

Rehkitzrettung: Einsatz eines UAV mit Thermalkamera zur Ortung von Wildtieren

Masterarbeit im Studiengang [Geomatik und Planung](#) der [ETH Zürich](#)



[Startseite](#)

[Problematik](#)

[Ausgangslage](#)

[Grundidee der Auswertung](#)

[Umsetzung in Matlab](#)

[Testflug und Resultate](#)

[Kontakt](#)

Kontakt

Autor

[Daniel Bani](#)

Die hier angegebene Mailadresse des Autors ist voraussichtlich bis Ende 2011 gültig. Wenden Sie sich mit Fragen an die Betreuer.

Betreuer

[Pascal Theiler](#)

[Dr. Henri Eisenbeiss](#)

Links

[Eidgenössische Technische Hochschule Zürich](#)

[Institut für Geodäsie und Photogrammetrie](#)

[Geodätische Messtechnik und Ingenieurgeodäsie](#)



Problematik

Verhalten von Rehkitzzen

Jeden Frühsommer werden in der Schweiz ca. 2'000 Rehkitzze durch Mähmaschinen getötet. Obschon die zwischen Mitte Mai und Mitte Juni geborenen Jungtiere bereits wenige Stunden nach der Geburt gehen können, verbringen sie die ersten Lebenswochen meist in eingerollter Bauchlage verborgen am Boden liegend. Die Rehgeiss setzt ihre Kitzze jeweils für mehrere Stunden in einer hohe Wiese ab, worauf sich die Kitzze selbständig verstecken.

Diese Verhaltensweise dient der effizienten Feindvermeidung und schützt gleichzeitig vor unnötigen Energieverlusten durch Fluchten. Da Rehkitzze in den ersten Lebenswochen so gut wie keinen Eigengeruch haben und durch ihr bräunliches Fell mit weissen Tupfern bestens getarnt sind, bleiben sie im hohen Gras vor Raubtieren geschützt. Bei Gefahr, wahrgenommen in Form von Bewegungen, Lärm oder fremden Gerüchen, zeigen Rehkitzze bis zu einem Alter von drei bis acht Wochen kein Fluchtverhalten, sondern bleiben selbst vor herannahenden Mähmaschinen regungslos und geduckt in Deckung liegen.

Entstehende Probleme

Für die Fahrer moderner Mähmaschinen mit Fahrgeschwindigkeiten bis zu 20 km/h sind versteckte Rehkitzze in aller Regel unsichtbar. Die getöteten und verstümmelten Rehkitzze sind in dreierlei Hinsicht problematisch. Zum einen sollte das bei Mensch und Tier durch das Vermähen eines Kitzes verursachte Leid aus moralischen Gründen verhindert werden. Zum andern sind getötete Kitzze eine wirtschaftliche Gefahr, können doch Giftstoffe aus Rehkitzkadavern das Viehfutter verunreinigen und die Leistung von Milchkühen beeinträchtigen. Zu guter Letzt kann ein bereits als Kitz getötetes Reh später nicht bejagt werden.

Bisherige Lösungsansätze

Bislang wird versucht, Rehkitzze durch das sogenannte Verblenden zu vertreiben oder mittels verschiedener Suchmethoden vor der Mahd aufzuspüren und zu retten.

Beim Verblenden werden am Vortag der Grasernte Objekte im Feld platziert, die Rehgeissen stören und mitsamt dem Nachwuchs vertreiben sollen. Zum Einsatz kommen Baustellenlampen, Radios, Fahnen aus Bettlaken oder Müllsäcken, Luftballons oder abschreckende Duftstoffe. Die Installation muss am Vorabend der Mahd erfolgen. Das längerfristige Verblenden eines Feldes ist nicht möglich, da sich Rehe schnell an fremde Objekte gewöhnen.

Ist das Verblenden aus zeitlichen oder organisatorischen Gründen nicht möglich, kann das Feld unmittelbar vor dem Mähen manuell abgesucht werden. Dazu sind entweder speziell ausgebildete Jagdhunde oder aber eine grössere Personengruppe notwendig, die das Feld in dichten Reihen abschreitet und nach Kitzzen Ausschau hält. Gefundene Kitzze werden, etwa in einer Holzkiste am Feldrand oder im nahen Wald, in Sicherheit gebracht.

Der manuellen Suche ähnlich ist die Suche mittels Infrarot-Wildretter. Die Augen eines menschlichen Suchtrupps werden dabei durch zehn Infrarotdetektoren ersetzt. Diese sind an einem fünfeinhalb Meter langen, horizontalen Teleskopbalken aus Aluminium montiert. Das Gerät mit einem Gesamtgewicht von 5kg wird von einer Person über das Feld getragen. Die batteriebetriebenen Infrarotsensoren registrieren die gegenüber dem Untergrund erhöhte Wärmestrahlung eines Rehkitzes und alarmieren den Träger akustisch.

Neuer Lösungsansatz

Die vorgestellten Methoden zum Vertreiben oder Aufspüren und Retten von Rehkitzzen sind für die auf Geschwindigkeit ausgelegte moderne Landwirtschaft zu ineffizient und werden deshalb nicht flächendeckend angewandt. Erste Untersuchungen haben ergeben, dass die Ortung von Rehkitzzen aus der Luft unter Einsatz einer Thermalkamera vielversprechende Ergebnisse liefert. Dieser Ansatz wird in der hier vorgestellten Masterarbeit weiterverfolgt.



Im Gras verborgenes Rehkitz



Infrarot-Wildretter im Einsatz

Ausgangslage

Idee

In einem neuen Ansatz sollen Rehkitzen unter Einsatz eines Unmanned Aerial Vehicle (UAV) mit daran montierter Thermalkamera aus der Luft geortet werden. Die dafür benötigten Instrumente und Gerätschaften werden in diesem Abschnitt vorgestellt.

Thermalkamera

Alle Objekte mit einer Temperatur über dem absoluten Nullpunkt von -273 °C geben elektromagnetische Strahlung an ihre Umwelt ab. In welchem Wellenlängenbereich das Maximum der abgegebenen Strahlung liegt, wird durch die Temperatur des Körpers bestimmt. Die Sonne mit einer Temperatur von ca. $5\cdot 600\text{ °C}$ gibt vor allem Strahlung im Bereich des sichtbaren Lichts ab und sorgt so für das vom Menschen wahrgenommene Tageslicht. Bei auf der Erde üblichen Umgebungstemperaturen senden Objekte vor allem Strahlung im Bereich des langwelligen Infrarots aus. Die dabei abgegebene Energie ist wesentlich geringer als etwa die der heissen Sonne, so dass sie nur durch hochempfindliche Detektoren registriert werden kann. In einem Thermalbild können warme Objekte, die mehr Infrarotstrahlung aussenden (z.B. Rehkitze) von kühleren Objekten mit schwächerer Infrarotstrahlung (z.B. Wiese) unterschieden werden.

Die Thermalkamera *Tau 640* des amerikanischen Herstellers *FLIR* nimmt elektromagnetische Strahlung im Wellenlängenbereich des langwelligen Infrarots von $7.5 - 13.5\text{ }\mu\text{m}$ auf. Sie zeichnet mit einer Bildrate von $8\frac{1}{2}\text{ Hz}$ Thermalbilder von 640×512 Pixel und 8 bit Farbtiefe auf und gibt diese als Analogvideo aus. Eine Möglichkeit zur internen Datenspeicherung besteht nicht. Es handelt sich bei der *FLIR Tau 640* um einen sogenannten Kamerakern ohne eigene Bedien-, Anzeige- oder Speichereinheit, der zur Integration in Systeme wie Maschinen oder Fahr- und Flugzeuge vorgesehen ist. Durch die Reduktion der Kamera auf den für die eigentlichen Thermalaufnahmen notwendigen Teil ist sie äusserst kompakt und leicht, was den Einsatz auf einem UAV überhaupt erst möglich macht.

Unmanned Aerial Vehicle

Begriff Unmanned Aerial Vehicle (UAV) bezeichnet ein nicht bemanntes, wiederverwendbares und motorisiertes Luftfahrzeug. Dieses kann durch eine Fernsteuerung gelenkt werden oder autonom navigieren. Das UAV-System *Falcon 8* des deutschen Herstellers *Ascending Technologies* besteht aus dem gleichnamigen Flugobjekt, der Fernbedienung sowie der Steuersoftware *AscTec AutoPilot*.

Beim Flugobjekt handelt es sich um ein Multirotorsystem mit acht elektrisch angetriebenen Rotoren, das wie ein Helikopter senkrecht startet und landet, einen sogenannten Oktokopter. Der *Falcon 8* ist hauptsächlich für die Luftbildfotografie mit Kompaktkameras ausgelegt und daher mit einer neigungskompensierenden Kamerahalterung ausgerüstet. Pro Akku beträgt die Flugzeit des *Falcon* zwischen 16 und 18 Minuten.

Flugmanöver des *Falcon* werden einzig durch die unterschiedlichen Drehgeschwindigkeiten der Rotoren gesteuert. Komponenten wie Leitwerke oder Heckrotoren existieren nicht. Dadurch ist das System mechanisch äusserst einfach aufgebaut, erfordert für die Fluglageregelung aber eine ausgeklügelte Steuerlogik, die aus der aktuellen Fluglage des Systems und den Steuerbefehlen des Piloten in rascher Abfolge die notwendige Geschwindigkeit für jeden einzelnen Motor errechnet. Die Fluglage der *Falcons* wird durch ein Trägheitsnavigationssystem, Magnetfeldsensoren, einen barometrischen Höhenmesser sowie einen GPS-Empfänger ermittelt.

Die Software *AscTec AutoPilot* erlaubt die vollständige Steuerung des fliegenden Oktokopters an einem per USB-Kabel mit der Fernbedienung verbundenen Laptop. Über einem Orthofoto als Hintergrund kann durch Wegpunkte ein beliebiger Flugpfad definiert werden, den der *Falcon* anschliessend autonom abfliegt. Der Pilot an der Fernbedienung muss nur noch in Notfällen sowie für Start und Landung eingreifen.



Thermalkamera FLIR Tau 640



Thermalbild einer Kuhherde



Oktokopter AscTec Falcon 8



Steuersoftware AscTec AutoPilot

Grundidee der Auswertung

Direkte Georeferenzierung

Das von der Thermalkamera im Flug aufgenommene Analogvideo wird zur Bodenstation gefunkt, mittels Framegrabber digitalisiert und auf einem Laptop gespeichert. Mit einem geeigneten Algorithmus werden Rehkitze in den Thermalbildern als helle Flecken automatisch detektiert.

Die von den Sensoren des Falcon ermittelten Positions- und Lagedaten werden während des Fluges aufgezeichnet und für eine direkte Georeferenzierung der Bilder verwendet. Zusammen mit den Lagedaten des Falcons definieren die Bildkoordinaten eines Rehkitzes einen nach Ort und Richtung definierten Sichtstrahl im Raum.

Monoplotting

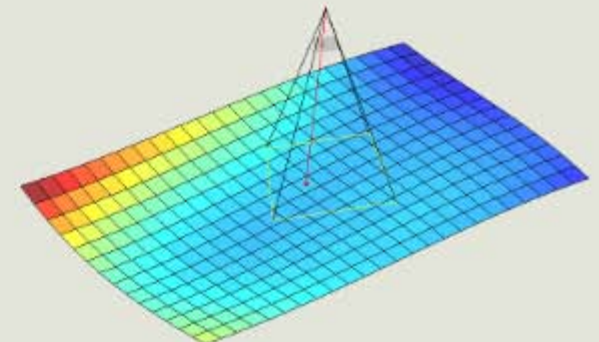
Aus einzelnen Geländepunkten wird durch Approximation ein Geländemodell abgeleitet. Die dazu verwendeten Geländepunkte können mit einem GNSS-Empfänger eingemessen werden oder aus beliebigen anderen Quellen stammen.

Der von einem detektierten Rehkitz ausgehende Sichtstrahl wird mit dem digitalen Geländemodell geschnitten, ein Vorgang der in der Fotogrammetrie Monoplotting genannt wird. Es resultieren die dreidimensionalen Koordinaten des Kitzes. Dieser Schritt wird für sämtliche detektierten Rehkitze wiederholt.

Für die Suche im Feld werden die Koordinaten aller Rehkitze auf ein günstiges GNSS-Handgerät übertragen. UAV und Thermalkamera werden für eigentliche Rettung des Rehkitzes nicht mehr benötigt.



Rehkitzrettung mit UAV und Thermalkamera



Schneiden von Sichtstrahl und Geländemodell

Umsetzung in Matlab

Zweck und Aufbau der Matlabanwendung

Für die Datenauswertung der von UAV und Thermalkamera gelieferten Daten im Sinne der vorgestellten Grundidee wurde eine Matlabanwendung programmiert. Im Fenster des zentralen Hauptprogramms wählt der Anwender die zu verarbeitenden Datensätze bzw. Dateien aus und ruft danach sequentiell alle Teilschritte der Auswertung auf, die im Folgenden vorgestellt werden.

Geländeapproximation

Aus einzelnen Geländepunkten wird im Unterprogramm *Geländeapproximation* eine Approximationfläche dritter Ordnung berechnet. Die Parameter, die die Form der zu bestimmenden Fläche definieren, während in einer Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmt. Die Summe der quadrierten Höhenabweichungen von gemessenen Geländepunkten zur ausgeglichenen Fläche wird so minimiert.

Die resultierende Fläche wird dem Anwender zusammen mit den gemessenen Punkten als dreidimensionales Gittermodell angezeigt. Zusätzlich wird in einem Textfeld die Wurzel der mittleren quadratischen Höhenabweichung (Root Mean Square Error) als Qualitätsmass für die Angepasstheit des Geländemodells ausgegeben.

Synchronisierung

Im Unterprogramm *Synchronisierung* (ohne Bild) werden Lagedaten des Falcons und Thermalbilder zeitlich synchronisiert und für jedes Einzelbild interpolierte Lagedaten errechnet. Als Synchronisationssignal zur Herstellung des bislang unbekanntes Zeitbezuges zwischen Bild- und Lagedaten dienen charakteristische Schwenks der Kameralhalterung. Diese werden vor und nach dem Bildflug durchgeführt und sind sowohl in den Bilddaten wie auch in den Lagedaten erkennbar. Für jedes Einzelbild des Thermalvideos wird der Aufnahmezeitpunkt errechnet und aus den alle 0.5 s erfassten Lagedaten die genaue Position und Orientierung des Falcon zum Aufnahmezeitpunkt interpoliert.

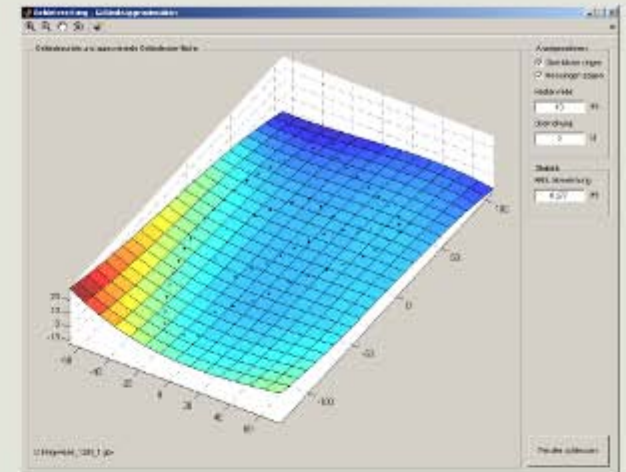
Detektion

Die Suche von Rehkitzen in den Thermalbildern erfolgt im Unterprogramm *Video und Detektion*. Ein Schieberegler erlaubt es, zu beliebigen Einzelbildern des Videos zu springen und in diesen durch Klick ins Infrarotbild manuell Rehkitze zu markieren. Ein Suchalgorithmus ermöglicht aber auch die automatische Erkennung von hellen Flecken bzw. Rehkitzen. Vom Originalbild wird dazu eine weichgezeichnete Version subtrahiert. Das resultierende Bild enthält nur noch kleine Objekte, die heller sind als ihre Umgebung. Dieses Bild wird wiederum in ein Schwarz-Weiss-Bild umgewandelt. Für alle weissen Pixelgruppen im entstehenden Bild werden Kenngrößen wie Fläche oder Helligkeit im Originalbild berechnet und mit den vom Nutzer festgelegten Grenzwerten verglichen. Die Schwerpunkte von Pixelgruppen, die sämtliche Kriterien für eine Klassifizierung als Rehkitz erfüllen, werden für die Weiterverarbeitung gespeichert.

Clusteranalyse und Wegpunktexport

Die von den Rehkitzkandidaten in allen Bildern ausgehenden Aufnahmestrahlen ergeben, geschnitten mit dem Geländemodell, eine dreidimensionale Punktwolke. Aussichtsreiche Kandidaten manifestieren sich in dieser als dichtere Ansammlungen. Im Unterprogramm *Clusteranalyse und Wegpunktexport* wird mittels des Algorithmus DBSCAN nach solchen Ansammlungen oder Clustern gesucht. Die Parameter, mit denen bestimmt wird, ab welcher Dichte eine Ansammlung von Punkten als Cluster gilt, können vom Anwender verändert werden.

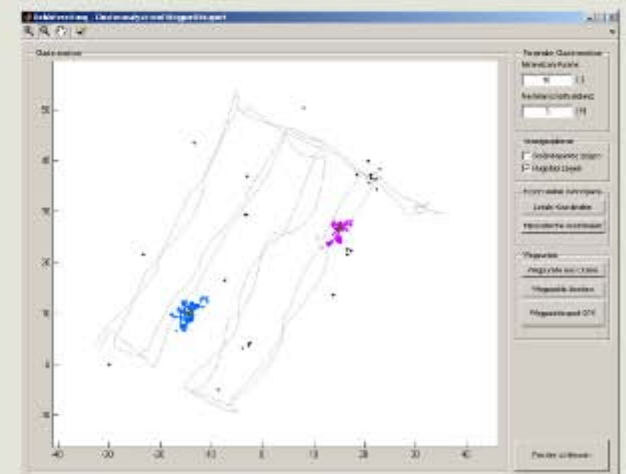
Für jeden Cluster wird eine Mediankoordinate errechnet, die als wahrscheinlichste Position des durch den Cluster repräsentierten Rehkitzes gilt. Diese Koordinate wird später als Wegpunkt für die Suche im Feld auf ein GNSS-Handgerät übertragen. Der Anwender kann durch Klick in die zweidimensionale Clusterdarstellung manuell Wegpunkte hinzufügen und entfernen.



Approximation des Geländemodells



Detektion von Rehkitzen in Thermalbildern



Clusteranalyse und Wegpunktexport

Testflug und Resultate

Versuchsaufbau

Um eine Aussage über die Genauigkeit der vom vorgestellten System ermittelten Rehkitzkoordinaten machen zu können, wurde ein Testflug über Zieltafeln mit bekannten Koordinaten durchgeführt.

Als Ziele wurden 16 kreisrunde, blanke Aluminiumplatten mit einem Durchmesser von 30 cm verwendet. Diese reflektieren hauptsächlich den kalten Himmel und sind in Thermalbildern als schwarze Punkte erkennbar. Die Platten wurden in einem regelmässigen Raster von vier mal vier Platten ausgelegt. Die Lagekoordinaten der Platten entsprechen den Lagekoordinaten der in der Flugplanung verwendeten Wegpunkte. Die Absteckung und anschliessende Wiedereinmessung der Plattenpositionen erfolgte mit einem geodätischen GNSS-Empfänger unter Nutzung des Echtzeitpositionierungsdienstes swipos-GIS/GEO. Die so ermittelten Koordinaten haben eine Genauigkeit von wenigen Zentimetern und werden für die weitere Auswertung als fehlerfrei betrachtet. Sie bilden den wahren Wert oder die Sollkoordinate, mit der die später ermittelten Rehkitzpositionen verglichen werden.

Die Flugplanung erfolgte in der zum Falcon gehörenden Steuersoftware AscTec AutoPilot. Definiert wurde – wie in der Fotogrammetrie üblich, ein Streifenflugmuster, das in diesem Fall vier Streifen umfasst. Die Flughöhe wurde auf 30 m, die Querüberdeckung auf 60 % festgelegt. Das definierte Flugmuster wurde zweimal abgeflogen. Jeder Streifenflug nahm ungefähr 90 Sekunden reine Flugzeit in Anspruch.

Die Auswertung erfolgte vollumfänglich mit den beschriebenen Matlabanwendungen. Die Aluplatten wurden zunächst mit dem automatischen Detektionsalgorithmus gesucht. Anschliessend wurden in sämtlichen Thermalbildern nicht detektierte Aluplatten manuell hinzugefügt und falsch detektierte Punkte entfernt.

Resultate

Das Endresultat der Auswertung, die Mediankoordinaten aller Cluster, wurde mit den Sollkoordinaten der Aluplatten verglichen. Die errechneten Lageabweichungen sind in nachfolgender Tabelle aufgeführt:

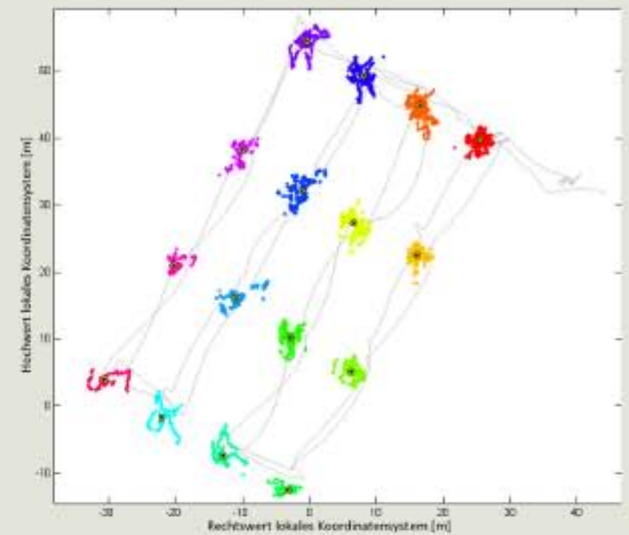
	Flug 1	Flug 2	Flug 1 + 2
Root Mean Square Error	1.96 m	1.62 m	1.81 m
Maximale Lageabweichung	2.82 m	2.32 m	2.82 m
Minimale Lageabweichung	0.91 m	0.58 m	0.58 m

Werden die Abweichungen in einer zweidimensionalen Grafik betrachtet, so fällt auf, dass beinahe alle mittels Oktokopter ermittelten Koordinaten in südlicher und westlicher Richtung von den Sollkoordinaten abweichen, ungefähr jener Richtung, die der Falcon während des gesamten Fluges als Orientierung inne hatte. Diese Abweichung ist eindeutig systematisch und auf bislang unberücksichtigte Fehlereinflüsse zurückzuführen.

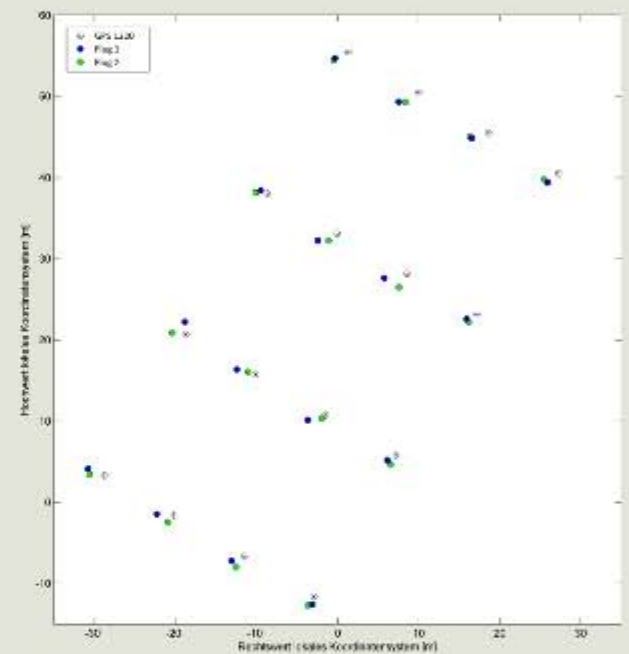
Welche Genauigkeitssteigerung durch die Elimination sämtlicher systematischer Fehlereinflüsse möglicherweise erreicht werden könnte, soll eine einfache Abschätzung zeigen. Es wird angenommen, dass die Summe aller systematischen Fehlereinflüsse auf die Lage zeitlich konstant als Mittelwert (2D-Vektor) der oben beschriebenen Lageabweichungen modelliert werden kann. Nach Abzug dieses Vektors verbleiben die in nachfolgender Tabelle aufgeführten Abweichungen.

	Flug 1 + 2
Root Mean Square Error	0.98 m
Maximale Lageabweichung	2.42 m
Minimale Lageabweichung	0.18 m

Der Root Mean Square Error wird um Faktor 1.8 von 1.81 m auf 0.98 m reduziert. Die verwendete Abschätzungsmethode berücksichtigt nicht die tatsächliche, komplexe Entstehungsweise der systematischen Fehler – dennoch wird das vorhandene Potential für Genauigkeitssteigerungen durch Elimination systematischer Fehlereinflüsse deutlich aufgezeigt.



Flugpfad, Cluster und Mediankoordinaten Testflug



Vergleich Mediankoordinaten mit Sollkoordinaten