

Abbildung 3: Frequenz und Phasengang des geregelten Hochdrucksystems zur Beurteilung des Regelungsentwurfs. Das nichtlineare Hochdrucksystem wird durch ein Set linearisierter Modelle repräsentiert.

eine Teststrecke konstruiert worden, welche einen grossen Teil der erwarteten Fertigungsanlagen nachbilden kann und folglich reale Lastverläufe im gewünschten Arbeitsbereich erzeugt.

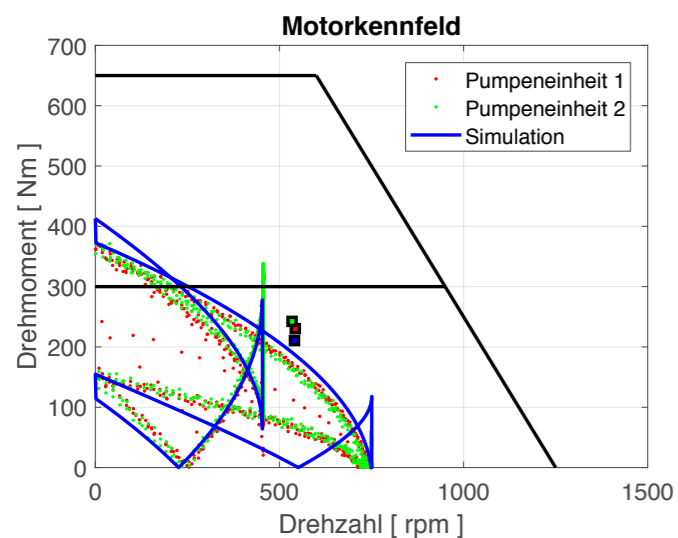


Abbildung 4: Simuliertes und gemessenes Lastspiel dargestellt im Motorkennfeld bei einem Arbeitspunkt von 3200 bar Hochdruck und einer Fördermenge von 2.1 l/min.

Messungen über einen grossen Arbeitsbereich zeigen einen Wirkungsgrad des Antriebsstranges von über 90%. Dieses Resultat kann nur über eine modellbasierte Antriebsdimensionierung erreicht werden, indem Referenztrajektorien unter Berücksichtigung der Motorkennlinie integral optimiert werden. Abbildung 4 vergleicht die zur Antriebsdimensionierung simulierte Drehmoment- und Drehzahlverlauf eines Arbeitspunktes mit dem effektiv gemessenen Lastspiel.

Ausblick

In der langjährigen Zusammenarbeit mit Jet Cut Power und Zaugg Maschinenbau ist die Entwicklung einer energieeffizienten Hochdruckpumpe von der Vision über ein Funktionsmuster bis zum Serienmuster begleitet worden. Die neue Pumpentechnologie erlaubt die anwendungsspezifische Dimensionierung beliebiger Fertigungsanlagen aus modularen Einheiten. Für diesen Zweck wird das Simulationsmodell in ein Auslegetool integriert.

Das Simulationsmodell ist zudem erweitert worden, um Fertigungsanlagen als verteilte Systeme abzubilden. Diesbezüglich wird die dezentrale Regelung von mehreren verteilten Pumpeneinheiten untersucht. Die bestehende lokale Regelung einer einzelnen Hochdruckpumpe ist zunächst am Prüfstand weiter zu verifizieren. Im Anschluss sind Feldversuche geplant.

Projektteam

Stefan Niederberger, Wissenschaftlicher Mitarbeiter und Doktorand, stefan.niederberger@fhnw.ch
 Jean-Paul John, Master Student und Wissenschaftlicher Assistent, Weiterentwicklung des Hochdruckpumpenprüfstands
 Pascal Zeugin, Master of Science in Engineering MSE, Wissenschaftlicher Assistent, Regelung und Verifizierung der Linearaktuatoren

Generische Flug-Plattform mit unterschiedlichen Sensoren zur Detektion von Landminen

Das grösste Problem bei der Suche nach Landminen ist das Betreten der betroffenen Gebiete und damit verbunden die grossen Gefahren. Ein neuer Ansatz versucht diese Situation mit einem unbemannten Luftfahrzeugsystem (UAV Unmanned Flight Vehicle) in Kombination mit unterschiedlichsten Sensoren zu umgehen.

Dieses System soll das vermutlich vermintete Gebiet in einer zuvor berechneten Flugroute abfliegen und dabei eine zentimetergenaue Ortung der vorhandenen Minen durchführen, um die Kosten für eine intensive manuelle Suche nach Landminen zu senken und gleichzeitig die Gefahren für die daran beteiligten Personen zu minimieren.

Heinz Eichin



Zielsetzung

Von Anfang 2016 bis Ende 2017 arbeiteten Hochschule und Universität Ulm zusammen mit der Fachhochschule Nordwestschweiz gemeinsam an einer Lösung zum Auffinden von Landminen in aktuellen und ehemaligen Krisengebieten. Finanziert wurde die wissenschaftliche Arbeit von der Urs Endress Stiftung, die sich der Entwicklung von modernen Suchgeräten zum Auffinden von Minen, Blindgängern und weiteren Waffen verschrieben hat.

Nach diesem ersten Projektschritt mit einer Implementierung eines Mustersystems basierend auf GPR-Sensorik (Ground Penetrating Radar) konnte aufbauend darauf eine Plattform zum Einsatz unterschiedlichster Sensoren an einer UAV geschaffen werden (Abbildung 1).

Dabei lag der Fokus auf einer hoch modularen generischen Plattform mit weitgehend kommerziell verfügbaren Kom-

ponenten, die unabhängig von der Flugplattform und der unterhalb des Flugsystems montierten Sensoren und Aktoren unterschiedlichste Aufgaben übernehmen kann.

Die so konzipierte generische Sensorplattform besteht aus mehreren modular aufeinander abgestimmten Subsystemen:

Single Board Computer (SBC)

Als zentrales Teilsystem kommt ein Single Board Computer (SBC) zur zeitsynchronen Erfassung und Synchronisation aller auf dem System zu integrierenden Sensordaten und Messwerte zum Einsatz. Nur wenn die Positionsdaten der UAV exakt mit den aktuellen Sensordaten übereinstimmen oder der Versatz exakt berechenbar ist, kann eine Mine zentimetergenau erfasst werden.

Der SBC ist ein handelsübliches Produkt der Firma Phytec Messtechnik, ein phyBOARD-Zeta, das in Geräten zum Ein-

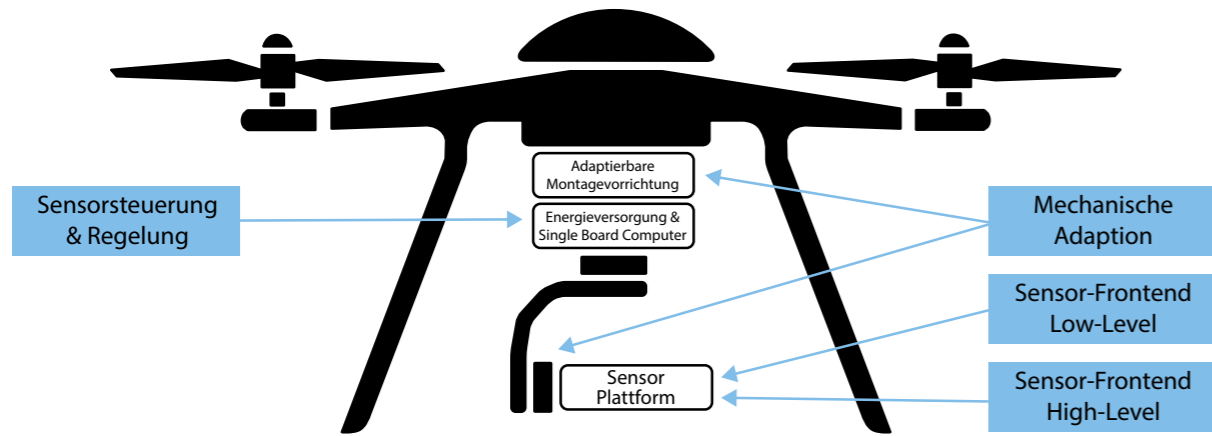


Abbildung 1: Generische Plattform

satz kommt, bei denen viele unterschiedliche Schnittstellen und Energieeffizienz eine hohe Priorität haben.

Als mechanische Adaption zum Fluggerät werden standardisierte Schraubverbindungen verwendet, die einen schnellen Austausch der gesamten Plattform von der UAV ermöglichen und damit eine hohe Verfügbarkeit des Systems im Betrieb auch nach Schadenfällen oder Defekten gewährleisten.

Auch die Sensoren verfügen über eine eigene Adaption, die den Austausch von Sensorapplikationen in kürzester Zeit ermöglichen. Speziell für das bisher verwendete GPR-System wurde ein mechanischer Aufbau mit einem Gimbal verwendet, der für die Regulierung der Radar-Antennen in ihrem Winkel zur Flugrichtung und zum Boden zuständig ist.

Flugsystem

Als kostengünstiges Flugsystem wird eine modifizierte, kommerziell erhältliche UAV von DJI S1000 mit einem Pixhawk-Flugregler mit Firmware von ArduCopter verwendet (Abbildung 2). UAV zusammen mit dem Flugregler werden von der Messplattform nicht beeinflusst; es bestehen keinerlei Datenverbindungen zwischen den Systemen. Dadurch wird die Stabilität des Flugsystems nicht durch die Sensorik beeinflusst und ein modularer Aufbau des Systems gewährleistet.

Ausgewählte Spezifikationen der UAV (Abbildung 2):

- Verwendung von Standardkomponenten
- Nutzlast 4-5 kg
- programmierbarer Flugregler mit Autopilot
- operative Flugzeit > 30 Minuten
- hohe Positions- und Orientierungsgenauigkeit im cm-Bereich
- regelbare Gimbal
- EMV-Stabilität gegenüber Radar-Sensoren

Genauigkeit der Positionierung und Orientierung der UAV

Abhängig von der notwendigen hohen Genauigkeit kommt ein kostenoptimiertes RTK-GPS-System (RTK Real Time Kinematic) zum Einsatz (Abbildung 3). RTK ist ein Verfahren der Geodäsie zum Ausmessen oder Abstecken von Punkten mit Hilfe von satellitengestützten Navigationssystemen



Abbildung 2: Flugsystem

mit einer sich stationär auf dem Boden befindlichen Basisstation und der auf der UAV montierten Rover-Antenne. Dieses RTK-System verarbeitet die empfangenen GNSS-Signale (GNSS Global Navigation Satellite System) und berechnet die Position mit einer hohen Genauigkeit im Zentimeterbereich.

Beide Empfänger sammeln und speichern die Signale während der Messung. Die Basisstation sendet ihre empfangenen Signale per Funk an den Rover auf der UAV.

Nach Erhalt des korrigierten Signals erwartet der fahrende Rover, dass die kleinen Positionssprünge für den Rover identisch sind und berechnet die genaue Position.

RTK – principles (Real-time-kinematic)

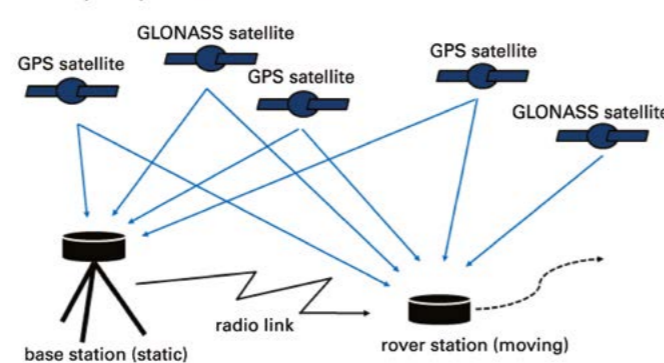


Abbildung 3: RTK-Prinzipbild

Durch die online-Signalverarbeitung auf dem Hauptrechner und der Nachbearbeitung der Daten konnte eine sehr hohe relative Genauigkeit der Positionierung erreicht werden.

Energieversorgung und Wireless Access

Die Energieversorgung der gesamten Sensor-Plattform wird durch eigene Akkumulatoren und Spannungsregler gesichert; auch hier besteht im Sinne der notwendigen hohen Verfügbarkeit des Fluggeräts absolut keine Verbindung zwischen den beiden Systemen.

Die Statusmeldungen über die Ladung der Akkus sowie weitere Statusmeldungen des Systems werden über eine Remote-Verbindung mittels LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) zum Bedientableau des Bedieners kommuniziert (Abbildung 4).

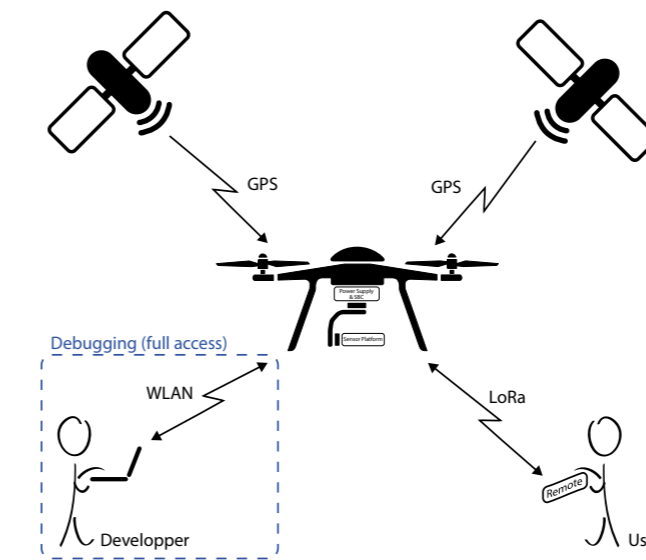


Abbildung 4: GPS und Remote-Zugriff

Eine zweite Wireless-Verbindung über WLAN ermöglicht es den Entwicklern, über eine SSH (Secure Shell) auf die Plattform zugreifen zu können. Diese Verbindung ist allerdings nur für die Entwicklungsphase vorgesehen.

Timing und Auslösung (Triggerung) der Messung

Jeder Sensor besitzt eine ihm zugeteilte Trigger-Schnittstelle, über die die Messung automatisch über eine Software auf dem SBC oder per Remote-Zugriff ausgelöst werden kann. Für die Korrelation von Flugbahn und Ort der Messung über die Sensorik musste das System entsprechend optimiert werden. Vergeht zwischen dem Zeitpunkt t_1 , dem Moment der Zeitanforderung vom GPS, und dem Zeitpunkt t_2 , dem Moment der Sensormessung eine Zeitverschiebung, so wird diese durch eine Verschiebung des Messfensters zum Ortsfenster als Δt oder Δs sichtbar.

Auf der Sensorplattform konnte diese Zeitverschiebung durch eine optimierte Datenerfassung bzw. Speicherung und einem Real-Time Embedded Linux-Kernel soweit minimiert werden, dass die erforderlichen Genauigkeiten im Versatz zwischen Flugbahn und Messfenster für eine

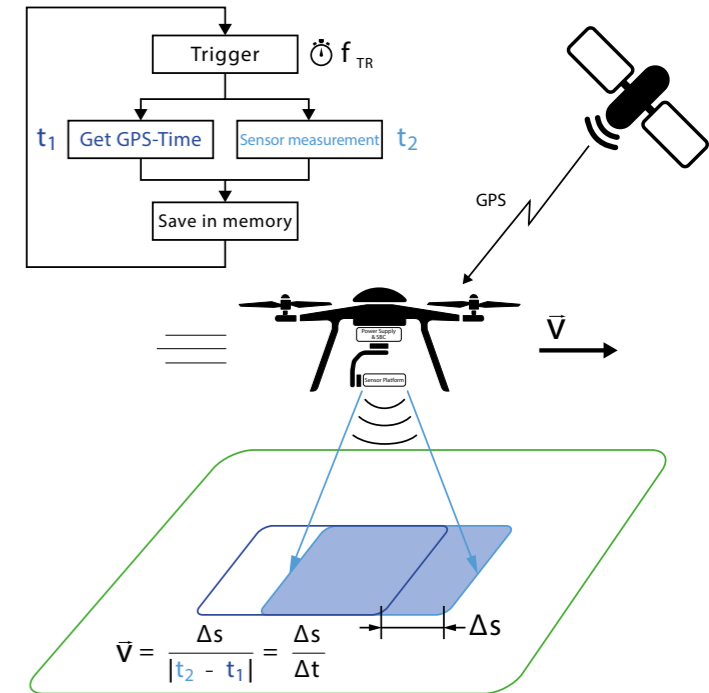


Abbildung 5: Messung Zeitverschiebung

maximale Geschwindigkeit von 3m/s eingehalten werden konnten (Abbildung 5). Dieser sehr kleine Versatz ist für die Nachbearbeitung der Messdaten eine wesentliche Voraussetzung.

Gesamtsystem

Das Gesamtsystem (Abbildung 6) besteht aus den vorgestellten einzelnen Teilsystemen, die im Zuge der Entwicklung so eingebunden und optimiert wurden, dass sie problemlos und beherrschbar interagieren.

Different systems work together:



Abbildung 6: Gesamtsystem

Flug- und Missionsplanung

Abhängig von den verschiedenen Sensorsystemen (GPR, bildbasierte Sensoren, Gasdetektoren, etc.) sind unterschiedliche Flugplanungen notwendig und erforderlich. Deshalb wurde eine Missionsplanungssoftware programmiert und implementiert, die die Wegpunkte in Abhängigkeit von einem berechneten Höhenmodell und unter Ausschluss von Hindernissen wie Gebäuden, Sträucher oder Bäumen berechnet. Dabei gehen die verwendeten Sensoren und deren Eigenheiten ebenso in die Flugplanung mit ein (Abbildung 7 & 8).

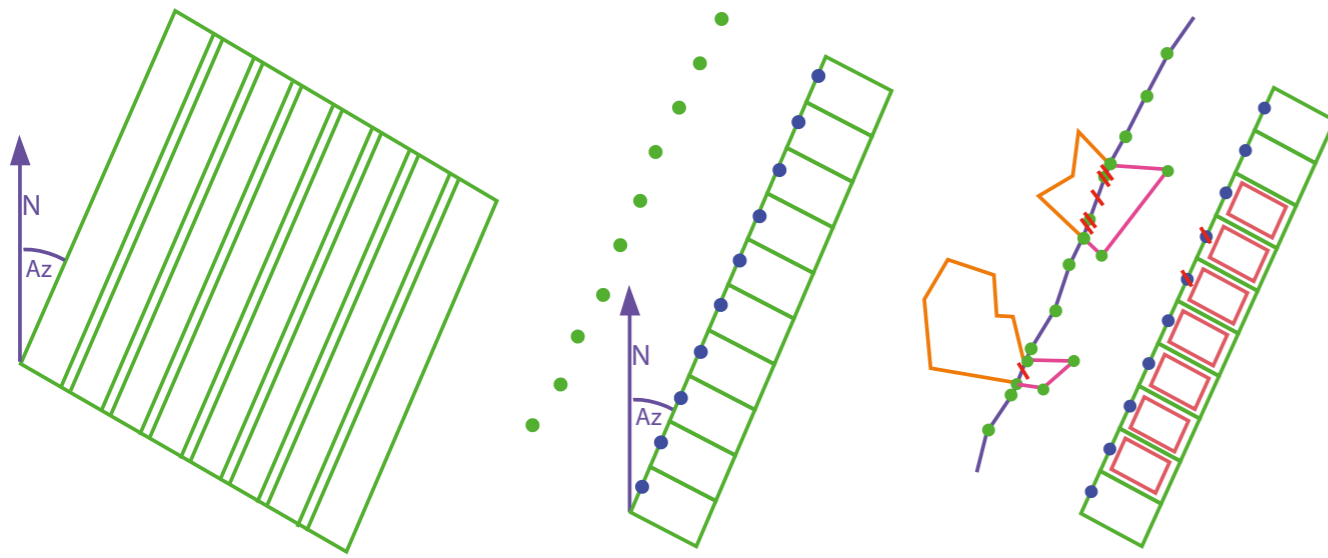


Abbildung 7: Flug- und Missionsplanung

Für den speziellen Flugplan wird mit einem Gitter über dem zu betrachtenden Gebiet begonnen, welches in Quadrate unterteilt ist. Abhängig von der Steigung wird der Seitenabstand für jedes Quadrat geändert.

Danach prüft ein Algorithmus, ob Hindernisse wie Bäume, Gebäude oder Fahrzeuge vorhanden sind. Alle diese Informationen gehen in das digitale Geländemodell DSM (Digitale Surface Model) ein.

Zuletzt berechnet der Algorithmus den optimalen Winkel des Gimbals für die genauen Anstellungswinkel der Sensorik.

Diese Tätigkeiten wurden federführend vom Institut für Geomatik an der Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik an der FHNW in Muttenz entwickelt und implementiert.

Detection flight depends on terrain, sensor and sensor geometry!

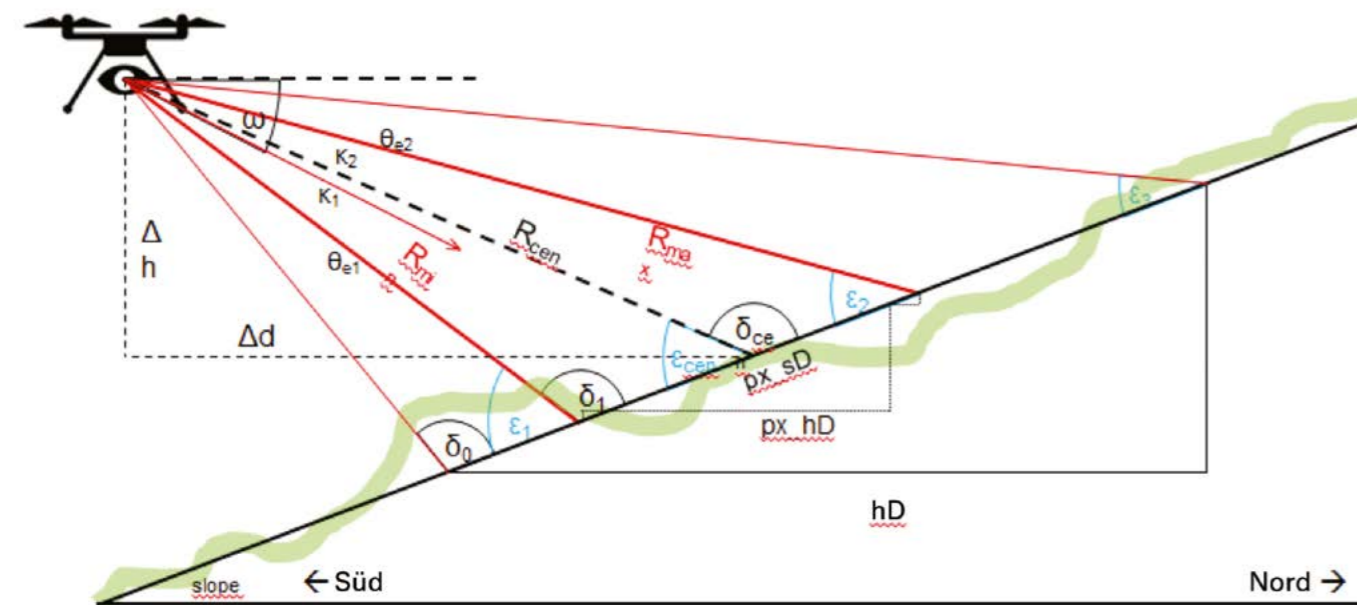


Abbildung 8: Berechnung von Flugbahn und Winkel

Die in Abbildung 9 dargestellte Prozesskette zeigt einen kompletten Zyklus bei der Suche von Landminen in belasteten Gebieten. Am Anfang der Prozesskette stellt sich immer die Frage: Handelt es sich beim betrachteten Gebiet um ein minenfreies Gebiet? Muss diese Frage mit nein beantwortet werden, wird in die Prozesskette eingestiegen. Zunächst wird ein Basisflug mit einer auf einer UAV montierten Kamera über das Gebiet durchgeführt und daraus ein Digitales Geländemodell DSM sowie ein Orthophotomosaik berechnet.

Abhängig von den Sensoren werden verschiedene Flugplanungswerkzeuge benötigt, um den Flugweg für den realen Erkennungsflug in niedrigen Höhen zu berechnen.

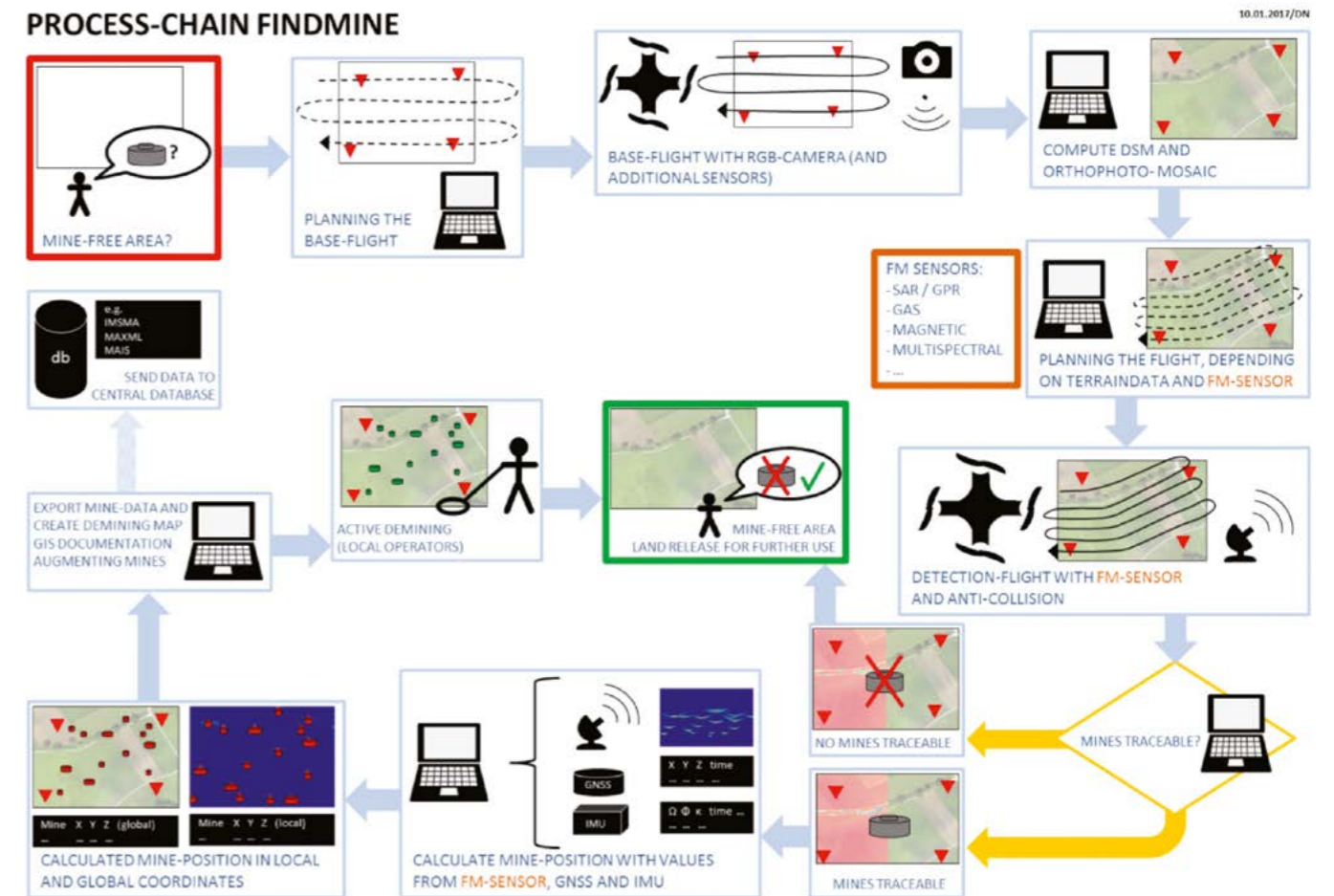


Abbildung 9: Prozesskette bei der UAV-gestützten Minensuche

Konnten Minen nachvollziehbar mit plausiblen Ortsdaten gefunden werden, werden die berechneten Minenpositionen in einem lokalen und einem globalen Koordinatensystem berechnet. Die globalen Daten werden in zentrale Datenbanken exportiert, die lokalen Daten bilden die Grundlage für die Minenräumung und werden als Karte für die lokalen De-Miner ausgedruckt.

Stand des Projektes

Ein Mustersystem mit der GPR-Hardware aus Ulm auf der UAV der FHNW liegt funktionsfähig vor und wird im weiteren Projektverlauf extern weiterentwickelt.

Die neue generische Plattform kann zusammen mit den Spezialisten am Institut für Automation an der Hochschule für Technik und am Institut für Geomatik an der Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik in kürzester Zeit an unterschiedliche UAV und Sensortechnologien angepasst und verwendet werden. Ebenso sind Applikationen zur Probenentnahme oder für mechanische Tätigkeiten denkbar.

Alle Schnittstellen zu den heute bekannten Sensor- und Aktor-Technologien sind definiert und in der Software umgesetzt. Die Implementation weiterer Schnittstellen sind durch das universelle Phytex-Board jederzeit möglich.

Industriepartner

Urs Endress Stiftung, Arlesheim

Projektteam am IA

Basil Ruch, Masterstudent und wissenschaftlicher Assistent, basil.ruch@fhnw.ch
 Lukas Ostgen, Masterstudent und wissenschaftlicher Assistent, lukas.ostgen@fhnw.ch
 Prof. Heinz Eichin, Projektleiter HT, heinz.eichin@fhnw.ch