal in engen Transektlinien überflogen, wobei drei Sichtungen von Schweinswalen (2x ein Tier, 1x zwei Tiere) gemacht wurden. Während des ersten Überfluges waren die Sichtbedingungen eingeschränkt (Beaufort 3). Alle Sichtungen erfolgten während des zweiten Überfluges. Es wurde getestet, welche Strategie erfolgreich zur fotografischen Erfassung einsetzbar ist. Nach der Schweinswalsichtung versuchte der Observer zuerst die Tiere im Fokus zu behalten, der Pilot drehte dementsprechend die Maschine nach Vorgaben des Observers. Trotz wiederholten Versuchen in denen Schweinswale teilweise für 5-8 Minuten fokussiert blieben, gelang es dabei nicht die Maschine vor dem Überfliegen der Schweinswale horizontal auszurichten, so dass das senkrecht zum Flugzeugkörper ausgerichtete Fernerkundungssystem nicht in der Lage war die beobachteten Schweinswale zu erfassen.

Nach den Erfahrungen dieses Fluges wurde eine neue Strategie ausgearbeitet, die auf Grundlage der Hiby Circle-back Methode zum Ziel führen sollte.

Bildflug 11.09.2008 (Dänemark)

Der Bildflug fand unter guten bis moderaten Sichtbedingungen statt (Beaufort 1-3) und führte rund um die Insel Fünen in die Bereiche der Ostsee, für die hohe Schweinswaldichten aus der Literatur bekannt sind (Teilmann et al., 2008a; Verfuß et al., 2002a). Trotz günstiger Umweltbedingungen konnten nur vier Schweinswalsichtungen mit insgesamt sieben Tieren gemacht werden. Alle Sichtungen wurden in Bereichen nördlich Fünens und südlich von Lolland gemacht. Aufgrund der geänderten Observerstrategie, konnte der Beobachter gesichtete Schweinswale nicht weiter fokussieren. Das Circle-back Manöver wurde dann mit Hilfe eines digitalen Kartenplotters durchgeführt. Keines der Manöver führte zu einer Schweinswalerfassung mit dem PFIFF-System.

Während dieses Bildfluges wurden ebenfalls erste Tests zur Erfassung von Robben auf der Sandbank Rødsand südlich der dänischen Inseln Lolland und Falster gemacht. Um die Robben nicht unnötig zu stören und da in diesem Falle keine Notwendigkeit für eine gleichzeitige Zählung durch einen Observer bestand, wurde der Bildflug in ca. 1.200 Fuß Höhe durchgeführt. Der Flug wurde so geplant, dass sowohl während des Hinfluges, als auch während des Rückfluges eine ganzheitliche Erfassung der Sandbank durchgeführt wurde. Die maximale Breite Rødsands beträgt ca. 200 m so dass eine Erfassung mit nur einem Überflug realisiert werden kann.

Weiterhin wurden während des Fluges verschiedene Vogelschwärme erfasst.

Bildflug 18.09.2008 (Dänemark)

Der Bildflug vom 18.9.2008 führte erneut in die Gewässer Dänemarks. Die Flugroute entsprach im Wesentlichen der Flugroute der Woche zuvor. Die Wetterbedingungen waren insgesamt gut, auch wenn der Wind zeitweise auf drei Beaufort aufbruste.

Die Versuche zur Erfassung von Robben auf Sandbänken wurden wiederholt. In Bezug auf Schweinswale wurden insgesamt zwölf Sichtungen mit 15 Schweinswalen gemacht.

Bildflug 10.12.2008 (Ostsee)

Aufgrund der widrigen Witterungsbedingungen musste ein bereits im November geplanter Bildflug rund um Fehmarn und nach Dänemark immer weiter zum Jahresende hin verschoben werden. Die Wetterverhältnisse für den Bildflug am 10.12.2008 waren sehr durchwachsen, d.h. sowohl der Wind als auch die Höhe der Wolkendecke waren grenzwertig. Während die Sichtbedingungen bei Beaufort 2-3 noch für die visuelle Erfassung von Schweinswalen ausreichten, waren die Lichtverhältnisse im Dezember bei bewölktem Himmel ungenügend, um niedrige Belichtungszeiten für bewegungsscharfe und rauscharme Fotografien zu realisieren.

Leider musste aufgrund von nicht vorher angesagtem Hochnebel der Flug kurz vor Dänemark abgebrochen werden. Die innerhalb dieses kurzen Fluges gewonnenen Erkenntnisse reichten aber aus, um die Schwierigkeiten von Fernerkundungsflügen im Winter zu beleuchten. Bildflüge innerhalb dieser dunklen Jahresperiode haben, aufgrund der äußerst niedrigen Rückstrahlung der Wasseroberfläche, nur dann Sinn, wenn der Himmel wolkenlos und damit ein genügend hoher Lichteinfall auf dem Wasser gegeben ist.

3.2. Ergebnisse der Bildflüge

3.2.1. Schweinswale

Während der Bildflüge konnten insgesamt 18 Sichtungen mit 26 Individuen gemacht werden. Es wurden verschiedene Strategien zur Aufzeichnung von Luftbildern der gesichteten Individuen erprobt. Dabei erscheint ein Manöver entsprechend der Hiby Circle-back Methode als geeignet. Leider konnten auch mit dieser Methode keine qualitativ hochwertigen Schweinswalbilder hergestellt werden, da die Sichtbedingungen während einem Großteil der gemachten Beobachtungen mit Beaufort 2-3 relativ schlecht waren. Dadurch konnte der Observer die Schweinswale nicht kontinuierlich fokussieren und eine bereits gemachte Sichtung nicht verifizieren. Die für die Bildflüge genutzte Cessna 172 eignet sich sehr gut für die Nutzung als Fernerkundungsplattform, da sie sehr langsam fliegen kann und damit eine große Überlappung der Bilder ermöglicht. Um festzustellen, ob Schweinswale überhaupt auf Luftbildern aufgezeichnet werden können, wurde das Fjord & Bælt Center in Kerteminde, Dänemark überflogen. Im dort befindlichen Freilandbecken werden derzeit vier Schweinswale für Forschungs- und Bildungszwecke gehalten. Neben Harderwijk in den Niederlanden ist das Fjord & Bælt Center die einzige Einrichtung Mitteleuropas in der Schweinswale in Gefangenschaft leben.

Der Überflug fand unter guten Sichtbedingungen am 11.09.2008 statt. Auf dem entstandenen Luftbild können mindestens drei Schweinswale erkannt werden (Abbildung 34)



Abbildung 34: Schweinswale unter Wasser im Fjord & Bælt Center, Dänemark, mit zweifacher Ausschnittsvergrößerung, zweite mit Falschfarben zur deutlichen Darstellung der Tiere

Bei der Auswertung des Luftbildes sind deutlich zwei Schweinswale im rechten Beckenbereich und etwas undeutlicher ein dritter im linken Beckenbereich zu erkennen. Die Tiefe des Beckens beträgt 3 bis 5 m und ist abhängig vom Tideneinfluss (Verfuß et al., 2005), der in diesen Bereichen Dänemarks 1 m nicht überschreitet.

Die drei erfassten Schweinswale können auf dem Bild eindeutig identifiziert werden. Ein weiterer Schweinswal könnte innerhalb des in Abbildung 34 vergrößerten Teilbereiches ebenfalls erfasst sein, eine genaue Identifikation ist jedoch nicht möglich. Diese Ausgangsdatenlage von drei erkannten Individuen reicht nicht aus um eine Mustererkennung für Schweinswale zu testen.

Um generalisierte Aussagen über die Abbildung von Schweinswalen auf Luftbildern zu machen, sollten weitere Versuche unternommen werden. Um Kosten für die Datenerhebung zu sparen, können dafür die innerhalb von Erfassungsprojekten für Schweinswale durchgeführten Observerflüge genutzt werden. Dafür ist es notwendig die für Observierungsvorhaben zur Verfügung stehenden Flugzeuge mit einer mindestens 12 cm großen Bodenluke auszustatten. Standardbauteilkomponenten, wie von der Flugaufsicht gefordert, können verwendet werden. Ein Eigenumbau bedarf jedoch einer aufwendigen Genehmigung und Abnahme.

3.2.2. Robben

Während der Flugaufnahmen über Rødsand konnten mehrere qualitativ hochwertige Luftbilder (2,5 cm Bodenauflösung) gemacht werden. Die Anzahl der dort liegenden Seehunde

kann eindeutig bestimmt werden. Die Bodenauflösung der Luftbilder (s. Abbildung 35) könnte für diese Aufgabe problemlos reduziert werden. Wahrscheinlich ist eine sichere Bestimmung der Anzahl auch noch mit einer vierfach geringeren Bodenauflösung von 5 cm gegeben. Eventuell sind durch hochklassige Luftbilder auch weitere Informationen zu gewinnen. So kann auf Luftbildern mit analogen Standardspiegelreflexkameras z.B. Geschlecht und Jungtieranteil bei Walrossen bestimmt werden (Koski, pers. Mitteilung⁶).

Während der Überfliegungen an zwei Tagen (11.09.2008 vor- und nachmittags, 18.09.2008 nachmittags) nutzten unterschiedlich viele Robben die Sandbank (Abbildung 36 bis Abbildung 39). Innerhalb dieses relativ kurzen Zeitraumes wurden zwischen 19 und 145 liegende Robben gezählt. Die schwimmenden Tiere sind ebenfalls deutlich auf den Luftbildern identifizierbar, werden aber in der Auswertung nicht berücksichtigt, da für eine Quantifizierung dann eine flächendeckende Aufnahme oder ein dediziertes Studiendesign notwendig wäre. Reguläre Beobachtungen der Robben auf Rødsand werden seit 1990 durchgeführt (Teilmann et al., 2005). Zählungen ergaben zum Beispiel zwischen Mai 2002 und Oktober 2004 zwischen 0 bis ca. 170 Seehunde und 0 – 20 Kegelrobber, wobei die Anzahl der Individuen gezählt und später per manuell ausgelösten Luftbildern (Nikon, Film) verifiziert wird (Teilmann et al., 2005). Die dazu genutzte Maschine und Flughöhe sind mit der vorliegenden Studie vergleichbar, wobei durch die dänischen Flugzählungen alle potentiellen Liegeplätze für Seehunde im südöstlichen dänischen Gebiet abgedeckt werden.



Abbildung 35: Luftbild der Sandbank Rødsand vom 11.09.2008 mit 19 Robben, Bodenauflösung ca. 2,5 cm, mit zweifacher Ausschnittsvergrößerung

⁶ William R. Koski, LGL Ltd. environmental research associates, PO Box 280, 22 Fisher Street, King City, Ontario, L7B 1A6



Abbildung 36: Luftbild Rødsand, 11.09.2008, 15:30 Uhr, 19 Robben am Strand, eine schwimmend

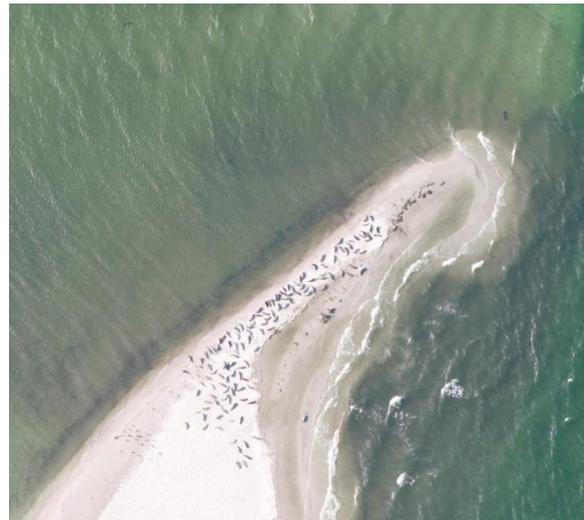


Abbildung 37: Luftbild Rødsand, 11.09.2008, 15:30 Uhr, 145 Robben am Strand und drei schwimmend

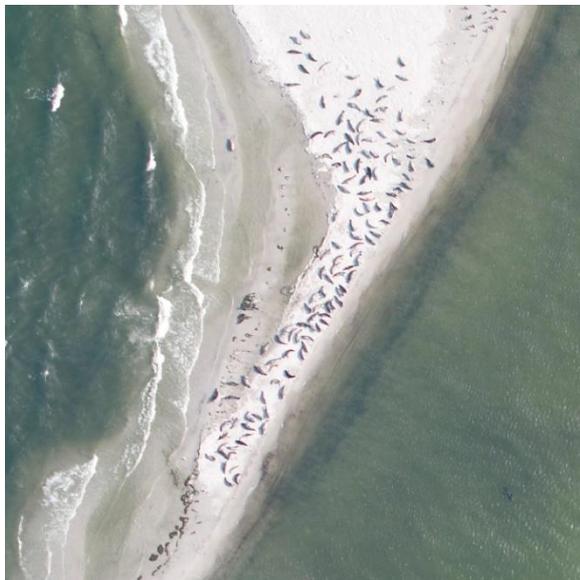


Abbildung 38: Luftbild Rødsand, 11.09.2008, 15:10 Uhr, 138 Robben liegend, eine schwimmend



Abbildung 39: Luftbild Rødsand, 18.09.2008, 15:00 Uhr, 106 Robben liegend, vier schwimmend

Potentiell werden Zählungen von Seehunden durch unterschiedliche Belegung der Liegeplätze im Tagesverlauf, wie in Abbildung 36 bis Abbildung 38 erkennbar und durch eine eventuelle Bewegung der Seehunde zwischen den Liegeplätzen beeinflusst. Deshalb sollten Surveys zur gleichen Tageszeit und unter vergleichbaren Wetterbedingungen innerhalb eines möglichst kurzen Zeitrahmens durchgeführt werden.

Abbildung 37 und Abbildung 38 demonstrieren, dass die Robben durch Überfliegungen nur geringfügig gestört werden. Auf beiden Bildern können ähnlich viele Tiere gezählt werden.

3.2.3. Seevögel

Die Erfassung von Seevögeln spielte innerhalb der Machbarkeitsstudie nur eine untergeordnete Rolle. Trotzdem konnten gute Luftbilder von auf Sandbänken sitzenden Vögeln, Möwen im Flug und auf dem Wasser sitzenden Schwänen gemacht werden (Kapitel 3.3.2). Eine

Auswertung der Luftbilder erfolgte hier in erster Linie um Detektionsalgorithmen zu finden. Ausgewählt wurden dazu Luftbilder von leichter identifizierbaren Arten.

Als Beispiel sei hier außerdem ein Bild von Kormoranen (*Phalacrocorax carbo*) und Silbermöwen (*Larus argentatus*) gezeigt (Abbildung 40). Eine Artunterscheidung kann auf diesem Bild relativ einfach vorgenommen werden, da beide Arten sich durch die Farbgebung deutlich voneinander absetzen und häufig im Untersuchungsgebiet vorkommen. Sollen Arten erkannt werden, die schwer voneinander unterscheidbar sind, müssen höhere Anforderungen an die Bildauflösung gestellt werden. Generell ist eine Bilderfassung für fliegende Vögel einfacher zu realisieren, als für sitzende, da offensichtliche Erkennungsmerkmale im Flug einfacher kenntlich sind. Für einige schwer unterscheidbare Arten kann eine Bilderfassung ebenfalls durchgeführt werden, unter der Bedingung, dass eine Art wesentlich häufiger vorkommt als die andere(n) und nur die häufiger vorkommende quantifiziert werden soll. Dann kann der Fehler von Falschklassifizierungen in Relation zur Gesamtabundanz der Art vernachlässigt werden (Petersen et al., 2008).

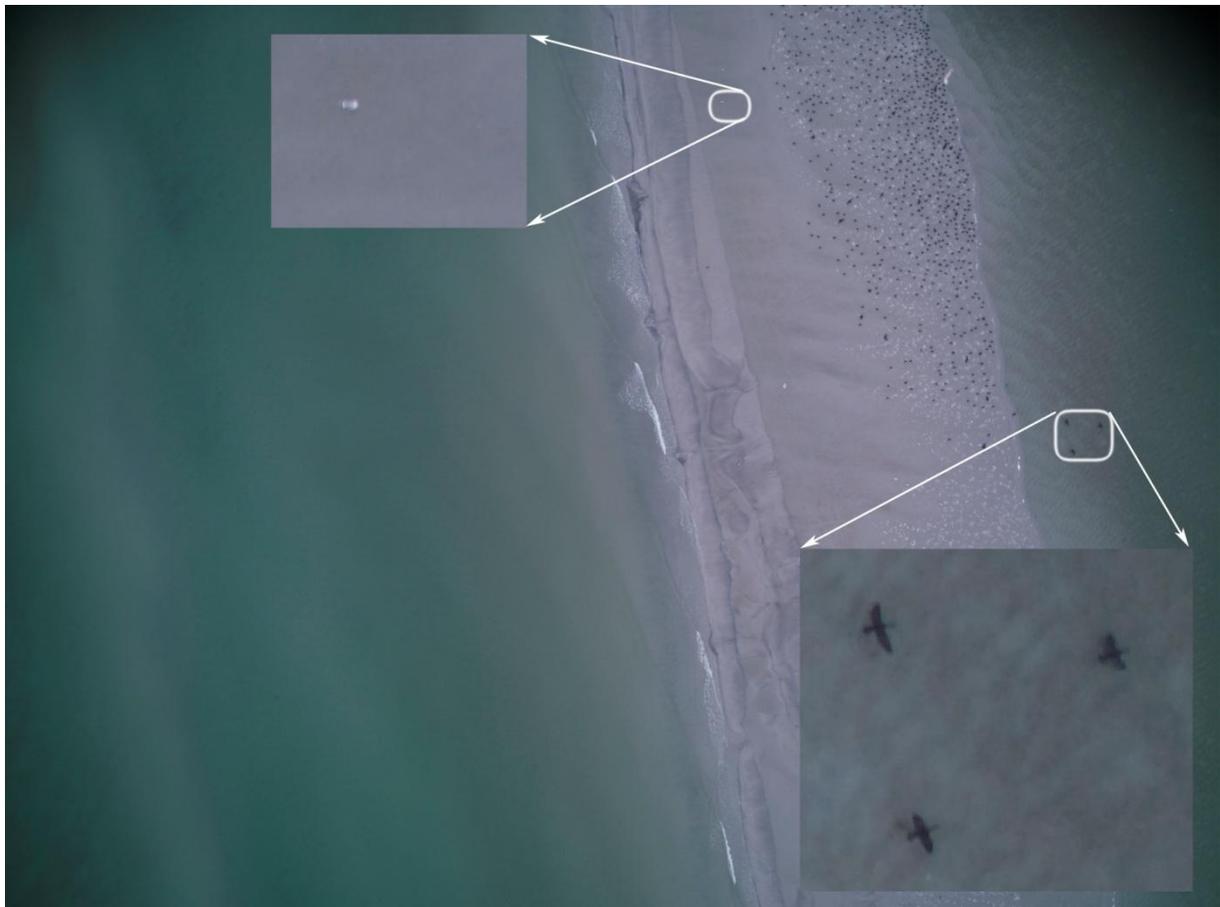


Abbildung 40: Kormorane und Silbermöwen auf einer Sandbank mit zwei Ausschnittsvergrößerungen

3.2.4. Fischerei

Die Feststellung anthropogener Beeinflussungen und die Quantifizierung ihrer Auswirkungen wird ein wesentlicher Aufgabenbereich für UAVs über dem Meer werden. Als Beispiel sei hier nur der Fischereiaufwand genannt.



Abbildung 41: Reuse südlich Lollands

Fischfang wird zwar ganzjährig betrieben, der Aufwand mit verschiedenen Netztypen zu verschiedenen Jahreszeiten variiert jedoch stark. Auf den innerhalb von Remplane erfassten Bildern lassen sich Stellnetze und Fischfallen (Abbildung 41) eindeutig feststellen. Eine Quantifizierung kann über Linientranssektmethoden vorgenommen werden.

3.3. Entwicklung von Strategien zur automatischen Datenauswertung

Die Datenauswertung erfolgt in mehreren Schritten. Im ersten Vorverarbeitungsschritt werden mit der Software Capture One 3.7.8 die 16 Bit Rohdaten in optimierte 8 Bit Bilder überführt. Dabei können atmosphärische Einflüsse verringert werden, die z.B. einen Blaustich bei Befliegungen in großen Höhen verursachen. Weiterhin kann die Bildschärfe optimiert und eine Reduzierung der Vignettierung und des Farbrauschens erreicht werden. Letztes ist insbesondere für Aufnahmen mit der Canon Powershot G9 von großer Bedeutung, wie in Kapitel 2.2 diskutiert wurde.

Die Mustererkennung in einer starren Welt, wie sie sich in der Industrieproduktion zeigt, ist für leistungsfähige Softwareprodukte auf entsprechend gut ausgerüsteter Hardware heute schon sehr weit fortgeschritten und vielfach im operativen Einsatz. Objekte werden u.a. erkannt, gezählt, auf Fehlerfreiheit kontrolliert, vermessen und ihre Lage im dreidimensionalen Raum bestimmt (Azad et al., 2007). Gleichwohl schwieriger ist die Mustererkennung in einer belebten Welt, in der sich nicht nur Objekte bewegen, sondern in der sich die Objekte auch in sich selbst bewegen und sogar das Medium in dem die Objekte leben, bewegt wird. Das alles trifft auf die Meere und ihre Bewohner zu. Jeder, der schon einmal über das Meer geflogen ist und nach Tieren (seien es Wale, Robben oder Vögel) gesucht hat, wird wissen, wie schwierig es ist, ein tatsächlich gesichtetes ‚Objekt‘ als Individuum einer bestimmten Art zu identifizieren. Nicht selten werden bei bewegter See in Schaumkronen und Wellenkämmen die unterschiedlichsten Formen erkannt. Auch das Lichtspiel der bewegten Wasseroberfläche kann durchaus ‚Objekte‘ hervorbringen, die dort gar nicht vorhanden sind. Ebenso gilt für die Mustererkennung mit hochentwickelter Software, dass es in einer bewegten Welt viel schwieriger ist Formen zu detektieren als in einer starren.

Daher ist unser Anspruch bisher noch nicht, dass die eingesetzte Software 100%ig sicher alle zu suchenden Lebensformen erkennt. Wahrscheinlich ist für einige Zeit ein semiautomatisches Verfahren anzuwenden, welches in möglichst kurzer Zeit eine große Anzahl an Luft-

bildern untersucht und listenartig die Bilder benennt, auf denen eines der gesuchten Objekte vorhanden sein könnte. Dies erleichtert die visuelle Auswertung für den Bearbeiter um ein Vielfaches. So muss nicht jedes der Bilder einzeln gesichtet werden, sondern nur die, die durch das Mustererkennungsverfahren als ‚Bild mit gesuchtem Inhalt‘ klassifiziert wurden. Dazu soll dieses Mustererkennungsverfahren so gut wie kein Individuum nicht erkennen, darf andererseits aber durchaus auch z.B. in Schaumkronen oder der bewegten Wasseroberfläche Individuen „sehen“, die es dort zu diesem Zeitpunkt gar nicht gibt. Natürlich sollte diese Quote so gering wie möglich gehalten werden, denn es geht ja letztendlich darum nur die wirklich „verdächtigen“ Luftbilder näher zu untersuchen. Werden zu viele Phantome in den Bildern detektiert, erleichtert das die Auswertung nicht. Ein Beispiel für eine solche Phantomdetektion wird nachfolgend während der Entwicklung des Modells für Schwäne kurz beschrieben.

3.3.1. HALCON 8.0.2

Zur Auswertung der Luftbilder wurde das Softwareprodukt HALCON der Firma MVTec Software GmbH genutzt. Es handelt sich dabei um ein Produkt für die industrielle Bildverarbeitung (Maschine Vision, Steger et al., 2008). Unter anderem beinhaltet es eine große Anzahl Bildbearbeitungsalgorithmen, die für unterschiedliche Aufgaben eingesetzt werden können. Im Gegensatz zur Erkennung starrer Objekte ist das Detektieren von Lebewesen diffiziler, da diese ihre optische Erscheinung durch Bewegungen variieren. Daher ist es notwendig Algorithmen einzusetzen, die diese Formvariationen berücksichtigen können. Besonders der formbasierte Vergleich (Matching) ist im Zusammenhang mit dem Auffinden von unterschiedlichen Objekten (bzw. Spezies) in Abhängigkeit von ihren Formvariationen interessant. So können innerhalb von ausgewählten Luftbildern (Referenzbilder) Trainingsgebiete definiert werden, die dann zur Detektion von Individuen einer Spezies in den zu durchsuchenden Luftbildern zum Einsatz kommen. Dabei werden dann Ähnlichkeitsvergleiche durchgeführt, die weitgehend unabhängig von festen Größen sind, Formvarianten berücksichtigen und (wie auch bei starren Gegenständen) die horizontale Orientierung der Objekte bzw. Individuen erkennen können.

Durch die Vielzahl von bereitgestellten Algorithmen zur Bildvor- und -nachbereitung ist es auch möglich die zu untersuchenden Luftbilder optimal für einen Suchlauf vorzubereiten.

Des Weiteren ist in HALCON eine Mehrkerntechnologie implementiert, so dass die Bildverarbeitung auf Dual- oder Multiprozessormaschinen mit einer höheren Geschwindigkeit durchgeführt werden kann. Dies ist besonders bei der Untersuchung einer potentiell großen Anzahl an Bildern eines Beobachtungsfluges von Vorteil. Im Gegensatz zu bemannten Flügen bei denen erst die Beobachtung eines Individuums den Start einer Bildsequenz initiiert und diese dann auch wieder beendet wird, werden mit einem UAV-gestütztem Aufnahmesystem permanent Luftbilder aufgenommen.

Im Unterschied zu anderen Bildverarbeitungsprogrammen hat HALCON keine Funktionen um Bilder direkt bearbeiten zu können. Der Anwender wählt aus den möglichen Funktionen die benötigten aus, übergibt sie an einen Operator und kann dort notwendige Parameterwerte der Operatoren bzw. Funktionen einstellen oder Vorgabewerte ändern. Anschließend wird die Funktion in ein ausführbares Programm integriert. Dabei erfolgt eine automatische Syntaxkontrolle und die inhaltliche Überprüfung auf Fehler, soweit sie systematischer Natur sind. Ferner werden sinnvolle Weiterverarbeitungsfunktionen und Alternativen angeboten. Ist dieser Prozess für die komplette Bildauswertung abgeschlossen, kann das Programm gestartet werden. Um auf ein komplettes Verzeichnis mit den zu untersuchenden Luftbildern interaktiv zugreifen zu können, ist es erforderlich in den Quellcode weiter einzugreifen und

entsprechende Anpassungen vorzunehmen. Daher sollte der Anwender grundlegende Programmierkenntnisse besitzen. Ist eine Bildbearbeitungsroutine erstellt worden, lässt sich diese als Programm in verschiedene Sprachen exportieren und so in eine Anwendung integrieren, die dann die Umgebung für die Bildauswertung darstellt. Über diese Umgebung ist es eingeschränkt möglich während des Bearbeitungsprozesses interaktiv Parameter einzugeben oder zu ändern.

3.3.2. Mustererkennung

Den prinzipiellen Arbeitsablauf einer Mustererkennung zeigt Abbildung 42. Als Beispiel wird im Folgenden schrittweise ein Modell zur Detektion von Schwänen entwickelt, um die erforderliche Vorgehensweise zu verdeutlichen.

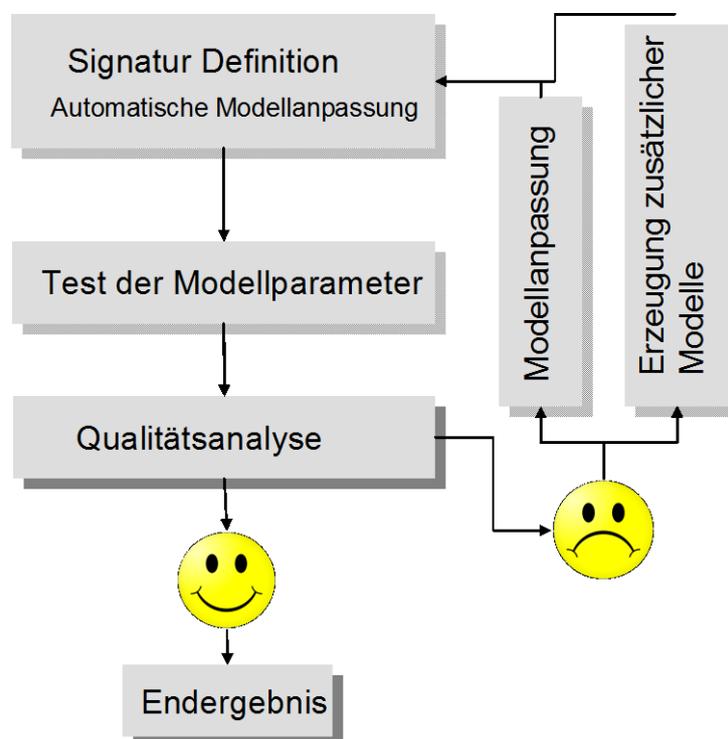


Abbildung 42: Generelles Schema zur Mustererkennung mariner Säugetiere (Robben) und Vögel (Möwen, Schwäne)

Abbildung 43 zeigt ein Luftbild und einen daraus vergrößerten Ausschnitt von der Befliegung am 18.09.2008. Es sind sechs Schwäne in dem Luftbild zu erkennen.



Abbildung 43: Luftbild 1 vom 18.09.2008 und eine Ausschnittsvergrößerung mit den zu detektierenden Schwänen

Abbildung 44 beinhaltet die Definition eines Modells, welches für die automatisierte Suche von Schwänen in verschiedenen Bildern herangezogen werden soll. Bei der Erstellung des Modells wird ein Standardparametersatz für das Modell aufgrund der Farbwerte des gesamten Bildes berechnet und dem Modell hinzugefügt (Abbildung 45).



Abbildung 44: Definition eines Modells für die automatische Detektion von Schwänen

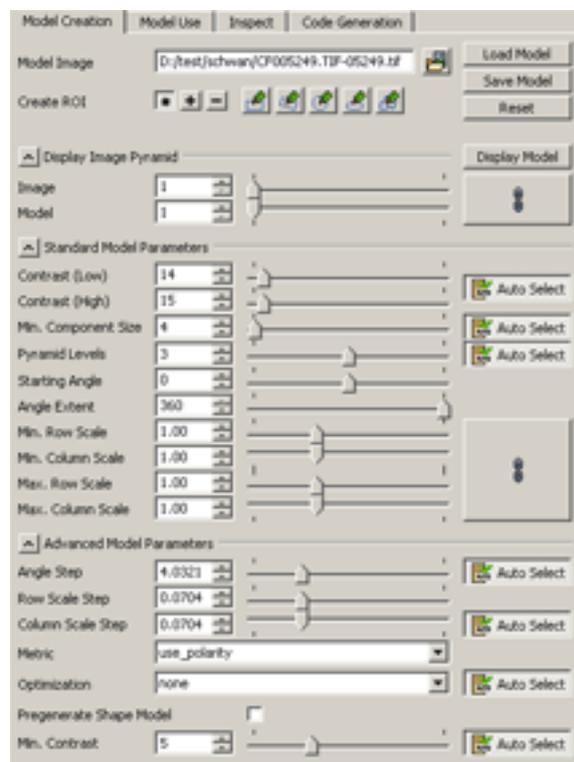


Abbildung 45: Standardparametersatz, berechnet aufgrund der räumlichen Definition des Modellobjektes



Abbildung 46: Luftbild 1 und eine Ausschnittsvergrößerung mit detektierten Schwänen

Mit diesem Standardparametersatz lassen sich nun erste Testbilder bearbeiten und ermöglichen dem Anwender eine Kontrolle der Ergebnisse. In dem Bild in dem auch das Modell erstellt wurde ist zu erkennen, dass alle sechs Schwäne richtig detektiert wurden (Abbildung 46). Ebenso zeigt die Abbildung deutlich die Unabhängigkeit der Objektausrichtung für das Modell. Generell gilt für eine maximal mögliche Drehung von Objekten im Raum ein ganzzahliger Grenzwert der interaktiv festgelegt werden kann und sich wie folgt beschreiben lässt:

$$\frac{360^\circ}{\text{Anzahl der Symmetrieachsen}} - 1^\circ \quad (3.1.)$$

Dadurch wird verhindert, dass bei den Suchläufen durch die Drehung des Modells ein Objekt mehrfach detektiert wird. Abbildung 47 zeigt ein weiteres Luftbild vom 18.09.2008 mit einem Schwan. Dieses Bild wurde zur Definition des Modells nicht herangezogen, zu Testzwecken aber mit dem erstellten Modell analysiert. Die Ausschnittsvergrößerung zeigt, dass das Modell auch diesen Schwan korrekt detektiert hat.



Abbildung 47: Luftbild 2 und eine Ausschnittsvergrößerung mit detektiertem Schwan



Abbildung 48: Luftbild 5 mit falsch detektiertem Objekt

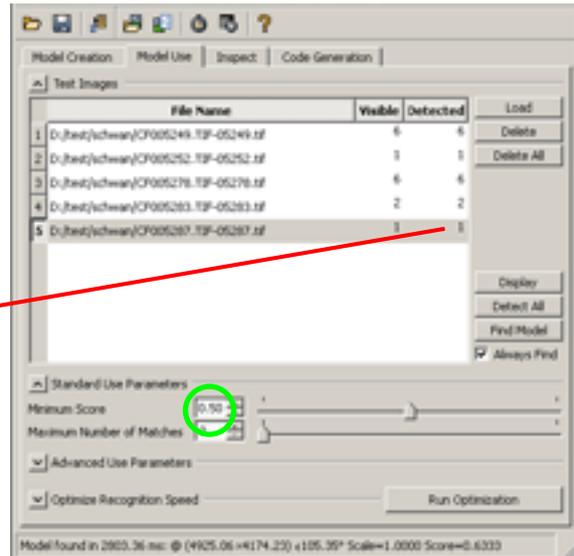


Abbildung 49: Erstes Testergebnis für alle Luftbilder

In einem weiteren Schritt wurden zusätzliche Luftbilder in den Testlauf einbezogen, auf denen sich keine Schwäne, aber andere Objekte wie z.B. Schaumkronen und Wellenkämme befinden. In dieser Testphase kommt es nun darauf an Fehlklassifikationen zu erkennen und durch die Veränderung der Modellparameter zu minimieren bzw. auszuschließen. Dazu bietet HALCON eine ganze Reihe von Parametern an, die innerhalb des Modells variiert werden können.

Zur Demonstration wurden hier die Parameter *Übereinstimmung mit dem Modell* und *Überlappung* herangezogen, die im Folgenden näher betrachtet werden sollen.

Es wird zuerst das Bild Nr. 5 aus dem Testlauf betrachtet. Hier wurde 1 Objekt detektiert. Abbildung 48 zeigt dieses Objekt im Luftbild und Abbildung 49 zeigt das Ergebnis für die Einzelbilder im Testlauf. Im Bild Nr. 5 ist deutlich erkennbar, dass es sich nicht um einen Schwanz, sondern um eine Schaumkrone handelt.

Diese Fehlklassifizierung liegt an der Parametereinstellung *Übereinstimmung*, die standardmäßig auf 0,5 (= 50%) festgelegt ist. Ein Vorteil von HALCON während der Programmierung ist, dass bei einer Parameteränderung in der Testphase die Ergebnisse sofort sichtbar werden. In dem hier gezeigten Beispiel soll nun der Parameter *Übereinstimmung* um 10% auf 0,6 erhöht werden. Sofort wird die Detektion mit der Änderung erneut durchgeführt und das Ergebnis zeigt Abbildung 50. In den Abbildungen mit den Testergebnissen (Abbildung 49 und Abbildung 51) ist innerhalb des grünen Kreises die Änderung des Parameters dargestellt.

Widmen wir uns nun dem Luftbild 3. Hier wurden ursprünglich 6 Objekte als Schwäne detektiert. Nach der Änderung des Parameters *Übereinstimmung* aus dem vorherigen Schritt bleiben hier nur noch 2 Objekte übrig. Diese zeigt Abbildung 52 und das dazugehörige Testergebnis nach Übernahme des geänderten Parameters *Übereinstimmung* Abbildung 53. Die beiden jetzt noch detektierten ‚Schwäne‘ sind eine Schaumkrone, die als 2 sich überlappende Objekte (Schwäne) identifiziert wurde.



Abbildung 50: Luftbild 5 korrigiert

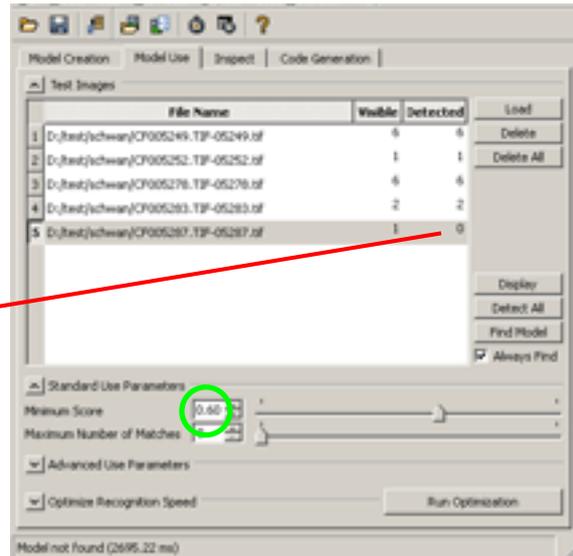


Abbildung 51: Zweites Testergebnis für alle Luftbilder



Abbildung 52: Luftbild 3 mit falsch detektiertem Objekt

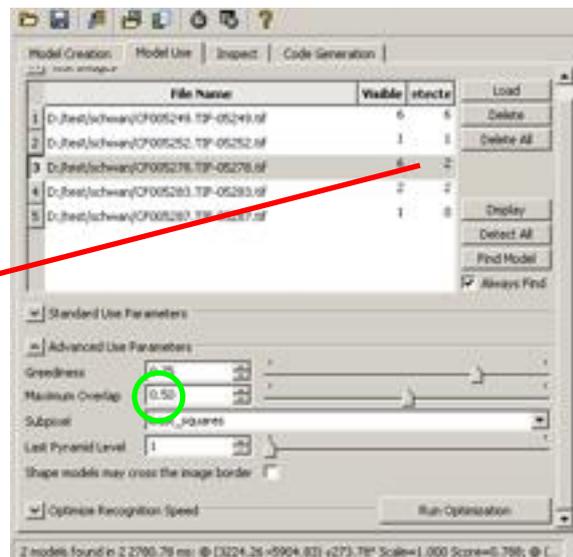


Abbildung 53: Drittes Testergebnis für alle Luftbilder

Es wird davon ausgegangen, dass sich schwimmende Schwäne im Luftbild nicht überlappen. Der Standardwert für den Parameter *Überlappung* innerhalb der Modellgenerierungsphase ist 0,5, d. h. Objekte können sich zur Hälfte ihrer Grundfläche überlappen. Dieser Wert wird nun für das Modell auf 0,1 herabgesetzt, um zu berücksichtigen, dass sich unter Umständen ein Körperteil eines Schwanes mit dem Körper eines anderen Schwanes überlappt. Es sei noch angemerkt, dass das hier beschriebene Modell nicht für fliegende Schwäne gilt. Diese haben eine andere Objektform, was die Entwicklung eines weiteren Modells erforderlich macht.

Abbildung 54 zeigt das Luftbild nach der Änderung des Parameters *Überlappung* und auch wieder das entsprechende Testergebnis (Abbildung 55). Deutlich erkennbar ist, dass trotz der vorgenommenen Änderungen der Parameter eine Fehldetektion in diesem Bild übrig bleibt. Durch eine weitere Anpassung der erwähnten Parameter ist diese Fehldetektion allerdings nicht zu eliminieren.



Abbildung 54: Luftbild 3 korrigiert mit Fehldetektion

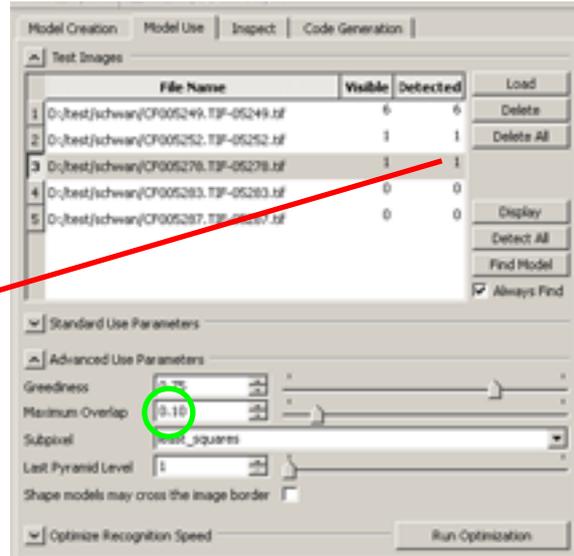


Abbildung 55: Viertes Testergebnis für alle Luftbilder

Hier ist es notwendig weitere Tests an anderen Parametern durchzuführen oder das Modell grundlegend zu überarbeiten. Eine andere Möglichkeit ist die Größe des Objektes zu definieren. Der hier noch detektierte ‚Schwan‘ könnte durch einen Größenvergleich eliminiert werden.

Anhand dieses einfachen Beispiels kann die Eignung der gewählten Softwarelösung eindrucksvoll demonstriert werden. Trotz der hohen Variabilität der Formen der auf den Bildern erkennbaren Schwäne können sie automatisch detektiert werden. Letztendlich werden weitere Analysen zeigen müssen, wie die Parameter zu optimieren sind, um den Anteil negativer Fehldetektionen (Nichtererkennung von tatsächlich vorhandenen Objekten) möglichst gering zu halten.

Im beschriebenen Fall liegt dieser Ausreißer im tolerierbaren Rahmen. Der Grund für die Fehldetektion ist die zufällige Anordnung der Grauwerte der Schaumkrone, die innerhalb der parametrisch eingestellten Fehlertoleranz des Modells für Schwäne liegt.

Nach der Modellentwicklung und den erläuterten Anpassungen entsprach das Ergebnis der automatisierten Detektion weitgehend den Erwartungen. Es wurden im *Luftbild 1* 6 Schwäne richtig detektiert, im *Luftbild 2* 1 Schwan, *Luftbild 3* beinhaltet eine Fehldetektion und in den restlichen Luftbildern wurden keine passenden Objekte bzw. Individuen gefunden (Abbildung 56).

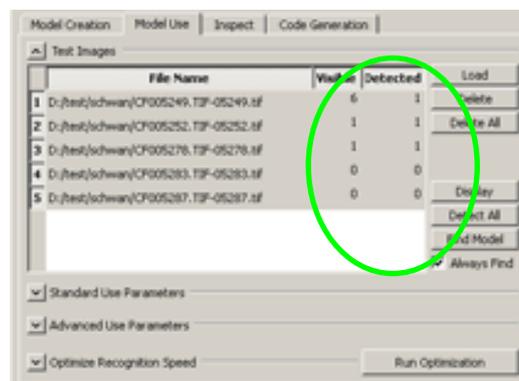


Abbildung 56: Abschließendes Testergebnis für alle Luftbilder

Nach Abschluss dieser Testphase wird der Quellcode für den operativen Einsatz automatisch generiert (Abbildung 57, roter Pfeil). Einige der Parameter aus dem Modell lassen sich auch jetzt noch modifizieren (siehe grüne Markierung in Abbildung 57) bzw. während der Programmausführung interaktiv einstellen. Als Laufzeitumgebung bietet sich die Einbettung in ein Visual Basic (bzw. Visual Studio) Programm an. In dieser Umgebung wird dann auch der Quellcode für die Auswahl der zu bearbeitenden Bilder sowie die Ausgabe der Ergebnisse programmiert.

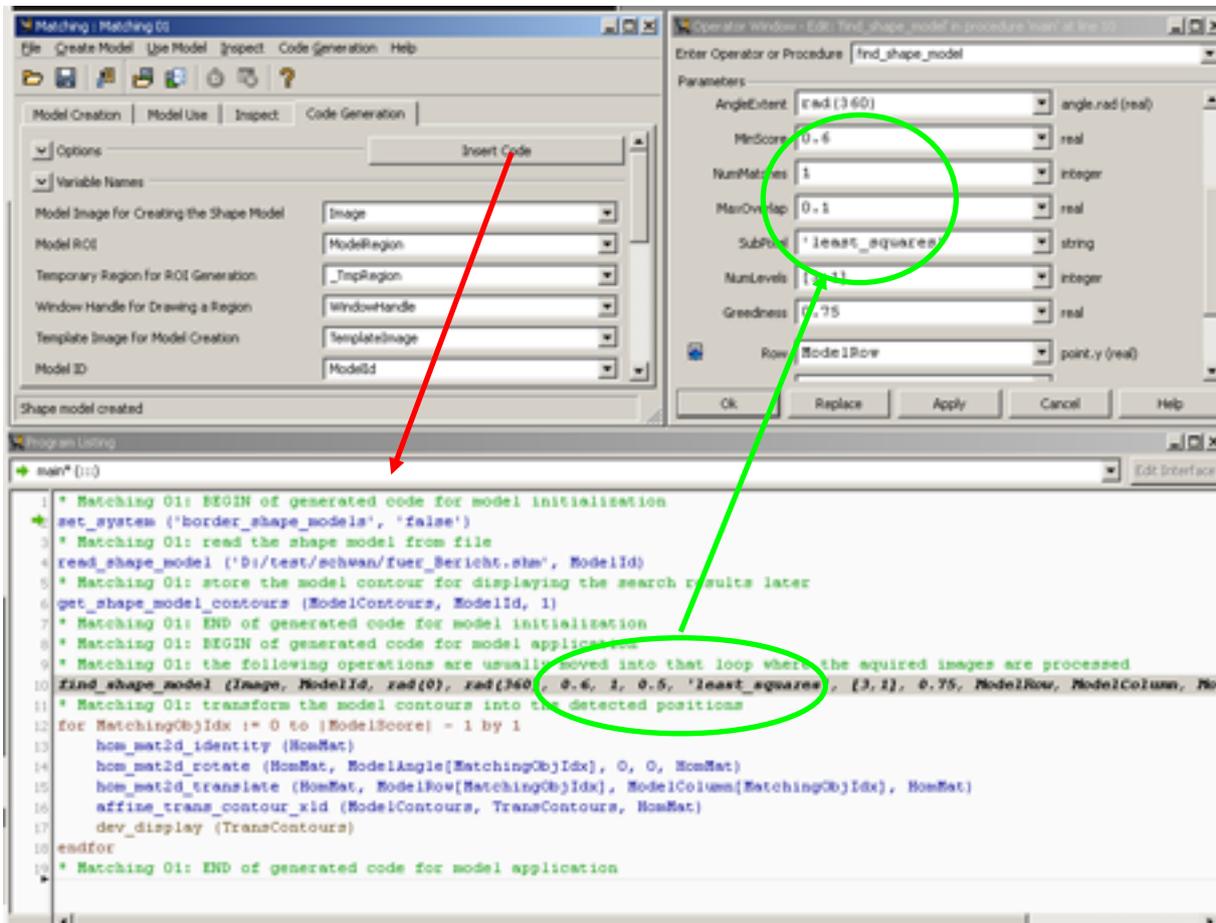


Abbildung 57: Quellcodegenerierung und Parameteranpassung

Detektion von Seevögeln (hier im Flug)

Analog zum Modell für Schwäne wurde auch das Modell für Möwen im Flug entwickelt (Abbildung 58).



Abbildung 58: Luftbild und abgeleitetes Modell einer Möwe im Flug

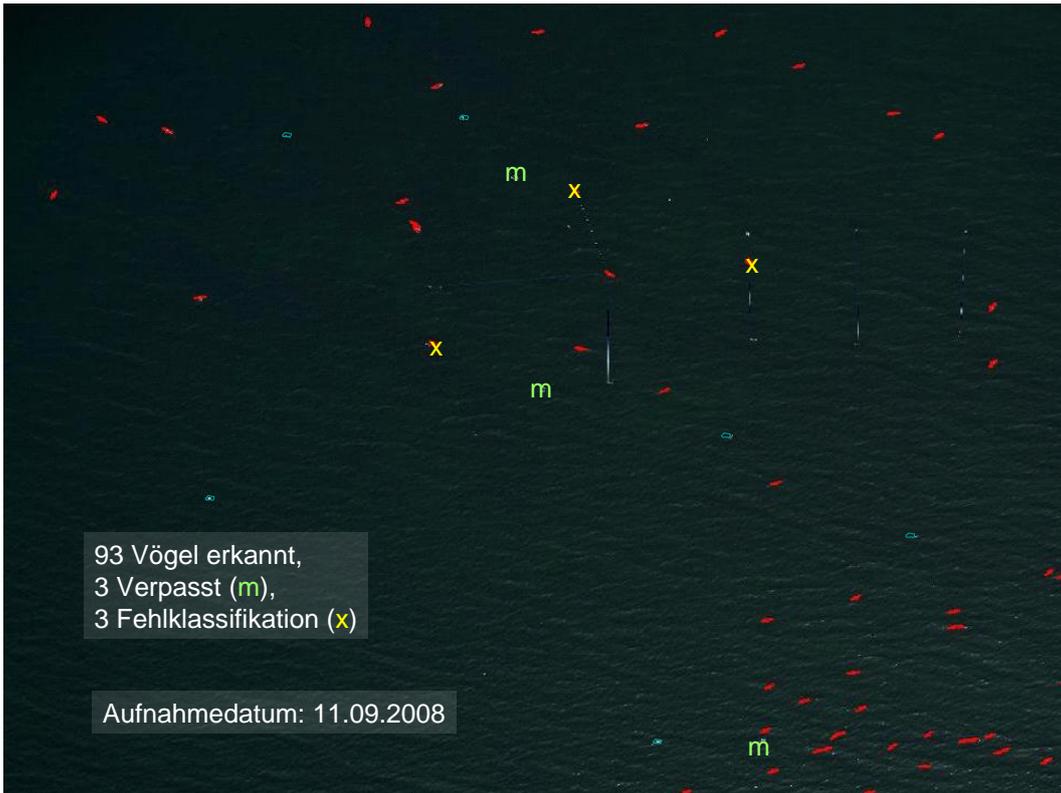


Abbildung 59: Erfolg der Mustererkennung von Möwen

Auch hier konnten Erfolge bei der automatisierten Detektion erzielt werden. Allerdings wurde festgestellt, dass beim Abgleich der Ergebnisse der automatischen Detektion mit der visuellen Durchsicht die Anzahl der Fehldetektionen höher war als bei den Schwänen. Das liegt zweifelsohne an der höheren Formenvielfalt, die aus den Bewegungen fliegender Möwen resultiert (Abbildung 59). Dabei spielt auch die Fluglage eines Individuums eine wesentliche Rolle. Die Software ermöglicht es Abweichungen der Form durch Parametereinstellungen zu kompensieren. Sind die Abweichungen zu hoch können die Luftbilder in einem iterativen Verfahren mit mehreren Modellen von Möwen durchsucht werden. Weitere Untersuchungen dazu sollen noch folgen.

Zusammenfassend ist die Detektion von Seevögeln eine lösbare Aufgabe, wenn die zu den einzelnen Spezies korrespondierenden Modelle mit großer Sorgfalt erstellt, getestet und angepasst werden.

Detektion von Robben

Abbildung 60 zeigt das entwickelte Modell für auf einer Sandbank liegende Robben. Solange die Körperhaltung der Robben im Wesentlichen dem der Modellrobbe entspricht werden die Tiere richtig detektiert. Selbst eine Robbe, die sich im Wasser bewegt konnte vom Modell erkannt werden (Abbildung 61). Es wird hier besonders deutlich, dass das erstellte Modell unabhängig von Größe und Orientierung der Individuen arbeitet.



Abbildung 60: Modell einer Robbe (Rotations- und Größeninvariant)

Das Modell stößt auch hier, wie bei den Möwen an seine Grenzen, wenn eine Robbe zum Beispiel zu stark gekrümmt am Strand liegt oder auch so sehr auf der Seite liegt, dass ihre Silhouette nicht mehr mit dem Modell in Übereinstimmung zu bringen ist.

Durch eine Größenanalyse können für Robben innerhalb mehrerer Modelle die Parameter so eingestellt werden können, dass verschiedene Arten unterscheidbar werden. Generell können Robben auf den Luftbildern identifiziert werden. Eine genauere Anpassung der Modelle erfordert weitere Luftbilder zum Testen und Verifizieren der hier vorgestellten Mustererkennung.



Abbildung 61: Identifizierte Robben

Klassifikation Untergrund

Bei der Suche nach zu klassifizierenden Objekten in Luftbildern kann der Meeresgrund, insbesondere bei Flachwasserbereichen, störend sein, denn Untergrundfarbe und -textur können die Objektinformation überlagern.

Andererseits kann der Meeresgrund selber Gegenstand ökologischer Fragestellungen sein, z.B. zur Ermittlung von Makrophyten als Lebensraum für Fischbrut (Christke, 1996). Allerdings ist in Küsten- und Brackwassergebieten nicht nur die Verteilung sondern auch die Artenzusammensetzung von Makrophyten wichtig. Das bedeutet, dass zusätzliche Angaben über die Wassertiefe sowie weitere (Meta-)Informationen bekannt sein müssen, um konkrete Rückschlüsse über die Arten zu gewinnen.

Als Bildanalysewerkzeuge können einfache Klassifikatoren eingesetzt werden, die den Bildhintergrund in einige wenige Klassen (z.B. Sand, Bewuchs, Wellenreflexionen) differenzieren (Abbildung 62).

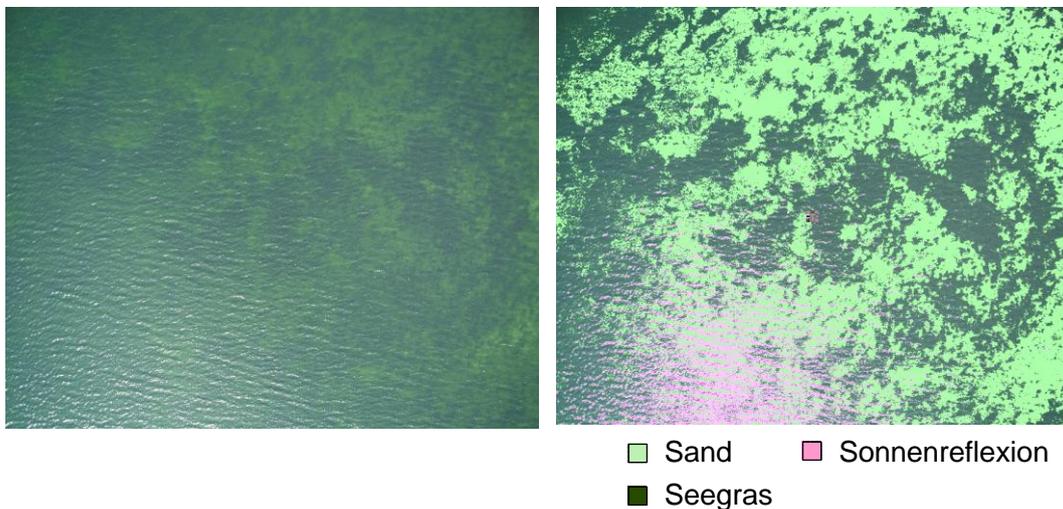


Abbildung 62: Klassifikation Meeresgrund

Die Schwellwertfindung bei der Klassifikation beruht hauptsächlich auf manuellen Einstellungen, die jedoch auf benachbarte Bilder problemlos übertragen werden können.

In Bezug auf Linientransektsurveys können so z.B. die Gebiete hoher Sonnenreflexion automatisch aus der Analyse ausgegrenzt werden. Damit ergibt sich dann eine angepasste Streifenbreite, die nicht klassifizierbare Bereiche ausschließt.

3.4. Recherche und Absprachen mit UAV-Herstellern

Zur Marktrecherche verfügbarer Systeme stehen zum einen das UAS Yearbook 2008/2009⁷ mit weltweit 313 zivilen bzw. kommerziellen sowie für beide Zwecke einsetzbaren Systemen und zum anderen der AUVSI Online Guide⁸ mit 1.115 Einträgen verschiedener Systemkomponenten zur Verfügung. Um aufwendige Im- und Exportregulierungen bei der Beschaffung zu vermeiden, sowie eventuelle Gewährleistungsansprüche etc. durchsetzen zu können, wurden zuerst nur Systeme in der EU betrachtet. Zusätzlich sind in der Tabelle 9 noch Systeme aus den USA mit eingebunden, da in der EU nur ein marktfähiges System recherchiert werden konnte, das alle Anforderungen erfüllt.

Ausgehend von den Rahmenbedingungen der marinen Anwendungen wurde ein UAV gesucht, das eine Flugdauer von mindestens einer Stunde und eine Nutzlast von mehr als einem Kilo tragen kann. Idealerweise sollte ein UAV jedoch eine Flugzeit von mehr als 4 Stunden aufweisen, um auch weit entfernte Gebiete in der Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) erreichen zu können. Außerdem sollte es sich um ein Tragflächenflugzeug handeln und das maximale Abfluggewicht sollte < 40 kg sein.

Tabelle 9: Marktübersicht verfügbarer UAVs in Europa und den USA mit einer Flugdauer > 1 h und einer Nutzlast von > 1 kg (Quelle: UAS Yearbook 2008/2009, S. 183 - 189). Zivile UAVs, die die Anforderungen für ein Monitoring mariner Säugetiere erfüllen, sind in der Tabelle fett hervorgehoben, GSL – Ground Station Link, direkte Verbindung zur Bodenkontrollstation

Land	Hersteller	System-name	Klasse	Air frame	Geschwindigkeit (km/h)	Max. Flugdauer (h)	Aktionsradius (GSL) (km)	Max. Abfluggewicht (kg)	Max. Nutzlast (kg)
A	Schiebel Elektronische Geräte	Camcopter	DP	RW	90 (CS)	6	10	68	25
D	Rotrob	Rotrob	CC	RW		2	125		18
D	Scalecopter	CamClone	DP	RW	160	1,1	20	41,6	10
D	UAV Services & Systems	X-Sight	DP	FW	180	3	45	16	6
E	Aerovision	Fulmar	DP	FW	150	8	50	20	8
E	Airview	AV-02 ^a	CC	FW	120	2		8	2
E	Airview	AV-03	CC	FW	130	6		28	8
F	Aeroart & Mercury Computer	Aelius 1 ^p	CC	FW	126	6	250	75	32
F	EADS Military Aircraft & SurveyCopter	Scorpio 30	DP	RW	50 (CS)	2	10	38	15
F	EADS Military Aircraft & SurveyCopter	Scorpio 6	DP	RW	35 (CS)	1	10	13	6
F	Flying Robots	FR A2	DP	FW	120	1,15	10	15	4
F	Flying Robots	FR E1	DP	FW	60	1	10		
F	Infotron	IT 180-5 TH	DP	RW	90	1,5	5+	15	5
F	Pix-Air & AirStar	Soulcam	CC	LtA	20	3	1,5	90	30
F	Survey-Copter	DVF-2000	DP	FW	90	1,5	6	7	1

⁷ <http://www.uasresearch.org/UASResearch/default.asp?L1=15&a=86>

⁸ <http://guide.auvsi.org/auvsi/index.form#search>

Land	Hersteller	System-name	Klas-se	Air frame	Ge-schwin-digkeit (km/h)	Max. Flug-dauer (h)	Aktions-radius (GSL) (km)	Max. Abflug-gewicht (kg)	Max. Nutz-last (kg)
I	Nimbus	NBS 20	CC	LtA	50	2,5		20	4
I	Nimbus	NBS 35	CC	LtA	50	6		35	6
USA	Agrarius	HawkEye	CC	FW	32-105	6	10	13,6	4,5
USA	Advanced Ce-ramics Re-search	SilverFox	DP	FW	90	10	36	12,2	2
USA	Advanced Cera-mics Research	Manta-B	DP	FW	130	6	24	23,5	
USA	Insitu	Scaneagle	DP	FW	90	20	100	18	6
USA	Procerus Tech-nology	Unicorne 1 (Electric)	DP	FW	98	2		3,1	
USA	Arcturus	T-15	DP, DV	FW	100	12+		12,5	4,54
USA	Dara Aviation	D-1G	DP	FW	120	15	1.500	34	4
USA	Flight Systems	Tracker UAV Electric	DP	FW	98	1,5	16	6,75	0,9
USA	L3 - BAI Aero-systems	Viking 100	DP	FW	105	6-8	50-75	68	9

FW = Fixed Wing
 CC = Civil/Commercial
 CS = Cruising Speed
 DP = Dual Purpose - civil/military
 DV = Developmental Vehicle
 LtA = Lighter than Air
 RW = Rotary Wing

- ^a Internet-Adresse funktioniert nicht, Systemverfügbarkeit unklar
^b UAV auch als Unterwasserroboter einsetzbar, noch nicht praxisreif

Zusammengefasst ergibt sich folgendes zweigeteiltes Bild der am Markt verfügbaren Systeme:

1. *Eigenentwicklungen* verschiedener Forschungseinrichtungen weltweit, die sich mit dem Thema beschäftigen, z.B. die University of Queensland⁹ die zur Beobachtung von Manatees neben herkömmlichen Flugzeugzählungen zukünftig UAVs einsetzen will¹⁰.
2. *„Professionelle“ UAVs*. So hat NOAA (UAS Steering Committee and Working Group) in den vergangenen Jahren die Systeme *Silver Fox*¹¹ und *Manta*¹², deren ursprüngliche Entwicklung einen militärischen Hintergrund haben, auch erfolgreich zur Beobachtung von kleinen Schiffen und deren Aktionen (Fischerei, Schmuggel etc.) sowie die Beobachtung und Verfolgung von größeren Walen (Buckelwal) eingesetzt¹³. Die beiden UAVs sind auf das Tracking (Nachverfolgen) von Objekten optimiert und verfügen deshalb nur über Videokameras, was die flächendeckende

⁹ <http://www.cosmosmagazine.com/features/online/1907/uavs-find-role-marine-mammal-surveillance>

¹⁰ <http://www.uq.edu.au/marinevertebrate/dugongs>

¹¹ <http://www.acrtucson.com/UAV/silverfox/>

¹² <http://www.acrtucson.com/UAV/manta/index.htm>

¹³ <http://uas.noaa.gov/projects/demos/silverfox/SilverFoxFinalReport.doc>

Kartierung sehr kleiner Objekte verhindert. Zukünftig sollen die beiden UAVs für weitere Aufgaben eingesetzt werden, wie z.B. die

- Erkennung, Beobachtung und Positionierung von Unterwasserobjekten im Flachwasser, wie z.B. Veränderungen an Korallenriffen und Wracks
- Erkennung, Beobachtung und Detektion von Ölverschmutzungen, Algenblüten und anderen Objekten auf der Wasseroberfläche

Auch die Beobachtung von marinen Säugetieren soll ein weiterer Schwerpunkt werden.

In Spanien wurde in den letzten Jahren das System FULMAR¹⁴ speziell für marine Anwendungen entwickelt. Das System mit einer Spannweite von 3 m verfügt über eine maximale Nutzlast von 8 kg, bei einem Startgewicht von 20 kg und kann bis zu 8 Stunden in der Luft sein. Bei einer mittleren Fluggeschwindigkeit von 100 km/h ergibt sich eine Reichweite von max. 400 km, so dass die gesamte AWZ damit abgedeckt werden könnte. Untersuchungen im Entenschnabel der Nordsee erfordern eventuell noch höhere Reichweiten. Der Start erfolgt über ein Katapult und zur Landung wird das UAV in einem Netz gefangen. Die Überwachung des Systems kann in einem Radius von 50 km online erfolgen. Das System FULMAR wäre für alle Überwachungseinsätze optimal geeignet.

Es existieren viele UAVs am Markt, jedoch nur wenige, die preiswert, erprobt, robust und zuverlässig sind und damit die Bedingungen für die gewünschten Einsatzzwecke erfüllen. Zudem unterliegen die erprobtesten Geräte aus den USA aufgrund ihrer militärischen ‚Vergangenheit‘ vielfältigen Exportbeschränkungen und sind demzufolge hier in Europa nicht oder nur eingeschränkt einsetzbar.

Daraus ergeben sich für die Fortführung des Projekts zwei Optionen:

1. Der Erwerb eines professionellen Systems (~ 150.000 €) welches für viele Überwachungsfragestellungen eingesetzt werden kann und nur im Hinblick auf seine Payload (Kamera und Bildflug-Managementsystem) ergänzt werden muss. Die professionellen Systeme sind in der Regel benzingetrieben und damit lauter als Systeme mit Elektromotoren.
2. Der Erwerb eines Entwicklungssystems (< 50.000 €), das speziell für die Aufgaben zugeschnitten werden kann. Allerdings sind dann Kompromisse bei der Zuverlässigkeit zu machen und für die Anpassungsentwicklung ist zusätzliche Zeit einzuplanen. Bei der zukünftigen Entwicklung eines solchen UAVs für marine Monitoringaufgaben sind folgende Eigenschaften wichtig:
 - Robuster Flächenflügler (schwimmfähig), Spannweite ca. 2 – 3 m
 - Flugdauer: min. 2 h
 - Nutzlast: 1,5 – 2 kg
 - Abfluggewicht: 8 – 12 kg
 - Sicher eingeschweißte Lithiumpolymer-Akkumulatoren (wasserdicht)
 - VHF-Transponder zur Bergung

3.5. Stand rechtlicher Rahmenbedingungen

Nach aktueller telefonischer Auskunft der Deutschen Flugsicherung (DFS) obliegt auch in Zukunft die Regulierung von UAVs < 150 kg der jeweiligen nationalen Regulierungsbehörde. Um am Luftverkehr teilzunehmen ist eine Zulassung des Flugobjekts notwendig. Da dafür noch keine gesetzlichen Regeln existieren, gibt es auch keine Zulassung, was in letzter Konsequenz bedeutet, dass in Deutschland keine UAVs eingesetzt werden dürfen.

¹⁴ <http://www.aerovision-uav.com/eng/aerovision.php>

Nichtsdestotrotz ist Bewegung in der Regulierung von UAVs zu beobachten. Das betrifft jedoch vor allem UAVs mit einem Abfluggewicht < 5 kg. Für diese sind Regelungen im Gespräch, die eine Nutzung im Sichtfeld des Operators ermöglichen können.

Das Hauptproblem bei der Zulassung von UAVs ist immer noch das ‚Sense and Avoid‘ Problem, d.h. ein Flugobjekt muss seine Umgebung ‚beobachten‘, um ggf. ausweichen zu können. Dies kann von einem UAV nicht so einfach realisiert werden. Aktuelle Forschungsprojekte (z.B. VUSIL¹⁵) mit größeren UAVs setzen auf Transponder und aktives Radar, das der Bodencrew stets die Möglichkeit gibt den Luftraum zu beobachten.

Während des im Rahmen dieser Studie durchgeführten Workshops wurde eine Reihe von rechtlichen Problemen innerhalb der abschließenden Diskussion erörtert. Eine Zusammenfassung ist auf der beiliegenden CD zu finden.

15

http://www.dfs.de/dfs/internet/deutsch/inhalt/company_future/primaernavigation/das_unternehmen/sekundaernavigation/forschung_entwicklung/forschungszeitschrift/fokus0802.pdf

4. Diskussion

Der Einsatz unbemannter Flugzeuge und die Verwendung fotografischer Methoden zur Erfassung von marinen Säugetieren und Seevögeln zeigt eine Reihe von Vorteilen gegenüber bisher üblichen Observer-Transektzählungen:

1. Kein menschliches Risiko, da auf Piloten und Observer verzichtet wird.
2. UAVs können auch in entlegenen Gebieten ohne erhöhtes Risiko eingesetzt werden.
3. Studien können opportunistisch von verschiedenen Plattformen ausgeführt werden. Es gibt bereits heute kommerziell vertriebene UAVs, die an die Bedingungen der marinen Umwelt angepasst sind und dementsprechend auch auf Schiffen gelandet bzw. eingefangen werden können.
4. Eine visuelle Erfassung mit fotografischen Methoden ist gegenüber menschlichen Zählungen insofern im Vorteil, als dass eine objektive Auswertung möglich ist und jederzeit nachvollzogen werden kann. Sind in Zukunft andere Fragestellungen zu beantworten, können vorhandene Luftbilder zu Rate gezogen werden.
5. Dies betrifft auch die Weiterentwicklung von Bilderkennungsalgorithmen. Verbesserte Trainingsmethoden können in Zukunft auf bereits vorhandenes Bildmaterial angewendet werden. Dementsprechend ist eventuell auch eine verbesserte Auswertung alter Datenbestände möglich.
6. Bereits erhobene Datenbestände und neue erhobene Bilddaten können auch qualitativ auf das gleiche Niveau gebracht werden. Ein nicht zufällig verteilter Fehler, der z.B. durch die Einarbeitung eines neuen Observers, der sich an die Methode gewöhnen muss, gemacht werden könnte, entfällt.
7. Die statistische Auswertung der erhobenen Daten ist gegenüber Observerzählungen robuster, da menschliche Fehler und damit eventuell nicht zufällig verteilte Fehler vermieden werden.
8. Tiere, die durch Flugzeuge leicht zu stören sind und dementsprechend ihre Rastplätze verlassen (z.B. einige Vogel und Robbenarten), werden durch die leiseren Motoren von UAVs und durch die insgesamt leichteren und kleineren Maschinen weniger gestört. Nahezu alle Erfassungsmethoden gehen davon aus, dass Tiere ungestört beobachtet werden.

Demgegenüber sind derzeit noch eine Reihe von Nachteilen zu betrachten, die hauptsächlich mit der noch jungen Methodik zur fotografischen Erfassung von Meeressäugern und Seevögeln zusammenhängen. Solange nur wenige Studien mit unterschiedlichen Tierarten gemacht wurden, ist der Erarbeitungsaufwand zur Erstellung von Tiersignaturen hoch. Dabei muss beachtet werden, dass z.B. die Erkennung der Art im speziellen Fall eine große Rolle spielen kann. So können junge Großmöwen unterschiedlicher Art selbst durch menschliche Beobachter nur schwer unterschieden werden. Auf einem Luftbild mit begrenzter Auflösung ist dann eine Artunterscheidung sehr diffizil oder sogar unmöglich. Sollen jedoch Arten erfasst werden, die in großen Schwärmen (mit nur einzelnen artfremden Individuen) zu bestimmten Jahreszeiten die Nord- und Ostsee als Rastplatz nutzen, kann eine genaue Auszählung der Individuen auf Luftbildern wesentlich bessere Resultate zeigen, als eine Beobachtung und Schätzung der Gruppengrößen durch Observer.

Die entwickelte PDA Software PFIFF Pocket ermöglicht systematische Bildflüge mit UAVs. Da sie unabhängig von der Bord- bzw. Navigationssoftware des UAVs funktioniert, kann mit PFIFF Pocket jedes UAV schnell für photogrammetrische Bildflüge ausgerüstet werden. Als leichtes, stromsparendes und flexibles Instrument ist der PDA einer proprietären Soft- und Hardwarelösung vorzuziehen. So kann auch die verwendete Kamera im Bedarfsfall während

der Untersuchungen durch ein besser geeignetes Modell ersetzt werden. PFIFF Pocket ermöglicht somit die flexible Nutzung von UAV Systemen für verschiedene Zwecke.

Bei der marinen Bildflugplanung spielt der Wind (Wellenkämme- und Schaumkronenbildung), gegenüber terrestrischen Einsätzen, eine zusätzlich einschränkende Rolle. Auch ist aufgrund des Hot Spot-Effekts eine leicht schräge Aufnahmerichtung in Abhängigkeit vom Sonnenstand zu bevorzugen.

Limitiert wird die fotografische Erfassung durch physikalische und technische Gegebenheiten, wie u.a. Bildfolgezeiten und Geschwindigkeit der genutzten Flugzeuge, Speicherkapazität, Auflösungsvermögen und Lichteinfall. Einige dieser Probleme können durch langsamer fliegende UAVs gelöst werden. Langsamere Fluggeschwindigkeiten ermöglichen längere realisierbare Bildfolgezeiten und eine Verlängerung der notwendigen Belichtungszeiten um Verwischungseffekte zu vermeiden. Längere Verschlusszeiten bedeuten auch mehr Lichteinfall und damit eine verringerte Abhängigkeit von Umweltbedingungen, wie z.B. Bewölkung. Zusätzlich ist zu erwarten, dass das Auflösungsvermögen von Kleinformatigen Kameras auch in den nächsten Jahren weiter steigen wird. Der dadurch wachsende Speicherbedarf wird durch die Weiterentwicklung der Speichermedien kompensiert.

Die gewählte Kamera (Canon Powershot G9) ist in ihrem Preissegment eine sehr gute Kamera, die für landgestützte UAV-Anwendungen, aber auch die Erkennung von Objekten mit einem hohen Kontrast wie z.B. Robben und Seevögel, gut geeignet ist. Viele der geometrischen und radiometrischen Eigenschaften genügen den Anforderungen. Problematisch sind hingegen die Rauscheigenschaften bei weit geöffneter Blende, die vor allem beim Bildflug über dunklen Wasserflächen stark hervortreten können. Hinzu kommt beim Bildflug mit einer Cessna die Bildwanderung, die für zusätzliche Unschärfen sorgt. Die minimale Bildfolgezeit von ca. 1 s/Bild im Serienbildmodus kann leider im Bildflug nicht umgesetzt werden, da beim Benutzen dieser Funktion kein TTL-Signal zur Positionsbestimmung übermittelt wird.

Wichtiger als die als Verkaufsargument häufig genannte Anzahl der Megapixel ist für unsere Zwecke die Größe des Fotosensors, die neben anderen Faktoren, maßgeblich die Qualität der Fotos beeinflusst. Schließlich erreicht bei einer Kompaktkamera mit gleicher Megapixelanzahl wie eine digitale Spiegelreflexkamera jedes CCD-Element weniger Licht. Das Signal muss daher verstärkt werden, was wiederum ein höheres Bildrauschen verursacht.

Angegeben wird die Größe der Sensoren oft in Standardgrößen (z.B. 1/2,3 Zoll oder 1/1,7 Zoll). Um eine Vorstellung von den Größenverhältnissen zu bekommen nachfolgend einige Beispiele für Sensorgrößen digitaler Kameras:

- digitale Kompaktkamera (10 MP) Nikon Coolpix S60 (1/2,3"): 0,28 cm²
- digitale Bridge-Kamera (12 MP) Canon G9 (1/1,7"): 0,43 cm²
- digitale Four-Thirds-Kamera (12,1 MP) Lumix G1 (4/3"): 2,24 cm²
- digitale Spiegelreflex-Kamera (12 MP) Canon EOS 350D: 3,28 cm²
- digitale Mittelformatkamera (39 MP) Rollei AIC 45: 18,03 cm²

In Folgeprojekten sollte ein Kompromiss zwischen Leistungsfähigkeit des CCD-Sensors und dem Kameragewicht gesucht werden. Für die Detektion von Robben ist auch die Powershot G9 geeignet.

Zur Erkennung von marinen Säugetieren und Vögeln und der folgenden Klassifizierung der Luftbilder ist eine hohe Bodenauflösung von 2-4 cm empfehlenswert. Es konnte demonstriert werden, dass bei diesen Auflösungen verschiedene Objekte automatisch detektiert werden

können und somit der zu erwartende hohe Auswertungsaufwand für eine Luftbildanalyse reduziert wird. Die verwendete Software HALCON ist für diese Zwecke gut geeignet.

Schweinswale sind schwer zu detektieren, da sie von oben betrachtet, unter Wasser einen geringen Objektkontrast zu ihrer Umgebung besitzen. Dieser nimmt darüber hinaus mit der Tauchtiefe des Schweinswals weiter ab. Zusätzlich ähnelt die Form der Schweinswale Wellenkämmen sehr, so dass es selbst bei geringem Wellengang zu Verwechslungen zwischen Wellenkämmen und Schweinswalen kommen kann. Nicht zuletzt sind Schweinswale recht selten und bei einer erfolgreichen Sichtung durch einen Observer links oder rechts des Flugzeugs, muss das Flugzeug erst ein kompliziertes Wendemanöver durchführen, um den Wal in einer Senkrechtaufnahme abbilden zu können.

Zur Verringerung von Fehlinterpretationen zwischen Schweinswal und Wellen sind eventuell mehrere kurz hintereinander aufgenommene Bilder notwendig, um eine sichere Trennung von sich bewegenden Wellen und Schweinswalen vornehmen zu können. D.h. für Monitoringflüge ist bei Beibehaltung der bevorzugten Flughöhe (Bodenauflösung) eine Kamera mit einer höheren Bildfrequenz notwendig, um eine Längsüberlappung von mehr als 50% zu erhalten. Allerdings wäre beim Einsatz in einem langsam fliegenden UAV die gewählte Kamera durchaus in der Lage die gewünschte Längsüberlappung zu erreichen.

Zur Erkennung von Schweinswalen müssen mehr erfolgreiche Monitoringflüge durchgeführt werden, um Referenzbilder von Schweinswalen in der freien Natur und unter verschiedenen Bedingungen (beim Auf- und Abtauchen, beim Schwimmen unter der Wasseroberfläche etc.) zu erhalten. Während der in diesem Projekt durchgeführten Bildflüge wurden verhältnismäßig wenige Schweinswale gesichtet. Dies liegt einerseits daran, dass in der verwendeten Cessna 172 nur für einen Observer und die Kameraausrüstung Platz ist. Weiterhin fehlen Bubblewindows, die die Chance einer Sichtung erheblich erhöhen. Für zukünftige Versuche erscheint die Kombination von derzeit über Nord- und Ostsee vom Forschungs- und Technologiezentrum Westküste in Büsum durchgeführten Observerflüge mit der in Remplane eingesetzten Kameratechnik als sinnvoll. Dies setzt aber voraus, dass die dort genutzten Observerflugzeuge mit einer geeigneten Bodenluke ausgestattet werden.

4.1. Inwieweit wurden die verfolgten Ziele erreicht?

Innerhalb der Machbarkeitsstudie konnte bestätigt werden, dass rein fotografische Methoden zur Erfassung der marinen Fauna nutzbar sind. Dabei sind die vorhandenen Möglichkeiten der digitalen Fotografie für Seevögel und Robben sehr gut geeignet. Für diese Artengruppen wäre auch die Erfassung mit unbemannten Flugzeugen sinnvoll.

Es konnten weiterhin erste Methoden zur statistischen Auswertung der Luftbilder nach Ansätzen der Linientranssektzählungen mit definierter Streifenbreite aus den für visuelle Erfassungen angewandten Verfahren abgeleitet werden. Neuartig ist dabei ein Vorschlag zur Ermittlung von $g(0)$ -Faktoren aus einer Befliegung mit nur einer Kamera.

Die Anforderungen an die Qualität der Bildsensoren wurden ermittelt und durch optische Kalibrierungsmethoden überprüft. Flughöhen sind von der zu erfassenden Zielart und der Brennweite des Objektivs abhängig und konnten für Robben und einige Seevögel abgeleitet werden. Für Schweinswale können diesbezüglich aufgrund der geringen Datenlage keine abschließenden Aussagen getroffen werden.

Die grundsätzliche Demonstration der Eignung einer automatischen Auswertung im Sinne einer Mustererkennung der Luftbilder konnte realisiert werden. Hierbei ist anzumerken, dass die Ergebnisse wesentlich besser ausfallen, als es innerhalb der kurzen Projektlaufzeit zu erwarten war.

Durch Recherchen und die Durchführung eines Workshops konnten Anbieter gefunden werden, die UAVs für marine Anwendungen herstellen und an einer zukünftigen Kooperation interessiert sind.

Insgesamt konnte ein großer Teil der Ziele erreicht werden. Nicht realisierte Ziele wie ein Abgleich der observergestützten Linientranssektzählungen mit der fotografischen Erfassung sollten innerhalb eines weiteren Vorhabens in Kooperation mit den Flugunternehmen durchgeführt werden, da Umbaumaßnahmen an den Flugzeugen zur Realisierung notwendig sind. Für fotografische Erfassungen fehlt in den für Observerflüge geeigneten Maschinen eine Bodenluke mit einem Mindestdurchmesser von 12 cm.

4.2. Woraus ergaben sich Abweichungen der erhaltenen Ergebnisse?

In der Projektlaufzeit konnten durch zeitlich zu koordinierende Abläufe (Entwicklung der Auslösetechnik für die Powershot G9 vor der Durchführung weiterer Bildflüge) weniger Bildflüge als geplant durchgeführt werden. Dadurch ist insbesondere die Datenlage für die Erfassung von Schweinswalen nicht für eine Beurteilung zur Eignung der fotografischen Methoden ausreichend. Flugzeuge mit geeigneter Bodenluke sollten bereits während der Projektlaufzeit zur Verfügung stehen. Die geplanten Umbaumaßnahmen wurden jedoch bei den Flugunternehmen wegen einer erhöhten Nachfrage nach reinen Observerflügen zurückgestellt, da die Genehmigung des Einbaus einer Bodenluke langwierig und kostspielig ist. Die Nachfrage unseres Projektes nach einem einzigen Flug reichte als Grund nicht aus.

4.3. Wie gestaltete sich die Zusammenarbeit mit den unterschiedlichen Kooperationspartnern?

Die Kooperation ist insgesamt positiv zu bewerten. Die Bildflüge wurden gemeinsam geplant und durchgeführt.

Während der Laufzeit wurde die Projektarbeit kontinuierlich von den gleichen Mitarbeitern durchgeführt. Ein Personalwechsel an der Universität Rostock erforderte eine kurze Übergangsphase.

4.4. Wird das Vorhaben oder Teile davon fortgeführt?

Aus Sicht des Deutschen Meeresmuseum und der Universität Rostock besteht weiterhin hoher Forschungsbedarf. Die Ergebnisse dieser Machbarkeitsstudie und der internationalen Expertentagung sind starke Indizien, dass bei der Erfassung der marinen Fauna in naher und ferner Zukunft erhöhter Forschungsaufwand zur Entwicklung neuer Methoden betrieben werden sollte.

Aufgrund der rechtlichen Rahmenbedingungen ist die Entwicklung und Anpassung von UAVs an die Bedingungen über dem Meer derzeit wenig sinnvoll, da als Alternative für Linientranssektzählungen einsetzbare UAVs schwerer als 5 kg sind und somit nicht eingesetzt werden dürfen. Das heißt weitere Forschung im Bereich der UAVs sollte sich auf die Erfassung von Robben und Vögeln, z.B. im Wattenmeer der Nordsee konzentrieren. Hier sollte auch festgestellt werden, inwieweit kleine und leichte UAVs für diese Aufgaben geeignet sind. Die Erfassung von Schweinswalen und Seevögeln im Linientranssektverfahren erfordert vorerst die Nutzung hochauflösender Kameras, die für sehr leichte UAVs zu schwer sind. Deshalb sollte sich die Forschung hier auf die Nutzung von Synergieeffekten konzentrieren:

1. Nutzung von Plattformen, die für Flugzählungen bereits genutzt werden, um die Bildauswertelgorithmen und die Objektivität der Observerbeobachtungen zu verbessern. Voraussetzung dafür sind geeignete Maschinen mit Bodenluke.

2. Der Einsatz von UAVs > 5 kg ist nur mit Sondergenehmigung möglich. Die DFS testet in Zusammenarbeit mit verschiedenen militärischen und zivilen UAV-Herstellern die Effektivität von ‚Sense and Avoid‘ - Technologien über der Ostsee. In diesem Zusammenhang ist eine Integration von wissenschaftlichen Fragestellungen in die Tests durchaus erwünscht.

4.5. Andere Projekte im Bereich der faunistischen Erfassung mit UAVs und fotografischen Methoden

Innerhalb von Deutschland ist die hier vorgestellte Studie bisher einzigartig.

Insbesondere die Erfassung mariner Säugetiere mit UAVs interessiert derzeit aber auch Forscher außerhalb Deutschlands insbesondere in den USA. So wurden z.B. von Koski et al., 2007 und Buck et al., 2007 Studien vorgestellt, die eine generelle Eignung von unbemannten Flugzeugen für die Erfassung größerer Wale zeigen.

Im Vordergrund der Untersuchungen von Buck et al., 2007 stand, die Gefahr für menschliches Leben während Surveys in entlegenen oder gefährlichen Gegenden zu reduzieren. Gerade bei Surveys in vereisten Regionen entstehen Risiken, z.B. durch Vereisungen am Flugzeug. UAVs können, neben der Verminderung des Risikos, auch bei Sichtbedingungen eingesetzt werden, die für bemannte Flugzeuge zu einem Flugverbot führen würde. Buck et al. beschreiben die Aufgabengebiete von UAVs mit dem folgenden Zitat: „the dirty, the dull and the dangerous [duties]“ (Anonymous, 2002). Das für die Studie genutzte UAV (Insitu Insight A20, 3 m Flügelspannweite, 18 kg Gewicht, 20 h Reichweite bei einer Geschwindigkeit von 25 m/s) kann, bei vorliegender Sichtverbindung, bis in eine Entfernung von 100 km ferngesteuert werden. Zur Erfassung wurden frei steuerbare und stabilisierte Videokameras mit einer Auflösung von 640x480 Bildpunkten (0,3 Megapixel) mit bis zu 25-fachem Zoom genutzt. Da ein Observer stetig die Kontrolle über die Kamera behielt, ähnelt die Verfahrensweise eher einem visuellen Survey mit Ferngläsern, als einer dedizierten Erfassung mit qualitativ hochwertigen Luftbildern. Im Ergebnis konnte festgestellt werden, dass die Abdeckung der Streifenbreite durch ein beständiges Scannen der Wasseroberfläche von einer Seite zur anderen nur unzureichend garantiert werden konnte. Aus Sicht der Autoren dieses Berichtes ist die Erfassung mit einer Videokamera auch deshalb ungünstig, da ein Verifizieren einer Sichtung Zeit in Anspruch nimmt, die dann nicht für einer größerflächige Abdeckung des Streifens zur Verfügung steht. Ein beständiger Observer induziert einen Observerbias, der nach Möglichkeit vermieden werden sollte. Ein Objekt, welches der Online-Observer übersehen hat, kann nicht nachträglich verifiziert werden.

In der Studie von Koski et al., 2007 wurde das gleiche UAV wie bei Buck et al. genutzt. Es wurde versucht künstliche Objekte, die in einem Seegebiet verteilt wurden z.B. bei unterschiedlichen Witterungsbedingungen zu erfassen. Die Ergebnisse zeigen, dass Windstärke, Farbe des Objektes und die Streifenbreite einen signifikanten Effekt auf die Detektionsraten hatten.

Studien, in denen fotografische Methoden zur Erfassung der Fauna herangezogen werden, sind weit verbreitet. Als Beispiel für eine Anwendung für Cetaceen sei hier Heide-Jørgensen, 2004 genannt. Mit Hilfe eines digitalen Fernerkundungssystems mit 16 Megapixel-Sensor wurden Narwale fotografiert. Die Ergebnisse konnten dazu genutzt werden Abundanzen zu berechnen, die mit früheren Studien vergleichbare Ergebnisse erzielten.

Die hier angeführten Studien sind beispielhaft. Aus der beigefügten CD der Präsentationen des innerhalb des Projektes durchgeführten Workshops können weitere Anwendungsmöglichkeiten entnommen werden.

5. Öffentlichkeitsarbeit

5.1. Tagung ‚Remote Sensing to assess the distribution and abundance of seabirds and marine mammals: Possible future applications for Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)‘

Die internationale Tagung zum Projekt wurde vom 20. bis 21. November 2008 im Ozeaneum in Stralsund durchgeführt. Das Thema der Tagung wurde von den 50 Teilnehmern aus 8 Nationen insgesamt als innovativ aufgefasst und bewirkte, dass sich Forscher, Ingenieure und Naturschutzbehörden zu einer konstruktiven Arbeit in Bereichen der Erfassung mariner Säugetiere und Seevögel zusammenfanden (Abbildung 63 und Abbildung 64).

Aufgabenschwerpunkt ist aus Sicht der Deutschen Naturschutzbehörden sicherlich die äußerst aufwendige Zählung von Schweinswalen. Aufgrund der weit vor der Küste Schleswig-Holsteins und Niedersachsens gelegenen Natura 2000 Schutzgebiete der Nordsee ist eine Erfassung durch bemannte Flugzeuge gefährlich und nicht häufig realisierbar.

Aus Sicht der Biologen ergeben sich derzeit mehrere dringend zu klärende Fragestellungen. Insbesondere den Tierarten, die die arktischen und subarktischen Regionen der Erde besiedeln, wurde in der Vergangenheit nur wenig Aufmerksamkeit gewidmet. So wurden z.B. in den Grönland vorgelagerten Eisfeldern lebende Robbenbestände bisher nicht erforscht, werden aber durch den Endangered Species Act der USA geschützt. Durch den Klimawandel existiert insbesondere für diese Arten eine reale Bedrohung in ihrem natürlichen Lebensraum.

Aus Sicht der UAV-Hersteller und technischen Ingenieure, ist die Erforschung von genaueren Methoden zur Erfassung der Lage und der Position der UAVs im Raum vordringlich. Durch die genaue Erfassung der Neigungs- und Rollwinkel können aufgenommene Bilder besser georeferenziert und entzerrt werden. Dies würde auch der Genauigkeit einer Linientranssektzählung zu Gute kommen.

Die Vorträge und Diskussion der Tagung sind in Form einer CD dieser Arbeit beigelegt.

Das Projekt erzielte große Aufmerksamkeit, auch in Zusammenhang mit der Durchführung des Workshops, und fand Erwähnung in Printmedien und Radio.



Abbildung 63: Workshop Remplane



Abbildung 64: Exponat der SWISS UAV GmbH für den Workshop

5.2. Verwendung der Ergebnisse des Projektes

Ein Teil der erhobenen Luftbilder wurde für die Zusammenstellung einer internationalen Datenbank im Rahmen des HELCOM-Abkommens eingereicht. Die Datenbank ist Informationsquelle für alle Ostsee-Anrainerstaaten und wird für weitere internationale Publikationen als Grundlage dienen.

Die Ergebnisse der Vorstudie werden am 20.02.2009 auf der 29. Besprechung der UAV-DACH Working Group in Berlin vorgestellt. Hier besteht die Möglichkeit Kooperationspartner aus dem Bereich der zivilen und militärischen UAV-Hersteller zu treffen und Interesse für zukünftige Projekte zu wecken. Weiterhin wird das Projekt auf der Motodrone 2009 der internationalen open source Weltmeisterschaft autonomer Flugobjekte, im Luftfahrtmuseum Finowfurt in Form eines Vortrages vertreten sein. Hier sollen insbesondere Anwendungsmöglichkeiten von UAVs in zivilen Bereichen aufgezeigt werden.

Durch den Workshop wurde eine Kooperation zwischen dem Deutschen Meeresmuseum und der NOAA begonnen, die zur Durchführung eines weiteren Workshops im Rahmen der zweijährlichen Konferenz der ‚Society for Marine Mammology‘ führen soll. Schwerpunkte der Veranstaltung werden dann die biologischen Anwendungen von UAVs im Bereich der Erfassung mariner Säugetiere, aber auch terrestrischer Fauna liegen. Die Veranstaltung wird in Quebec, Kanada im November 2009 stattfinden.

5.3. Internetseite

Zur Darstellung und Präsentation der Projektergebnisse wurde eine Internetseite auf dem Institutsserver der Universität Rostock etabliert. Die Internetadresse lautet:

<http://www.auf.uni-rostock.de/gg/veranst/UAV/Default.aspx?id=1>

6. Fazit

Die Erfassung von Meeressäugtieren und Seevögeln gerade in küstenfernen Regionen stellt eines der schwierigsten Probleme von Bestandsabschätzungen für Umweltverträglichkeitsprüfungen und des Monitorings von marinen Schutzgebieten dar. Die bisher durchgeführten Surveys sind erfolgreich, können aber nicht alle Fragestellungen beantworten. Methoden der fotografischen Erfassung können zukünftig unterstützend genutzt werden. Die hier vorliegende Studie repräsentiert einen ersten Versuch methodische Ansätze zu entwickeln, aber auch den derzeitigen Stand der Wissenschaft und Technik auszuloten.

Insbesondere die Nutzung von unbemannten Flugzeugen zum Monitoring ist erstrebenswert, da UAVs innerhalb von kürzester Zeit einsatzbereit sind, selbst von kleinen Schiffen startbar sind und durchaus auch größere Lasten tragen können. Für Surveys von küstenfernen Regionen sind Maschinen mit Verbrennungsmotoren einsetzbar, die große Reichweiten und hohe Flugstabilität aufweisen. Um kleinere Meeressäuger auf Luftbildern eindeutig zu klassifizieren ist eventuell der Einsatz mehrerer Sensoren notwendig.

Im Rahmen der Weiterentwicklung der hier vorgestellten Methoden, sollte die Ausnutzung von Synergieeffekten im Vordergrund stehen. So können die derzeit über Nord- und Ostsee durchgeführten Flugzählungen für Schweinswale und Seevögel dazu genutzt werden weiteres Bildmaterial zu sammeln und somit eine größere Datenbasis für die fotografische Erkennung aufzubauen. Hierdurch kann auch überprüft werden, inwiefern Ergebnisse der fotografischen Methode mit denen der Standard-Linientranskterfassung übereinstimmen.

Für die Erfassung von Robben auf Sandbänken sind in naher Zukunft wahrscheinlich keine Observer mehr notwendig. Auch hier können Synergieeffekte genutzt werden. Gleichzeitig

sollten hier aber auch unterschiedliche UAVs getestet werden, da die qualitativen Anforderungen an die Luftbilder vergleichsweise gering sind und somit auch kleine Kameras die Anforderungen erfüllen können.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse des Projektes, dass die Erfassung von Meeressäugtieren, insbesondere von Robben und Seevögeln mit UAVs möglich ist. Die Eignung von UAVs ist vorerst für küstennahe Regionen gegeben. Insofern bietet es sich an, weitere Tests an den Robbenbeständen der Nordsee vorzunehmen.

Die hier vorgestellten technischen Neuerungen, wie z.B. PFIFF Pocket, gewährleisten ein plattformunabhängiges Kamerasystem. So kann die Projektkamera theoretisch mit jedem UAV genutzt werden. Insofern bietet sich für weitere Projekte eine Zusammenarbeit mit den europäischen UAV-Herstellern zum Testen verschiedener Systemkonfigurationen an. So können Helikopter eventuell besser geeignet sein um küstennah zu operieren, da sie zwar geringere Reichweiten, aber eine deutlich bessere Flugstabilisierung als Flugzeuge aufweisen und dementsprechend längere Belichtungszeiten erlauben. Für das küstenferne Arbeiten wird ein Kompromiss zwischen Fluggewicht, Payload und Reichweite benötigt. Die dafür geforderten Eigenschaften werden eher von Flugzeugen erfüllt.

Zur Fortführung der Forschung mit größeren UAVs, die auch außerhalb der Sichtweite des Operateurs eingesetzt werden können, ist unbedingt eine Kooperation mit den Deutschen Behörden notwendig, da diese Einsätze zur Zeit noch nicht genehmigungsfähig sind. Tests die im Rahmen von Experimenten der DFS in diesem Jahr über der Ostsee stattfinden sollen, wären eine gute Gelegenheit um verschiedene UAVs zu testen und zivile UAV-Hersteller stärker in Entwicklungen für marine Einsatzzwecke einzubeziehen.

7. Danksagung

In erster Linie gebührt der Dank der Projektdurchführenden der Deutschen Bundesstiftung Umwelt für tatkräftige Unterstützung des Projektes in inhaltlicher und finanzieller Form. Vielen Dank in diesem Zusammenhang auch an die Verwaltung des Deutschen Meeresmuseum und der Universität Rostock.

Für die vorbereitende Unterstützung des Projektes, ohne die das Projekt nicht zustande gekommen wäre, sei den Kollegen des Bundesamtes für Naturschutz gedankt. Vielen Dank hier auch für das interessierte Verfolgen der Projektfortschritte und hilfreiche Hinweise.

Vielen Dank auch an unseren stets einsatzbereiten Piloten Hans-Werner Subier.

Für die Hilfe beim im Rahmen vom Remplane durchgeführten Workshop vielen Dank an: Ursula Verfuß, Kathrin Krügel, Sylvia Osterrieder, Anja Brandecker, Martin Jabbusch, Anette Hey, Thomas Korth und Anne Hiller gedankt.

8. Literatur

- ADELUNG, D., LIEBSCH, N. UND WILSON, R.P. (2004) MINOS - Seehunde in der deutschen Nordsee und im Wattenmeer: Verbreitung und Verhalten. *Wissenschaftstage des BMU zu Offshore Windenergienutzung - 23.-25.03.2004, Leibniz - Institut für Meereswissenschaften an der Universität Kiel, Berlin*, 5pp.
- AKAMATSU, T., TEILMANN, J., MILLER, L.A., TOUGAARD, J., DIETZ, R., WANG, D., WANG, K., SIEBERT, U. AND NAITO, Y. (2007) Comparison of echolocation behaviour between coastal and riverine porpoises. *Deep-Sea Research Part II* 54, 290-297.
- ANONYMUS (2002) Unmanned Aerial Vehicles Roadmap 2002-2027. Washington D.C., U.S. Department of Defense, 195pp.
- AZAD, P.; GOCKEL, T. UND DILLMANN, R. (2007) Computer Vision: Das Praxisbuch, 317 S., Aachen.
- BERGGREN, P., WADE, P.R., CARLSTRÖM, J. AND READ, A.J. (2002) Potential limits to anthropogenic mortality for harbour porpoises in the Baltic region. *Biological Conservation* 103, 313-322.
- BUCK, G.B., IRELAND, D., KOSKI, W.R., SLIWA, D., ALLEN, T. AND RUSHING, C. (2007) Strategies to improve UAS performance for marine mammal detection. Working Paper SC/59/E2 presented to the International Whaling Commission (IWC) scientific committee, Anchorage, AK, May 2007, 15pp.
- BUCKLAND, S.T., ANDERSON, D.R., BURNHAM, K.P., LAAKE, J.L., BORCHERS, D.L. AND THOMAS, L. (2001) *Introduction to distance sampling*, Oxford.
- CARSTENSEN, J., HENRIKSEN, O.D. AND TEILMANN, J. (2006) Impacts of offshore wind farm construction on harbour porpoises: acoustic monitoring of echolocating activity using porpoise detectors (T-PODs). *Marine Ecology Progress Series* 321, 295-308.
- CHRISTKE, K. (1996) Remote Sensing and GIS-techniques for the evaluation of macrophytes in the Greifswalder Bodden. *Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXI, Part B7, S. 142-145, Wien.
- CRONK, S., FRASER, C.S. AND HANLEY, H. (2006) Automatic calibration of colour digital cameras. *The Photogrammetric Record* 21(116), 355-370.
- DÄHNE, M., HONNEF, C.G., VERFUß, U.K., MEDING, A., ADLER, S. UND BENKE, H. (2007) Endbericht über das Erprobungsvorhaben: Praktische Erprobung eines Schweinswalmonitorings in der Ostsee im Sinne der FFH-Richtlinie. *Deutsches Meeresmuseum, Stralsund*, 50pp.
- DÄHNE, M., ADLER, S., VERFUß, U.K., MEDING, A., HONNEF, C.G. AND BENKE, H. (in prep) Are T-PODs useful for marine protected areas monitoring?
- DIEDERICHS, A., HENNIG, V. AND NEHLS, G. (2008) Investigations of the bird collision risk and the responses of harbour porpoises in the offshore wind farms Horns Rev, North Sea, and Nysted, Baltic Sea, in Denmark, Part II: Harbour porpoises. *Funded by the German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, Final Report (FKZ 0329963 + FKZ 0329963A)*, 96pp.
- EU COUNCIL (1992) Council directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora. 92/43/EEC. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31992L0043:EN:NOT>.

- EU COUNCIL (2004) Verordnung (EG) Nr. 812/2004 des Rates vom 26.04.2004 zur Festlegung von Maßnahmen gegen Walbeifänge in der Fischerei und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 88/98. EU Regulation 812/2004. http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/de/oj/2004/l_150/l_15020040430de00120031.pdf.
- FRASER, C. (1997) Digital camera self-calibration. *ISRPS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 52, 149-159.
- GALLUS, A. UND BENKE, H. (2008) Erprobung eines Bund/Länder-Fachvorschlages für das deutsche Meeresmonitoring von Schweinswalen als Grundlage für die Erfüllung der Natura 2000 - Berichtspflichten mit einem Schwerpunkt in der deutschen AWZ der Ostsee. *Bundesamt für Naturschutz, Insel Vilm, Erster Bericht*, 15-20.
- GILLES, A., HERR H., LEHNERT, K., SCHEIDAT, M. UND SIEBERT, U. (2007) Teilprojekt 2 - Erfassung der Dichte und Verteilungsmuster von Schweinswalen (*Phocoena phocoena*) in der deutschen Nord- und Ostsee (FKZ: 0329946B). *Nationalparkamt Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer, Tönning, 3ter Zwischenbericht*, 19-48.
- GRENDÖRFFER, G. (2006) Praktische Erfahrungen mit dem digitalen Bildflugsystem PFIFF und einer Rollei AIC-45 CIR.- DGPF Jahrestagung 11.-13.9.2006, Berlin, (= Publikationen der DGPF Band 15), 335-342.
- HAMMOND, P. S., BERGGREN, P., BENKE, H., BORCHERS, D.L., COLLET, A., HEIDE-JØRGENSEN, M.P., HEIMLICH, S., HIBY, A.R., LEOPOLD, M.F. AND ØIEN, N. (2002) Abundance of harbour porpoise and other cetaceans in the North Sea and adjacent waters. *Journal of Applied Ecology* 39, 361-376.
- HEIDE-JØRGENSEN, M.P., TEILMANN, J., BENKE, H. AND WULF, J. (1993) Abundance and distribution of harbour porpoises *Phocoena phocoena* in selected areas of the western Baltic and the North Sea. *Helgol Mar Res* 47, 335-346.
- HEIDE-JØRGENSEN, M.P. (2004) Aerial digital photographic surveys of narwhals, *Monodon Monoceros*, in Northwest Greenland. *Marine mammal science*. 20(2). 246-261.
- HENRIKSEN, O.D., CARSTENSEN, J., TOUGAARD, J. AND TEILMANN, J. (2004) Effects of the nysted offshore wind farm construction on harbour porpoises - annual status report for the acoustic T-POD monitoring programme during 2003. Technical report to Energi E2 A/S, Ministry of the Environment, Denmark, 33pp.
- HERR, H., SCHEIDAT, M., GILLES, A. AND SIEBERT, U. (2007) Influence of Vessel density on harbour porpoise distribution in the German North Sea. 17th Biennial Conference on the biology of marine mammals, Cape Town, South Africa.
- HERRMANN, C., HARDER, K. UND SCHNICK, H. (2008) Robben an der Küste Mecklenburg-Vorpommerns: Ergebnisse des Monitorings von Februar 2007 bis Mai 2008. *Naturschutzarbeit in Mecklenburg-Vorpommern* 50(2), 56-71.
- HIBY, L. (1999) The objective identification of duplicate sightings in aerial survey for porpoise. In Garner G.W., Amstrup S.C., Laake J.L., Manly B.F.J., McDonald L.L. and Robertson D.G. (eds) *Marine mammals survey and assessment methods*. Rotterdam, 179-189.
- KAMMINGA, C., ENGELSMA, F.J. AND TERRY, R.P. (1999) An adult-like sonar wave shape from a rehabilitated orphaned harbour porpoise (*Phocoena phocoena*). *Ophelia* 50(1), 35-42.

- KOSKI, W.R., ALLEN, T., IRELAND, D., BUCK, G., SMITH, P.R., MACRANDER, A.M., HALICK, M.A., RUSHING, C., SLIWA, D.J. AND McDONALD, T.L. (2007) Evaluation of an unmanned airborne system for monitoring marine mammals. Working Paper SC/59/E1 presented to the International Whaling Commission (IWC) scientific committee, Anchorage, AK, May 2007, 16pp.
- LAAKE, J.L. AND BORCHERS, D.L. (2004) Methods for incomplete detection at distance zero. In Buckland S.T., Anderson D.R., Burnham K.P., Laake J.L., Borchers D.L. and Thomas L. (eds) *Advanced distance sampling - estimating abundance of biological populations*. New York: Oxford University Press, 108-189.
- LAAKE, J.L., CALAMBOKIDIS, J., OSMEK, S.D. AND RUGH, D.J. (1997) Probability of detecting harbour porpoise from aerial surveys: estimating $g(0)$. *J. Wildl. Manage.* 61(1), 63-75.
- LIEBSCH, N., WILSON, R.P., BORNEMANN, H., ADELUNG, D. AND PLÖTZ, J. (2007) Mouthing off about fish capture: Jaw movement in pinnipeds reveals the real secrets of ingestion. *Deep-Sea Research Part II* 54, 256-269.
- LUCKE, K., LEPPER, P.A., BLANCHET, M-A. AND SIEBERT, U. (2008a) How tolerant are harbour porpoises to underwater sound? In Wollny-Goerke K. and Eskildsen K. (eds) *Marine mammals and seabirds in front of offshore wind energy*. Wiesbaden, 59-77.
- LUCKE, K., LEPPER, P.A., HOEVE, B., EVERAARTS, E., ELK, N.V. AND SIEBERT, U. (2007) Perception of low-frequency acoustic signals by a harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) in the presence of simulated offshore wind turbine noise. *Aquatic Mammals* 33(1), 55-68.
- LUCKE, K., SUNDERMEYER, J., DRIVER, J., ROSENBERGER, T. AND SIEBERT, U. (2008b) Too loud to talk? Do wind turbines related sounds affect harbour seal communication? In Wollny-Goerke K. and Eskildsen K. (eds) *Marine mammals and seabirds in front of offshore wind energy*. Wiesbaden, 95-110.
- LUHMANN, T. (1999) Nahbereichsphotogrammetrie – Grundlagen, Methoden und Anwendungen. 571pp.
- MADSEN, P.T., WAHLBERG, M., TOUGAARD, J., LUCKE, K. AND TYACK, P. (2006) Wind turbine underwater noise and marine mammals: implications of current knowledge and data needs. *Mar Ecol Prog Ser* 309, 279-295.
- MÜLLER, G., LIEBSCH, N., ADELUNG, D. AND WILSON, R.P. (2007) Pitch and Roll - what do they tell us about the diving behaviour of seals? 21st Conference of the European Cetacean Society, San Sebastian, Spain.
- NASSE, H.H. (2008) Wie liest man MTF- Kurven? - 33 S. (=http://www.zeiss.com/C12567A8003B8B6F/EmbedTitelIntern/CLN_30_MTF_de/\$File/CLN_MTF_Kurven_de.pdf)
- NÜTZEL, B. (2008) Untersuchungen zum Schutz von Schweinswalen vor Schockwellen. Bericht der Forschungsanstalt für Wasserschall und Geophysik (unveröffentlicht).
- PALKA, D. (2005a) Aerial surveys in the northwest Atlantic: Estimation of $g(0)$. In: Thomsen, F., Ugarte, F. and Evans, P.G.H. (ed.) *ECS Newsletter No. 44 - Special Issue Vildmarkshotellet at Kolmården Djur Park, Kolmården, Sweden: ECS -18th Annual Conference*, 12-17.
- PALKA, D. (2005b) Shipboard surveys in the northwest Atlantic: Estimation of $g(0)$. In: Thomsen, F., Ugarte, F. and Evans, P.G.H. (ed.) *ECS Newsletter No. 44 - Special*

Issue Vildmarkshotellet at Kolmården Djur Park, Kolmården, Sweden: ECS -18th Annual Conference, 32-37.

- PALKA, D.L. (1993) The presence of ship avoidance during a line transect survey of harbor porpoises in the gulf of Maine. 10th biennial conference on the biology of marine mammals. Galveston, TX, USA.
- PETERSEN, I.K. AND GROOM, G. (2008) Determining abundance and distribution of seabirds by using high-quality aerial photographs. Talk presented at the workshop *Remote Sensing to assess the distribution and abundance of seabirds and marine mammals: Possible future applications for Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)*, Stralsund, Germany.
- SCHEIDAT, M., GILLES, A., KOCK, K.-H. AND SIEBERT, U. (2008) Harbour porpoise *Phocoena phocoena* abundance in the southwestern Baltic Sea. *Endangered species research* preprint, 1-9.
- SHORTIS, M.R., BELLMANA, C.J., ROBSON, S., JOHNSTON, G.J. AND JOHNSON, G.W. (2006) Stability of zoom and fixed lenses used with digital SLR cameras. Proceedings of the Commission V Symposium Image Engineering and Vision Metrology.- IAPRS Volume XXXVI, Part 5, 6pp.
- SIEBERT, U. AND RYE, J.H. (2008) Correlation between aerial surveys and acoustic monitoring. In Wollny-Goerke K. and Eskildsen K. (eds) *Marine mammals and seabirds in front of offshore wind energy*. Wiesbaden, 37-39.
- STEGER, C., ULRICH, M. AND WIEDEMANN, C. (2008) *Machine Vision Algorithms and Applications*, Weinheim, 350pp.
- TEILMANN, J., CARSTENSEN, J., DIETZ, R. AND CLERMONT EDRÉN, S.M. (2005) Aerial Monitoring of seals during construction and operation of Nysted Offshore Wind Farm. *Technical Report to Energi E2 A/S, Ministry of the Environment, Denmark*, 35pp.
- TEILMANN, J., LARSEN, F. AND DESPORTES, G. (2000) Time allocation and diving behaviour of harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) in Danish waters. In Teilmann, J. (Dissertation) *The behaviour and sensory abilities of Harbour Porpoises (Phocoena phocoena) in relation to bycatch in gillnet fishery*. Odense, 39-59.
- TEILMANN, J., SVEEGAARD, S., DIETZ, R., PETERSEN, I.K., BERGGREN P. AND DESPORTES G. (2008a) High density areas for harbour porpoises in Danish waters - NERI Technical Report No 657. *NERI, University of Aarhus*, 42pp.
- TEILMANN, J., TOUGAARD, J. AND CARSTENSEN, J. (2008b) Effects from offshore wind farms on harbour porpoises in Denmark. In: Evans, P. G. H. (ed.) *Proceedings of the ECS Publication Series No. 49*, San Sebastian, Spain: ECS - 21st Annual Conference, 50-59.
- TOUGAARD, J., EBBESEN, I., TOUGAARD, S., JENSEN, T. AND TEILMANN, J. (2003) Satellite tracking of harbour seals on Horns Reef - Use of the Horns Reef wind farm area and the North Sea. *Biological Papers from the Fisheries and Maritime Museum, Esbjerg. No. 3, Denmark*, Technical report to Techwise A/S, 43pp.
- TOUGAARD, J., POULSEN, L.R., AMUNDIN, M., LARSEN, F., RYE, J.H. AND TEILMANN, J. (2006) Detection function of T-PODs and estimation of porpoise densities. *ECS Special Publications* 46, 7-14.

- TREGENZA, N.J. (1998) Site acoustic monitoring for cetaceans - a self-contained sonar click detector. In Tasker M.L. and Weir C. (eds) *Proceedings of the Seismic and Marine Mammals Workshop London (23-25 June 1998)*. London: Sea Mammal Research Unit, 1-5.
- VERFUß, U.K., HONNEF, C.G., MEDING, A., DÄHNE, M., ADLER, S., KILIAN, A. AND BENKE, H. (2008) The history of the German Baltic Sea harbour porpoise acoustic monitoring at the German Oceanographic Museum. In Wollny-Goerke K. and Eskildsen K. (eds) *Marine mammals and seabirds in front of offshore wind energy*. Wiesbaden, 41-56.
- VERFUß, U.K., HONNEF, C.G., MEDING, A., DÄHNE, M., MUNDRY, R. AND BENKE, H. (2007) Geographical and seasonal variation of harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) presence in the German Baltic Sea revealed by passive acoustic monitoring. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 87, 165-176.
- VERFUß, U.K., KOTZIAN, S., RYE, J.H., KINZELBACH, R. AND BENKE, H. (2002a) Testing TPODs, a new automated cetacean echo-location click logger with click timing for its applicability. *Hindås, Sweden*.
- VERFUß, U.K., MEDING, A. AND BENKE, H. (2006) The echolocation behaviour of harbour porpoises and its implications for T-POD studies. *ECS Special Publications* 46, 39-40.
- VERFUß, U.K., MILLER, L.A. AND SCHNITZLER, H.-U. (2005) Spatial orientation in echolocating harbour porpoises (*Phocoena phocoena*). *The Journal of Experimental Biology* 208, 3385-3394.
- VERFUß, U.K. AND SCHNITZLER, H.-U. (2002b) F+E Vorhaben: Untersuchungen zum Echoortungsverhalten der Schweinswale (*Phocoena phocoena*) als Grundlage für Schutzmaßnahmen. *Eberhard Karls University of Tübingen, Dept. of animal physiology, Tübingen*, Final report, FKZ-Nr.: 898 86 021, 53pp.

8.1. Projektbezogene Veröffentlichungen

- DÄHNE, M., VERFUß, U.K., ADLER, S., MEDING, A., HONNEF, C.G., BRÄGER, S. AND BENKE, H. (2008) What can static acoustic monitoring (SAM) achieve for marine protected areas (MPA) monitoring – results and power analysis of a five-year study on harbor porpoises in the German Baltic Sea. *Proceedings of the 22nd Conference of the European Cetacean Society in Egmond, Netherlands*.
- DIEDERICHS, A., NEHLS, G., DÄHNE, M., ADLER, S., KOSCHINSKI, S. AND VERFUß, U.K. (2008) Methodologies for measuring and assessing potential changes in marine mammal behaviour, abundance or distribution arising from the construction, operation and decommissioning of offshore windfarms. Report to COWRIE Ltd, UK, ISBN: 978-0-9557501-2-0, 90pp.
- GRENDÖRFFER, G., ENGEL, A. AND JÜTTE, K. (2008) Low-cost UAV's in der Land- und Forstwirtschaft – Eine vergleichende Untersuchung von zwei Mini-UAV's. *DGPF-Jahrestagung 23.-26.04.2008, Oldenburg*, 27-36.
- GRENDÖRFFER, G. UND ENGEL A. (2008) Eine vergleichende Untersuchung von zwei Micro-UAV's. *Perspektiven für die aktuelle und kostengünstige Geoinformationsgewinnung.- GIS 1/2008*: 17-25.
- GRENDÖRFFER, G.; ENGEL, A. AND TEICHERT, B. (2008) The photogrammetric potential of low-cost UAV's in forestry and agriculture. *Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXVII, Part B1, 1207-1214.

(http://www.isprs.org/congresses/beijing2008/proceedings/1_pdf/206.pdf)

GRENZDÖRFFER, G. AND DÄHNE, M. (2009) Airborne remote sensing and UAV's for marine mammal monitoring. 29th EARSeL Symposium: Imagin(e/g) Europe. Greece (eingereicht).

WEGNER, T. UND GRENZDÖRFFER, G. (2008) Der PDA als elegantes Werkzeug von der Bildflugplanung zum Bildflug.- In Clemen, C. (Hrsg.): Entwicklerforum Geoinformationstechnik 2008, Berlin, 43-53.

8.2. Projektbezogene Vorträge

DÄHNE, M., VERFUß, U.K., ADLER, S., MEDING, A., HONNEF, C.G., BRÄGER, S. AND BENKE, H. (2008) What can static acoustic monitoring (SAM) achieve for marine protected areas (MPA) monitoring – results and power analysis of a five-year study on harbor porpoises in the German Baltic Sea. Talk given at 22nd Conference of the European Cetacean Society in Egmond, Netherlands.

DÄHNE, M., VERFUß, U.K., GALLUS, A., GRENZDÖRFFER, G. AND BENKE, H. (2008) Harbour porpoises and seals in the German Baltic Sea – Issues of monitoring marine mammals. International Workshop on „Remote sensing to assess the distribution and abundance of seabirds and marine mammals. Possible applications for Unmanned Aerial Vehicles (UAV's)" 20.11.2008, Stralsund.

GRENZDÖRFFER, G. (2008) Eine vergleichende Untersuchung von zwei Micro-UAV's und deren Anwendung in Land- und Forstwirtschaft, 7.3.2008, Institut für Raumfahrtssysteme, Universität Stuttgart.

GRENZDÖRFFER, G. (2008) Low-cost UAV's in der Land- und Forstwirtschaft.- 25.4.2008, DGPF-Jahrestagung, Oldenburg.

GRENZDÖRFFER, G. (2008) The photogrammetric potential of low-cost UAV's in forestry and agriculture 10.7.2008, XXI - ISPRS Congress, Peking.

GRENZDÖRFFER, G. (2008) Using UAV's for marine mammal monitoring within the project „Remplane" International Workshop on „Remote sensing to assess the distribution and abundance of seabirds and marine mammals. Possible applications for Unmanned Aerial Vehicles (UAV's)" 20.11.2008, Stralsund.

GRENZDÖRFFER, G. (2008) Autonome, unbemannte Flugzeugfernerkundung für die Umweltforschung, 26.11.2008, Geographisches Kolloquium an der Universität Bamberg, Bamberg.

TOUGAARD, J., TEILMANN, J., KYHN, L.A., AMUNDIN, A., DESPORTES, G., DÄHNE, M., POULSEN, L.R., RYE, J.H., LARSEN, F., WISZ, M.S. AND TREGENZA, N. (2008) Absolute densities of porpoises from static acoustic monitoring with T-PODs. DECAF Workshop: Density estimation from passive acoustics, Paris, 29.06.2008.

WEGNER, T. (2008) Der PDA als elegantes Werkzeug von der Bildflugplanung zum Bildflug.- 25.7.2008, Entwicklerforum Geoinformationstechnik 2008, Berlin.