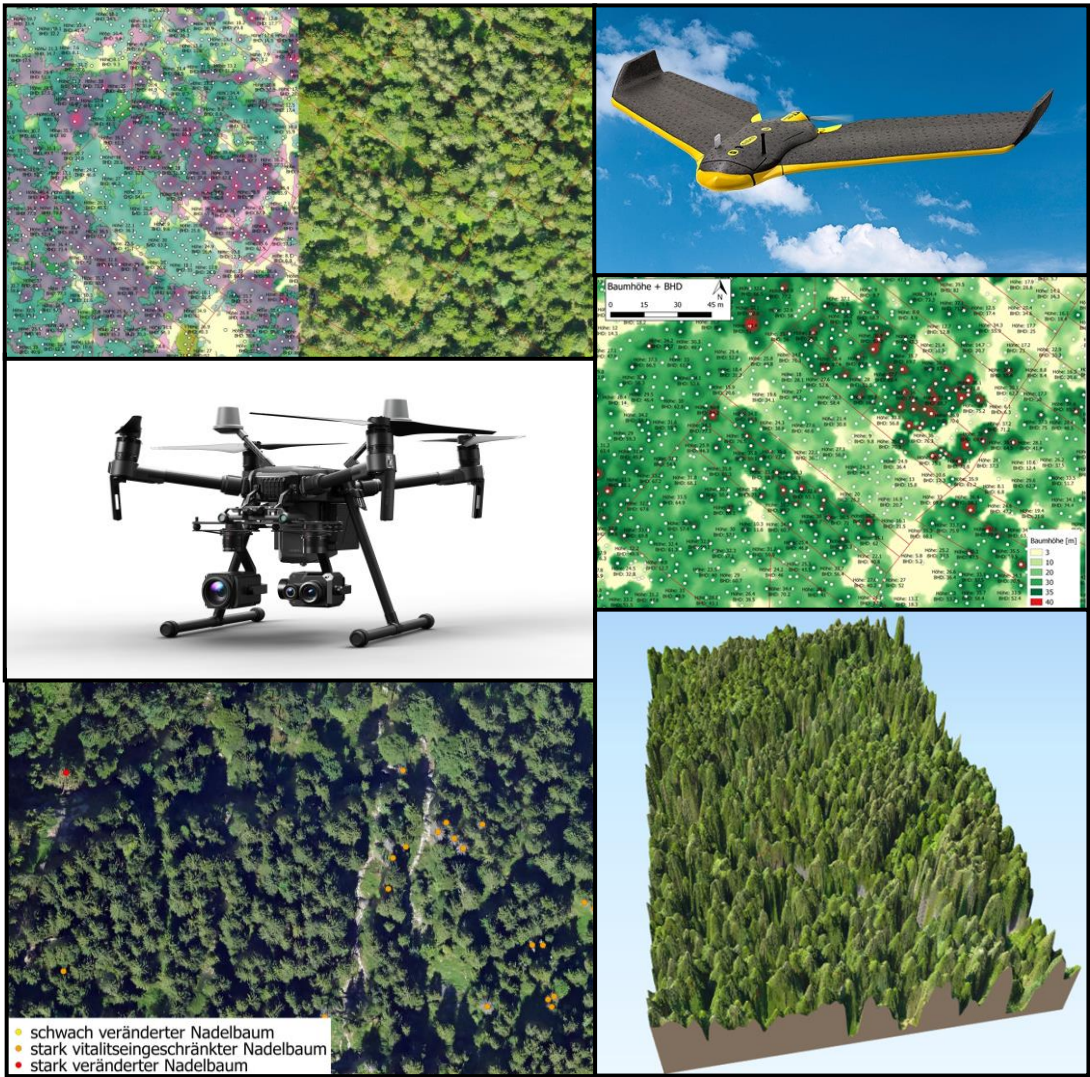


Drohneneinsatz in der RO

Grundlagenübersicht – Schlussbericht



Schwarzenberg, den 17. Dezember 2020

Inhalt

1	Übersicht Drohnen	3
2	Sensoren.....	5
3	Voraussetzungen für eine Befliegung mittels Drohne.....	6
4	Planung einer Befliegung.....	6
5	Leitfaden Drohneneinsatz	8
6	Anwendungen in der Forstwirtschaft:.....	9
7	Drohnen in den Waldorganisationen	11
8	Kauf einer Drohne	12
9	Testfläche 1: Borkenkäfer.....	13
10	Testfläche 2: Einzelbaumparameter.....	15
11	Testfläche 3 : Planung Wiederbewaldung.....	20

1 Übersicht Drohnen

Drohnen, auch UAV genannt (engl. „unmanned aerial vehicles“) werden schon seit Jahren in der Fernerkundung eingesetzt. Dabei werden immer neue Modelle auf den Markt gebracht. Es gibt keine gültige Klassifizierung von Drohnen. Unterschieden werden die einzelnen Drohnen nach Anordnung der Tragflächen oder der Position der Antriebe. Grundsätzlich gibt es Systeme mit Starrflügeln (fixed-wing) und Systeme mit Rotoren (copter). Es gibt jedoch auch Mischformen oder Systeme mit Ballonen oder Gleitschirmen.



Verschiedene Drohnentypen: Fixed Wing Drohne, Rotary Wing Drohne, Hybrid (Tilt-) Wing, Multikopter, Wingcopter, Luftschiff-Drohne.

Laut einer Schätzung vom BAZL gibt es in der Schweiz schon mehr als 100'000 Drohnen. Viele davon werden aber im Freizeitbereich eingesetzt. Das Angebot der Drohnen hat sich in den letzten Jahren rasant entwickelt. Die Drohnen werden zunehmend für spezifische Einsatzgebiete konstruiert. Die Hersteller bringen laufend neue Modelle auf den Markt. Grössere Flächenleistung, höhere Nutzlast oder genauere Sensoren sind Themen mit denen die Hersteller um Kundschaft werben. Dabei ist es schwierig den Überblick zu behalten.

Die Drohnen, welche für gewerbliche Zwecke eingesetzt werden, können grob in 3 Kategorien eingeteilt werden: Multikopter, Fixed Wings und Hybrid-Wings. Jeder Typ von Drohne hat einen optimalen Einsatzbereich und ein Vergleich zwischen den Kategorien ist schwierig.

Vor-/Nachteile der häufigsten Drohnentypen

Multikopter:
<p>Pro: Systeme mit Rotoren sind sehr stabil in der Luft und können auf der Stelle schweben. Dabei kann auch bei starkem Wind geflogen werden und der Start und die Landung sind an den meisten Orten möglich. Wenn nur einzelne Objekte (z.B. Einzelbaum) begutachtet werden, bieten sich Multikopter an.</p>
<p>Kontra: Die maximale Flugzeit und Flächenleistung bei den Multikoptern meist geringer als bei Fixed Wing Drohnen. Multikopter sind meist komplexer aufgebaut als Drohnen mit starren Flügeln (Fixed Wings). Die Folge sind schwierige Reparatur und Wartung.</p>
<p>Anwendung im Forst: Inspektion von Einzelbäumen, Orthofotos von Waldparzellen, Wiederbewaldungsflächen</p>
Fixed Wings:
<p>Pro: Systeme mit Flügeln haben relativ lange Flugzeiten, da sie relativ wenig Energie für den Auftrieb verbrauchen. Dadurch erhöht sich die Flächenleistung der Drohnen. Meist einfache Konstruktion im Vergleich zu Multikoptern. -->Repratur und Unterhalt einfach.</p>
<p>Kontra: Anfällig auf Wind und brauchen grössere Flächen zum Starten und Landen. Bei der Landung sind Schäden an der Drohne möglich. Weiter brauchen Systeme mit Starrflügeln eine gute Flugplanung, da die Drohne ständig in Bewegung sein muss und nur linienförmige Flugbahnen abgedeckt werden können.</p>
<p>Anwendung im Forst: Befliegung von Flächen, div. Anwendungen (Orthofoto, Multispektralanalysen)</p>
Hybrid Wings (VTOL)*
<p>Pro: Senkrechter Start und Landung. Flächenleistung erhöht, durch Flugeigenschaften einer Fixed Wing Drohne</p>
<p>Kontra: Komplexere Technik ist teurer.</p>
<p>Anwendung im Forst: Wie Fixed Wings, Start/Landung aber auf kleinen Flächen (z.B. Forststrasse) möglich.</p>

***Hybrid Wings (VTOL)**Drohnen welche mit Flügeln gebaut, aber senkrecht starten und landen können (VTOL „Vertical Take-Off and Landing“). In der Praxis wird eine Vielzahl von Hybridsystemen getestet, um die Eigenschaften von Starrflügeln mit Rotoren zu verbinden.

Beispiel VTOL: Trinity F90+ von Quantum-Systems



2 Sensoren

Wurde ein geeigneter Drohnentyp für die Befliegung ausgewählt, so kommt die Frage der Sensoren. Nur wenn die Drohne mit geeigneten Sensoren ausgerüstet ist, können auch die gewünschten Daten erhoben werden.

Die wichtigsten Sensoren im forstlichen Bereich sind:

-Kameras:

RGB

Normale Kamera (Rot-Blau-Grün), wie wir sie aus von der Digitalkamera kennen. Aufnahmen von Orthofotos, Fotogrammetrie. Räumliche Lage und dreidimensionale Form des Objekts können dargestellt werden.

Es gibt eine Vielzahl an unterschiedlichen Anbietern von RGB-Kameras. Je nach Drohnentyp ist man auf einen Hersteller eingeschränkt.

Multispektralkamera

Zusätzliche Wellenlängen der Strahlung können ermittelt werden. Diese sind für das menschliche Auge meist nicht sichtbar. Besonders grünes, rotes und infrarotes Licht wird für Analysen verwendet.

-LIDAR (light detection and ranging)

Optische Abstandsmessung mittels Laser. Baumhöhe, -standort oder z.B. Deckungsgrad kann ermittelt werden. Es werden Punktwolken erzeugt.

-FLIR (Forward Looking Infrared)

Wärmebildkamera zur Erkennung von Waldbränden, Suche von Tieren und Personen oder zur Inspektion von Gebäudehüllen.

-Sensoren zur Positionsbestimmung

-GNSS (global navigation satellite system)

Positionsbestimmung der Drohne wird benötigt, damit die gesammelten Daten möglichst präzise erhoben werden. Satellitendaten selbst und in jedem Fall sind aufgrund von Verzögerungen in der Troposphäre usw. fehleranfällig und bieten eine maximale Genauigkeit von etwa 1 Meter.

Zwei Systeme zur Erhöhung der Genauigkeit:

-RTK (real-time kinematic)

Eine RTK-Drohne ist mit einem integrierten GNSS-RTK-Empfänger ausgestattet, der Daten von Satelliten und einer stationären Basisstation (Bodenstation) sammelt, um die Bildposition in Echtzeit während des Flugs genauer zu korrigieren

-PPK (post-processed kinematic)

Eine PPK-Drohne fliegt mit einem integrierten GNSS-PPK-Empfänger, der Daten von Satelliten sammelt und für den Abruf nach dem Flug aufzeichnet. Wenn die Drohne landet, muss ein Korrekturprozess über eine geeignete Software, durchgeführt werden. Daten mit absoluter Genauigkeit stehen dann für die Nachbearbeitung zur Verfügung

3 Voraussetzungen für eine Befliegung mittels Drohne

Gesetzliche Grundlagen

Das Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) ist für die Aufsicht über die zivile Luftfahrt zuständig. Viele Informationen zum Betrieb von Drohnen sind auf der Website abrufbar. <https://www.bazl.admin.ch/bazl/de/home.html>

Massgeblich für die Schweiz ist die Verordnung über Luftfahrzeuge besonderer Kategorien (VLK 748.941). Drohnen gehören wie Modellflugzeuge in die Kategorie unbemannte Luftfahrzeuge. Das Datenschutzgesetz regelt die Privatsphäre.

Unter folgenden Voraussetzungen darf eine Drohne **ohne Bewilligung** verwendet werden:

- Drohnengewicht kleiner als 30kg.
- Nicht näher als 5km rund um Flugplätze und Heliports.
- Nicht über oder näher als 100m von Menschenansammlungen.
- **Direkter Sichtkontakt immer vorhanden. (Meist der limitierende Faktor bei der Befliegung)**
- Nicht in der Nähe von Blaulichteinsätzen

Das Bundesamt für Zivilluftfahrt stellt für gewisse Ausnahmefälle Bewilligungen aus.

Eine Karte mit den räumlichen Einschränkungen kann ebenfalls auf der Website des BAZL's eingesehen werden. Dabei ist zu beachten, dass in Jagdbanngebieten und in Wasser- und Zugvogelreservaten von internationaler und nationaler Bedeutung der Betrieb von Drohnen verboten ist. Ausnahme: Das Bundesamt für Umwelt BAFU kann den Einsatz von Drohnen im Rahmen von wissenschaftlichen Projekten oder offiziellen Monitoringprogrammen bewilligen.

Lizenzierung

In der Schweiz braucht es bis jetzt keine spezielle Ausbildung, um eine Drohne fliegen zu lassen. Der Schweizerische Verband Ziviler Drohnen bietet Lizenzierungen auf zwei verschiedenen Stufen an.

Ab dem Jahr 2021 übernimmt die Schweiz die neue Europäische Drohnenregulierung. So müssen ab diesem Zeitpunkt Drohnen mit einem Gewicht über 250g registriert werden und es muss eine Onlineprüfung absolviert werden. So sollen Grundvoraussetzungen für die wachsende Drohnenindustrie geschaffen werden. Jedoch verzögern sich die Verhandlungen mit der EU und das Schweizer Recht gilt, bis eine Einigung gefunden wurde.

Um einen einfachen Drohneneinsatz zu planen werden in der Schweiz Kurse angeboten. SAFEDroneFlying bietet Kurse für Einsteiger an. Dieser Anbieter möchte sein Kursangebot auch für den Forstbereich ausbauen. (safedroneflying.aero/de/ausbildung)

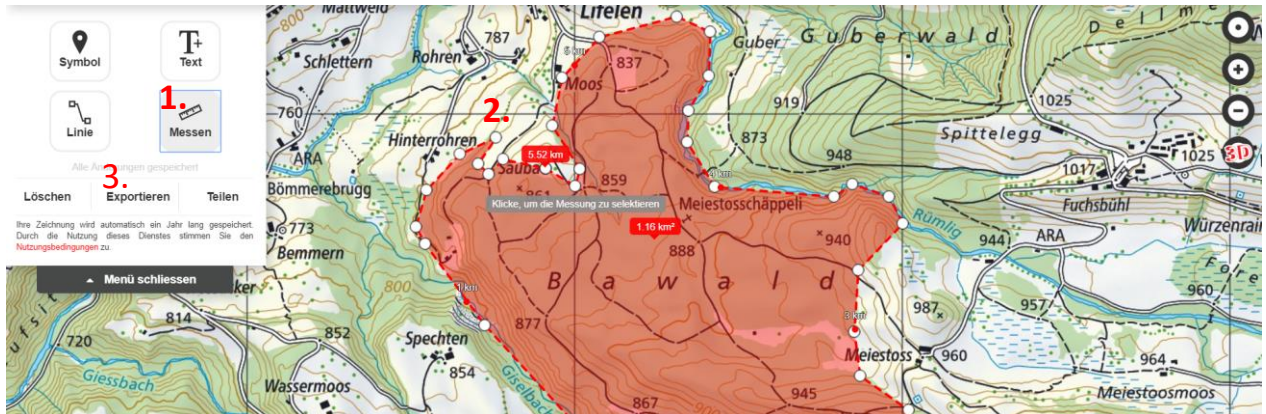
4 Planung einer Befliegung

Zusammenarbeit mit Dritten:

Perimeter bereitstellen

Damit die Unternehmen die Befliegung planen können, benötigen sie genaue geografische Informationen zu der Waldfläche. Es gibt mehrere Möglichkeiten, die Daten digital bereitzustellen (shapefile, gpx, kml). Um einen Perimeter zu erfassen gibt es eine einfache Möglichkeit auf dem Geoportal des Bundes

(www.map.geo.admin.ch). Dabei kann im Menü „Zeichnen & Messen auf der Karte“ der Perimeter eingezeichnet und anschliessend mittels „Exportieren“ als kml-Datei exportiert werden. Diese Datei kann in einem beliebigen Geoinformationssystem (GIS) weiterverwendet werden.



Datenqualität und -bereitstellung:

Bevor es zu einer Befliegung kommt, ist es wichtig, dass die verlangten Datenqualitäten und Datenformate klar definiert werden. Bei hochauflösenden Orthofotos muss evtl. die Flughöhe angepasst werden, um eine ausreichende Qualität sicherzustellen. Dies hat Auswirkungen auf die Flächenleistung der Drohne. Mit klaren Anforderungen an die Datenqualität kann die gewünschte Weiterverarbeitung sichergestellt werden und das finale Produkt wird auf dem System des Auftraggebers korrekt dargestellt und hat eine gute Aussagekraft.

Vor dem Flug:

Wetter

Da die Befliegung mit der Drohne stark von Wetter / Wind abhängt, muss kurzfristig entschieden werden, ob ein Flug stattfinden kann. Bei ca. 40km/h Wind ist bei den meisten Drohnen das Limit eines stabilen Fluges erreicht. Zu starker Wind führt zu Ungenauigkeiten und geringer Flächenleistung.

Stromversorgung

Ein wichtiges Detail ist die Stromversorgung der Drohne. Bei den Drohnen variiert die maximale Flugzeit von ca. 20 - 60 Minuten. Wenn der ganze Tag geflogen wird, muss das Laden der Batterien sichergestellt werden. Mehrere Akkus und eine Ladestation in der Nähe sind eine Voraussetzung für einen längeren Drohneneinsatz. Ein Anschluss an die Stromversorgung kann im Gelände nicht immer sichergestellt werden. In der Praxis werden zum Teil Autobatterien zum Aufladen der Akkus verwendet. Bei der Befliegung der Testfläche konnte ein Stromanschluss von einem nahen Gebäude genutzt werden.

Überwachung bei Befliegung

Das Gesetz schreibt vor, dass beim Betrieb einer Drohne immer direkter Sichtkontakt bestehen muss. So muss der Drohnenpilot die Fluglage und Flugrichtung der Drohne jederzeit eindeutig erkennen. So kann bei der Annäherung von andern Luftfahrzeugen oder Vögeln der Flug rechtzeitig abgebrochen werden. Die maximale Sichtentfernung einer Drohne kann berechnet werden (Christen et. al. 2018) Die daraus resultierende Maximale Sichtentfernung liegt bei einer DJI Mavic bei ca. 100 Meter. Für eine kommerzielle Anwendung ist diese Distanz eher kurz. Beim Bundesamt für Zivilluftfahrt kann jedoch eine Bewilligung für den Drohnenbetrieb über dünn besiedeltem Gebiet in beantragt werden. Für diese Bewilligung braucht es neben dem Piloten noch einen Luftraumbeobachter, welcher den Piloten bei einfliegendem Luftverkehr warnen kann. Für das Ausstellen der Bewilligung muss genügend Zeit einberechnet werden (mind. 2 Wochen). Diese Bewilligungen sind kostenpflichtig und erlauben eine Distanz von max. 2 Kilometern zwischen dem Beobachter und der Drohne.

5 Leitfaden Drohneneinsatz

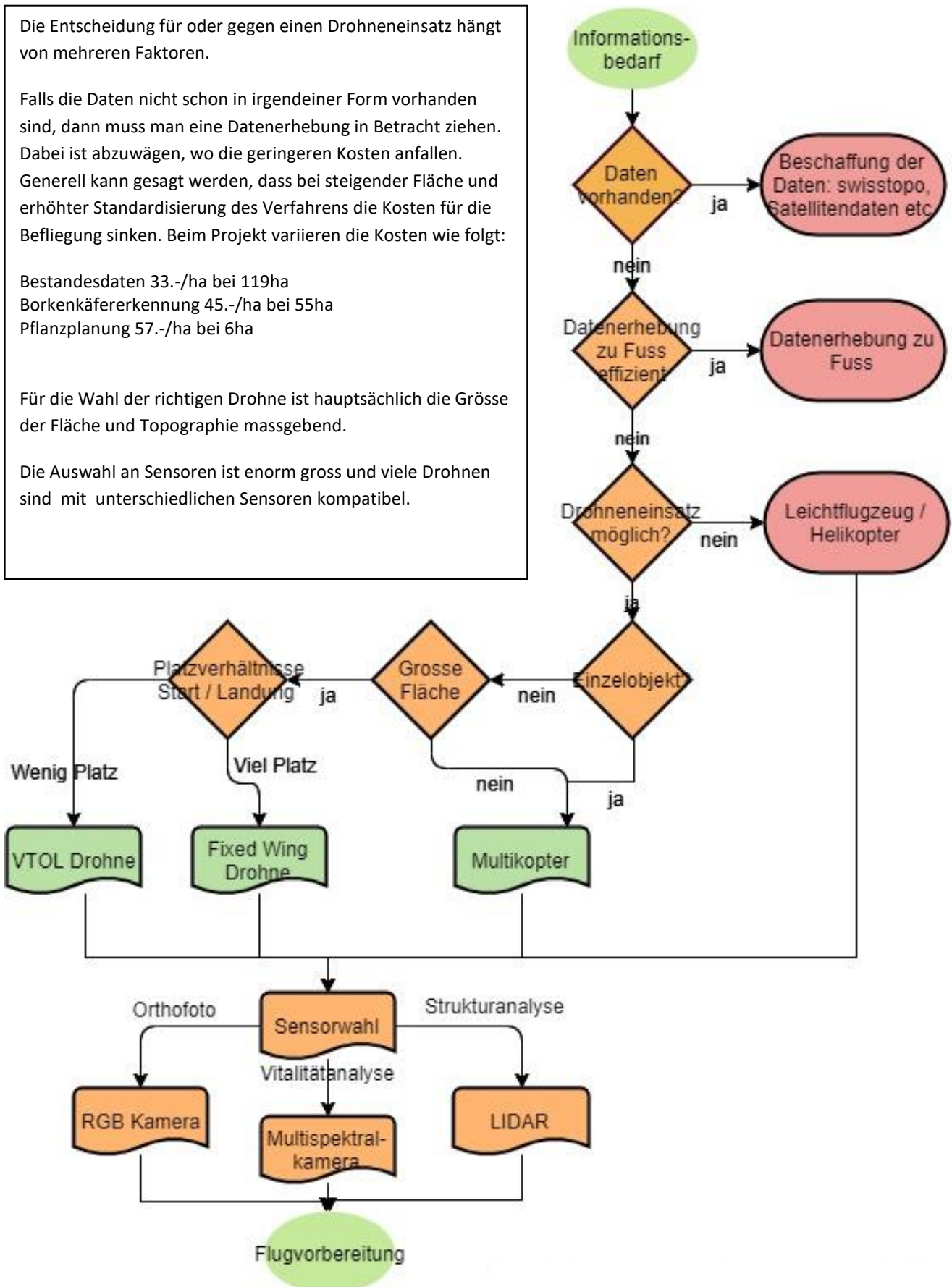
Die Entscheidung für oder gegen einen Drohneneinsatz hängt von mehreren Faktoren.

Falls die Daten nicht schon in irgendeiner Form vorhanden sind, dann muss man eine Datenerhebung in Betracht ziehen. Dabei ist abzuwägen, wo die geringeren Kosten anfallen. Generell kann gesagt werden, dass bei steigender Fläche und erhöhter Standardisierung des Verfahrens die Kosten für die Befliegung sinken. Beim Projekt variieren die Kosten wie folgt:

Bestandesdaten 33.-/ha bei 119ha
 Borkenkäfererkennung 45.-/ha bei 55ha
 Pflanzplanung 57.-/ha bei 6ha

Für die Wahl der richtigen Drohne ist hauptsächlich die Grösse der Fläche und Topographie massgebend.

Die Auswahl an Sensoren ist enorm gross und viele Drohnen sind mit unterschiedlichen Sensoren kompatibel.



6 Anwendungen in der Forstwirtschaft:

In der Forschung und teilweise schon in der Praxis werden vielfältige Einsatzmöglichkeiten für Drohnen getestet. Folgende Beispiele geben einen Überblick, wie unterschiedlich die Drohnen eingesetzt werden können:

-Schätzung von dendrometrischen Parametern

Mit der Befliegung können verschiedenste Informationen zum Waldbestand geschätzt werden (Baumhöhen, Zuwachs, Volumenberechnung, Baumart). Siehe Kapitel 9: Testfläche 2: Einzelbaumparameter

HAFL Projekt: <https://www.youtube.com/watch?v=UXHud1SZSj0>

-Lücken in Beständen

Bestandesaufnahme von vorhandenen Auerwildhabitaten und Identifikation von geeigneten Lücken fürs Auerwild: <https://www.naturparkmagazin.de/schwarzwald/luecken-fuer-kueken-zum-schutz-des-auerwilds/>

-Waldbrandüberwachung

Überblick zur Entwicklung von Feuer. Erkennen von Glutnestern nach einem Waldbrand mittels Wärmebildkamera. <https://www.moz.de/nachrichten/brandenburg/artikel-ansicht/dg/0/1/1733696/>

Waldbrandfrüherkennung, Pilotprojekt in Spanien: <https://www.telefonica.com/en/web/press-office/-/telefonica-successful-conducts-pilot-with-drones-based-on-iot-solutions-for-early-fire-detection>

-Waldzustandsüberwachung und –aufzeichnung

Borkenkäferüberwachung via Multispektralkamera. Siehe Kapitel 8: Testfläche 1: Borkenkäfer
Weitere Informationen:

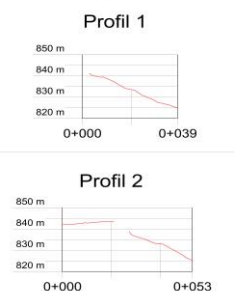
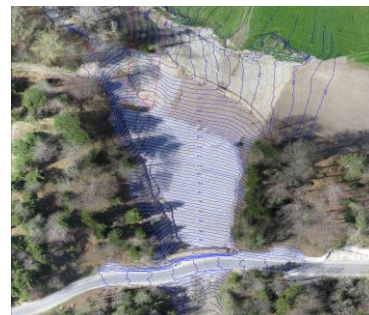
<https://www.forstpraxis.de/borkenkaefer-frueherkennung-im-wald/>

https://www.waldwissen.net/technik/inventur/fva_frueherkennung_kaeferbaume/index_DE

-Bodenveränderung

Bodenveränderungen wie Hangrutschung können aufgenommen werden. Ein Ingenieurbüro hat ein Orthophoto und ein digitales Terrainmodell inkl. Geländeprofile für das Sanierungsprojekt erstellt.

<https://www.emchberger.ch/de/drohnenvermessung-hangrutschung-hergiswaldstrasse>



-Seillinien, Planung mit Drohne:

Fallbeispiele im Kanton Luzern. In Zusammenarbeit mit der HAFL. (Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen Januar 2020, Vol. 171, No. 1, S. 28-35)

-Materialtransport mit Drohnen

Um den Transport von Material in steilem Gelände für die Forstarbeiter zu erleichtern, werden verschiedene Versuche unternommen.

Transport von Pflanzen für Aufforstungen im steilen Gelände.

<https://www.forstpraxis.de/oebf-testen-drohnen-fuer-aufforstungen/>

Drohnen als Hilfsmittel beim Bau von Seillinien (Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen: Dezember 2018, Vol. 169, No. 6, S.

347-350.)



Foto: ÖBF/ IONICA/Studio Kopfsache

Sicherheitsholzerei entlang von Stromleitungen, Seilbahnen, Eisenbahn

Befliegung der Objekte mit einem Lidar-Sensor. Darauf wird das Gelände als Punktwolke dargestellt. Jeder Punkt ist georeferenziert. Bäume welche ins Lichtraumprofil ragen oder ein Sicherheitsrisiko darstellen, können eruiert werden. <https://www.aeroscout.ch/pointclouds/adliswil/adliswil.html>

Da die Drohne für diese Anwendung im Frühjahr 2020 nicht verfügbar war, konnte diese Anwendung nicht getestet werden.

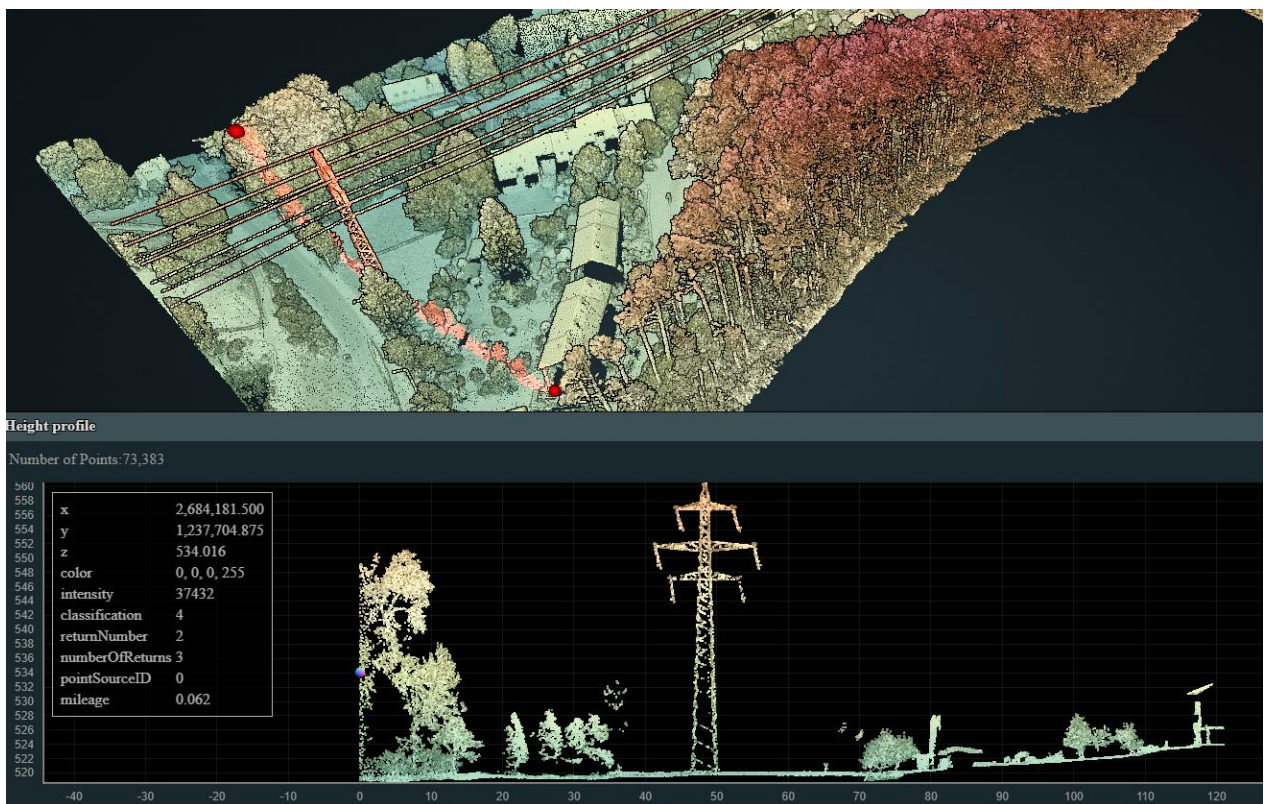


Abbildung:aeroscout.ch

7 Drohnen in den Waldorganisationen

„Wer exakt plant, irrt genauer!“ (Chinesisches Sprichwort)

Haben Drohnen eine berechtigte Zukunft in den Waldorganisationen? Folgende Punkte haben einen Einfluss auf diese Frage:

Entwicklung der Fernerkundung

Möglichst aktuelle Daten sind eine Voraussetzung für die Arbeit via Fernerkundung. Die benötigten Daten können von verschiedenen Quellen bezogen werden. So reicht die Bandbreite der Fernerkundung von der Gegenhangbeobachtung mit Feldstecher bis hin zum Satellitenbild. Die Flächenleistung wird mit zunehmender Höhe des Sensors immer grösser. So liefern Satelliten aktuelle Bilder von der gesamten Welt in einem Zyklus von wenigen Tagen. Die Qualität der Bilder wird immer besser und bei den kostenpflichtigen Dienstleistern ist man schon bei einer Auflösung kleiner als ein Meter angekommen.

Die Drohne hingegen wird auf kleinen Flächen angewendet, dafür können die Sensoren und der Zeitpunkt der Befliegung selbst gewählt werden.

Informationsbedarf

Immer mehr digitale Werkzeuge finden Anwendung in der Forstwirtschaft. Viele davon sind mit einem GPS ausgerüstet und lassen so eine geografische Verortung zu. Beispiele: Smartphone / Tablets, Kluppen mit GPS, Fahrzeuge. Für Informationen zur Umgebung basieren wir uns vielfach auf vorhandene Landkarten, Luftbilder, digitale Terrainmodelle, Vegetationshöhenmodelle. Diese sind einerseits im Waldportal des Kantons Luzern ersichtlich und können z.T. auch bei swisstopo bestellt werden. Daten aus einer Befliegung bieten den Vorteil, dass sie sehr aktuell sind und beliebig wiederholt werden können. Die Daten können in einem GIS dargestellt und bearbeitet werden, können aber nicht im Waldportal abgebildet werden. Diese Schnittstelle fehlt. Viele Daten von swisstopo können im GIS via WMS-Dienst dargestellt werden. Eine ähnliche Funktion für die Darstellung von eigenen Daten im Waldportal wäre interessant.

Einsatzmöglichkeiten der Drohne in der RO

Einsatzmöglichkeiten	Produkte	Vorteil für RO
Planung von Holzschlägen	Visualisierung von Bestandesstruktur bis Einzelbaumstruktur	Aktuelle Bestandesinformationen
Pflanzflächen	Aufnahme der Geometrie, Übersicht	Bessere Übersicht, einfachere Planung
Sturmflächen	Schadensbilder, Volumenschätzung	Ressourcen können gezielt eingesetzt werden.
Überwachung	Visualisierung von Nutzungen, Waldschäden etc.	Regelmässige Befliegungen bringen Mehrwert.
Arbeiten für Dritte	Alle forstlichen Anwendungen + Inspektion von Infrastruktur, Volumenerhebungen, Luftbilder, Videos etc.	Auslastung der Drohne erhöht.
weitere		

8 Kauf einer Drohne

Für eine RO kann der Kauf einer Drohne als zusätzliches Planungswerkzeug sinnvoll sein. Je nach Situation sind mehrere Varianten denkbar:

1. Kauf einer günstigen Drohne:

Wenn die Hauptanwendung im Bereich der Orthofotos liegt, dann kann mit einer günstigen Drohne ein gutes Resultat liefern.

Beispiel: DJI Phantom 4 Pro+ V2.0 Preis: ab ca. 2000.-Fr.

Software: Map Pilot App, OpenDroneMap




Generell gilt: Je präziser die Daten sein sollen, desto mehr kostet die Drohne

2. Einkauf der Leistungen bei Externen

Wenn nur gelegentlich Daten benötigt werden, kann die Zusammenarbeit mit Dritten sinnvoll sein. Ein Vorteil ist, dass die Datenlieferung im gewünschten Format erfolgt und keine Bearbeitung mehr vorgenommen werden muss.

3. Kauf einer guten Drohne, Anbieten von Dienstleistungen für Dritte.

Eine Möglichkeit ist der Aufbau von einem neuen Geschäftsbereich mit der Drohne. Aufträge in der Forstwirtschaft und in anderen Bereichen wie Landwirtschaft, Bau und Vermessung setzen eine hohe Genauigkeit der Daten voraus. Um den Einsatzbereich der Drohnen zu vergrössern sind mehrere Sensoren von Vorteil.

Marke / Modell	Ausstattung	ca. Kosten	Foto
Matrice 210 RTK V2 Series Multikopter	2 Akkus RGB Kamera Multispektralkamera Bildverarbeitungssoftware	30'000 CHF	
SenseFly (CH) eBee X Fixed Wings	RGB Kamera Multispektralkamera Bildverarbeitungssoftware RTK / PPK Modul	35'000 CHF	
Wingtra (CH) Wingtra One: VTOL	RGB Kamera Multispektralkamera Bildverarbeitungssoftware PPK Modul	40'000 CHF	

9 Testfläche 1: Borkenkäfer

Ausgangslage

Die Früherkennung des Borkenkäfers, besonders des Buchdruckers und Kupferstechers, ist ein wichtiges Thema in der Forstwirtschaft. Da der Aufwand für die Begehungen der Waldkomplexe mit grossem Aufwand verbunden ist, erhofft man sich eine Aufwandreduktion durch die Fernerkundung. Mehrere Unternehmen bieten inzwischen eine Dienstleistung zur Borkenkäfererkennung an. Die Firma Festmeter aus Österreich befasst sich schon seit einigen Jahren mit der Thematik. Gemeinsam mit der Firma Agrarpiloten aus der Schweiz bietet Festmeter den Service der Borkenkäferfrüherkennung an. Während der Befliegung der Walbestände werden mit einer Multispektralkamera Aufnahmen gemacht.

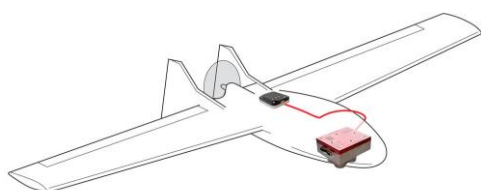


Abbildung: Multispektralkamera (micasense.com)

Wird ein Baum durch Käfer befallen, so wird der Transport der Produkte der Photosynthese zu den Wurzeln gestört und es kommt in Folge auch zu Störungen im Wassertransport in die Krone. Durch diesen Stress unterscheiden sich der Wassergehalt und die Chlorophyllproduktion in den Nadeln im Vergleich mit gesunden Bäumen. Dadurch verändert sich die Reflektion des Lichtes, was mit einer Multispektralkamera erfasst wird.

Ziele

Bei einer mehrmaligen Befliegung sollen diese Veränderungen in den Bäumen erfasst und kartiert werden. Nach der 2. Befliegung werden die Auswertungen innert Wochenfrist dem Auftraggeber gesendet.

Vorgehen

Im Frühjahr 2019 haben die Agrarpiloten und Festmeter ihren Service beim Kanton Luzern vorgestellt. Da auch im Kanton Bern grosse Flächen zur Befliegung geplant waren, wurden alle angemeldeten Flächen mittels Leichtflugzeug befliegen. Dadurch wurde die Flächenleistung wesentlich erhöht, was sich auch auf den Preis auswirkt.

Offerte für Befliegung mittels Drohne:

Fläche des Perimeters: **55ha**

1. Befliegung mit der Drohne	440.00 CHF
1. Auswertung Einzelbaumerkennung	385.00 CHF
2. Befliegung mit der Drohne	440.00 CHF
2. Auswertung Change Detection	385.00 CHF
3. Befliegung mit der Drohne	440.00 CHF
3. Auswertung Change Detection	385.00 CHF
Zwischentotal	2'475.00 CHF
MwSt. 7.7%	190.60 CHF
Total	2'665.60 CHF

Die dreimalige Befliegung und Auswertung mit der Drohne kostet 45.00 CHF/ha. Wird dieselbe Fläche mit dem Leichtflugzeug befliegen, so reduzieren sich die Kosten für drei Befliegungen inkl. Auswertung auf 22.00 CHF/ha.

Befliegung

Zur Befliegung der Flächen ist gutes Wetter unabdingbar. So ist bei der Befliegung darauf zu achten, dass im gesamten Perimeter gleichmässige Lichtverhältnisse anzutreffen sind. Je grösser die zu befliegende Fläche, insbesondere beim Flug mit dem Leichtflugzeug, desto schwieriger ist es ein Zeitfenster zu finden. Bei diesem Projekt wurde die Offerte am 26.04.2019 bestätigt und der erste Flug fand in Folge von schlechtem Wetter erst am 01.-02.06.2019 rund einen Monat später statt. Die zweite Befliegung wurde dann planmässig am 27.-28.06.2019 durchgeführt. Ungefähr eine Woche später, am 08.07.2019 sind die Auswertungen der Befliegung eingetroffen und konnten im Gelände verifiziert werden.

Auswertung

Die Vitalitätsveränderungen werden von Festmeter in 4 verschiedenen Klassen ausgegeben:

Vita1 (Unveränderter Nadelbaum): Gesund oder beginnender Käferbefall, keine Veränderung in der Baumkrone erkennbar. (Wird zur Wahrung der Übersicht nicht mit Punkten dargestellt.)

Vita2 (Stark veränderter Nadelbaum): Deutliche Veränderung der Vitalität zwischen den zeitlich auseinanderliegenden Aufnahmen.

Vita3 (Stark vitalitätseingeschränkter Nadelbaum): Nadelbäume wiesen bereits bei der Erstaufnahme starke Vitalitätseinschränkungen auf, z.B. kranke und absterbende Bäume sowie frühes Totholz.

Aus der Befliegung resultierten einerseits das Orthomosaik und andererseits die Punkte, wo Bäume mit Vitalitätsveränderungen aufgefunden wurden. Diese Daten wurden im GIS dargestellt. Mit diesen Daten konnte die Begehung geplant werden. Die Punkte wurden aufs das Smartphone geladen und mit der App Swiss Map dargestellt. Weiter wurde als zusätzliches Hilfsmittel ein Ausdruck der Orthofotos mitgenommen.

Im Perimeter wurden die meisten Punkte als „stark vitalitätseingeschränkter Nadelbaum“ klassifiziert. Weiter wurden noch je ein „stark veränderter Nadelbaum“ und ein „schwach veränderter Nadelbaum“ durch die Auswertung markiert.



Interpretation der Resultate

In der befliegenen Fläche wurde bis zum Zeitpunkt der ersten Auswertung kein übermässiger Borkenkäferbefall festgestellt. Alle Punkte der *vita2* und *vita3* wurden bei der Begehung als stark vitalitätseingeschränkte Bäume

beurteilt. Mehrheitlich handelte es sich bei den aufgefundenen Bäumen um Totholz aus den letzten Jahren. Beim stark veränderten Nadelbaum (rot) waren die Käfer ausgeflogen und die Krone dürr.

Für eine grossflächige Anwendung wird die Methode als zu ungenau angesehen. Die erhoffte Zeiteinsparung bei der Überwachung des Käferbefalls konnte durch die Befliegung nicht erreicht werden.

10 Testfläche 2: Einzelbaumparameter

Ausgangslage

Die Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL) forscht seit einigen Jahren zum Thema der Einzelbaumdetektion. Anhand von Drohnendaten werden Position, Höhe und BHD geschätzt. Der entsprechende Workflow wurde dokumentiert und als Best-Practice-Methode der Praxis zur Verfügung gestellt. Ziel ist es, dass in Zukunft Akteure auf dem Markt diese Dienstleistung selbständig anbieten können.

Methode

Mit der Befliegung werden Orthofotos generiert und das Oberflächenmodell (DOM) wird anhand der Befliegung berechnet. Mit dem Geländemodell (DGM) vom Kanton und dem Oberflächenmodell der Befliegung kann das normalisierte Oberflächenmodell (nDOM) erstellt werden. So erhält man die Höhenwerte der Vegetation. Mit einer Einzelbaumdetektionssoftware (EBDS) werden die Baumspitzen anhand des nDOM's lokalisiert. Es wurde die Software FINT (Find Individual Trees) angewendet, um die Baumpositionen zu eruieren. Mit Hilfe von terrestrischen Messungen wird das EBDS kalibriert, damit die BHD's geschätzt werden können. Weiter wird die Baumartenzusammensetzung anhand der Orthofotos berechnet. Um das Modell zu kalibrieren sind Aufnahmen im Bestand von Vorteil.

Siehe auch WaldundHolz 2019/6 Seite 36-38

Bei den Abklärungen im Frühjahr 2019 hat sich herausgestellt, dass die HAFL selbst auch Befliegungen anbietet.

Fläche des Perimeters: **119ha**

Offerte für die Befliegung:

Flugplanung und Vorabklärungen Flugplanung, Simulation, Bewilligung	437.50 CHF
Flugdurchführung Flugdurchführung vor Ort	1'000 CHF
Datenbearbeitung und GIS Analysen Generierung Oberflächenmodelle und Orthomosaiken Schätzung Einzelbaumparameter (Koordinaten / BHD / Höhe) Klassifizierung Baumarten Lbh/Ndh (supervised mit Ground Samples)	500 CHF 500 CHF 2'000 CHF
Spesen Spesen	425 CHF
Unvorhergesehenes 8%	389.00
MwSt. 7.7%	404.37
Total	5'655.87

Nach Abklärungen bei der HAFL konnte ein Pauschalpreis für die Befliegung im Rahmen des Projekts vereinbart werden. Für die Befliegung wurde ein Kostendach von 4000.- ausgemacht. Pro Hektar ergeben sich daraus Kosten von

ca. 33 Franken.

Befliegung

Für die Befliegung wurde der Perimeter vorgängig an die HAFL gesendet. So wurde im Voraus die Flugroute programmiert und die Start und Landepunkte definiert. Der Zeitpunkt für die Befliegung des Bestandes konnte sehr rasch und unkompliziert festgelegt werden. Am Tag der Befliegung stellte sich heraus, dass vom geplanten Startplatz der Perimeter nur unzureichend überblickbar war. So musste ein neuer Standort gesucht werden und die Flugroute im Feld auf dem Laptop angepasst werden. Technische Probleme mit der Verbindung von dem Laptop auf die Drohne verzögerten den Start zusätzlich. Vom neuen Standort aus konnte der gesamte Perimeter befliegen werden.

Während des Fluges wurden die Akkus laufend nachgeladen, damit die Drohne möglichst viel in der Luft war. Um die Akkus zu wechseln musste in der Nähe auf einer Wiese gelandet werden. Wobei die Landung nicht immer problemlos verlief. Mehrere Male setzte die Drohne etwas hart auf und verlor die Propeller und einmal wurden die Flügel beschädigt. Obwohl die Wiese recht gross war, war ein präzises Landen der Drohne nicht einfach. Eine senkrechtstartende Drohne bietet da gewisse Vorteile.

Bei der Befliegung war eine Person mit der permanenten Überwachung der Drohne per Auge beschäftigt, während die andere Person die Flugroute der Drohne auf dem Laptop mitverfolgte.

Die Befliegung konnte in einem Tag durchgeführt werden, obwohl es anfänglich noch Verzögerungen gegeben hat.

Auswertung

Nach der Befliegung wurden die Daten sehr rasch von der HAFL aufgearbeitet. Als erstes Produkt wurde ein Orthofoto generiert. Mit dieser Grundlage wurden im Bestand terrestrische Aufnahmen durchgeführt. Es wurden rund 40 Bäume eingemessen (Höhe, BHD und Baumart) und der Standort auf dem Orthophoto markiert. Weiter wurden auf dem Orthofoto noch weitere Fichten und Tannen markiert, welche direkt erkennbar waren. Diese Daten wurden an die HAFL gesendet und zur Kalibrierung vom System verwendet.

Die HAFL lieferte daraufhin die Daten zu den Baumhöhen, BHD, und Baumarten auf den gesamten Bestand gerechnet. Diese Berechnungen wurden draussen mittels Stichproben nochmals verifiziert. Es wurden daraufhin noch gewisse Anpassungen in den Berechnungen gemacht, damit die Werte besser passten.

Resultate

Mit den Daten aus der Befliegung kann der Bestand auf vielfältige Weise dargestellt werden. Die Orthofotos sind sehr genau. Es hat beinahe keine Verzerrung und die Waldfläche stimmt mit den Parzellengrenzen überein. Nachfolgend einige Beispiele:

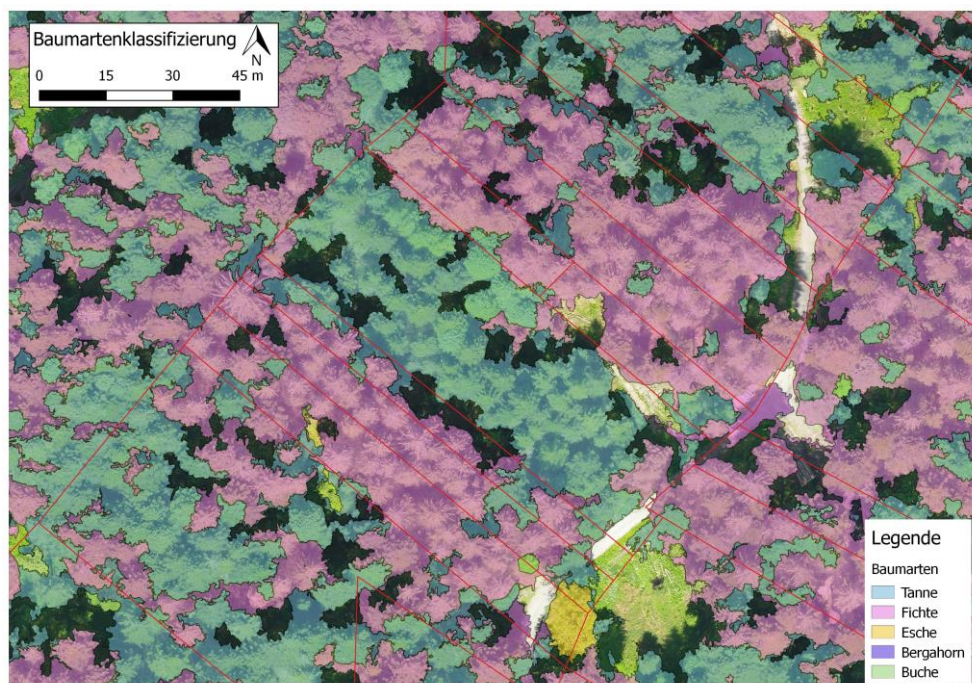
Orthofoto mit Parzellengrenzen:

Durch die hohe Auflösung und die Aufnahme der aktuellen Situation erhält man einen guten Überblick.



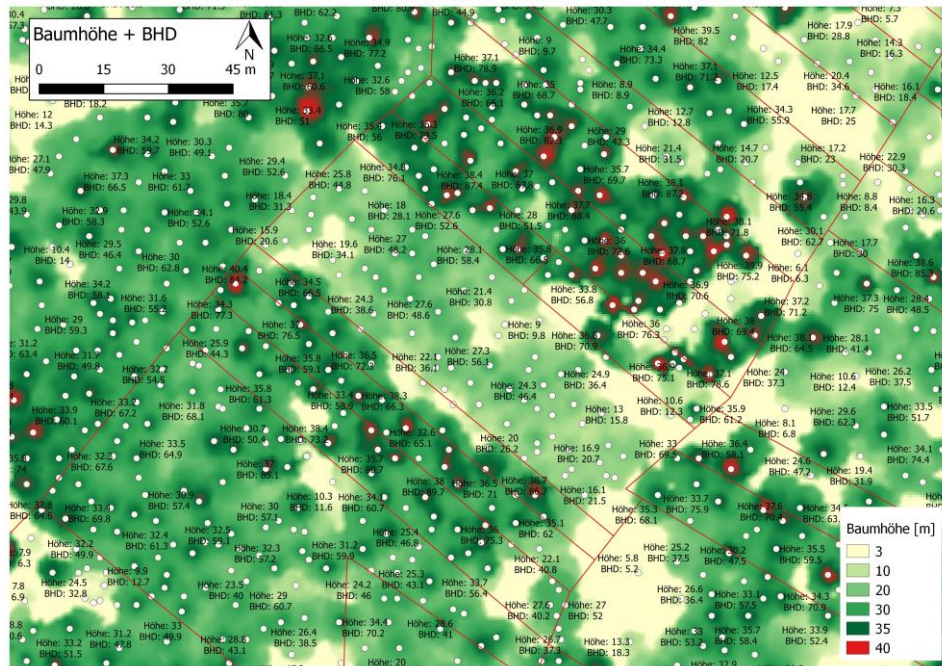
Orthofoto inkl. Baumarten

Durch die Visualisierung der Baumarten können Aussagen zu Mischungsart, -form und -grad gemacht werden.



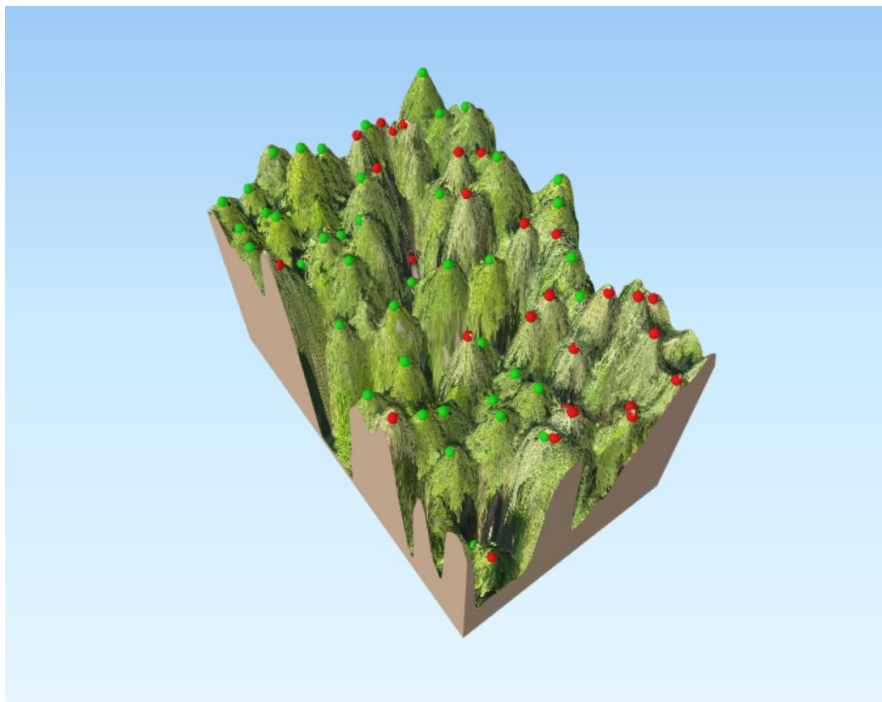
Baumhöhe inkl. Brusthöhendurchmesser

Mit Informationen zur Baumhöhe können Strukturen ersichtlich gemacht werden. Erntereife Bestände ermittelt oder potentielle Pflege-/Durchforstungsflächen aufgezeigt werden. Die Schätzung des BHD kann zur groben Ermittlung von Kubaturen verwendet werden.



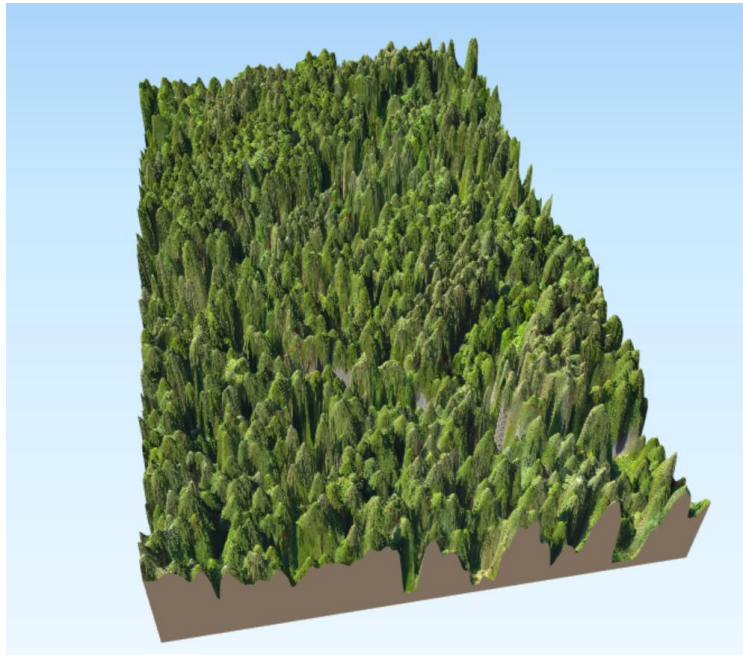
Kombinationen

Aus dem normalisierten Oberflächenmodell (nDOM), dem Orthofoto und den Infos zu den Baumarten kann eine einzelne Parzelle des Bestandes dargestellt werden. So wurden in diesem Beispiel alle Fichten mit einem roten Punkt und alle Tannen mit einem grünen Punkt auf der Spitze dargestellt. Weiter kann zu jedem Baum der geschätzte BHD abgerufen werden.



Visualisierungen über grössere Flächen

Bestände können auch über grössere Flächen dargestellt werden. So wird die Struktur auf einer grossen Fläche ersichtlich. Auch Sturmflächen könnten dargestellt werden.



11 Testfläche 3 : Planung Wiederbewaldung

Ausgangslage

In einem Waldkomplex hat ein Gewittersturm einen flächigen Schaden hinterlassen. Die gesamte Fläche wurde geräumt und wird im Jahr 2020 wieder angepflanzt.

Ziele

Mit der Befliegung sollen Informationen zu Grösse und Form der Fläche bereitgestellt werden. Diese sind massgebend für die Bestellung der Pflanzen und für die Pflanzplanung.

Methode

Die Fläche wird mit einer Drohne befliegen und die Orthofotos anschliessend zu einem Orthomosaik zusammengefügt. Im GIS kann die georeferenzierte Datei zur Planung verwendet werden.

Fläche des Perimeters: **6ha**

Offerte für die Befliegung:

Flugplanung und Befliegung	210.00 CHF
Datenbearbeitung und GIS Arbeit	130.00 CHF
Total	340.00 CHF

Ergebnisse

Mit dem Orthofoto kann man sich schnell ein Bild von der Situation machen. Die Georeferenzierung im GIS war nicht möglich, da das Orthofoto bei der Berechnung zu stark verzerrt wurde. Gründe für die Verzerrung können die Topografie oder die Leistungsfähigkeit des Sensoren / Verarbeitungsprogramms sein.



Fazit:

Das Thema Fernerkundung wird im Forst immer wichtiger. Der Bedarf an aktuellen Daten ist gross. Darum wird das Angebot an Produkten auch immer grösser. Bei den Drohnen gibt es eine Vielzahl Anbieter und Typen. Vor einem Kauf sollte die gewünschte Anwendung genau definiert werden. Die Anwendung in der RO wird in kleinflächigen Einsätzen gesehen. Dafür würde sich ein Multikopter eignen. Damit könnten Einzelbäume, aber auch Waldflächen von mehreren Hektaren abgeflogen werden. Sofern keine komplexe Auswertung oder präzise Georeferenzierung nötig ist, kann auch mit einer günstigen Drohne ein gutes Ergebnis erreicht werden. Wenn Daten über eine grössere Fläche erhoben werden, kann eine Fixed Wing Drohne / VTOL-Drohne eingesetzt werden.

Sobald spezielle Sensoren oder hohe Flächenleistung gefragt sind benötigt man eine bessere Drohne, was sich im Preis niederschlägt. Falls man sich nicht in diesem Tätigkeitsfeld spezialisieren möchte, macht ein Einkauf dieser Leistungen Sinn.

Was gegen den Kauf einer Drohne spricht, sind die immer genaueren Daten durch Fernerkundung von Drittanbietern. Die Qualität von Satelliten- oder Luftbildern wird genauer und immer regelmässiger verfügbar. Die Luftbilder von google sind im Bereich der RO Pilatus-Nord sehr aktuell (Sommer 2019), was für eine grobe Gebietsübersicht sehr interessant ist.

Testfläche 1: Borkenkäferfrüherkennung

Bei dieser Anwendung sind die Resultate noch nicht zufriedenstellend. Eine Erkennung von Käferbefall im Frühstadium hat auf der Testfläche nur bedingt funktioniert. Die dünnen Bäume wurden gut erkannt, was für die RO keinen grossen Mehrwert darstellt.

Testfläche 2: Einzelbaumparameter


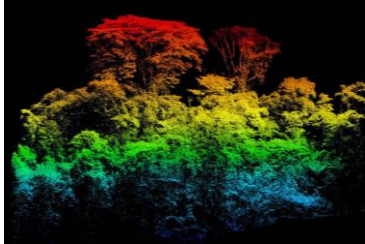

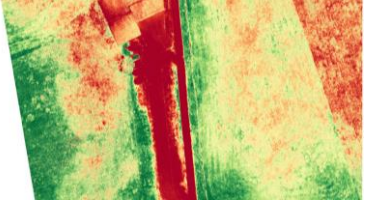



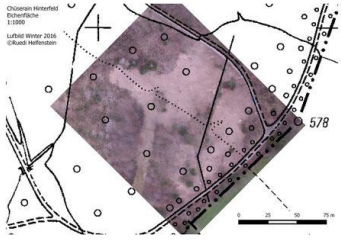
Mit der Befliegung des Bawaldes konnten viele Daten über den Waldkomplex gesammelt werden. Diverse Anwendungen lassen sich daraus ableiten. Ein Vorteil ist die hohe Genauigkeit der Daten und die gute Qualität der Bilder. Die Baumhöhen und Baumarten wurden ziemlich zuverlässig berechnet. Bei der Schätzung vom BHD der einzelnen Bäume sind die Abweichungen noch zu hoch.

Testfläche 3: Planung Wiederbewaldung



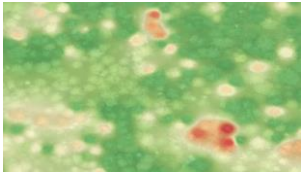


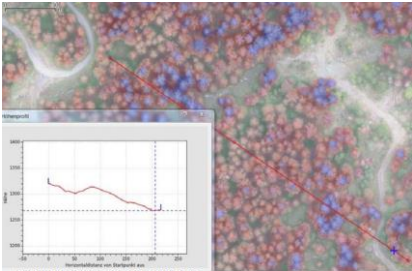


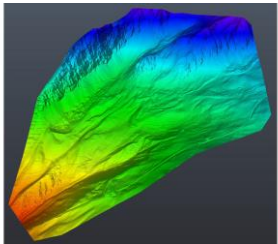
Diese Anwendung ist technisch einfach umzusetzen. Solche Aufnahmen können auch mit weniger professionellen Drohnen gemacht werden. Für einen Überblick über die Waldfläche reicht die Qualität der Daten. Jedoch ist bei der Bearbeitung eine relativ starke Verzerrung der Bilder aufgefallen.

Für die Drohnen gibt es diverse Anwendungsmöglichkeiten im Forstwesen. Wenn man keine eigene Drohne besitzt, so ist deren Einsatz noch mit vielen Abklärungen verbunden. Das kann ein Grund sein, dass man diese Technologie im Wald noch wenig einsetzt.

Anhang 1 Übersicht zu den Dienstleistern:

Standort	Anwendung	Beispiel	Drohne	Impressionen
<p>Aeroscout GmbH Hochschule Luzern Technikumstrasse 21 Building III, Room D311 6048 Horw https://www.aeroscout.ch/</p>	<p>Laser Scanning, Hyperspectral Imaging</p>	<p>Punktwolken (500points/m2) durch Laser Scanning. Vermessung der Bestandesstruktur , BHD, Baumhöhen. z.B. Pfynwald CH Zusammenarbeit mit Forschung und Privaten</p>	<p>Scout B-330 UAV helicopter</p> 	
<p>Remote Vision GmbH / Agrair St. Gallerstrasse 49/ Bau 4 9100 Herisau https://www.agrain.ch/</p>	<p>2D-Bild Pflanzanalyse, 3D Bild</p>	<p>Optische Pflanzanalyse durch Befliegung und anschliessende Bearbeitung mit digitalen Filtern.</p> <p>3D-Bilder aus Befliegungen</p>	<p>Diverse DJI Drohnen</p> 	
<p>Karten-Werk GmbH Hanskaspar Frei Böschacherstrasse 82 8624 Grüt https://www.karten-werk.ch/</p>	<p>Vegetationsindex, Geländemodelle</p>	<p>Orthomosaik, Vegetationsindex, 3D Punktwolken, 3D Visualisierungen, Oberflächenmodelle</p>	<p>eBee SQ</p> 	
<p>Luftbilder in Wald und Landschaft Ruedi Helfenstein DWL.direkt https://drohnenflugimwald.jimdo.com/</p>	<p>2D-Bilder georeferenziert</p>	<p>Luftbilder zur Übersicht: Überblick bei Sturmflächen, Bestandesbegründung</p>	<p>Yuneec Typhoon RS</p> 	

Optimierung der Bewirtschaftungsstrukturen und -Prozesse

<p>SilvaGIS GmbH Via Quinclas 9 7130 Ilanz https://silvagis.ch/</p>	<p>Borkenkäferfrüherkennung, g, DHM, Orthofoto</p>	<p>Durch Multispektralanalyse werden Vegetationskarten erstellt und die Wahrscheinlichkeit von Borkenkäferbefall geschätzt. Bietet Monitoring an.</p>	<p>DJI Phantom 4 Pro V2.0</p> 	<p>Trinity F9</p> 	
<p>Agrarpiloten GmbH Dorfstrasse 5 3429 Hellsau http://agrapiloten.ch/</p>	<p>Analyse und Detektion von Kalamitäten</p>	<p>In Zusammenarbeit mit dem österreichischen Unternehmen festmeter werden Befliegungen zur Borkenkäferfrüherkennung angeboten. Der Kanton Luzern hat die Dienstleistung getestet.</p>	<p>Diverse Drohnen von verschiedenen Piloten</p>		
<p>Berner Fachhochschule Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften Abteilung Waldwissenschaften Länggasse 85 3052 Zollikofen https://www.bfh.ch/hafl/</p>	<p>Einzelbaumerkennung, Baumartenerkennung, Seillinien, Schädlingsbefall</p>	<p>Die HAFL forscht in verschiedenen Bereichen und bietet gewisse Dienstleistungen für die Praxis an. Die Planung von Seillinien mittels Fernerkundung wurde u.a. im Kanton Luzern getestet. Befliegung von Beständen und Berechnung von Bestandesmerkmalen.</p>	<p>eBee X</p> 		
<p>Darnuzer Ingenieure AG Brämabüelstrasse 15 CH-7270 Davos Platz https://www.darnuzer.ch/</p>	<p>Orthophotos Punktwolken Höhenlinienpläne Digitale Geländemodelle Volumenberechnungen</p>	<p>Beispiel eines Ingenieurbüros, welches Dienstleistungen mit Drohnen anbietet. Mögliche Zusammenarbeit mit Forstbranche.</p>	<p>Wingtra One PPK</p> 	<p>DJI Inspire 1 Pro</p> 	

Die Auflistung ist nicht abschliessend. Zahlreiche Ingenieurbüros verfügen über eine Drohne zu Vermessungszwecken und Orthofotoaufnahmen