

**Zeitschrift:** Regio Basiliensis : Basler Zeitschrift für Geographie  
**Herausgeber:** Geographisch-Ethnologische Gesellschaft Basel ; Geographisches Institut der Universität Basel  
**Band:** 59 (2018)  
**Heft:** 2

**Artikel:** Das Potenzial von Drohnen (UAVs) zur Erfassung von Bodenerosion im Umweltmonitoring  
**Autor:** Mändli, Delia  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1088158>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 18.04.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Das Potenzial von Drohnen (UAVs) zur Erfassung von Bodenerosion im Umweltmonitoring

Delia Mändli

## *Zusammenfassung*

*Die Bodenerosion wird heute als globales und anhaltendes Umweltproblem wahrgenommen. Auch in der Schweiz ist der Schutz des Bodens und ein schützenswerter Umgang mit dieser wertvollen Ressource zu einem wichtigen Thema geworden und daher in verschiedenen gesetzlichen Regelungen verankert. Seit der Änderung der Direktzahlungsverordnung im Jahr 2017 sind die kantonalen Behörden verpflichtet, Bodenerosion gezielt zu erfassen, um Massnahmen anordnen zu können, wenn bewirtschaftungsbedingte Erosionsraten überschritten werden. Der Vollzug ist derzeit noch nicht klar vorgegeben. In diesem Artikel wird das photogrammetrische Potenzial von Drohnen (UAVs) im kantonalen Vollzug als praktisches und effizientes Hilfsmittel zur Umsetzung dieser neuen Gesetzesvorgaben dargestellt. Die Umweltfachstelle des Kantons Aargau arbeitet dabei mit der Abteilung für Physiogeographie und Umweltwandel der Universität Basel zusammen. Zudem gibt der Artikel einen Einblick, wie moderne wissenschaftliche Methoden der geoökologischen Prozessforschung auch in öffentlichen Stellen überzeugend eingesetzt werden können.*

## 1 Einleitung

Aufgrund der zahlreichen Nutzungs-, Regelungs- und Lebensraumfunktionen gehört der Boden zu den schützenswertesten und kostbarsten Gütern der Menschheit. Die Schäden der Bodenerosion – in der Schweiz durch oberflächlich abfliessendes Wasser – sind wegen der langsamen Bodenreuebildung häufig irreversibel. Das steigende Bewusstsein über den Boden als endliche Ressource hat den Gesetzgeber dazu veranlasst, die Bodennutzung zu steuern und dadurch die Böden zu schützen. In der Schweiz ist der Bodenschutz in den Art. 33–35 des Umweltschutzgesetzes (USG, SR 814.01) und der dazugehörigen Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo, SR 814.12) verankert. Seit der Gesetzesänderung in der Direktzahlungsverordnung (DZV, SR 910.13) des Landwirtschaftsgesetzes (LwG, SR 910.1) im Jahr 2017 sind die kantonalen Behörden zudem verpflichtet, die Bodenerosion zu dokumentieren und gegebenenfalls Massnahmen dagegen zu ergreifen. Um diese Aufgabe angemessen erfüllen zu können, benötigen die Kantone

---

Adresse der Autorin: Delia Mändli, MA in Geographie, Biberstrasse 1, CH-8240 Thayngen; E-Mail: delia.maendli@stud.unibas.ch

praxistaugliche Instrumente (Ogermann et al. 2006). Um möglichst effizient einen Überblick über ein grösseres Gebiet mit Erosionsgeschehen zu erhalten, eignen sich Kartierungen von Erosionschäden (Schaub 1999).

Die erst seit wenigen Jahren etablierten und sich rapid fortentwickelnden UAVs (*unmanned aerial vehicle*, unbemannte Flugzeuge) lassen einen völlig neuen Massstab der photogrammetrischen Bearbeitung von geomorphologischen Fragestellungen zu (Stöcker, Eltner & Karrasch 2015). Die unbemannten Flugobjekte eignen sich besonders, um aktuelle und hochauflösende Luftbilder von kleinräumigen Gebieten in einer dynamischen Umwelt aufzunehmen (Cramer et al. 2013). Der Einsatz von UAVs bietet zudem die Möglichkeit, die Lücke zwischen grossräumigen Satellitendaten und bodenbasierten Geodaten-Messsystemen zu schliessen (Wageningen University & Research 2017). Die durch UAVs generierten hochaufgelösten Orthophotos (durch photogrammetrische Verfahren abgeleitete verzerrungsfreie und massstabgetreue Abbildungen der Erdoberfläche), Höhenmodelle und auch Multispektralkartierungen der Vegetation können eine interessante Möglichkeit sein, die kantonalen Behörden als neue Vollzugshilfen bei deren Aufgabe der vorgeschriebenen Bodenerosionsüberwachung effizient zu unterstützen.

Der vorliegende Artikel, welcher auf einer Untersuchung von Mändli (2017) basiert, erläutert die UAV-basierte Bodenerosionserfassung auf Schweizer Ackerflächen zur Unterstützung kantonalen Stellen im Vollzug des Bodenschutzes. Es wird aufgezeigt, inwiefern sich Drohnenbilder zur Aufnahme von Bodenerosionsformen eignen und welche zusätzlichen Informationen, beispielsweise die Menge des Bodenverlustes, Aussagen über die Ursachen der Bodenerosion oder den Verlust der Bodenqualität, aus den Drohnenbildern gewonnen werden können. Es wird ergänzend demonstriert, mit welchem Aufwand und welchen Ressourcen der Einsatz von Drohnen in der amtlichen Bodenerosionserfassung erfolgen kann. Auch Fragen bezüglich des rechtlichen und administrativen Rahmens bei der Anwendung von UAVs in einem amtlichen Kontext werden näher beleuchtet.

Die mit UAVs generierten Produkte, wie Digitale Höhenmodelle (DHM), Orthophotos, Vegetationskartierungen und Volumenberechnungen, welche hier bewusst mit einfachem und kommerziell verfügbarem Material generiert wurden, dienen dabei als Referenz für die Diskussion mit den kantonalen Stellen und als technische Grundlagen. Ein Austausch mit kantonalen Stellen gab wichtige Erkenntnisse über den Einsatz von UAVs in der amtlichen Praxis. Dieser Artikel stellt zusätzlich dar, inwiefern auch eine Hochschule einen Beitrag zur Lösung, Implementierung und eventuell auch Weiterentwicklung neuer Methoden zu angewandten Problemen im Gesetzesvollzug leisten kann.

## 2 Untersuchungsgebiete

Verschiedene Ackerflächen in den Gemeinden Gelterkinden BL (“Lachmatt” und “Rütschacher”) und Möhlin AG (“Müselisgrueben” und “Forstzelgli”) wurden für die Drohnenflüge ausgewählt und teilweise in den Monaten März, Mai, Juni und August 2017 befliegen (Abb. 1). Die Erosionschäden in diesen Gebieten sind Ende Januar 2017 durch einen Dauerregen in Kombination mit Schneeschmelze entstanden und eigneten sich hervorragend, um die Verwendung von Drohnen in der Bodenerosionserfassung zu testen.



Abb. 1 Untersuchungsgebiete in Gelterkinden BL: “Lachmatt” (oben links) und “Rütschacher” (oben rechts); Untersuchungsgebiete in Möhlin AG: “Müselisgrueben” (unten links) und “Forstzelgli” (unten rechts).  
*Fotos: D. Mändli 2017*

### 3 Methoden

Die Methodenwahl dieser Studie wurde stark darauf ausgelegt, die praktische Anwendung der Drohnen in einer amtlichen Erosionsschadenskartierung zu prüfen.

In der ersten Flugphase sollte eine breitgefächerte Auswahl an Orthophotos und Höhenmodellen in verschiedenen Grössen der überflogenen Flächen mit ungleicher Flughöhe, Flugplanung (Befliegung nur in eine Richtung oder in Längs- und Querrichtung), Flugzeiten und mit unterschiedlicher Auflösung der Erosionsformen generiert werden. Es sollte damit analysiert werden, wie gut die Qualität der Bodenerosionserfassung mittels UAVs mit verschiedenen Einstellungen der Drohne einzuschätzen ist.

Des Weiteren sollte das Bodenabtragsvolumen mithilfe von Drohnen berechnet werden. Dies sollte aufzeigen, ob es möglich ist, durch die UAVs das Volumen des Bodenabtrages in den Erosionsrillen zu berechnen. Zusätzlich sollte eine Abschätzung der Genauigkeit dieser Messung gemacht und anschliessend diskutiert werden. Dafür wurde anhand künstlich erstellter Rillen geprüft, wie präzise mittels von Drohnen generierter digitaler Höhenmodelle das Volumen im Vergleich zu einer “manuellen” Lasermessmethode (Validierungswert) berechnet werden kann (Abb. 2).



Abb. 2 Volumenabschätzung des Bodenabtrags mittels einer Drohne (links) und Lasermessung als Validierungsmethode (rechts). *Fotos: D. Mändli 2017*

In einer weiteren Flugphase sollten normalisierte differenzierte Vegetationsindex-Kartierungen (NDVI-Karten) mit einer an die Drohne gekoppelten Multispektralkamera erstellt werden. Diese Kartierungen vermögen es, die Pflanzenvitalität wegen des spezifischen Strahlungsverhaltens einer Pflanze aufgrund deren Chlorophyllgehalts zu ermitteln. Geflogen wurde dabei Mitte Mai und Ende Juni 2017 über den Untersuchungsackerflächen, auf welchen Wintergetreide angepflanzt worden war. Das Ziel war es, längerfristige Erosionsschäden mit NDVI-Kartierungen der Vegetation aufzuzeigen und damit eine Verminderung der Bodenqualitäten durch Bodenerosion nachzuweisen.

Um die technischen Möglichkeiten der UAVs für praktische Anwendungen zu untersuchen, wurde möglichst einfaches, preiswertes, kommerziell erwerbbares und bereits vorhandenes, erprobtes Material der Universität Basel benutzt. So zum Beispiel eine Drohne Phantom 4 Pro (DJI) (Abb. 3), eine Drohne Phantom 3 Pro (DJI), eine Sequoia-Kamera von Parrot für Multispektralaufnahmen, das App Pix4DCapture (PIX4D) für die Flugplanung im Feld, ein GNSS von Trimble zur genauen Georeferenzierung der Drohnenbilder, ein Laser von Bosch PLR 40C, um die Volumenmessungen zu validieren, das Programm Pix4Dmapper für die Auswertung der Drohnenbilder sowie das GIS-Programm ArcGIS für Darstellungen und weitere Berechnungen. Die Ergebnisse, welche mit diesen gegebenen Arbeitsgeräten erreicht werden konnten, dienten als Referenzprodukte, um in der anschliessenden Diskussion die Qualität der generierten Bilder und die eventuelle Notwendigkeit einer spezifischen Technik einzuschätzen.

Um die Qualität der gemachten Drohnenbilder und auch deren praktische Anwendung in einem amtlichen Kontext zu prüfen, wurden in dieser Studie die vorhandenen Ergebnisse mit den verschiedenen kantonalen Stellen des Kantons Aargau diskutiert.



Abb. 3 Drohnenflug über Bodenerosionsrillen.

*Foto: D. Mändli 2017*

## 4 Ergebnisse und Diskussion

### 4.1 Orthophotos und Höhenmodelle, Qualität und Aufwand

Mit verschiedenen Drohnenflügen konnten Höhenmodelle und Orthophotos mit einer sehr guten Auflösung von bis zu 0.24 cm erstellt werden. Auf diesen hochauflösten Bildern sind die verschlammten Oberflächen und auch kleine Rillen gut zu erkennen. Abbildung 4 zeigt ein Höhenmodell und ein Orthophoto, welche jeweils mit denselben Aufnahmen aus nur einem Drohnenflug generiert worden sind. Dagegen sinkt bei hohen und schnellen Flügen mit grossen überflogenen Flächen die Qualität der Auflösung. Dafür ist mit diesen Flügen ein ganzheitlicheres Bild der Erosionssituation und somit auch der Erosionsursache sichtbar zu machen (Abb. 5).

Anhand der erzielten Ergebnisse einer ersten Flugphase konnte gezeigt werden, dass mithilfe von UAVs Erosionsformen erfasst werden können. Auch mit einfachem Material ist es möglich, gute Resultate zu erreichen, was die Qualität der von UAVs generierten Daten betrifft.

Die Ergebnisse beweisen, dass die Planung des Drohnenfluges stark von der Fragestellung abhängig ist. Die vorausgesetzte Auflösung der Höhenmodelle und Orthophotos hat einen grossen Einfluss auf die Flughöhe, den Flugmodus, die überflogene Fläche und auch die Flugdauer. Begrenzend dabei ist immer die Akkulaufzeit sowie die vorhandene Anzahl Akkus für die Drohnen. Auch das Wachstum der Vegetation ist ein wichtiger Bestandteil der Flugplanung, da es das Zeitfenster der Befliegung bestimmt bzw. einschränkt. Der Aufwand für eine Erfassung von Bodenerosion setzt sich aus der Flugplanung, der Flugzeit der Drohne, dem Einmessen der GCPs (Bodenkontrollpunkte, welche zur genauen Georeferenzierung der Drohnenbilder dienen) und der Nachbearbeitung der Drohnenbilder zusammen.

**Drohnenflug: Flughöhe 10 m, Double Grid, Auflösung 0.4 cm  
Gelterkinden "Lachmatt", 7. März 2017**

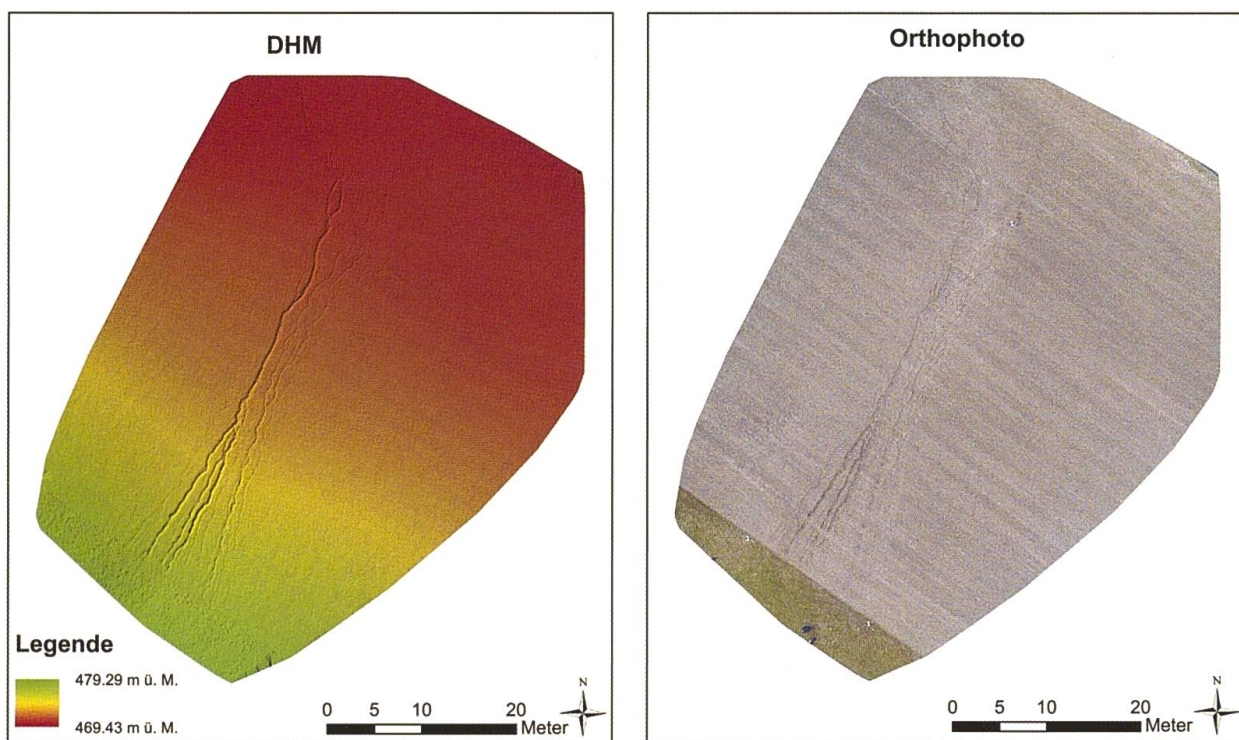


Abb. 4 Erosionsrillen in Gelterkinden "Lachmatt": Das Bild links zeigt das Höhenmodell, dasjenige rechts ein Orthophoto. Das Höhenmodell und das Orthophoto wurden mit Drohnenbildern aus demselben Drohnenflug generiert. Die Flughöhe betrug 10 m, die Geschwindigkeit der Drohne wurde auf ein Minimum reduziert, und es wurden Aufnahmen aus verschiedenen Flugrichtungen gemacht (Double Grid) (eigene Darstellung Delia Mändli 2017).

Die befragten amtlichen Stellen bestätigen, dass ein Drohneneinsatz hilfreich sein könnte, um bei bereits festgestellten Erosionsereignissen eine genaue kleinräumige UAV-basierte Schadenskartierung vorzunehmen. Um mit Drohnen grossflächige Regionen zu befliegen, wäre der Aufwand für den Kanton nach den befragten Personen sehr wahrscheinlich zu gross. Aus diesen Gründen eignet sich nach ihrer Meinung aus heutiger Sicht ein kombinierter Einsatz von vorhandenen LIDAR-Daten (Light Detection and Ranging-Daten) und Orthophotos wie auch die Betrachtung der bereits vorhandenen Erosionskarte, welche eine grobe Übersicht über das Erosionsrisiko und auch die Erosionsereignisse vermittelt.

## 4.2 Volumenberechnungen der Bodenerosion

Die Resultate der Bodenabtragberechnung mit einer Drohne gegenüber der Lasermessung zeigen jeweils eine Unterschätzung des Rillenvolumens um 20.1 % (der künstlich angelegten Rille 1) und eine Überschätzung von 15.2 % (der künstlich angelegten Rille 2). Es liegt damit insgesamt eine Spannweite von 35.3 % Abweichung des Bodenvolumens vor. Die Spannweite der Resultate kann dabei verschiedene Gründe aufweisen. So können zum Beispiel die Wahl der Berechnungsweise oder auch ein Schattenwurf in den Rillen die Höhenmodelle und somit auch die Volumenberechnung beeinflussen. Die Vermessung komplexer Erosionssysteme mit UAVs ist aber im Vergleich

Drohnenflug: Flughöhe 100 m, Single Grid; Auflösung 2.61 cm  
Gelterkinden "Lachmatt", 7. März 2017

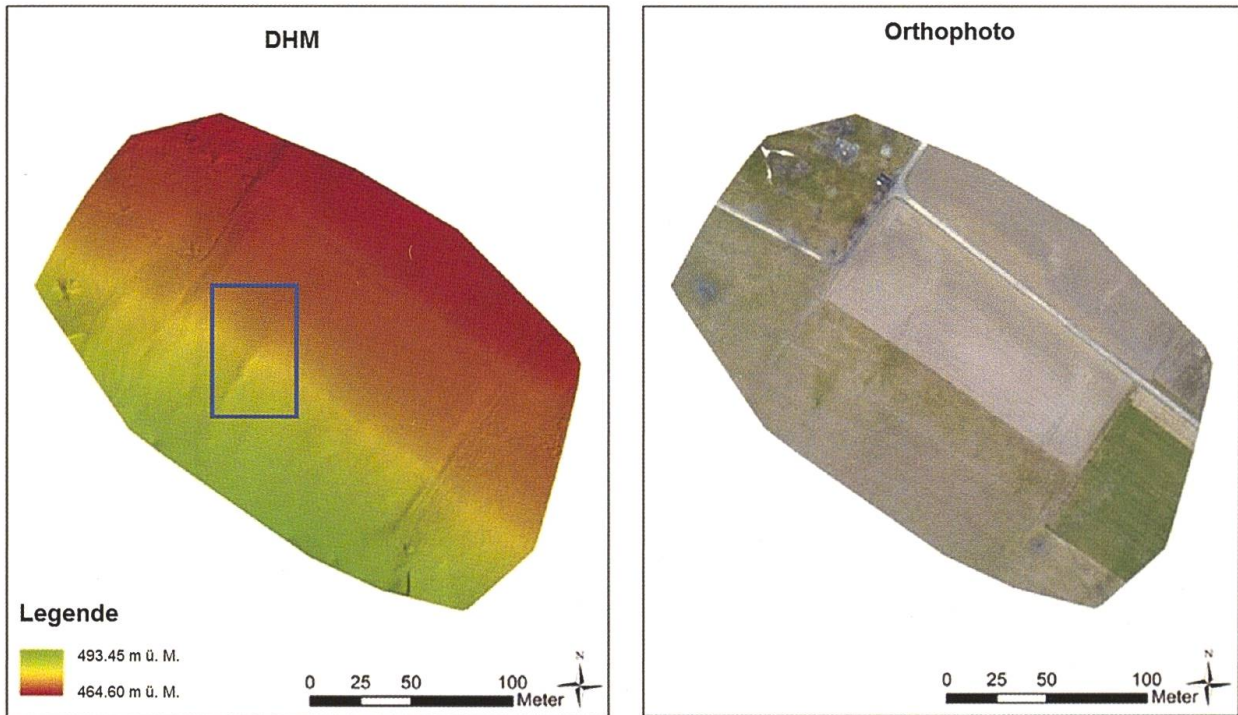


Abb. 5 Überflug über die ganze betroffene Ackerfläche in Gelterkinden "Lachmatt" (vgl. Abb. 4). Das Bild links zeigt wiederum das Höhenmodell, das Bild rechts das Orthophoto. Das Höhenmodell und das Orthophoto wurden mit Drohnenbildern aus demselben Drohnenflug generiert. Die Flughöhe betrug 100 m, die Geschwindigkeit der Drohne wurde auf ein Maximum gesetzt, und es wurden Aufnahmen aus nur einer Flugrichtung gemacht (Double Grid). Der blaue Rahmen zeigt den detaillierten und mit mehr Genauigkeit aufgenommenen Bildausschnitt von Abb. 4 (eigene Darstellung *Delia Mändli* 2017).

zu traditionellen Methoden, wo aufgrund einer "Kartierssubjektivität" von einem Fehler von 20 Prozent ausgegangen wird (*Rüttimann & Prasuhn* 1990), mit relativ wenig Aufwand und in der Genauigkeit gutem Ergebnis machbar.

Die kantonalen Stellen sind sich zudem einig, dass die grössten Vorteile der UAV-Anwendung insbesondere in der schnellen, einfachen und vor allem genauen Vermessung des Bodenabtrags liegen. Diese Art, die Bodenerosion zu erfassen, bietet nicht nur die Vorteile einer effizienteren Vermessung, sondern auch die Möglichkeit, die Beweislage systematisch abzusichern und die Bewirtschafter auf Grundlage der Ergebnisse in die Verantwortung zu nehmen. Gemäss dem Landwirtschaftsamt kann so zudem eine effiziente Methode, welche den Landwirten zeigt, dass Bodenerosion wirklich kontrolliert wird und auch Konsequenzen nach sich ziehen kann, eine Signalwirkung haben.

Das Berechnen des Bodenabtrags mit UAVs bietet somit für die Anwendung in einem Amt viel Potenzial. Die Volumenberechnung von selbst komplexen Erosionssystemen kann durch die Drohnen automatisch und schnell geschehen, weshalb die Anwendung von Drohnen dank der Zeitersparnis dem Kanton einen beachtlich wirtschaftlichen Nutzen brächte.

### 4.3 Einsatz der Multispektralkamera und Ergebnisse der Bodenanalyse

Der Einsatz der Multispektralkamera hat gezeigt, dass sich hier eine machbare Möglichkeit bietet, mit einfachen Mitteln die Pflanzenvitalität auf Ackerflächen zu dokumentieren. Abbildung 6 zeigt die NDVI-Verteilung in einem Feld bei einem Drohnenflug im Mai. Da die Ackerflächen nach dem Erosionsereignis nicht nochmals bearbeitet worden waren, sind vor allem die direkten Folgen des Bodenerosionsereignisses vom Januar 2017 zu erkennen. Schwieriger ist es dagegen, anhand der UAV-Kartierung ein eindeutiges Muster der durch längerfristige Erosionsschäden verursachten Folgen auf die Bodenqualität festzustellen.

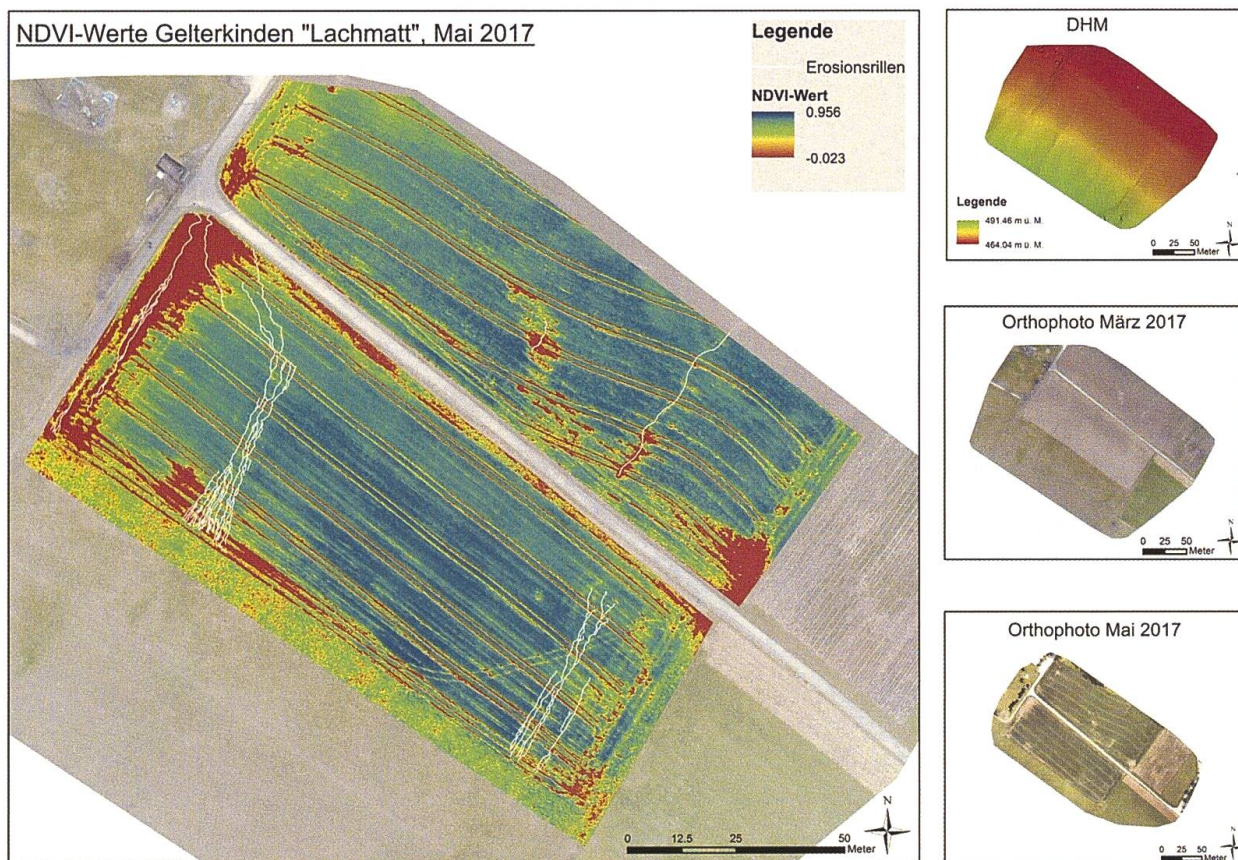


Abb. 6 Kartierung der NDVI im Untersuchungsgebiet "Lachmatt" im Mai 2017. Die blaue Farbe im Feld zeigt einen hohen NDVI-Wert, was eine hohe Pflanzenvitalität bedeutet (eigene Darstellung *Delia Mändli* 2017).

Für die aargauischen Behörden ist die Anwendung einer Multispektralkamera und der daraus generierten NDVI-Kartierungen wertvoll, um die direkten und eventuell die längerfristigen Auswirkungen der Bodenerosion visualisieren zu können. Denn diese NDVI-Karten können zudem Aufschluss darüber geben, inwiefern der Ertrag auf einer bestimmten Ackerfläche durch die Erosion beeinflusst wird. Damit können der Bevölkerung und den Bewirtschaftern die negativen Folgen der Bodenerosion aufgezeigt werden, welche sie dazu motivieren sollen, etwas dagegen zu unternehmen.

Die Schwierigkeiten liegen dabei aber noch in der Interpretation der NDVI-Daten und einer damit einhergehenden rechtlich verbindlichen Nutzung. Es spielen für ein gesundes Pflanzenwachstum mehrere Faktoren mit. Eine sichtbare Bodenschädigung muss daher nicht zwangsläufig auf Bodenerosion zurückzuführen sein und kann andere Gründe haben.

## 4.4 Grundlagen zur Umsetzung einer kantonalen Bodenerosionserfassung

Neben den gezeigten technischen Möglichkeiten und Herausforderungen, mit Drohnen Bodenerosion zu erfassen, spielen auch andere Faktoren eine wichtige Rolle, um die Anwendung von UAVs in einem gesetzlich verbindlichen Rahmen zu etablieren und umzusetzen.

Die befragten Behörden können es sich grundsätzlich vorstellen, UAVs in einem amtlichen Kontext einzusetzen und zentral zu verwalten. Von entscheidender Bedeutung ist das Nutzen-Kosten-Verhältnis. Dennoch gilt es, einige offene Fragen noch näher zu untersuchen, Synergien zu nutzen und ein effizientes Vorgehen in der Erosionskontrolle zu definieren. Dies ist wesentlich bestimmend dafür, welche Ressourcen für die Nutzung von Drohnen aufgebracht werden müssen. Dazu müssen aber auch die gesellschaftlichen, politischen und rechtlichen Rahmenbedingungen stimmen.

Für eine erfolgreiche Einführung der neuen UAV-Technologie in Ämtern spielt neben der Nutzenbetrachtung bezüglich Zeit, Personal, Finanzen und Arbeitserleichterung in der heutigen Zeit auch die zunehmende Digitalisierung mit den Themen Privatsphäre und Datenschutz eine bedeutende Rolle.

## 5 Fazit

Durch die neue Umweltgesetzgebung ist die Erfassung von Bodenerosion für kantonale Stellen zu einem Thema von grosser Wichtigkeit geworden. Die Studie hat aufgezeigt, dass die Bodenerosionserfassung mithilfe von UAVs den Behörden von grossem Nutzen sein kann.

Die gute Qualität und hohe Genauigkeit der UAV-Daten bieten den amtlichen Stellen, besonders in Kombination mit ihren bereits vorhandenen Orthophotos und Höhendaten, einen grossen Mehrwert mit einem geringen technischen und zeitlichen Aufwand. Es können kleinere Erosionsformen und Initialprozesse (Oberflächenverschlammung) mit UAVs präzise aufgenommen werden. Mit Drohnenaufnahmen ist es zudem möglich, ein ganzheitliches Bild des Erosionsereignisses zu erhalten, um die Ursache der Erosion zu eruieren und entsprechende Gegenmassnahmen zu planen.

Besonders für detaillierte Schadensdokumentationen mit Volumenberechnungen eignen sich hochaufgelöste UAV-Orthophotos und Höhenmodelle. Durch diese lassen sich nicht nur Überschreitungen der Schwellenwerte für Bodenerosion feststellen, sie dienen den Behörden auch als Beweismittel. Anhand dieser UAV-Aufnahmen und gegebenenfalls mit geeigneter Computer-Software ist es ihnen möglich, auch komplexe Erosionssysteme und deren Bodenabtrag schneller und mindestens so exakt wie mit den traditionellen Methoden der Schadenskartierung zu erfassen.

Die Kartierungen mit einer Multispektralkamera zeigen die direkten Erosionsschäden auf und haben das Potenzial, Landwirte und die Bevölkerung für die Bodenerosionsproblematik zu sensibilisieren. Auch der Sedimenteintrag in Gewässer wird in diesen Karten ersichtlich, was dem Gewässerschutz nützlich sein kann. Darüber hinaus können NDVI-Karten auch Bodenschädigungen sichtbar machen, welche nicht durch Bodenerosion verursacht wurden, beispielsweise Bodenverdichtung durch Befahren mit schweren Maschinen bei nassen Verhältnissen im Zuge von Bauvorhaben. Sie sind also dem physikalischen Bodenschutz im Allgemeinen dienlich.

Die befragten Behörden sehen in der UAV-basierten Bodenerosionserfassung viel Potenzial. Eine konkrete Anwendung von Drohnen ist dann für eine Fachstelle von Nutzen, wenn mit gegebenen Mitteln mit gleichem oder sogar weniger Aufwand ein deutlicher Mehrwert erzielt werden kann. Zusätzlich erhöht werden könnte dieser, wenn sich Synergien bezüglich verschiedener Voll-

zungsaufgaben ergeben. Im Weiteren kann eine Zusammenarbeit mit Hochschulen den kantonalen Ämtern von Nutzen sein, weil so ohne viele eigene Kapazitäten und mit wenig Aufwand der neuste Stand der Technik und Forschung eingehalten werden kann.

Um UAVs in einem amtlichen Kontext anwenden zu können, bedarf es noch einer endgültigen Regelung des Datenschutzes beim Einsatz von Drohnen. Danach können Standards zur Nutzung von UAVs im amtlichen Kontext als rechtlich verbindliches Vollzugsmittel festgelegt werden. Eine solche Klärung wird Vorurteile gegenüber den Drohnen abbauen und mehr Akzeptanz in der Gesellschaft für deren Verwendung schaffen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Drohnen in vielseitiger Hinsicht das Potenzial aufweisen, den kantonalen Fachstellen in ihrer Pflicht, die Bodenerosion zu erfassen, in Zukunft von enormem Nutzen sein können. Es ist aber unabdingbar, dass die Verwaltung die Errungenschaften der Digitalisierung ausschöpft, um ihre Arbeit so effektiv als möglich zu erledigen.

## Literatur

- Cramer M., Haala N., Rothermel M., Leinss B. & Fritsch D. 2013. UAV@LGL-Pilotstudie zum Einsatz von UAV im Rahmen der Landesvermessung in Deutschland. *Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation* 5: 495–509.
- Mändli D. 2017. *Das Potenzial von Drohnen (UAVs) in der kantonalen Bodenerosionserfassung*. Masterarbeit. Basel, 1–106.
- Ogermann P., Hebel B., Prasuhn V. & Weissshaidinger R. 2006. Erfassung von Bodenerosion in der Schweiz. Vergleichende Anwendung verschiedener Methoden und Beurteilung ihrer Eignung für den Vollzug der Bodenschutzgesetzgebung. *Geographica Helvetica* 61/3: 209–217.
- Rüttimann M. & Prasuhn V. 1990. Möglichkeiten der Fehlerabschätzung und Optimierung der Erosionsschadenskartierung. *Materialien zur Physiogeographie* 14: 41–49.
- Schaub D. 1999. *Gebietsbilanzen von Bodenerosion und der damit verbundenen Stoffumlagerungen*. Habilitationsschrift Universität Basel, 1–210.
- Stöcker C., Eltner A. & Karrasch P. 2015. Measuring gullies by synergetic application of UAV and close range photogrammetry – A case study from Andalusia, Spain. *Catena* 132: 1–11.
- Wageningen University & Research (Hrsg.) 2017. Wageningen University & Research Unmanned Aerial Remote Sensing Facility (UARSF). Online verfügbar: [www.wur.nl/en/Expertise-Services/Chair-groups/Environmental-Sciences/Laboratory-of-Geoinformation-Science-and-Remote-Sensing/Research/Integrated-land-monitoring/UARSF.htm](http://www.wur.nl/en/Expertise-Services/Chair-groups/Environmental-Sciences/Laboratory-of-Geoinformation-Science-and-Remote-Sensing/Research/Integrated-land-monitoring/UARSF.htm) [Eingesehen am 18.7.2017]