

An aerial photograph of a forest during autumn. The trees are densely packed, with a mix of vibrant orange, yellow, and red deciduous foliage and several dark green evergreen trees. The perspective is from directly above, looking down on the canopy. The lighting is soft, highlighting the textures of the leaves.

Drohnenflug im und über dem Wald

Foto: Hanns Kirchmeir



Drohnenflug im und über dem Wald

- Vorstellung
- Welche Sensoren auf der Drohne? Schwerpunkt : Laserscanning
Vergleich Drohne – Flugzeug – Satellit
- Drohnenauswahl Multicopter oder Tragflügeldrohne? Gewicht? Energie?
- Drohnensteuerung manuell - automatisch – autonom ; Flugplanung
- Anwendungen:
Vogelperspektive ; Digitales Orthophoto mit hoher Auflösung ;
Oberflächenmodell aus Image-Matching ; Laserscanning zur Baumsegmentierung ;
Sub-Canopy-Drones und Laserscanning zur Durchmessererkennung
Borkenkäfer und andere Schadereignisse ; Wildverbiss-Monitoring
Wildtier-Erkennung mit Infrarot ;
Lastendrohnen für Gebirgs-Aufforstung

Verständnisfragen

allgemeine Fragen



DI Günther Bronner, Umweltdata GmbH beruflicher Hintergrund und Erfahrungen

- **Österreichische Bundesforste, 1983-2000; Forsteinrichtung, GIS und Fernerkundung**
- **Umweltdata Geschäftsführer und Gesellschafter seit 2001**
Forest Sustainability :Monitoring :Mapping :Modeling :Management
- **>200 Forstinventurprojekte, über 100.000 Probepunkte**
- **>300 Forsteinrichtungsprojekte >1000ha**
- **Praktische Anwendung von Laserscanningdaten seit 2006**
- **Blitz-Inventuren für Ankaufsentscheidungen**
- **Wildeinfluss-Monitoring**
- **Waldwachstumsmodelle, Nutzungspotentialanalysen**
- **Optimierung von Forstinventuren mit Laserscanningdaten**
- **Forschungsprojekte mit BOKU, TU-Wien, TU-Graz, UNI Klagenfurt, Joanneum Research**
- **Konferenzen: Silvilaser 2010, 2012, 2013, 2017, 2019 ;
ForestSAT 2016, 2018 ; IUFRO 2019**



DI Günther Bronner, Umweltdata GmbH beruflicher Hintergrund und Erfahrungen

- Österreichische Bundesforste, 1983-2000; Forsteinrichtung, GIS und Fernerkundung
- Umweltdata Geschäftsführer und Gesellschafter seit 2001
Forest Sustainability :Monitoring :Mapping :Modeling :Management
- >200 Forstinventurprojekte, über 100.000 Probepunkte
- >300 Forsteinrichtungsprojekte >1000ha

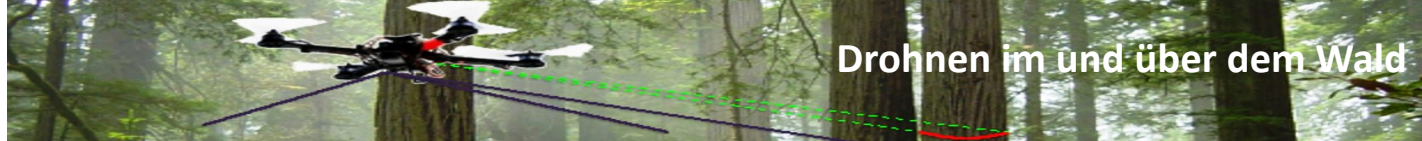
Praktische Anwendung von Laserscanningdaten seit 2006

- Blitz-Inventuren für Ankaufsentscheidungen
- Wildeinfluss-Monitoring
- Waldwachstumsmodelle, Nutzungspotentialanalysen
- Optimierung von Forstinventuren mit Laserscanningdaten
- Forschungsprojekte mit BOKU, TU-Wien, TU-Graz, UNI Klagenfurt, Joanneum Research
- Konferenzen: Silvilaser 2010, 2012, 2013, 2017, 2019 ;
ForestSAT 2016, 2018 ; IUFRO 2019



Kooperationspartner

- Umweltdata GmbH (Forstinventur, Fernerkundung, GIS, Managementpläne)
Günther Bronner, Boris Jaweck, Martin Keuschnigg, Helga Fellner, Mariana Andrade
- Joanneum Research (Fernerkundung)
Graz; Mathias Schardt, Manuela Hirschmugl, Janik Deutscher
- TU Wien, Department GEO (Photogrammetrie und Fernerkundung)
Norbert Pfeifer, Markus Hollaus, Gottfried Mandlbürger
- E.C.O. (Biodiversitäts-Monitoring in Nationalparks und Schutzgebieten)
Klagenfurt; Hanns Kirchmeier, Vanessa Berger, Michael Jungmeier
- Aeromap (Flugunternehmen und Fernerkundung)
Öblarn; Roland Wack, Thomas Meißl
- TopoLynx (GIS-Entwicklung, mobile Android-Apps)
Budapest; Kornél Cimber
- Riegl Laser Measurement
Horn, Niederösterreich



○ DeepDigitalForest (2017-2021) Forstinventur

○ Forestlimate (2016-2019) subCanopyDrones

○ LaserCopterInventur (2017-2018) aboveCanopyDrones

○ BEAT IT! (2020-2022) Borkenkäfer aus Satellitenbildern



Forschungsprojekte

○ Umweltdata GmbH (Forstinventur, Fernerkundung, GIS, Managementpläne)
Günther Bronner, Boris Jawecki, Martin Keuschnigg, Helga Fellner, Mariana Andrade

○ Joanneum Research (Fernerkundung)
Graz; Mathias Schardt, Manuela Hirschmugl, Janik Deutscher

○ TU Wien, Department GEO (Photogrammetrie und Fernerkundung)
Norbert Pfeifer, Markus Hollaus, Gottfried Mandlbauer

○ E.C.O. (Biodiversitäts-Monitoring in Nationalparks und Schutzgebieten)
Klagenfurt; Hanns Kirchmeir, Vanessa Berger, Michael Jungmeier

○ Aeromap (Flugunternehmen und Fernerkundung)
Öblarn; Roland Wack, Thomas Meißl

○ TopoLynx (GIS-Entwicklung, mobile Android-Apps)
Budapest; Kornél Cimber

○ Riegl Laser Measurement

Horn, Niederösterreich



Sensoren

- RGB Kamera (passiv) 50€ - 50.000€ (Phase 1, 100 MP)
- Nahes Infrarot (Pflanzenvitalität) (passiv)
- Thermisches Infrarot (passiv)
- Laserscanning (aktiv)
- Hilfssensoren:



GNNs – Satellitennavigation (funktioniert nicht unter dem Kronendach)
IMU (Intertialsystem: Beschleunigung und 3D-Kompass)
SFM- und Tiefenkameras zur Hinderniserkennung



Foto: Hanns Kirchmeir



Foto: Hanns Kirchmeir

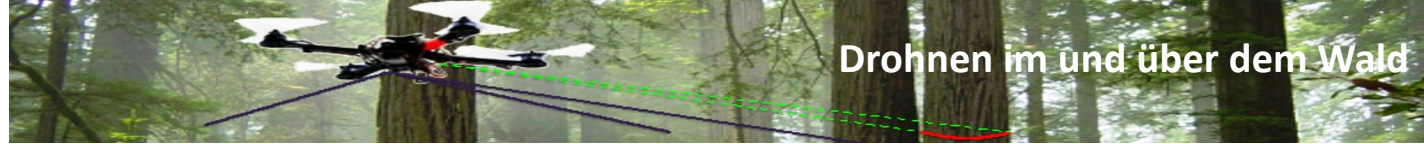


Foto: Hanns Kirchmeir

An aerial photograph of a dense evergreen forest, likely a spruce or fir forest. The trees are packed closely together, creating a textured, green canopy. The lighting is soft and even, suggesting an overcast sky. The overall color palette is various shades of green, from deep forest green to lighter, yellowish-green highlights on the tree tops.

die besten Drohnenfotos gelingen bei bedecktem Himmel!

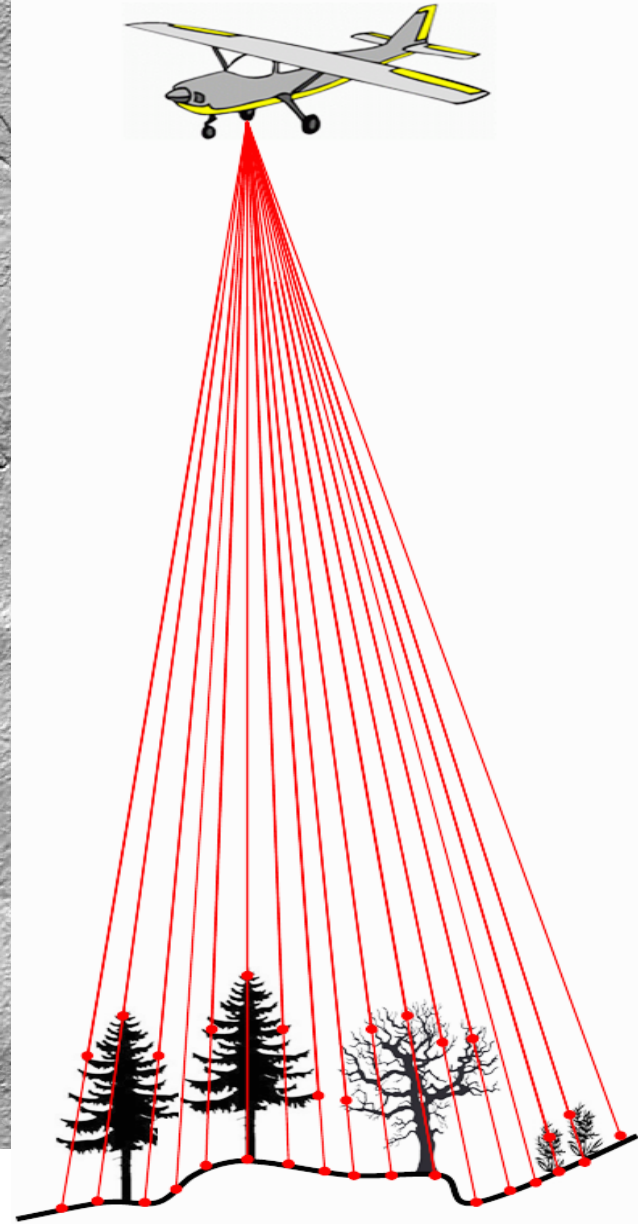
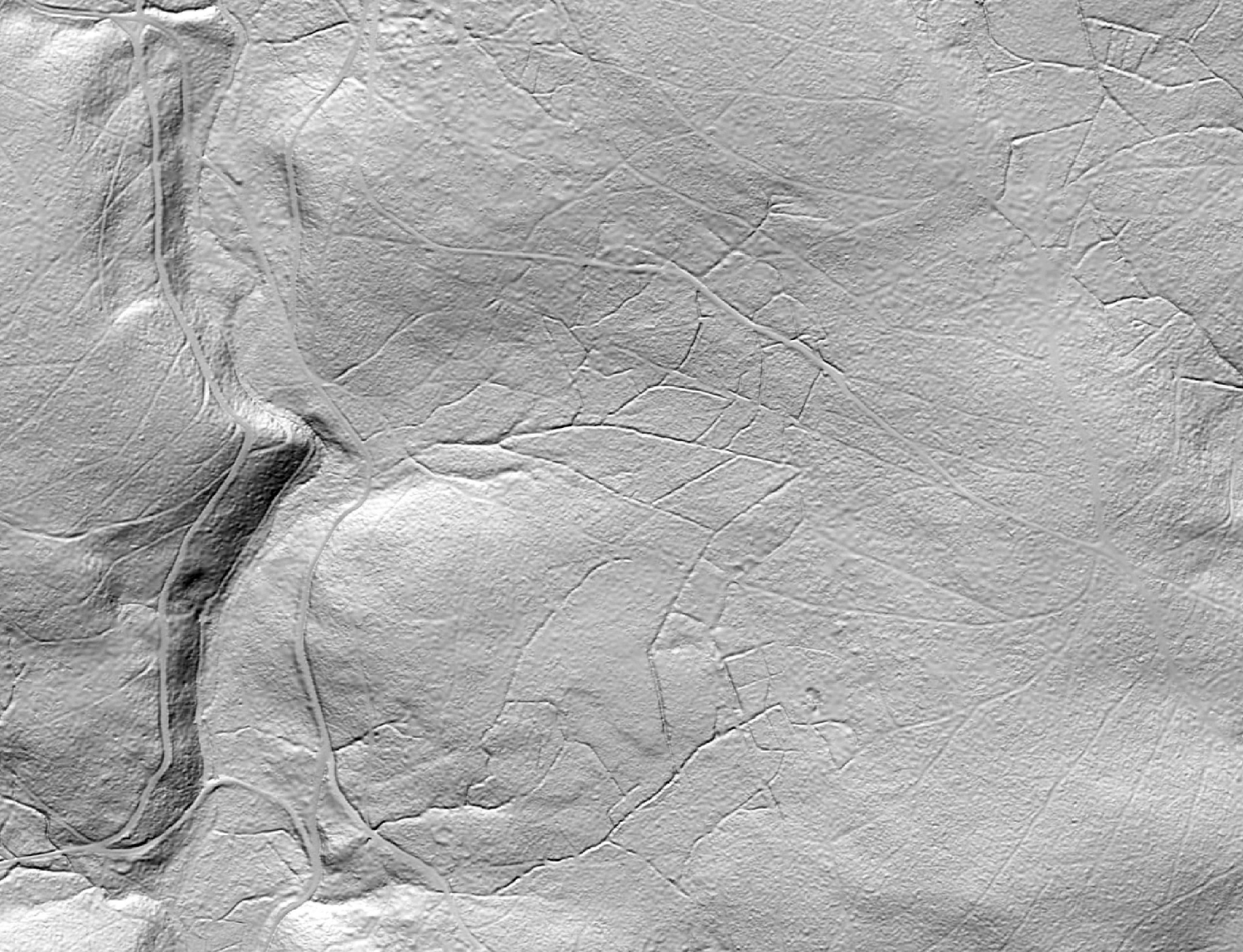
Foto: Hanns Kirchmeir



Drohnen / Flugzeug / Satelliten für Fernerkundung

Bilddaufnahme (Orthophotos)	Sentinel Satellit	WorldView Satellit	Flugzeug	Tragflügel-Drohne	Multicopter-Drohne
Auflösung	10m	50 cm	10 cm	5 cm	2 cm
Leistung Fläche / Tag	1/5 der Erdoberfläche	10.000 km ²	30.000 ha	3.000 ha	300 ha
Kosten / km ²	Rohdaten gratis	20-50€	100 €	200 €	1.000 €
Mindestfläche		100 km ²	1.000 ha	500 ha	1 ha
Wiederholrate	5 Tage	1 Tag	nach Bedarf	nach Bedarf	nach Bedarf

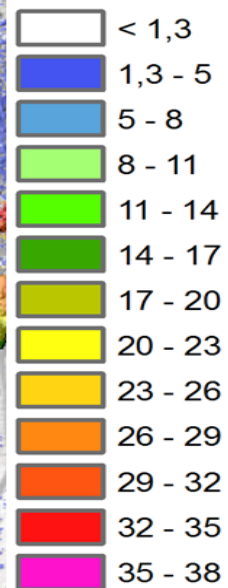
Laserscanning	GEDI Satellit	Single Photon Technologie	Flugzeug	Tragflügel-Drohne	Multicopter-Drohne
Auflösung	Einzelpunkte 60 x 600m	100P / m ² - starkes Rauschen	2 - 40 Pulse / m ²	10 - 200 Pulse / m ²	1000 - 20.000 Pulse / m ²
Leistung Fläche / Tag	240 Pulse / Sekunde	5.000 km ²	30.000 ha	3.000 ha	50 ha
Kosten / km ²	Rohdaten gratis	?	200 €	400 €	10.000 €
Mindestfläche	1 Puls = 25m Durchmesser	5.000 km ²	1.000 ha	200 ha	10 ha
Wiederholrate	kontinuierliche Verdichtung	nach Bedarf	nach Bedarf	nach Bedarf	nach Bedarf



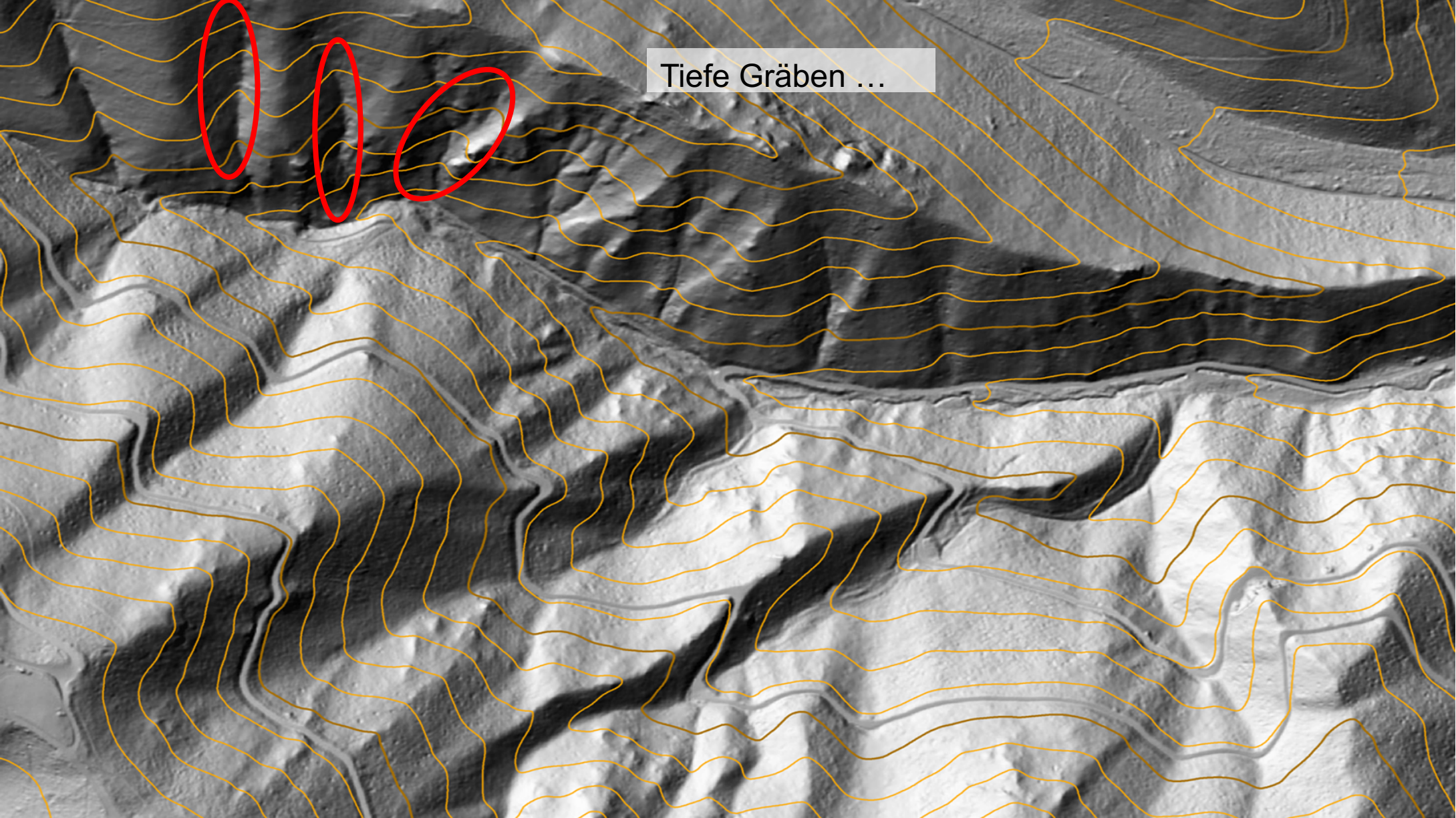
Laserscanning: Letztes Echo = Boden, erstes Echo = Krone

fließende Übergänge!

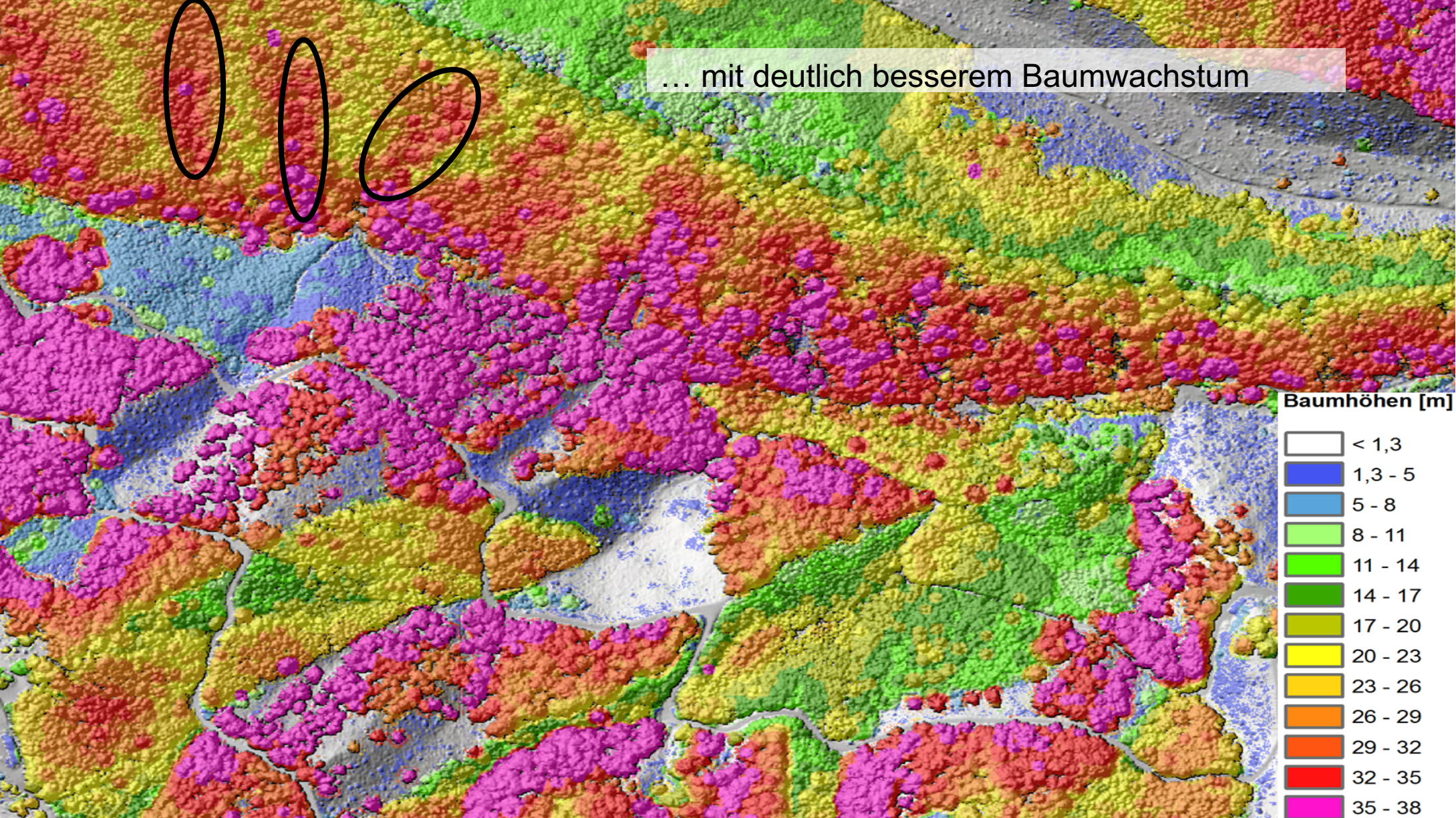
Baumhöhen [m]

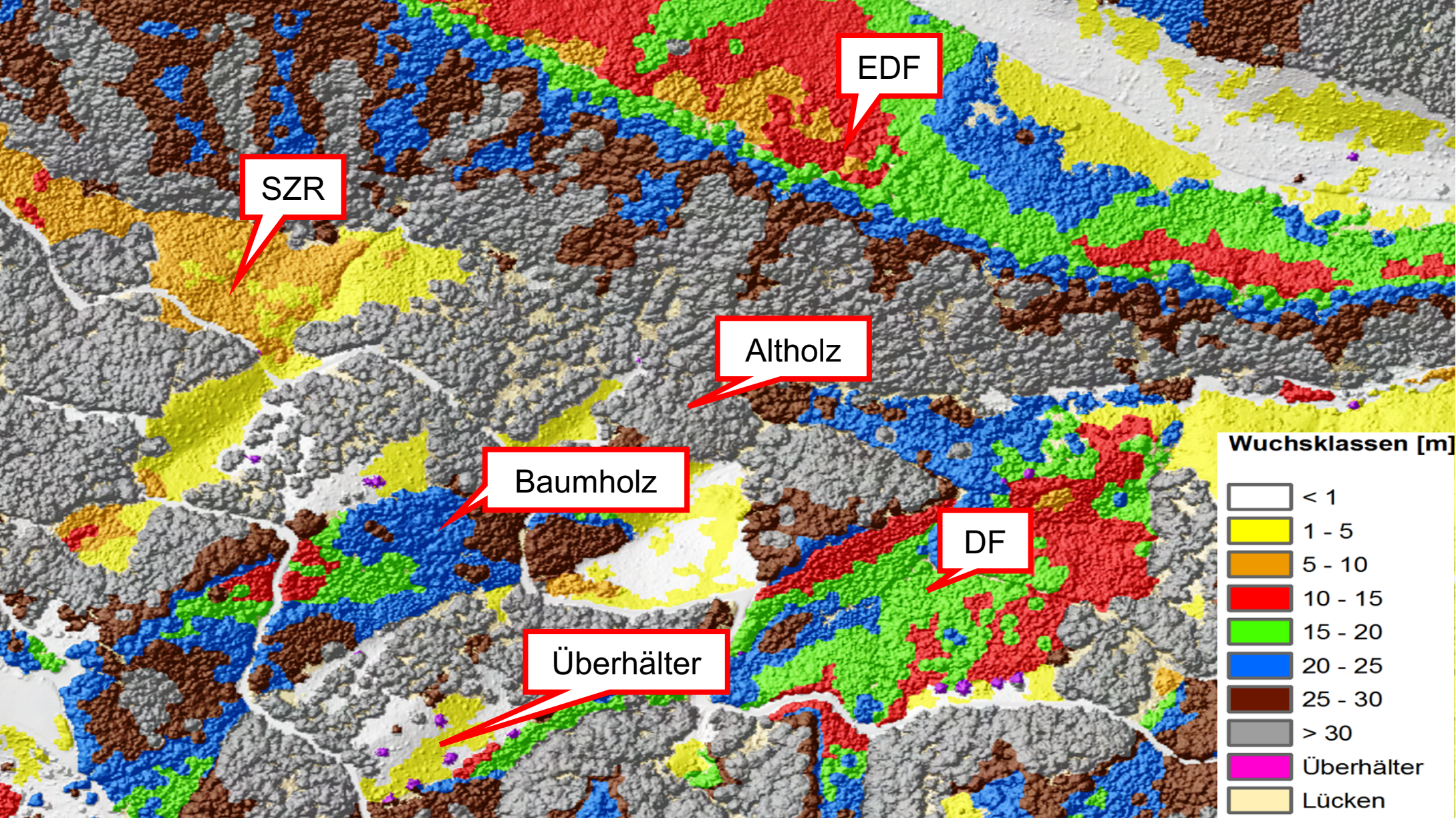


Tiefe Gräben ...



... mit deutlich besserem Baumwachstum







Forstliche Parameter aus Laserscanning

- **Baumhöhe** => ist viel genauer als manuelle Meßmethoden
- **Stammzahl**, ab einer Scandichte von 10 Pulsen / m²
- **Wuchsklasse**, Durchforstungsdringlichkeit, Laub- / Nadelanteil (Winter)
- **Vorrat** aus dem Kronenvolumen, z.B $V = a * K^b$ (V:Vorrat, K: Kronenvolumen)
- **Vertikalstruktur**, Schichtigkeit, Blößenanteil, Habitateignung
- Aus dem **Terrainmodell**: Exposition, Neigung, Seehöhe, Relief
- aus Zeitreihen: **Bonität** und wirtschaftliches Alter
(.... leider nicht die Baumart !!)

Beispieldaten: Steiermärkischer Waldatlas

[https://gis.stmk.gv.at/atlas/\(S\(jj34jj3041lwryuxhaxoxwob\)\)/init.aspx?karte=waldatlas&ks=easy&cms=da](https://gis.stmk.gv.at/atlas/(S(jj34jj3041lwryuxhaxoxwob))/init.aspx?karte=waldatlas&ks=easy&cms=da)



Drohnen – Laserscanning Multicopter

- Ricopter mit VUX1 oder miniVUX (~300.000€)
- Yellowscan mit DJI Matrice oder anderen (~150.000€)
- Hovermap mit Matrice oder anderen (~150.000)



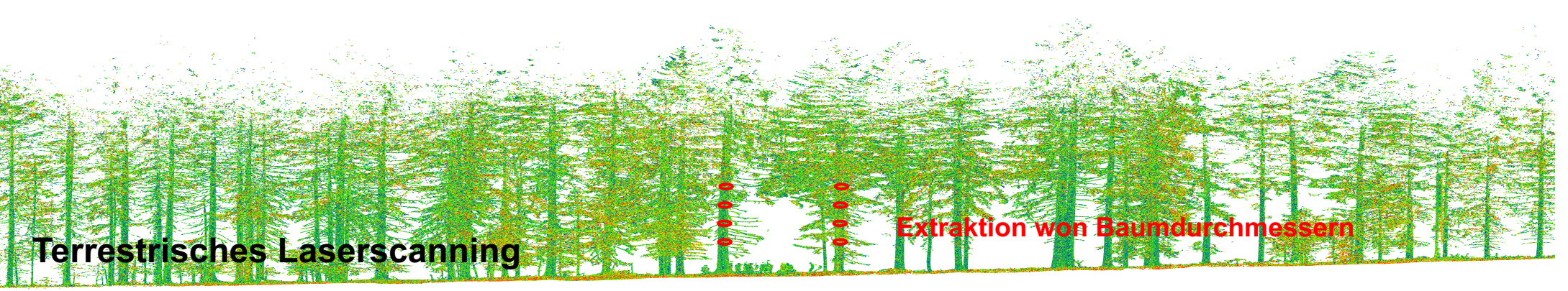
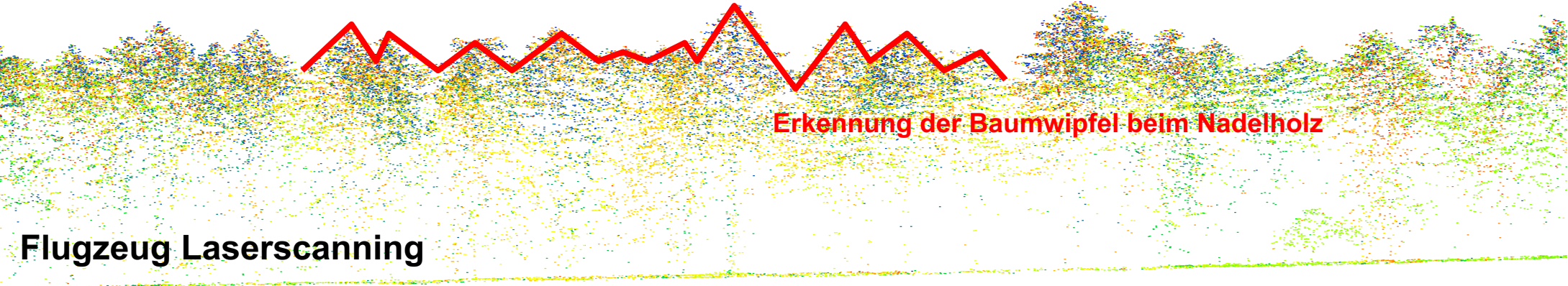


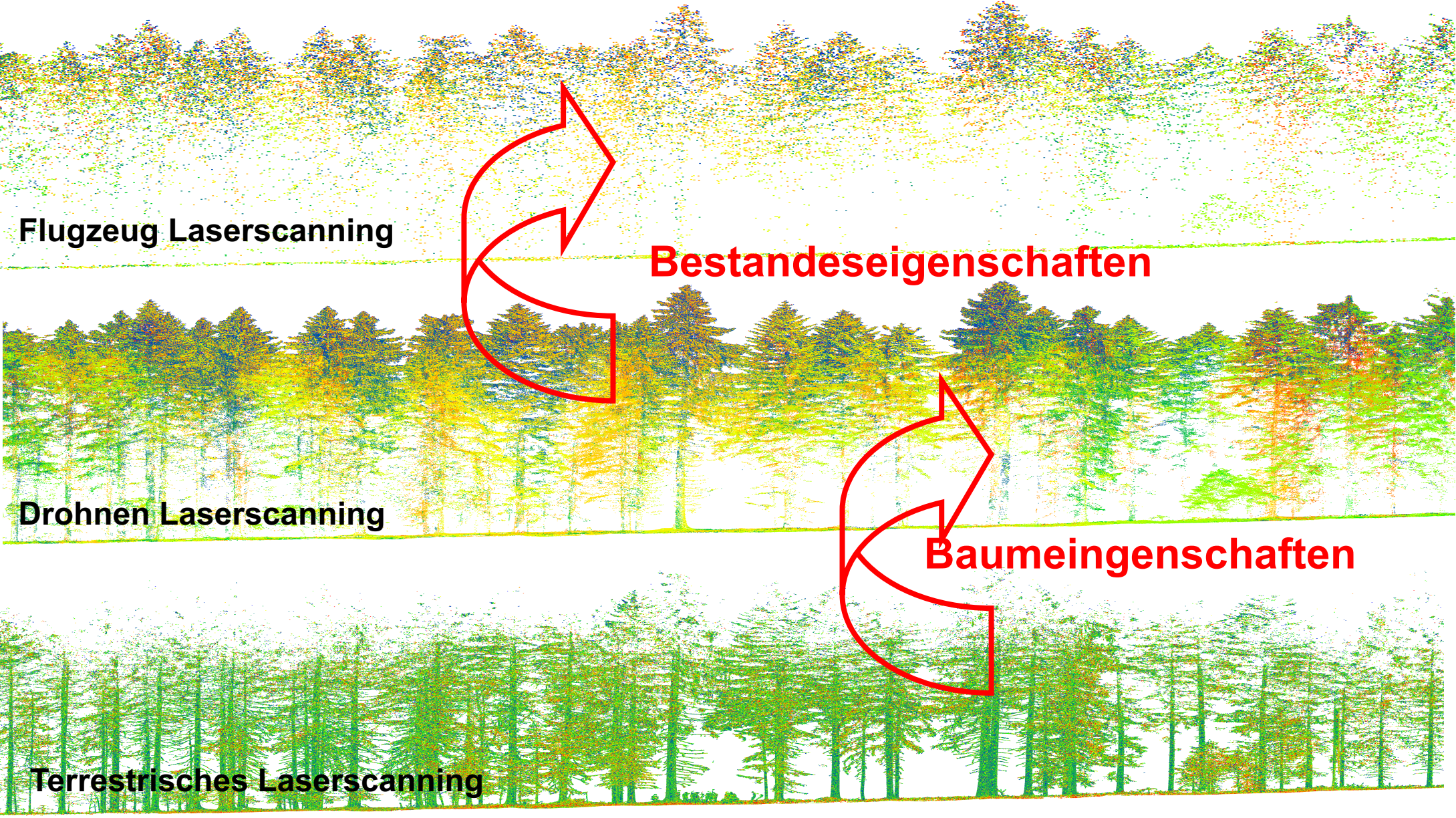
Drohnen im und über dem Wald

Laserscanning Tragflügeldrohne



**YELLOWSCAN /
VELODYNE
5-20.000 €**





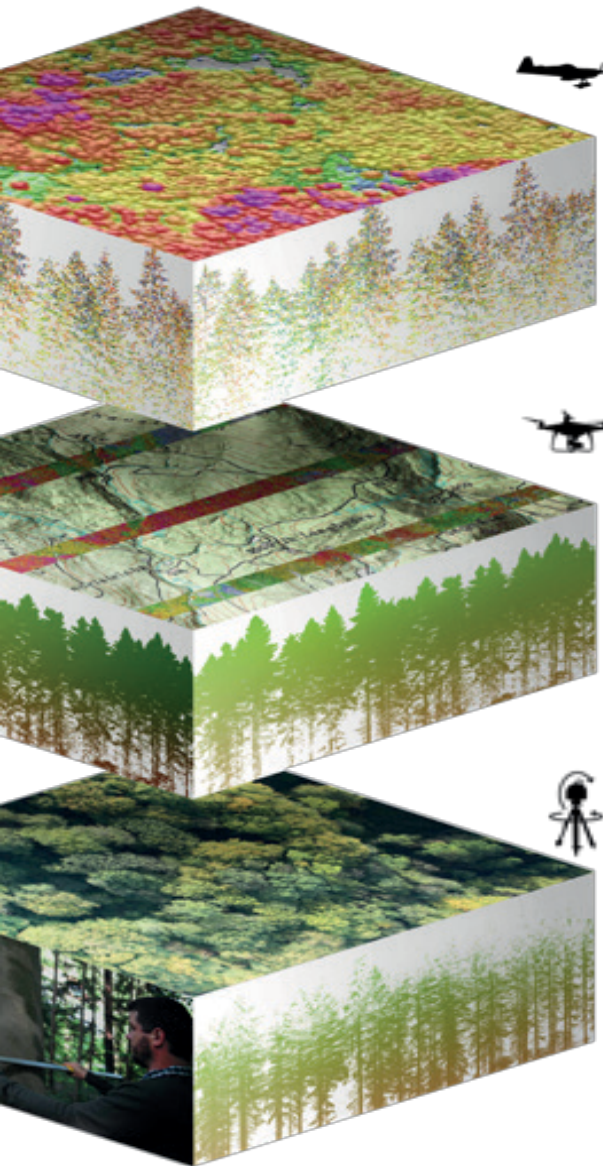
Flugzeug Laserscanning

Bestandeseigenschaften

Drohnen Laserscanning

Baumeigenschaften

Terrestrisches Laserscanning



- **Phase I**
ALS flächendeckend
2-20 Pulse / m²
- **Phase II**
Transekte mit sehr hoher
Punktdichte
200-2000 Pulse / m²
- **Phase III**
TLS und / oder Feldarbeit
>10GB / Aufnahmepunkt

Ziele:

hohe Genauigkeit der
Stichprobeninventur

geringer Aufwand
bei der Feldarbeit

flächendeckende
Kartierung forstlicher
Ressourcen

optimales Preis /
Leistungsverhältnis



Drohnensteuerung im Wald I

- Erforderlicher Sichtkontakt ist nicht immer möglich
- Risiko der Kollision mit einem Baum ist hoch
- Gute Start- und Landeplätze sind rar



Lösungsansätze:

- Drohne mit Hinderniserkennung (z.B. Mavic Air 2)
- Waypoint-Flug mit Flugplanung (interaktiv oder importiert)
- FPV (first person view) für Drohnensteuerung + **Beobachter**

Plan advanced waypoint missions and shoot stunning videos



Litchi-App for DJI



Drohnensteuerung im Wald II

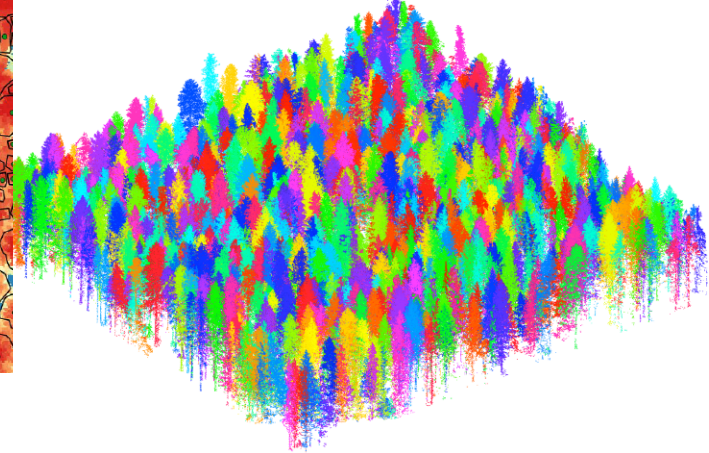
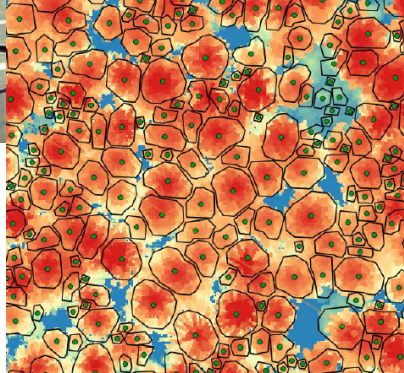
- Drohnenpfad im GIS planen mit Oberflächenmodell
- Import in Steuerungs-App (z.B. Litchi)
- Start und Landung durch das Kronendach manuell
- Wegpunkte, Fluggeschwindigkeit, Kurvenradien
- Kamera-Blickrichtung, Kamera-Auslösepunkt

... im Wald haben schon viele erfahrene Drohnenpiloten ihr Fluggerät geschrottet ...



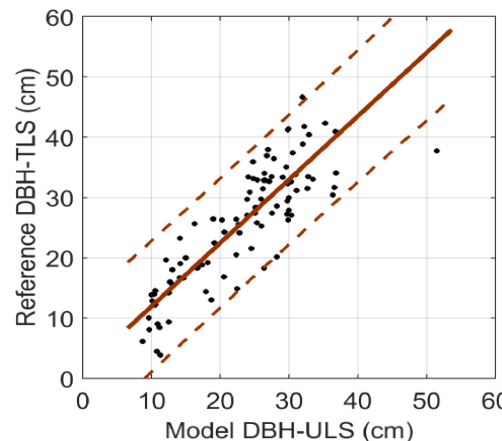
Anwendungsfälle I

- Einfach einmal nachschauen – ich spare mir den Weg
z.B. unbegehbbarer Schutzwald (ÖBf-link auf Youtube)
- In die Vogelperspektive wechseln, wo der Überblick fehlt,
z.B. Käferbäume
- Luftaufnahmen zur Dokumentation eines Zustandes:
Koordinaten der Auslösepunkte sollten gespeichert werden
- Luftaufnahmen für Orthophoto-Mosaik (z.B. Pix4D)
Lagegenauigkeit 1m, Auflösung wenige cm



Anwendungsfälle II

- Oberflächenmodell aus Image-Matching
- Terrain – und Oberflächenmodell aus Laserscanning
- Laserscanning zur Baumsegmentierung (>100 Pulse/m²)
- Laserscanning zur Bestimmung der Baumdurchmesser



$TLS = 1.05 * UAS + 1.43$
 $RMSE = 5.36 \text{ cm}$
 $RMSE(\%) = 20.8\%$

DI Martin Wieser 2018



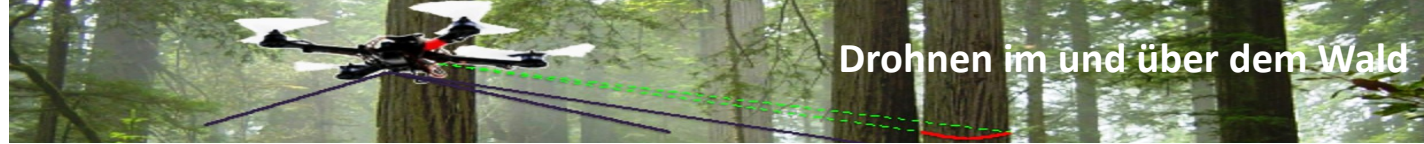
Anwendungsfälle III - Sub Canopy Drones

- Keine verlässliche Satellitennavigation
- Manuelle Steuerung zwischen den Bäumen anspruchsvoll
- Manuelle Steuerung bei dichtem Unterwuchs ~unmöglich
- Photogrammetrie im Bestand schwierig (Licht / Schatten)
- Durchmesser aus Photogrammetrie sehr ungenau
- Beispiel 1 DJI Mavic Air 2 im follow-me-Modus
- Beispiel 2 autonomer Flug in Kiefernplantage Australien
- Beispiel 3 FPV Flug bei dichtem Unterwuchs in Finnland



Anwendungsfälle IV - Borkenkäfer-Früherkennung

- Infrarot Luftbilder erkennen schlechte Wasserversorgung
- Zeitreihen sind erforderlich, um befallene Bäume von dauerhaft vitalitätsverminderten Bäumen zu unterscheiden
- Günstiger Befliegungszeitpunkt variiert mit dem Wetter, im Gebirge zusätzlich mit Exposition, Neigung, Seehöhe
- Derzeit noch geringe Trefferquote (~70% user/producer acc.)
- Der Zeitgewinn beträgt theoretisch 3-4 Wochen, hohe logistische Herausforderung der zeitgerechten Holzernte!



Alternativen zur Borkenkäfer-Früherkennung

- Luftbilder vom Flugzeug (größere Flächen)
- Satellitenbilder – Zeitreihen (Sentinel 2a+2b) (BEAT IT)
- Risiko-Modellierung mit alten Befallsdaten
- Borkenkäfer - Suchhunde
- Drohnen mit Geruchssensoren
- Langfristig: Baumartenwechsel



www.festmeter.at (KI-Ansatz!)





Truppenübungsplatz Allensteig: Sentinel2-Bild vom Juni 2019



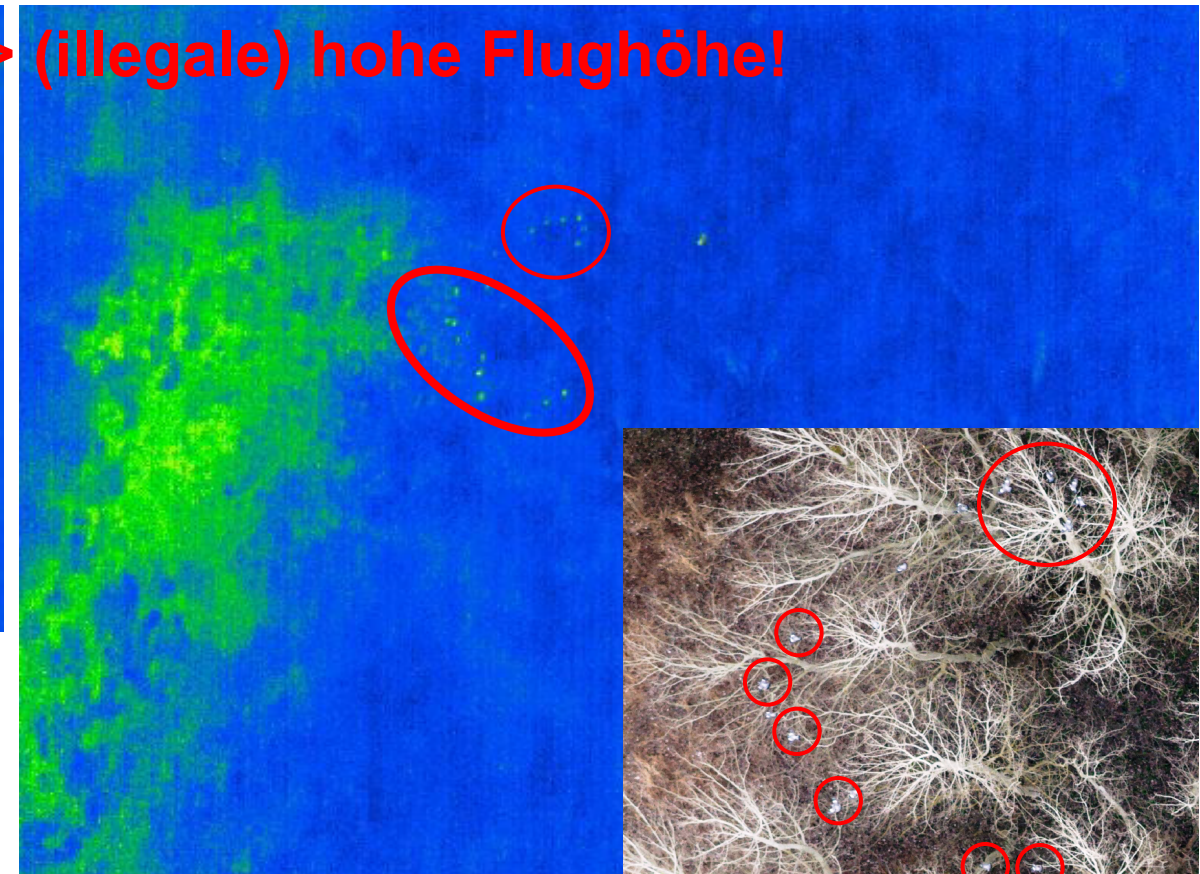
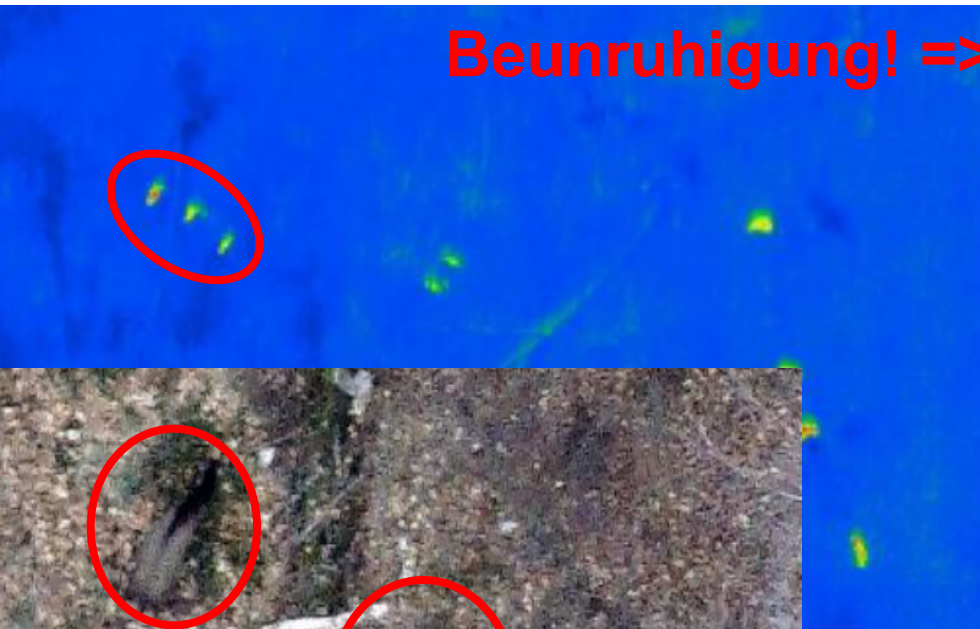
Wildverbiß Monitoring auf Schlagflächen

- Größere Schlagflächen sind schwierig zu begehen
- Wiederkehrende Erhebungspunkte schwierig aufzufinden
- Drohnenflug – Risiko ist auf Schlagflächen geringer
- Erhebungspunkte können als Waypoints exakt wiedergefunden werden (auf Blickrichtung achten!)





Wildtiererkennung mit Thermalkamera (aerosense.de)





Lastendrohnen

- ÖBf: Pflanzentransport Gebirgsaufforstung



Fotos: ÖBf



- ÖBf Schutzwaldbegutachtung <https://www.youtube.com/watch?v=1mRvDJ8-pQs>
- ÖBf Pflanzentransport <https://www.youtube.com/watch?v=4mYLvrRWZ9k>
- Hovermap autonom. subcanopy flight <https://www.youtube.com/watch?v=GL3EnZdEOsE>
- Finland FPV subcanopy flight <https://www.youtube.com/watch?v=acf4mwFoySY>
- Finland drone inventory <https://www.youtube.com/watch?v=8YfwaaTayew>
- DJI Mavic Air 2 im Wald <https://www.youtube.com/watch?v=lfjL3FF2sZ4>
- Management supported by drones <https://www.youtube.com/watch?v=wsDOJn915vE>
- Sweden subcanopy flight <https://www.youtube.com/watch?v=yJqFBZasWog>
- Holzernte Norwegen https://www.youtube.com/watch?v=D_ovYrOKFEE
- Ricopter (Fa. Riegl Horn) <https://www.youtube.com/watch?v=yqbQTp1b7oA>
- Ricopter im Tropenwald https://www.youtube.com/watch?v=n4H9EOnP_GA
- Wie ein Vogel über dem Wald <https://www.youtube.com/watch?v=ehfubi5kz5s>
- DJI Mini im Wald <https://www.youtube.com/watch?v=vtXYOohE6y4>
- Litchi App zur Drohnensteuerung <https://www.youtube.com/watch?v=RIR-Ss2xVEs>



Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Foto: Hanns Kirchmeir