



1. Über uns

Die "FESTMETER Wöls GmbH" wurde 2016 gegründet und bietet Vitalitätsanalysen in Hinblick auf Borkenkäfererkennung im Nadelwald an. Durch die eingesetzte Technologie werden Vitalitätseinschränkungen sichtbar, man sieht Änderungen im Wassergehalt der Nadeln, nicht aber die genaue Ursache wie beispielsweise den Borkenkäfer selbst. Da aber Bildserien aus mindestens zwei zeitlich versetzten Flügen miteinander verglichen werden, können viele andere Ursachen wie Trockenstress ausgeschlossen werden, wodurch man dem Borkenkäfer sehr nahe auf die Spur kommt.

2. Projektablauf

- **Definition des zu untersuchenden Reviers:** Die AOI (Area-of-Interest) wird vom Kunden definiert und an Festmeter übermittelt. Das kann auf unterschiedlichen Wegen erfolgen: Im einfachsten Fall wird ein Polygon (GIS Vektorformat) von der Fläche übermittelt.
- **Befliegung:** Festmeter organisiert und koordiniert die Befliegung durch einen externen Partner. Je nach Projektgröße werden dafür UAVs / Drohnen (bis 300ha) oder Vermessungsflugzeuge (bis 10.000ha Tagesleistung) eingesetzt.
- **Multispektral-Fotografie:** Mittels Multispektralkamera werden die Wälder von oben fotografiert und Daten im Infrarot-Bereich ermittelt. Satellitenbilder werden zusätzlich auf experimenteller Basis genutzt. Der Erstflug / Initialflug findet zu Ende der Saison oder sehr früh in der neuen Saison statt; der Zweitflug im Regelfall zumindest 4 – 8 Wochen danach, abhängig von Lage, Temperatur, Niederschlag und Borkenkäferentwicklung. Die Flugzeitpunkte werden zusammen mit dem Revierverantwortlichen abgestimmt. Pro Saison werden bis zu 4 Flüge durchgeführt. Als ideal hat sich der Erstflug im Herbst, sowie eine rascher Zweitflug mit "Change Detection" (also einem baumgenauen Vergleich der beiden Datensätze zueinander) im Frühjahr erwiesen, um ein Verbreiten der 1. Käfergeneration einzudämmen.
- **Daten-Upload:** Nach der Befliegung werden die Daten umgehend im Festmeter Rechenzentrum bereitgestellt.



- **Vorverarbeitung:** Festmeter sichtet das Material, gibt es intern für die Verrechnung frei, und es folgt ein Preprocessing. Bei unzureichender Datenqualität können Bilder auch abgelehnt werden und ein neuer Flug muss durchgeführt werden.
- **Einzelbaumdetektor:** Als erster wesentlicher Prozessschritt kommt ein Einzelbaumdetektor zum Einsatz. Festmeter Algorithmen (auf Basis Deep Learning - Künstliche Intelligenz) ermitteln jeden einzelnen Nadelbaum und verorten bzw. nummerieren diesen individuell. Etwa 90% aller Nadelbäume werden dabei erkannt. Unterstandlinge werden nicht detektiert (von oben nicht sichtbar) und selten kommt es zur Ausgabe anderer Baumarten.

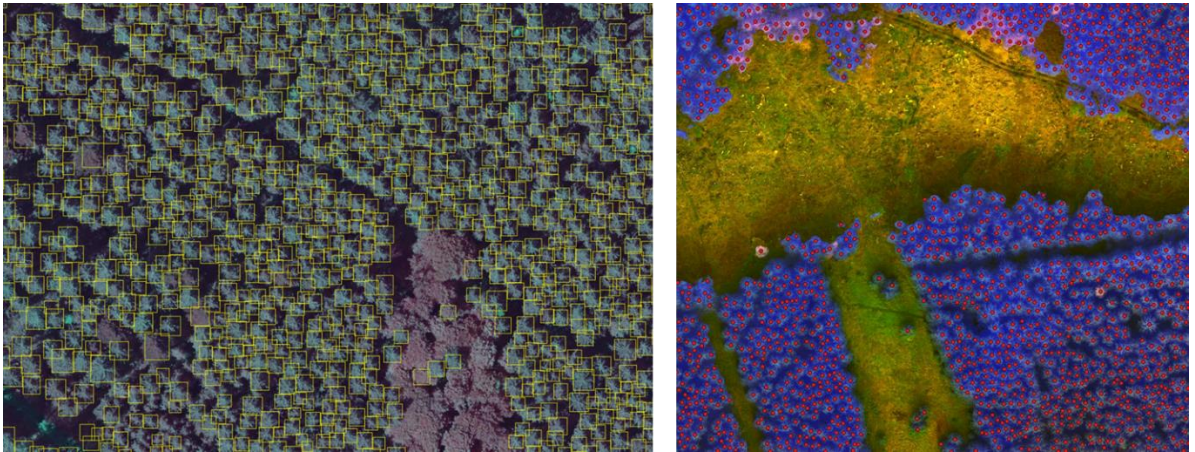


Abbildung 1: Einzelbaumdetektor auf Deep Learning Basis

- **Datenausgabe I:** Beim Erstflug/Initialflug werden alle vitalitätsmäßigen Einschränkungen ermittelt und auf Wunsch an den Auftraggeber geliefert - dies umfasst allerdings auch Totbäume aus Vorsaisons. Die Ergebnisse stehen je nach Projektgröße 4- 10 Werktage nach dem Flug zur Verfügung.
- **Datenausgabe II:** Ab dem zweiten Flug über selbiges Gebiet und unter Zuhilfenahme des Einzelbaumdetektors wird eine Change- Detection (Vergleich des einzelnen Baumes über die beiden Flüge mit sich selbst) sowie eine Nachbarschaftsanalyse (Vergleich des einzelnen Baumes mit seinen 20 Nachbarbäumen, siehe Abbildung 2) angewandt und es werden nur mehr deutlich veränderte Bäume ausgewiesen – damit wird der Fokus auf relevantere Punkte gelegt. Die Datenausgabe erfolgt je nach Projektgröße innerhalb einer Arbeitswoche nach dem Flug (Datenlieferung kann auch in Chargen erfolgen).

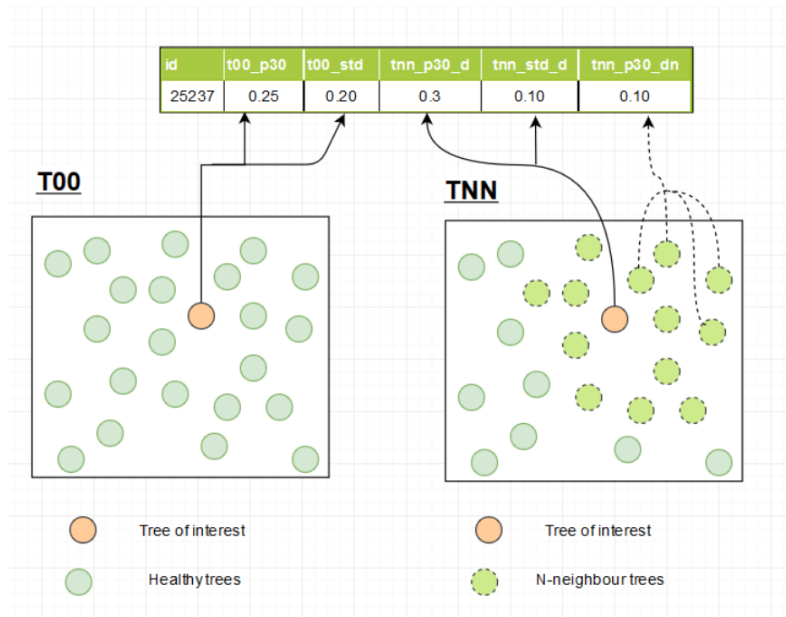


Abbildung 2: Techtimes Nachbarschaftsanalyse

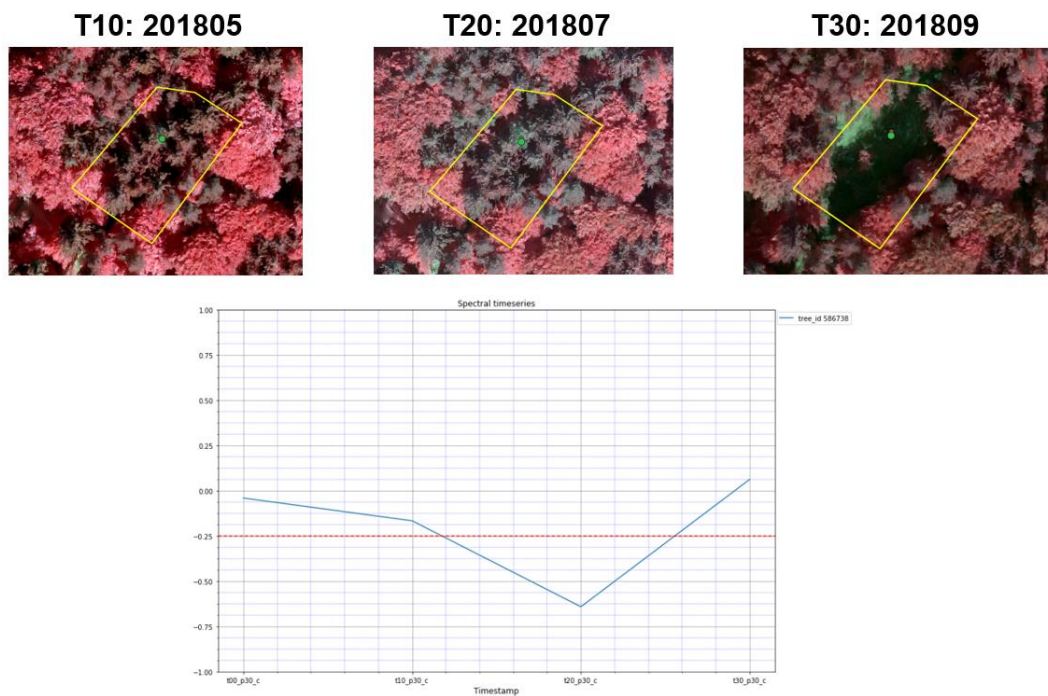


Abbildung 3: Techtimes Change Detection

- **Klassifizierung:** Die fertige Auswertung wird an den Waldbesitzer geliefert (als gelabelte GPS-Koordinate in Dateiformaten für vektorielle Geodaten - Shapefile etc.) oder in PDF / Papierform), der zu Grunde liegende Datenpool bleibt bei Festmeter. Die Vitalitätsveränderungen werden in 4 Klassen unterteilt (Basis Auswertung Change Detection, siehe Anhang)
 - vita1 - Unveränderter Nadelbaum (wird nicht ausgegeben, da Mehrheit der Bäume)

- vita2 - Stark veränderter Nadelbaum
- vita3 - Stark vitalitätseingeschränkter Nadelbaum
- vita4 - Schwach veränderter Nadelbaum
- **Suche im Bestand:** Optional bietet Festmeter hochpräzise GPS-Geräte zum leichteren Finden der befallenen Bäume im Wald an. Ebenso optional können Suchhunde abgerufen werden: <http://www.bodogs.at>

3. Was wird geliefert

Orthofoto: Da einer der ersten Prozessschritte die Verrechnung aller Einzelbilder aus der Befliegung in eine Gesamtszene ist, fällt ein hochaufgelöstes, aktuelles Orthofoto in CIR (Falschfarbenbild CIR=Colored InfraRed) an, das wir an unsere Kunden übergeben und das Auffinden der Punkte im Gelände erleichtern kann. (besserer Kontrast zwischen vita1 und vita2-4 Bäumen)



Abbildung 4: Orthofoto CIR (Falschfarbenbild CIR = Colored InfraRed)

Vitalitätsanalyse / Klassifizierung: Die Vitalitätsanalyse selbst, eingeteilt in die beschriebenen Klassen vita1 bis vita4 wird in Dateiformaten für vektorielle Geodaten(Shape-file etc., zur Übernahme in jedes GIS-basierte Forstmanagementprogramm) übermittelt. (siehe Anhang).

4. Zusatzprodukte (Optional)

RGB-Bild: Auf Anfrage stellen wir dem Kunden auch Bildmaterial in RGB (Rot-Grün-Blau Orthofoto) zu Verfügung.



Abbildung 5: Orthofoto RGB

Übersichtskarte / Bericht: Übersicht der ausgegebenen Bäume als PDF in Form einer Karte / Bericht



Abbildung 6: Beispiel Übersichtskarte

Heatmap / Klassifizierung: Zusätzlich können Häufungen von vita2-vita4 in Form von Heatmap - Übersichtsplänen aufbereitet werden. Dies ist vor allem bei größeren Waldgebieten von Vorteil, da hier *potentielle Käfernerster* auf einen Blick sichtbar werden.

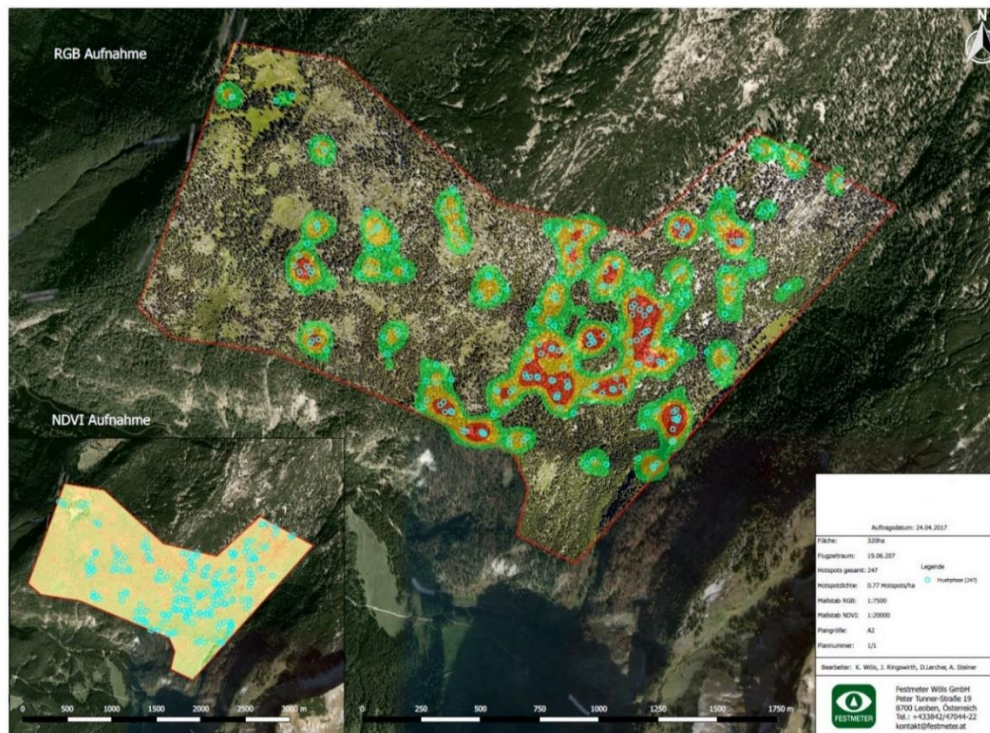


Abbildung 7: Beispiel Übersichtsplan - Heatmap

Zusatzprodukte

- NDVI – Reflektanzkarte
- Digitales Oberflächenmodell
- Canopy Height Model (diverse Klassen)
- Hillshade Visualisierung
- Aspect (Ausrichtung anhand Himmelsrichtungen, [0-360°] S-->S, clockwise), aus dem DGM abgeleitet
- Slope / Hangneigungskarte in %
- Punktwolke - ALS Daten (oben angeführte Daten mit Basis Laserdatensatz höhere Genauigkeit / Auflösung, Aufpreis Laserbefliegung)
- Betreuungsmodul - Unterstützung Waldbegehung
- Einschulung GPS RTK Gerät

Gerne informieren wir Sie über unsere Zusatzprodukte!
Nach der Analyse werden die Daten auf einem FTP-Server bereitgestellt bzw. digital über eine alternative Plattform übermittelt.

5. Auffinden der Punkte

Das Auffinden von GPS-Koordinaten im Bestand ist teilweise nicht einfach und erfordert Übung. Eine Hilfestellung bietet hier im ersten Schritt eine Übersichtskarte/ Orthofoto, damit Orientierungspunkte abgelesen werden können.

GIS-basierte APPs, welche die Navigation im Gelände unterstützen, können helfen im Bestand rascher zu den relevanten Punkten zu gelangen. Gerne helfen wir Ihnen bei der Auswahl einer APP weiter.

Geräte, welche die Verortung im Wald verbessern, arbeiten auf Basis von Signalverstärkung und bringen hier ebenso Vorteile. Auch hierbei helfen wir gerne weiter - sprechen Sie uns darauf an!



Abbildung 8: Auffinden der Bäume mittels GPS Unterstützung

Borkenkäfer-Suchhunde können ebenso bei einer baumgenauen Verortung helfen - siehe www.bodogs.at

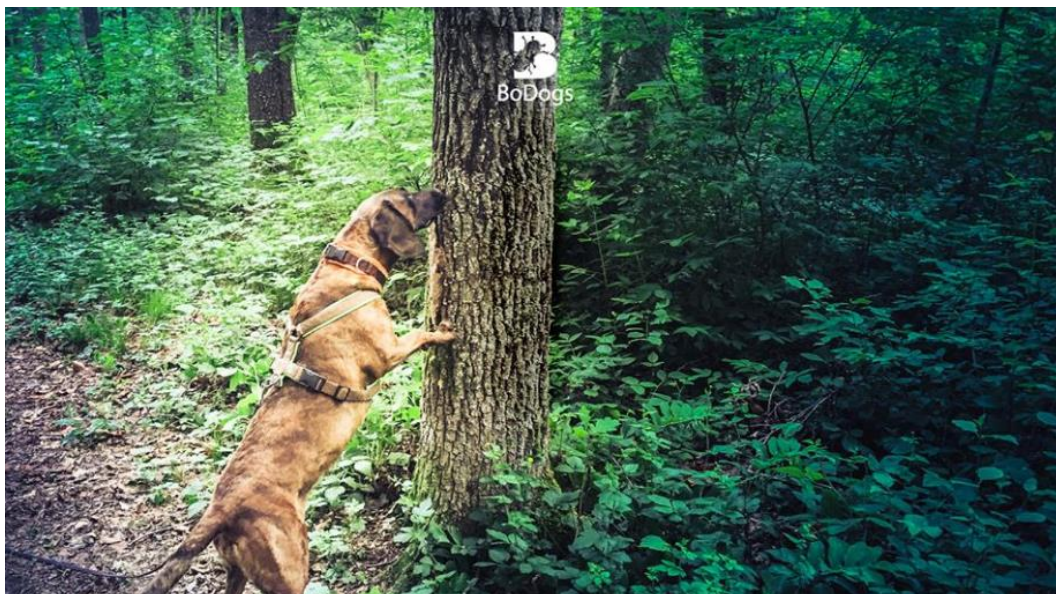


Abbildung 9: www.bodogs.at

6. Kosten / Nutzen-Darstellung

Unsere Vitalitätsanalysen können den Förster vor Ort nicht ersetzen. Wir wollen eine Hilfestellung bieten, um die Mehrheit der brisanten Befallspunkte im Bestand gezielt und rasch angehen zu können.

Der Förster bleibt essentieller Entscheidungsträger, was das Finden der jeweiligen besten Flugzeitpunkte betrifft und muss seine Expertise und seine Beobachtungen aus dem Revier dazu unbedingt einbringen.

Wenn wir eine Anleitung mit zu begehenden Punkten erstellen, ist der Förster angehalten die Bäume im Umfeld unserer Ausgaben intensiv nachzukontrollieren. Im Regelfall zeigen wir den Initialbaum an, können aber die Ausbreitung frühen Käferbefalls (z.B. Geschwisterbrut) auf den Nachbarbäumen eines solchen Initialbaums noch nicht erkennen, da es im Regelfall 3- 4 Wochen braucht, bis sich Änderungen des Wassergehalts in der Krone zeigen. Alles davor (Einbohren Pionierkäfer, Anlage der Rammelkammer, Anlage des Muttergangs, Ablegen der Eier, beginnender Larvenfraß) kann multispektral nicht ausgelesen werden. Erst die aktive, frische Brut, welche die Nährstoffkreisläufe des Baumes stört, führt zu Veränderungen im Stoffkreislauf des Baumes und damit in der Vitalität der Krone.

Dadurch wird das Zeitfenster um bestandsrettend agieren zu können leider sehr klein. Wir versuchen unsererseits die Zeiträume zur digitalen Verrechnung, Kontrolle und Aufbereitung der Daten so kurz wie möglich zu gestalten und haben in diesem Bereich massiv in Hard- und Software investiert, trotzdem braucht dies seine Zeit, weshalb wir den Waldbesitzer bitten mit Erhalt unserer Ausgabedaten unverzüglich im Bestand aktiv zu werden und gegebenenfalls rasch mit Erntemaßnahmen zu beginnen.

Wie die Erfahrung auf der Fläche zeigt, bewirkt das Stehenlassen eines befallenen Baums oft eine Explosion der Käfervermehrung, welche in Folge nicht mehr beherrscht werden kann.

Gelingt es durch unsere Unterstützung auch nur einen Käferbaum pro Hektar in einer noch grünen Baumphase zu ernten und zu vermarkten, so vermeidet man aktuell einen unmittelbaren Schaden des Wertverlustes von Blochholz zu Käferholz im Bereich von € 35,- / Festmeter, bei einem erntereifen Baum somit € 35,- / Hektar (1 EFM pro Baum). Die erhöhten Logistikkosten sind dabei unberücksichtigt. (Stand 2019)

Die darüber hinausgehende Vermeidung der Weiterverbreitung des Käfers im Bestand, das Verhindern des Aufreißens von Kronendecken und das damit einhergehende Windwurfrisiko ist hier noch gar nicht einkalkuliert.

Unsere Dienstleistung sollte somit bei Preisen unter € 35,-/Hektar für den Forstbetrieb leistbar und rechnerisch darstellbar sein.

Zudem muss die teilweise aufwändige und damit teure terrestrische Suche, speziell in Großforsten, ins Kalkül gezogen werden. Unser Service sollte eine wesentliche Reduktion der Suchkosten am Boden, sowie eine präzisere Ansteuerung im Forst ermöglichen.





Abbildung 10: Borkenkäferproblem 2018

Genaue Preise hängen stark vom individuellen Projekt ab. Wenden Sie sich an uns und wir erstellen gerne ein unverbindliches Angebot!

7. Kundenfeedback

Unsere Kunden sind digitalaffin und bereit sich auch im Forst auf neue Technologien einzulassen. Der Dienst von FESTMETER wird als Tool angenommen, welches helfen kann, ausufernden Schaden im Wald abzuwenden. Eine 100%-ige Trefferquote im *Käfermonitoring* aus der Luft bleibt unmöglich und unser Anspruch soll es sein, schneller und zielgerichteter im Feld agieren zu können. Die wachsamen Augen des Försters bleiben unersetzbar.

Wir sind in der Lage die Sensitivität der Auswertung anzupassen. Eine erhöhte Sensitivität zeigt auch geringe Veränderungen, wodurch aber die Anzahl der ausgewiesenen Bäume auf der Fläche ansteigt, was den Aufwand der Suche dieser Punkte erhöht (vita4).

Langjährige Kunden melden bereits positive Trefferquoten von über 80% zurück - wir identifizieren also die überwiegende Mehrheit des Käferbefalls; von den ausgewiesenen Punkten ausgehend werden die Förster auf der Fläche aktiv (Initialbaum).

Das Bild unten zeigt eine typische Szene bei einem Schweizer Projekt; Grün und Rot waren unsere ausgegebenen Punkte, Blau die vom Förster dann zusätzlich

identifizierten (und auch geernteten) Befallspunkte. Auch hier zeigt sich: Die überwiegende Mehrheit der Initialbäume wurden von uns gemeldet. Im Rahmen der Begutachtung der Nachbarbäume vor Ort (Geschwisterbrut) wurden dann größere Entnahmen vorgenommen:

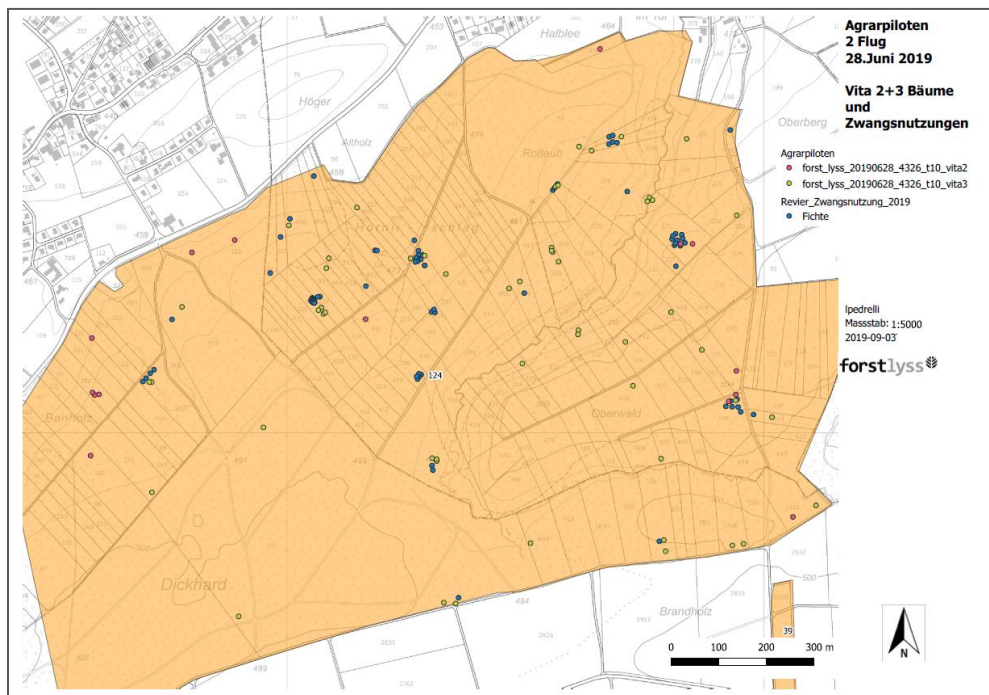


Abbildung 11: Übersichtskarte Forst Lyss

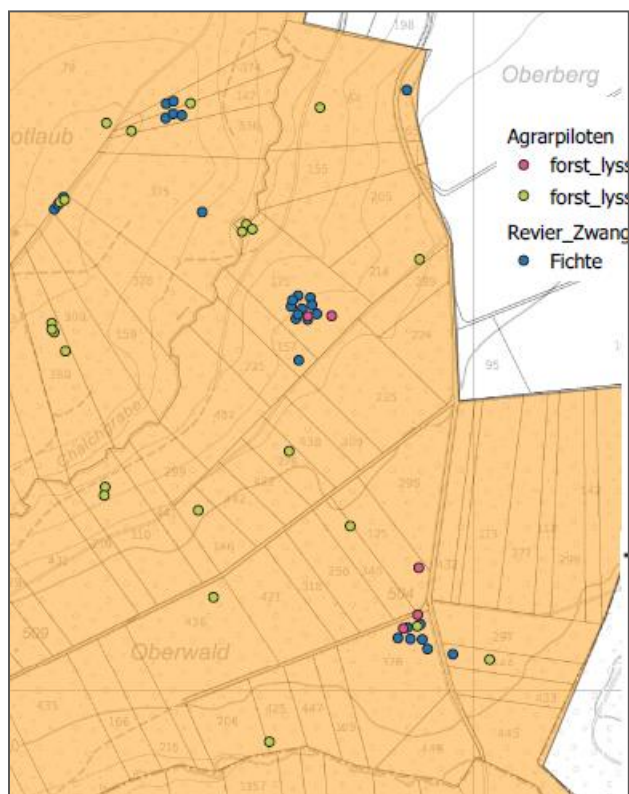


Abbildung 12: Detailaufnahme Forst Lyss

8. Zusammenfassung

In erster Linie sind unsere Dienste für Forstbetriebe mit größeren Flächen (z.B.: Bayrische Staatsforsten) und zu knapper Kapazität für Einzelbaumkontrollen interessant; dort, wo eine zeitlich eng getaktete und nahezu baumgenaue Kontrolle möglich ist, bleibt die terrestrische Suche wirtschaftlich. Wir zeigen zuverlässig Initialbäume an, die Entscheidung über die notwendigen Maßnahmen trifft aber weiter das Fachpersonal vor Ort.

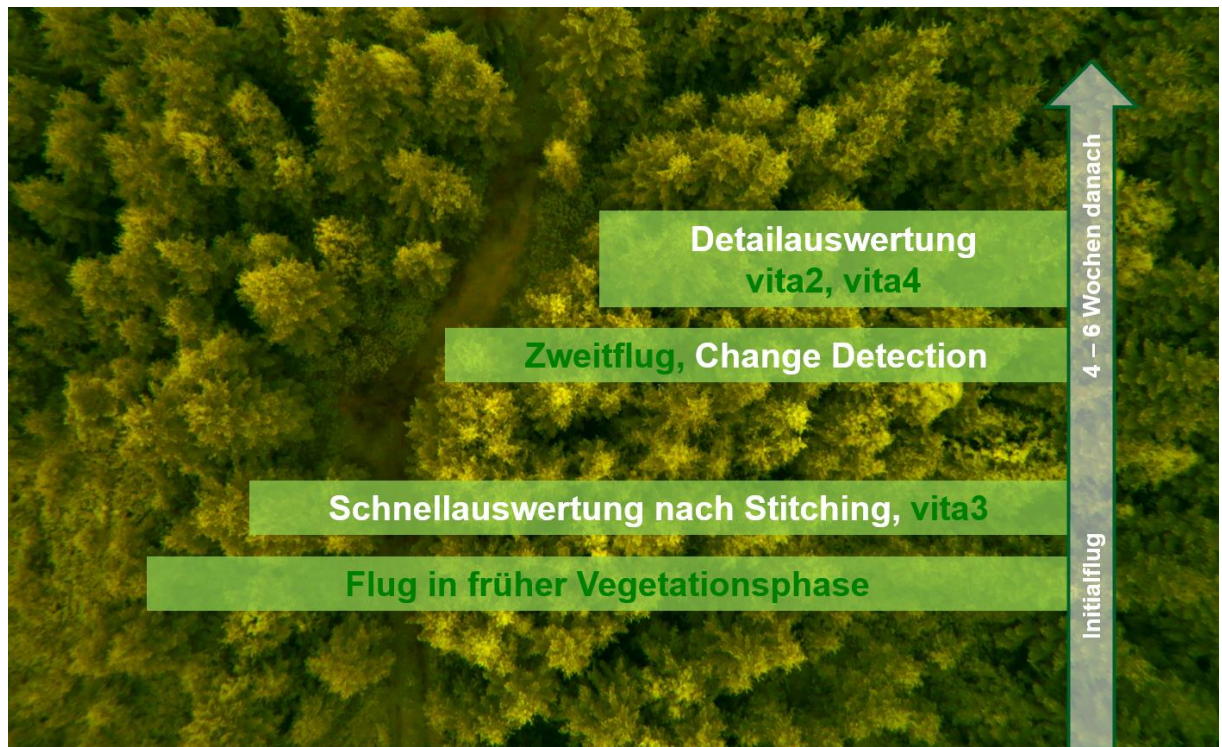


Abbildung 13: Ablauf Vitalitätsanalysen

ANHANG:

Anwendung und Interpretation der Ergebnisse

Auf Basis von zwei oder mehreren mit zeitlichem Abstand aufgenommenen Luftbildern der gleichen Waldflächen wird nach Vitalitätsveränderungen von Nadelbäumen gesucht. Die Grundlage für dieses Verfahren liefert ein Einzelbaumdetektor, der hauptsächlich Fichten, vereinzelt aber auch andere Nadelbaumarten ausweist. Die Vitalitätsveränderungen werden in 4 Klassen unterteilt:

vita1 - Unveränderter Nadelbaum

vita2 - Stark veränderter Nadelbaum

vita3 - Stark vitalitätseingeschränkter Nadelbaum

vita4 - Schwach veränderter Nadelbaum

vita1

Unveränderter Nadelbaum

Gesunder Baum oder beginnender Käferbefall bzw. andere Schäden in sehr frühem Stadium, wo noch keine Veränderung in der Versorgung der Baumkrone passiert ist.

Bevor im Nadelkleid Änderungen multispektral auslesbar werden, muss die Nährstoffversorgung zumindest teilweise eingeschränkt sein, z.B. durch Trockenheit oder durch Unterbrechung von Leitungsbahnen in Folge von Pilzbefall bzw. Fraßgängen der Larven. Dies kann ab dem Befall durch den Pilz bzw. dem Einbohren der Pionierkäfer einige Tage bis Wochen dauern.

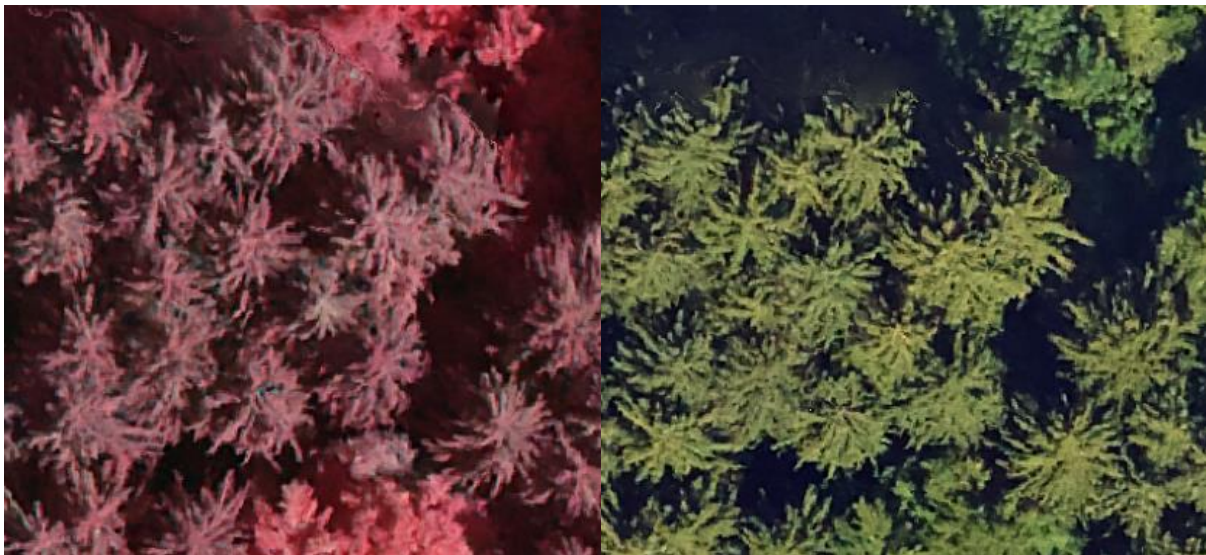


Abbildung 14: Die Abbildung zeigt dasselbe Waldstück zum gleichen Zeitpunkt, links als CIR-Aufnahme und rechts als RGB-Bild

vita2

Stark veränderter Nadelbaum

Deutliche Veränderung der Vitalität des Baumes zwischen den zeitlich auseinanderliegenden Aufnahmen aufgrund von Borkenkäferbefall, Trockenstress, Hallimasch, etc.

Vereinzelt werden auch frisch abgestorbene Bäume angezeigt.

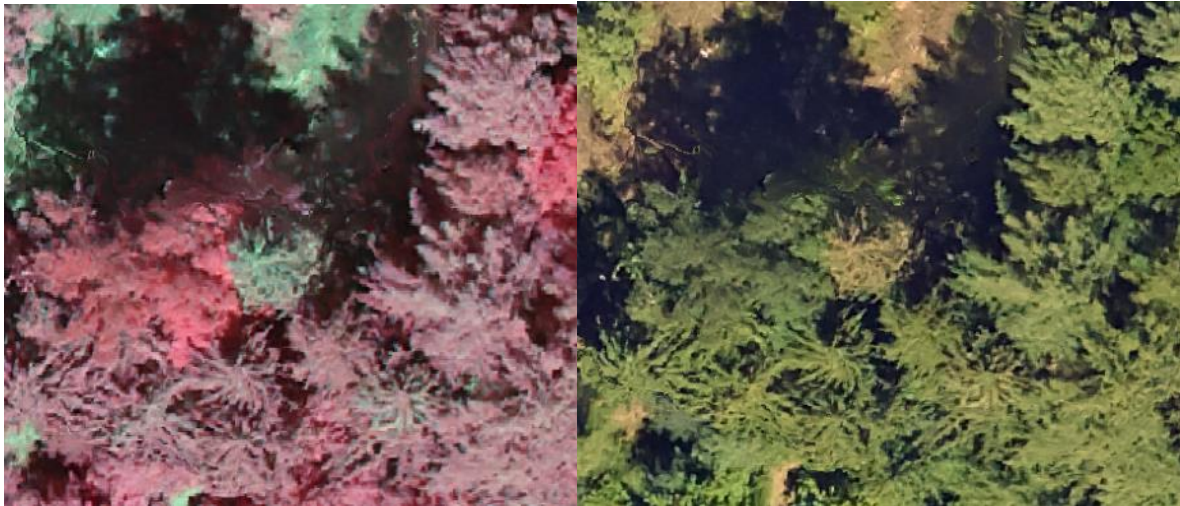


Abbildung 15: Beispiel A zum Zeitpunkt 1

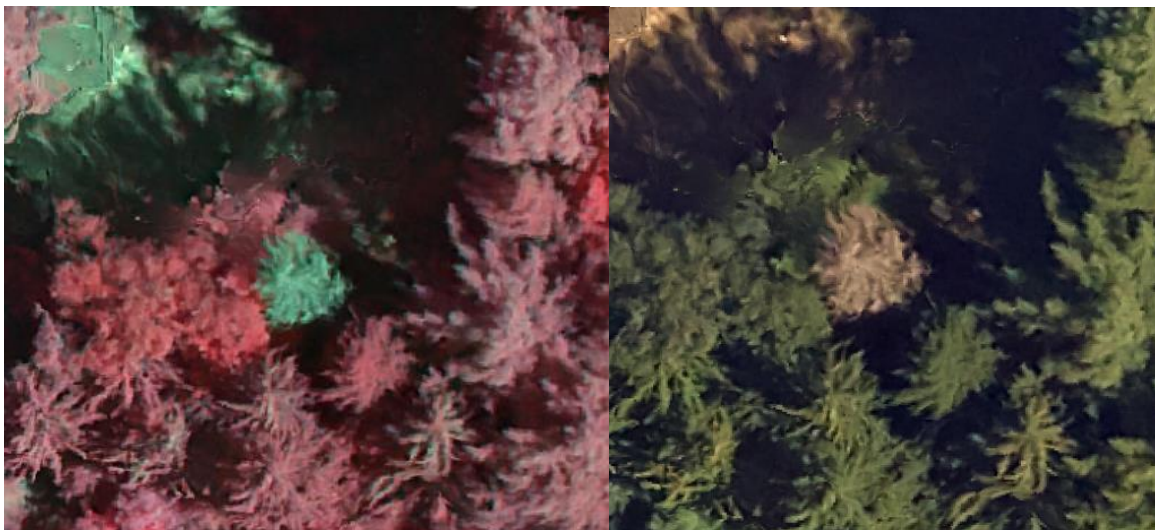


Abbildung 16: Beispiel A zum Zeitpunkt 2

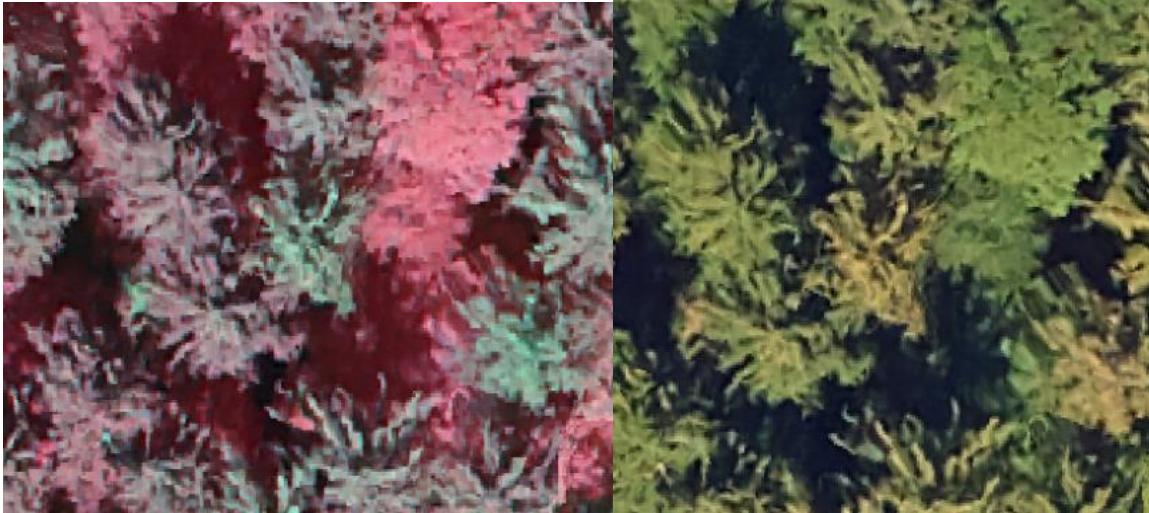


Abbildung 17: Beispiel B zum Zeitpunkt 1

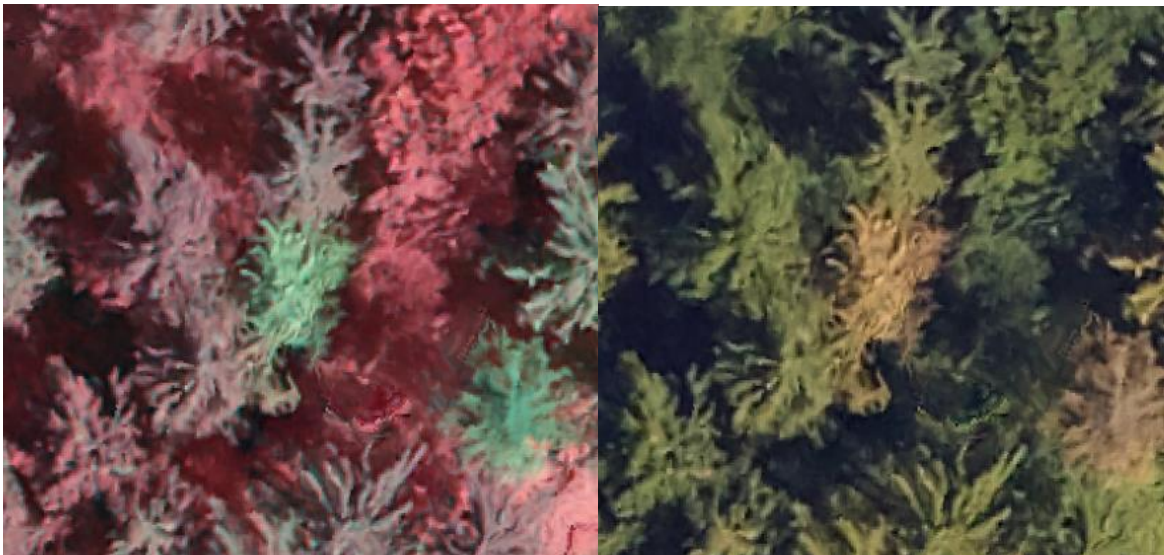


Abbildung 18: Beispiel B zum Zeitpunkt 2

vita3

Stark vitalitätseingeschränkter Nadelbaum

Nadelbäume die bereits bei der ersten Aufnahme eine eindeutige starke Vitalitätseinschränkung aufweisen wie z.B. kranke und absterbende Bäume, sowie frühes Totholz.

Altes Totholz wird nicht explizit ausgewiesen, um die Anzahl der aufzusuchenden Punkte zu minimieren. Diese können aber auf Wunsch zusätzlich angezeigt werden.

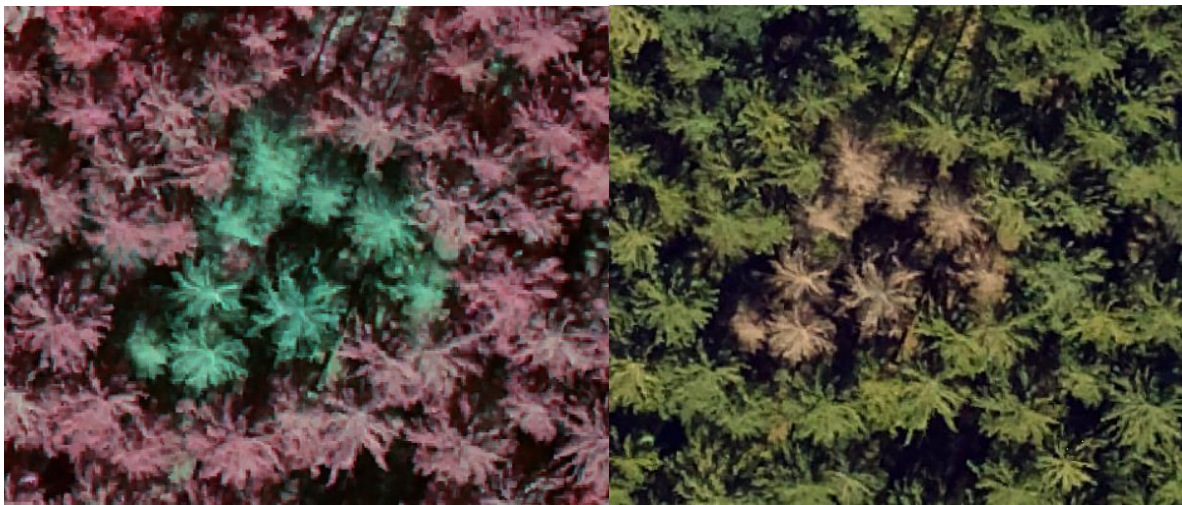


Abbildung 19: Beispiel C zum Zeitpunkt 1

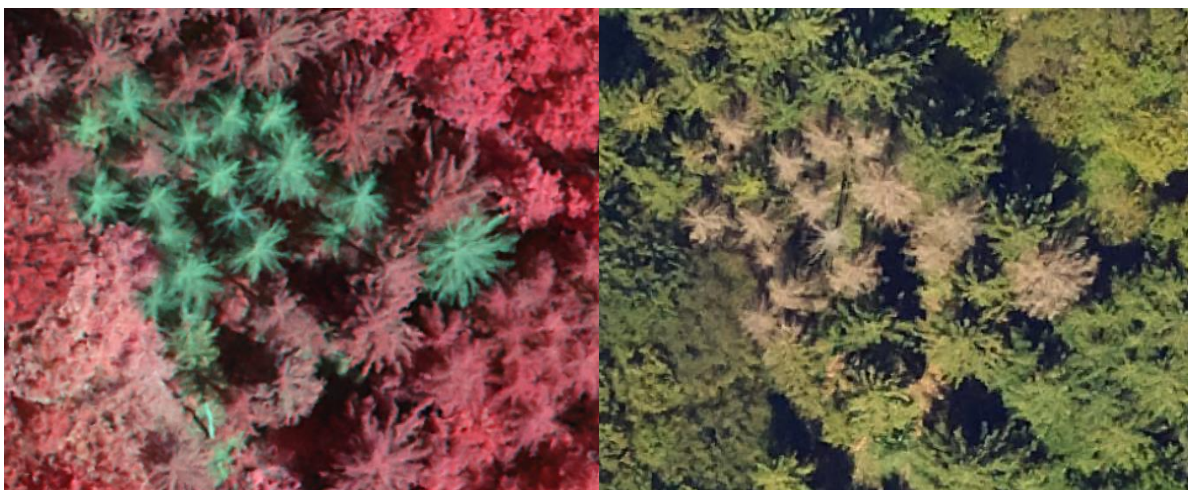


Abbildung 20: Beispiel D zum Zeitpunkt 1

vita4

Schwach veränderter Nadelbaum

Nadelbäume, die bei der ersten Aufnahme bereits eine leichte Vitalitätseinschränkung aufzeigen und bis zur nächsten Aufnahme eine nur schwache Veränderung erfahren. Diese Bäume weisen gegenüber gesunden Bäumen ein erhöhtes Potential für Borkenkäferbefall auf.

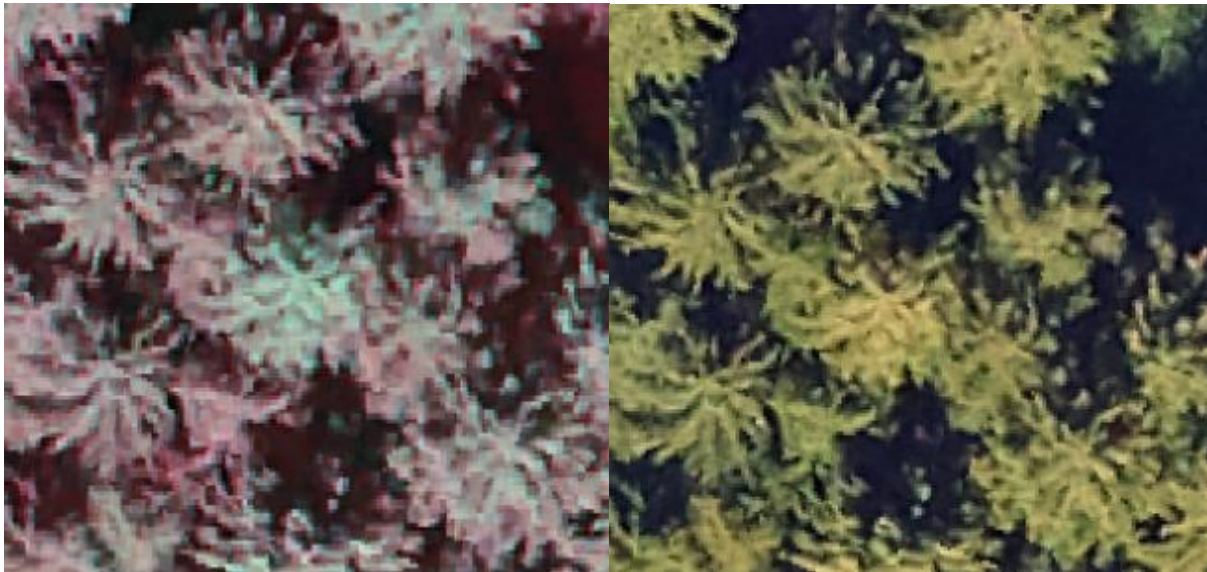


Abbildung 21: Beispiel E zum Zeitpunkt 1

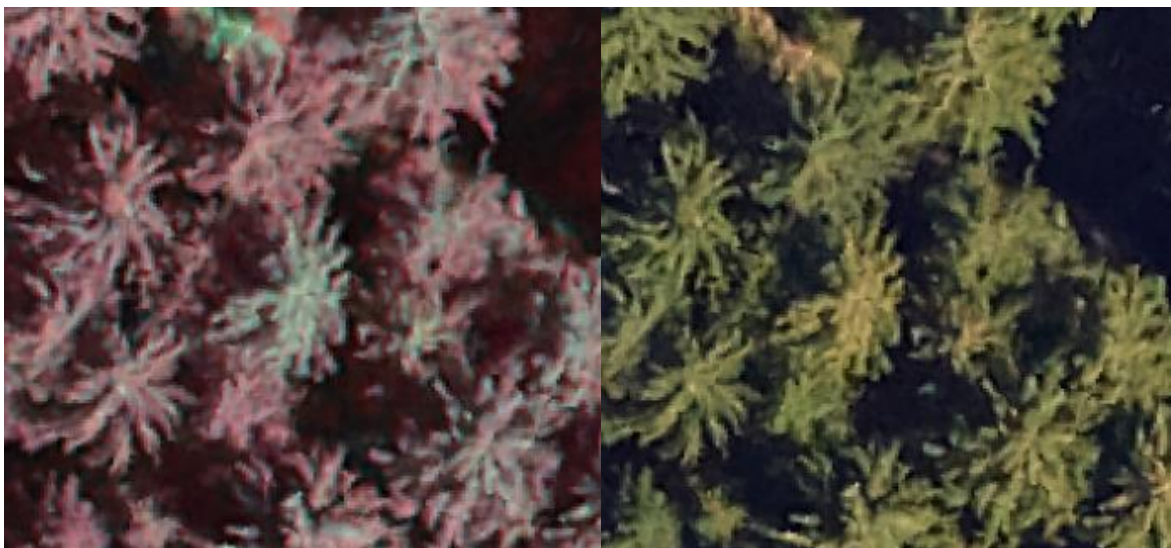


Abbildung 22: Beispiel E zum Zeitpunkt 2

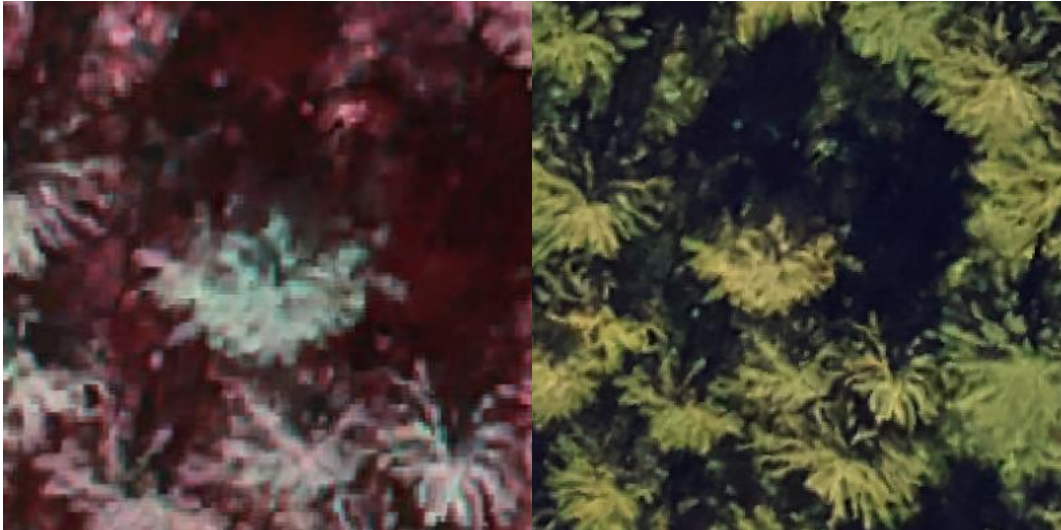


Abbildung 23: Beispiel F zum Zeitpunkt 1

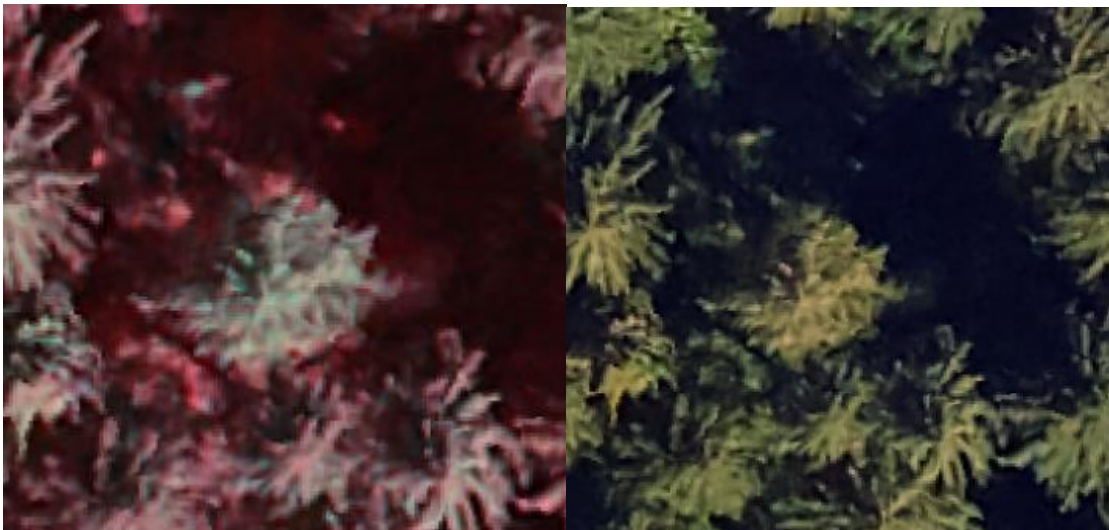


Abbildung 24: Beispiel F zum Zeitpunkt 2