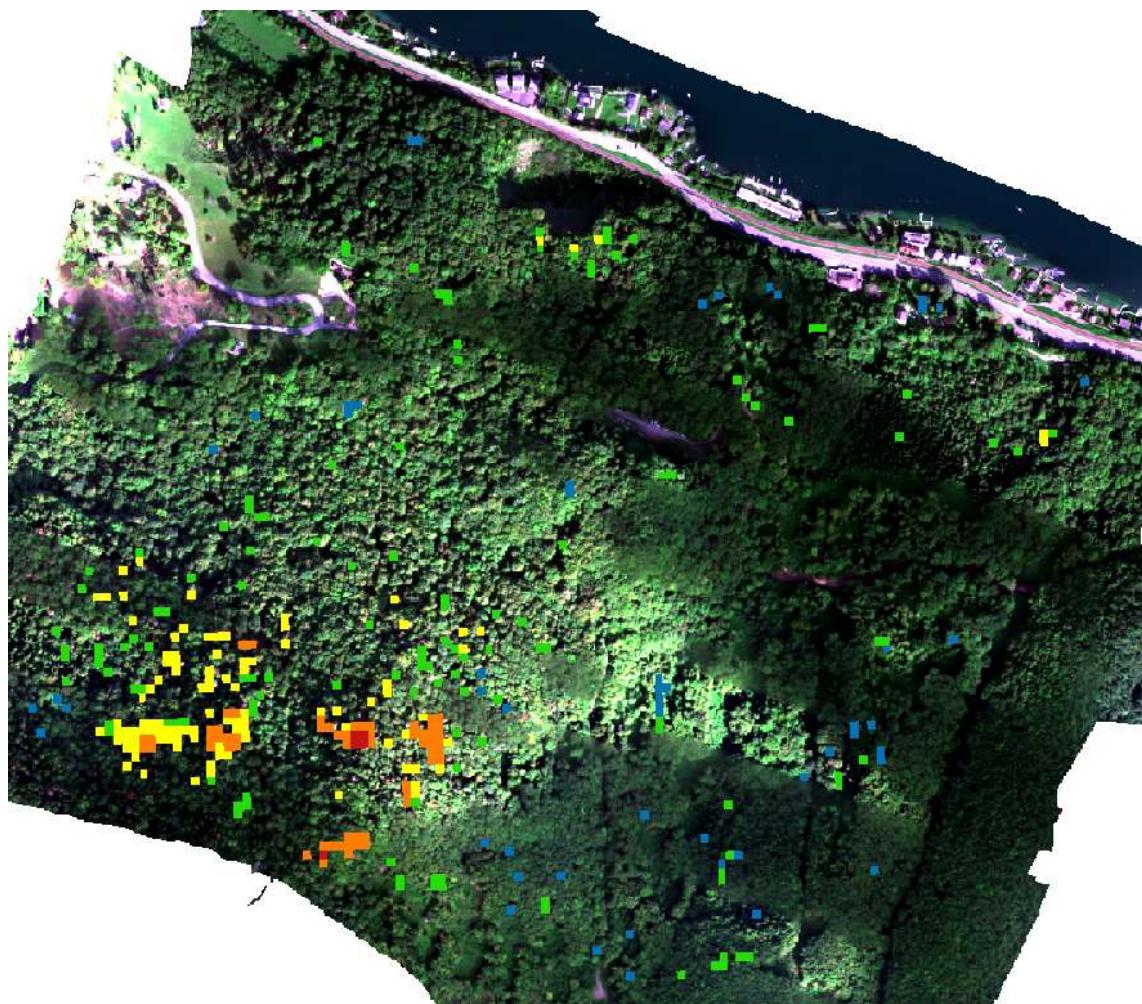


Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU)

Wissenstransfer: Erkennen der Vitalität von Bäumen anhand von Satellitendaten

Abschlussbericht SBB Pilot «Forest & Remote Sensing»



Danksagung

An dieser Stelle danken wir allen Personen, die zu diesem Pilotprojekt «Erkennen der Vitalität von Bäumen anhand von Satellitendaten» beigetragen haben. Am Projekt nahmen etliche Fachleute aus verschiedenen Institutionen teil. Die Art und Weise wie die Zusammenarbeit zwischen kantonalen Forstämtern, Hochschul- und Forschungsinstituten sowie Bundesamt für Umwelt und den Schweizerischen Bundesbahnen erfolgte, ist neuartig und daher wegweisend für weitere Projekte.

Speziellen Dank richten wir an:

- Alle teilnehmenden kantonalen Forstämter, Forstbetriebe sowie Stadtgärtnerien und Bauverwaltungen. Ihre Mitarbeitenden haben vielerorts die Feldaufnahmen für dieses Projekt in einem beispiellosen interkantonalen Effort durchgeführt, teilweise lokale und kantonale Daten zur Verfügung gestellt, sowie konstruktives Feedback im Verlauf des Projekts gegeben.
 - Alle Teilnehmenden der Begleitgruppe, die dem Kernteam mit ihrer Praxis- und Forschungserfahrung stets tatkräftig mit Fachwissen, Empfehlungen zur Methode, Analyse und Präsentation der Ergebnisse zur Seite standen. Die motivierte Zusammenarbeit aller Beteiligten führte dazu, dass der Wissens- und Erfahrungsaustausch, sowie potenzielle zukünftige Projekte über die Grenzen des SBB Pilotprojekts hinausgehen werden.
 - Alle Mitarbeitenden des Bundesamtes für Umwelt, Abteilung Wald und der Arbeitsgruppe Waldplanung und -management des Schweizerischen Forstvereins, die sich für die gemeinsame und offene Weiterführung des Wissenstransfers eingesetzt haben.
 - An die Mitarbeitenden der Fachstelle Natur und Naturrisiken und des Drohnenkompetenzzentrums der Schweizerischen Bundesbahnen SBB für die Initiative, ihren Einsatz und die Leitung des Pilotprojekts. Vielen Dank an Karin Hilfiker für die Idee, das Projekt ins Leben zu rufen und für die unermüdliche Koordination aller relevanten Akteure zusammen zu bringen.

Das Pilotprojekt wurde durch den Innovationsfonds SBB finanziert. Ohne diese Mittel hätte das Projekt nicht durchgeführt werden können.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra



SBB CFF FFS

Bundesamt für Umwelt BAFU



Schweizerischer Forstverein Société forestière suisse Società forestale svizzera

Arbeitsgruppe Waldplanung und –management
Groupe de travail planification et gestion des forêts
Gruppo di lavoro pianificazione e gestione del bosco

overstory



Impressum

Auftraggeber Bericht Wissenstransfer

Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abteilung Wald, CH-3003 Bern
Das BAFU ist ein Amt des Eidgenössischen Departments für Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)
Begleitung durch:
Roberto Bolgé (BAFU, Abteilung Wald, Sektion Walderhaltung und Waldpolitik)

Auftragnehmer Bericht Wissenstransfer

Arbeitsgruppe für Waldplanung und -management des Schweizerischen Forstvereins, WaPlaMa
Begleitung durch:
Raphaela Tinner, Leiterin Arbeitsgruppe WaPlaMa, Schweizerischer Forstverein, SFV
Mandatiert an:
Lioba Rath, Projektmitarbeiterin SBB-Projekt, Masterstudentin ETH Zürich;
liobarath13@gmail.com

Auftraggeber Projekt

Schweizerische Bundesbahnen (SBB AG), Division Infrastruktur, Natur und Naturrisiken
Karin Hilfiker, Fachstelle Natur und Naturrisiken, SBB
Nicolas Ackermann, Drohnenkompetenzzentrum SBB
Jonas Böhler, Drohnenkompetenzzentrum SBB

Auftragnehmer Projekt

Anniek Schouten (CFO) und Indra den Bakker (CEO)
overstory
Weesperstraat 61-105
NL - 1018VN Amsterdam

Autoren

Lioba Rath, Karin Hilfiker, Raphaela Tinner, Nicolas Ackermann, Jonas Böhler

Begleitgruppe

Thomas Bettler, BAFU, Abteilung Wald, Sektion Waldleistungen und Waldflege
Lars Waser, Eidg. Forschungsanstalt für Wald Schnee und Landschaft, WSL
Dominique Weber, WSL
Tiziana Koch, WSL
Hannes Horneber, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften, HAFL
Luuk Dorren, HAFL
Raphaela Tinner, SFV AG WaPlaMa

Hinweis

Dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Titelbild

Vitalitätskarte 2020, Sentinel-2 basiert für das Gebiet St.Gingolph (VS)

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	5
Glossar	7
1 Einführung	9
2 Überblick Pilotprojekt	10
3 Methode	12
3.1 Projektablauf	12
3.2 Dronenaufnahmen	13
3.3 Feldaufnahmen	15
3.4 Modellierung	17
3.5 Datenanalyse und Evaluation	21
4 Überblick Resultate der einzelnen Standorte	23
4.1 Kanton Aargau – Standort Rupperswil	23
4.2 Kanton Bern – Standort Court	32
4.3 Kanton Genf – Standort Stadt Genf	39
4.4 Kanton Glarus – Standort Braunwald	45
4.5 Kanton Graubünden – Standort Klosters	52
4.6 Kanton Jura – Standort Boncourt (Pilot 1, Anhang 7.1)	59
4.7 Kanton Luzern – Standorte Luzern, Meggen, Werthenstein	67
4.8 Kanton Neuchâtel – Standort Chambrelien	78
4.9 Kanton St. Gallen – Standort Walenstadt	84
4.10 Kanton Tessin – Standorte Airolo, Gambarogno, Giornico	91
4.11 Kanton Uri – Standort Amsteg	111
4.12 Kanton Wallis – Standort St. Gingolph	118
4.13 Kanton Zug – Standort Räbmatt	125
4.14 Kanton Zürich – Standorte Marthalen, Ossingen	131
5 Schlussfolgerungen	147
5.1 Methode Allgemein	147
5.2 Potenzial in der Praxis	150
5.3 Weiterer Projektverlauf	152
6 Literaturverzeichnis	154
7 Anhang	155
7.1 Ergebnisse Pilotprojekt 1 - Standort Boncourt (JU)	155
7.2 Aufnahmeanleitung Feldaufnahmen	164

Zusammenfassung

Klimawandel und Schadorganismen haben heute einen zunehmenden Einfluss auf die Vitalität der Wälder. Das vermehrte Aufkommen von geschwächten, kranken und toten Bäumen wird das potenzielle Risiko von Baumstürzen auf Verkehrs- und andere Infrastrukturen erhöhen. Um das Potential eines Früherkennungssystems mittels Satellitendaten und eines Deep Learning Modells zu ermitteln, haben die Schweizerischen Bundesbahnen in Zusammenarbeit mit Bundesamt für Umwelt (BAFU), Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL) sowie 14 Kantonen an 19 repräsentativen Standorten in der Schweiz ein Pilotprojekt durchgeführt. Das Ergebnis sind Vitalitätskarten über die Abnahme der Vitalität von Bäumen. Je nadelholzreicher und homogener Waldbestände sind, desto zuverlässiger sind die Resultate. Flächen mit geschwächten Bäumen von 0.2-1 ha sowie Einzelbäume im Wald sind gut erkennbar. Das Modell zeigt jedoch geschwächte alleinstehende Einzelbäume ausserhalb des Waldes noch nicht an. Die SBB planen einen weiteren Pilotversuch 2021, um die konkrete Umsetzung auf drei Teststrecken zu testen. Der aus dem Projekt entstandene Wissens- und Fachaustausch wird durch WSL und HAFL in Zusammenarbeit mit der Praxis weitergeführt.

Résumé

Le changement climatique et les organismes nuisibles ont aujourd'hui un impact croissant sur la vitalité des forêts. La multiplication des arbres affaiblis, malades et morts augmentera dans le futur le risque potentiel de chute d'arbres sur les infrastructures de transport et autres. Pour évaluer le potentiel d'un système de détection précoce utilisant des données satellitaires et un modèle Deep Learning, les Chemins de fer fédéraux suisses, en collaboration avec l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL), la Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires (HAFL) et 14 cantons, ont mené un projet pilote sur 19 sites représentatifs en Suisse. Les résultats montrent des cartes du déclin de la vitalité des arbres. Plus les peuplements forestiers sont de type conifères et sont homogènes, plus les résultats sont fiables. Les arbres affaiblis sur une surface de 0.2-1 ha ainsi que les arbres affaiblis isolés ont pu être détectés en milieu forestier. En revanche, le modèle ne détecte pas encore d'arbres affaiblis isolés dans un contexte urbain. Les CFF prévoient un nouveau projet pilote en 2021 pour tester la mise en œuvre réelle du système de détection par satellites sur trois différents tronçons des CFF. L'échange de connaissances et d'expertise résultant du projet sera poursuivi par le WSL et le HAFL en collaboration avec les professionnels forestiers.

Riassunto

Il cambiamento climatico e gli organismi potenzialmente nocivi hanno un influsso sempre maggiore sulla vitalità dei boschi. La presenza più frequente di alberi indeboliti, malati o secchi aumenta il potenziale rischio di caduta alberi sulle infrastrutture viarie e di altro tipo.

Le ferrovie federali svizzere (FFS), in collaborazione con l'ufficio federale dell'ambiente (UFAM), l'istituto di ricerca per il bosco, la neve e il paesaggio (WSL), la scuola universitaria professionale per le scienze agronomiche, forestali e alimentari (HAFL), nonché 14 Cantoni, hanno realizzato un progetto pilota per esplorare il potenziale di un sistema di rilevamento preventivo di alberi indeboliti, tramite dati satellitari e un modello numerico di Deep Learning.

Il risultato ottenuto mostra carte previsionali relative alla diminuzione della vitalità degli alberi. I risultati sono più attendibili in caso di popolamenti forestali omogenei e ricchi di conifere. Superficci di 0.2-1 ettari con alberi indeboliti, così come singoli alberi in bosco possono essere ben riconosciuti. Tuttavia, il modello non permette ancora di indicare singoli alberi indeboliti. Le FFS stanno pianificando un ulteriore progetto pilota, al fine di verificare l'impiego concreto del metodo di rilevazione lungo 3 tratte preliminari durante il 2022. Le conoscenze acquisiti durante il progetto e lo scambio d'informazioni tecniche sarà continuato dal WSL e dalla HAFL, in collaborazione con i rappresentanti della pratica.

Summary

Climate change and organisms harmful to plants are nowadays having an increasing impact on forest vitality. Weakened, diseased and dead trees occur more often, which increases the potential risk of such trees to fall onto railways and other infrastructure. To determine the potential of an early detection system using satellite data and a deep learning model, the Swiss Federal Railways (SBB), in collaboration with the Federal Office for the Environment (BAFU), the Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research (WSL), the School of Agricultural, Forest and Food Sciences (HAFL) and 14 cantons, conducted a pilot project at 19 representative locations in Switzerland. The results are maps of the decline in tree vitality. The more coniferous and homogeneous forest stands are, the more reliable the results. Areas with weakened trees of 0.2-1 ha in size as well as single low-vitality trees within the forest are easily recognizable. However, the model does not yet indicate weakened solitary trees in an urban environment. The SBB is planning another pilot project in 2021 to test the implementation of the model on three test routes. The exchange of knowledge and expertise resulting from the project will be continued by WSL and HAFL in collaboration with forest practitioners.

Glossar

Drohnen-Referenzdaten	An allen Standorten wurden Orthofotos mit der Drohne aufgenommen. Anhand der Orthofotos wurden Flächen am Standort mit der Bezeichnung 'gesund' und 'ungesund' ermittelt. Die Reflektanzwerte der Satellitenbilder in diesen Flächen bilden die Grundlage für das Trainieren des Modells. Die Flächen mit Bezeichnung 'gesund' und 'ungesund' werden Drohnen-Referenzdaten genannt und werden als reale Werte für die Vitalität des Waldes angenommen und zur Überprüfung des Modells verwendet.
Ensemble Learning	Begriff in der Methodik des Deep Learning. Die Methode beinhaltet die Kombination verschiedener Modelle, die unabhängig voneinander lernen und Ergebnisse berechnen. Dies resultiert in einem «Verbunds-Modell», das die besten Ergebnisse aller Durchgänge vereint.
Extreme Gradient Boosting	Begriff aus der Methodik des Deep Learning. Es bezeichnet eine Methode, die im Prozess der Modellierung angewendet wird, um das Modell trotz geringer Datenmenge zu verbessern.
NDVI	Der Normalized Difference Vegetation Index ist der am weitesten verbreitete Vegetationsindex, der aus Fernerkundungsdaten berechnet wird. Der Index ist eine Zahl zwischen -1 und +1 und zeigt die Menge der photosynthetischen Aktivität an. Er kann daher für die Abschätzung der Vegetationsabdeckung oder Vitalität verwendet werden. Je näher bei +1 der Wert ist, desto mehr Photosynthese findet statt. Der NDVI beruht darauf, dass gesunde Vegetation im Infraroten Bereich des Spektrums viel Strahlung reflektiert und wenig im roten sichtbaren Bereich.
Precision (Trefferquote)	Statistischer Begriff aus der Genauigkeitsanalyse. Die Precision (auf Deutsch: Trefferquote) wird berechnet als Vergleich zwischen realen, bekannten Werten für das Thema von Interesse im Untersuchungsgebiet und den Werten aus dem Modell. Die Precision gibt den Anteil der vorhergesagten Werte an, die mit den realen Werten übereinstimmen. Im Kontext dieses Pilotprojekts beantwortet die Precision folgende Frage: Wie viele als geschwächt erkannte Bäume sind tatsächlich geschwächt ?
Recall (Genauigkeit)	Statistischer Begriff aus der Genauigkeitsanalyse, Pendant zur Precision. Der Recall zeigt jedoch auf, welchen Anteil der realen Werte im Modell korrekt vorhergesagt wurden. Im Kontext dieses Pilotprojekts beantwortet der Recall folgende Frage: Wie viele der tatsächlich geschwächten Bäume wurden erkannt?
Reflektanzwert	Begriff aus der Fernerkundung. Bilder in der Fernerkundung enthalten für jedes Bildpixel einen oder mehrere Werte. Diese Werte geben an, wie viel die Erdoberfläche im Bereich dieses Pixels in einem bestimmten Bereich des elektromagnetischen Spektrums reflektiert. Ein Orthofoto enthält normalerweise je einen Reflektanzwert für den roten, grünen und blauen Bereich des sichtbaren Spektrums.

Spektrale Signatur	Die spektrale Signatur ist die Zusammenfassung der Reflektanzwerte eines Objekts (z.B. Vegetation, Wasser, Erde, Wolken, Eis, u.a.) über den gesamten Bereich des elektromagnetischen Spektrums. Die Zusammenfassung führt zu einem typischen Verlauf einer Kurve, anhand derer Objekte relativ eindeutig aus Fernerkundungsdaten identifiziert werden können. In Kontext der Waldgesundheit geht es vor allem um die Unterschiede in der spektralen Signatur von Bäumen mit verminderter Vitalität, im Vergleich zu gesunden Bäumen.
Ungesund, krank, geschwächt	Bäume mit starker Vitalitätsabnahme in der Vegetationsperiode. Im Feld gemessen an der visuell beurteilten Kronenmortalität, in den Drohnen-Referenzdaten anhand der spektralen Signatur definiert. Die Beurteilung richtet sich nicht nach weiteren Kriterien, wie Schadorganismen oder Krankheiten
Vital, gesund	Bäume ohne Vitalitätsabnahme in der Vegetationsperiode
Waldmaske	Polygon, das im Bereich der im Pilotprojekt 2 untersuchten Flächen, eine Maske für die bewaldete Fläche bildet. Alle Flächen die in dieser Waldmaske als «Wald» deklariert sind wurden in der Modellierung mit einbezogen.

1 Einführung

Fernerkundung im Wald gewinnt zusehends an Bedeutung und wird von Vielen Akteuren sowohl in der Forschung als auch in der Praxis unkoordiniert aufgenommen. **Besonders das Monitoring der Vitalität im Wald ist im Rahmen des Klimawandels und der rollenden forstlichen Planung von grossem Interesse.**

Daher hat im März 2020 unter der Federführung des Amts für Wald beider Basel ein Austausch- und Koordinationstreffen zum Thema Wald und Fernerkundung stattgefunden, nachdem ein solcher Anlass von den Mitgliedern der Erfahrungsaustausch Gruppe Trockenheitsschäden der Konferenz der Kantonsförster, KOK, stark befürwortet wurde. Im Rahmen dieses Austausches stellten Mitarbeitende der SBB ihre Projektidee «Erfassen der Vitalität von Bäumen mit Satellitenbildern» vor, um frühzeitig geschwächte Bäume entlang der Bahnlinie und im Schutzwald ermitteln zu können.

Nach Abklärung mit diversen Mitarbeitenden der WSL sowie den kantonalen Forstämtern legten die SBB Mitarbeitenden aufgrund der Trockenheitsschäden 2019 in der Ajoie eine 5 x 5 km grosse Fläche bei Boncourt im Kanton Jura als geeigneten Standort fest. Das Pilotprojekt 1 wurde vom Klimafonds SBB finanziert und mit Unterstützung des kantonalen Forstdienstes von Mai bis Juni 2020 ausgeführt. Das von der Firma 20tree.ai (heute overstory) entwickelte und nicht auf Schweizer Waldverhältnisse trainierte Modell zeigte erstaunlich gut die Entwicklung von geschwächten Bäumen auf. So wurde im August 2020 das zweite Pilotprojekt durch die SBB AG gestartet, um das Modell an 18 Standorten in verschiedenen Forstregionen an Schweizer Verhältnisse anzutrainieren. Zudem sollte die Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Waldakteuren in der Schweiz (Forstämter, Bund und Forschung) gefördert werden.

Die Ergebnisse der beiden Pilotprojekte 1 und 2 sind in diesem Bericht als Wissenstransfer für alle Interessenten der Anwendung von Fernerkundung im Wald steckbriefartig zusammengetragen.

Der erste Teil beschreibt die angewendete Methodik im Projekt zu den Feld- und Dronenaufnahmen sowie der Modellierung.

Im zweiten Teil findet sich eine ausführliche Beschreibung der Resultate an allen Standorten des Pilotprojekts, geordnet in alphabetischer Reihenfolge nach den teilnehmenden Kantonen.

Der dritte und letzte Teil besteht aus einer allgemeinen Zusammenfassung und Schlussfolgerungen, die sich übergeordnet aus dem Projekt ergeben haben.

Je nach Interesse können und sollen die entsprechenden Teile selektiv gelesen werden.

Der Pilot 2 endet mit diesem Bericht. Der weitere Projektverlauf der SBB sowie die schweizweite Weiterentwicklung des Bereichs «Fernerkundung im Wald» sowie der weiteren interinstitutionellen Zusammenarbeit ist am Ende des Berichts beschrieben.

Dieser Wissenstransfer soll dazu dienen die Erkenntnisse auf zwei Ebenen aus einem schweizweiten Pilotprojekt festzuhalten:

- Zum einen fachliche Ergebnisse zur Nutzung der Fernerkundung im Wald,
- **Zum anderen eine neue Form der Zusammenarbeit und des Austauschs in der Akteurs-Landschaft der schweizerischen Wald- und Holzbranche.**

2 Überblick Pilotprojekt

	<ul style="list-style-type: none">➔ Kann die Vitalität von Bäumen in der Schweiz grossflächig und zeitlich hoch aufgelöst anhand von Satellitenbildern modelliert werden?➔ Lässt sich aus der Modellierung ein kartenbasiertes Frühwarnsystem für die Praxis für Veränderungen der Baum- und Bestandesvitalität entwickeln?<ul style="list-style-type: none">• Pilotprojekt mit Modellierung der Veränderung von Baumvitalität basierend auf deren spektraler Signatur in Satellitenbildern unterschiedlicher räumlicher Auflösung• Anpassung und Evaluation eines existierenden Deep Learning Modells an Schweizer Verhältnisse• Modellanpassung aufgrund von Drohnenbildern und Felddaten basierend auf ausgewählten Standorten in allen Forstregionen der Schweiz• Vergleich von Sentinel-2 Satellitenbildern (gratis, wöchentlich, geringe Auflösung) und Planetscope Satellitenbilder (kommerziell, täglich, höhere Auflösung), um deren Kosten-Nutzen zu erkennen
Zielsetzung	Karin Hilfiker, SBB Fachstelle Natur und Naturrisiken Nicolas Ackermann, SBB Drohnenkompetenzzentrum Jonas Böhler, SBB Drohnenkompetenzzentrum Lioba Rath, Mitarbeit an SBB Projekt, Praktikantin Kanton Zug, Masterstudentin ETHZ
Kernteam	Indra den Bakker, overstory, CEO, data scientist Anniek Schouten, overstory, COO, Marketing
14 Kantone	AG, BE, GE, GL, GR, JU, LU, NE, SG, TI, UR, VS, ZG, ZH
Begleitgruppe	Thomas Better, BAFU Lars Waser, WSL Dominique Weber, WSL Tiziana Koch WSL Hannes Horneber, HAFL Luuk Dorren, HAFL Raphaela Tinner, SFV AG WaPlaMa
19 Standorte	3 x Mittelland 3 x Jura 2 x Übergang Mittelland – Nordalpen 2 x Nördliche Voralpen ohne Buche 3 x Nordalpen 3 x Südalpen 3 x Urbanes Umfeld <ul style="list-style-type: none">• Möglichst 3 Flächen pro Region gewählt, jeweils 2 Trainingsflächen und eine Validationsfläche
3771 Felddaten zu Einzelbäumen	Beurteilung der Kronenmortalität auf einer Skala von 1 – lebendig bis 5 – tot

-
- | | |
|--|---|
| Fernerkundungsdaten (inkl. räumliche Auflösung) | <ul style="list-style-type: none"> • Orthofotos aus Drohnenflug SBB (10 cm) • Sentinel-2 (S2) (20 m) • Planetscope (P) (3 m) • Very High Resolution (VHR) – Pleiades (50 cm) |
| | <ul style="list-style-type: none"> • Firma overstory aus den Niederlanden (https://www.overstory.ai/) • Modellierung der Baumvitalität für 2018, 2019 und 2020 basierend nur auf Sentinel-2 Daten (zwischen 2016-2020), sowie Modellierung für 2019 und 2020 basierend auf Kombinationen von Sentinel-2 Daten (zwischen 2016-2020) und Planetscope Daten (zwischen 2019 und 2020) |
-



Modellierung	<table border="0"> <tr> <td>S2 2016-2020</td><td>Vitalitätakarte S2 2020</td></tr> <tr> <td>S2 2016-2019</td><td>Vitalitätakarte S2 2019</td></tr> <tr> <td>S2 2016-2018</td><td>Vitalitätakarte S2 2018</td></tr> <tr> <td>S2 + P 2018-2020</td><td>Vitalitätakarte S2 + P 2020</td></tr> <tr> <td>S2 + P 2018-2019</td><td>Vitalitätakarte S2 + P 2019</td></tr> <tr> <td>S2 + P 2018</td><td>Vitalitätakarte S2 + P 2018</td></tr> </table>	S2 2016-2020	Vitalitätakarte S2 2020	S2 2016-2019	Vitalitätakarte S2 2019	S2 2016-2018	Vitalitätakarte S2 2018	S2 + P 2018-2020	Vitalitätakarte S2 + P 2020	S2 + P 2018-2019	Vitalitätakarte S2 + P 2019	S2 + P 2018	Vitalitätakarte S2 + P 2018
S2 2016-2020	Vitalitätakarte S2 2020												
S2 2016-2019	Vitalitätakarte S2 2019												
S2 2016-2018	Vitalitätakarte S2 2018												
S2 + P 2018-2020	Vitalitätakarte S2 + P 2020												
S2 + P 2018-2019	Vitalitätakarte S2 + P 2019												
S2 + P 2018	Vitalitätakarte S2 + P 2018												

- **Deep Learning Modell** trainiert mit $2/3$ der erhobenen Schweizer Drohnen- und Felddaten, getestet auf restlichem $1/3$ der erhobenen Flächen

Ergebnis:

- Jährliche Vitalitätakarten mit $10 \times 10\text{m}$ Auflösung (Sentinel-2 basiert – im Weiteren «S2» genannt), respektive $3 \times 3\text{m}$ Auflösung (S2+P basiert – im Weiteren «S2+P» genannt)
 - Wert pro Pixel für Vitalitätsabnahme im Zeitraum von 2016-2020 zwischen **0 (schwache Vitalitätsabnahme)** und **1 (starke Vitalitätsabnahme)**, dargestellt in 5 Klassen
 - Keine Werte für Pixel ohne Veränderung oder mit Vitalitätszunahme im Beobachtungszeitraum
-

3 Methode

3.1 Projektablauf

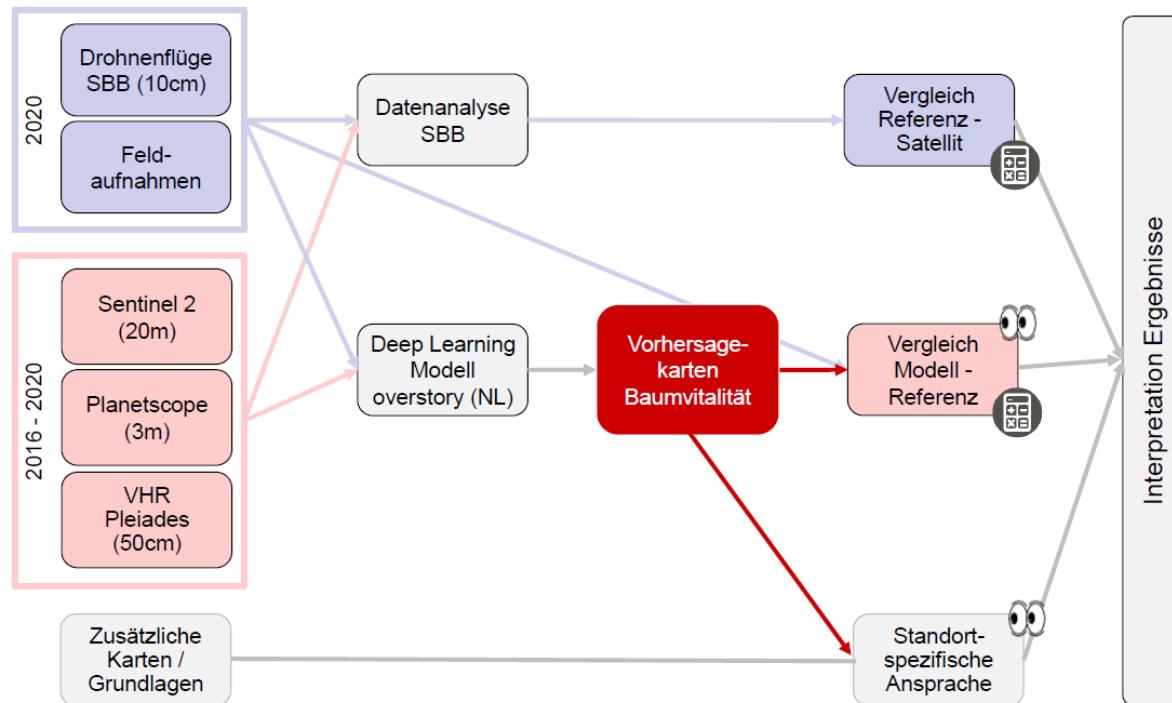


Abbildung 1: Schematisch dargestellter Projektablauf des Pilotprojekts 2.

Links in der Abbildung sind die Datengrundlagen für das Projekt abgebildet, wobei die Grundlagen für die Modellierung nicht abschliessend aufgeführt sind. Genauere Erläuterungen hierzu im Kapitel 3.4 Die Satellitendaten wurden hauptsächlich von der Firma overstory verarbeitet, während die Drohnen- und Felddaten im SBB Kernteam bearbeitet wurden. Zusätzliche Karten und Grundlagen, z.B. von den Kantonen, waren nur für wenige Standorte vorhanden. Die Schritte in der Abbildung rechts der Vitalitätsskarten dienten der Überprüfung und Evaluation des Modells und führten im Projekt zu einer iterativen Verbesserung der Vitalitätsskarten in mehreren Schritten.

- Im Pilotprojekt 1 in Boncourt wurde das bei overstory vorhandene Modell verwendet, das mit Daten aus Portugal und Schweden erstellt wurde.
- Für den zweiten, schweizweiten Pilot wurden im Herbst an allen Standorten hochauflöste Drohnenbilder erhoben um aus den spektralen Signaturen der Bäume die Referenzdaten für das Training des Modells zu generieren.
- Gleichzeitig wurden an allen Standorten Felddaten zur Einzelbaummortalität erhoben.
- Das Training des Modells erfolgte iterativ durch overstory, wobei das SBB Kernteam laufend die Ergebnisse des Modells überprüfte und Datenanalysen durchführte.
- Die Vitalitätsskarten wurden für die Evaluation mit den Drohnen-Referenzdaten formell und visuell verglichen. Auch die Felddaten und etwaige weitere Informationen aus den Kantonen wurden in die informelle Evaluation mit einbezogen.

3.2 Dronenaufnahmen

Ziel: Schweizer Trainingsdaten für das Deep Learning Modell generieren, das bisher mit Daten aus Portugal und Schweden trainiert wurde

Aufnahme durch Dronenkompetenzzentrum SBB

- WingtraOne Drohne mit MicaSense RedEdge MX Sensor
- 5 Band-Aufnahme: Rot-Grün-Blau-RedEdge-Nahes Infrarot (NIR)
- Flächen bis zu 1 km² in einem Flug mit 180 m AGL Flughöhe
- 10 cm Bodenauflösung
- 28.7 km² gesamte geflogene Fläche an 19 Standorten
- Flugzeitraum: 19. Mai 2020 und 08. Aug. - 21. Sept. 2020
- Relativ spät im Jahr, die natürliche Seneszenz setzte teilweise schon ein, was die spektrale Signatur der Bäume beeinflusste

Dronen Referenzdaten



Abbildung 2: Beispiel eines Flugplans für die Aufnahme der Dronenbilder an den einzelnen Standorten. Hier beispielhaft der Flugplan für den Standort Amsteg.

Semi-automatische Klassifikation der Dronenbilder mit picterra

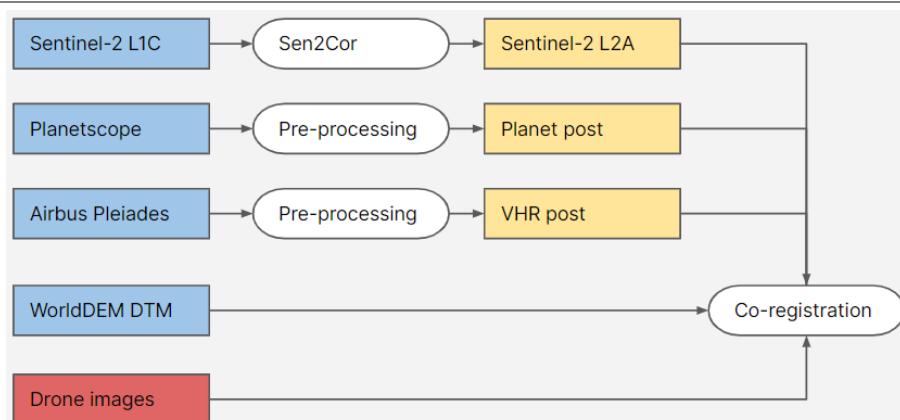
(<https://picterra.ch/>)

- Klassen 'gesund' und 'ungesund'
- Manuelles Hinzufügen einer mittleren Klasse 'geschwächt'. Aus den Dronenbildern 2020 wurde der NDVI gerechnet und visuell mit den Dronenaufnahmen NIR und RGB verglichen. Darauf basierend wurden einige Polygone der Klassen 'gesund' und 'ungesund' in 'geschwächt' umklassifiziert
- Die Werte der Vitalitätskarten aus der Modellierung stellen nur noch 'geschwächt' in verschiedenen Stärkeabstufungen dar

Daten- verarbeitung

Ziel: Verbesserung der Drohnen Referenzdaten:

- Manuelles Bereinigen der Polygone der Drohnen-Referenzdaten, Vergleich mit NDVI und NIR -Bild aus den Drohnenaufnahmen 2020
- Gelöscht wurden: Überlappende Polygone, sowie 'gesunde' Polygone in einem 20 m Umkreis um 'ungesunde' Polygone um Mischklassifizierungen in Sentinel-2 Pixeln zu vermeiden, Polygone die offensichtlich ausserhalb des Waldes liegen, offensichtlich falsch klassifizierte Polygone und Polygone im Randbereich der Drohnenaufnahmen
- In urbanen Gebieten besonders starke Anpassungen der Drohnen-Referenzdaten. Manuelles Hinzufügen von 'ungesunden' Polygonen basierend auf visueller Analyse des Drohnenbildes RGB, NIR und NDVI, sowie den Felddaten. Picterra Ergebnisse benötigen viel manuelle Anpassungen



Datengrundlage Modellierung

Abbildung 3: Schematische Darstellung der Arbeitsschritte, die zur Vorbereitung der verwendeten Fernerkundungsdaten von der Firma overstory vorgenommen wurden.

Ziel: Verarbeitung der rohen Fernerkundungsdaten für die Modellierung

- Alle Satellitenbilder wurden auf die Drohnenbilder der SBB co-registriert, da die Referenzdaten anhand der Drohnenbilder erstellt wurden
- Sentinel-2 und Planetscope Daten wurden von overstory prozessiert, auf Sentinel-2 wurde eine interne Wolkenmaske angewendet, um bewölkte Gebiete auszuschliessen
- Aus den VHR Daten wurde eine Waldmaske erstellt, die Bilder wurden nicht in der Modellierung verwendet (Kostengründe)

3.3 Feldaufnahmen

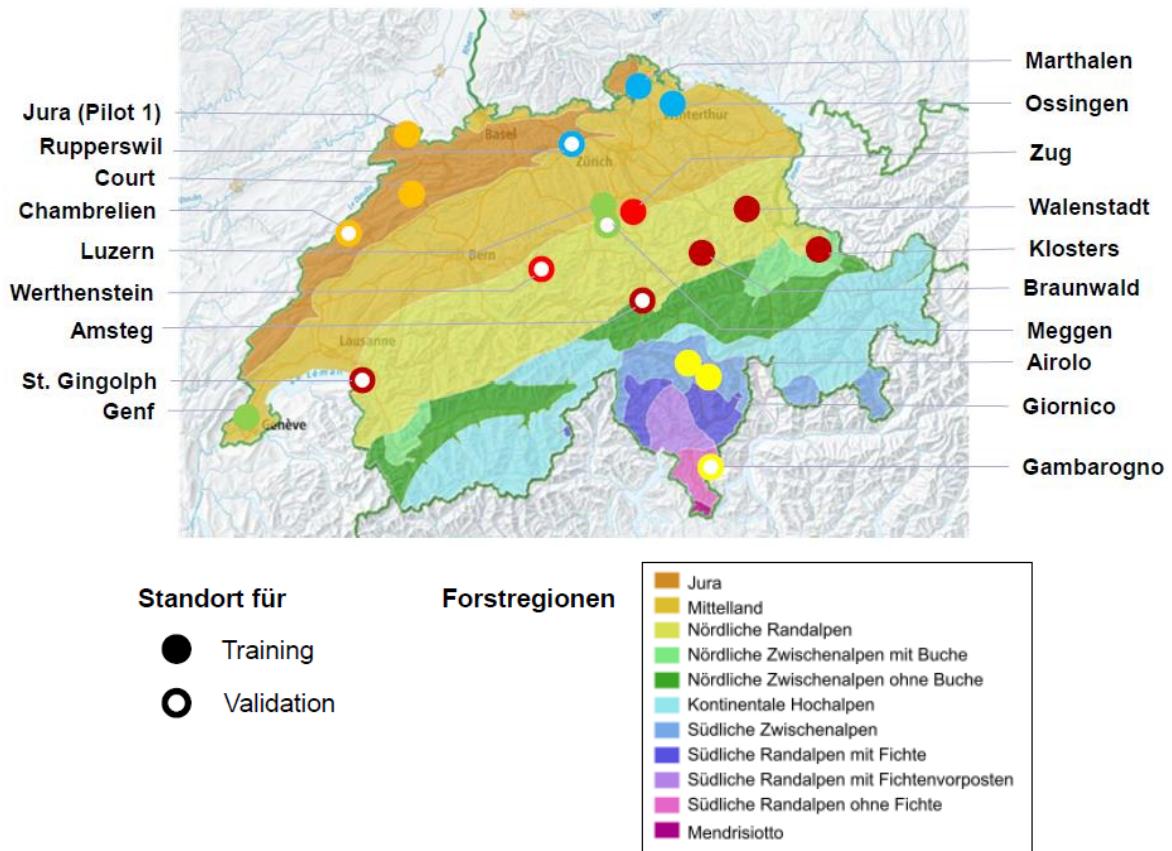


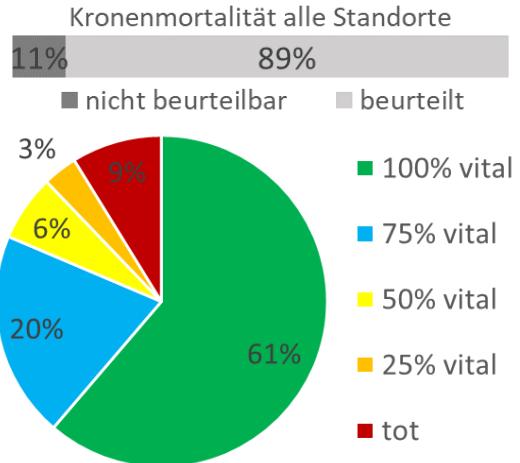
Abbildung 4: Überblick über alle 19 Standorte, die Teil beider Pilotprojekte waren. Farblich codiert nach Forstregionen, ausgefüllte Kreise bezeichnen Trainingsstandorte, leere Kreise einen Validierungsstandort

Ziel: Reale Felddaten zur Vitalität generieren, um die Ergebnisse des Deep Learning Modells zu validieren

Methode

- «Crowd-sourced» gemeinsame Aufnahme der Felddaten durch Mitarbeitende aller teilnehmenden Kantone und des SBB Kernteam (Anleitung in Anhang 6.2)
- Digitale Aufnahme in der ArcGIS Geoportalkarte ermöglicht eine gleichzeitige Erhebung der Daten in einem gemeinsamen serverbasierten Layer durch Mitarbeitende an allen 18 Standorten in der Schweiz (Anleitung in Anhang 6.1)
- Geolokalisation basierend auf den Drohnenbildern
- Aufnahme aller Einzelbäume der Oberschicht in 6 Kontrollflächen von ca. 50 m x 50 m pro Standort. Visuell wurden 3 Flächenpaare mit je einer **gesunden** und einer **geschwächten** Fläche anhand des Drohnenbildes festgelegt
- Aufnahme der aktuellen Kronenmortalität, vom Boden aus beurteilt, in 5 Klassen von 100% vital bis 0% vital (=tot), angelehnt an die Sanasilva Beurteilungen
- Genaues Aufnahmeprotokoll ist im Anhang 7.2 zu finden, Daten sind beim SBB Kernteam erhältlich

- 27.3 ha gesamte aufgenommene Fläche auf 112 Einzelflächen, total 3771 Einzelbäume
- Zeitraum der Aufnahme: 04. Sept.– 05. Okt. 2020
- Die Abbildungen rechts zeigen einen Überblick über die Ergebnisse der Feldaufnahmen. Diese Abbildungen zeigen einen Zusammenzug aller Standorte, im Kapitel der Resultate werden die Abbildungen pro Standort dargestellt.
- Die obere Grafik zeigt den Anteil aller Einzelbäume in den Kontrollflächen, die tatsächlich bezüglich Kronenmortalität beurteilt werden konnten. Nicht beurteilbare Bäume sind unter anderen solche mit abgebrochener Krone, Stöcke, oder ähnliches. Ein hoher Anteil nicht beurteilbarer Bäume lässt auf einen Holzschlag oder andere Störungen innerhalb der Kontrollflächen schliessen.
- Die untere Grafik stellt die Verteilung der beurteilten Klassen der Kronenmortalität dar. Diese Grafik beruht auf den Daten aller beurteilbaren Einzelbäume.



Feldaufnahmen

Fazit

- Die Beurteilung der Kronenmortalität ist sehr subjektiv und standortsabhängig, trotz der 'Eichung' anhand der Sanasilva Kronenbilder und gemeinsamer Feldaufnahmen. Eine 100% vitale Buche sieht nicht überall gleich aus
- Auf fast allen Standorten waren Merkmale von Trockenheit oder Käferbefall terrestrisch zu erkennen. Trotzdem sind noch über $\frac{3}{4}$ aller beurteilten Bäume ganz gesund oder nur leicht geschwächt.
- September und Oktober sind vor allem im Alpenraum fast zu spät für Drohnenaufnahmen, damit die Kronenmortalität unabhängig von der natürlichen Seneszenz zuverlässig beurteilt werden kann
- Mastjahre sind zu beachten. Eine starke Samenproduktion vor allem bei Nadelbäumen kann im Drohnenbild zu einer ähnlichen spektralen Signatur wie bei einem geschwächten Baum führen.

3.4 Modellierung

Generierte Karten

- Jährliche S2 Vitalitätskarten 2018-2020, jährliche S2+P Vitalitätskarten 2019-2020
- Räumliche Auflösung 10 m x 10 m (S2) und 3 m x 3 m (S2+P)

Ziel: Anpassung des Modells an Schweizer Verhältnisse

- Nutzung von $\frac{2}{3}$ der Drohnen-Referenzdaten zum Trainieren des Modells, $\frac{1}{3}$ zur Validierung
- Trainingsdaten wurden mit geo-split aufgeteilt (nicht-stratifiziert, siehe Grafik). Mehrere Modellarchitekturen wurden mit den Daten trainiert und auf einem Teil der Trainingsdaten angewendet. Die Modelle mit den besten Ergebnissen wurden durch «extreme gradient boosting» zusammengefasst.
- Die Ergebnisse der Modellierung wurden mit einem Separaten Teil der Referenzdaten cross-validiert (Zou et al. 2015)
- Modellierung basiert auf der Annahme, dass die geschwächten Bäume ihre spektrale Signatur in dem Zeitraum der verwendeten Satellitendaten verändert haben.
- Während dem Training wurden zufällig einzelne Satellitenbilder und Pixel aus dem Datensatz ausgeschlossen, um das Modell robuster zu machen

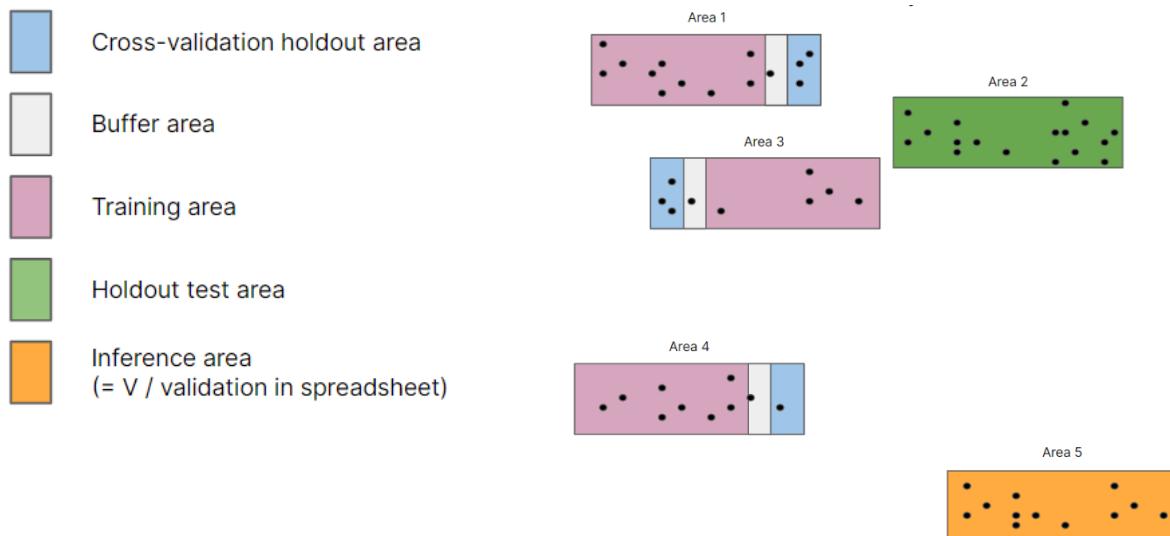


Abbildung 5: Grafische Darstellung, wie die Firma overstory die erhaltenen Trainingsdaten aus der Schweiz für die Modellierung aufteilt.

- Das Modell wurde in sechs Iterationen verbessert
- Zwischen den Iterationen wurden die Drohnen-Referenzdaten verbessert und die Vitalitätskarten aller Standorte manuell nach möglichen Fehlern abgesucht
- Die Iterationen wurden basierend auf S2 Bildern durchgeführt. Erst nach abgeschlossenen Iterationen wurde eine finale Version der Vohersage basierend auf S2+P mit dem Modell Version 6 durchgeführt.
- Die nachfolgende Tabelle erklärt die Iterationen bis zur endgültigen Version 6

Modell Version	Inhalt
S2 V1	Untrainierte Modelle (keine CH Daten)
S2 V2	Trainiert mit Drohnen Referenzdaten pro CH-Standort
S2 V3	Finetuning
S2 V4	Geo-Referenzierung & Umfeld (coregistration & context)
S2 V5	Ensemble Learning «Verschiedene Modelle»
Planet V1	Feine Auflösung
S2 V6/ Planet V2 Finale Version	Korrigierte Waldmaske, Normalisierung Werte über die ganze Schweiz

Modellierung basierend nur auf S2 oder auf der Kombination von S2+P

- Beim Abschluss des Pilotprojekts 2 erreichten die S2+P Vitalitätsskarten bessere Werte in der Genauigkeitsanalyse, weil mehr Datenquellen mit höherer räumlicher Auflösung als Grundlage verwendet werden
- Planetscope Daten haben mehr Hintergrundrauschen, dementsprechend ist es wichtig die Validation korrekt durchzuführen. Um das Modell robuster zu machen werden zufällig Bänder der Planetscope Daten aus dem Trainingsprozess ausgeschlossen

Referenzdaten:

- Je mehr Referenzdaten mit hoher Qualität zur Verfügung stehen desto besser wird das Modell. Dies ist vor allem bei stark variablen Reflektanzwerten im Wald, bei Einzelbäumen und bei einem stark heterogenen Hintergrund wichtig (z.B. in urbanen Gebieten)

Waldmaske

- Die Waldmaske wird basierend auf einem aktuellen, hochauflösten Satellitenbild erstellt (VHR, 50 cm), das heisst Holzschläge, Felsflächen u.ä. werden nicht vom Modell als Vitalitätsänderung dargestellt
- Die VHR Bilder für die verschiedenen Standorte wurden an unterschiedlichen Daten aufgenommen. Ein Überblick ist in der nachfolgenden Tabelle zu finden.

Standort	Datum VHR-Aufnahme	Standort	Datum VHR-Aufnahme
Airolo	25.10.2017	Luzern	04.04.2018
Amsteg	25.10.2017	Marthalen	19.07.2016
Braunwald	21.09.2019	Meggen	04.04.2018
Chambrelien	07.05.2018	Ossingen	04.10.2018
Court	30.07.2018	Räbmatt	23.09.2017
Gambarogno	09.07.2016	Rupperswil	18.08.2017
Genf	04.05.2020	St. Gingolph	12.09.2019
Giornico	17.06.2017	Walenstadt	25.10.2017

Klosters	30.07.2018	Werthenstein	18.08.2017
Fazit	→ Neben einer höheren Anzahl und Qualität von Trainingsdaten könnte das Modell auch von z.B. einem Baumarten-Layer, einem Einzelbaum-Layer, einer Schattenmaske, oder der Unterscheidung zwischen Laubholz/Nadelholz profitieren		

Konfidenzwerte zu den Vitalitäts-karten

- Zu jeder Vitalitätskarte wurden Konfidenzwerte für jedes Pixel mit einem Wert generiert.
- Das Modell wurde 300-mal laufen gelassen und die Ergebnisse der einzelnen Durchgänge in einem Wert zwischen 0 und 1 zusammengefasst, der beschreibt, wie häufig das Modell innerhalb der 300 Durchläufe auf denselben Wert gekommen ist. Je näher der Wert bei 1 liegt desto häufiger ist derselbe Wert vorgekommen, desto sicherer ist dieser Vitalitätswert.
- Methode basierend auf Gal & Gahrahmani (2016)
- Konfidenzwerte wurden aus Zeitgründen nicht für alle Standorte berechnet, nur für die Standorte Airolo, Braunwald, Giornico Chambrelien, Ossingen und Walenstadt.
- Für Ossingen ist im Kapitel der standortsspezifischen Resultate beispielhaft ein Ausschnitt aus den Konfidenzwerten interpretiert. Die anderen Standorte sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

Forstregion	Standort	2018 S2			2019 S2			2020 S2			Ø
		Min.	Max.	Ø	Min.	Max.	Ø	Min.	Max.	Ø	
Nördliche Alpen	Braunwald (T)	0.14	0.50	0.3	0.28	0.70	0.49	0.62	0.92	0.79	0.53
	Walenstadt (T)	0.02	0.70	0.17	0.02	0.89	0.23	0.02	0.96	0.25	0.22
Südliche Alpen	Airolo (T)	0.01	0.86	0.28	0.01	0.81	0.27	0.01	0.99	0.32	0.29
	Giornico (T)	0.01	0.92	0.15	0.01	0.92	0.15	0.01	0.88	0.15	0.15
Jura	Chambrelien (T)	0.23	0.81	0.46	0.42	0.95	0.59	0.35	0.87	0.55	0.53
Mittelland	Ossingen (T)	-	-	-	-	-	-	0.68	0.87	0.77	0.77
2019 S2 + P											
Forstregion	Standort	2019 S2 + P			2020 S2+ P			2020 S2+ P			Ø
		Min.	Max.	Ø	Min.	Max.	Ø	Min.	Max.	Ø	
Nördliche Alpen	Braunwald (T)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Walenstadt (T)	-	-	-	0.02	0.91	0.26	0.02	0.99	0.29	0.28
Südliche Alpen	Airolo (T)	-	-	-	0.01	0.97	0.30	0.01	1.00	0.31	0.31
	Giornico (T)	-	-	-	0.01	0.92	0.15	0.01	0.92	0.15	0.15
Jura	Chambrelien (T)	-	-	-	0.42	0.95	0.59	0.35	0.87	0.55	0.57
Mittelland	Ossingen (T)	-	-	-	0.77	0.94	0.86	0.78	0.94	0.86	0.86

-
- Die Konfidenzwerte für die neueste Vitalitätskarte S2 2020 sind relativ gut, vor allem mit sehr hohen Maximalwerten. Werte über 0.8 sind optimal, aber auch schon Werte über 0.6 sind sehr zuverlässig.
 - Die Konfidenzwerte für die Vitalitätskarten der vorhergehenden Jahre sind nicht besonders gut. Je weiter zurück die Vitalitätskarte, desto geringere Konfidenz
 - Dies kommt hauptsächlich daher, dass das Modell mit Drohnen-Referenzdaten aus dem Jahr 2020 arbeitet und dementsprechend am besten auf das Jahr 2020 trainiert ist
 - Grundsätzlich sind die Konfidenzwerte sehr vom Standort und von den Modellierungsbedingungen am Standort abhängig.
 - 2020 basieren die Konfidenzwerte auf insgesamt mehr Satellitenbildern als in 2018 (kumuliert seit 2016), weshalb die Werte höher sind
-

Fazit

- ➔ Bei der Interpretation der Change in Time Karten ist es wichtig die geringere Konfidenz in vorhergehenden Jahren zu beachten.
 - ➔ Die geringere Konfidenz in vorhergehenden Jahren ist zum Teil auf die zeitliche Diskrepanz zwischen Drohnen-Referenzdaten und Jahr der Vitalitätskarte zurückzuführen.
 - ➔ Die Konfidenzwerte müssen noch weiter untersucht werden, um bessere Aussagen treffen zu können
-

3.5 Datenanalyse und Evaluation

Ziel: Überprüfen der Ergebnisse der Vitalitätskarten visuell und statistisch

Datenanalyse

- Zeitreihen: Analyse der spektralen Signatur in S2 Band 8 Satellitenbildern über die Zeit für die Klassen der Drohnen-Referenzdaten und die Gebiete mit Vitalitätswerten
- Evaluation des Modells (Genauigkeitsanalyse): Trefferquote und Genauigkeit des Modells

Vergleich **Klassifizierung Drohne – Vitalitätskarte S2 spektrale Signatur in Sentinel-2 Aufnahmen am Beispiel des Standorts Amsteg**

Sentinel-2 Band 8



Zeitreihe

- Die Reflektanzwerte aller Pixel der drei dargestellten Klassen wurden aus dem Band 8 (NIR) aller verwendeten S2 Aufnahmen extrahiert. Die drei dargestellten Klassen sind: 'gesund' und 'ungesund' der Drohnen Referenzdaten, sowie alle Pixel mit einem Wert in der 2020 Vitalitätskarte basierend auf S2+P
- Die Zeitreihen wurden auf den Unterschied in der spektralen Signatur der drei Klassen untersucht. Ein deutlicher Unterschied zwischen 'gesund' und 'ungesund' bedeutet eine gute Qualität der Drohnen-Referenzdaten für die Modellierung. Je näher sich 'geschwächt' und 'ungesund' sind, desto wirklichkeitsgetreuer ist das Resultat der Modellierung. Einige Standorte haben eine sehr schlechte Qualität der Drohnen-Referenzdaten, was sich in der Genauigkeitsanalyse widerspiegelt. Genauere Informationen in den kantonalen Steckbriefen.
- Weiter wurde untersucht wie sich die jährlichen Muster der Photosynthese in der Vegetation verändern und ob es einen längerfristigen Trend der spektralen Signatur einer Klasse gibt, zu weniger starken oder stärkeren Reflektanzwerten.

-
- | | |
|----------------------|--|
| Evaluation | • Berechnung von Trefferquote (precision) und Genauigkeit (recall) der im Modell berechneten Werte |
| Genauigkeits-analyse | • Visueller Vergleich der Vitalitätskarten, Drohnenbilder, Referenzdaten und der Felddaten |
-

Forstregionen	Standort	Sentinel-2 (S2)		Planetscope (P)		(P-S2)			
		precision	recall	Visual	precision	recall	Visual	precision	recall
Mittelland / nördliche Alpen	Raembatt (T)	37	19		47	65		5.0	45.8
	Werthenstein (V)	69	58		81	75		12.1	17.1
	Genf (T)	11	19		14	25		2.7	6.3
Mittelland urban	Luzern (T)								
	Meggen (V)								
nördliche Alpen	Walenstadt (T)	92	55		96	82		4.4	27.0
	Braunwald (T)	75	45		83	75		8.3	30.2
	St. Gingolph (V)	100	66		100	89		0.0	22.7
nördl. Alpen / nördl. Zwischenalpen ohne Buche	Amsteg (V)	98	58		99	83		1.2	25.0
	Klosters (T)	100	36		100	74		0.3	37.7
	Airolo (T)	91	49		94	74		2.7	24.7
südl. Zwischenalpen	Giornico (T)	83	25		92	40		9.1	14.8
	Gambarogno (V)	12	55		12	77		0.0	21.7
	Ossingen (T)	65	69		78	86		13.6	17.2
Mittelland	Marthalen (T)	22	35		35	65		13.6	30.6
	Rapperswil (V)	56	6		74	11			
	Jura (T)	91	24						
Jura	Chambrelien (T)	65	45		75	73		9.8	27.8
	Court (V)	55	35		72	68		17.0	33.8
								Durchschnitt	6.7 25.5

- Für die Genauigkeitsanalyse wurden alle Pixel der **Vitalitätskarten 2020**, die einen Wert enthalten, mit dem entsprechenden Wert der Drohnen-Referenzdaten an diesem Pixel verglichen. In den Drohnen-Referenzdaten wurden die Pixel in der Klasse '**ungesund**' in der Genauigkeitsanalyse verwendet, da alle Vitalitätswerte per Definition eine Vitalitätsabnahme bedeuten
- Die Vitalitätskarte wurden ausserdem visuell mit dem Orthofoto RGB, NIR und NDVI verglichen, sowie mit den Drohnen-Referenzdaten und mit den Felddaten. Da die Drohnen-Referenzdaten teilweise nicht optimaler Qualität sind, kann die visuelle Genauigkeitsanalyse teilweise eine bessere Beurteilung als die precision und recall Werte ermöglichen.

Fazit	➔ Die Qualität der Drohnen-Referenzdaten ist entscheidend für die mit der Genauigkeitsanalyse gemessene statistische Qualität des Modells an einem Standort. In den vorhandenen Referenzdaten sind noch einige erklärbare und unerklärbare Verzerrungen und Tendenzen vorhanden. Z.B. ein räumliches Muster in der Verteilung von gesunden und ungesunden Referenzgebieten das im Realität nicht vorhanden ist. Mit weiteren, Schweizer Referenzdaten von höherer Qualität für einzelne Standorte könnten die Genauigkeits-Werte verbessert werden
	➔ Das Modell zeigt mehrheitlich sehr gute Genauigkeits-Werte, besonders bei der Kombination von S2+P.

4 Überblick Resultate der einzelnen Standorte

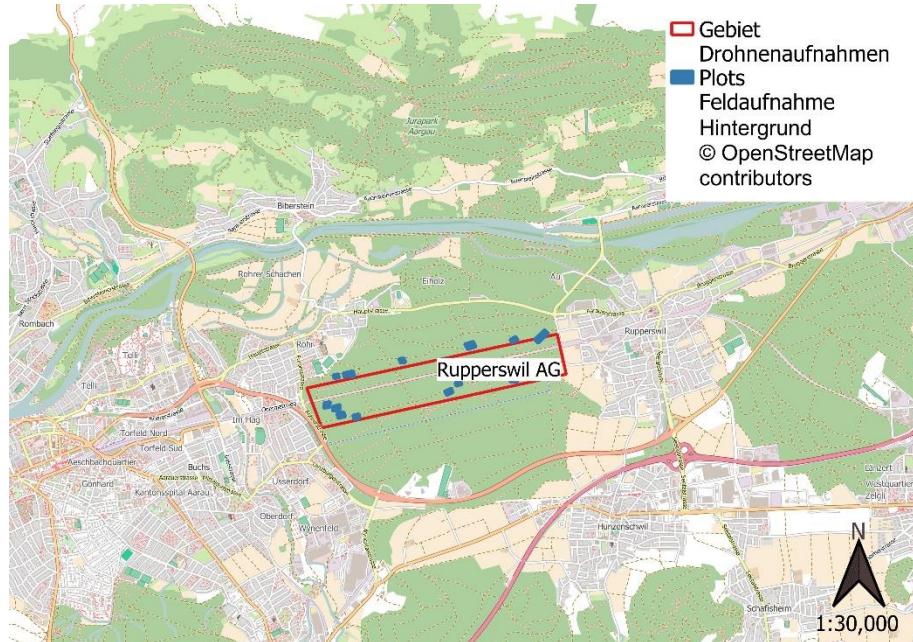
4.1 Kanton Aargau – Standort Rupperswil

Feldaufnahmen Rupperswil

Standort

Rupperswil
(Validation)

Ca 360 m ü.M.
Exposition: keine

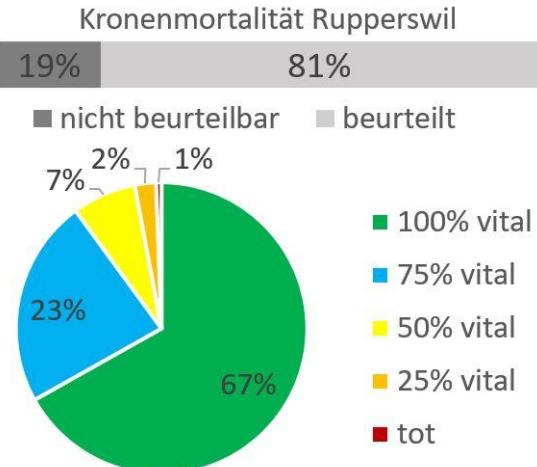


Drohnenflüge

- Geflogene Fläche: 101 ha
- Flugdatum: 11. Sept. 2020
- 10 cm räumliche Auflösung
- 5 Kanäle: R-G-B-Red Edge-NIR

Feldaufnahmen

- 58 a 'gesund',
95 a 'ungesund'
35 a 'Holzschlag'
300 a weitere Flächen
- Die anderen Flächen wurden später als Kontrolle der ersten Vitalitätskarten aufgenommen
- Aufnahmedatum:
23. Sept. 2020 und
07. Nov. 2020



Kommentare

- Nicht beurteilbare Bäume = Stöcke, stehendes Totholz
- Eine untersuchte Fläche in Holzschlag mit vielen Stöcken
- Laubmischwald mit Fichtenbeständen
- Trockenheit bei Buche und Fichte erkennbar,
→ Größtenteils vitale Flächen, dürre Fichten wurden konsequent entfernt, Fichten nicht standortsgerecht

Ergebnisse Modellierung Rapperswil

Jährliche S2 Vitalitätskarten 2018-2020, jährliche S2+P Vitalitätskarten 2019-2020

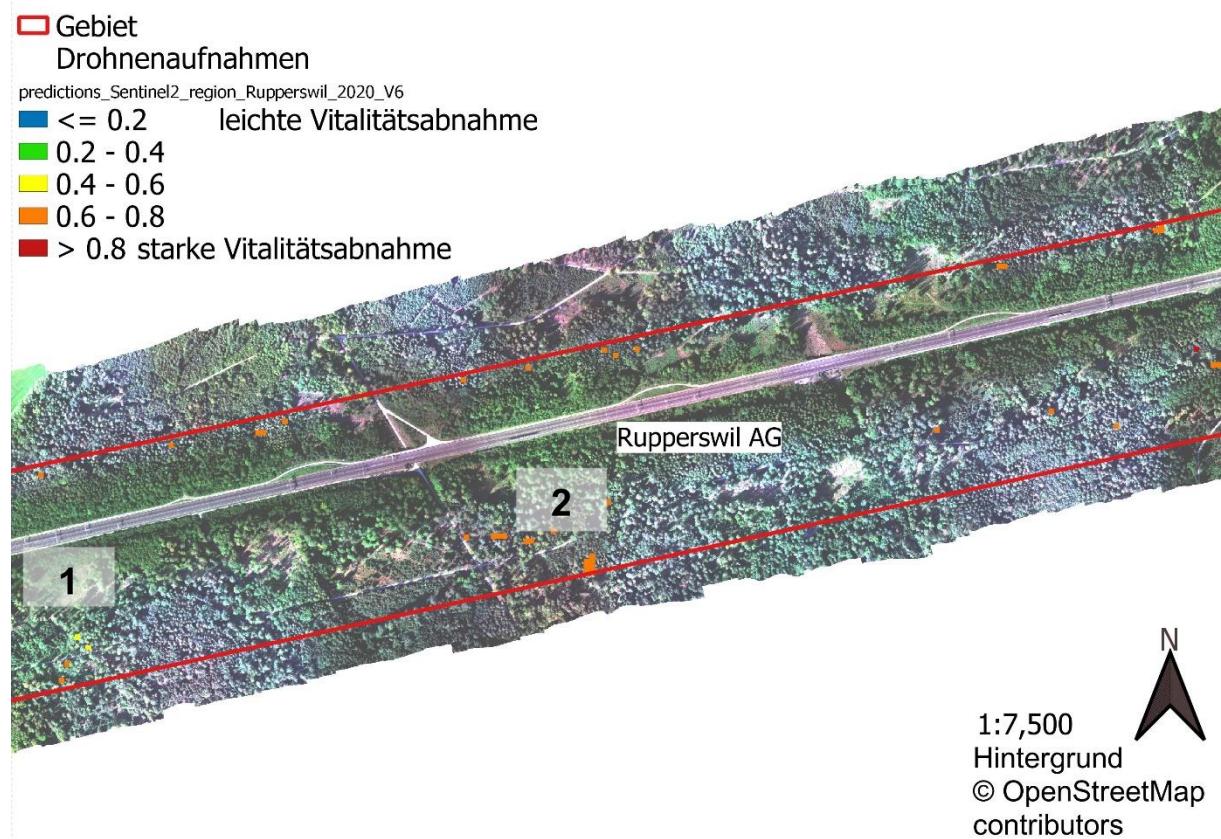
Räumliche Auflösung 10 m x 10 m und 3 m x 3 m

Bestehendes Modell trainiert mit Schweizer Drohnen-Referenzdaten, angewendet auf S2 und P Satellitendaten

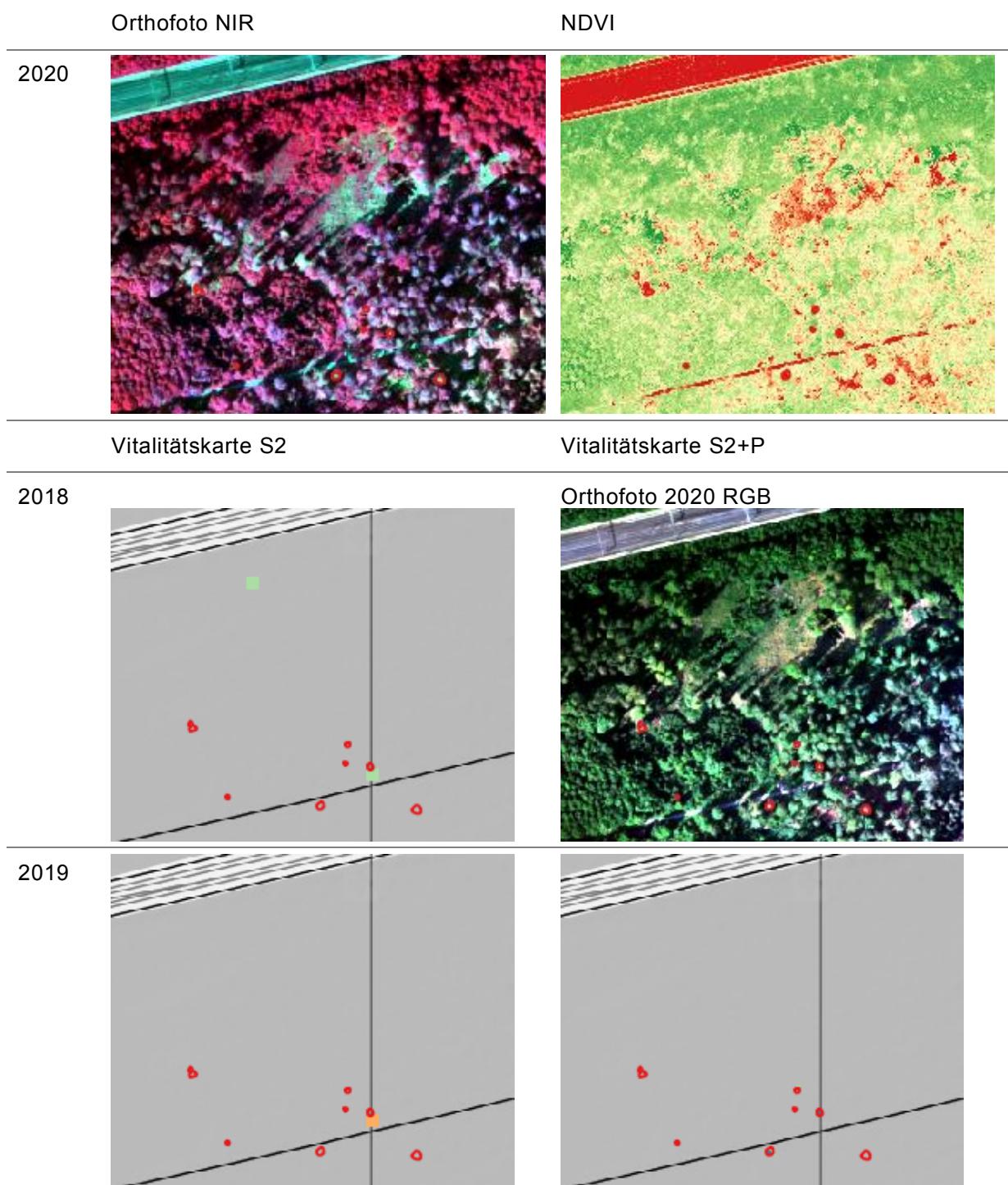
Vorhandene Karten

Für Vergleich: Hinweiskarten zur Vitalität aus Waldmonitoring mit Sentinel Satellitenbildern (www.forestmonitoring.lab.karten-werk.ch) und NDVI Erhebungen der Abteilung Wald des Kantons Aargau zwischen Juni 2017 und August 2019 sowie August 2019 und August 2020

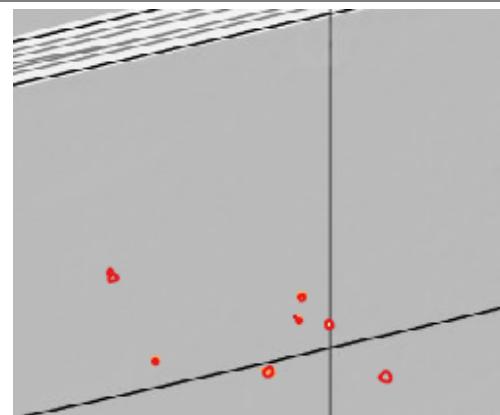
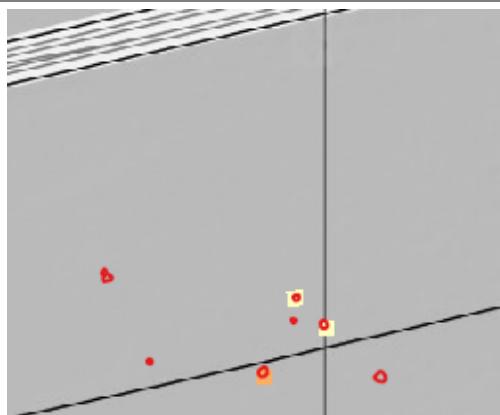
Übersicht: S2 Vitalitätskarte 2020



Ausschnitt 1: Koordinaten 2648964 / 1249685 (Fläche 1 in Übersichtskarte)



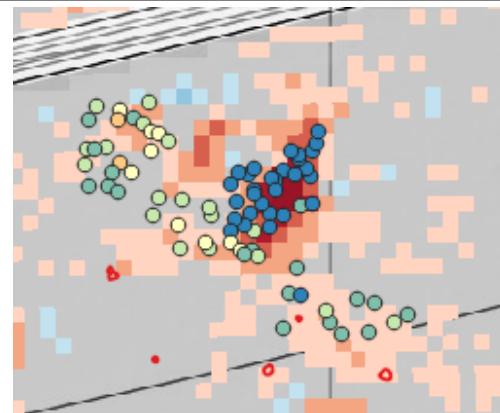
2020



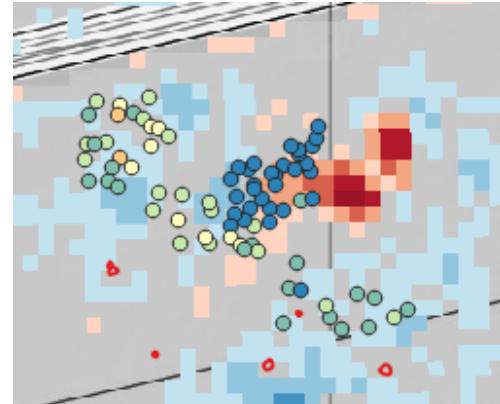
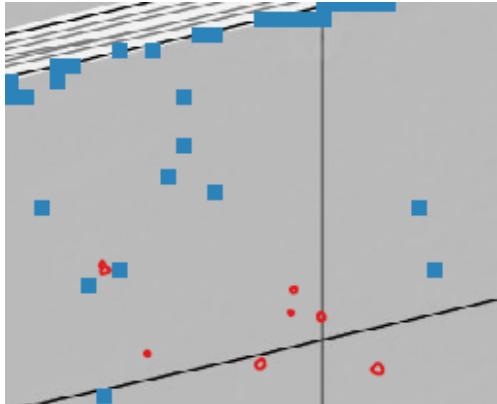
Eindruck Feldaufnahmen und
Waldveränderung Aargau 2017-19 und
2019-20

HAFL Waldmonitoring

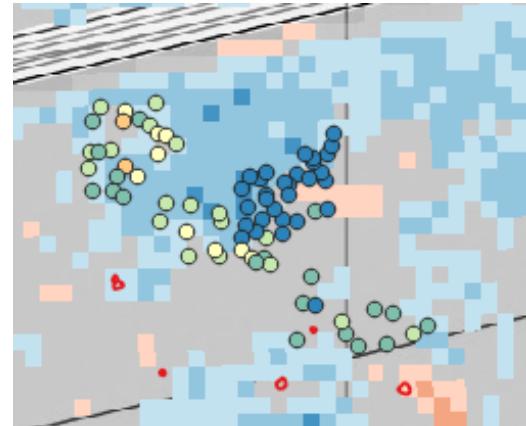
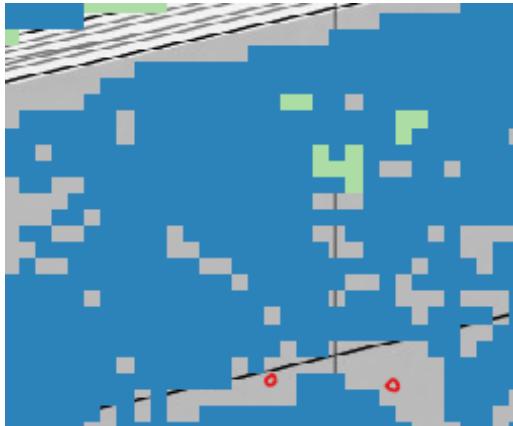
2018



2019

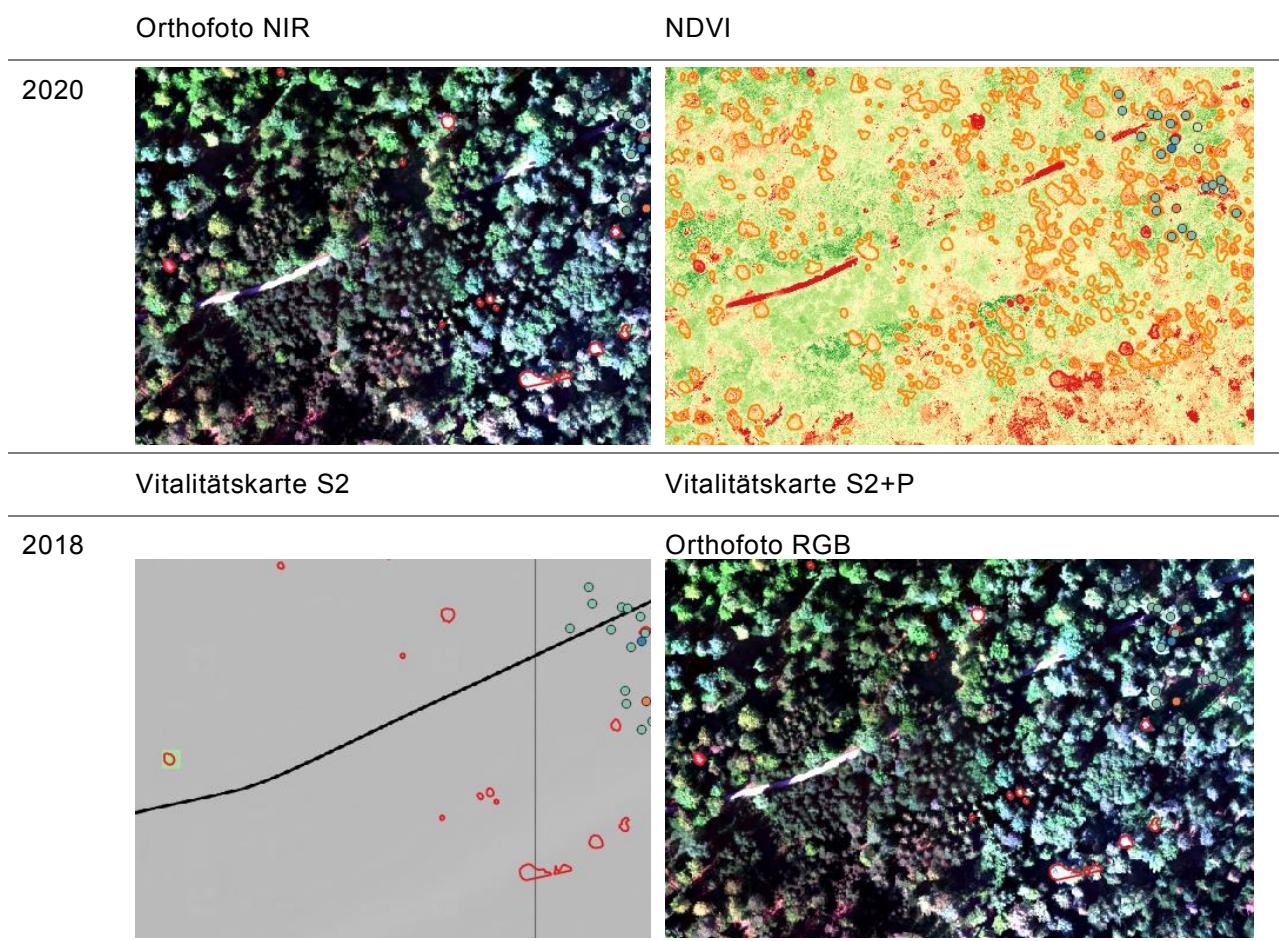


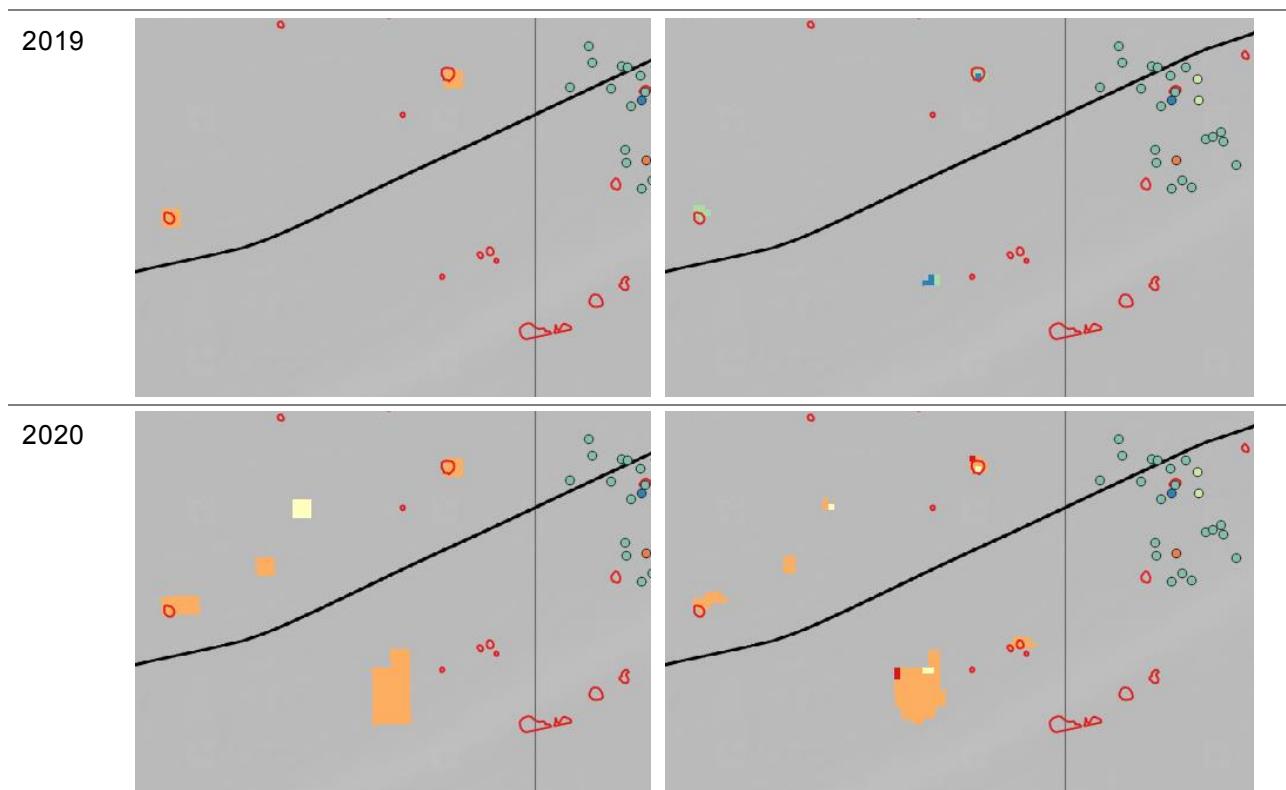
2020



- S2 2018 bis 2020 zeigen nur für zwei kleine Flächen eine Vitalitätsänderung. P 2019 und 2020 zeigen keine Vitalitätsänderung an, obschon wenige ungesunde Bäume da sind (Drohnen-Referenzdaten, rote Flächen).
- Der Vergleich mit HAFL Waldmonitoring zeigt 2018 eine deutliche Vitalitätsabnahme auf der ganzen Fläche. 2019 zeigt ebenfalls noch eine deutliche Vitalitätsreduktion bei den vor 2020 gefällten Bäumen (blaue Punkte aus Felderhebung Oktober 2020. Der NDVI 2020 zeigt eine Zunahme der Vitalität, da die Fläche aufgeräumt wurde und sich Verjüngung einstellt resp. gepflanzt wurde.
- Die Waldveränderung Aargau 2017-2019 sowie 2019-2020 zeigen keine Änderung resp. sehr wenig Änderung.

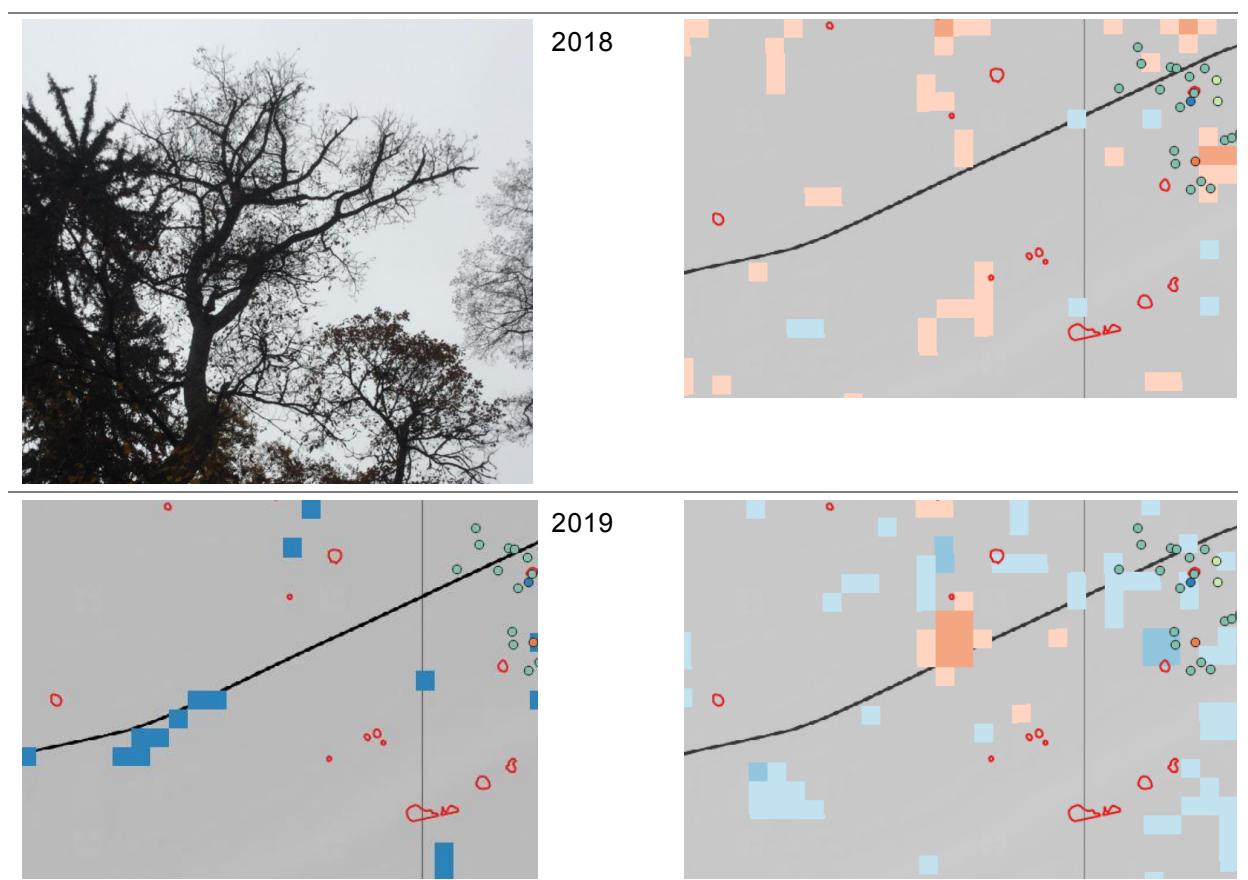
Ausschnitt 2: Koordinaten 2649977 / 1249831 (Fläche 2 in Übersichtskarte)

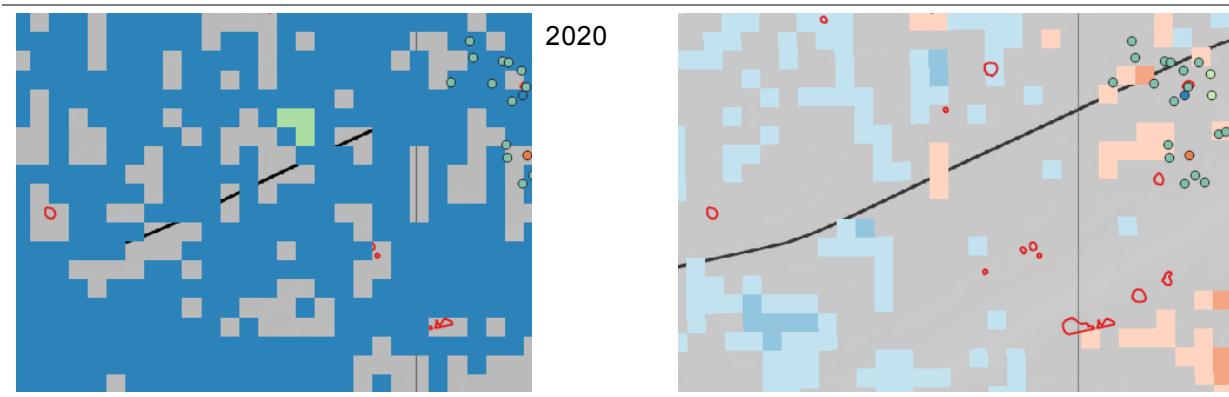




Eindruck Feldaufnahmen und
Waldveränderung Aargau 2017-19 und
2019-20

NDVI Waldmonitoring





- S2 2018 und S2 2019 sowie P 2019 zeigen wenige Flächen mit schwacher Vitalitätsänderung.
- S2 2020 und P 2020 zeigen leicht mehr Flächen mit deutlicher Vitalitätsänderung an. Gemäss NDVI und Drohnen-Referenzdaten (rote Flächen) befinden sich die ungesunden Bäume an anderen Standorten, die nicht angezeigt werden.
- Der Vergleich mit NDVI Waldmonitoring zeigt 2018 mehr Vitalitätsreduktion in Fläche und Intensität als S2 2018. Ab 2019 stellt sich mehr eine Zunahme der Vitalität dar, abgesehen von der Fläche im Zentrum, die jedoch weder von S 2019 und 2020 noch von P 2019 und 2020 und den Drohnen-Referenzdaten angezeigt werden.
- Die Waldveränderung Aargau2019-2020 ist stärker im Flächenausmass als 2017-2019.

Fazit

- ➔ Die Vitalitätskarten für S2 und P als Validierungsfläche zeigen wenig Flächen mit einer Vitalitätsänderung an. Tendenziell steigt die Anzahl Flächen mit stärkerer Intensität von 2018 bis 2020, jedoch spärlich.
- ➔ Das HAFL Waldmonitoring ist nicht deckungsgleich mit den Vitalitätskarten von S2 und P. Der NDVI deckt höchst wahrscheinlich die reale Situation besser ab.
- ➔ Ein Vergleich mit den Daten des Kantons Aargau (Waldänderung) ist aufgrund der unterschiedlichen Ansätze nicht möglich.
- ➔ Insgesamt sehr wenig Vitalitätswerte für Rupperswil, möglicherweise wurden geschwächte Bäume vor 2018 entfernt und wurden somit mit der Waldmaske aus der Modellierung ausgeschnitten

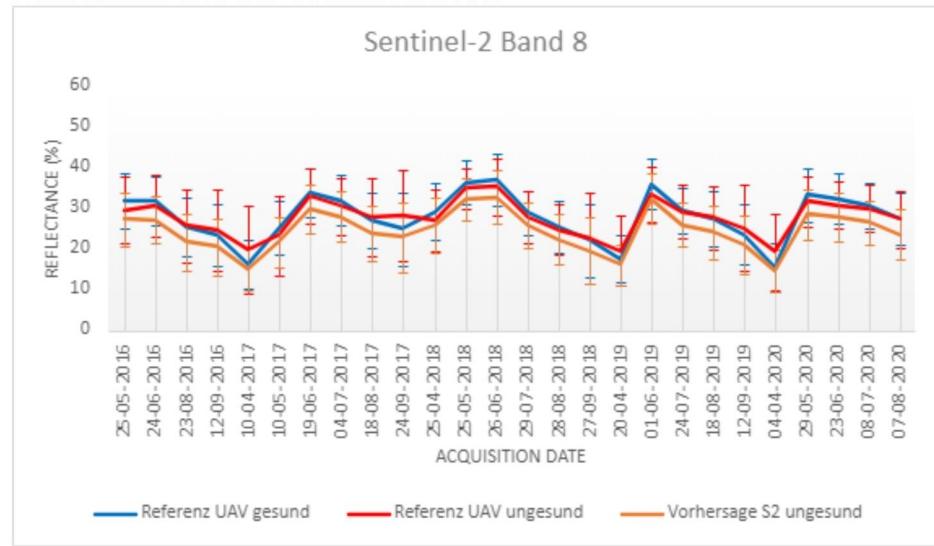
Datenanalyse und Evaluation Rupperswil

Methode	Zeitreihe:
	Kontrolle der Referenzdaten aus den Drohnenbildern anhand der spektralen Signatur über die Zeit in Satellitenbildern, Vergleich mit den Vitalitätskarten
	Evaluation des Modells (Genauigkeitsanalyse)

Vergleich Klassifizierung Drohne – Vitalitätskarte S2

Reflektanzwerte der Sentinel-2 Bilder

Zeitreihe



- Kaum ein Unterschied in der spektralen Signatur der UAV-Klassen 'gesund' und 'ungesund' im Satellitenbild. Die 'geschwächten' Vitalitätswerte zeigen einen sehr geringen Unterschied zu den gesunden und ungesunden Bäumen
- Saisonalität der Photosynthese gut erkennbar, Winter 2017/18 nur wenig verringerte Photosynthese
- Keine längerfristigen Trends der spektralen Signatur über alle Jahre innerhalb einer Klasse erkennbar, weder in den Drohnen-Referenzdaten noch in der Vitalitätskarte
- ➔ Schlechte Voraussetzung für die Modellierung, Drohnen-Referenzdaten zeigen kaum Unterschied zwischen Klassen

Evaluation Genauigkeits- analyse		Berechnung von Trefferquote (precision) und Genauigkeit (recall) der im Modell berechneten Werte							
Forstregionen	Standort	Sentinel-2 (S2)			Planetscope (P)			(P-S2)	
		precision	recall	Visual	precision	recall	Visual	precision	recall
Mittelland / nördliche Alpen	Raebmatt (T)	37	19		47	65		5.0	45.8
	Werthenstein (V)	69	58		81	75		12.1	17.1
	Genf (T)	11	19		14	25		2.7	6.3
Mittelland urban	Luzern (T)								
	Meggen (V)								
	Walenstadt (T)	92	55		96	82		4.4	27.0
nördliche Alpen	Braunwald (T)	75	45		83	75		8.3	30.2
	St. Gingolph (V)	100	66		100	89		0.0	22.7
	Amsteg (V)	98	58		99	83		1.2	25.0
nördl. Alpen / nördl. Zwischenalpen ohne Buche	Klosters (T)	100	36		100	74		0.3	37.7
	Airolo (T)	91	49		94	74		2.7	24.7
	Giornico (T)	83	25		92	40		9.1	14.8
südl. Zwischenalpen	Gambarogno (V)	12	55		12	77		0.0	21.7
	Ossingen (T)	65	69		78	86		13.6	17.2
	Marthalen (T)	22	35		35	65		13.6	30.6
Mittelland	Rapperswil (V)	56	6		74	11			
	Jura (T)	91	24						
	Chambrilien (T)	65	45		75	73		9.8	27.8
Jura	Court (V)	55	35		72	68		17.0	33.8
					Durchschnitt			6.7	25.5

Trefferquote (precision) = Wie viele als **geschwächt** erkannte Bäume sind tatsächlich **geschwächt**?

→ 56% (74% bei S2+P)

Genauigkeit (recall) = Wie viele der tatsächlich **geschwächten** Bäume wurden erkannt?

→ 6% (11% bei S2+P)

Sehr geringe Werte im Vergleich aller Standorte

Visuelle Beurteilung zwischen NDVI, Vitalitätskarten und Referenzdaten ist ebenfalls relativ schlecht, die Daten stimmt nicht gut überein

- Relativ schlechte Werte für Trefferquote und besonders Genauigkeit, auch im Vergleich zwischen den Standorten, das Modell hat Mühe schwächte Bäume zu erkennen
- Die Drohnen-Referenzdaten sind keine gute Grundlage, um das Modell auf diesen Standort zu trainieren
- Außerdem: die Drohnen-Referenzdaten zeigen den Zustand zum Zeitpunkt der Aufnahme, die Vitalitätskarten stellen die Veränderung über einen Zeitabschnitt dar, es ist möglich, dass der Wald schon seit 2016 konstant im selben '**geschwächten**' Zustand ist
- Integration von Baumartenerkennung und überarbeiten der Referenzdaten hat grosses Potenzial die Genauigkeit der Vitalitätskarte zu verbessern

Fazit



4.2 Kanton Bern – Standort Court

Feldaufnahmen Court

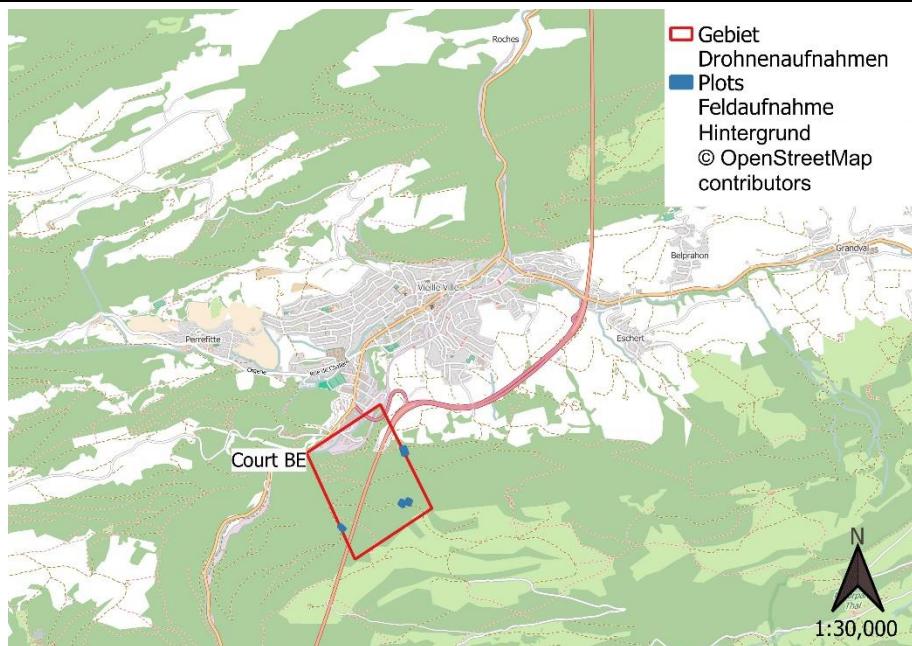
Standort

Court (Validation)

540 m bis 1170 m

Ü.M.

Exposition: NW



Drohnenflüge

- Geflogene Fläche: 100 ha
- Flugdatum: 21. Aug. 2020
- 10 cm räumliche Auflösung
- 5 Kanäle: R-G-B-Red Edge-NIR

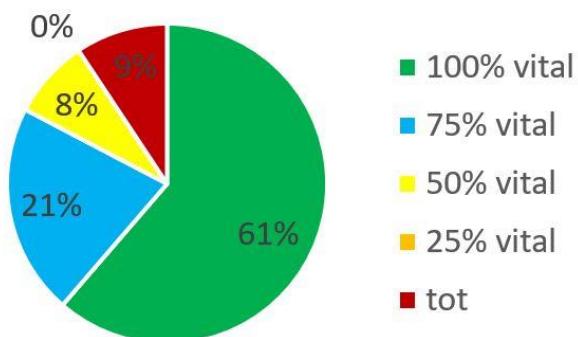
- 59 a 'gesund',
55 a 'ungesund'
- Aufnahmedatum:
16. Sept. &
28. Sept. &
02. Okt. 2020

Feldaufnahmen

Kronenmortalität Court



■ nicht beurteilbar ■ beurteilt



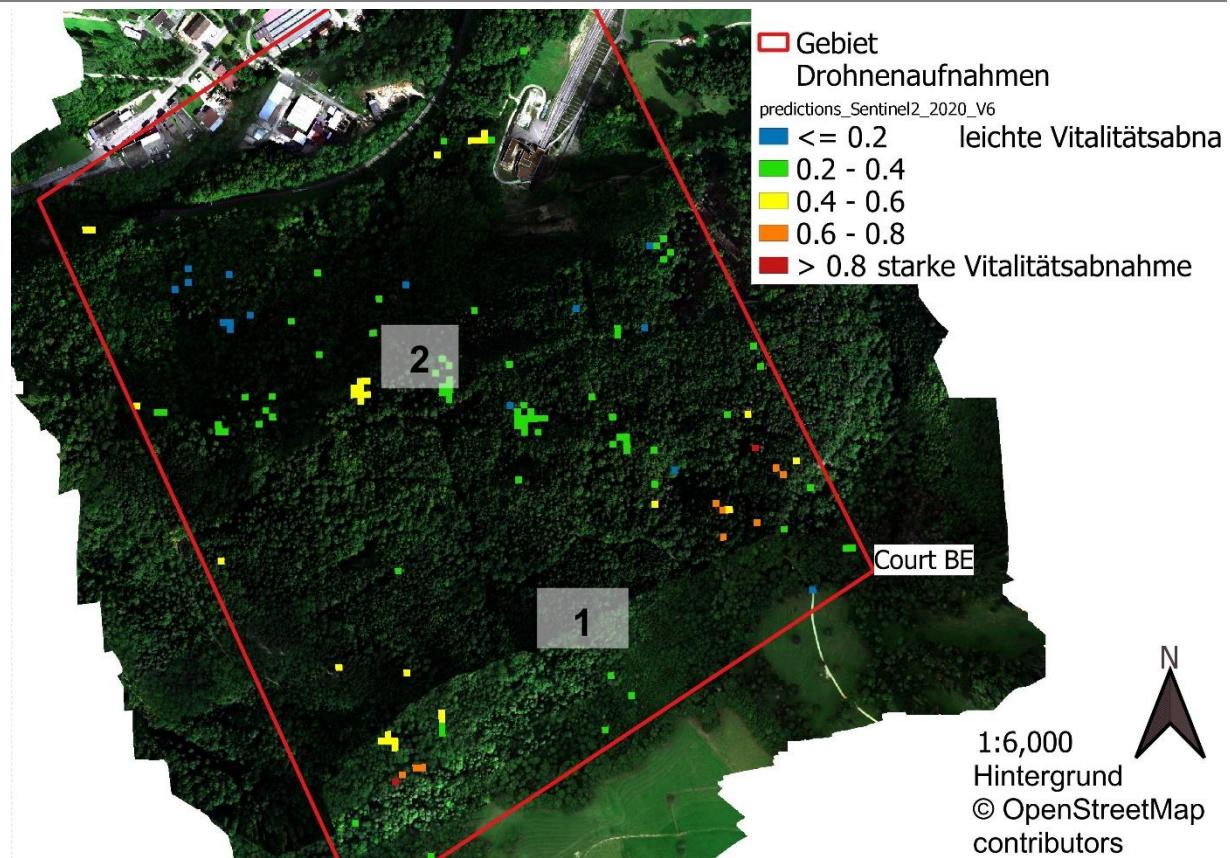
Kommentare

- Nicht beurteilbar = Stöcke oder stehendes Totholz
- Buchenwald mit Tanne und Föhre
- Wenige Fichten, die Mehrheit davon tot oder absterbend wegen Borkenkäfer
- Nur wenige sonstige Schäden
→ Fichten und möglicherweise Buche mit unsicherer Zukunft wegen Borkenkäfern und Trockenheit (Muttergestein Kalk)

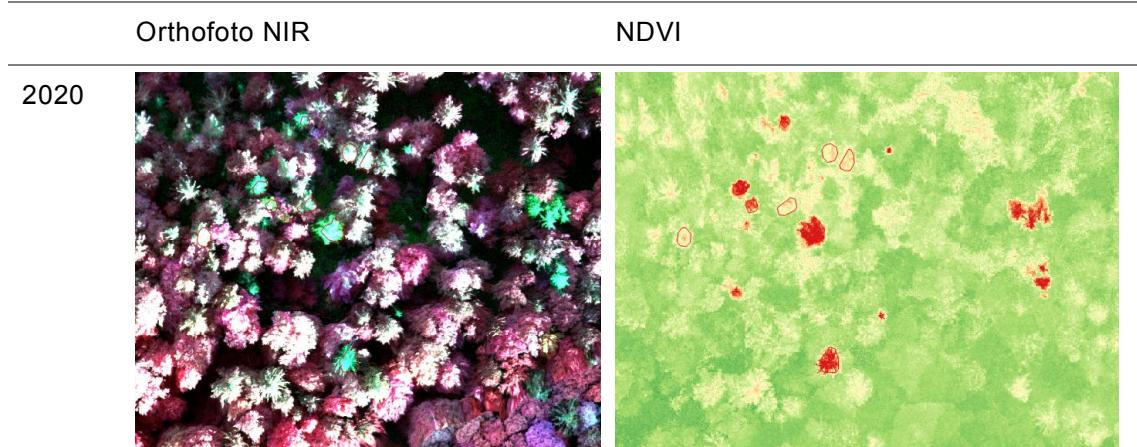
Ergebnisse Modellierung Court

Vorhandene Karten	Jährliche S2 Vitalitätskarten 2018-2020, jährliche S2+P Karten 2019-2020 Räumliche Auflösung 20 m x 20 m und 3 m x 3 m Bestehendes Modell trainiert mit Schweizer Drohnen-Referenzdaten, angewendet auf S2 und P Satellitendaten
-------------------	--

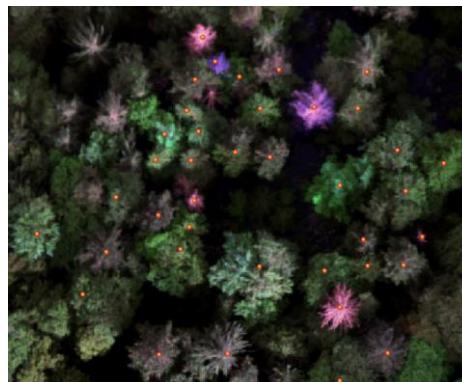
Übersicht: S2 Vitalitätskarte 2020



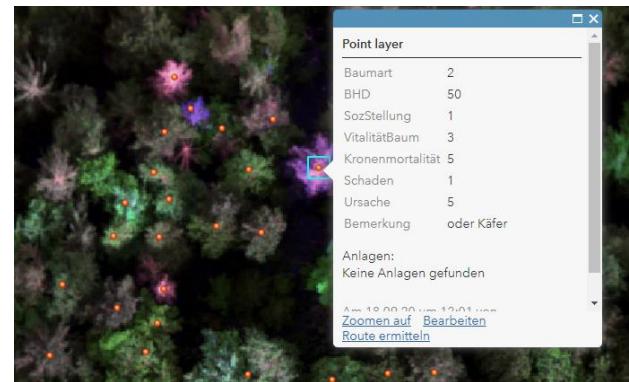
Ausschnitt 1: Koordinaten 2594775 / 1234469 (Fläche 1 in Übersichtskarte)



Eindrücke Feldaufnahmen

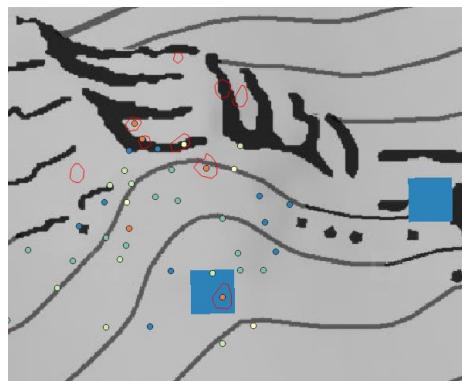


Vitalitätskarte S2



Vitalitätskarte S2+P

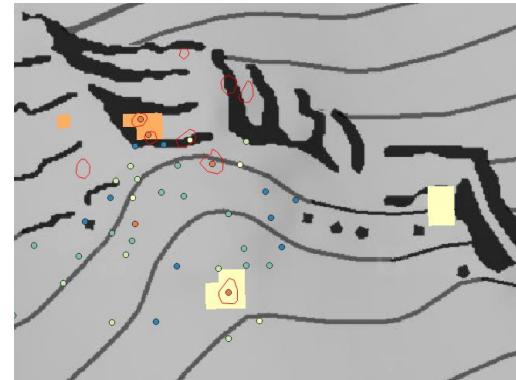
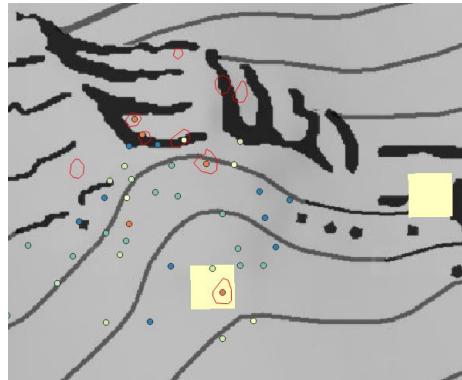
2018



Orthofoto 2020 RGB



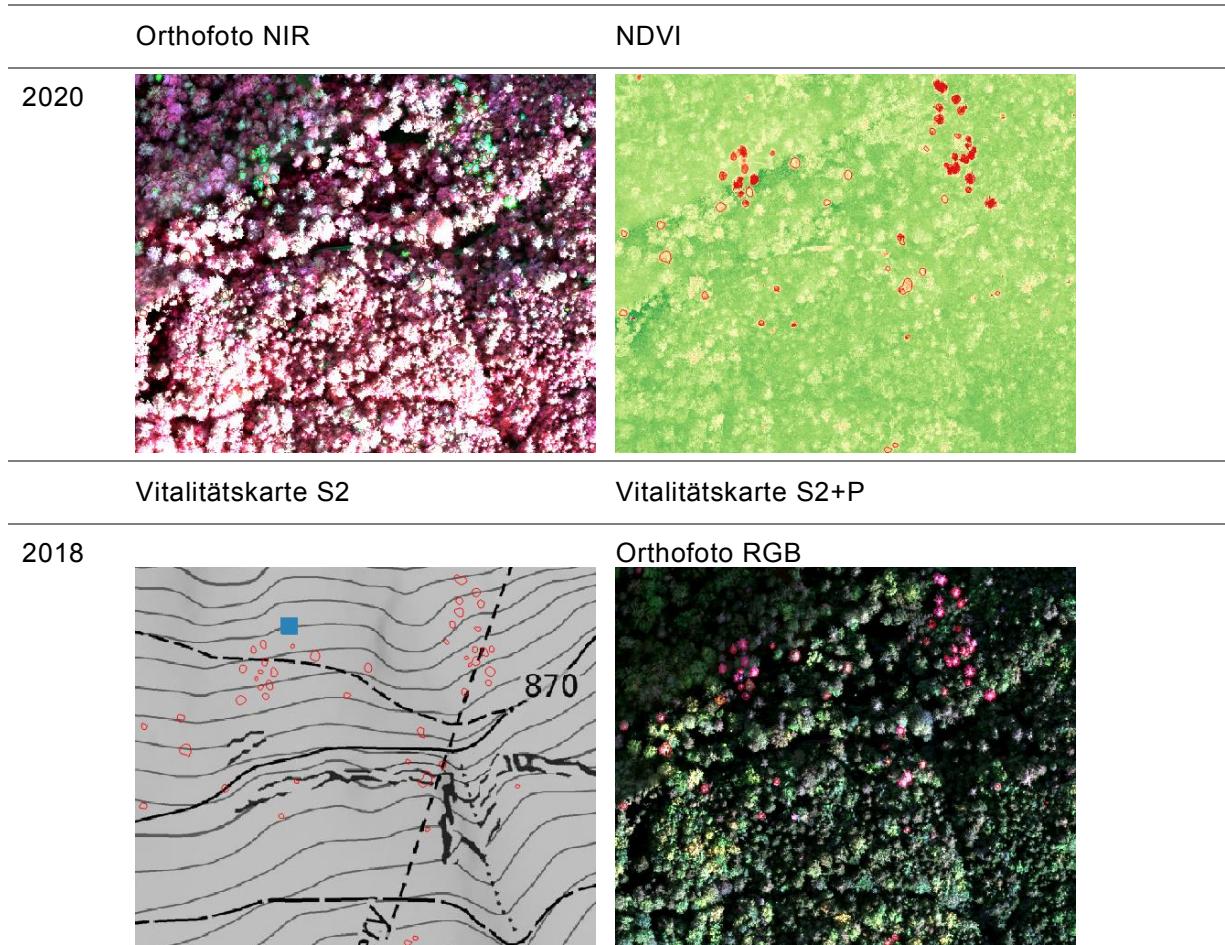
2019

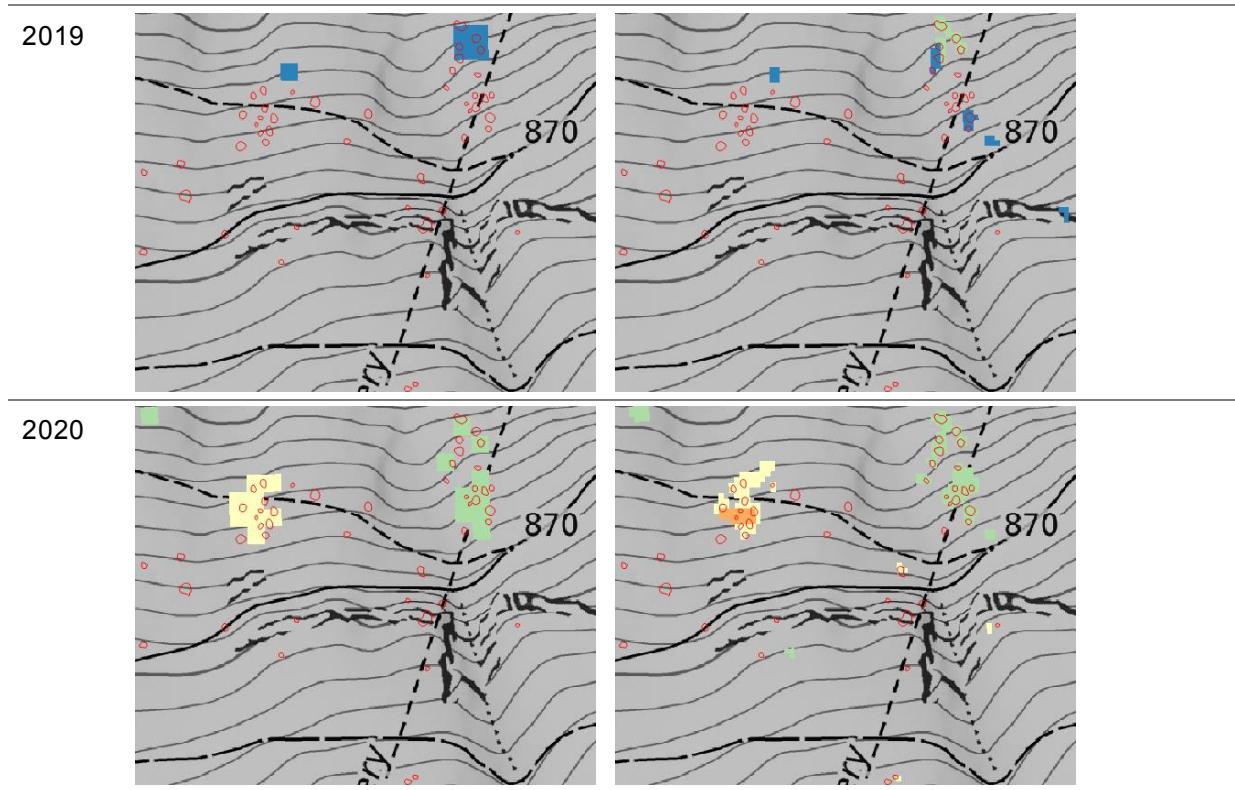




- Die Vitalitätskarten von P zeigen mehr geschwächte Bäume und in einer stärkeren Intensität als S2. P detektiert jedoch nicht alle geschwächten Bäume gemäss visueller Beurteilung (rote Polygone) und Felderhebung (orange Punkte).
- Aus S2 2019 und P 2019 resultieren 2020 jeweils die Flächen mit einer noch stärkeren Vitalitätsreduktion.
- Gemäss Felderhebung sind die dünnen Fichten und Tannen bereits seit 2019 oder früher abgestorben.

Ausschnitt 2: Koordinaten 2594414 / 1234617 (Fläche 2 in Übersichtskarte)





- Die Vitalitätskarten S2 und P erkennen etwa 50% der 2020 geschwächten Bäume (rote Polygone). Die Intensität und die Anzahl Flächen mit Vitalitätsreduktion sind für P höher als für S2.
- Die Vitalitätsreduktion nimmt in Fläche und Intensität von 2018 zu 2020 zu.

Fazit

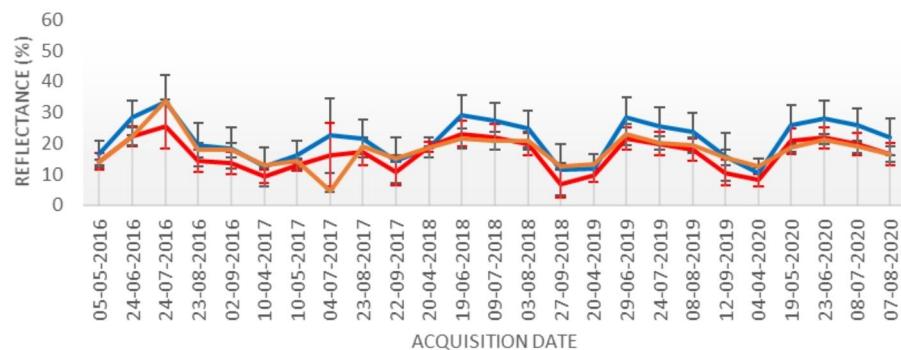
- ➔ Die Vitalitätskarten von P sind generell besser als S2, jedoch werden gut die Hälfte aller geschwächten Bäume gemäss visueller Beurteilung (rote Polygone) aufgezeigt.
- ➔ Ein Standort zeigt eine stärkere Vitalitätsreduktion 2019, der andere 2020. Woran das liegt, ist dem Projektteam nicht bekannt.

Datenanalyse und Evaluation Court

Methode	Zeitreihe:
	Kontrolle der Referenzdaten aus den Drohnenbildern anhand der spektralen Signatur über die Zeit in Satellitenbildern, Vergleich mit den Vitalitätskarten
	Evaluation des Modells (Genauigkeitsanalyse)

Vergleich Klassifizierung Drohne – Vitalitätskarte S2 Reflektanzwerte der Sentinel-2 Bilder

Sentinel-2 Band 8



Zeitreihe

- Ein geringer Unterschied ist in der spektralen Signatur der UAV-Klassen 'gesund' und 'ungesund' im Satellitenbild erkennbar, 'geschwächten' Vitalitätswerte liegen jedoch zwischen diesen beiden Klassen und sind somit nicht eindeutig von den Referenzdaten unterscheidbar.
- Saisonalität der Photosynthese ist nur leicht erkennbar, der Sommer 2017 zeigt kaum einen Unterschied zum Winter davor oder danach. Der Hitzesommer 2018 sowie Sommer 2019 zeigen einen erwarteten normalen Jahresverlauf.
- Keine längerfristigen Trends der spektralen Signatur innerhalb einer Klasse zwischen 2016 und 2020 erkennbar, weder in den Drohnen-Referenzwerten noch in der Vitalitätskarte
- ➔ Die Drohnenreferenzdaten bilden eine akzeptable Basis für die Modellierung, jedoch schafft es das Modell nicht die Bäume eindeutig zu der 'ungesunden' Klasse zuzuordnen

Evaluation Genauigkeits- analyse		Berechnung von Trefferquote (precision) und Genauigkeit (recall) der im Modell berechneten Werte							
Forstregionen	Standort	Sentinel-2 (S2)			Planetscope (P)			(P-S2)	
		precision	recall	Visual	precision	recall	Visual	precision	recall
Mittelland / nördliche Alpen	Raebmatt (T)	37	19	19	47	65	65	5.0	45.8
	Werthenstein (V)	69	58	58	81	75	75	12.1	17.1
	Genf (T)	11	19	19	14	25	25	2.7	6.3
Mittelland urban	Luzern (T)								
	Meggen (V)								
	Walenstadt (T)	92	55	55	96	82	82	4.4	27.0
nördliche Alpen	Braunwald (T)	75	45	45	83	75	75	8.3	30.2
	St. Gingolph (V)	100	66	66	100	89	89	0.0	22.7
	Amsteg (V)	98	58	58	99	83	83	1.2	25.0
nördl. Alpen / nördl. Zwischenalpen ohne Buche	Klosters (T)	100	36	36	100	74	74	0.3	37.7
	Airolo (T)	91	49	49	94	74	74	2.7	24.7
	Giornico (T)	83	25	25	92	40	40	9.1	14.8
südl. Zwischenalpen	Gasbarogno (V)	12	55	55	12	77	77	0.0	21.7
	Ossingen (T)	65	69	69	78	86	86	13.6	17.2
	Marthalen (T)	22	35	35	35	65	65	13.6	30.6
Mittelland	Rapperswil (V)	56	6	6	74	11	11		
	Jura (T)	91	24	24					
	Chambréli (T)	65	45	45	75	73	73	9.8	27.8
Jura	Court (V)	55	35	35	72	68	68	17.0	33.8
					Durchschnitt	6.7	25.5		

Trefferquote (precision) = Wie viele als **geschwächt** erkannte Bäume sind tatsächlich **geschwächt**?

→ 55% (72% bei S2+P)

Genauigkeit (recall) = Wie viele der tatsächlich **geschwächten** Bäume wurden erkannt?

→ 35% (68% bei S2+P)

Akzeptable Werte, vor allem bei der Vitalitätskarte basierend auf S2+P.

Die Vitalitätskarte nur mit S2 hat eine sehr geringe Genauigkeit

Visuelle Beurteilung zwischen NDVI, Vitalitätskarten und Referenzdaten zeigt ähnliche Ergebnisse

Sehr heterogener Wald in Court, das Modell hat Mühe aufgrund der Drohnen-Referenzdaten klare Klassen zu identifizieren

Fazit

- Für einen Validations-Standort akzeptable Werte für Trefferquote und Genauigkeit in der S2+P Vitalitätskarte. Nur basierend auf S2 liefert das Modell keine guten Genauigkeitswerte
- Diskrepanz zwischen Drohnen-Referenzdaten, die relativ gut zwei Klassen unterscheiden und dem Modell
- Außerdem: die Drohnen-Referenzdaten zeigen den Zustand zum Zeitpunkt der Aufnahme, die Vitalitätskarten stellen die Veränderung über einen Zeitabschnitt dar, es ist möglich, dass der Wald schon seit 2016 konstant im selben '**geschwächten**' Zustand ist
- Integration von Baumartenerkennung und Überarbeiten der Referenzdaten hat Potenzial die Genauigkeit der Vitalitätskarte zu verbessern

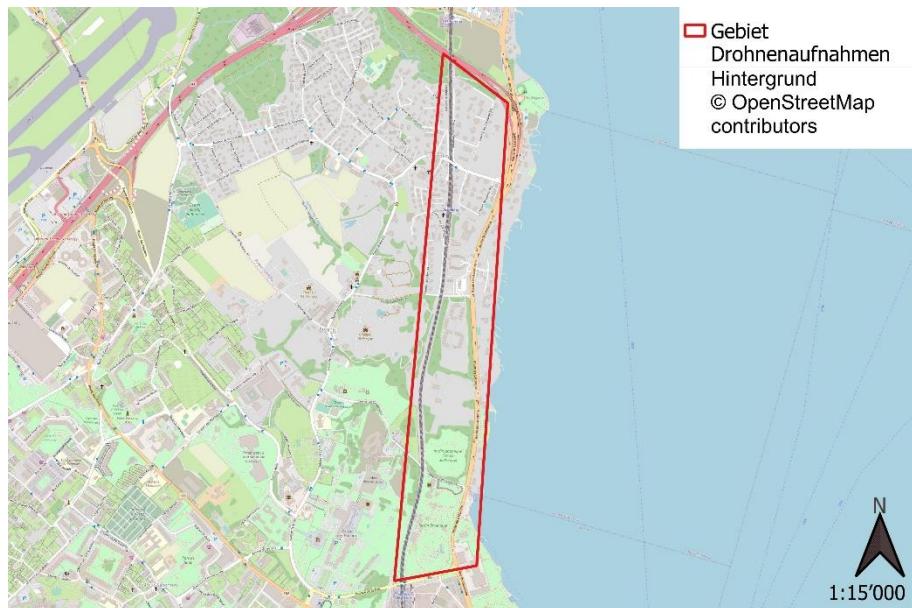
4.3 Kanton Genf – Standort Stadt Genf

Feldaufnahmen Genf

Standort

Genf (Training)

410 m ü.M.
Exposition: keine



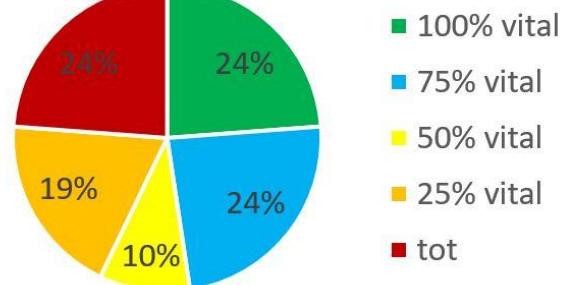
Drohnenflüge

- Geflogene Fläche: 100 ha
- Flugdatum: 21. Sept. 2020
- 10 cm räumliche Auflösung
- 5 Kanäle: R-G-B-Red Edge-NIR

Feldaufnahmen

- Urbaner Standort, gesamtes Drohnenfluggebiet wurde nach Einzelbäumen und Waldbäumen abgesucht und beurteilt
- Aufnahmedatum: 02. Okt. 2020

Kronenmortalität Genf



Kommentare

- Urbane Fläche, keine Kontrollflächen, nur Auswahl an in der Vitalität beeinträchtigten Einzelbäumen aufgenommen
- Kultivare und Exoten wie Zeder oder Blautanne schwierig zu beurteilen
- Einzelne Bäume vermutlich im Trockenstress, einige Ulmen von Ulmenwelke, sowie Eschen von Eschenwelke betroffen
 - ➔ Nicht einheimische Baumarten schwierig zu beurteilen, da deren spektrale Signatur anders als bei einheimischen Baumarten ist.
 - ➔ vereinzelt sind Trockenheit und Krankheiten ein Problem

Ergebnisse Modellierung Genf

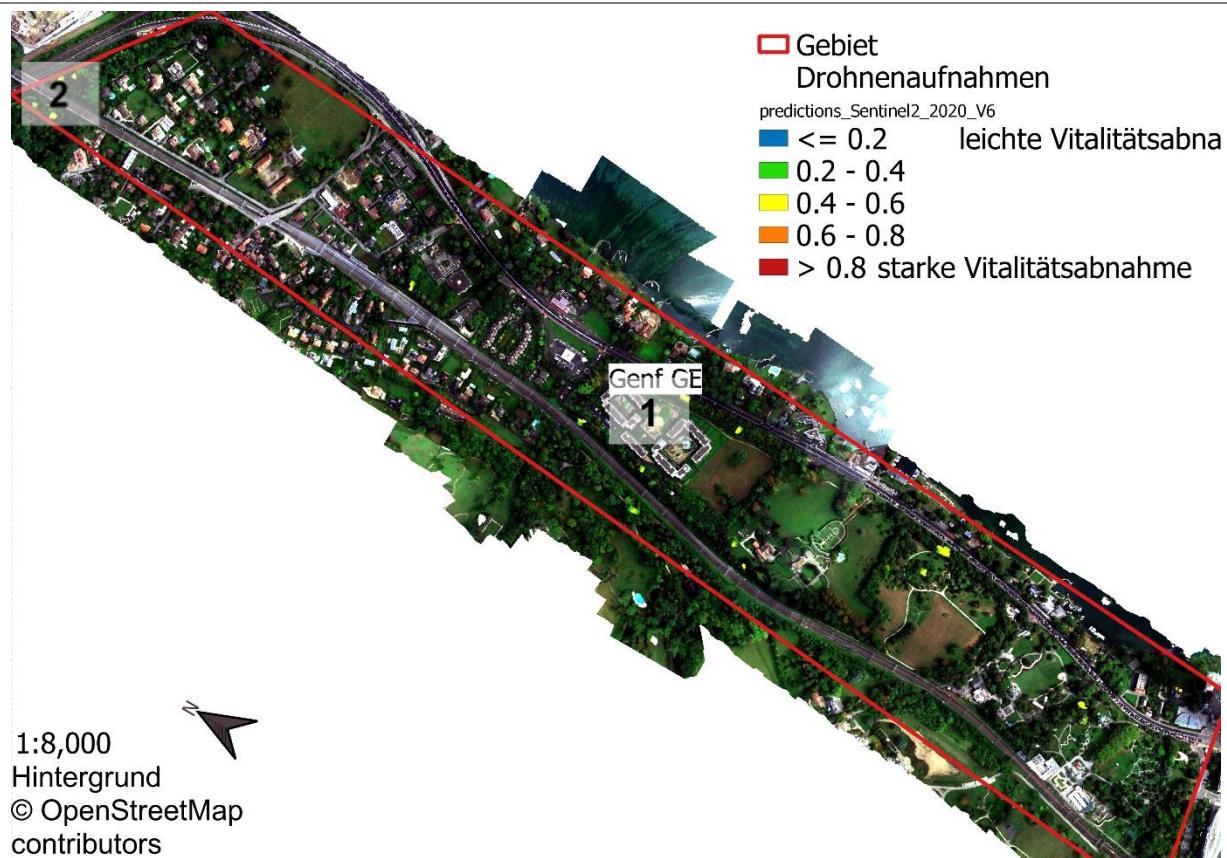
Vorhandene Karten

Zwei Vitalitätskarten für 2020; einmal basierend auf S2 und einmal auf S2+P

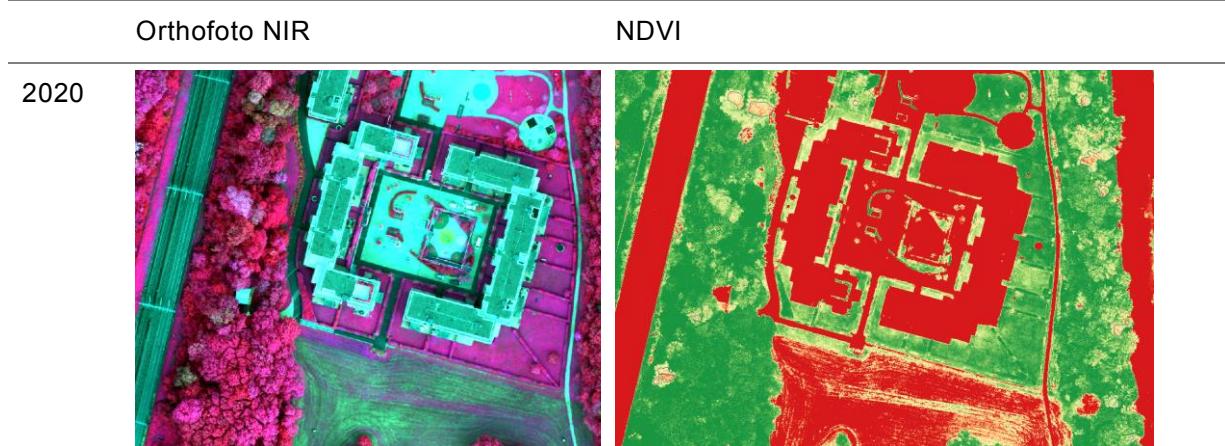
Räumliche Auflösung 20 m x 20 m und 3 m x 3 m

Bestehendes Modell trainiert mit Schweizer Drohnen-Referenzdaten, angewendet auf S2 und P Satellitendaten

Übersicht Vitalitätskarte 2020 S2



Ausschnitt 1: Koordinaten 2500480 / 1121175 (Fläche 1 in Übersichtskarte)



Orthofoto 2020 RGB



Eindruck Feldaufnahmen

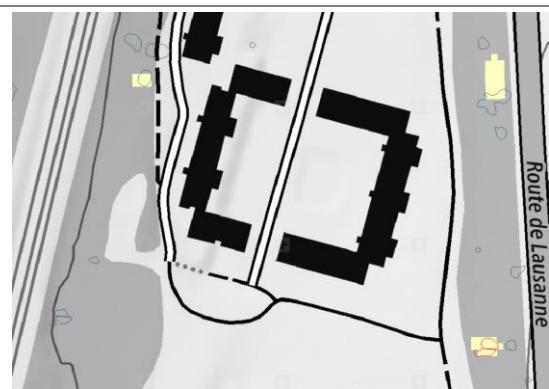


Vitalitätskarte S2

2020



Vitalitätskarte S2+P



- In der S2+P Vitalitätskarte wird der geschwächte Baum unten rechts erkannt, in der Vitalitätskarte basierend nur auf S2 nicht

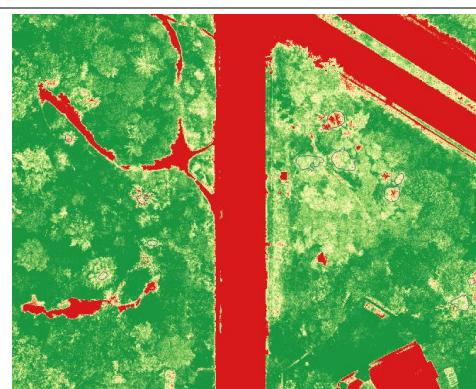
Ausschnitt 2: Koordinaten 2500434 / 1122616 (Fläche 2 in Übersichtskarte)

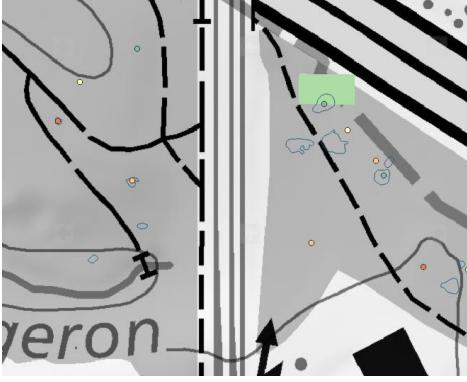
Orthofoto NIR

2020



NDVI



	Orthofoto RGB	Eindruck Feldaufnahmen
2020		
		

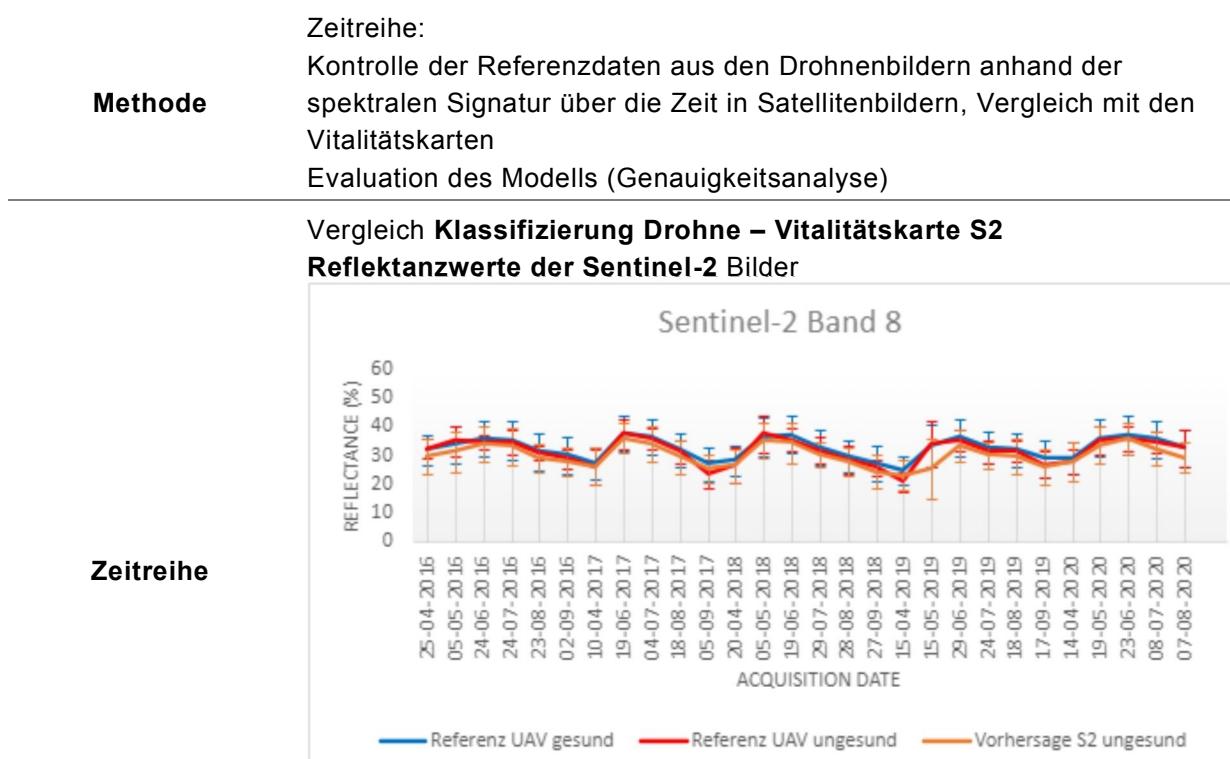
- P 2020 erkennt mehr der geschwächten Bäume (orange, rote Punkte) als S2 2020. Es werden jedoch nicht alle geschwächten Bäume erkannt.

Ausschnitt 3: Exoten

		
RGB		

NIR		
NDVI		
Fazit	<ul style="list-style-type: none"> → P 2020 zeigt besser die geschwächten Bäume an als S2 2020. P 2020 zeigt jedoch nicht alle geschwächten Bäume an. → Die geschwächten identifizierten Bäume befinden sich in kleinen Wäldern. Es wurden keine geschwächte Einzelbäume identifiziert. Vorsicht ist bei exotischen Bäumen, da deren spektrale Signatur im gesunden Zustand einem geschwächten Baum ähneln können 	

Datenanalyse und Evaluation Genf



- Kein Unterschied in der spektralen Signatur der UAV-Klassen 'gesund' und 'ungesund' im Satellitenbild, sowie den 'geschwächten' Vitalitätswerten
- Saisonalität der Photosynthese gut erkennbar

- Keine längerfristigen Trends der spektralen Signatur innerhalb einer Klasse zwischen 2016 und 2020 erkennbar, weder in der Drohnen-Klassifizierung noch in der Vitalitätskarte
- ➔ Das Modell kann aus den Drohnen-Referenzdaten nicht unterschieden was 'gesund' und 'ungesund' ist, es gibt zu wenig, zu ungenaue Trainingsdaten

Evaluation Genauigkeits- analyse	Berechnung von Trefferquote (precision) und Genauigkeit (recall) der im Modell berechneten Werte									
	Forstregionen	Standort	Sentinel-2 (S2)			Planetscope (P)		(P-S2)		
			precision	recall	Visual	precision	recall	precision	recall	
Mittelland / nördliche Alpen	Raebmatt (T)	37	19			47	65		5.0	45.8
	Werenstein (V)	69	58			81	75		12.1	17.1
	Genf (T)	11	19			14	25		2.7	6.3
Mittelland urban	Luzern (T)									
	Meggen (V)									
nördliche Alpen	Walenstadt (T)	92	55			96	82		4.4	27.0
	Braunwald (T)	75	45			83	75		8.3	30.2
	St. Gingolph (V)	100	66			100	89		0.0	22.7
nördl. Alpen / nördl. Zwischenalpen ohne Buche	Amsteg (V)	98	58			99	83		1.2	25.0
	Klosters (T)	100	36			100	74		0.3	37.7
	Airolo (T)	91	49			94	74		2.7	24.7
südl. Zwischenalpen	Giornico (T)	83	25			92	40		9.1	14.8
	Gambarogno (V)	12	55			12	77		0.0	21.7
	Ossingen (T)	65	69			78	86		13.6	17.2
Mittelland	Marthalen (T)	22	35			35	65		13.6	30.6
	Rapperswil (V)	56	6			74	11			
	Jura (T)	91	24							
Jura	Chambrelens (T)	65	45			75	73		9.8	27.8
	Court (V)	55	35			72	68		17.0	33.8
								Durchschnitt	6.7	25.5

Trefferquote (precision) = Wie viele als **geschwächt** erkannte Bäume sind tatsächlich **geschwächt**?

➔ 11% (14% bei S2+P)

Genauigkeit (recall) = Wie viele der tatsächlich **geschwächten** Bäume wurden erkannt?

➔ 19% (25% bei S2+P)

Die Werte der Genauigkeitsanalyse sind unbrauchbar

Visuelle Beurteilung zwischen NDVI, Vitalitätskarten und Referenzdaten ergibt keine Übereinstimmungen

➔ Genauigkeitsanalyse ist ein Vergleich zwischen UAV-Referenz und Vitalitätskarte, allerdings sind die Referenzdaten im urbanen Gebiet sehr schwierig zu finden und von schlechter Qualität

Im urbanen Gebiet in Genf gibt es nur sehr wenige schwächte Bäume, und sehr viele Exoten mit spektralen Signaturen, die weder Drohne noch Modell zuordnen können

➔ Statistische Genauigkeit ist für urbane Standorte nicht brauchbar, da die wenigen Referenzdaten keinen guten Vergleich bieten

➔ Einzelbäume werden zwar erkannt aber nicht zuverlässig

➔ Exoten und der heterogene Hintergrund stören das Modell

➔ In urbanen Gebieten gibt es zudem oft nicht sehr viele **geschwächte** Bäume, da diese aus Sicherheitsgründen schnell entfernt werden.

➔ Das Modell ist so noch nicht in urbanen Gebieten einsetzbar

Fazit



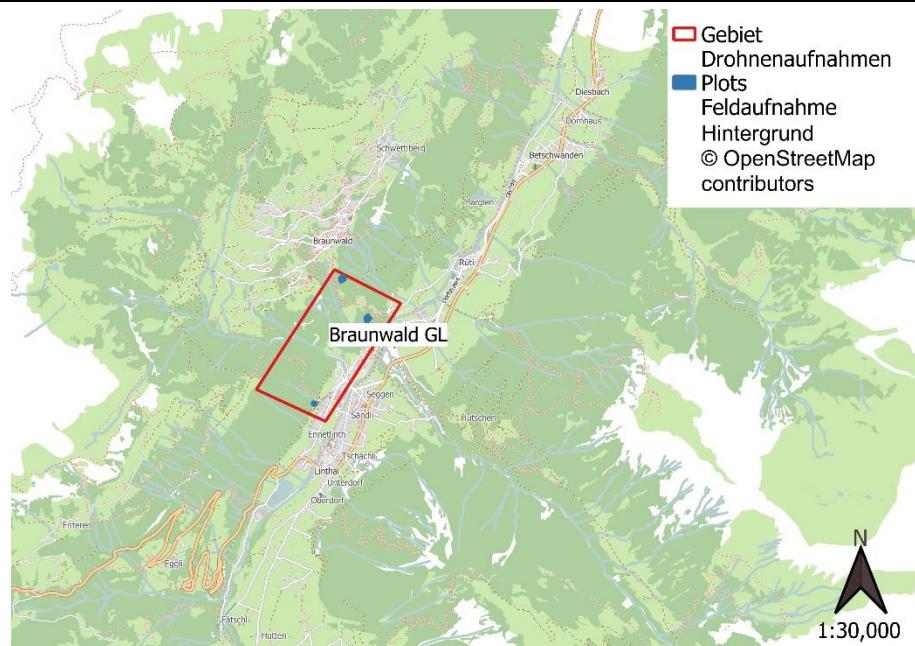
4.4 Kanton Glarus – Standort Braunwald

Feldaufnahmen Braunwald

Standort

Braunwald
(Training)

430 m bis 900 m
Ü.M.
Exposition: O



Drohnenflüge

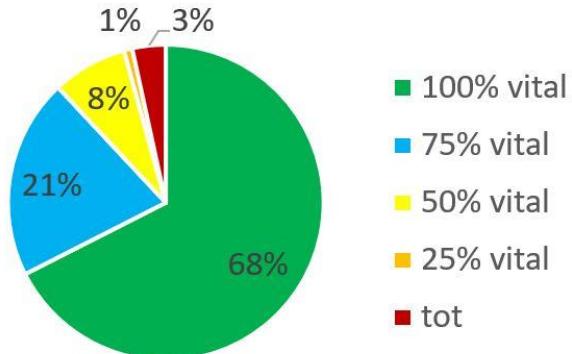
- Geflogene Fläche: 101 ha
- Flugdatum: 05.Sept. 2020
- 10 cm räumliche Auflösung
- 5 Kanäle: R-G-B-Red Edge-NIR

- 24 a 'gesund',
39 a 'ungesund'
- Aufnahmedatum:
04., 16 &
29. Sept. 2020

Kronenmortalität Braunwald

35% 65%

■ nicht beurteilbar ■ beurteilt



Feldaufnahmen

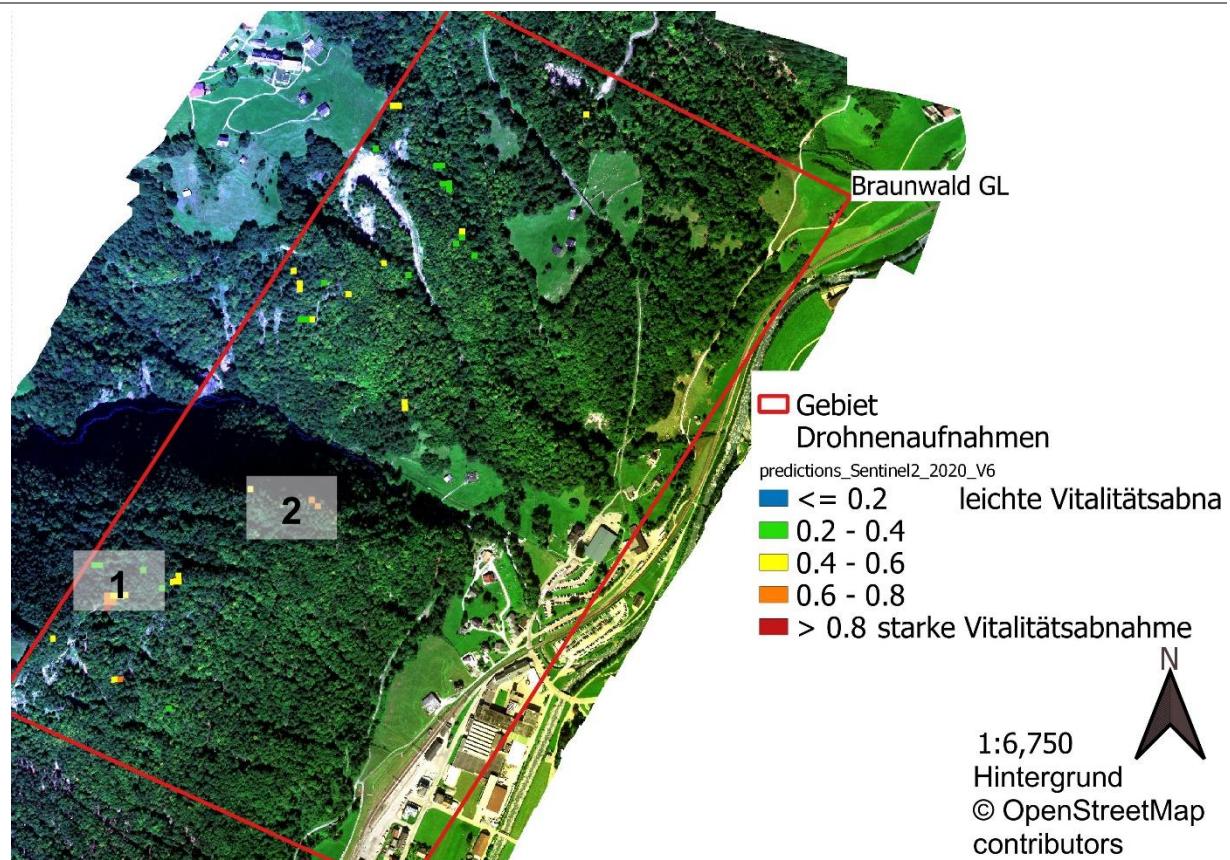
- Nicht beurteilbar = Stöcke oder gebrochener Stamm
- Nur drei Flächen aufgenommen, da wenig geschwächte Bäume
- Viele gefällte Eschen und Fichten, die wegen Borkenkäfer, Sturm oder Eschenwelke entnommen wurde
- Weiterhin Eschen von Eschenwelke beeinträchtigt
- Im restlichen Buchenwald wenig bis keine Schäden, Fichten mit teils abnehmender Vitalität
 - Eschenwelke in tieferen Lagen und Borkenkäfer in höheren Lagen problematisch, restlicher Wald vital

Kommentare

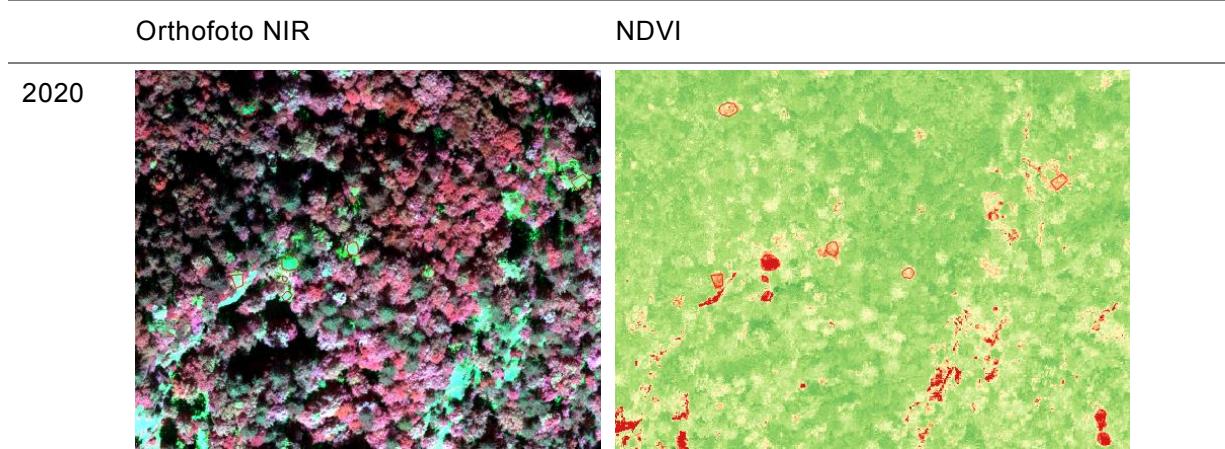
Ergebnisse Modellierung Braunwald

Vorhandene Karten Jährliche S2 Vitalitätsskarten 2018-2020, jährliche S2+P Karten 2019-2020
Räumliche Auflösung 20 m x 20 m und 3 m x 3 m
Bestehendes Modell trainiert mit Schweizer Drohnen-Referenzdaten, angewendet auf S2 und P Satellitendaten

Übersicht Vitalitätsskarte 2020 S2

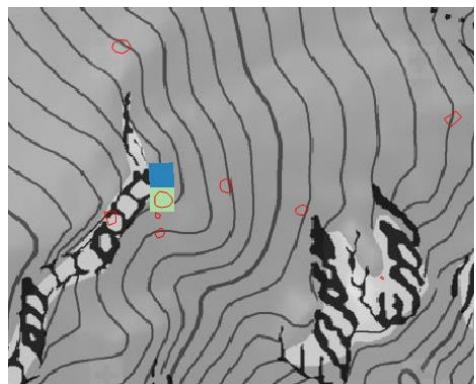


Ausschnitt 1: Koordinaten 2718200 / 1198582 (Fläche 1 in Übersichtskarte)



Vitalitätskarte S2

2018

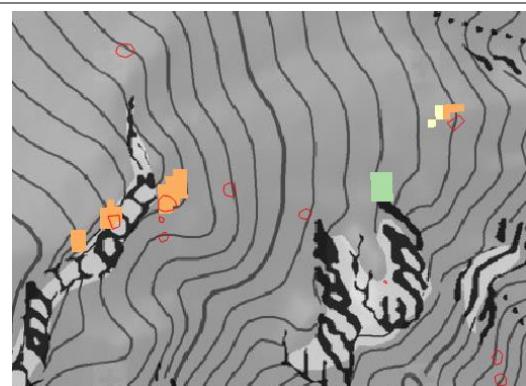
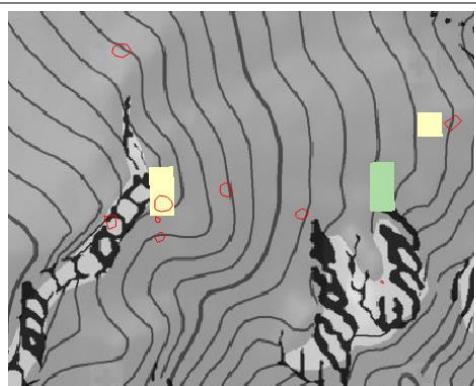


Vitalitätskarte S2+P

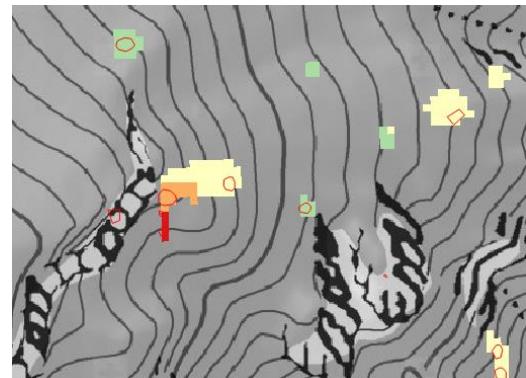
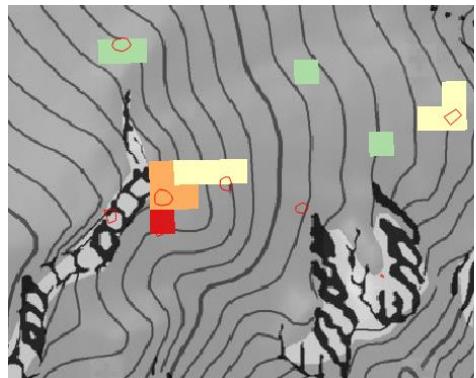
Orthofoto 2020 RGB



2019

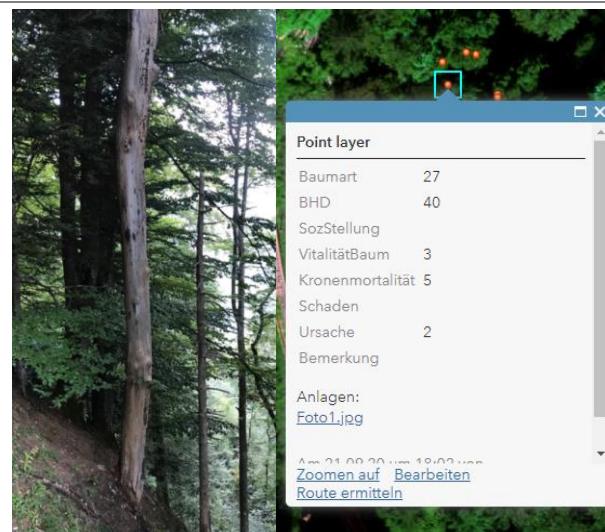
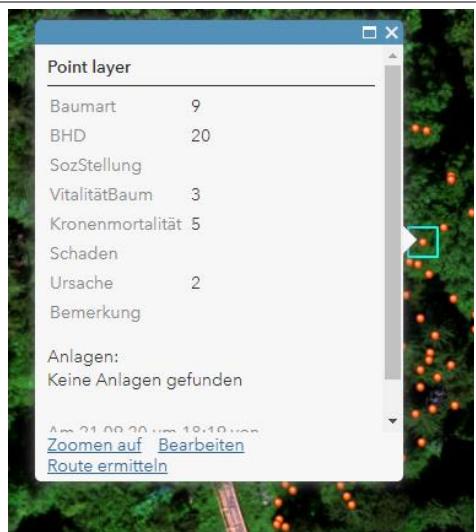


2020



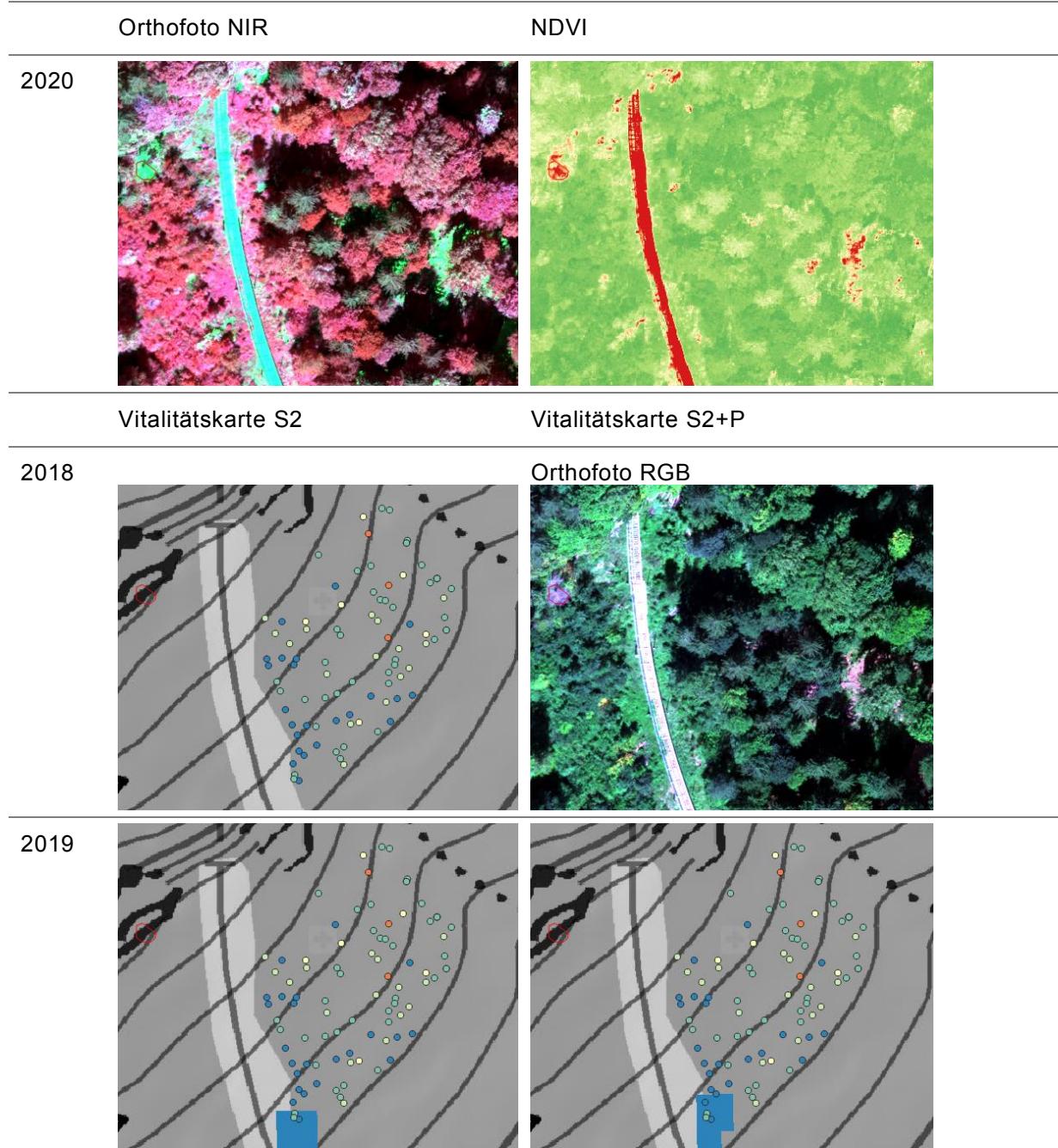
Eindruck Feldaufnahmen

2020

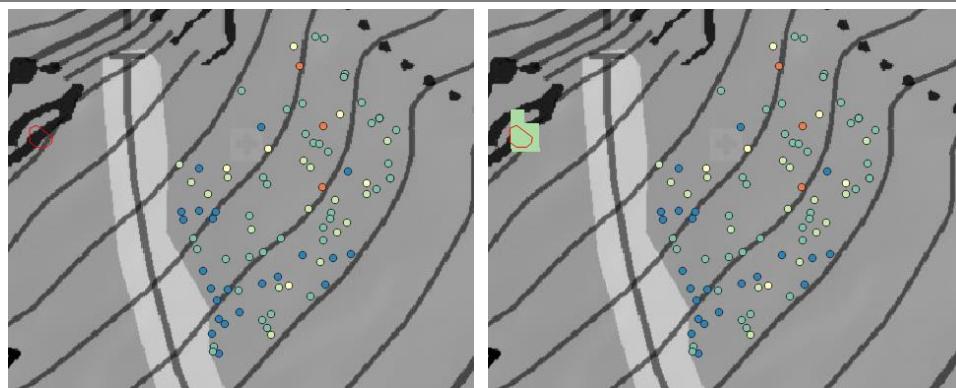


- Das Modell zeigt keine Werte auf Felsen an und erkennt somit den Unterschied Fels – geschwächte Bäume.
- S2 und P zeigen sehr ähnliche Resultate. P zeigt jedoch mehr Fläche mit Vitalitätsreduktion an.
- Die drei geschwächten Einzelbäume 2020 in der linken Bildhälfte werden bereits 2018 von S2 2018 sowie 2019 von S2 2019 und P 2019 erkannt. Es werden jedoch nicht alle geschwächten Bäume 2020 früher erkannt.

Ausschnitt 2: Koordinaten 2718865 / 1199481 (Fläche 2 in Übersichtskarte)



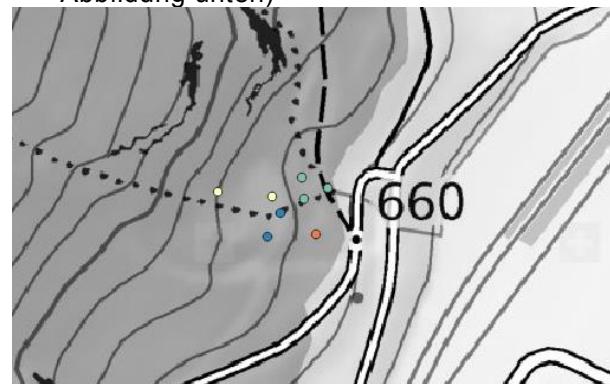
2020



- Die Vorherzeigekarten von S2 und P zeigen die vereinzelten abgestorbenen Bäume (orange Punkte) nicht an. Eventuell liegt es daran, dass sie bereits vor 2018 abgestorben sind und daher keine Änderung der Vitalität angeben, oder ihre Krone ist zu klein, dass sie durch das Modell nicht erkannt werden.
- P 2020 zeigt den geschwächten Baum in links oberem Bildausschnitt an. Der Baum wird nicht von S2 und nicht vor 2020 angezeigt.
- Aufgrund der Nähe zur Braunwaldbahn wurde mehrheitlich 2016 verschiedene Bäume gefällt (blaue Punkte). Die oberen zwei blauen Punkte entlang der Bahn wurden 2019 gefällt. Die Vitalitätskarten zeigen keinen Hinweis.
- 2019 zeigen die Vorsagekarten eine leichte Vitalitätsreduktion im unteren Bildbereich entlang der Bahn. Diese Bäume wurden 2016 entfernt.

- Felsflächen werden vom Modell korrekterweise nicht angezeigt.
- Die Ergebnisse sind pro Standort unterschiedlich. Für die wenig geschwächten Bäume 2020 zeigen P und S2 gute Ergebnisse, auch mit der Vitalitätskarte 2018 und 2019. Der Standort an der Braunwaldbahn zeigt jedoch auf, dass Veränderungen des Baumbestandes (Fällungen, geschwächte/abgestorbene Einzelbäume) nicht erkannt werden.
- Die erkrankten Eschen am Hangfuss, die 2019 und 2020 genutzt wurden, wurden in der Vitalitätskarten nicht angezeigt (vgl. Abbildung unten)

Fazit



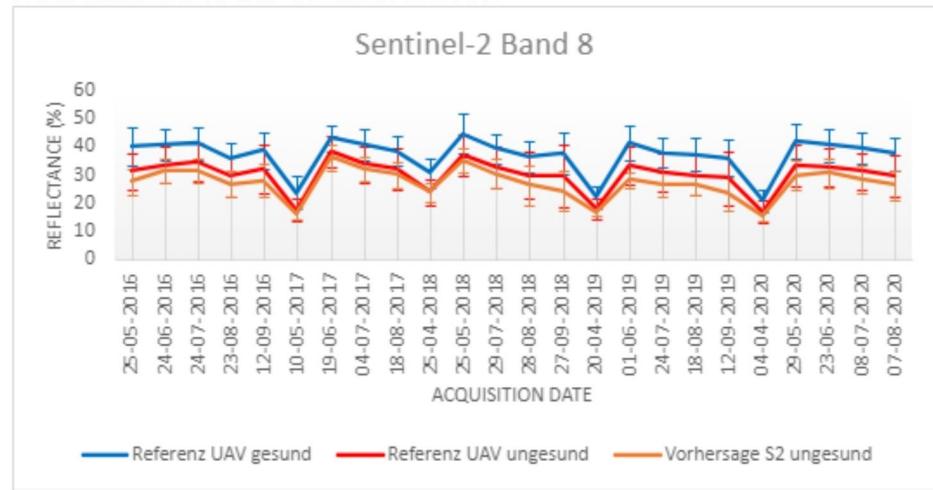
Datenanalyse und Evaluation Braunwald

Methode	Zeitreihe:
	Kontrolle der Referenzdaten aus den Drohnenbildern anhand der spektralen Signatur über die Zeit in Satellitenbildern, Vergleich mit den Vitalitätskarten
	Evaluation des Modells (Genauigkeitsanalyse)

Vergleich Klassifizierung Drohne – Vitalitätskarte S2

Reflektanzwerte der Sentinel-2 Bilder

Zeitreihe



- Die spektrale Signatur der Drohnen-Klassen ‘gesund’ und ‘ungesund’ im Satellitenbild sind deutlich unterscheidbar, die ‘geschwächten’ Vitalitätswerte entsprechen relativ genau den ungesunden Bäumen der Drohnen-Referenz.
- Saisonalität der Photosynthese gut erkennbar, Winter 2018 nur wenig verringerte Photosynthese, Keine Anzeichen von Hitzesommer 2018 und deren Auswirkungen im 2019.
- Keine längerfristigen Trends der spektralen Signatur innerhalb einer Klasse zwischen 2016 und 2020 erkennbar, weder in der Drohnen-Klassifizierung noch in der Vitalitätskarte
- ➔ Die Drohnen-Referenzdaten zeigen eine gute Unterscheidung zwischen ‘gesund’ und ‘ungesund’. Die Vitalitätskarte kann diesen Unterschied gut aufnehmen.

Evaluation Genauigkeits- analyse		Berechnung von Trefferquote (precision) und Genauigkeit (recall) der im Modell berechneten Werte							
Forstregionen	Standort	Sentinel-2 (S2)			Planetscope (P)			(P-S2)	
		precision	recall	Visual	precision	recall	Visual	precision	recall
Mittelland / nördliche Alpen	Raebmatt (T)	37	19		47	65		5.0	45.8
	Werthenstein (V)	69	58		81	75		12.1	17.1
	Genf (T)	11	19		14	25		2.7	6.3
Mittelland urban	Luzern (T)								
	Meggen (V)								
	Walenstadt (T)	92	55		96	82		4.4	27.0
nördliche Alpen	Braunwald (T)	75	45		83	75		8.3	30.2
	St. Gingolph (V)	100	66		100	89		0.0	22.7
	Amsteg (V)	98	58		99	83		1.2	25.0
nördl. Alpen / nördl. Zwischenalpen ohne Buche	Klosters (T)	100	36		100	74		0.3	37.7
	Airolo (T)	91	49		94	74		2.7	24.7
	Giornico (T)	83	25		92	40		9.1	14.8
südl. Zwischenalpen	Gasbarogno (V)	12	55		12	77		0.0	21.7
	Ossingen (T)	65	69		78	86		13.6	17.2
	Marthalen (T)	22	35		35	65		13.6	30.6
Mittelland	Rapperswil (V)	56	6		74	11			
	Jura (T)	91	24						
	Chambrilien (T)	65	45		75	73		9.8	27.8
Jura	Court (V)	55	35		72	68		17.0	33.8
							Durchschnitt	6.7	25.5

Trefferquote (precision) = Wie viele als **geschwächt** erkannte Bäume sind tatsächlich **geschwächte**?

→ 70% (83% bei S2+P)

Genauigkeit (recall) = Wie viele der tatsächlich **geschwächten** Bäume wurden erkannt?

→ 45% (75% bei S2+P)

Relativ gute Genauigkeitswerte, auch im Vergleich mit den anderen Standorten.

Visuelle Beurteilung zwischen NDVI, Vitalitätskarten und Referenzdaten ist einigermassen gut für die Vitalitätskarte basierend auf S2+P, die Vitalitätskarte basierend nur auf S2 passt visuell jedoch trotz relativ hoher Trefferquote nicht zu den Referenzdaten

→ Genauigkeitsanalyse ist ein Vergleich zwischen UAV-Referenz und Vitalitätskarte, visuell sind genauere Unterschiede in den Drohnenbildern erkennbar, die in der Referenz nicht aufgenommen sind

Relativ niedrige Genauigkeit nur bei S2 und relativ hohe Genauigkeit der Kombination, d.h. die Vitalitätskarte in Kombination S2+P liefert zuverlässigere Resultate.

- Gute Trefferquote aber nicht besonders hohe Genauigkeit bei S2, nicht alle geschwächten Bäume werden gefunden
- Die Drohnen-Referenzdaten sind jedoch eine gute Grundlage, um das Modell auf diesen Standort zu trainieren
- Die Drohnen-Referenzdaten zeigen den Zustand zum Zeitpunkt der Aufnahme, die Vitalitätskarten stellen die Veränderung über einen Zeitabschnitt dar, es ist möglich, dass der Wald schon seit 2016 konstant im selben **'geschwächten'** Zustand ist
- Integration von Baumartenerkennung und überarbeiten der Referenzdaten hat Potenzial die Genauigkeit der Vitalitätskarte zu verbessern

Fazit

4.5 Kanton Graubünden – Standort Klosters

Feldaufnahmen Klosters

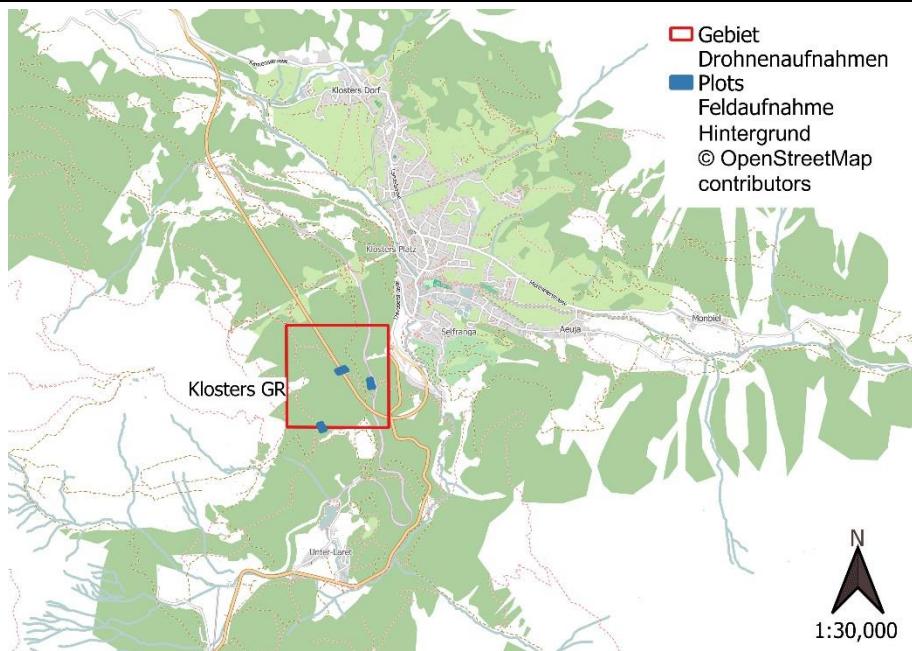
Standort

Klosters (Training)

1400 m bis

1900 m ü.M.

Exposition: O

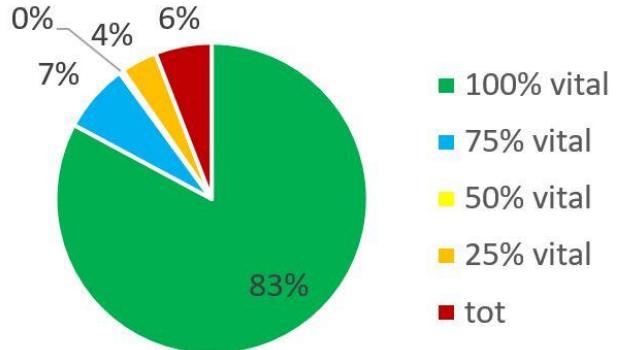


Drohnenflüge

- Geflogene Fläche: 100 ha
- Flugdatum: 01.Sept. 2020
- 10 cm räumliche Auflösung
- 5 Kanäle: R-G-B-Red Edge-NIR



Feldaufnahmen



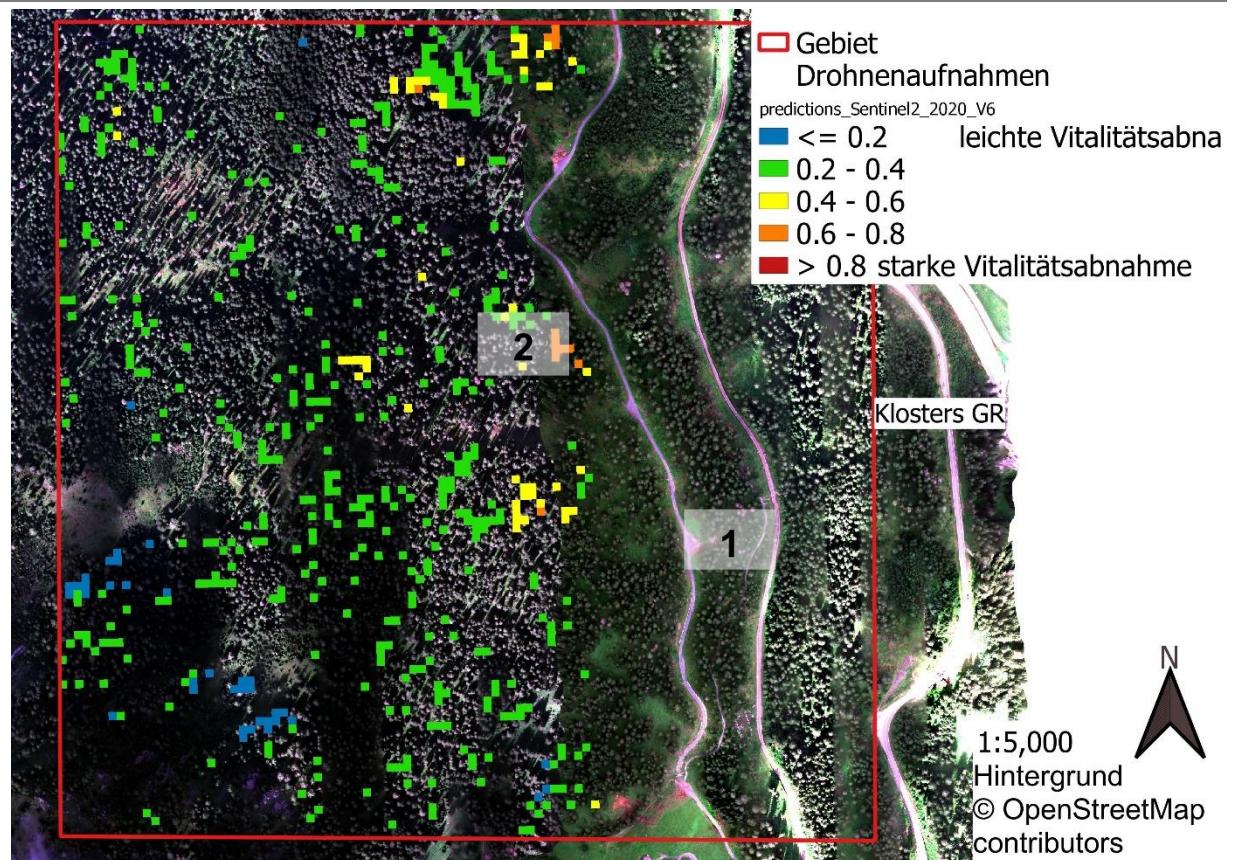
Kommentare

- Fichtenwald mehrheitlich Baumholz 3, einstufig, teils Rottenansatz
- Einige Käfernester
- Einige Fichten mit Anzeichen von Trockenstress
→ Überalterung des Bestandes, einige Käfernester

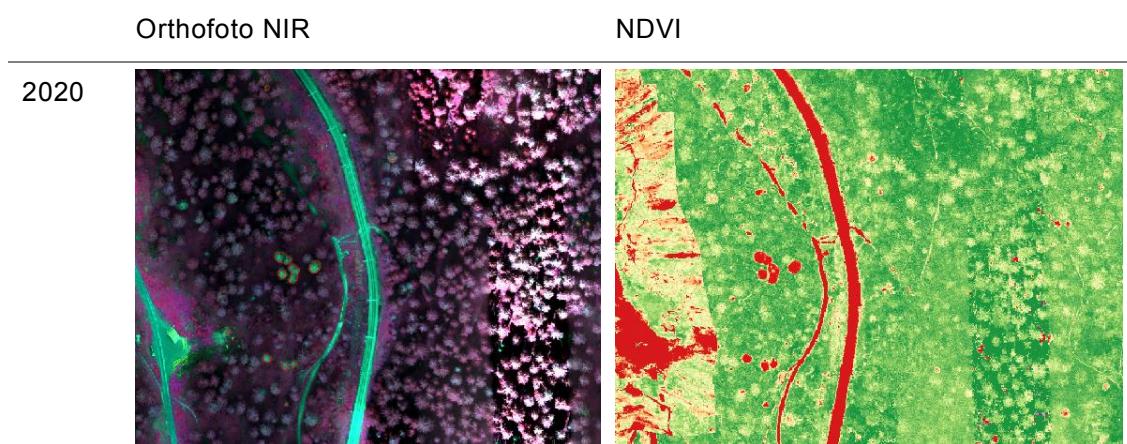
Ergebnisse Modellierung Klosters

Vorhandene Karten	Jährliche S2 Vitalitätskarten 2018-2020, jährliche S2+P Karten 2019-2020 Räumliche Auflösung 20 m x 20 m und 3 m x 3 m Bestehendes Modell trainiert mit Schweizer Drohnen-Referenzdaten, angewendet auf S2 und P Satellitendaten
-------------------	--

Übersicht S2 Vitalitätskarte 2020

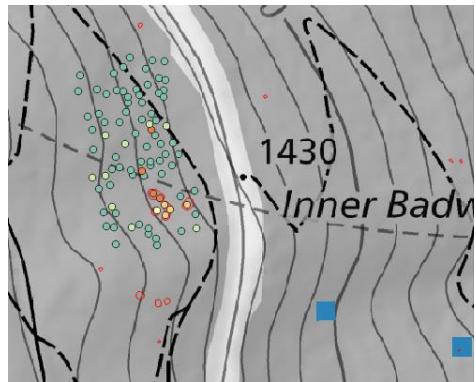


Ausschnitt 1: Koordinaten 2785846 / 1192437 (Fläche 1 in Übersichtskarte)



Vitalitätskarte S2

2018

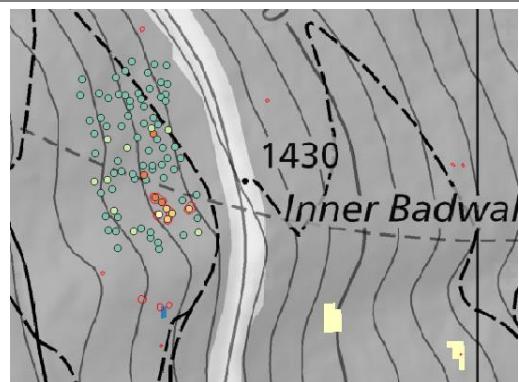
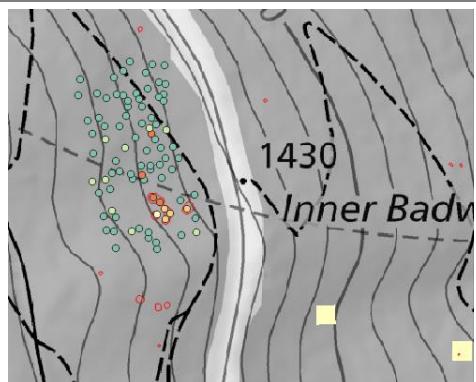


Vitalitätskarte S2+P

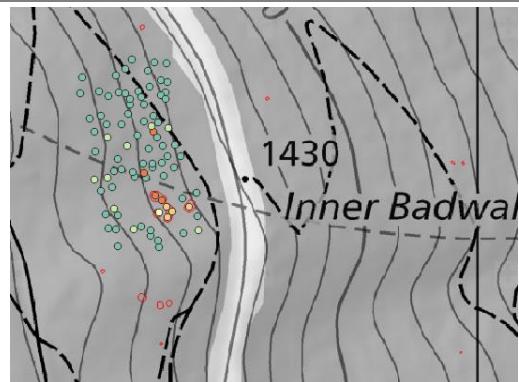
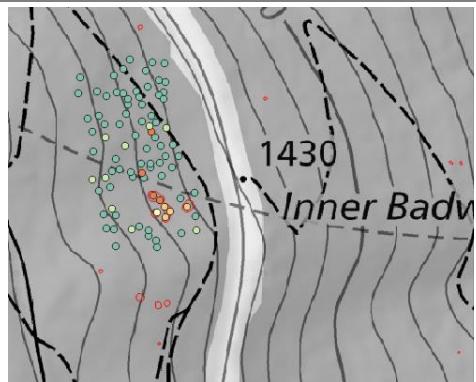
Orthofoto 2020 RGB



2019

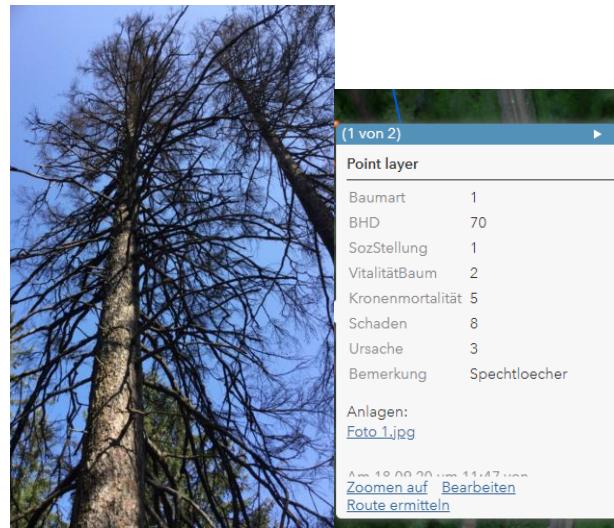


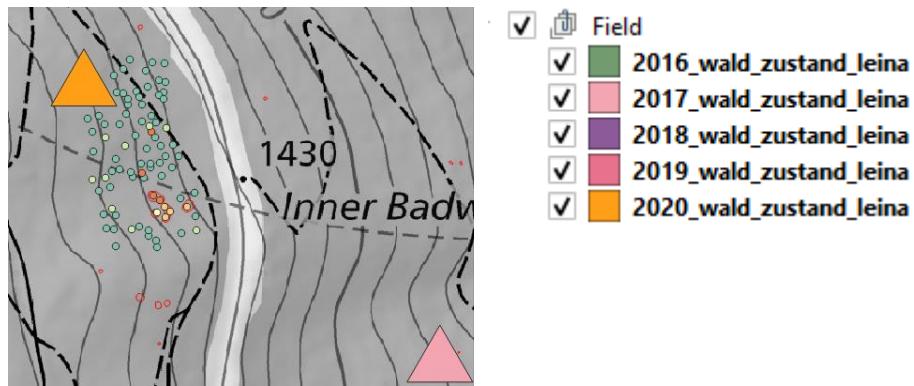
2020



Eindruck Feldaufnahmen und Angaben Amt für Wald und Naturgefahren

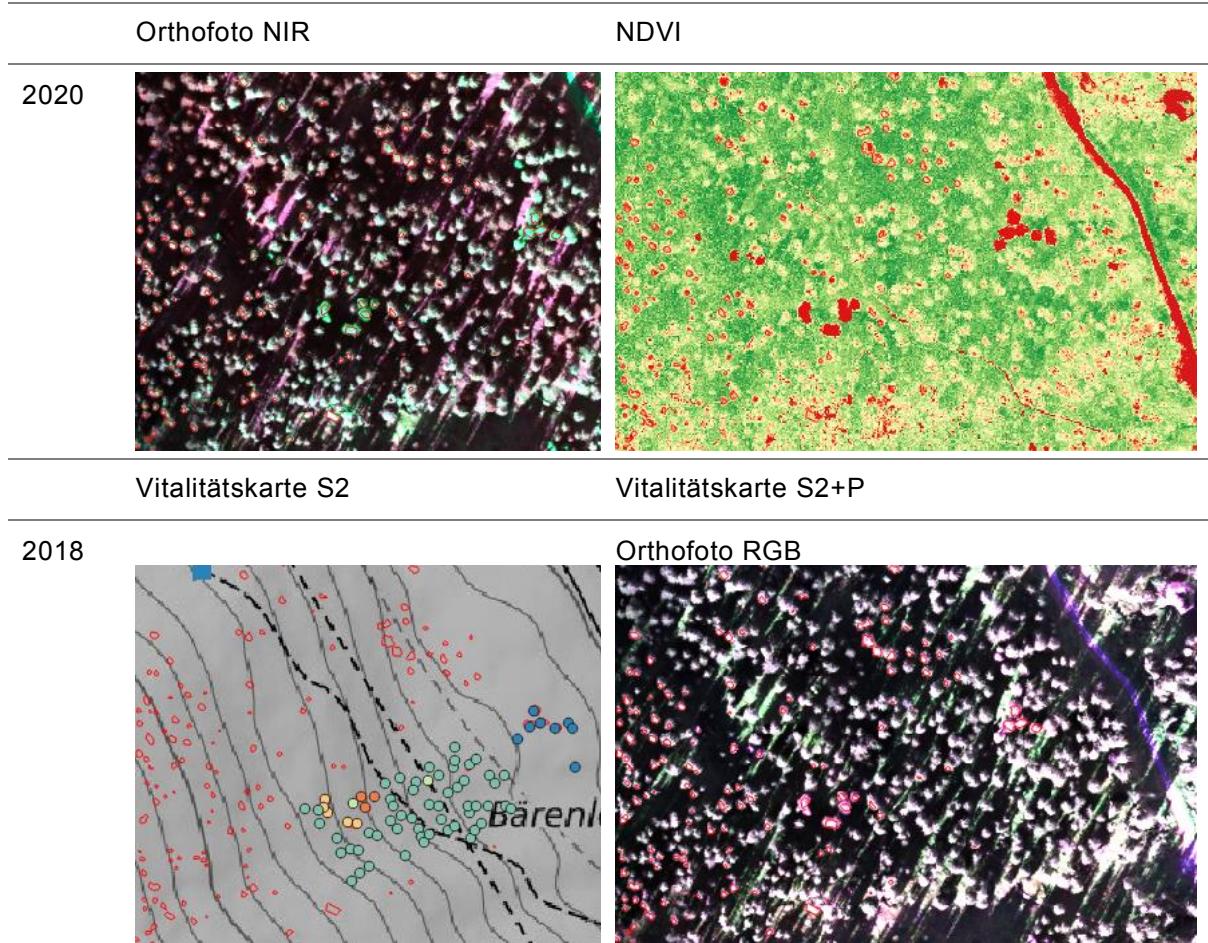
2020

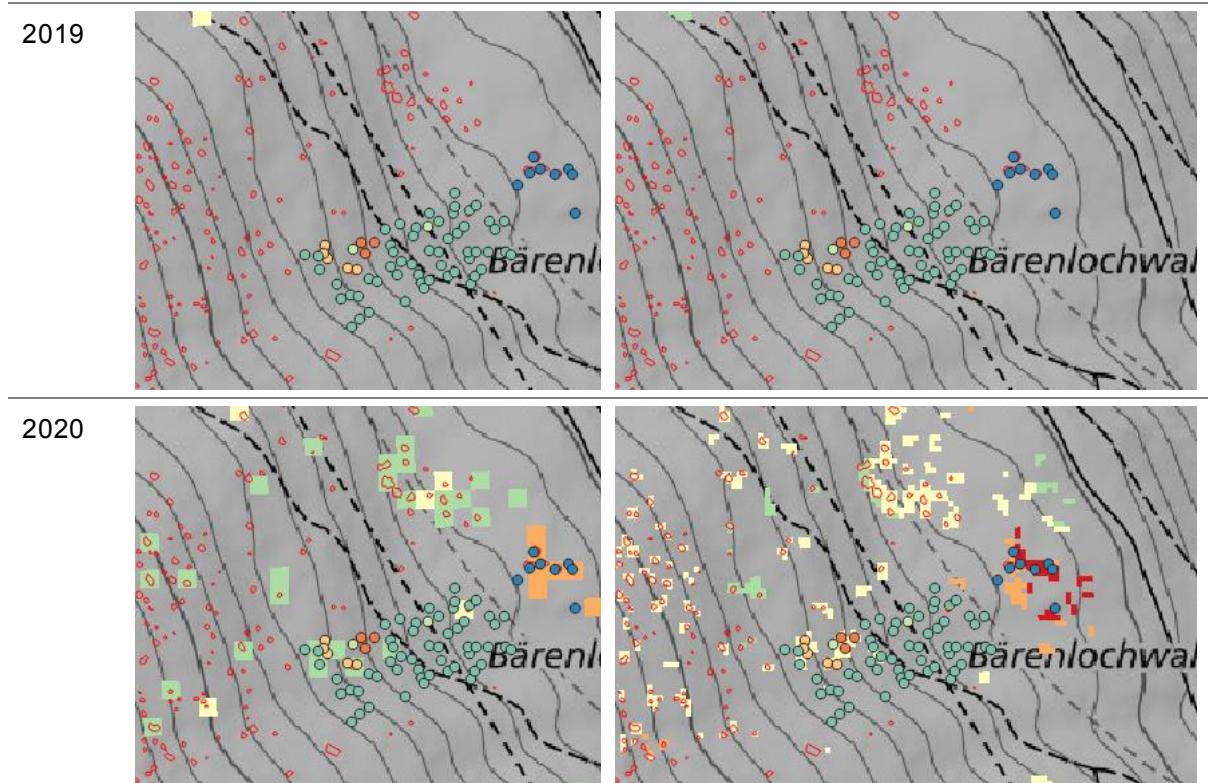




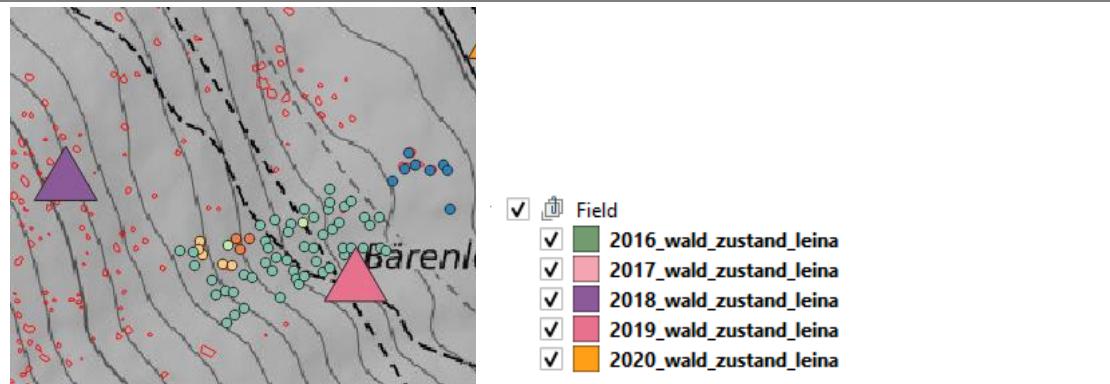
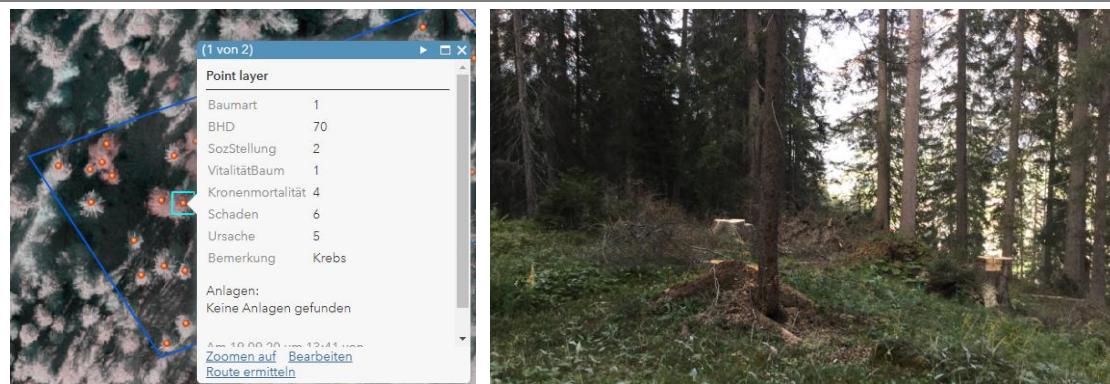
- S2 2018 und 2019 zeigen 2 kleine Flächen mit einer Vitalitätsreduktion, jedoch nicht in der Fläche der Felderhebung mit einigen dürren Fichten. S2 2020 zeigt keine Vitalitätsänderung.
- P 2019 und 2020 zeigen die gleichen Ergebnisse wie S2. D.h. keine Vitalitätskarte für die betreffende Feldaufnahmefläche.
- Gemäss Forst GR gab es Zwangsnutzungen im 2020 bei der Feldaufnahmefläche.

Ausschnitt 2: Koordinaten 2785540 / 1192567 (Fläche 2 in Übersichtskarte)





Eindruck Feldaufnahmen und Angaben Amt für Wald und Naturgefahren



- S2 2018 und 2019 sowie P 2019 kaum eine Vitalitätsänderung.
- S2 2020 und P 2020 zeigen eine deutliche Vitalitätsänderung in Intensität und Fläche. Diedürren gefällten Fichten wurden erkannt. Diedürren Fichten in den Kontrollflächen hingegen nicht.

- Die Daten von Forst GR zeigen Zwangsnutzungen in 2018-2020. Die Standorte der Nutzungen wurden von den Vitalitätskarten von S2 und P jeweils im betreffenden Jahr nicht erkannt.

Fazit

- S2 und P mögen vereinzelt die ungesunden Bäume für 2020 anzeigen. Jedoch gibt es keine Vitalitätskarte für 2018 und 2019.
- Die NDVI Daten zeigen eine realistischere Einschätzung der Situation.

Datenanalyse und Evaluation Klosters

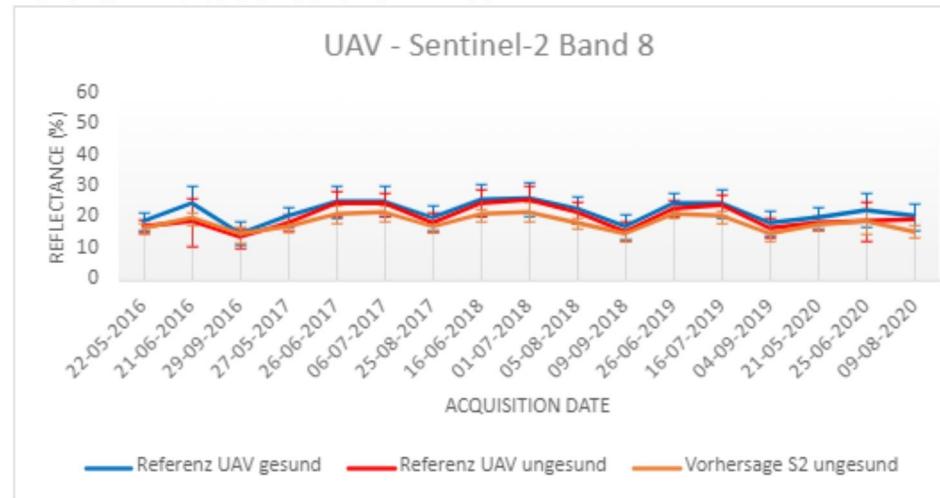
Methode

Zeitreihe:
 Kontrolle der Referenzdaten aus den Drohnenbildern anhand der spektralen Signatur über die Zeit in Satellitenbildern, Vergleich mit den Vitalitätskarten
 Evaluation des Modells (Genauigkeitsanalyse)

Zeitreihe

Vergleich Klassifizierung Drohne – Vitalitätskarte S2

Reflektanzwerte der Sentinel-2 Bilder



- Praktisch kein Unterschied in der spektralen Signatur der UAV-Klassen 'gesund' und 'ungesund' im Satellitenbild erkennbar, die 'geschwächten' Vitalitätswerte sind ebenfalls nicht von den anderen Klassen unterscheidbar.
- Saisonalität der Photosynthese ist relativ schwach
- Keine längerfristigen Trends der spektralen Signatur innerhalb einer Klasse zwischen 2016 und 2020 erkennbar, weder in der Drohnen-Klassifizierung noch in der Vitalitätskarte
- Sehr schlechte Voraussetzung für die Modellierung, Drohnen-Referenzdaten zeigen kaum Unterschied zwischen Klassen

Evaluation Genauigkeits- analyse		Berechnung von Trefferquote (precision) und Genauigkeit (recall) der im Modell berechneten Werte							
Forstregionen	Standort	Sentinel-2 (S2)			Planetscope (P)			(P-S2)	
		precision	recall	Visual	precision	recall	Visual	precision	recall
Mittelland / nördliche Alpen	Raebmatt (T)	37	19	47	65	47	5.0	45.8	
	Werthenstein (V)	69	58	81	75	81	12.1	17.1	
	Genf (T)	11	19	14	25	14	2.7	6.3	
Mittelland urban	Luzern (T)								
	Meggen (V)								
	Walenstadt (T)	92	55	96	82	96	4.4	27.0	
nördliche Alpen	Braunwald (T)	75	45	83	75	83	8.3	30.2	
	St. Gingolph (V)	100	66	100	89	100	0.0	22.7	
	Amsteg (V)	98	58	99	83	99	1.2	25.0	
nördl. Alpen / nördl. Zwischenalpen ohne Buche	Klosters (T)	100	36	100	74	100	0.3	37.7	
	Airolo (T)	91	49	94	74	94	2.7	24.7	
	Giornico (T)	83	25	92	40	92	9.1	14.8	
südl. Zwischenalpen	Gambarogno (V)	12	55	12	77	12	0.0	21.7	
	Ossingen (T)	65	69	78	86	78	13.6	17.2	
	Marthalen (T)	22	35	35	65	35	13.6	30.6	
Mittelland	Rapperswil (V)	56	6	74	11	74			
	Jura (T)	91	24	75	73	75	9.8	27.8	
	Chambrilien (T)	65	45	72	68	72	17.0	33.8	
Jura	Court (V)	55	35	72	68	72	Durchschnitt	6.7	25.5

Trefferquote (precision) = Wie viele als **geschwächt** erkannte Bäume sind tatsächlich **geschwächt**?

→ 100% (100% bei S2+P)

Genauigkeit (recall) = Wie viele der tatsächlich **geschwächten** Bäume wurden erkannt?

→ 36% (74% bei S2+P)

Extrem hohe Trefferquote, aber sehr tiefe Genauigkeit bei S2. Bei S2+P ist die Genauigkeit hoch

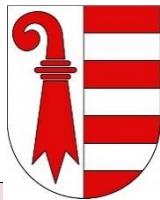
Visuelle Beurteilung zwischen NDVI, Vitalitätskarten und Referenzdaten relativ gut

→ Genauigkeitsanalyse ist ein Vergleich zwischen UAV-Referenz und Vitalitätskarte. Die tiefe Genauigkeit liegt unter anderem daran, dass die Drohnen-Referenzdaten sich über ein etwas grösseres Gebiet erstrecken wie die Vitalitätskarten

Grundsätzlich sehr hohe Trefferquote für die eher schlechte Qualität der Drohnen-Referenzdaten. Der untersuchte Standort in Klosters mit hohem Nadelholzanteil und einschichtigem Bestandesaufbau eignet sich sehr gut für die Modellierung.

- Sehr hohe Trefferquote, recht geringe Genauigkeit für S2, Bei S2+P hohe Genauigkeit
- Unstimmigkeiten mit den Drohnen-Referenzdaten
- Die Drohnen-Referenzdaten sind grundsätzlich keine gute Trainingsgrundlage für diesen Standort, das Modell erkennt jedoch trotzdem einige **geschwächte** Bäume
- Integration von Baumartenerkennung und überarbeiten der Referenzdaten hat Potenzial die Genauigkeit der Vitalitätskarte zu verbessern

Fazit



4.6 Kanton Jura – Standort Boncourt (Pilot 1, Anhang 7.1)

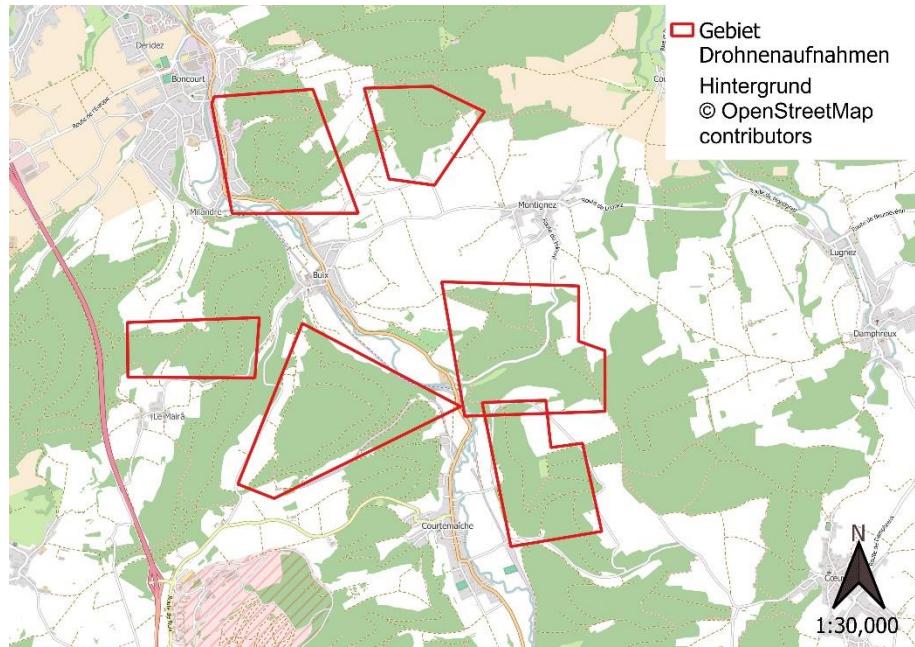
Feldaufnahmen Boncourt

Standorte

Räbmatt (Training)

Ca 500 m ü.M.

Exposition: alle



Drohnenflüge

- Geflogene Fläche: 100 ha
 - Flugdatum: 19. Mai 2020
 - 10 cm räumliche Auflösung
 - 5 Kanäle: R-G-B-Red Edge-NIR
-
- Im Pilot 1 wurden noch keine systematischen Feldaufnahmen durchgeführt. Begründung: Gezieltes Aufsuchen von Standorten gemäss den Ergebnissen der Vorhersagekarten, um die erhaltenen Resultate zu verstehen (z.B. Holzschläge, dürre Vegetation in der Unterschicht). Prüfen, ob LFI Standorte als zweckmässige Referenzdaten dienen können.
 - Feldaufnahmen: 19. Mai, 21. und 22. Juni 2020

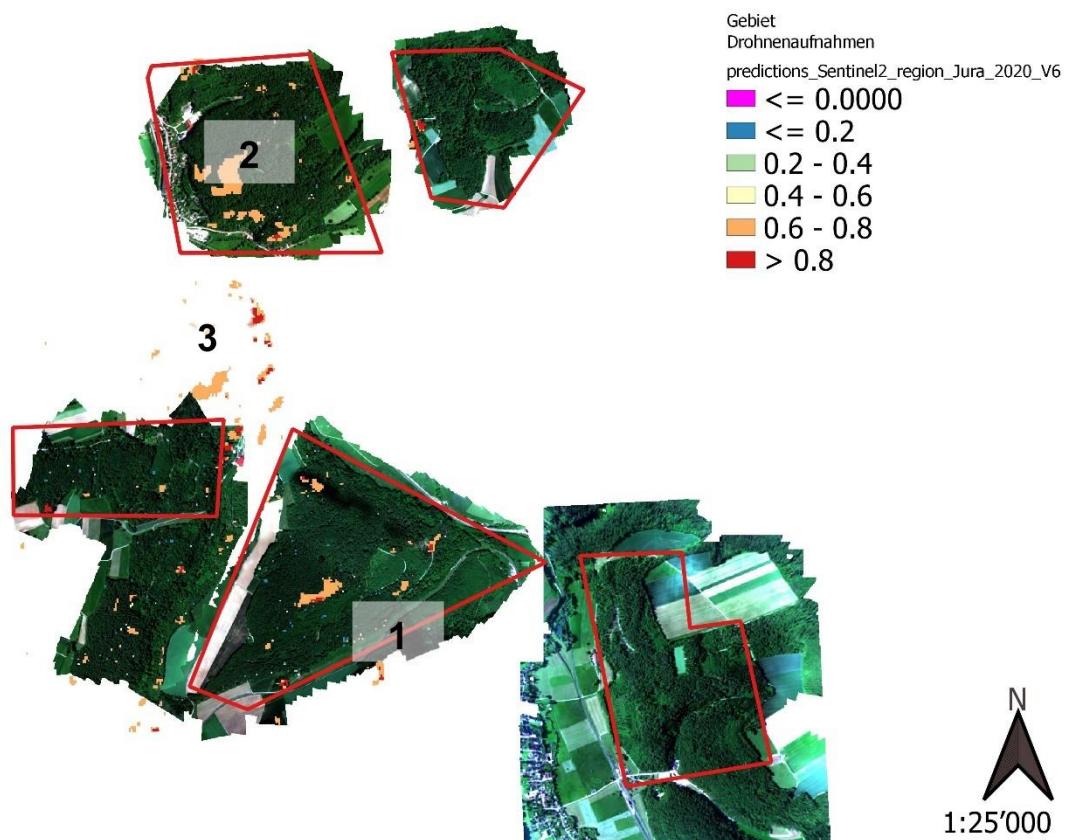
Ergebnisse Modellierung Boncourt

S2 Vitalitätskarte 2017-2020, S2+VHR Karte 2019

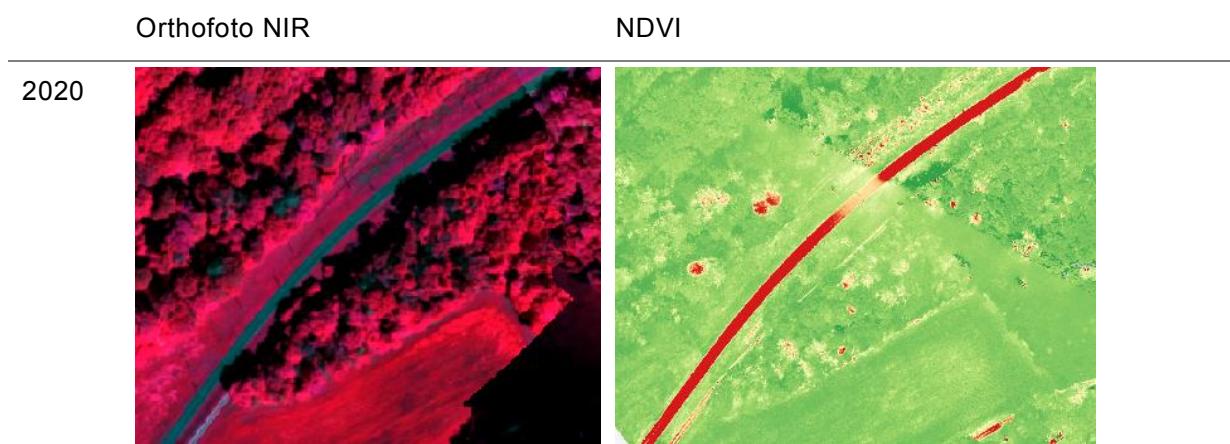
Räumliche Auflösung 20 m x 20 m (S2) und 0.7 m x 0.7 m (S2+VHR)

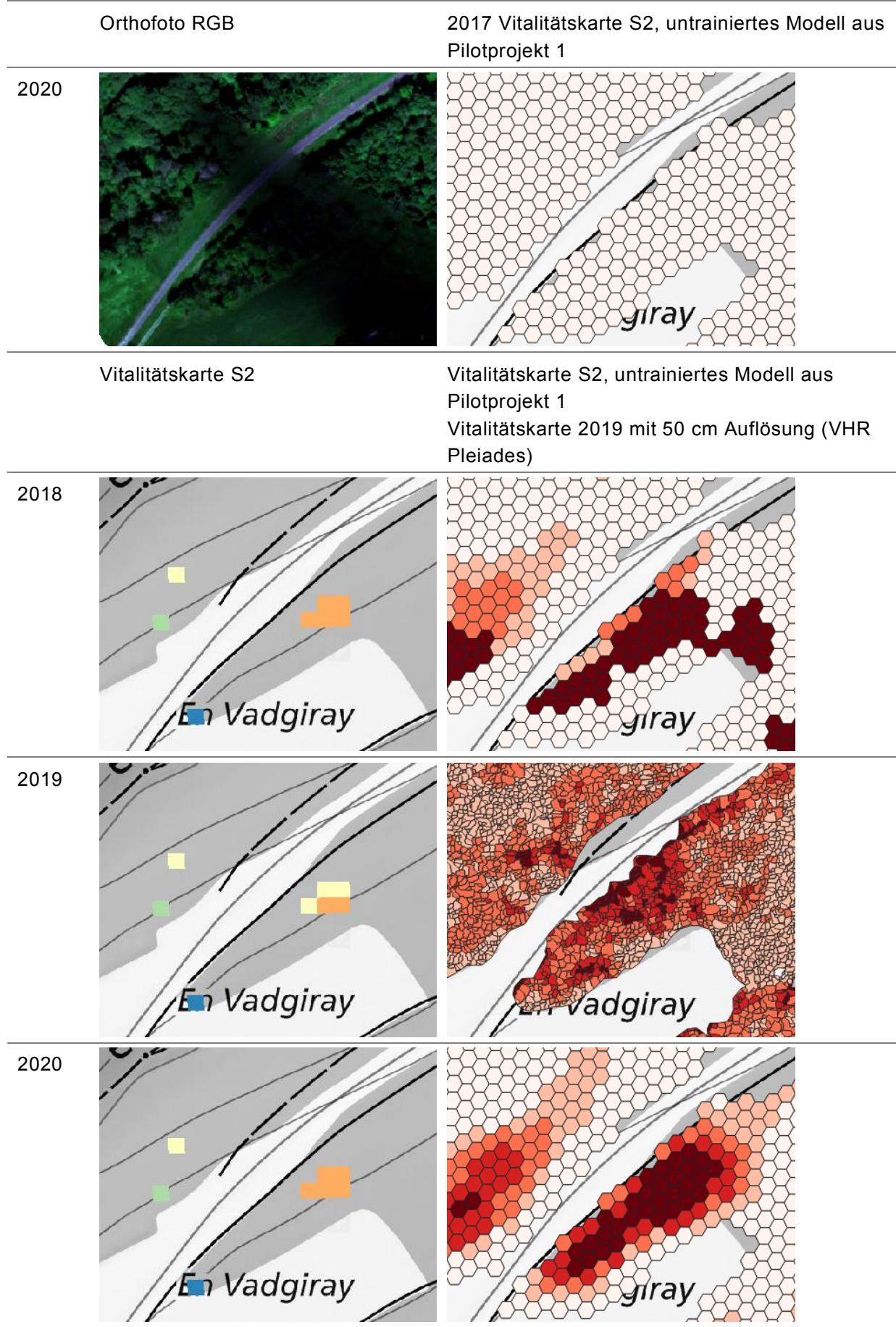
Vorhandene Karten
Bestehendes Modell trainiert mit Schweizer Drohnen-Referenzdaten, angewendet auf S2 und VHR Satellitendaten
Keine weiteren Vitalitätskarten, da die Planetscope Satellitendaten für diesen Standort nicht im Pilot 2 mit einbegriffen waren

Übersicht S2 Vitalitätskarte 2020



Ausschnitt 1: Koordinaten 2569698 / 1257319 (Fläche 1 in Übersichtskarte)

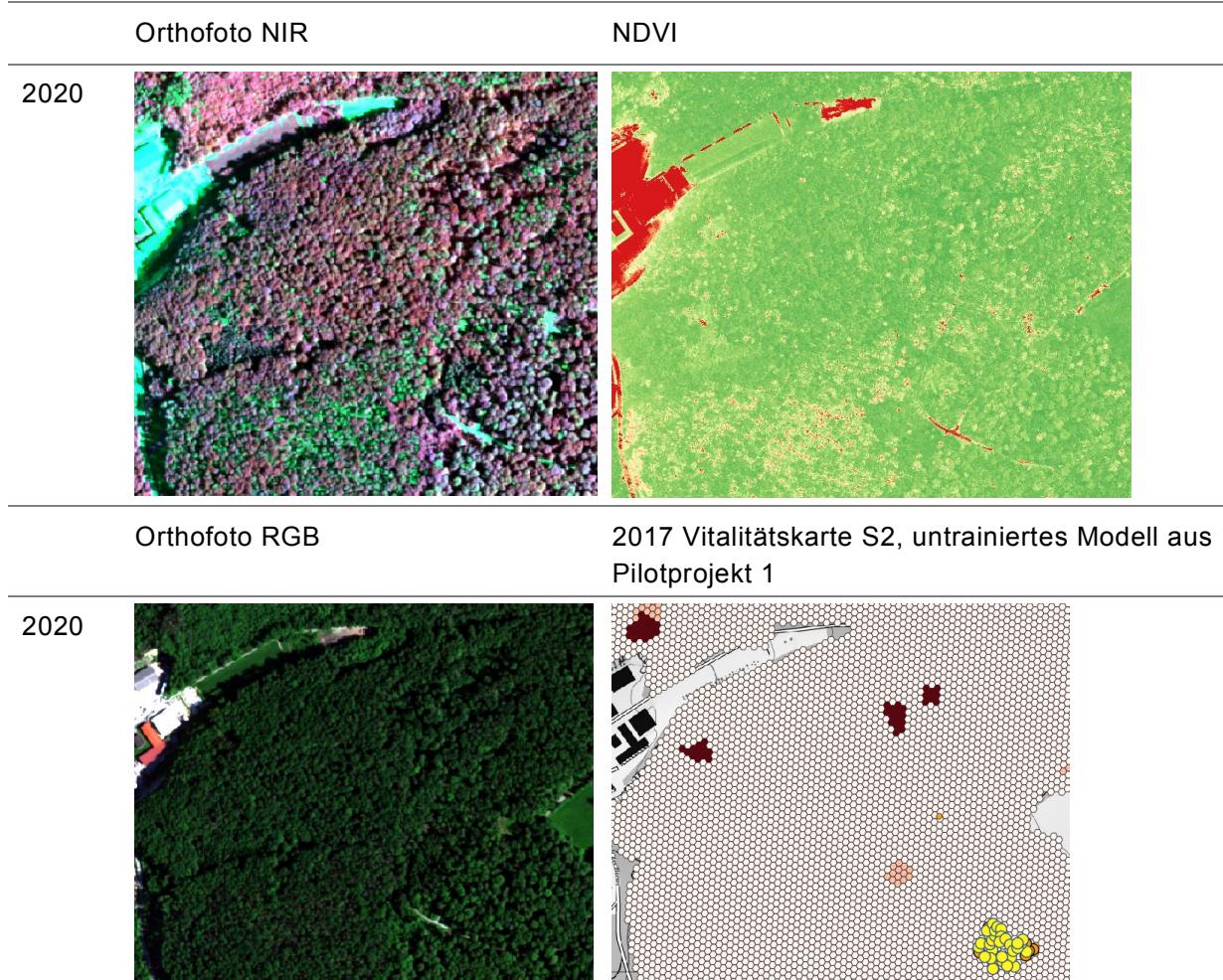




- Untrainiertes Modell: Pleiades 2019 zeigt Schatteneffekte an

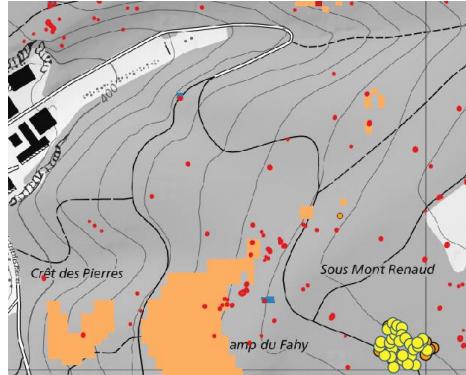
-
- Trainiertes Modell: S2 2018 bis S2 2020 zeigen die gleichen Flächen in grösstenteils ähnlicher Intensität bezüglich Vitalitätsabnahme an.
 - Sowohl NIR als auch UAV VI zeigen keine Änderung der Reflektanz an.
 - Die Vitalitätskarten des untrainierten Modells zeigen für S2 2018 und 2020 in diesem Bereich eine starke Vitalitätsreduktion an. Das trainierte Modell S2 V6 zeigt auf einer kleinen Fläche eine Vitalitätsreduktion an; jedoch nicht entlang des Waldrandes (kein Schatteneffekt).
-

Ausschnitt 2: Koordinaten 2568734 / 1260268 (Fläche 2 in Übersichtskarte)

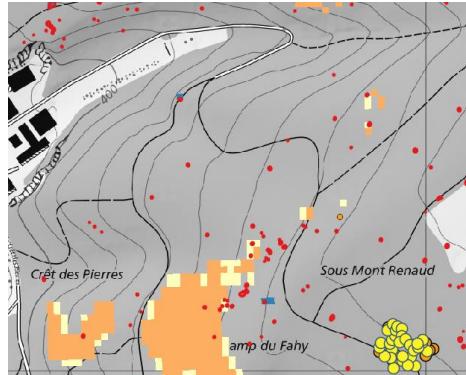


Vitalitätskarte S2 Pilotprojekt 2

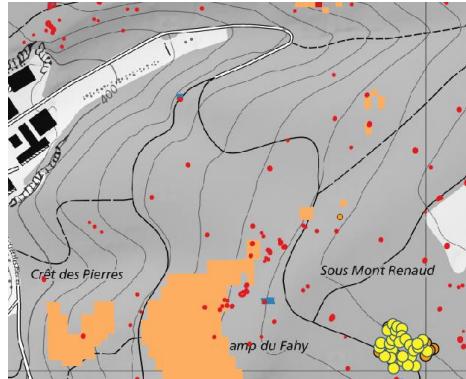
2018



2019

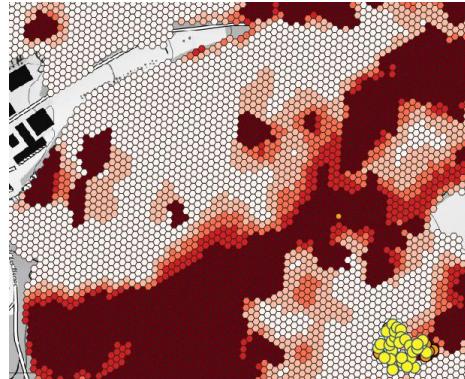
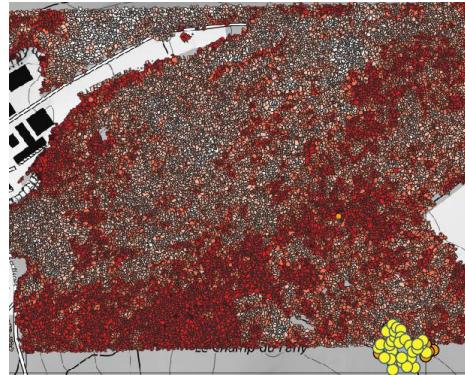


2020



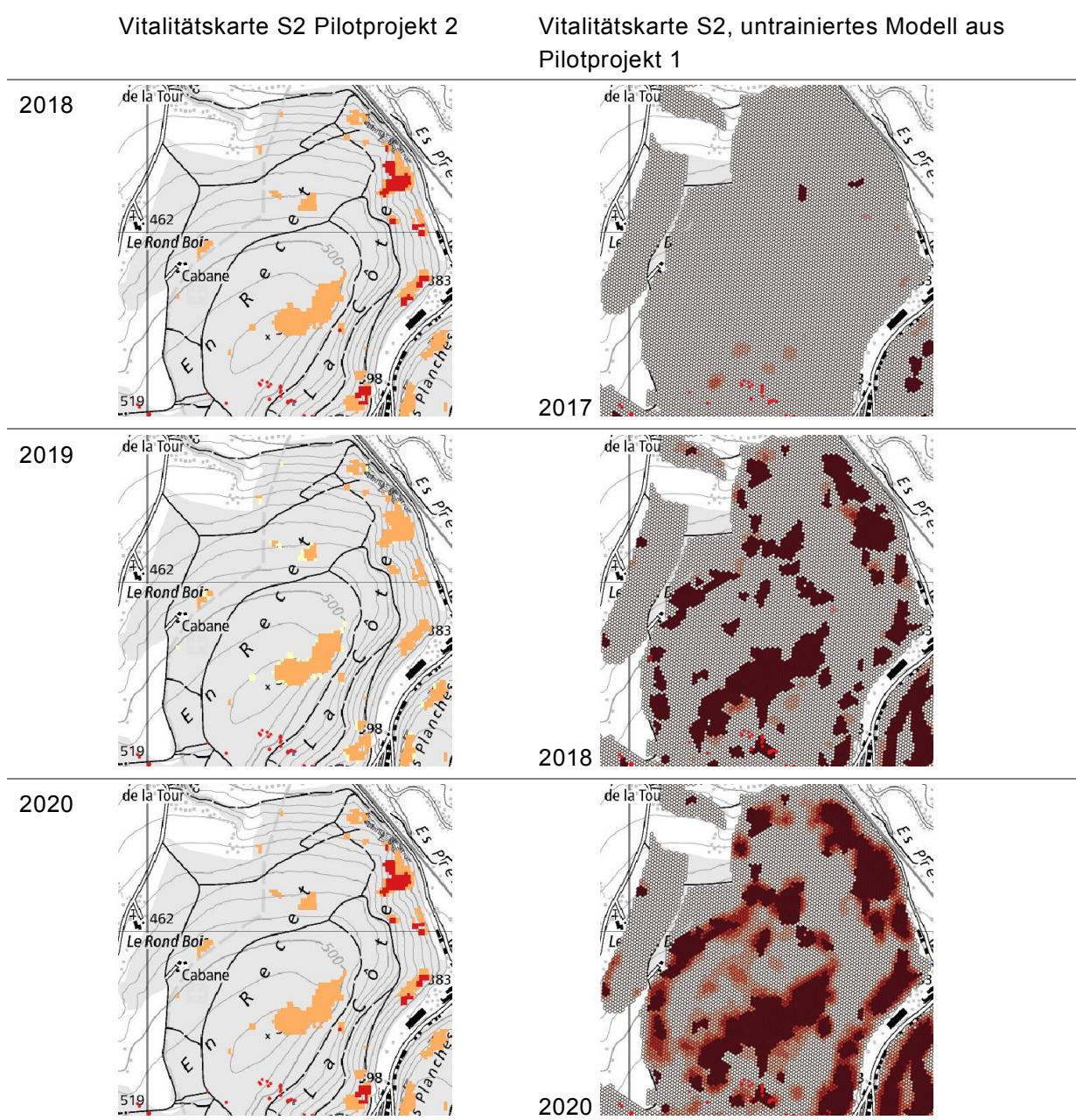
Vitalitätskarte S2, untrainiertes Modell aus Pilotprojekt 1

Vitalitätskarte 2019 mit 50 cm Auflösung (VHR Pleiades)



- Untrainiertes Modell VHR 2019 und S2 2018 und 2020 zeigen hohe Vitalitätsreduktionen in diesem Buchenbestand an, der seit dem Hitzesommer 2018 flächig dürre Buchen aufweist, die abgestorben sind oder im Mai / Juni 2020 mehrheitlich eine hohe Kronenmortalität aufweisen. Die gelben Punkte hingegen gemäss visueller Beobachtung Buchen mit einer Kronenmortalität < 50% an, was für diesen Bereich gemäss Vitalitätskarten stimmt.
- Trainiertes Modell: S2 2018 bis S2 2020 zeigen die gleichen Flächen mit meist ähnlicher intensiver Vitalitätsabnahme an.
- Die Vitalitätskarten S2 2018 bis S2 2020 des trainierten Modells zeigt im Vergleich zum untrainierten Modell weniger Flächen an Vitalitätsreduktion an. Die Resultate stimmen nur teilweise mit den in Drohnenbild visuell angesprochenen geschwächten Bäumen (rote Kreise) überein. Die Korrektheit müsste vor Ort geprüft werden.

Ausschnitt 3: Koordinaten 2568490 / 1259043 (Fläche 3 in Übersichtskarte)



- Untrainiertes Modell: S2 2017 zeigt wenig Flächen mit Vitalitätsabnahme auf. S2 2018 und S2 2020 zeigen gut 50% der Fläche mit Vitalitätsabnahme und mit hoher Intensität an.
- Trainiertes Modell: Die Flächen mit Vitalitätsabnahmen von S2 2018 bis S2 2020 sind jeweils dieselben. Einzig die Intensität der Vitalitätsabnahme ist bei S2 2018 und S2 2020 höher als bei S2 2019.
- Das trainierte Modell zeigt deutlich weniger Flächen mit Vitalitätsabnahme als das untrainierte Modell an. Diese Flächen sind jedoch deckungsgleich. S2 2017 des untrainierten Modells zeigt nur ansatzweise das Ausmass der Flächen mit Vitalitätsabnahme ab 2018 an

Fazit

- Das trainierte Modell zeigt keine Schatteneffekte von Waldrändern an.
- Das trainierte Modell zeigt weniger Flächen mit einer Vitalitätsabnahme als das untrainierte Modell an. Die Vitalitätskarten des trainierten Modells für 2018 und 2020 ähneln sich mehr als für 2019.
- Ob das trainierte Modell in Wirklichkeit nur die Flächen mit der stärksten Vitalitätsveränderung anzeigt, wäre vor Ort zu prüfen. In dieser Region sind grossflächig insbesondere Buchen aufgrund der Trockenheit dürr geworden.

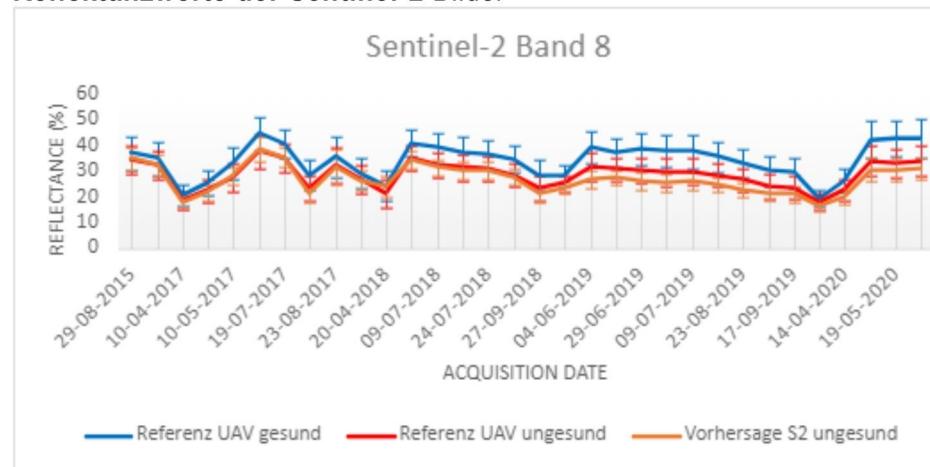
Datenanalyse und Evaluation Boncourt

Methode	Zeitreihe:
	Kontrolle der Referenzdaten aus den Drohnenbildern anhand der spektralen Signatur über die Zeit in Satellitenbildern, Vergleich mit den Vitalitätskarten
	Evaluation des Modells (Genauigkeitsanalyse)

Vergleich Klassifizierung Drohne – Vitalitätskarte S2

Reflektanzwerte der Sentinel-2 Bilder

Zeitreihe



- Die spektrale Signatur der UAV-Klassen 'gesund' und 'ungesund' im Satellitenbild ist leicht verschieden, die 'geschwächten' Vitalitätswerte stimmen relativ gut mit den ungesunden Bäumen der Referenz überein
- Saisonalität der Photosynthese ist erkennbar, Ein zusätzlicher Einbruch ist im Sommer 2017 zu sehen
- Keine längerfristigen Trends der spektralen Signatur innerhalb einer Klasse zwischen 2016 und 2020 erkennbar, weder in den Drohnen-Referenzdaten noch in der Vitalitätskarte
- ➔ Keine exzellenten Voraussetzungen für die Modellierung, dennoch zeigen Modell und **ungesunde** Klasse der Referenz ähnliche Werte

Evaluation Genauigkeits- analyse		Berechnung von Trefferquote (precision) und Genauigkeit (recall) der im Modell berechneten Werte							
Forstregionen	Standort	Sentinel-2 (S2)			Planetscope (P)			(P-S2)	
		precision	recall	Visual	precision	recall	Visual	precision	recall
Mittelland / nördliche Alpen	Raebmatt (T)	37	19		47	65		5.0	45.8
	Werthenstein (V)	69	58		81	75		12.1	17.1
	Genf (T)	11	19		14	25		2.7	6.3
Mittelland urban	Luzern (T)								
	Meggen (V)								
	Walenstadt (T)	92	55		96	82		4.4	27.0
nördliche Alpen	Braunwald (T)	75	45		83	75		8.3	30.2
	St. Gingolph (V)	100	66		100	89		0.0	22.7
	Amsteg (V)	98	58		99	83		1.2	25.0
nördl. Alpen / nördl. Zwischenalpen ohne Buche	Klosters (T)	100	36		100	74		0.3	37.7
	Airolo (T)	91	49		94	74		2.7	24.7
	Giornico (T)	83	25		92	40		9.1	14.8
südl. Zwischenalpen	Gasbarogno (V)	12	55		12	77		0.0	21.7
	Ossingen (T)	65	69		78	86		13.6	17.2
	Marthalen (T)	22	35		35	65		13.6	30.6
Mittelland	Rupperswil (V)	56	6		74	11			
	Jura (T)	91	24						
	Chambrelens (T)	65	45		75	73		9.8	27.8
Jura	Court (V)	55	35		72	68		17.0	33.8
							Durchschnitt	6.7	25.5

Trefferquote (precision) = Wie viele als **geschwächt** erkannte Bäume sind tatsächlich **geschwächt**?

→ 91%

Genauigkeit (recall) = Wie viele der tatsächlich **geschwächten** Bäume wurden erkannt?

→ 24%

Gute Trefferquote und geringe Genauigkeit, wie viele andere Standorte, schlechter als die anderen beiden Standorte im Jura

Visuelle Beurteilung zwischen NDVI, Vitalitätskarten und Referenzdaten ist einigermassen gut

→ Keine S2+P Vitalitätskarten verfügbar

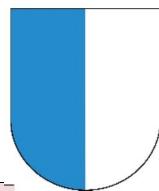
→ Das Modell zeigt ähnliche Werte wie für die restlichen Standorte mit einer guten Trefferquote und weniger guten Genauigkeit.

→ Die Drohnen-Referenzdaten sind ausreichend, um das Modell auf diesen Standort zu trainieren

→ Die Drohnen-Referenzdaten zeigen den Zustand zum Zeitpunkt der Aufnahme, die Vitalitätskarten stellen die Veränderung über einen Zeitabschnitt dar, es ist möglich, dass der Wald schon seit 2016 konstant im selben '**geschwächten**' Zustand ist

→ Integration von Baumartenerkennung und mehr und bessere Referenzdaten haben das Potenzial die Genauigkeit der Vitalitätskarte zu verbessern

Fazit



4.7 Kanton Luzern – Standorte Luzern, Meggen, Werthenstein

Feldaufnahmen Luzern

Standorte

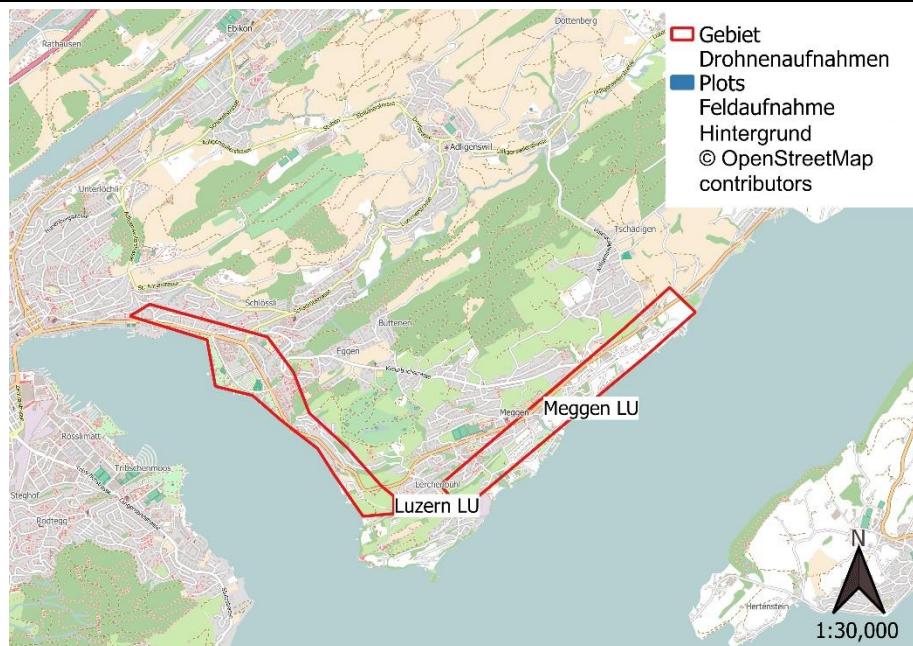
Luzern (Training)

Meggen

(Validation)

Ca. 480 m ü.M.

Exposition: keine



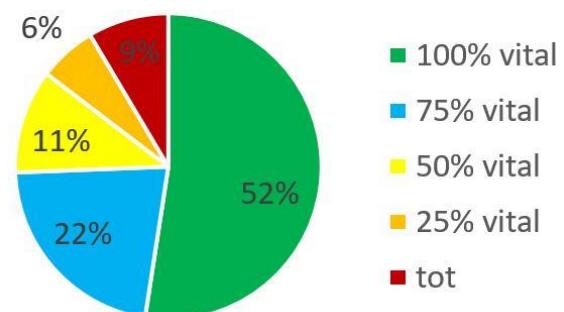
Drohnenflüge

- Geflogene Fläche: 100 ha
- Flugdatum: 19. Sept. 2020
- 10 cm räumliche Auflösung
- 5 Kanäle: R-G-B-Red Edge-NIR

Feldaufnahmen

- Urbaner Standort, gesamtes Drohnenfluggebiet wurde nach Einzelbäumen und Waldbäumen abgesucht und beurteilt
- Aufnahmedatum: 05. Okt. 2020

Kronenmortalität Luzern



Kommentare

- Mischwald hauptsächlich Fichte, Buche, Föhre, Lärche, sehr hohe Urbane Fläche, nur nicht voll vitale Bäume beurteilt
- Sehr viele Zedern und andere Exoten
 - ➔ Oft ist die Ursache der Vitalitätsminderung unklar. Exoten erschweren die Beurteilung

Feldaufnahmen Meggen

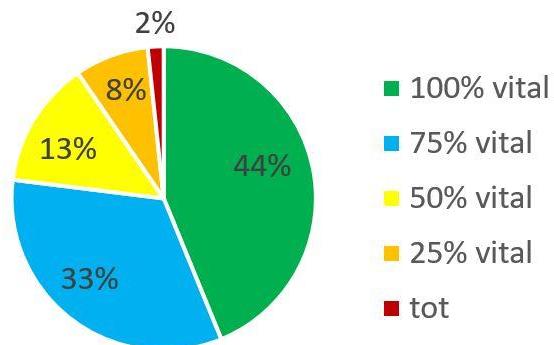
Drohnenflüge

- Geflogene Fläche: 100 ha
- Flugdatum: 15. Sept. 2020
- 10 cm räumliche Auflösung
- 5 Kanäle: R-G-B-Red Edge-NIR

Feldaufnahmen

- Urbaner Standort, gesamtes Drohnenfluggebiet wurde nach Einzelbäumen und Waldbäumen abgesucht und beurteilt
- Aufnahmedatum: 05. Okt. 2020

Kronenmortalität Meggen



Kommentare

- Urbane Fläche, nur nicht voll vitale Bäume beurteilt
- Sehr viele einzelne wenig vitale Obst- und Nussbäume
- Eschenwelke
 - ➔ Oft ist die Ursache der Vitalitätsminderung unklar. Exoten erschweren die Beurteilung

Ergebnisse Modellierung Luzern und Meggen

Vorhandene Karten

Keine Vitalitätskarten vorhanden. Die Modellierung ergab leere Karten für Luzern und Meggen

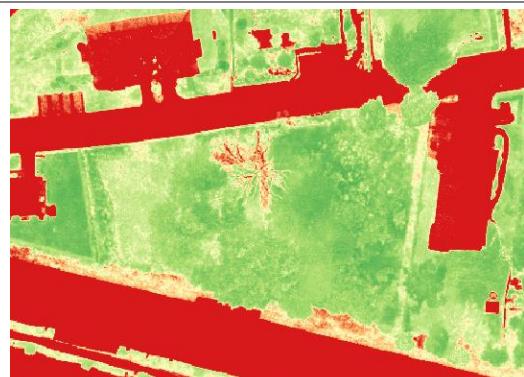
Ausschnitt 1: Koordinaten 2668292 / 1211859

Orthofoto NIR

2020



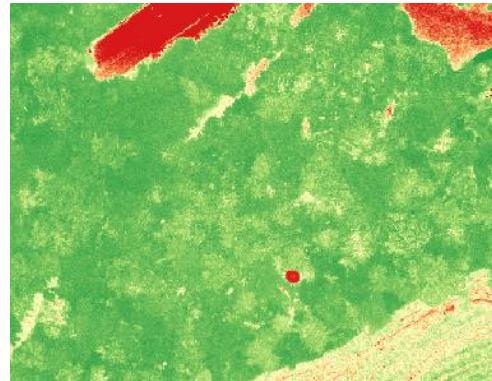
NDVI



	Feldaufnahme 2020	Orthofoto RGB
2020		

- Der stark geschwächte Baum wird in der Vitalitätskarte nicht angezeigt

Ausschnitt 2: Koordinaten 2668292 / 1211859

	Orthofoto NIR	NDVI
2020		
	Feldaufnahmen 2020	Orthofoto RGB
2020		

Eindrücke Feldaufnahmen

2020



Point layer	
Baumart	1
BHD	40
SozStellung	2
VitalitätBaum	1
Kronenmortalität	2
Schaden	1
Ursache	5
Bemerkung	
Anlagen:	Foto_1.jpg



Point layer	
Baumart	1
BHD	50
SozStellung	1
VitalitätBaum	1
Kronenmortalität	2
Schaden	4
Ursache	3
Bemerkung	
Anlagen:	Foto_1.jpg

- -S2 2020 zeigt die absterbenden Fichten nicht an.
- ➔ -S2 2020 zeigt im ganzen Perimeter keine Vitalitätswerte für geschwächte Einzelbäume im urbanen Bereich sowie im Wald an.
- ➔ In Luzern und Meggen gibt es keine Vitalitätswerte, somit kann auch keine Evaluation durchgeführt werden.
- ➔ Die Feldaufnahmen haben gezeigt, dass es extrem schwierig ist gesunde von geschwächten und kranken Bäumen zu unterscheiden. Es gibt ausserdem sehr wenig offensichtlich geschwächte Bäume
- ➔ Viele Exoten machen es schwer im Drohnenbild RGB oder NIR die spektralen Signaturen richtig zu deuten.
- ➔ Das Modell hat dementsprechend auch sehr Mühe in Luzern und Meggen die Vitalität zu erkennen, genauso wie im anderen urbanen Standort Genf

Datenanalyse und Evaluation Luzern und Meggen

Fazit

In Luzern und Meggen gibt es keine Vitalitätskarten, somit kann auch keine Evaluation durchgeführt werden.

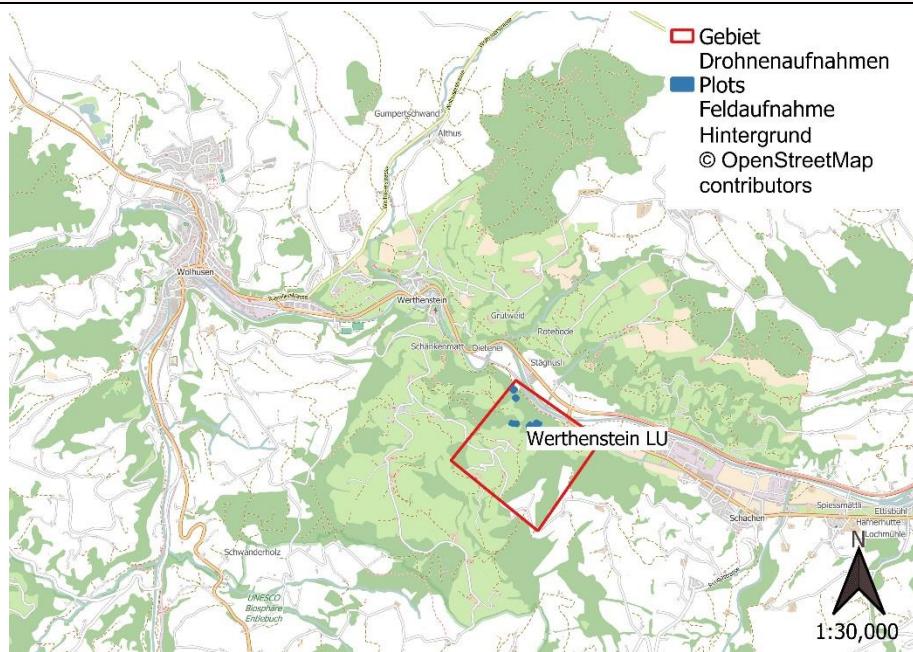
Die Feldaufnahmen haben gezeigt, dass es schwierig ist gesunde von geschwächten und kranken Bäumen zu unterscheiden. Es gibt ausserdem sehr wenig offensichtlich geschwächte Bäume

Feldaufnahmen Werthenstein

Standort

Werthenstein
(Validation)

530 m bis 830 m
ü.M.
Exposition: N

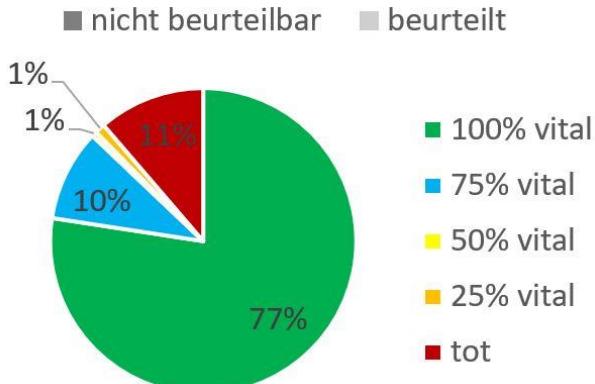


Drohnenflüge

- Geflogene Fläche: 111 ha
- Flugdatum: 07. Sept. 2020
- 10 cm räumliche Auflösung
- 5 Kanäle: R-G-B-Red Edge-NIR

- 53 a 'gesund',
54 a 'ungesund'
- Aufnahmedatum:
18. &
21. Sept. 2020

Kronenmortalität Werthenstein



Feldaufnahmen

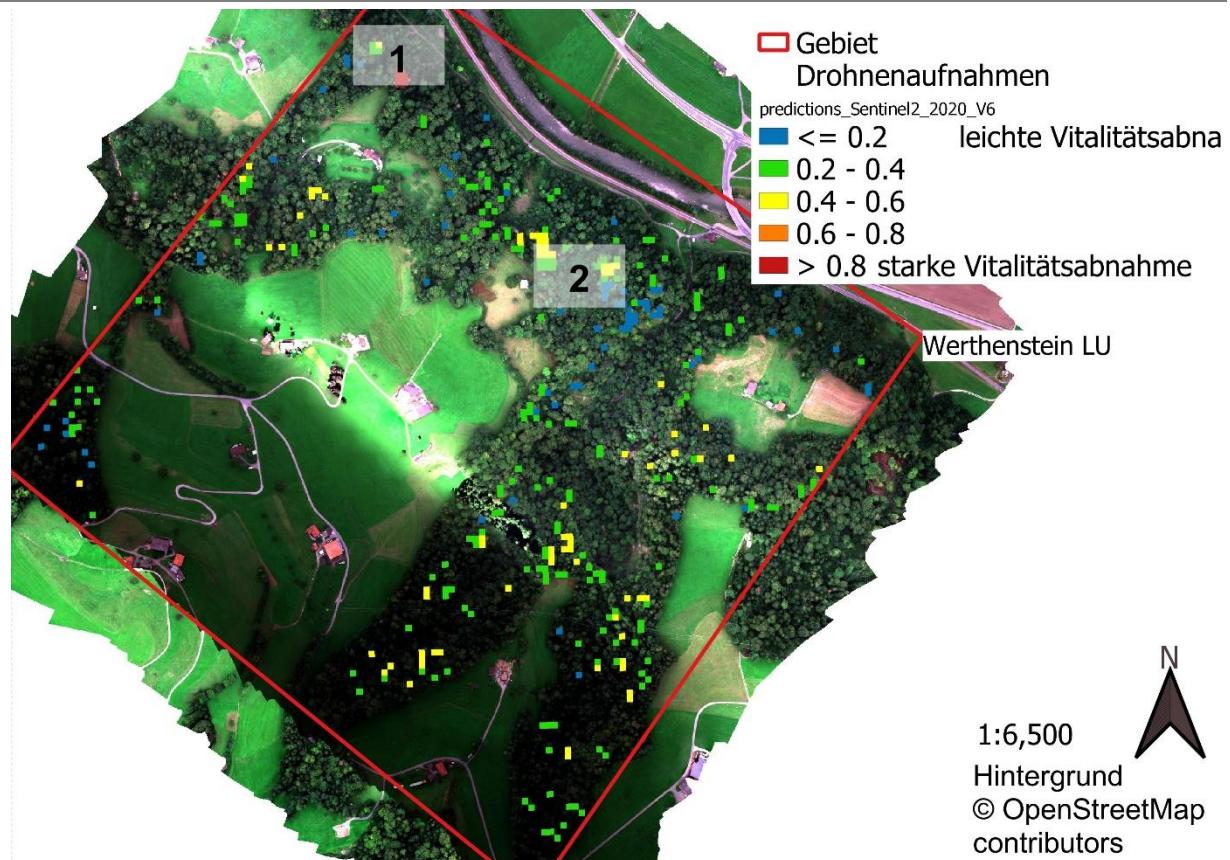
- Sehr vitale Bestände, Fichte, Tanne und Buche dominiert
- Eschenwelke und Trockenheit bei Tanne und Fichte
→ Vitalitätshemmende Faktoren hauptsächlich Eschenwelke und Trockenheit

Kommentare

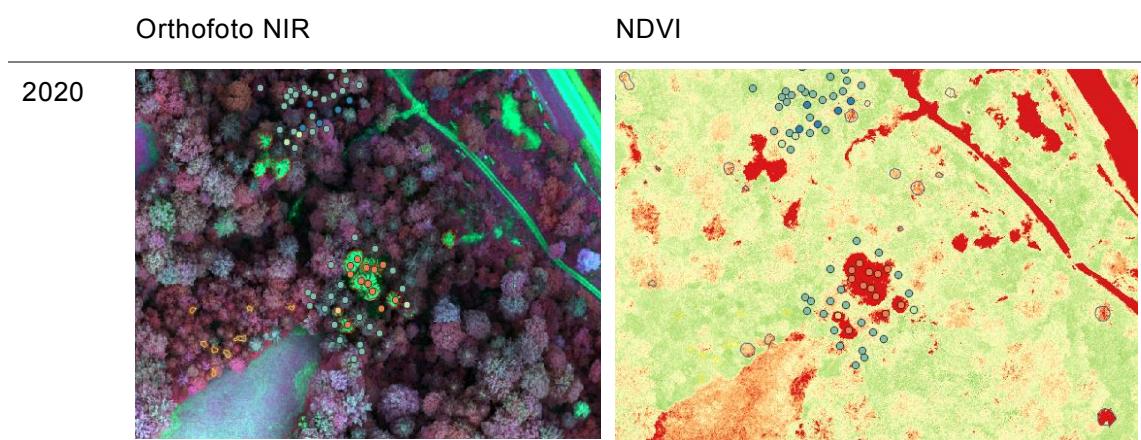
Ergebnisse Modellierung Werthenstein

Vorhandene Karten	Jährliche S2 Vitalitätskarten 2018-2020, jährliche S2+P Karten 2019-2020 Räumliche Auflösung 20 m x 20 m und 3 m x 3 m Bestehendes Modell trainiert mit Schweizer Drohnen-Referenzdaten, angewendet auf S2 und P Satellitendaten
-------------------	--

Übersicht S2 Vitalitätskarte 2020

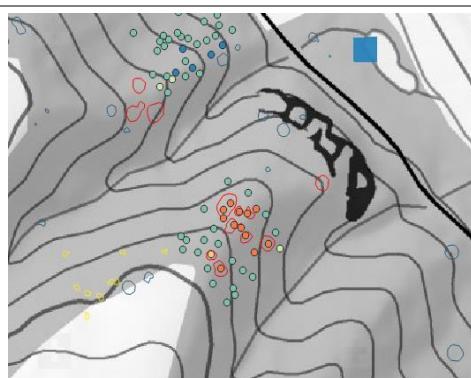


Ausschnitt 1: Koordinaten 2651298 / 1210877 (Fläche 1 in Übersichtskarte)



Vitalitätskarte S2

2018

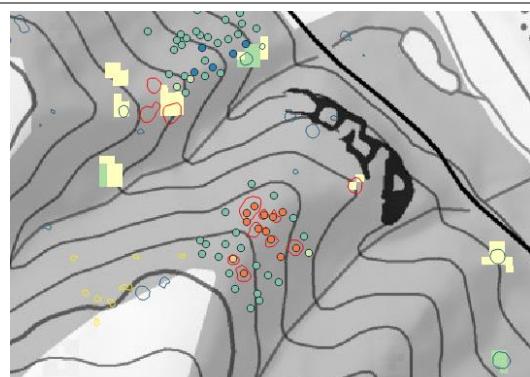


Vitalitätskarte S2+P

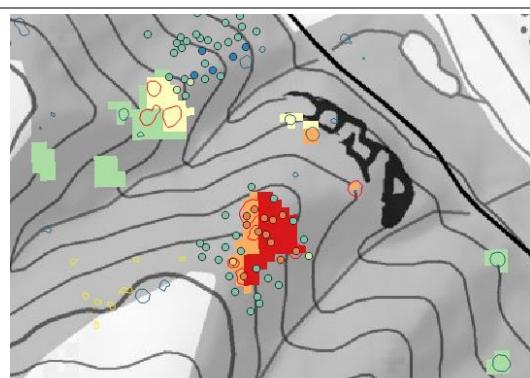
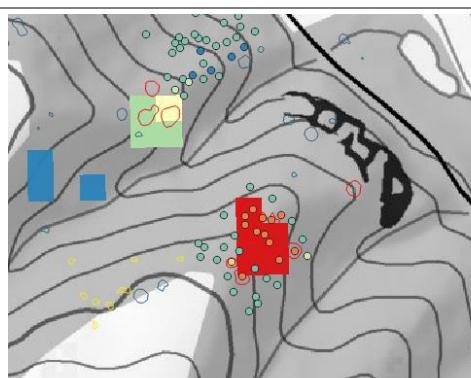
Orthofoto 2020 RGB



2019

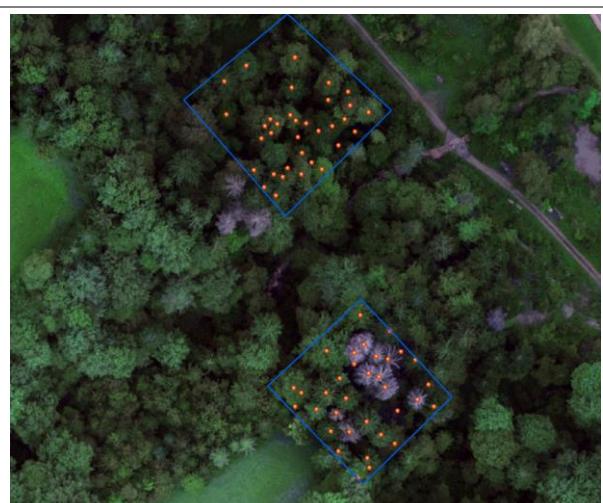
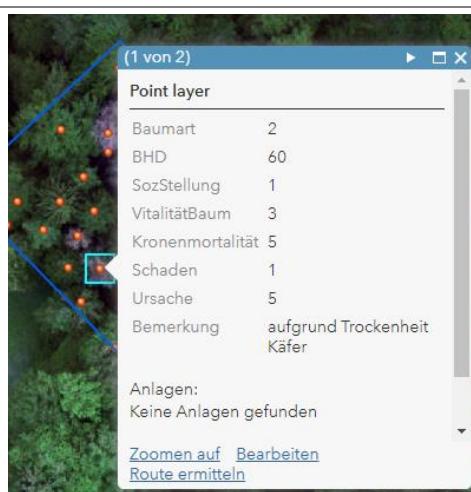


2020



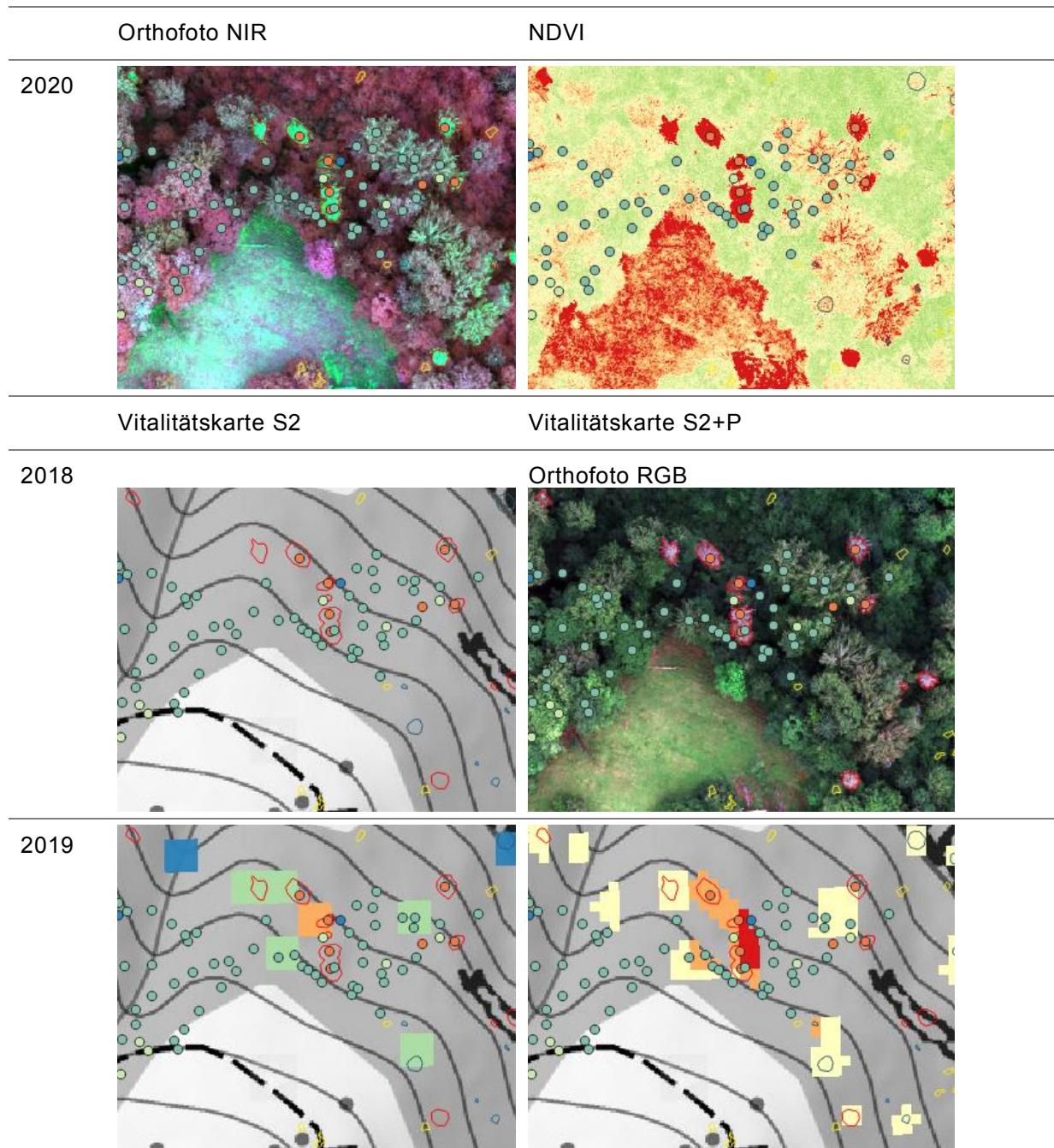
Eindruck Feldaufnahmen

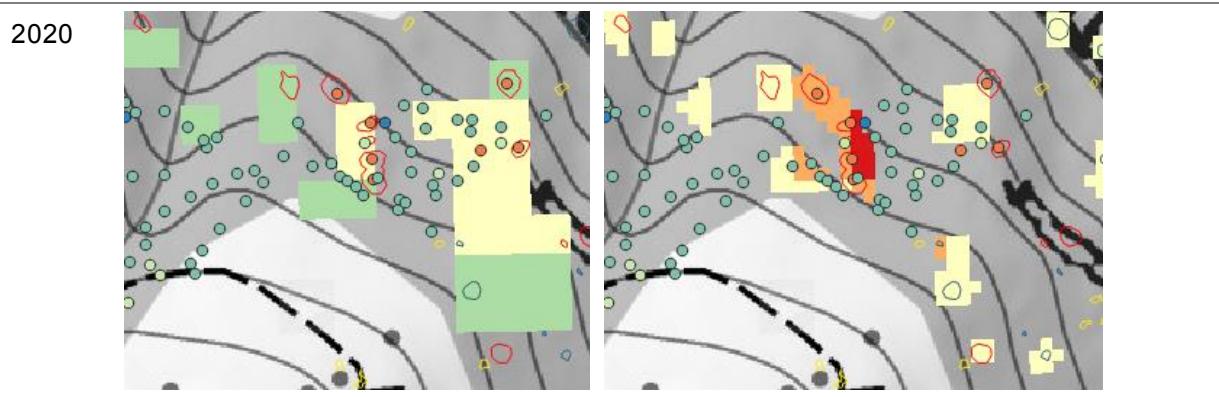
2020



- S2 2018 zeigt eine einzige sehr schwache Vitalitätsänderung. S2 2019 zeigt vier sehr schwache/schwache Vitalitätsänderungen. S2 2020 zeigt je eine Fläche mit deutlicher sowie sehr deutlicher Vitalitätsreduktion, die jedoch nicht in S2 2018 und S2 2019 angezeigt wurden.
- P 2019 und 2020 zeigen etwa den ähnlichen Verlauf als S2 2019 und 2020, jedoch ist die Intensität bei P 2019 leicht stärker als bei S2 2019 im links oberen Bildausschnitt.
- Die Felderhebung sowie der Drohnen-Referenzdaten (rote Kreise) bestätigen den Standort mit der deutlichsten Vitalitätsreduktion 2020, die sowohl von P als auch S2 angezeigt wird.

Ausschnitt 2: Koordinaten 2651534 / 1210581 (Fläche 2 in Übersichtskarte)





Eindruck Feldaufnahmen



- S2 2018 zeigt keine Vitalitätswerte an. S2 2019 zeigt weniger Flächen jedoch mit leicht stärkerer Intensität als S2 2020 an.
- P 2019 und 2020 zeigen die gleichen Flächen wie S2 an. Ebenfalls zeigt P 2019 die Fläche mit einigen ungesunden Bäumen (rote Punkte aus Drohnen-Referenzdaten und Felderhebung) an.

Fazit

- ➔ S2 2019 und S2 2020 sowie P 2019 und 2020 zeigen Flächen mit ungesunden Bäumen an. Der NDVI zeigt jedoch bereits ein Jahr früher eine Reduktion der Vitalität an als S2 und P.
- ➔ Als Validierungsstandort zeigen S2 und P sehr zuverlässige Vitalitätskarten (dies im Vergleich zu Rupperswil).

Datenanalyse und Evaluation Werthenstein

Methode	Zeitreihe:
	Kontrolle der Referenzdaten aus den Drohnenbildern anhand der spektralen Signatur über die Zeit in Satellitenbildern, Vergleich mit den Vitalitätskarten
	Evaluation des Modells (Genauigkeitsanalyse)

Vergleich Klassifizierung Drohne – Vitalitätskarte S2 Reflektanzwerte der Sentinel-2 Bilder

Sentinel-2 Band 8



Zeitreihe

— Referenz UAV gesund — Referenz UAV ungesund — Vorhersage S2 ungesund

- Kein Unterschied in der spektralen Signatur der UAV-Klassen ‘gesund’ und ‘ungesund’ im Satellitenbild, die ‘geschwächten’ Vitalitätswerte sind jedoch von beiden Klassen verschieden
- Saisonalität der Photosynthese gut erkennbar, Winter 2018 nur wenig verringerte Photosynthese
- Keine längerfristigen Trends der spektralen Signatur innerhalb einer Klasse zwischen 2016 und 2020 erkennbar, weder in der Drohnen-Referenzdaten noch in der Vitalitätskarte
- ➔ Sehr schlechte Voraussetzung für die Modellierung, Drohnen-Referenzdaten zeigen kaum Unterschied zwischen Klassen, die Modellierung schafft es dennoch Bäume mit geringeren Reflektanzwerten zu finden

Evaluation Genauigkeits- analyse		Berechnung von Trefferquote (precision) und Genauigkeit (recall) der im Modell berechneten Werte							
Forstregionen	Standort	Sentinel-2 (S2)			Planetscope (P)			(P-S2)	
		precision	recall	Visual	precision	recall	Visual	precision	recall
Mittelland / nördliche Alpen	Raehmatt (T)	37	19		47	65		5.0	45.8
	Werthenstein (V)	69	58		81	75		12.1	17.1
	Genf (T)	11	19		14	25		2.7	6.3
Mittelland urban	Luzern (T)								
	Meggen (V)								
	Walenstadt (T)	92	55		96	82		4.4	27.0
nördliche Alpen	Braunwald (T)	75	45		83	75		8.3	30.2
	St. Gingolph (V)	100	66		100	89		0.0	22.7
	Amsteg (V)	98	58		99	83		1.2	25.0
nördl. Alpen / nördl. Zwischenalpen ohne Buche	Klosters (T)	100	36		100	74		0.3	37.7
	Airolo (T)	91	49		94	74		2.7	24.7
	Giornico (T)	83	25		92	40		9.1	14.8
südl. Zwischenalpen	Gasbarogno (V)	12	55		12	77		0.0	21.7
	Ossingen (T)	65	69		78	86		13.6	17.2
	Marthalen (T)	22	35		35	65		13.6	30.6
Mittelland	Rapperswil (V)	56	6		74	11			
	Jura (T)	91	24						
	Chambrilien (T)	65	45		75	73		9.8	27.8
Jura	Court (V)	55	35		72	68		17.0	33.8
							Durchschnitt	6.7	25.5

Trefferquote (precision) = Wie viele als **geschwächt** erkannte Bäume sind tatsächlich **geschwächt**?

→ 69% (81% bei S2+P)

Genauigkeit (recall) = Wie viele der tatsächlich **geschwächten** Bäume wurden erkannt?

→ 58% (75% bei S2+P)

Mittelmässige Werte für nur S2 Vitalitätsskarten, gute Werte für S2+P

Visuelle Beurteilung zwischen NDVI, Vitalitätsskarten und Referenzdaten fällt sehr gut aus

→ Genauigkeitsanalyse ist ein Vergleich zwischen UAV-Referenz und Vitalitätsskarte, die Drohnen-Referenzdaten sind allerdings nicht besonders gut

→ Deutlicher Unterschied zwischen der Genauigkeit der Vitalitätsskarten basierend auf nur S2 oder auf 2+P

→ Die Drohnen-Referenzdaten sind keine gute Grundlage, um das Modell auf diesen Standort zu trainieren, dennoch zeigt das Modell erstaunlich gute Resultate

→ Werthenstein ist eine Validierungsfläche, dafür sind die Werte der Precision relativ gut

→ Integration von Baumartenerkennung und überarbeiten der Referenzdaten hat Potenzial die Genauigkeit der Vitalitätsskarte zu verbessern

Fazit

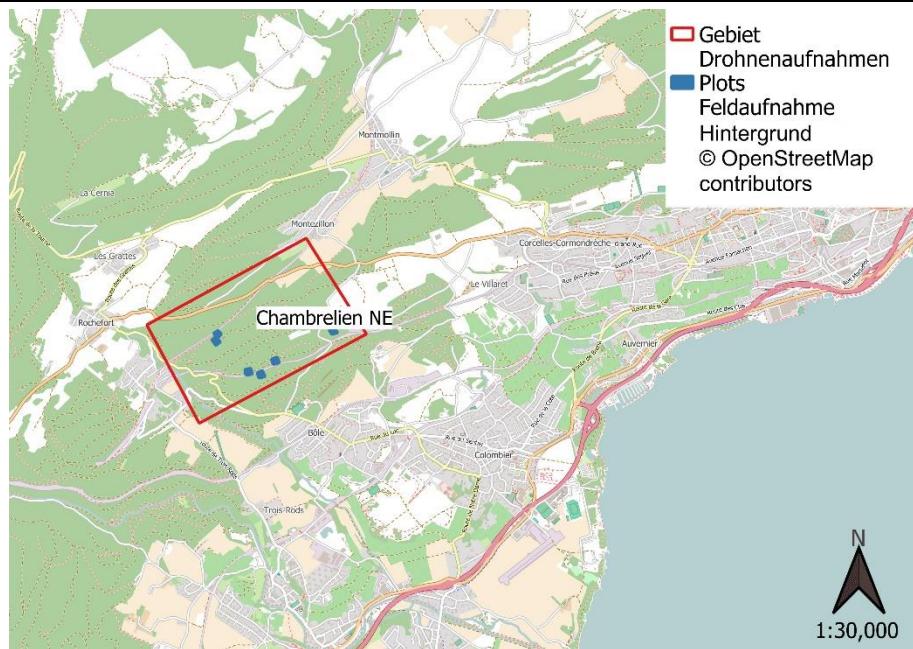
4.8 Kanton Neuchâtel– Standort Chambrelien

Feldaufnahmen Chambrelien

Standort

Chambrelien
(Validation)

700 m bis 800 m
Ü.M.
Exposition: SE

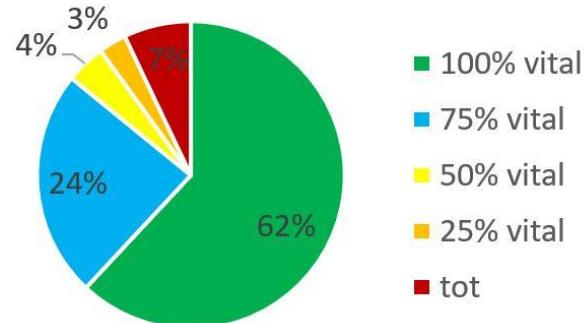


Drohnenflüge

- Geflogene Fläche: 100 ha
- Flugdatum: 19.Sept. 2020
- 10 cm räumliche Auflösung
- 5 Kanäle: R-G-B-Red Edge-NIR

- 59 a 'gesund',
55 a 'ungesund'
 - Aufnahmedatum:
Sept. 2020
- Kronenmortalität Chambrelien
- | | |
|---------------------|-------------|
| 6% | 94% |
| ■ nicht beurteilbar | ■ beurteilt |

Feldaufnahmen



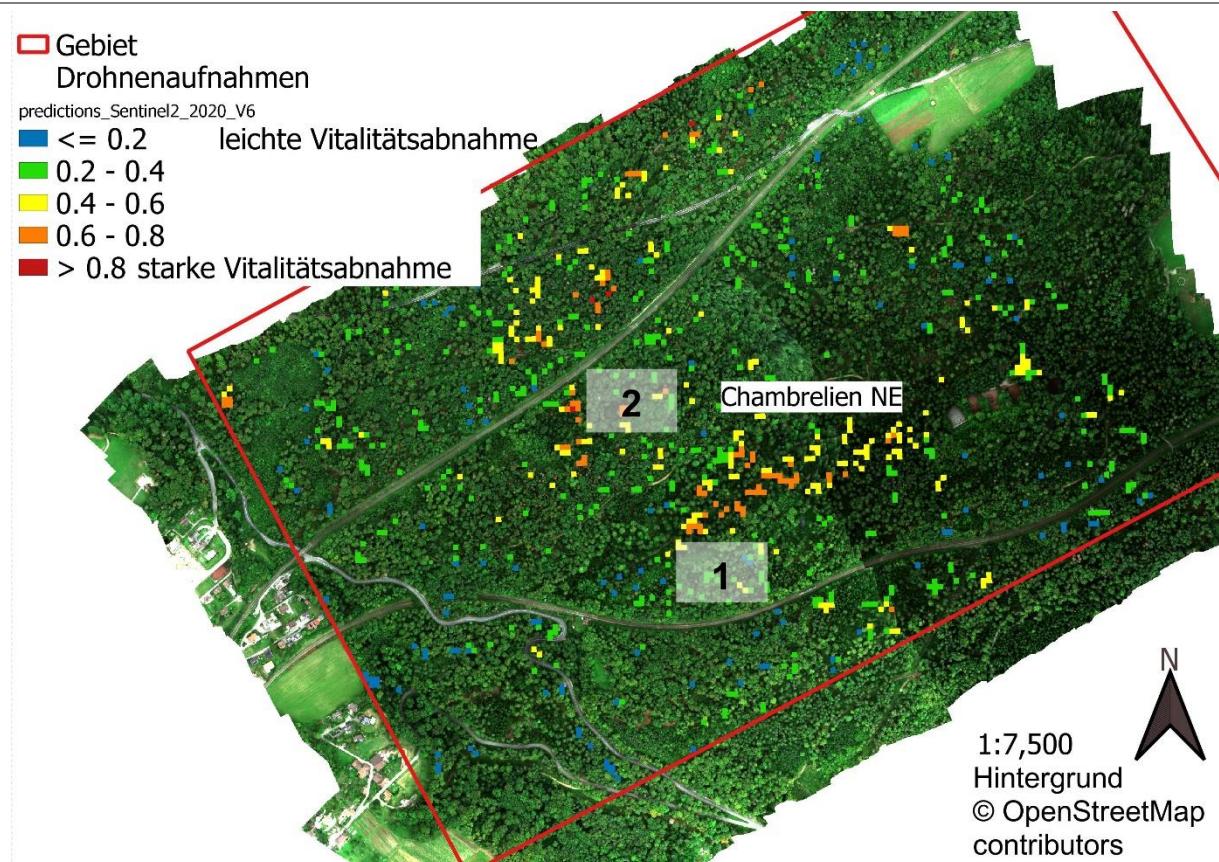
Kommentare

- ➔ Plenterwald mit Tannen, Fichten, Buche und weiteren Laubbaumarten (heterogene Artenzusammensetzung und stufige Bestände)
- ➔ Stark reduzierte Vitalität vor allem bei Laubbaumarten (Eschenwelke, Buchen, Föhren, Eichen mit Trockenheitssymptomen)
- ➔ Abgestorbene Bäume vor allem Fichte und Tanne (Borkenkäfernester)
- ➔ Trockenheitssymptome und deren Auswirkungen sind bei mehreren Baumarten erkennbar

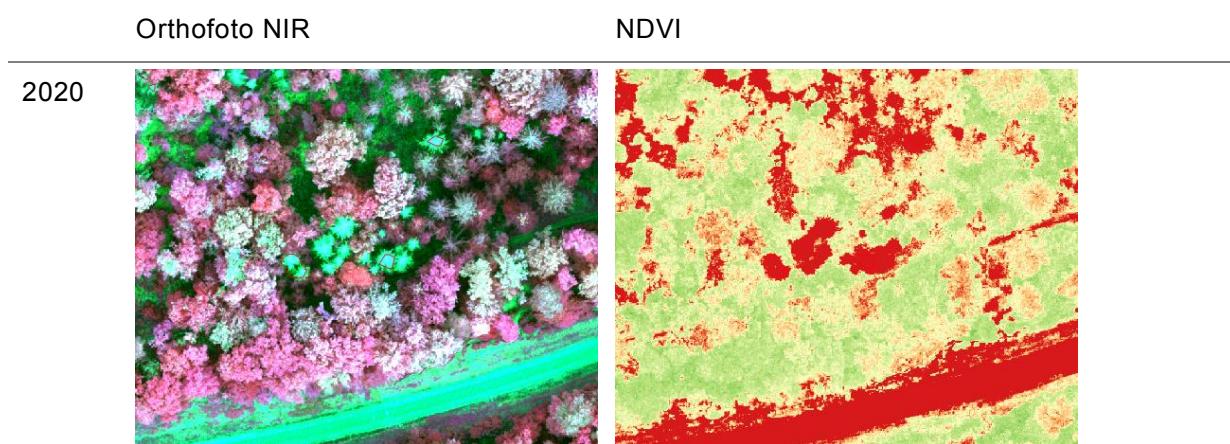
Ergebnisse Modellierung Chambrelien

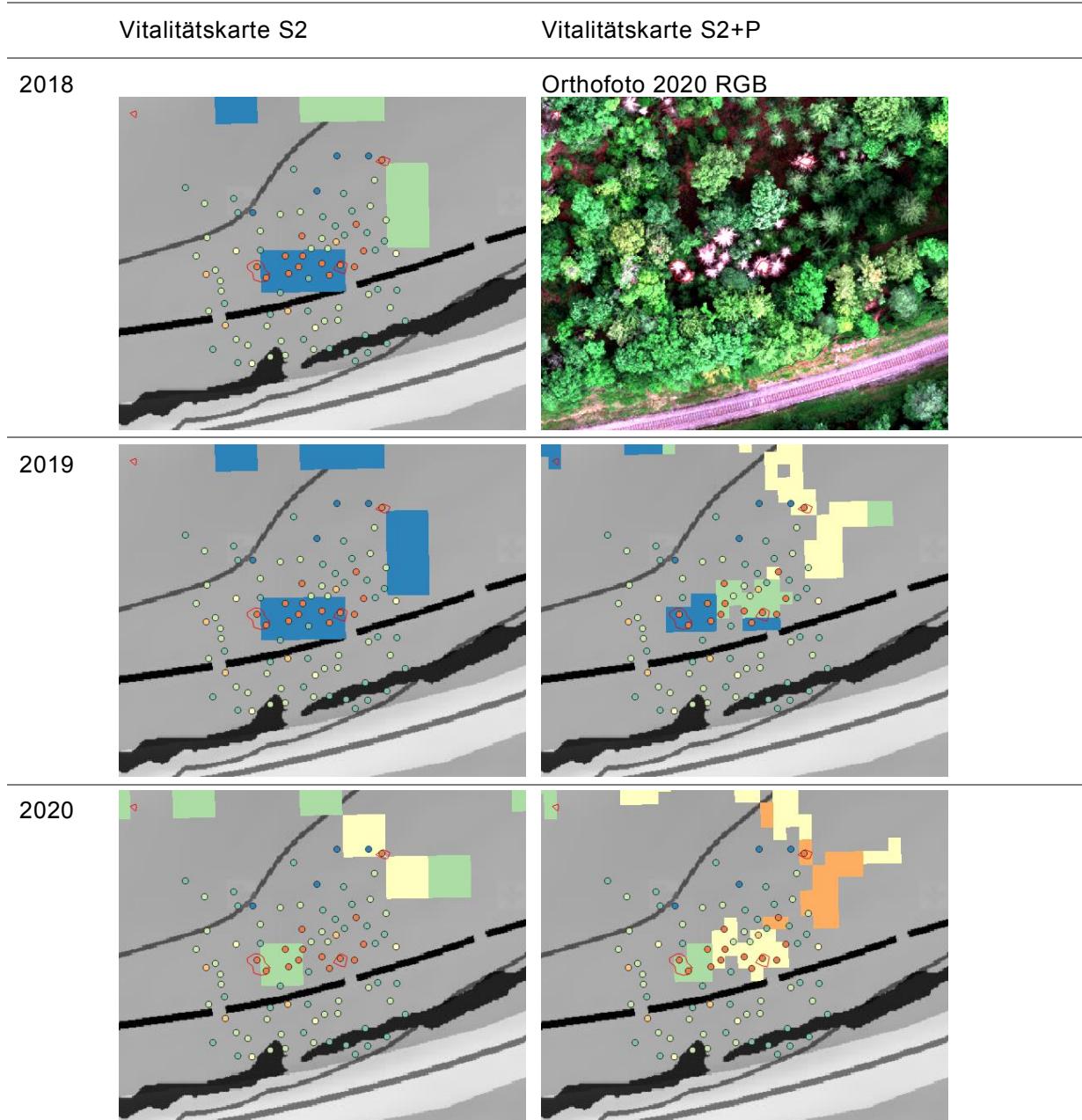
Vorhandene Karten	Jährliche S2 Vitalitätskarten 2018-2020, jährliche S2+P Karten 2019-2020 Räumliche Auflösung 20 m x 20 m und 3 m x 3 m Bestehendes Modell trainiert mit Schweizer Drohnen-Referenzdaten, angewendet auf S2 und P Satellitendaten
-------------------	--

Übersicht S2 Vitalitätskarte 2020



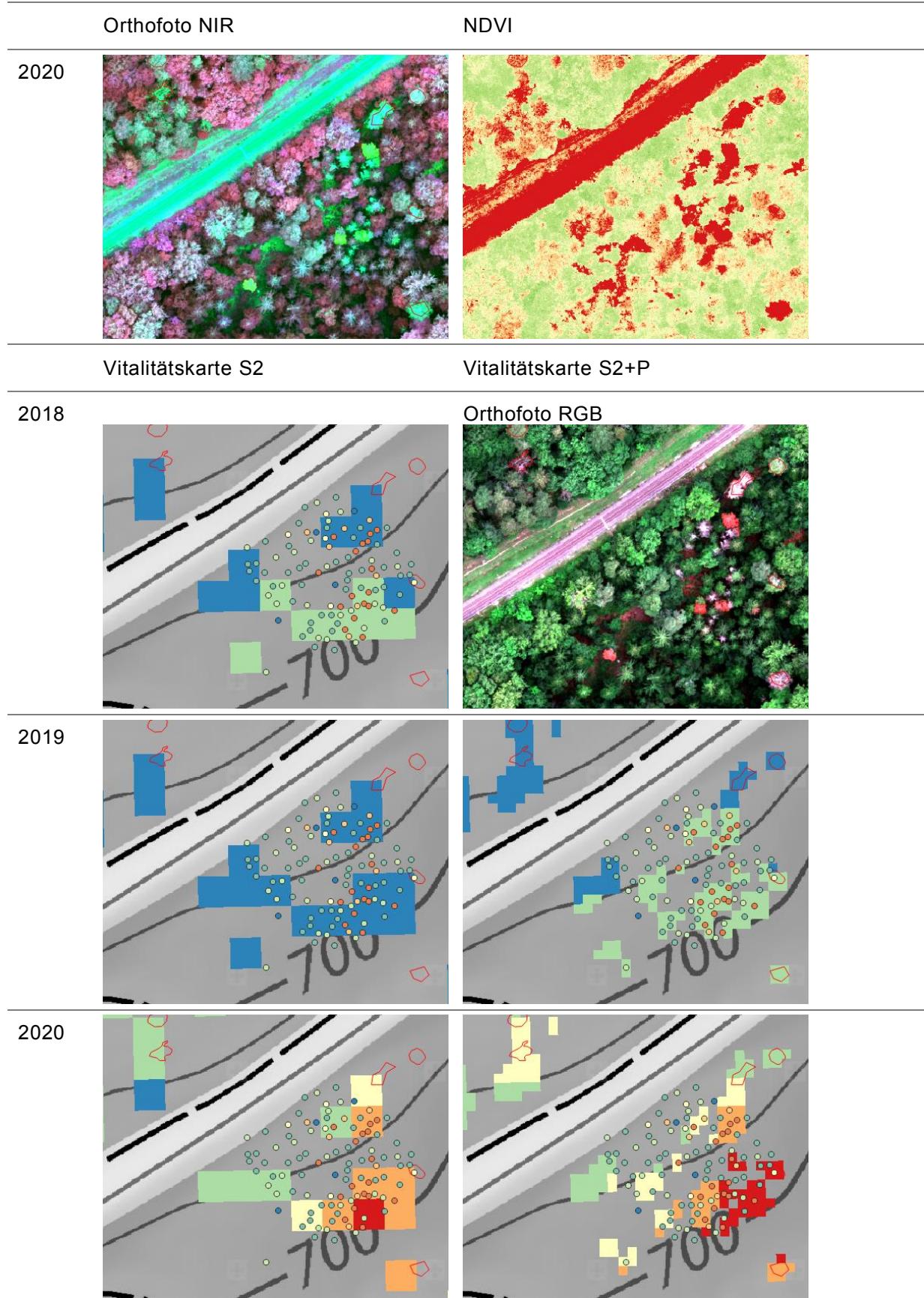
Ausschnitt 1: Koordinaten 2553551 / 1202689 (Fläche 1 in Übersichtskarte)





- P zeigt mehr Flächen mit einer Vitalitätsreduktion und mit einer stärkeren Intensität an als S2. Das Ausmass und die Intensität der Vitalitätsreduktion nehmen von 2018 bis 2020 leicht zu.
- Im Vergleich zur visuellen Beurteilung (rote Polygone) und Felderhebung (rote Punkte) werden alle sehr stark geschwächten Bäume für 2020 identifiziert. Die Bäume mit einer schwächeren Vitalitätsreduktion (orange Punkte) werden weder bei P noch bei S2 angezeigt.

Ausschnitt 2: Koordinaten 2553245 / 1203049 (Fläche 2 in Übersichtskarte)



- P zeigt wie im Standort 1 mehr Flächen mit einer Vitalitätsreduktion und mit mehrheitlich einer stärkeren Intensität

an als S2. Die Intensität der Vitalitätsreduktion nehmen von 2018 bis 2020 zu.

- Im Vergleich zur visuellen Beurteilung (rote Polygone) und Felderhebung (rote und orange Punkte) werden alle sehr stark geschwächten Bäume für 2020 identifiziert

Fazit

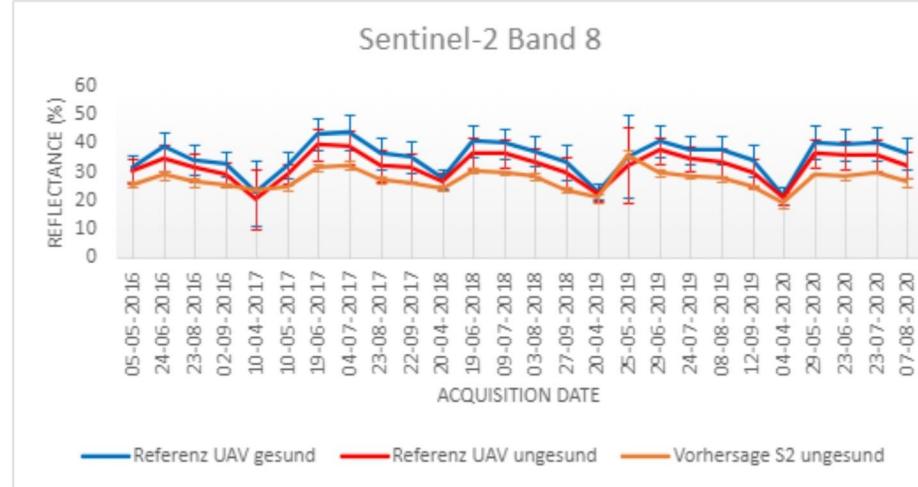
- ➔ Die Vitalitätsskarten für P zeigen für beide Standorte detailliertere Ergebnisse als S2 (mehr Fläche, stärkere Intensität).
- ➔ Die Intensität nimmt insbesondere von 2019 zu 2020 zu.
- ➔ Je nach Standort werden nicht alle geschwächten Bäume vom Modell erkannt, die gemäss Felderhebung als geschwächt beurteilt wurden.
- ➔ Vitalitätsreduktionen werden bereits 10 m ab Gleis erkannt.
- ➔ Der Waldbestand ist stufig und mit vielen verschiedenen Baumarten. Das Modell liefert anhand der visuellen Beurteilung gute Ergebnisse.

Datenanalyse und Evaluation Chambrelen

Methode Zeitreihe:
Kontrolle der Referenzdaten aus den Drohnenbildern anhand der spektralen Signatur über die Zeit in Satellitenbildern, Vergleich mit den Vitalitätsskarten
Evaluation des Modells (Genauigkeitsanalyse)

Vergleich Klassifizierung Drohne – Vitalitätsskarte S2 Reflektanzwerte der Sentinel-2 Bilder

Zeitreihe



- Die spektrale Signatur der UAV-Klassen ‘gesund’ und ‘ungesund’ im Satellitenbild ist minimal verschieden, die ‘geschwächten’ Vitalitätswerte sind dennoch zuverlässig sowohl von den gesunden als auch von den ungesunden Bäumen gut zu unterscheiden.
- Saisonalität der Photosynthese wie zu erwarten gut erkennbar, Winter 2017/18 nur wenig verringerte Photosynthese
- Keine längerfristigen Trends der spektralen Signatur innerhalb einer Klasse zwischen 2016 und 2020 erkennbar, weder in der Drohnen-Referenzdaten noch in der Vitalitätsskarte

- Im Winter ist die spektrale Signatur aller Klassen praktisch gleich. Deshalb ist es hier vermutlich sehr wichtig Vitalitätsaufnahmen im Sommer durchzuführen
- ➔ Gute Voraussetzung für die Modellierung, Modell erkennt sogar noch grösseren Unterschied der **geschwächten** Bäume als in den Drohnen-Referenzdaten angezeigt

Evaluation Genauigkeits- analyse	Berechnung von Trefferquote (precision) und Genauigkeit (recall) der im Modell berechneten Werte								
	Forstregionen	Standort	Sentinel-2 (S2)			Planetscope (P)		(P-S2)	
			precision	recall	Visual	precision	recall	precision	recall
Mittelland / nördliche Alpen	Raebmatt (T)	37	19	9	47	65	10	5.0	45.8
	Werthenstein (V)	69	58	10	81	75	10	12.1	17.1
	Genf (T)	11	19	1	14	25	1	2.7	6.3
Mittelland urban	Luzern (T)								
	Meggen (V)								
nördliche Alpen	Walenstadt (T)	92	55	10	96	82	10	4.4	27.0
	Braunwald (T)	75	45	10	83	75	10	8.3	30.2
	St. Gingolph (V)	100	66	10	100	89	10	0.0	22.7
nördl. Alpen / nördl. Zwischenalpen ohne Buche	Amsteg (V)	98	58	10	99	83	10	1.2	25.0
	Klosters (T)	100	36	10	100	74	10	0.3	37.7
	Airolo (T)	91	49	10	94	74	10	2.7	24.7
südl. Zwischenalpen	Giornico (T)	83	25	10	92	40	10	9.1	14.8
	Gambarogno (V)	12	55	10	12	77	10	0.0	21.7
	Ossingen (T)	65	69	10	78	86	10	13.6	17.2
Mittelland	Marthalen (T)	22	35	10	35	65	10	13.6	30.6
	Rapperswil (V)	56	6	10	74	11	10		
	Jura (T)	91	24	10					
Jura	Chambrilien (T)	65	45	10	75	73	10	9.8	27.8
	Court (V)	55	35	10	72	68	10	17.0	33.8
							Durchschnitt	6.7	25.5

Trefferquote (precision) = Wie viele als **geschwächt** erkannte Bäume sind tatsächlich **geschwächt**?

➔ 65% (75% bei S2+P)

Genauigkeit (recall) = Wie viele der tatsächlich **geschwächten** Bäume wurden erkannt?

➔ 45% (73% bei S2+P)

S2+P Vitalitätsskarten durchgehend genauer

Visuelle Beurteilung zwischen NDVI, Vitalitätsskarten und Referenzdaten jedoch relativ gut

Relativ heterogene Waldstruktur, stufig mit vielen verschiedenen Baumarten, dennoch kann das Modell einigermassen gut geschwächte Bäume erkennen

- Fazit**
- ➔ Relativ gute Werte für Trefferquote und Genauigkeit, auch im Vergleich zwischen den Standorten
 - ➔ Die Drohnen-Referenzdaten sind ausreichend gute Grundlage, um das Modell auf diesen Standort zu trainieren
 - ➔ Die Drohnen-Referenzdaten zeigen den Zustand zum Zeitpunkt der Aufnahme, die Vitalitätsskarten stellen die Veränderung über einen Zeitabschnitt dar, es ist möglich, dass der Wald schon seit 2016 konstant im selben '**geschwächten**' Zustand ist
 - ➔ Integration von Baumartenerkennung und überarbeiten der Referenzdaten hat noch Potenzial die Genauigkeit der Vitalitätsskarte zu verbessern



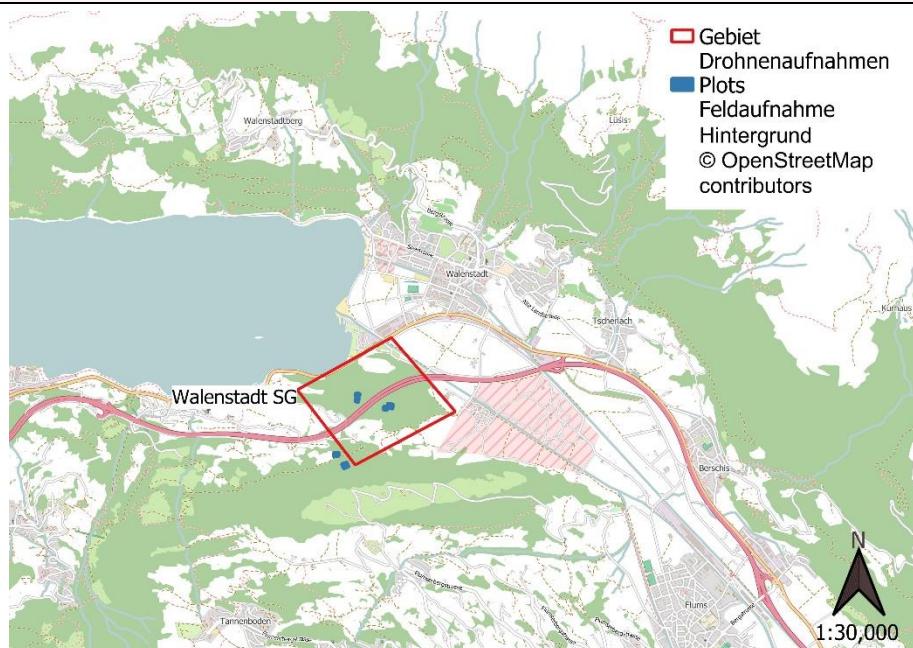
4.9 Kanton St. Gallen – Standort Walenstadt

Feldaufnahmen Walenstadt

Standorte

Räbmatt
(Training)

510 m bis 610 m
Ü.M.
Exposition: alle



Drohnenflüge

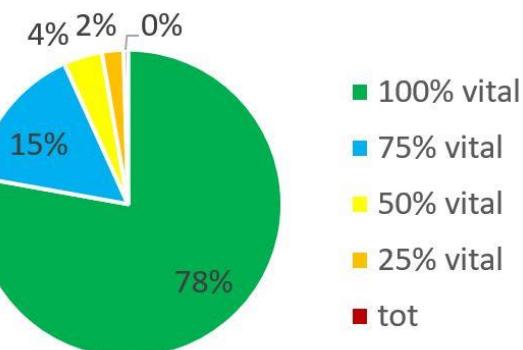
- Geflogene Fläche: 100 ha
- Flugdatum: 01.Sept. 2020
- 10 cm räumliche Auflösung
- 5 Kanäle: R-G-B-Red Edge-NIR

- 51 a 'gesund',
73 a 'ungesund'
- Aufnahmedatum:
14., 16., 17., &
21. Sept. 2020

Kronenmortalität Walenstadt

26% 74%

■ nicht beurteilbar ■ beurteilt



Feldaufnahmen

- Buchendominierte und wenig Fichten dominierte Flächen
- Eine Fläche beinhaltet grosses Käfernests
- Bäume zeigen Anzeichen von Trockenstress, einige Ulmenwelke vorhanden

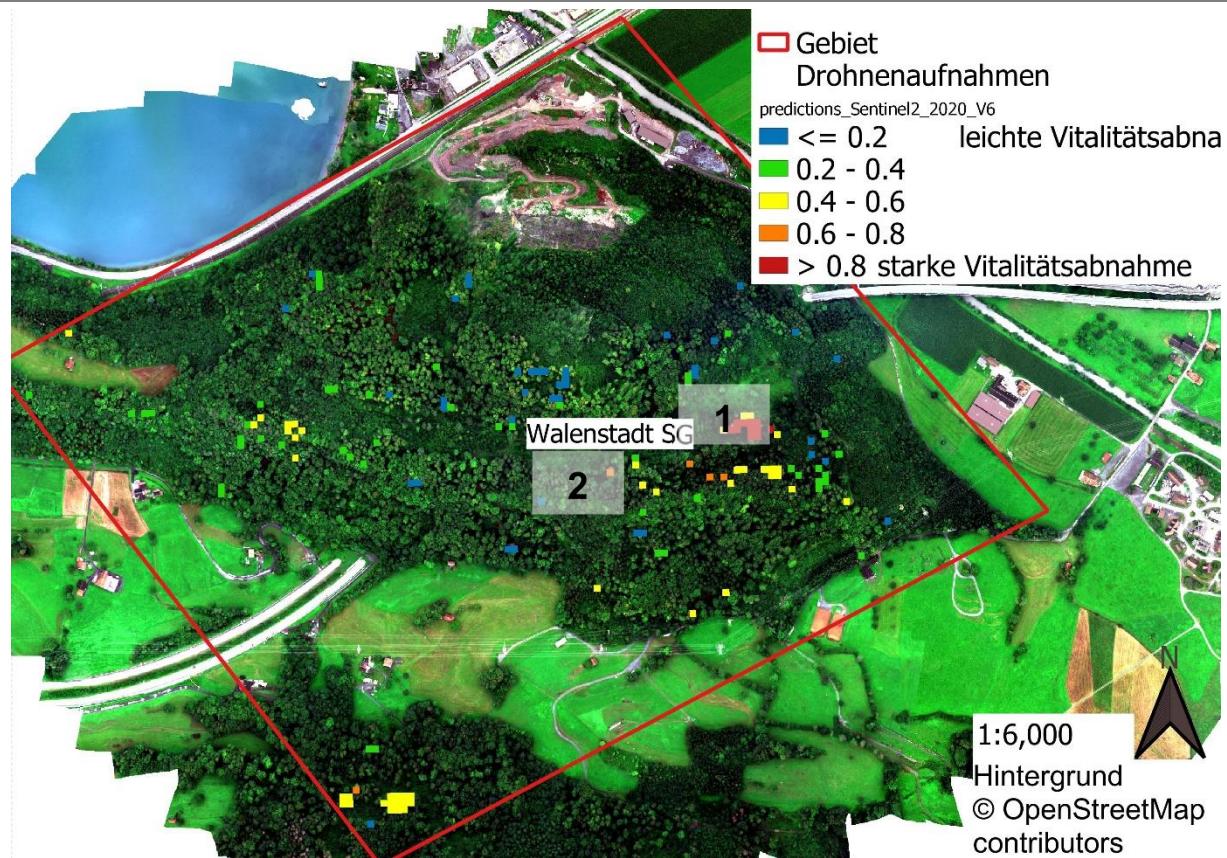
→ Trockenheit bei Buche könnte problematisch werden,
Borkenkäfer bei Fichte, ansonsten sehr vitale Fläche

Kommentare

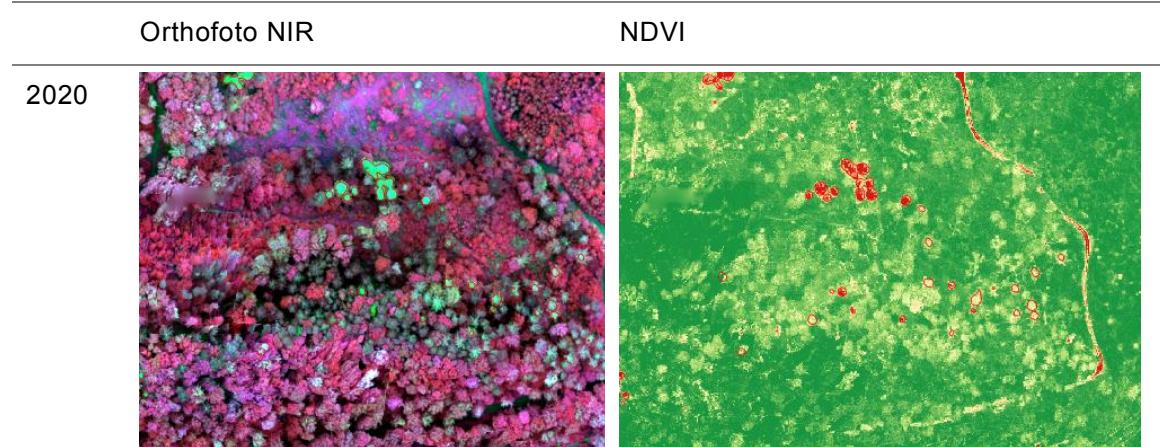
Ergebnisse Modellierung Walenstadt

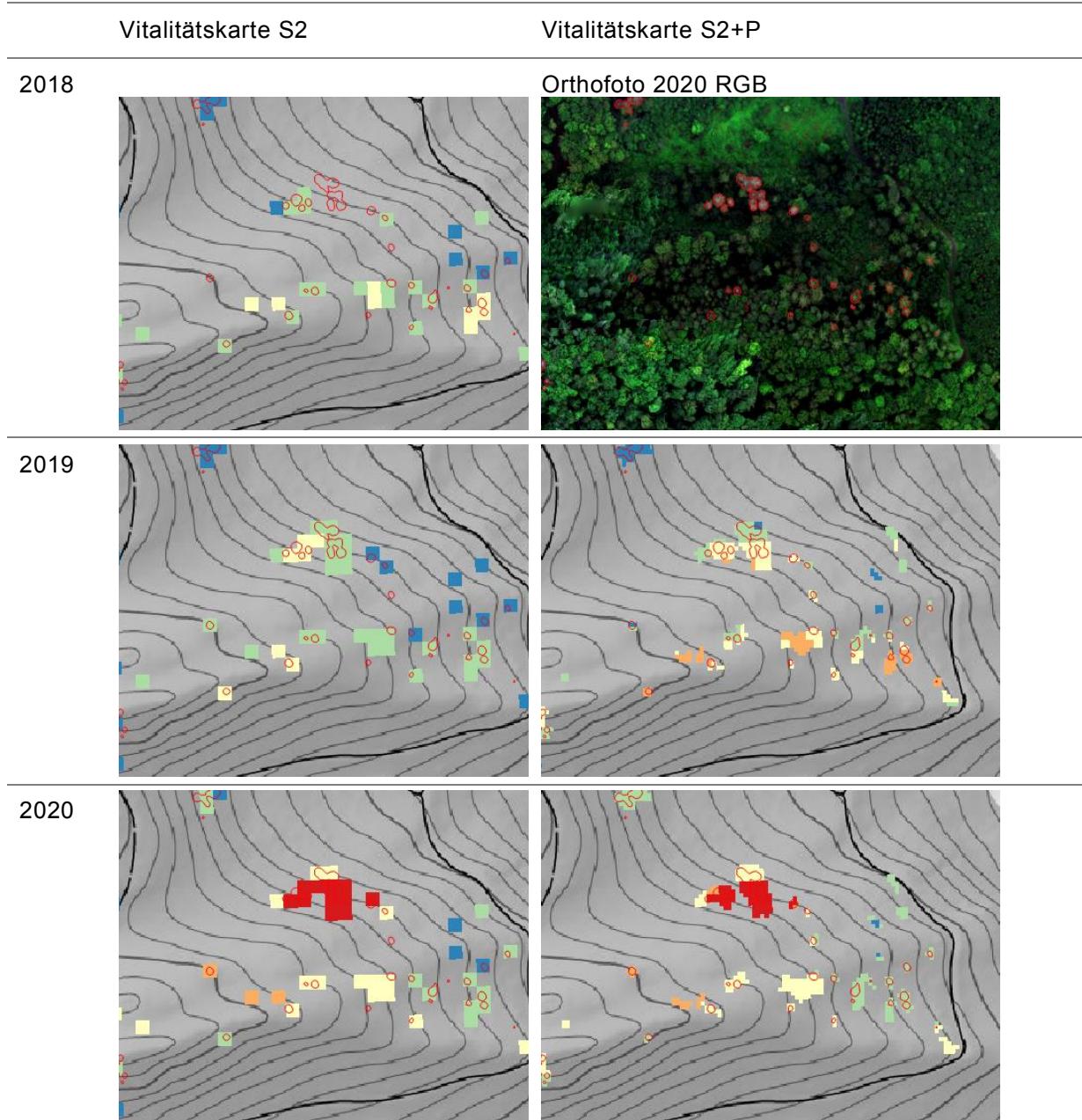
Vorhandene Karten	Jährliche S2 Vitalitätskarten 2018-2020, jährliche S2+P Karten 2019-2020 Räumliche Auflösung 20 m x 20 m und 3 m x 3 m Bestehendes Modell trainiert mit Schweizer Drohnen-Referenzdaten, angewendet auf S2 und P Satellitendaten
-------------------	--

Übersicht S2 Vitalitätskarte 2020



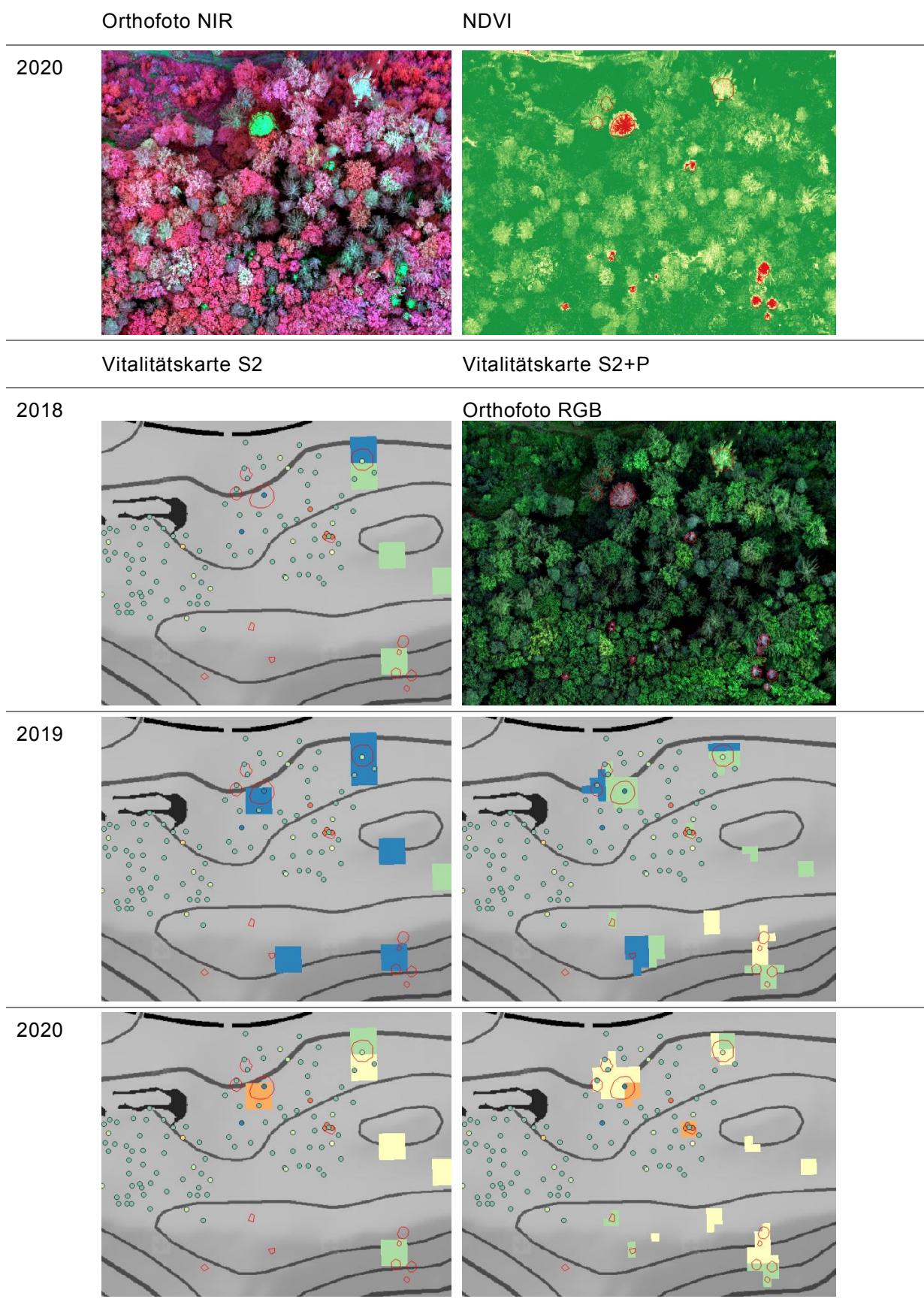
Ausschnitt 1: Koordinaten 2741822 / 1219665 (Fläche 1 in Übersichtskarte)



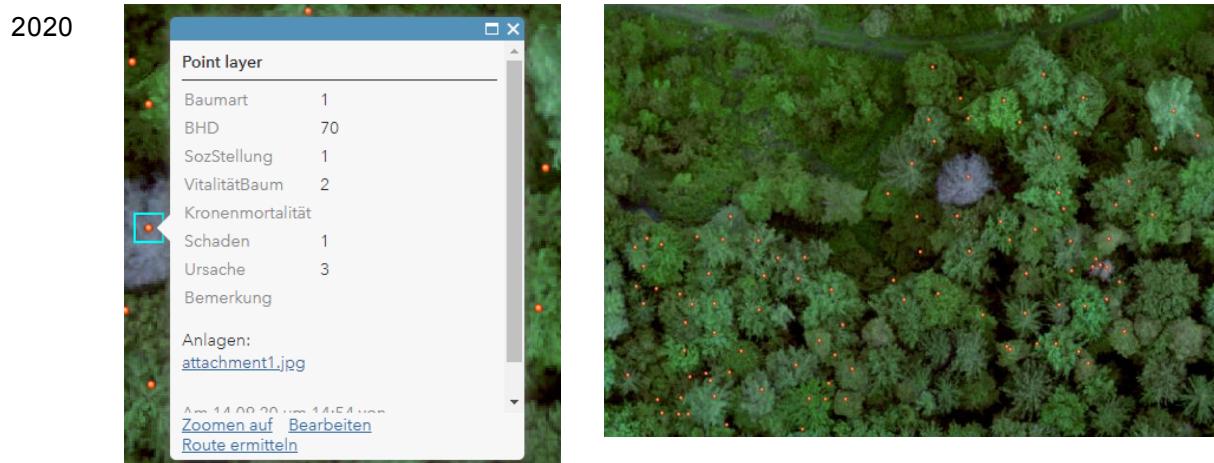


- S2 und P zeigen dieselben Resultate: ähnliche Flächen und Intensitäten der Vitalitätsreduktion.
- Die 2020 stark geschwächten Bäume (rote Flächen in Bildmitte) werden in S2 2018, S2 2019 und P 2019 vorhergezeigt. Die geschwächten Bäume rechts unten im Bild sind bei S2 2020 und P 2020 mit einer mittleren Vitalitätsreduktion angezeigt. P 2019 zeigt eine sogar stärkere Vitalitätsreduktion als in P 2020 (orange resp. grün).

Ausschnitt 2: Koordinaten 2741606 / 1219592 (Fläche 2 in Übersichtskarte)

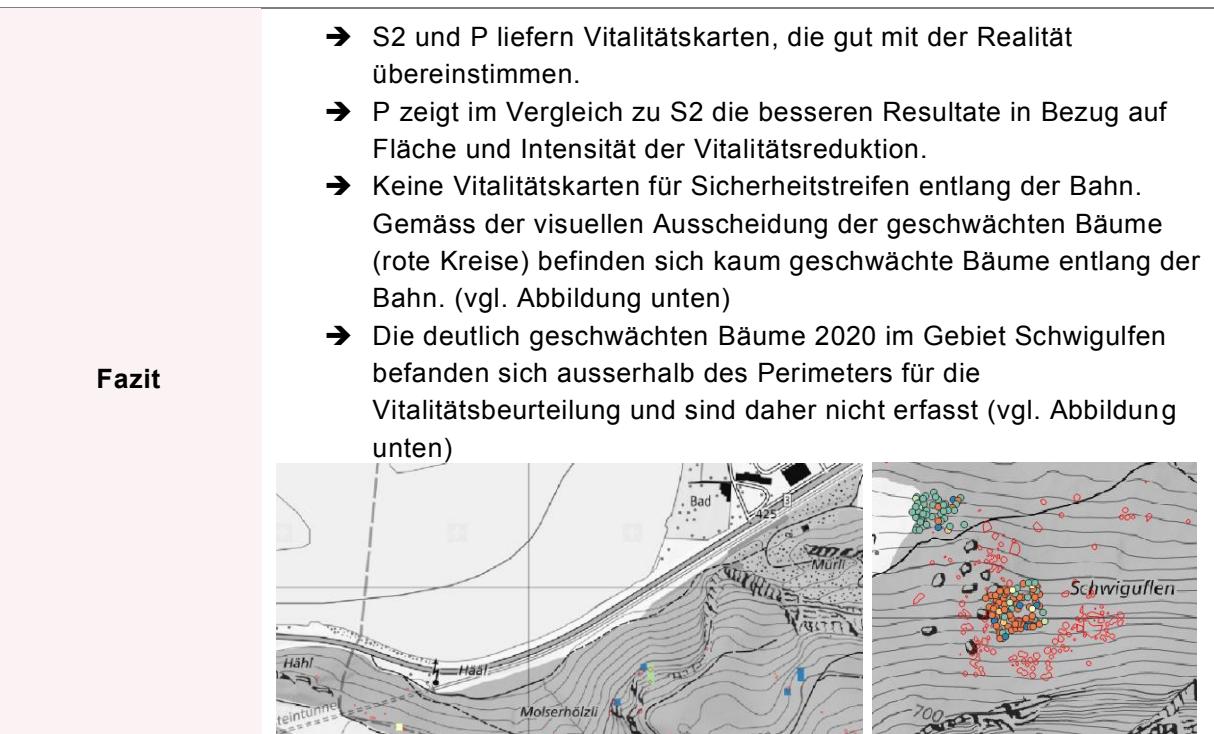


Eindruck Feldaufnahmen



- P zeigt für diesen Waldbestand mehr Flächen mit Vitalitätsreduktion als S2 an. P zeigt die geschwächten Bäume auf Basis der visuellen Beurteilung der geschwächten Bäume (rote Kreise) sehr gut an.
- S2 2019 und P 2019 erkennen den 2020 beurteilten toten Baum (in links oberem Bildausschnitt).
- P 2020 erkennt die zwei 2020 geschwächten Bäume in der Bildmitte, S2 2020 jedoch nicht. P 2019 zeigt eine Vitalitätsreduktion bereits 2019 an.

- S2 und P liefern Vitalitätskarten, die gut mit der Realität übereinstimmen.
- P zeigt im Vergleich zu S2 die besseren Resultate in Bezug auf Fläche und Intensität der Vitalitätsreduktion.
- Keine Vitalitätskarten für Sicherheitstreifen entlang der Bahn. Gemäss der visuellen Ausscheidung der geschwächten Bäume (rote Kreise) befinden sich kaum geschwächte Bäume entlang der Bahn. (vgl. Abbildung unten)
- Die deutlich geschwächten Bäume 2020 im Gebiet Schwigullen befanden sich ausserhalb des Perimeters für die Vitalitätsbeurteilung und sind daher nicht erfasst (vgl. Abbildung unten)



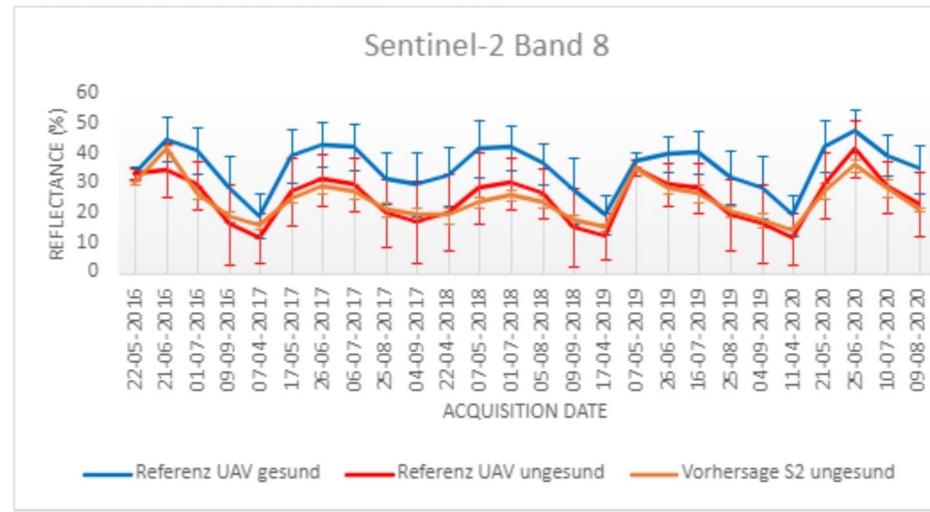
Datenanalyse und Evaluation Walenstadt

Methode	Zeitreihe:
	Kontrolle der Referenzdaten aus den Drohnenbildern anhand der spektralen Signatur über die Zeit in Satellitenbildern, Vergleich mit den Vitalitätskarten
	Evaluation des Modells (Genauigkeitsanalyse)

Vergleich Klassifizierung Drohne – Vitalitätskarte S2

Reflektanzwerte der Sentinel-2 Bilder

Zeitreihe



- Deutlicher Unterschied in der spektralen Signatur der UAV-Klassen 'gesund' und 'ungesund' im Satellitenbild, die 'geschwächten' Vitalitätswerte sind von den gesunden Bäumen ebenfalls deutlich verschieden und deckt sich mit den 'ungesunden' Bäumen
- Saisonalität der Photosynthese gut erkennbar, Winter 2017/18 nur wenig verringerte Photosynthese
- Keine längerfristigen Trends der spektralen Signatur innerhalb einer Klasse zwischen 2016 und 2020 erkennbar, weder in den Drohnen-Referenzdaten noch in der Vitalitätskarte
- ➔ Sehr gute Qualität der Drohnen-Referenzdaten, ideale Voraussetzungen, um das Modell zu trainieren

Evaluation Genauigkeits- analyse		Berechnung von Trefferquote (precision) und Genauigkeit (recall) der im Modell berechneten Werte							
Forstregionen	Standort	Sentinel-2 (S2)			Planetscope (P)			(P-S2)	
		precision	recall	Visual	precision	recall	Visual	precision	recall
Mittelland / nördliche Alpen	Raebmatt (T)	37	19		47	65		5.0	45.8
	Werthenstein (V)	69	58		81	75		12.1	17.1
	Genf (T)	11	19		14	25		2.7	6.3
Mittelland urban	Luzern (T)								
	Meaggen (V)								
	Walenstadt (T)	92	55		96	82		4.4	27.0
nördliche Alpen	Braunwald (T)	75	45		83	75		8.3	30.2
	St. Gingolph (V)	100	66		100	89		0.0	22.7
	Amsteg (V)	98	58		99	83		1.2	25.0
nördl. Alpen / nördl. Zwischenalpen ohne Buche	Klosters (T)	100	36		100	74		0.3	37.7
	Airolo (T)	91	49		94	74		2.7	24.7
	Giornico (T)	83	25		92	40		9.1	14.8
südl. Zwischenalpen	Gasbarogno (V)	12	55		12	77		0.0	21.7
	Ossingen (T)	65	69		78	86		13.6	17.2
	Marthalen (T)	22	35		35	65		13.6	30.6
Mittelland	Rupperswil (V)	56	6		74	11			
	Jura (T)	91	24						
	Chambrilien (T)	65	45		75	73		9.8	27.8
Jura	Court (V)	55	35		72	68		17.0	33.8
							Durchschnitt	6.7	25.5

Trefferquote (precision) = Wie viele als **geschwächt** erkannte Bäume sind tatsächlich **geschwächt**?

→ 92% (96% bei S2+P)

Genauigkeit (recall) = Wie viele der tatsächlich **geschwächten** Bäume wurden erkannt?

→ 55% (82% bei S2+P)

Sehr gute Werte im Vergleich aller Standorte

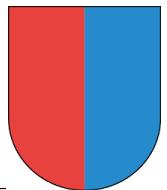
Visuelle Beurteilung zwischen NDVI, Vitalitätskarten und Referenzdaten ebenfalls relativ gut

→ Genauigkeitsanalyse liefert zufriedenstellende Beurteilung der Vitalitätskarte

Eher homogene Waldstruktur, mehrheitlich Fichte mit geklumpt auftretenden toten Bäumen. Hohe Qualität der Drohnen-Referenzdaten spiegelt sich in den sehr zuverlässigen Vitalitätskarten wider

Fazit

- Gute Werte für Trefferquote und Genauigkeit, auch im Vergleich zwischen den Standorten, Das Modell ist für homogene Laubmischwälder mit Fichtengruppen und vereinzelt Tannen und Föhren sehr geeignet
- Die Drohnen-Referenzdaten sind eine gute Grundlage, um das Modell auf diesen Standort zu trainieren



4.10 Kanton Tessin – Standorte Airolo, Gambarogno, Giornico

Feldaufnahmen Airolo

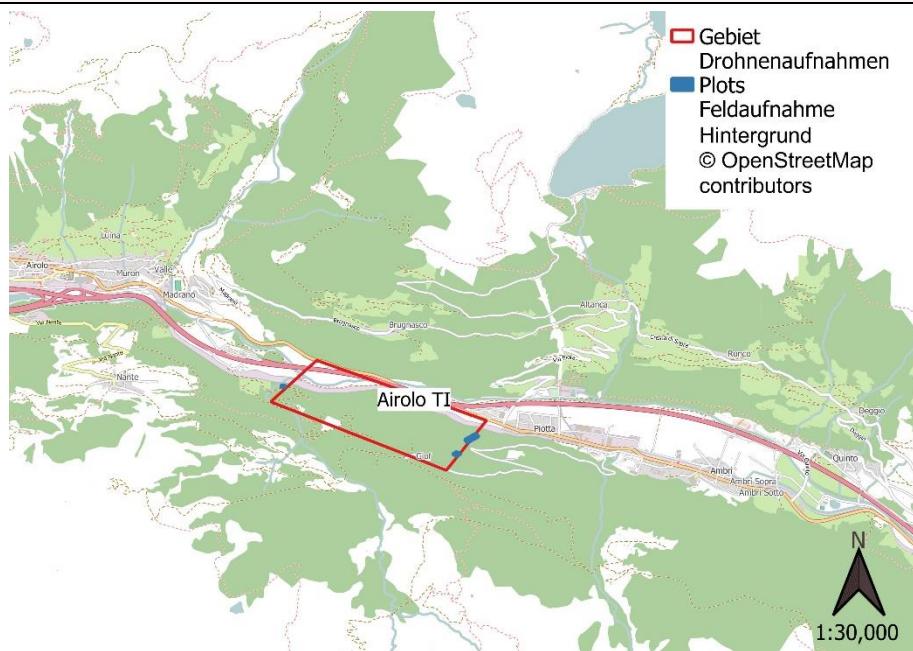
Standorte

Airolo (Training)

1060 m bis

1400 m ü.M.

Exposition: N



Drohnenflüge

- Geflogene Fläche: 102 ha
- Flugdatum: 14.Sept. 2020
- 10 cm räumliche Auflösung
- 5 Kanäle: R-G-B-Red Edge-NIR

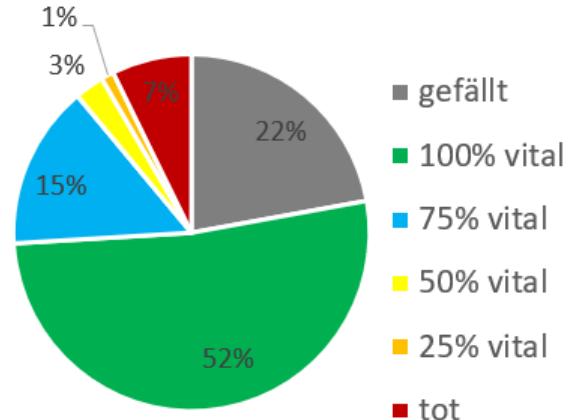
- 22 a 'gesund',
60 a 'ungesund'
55 ha 'Holzschlag'
- Aufnahmedatum:
22. Sept. 2020

Kronenmortalität Airolo



Feldaufnahmen

Airolo



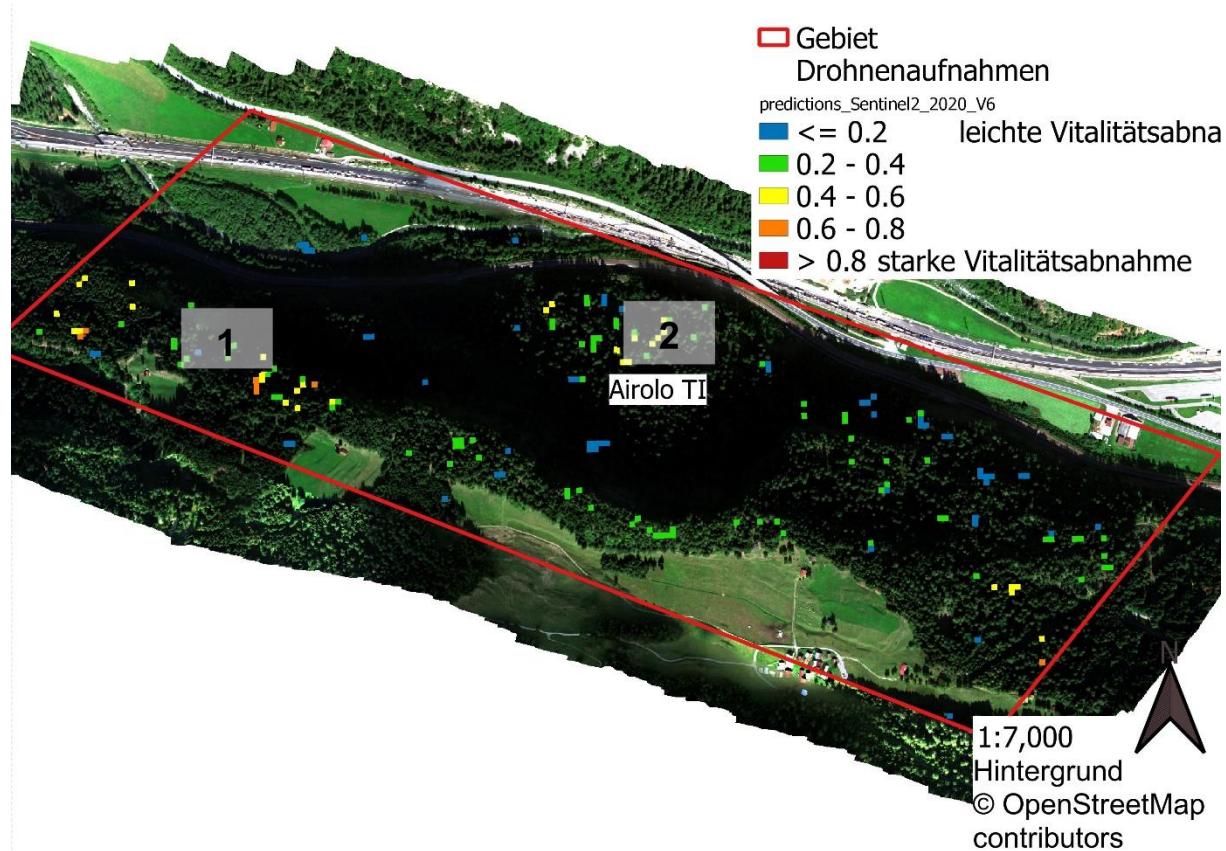
Kommentare

- Praktisch ausschliesslich Fichte mit mindestens Baumholz II
- Einige Borkenkäfernester
- Mehrheitlich jedoch gesund
- Eine Fläche mit sehr viel Harzfluss an den Stämmen
→ Borkenkäfer und Überalterung kann zum Problem werden

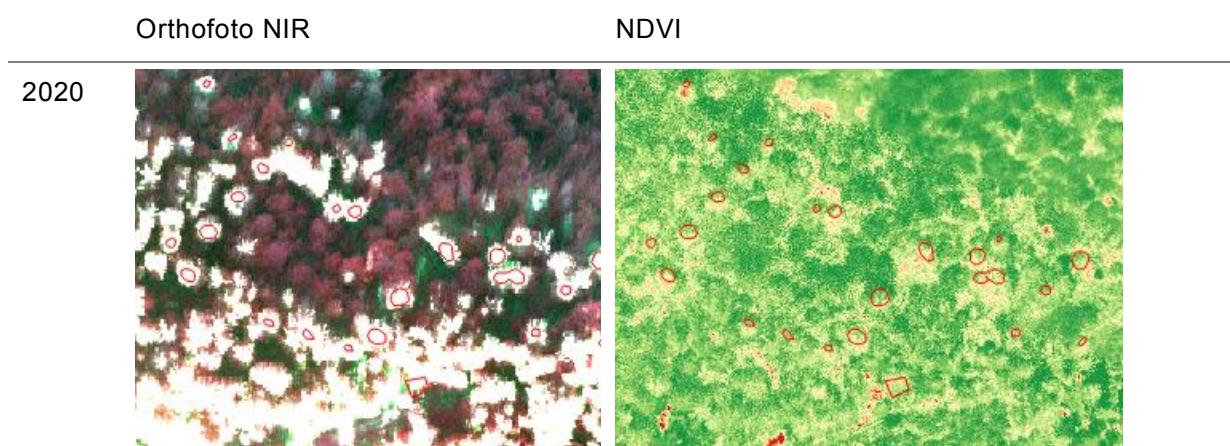
Ergebnisse Modellierung Airolo

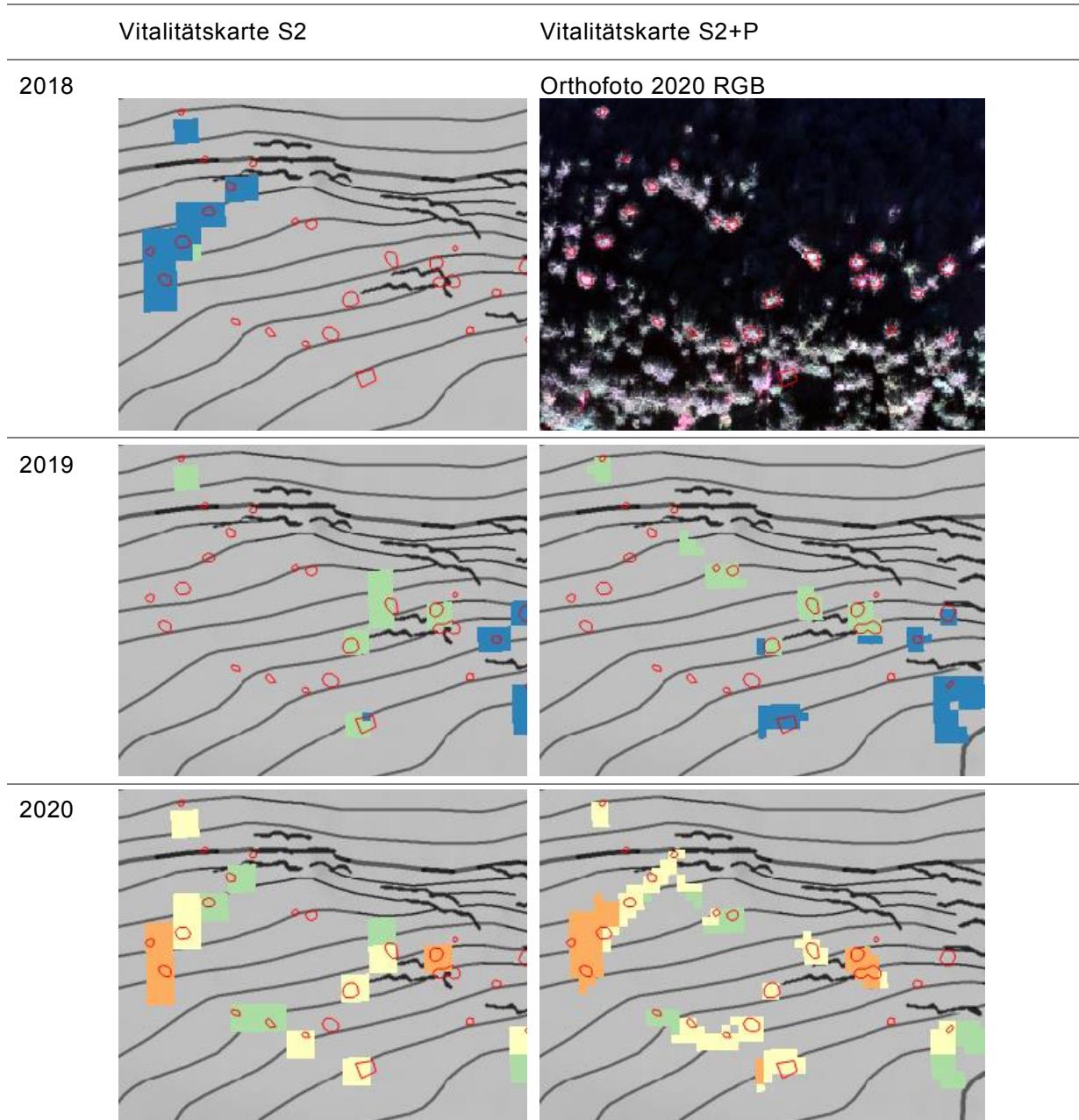
Vorhandene Karten	Jährliche S2 Vitalitätskarten 2018-2020, jährliche S2+P Karten 2019-2020 Räumliche Auflösung 20 m x 20 m und 3 m x 3 m Bestehendes Modell trainiert mit Schweizer Drohnen-Referenzdaten, angewendet auf S2 und P Satellitendaten
-------------------	--

Übersicht S2 Vitalitätskarte 2020



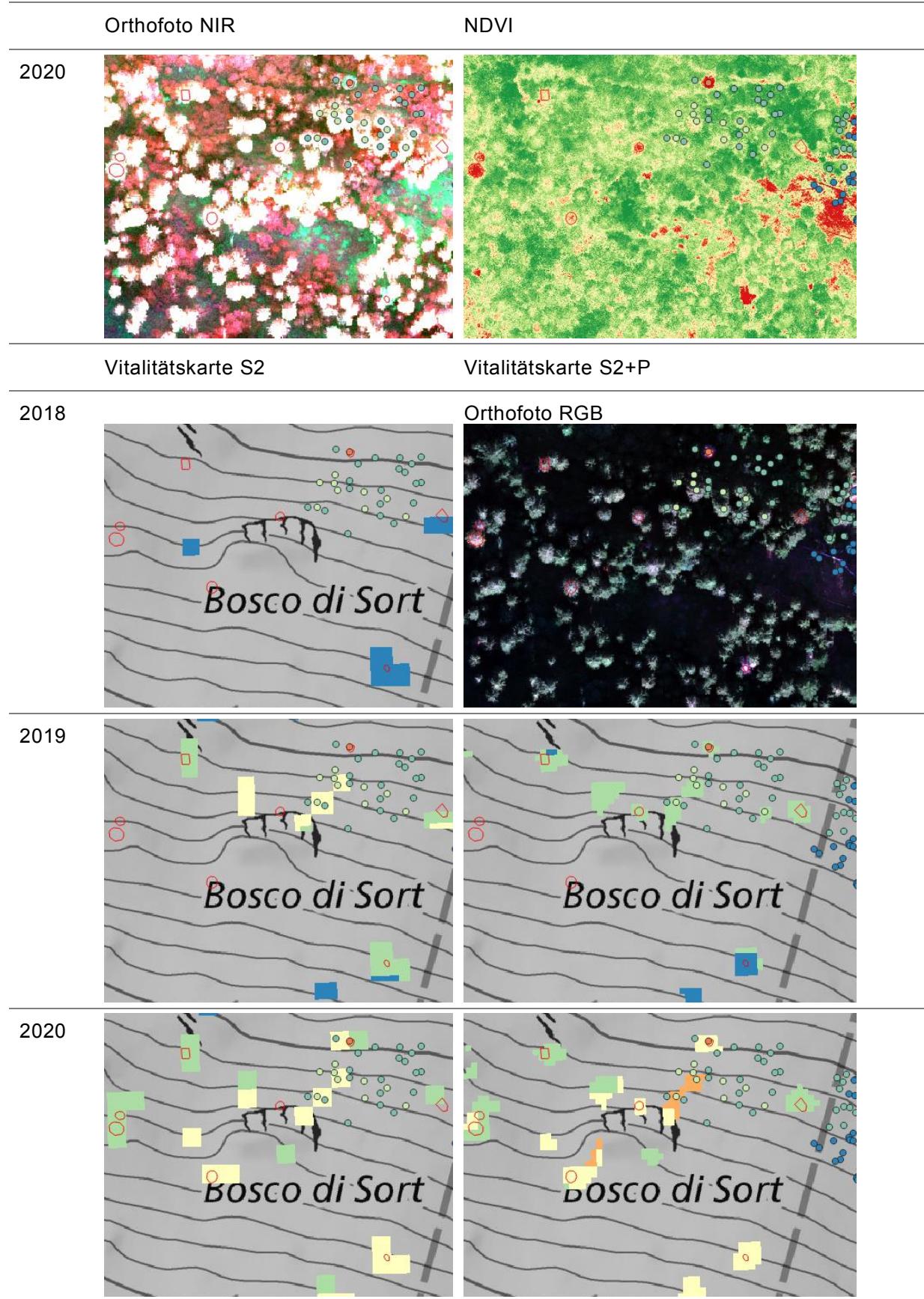
Ausschnitt 1: Koordinaten 2692550 / 1152348 (Fläche 1 in Übersichtskarte)





- S2 und P zeigen ähnliche Resultate wie die visuelle Beurteilung (rote Kreise), wobei P mehr Flächen mit Vitalitätsreduktion jedoch auch nicht alle Bäume gemäss visueller Beurteilung anzeigt.
- Die 2020 geschwächten Bäume im links oberen Bildausschnitt zeigten 2019 keine Vitalitätsreduktion. Gemäss S2 2018 fand bereits 2018 eine leichte Vitalitätsreduktion.
- Für die geschwächten Bäume 2020 in der rechten Bildhälfte zeigen S2 2019 und P 2019 leichte Vitalitätsreduktionen an.
- Gemäss Luftbildern handelt es sich mehrheitlich um Nadelbäume. Es gibt seitens Projektteam keine Erklärung, warum gewissen Bäume 2019 vorhergesagt resp. nicht vorhergesagt wurden.

Ausschnitt 2: Koordinaten 2681283 / 1219725 (Fläche 2 in Übersichtskarte)



- S2 und P zeigen ähnliche Resultate, wobei P eher stärkere Intensität in der Vitalitätsreduktion aufzeigt. Die geschwächten

Bäume gemäss visueller Beurteilung (rote Kreise) werden 2020 von S2 und P angezeigt.

- P 2019 hat im Gegensatz zu S2 2019 den gemäss Felderhebung 2020 geschwächten Baum erkannt (oben rechts).
- Die entfernten Bäume (blaue Kreise ganz rechts) werden nicht angezeigt, da vermutlich die Bäume vor 2018 gefällt wurden.

Fazit

- ➔ P zeigt bessere Resultate als S2 und identifiziert mehr geschwächte Bäume, die gemäss visueller Beurteilung als geschwächt identifiziert wurden. Es werden jedoch nicht alle als geschwächt identifizierte Bäume der visuellen Beurteilung (rote Flächen) in den Vitalitätskarten von P und S2 angezeigt.
- ➔ Im Vergleich zu anderen mehrheitlich nadelholzdominierten Standorten sind die Ergebnisse etwas schlechter. Das mag an der schlechten Auflösung des RGB/NIR-Bildes hängen.

Datenanalyse und Evaluation Airolo

Zeitreihe:

Methode

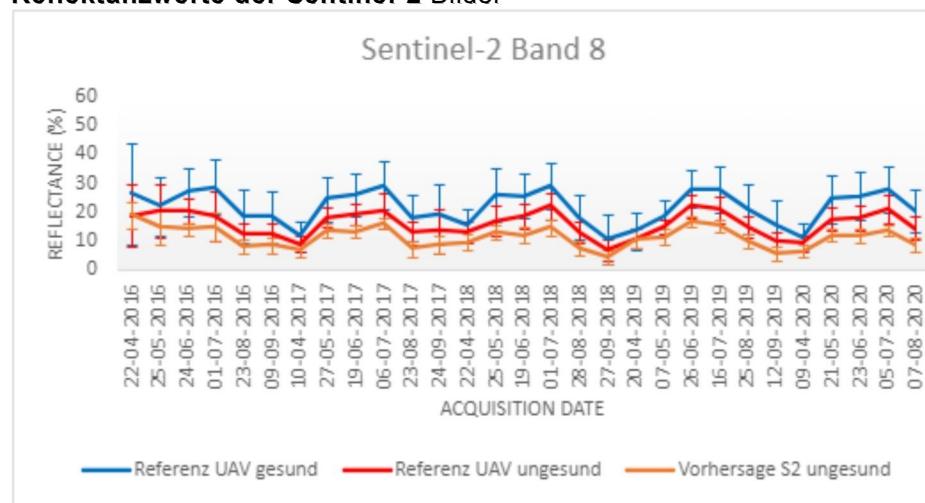
Kontrolle der Referenzdaten aus den Drohnenbildern anhand der spektralen Signatur über die Zeit in Satellitenbildern, Vergleich mit den Vitalitätskarten

Evaluation des Modells (Genauigkeitsanalyse)

Vergleich **Klassifizierung Drohne – Vitalitätskarte S2**

Reflektanzwerte der Sentinel-2 Bilder

Zeitreihe



- Die spektrale Signatur der UAV-Klassen 'gesund' und 'ungesund' im Satellitenbild sind gut unterscheidbar, die 'geschwächte' Vitalitätskarte erkennt sogar Bäume mit noch geringerer spektraler Signatur was auf ein gutes Ergebnis der Modellierung schliessen lässt
- Saisonalität der Photosynthese gut erkennbar, Winter 2018 nur wenig verringerte Photosynthese
- Keine längerfristigen Trends der spektralen Signatur innerhalb einer Klasse zwischen 2016 und 2020 erkennbar, weder in der Drohnen-Klassifizierung noch in der Vitalitätskarte
- ➔ Sehr gute Voraussetzung für die Modellierung

Evaluation Genauigkeits- analyse		Berechnung von Trefferquote (precision) und Genauigkeit (recall) der im Modell berechneten Werte							
Forstregionen	Standort	Sentinel-2 (S2)			Planetscope (P)			(P-S2)	
		precision	recall	Visual	precision	recall	Visual	precision	recall
Mittelland / nördliche Alpen	Raebmatt (T)	37	19	19	47	65	65	5.0	45.8
	Werthenstein (V)	69	58	58	81	75	75	12.1	17.1
	Genf (T)	11	19	19	14	25	25	2.7	6.3
Mittelland urban	Luzern (T)								
	Meggen (V)								
	Walenstadt (T)	92	55	55	96	82	82	4.4	27.0
nördliche Alpen	Braunwald (T)	75	45	45	83	75	75	8.3	30.2
	St. Gingolph (V)	100	66	66	100	89	89	0.0	22.7
	Amsteg (V)	98	58	58	99	83	83	1.2	25.0
nördl. Alpen / nördl. Zwischenalpen ohne Buche	Klosters (T)	100	36	36	100	74	74	0.3	37.7
	Airolo (T)	91	49	49	94	74	74	2.7	24.7
	Giornico (T)	83	25	25	92	40	40	9.1	14.8
südl. Zwischenalpen	Gambarogno (V)	12	55	55	12	77	77	0.0	21.7
	Ossingen (T)	65	69	69	78	86	86	13.6	17.2
	Marthalen (T)	22	35	35	35	65	65	13.6	30.6
Mittelland	Rapperswil (V)	56	6	6	74	11	11		
	Jura (T)	91	24	24					
	Chambrilien (T)	65	45	45	75	73	73	9.8	27.8
Jura	Court (V)	55	35	35	72	68	68	17.0	33.8
								Durchschnitt	6.7
									25.5

Trefferquote (precision) = Wie viele als **geschwächt** erkannte Bäume sind tatsächlich **geschwächt**?

→ 91% (94% bei S2+P)

Genauigkeit (recall) = Wie viele der tatsächlich **geschwächten** Bäume wurden erkannt?

→ 49% (74% bei S2+P)

Sehr gute Werte auch im Vergleich aller Standorte

Visuelle Beurteilung zwischen NDVI, Vitalitätskarten und Referenzdaten ist relativ gut

→ Genauigkeitsanalyse ist ein Vergleich zwischen UAV-Referenz und Vitalitätskarte, in der Drohnen-Referenz sind jedoch einige Kahlschläge enthalten, die den direkten Vergleich schwierig machen

Grundsätzlich besitzt Airolo eine relativ homogene, nadelholzdominierte Waldstruktur, was es dem Modell einfacher macht die Vitalitätskarten zu berechnen

- Sehr gute Werte für Trefferquote und Genauigkeit, auch im Vergleich zwischen den Standorten
- Die Drohnen-Referenzdaten sind eine gute Grundlage, um das Modell auf diesen Standort zu trainieren
- Die Drohnen-Referenzdaten zeigen den Zustand zum Zeitpunkt der Aufnahme, die Vitalitätskarten stellen die Veränderung über einen Zeitabschnitt dar, es ist möglich, dass der Wald schon seit 2016 konstant im selben '**geschwächten**' Zustand ist
- Integration von Baumartenerkennung und überarbeiten der Referenzdaten hat Potenzial die Genauigkeit der Vitalitätskarte zu verbessern

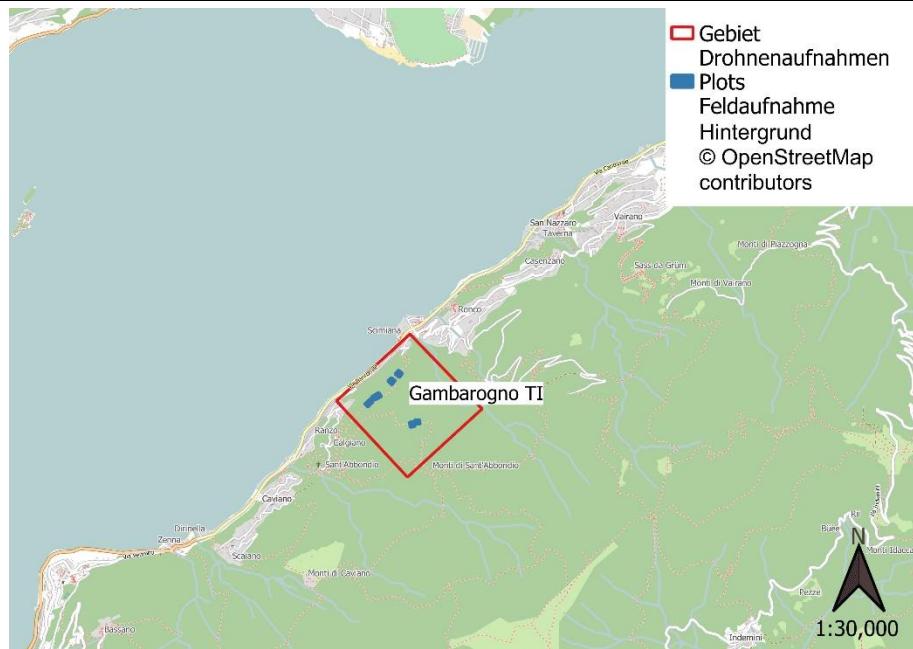
Fazit

Feldaufnahmen Gambarogno

Standorte

Gambarogno
(Training)

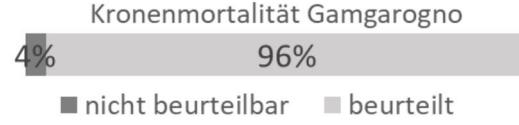
430 m bis 780 m
ü.M.
Exposition: NW



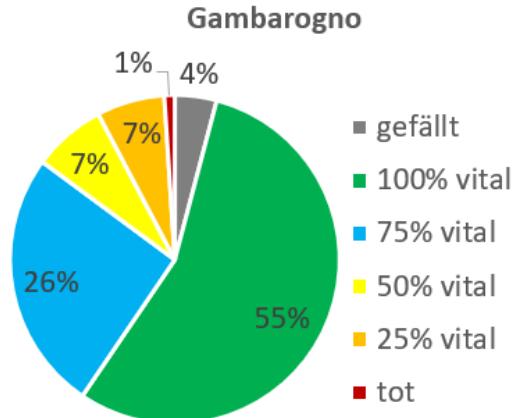
Drohnenflüge

- Geflogene Fläche: 100 ha
- Flugdatum: 14.Sept. 2020
- 10 cm räumliche Auflösung
- 5 Kanäle: R-G-B-Red Edge-NIR

- 86 a 'gesund',
83 a 'ungesund'
- Aufnahmedatum: 25.-
26. Sept. 2020



Feldaufnahmen



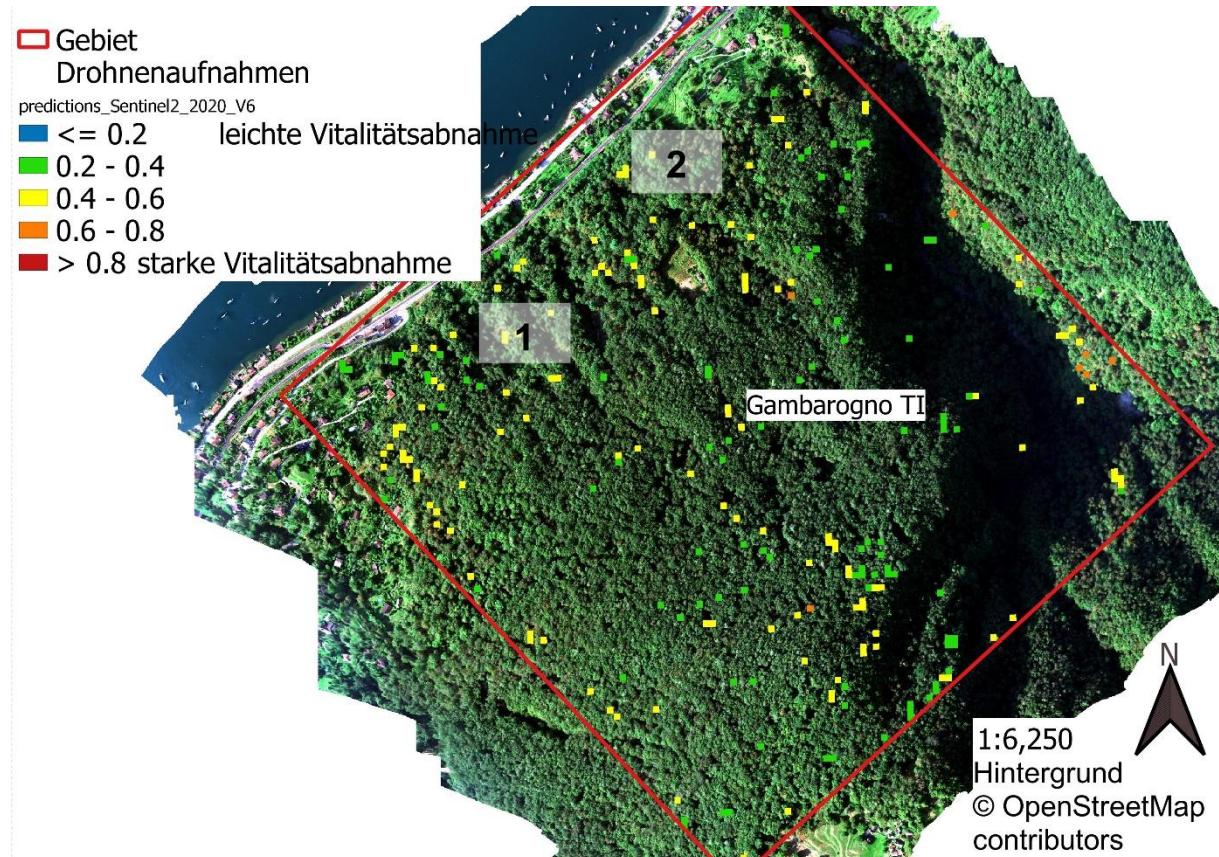
Kommentare

- Laubmischwald, viele kranke Kastanien
- Offene Stellen am Stamm weit verbreitet
→ Viele Kastanienstockausschläge mit teils dünnen Kronenpartien oder dünnen Stockausschlägen

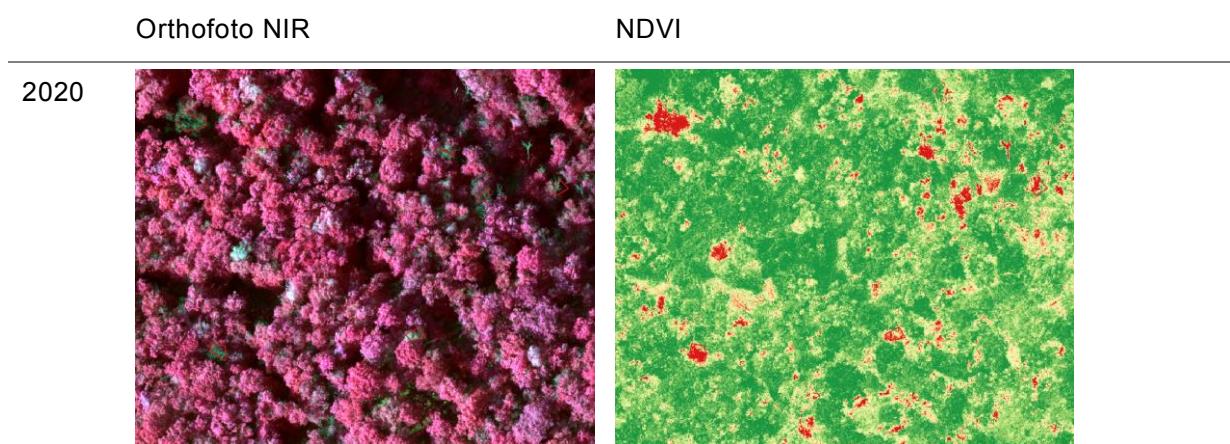
Ergebnisse Modellierung Gambarogno

Vorhandene Karten	Jährliche S2 Vitalitätskarten 2018-2020, jährliche S2+P Karten 2019-2020 Räumliche Auflösung 20 m x 20 m und 3 m x 3 m Bestehendes Modell trainiert mit Schweizer Drohnen-Referenzdaten, angewendet auf S2 und P Satellitendaten
-------------------	--

Übersicht S2 Vitalitätskarte 2020

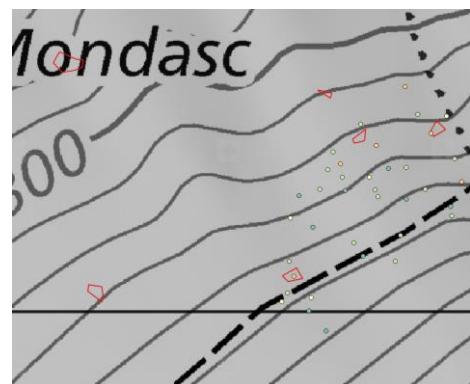


Ausschnitt 1: Koordinaten 2703569 / 1108050 (Fläche 1 in Übersichtskarte)



Vitalitätskarte S2

2018

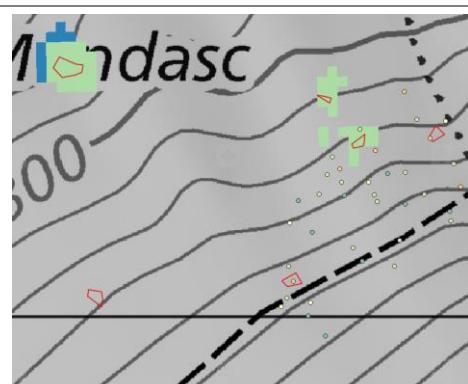
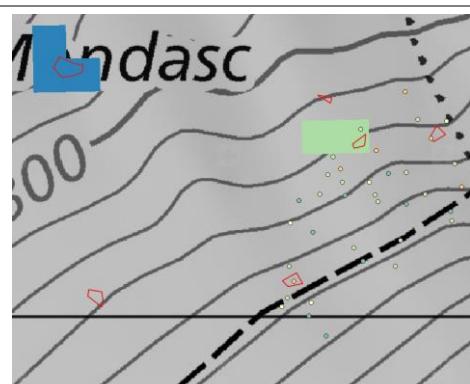


Vitalitätskarte S2+P

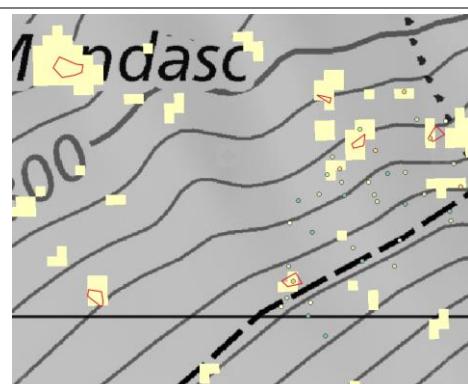
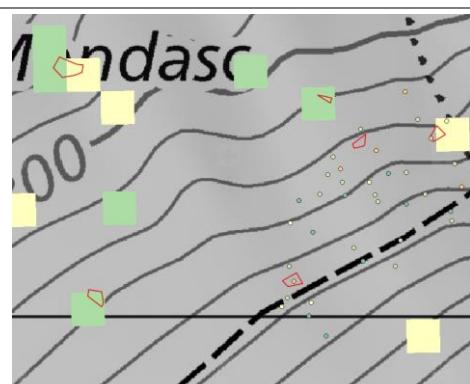
Orthofoto 2020 RGB



2019

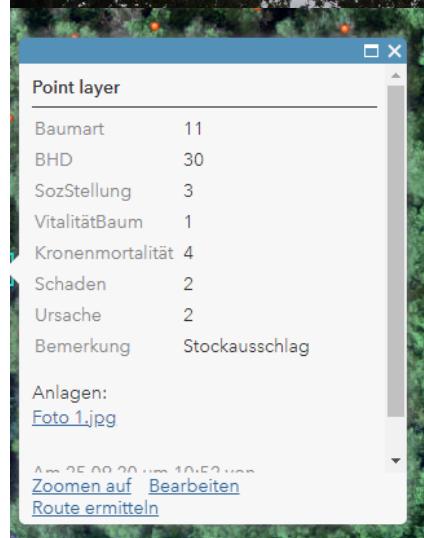
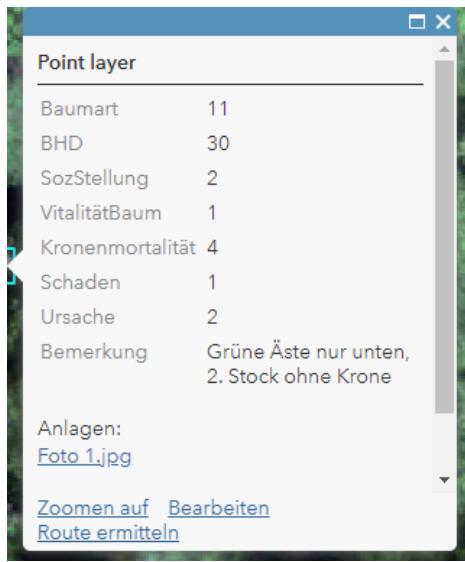


2020



Eindrücke Feldaufnahmen

2020



-
- Die Vitalitätskarten von P stimmen mit der visuellen Beurteilung 2020 (rote Polygone) leicht besser überein als für S2. P zeigt generell mehr geschwächte Bäume (rote Polygone) und eine stärkere Intensität der Vitalitätsreduktion an. Im Vergleich zur Felderhebung gibt es Bäume (orange Punkte), die in den Vitalitätskarten nicht angezeigt werden. Möglicher Grund ist, dass die Kronen jeweils halb belaubt, halb abgestorben sind.
 - S2 2018 zeigt keine Vitalitätsreduktion an. 2019 gibt es wenige Flächen mit einer leichten Vitalitätsreduktion.
-

Ausschnitt 2: Koordinaten 2703810 / 1108415 (Fläche 2 in Übersichtskarte)

	Orthofoto NIR	NDVI
2020		
	Vitalitätskarte S2	Vitalitätskarte S2+P
2018		
2019		
2020		

- Die Vitalitätskarte von P 2020 zeigt mehr Flächen mit stärkerer Vitalitätsreduktion an als S2 2020. Dies ohne dass eine visuelle
-

Beurteilung (rote Polygone) das korrekte Trainieren des Modells ermöglichte. Die grosse orange Fläche zeigt gemäss RGB und NIR einen geschwächten Baum.

- Es gibt keine Vitalitätskarte für S2 2018 und S2 2019.
- Die identifizierten Flächen liegen in einem Puffer von 60 m entlang der Bahn.

Fazit

- ➔ Die Vitalitätskarte von P zeigen bessere Resultate im Vergleich zu S2 basierend auf der visuellen Beurteilung (rote Polygone) und der Felderhebung.
- ➔ 2018 und 2019 gibt es kaum Vitalitätswerte.
- ➔ Der Kastanien-Laubholzwald weist viele Kastanien mit Kronen oder Stockausschlägen auf, die dürr sind. Der untere Kronenteil ist meist vital, der obere abgestorben oder wenig belaubt. So wie bei den Stockausschlägen, je nach Situation, zwei von fünf Stockausschlägen mehrheitlich dürr sind. Das mag erklären, warum kaum die stärkste Vitalitätsreduktion (rot) angezeigt wurde und die Ergebnisse nur teilweise stimmen.

Datenanalyse und Evaluation Gambarogno

Zeitreihe:

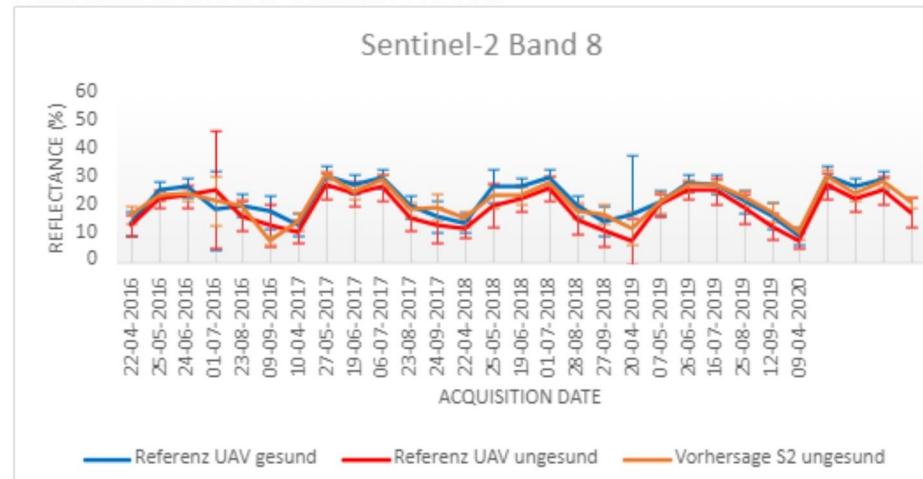
Methode

Kontrolle der Referenzdaten aus den Drohnenbildern anhand der spektralen Signatur über die Zeit in Satellitenbildern, Vergleich mit den Vitalitätskarten
Evaluation des Modells (Genauigkeitsanalyse)

Vergleich **Klassifizierung Drohne – Vitalitätskarte S2**

Reflektanzwerte der Sentinel-2 Bilder

Zeitreihe



- Kein Unterschied in der spektralen Signatur der UAV-Klassen ‘gesund’ und ‘ungesund’ im Satellitenbild, genauso wenig zu den ‘geschwächten’ Vitalitätswerten
- Saisonalität der Photosynthese gut erkennbar, Winter 2018 weniger verringerte Photosynthese, leichte Einbrüche in den Sommern 2017 und 2018

- Keine längerfristigen Trends der spektralen Signatur innerhalb einer Klasse zwischen 2016 und 2020 erkennbar, weder in der Drohnen-Klassifizierung noch in der Vitalitätskarte
- ➔ Sehr schlechte Voraussetzungen für die Modellierung, kein Unterschied in den Drohnen-Referenzdaten, sowie eine schwierig zu beurteilende Waldstruktur

Evaluation Genauigkeits- analyse	Berechnung von Trefferquote (precision) und Genauigkeit (recall) der im Modell berechneten Werte								
	Forstregionen	Standort	Sentinel-2 (S2)			Planetscope (P)		(P-S2)	
			precision	recall	Visual	precision	recall	precision	recall
Mittelland / nördliche Alpen	Raebmatt (T)	37	19	9	47	65	9	5.0	45.8
	Werthenstein (V)	69	58	9	81	75	9	12.1	17.1
	Genf (T)	11	19	9	14	25	9	2.7	6.3
Mittelland urban	Luzern (T)								
	Meggen (V)								
nördliche Alpen	Walenstadt (T)	92	55	9	96	82	9	4.4	27.0
	Braunwald (T)	75	45	9	83	75	9	8.3	30.2
	St. Gingolph (V)	100	66	9	100	89	9	0.0	22.7
nördl. Alpen / nördl. Zwischenalpen ohne Buche	Amsteg (V)	98	58	9	99	83	9	1.2	25.0
	Klosters (T)	100	36	9	100	74	9	0.3	37.7
	Airolo (T)	91	49	9	94	74	9	2.7	24.7
südl. Zwischenalpen	Giornico (T)	83	25	9	92	40	9	9.1	14.8
	Gambarogno (V)	12	55	9	12	77	9	0.0	21.7
	Ossingen (T)	65	69	9	78	86	9	13.6	17.2
Mittelland	Marthalen (T)	22	35	9	35	65	9	13.6	30.6
	Rapperswil (V)	56	6	9	74	11	9		
	Jura (T)	91	24	9					
Jura	Chambrilien (T)	65	45	9	75	73	9	9.8	27.8
	Court (V)	55	35	9	72	68	9	17.0	33.8
							Durchschnitt	6.7	25.5

Trefferquote (precision) = Wie viele als **geschwächt** erkannte Bäume sind tatsächlich **geschwächt**?

➔ 12% (12% bei S2+P)

Genauigkeit (recall) = Wie viele der tatsächlich **geschwächten** Bäume wurden erkannt?

➔ 55% (77% bei S2+P)

Sehr geringe Werte, auch im Vergleich zwischen allen Standorten, vor allem für die Region der südlichen Zwischenalpen

Einziger Standort, bei dem die Genauigkeit höher ist als die Trefferquote. Das Modell hat an diesem Standort viel zu viele Bäume markiert, um zuverlässig alle geschwächten Bäume zu enthalten. Bei anderen Standorten war das Verhältnis zwischen Trefferquote und Genauigkeit ausgeglichenener

Visuelle Beurteilung zwischen NDVI, Vitalitätskarten und Referenzdaten ist besser als die statistischen Werte

➔ Genauigkeitsanalyse ist ein Vergleich zwischen UAV-Referenz und Vitalitätskarte, allerdings sind die Gambarogno Drohnen-Referenzdaten sehr relativ schlecht

Der Mischwald in Gambarogno mit vielen Kastanien, die von Kronenmortalität betroffen sind, ist sehr schwierig für das Modell zu beurteilen. Besonders, da meistens nur ein Teil der Krone abgestorben ist, was dazu führt, dass in der groben Auflösung der Vitalitätskarte der Baum dennoch als gesund bewertet wird

Fazit

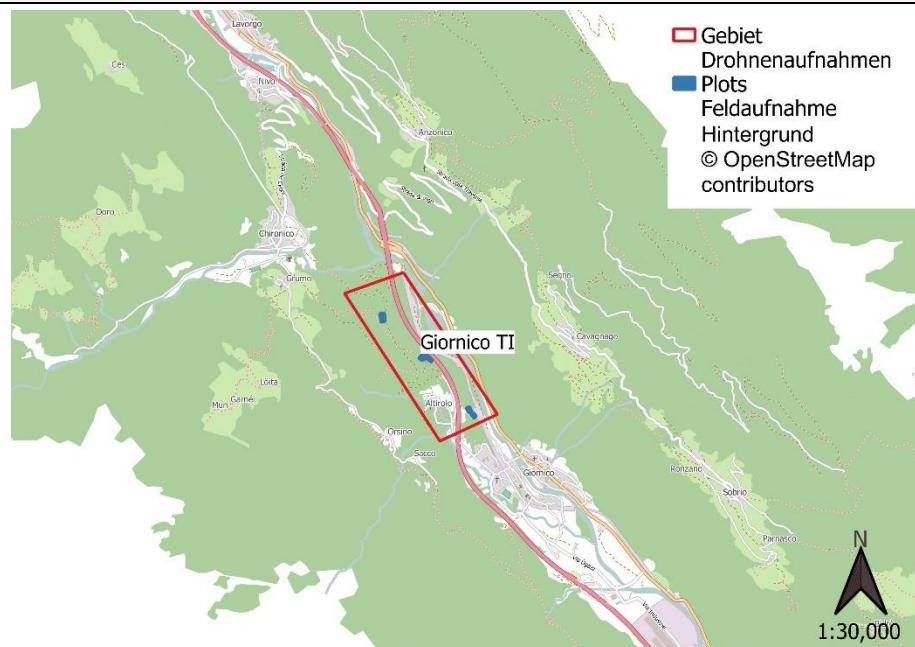
- ➔ Sehr schlechte Werte für Trefferquote und Genauigkeit, auch im Vergleich zwischen den Standorten, das Modell hat Mühe mit den halb abgestorbenen Kastanien und teilweiser Kronenmortalität umzugehen
- ➔ Die Drohnen-Referenzdaten sind keine gute Grundlage, um das Modell auf diesen Standort zu trainieren
- ➔ Ausserdem: die Drohnen-Referenzdaten zeigen den Zustand zum Zeitpunkt der Aufnahme, die Vitalitätskarten stellen die Veränderung über einen Zeitabschnitt dar, es ist möglich, dass der Wald schon seit 2016 konstant im selben 'geschwächten' Zustand ist
- ➔ Integration von Baumartenerkennung und überarbeiten der Referenzdaten hat grosses Potenzial die Genauigkeit der Vitalitätskarte zu verbessern, ebenso wie eine höhere Auflösung der Satellitenbilder

Feldaufnahmen Giornico

Standorte

Giornico
(Training)

420 m bis 600 m
Ü.M.
Exposition: W und
O



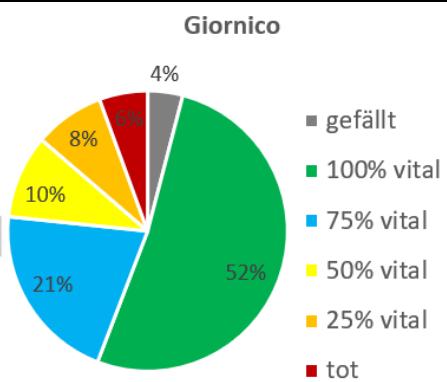
Drohnenflüge

- Geflogene Fläche: 102 ha
- Flugdatum: 14. Sept. 2020
- 10 cm räumliche Auflösung
- 5 Kanäle: R-G-B-Red Edge-NIR

- 58 a 'gesund',
58 a 'ungesund'
- Aufnahmedatum: 26.-
27. Sept. 2020

Feldaufnahmen

Kronenmortalität Giornico



Kommentare

- Laubmischwald mit Kastanien und Buchen
→ Einige Kastanien mit partiell dünnen Ästen resp.
Kastanienrindenkrebs

Ergebnisse Modellierung Giornico

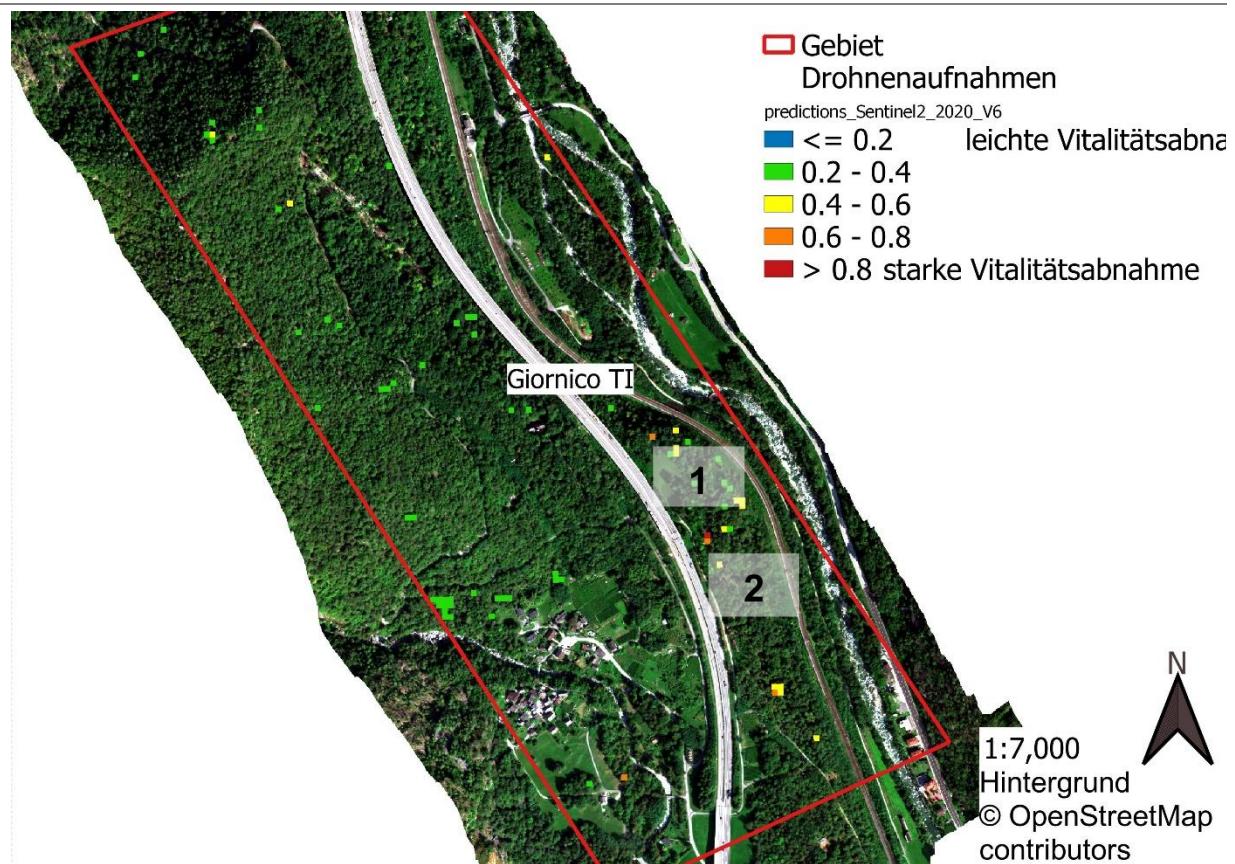
Jährliche S2 Vitalitätskarten 2018-2020, jährliche S2+P Karten 2019-2020

Vorhandene Karten

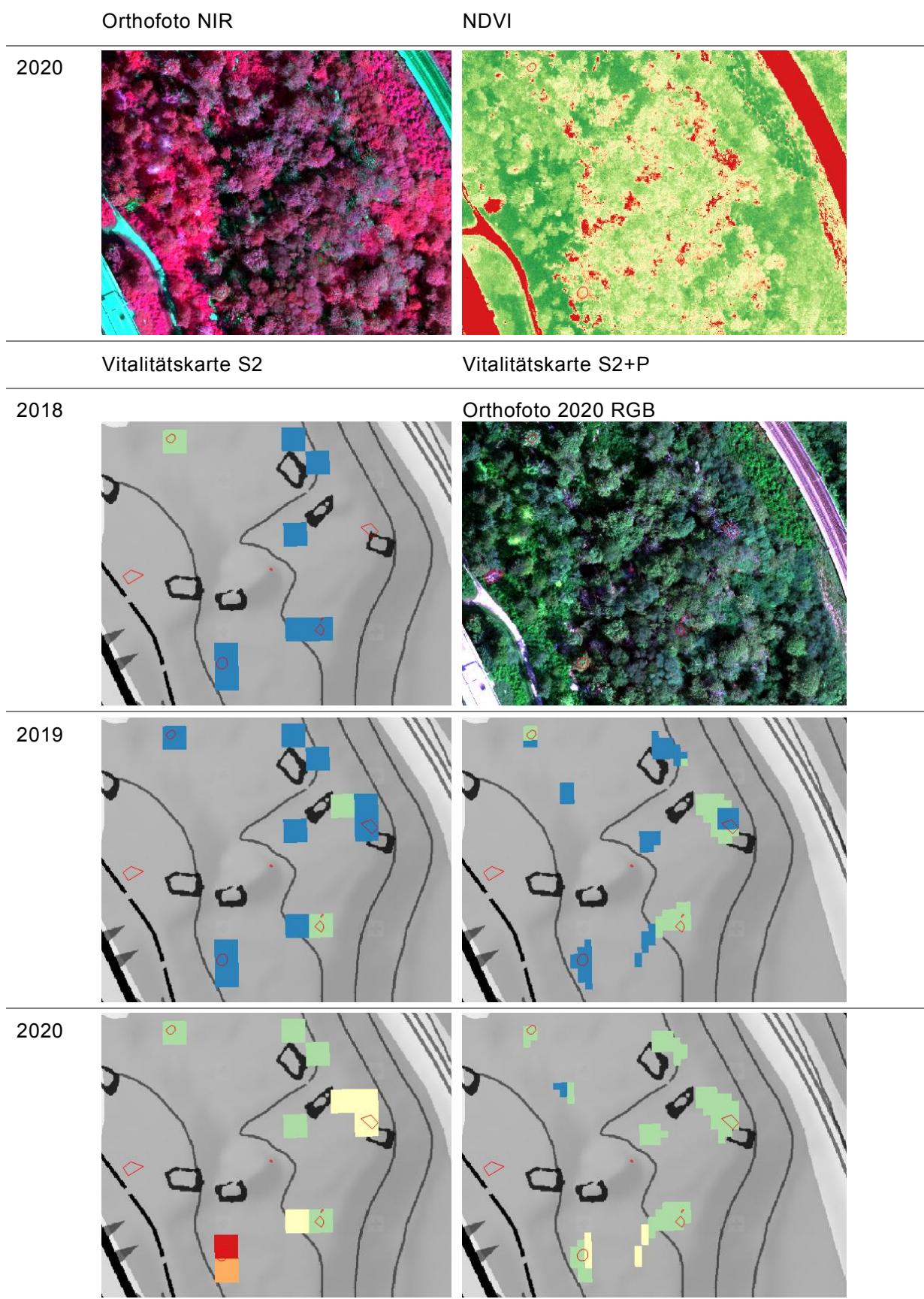
Räumliche Auflösung 20 m x 20 m und 3 m x 3 m

Bestehendes Modell trainiert mit Schweizer Drohnen-Referenzdaten,
angewendet auf S2 und P Satellitendaten

Übersicht S2 Vitalitätskarte 2020



Ausschnitt 1: Koordinaten 2709798 / 1140901 (Fläche 1 in Übersichtskarte)

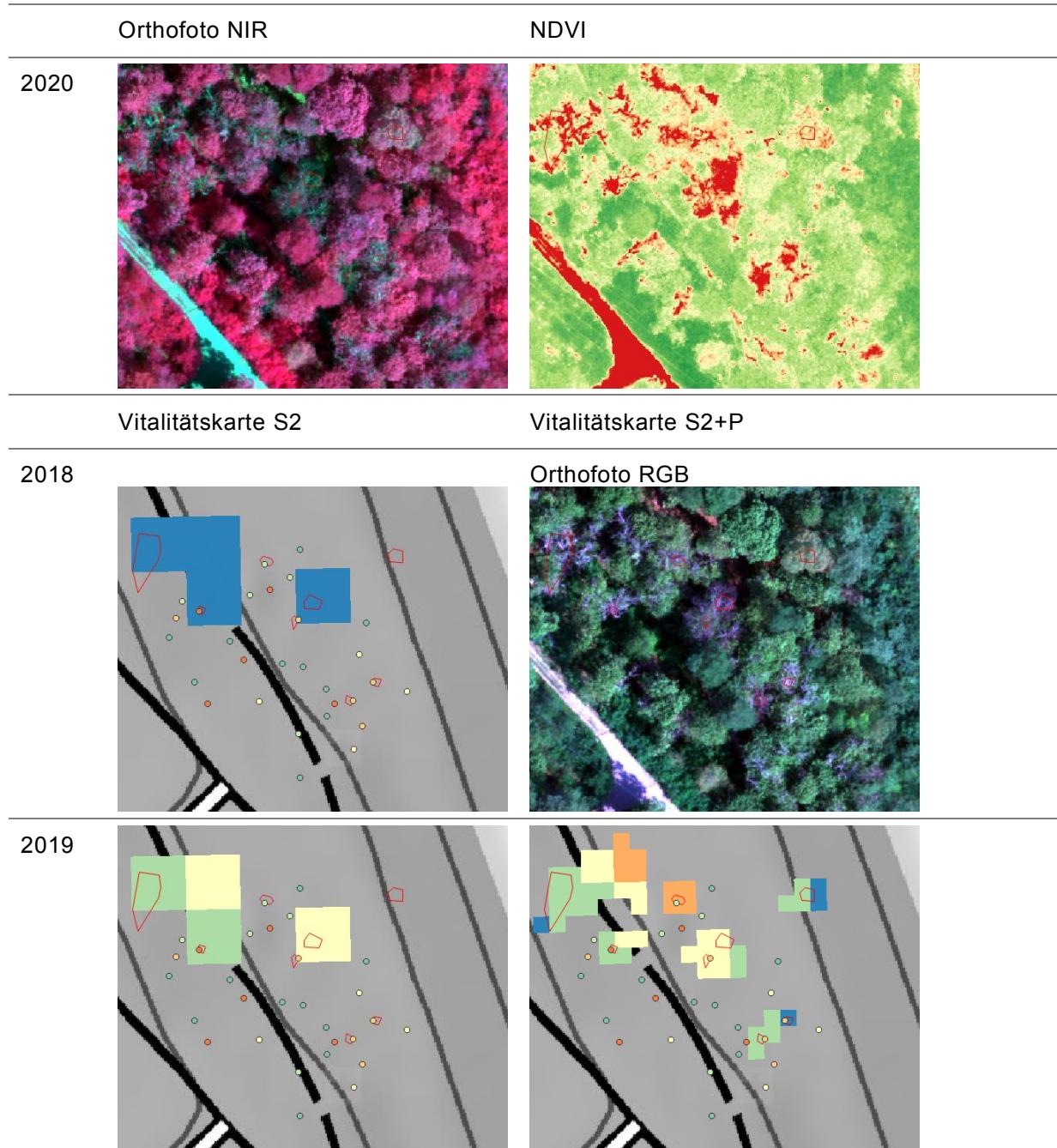


- S2 und P zeigen ähnliche Resultate, jedoch nicht alle geschwächten Einzelbäume gemäss visueller Beurteilung (rote

Kreise). S2 zeigt eine leicht stärkere Intensität in der Vitalitätsreduktion, P leicht mehr Flächen.

- Die Vitalitätskarten 2018 und 2019 zeigen die gleichen Flächen mit weniger Vitalitätsreduktion als die Vitalitätskarten 2020 an.
- Geschwächte Bäume entlang der Bahnlinie ab einer Distanz ab 25 m an.

Ausschnitt 2: Koordinaten 2709945 / 1140525 (Fläche 2 in Übersichtskarte)

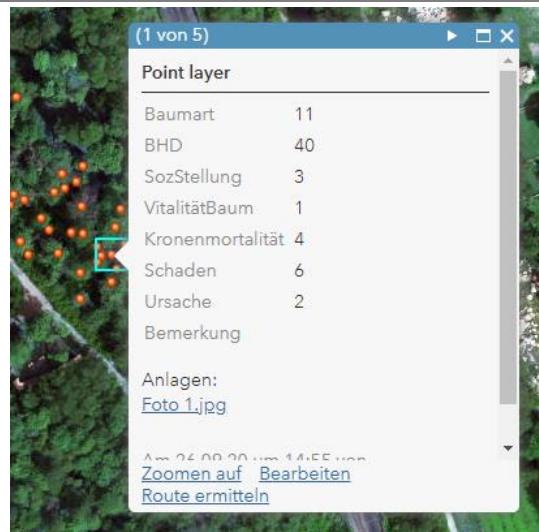


2020



Eindrücke Feldaufnahmen

2020



- S2 und P zeigen nicht alle 2020 geschwächten Bäume gemäss visueller Beurteilung (rote Kreise) und Felderhebung (gelbe und orange Punkte) auf.
- Die Vitalitätskarte S2 2019 und P 2019 zeigen jeweils die stärkste Vitalitätsreduktion in Fläche und Intensität. S2 2020 und P 2020 nur an einem Standort.
- Der Baum mit einer sichtbardürren grossen Kronenteil wird auf den Vitalitätskarten nicht erkannt (gelber Punkt mit rotem Kreis rechts von orangem Punkt).

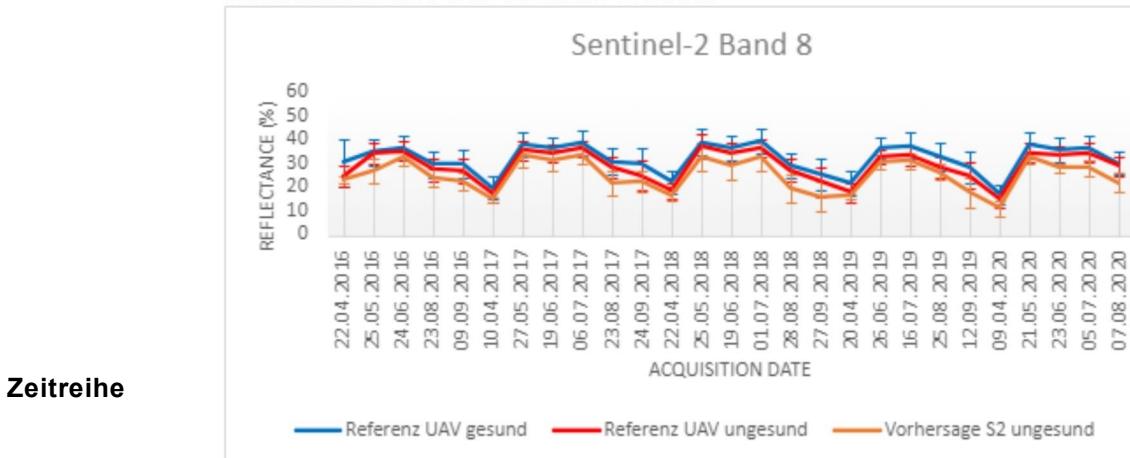
Fazit

- ➔ S2 und P zeigen ähnliche Resultate, wobei nicht alle geschwächten Einzelbäume gemäss visueller Beurteilung und Felderhebung angezeigt werden.
- ➔ Es handelt sich Kastanien-Laubholzwälder. Die nur teilweise korrekten Vitalitätskarten können daran liegen, dass insbesondere Kastanien grosse Totholzanteile aufweisen.
- ➔ Vitalitätsreduktionen entlang der Bahnlinie in diesem Beispiel ab 25 m können vorhergesagt werden.

Datenanalyse und Evaluation Giornico

Methode	Zeitreihe:
	Kontrolle der Referenzdaten aus den Drohnenbildern anhand der spektralen Signatur über die Zeit in Satellitenbildern, Vergleich mit den Vitalitätskarten
	Evaluation des Modells (Genauigkeitsanalyse)

Vergleich Klassifizierung Drohne – Vitalitätskarte S2 Reflektanzwerte der Sentinel-2 Bilder



- Kein Unterschied in der spektralen Signatur der UAV-Klassen ‘gesund’ und ‘ungesund’ im Satellitenbild, die ‘geschwächten’ Vitalitätswerte sind sowohl von den gesunden als auch von den ungesunden Bäumen nicht unterscheidbar.
 - Saisonalität der Photosynthese gut erkennbar
 - Keine längerfristigen Trends der spektralen Signatur innerhalb einer Klasse zwischen 2016 und 2020 erkennbar, weder in der Drohnen-Klassifizierung noch in der Vitalitätskarte
- ➔ Schlechte Voraussetzung für die Modellierung, Drohnen-Referenzdaten zeigen kaum Unterschied zwischen Klassen

Evaluation Genauigkeits- analyse		Berechnung von Trefferquote (precision) und Genauigkeit (recall) der im Modell berechneten Werte							
Forstregionen	Standort	Sentinel-2 (S2)			Planetscope (P)			(P-S2)	
		precision	recall	Visual	precision	recall	Visual	precision	recall
Mittelland / nördliche Alpen	Raebmatt (T)	37	19	19	47	65	65	5.0	45.8
	Werthenstein (V)	69	58	58	81	75	75	12.1	17.1
	Genf (T)	11	19	19	14	25	25	2.7	6.3
Mittelland urban	Luzern (T)								
	Meggen (V)								
nördliche Alpen	Walenstadt (T)	92	55	55	96	82	82	4.4	27.0
	Braunwald (T)	75	45	45	83	75	75	8.3	30.2
	St. Gingolph (V)	100	66	66	100	89	89	0.0	22.7
nördl. Alpen / nördl. Zwischenalpen ohne Buche	Amsteg (V)	98	58	58	99	83	83	1.2	25.0
	Klosters (T)	100	36	36	100	74	74	0.3	37.7
	Airolo (T)	91	49	49	94	74	74	2.7	24.7
südl. Zwischenalpen	Giornico (T)	83	25	25	92	40	40	9.1	14.8
	Gambarogno (V)	12	55	55	12	77	77	0.0	21.7
	Ossingen (T)	65	69	69	78	86	86	13.6	17.2
Mittelland	Marthalen (T)	22	35	35	35	65	65	13.6	30.6
	Rapperswil (V)	56	6	6	74	11	11		
	Jura (T)	91	24	24					
Jura	Chambrilien (T)	65	45	45	75	73	73	9.8	27.8
	Court (V)	55	35	35	72	68	68	17.0	33.8
							Durchschnitt	6.7	25.5

Trefferquote (precision) = Wie viele als **geschwächt** erkannte Bäume sind tatsächlich **geschwächt**?

→ 83% (92% bei S2+P)

Genauigkeit (recall) = Wie viele der tatsächlich **geschwächten** Bäume wurden erkannt?

→ 25% (40% bei S2+P)

Relativ geringe Werte im Vergleich aller Standorte, vor allem für die Genauigkeit

Visuelle Beurteilung zwischen NDVI, Vitalitätskarten und Referenzdaten ebenfalls relativ schlecht

→ Die Qualität der Drohnen-Referenzdaten ist sehr schlecht, dennoch sind die Werte für die Trefferquote relativ hoch

Giornico weist eine heterogene Waldstruktur auf mit vielen Kastanien, die einen hohen Totholzanteil in der Krone haben. Dies erschwert die Vitalitätskarten

- Eher schlechte Werte für Trefferquote und Genauigkeit, auch im Vergleich zwischen den Standorten
- Die Drohnen-Referenzdaten sind keine gute Grundlage um das Modell auf diesen Standort zu trainieren
- Außerdem: die Drohnen-Referenzdaten zeigen den Zustand zum Zeitpunkt der Aufnahme, die Vitalitätskarten stellen die Veränderung über einen Zeitabschnitt dar, es ist möglich, dass der Wald schon seit 2016 konstant im selben '**geschwächten**' Zustand ist
- Integration von Baumartenerkennung und überarbeiten der Referenzdaten hat grosses Potenzial die Genauigkeit der Vitalitätskarte zu verbessern
- Eine höhere Auflösung der Vitalitätskarten würde das Problem der gemischten Kronenvitalität adressieren

Fazit



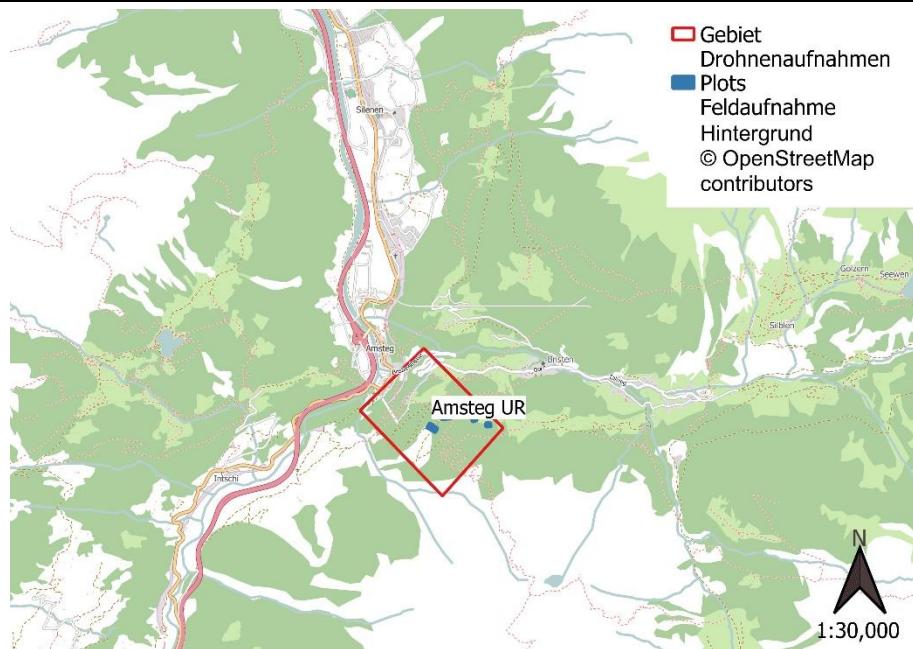
4.11 Kanton Uri – Standort Amsteg

Feldaufnahmen Amsteg

Standorte

Amsteg
(Validation)

600 m –
1500 m ü.M
Exposition: NW



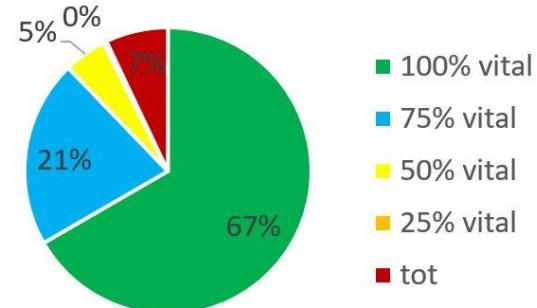
Drohnenflüge:

- Geflogene Fläche: 100 ha
- Flugdatum: 05.Sept. 2020
- 10 cm räumliche Auflösung
- 5 Kanäle: R-G-B-Red Edge-NIR

- 67 a 'gesund',
73 a 'ungesund'
- Aufnahmedatum:
21. Sept. 2020



Feldaufnahmen:



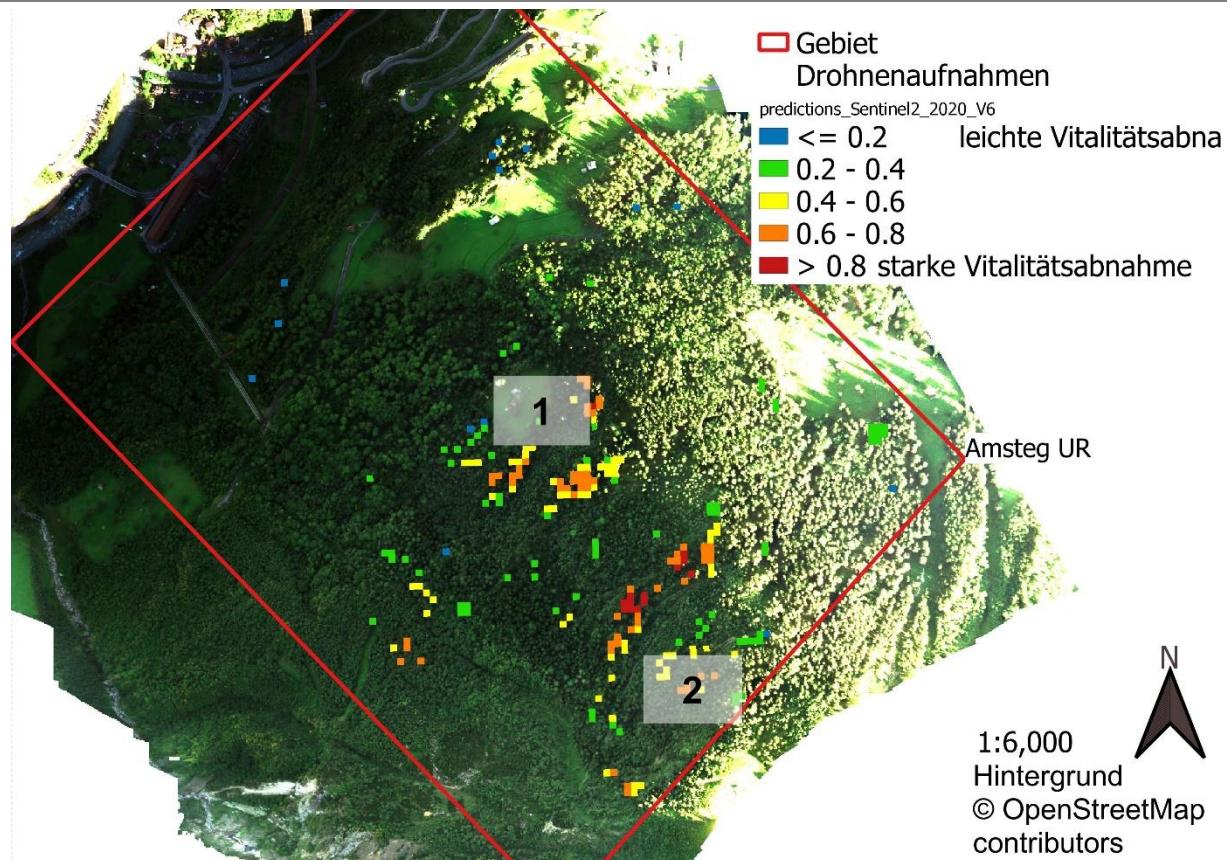
- Nicht beurteilbar = Stöcke oder gebrochene Stämme
- Grösstenteils Fichten-Tannen-Wald, eine Fläche Mischwald mit gepflanzten Arten
- Vereinzelte Käferfichten, vereinzelt Anzeichen von Trockenheit bei Buche, Eschenwelke bei den meisten Eschen
- Ansonsten sind die untersuchten Waldbestände sehr vital
 - Borkenkäfer und Trockenheit bei Buche wichtigste Prozesse

Kommentare

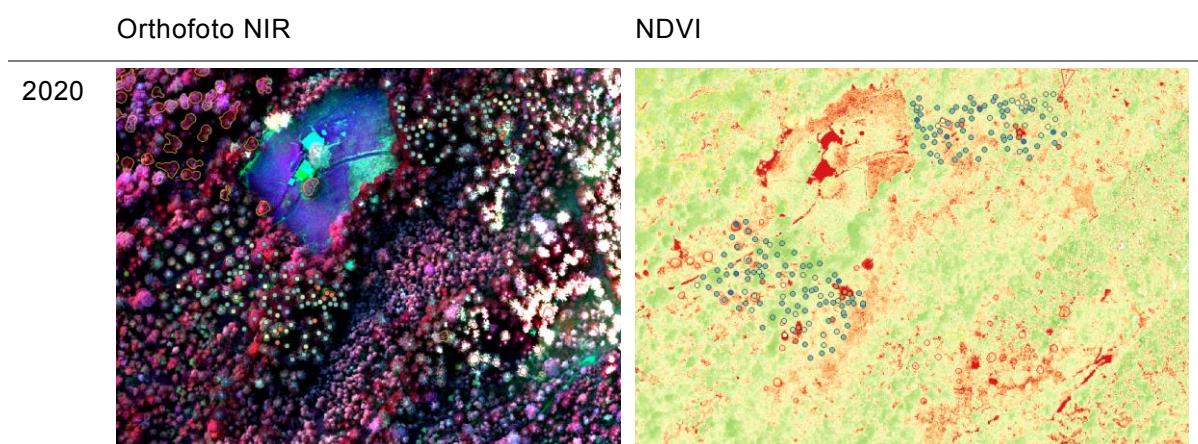
Ergebnisse Modellierung Amsteg

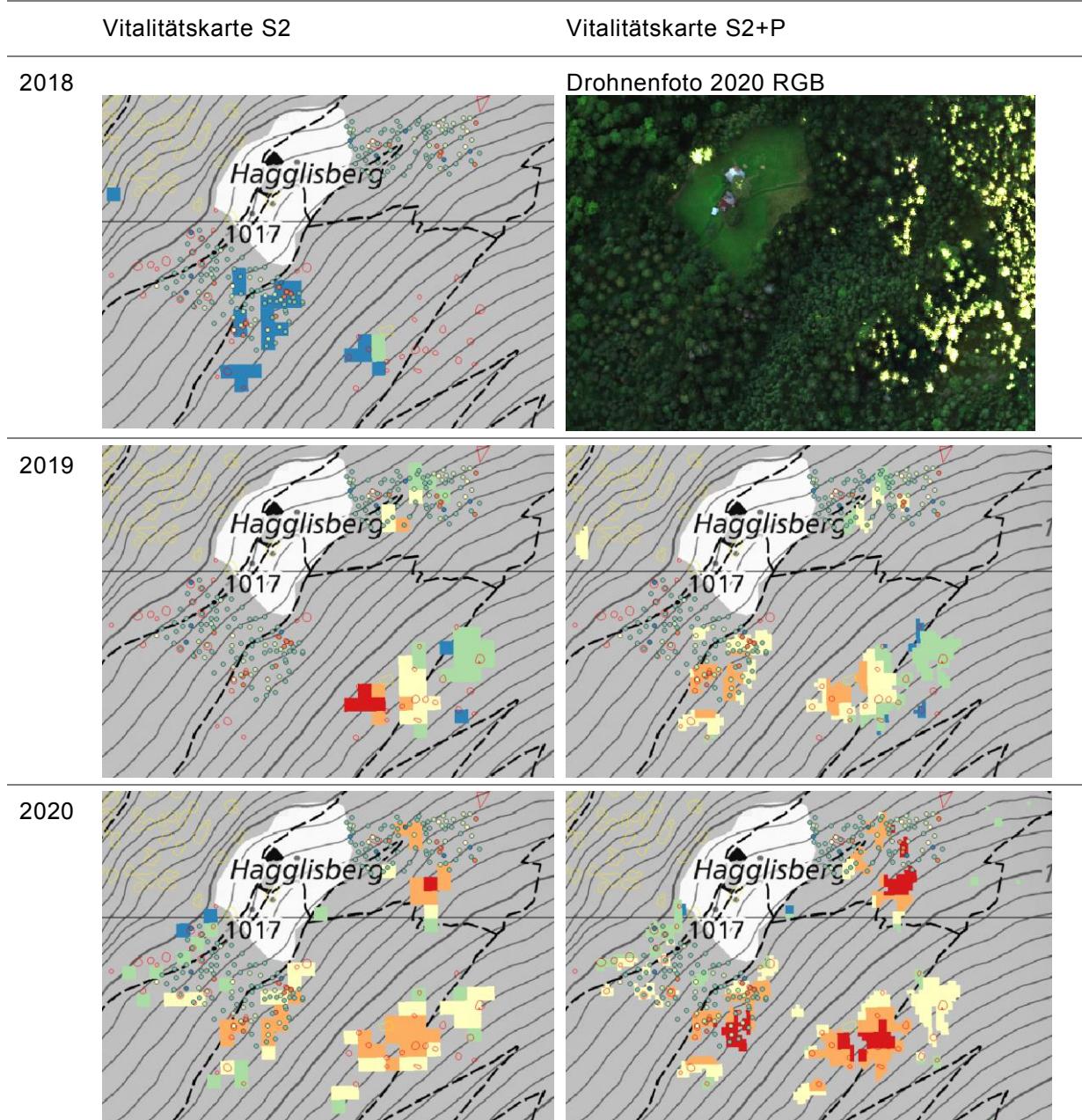
Vorhandene Karten	Jährliche S2 Vitalitätskarten 2018-2020, jährliche S2+P Karten 2019-2020 Räumliche Auflösung 20 m x 20 m (S2) und 3 m x 3 m (S2+P) Bestehendes Modell trainiert mit Schweizer Daten und hochauflösten Satellitendaten
-------------------	---

Übersicht S2 Vitalitätskarte 2020



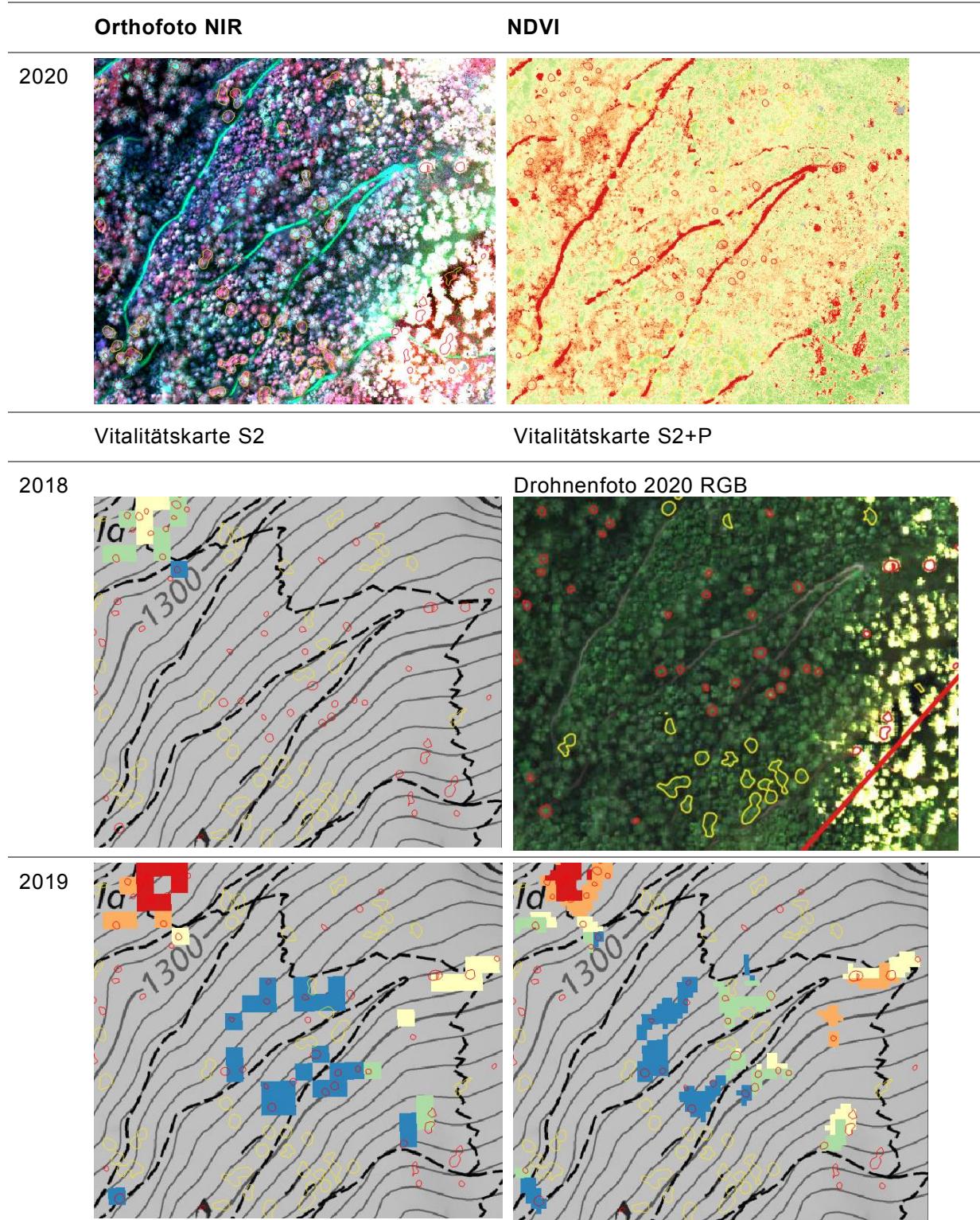
Ausschnitt 1: Koordinaten: 2694655 / 1179968 (Fläche 1 in Übersichtskarte)

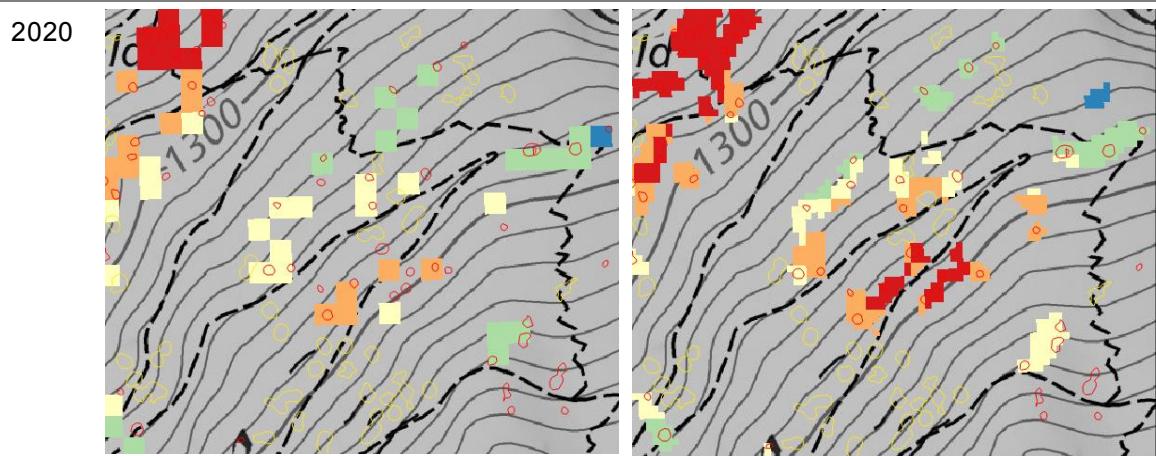




- Von 2018 bis 2020 nehmen die Waldflächen mit Vitalitätsreduktion zu. Ebenso nimmt die Intensität der Vitalitätsabnahmen zu (von geringen Vitalitätsabnahmen in blau zu sehr starken Vitalitätsabnahmen in rot).
- S2 2019 zeigt im Vergleich zu S2+P 2019 weniger betroffene Waldflächen (südlich von Lichtung).
- S2 2019 zeigt in Waldfläche rechts unten eine stärkere Intensität (rot) als in S2 2020 (orange). S2+P 2019 zeigt für dieselbe Waldfläche im Vergleich zu S2+P 2020 eine leicht schwächere Intensität in der Vitalitätsänderung (S2+P 2019: orange; S2+P 2020: rot).

Ausschnitt 2: Koordinaten 2694858 / 1179684 (Fläche 2 in Übersichtskarte)





- S2 2018 zeigt in den höheren Lagen keine Vitalitätsabnahme, in den tiefen Lagen erste Ansätze.
- In S2 2019 zeigen die Waldflächen in den tieferen Lagen eine stärkere Intensität in der Vitalitätsabnahme. In den höheren Lagen beginnt eine erste Vitalitätsreduktion, die in S2 2020 stärker wird.
- S2+P 2019 und 2020 zeigen tendenziell an bestimmten Stellen eine stärkere Vitalitätsreduktion als S2 2019 und 2020.

Fazit

- ➔ Die Ergebnisse der S2 und S2+P Vitalitätskarten stimmen mit der visuellen Ausscheidung von geschwächten Bäumen (rote Kreise) gut überein.
- ➔ Je höher die Waldbestände liegen, desto später (2019, 2020) beginnt eine Vitalitätsreduktion im Vergleich zu tiefen gelegenen Waldbeständen (beginnt bereits in 2018).
- ➔ Aussagen ohne hier dokumentierte Bilder: es gibt vereinzelt Standorte, an denen es eine Vitalitätskarte für 2018 und 2020 gibt, jedoch nicht für 2019.

Datenanalyse und Evaluation Amsteg

Methode	Zeitreihe: Kontrolle der Referenzdaten aus den Drohnenbildern anhand der spektralen Signatur über die Zeit in Satellitenbildern, Vergleich mit den Vitalitätskarten Evaluation des Modells (Genauigkeitsanalyse)
	Vergleich Klassifizierung Drohne – Vitalitätskarte S2 Reflektanzwerte der Sentinel-2 Bilder
Zeitreihe	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: 80%;"> <p style="text-align: center;">Sentinel-2 Band 8</p> <p style="text-align: center;">REFLECTANCE (%)</p> <p style="text-align: center;">ACQUISITION DATE</p> <p style="text-align: center;">Sentinel-2 Band 8</p> <p style="text-align: center;">— Referenz UAV gesund — Referenz UAV ungesund — Vorhersage S2 ungesund</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sehr gute Unterscheidung der Drohnen-Klassen 'gesund' und 'ungesund' im Satellitenbild, die Vitalitätskarte (geschwächt) ist ebenfalls deutlich verschieden und zeigt sogar eine geringere Reflektanz als die 'ungesund' Klasse der Drohnen-Referenzdaten • Saisonalität der Photosynthese gut erkennbar, besonders grosser Einbruch der Photosyntheseaktivität im Winter 2018/2019 • Keine längerfristigen Trends der Reflektanz innerhalb einer Klasse zwischen 2016 und 2020 erkennbar, weder in den Drohnen-Referenzdaten noch in der Vitalitätskarte ➔ Sehr gute Voraussetzung für die Modellierung, Drohnen-Referenzdaten sind eine gute Grundlage für die deutliche Unterscheidung der Vitalitätsklassen, Das Modell hat dies gut umgesetzt </div>

Evaluation Genauigkeits- analyse	Berechnung von Trefferquote (precision) und Genauigkeit (recall) der im Modell berechneten Werte
---	--

Forstregionen	Standort	Sentinel-2 (S2)			Planetscope (P)			(P-S2)	
		precision	recall	Visual	precision	recall	Visual	precision	recall
Mittelland / nördliche Alpen	Raebmatt (T)	37	19		47	65		5.0	45.8
	Werthenstein (V)	69	58		81	75		12.1	17.1
	Genf (T)	11	19		14	25		2.7	6.3
Mittelland urban	Luzern (T)								
	Meggen (V)								
	Walenstadt (T)	92	55		96	82		4.4	27.0
nördliche Alpen	Braunwald (T)	75	45		83	75		8.3	30.2
	St. Gingolph (V)	100	66		100	89		0.0	22.7
	Amsteg (V)	98	58		99	83		1.2	25.0
nördl. Alpen / nördl. Zwischenalpen ohne Buche	Klosters (T)	100	36		100	74		0.3	37.7
	Airolo (T)	91	49		94	74		2.7	24.7
	Giornico (T)	83	25		92	40		9.1	14.8
südl. Zwischenalpen	Gambarogno (V)	12	55		12	77		0.0	21.7
	Ossingen (T)	65	69		78	86		13.6	17.2
	Marthalen (T)	22	35		35	65		13.6	30.6
Mittelland	Rapperswil (V)	56	6		74	11			
	Jura (T)	91	24						
	Chambrilien (T)	65	45		75	73		9.8	27.8
Jura	Court (V)	55	35		72	68		17.0	33.8
							Durchschnitt	6.7	25.5

Trefferquote (precision) = Wie viele als **geschwächt** erkannte Bäume sind tatsächlich **geschwächt**?

→ 98% für die S2 Vitalitätskarte (99% bei S2+P)

Genauigkeit (recall) = Wie viele der tatsächlich **geschwächten** Bäume wurden erkannt?

→ 58% für die S2 Vitalitätskarte (83% bei S2+P)

Extrem hohe Genauigkeitswerte auch im Vergleich zwischen allen Standorten

→ Das Modell liefert für den Standort Amsteg sehr zuverlässige Resultate, d.h. ein Gebiet das als **geschwächt** markiert ist, ist tatsächlich geschwächt, ausserdem zeigt das Modell alle **geschwächten** Gebiete zuverlässig an ohne Gebiete zu vergessen

- Höchste Genauigkeits- und Trefferquotenwerte von allen untersuchten Standorten
- Sehr starke Helligkeitsunterschiede im Drohnenbild durch unterschiedliche Sonnenverhältnisse während des Drohnenflugs
- Referenzdaten lassen ungesunde und gesunde Bäume gut unterscheiden
- Ungeklärt ist noch der Effekt des starken Höhengradient. Gesunde Bäume in höheren Lagen haben vermutlich natürlicherweise eine andere (geringere) spektrale Signatur wie gesunde Bäume in tieferen Lagen
- Das Modell kann mit einem Waldbestand wie in Amsteg (hoher Nadelholzanteil, homogener Bestand, geklumpte Vitalitätsabnahmegerüste) sehr gut umgehen und zeigt exzellente Resultate

Fazit



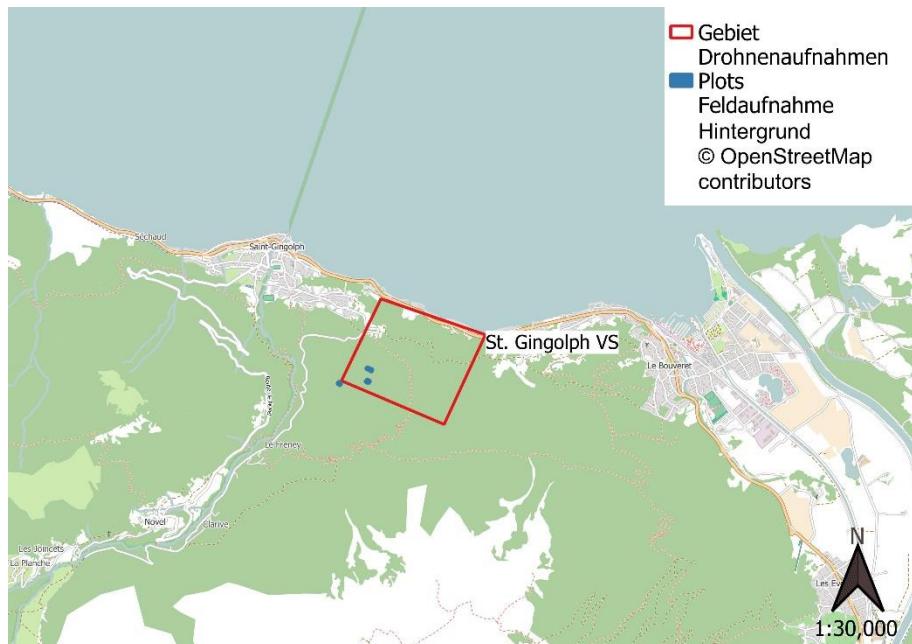
4.12 Kanton Wallis – Standort St. Gingolph

Feldaufnahmen St. Gingolph

Standorte

St. Gingolph
(Validation)

430 m bis 900 m
Ü.M.
Exposition: N



Drohnenflüge

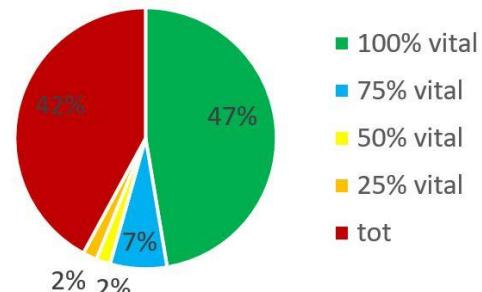
- Geflogene Fläche: 100 ha
- Flugdatum: 04. Sept. 2020
- 10 cm räumliche Auflösung
- 5 Kanäle: R-G-B-Red Edge-NIR

- 44 a 'ungesund'
- Keine Aufnahme von gesunden Flächen aufgrund fehlender Orientierungsmöglichkeiten (Erschliessung) und wegen sehr steilem Gelände in höheren Lagen

Feldaufnahmen

- Aufgrund dieser Selektion keine Bäume, die nicht beurteilt werden konnten
- Aufnahmedatum: 02. Okt. 2020

Kronenmortalität St. Gingolph



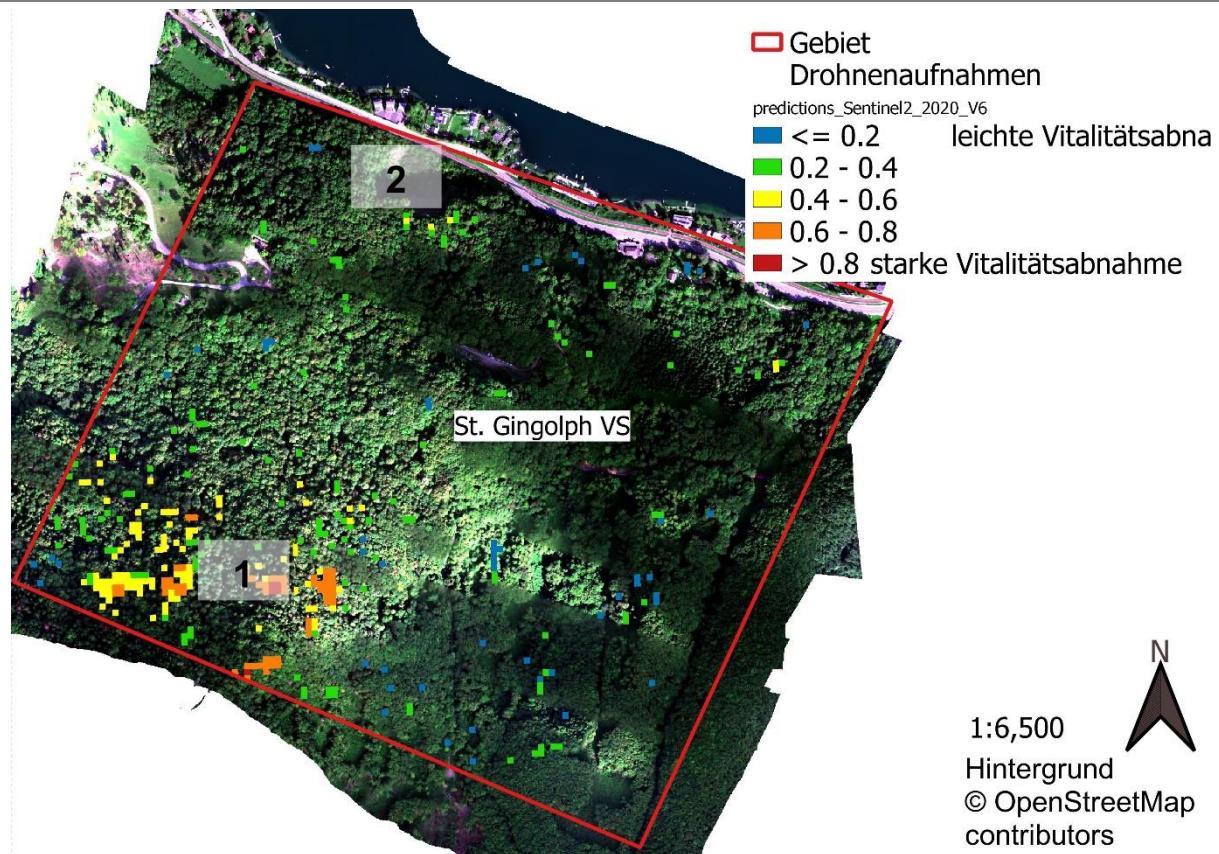
Kommentare

- Nur drei Plots mit verminderter Vitalität aufgenommen,
- Fichten dominierte, eher einstufige Bestände, Wald in höheren Lagen
- Einige tote Fichten und Tannen mit offenen Stellen am Stamm

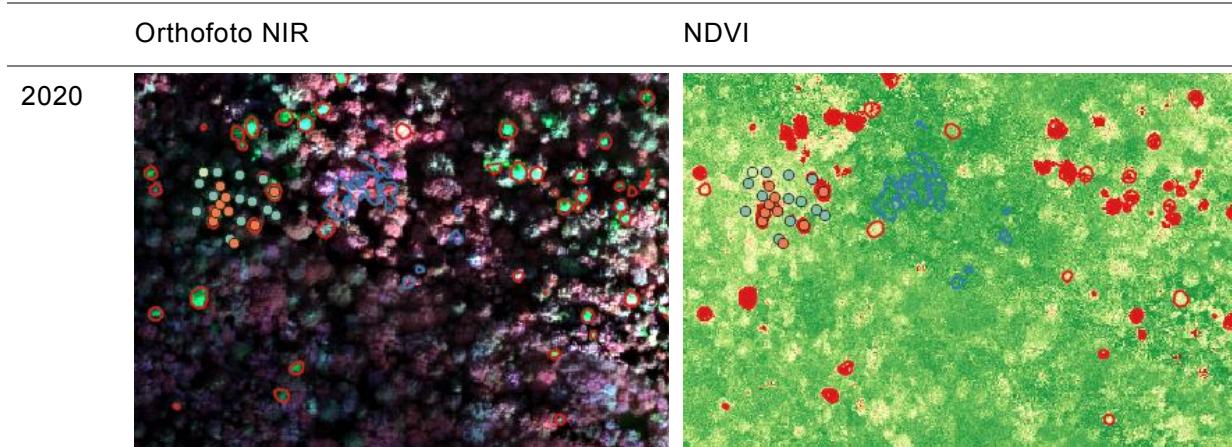
Ergebnisse Modellierung St. Gingolph

Vorhandene Karten	Jährliche S2 Vitalitätskarten 2018-2020, jährliche S2+P Karten 2019-2020 Räumliche Auflösung 20 m x 20 m und 3 m x 3 m Bestehendes Modell trainiert mit Schweizer Drohnen-Referenzdaten, angewendet auf S2 und P Satellitendaten
-------------------	--

Übersicht S2 Vitalitätskarte 2020

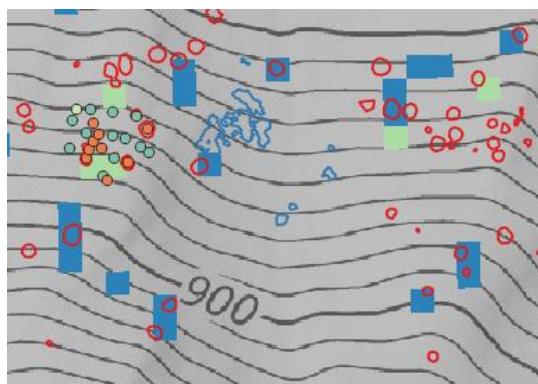


Ausschnitt 1: Koordinaten 2552139 / 1136845 (Fläche 1 in Übersichtskarte)



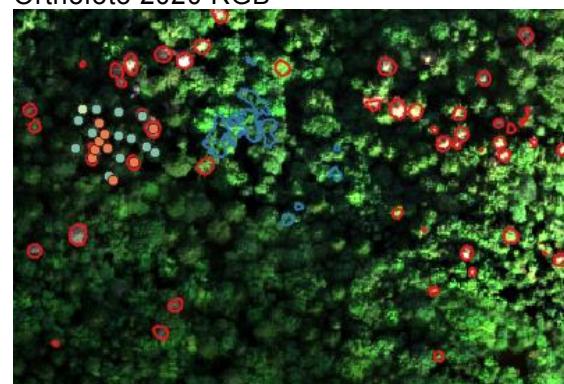
Vitalitätskarte S2

2018

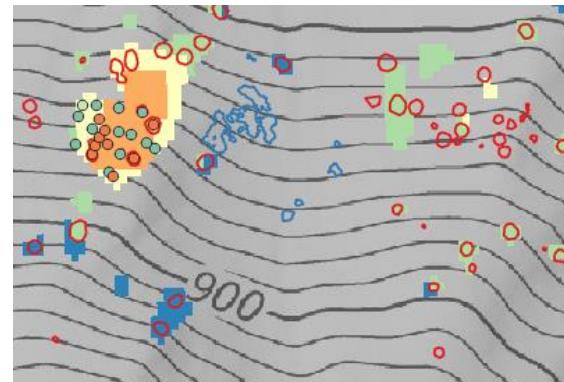
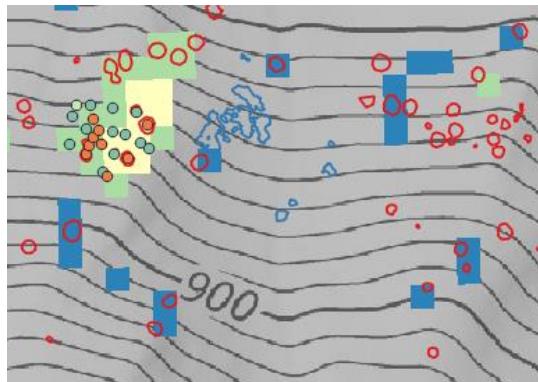


Vitalitätskarte S2+P

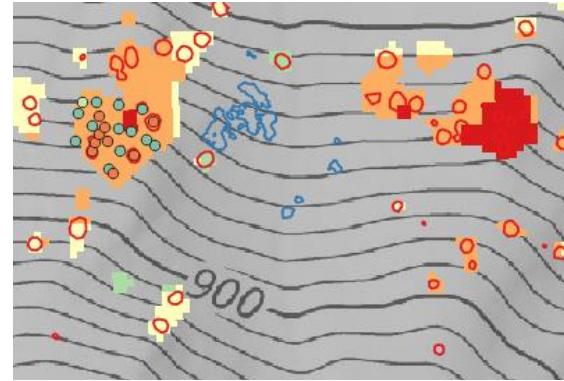
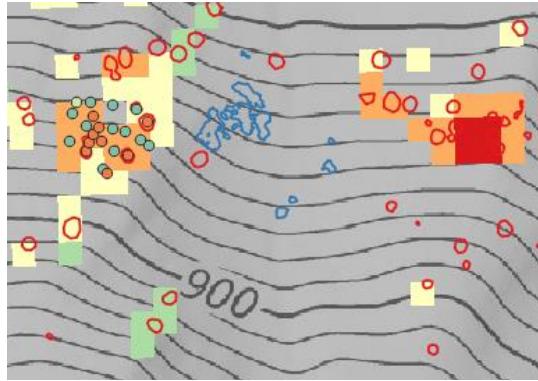
Orthofoto 2020 RGB



2019

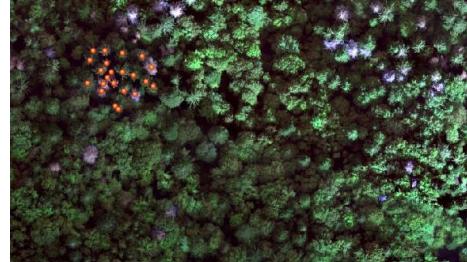


2020



Eindrücke Feldaufnahmen

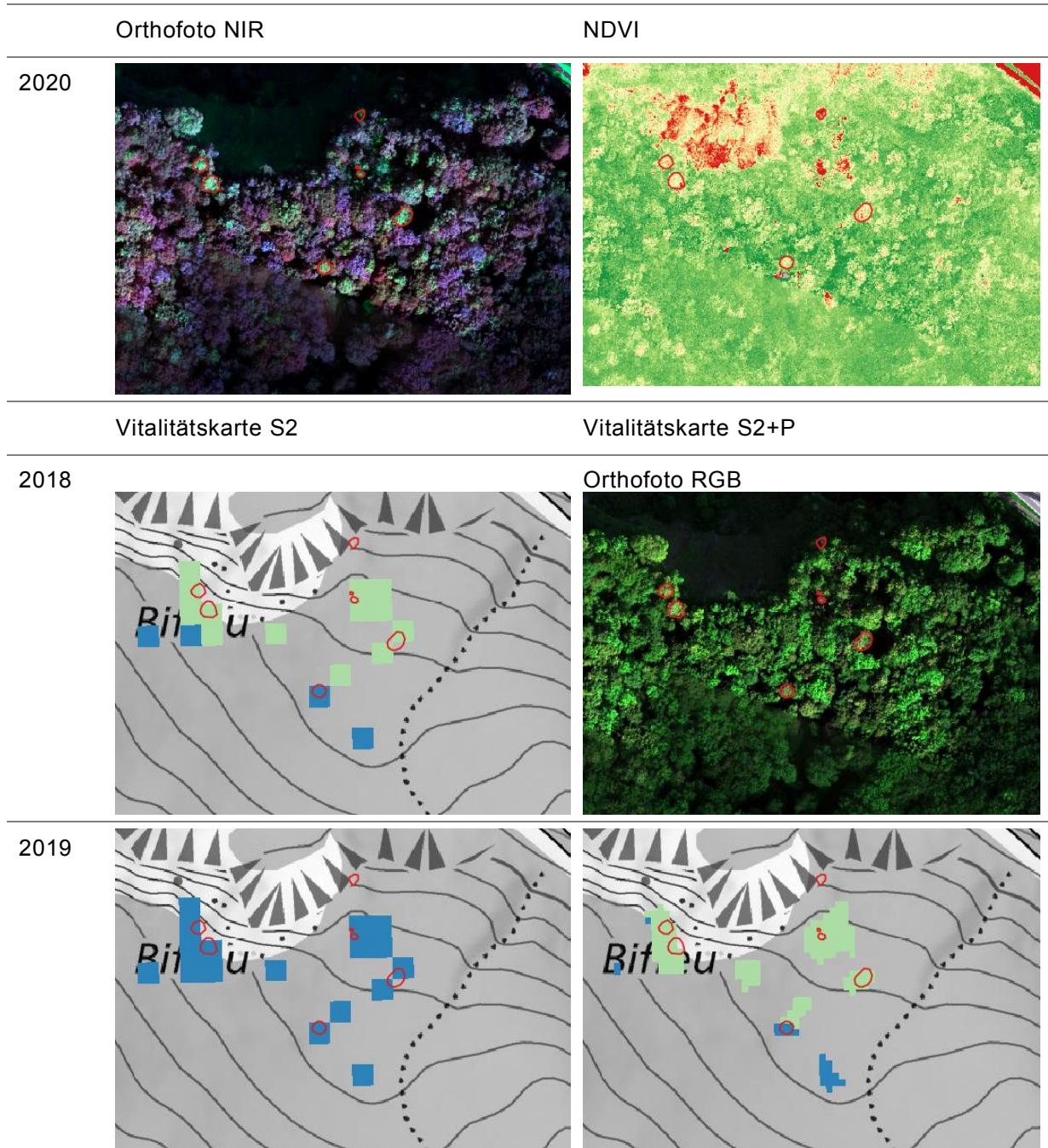
2020



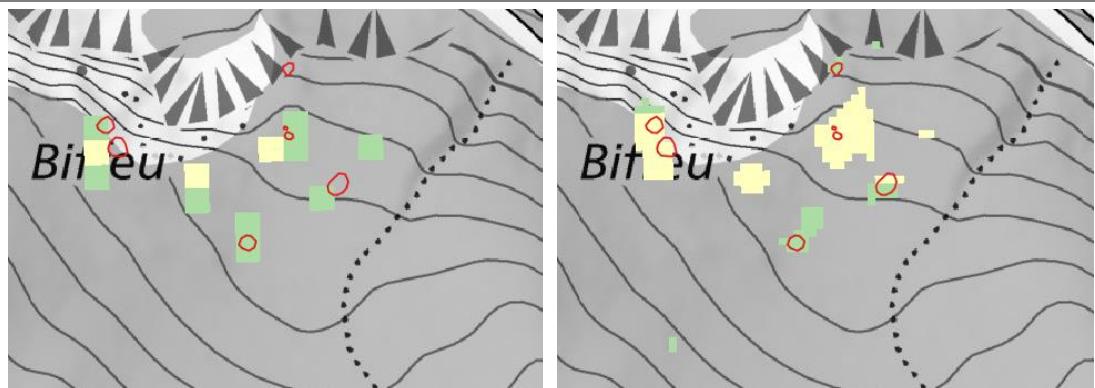
- S2 2018 und 2019 mit relativ schwacher Vitalitätsänderung in Intensität und Fläche. S2 2020 mit starker Vitalitätsänderungen.

- P 2019 mit starker Vitalitätsänderung bei Feldaufnahmedaten. P 2020 mit noch stärkere Vitalitätsänderung insbesondere in oberen rechten Bildausschnitt.
- Identifikation von ungesunden Bäumen (rote Kreise) stimmen mit P2 2020 sehr gut und mit S2 2020 teilweise überein.
- NDVI 2019 und 2020 zeigen ein ähnliches Ergebnis wie P 2019 und P 2020 in der Intensität und ansatzweise in Flächenverteilung. Im Vergleich mit S2 ist Verteilung und Intensität schwächer als NDVI.

Ausschnitt 2: Koordinaten 2681283 / 1219725 (Fläche 2 in Übersichtskarte)



2020



- Ein Effekt der Grube wird nicht in Vitalitätskarten angezeigt.
- S2 2018 und 2020 mit mittlerer Vitalitätsänderung. S2 2019 mit sehr schwacher Vitalitätsänderung.
- P 2019 mit schwächer und P 2020 mit mittlerer Vitalitätsänderung.
- Die ungesunden Bäume (rote Kreise) werden von S2 und P angezeigt, jeweils in unterschiedlicher Anzahl.

Fazit

- ➔ Die Identifikation von ungesunden Bäumen stimmen an beiden Standorten relativ gut überein. Insbesondere für P.
- ➔ P 2019 gibt grundsätzlich eine leicht stärkere Vitalitätsreduktion als S2 2019 an. NDVI 2019 zeigt jedoch eine Zunahme der Vitalität. Eine Erklärung für diesen Unterschied liegt dem Projektteam nicht vor.
- ➔ Die Vitalitätsänderungen in den höheren Lagen sind deutlich als in den mittleren und tiefen Lagen. Dies durch die Verteilung von Nadel- und Laubholz, letzteres mehr in mittleren und tieferen Lagen.

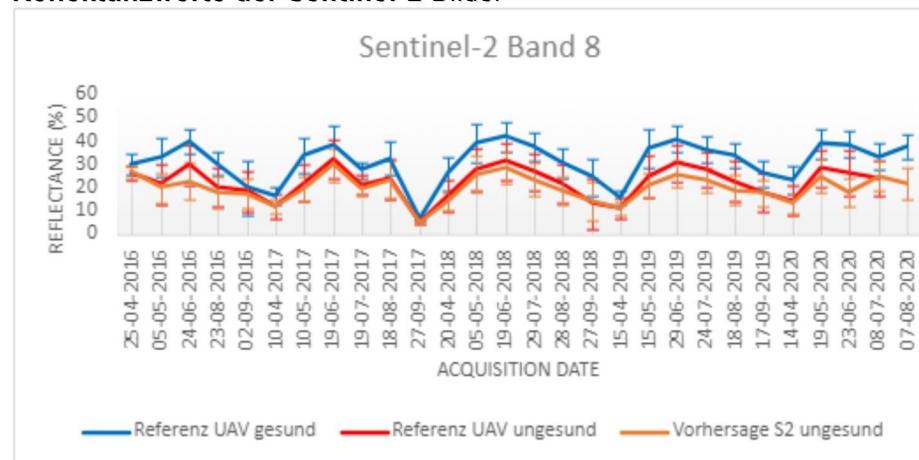
Datenanalyse und Evaluation St Gingolph

Methode	Zeitreihe:
	Kontrolle der Referenzdaten aus den Drohnenbildern anhand der spektralen Signatur über die Zeit in Satellitenbildern, Vergleich mit den Vitalitätskarten
	Evaluation des Modells (Genauigkeitsanalyse)

Vergleich Klassifizierung Drohne – Vitalitätskarte S2

Reflektanzwerte der Sentinel-2 Bilder

Zeitreihe



- Relativ gut erkennbarer Unterschied in der spektralen Signatur der UAV-Klassen ‘gesund’ und ‘ungesund’ im Satellitenbild, die ‘geschwächten’ Vitalitätswerte decken sich mit den ungesunden Bäumen.
 - Saisonalität der Photosynthese gut erkennbar, interessanterweise im Winter 2018 besonders geringe Photosynthese im Gegensatz zu fast allen anderen Standorten
 - Keine längerfristigen Trends der spektralen Signatur innerhalb einer Klasse zwischen 2016 und 2020 erkennbar, weder in der Drohnen-Klassifizierung noch in der Vitalitätskarte
- ➔ Relativ gute Voraussetzungen für die Modellierung

Evaluation Genauigkeits- analyse		Berechnung von Trefferquote (precision) und Genauigkeit (recall) der im Modell berechneten Werte							
Forstregionen	Standort	Sentinel-2 (S2)			Planetscope (P)			(P-S2)	
		precision	recall	Visual	precision	recall	Visual	precision	recall
Mittelland / nördliche Alpen	Raebmatt (T)	37	19	19	47	65	65	5.0	45.8
	Werthenstein (V)	69	58	58	81	75	75	12.1	17.1
	Genf (T)	11	19	19	14	25	25	2.7	6.3
Mittelland urban	Luzern (T)								
	Meggen (V)								
	Walenstadt (T)	92	55	55	96	82	82	4.4	27.0
nördliche Alpen	Braunwald (T)	75	45	45	83	75	75	8.3	30.2
	St. Gingolph (V)	100	66	66	100	89	89	0.0	22.7
	Amsteg (V)	98	58	58	99	83	83	1.2	25.0
nördl. Alpen / nördl. Zwischenalpen ohne Buche	Klosters (T)	100	36	36	100	74	74	0.3	37.7
	Airolo (T)	91	49	49	94	74	74	2.7	24.7
	Giornico (T)	83	25	25	92	40	40	9.1	14.8
südl. Zwischenalpen	Gasbarogno (V)	12	55	55	12	77	77	0.0	21.7
	Ossingen (T)	65	69	69	78	86	86	13.6	17.2
	Marthalen (T)	22	35	35	35	65	65	13.6	30.6
Mittelland	Rapperswil (V)	56	6	6	74	11	11		
	Jura (T)	91	24	24					
	Chambrilien (T)	65	45	45	75	73	73	9.8	27.8
Jura	Court (V)	55	35	35	72	68	68	17.0	33.8
					Durchschnitt			6.7	25.5

Trefferquote (precision) = Wie viele als **geschwächt** erkannte Bäume sind tatsächlich **geschwächt**?

→ 100% (100% bei S2+P)

Genauigkeit (recall) = Wie viele der tatsächlich **geschwächten** Bäume wurden erkannt?

→ 66% (89% bei S2+P)

Sehr gute Werte im Vergleich aller Standorte

Visuelle Beurteilung zwischen NDVI, Vitalitätskarten und Referenzdaten ebenfalls sehr gut

Trotz stufigem Bestand und Schwierigkeiten bei der Beurteilung der Vitalität im Feld sehr gute Vitalitätsergebnisse, die sowohl mit den Feldaufnahmen als auch mit den Drohnen-Referenzdaten gut übereinstimmen

Fazit

- Sehr gute Werte für Trefferquote und Genauigkeit, auch im Vergleich zwischen den Standorten,
- Die Drohnen-Referenzdaten sind eine gute Grundlage, um das Modell auf diesen Standort zu trainieren

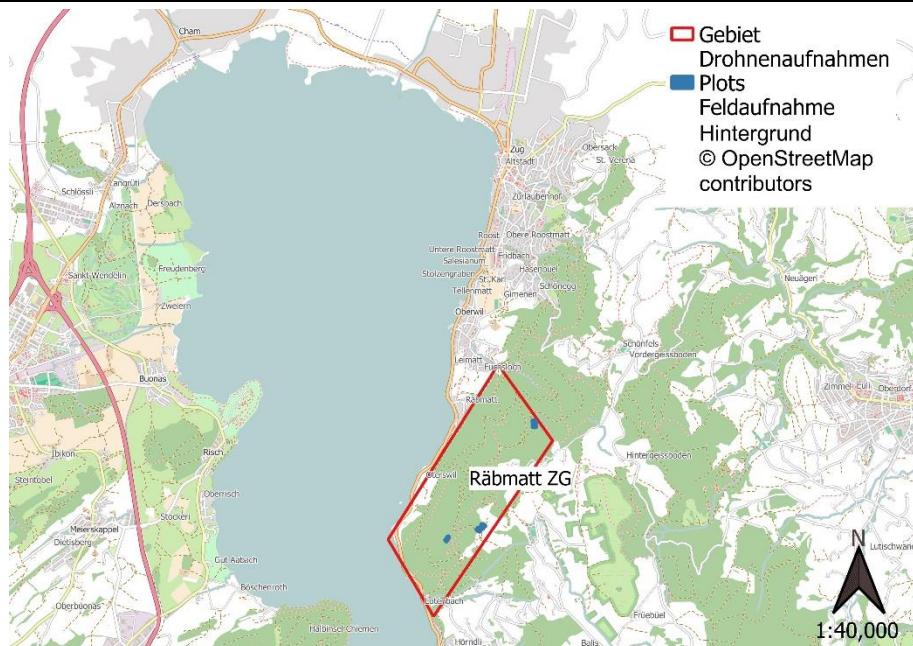
4.13 Kanton Zug – Standort Räbmatt

Feldaufnahmen Räbmatt

Standorte

Räbmatt
(Training)

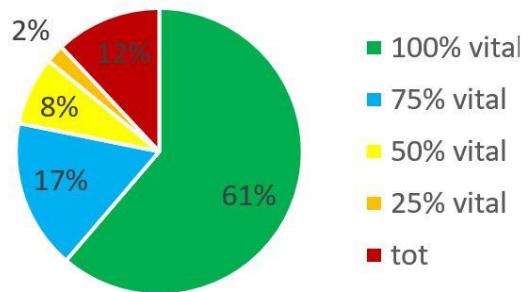
430 m bis 900 m
Ü.M.
Exposition: NW



Drohnenflüge

- Geflogene Fläche: 300 ha
- Flugdatum: 04. Sept. 2020
- 10 cm räumliche Auflösung
- 5 Kanäle: R-G-B-Red Edge-NIR

Feldaufnahmen

- 70 a 'gesund',
70 a 'ungesund'
 - Aufnahmedatum:
17. & 24. Sept. 2020
 - Alle Bäume in den
Kontrollflächen konnten
beurteilt werden
- Kronenmortalität Räbmatt
- 
- | Kategorie | Anteil (%) |
|------------|------------|
| 100% vital | 61% |
| 75% vital | 17% |
| 50% vital | 8% |
| 25% vital | 2% |
| tot | 12% |

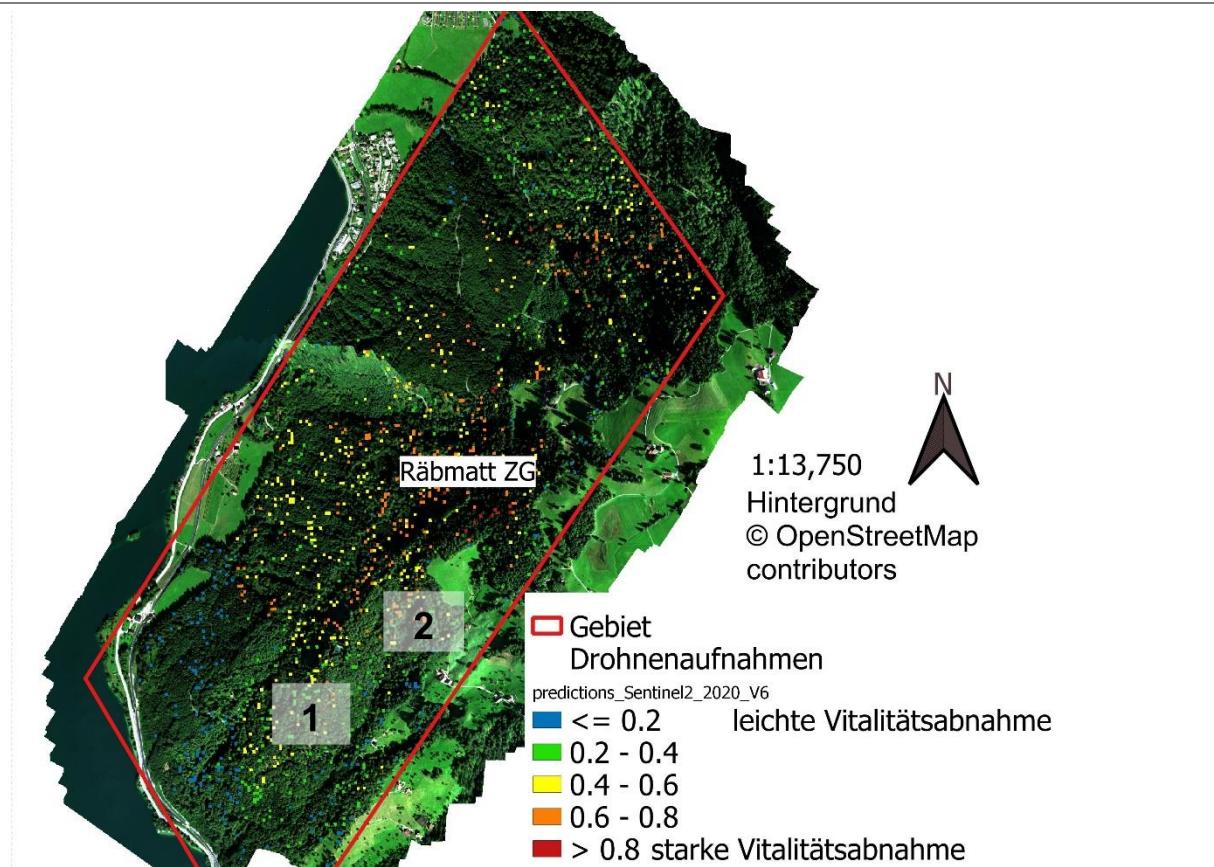
Kommentare

- Mischwald hauptsächlich Fichte, Buche, Föhre, Lärche, sehr hohe Artenvielfalt
- Einzelne Käfernester in fichtendominierten Flächen
- Sämtliche Eschen von Eschenwelke befallen
- Mischwaldflächen vitaler als Flächen mit nur einer dominanten Baumart
 - ➔ Vitalitätshemmende Faktoren: Borkenkäferbefall, Eschen- und Ulmenwelke, Anzeichen von Trockenstress bei Buchen und Föhren

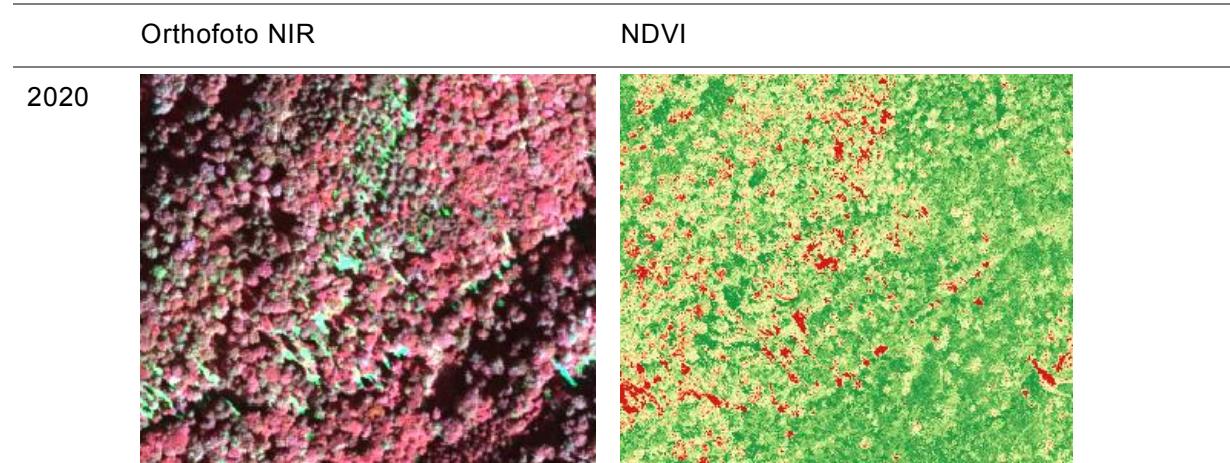
Ergebnisse Modellierung Räbmatt

Vorhandene Karten	Jährliche S2 Vitalitätskarten 2018-2020, jährliche S2+P Karten 2019-2020 Räumliche Auflösung 20 m x 20 m und 3 m x 3 m Bestehendes Modell trainiert mit Schweizer Drohnen-Referenzdaten, angewendet auf S2 und P Satellitendaten
-------------------	--

Übersicht S2 Vitalitätskarte 2020

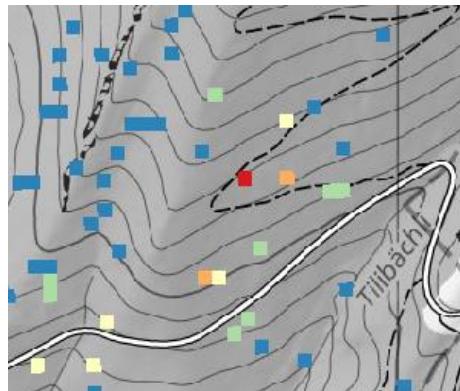


Ausschnitt 1: Koordinaten 2680879 / 1219392 (Fläche 1 in Übersichtskarte)



Vitalitätskarte S2

2018

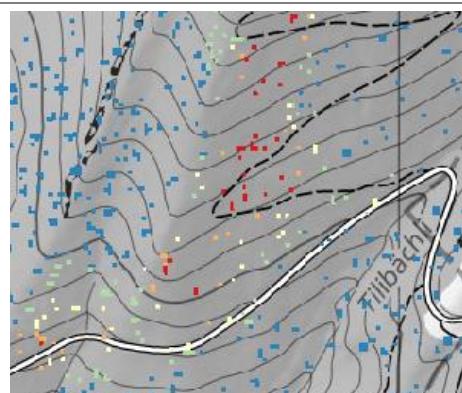
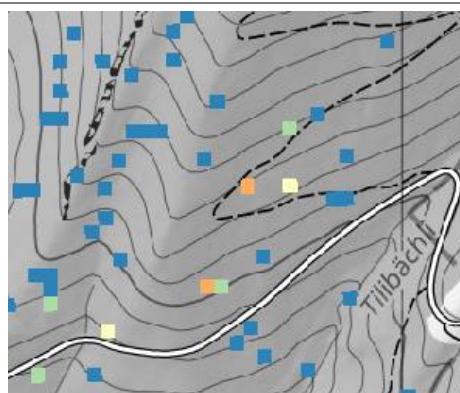


Vitalitätskarte S2+P

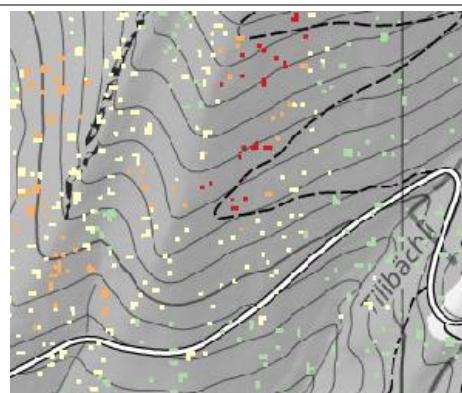
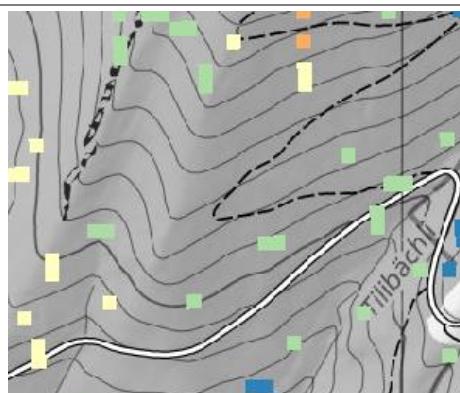
Orthofoto 2020 RGB



2019

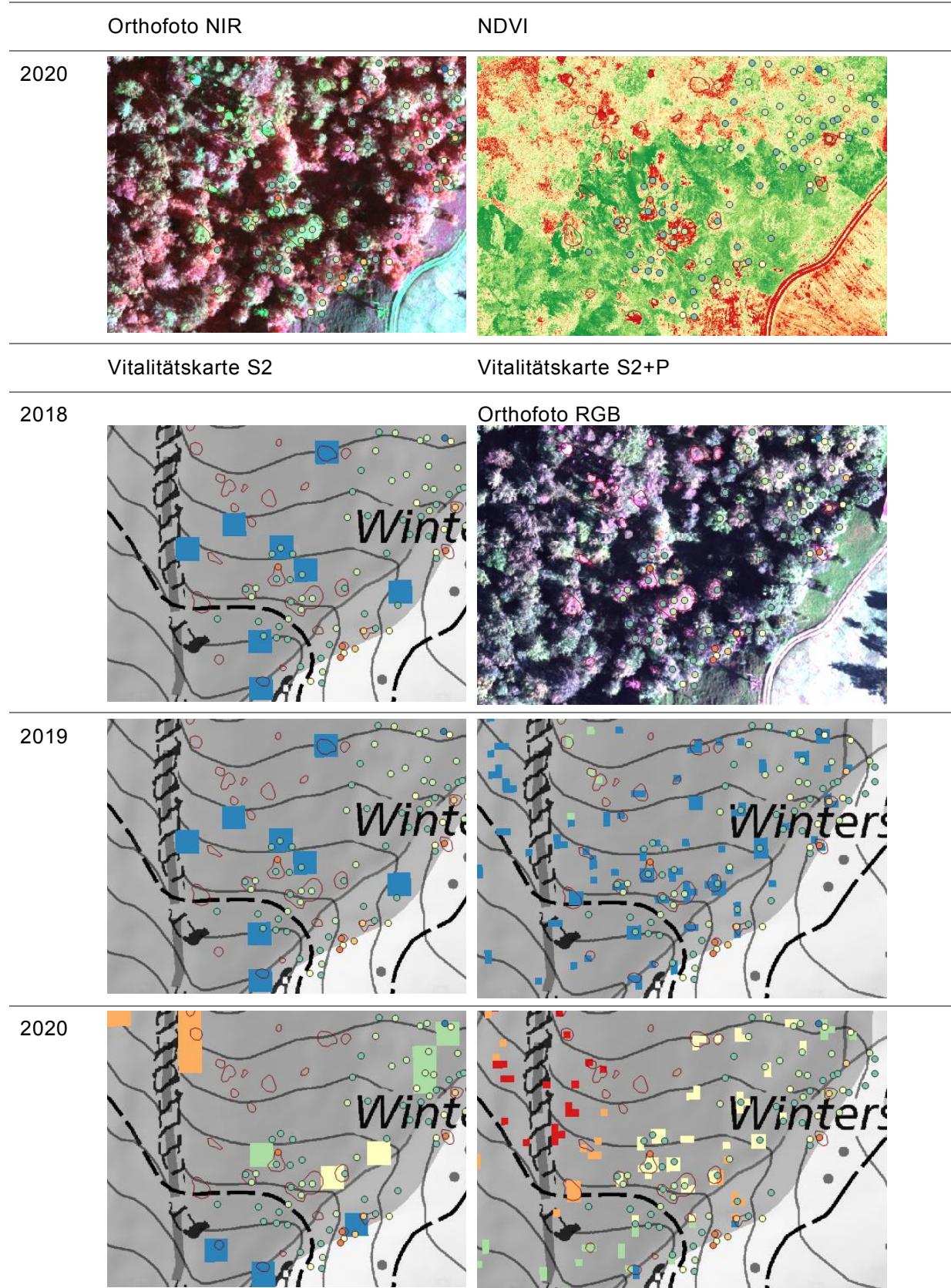


2020



- S2 2018 und 2019 zeigen die stärkste Vitalitätsabnahme im mittleren Bildbereich, am Rand eine schwache Abnahme. In 2020 weist der gesamte Ausschnitt eine mittlere Vitalitätsabnahme auf
- S2+P 2019 und 2020 zeigen ähnliche Muster mit einer Vitalitätsabnahme in der Mitte des Ausschnitts und weniger starker Veränderung an den Rändern. Die Vitalitätsabnahme ist generell stärker in 2020
- Die Topografie könnte einen Einfluss auf die Vitalitätskarte haben, da die Gebiete mit stärkerer Vitalitätsabnahme generell höher liegen. Höher liegende Gebiete haben aufgrund der biophysikalischen Umwelt natürlicherweise geringere Reflektanzwerte

Ausschnitt 2: Koordinaten 2681283 / 1219725 (Fläche 2 in Übersichtskarte)



- 2018 und 2019 werden in allen Vitalitätskarten nur minimale Änderungen angezeigt

- In 2020 werden sowohl in S2 als auch in S2+P starke Vitalitätsänderungen im Graben angezeigt.
 - Die Vitalitätssachen stimmen mit den Drohnen-Referenzdaten überein, jedoch weniger mit den Felddaten
- Extrem heterogene Verteilung von einzelnen toten oder geschwächten Bäumen über die Fläche
- Mischwald mit sehr vielen Baumarten, keine 'einfache' Trennung von Laub- und Nadelwald möglich
- Basierend auf NDVI (Vegetationsindex) sehr viele geschwächte Bäume und nur wenig tote erkennbar
- Die beiden Ausschnitte zeigen entgegengesetzte Trends. Im ersten Ausschnitt schwächt sich die Vitalitätsabnahme mit der Zeit ab, im zweiten Ausschnitt nimmt sie zu.
- S2+P Vitalitätssachen zeigen eine stärkere Abnahme an als nur S2 Vitalitätssachen

Datenanalyse und Evaluation Räbmatt

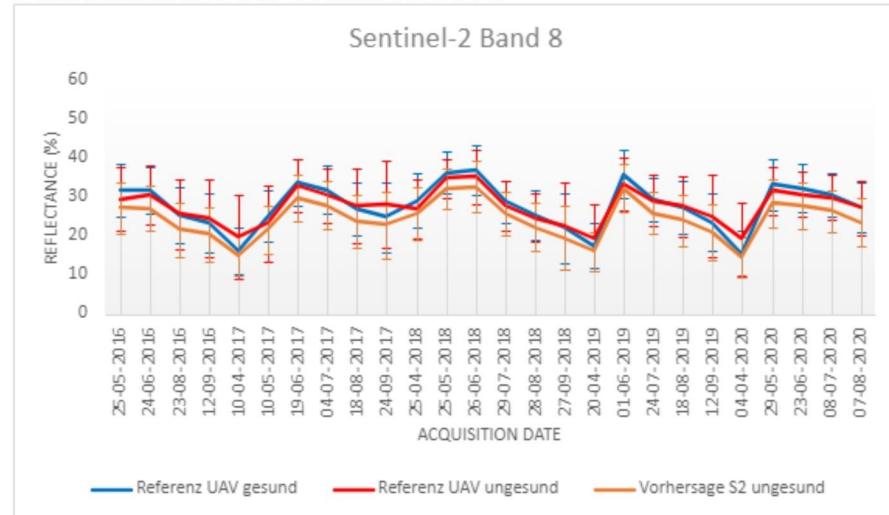
Methode

Zeitreihe: Kontrolle der Referenzdaten aus den Drohnenbildern anhand der spektralen Signatur über die Zeit in Satellitenbildern, Vergleich mit den Vitalitätssachen
Evaluation des Modells (Genauigkeitsanalyse)

Vergleich Klassifizierung Drohne – Vitalitätssache S2

Reflektanzwerte der Sentinel-2 Bilder

Zeitreihe



- Kaum ein Unterschied in der spektralen Signatur der UAV-Klassen 'gesund' und 'ungesund' im Satellitenbild, die 'geschwächten' Vitalitätswerte sind sowohl von den gesunden als auch von den ungesunden Bäumen kaum unterscheidbar. Schlechte Voraussetzung für die Modellierung
- Saisonalität der Photosynthese gut erkennbar, Winter 2018 nur wenig verringerte Photosynthese
- Keine längerfristigen Trends der spektralen Signatur innerhalb einer Klasse zwischen 2016 und 2020 erkennbar, weder in der Drohnen-Referenzdaten noch in der Vitalitätssache

Evaluation Genauigkeits- analyse		Berechnung von Trefferquote (precision) und Genauigkeit (recall) der im Modell berechneten Werte							
Forstregionen	Standort	Sentinel-2 (S2)		Planetscope (P)		(P-S2)			
		precision	recall	Visual	precision	recall	Visual	precision	recall
Mittelland / nördliche Alpen	Räbmatt (T)	37	19	47	65	5.0	45.8		
	Werthenstein (V)	69	58	81	75	12.1	17.1		
	Genf (T)	11	19	14	25	2.7	6.3		
Mittelland urban	Luzern (T)								
	Meggen (V)								
nördliche Alpen	Walenstadt (T)	92	55	96	82	4.4	27.0		
	Braunwald (T)	75	45	83	75	8.3	30.2		
	St. Gingolph (V)	100	66	100	89	0.0	22.7		
nördl. Alpen / nördl. Zwischenalpen ohne Buche	Amsteg (V)	98	58	99	83	1.2	25.0		
	Klosters (T)	100	36	100	74	0.3	37.7		
	Airolo (T)	91	49	94	74	2.7	24.7		
südl. Zwischenalpen	Giornico (T)	83	25	92	40	9.1	14.8		
	Gambarogno (V)	12	55	12	77	0.0	21.7		
	Ossingen (T)	65	69	78	86	13.6	17.2		
Mittelland	Marthalen (T)	22	35	35	65	13.6	30.6		
	Rapperswil (V)	56	6	74	11				
	Jura (T)	91	24						
Jura	Chambrülien (T)	65	45	75	73	9.8	27.8		
	Court (V)	55	35	72	68	17.0	33.8		
					Durchschnitt	6.7	25.5		

Trefferquote (precision) = Wie viele als **geschwächt** erkannte Bäume sind tatsächlich **geschwächte**?

→ 37% (47% bei S2+P)

Genauigkeit (recall) = Wie viele der tatsächlich **geschwächten** Bäume wurden erkannt?

→ 19% (65% bei S2+P)

Sehr geringe Werte im Vergleich aller Standorte

Visuelle Beurteilung zwischen NDVI, Vitalitätskarten und Referenzdaten jedoch relativ gut

→ Genauigkeitsanalyse ist ein Vergleich zwischen UAV-Referenz und Vitalitätskarte, allerdings sind die Räbmatt Drohnen-Referenzdaten sehr einseitig im Gebiet verteilt, das macht den Vergleich sehr voreingenommen

Ausserdem sehr heterogener Wald mit grosser Artenvielfalt in Räbmatt, viele **geschwächte** Einzelbäume anstatt Gruppen.

- Eher schlechte Werte für Trefferquote und Genauigkeit, auch im Vergleich zwischen den Standorten, das Modell hat Mühe schwächte Bäume zu erkennen in Räbmatt
- Die Drohnen-Referenzdaten sind keine gute Grundlage, um das Modell auf diesen Standort zu trainieren
- Ausserdem: die Drohnen-Referenzdaten zeigen den Zustand zum Zeitpunkt der Aufnahme, die Vitalitätskarten stellen die Veränderung über einen Zeitabschnitt dar, es ist möglich, dass der Wald schon seit 2016 konstant im selben '**geschwächten**' Zustand ist
- Integration von Baumartenerkennung und überarbeiten der Referenzdaten hat grosses Potenzial die Genauigkeit der Vitalitätskarte zu verbessern

Fazit



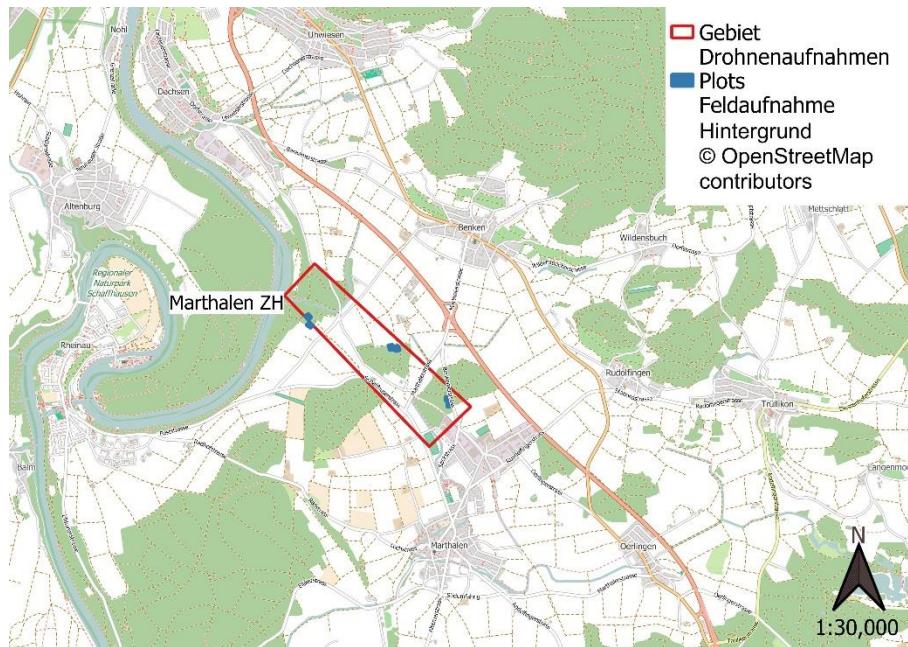
4.14 Kanton Zürich – Standorte Marthalen, Ossingen

Feldaufnahmen Marthalen

Standort

Marthalen
(Training)

Ca. 400 m ü.M.
Exposition: keine

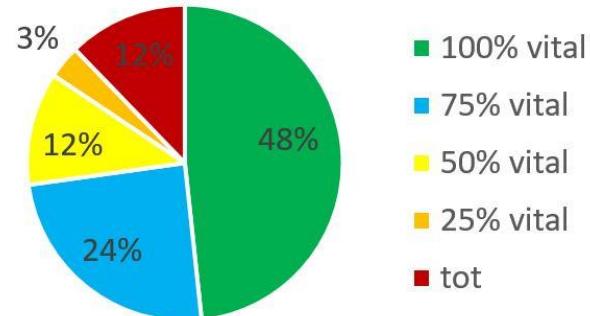


Drohnenflüge

- Geflogene Fläche: 102 ha
- Flugdatum: 28.Aug. 2020
- 10 cm räumliche Auflösung
- 5 Kanäle: R-G-B-Red Edge-NIR



Feldaufnahmen



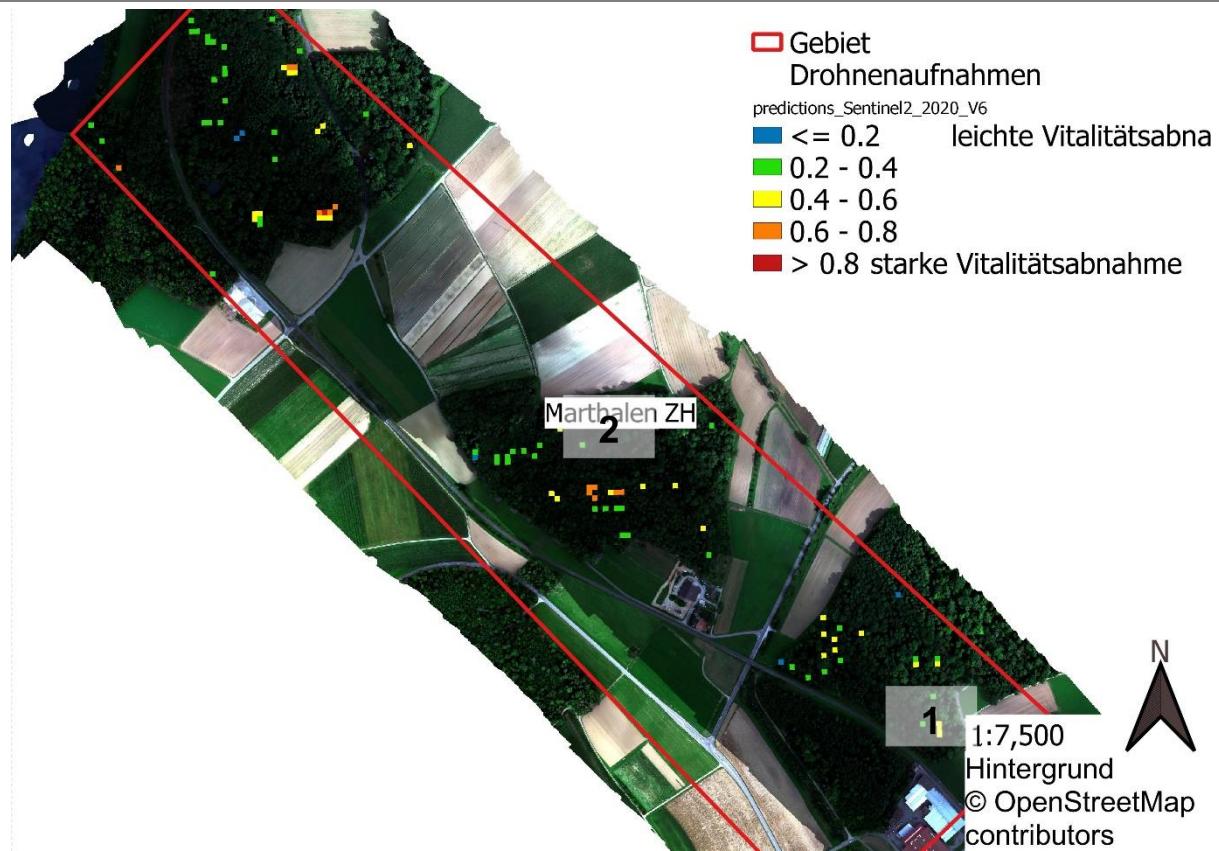
- Nicht beurteilbare Bäume = Stöcke, Windwürfe, gebrochene Stämme
- Buchendominierter Laubmischwald
- Eschenwelke und Borkenkäfer vereinzelt vorhanden
- Buchen und Eichen Anzeichen von Trockenheit, gleichzeitig aber auch Mastjahr
 - ➔ Borkenkäfer grosses Problem, Anzeichen von Trockenheit bei Buche, Mastjahr erschwert Beurteilung

Kommentare

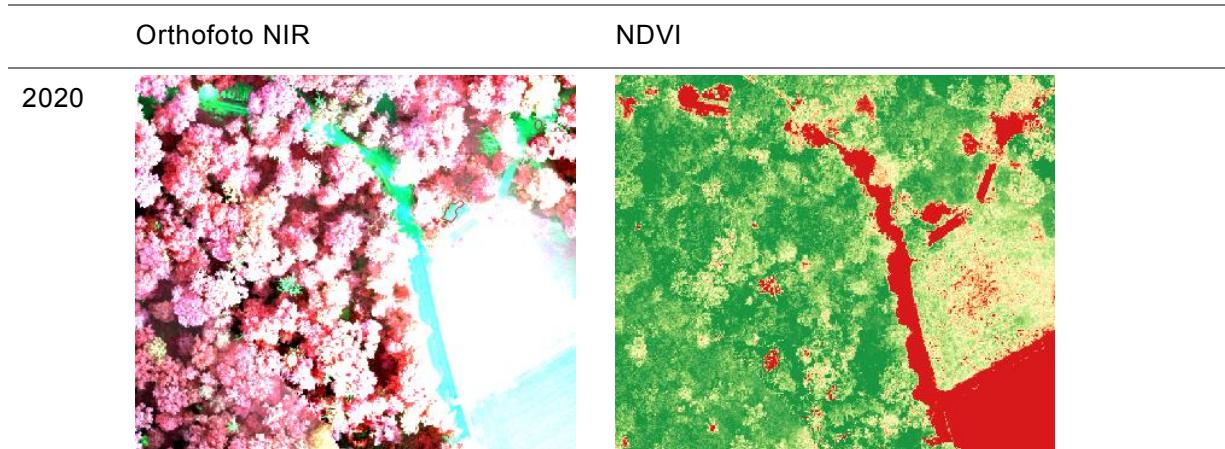
Ergebnisse Modellierung Marthalen

Vorhandene Karten	Jährliche S2 Vitalitätskarten 2018-2020, jährliche S2+P Karten 2019-2020 Räumliche Auflösung 20 m x 20 m und 3 m x 3 m Bestehendes Modell trainiert mit Schweizer Drohnen-Referenzdaten, angewendet auf S2 und P Satellitendaten
-------------------	--

Übersicht S2 Vitalitätskarte 2020

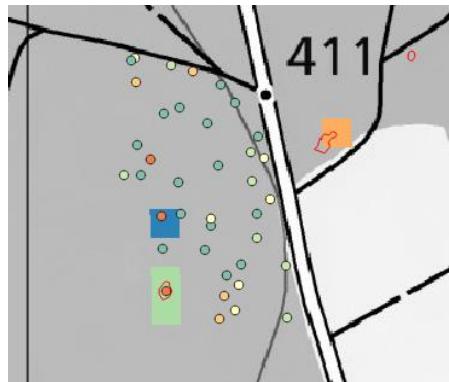


Ausschnitt 1: Koordinaten 2680879 / 1219392 (Fläche 1 in Übersichtskarte)



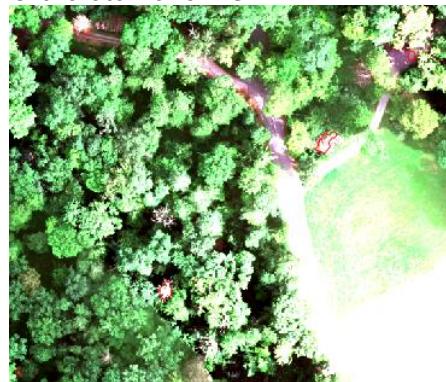
Vitalitätskarte S2

2018

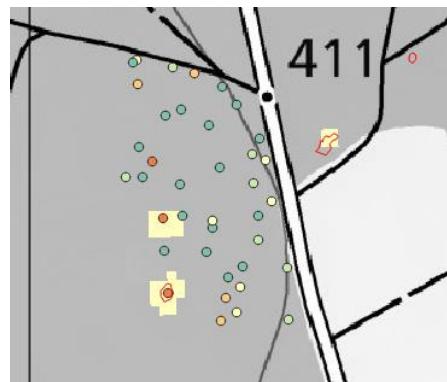
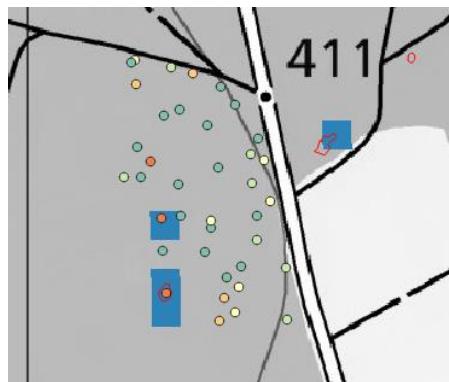


Vitalitätskarte S2+P

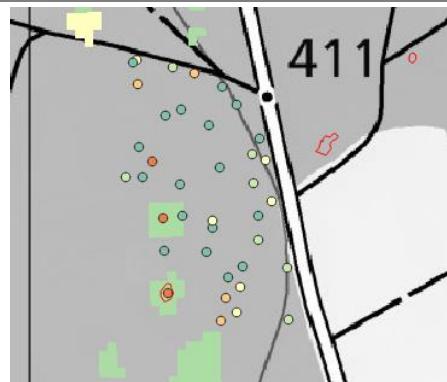
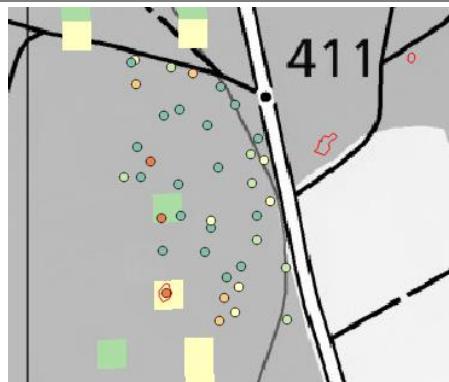
Orthofoto 2020 RGB



2019



2020



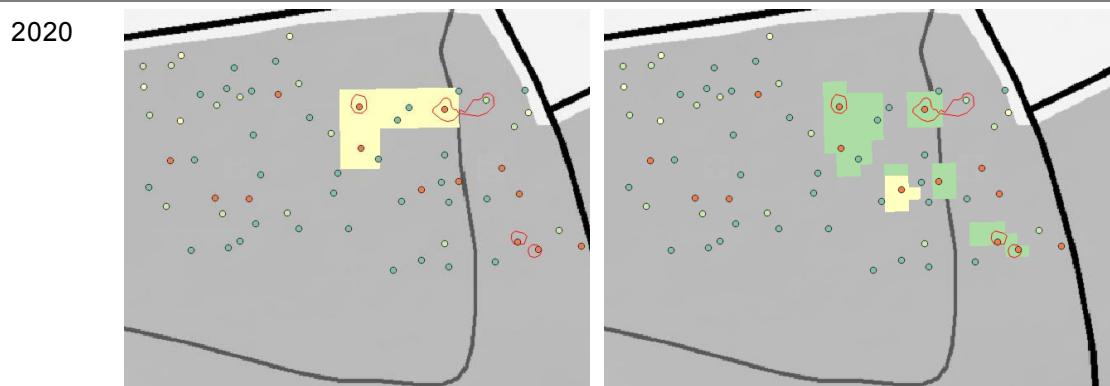
Eindrücke Feldaufnahmen



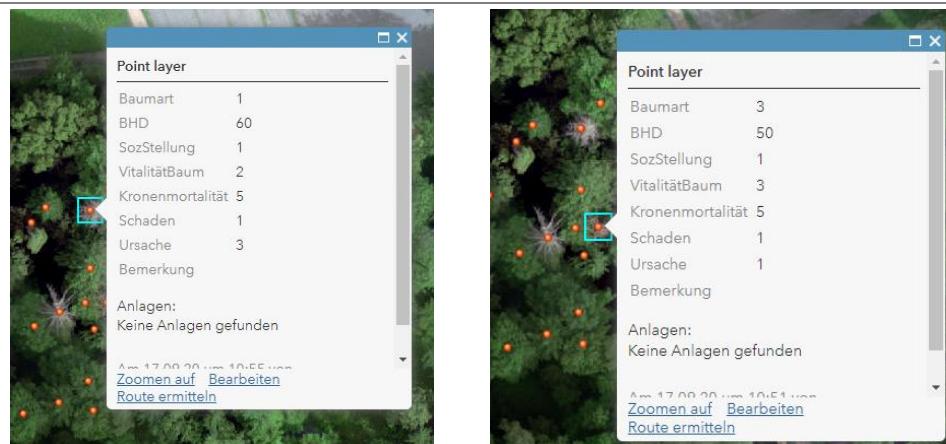
- Die Vitalitätskarten von S2 und P für 2019 und 2020 erkennen die geschwächte Esche (vgl. rotes Polygon der visuellen Beurteilung und oranger Punkt der Felderhebung).
- S2 2019 und P 2019 zeigen alle geschwächten Bäume (rote Polygone), hingegen S2 2020 und P 2020 nur einen Teil.

Ausschnitt 2: Koordinaten 2690543 / 1277665 (Fläche 2 in Übersichtskarte)

	Orthofoto NIR	NDVI
2020		
	Vitalitätskarte S2	Vitalitätskarte S2+P
2018		
2019		



Eindrücke Felderhebung



- P 2020 erkennt die geschwächten Bäume (rote Polygone, rote und orange Punkte) besser als S2. Die Intensität der Vitalitätsreduktion ist für P und S2 relativ tief.
- Die Vitalitätskarten S2 2019 und P 2019 weisen auf einen anderen geschwächten Einzelbaum (Föhre) hin. Für S2 2018 zeigt die Föhre die stärkste Vitalitätsreduktion (vgl. Eindrücke Felderhebung, rechtes Bild)

- ➔ P zeigt prinzipiell das Ausmass und die Intensität der Vitalitätsreduktion besser auf als S2. Es werden jedoch nicht alle geschwächten Bäume im Vergleich zur visuellen Beurteilung (rote Polygone) und Felderhebung (rote, orange Punkte) erkannt.
- ➔ Die Intensität der Vitalitätsreduktion ist im Vergleich zu anderen Standorten eher tief, auch im Vergleich zu Ossingen, das in derselben Region ist.
- ➔ Der Windwurf im Februar 2020 (blaue Punkte) wird auf keiner Vitalitätskarte angezeigt (vgl. Abbildung, S2+P 2020)

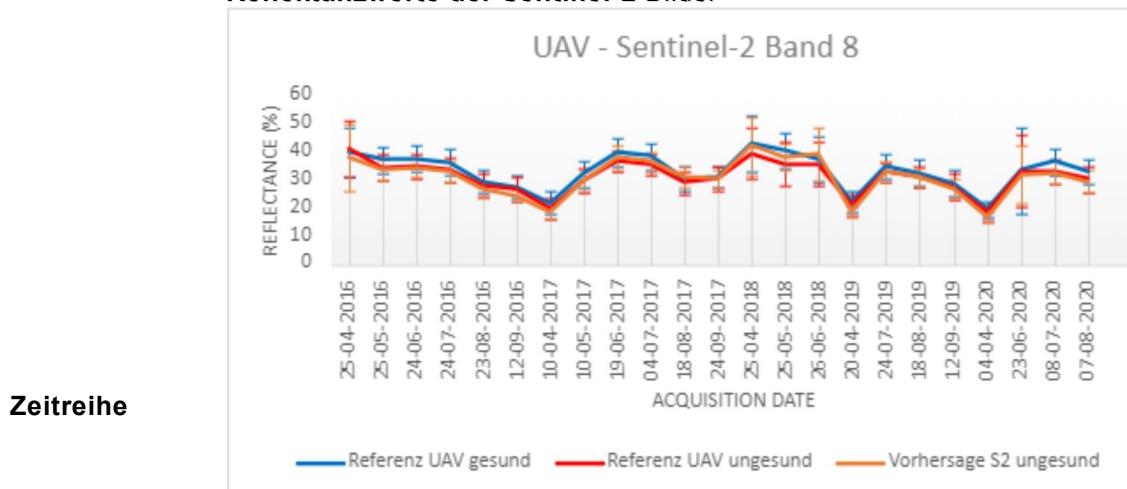
Fazit



Datenanalyse und Evaluation Marthalen

Methode	Zeitreihe:
	Kontrolle der Referenzdaten aus den Drohnenbildern anhand der spektralen Signatur über die Zeit in Satellitenbildern, Vergleich mit den Vitalitätskarten
	Evaluation des Modells (Genauigkeitsanalyse)

Vergleich Klassifizierung Drohne – Vitalitätskarte S2 Reflektanzwerte der Sentinel-2 Bilder



- Kein Unterschied in der spektralen Signatur der UAV-Klassen 'gesund' und 'ungesund' im Satellitenbild, die 'geschwächten' Vitalitätswerte sind ebenfalls nicht von den Drohnen-Referenzdaten unterscheidbar
- Saisonalität der Photosynthese gut erkennbar, Winter 2018 nur wenig verringerte Photosynthese
- Minimaler negativer Trend der spektralen Signatur innerhalb der dargestellten Klassen erkennbar
- ➔ Schlechte Voraussetzung für die Modellierung, Drohnen-Referenzdaten zeigen kaum Unterschied zwischen Klassen

Evaluation Genauigkeits- analyse		Berechnung von Trefferquote (precision) und Genauigkeit (recall) der im Modell berechneten Werte							
Forstregionen	Standort	Sentinel-2 (S2)			Planetscope (P)			(P-S2)	
		precision	recall	Visual	precision	recall	Visual	precision	recall
Mittelland / nördliche Alpen	Raebmatt (T)	37	19	yellow	47	65	yellow	5.0	45.8
	Werthenstein (V)	69	58	green	81	75	green	12.1	17.1
	Genf (T)	11	19	orange	14	25	yellow	2.7	6.3
Mittelland urban	Luzern (T)								
	Meggen (V)								
	Walenstadt (T)	92	55	yellow	96	82	green	4.4	27.0
nördliche Alpen	Braunwald (T)	75	45	red	83	75	yellow	8.3	30.2
	St. Gingolph (V)	100	66	green	100	89	green	0.0	22.7
	Amsteg (V)	98	58	yellow	99	83	green	1.2	25.0
nördl. Alpen / nördl. Zwischenalpen ohne Buche	Klosters (T)	100	36	yellow	100	74	yellow	0.3	37.7
	Airolo (T)	91	49	yellow	94	74	green	2.7	24.7
	Giornico (T)	83	25	yellow	92	40	red	9.1	14.8
südl. Zwischenalpen	Gambarogno (V)	12	55	red	12	77	green	0.0	21.7
	Ossingen (T)	65	69	green	78	86	green	13.6	17.2
	Marthalen (T)	22	35	yellow	35	65	yellow	13.6	30.6
Mittelland	Rupperswil (V)	56	6	red	74	11	yellow		
	Jura (T)	91	24	yellow					
	Chambrelens (T)	65	45	yellow	75	73	green	9.8	27.8
Jura	Court (V)	55	35	yellow	72	68	yellow	17.0	33.8
								Durchschnitt	6.7 25.5

Trefferquote (precision) = Wie viele als **geschwächt** erkannte Bäume sind tatsächlich **geschwächt**?

→ 22% (35% bei S2+P)

Genauigkeit (recall) = Wie viele der tatsächlich **geschwächten** Bäume wurden erkannt?

→ 35% (65% bei S2+P)

Sehr geringe Werte im Vergleich aller Standorte, besonders auch für die Region Mittelland

Visuelle Beurteilung zwischen NDVI, Vitalitätskarten und Referenzdaten besser als die Vitalitätskarten, jedoch nicht voll zufriedenstellend

→ Dieses Gebiet hat eine Geschichte von Windwürfen und verringriger Vitalität der Fichtenaufforstungen, die nicht in den Drohnen-Referenzdaten und konsequenterweise auch nicht in den Vitalitätskarten dargestellt ist

- Schlechte Werte für Trefferquote und Genauigkeit, auch im Vergleich zwischen den Standorten
- Die Drohnen-Referenzdaten sind keine gute Grundlage um das Modell auf diesen Standort zu trainieren
- Außerdem: die Drohnen-Referenzdaten zeigen den Zustand zum Zeitpunkt der Aufnahme, die Vitalitätskarten stellen die Veränderung über einen Zeitabschnitt dar, es ist möglich, dass der Wald schon seit 2016 konstant im selben **'geschwächten'** Zustand ist
- Integration von Baumartenerkennung und überarbeiten der Referenzdaten hat grosses Potenzial die Genauigkeit der Vitalitätskarte zu verbessern
- Die Windwürfe in der Region sind in der Vitalitätskarte nicht als Vitalitätsreduktion erkennbar

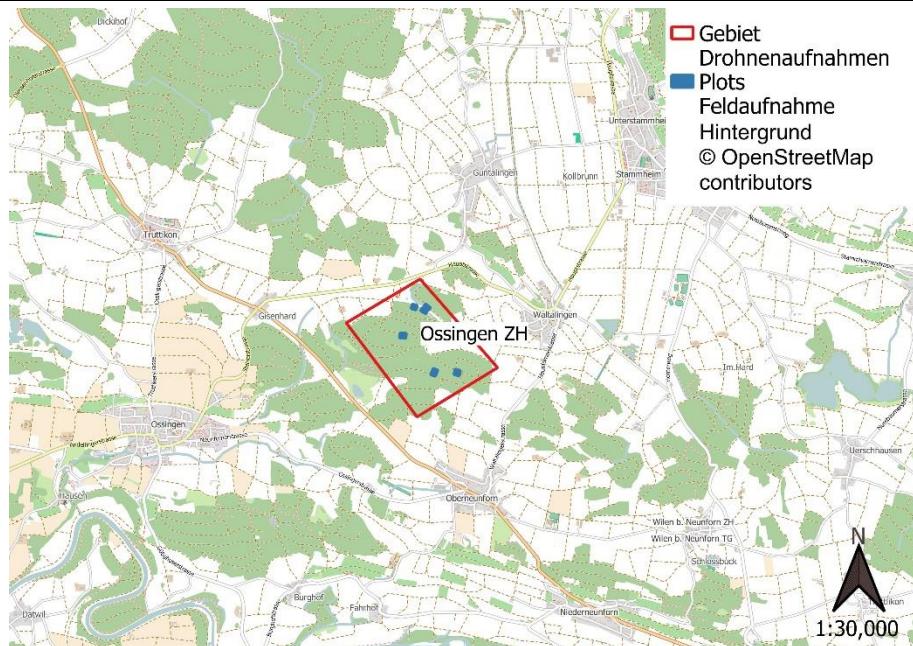
Fazit

Feldaufnahmen Ossingen

Standort

Ossingen
(Training)

Ca. 400 m ü.M.
Exposition: keine



Drohnenflüge

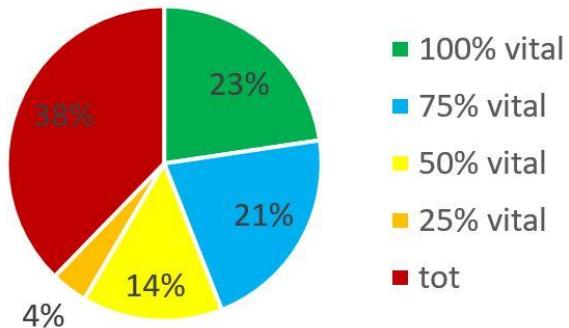
- Geflogene Fläche: 102 ha
- Flugdatum: 28.Aug. 2020
- 10 cm räumliche Auflösung
- 5 Kanäle: R-G-B-Red Edge-NIR

- 48 a 'gesund',
54 a 'ungesund'
50 ha 'Holzschlag'
- Aufnahmedatum:
22. Sept. 2020

Kronenmortalität Ossingen

25% 75%

■ nicht beurteilbar ■ beurteilt



Feldaufnahmen

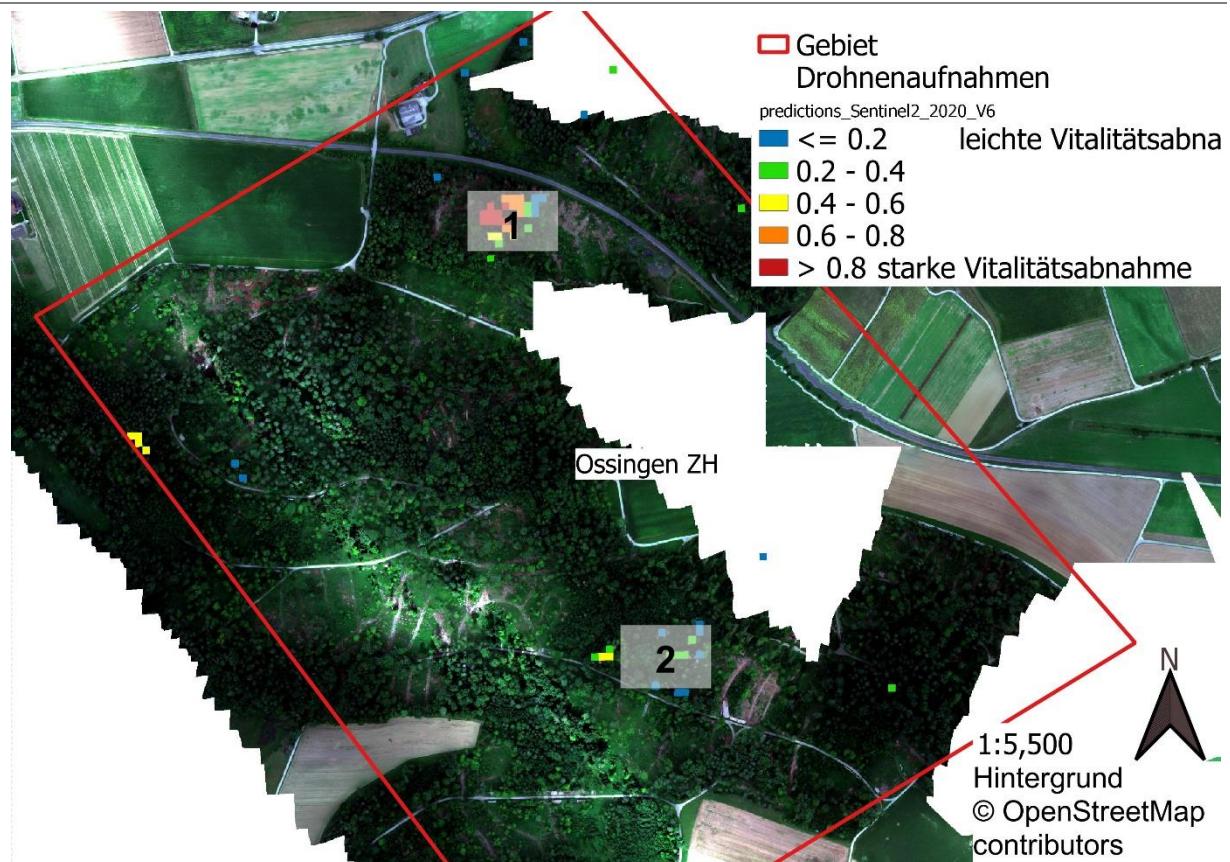
- Nicht beurteilbare Bäume = Stöcke, Windwürfe, gebrochene Stämme
- Zwei Flächen liegen im Holzschlag, zwei Flächen komplett tot wegen Borkenkäfer
- Fichtendominiert, Standortsgemäss Buche, Eiche und Esche
- Eschen von Eschenwelke betroffen, Eichen und Buchen von Trockenheit
→ Borkenkäfer grosses Problem, Anzeichen von Trockenheit bei Buche, Mastjahr erschwert Beurteilung

Kommentare

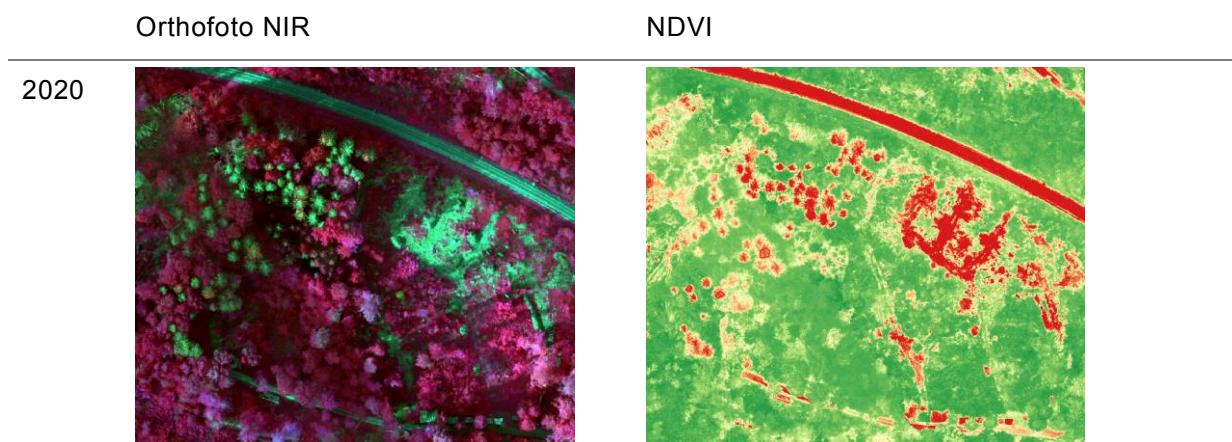
Ergebnisse Modellierung Ossingen

Vorhandene Karten	Jährliche S2 Vitalitätskarten 2018-2020, jährliche S2+P Karten 2019-2020 Räumliche Auflösung 20 m x 20 m und 3 m x 3 m Bestehendes Modell trainiert mit Schweizer Drohnen-Referenzdaten, angewendet auf S2 und P Satellitendaten
-------------------	--

Übersicht S2 Vitalitätskarte 2020

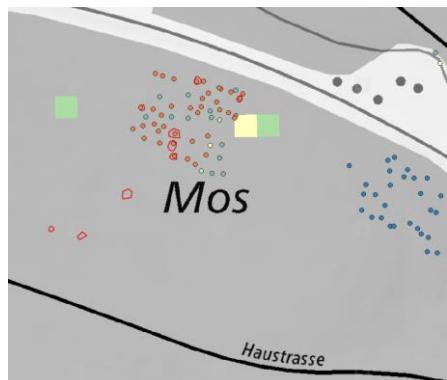


Ausschnitt 1: Koordinaten 2699347 / 1275500 (Fläche 1 in Übersichtskarte)



Vitalitätskarte S2

2018

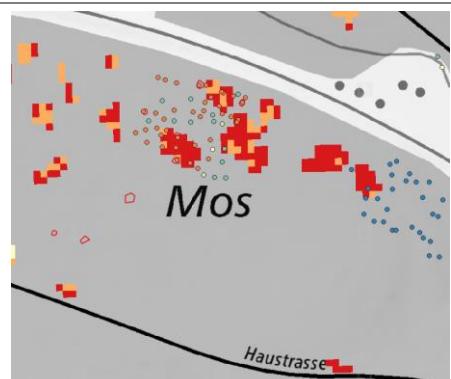
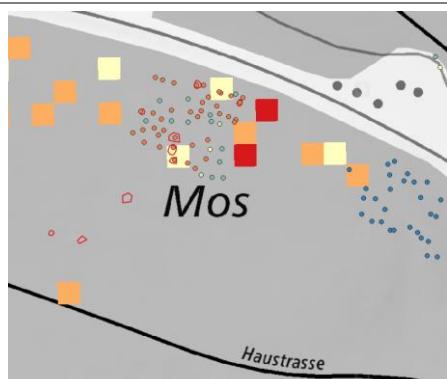


Vitalitätskarte S2+P

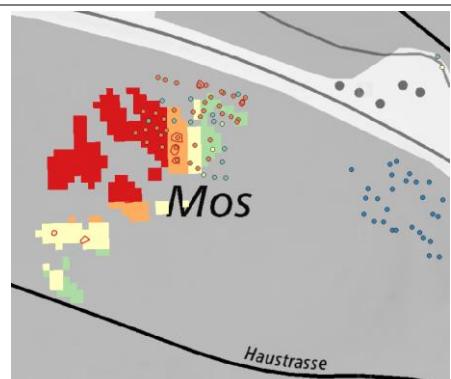
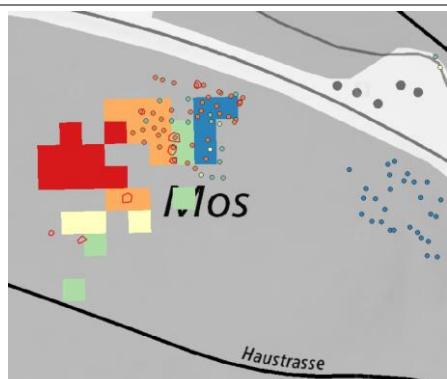
Orthofoto 2020 RGB



2019

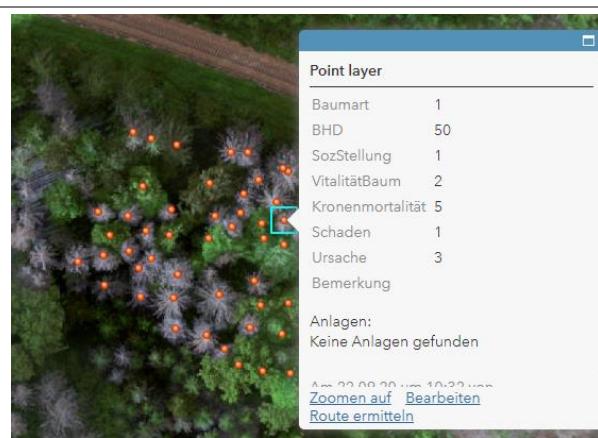
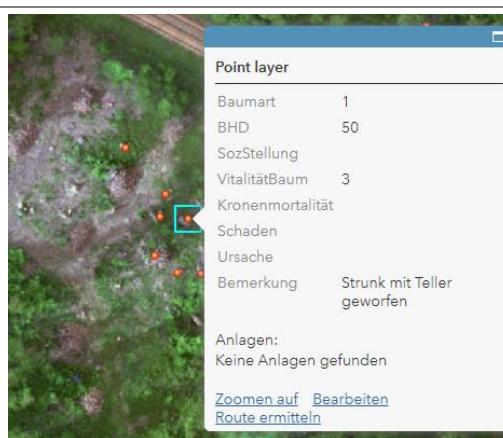


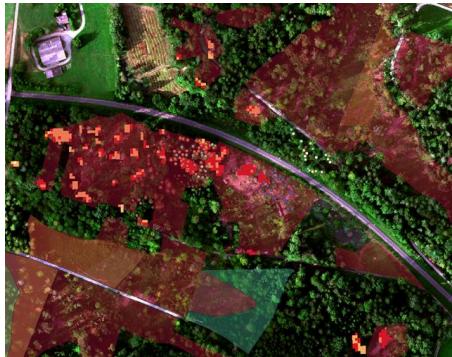
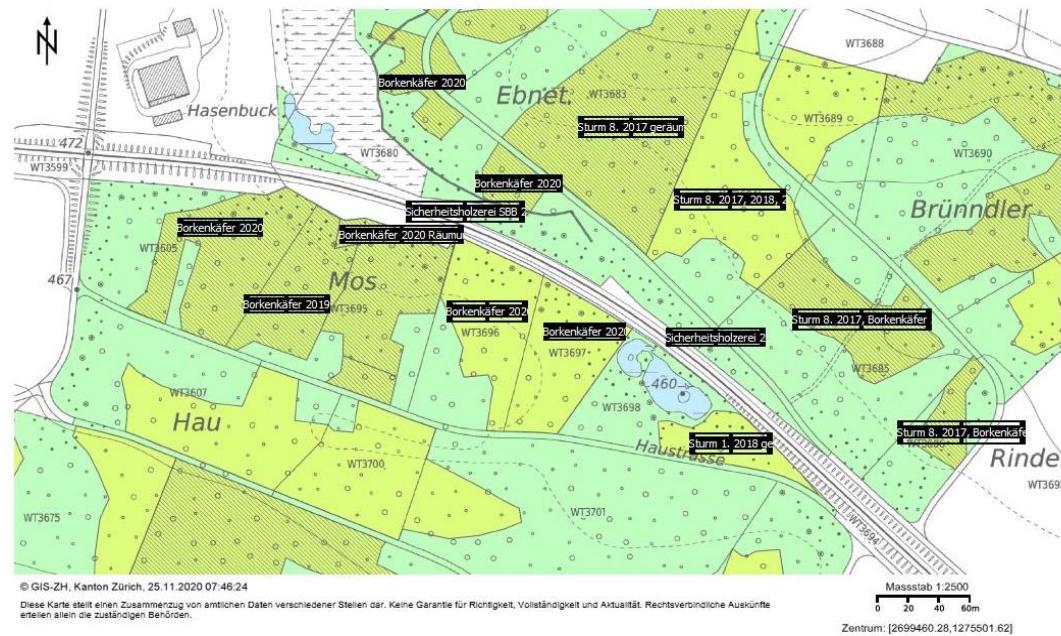
2020



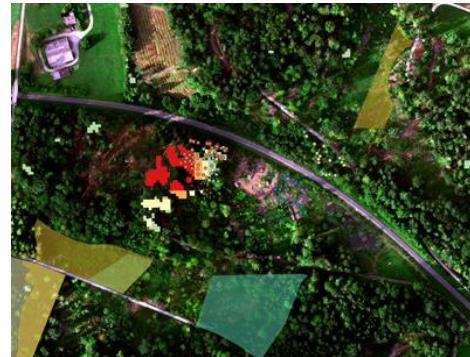
Eindrücke Feldaufnahmen

2020





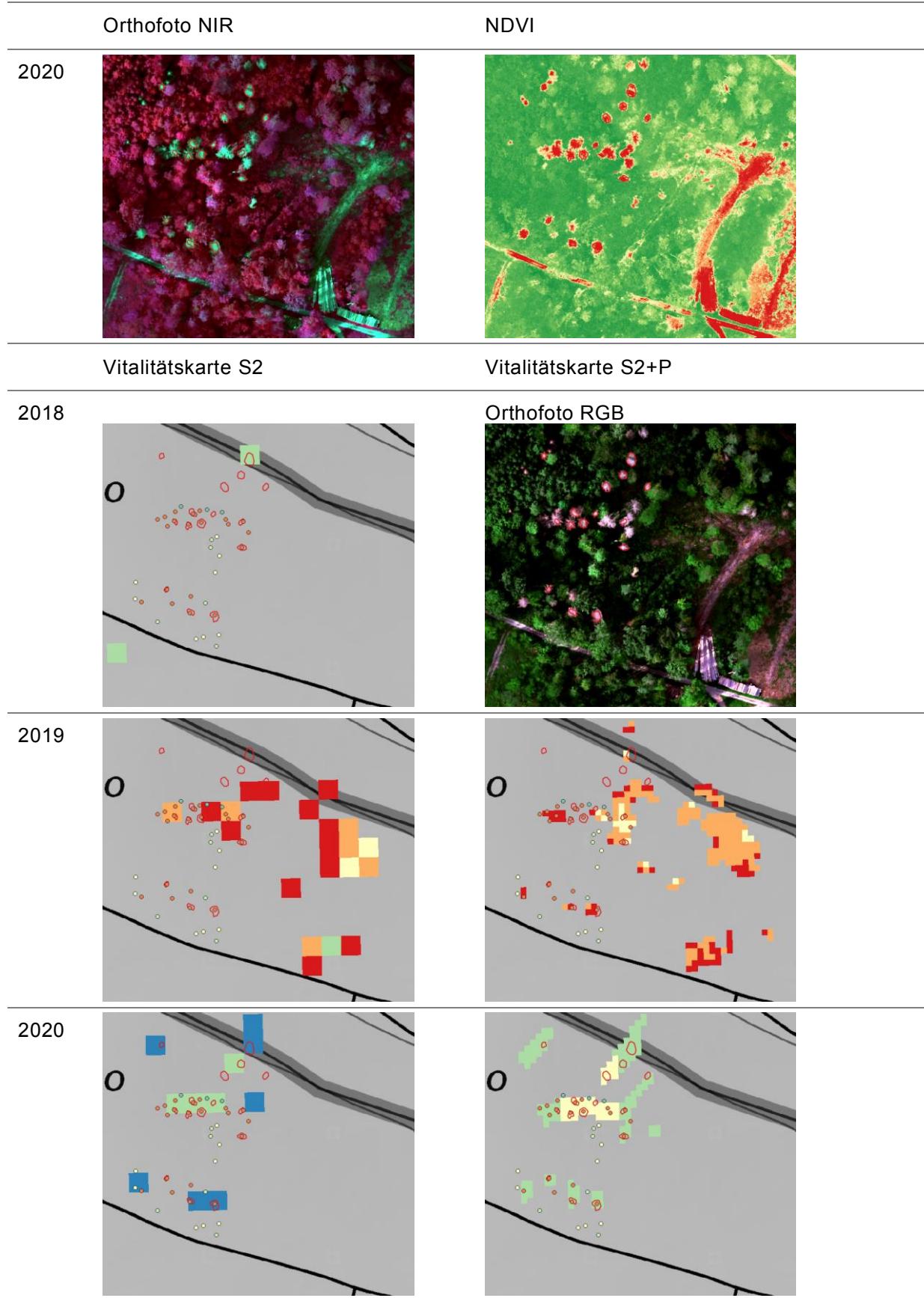
Eingriffe 2016-2020, Vitalitätskarte P 2019



Eingriffe 2016-2019, Vitalitätskarte P 2020

- Die Vitalitätskarte P 2019 zeigt bereits starke Vitalitätsreduktion an, sowohl bei Fichten, die vor September 2020 gefällt resp. von Sturm Sabine im Februar 2020 geworfen wurden, sowie im September 2020 alsdürre Fichten noch stehen.
- S2 zeigt 2019 und 2020 weniger betroffene Flächen sowie eine schwächere Vitalitätsreduktion als P an.

Ausschnitt 2: Koordinaten 2699590 / 1274910 (Fläche 2 in Übersichtskarte)

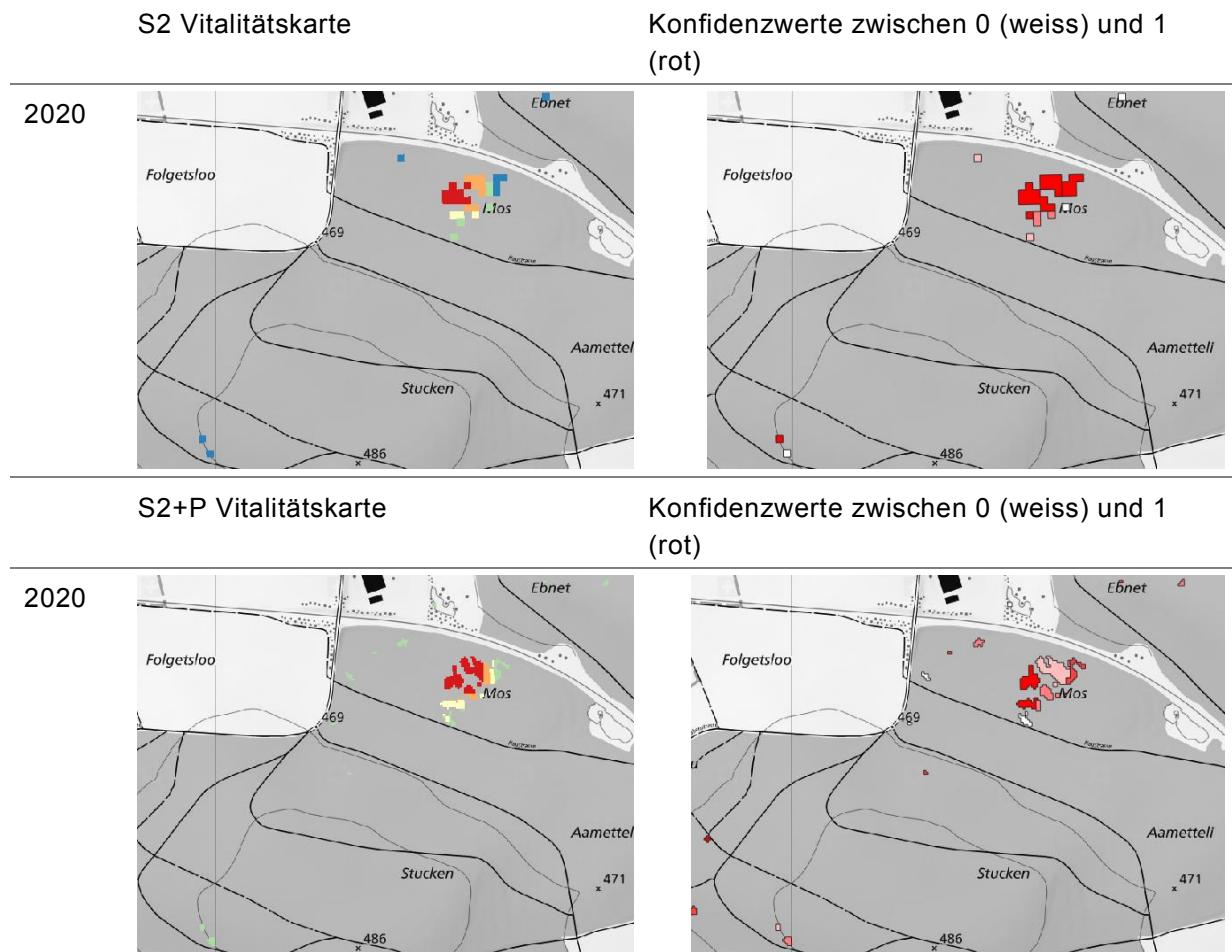


- Die 2020 abgestorbenen Fichten zeigen 2020 eine geringe und 2019 eine starke Vitalitätsreduktion. S2 und P zeigen dieselben Resultate, einzig der Detailierungsgrad ist bei P besser.
- Die vor September 2020 gefällten Fichtenfläche (ganz rechts) wird in der Vitalitätskarte 2019 vorhergesagt, in derjenigen für 2020 nicht, was der Realität entspricht.

Fazit

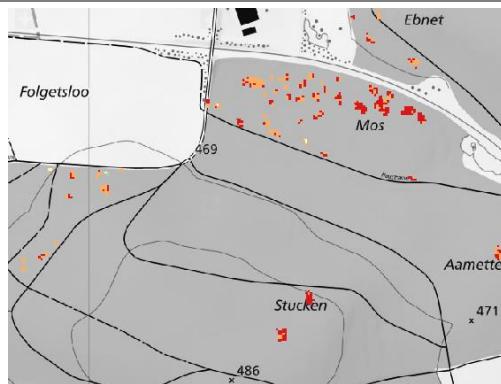
- ➔ Die 2020 geschwächten, abgestorbenen oder vom Sturm geworfenen Bäume (mehrheitlich Fichten) wurden in der Vitalitätskarte 2019 von S2 und P angezeigt.
- ➔ Geschwächte Bäume werden mit den Vitalitätskarten bereits 10 m ab Bahnlinie identifiziert.

Konfidenzwerte der Vitalitätskarten: Koordinaten 2699222 / 1275278 (Fläche 1 in Übersichtskarte)

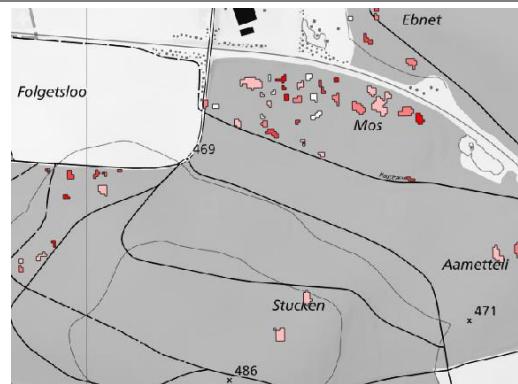


S2+P Vitalitätskarte

2019



Konfidenzwerte zwischen 0 (weiss) und 1 (rot)



- Die Konfidenzwerte zwischen 0 und 1 zeigen für jedes Pixel mit einem Vitalitätswert eine Beurteilung, wie sicher sich das Modell mit diesem Wert ist. Je näher bei eins (rot) desto sicherer ist das Modell.
- Die Konfidenzwerte sind bei der Vitalitätskarte für 2020 basierend auf S2+P relativ hoch (zwischen 0.68 und 0.94), was prinzipiell auf ein sehr robustes Modell schliessen lässt.

Fazit

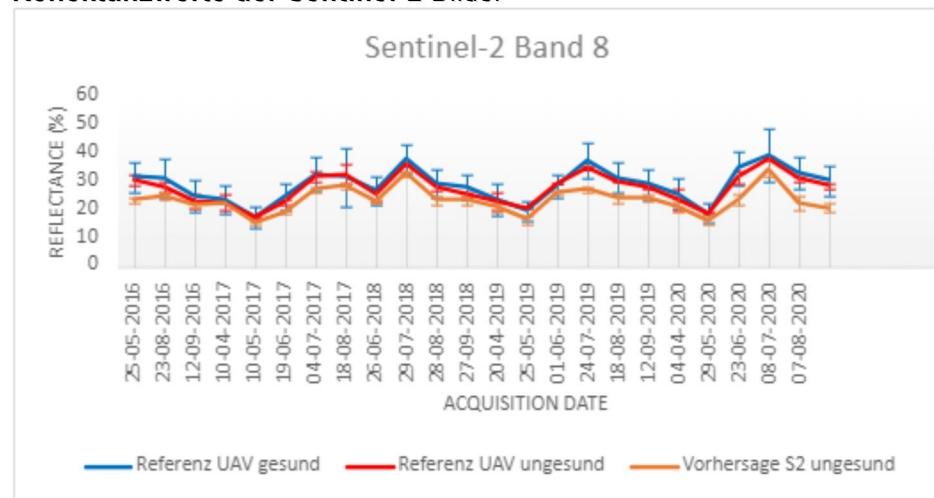
→ Es ist kein Unterschied in dem Konfidenzwert zwischen falsch und richtig detektierten geschwächten Bäumen zu erkennen, obwohl hier ein klarer Unterschied wünschenswert gewesen wäre. Ideal ist ein hoher Konfidenzwert bei richtig detektierten Bäumen und ein niedriger Konfidenzwert bei falsch detektierten Bäumen. Diese Unterscheidung ist nicht erkennbar, was bei einer weiteren Entwicklung des Modells untersucht werden sollte.

Datenanalyse und Evaluation Ossingen

Methode	Zeitreihe:
	Kontrolle der Referenzdaten aus den Drohnenbildern anhand der spektralen Signatur über die Zeit in Satellitenbildern, Vergleich mit den Vitalitätskarten
	Evaluation des Modells (Genauigkeitsanalyse)

Vergleich Klassifizierung Drohne – Vitalitätskarte S2 Reflektanzwerte der Sentinel-2 Bilder

Zeitreihe



- Kaum ein Unterschied in der spektralen Signatur der UAV-Klassen 'gesund' und 'ungesund' im Satellitenbild, die 'geschwächten' Vitalitätswerte haben eine minimal tiefere spektrale Signatur wie die Drohnen-Klassifizierung
- Saisonalität der Photosynthese leicht erkennbar, Winter 2018 kaum verringerte Photosynthese
- Keine längerfristigen Trends der spektralen Signatur innerhalb einer Klasse zwischen 2016 und 2020 erkennbar, weder in den Drohnen-Referenzdaten noch in der Vitalitätskarte
- ➔ Schlechte Voraussetzung für die Modellierung, Drohnen-Referenzdaten zeigen kaum Unterschied zwischen Klassen

Evaluation Genauigkeits- analyse		Berechnung von Trefferquote (precision) und Genauigkeit (recall) der im Modell berechneten Werte							
Forstregionen	Standort	Sentinel-2 (S2)			Planetscope (P)			(P-S2)	
		precision	recall	Visual	precision	recall	Visual	precision	recall
Mittelland / nördliche Alpen	Raebmatt (T)	37	19		47	65		5.0	45.8
	Werthenstein (V)	69	58		81	75		12.1	17.1
	Genf (T)	11	19		14	25		2.7	6.3
Mittelland urban	Luzern (T)								
	Meggen (V)								
	Walenstadt (T)	92	55		96	82		4.4	27.0
nördliche Alpen	Braunwald (T)	75	45		83	75		8.3	30.2
	St. Gingolph (V)	100	66		100	89		0.0	22.7
	Amsteg (V)	98	58		99	83		1.2	25.0
nördl. Alpen / nördl. Zwischenalpen ohne Buche	Klosters (T)	100	36		100	74		0.3	37.7
	Airolo (T)	91	49		94	74		2.7	24.7
	Giornico (T)	83	25		92	40		9.1	14.8
südl. Zwischenalpen	Gambarogno (V)	12	55		12	77		0.0	21.7
	Ossingen (T)	65	69		78	86		13.6	17.2
	Marthalen (T)	22	35		35	65		13.6	30.6
Mittelland	Rapperswil (V)	56	6		74	11			
	Jura (T)	91	24						
	Chambréli (T)	65	45		75	73		9.8	27.8
Jura	Court (V)	55	35		72	68		17.0	33.8
							Durchschnitt	6.7	25.5

Trefferquote (precision) = Wie viele als **geschwächt** erkannte Bäume sind tatsächlich **geschwächt**?

→ 65% (78% bei S2+P)

Genauigkeit (recall) = Wie viele der tatsächlich **geschwächten** Bäume wurden erkannt?

→ 69% (86% bei S2+P)

Eher mittelmäßige Werte, im Gegensatz zu den meisten anderen Standorten sind Trefferquote und Genauigkeit etwa gleich

Visuelle Beurteilung zwischen NDVI, Vitalitätskarten und Referenzdaten ist relativ gut

→ Genauigkeitsanalyse ist ein Vergleich zwischen UAV-Referenz und Vitalitätskarte, allerdings wurde die Klassifizierung der Drohnen-Referenzdaten durch viel Windwurf und Holzschläge in der Region erschwert.

- Eher mittelmäßige Werte für Trefferquote und Genauigkeit, auch im Vergleich zwischen den Standorten
- Die Drohnen-Referenzdaten sind keine gute Grundlage, um das Modell auf diesen Standort zu trainieren
- In Ossingen sind viele Fichten bei Windwürfen auf die Gleise gefallen. Die Referenzdaten sind nicht von besonders guter Qualität, dennoch erkennt das Modell einigermaßen gut die geschwächten Bäume. Die Vitalitätskarten sind sehr präzise an den Gleisen.
- Die Drohnen-Referenzdaten zeigen den Zustand zum Zeitpunkt der Aufnahme, die Vitalitätskarten stellen die Veränderung über einen Zeitabschnitt dar, es ist möglich, dass der Wald schon seit 2016 konstant im selben '**geschwächten**' Zustand ist

Fazit

5 Schlussfolgerungen

5.1 Methode Allgemein

- | | |
|-------------------------------|---|
| Feld-
erhebung | <ul style="list-style-type: none">• Gute Zusammenarbeit zwischen den teilnehmenden Kantonen und weiteren Institutionen wie BAFU, WSL und HAFL• Datenerhebung in Kollektivarbeit durchgeführt, Koordination durch die SBB, effiziente, gemeinsame, serverbasierte Plattform zur digitalen, mobilen, georeferenzierten, simultanen Datenaufnahme• Felderhebungen zeitaufwändig, jedoch notwendig und wertvoll für Validation und Interpretation der Ergebnisse der Modellierung |
| Drohnen-
flüge | <ul style="list-style-type: none">• Beurteilung der Kronenvitalität im Feld ist sehr subjektiv. Die Kronenbilder von Sanasilva bieten einen Vergleich, aber die lokalen Gegebenheiten beeinflussen das Kronenbild stark. So sieht eine geschwächte Buche im Jura nicht gleich aus wie eine geschwächte Buche in den Alpen• Im Feld wird die äussere, sichtbare Kronenvitalität von unten beurteilt, mit der Drohne die Baumvitalität im NIR Bereich von oben.
<ul style="list-style-type: none">• Einfache und schnelle Möglichkeit um Luftbilder mit guter Datenqualität (aktuell und hohe Auflösung) zu erhalten• Die Qualität der Drohnenbilder ist stark von den Lichtbedingungen abhängig: Beste Flugbedingungen sind ein gleichmässig bedeckter Himmel, trocken und windstill• Zeitpunkt der Dronenaufnahmen ist entscheidend für die spektrale Signatur der Bäume. Am Höhepunkt der Vegetationsperiode ist ideal, später im Jahr hat die natürliche Seneszenz bereits eingesetzt |
| Vitalitäts-
karten | <ul style="list-style-type: none">• Im Gebirge ist auf unterschiedliche Lichtverhältnisse im Bild zu achten, Schattenwurf durch Berge macht Bereiche unbrauchbar• Z.T. sind Flugbewilligungen nötig, in bestimmten Bereichen ist ein Drohnenflug verboten (Jagdbanngebiete, Naturschutz und um Flugplätze herum -> siehe maps.geo.admin.ch)• Die Genauigkeit der Georeferenzierung von Dronendaten ist im Meterbereich. Daher können zwei Orthomosaik Verschiebungen von mehreren Metern aufweisen. Dies ist auch beim Vergleich mit weiteren Raumdaten (Karten, Satellitenbilder, etc.) zu beachten.
<ul style="list-style-type: none">• Generell zuverlässiges Erkennen einer Vitalitätsabnahme im Wald durch das Modell• Über alle Standorte gesehen liefert das Modell eine hohe Trefferquote (Precision) = Als geschwächt erkannte Bäume sind wirklich geschwächt; und eine etwas weniger hohe Genauigkeit (Recall) = Einige in Realität geschwächt Bäume werden nicht erkannt• Tendenziell sind die S2+P Vitalitätskarten zuverlässiger als die S2 Vitalitätskarten |

Erschwerende Verhältnisse für die Modellierung:

- Einzelbäume, Stadtbäume, heterogener Hintergrund (Mischpixel z.B. in Siedlungen), viele unterschiedliche Baumarten (Mischwald), exotische

-
- Baumarten, Mischwald, stufige Bestände, Verteilung einzelner geschwächter Bäume über die ganze Fläche anstatt geklumpt
- Gute Voraussetzungen für die Modellierung sind generell ein klarer Unterschied der Reflektanzwerte zwischen den Klassen 'gesund' und 'ungesund' in den Drohnen-Referenzdaten

Erkenntnisse:

- Statistische Genauigkeit des Modells ist stark abhängig von der **Qualität der Referenzdaten (aus Drohnenbildern)**
- Bei der Abgrenzung zwischen 'gesund', 'geschwächt' und 'ungesund' muss auf standortspezifische Eigenheiten geachtet werden. In generell trockenen Gebieten kann nicht einfach alles als 'geschwächt' klassifiziert werden.
- Fokus des Modells liegt auf der Vitalitäts-**Veränderung** von Bäumen. Es gibt keine Aussage über Bäume mit gleichbleibender Vitalität (egal ob hoch oder niedrig), nur eine **Anzeige der Abnahme der Vitalität** im betrachteten Zeitraum (2016-2020). Unveränderte Flächen, auch solche die seit Anfang an 'geschwächt' sind, werden nicht angezeigt.
- Wege, Siedlungen, Holzschläge und Schatten, Felsflächen, Gruben werden zuverlässig erkannt und aus der Vitalitätskarte ausgenommen
- Achtung: die Drohnen-Referenzdaten zeigen den Zustand zum Zeitpunkt der Aufnahme, die Vitalitätskarten stellen die kumulierte Veränderung über einen Zeitabschnitt seit Beginn der verwendeten Satellitenbilder dar (bei S2 seit 2016, Planet seit 2018)

Fazit:

- ➔ Das Modell ist am zuverlässigsten in nadelholzdominierten, eher homogenen Waldbeständen mit truppweise auftretenden geschwächten Bäumen.
- ➔ In den heterogenen Mischwäldern und stufigen Beständen des Juras und Mittellandes sind die Vitalitätskarten etwas weniger präzise.
- ➔ In urbanen Gebieten gibt es im vorhandenen Modell zu wenig Drohnen-Referenzdaten (zu wenig geschwächte Bäume) um vernünftige Vitalitätskarten erstellen zu können. Exoten und Störungen des Hintergrundes erschweren die Modellierung.
- ➔ Sowohl S2 Vitalitätskarten als auch S2+P Vitalitätskarten zeigen grundsätzlich dieselben Muster (Hotspots) der Vitalitätsabnahme. Die Kombination mit P führt oft zu einer genaueren Beschreibung der Vitalitätsabnahme.
- ➔ Mit den Vitalitätskarten der vorhergehenden Jahre (Change in time) lassen sich bedingt Ereignisse vorhersagen, die auf eine abnehmende Vitalität zurückzuführen sind. Bei den Change in Time Karten ist besonders der Zeitpunkt der Waldmaske zu beachten, da Eingriffe und Ereignisse die vom Modell beurteilte Fläche stark beeinflussen.

Mögliche Anwendung

- ➔ Das Modell liefert zuverlässige Hinweise zur Vitalitätsabnahme im Wald in der Größenordnung zwischen 0.2 ha bis 1 ha
- ➔ Ein Frühwarnsystem für den Forstdienst, Waldeigentümer und Infrastrukturbetreiber ist derzeit nicht als kostenfreie open source Lösung für die ganze Schweiz umsetzbar. Ein solches Tool könnte kostenpflichtig auf einer gemeinsamen Geodatenplattform durch die Firma overstory (NL) zur Verfügung gestellt werden.

-
- ➔ Es ist angedacht, ein ähnliches Tool durch Schweizer Forschungsinstitutionen zur Unterstützung der Entscheidungsträger zusammenzustellen, welches Kontrollgänge im Wald und Siedlungsgebieten mit Karten oder einer Push-Notifikation gezielt unterstützt und die Betroffenen entsprechend zeitlich entlasten würde
-

5.2 Potenzial in der Praxis

Die Fernerkundung, deren Möglichkeiten und die Anwendung in verschiedenen Bereichen in Natur und Umwelt, unter anderem im Wald, ist ein sich schnell entwickelnder Bereich in der Schweiz

Die Koordination und das Zusammenführen der Akteure, die sich in diesem Bereich beschäftigen, ist zum Nutzen aller:

- Das SBB Projekt zeigt eine produktive, effiziente und reibungslose Zusammenarbeit von Forschung, Bund, Kantonen und SBB auf. Ein Gefäss in Form einer «fachlichen Begleitgruppe» wird etabliert und ist für individuelle Fallstudien gewinnbringend.
- Eine gemeinsame Datenplattform und Austauschgruppe zwischen Forschung, Kantonen und anderen Institutionen ist von allen Seiten gewünscht und wird von den Projektpartner weiterverfolgt
- Die Trägerschaft der «Koordination Fernerkundung» in der Forschung mit aktiver Mitarbeit der Kantone und anderer Akteure aus der Praxis ist zu klären (z.B. über KOK oder AG WaPlaMa)
- Der Wissenstransfer soll über planfor.ch erfolgen, indem Projekte, Dokumentationen, ein Wiki, und Links allen Interessierten offenstehen.

**Potenzial
für
Zusammen-
arbeit**

Möglichkeit zur Kombination mit laufenden Projekten (siehe auch Weiterentwicklung im Kapitel 5.3. Weiterer Projektverlauf)

- HAFL, Luuk Dorren: Projekt FINT-CH: Einzelbaumerkennung, Baumhöhenkarte und Waldstrukturkarte
- HAFL, BAFU: waldmonitoring.ch
- WSL: LFI 4 (2009-2017): neue Bestandeskarten
- WSL, Tiziana Koch: Dissertation: Baumartenerkennung aus Fernerkundungsdaten
- WSL, Lars Waser und Dominique Weber: Fernerkundung im Wald, diverse Masterarbeiten aus dem Themenspeicher möglich
- Nutzung der Daten in der Waldplanung und der Planung forstlicher Eingriffe, z.B. im Schutzwald zur Priorisierung von Eingriffen in Gebieten, die eine Vitalitätsabnahme zeigen
- Fernerkundungsdaten auch zum Monitoring von Waldbiodiversität einsetzbar, z.B. Erkennen von Altholz und Totholzinseln
- Durch den Klimawandel werden Verschlechterungen der Waldgesundheit und Veränderungen in der Struktur von Waldbeständen potenziell schneller voranschreiten. Fernerkundung bietet die Werkzeuge einfach, schnell und relativ kostengünstig diese Entwicklungen auch auf Betriebsebene zu beobachten. Während einzelne Kantone, Betriebe oder Waldeigentümer kaum das nötige Knowhow haben, einzeln ein solches Monitoring aufzusetzen wäre ein gemeinsames und vergleichbares Monitoring in der Schweiz ein Mehrwert für alle.
- Kombinieren kantonal erhobener Daten zu einem schweizweiten Netz an potenziellen Referenzdaten für weitere Modelle, die in der Forschung entwickelt werden können
- Nutzen eines präventiven Frühwarnsystems mittels Vitalitätskartekarten der Vitalität gekoppelt mit Baumartenerkennung, Baumhöhe und

**Schnitt-
stellen für
die
Nutzung in
der Praxis**

Einzelbaumidentifikation ist für Infraukturbetreiber, wie Eisenbahninfraukturbetreiber, das Bundesamt für Strassen, ASTRA, kantonale Tiefbauämter, Elektrizitätswerke (Übertragungsleitungen), Städte- und Gemeindeverwaltungen oder Versicherungen möglich

Vision

- ➔ Nationales Nutzerinterface (z.B. auf einer Website), von der alle Nutzer, auch ohne Fachwissen profitieren können
 - ➔ Schweizweite Karte mit Einzelbäumen, Baumarten, Baumhöhe und Hinweiskarten zur Waldvitalität, Waldstruktur
 - ➔ Ständige Koordinationsstelle für den Wissenstransfer zum Thema Fernerkundung im Wald mit Teilnehmern der Forschung und Praxis (aktuell vereinbart ist WSL im Lead gemeinsam mit HAFL) Fachliche Begleitung von Fallstudien möglich.
-

5.3 Weiterer Projektverlauf

Ab März: Drei Teststrecken der SBB

- Anwendung eines monatlichen Monitorings durch overstory auf drei verschiedenen SBB-Streckenabschnitten

Anwendung in der Praxis

Möglichkeit für Kantone und andere Interessenten bei overstory ein Monitoring für eine gewünschte Fläche zu kaufen

- Lizenz für die gewünschte Fläche und Dienstleistung
- Grundlagenplattform könnte nach Absprache mit SBB gemeinsam genutzt werden

Weiterführung des Projekts auf zwei Ebenen.

1. In der Forschung wird eine allgemeine Austauschplattform zum Thema 'Fernerkundung-Möglichkeiten und Anwendung' aufgebaut (Wissenstransfer auf planfor.ch).
2. Anwendungen in der Praxis werden in einzelnen Fallstudien vom jeweiligen Anwender durchgeführt und können im Rahmen der Plattform begleitet werden.

Bedingt folgende Ressourcen

- Personell in Form von Projektkoordination Forschung und Praxis (es darf nicht weiterhin ehrenamtlich erfolgen).
- Finanzielle in Form von Anträgen für nationale Projekte an Fonds (z.B. Wald- und Holzwirtschaftsfonds, NFP). Kantonale oder regionale Projekte eher lokal finanziert

Weiterentwicklung

- **Tiziana Koch (PhD WSL):** Baumartenerkennung in der Schweiz. Integration des Themenspeichers Nr. 8 **ab 2022**, Zusammenführen der Ergebnisse der laufenden Projekte zum Thema Fernerkundung im Wald, Anwendungen für die Praxis
- **Wissenstransfer für Fernerkundung:** Projekt der **HAFL unter Hannes Horneber**, um Akteure in der Schweiz zum Thema Fernerkundung und deren Nutzung im Wald und in der Praxis zusammenzubringen. Ab März 2021.
- **Koordination zwischen Forschung und Praxis (Kantone, Forstbetriebe) für interdisziplinäre Projekte:** Lead bei **Lars Waser und Dominique Weber (WSL)**, z.B. Remote Sensing Lectures
- **KOK-Auftrag WaPlaMa (März 2021, Koordination Raphaela Tinner),** Thema Fernerkundung im Wald, interkantonale Zusammenarbeit und Wissenstransfer werden dargelegt. Eine Integration des Bereichs «Fernerkundung im Wald» ist auf der WaPlaMa-Austausch-Website planfor.ch angedacht

Themenspeicher für mögliche Forschungsprojekte aus Überlegungen und Inputs der Begleitgruppe des Pilotprojekts:

Nr.	Thema (auf Basis der Daten von Pilot 2)	Massnahmen	Ressourcen geschätzt (h & CHF)
1	Overfitting des Modells an anderen Standorten prüfen (S2, Planet und forest mask)	Pilot 2 an neuen Standorten durchführen	85 h / 8'200 CHF pro Standort

2	Kriterien, die die Vitalität und somit eine automatisierte Erkennung beeinflussen (Umgang mit kurzen/langen Kronen, Höhengradienten, entnommenen Bäumen, Pflanzengesellschaften, Wasserverfügbarkeit)	Masterarbeit zu 7-8 Standorten von Pilot 2	1120 h / 67'200 CHF pro Arbeit
3	Confidenzwerte und visuelle Darstellung, Vergleich mit Modellierung zur Vitalität (gesund/ungesund)	Bachelorarbeit zu allen Standorten von Pilot 2	300 h / 15'000 CHF
4	Weiterentwicklung Modell nur basierend auf S2	Untersuchung über 2 Jahre mit Vergleich zu Thema 1	2'000 h / 200'000 CHF
5	NDVI über die Zeit, Ndh-/Lbh-Verhältnis, Vegetationshöhe sowie Bestandesdichte / canopy clustering CHM ermitteln	Masterarbeit zu allen Standorten von Pilot 2	1120 h / 67'200 CHF
6	Aus Drohnenbildern Oberflächenmodelle generieren	Bachelorarbeit zu 3-4 Standorten von Pilot 2	300 h / 15'000 CHF
7	Vergleich NDVI HAFL (hohe Flugebene) mit Deep Learning Modell (Einzelbaumanalyse)	An Standorten aus Pilot 2 und Thema 1 ermitteln (als Projekt)	2'000 h / 200'000 CHF
8	Ergebnisse aus laufenden Projekten zusammenführen und Empfehlungen für die Praxis ableiten (v.a. Vitalität, Einzelbaumerkennung FINT-CH und Baumartenerkennung)	Doktorarbeit für Synthese Fernerkundung und Praxis	6'400 h / 250'000 CHF
9	Deep-Learning: Alternative Methoden, Schwächen		

Ab März 2021

- Teststrecken der SBB mit Überwachung der Vitalität durch die Firma overstory
- Start der Austauschplattform Wissenstrans für Fernerkundung (HAFL)
- Vorstellung des SBB-Projekts an der WaPlaMa Jahrestagung (17.3.2021)
- Veröffentlichung von Dokumentationen zu Fernerkundung im Wald und Waldplanung auf <https://www.planfor.ch/>

Juni 2021 (voraussichtlich)

- Zeitplan**
- Remote Sensing Lectures an der WSL. Thema: Anwendung von Sentinel-1/2 Daten u.a. für forstliche Anwendungen (Fachvorträge). Eventuell zusätzlicher praxisorientierter Workshop am Nachmittag
 - FINT-CH: Workshop mit allen Beteiligten, um die Anwendung der Ergebnisse aus der Einzelbaumidentifikation vorzustellen und auszuprobieren.

2022

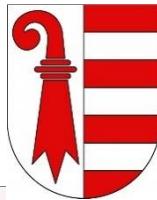
- Überblick über Ergebnisse laufender Projekte zum Thema Baumarten durch Tiziana Koch (WSL)

6 Literaturverzeichnis

Gal, Y., & Ghahramani, Z. (2016, June). Dropout as a bayesian approximation: Representing model uncertainty in deep learning. In *international conference on machine learning* (pp. 1050-1059). PMLR.

Müller, E., Stierlin, H. R., & Rauber, K. (1986). *Sanasilva: Kronenbilder mit Nadel- und Blattverlustprozenten*. Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen.

Zou, Q., Xie, S., Lin, Z., Wu, M., & Ju, Y. (2016). Finding the best classification threshold in imbalanced classification. *Big Data Research*, 5, 2-8.



7 Anhang

7.1 Ergebnisse Pilotprojekt 1 - Standort Boncourt (JU)

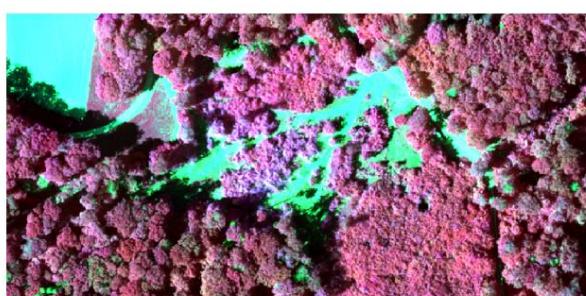
Vorhandene Karten	S2 Vitalitätskarte 2017-2020, S2+VHR Karte 2019
	Räumliche Auflösung 10 m x 10 m (S2) und 0.7 m x 0.7 m (S2+VHR)
	Bestehendes Modell untrainiert angewendet auf S2 und VHR
	Satellitendaten Keine weiteren Vitalitätskarten, da die Planetscope Satellitendaten für diesen Standort nicht im Pilot 2 mit einbegriffen waren

Übersicht S2 Vitalitätskarte 2020



Ausschnitt 1: Koordinaten 2568152 / 1258417 (Fläche 1 in Übersichtskarte)

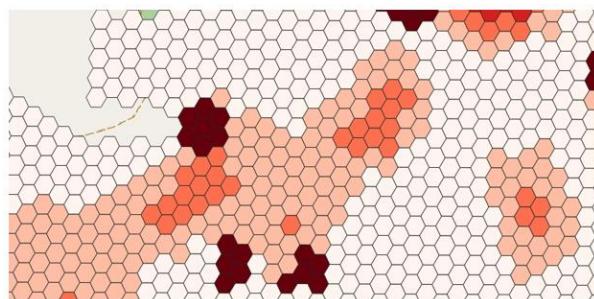
Orthofoto NIR 2020



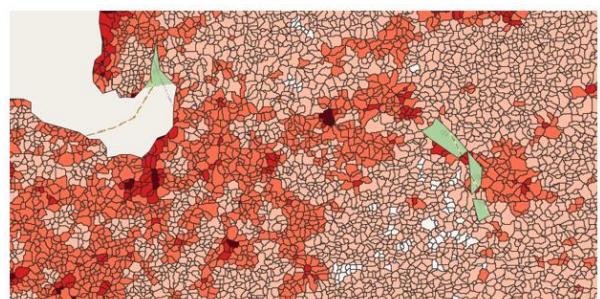
Bodenfoto 21. & 22. Juni 2020



Vitalitätskarte S2 2020



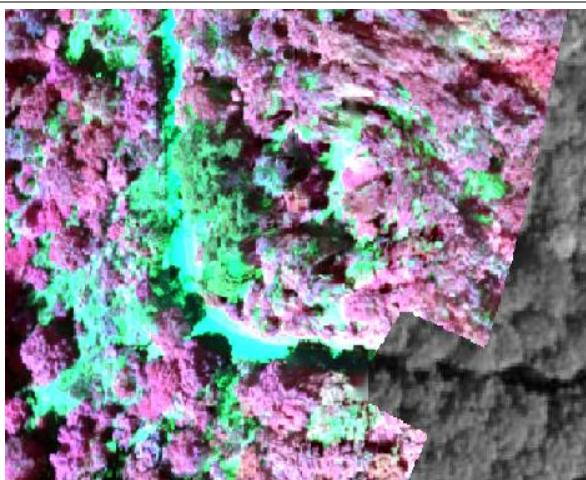
Vitalitätskarte VHR 2019



- Die hohe Vitalitätsabnahme in S2 2020 im Vergleich zu VHR 2019 zeigt auf, dass der Algorithmus noch nicht trainiert ist, um liegengelassenes Holz und Rückegassen als Flächen mit Vitalitätsreduktion auszuschliessen.

Ausschnitt 2: Koordinaten 2568665 / 1257912 (Fläche 2 in Übersichtskarte)

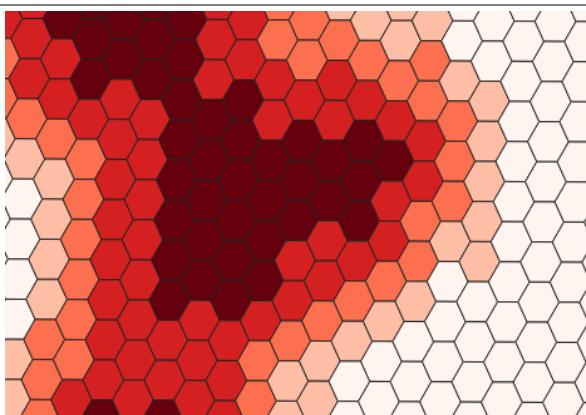
Orthofoto NIR 2020



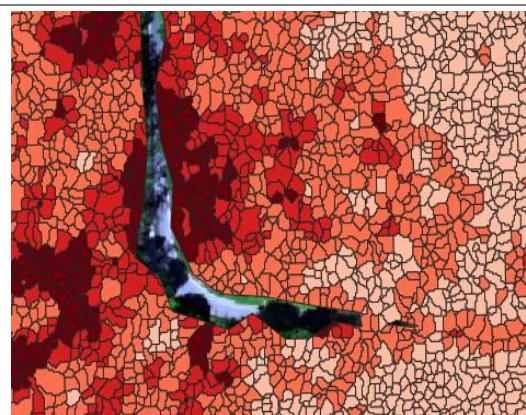
Bodenfoto 21. & 22. Juni 2020



Vitalitätskarte S2 2020



Vitalitätskarte VHR 2019



- Die dünnen Buchsbäume unter den gesunden Föhren sind für die starke Vitalitätsreduktion verantwortlich, die in S2 2020 und VHR 2019 aufgezeigt wird.

Ausschnitt 3: Koordinaten 2571372 / 1256959 (Fläche 3 in Übersichtskarte)

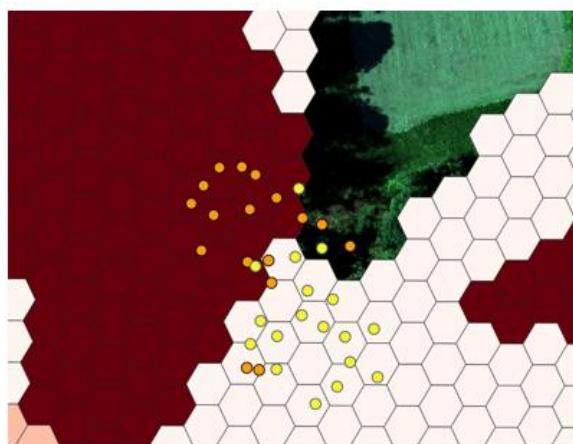
Orthofoto RGB 2020 (Geoportalansicht)



Drohnenaufnahme 21. & 22. Juni 2020



Vitalitätskarte S2 2018



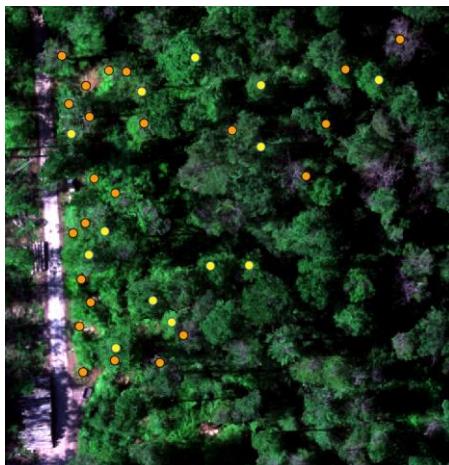
Vitalitätskarte S2 2020 Mai und Juni



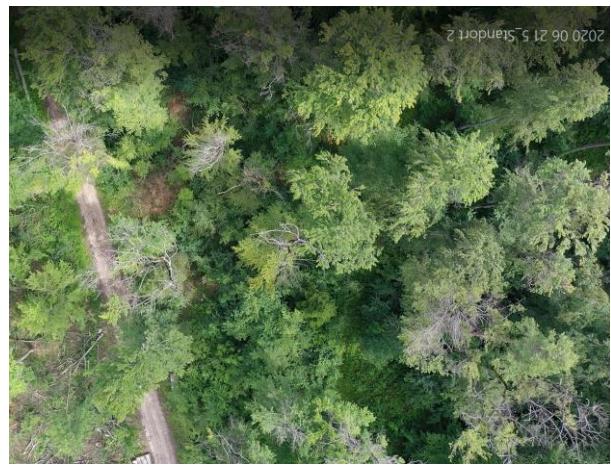
-
- Die orangen Punkte verweisen auf Buchen mit einer visuellen Kronenmortalität von > 50%.
 - Die in S2 2018 angezeigten Buchen mit starker Vitalitätsabnahme werden mit S2 2020 ebenfalls angezeigt. Gemäss Felderhebung gibt es dort etliche dürre Buchen.
-

Ausschnitt 4: Koordinaten 2571033 / 1257378 (Fläche 4 in Übersichtskarte)

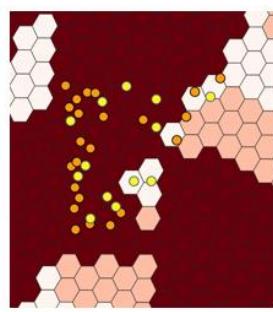
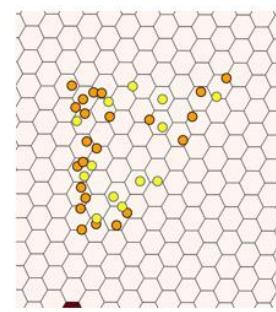
Orthofoto RGB 2020 (Geoportalansicht)



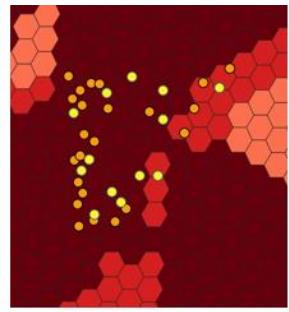
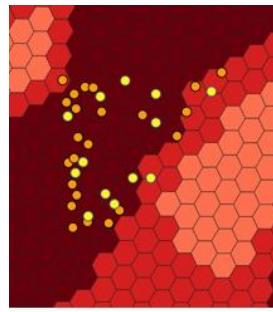
Drohnenaufnahme 21. & 22. Juni 2020



Vitalitätskarte S2 2017 und 2018



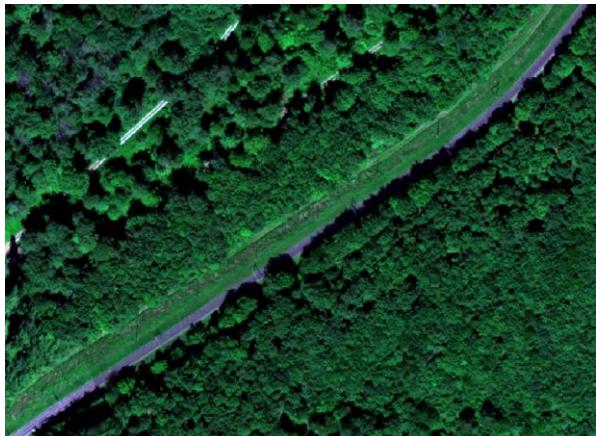
Vitalitätskarte S2 2020 Mai und Juni



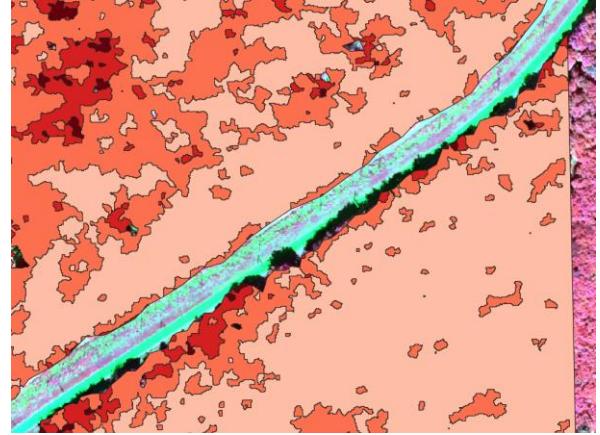
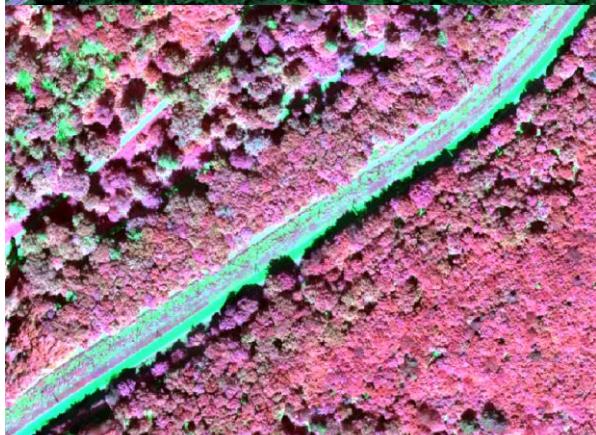
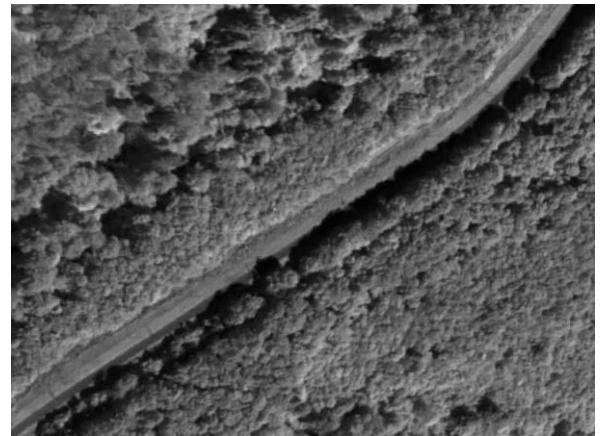
- Die orangen Punkte verweisen auf Buchen mit einer visuellen Kronenmortalität von > 50%.
 - S2 2017 zeigt keine Vitalitätsreduktion an, wohingegen S2 2018 eine starke Vitalitätsreduktion im Hitzesommer 2018 anzeigt. S2 2020 zeigen an, dass die ganze Fläche eine starken Vitalitätsreduktion unterworfen ist. In 2020 erfolgte die Entnahme von dürren Buchen entlang der Waldstrasse.
-

Ausschnitt 5: Koordinaten 2569735 / 1257355 (Fläche 5 in Übersichtskarte)

Orthofoto RGB und NIR 2020



VHR Bild und VHR Vitalitätskarte 2019



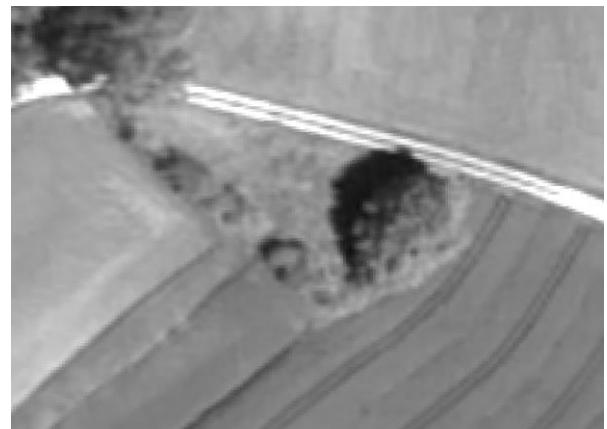
- Waldrandeffekt entlang der Bahnstrecke zeigt VHR 2019 mit einer starken Vitalitätsreduktion an.
-

Ausschnitt 6: Koordinaten 2570203 / 1259915 (Fläche 6 in Übersichtskarte)

Orthofoto RGB und NIR 2020



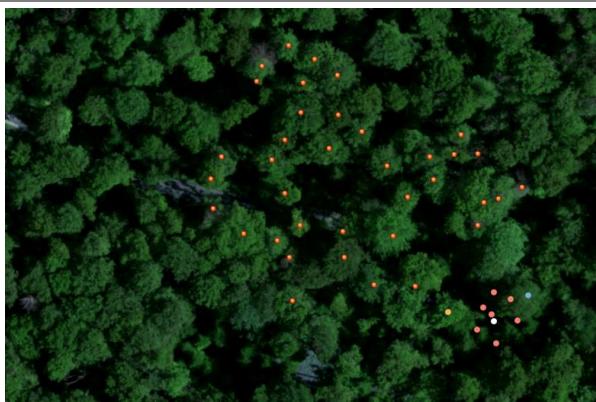
VHR Bild und VHR Vitalitätskarte 2019



- VHR 2019 erkennt im Vergleich zu S2 Einzelbäume. Ein Baum wird jedoch mit verschiedenen Intensitäten angezeigt, das mit dem Schattenwurf des Baumes verbunden ist.

Ausschnitt 7: Koordinaten 2568972 / 1260033 (Fläche 7 in Übersichtskarte)

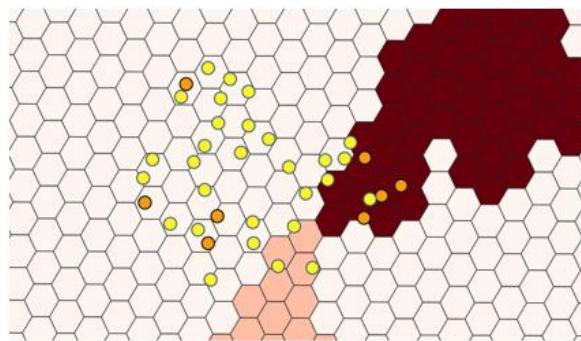
Orthofoto RGB 2020 (Geoportalansicht)



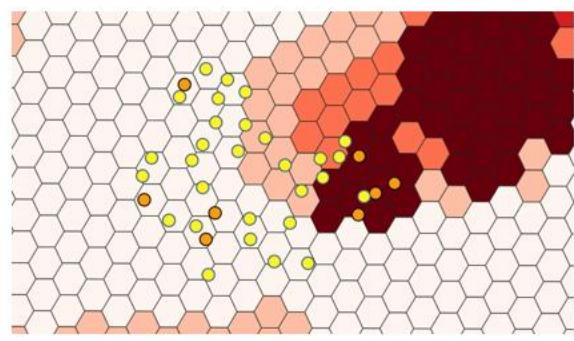
Drohnenaufnahme 21. & 22. Juni 2020



Vitalitätskarte S2 2018



Vitalitätskarte S2 2020 Juni



- Die LFI Referenzdaten (verschieden farbige Punkte unten rechts) beinhalten wenige Bäume und oft auch Bäume, die nicht dominierend sind und daher in der Oberschicht keinen Kronenanteil besitzen. Die drei erhobenen LFI Standorte gaben daher keinen Mehrwert für diese Fragestellung.

Fazit

- ➔ Der untrainierte Algorithmus zeigt grössere Flächen mit Vitalitätsänderungen seit 2017 an.
- ➔ Effekte, wie Schattenwurf bei Waldrand oder Einzelbäume, Holzschläge, Deponien, dürres Unterholz oder liegendes Totholz wird vom Algorithmus als Vitalitätsreduktion erkannt. Diese Fehler sind bei einer Weiterentwicklung zu beheben.
- ➔ LFI Daten bieten sich für die Analyse zur Vitalitätsreduktion wenig an. Dies aufgrund der Dichte der LFI Standorte, variable Anzahl pro Fläche an dominierenden Bäumen sowie noch wenig Hinweise zur Vitalität (erhoben werden: Dürrständer, freigelegter Holzkörper, Kronenverlichtung, Schadensursache)

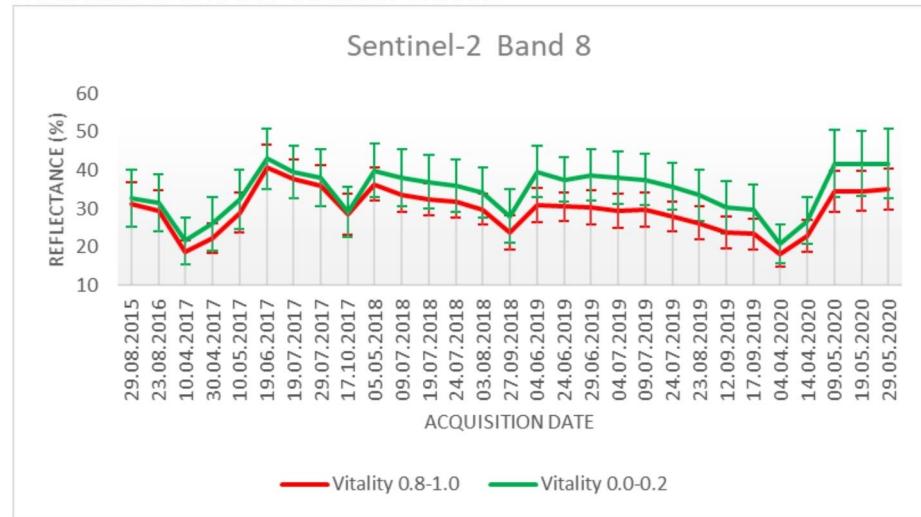
Datenanalyse und Evaluation Boncourt

Methode	Zeitreihe:
	Kontrolle der Referenzdaten aus den Drohnenbildern anhand der spektralen Signatur über die Zeit in Satellitenbildern, Vergleich mit den Vitalitätskarten
	Evaluation des Modells (Genauigkeitsanalyse)

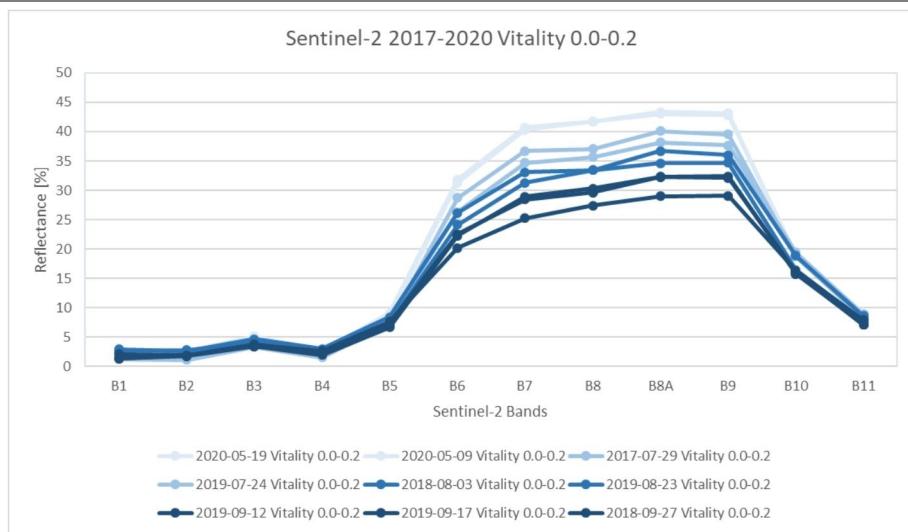
Vergleich Klassifizierung Drohne – Vitalitätskarte S2

Reflektanzwerte der Sentinel-2 Bilder

Zeitreihe

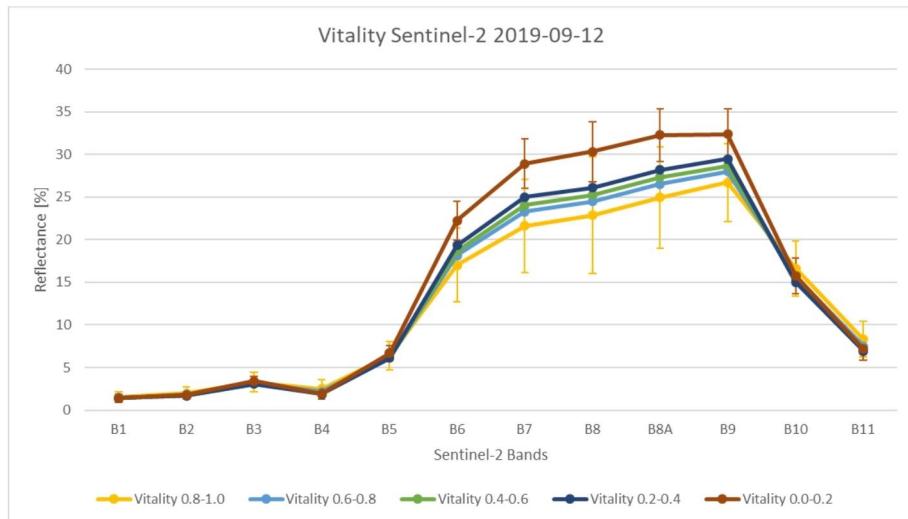


- Die spektrale Signatur der UAV-Klassen 'gesund' (Vitalität 0.0-0.2) und 'ungesund' (Vitalität 0.8-1.0) im Satellitenbild ist leicht verschieden,
- Saisonalität der Photosynthese ist erkennbar. Seit 2017 nehmen die Reflektanzwerte für gesunde und ungesunde Bäume ab.
- Eine exzellente Voraussetzung für die Modellierung.



- Die obere Abbildung zeigt, dass am Ende der Vegetationsperiode weniger Reflektanz erwartet werden kann. Außerdem wird gezeigt, dass verschiedene Jahre unterschiedliche Reflektanzwerte zeigen, was ein Hinweis ist, dass Change in Time Karten aufschlussreich über die Vitalitätsentwicklung sein können.

Spektrale Profile



Die untere Abbildung zeigt, dass die Reflektanz für gesunde Bäume höher ist als für ungesunde. Das ist die Grundvoraussetzung für die Modellierung. Die Vitalitätskurven zwischen 0.2-0.8 sind sehr nahe beieinander und könnten zu einer Klasse zusammengeschlossen werden. Dementsprechend ist ein Drei-Klassen-System ausreichend.

Evaluation Genauigkeits- analyse	Berechnung von Trefferquote (precision) und Genauigkeit (recall) der im Modell berechneten Werte																																																
	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="3">Thresholds</th> <th colspan="3">Metrics</th> </tr> <tr> <th>0.0</th> <th>0.5</th> <th>1.0</th> <th>Precision</th> <th>Recall</th> <th>F1 Score</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0.44</td> <td>1.00</td> <td>0.61</td> </tr> <tr> <td>2.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0.61</td> <td>0.85</td> <td>0.71</td> </tr> <tr> <td>3.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0.75</td> <td>0.65</td> <td>0.70</td> </tr> <tr> <td>4.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0.83</td> <td>0.43</td> <td>0.57</td> </tr> <tr> <td>5.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0.93</td> <td>0.10</td> <td>0.18</td> </tr> </tbody> </table>		Thresholds			Metrics			0.0	0.5	1.0	Precision	Recall	F1 Score	1.				0.44	1.00	0.61	2.				0.61	0.85	0.71	3.				0.75	0.65	0.70	4.				0.83	0.43	0.57	5.				0.93	0.10	0.18
	Thresholds			Metrics																																													
	0.0	0.5	1.0	Precision	Recall	F1 Score																																											
1.				0.44	1.00	0.61																																											
2.				0.61	0.85	0.71																																											
3.				0.75	0.65	0.70																																											
4.				0.83	0.43	0.57																																											
5.				0.93	0.10	0.18																																											

Trefferquote (precision) = Wie viele als **geschwächt** erkannte Bäume sind tatsächlich **geschwächt**?

- Je nach Threshold zwischen 44 % und 93 %

Genauigkeit (recall) = Wie viele der tatsächlich **geschwächten** Bäume wurden erkannt?

- Je nach Threshold zwischen 10 % und 100 %
- Verschiedene Thresholds zwischen Precision und Recall wurden ausprobiert, für die Thresholds 0.4 und 0.5 waren die Genauigkeitswerte am besten.

Fazit	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Das untrainierte Modell zeigt hohe Werte für Trefferquote und Genauigkeit an. ➔ Aufgrund der Spektralen Profile können Daten zwischen Oktober und April (Vegetationsruhe) von den Analysen ausgeschlossen werden. ➔ Drei Vitalitätsklassen (gesund, geschwächt und ungesund) sind für die weiteren Analysen ausreichend.
--------------	---

7.2 Aufnahmeanleitung Feldaufnahmen

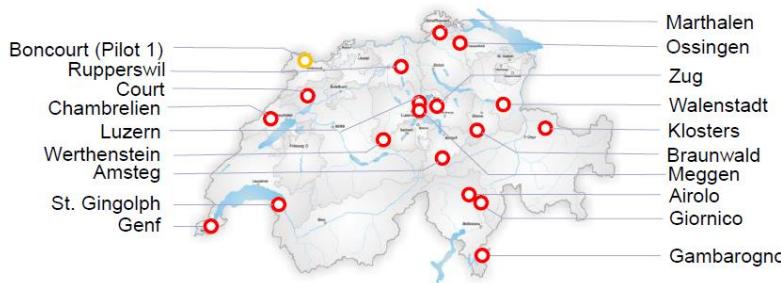
(siehe nächste Seiten)

Autor Hilfiker Karin (I-AT-KBN-NNR), karin.hilfiker@sbb.ch, 079 565 44 37
 Status Definitiv
 Datum Bern, 14.09.2020

Feldaufnahme: Validierung der Satellitenergebnisse Pilot 2

1. Angaben zu den Untersuchungsgebieten

- Flächengrösse in der Regel 1 km² (mit 2 Ausnahmen: ZG, NE)
- Durchschnittliche Hangneigung: 0-60%
- Exposition: E, SE, NE, NW oder flach



Untersuchungsgebiete für Pilot 2 (rot).

2. Ziel

- Überprüfung, ob der von Overstory ermittelten Resultate stimmen (Algorithmus trainieren und überprüfen), in dem Teilflächen mit mehrheitlich kranken resp. gesunden Einzelbäumen für die Validierung erfasst werden.
- Geo-referenzierte Einzelbaum-Ansprache in den Kontrollflächen.

3. Akteure

- Auftraggeber: SBB
- Auftragnehmer: [Overstory](#) (früher: 20tree.ai)
- Kerngruppe: WSL, BAFU, Leitung WaPlaMa
- Partner: Kantone, Gemeinden und Räthische Bahn

4. Referenzdaten

- Kant. Forstdienste: Bestandeskarte, Waldgesellschaften, Bestandeshistorie (Schäden, Krankheiten, Eingriffe 2010-2020 -> Fläche einzeichnen), frühere LiDAR/Luftbild-Daten, kant. Stichprobenflächen
- SBB: Drohnenaufnahmen (August/September 2020)

5. Hilfsmittel

- Esri-Collector App, Natel, iPad (Android oder IOs) oder forstliches Aufnahmegerät, das Apps herunterladen kann (andernfalls ausgedrucktes Luftbild und Aufnahmeformular)
- Evt. Bändel / Jalon, um Eckpunkte der Kontrollflächen zu markieren (bessere Übersicht)
- Evt. Kreide, um erfasste Bäume zu markieren.
- Evt. GPS (für grobe Standortslokalisierung)
- Evt. Kamera (Drohne)

6. Methode « gezieltes Überprüfen nach systematischem Ansatz»

6.1. Ablauf

Aktivität	Lead	Woche														
		36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
		September				Oktober				November				Dez		
Drohnenaufnahmen	SBB		■	■												
Instruktion Feldaufnahmen	SBB															
Drohnenbilder, Geoportalkarte	SBB			■	■											
Feldaufnahmen	Kanton				■	■	■	■								
Auswertungen Satellitenbilder	20tree				■	■	■	■	■	■						
Einzelverifikationen	Kanton							■	■							
Validierung Resultate	SBB, 20tree								■	■	■	■	■			
Schlusspräsentation Methode	Alle													■		
Diskussion Resultate	SBB, Kant.															■

6.2. Design

1. Kontrollflächen
 - a. Stichprobenquadrate: 50 x 50 m
 - b. Je 3 Flächen krank (< 75 % gesunde Bäume) und gesund ($\geq 75\%$ gesunde Bäume)
 - c. Falls Fläche mit hohen Vitalitätsverlusten: max. 6 Flächen krank mit folgendem Gradient 2 Mal < 25 %, 2 Mal < 50 % und 2 Mal < 75 %.
 - d. Untersuchte Fläche pro Kontrollfläche: mind. 1.5 ha
2. Auswahl der Kontrollflächen durch SBB / WSL
 - a. Auf Basis der ersten Ergebnisse aus SBB Drohnenbilder, [Forestmonitoring](#) (HAFL-Projekt, Waldveränderungen/Störungen) sowie S2-Daten (Bildinterpretation; Drohnenbilder mit feinerem Raster für eine spätere detailliertere Analyse)
 - b. Ideal: Fläche krank und gesund nahe zueinander
 - c. Gut zugänglich (Erschliessung, Topografie)

3. Übersicht

Was	Untersuchungsgebiet (Anzahl; Fläche)	Kontrollflächen «krank» (Anzahl; Fläche)	Kontrollflächen «gesund» (Anzahl; Fläche)
Wald	16; 18 km ²	48-96; 12-24 ha	48; 12 ha
Einzelbäume urban	3; 3 km ²	9-18; 2.25-4.5 ha	9; 2.25 ha

6.3. Aufnahme der Kontrollflächen

1. Mit Esri-Collector-App, sofern technisch möglich, andernfalls via Papier (vgl. 7.1)
 - a. Vorbereitung der Kontrollflächen durch SBB (pro Kanton eine Karte)
 - b. Aufnahme via Natel, Forstgerät oder iPad (online/offline Modus) und allenfalls GPS-Gerät für zusätzliche Orientierung
 - c. Verfügbare Layer: ESRI Bilddaten, Drohnenbild SBB, Lokation Kontrollfläche, Aufnahme-Layer
2. Aufnahme-Layer
 - a. Geo-referenzierte Aufnahme aller Einzelbäume mit Krone in Oberschicht (unterscheidbar auf Drohnenbild, vgl. Definition unter 7.2.6.)
 - b. Parameter der Kontrollflächen (für Codierung und Definitionen vgl. Anhang 7.2)
 - c. Layer für Kontrollfläche:
 - i. Wird von SBB vorgegeben. Falls die Kontrollfläche wegen Zugänglichkeit oder Entwicklungsstufe (ausschliesslich Jungwuchs, Dickung oder schwaches Baumholz) ungeeignet ist oder lokale Kenntnisse über geeignete Flächen vorliegen, dann selbst eine neue Fläche mit 50x50m einzeichnen (Layer Kontrollflächen_2020, vgl. 7.1.4).
 - ii. Hinweis: Standorte mit sehr gleichförmigen Beständen ohne erkennbare Kronendifferenzierung und insbesondere im steilen Gelände (z.B. Niederwaldbewirtschaftung in St. Gingolph) sollen in Absprache qualitativ beurteilt werden (Aufwand-Nutzen-Verhältnis). D.h. Angabe zu Entwicklungsstufe, Mischungsgrad, Hauptbaumarten (bestandesbildend), Schätzung von vital/nicht vitalen Bäumen. Einzelbaum-Aufnahme der nicht vitalen Bäume gemäss 6.3.2.d).
 - iii. Code der Fläche: Standortsname, A=gesund, B=krank, Nummerierung (weitere Kriterien, falls qualitative Ansprache)
 - iv. Bestandesstruktur: gleichförmiger Hochwald – plenterartiger Hochwald
 - v. Letzter Eingriff (wenn bekannt, insbesondere zwischen 2016 und 2020): Jahrzahl
 - vi. Eingriffsart: kein Eingriff seit 2010, Durchforstung, Lichtung, Räumung, (Gebirgs-) Plenterung, Zwangsnutzung
 - d. Layer für Einzelbaum-Aufnahme
 - i. Standort des Baumes: die Kronenspitze erfassen (nicht Stammfuss). Bei Stockausschlägen gilt das gesamte Kronendach als ein Standort.
 - ii. Baumart: Codierung
 - iii. BHD-Klasse: 10 (≤ 10 cm), 20 (10 - ≤ 20 cm), 30, etc.
 - iv. Soziale Stellung: herrschend – mitherrschend – beherrscht – unterdrückt
 - v. Vitalität Baum (Erstanalyse): tot bereits > 1 Jahr, tot im Aufnahmejahr, vital
 - vi. Kronenmortalität in der Oberschicht: entspricht dem geschätzten Anteil toter Äste < 4 cm Durchmesser auf das gesamte Kronenvolumen bezogen
 - vii. Schäden an Stamm/Wurzeln: offene Stellen (≤ 100 cm 2), offene Stellen (> 100 cm 2), Harzausfluss (frisch), Pilz, Krebs, Flecken, andere
 - viii. Ursache der Vitalitätsveränderung: Krankheit, Borkenkäfer, Sturm, Trockenheit, andere (z.B. Efeu, jedoch nur, wenn Efeu die Vitalität des Baumes beeinträchtigt)
 - ix. Bemerkung: als Option, um einen Parameter genauer zu beschreiben.
 - x. Anlage: Fotos optional, bei markanten Erscheinungen, die dem besseren Verständnis dienen (z.B. umgestürzte Bäume, gut erkennbare Kronenmortalität bei Vitalitätsabnahme)

- xi. Hinweis 1: Gefällte Bäume zwischen 2016 und 2020 sollen aufgenommen werden, indem Standort, Baumart und BHD ausgefüllt wird. Die anderen Felder sind nicht auszufüllen (in der Liste erscheint ein «-»).
 - xii. Hinweis 2: Stockausschläge sind als ein «Individuum» aufzunehmen (also ein Punkt).
 - xiii. Hinweis 3: stehendes Totholz, das sich in Oberschicht befindet und auf Luftbild erkennbar ist, ist aufzunehmen. Liegendes Totholz, das innerhalb 2016-2020 umgefallen ist und vermutlich in der Oberschicht war, ist aufzunehmen.
3. Zeitbedarf (geschätzt)
- a. 2-4 Flächen pro Tag (je nach Bestockung / Entwicklungsstufe / Hangneigung)

7. Anhang

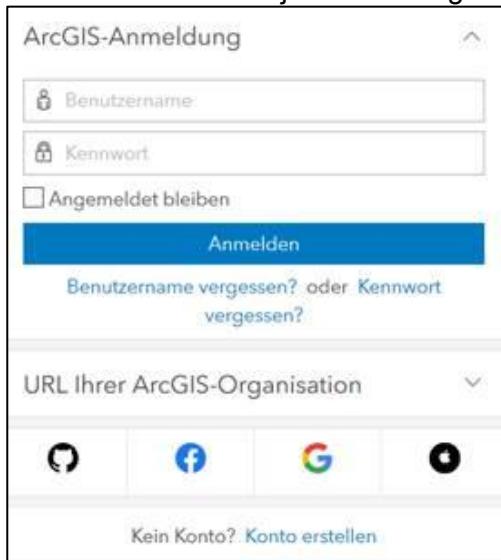
7.1. Aufnahmen in ESRI-Collector App

1. Login App auf iPad, Natel oder forstlichem Gerät -> für Aufnahmen im Feld
- a. Esri-Collector Classic App herunterladen



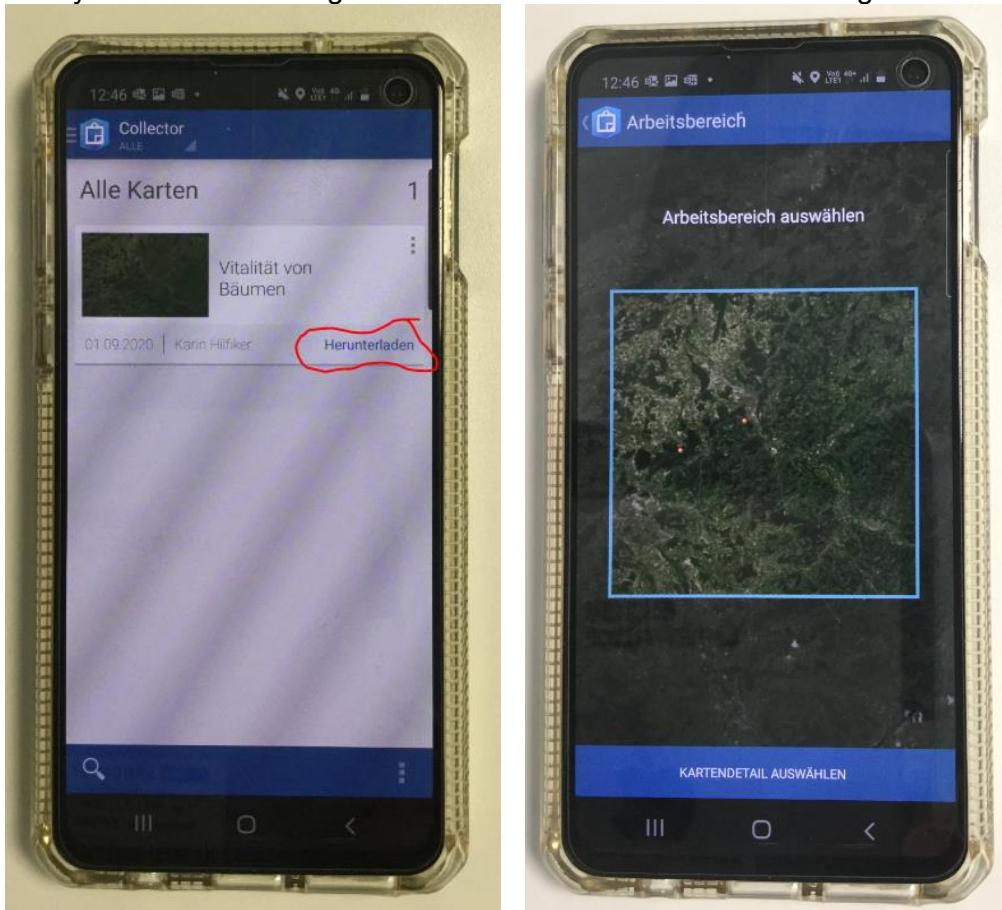
b. Login via "ArcGIS Anmeldung"

- Benutzername: raphaela.tinner_sbbch
- Passwort: Wald+S2CH
- Es können gleichzeitig mehrere Personen in dieser Anwendung arbeiten. Daher nur jeweils die eigenen Daten löschen, falls nötig!



2. Login Application via Browser -> für Visualisierung im Büro
 - a. Link: <https://arcg.is/1Cy0Di> (oder via <https://sbbch.maps.arcgis.com/>)
 - b. In Fenster: sbbch (Teil «maps.arcgis.com/» ist vorgegeben)
 - c. Login: gleich wie 7.1.1.b
 - d. Gruppe “Vitalität von Bäumen”

3. Kartenausschnitt eingrenzen
 - a. Gewählter Standort herunterladen.
 - b. Falls immer möglich online arbeiten.
 - c. Falls keine Verbindung hergestellt werden kann ist es möglich offline zu arbeiten.
Synchronisation erfolgt am Schluss manuell und darf nicht vergessen werden!

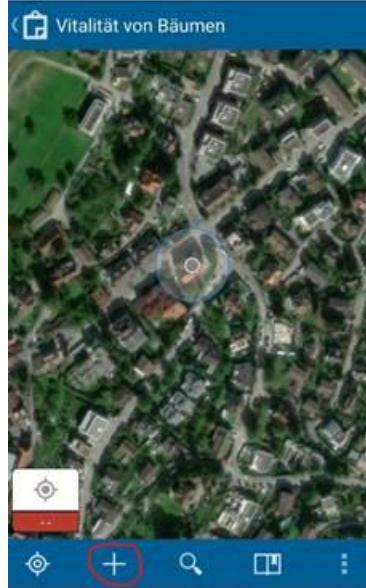


4. Inhalt der Karte «Vitalität von Bäumen»
 - a. ESRI Luftbild
 - b. Drohnenluftbild
 - c. Layer für Einzelbaum-Aufnahme: «Feldaufnahmen_2020»
 - d. Layer für Kontrollflächen «Kontrollflächen_2020»
 - e. Kontrollflächen pro Standort (rot = krank, rot umrahmt = gesund)



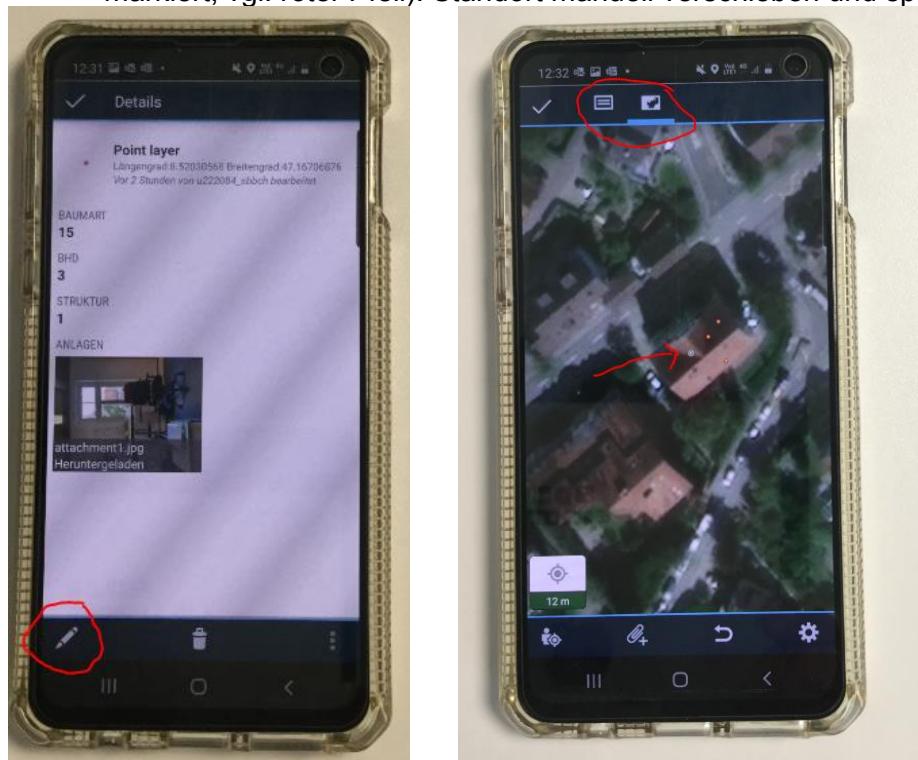
5. Erfassung der Daten

- Neuer Punkt aufnehmen, indem «+» angewählt wird (vgl. roter Kreis)
- Parameter gemäss Anhang 7.2 erfassen.
- Alle Felder müssen ausgefüllt werden (ausser bei gefällten Bäumen)
- Abgesehen vom Feld «Bemerkungen» können nur Zahlen eingegeben werden. Feld «Bemerkungen» inkl. Buchstaben.
- Fotos können direkt gemacht und hochgeladen werden (Zeichen «Büroklammer +», vgl. rechtes Foto bei Punkt 6, untere Toolbar)



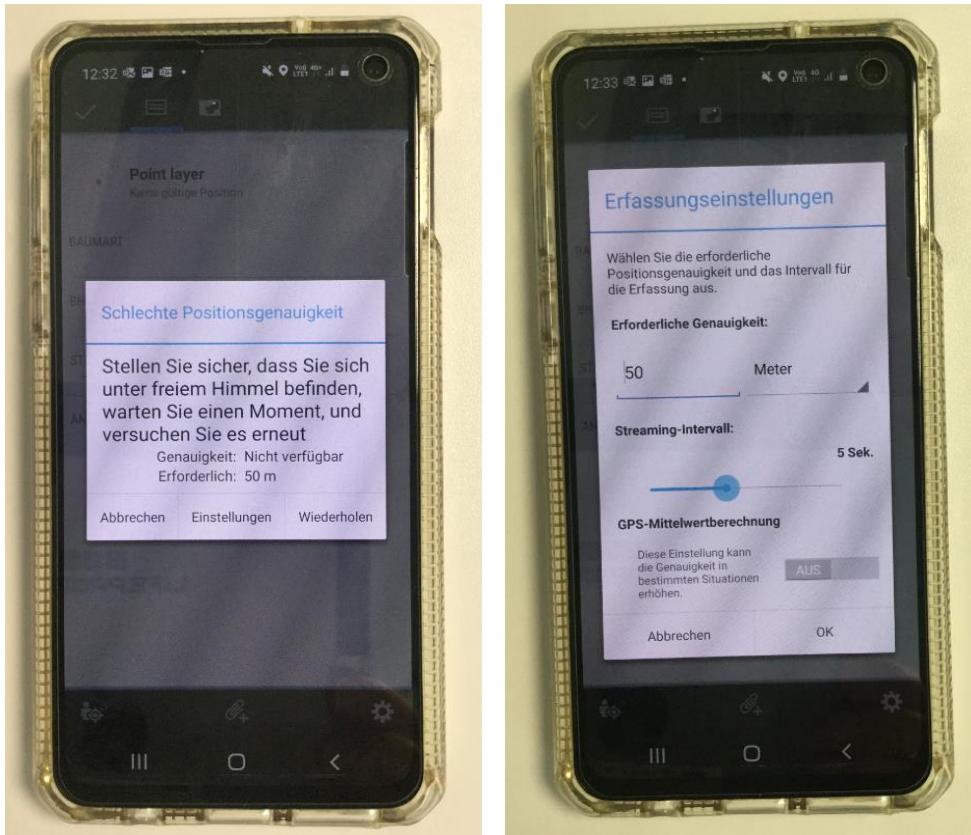
6. Veränderung des Standorts und/oder Parameter

- Punkt anwählen und 'Point layer' auswählen.
- In Bearbeitungsmodus wechseln (vgl. roter Kreis unten links)
- Parameter ändern.
- Kartenansicht ändern (roter Kreis oben). Betreffenden Punkt anwählen (wird hellblau markiert; vgl. roter Pfeil). Standort manuell verschieben und speichern.

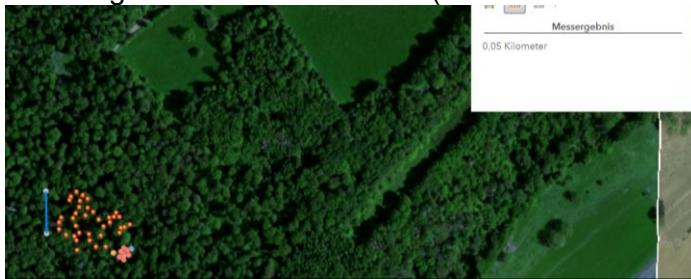


7. Positionsgenauigkeit

- Wenn online, dann kommt automatisch Meldung «schlechte Positionsgenauigkeit», die angepasst werden kann («Erfassungseinstellungen»).



8. Flächengröße und Machbarkeit (Aufwand für diese Fläche, ca. 2 h)

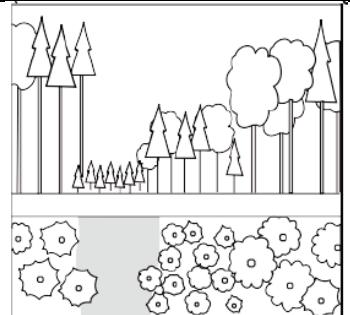


7.2. Parameter der Kontrollflächen -> vgl. Kurzanleitung

7.2.1. Code der Fläche:

- a. Standortsname, A=gesund, B=krank, Nummerierung
- b. Falls Standorte mit sehr gleichförmigen Beständen ohne erkennbare Kronendifferenzierung und insbesondere im steilen Gelände nach Angaben von 7.2.1.a, dann folgende Zusatzinformationen aufnehmen:
 - i. Entwicklungsstufe: J/D, S1, S2, B1, B2 oder B3
 - ii. Mischungsgrad: Ndh-Lbh als z.B. 40-60
 - iii. Hauptbaumarten (bestandesbildende): gemäss Code 7.2.5 (z.B. 1-3-10)
 - iv. Schätzung von vital/nicht vitalen Bäumen: z.B. 90-10
 - v. Bemerkung: für weitere Informationen oder Beschreibung von Merkmalen
 - vi. Einzelbaum-Aufnahme der nicht vitalen Bäume gemäss 6.3.2.d).

7.2.2. Bestandesstruktur

Code	Bedeutung	Definition gemäss LFI	Schema
1	Gleichförmiger Hochwald	Hochwald aus homogenen, flächenmäßig abgrenzbaren Beständen mit schichtiger Struktur, in denen die bestandesbildenden Bäume (Hauptbestand) ähnliche Brusthöhendurchmesser aufweisen und somit einer Entwicklungsstufe zugeordnet werden können	
2	Plenterartiger Hochwald	Hochwald mit stufigem Bestandesaufbau ohne dominierende Entwicklungsstufe (Entwicklungsstufe gemischt) oder mit ein- bis mehrschichtigem Aufbau mit Rottenstruktur.	

7.2.3. Letzter Eingriff

- Jahrzahl mit 4 Ziffern (wenn bekannt, insbesondere zwischen 2016 und 2020)

7.2.4. Eingriffsart

Code	Bedeutung	Definition gemäss LFI
1	Kein Eingriff seit 2010	-
2	Durchforstung	Eingriff in Stangen- und Baumhölzern (Auslese), Übführungs durchforstungen. In aufgelösten Bestockungen ist die Eingriffsart normalerweise eine Durchforstung.
3	Lichtung	Entnahme eines Teils der Bäume aus der Oberschicht eines Verjüngungsbestandes zur Einleitung oder Förderung der natürlichen Verjüngung.

4	Räumung	Flächige Nutzung des verbleibenden Bestandes. Die Räumung dient der Holzernte und der Freistellung bereits vorhandener Verjüngung oder der Begründung von Jungwald.
5	(Gebirgs-) Plenterung, Dauerwalddurchforschung	Einzelstammweise Nutzung, die gleichzeitig folgende Ziele verfolgt: Nutzung hiebsreifer Stämme, Auslese von Wertträgern, kleinflächige Erhaltung der stufigen Bestandesstruktur und Verjüngung. Im Gebirgswald: Verbesserung der Bestandesstruktur und -stabilität sowie Verjüngung.
6	Zwangsnutzung	Aufgrund von Ereignissen (u.a. Sturm, Trockenheit, Eschenwelke, Borkenkäfer)

7.2.5. Baumarten-Liste

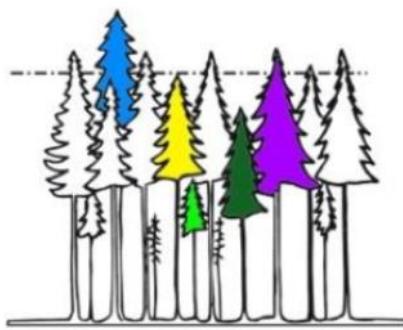
Code	Deutscher Name	Englischer Name	lateinischer Name
1	Fichte	Norway spruce	<i>Picea abies</i>
2	Tanne	Silver fir	<i>Abies alba</i>
3	Föhre	Pine	<i>Pinus</i> sp
4	Lärche	European larch	<i>Larix decidua</i>
5	Arve	Swiss stone pine	<i>Pinus cembra</i>
7	Buche	Beech	<i>Fagus silvatica</i>
8	Ahorn	Maple	<i>Acer</i> sp
9	Esche	Ash	<i>Fraxinus excelsior</i>
10	Eiche (Stiel /Trauben)	Oak	<i>Quercus robur</i> / <i>petraia</i>
11	Kastanie	Spanish chestnut	<i>Castanea sativa</i>
20	Linde (Winter / Sommer)	Lime	<i>Tilia cordata</i> / <i>platyphylllos</i>
21	Flaumeiche	Downy oak	<i>Quercus pubescens</i>
22	Hagebuche	Hornbeam	<i>Carpinus betulus</i>
23	Hopfenbuche	Hop hornbeam	<i>Ostrya carpinifolia</i>
24	Birke	Common birch	<i>Betula pendula</i>
25	Pappel	Aspen	<i>Populus tremula</i>
26	Schwarzerle	Black alder	<i>Alnus glutinosa</i>
27	Bergulme	Scots elm	<i>Ulmus glabra</i>
30	Robinie	Black locust	<i>Robinia pseudoacacia</i>
31	Götterbaum	Tree-of-heaven	<i>Ailanthus altissima</i>
32	Douglasie	Douglas fir	<i>Pseudotsuga menziesii</i>

7.2.6. BHD-Klasse

Code	Bedeutung
10	BHD \leq 10 cm
20	BHD 10 - \leq 20 cm
30	BHD 20 - \leq 30 cm
40	BHD 30 - \leq 40 cm
50	BHD 40 - \leq 50 cm
60	BHD 50 - \leq 60 cm
70	BHD $>$ 60 cm

7.2.7. Soziale Stellung

Code	Bedeutung	Definition LFI
1	Herrschend	Herrschende inkl. vorherrschende Bäume, die am oberen Kronenschirm beteiligt sind, ein gutes Höhenwachstum zeigen und eine allseitig gut entwickelte Krone haben.
2	Mitherrschend	Mitherrschende Bäume, die am oberen Kronenschirm beteiligt sind, deren Krone aber schwächer und weniger gleichmäßig entwickelt ist.
3	Beherrscht	Beherrschte am oberen Kronenschirm nicht beteiligte Bäume, deren Gipfel nicht mehr im Genuss des Lichtes, jedoch in Berührung mit den Kronen der herrschenden Bäume stehen.
4	Unterdrückt	Unterdrückte Bäume, deren Gipfel nicht mehr in Berührung mit den Kronen des Hauptbestandes stehen. Die Gipfel stehen nicht mehr frei, sondern sind von einem oder mehreren Ästen der Nachbarbäume überwachsen.



Soziale Position (in gleichaltrigen Beständen):

- *vorherrschend*
- *herrschend*
- *mitherrschend*
- *beherrscht*
- *unterdrückt*

Abb. 3: Soziale Position von Bäumen in gleichaltrigen Beständen

Aus: http://www.bwso.ch/download/07/Newsletter_1_15_DEF.pdf

7.2.8. Vitalität Baum

Code	Bedeutung
1	Vital
2	Abgestorben im Aufnahmejahr (Vegetationsperiode), keine gesunden Äste oder Blätter erkennbar
3	Abgestorben seit > 1 Jahr (d.h. 2019 oder früher), keine gesunden Äste oder Blätter erkennbar

7.2.9. Kronenmortalität

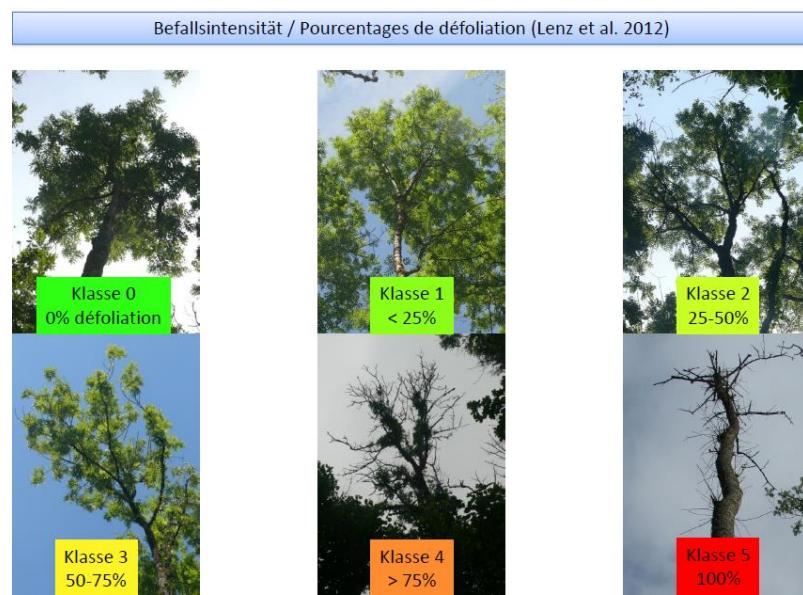
Kronenmortalität in der Obersicht: entspricht dem geschätzten Anteil toter Äste < 4 cm Durchmesser auf das gesamte Kronenvolumen bezogen

Oberschicht: Gesamtheit der Bäume, die in einer Höhe von mehr als zwei Dritteln der Oberhöhe eine gegen unten klar abgrenzbare Kronenschicht mit einem Deckungsgrad von mindestens 20% bilden. Bei stufigen Beständen muss der Anteil an der Oberschicht geschätzt werden.

Klassen

Code	In %	Beschreibung
1	0 bis < 20	Vital, keine dürren Äste, volle Belaubung (Sommerzustand)
2	20 bis < 50	Leichte Vitalitätsabnahme (leichte Kronenverlichtung, einige dürre Äste)
3	50 bis < 75	Mittlere Vitalitätsabnahme (mittelstarke Kronenverlichtung, mehrere dürre Äste)
4	75 bis <100	Starke Vitalitätsabnahme (starke Kronenverlichtung, viele dürre Äste)
5	100	Dürr, abgestorben, gesunden Äste oder Blätter erkennbar

7.2.9.1. Esche



7.2.9.2. Eiche (https://www.waldwissen.net/technik/inventur/wsl_sanasilva_kronenbilder/index_DE)



Abb. 1 - Kronenverlichtung der Eiche: 0%, 20%, 45% und 70% Blattverlust (v.l.n.r.).
Fotos: WSL

7.2.9.3. Buche

Kronenmortalität / Totast-Anteil Referenzbilder



5%: Vereinzelte, meist kleinere Totäste



15%: Hier vereinzelte, aber recht starke Totäste.



30%: Einige komplett ausgefallene Grobäste.



50%: Die Beurteilung erfolgt, sofern einsehbar, für das komplette Kronenvolumen. Die zahlreichen Totäste werden auf der 2D-Projektion in diesem Fall durch die grünen Äste im Vordergrund etwas verdeckt.



70%: Es handelt sich um einen Mittelwert für die Gesamtkrone, welche wie in diesem Fall im unteren Bereich oft deutlich weniger Totäste enthält.



95%: Nur vereinzelte grüne Äste verbleibend.

7.2.9.4. Fichte (https://www.waldwissen.net/technik/inventur/wsl_sanasilva_kronenbilder/index_DE)



Abb. 2 - Kronenverlichtung der Fichte (Kammtyp): 10%, 30%, 55% und 75% Nadelverlust (v.l.n.r.).
Fotos: WSL

7.2.9.5. Kastanie (https://www.waldwissen.net/technik/inventur/wsl_sanasilva_kronenbilder/index_DE)

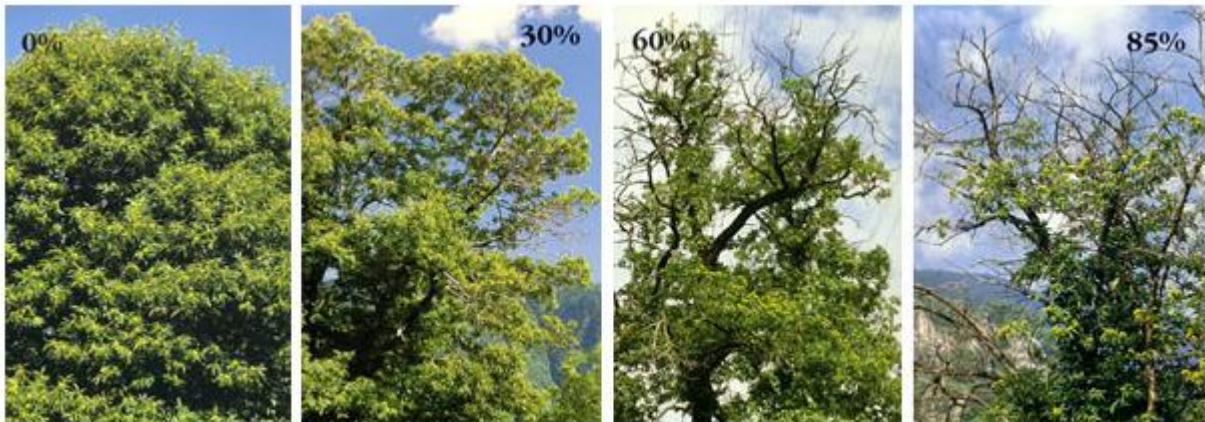


Abb. 3 - Kronenverlichtung der Edelkastanie: 0%, 30%, 60% und 85% Blattverlust (v.l.n.r.).
Fotos: WSL

7.2.10. Schäden an Stamm/Wurzeln

Jeweils den dominantesten Schaden aufnehmen.

Code	Bedeutung
1	Keine
2	Offene Stellen $\leq 100 \text{ cm}^2$
3	Offene Stellen $> 100 \text{ cm}^2$
4	Harzausfluss (frisch)
5	Pilzfruchtkörper
6	Krebs
7	Flecken (z.B. schwarze Flecken bei Buche Trockenheit)
8	Andere (z.B. Spechtlöcher)

7.2.11.Ursache der Vitalitätsveränderung

Es ist kein scharfes Merkmal und wird für die Auswertung nicht beigezogen. Es soll einen Eindruck geben.

Code	Bedeutung
1	Keine
2	Krankheit (u.a. Eschenwelke, Ulmenwelke, Rindenkastanienkrebs)
3	Borkenkäfer (u.a. Fi, Ta, wenn Annahme, dass Borkenkäfer von gestossenen/geknickten Bäume auf nicht sturmbeeinträchtige Bäume eindringen)
4	Sturm (wenn sichtbar, gestossene oder geknickte Bäume)
5	Trockenheit
6	Andere (im Bemerkungsfeld spezifizieren, z.B. Mistel. Efeu nur, wenn Baum komplett eingewachsen ist)