



Abschlussbericht

Projekttitel:

Weiterentwicklung eines Drohnen-Geomagnetik-Systems zur Detektion militärischer Altlasten im Boden

Aktenzeichen: 35708/01
Firma: ASDRO GmbH
Projektbeginn: 1. September 2020
Laufzeit: 15 Monate

Datum: 26. Oktober 2021
Ort: Oberhausen

Autoren: Alexander Weyer, Patrick Lendle,
Julian Beautemps, Malin Chrzon

Inhalt

Kurzfassung des Berichts.....	3
Anlass und Zielsetzung des Projekts	5
Eingesetzte Technik.....	7
<i>Geomagnetik</i>	7
<i>Multispektral</i>	8
<i>Radar</i>	9
<i>Das Drohnen-Geomagnetik-Messsystem</i>	11
Meilensteine und Entwicklung.....	13
<i>Entwicklung einer UXO-Dipol-App</i>	13
<i>Testmessung</i>	14
<i>Automatische Detektion magnetischer Anomalien</i>	15
<i>Weiterentwicklung des MagSurv-Systems</i>	17
<i>Entwicklung einer Flugplanungssoftware</i>	19
<i>Verbesserung von Start, Landung und Flugeigenschaften</i>	20
<i>Leuchturnprojekt zur Entwicklung eines Quantengradiometers</i>	21
Betreuung von Abschlussarbeiten	23
<i>Einfluss von unterirdischen Gasleitungen auf Ernteerträge</i>	23
<i>Konzeptionelle Aufarbeitung von Startup-Gründungsprozessen</i>	25
<i>Drohngestützte Analyse von Hochwasserereignissen</i>	25
Öffentlichkeitsarbeit und Kooperationen	28
Fazit	31
Ausblick	33

Abbildungen

Abbildung 1 Exemplarischer Ausschnitt einer Geomagnetikkarte.....	8
Abbildung 2 Funktionsprinzip von boden- und luftgestütztem Bodenradar	10
Abbildung 3 Das entwickelte Messsystem mit Drohne und Magnetometer	11
Abbildung 4 Die von ASDRO entwickelte UXO-Dipol-App	14
Abbildung 5 Orthofoto und Geländemodell der Testbefliegung	15
Abbildung 6 Oben: Automatische Leitungsdetektion	16
Abbildung 7 Projekt-Lageplan mit den Ergebnissen einer Geomagnetik-Befliegung. .	17
Abbildung 8 Messsystem im Einsatz auf einer Testfläche in Duisburg	18
Abbildung 9 Flugplanungssoftware zur Detektion von befliegbaren Bereichen.....	19
Abbildung 10 Multispektral-Aufnahme einer landwirtschaftlichen Fläche	24
Abbildung 11 Übersicht der zu untersuchenden Hochwassergebiete	27
Abbildung 12 Messestand der ASDRO GmbH auf der "Husum Wind 2021"	29

Kurzfassung des Berichts

Im Rahmen des DBU-geförderten Projektes „Weiterentwicklung eines Drohnen-Geomagnetik-Systems zur Detektion militärischer Altlasten im Boden“ steht die Fortentwicklung der Hard- und Software der von ASDRO entwickelten Messsysteme im Fokus. Die Drohnen-Geomagnetik-Methode zur Detektion von metallischen und leitfähigen Materialien im Untergrund wird durch eine voll-automatisierte Flugsteuerung, eine Korrektur der Sensor-Pendelbewegung und die Verlängerung der Flugdauer verbessert und effizienter gestaltet. Durch Testmessungen auf Truppenübungsplätzen wird die Einsetzbarkeit des Systems anschließend umfangreich erprobt. Software-seitig wird die Flugplanungs- und Auswertungssoftware durch Automatisierungsprozesse verbessert. Unter anderem wird die bestehende „MagSurv“ Software weiterentwickelt um zukünftig auf Basis der Magnetikdaten voll-automatisiert Infrastrukturen und Objekte in den Daten zu identifizieren. Für eine verbesserte Zuordnung von Magnetfeld-Anomalien wird zudem eine UXO-Dipol-App entwickelt, die die theoretischen Felder unterschiedlicher Kampfmittel visualisiert.

An der Weiterentwicklung der Systeme wird auch im Rahmen von drei Masterarbeiten geforscht, die von ASDRO betreut werden. Unter anderem wird mit Hilfe von Multispektralkameras an Drohnen der Einfluss von Pipelines auf den Ernteertrag erforscht, die Startup-Gründungsphase von ASDRO konzeptionell

aufgearbeitet und eine drohnengestützte Analyse von Hochwasserereignissen entwickelt.

Nach Beendigung des DBU Projektes im Jahr 2022 sind weitere Entwicklungsfortschritte geplant. Für das bestehende Drohnen-Geomagnetik-System wird an einem Wasserstoff-Antrieb gearbeitet, der eine längere Flugzeit garantieren soll und umweltschonender ist. Zudem soll die Positions- und Tiefenbestimmung detektierter Objekte verbessert werden. Darüber hinaus soll ein Drohnen-Georadar-System entwickelt werden, um auch nicht-metallische Objekte detektieren zu können. Die weiterentwickelten und neuen Systeme sollen anschließend bei einem Projekt in Albanien umfangreich erprobt werden.

Anlass und Zielsetzung des Projekts

Mehr als sieben Jahrzehnte nach Ende des Zweiten Weltkriegs sind die Kriegsaltslasten in Form von Blindgängern, Landminen, Granaten oder Projektilen noch immer nicht vollständig aus der deutschen Landschaft beseitigt. Viele nicht detonierte Kampfmittel aus dieser Zeit bergen nach wie vor hohe Explosionsrisiken und bedrohen so die allgemeine Sicherheit, beispielsweise während Erd- oder Tiefbaumaßnahmen oder Offshore-Bauprojekten. Alleine in den deutschen Seegebieten befinden sich Schätzungen zufolge noch ca. 1.800.000 Tonnen Kriegsaltslasten, davon etwa 1.300.000 Tonnen in der Nordsee und ca. 300.000 Tonnen in der Ostsee¹.

Zur Detektion von Kampfmitteln und Altslasten wird das Verfahren der Geomagnetik als Gradienten- und Totalfeldverfahren seit Jahren zuverlässig eingesetzt. Wichtig sind dabei genaue Sensordaten, die Verortung und die anschließende Auswertung.

Die beiden Gründer der Firma ASDRO, Alexander Weyer und Julian Beutemps (geb. Wessel), forschten während ihres Studiums der Geophysik an der Universität Münster an der Integration geophysikalischer Sensorik an Drohnen. Ihre Erkenntnisse flossen danach in die erfolgreiche Entwicklung eines drohnengestützten Messsystems

¹ <https://dfabgmbh.de/wp-content/uploads/FT12/0312.pdf> ; Kampfmittelsondierung unter Wasser; Fachtagung Kampfmittelsondierung des Bundes Deutscher Feuerwerker und Wehrtechniker; 2012

zur geomagnetischen Vermessung von Flächen. Die Entwicklung umfasste sowohl den hardwareseitigen Bau einer Drohne mit Sensorik, als auch eine Auswertungssoftware, die neben den gängigen Filtertechniken auch eine Bewegungskompensation des Magnetfeldes und eine genaue Verortung der Messsignale miteinschließt.

Luftgestützte Messverfahren haben den großen Vorteil, dass sie nahezu unabhängig von der Beschaffenheit des Geländes eingesetzt werden können. Insbesondere Messverfahren, für die eine flächendeckende Datensammlung notwendig ist, sind für luftgestützte Anwendungen geeignet. So können sehr große Flächen innerhalb kürzester Zeit beflogen werden. Luftgestützte geophysikalische Messverfahren werden vor allem per Flugzeug, Helikopter, Zeppelin oder Ballon durchgeführt. Dabei kann eine große Anzahl unterschiedlicher Messmethoden verwendet werden. Drohnen sind seit einiger Zeit in der Lage, unterschiedliche Messsysteme zu tragen.

Im DBU Projekt soll das System verbessert und die Software angepasst werden. Außerdem soll durch Testmessungen auf Truppenübungsplätzen die Einsetzbarkeit des Systems demonstriert werden.

Hardwareseitig wird während der DBU Förderung an den Problemstellungen Flugdauer, Pendelkorrektur und Flugsteuerung gearbeitet. In einer weitergreifenden Entwicklung soll der Einsatz einer Brennstoffzelle mit Wasserstoff geprüft werden. Der Einsatz von Wasserstoff ist wesentlich umweltschonender und verspricht eine längere Flugzeit. Im dritten Quartal 2021 soll an der Implementierung eines Drohnen-Georadar-Messsystems gearbeitet werden.

Softwareseitig wird an der Inversion der gesammelten Daten gearbeitet. Die Ergebnisse der Arbeit flossen bereits in die Entwicklung einer UXO-Dipol-App ein, die das theoretische Magnetfeld unterschiedlicher Kampfmittel anzeigt. Dies dient zum einen der Evaluation, welche Kampfmittel tatsächlich detektiert werden können und ist zum anderen eine Überprüfungsmethode für die gemessenen Anomalien.

Eingesetzte Technik

Für die in diesem Bericht beschriebenen Messungen werden die folgenden geophysikalischen Verfahren und Messinstrumente zur Untersuchung des Untergrundes und von Oberflächen angewandt.

| *Geomagnetik*

Bei der Geomagnetik handelt es sich um ein so genanntes passives geophysikalisches Verfahren. Hierbei wird die Veränderung der Stärke des magnetischen Feldes vor Ort gemessen. So führt ein ferromagnetischer Störkörper im Untergrund dazu, dass sich das Magnetfeld um den Körper herum ändert. Diese Änderung kann mit einem Magnetometer an der Oberfläche oder in einem Bohrloch detektiert werden. Bei der Auswertung der Messdaten können Störkörper dann als Anomalien identifiziert werden.

Abbildung 1 zeigt einen exemplarischen Ausschnitt einer Geomagnetikkarte einer durchgeführten Geomagnetik-Messung mittels Drohne. Eine geomagnetische Anomalienkarte beschreibt Abweichungen vom natürlichen Erdmagnetfelds, ausgelöst durch eisenhaltige Objekte im Untergrund. Solche Magnetfeldänderungen sind als Dipole in der Karte erkennbar und werden im Zuge einer geophysikalischen Auswertung objektspezifisch markiert und nummeriert. Wie stark eine Änderung des Magnetfeldes ausfällt, hängt vor allem von der Größe des Körpers und von der Entfernung zum Ort der Messung, also zur Sensorik des Magnetometers, ab.

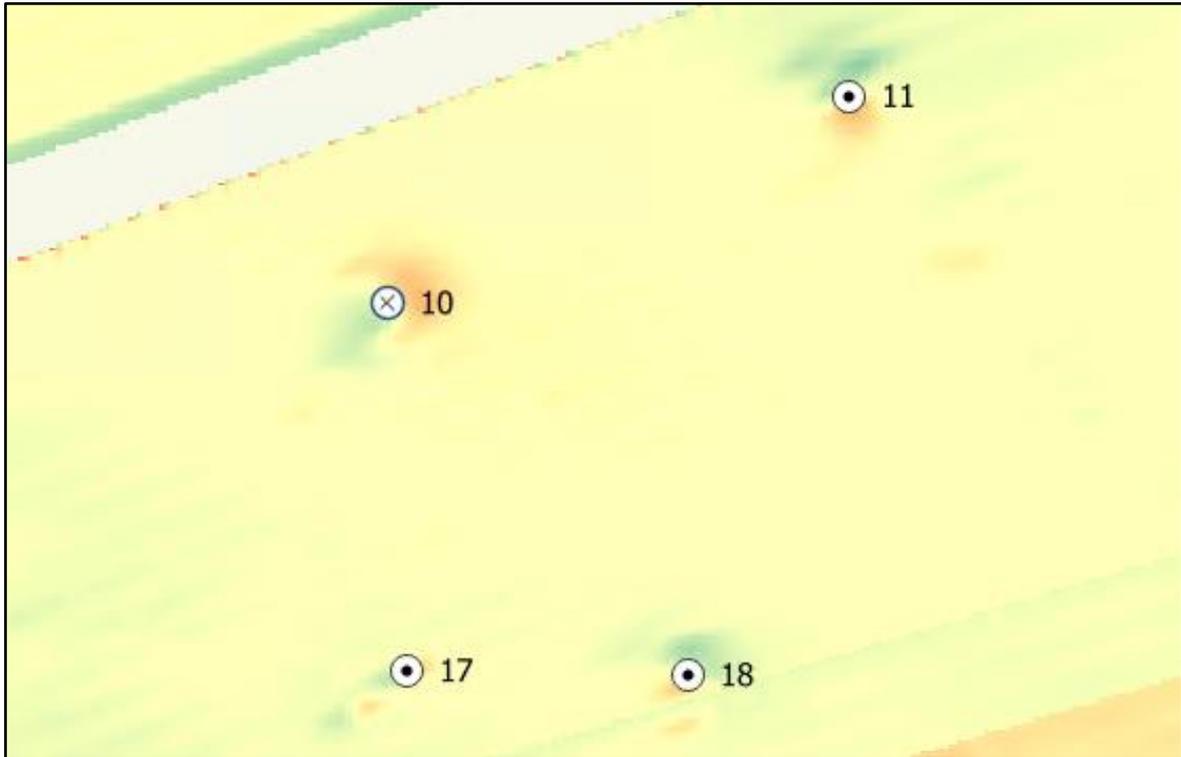


Abbildung 1 Exemplarischer Ausschnitt einer Geomagnetikkarte eines Drohnen-Geomagnetik-Projektes. Geomagnetische Anomalien sind als Dipole erkennbar und werden im Zuge der geophysikalischen Auswertung objektspezifisch markiert und nummeriert.

| Multispektral

Mit Hilfe von Multispektralkameras ist es möglich, Vegetationsanalysen durchzuführen. Multispektralkameras sind Lichtbildsensoren, welche grünes, rotes und nahes infrarotes Licht aufnehmen. Somit werden bei dieser Methode Bilddatensätze verwendet, welche aus mehreren Spektralkanälen bestehen und Informationen über die Wellenlängen reflektierter Lichtstrahlung liefern. Multispektralkameras können während Drohnenflügen eingesetzt werden und verfügen über fünf Aufnahmekanäle in folgenden Spektralbereichen:

- Blau (434 – 466 nm)
- Grün (544 – 576 nm)
- Rot (634 – 666 nm)
- Red Edge (714 – 746 nm)

- Nahes Infrarot (814 – 866 nm)

So können beispielsweise in Bezug auf Vegetationsanalysen Indizes, wie z.B. der Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), erstellt werden, welche das aufgenommene Farbspektrum von Pflanzen beschreiben. Der mögliche Wertebereich des NDVI liegt zwischen -1 und 1. Pixel mit einem NDVI größer 0,1 lassen auf Vegetation an der betrachteten Stelle schließen, Pixel mit einem negativen NDVI weisen auf eine (nahezu) vegetationslose Fläche hin. Der NDVI ergibt sich aus den aufgenommenen Wellenlängen wie folgt:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{Nahes Infrarot} - \text{Rot}}{\text{Nahes Infrarot} + \text{Rot}}$$

Für die Auswertung der Messdaten gilt allgemein: Je höher der NDVI einer vegetationsbedeckten Fläche, desto grüner und vitaler ist diese.

| Radar

Mit einem Bodenradar können Hohlräume und geologische Schichtgrenzen im Boden detektiert werden. Dies geschieht durch die Entsendung elektromagnetischer Strahlung in den Untergrund und den anschließenden Empfangs des an Objekten und Schichtgrenzen reflektierten Strahlungsanteils. Dadurch können, im Gegensatz zur Geomagnetik-Methode, nicht nur ausschließlich eisenhaltige Objekte, sondern beispielsweise auch geologische Schichtgrenzen oder Objekte aus Kunststoff lokalisiert werden. Dadurch ist die Methode vor allem für die Erkundung von Flächen sinnvoll, auf denen die Drohnen-Geomagnetik aufgrund zu großer magnetischer Störeinflüsse nicht angewendet werden kann. Bodenradar-Messungen werden bisher hauptsächlich bodengestützt und seltener luftgestützt per Helikopter durchgeführt. Abbildung 2 zeigt das Funktionsprinzip des Bodenradars anhand von boden- und luftgestützten Messverfahren.

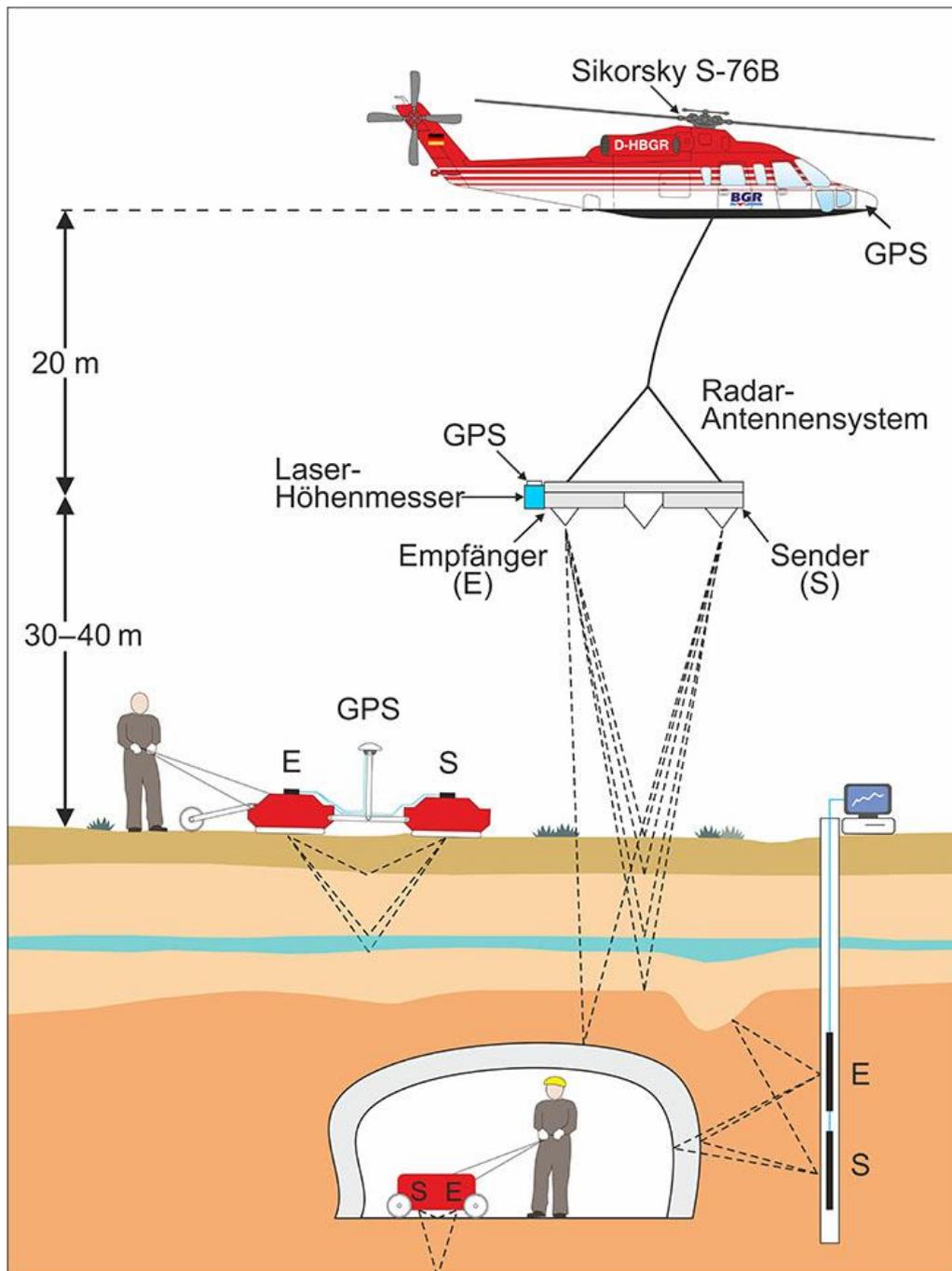


Abbildung 2 Funktionsprinzip von boden- und luftgestützten Bodenradar-Messsystemen.
 Quelle: www.bgr.bund.de ; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.

Da die bodengestützten Methoden zeitaufwändiger und Helikopter-gestützte Messungen deutlich kostenintensiver sind, verspricht eine Anwendung der Methode mit Hilfe von Drohnen großes Zukunftspotential.

Für eine erfolgreiche Entwicklung eines solchen Messsystems müssen unterschiedliche Problemstellungen, wie z.B. die hohen Verluste der Strahlungsintensität aufgrund des fehlenden Bodenkontaktes, sowie Streuungseffekte, ausgelöst durch umliegende Objekte an der Oberfläche, bearbeitet werden. Erste Entwicklungsschritte sind für Ende 2021, erste Testmessungen für 2022 geplant.

Das Drohnen-Geomagnetik-Messsystem

Das von ASDRO entwickelte Drohnen-Messsystem besteht aus einem spezialangefertigten Oktokopter und einem ultraleichten, lasergepumptem Cäsium-Dampf-Totalfeldmagnetometer.



Abbildung 3 Das entwickelte Messsystem mit Drohne und abgehängtem Magnetometer im Testeinsatz.

Um die Sensorik von elektromagnetischen Störeinflüssen der Drohne zu schützen, wurde das Instrument durch eine Aufhängung 3 Meter unterhalb der Drohne

angebracht. Abbildung 3 zeigt das Messsystem mit Drohne und Magnetometer im Testeinsatz. Die Auflösung beträgt 0,25 nT im Flug, bei einer Positionsgenauigkeit von wenigen Zentimetern und Eindringtiefen bis zu 5 Metern.

Im Gegensatz zu herkömmlichen bodengestützten Messverfahren können durch die Drohnen-Methode sowohl unbegehbare Gebiete wie z.B. Wasserflächen, kontaminierte Flächen oder bei Schräglage als auch deutlich größere Flächen in kürzerer Zeit untersucht werden. Durch das System sind Flächenleistungen bis zu 10 Hektar pro Tag möglich.

Für den erfolgreichen Einsatz des Messsystems ist zusätzlich zur Hardware auch die Entwicklung und praktische Umsetzung der Software entscheidend. Dazu gehören u.a. die Korrektur der Pendelbewegungen des Magnetometers, die Kompensation magnetischer Störfelder aufgrund von ferromagnetischen Bauteilen des Flugsystems oder die Implementierung von Inversionsverfahren zur zuverlässigen Evaluierung von magnetischen Anomalien. Zu diesem Zweck wurde durch die ASDRO GmbH die Auswertungssoftware „MagSurv“ entwickelt, welche durch zahlreiche Entwicklungsschritte fortlaufend optimiert wird. Neben der Erhöhung der Messgenauigkeiten gehört hierzu auch die Automatisierung von Auswertungsprozessen, wie z.B. eine automatische Datenanalyse von magnetischen Anomalien zur Detektion von Kampfmitteln oder Leitungen oder eine Flugplanungssoftware zur automatischen Bestimmung befliegbarer Flächen.

Meilensteine und Entwicklung

| *Entwicklung einer UXO-Dipol-App*

Zur Überprüfung magnetischer Anomalien wurde eine UXO-Dipol-App entwickelt, welche die magnetischen Felder unterschiedlicher Kampfmittel beschreibt. Im Gegensatz zu herkömmlichen Methoden muss für eine Berechnung des magnetischen Feldes nicht der Z-Gradient, sondern nur das Totalfeld verwendet werden. Abbildung 4 zeigt einen Screenshot der App mit der magnetischen Anomalie eines 8.8 cm Kalibers in einem Abstand von 2,2 Metern zum Sensor. Für die Berechnung des dargestellten Dipols wurde ein Modell nach der Formel für induktive Magnetisierung verwendet².

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi r^3} \left(\frac{3}{r^2} [x \cdot m]x - m \right)$$

Hierbei beschreibt B das Magnetfeld in x , y , und z -Richtung. x beschreibt die Position des Dipols und m die induktive Magnetisierung des Körpers auf Grund des externen Magnetfeldes vor Ort.

² Review of Magnetic Modeling for UXO in Journal of Environmental & Engineering Geophysics · June 2012

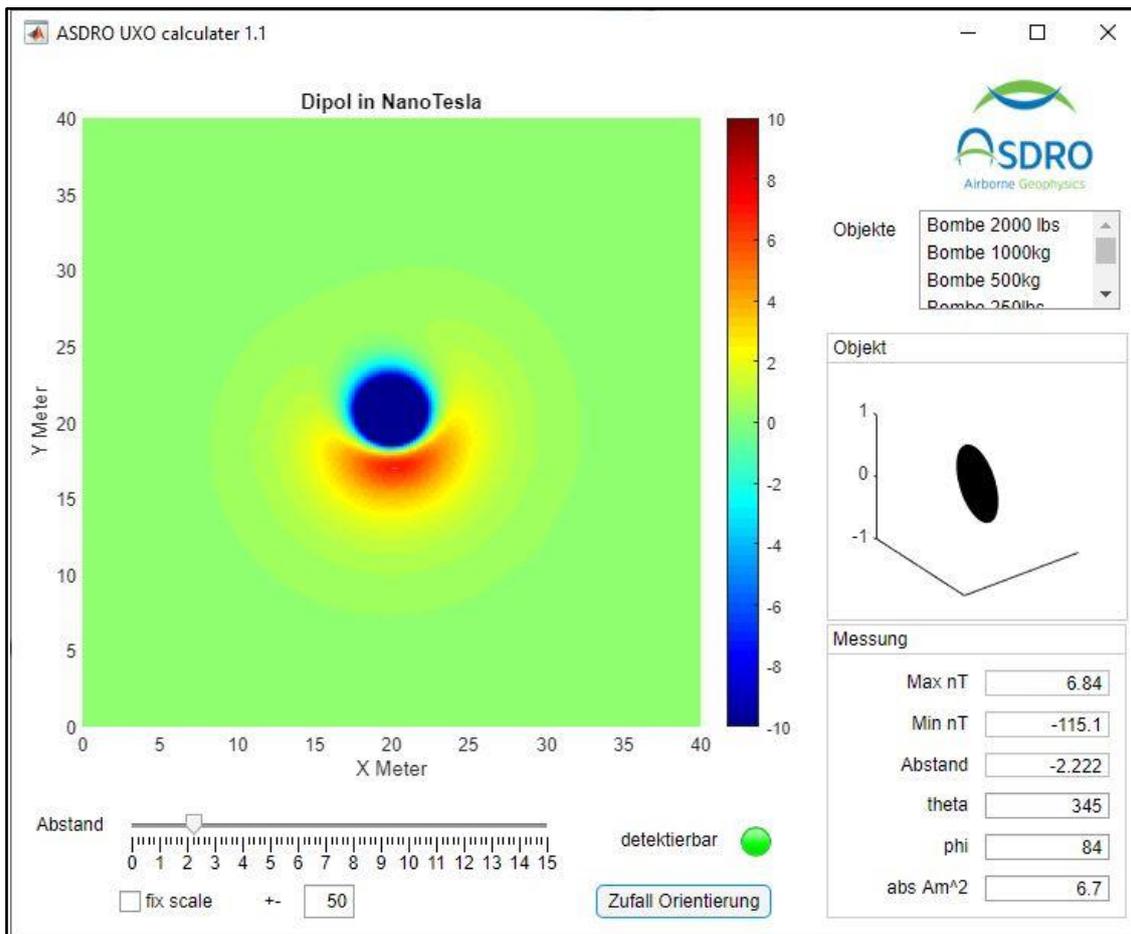


Abbildung 4 Die von ASDRO entwickelte UXO-Dipol-App zur Darstellung magnetischer Anomalien.

Testmessung

Im Jahr 2020 wurde eine Testmessung des Drohnen-Geomagnetik-Messsystems auf dem Truppenübungsplatz in Luttmersen durchgeführt. Zu diesem Zweck sind auf dem Testgebiet in unterschiedlichen Tiefen Kampfmittel vergraben und vorab eingemessen worden. Einige Testobjekte liegen in Tiefen jenseits der Erfassbarkeit herkömmlicher bodengestützter Verfahren. Der gesammelte Datensatz ist jedoch nicht öffentlich, da die Positionen der Testobjekte für andere Firmen nicht bekannt werden sollen. Die Exportformate wurden nach der Messung angepasst und sind nun mit Hilfe herkömmlicher Software nutzbar.

Automatische Detektion magnetischer Anomalien

Auf den Grundlagen der entwickelten UXO-Dipol-App wurde eine Methode der automatischen Detektion von magnetischen Anomalien entwickelt. Zur Ermittlung der Genauigkeit der Methode wurden Testmessungen an einer offen liegenden Gasrohrleitung durchgeführt. Die Leitung besitzt einen Durchmesser von etwa 1 m und befindet sich etwa 1,5 m unterhalb der Geländeoberkante (GOK) in einem offenen Graben. Die Flughöhe betrug während der Testmessung 1,5 m. Abbildung 5 zeigt die Testsituation durch ein Orthofoto und das dazugehörige Geländemodell auf Grundlage einer photogrammetrischen Befliegung.

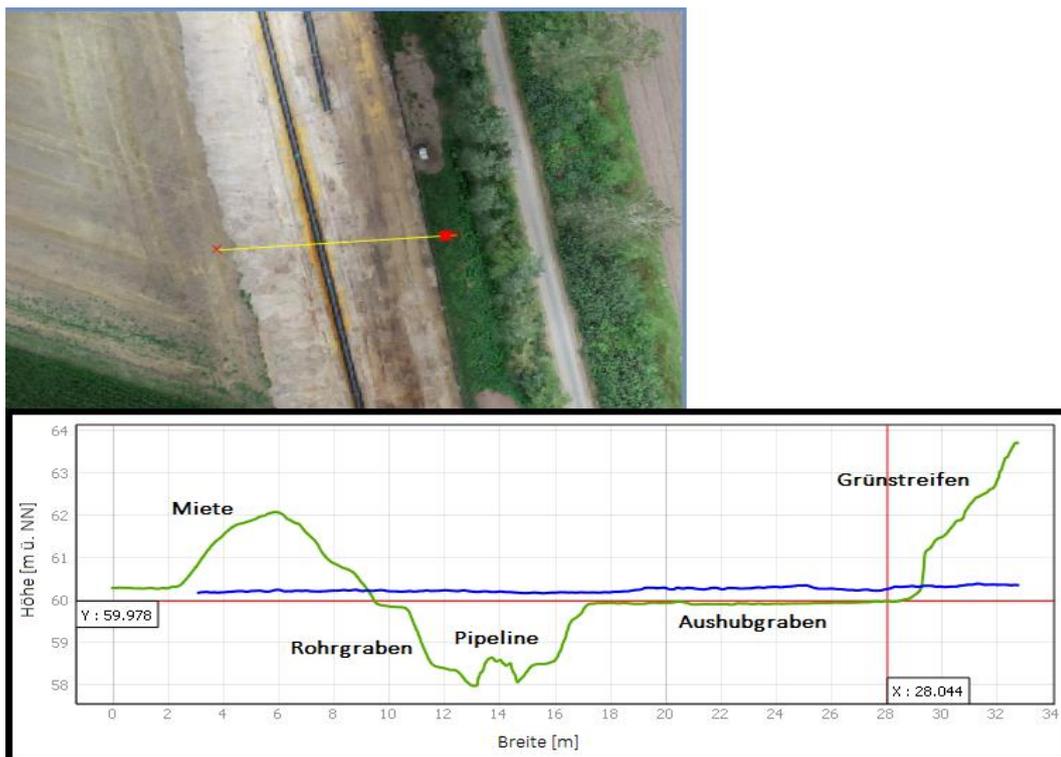
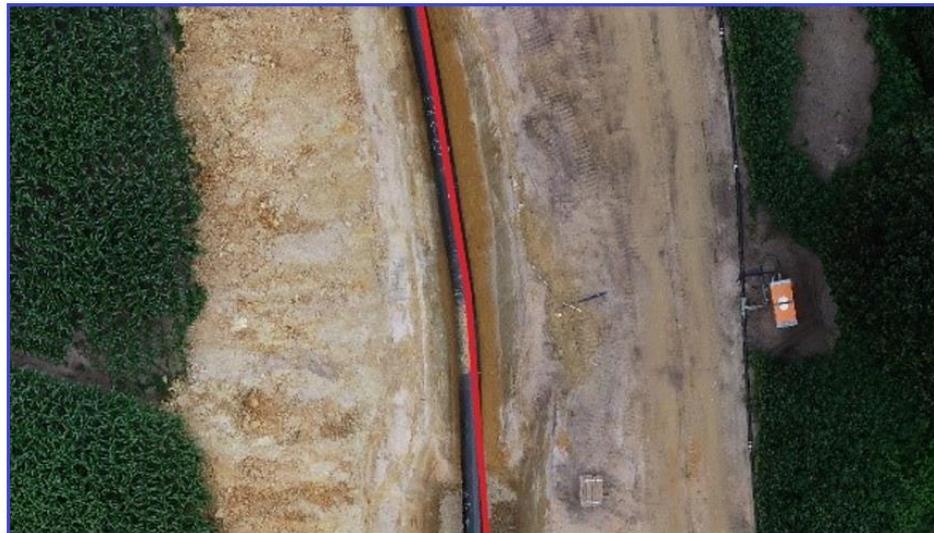


Abbildung 5 Orthofoto und Geländemodell der Testsituation für die geomagnetische Testbefliegung.

Abbildung 6 zeigt das Testergebnis der automatischen Leitungsdetektion. Der Verlauf der Leitung (rote Linie) wurde durch die automatisierte Erkennung der zusammenhängenden magnetischen Dipole bestimmt.



*Abbildung 6 Oben: Automatische Leitungsdetektion (rote Linie) auf Grundlage der geomagnetischen Ergebnisse.
Unten: Ausschnitt mit Detailansicht der Leitungsdetektion (blauer Kasten) im Vergleich zu den
photogrammetrischen Luftaufnahmen.*

Zur Bewertung des Ergebnisses wurde die Lageposition der detektierten Leitung mit den photogrammetrischen Luftaufnahmen verglichen. Die Lagegenauigkeit ergab hierbei eine maximale Abweichung von +/- 29,0 cm.

Die entwickelten Methoden konnten bereits erfolgreich in ersten Pilotprojekten angewandt werden. Abbildung 7 zeigt die Ergebnisse der beschriebenen Methoden in einen Kartenausschnitt einer geomagnetischen Drohnen-Messkampagne.

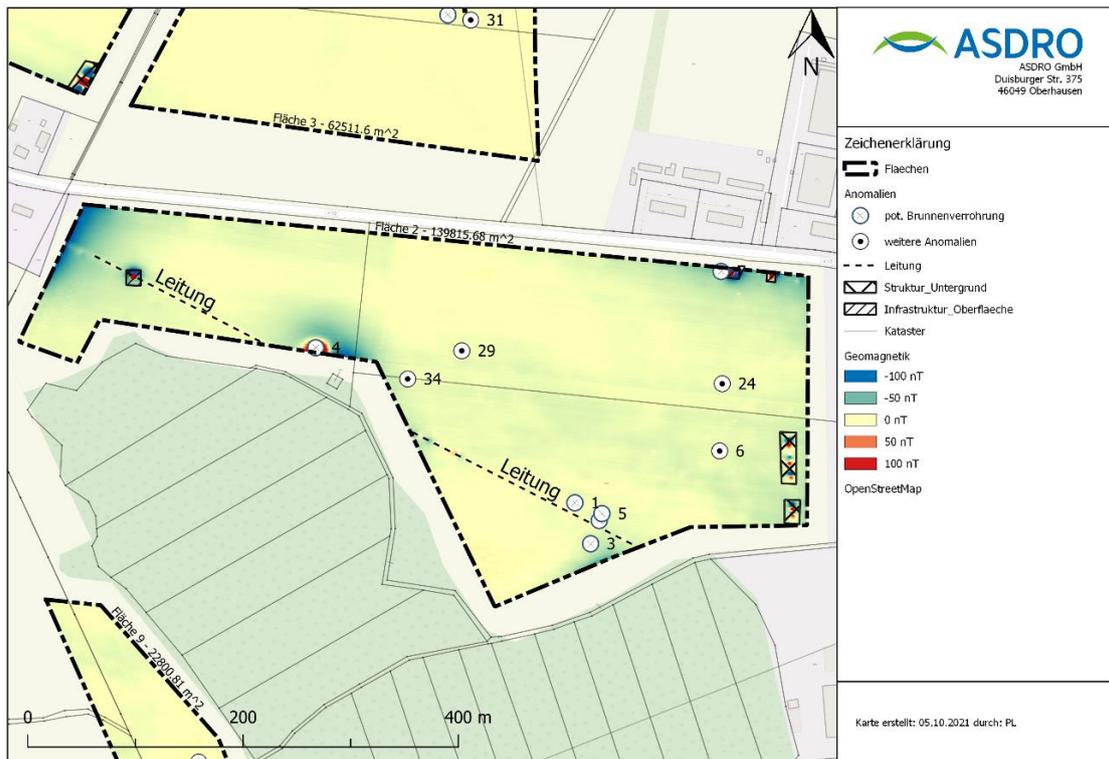


Abbildung 7 Projekt-Lageplan mit den Ergebnissen einer Geomagnetik-Befliegung.

Weiterentwicklung des MagSurv-Systems

Die Software des *MagSurv*-Systems zur Bearbeitung von Drohnen-Geomagnetik-Daten wurde weiterentwickelt. Da zwischen Drohne und Sensor sowohl ein örtlicher als auch ein zeitlicher Offset besteht, wurde zusätzlich eine Positionskorrektur zur Behebung von GPS-Abweichungen durchgeführt.

Der örtliche Offset resultiert aus dem Aufbau des Systems und dem an der Drohne abgehängten, freischwingenden Sensor. Der zeitliche Offset ist auf die unterschiedliche Triggerung der Positions- und Sensordaten zurückzuführen. Ein

zeitlicher Offset tritt vor allem bei sehr hohen Fluggeschwindigkeiten von über 8 m/s auf. Abbildung 8 zeigt das Messsystem auf einer Testfläche in Duisburg.

Ein weiterer Schritt war die Anpassung der Output-Formate. In einigen Bundesländern fordern die Bezirksregierungen Messdaten für die eigene Auswertung. Hierfür war eine Anpassung aller Datenformate nötig, so dass die Datensätze durch herkömmliche Software gelesen werden können. Zudem mussten Koordinatentransformationen in diverse Bezugssysteme vorgenommen werden.



Abbildung 8 Messsystem im Einsatz auf einer Testfläche in Duisburg. Die Befliegung von Deichanlagen wurde erfolgreich durchgeführt.

Entwicklung einer Flugplanungssoftware

Die Festlegung von sicheren Flugbereichen spielt in der Flugplanung eine entscheidende Rolle. Da das Messsystem in einer geringen Flughöhe von etwa 1,5 Metern über Grund fliegt, muss vorab festgelegt werden, in welchen Bereichen eine Gefährdung durch Hindernisse wie Gebäude oder Bäume ausgeschlossen werden kann. Hierfür wurde mit Hilfe der Photogrammetrie eine Flugplanungssoftware für die automatisierte Festlegung von Geofences entwickelt. Die Software analysiert im Vorfeld gesammelte photogrammetrische Luftbilddaten und erkennt Hindernisse sowie große Abweichungen der Topographie anhand von digitalen Höhenmodell-Daten. Die detektierten Hindernisbereiche werden daraufhin für die Flugplanung als

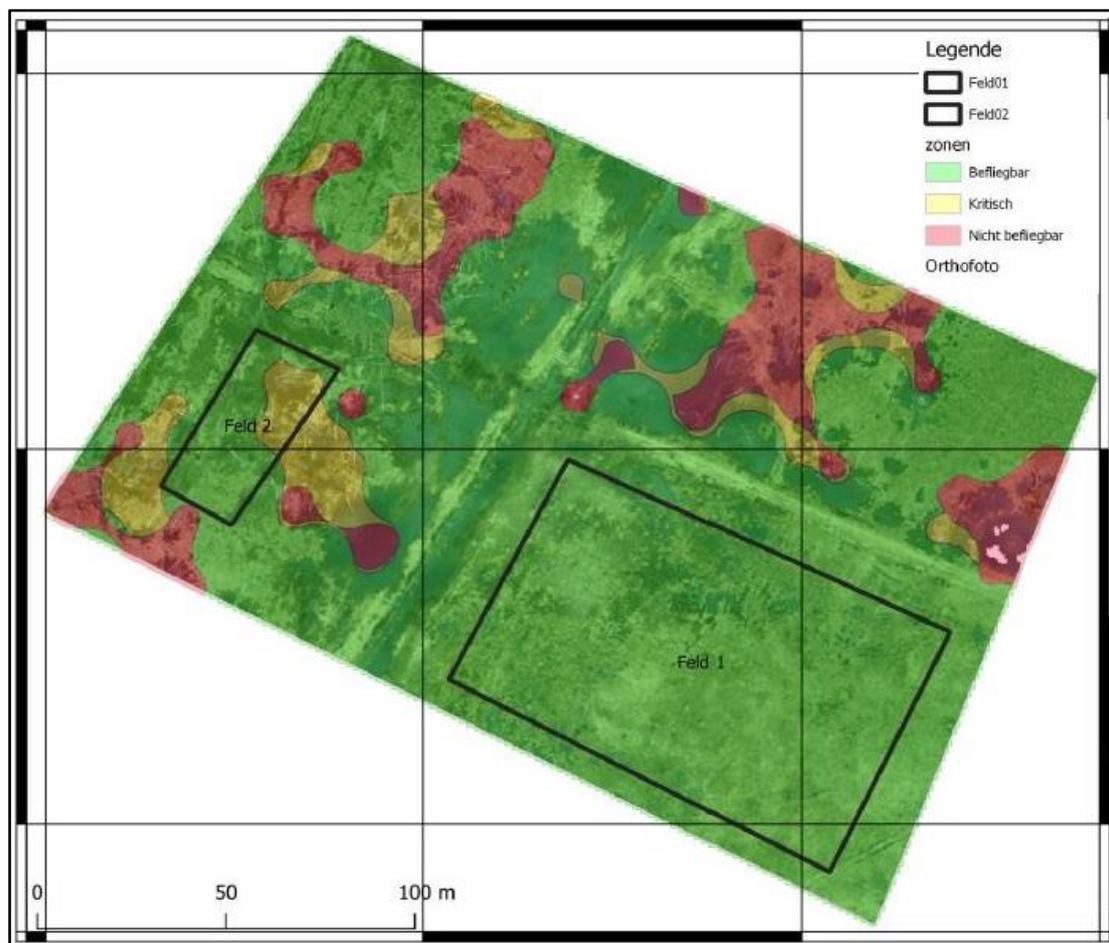


Abbildung 9 Flugplanungssoftware zur Detektion von befliegbaren Bereichen für Flüge außerhalb der Sichtweite.

nicht befliegar in der Karte gekennzeichnet. Insbesondere bei Flügen außerhalb der Sichtweite muss diese Software vorab eingesetzt werden. Abbildung 9 zeigt die exportierte Flugplanung für einen Flug außerhalb der Sichtweite und die Klassifizierung von befliegbaren, kritischen und nicht befliegbaren Bereichen. Der darauffolgende Testflug konnte erfolgreich durchgeführt werden, ohne dass ein Eingreifen des Drohnen-Piloten nötig wurde. Die Flugplanungssoftware wird von ASDRO mittlerweile für alle Drohnen-Projekte im Vorfeld eingesetzt, um die Sicherheit des Messsystems jederzeit gewährleisten zu können.

Verbesserung von Start, Landung und Flugeigenschaften

Es stellte sich heraus, dass das Steuern und vor allem das Starten und Landen des Systems einen sehr erfahrenen Piloten benötigt. Neben der Einführung einer ebenen Abflugplattform wurden zu diesem Zweck weitere Entwicklungsschritte an der Drohnensoftware durchgeführt.

Die Änderungen an der Software umfassen unter anderem eine präzisere Drehzahlregelung im Leerlauf sowie eine Begrenzung der Fluggeschwindigkeiten. Mit Hilfe einer Autotune-Kalibrierung und der Auswechslung der Rotormotoren konnten die Probleme behoben werden und in umfassenden Testflügen eine deutliche Verbesserung der allgemeinen Flugstabilität erreicht werden. Zudem wurde das Gesamtgewicht der Drohne deutlich reduziert.

Die Return-Home-Höhe wurde kalibriert und auf eine maximale Flughöhe von 30 m gesetzt.

In einer finalen Testphase im Juni 2021 konnte das System schließlich so optimiert werden, dass Start und Landung voll automatisch durchgeführt werden können.

| *Leuchtturmprojekt zur Entwicklung eines Quantengradiometers*

In einem Verbundprojekt mit der Leibniz Universität und weiteren externen Unternehmen steht die Entwicklung eines Magnetometers zur Exploration und Kampfmittelsuche im Fokus.

Hauptziel des Projektes ist die Zusammenführung mehrerer räumlich voneinander getrennter Atommagnetometer zur Ausführung als sogenanntes Quantengradiometers. So soll eine genauere Kompensation magnetischer Störfelder und somit eine höhere Auflösung der geomagnetischen Resultate erreicht werden. Das Anwendungsspektrum umfasst hierbei neben der Detektion von Wasser-, Erz- oder Rohstoffvorkommen auch anthropogene, oberflächennahe Umwelteintragungen wie chemische oder metallische Kontaminationen und Kriegsalasten. Vorteile der Methode sind u.a. eine Rauschverringerng und die damit einhergehende Erhöhung der Eindringtiefe, die Möglichkeit zur magnetischen Abschirmung der Sensoren im Einsatz oder die Verhinderung von Temperaturdrifts, welche z.B. bei Fluxgate Magnetometern auftreten.

Das Projekt zielt auf einen luftgestützten Drohnen-Einsatz des Messinstruments ab. Die ASDRO GmbH wird daher im Rahmen des Projektverbunds an der Entwicklung einer Drohnen-Spezialanfertigung arbeiten. In umfassenden Testflügen soll hier der modulare Aufbau des Drohnensystems optimiert sowie der ideale Abstand zwischen Drohne und Sensorik bestimmt werden. Die Ziele sind sowohl die maximale Unterdrückung des elektromagnetischen Einflusses der Drohne auf die Messsensoren, als auch die Optimierung der Flugeigenschaften des Gesamtsystems. Im Zuge der Entwicklung werden hierfür die magnetischen Eigenschaften aller Konstruktionselemente des Systems im Labor getestet. In der finalen Projektphase werden möglichst reale Testfelder sondiert, zum einen in Drohnenmessungen per

Bodenkonturflug und zum anderen in bodengestützten geomagnetischen Messungen. Die Resultate können so durch einen Datenvergleich evaluiert werden.

Das Verbundprojekt wird von der Leibniz Universität Hannover unter der Leitung von Prof. Dr. Ilja Gerhardt koordiniert. Die Laufzeit ist von 01. Januar 2022 bis zum 31. Dezember 2026 angesetzt.

Betreuung von Abschlussarbeiten

Seit Mai 2021 betreut die ASDRO GmbH gemeinsam mit der Ruhr-Universität Bochum und der Fachhochschule Münster zwei Masterarbeiten zu den Themen „Einfluss von Pipelines auf den Ernteertrag“ und „Konzeptionelle Aufarbeitung von Startup-Gründungsprozessen“, sowie seit Oktober 2021 gemeinsam mit der Universität Bonn eine Masterarbeit zum Thema „Drohngestützte Analyse von Hochwasserereignissen“.

Einfluss von unterirdischen Gasleitungen auf Ernteerträge

Im Rahmen der Abschlussarbeit „Einfluss von Pipelines auf den Ernteertrag“, angemeldet an der Ruhr-Universität Bochum, soll mit Hilfe der durch Multispektral-Aufnahmen gewonnenen Vegetationsindizes der Einfluss von Pipelines und der vorangegangenen Baumaßnahmen auf den Ernteertrag abgebildet werden.

Für drei landwirtschaftliche Flächen entlang einer unterirdischen Pipeline in Nordrhein-Westfalen wurde dieser Einfluss geprüft. Die drei Standorte waren zum Zeitpunkt der Messungen Grünland oder mit Getreide und Kartoffeln bepflanzt. Abbildung 10 zeigt eine Multispektral-Aufnahme einer der untersuchten landwirtschaftlichen Flächen. Um die Güte der Vegetation zu erheben, wurden multispektrale Luftbilddaten per Drohne an drei Tagen zwischen dem 10. und 14. Juni

2021 aufgenommen. Die Flughöhe während der Aufnahmen betrug dabei nie mehr als 55 m.

Hierbei liefert die Spektralanalyse quantitative Ergebnisse zur aktuellen Vegetationssituation. So können Aussagen darüber getroffen werden, ob sich die Entwicklung der Vegetation in den entsprechenden Bauregionen von unberührten Flächen unterscheidet. Die gewonnenen Erkenntnisse könnten so einen wichtigen Beitrag für Umweltschutzmaßnahmen im Rahmen von zukünftigen Trassenbauprojekten liefern.

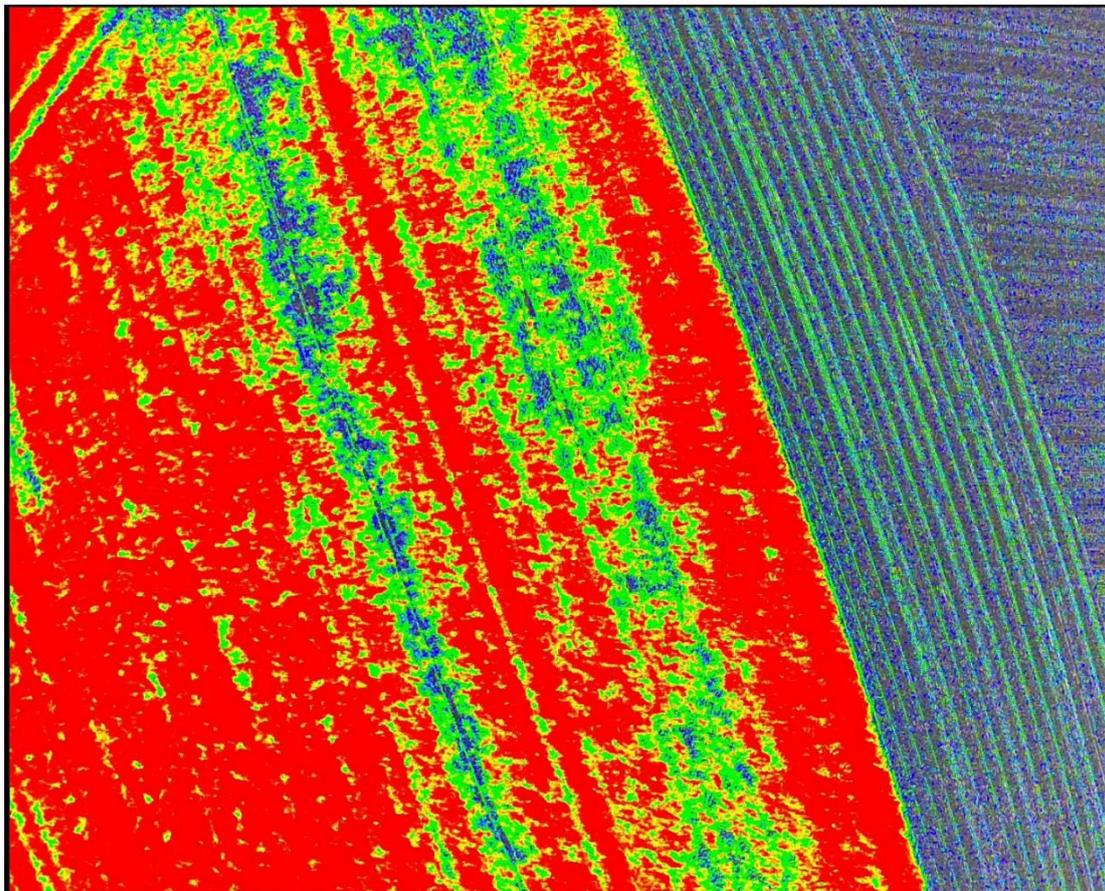


Abbildung 10 Multispektral-Aufnahme einer landwirtschaftlichen Fläche in Nordrhein-Westfalen zur Analyse des Einflusses von Pipelines auf den Ernteertrag.

Konzeptionelle Aufarbeitung von Startup-Gründungsprozessen

Eine weitere geplante Masterarbeit zum Studienfach Wirtschaftsingenieurwesen an der Fachhochschule Münster trägt den Arbeitstitel „Konzeptionelle Aufarbeitung, um wachsende Startups zum Erfolg zu führen, am Beispiel der ASDRO GmbH“.

Im Fokus der Arbeit steht die Analyse von Start-Up-Gründungs- und Entwicklungsprozessen, speziell orientiert am Beispiel der ASDRO GmbH. In diesem Rahmen soll ein Leitfaden erstellt werden, welcher zukünftige Startups durch alle notwendigen Stationen der Unternehmungsgründung führen kann, von der Ausreifung der Geschäftsidee, über die Suche von Unterstützern und Investoren bis hin zur sicheren Platzierung auf dem entsprechenden Markt. Die Analyse soll am Beispiel der ASDRO GmbH besonders auf Schwachstellen, Fehlentscheidungen sowie Erfolge der Gründer eingehen. Neben der Analyse werden zudem die wichtigsten Phasen, die ein Startup während der Gründung durchläuft, vorgestellt, auf wichtige Einflüsse eingegangen und Tipps gegeben, wie die jeweilige Phase sicher und erfolgreich durchlaufen werden kann.

Anhand des Beispiels der ASDRO GmbH soll ein Blick auf den Dienstleistungssektor geworfen werden, um eine repräsentative Aussage zu Mitbewerbern treffen zu können. Zudem wird besonders der Bereich der Unternehmensgründung bis zur externen Finanzierung betrachtet.

Drohnengestützte Analyse von Hochwasserereignissen

Am 13. Und 14. Juli ereignete sich in Westdeutschland und in Teilen Belgiens und Luxemburgs ein Starkregenereignis mit bis zu 150 mm Niederschlag innerhalb von 18 Stunden. Extreme Überschwemmungen innerhalb der Einzugsgebiete verschiedener Mittelgebirgsflüsse waren die Folge. Entlang der Ahr überstieg der Pegelstand mit 5,05 m (Ahrweiler) deutlich den bisherigen Rekord aus dem Jahr 2016 (3,71 m). Der

Höchststand wird auf 7 bis 8 m mit einem Spitzenabfluss von 400 bis 700 m³/s geschätzt. Solche extremen Flutereignisse spielen eine wichtige Rolle im Sedimentbudget und der morphologischen Entwicklung von mäandrierenden Flüssen³.

Veränderungen der Erosion und Ablagerung entlang des Flusses können durch den Vergleich hochauflösender digitaler Oberflächenmodelle untersucht werden, die durch drohnengestützte Photogrammetrie sowie LiDAR-Messdaten gewonnen werden. Anhand der transportierten Sedimente können so Rückschlüsse auf die Fließgeschwindigkeit und den Abfluss gezogen werden.

In einer weiteren, von der ASDRO GmbH mitbetreuten Masterarbeit soll untersucht werden, ob sich multispektrale Drohnenaufnahmen zur effizienten Erkennung von Hochwassermarken und Verklausungen eignen. Hierfür werden exemplarische Standorte mit einer Gesamtfläche von etwa 300 ha mit Hilfe von Drohnen befliegen. Im Rahmen der Arbeit sollen weitere wichtige Zusammenhänge, wie z.B. die räumliche Verteilung der Wasserhöchststände und die Transportkapazität des Maximalabflusses sowie die volumetrischen Veränderungen der Sedimente erforscht werden.

Abbildung 11 zeigt eine Übersichtskarte der zu untersuchenden Einzugsgebiete. Für die Untersuchung der Überschwemmungsgebiete werden die folgenden Messmethoden eingesetzt:

- RTK-gestützte Vermessung von Flutmarken und Erosionsmustern
- Multispektrale Drohnen-Photogrammetrie mit RTK-Positionierung
- LiDAR-Befliegung der nördlichen Eifel im Auftrag des GFZ Potsdam⁴

³ S. Yousefi et al.: *Geomorphological change detection of an urban meander loop caused by an extreme flood using remote sensing and bathymetry measurements*, Journal of Hydrology, Elsevier, 2021

⁴ <https://www.gfz-potsdam.de/sektion/geomorphologie/projekte/eifelfloods/>; GFZ Potsdam, HART Project.

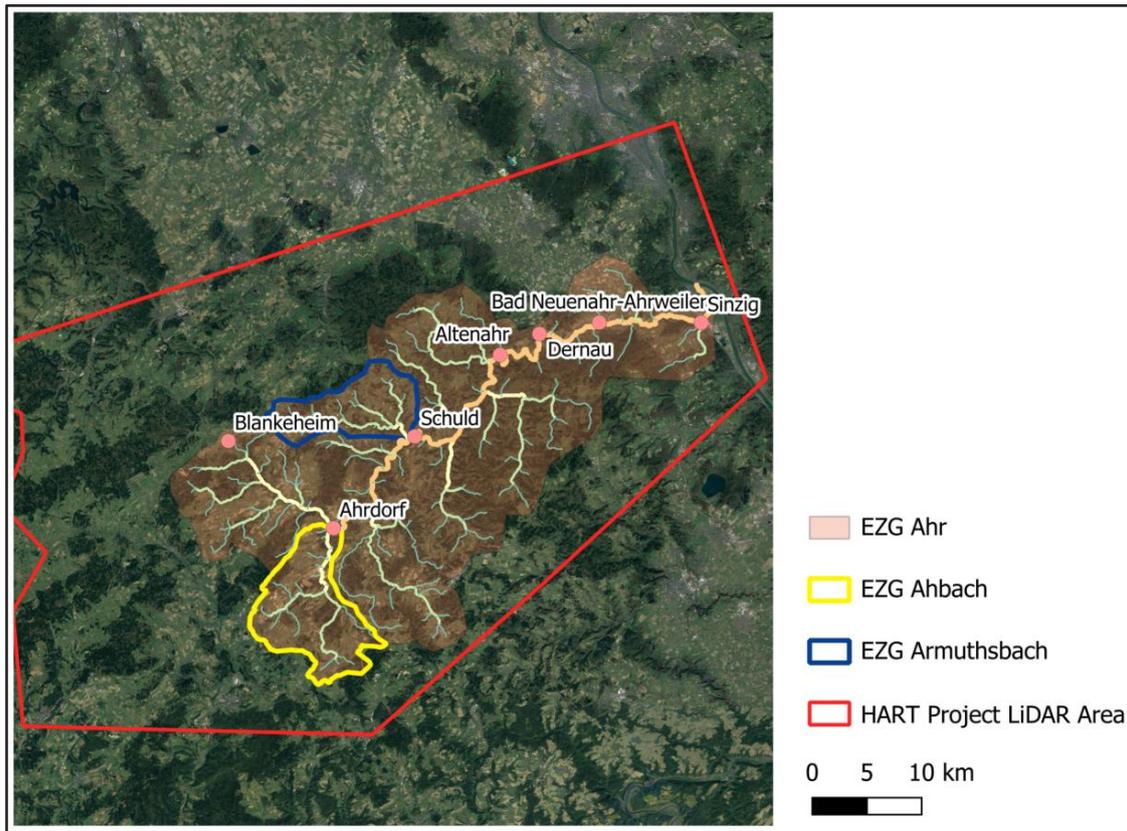


Abbildung 11 Übersicht der im Rahmen der Masterarbeit zu untersuchenden Einzugsgebiete. In den Gebieten sollen drohnengestützte Photogrammetrie-Messungen sowie LiDAR-Messungen durchgeführt werden.

Öffentlichkeitsarbeit und Kooperationen

Es wurden zahlreiche Veröffentlichungen geplant und durchgeführt. Die Veröffentlichungen umfassen hauptsächlich Fachartikel in branchenspezifischen Zeitungen. Zu den Veröffentlichungen gehören unter anderem ein Artikel im Brandeins Magazin⁵ und ein Artikel im 3R Magazin für Rohrleitungsbau⁶.

Zu den Kooperationspartnern gehören mittlerweile größere Firmen wie Siemens Mobility und Open Grid Europe. Die Messergebnisse aus der Zusammenarbeit mit diesen Partnern sind nicht zur Veröffentlichung freigestellt.

Mit dem Institut für Geophysik ist die ASDRO GmbH weiterhin in Kontakt und steht in regelmäßigem Austausch mit den Professoren und Mitarbeitern der Arbeitsgruppe „Angewandte Geophysik“.

Ende April 2021 war die ASDRO GmbH mit einem Stand auf der „Hannover Messe“ als Mitaussteller vertreten. Aus den dortigen Gesprächen wurden Kontakte mit vielversprechenden Aussichten auf zukünftige Projekte geknüpft - auch außerhalb von Europa. Die Messe fand aufgrund der Corona-Pandemie ausschließlich in digitaler Form statt.

⁵ <https://www.brandeins.de/magazine/brand-eins> ; Spürhunde der Lüfte

⁶ <https://3r-rohre.de/> ; Trassenplanung mit Drohnentechnik

Außerdem war die ASDRO GmbH im September 2021 mit einem Messestand auf der Messe „Husum Wind“ dabei. Die „Husum Wind“ ist eine deutsche Windmesse mit den wichtigsten Vertretern der deutschen und internationalen Windindustrie. Hier konnte die ASDRO GmbH sowohl bereits bestehende Kundenkontakte festigen als auch neue Kontakte aufnehmen.



Abbildung 12 Messestand der ASDRO GmbH auf der "Husum Wind 2021".

Die Firma ASDRO belegte in diesem Jahr beim KUER Businessplan Wettbewerb den dritten Platz⁷. In diesem Wettbewerb werden besonders nachhaltige Lösungen in NRW ausgezeichnet. Zudem gewann ASDRO im September 2021 den Brownfield24 Award in der Kategorie „Bestes Nachwuchsprojekt“⁸.

⁷ <https://kuer.nrw/>; And the winner is

⁸ <https://brownfieldaward.de/>; Ausgezeichnete Projekte und Ihre Macher:Innen

In einem weiteren Projekt steht die Firma ASDRO mit einem Startup aus Albanien in Kontakt, um die Einsetzbarkeit der entwickelten Methoden in ehemaligen Kriegsgebieten auf dem Balkan zu testen. Erste Tests sind für das Jahr 2022 geplant. Das Team von ASDRO plant, seine Lösung zur zerstörungsfreien und kontaktlosen Sondierung von Kampfmitteln auch für humanitäre Einsätze in ehemaligen Kriegsgebieten anzubieten.

In einigen Tests wurde klar, dass das ASDRO-System vor allem auf sehr großen, freiliegenden Flächen wie Agrarflächen, Moore, Deiche und Wattenmeerflächen optimal eingesetzt werden kann. Im Austausch mit der DBU sollen Partner und potentielle Kunden in diesen Bereichen gefunden werden.

Fazit

Durch das DBU Förderprojekt konnte die ASDRO GmbH zahlreiche Entwicklungsschritte erfolgreich umsetzen. Das Drohnen-Geomagnetik-Messsystem wurde weiterentwickelt und die dazugehörige Flugplanungs- und Auswertungssoftware durch Automatisierungsprozesse verbessert. In Testmessungen auf Truppenübungsplätzen wurde die Einsetzbarkeit des Systems bereits praktisch erprobt.

Hardwareseitig wurde während der DBU Förderung an den Problemstellungen Flugdauer, Pendelkorrektur und Flugsteuerung sowie softwareseitig an der Inversion der gesammelten Messdaten gearbeitet. Die Ergebnisse der Arbeit flossen in die Entwicklung einer UXO-Dipol-App ein, die das theoretische Feld unterschiedlicher Kampfmittel anzeigt. Dies dient zum einen der Evaluation, welche Kampfmittel tatsächlich detektiert werden können und ist zum anderen eine Überprüfungsmethode für die gemessenen Anomalien. Um magnetische Anomalien automatisch in den aufgenommenen Datensätzen identifizieren zu können, wurde die eigene Auswertungssoftware „MagSurv“ ebenfalls weiterentwickelt. Beispielsweise können nun Objekte der Infrastruktur, wie Strom- oder Gasleitungen, automatisch erkannt und daraufhin in die Geomagnetik-Karte eingezeichnet werden. Intensive Testflüge bei einer offenen Rohrleitung konnten die Methode bestätigen und lieferten eine Positionsgenauigkeit von etwa +/- 29 cm.

Es stellte sich heraus, dass das Steuern und vor allem das Starten und Landen des Systems einen sehr erfahrenen Piloten benötigt. In einer Testphase im Mai und Juni 2021 konnte das System so optimiert werden, so dass Start und Landung voll automatisch durchgeführt werden können. Hierfür sind weitere Entwicklungsschritte an der Drohnensoftware nötig. Die Einstellungen umfassen unter anderem die präzise Drehzahlregelung im Leerlauf sowie eine Begrenzung der Fluggeschwindigkeiten. Außerdem soll ein Geofence entwickelt werden, um das System in Notfall automatisch zu seiner Startposition zurückzuführen.

Mit Hilfe der Photogrammetrie konnte erfolgreich eine Flugplanungssoftware für die automatisierte Festlegung von Geofences entwickelt werden, um eine Gefährdung durch Hindernisse wie Gebäude oder Bäume ausschließen zu können. Die Software analysiert im Vorfeld gesammelte photogrammetrische Luftbilddaten und erkennt Hindernisse sowie große Abweichungen der Topographie. Diese Bereiche werden für die Flugplanung als nicht befliegar in der Karte gekennzeichnet. Die Flugplanungssoftware wird von ASDRO mittlerweile für alle Drohnen-Projekte im Vorfeld eingesetzt, um die Sicherheit des Messsystems jederzeit gewährleisten zu können.

Des Weiteren konnten mit dem Einsatz von Multispektralkameras in Kombination mit der Geomagnetik neue Einsatzfelder erschlossen werden. Seit Sommer 2021 wird im Rahmen einer Masterarbeit ein Forschungsthema zum Einsatz von Multispektralkameras bearbeitet.

Insgesamt werden von der ASDRO GmbH in 2021 drei Masterarbeiten von Studenten der Ruhr-Universität Bochum, der Fachhochschule Münster und der Universität Bonn mitbetreut.

Ausblick

Trotz der erfolgreichen Weiterentwicklung und praktischen Umsetzung des Drohnen-Geomagnetik-Messsystems sind für Ende 2021 und 2022 weitere Entwicklungsschritte geplant. Es gilt nunmehr, die hohen Genauigkeiten der lateralen Positionsbestimmung sowie der berechneten Tiefen- und Positionslagen detektierter Objekte stetig zu verbessern.

Der Start für die Entwicklung eines Drohnen-Radar-Systems ist für Ende des Jahres 2021 angesetzt. Durch den Einsatz des Systems sollen auch nichtmetallische Materialien wie beispielsweise Kunststoffobjekte oder geologische Strukturen im Untergrund detektiert werden. Da bodengestützte Methoden zeitaufwändiger und Helikopter-gestützte Messungen deutlich kostenintensiver sind, verspricht eine Anwendung der Radarmethode per Drohnen enormes Potential. Voraussichtlich kann die Entwicklung im Winter durch eine geplante Einrichtung einer größeren Werkstatt beginnen.

Für eine erfolgreiche Entwicklung eines solchen Messsystems müssen unterschiedliche Problemstellungen, wie z.B. die hohen Verluste der Strahlungsintensität aufgrund des fehlenden Bodenkontaktes, sowie Streuungseffekte, ausgelöst durch umliegende Objekte an der Oberfläche, bearbeitet

werden. Erste Entwicklungsschritte sind für Ende 2021, erste Testmessungen für 2022 geplant.

Der Einsatz von Brennstoffzellen und Wasserstoff auf Drohnen soll auf dem ASDRO-System integriert werden. Da der Einfluss einer Brennstoffzelle auf die Messergebnisse des eingesetzten Magnetometers noch nicht untersucht wurde, sind erste Tests mit einem Prototypen bereits in Planung. Durch den Einsatz einer Brennstoffzelle nimmt das Gewicht des Systems zwar um ca. 70% zu, doch können hierbei wesentlich längere Flugzeiten erreicht werden.

In einem weiteren Projekt steht die Firma ASDRO mit einem Startup aus Albanien in Kontakt, um die Einsetzbarkeit der entwickelten Methoden in ehemaligen Kriegsgebieten auf dem Balkan zu testen. Erste Tests sind für das Jahr 2022 geplant. Das Team von ASDRO plant, seine Lösung zur zerstörungsfreien und kontaktlosen Sondierung von Kampfmitteln auch für humanitäre Einsätze in ehemaligen Kriegsgebieten anzubieten.

In einigen Tests wurde klar, dass das ASDRO-System vor allem auf sehr großen, freiliegenden Flächen wie Agrarflächen, Moore, Deiche und Wattenmeerflächen optimal eingesetzt werden kann. Im Austausch mit der DBU sollen Partner und potentielle Kunden in diesen Bereichen gefunden werden.