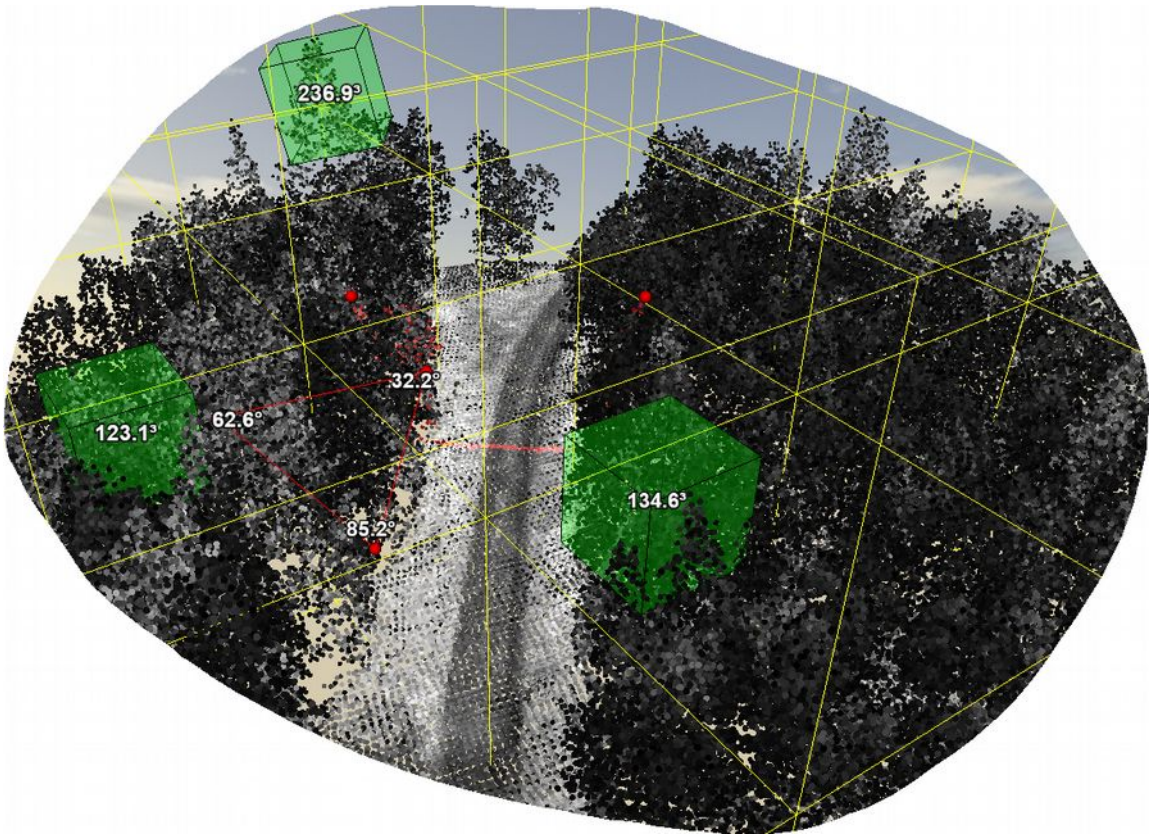
Gelände- und Waldstrukturanalyse mit Geodaten des Untersuchungsgebietes Zwickgabel/Großhahnhberg im Nationalpark Schwarzwald



Autor:

Dr. Markus Weidenbach, Professur für Fernerkundung und Landschaftsinformationssysteme (Felis)
Albrecht-Ludwigs-Universität Freiburg

Projekt: Wissensdialog Nordschwarzwald

Bearbeitungszeitraum: 1. Februar 2017 bis 15. Mai 2017

Projektpartner:

Inhalt

Einleitung....3
Datenmanagement und Präsentation....3
Webseite....3
QGIS Server und Webclient....5
Visualisierung der 3D Modelle....7
Online Abfrage der Tabellen....9
Untersuchungsgebiet und Geodaten....11
Das Untersuchungsgebiet....11
Geodaten....12
Luftbilder....12
Fullwave LiDAR Daten....12
Geländemodell des LGL....15
Shapefiles....16
Methoden und Ergebnisse....17
Auswertung der Laserdaten....17
Punktwolken der Fallenstandorte....18
Hangneigung, Exposition und Nord-/Südausrichtung....19
Feuchtigkeitsindex....24
Kronenhöhenmodell und Einzelbaumdetektion....25
Laserintensität....29
Herstellung des Kronenhöhenmodells aus Stereodaten....31
Herstellung der Ortho- und Trueorthophotos....33
Anaglyphenbild....36
Vegetationsindex (NDVI)....37
Nadelverlust....38
Klassifizierung von Fichten im 30m Umkreis um die Fallen....39
Einzelbaum: Lage, Höhe, BHD und Vorrat....40
Beleuchtungsmodelle....42
Statistische Auswertung der Flächen im 30 m Umkreis um die Fallen....46
Kartographische Darstellung der Statistik je Falle....51
Diskussion....63

Einleitung

Das ursprüngliche Vorhaben, das Untersuchungsgebiet im zeitlichen Rahmen dieser Arbeit zwischen Dezember 2016 und April 2017 mit einer Drohne zu befliegen und die Bilder und das Höhenmodell auszuwerten konnte aufgrund der rechtlichen und naturschutzfachlichen Bestimmungen des Regierungspräsidiums Karlsruhe und der Nationalparkverwaltung leider nicht realisiert werden. Das betraf v.a. die die geplante und für die Herstellung der Orthophotos notwendige Flughöhe von ca. 400 m, die nicht genehmigt wurde und das enge Zeitfenster, das im wesentlichen zum Schutz der Auerwildpopulation einzuhalten war.

Mitte Januar wurde schließlich in Absprache zwischen den Projektpartnern der FVA, Reinhold John und dem Doktorranden Jonas Hinze von der Abteilung Waldschutz und Petra Adler von der Abt. Biometrie und Informatik, sowie Andreas Fritz und Markus Weidenbach von Felis entschieden, auf den Drohneneinsatz zu verzichten und stattdessen die vorhanden Luftbilder aus 2016 und die Laserdaten aus 2015 auszuwerten.

Die Auswertung selbst dient nur einem Zweck: der Unterstützung der Doktorarbeit von Jonas Hinze, die sich mit der Populations- und Ausbreitungsdynamik des Buchdruckers beschäftigt. Vor diesem Hintergrund war die Frage nach der Berechnung von forstlichen und geomorphologischen Parametern zur Untermauerung seiner Feldstudien vorrangig.

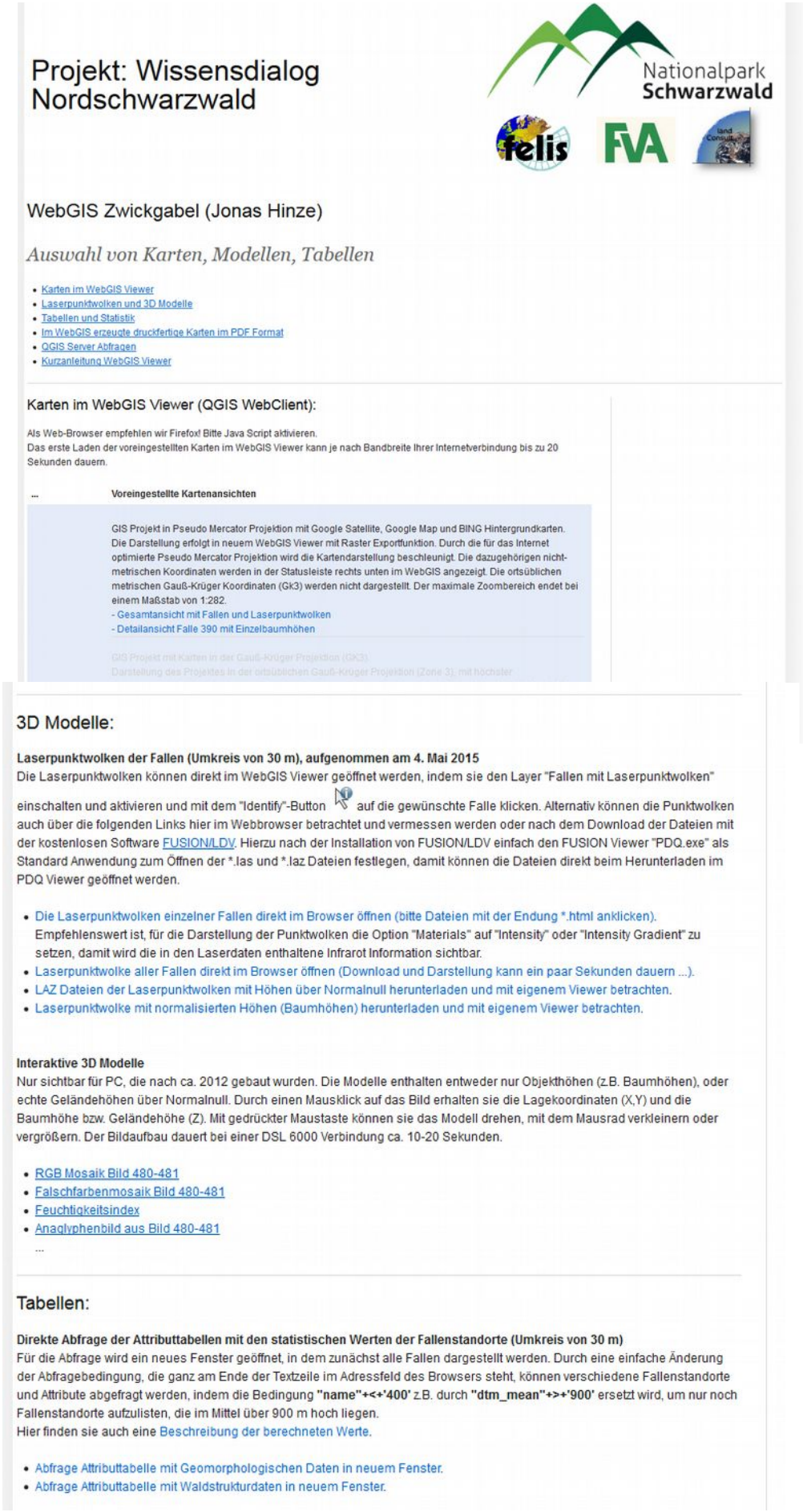
Datenmanagement und Präsentation

Webseite

Für die Bereitstellung der Ergebnisse wurde eine Passwort geschützte Webseite und ein WebGIS installiert (http://jhgis.landconsult.de).

Die Bereitstellung über einen abgesicherten Zugang zu einem GIS Server und ein WebGIS erlaubt eine ständige Aktualisierung der Daten und eine einheitliche Darstellung im Internet, die zudem für alle autorisieren Nutzer überall zugänglich ist, eine gute Internetverbindung vorausgesetzt. Die einzelnen Layer können über WFS im eigenen Desktop GIS angezeigt und auch auf die eigene Festplatte abgespeichert werden.

Zudem kann über den Webbrowser die Laserpunktwolke der einzelnen Fallen visualisiert und vermessen werden und die Statistiktabellen können online nach verschiedenen Merkmalen abgefragt werden.



Projekt: Wissensdialog Nordschwarzwald

Nationalpark Schwarzwald

WebGIS Zwickgabel (Jonas Hinze)

Auswahl von Karten, Modellen, Tabellen

- Karten im WebGIS Viewer
- Laserpunktwolken und 3D Modelle
- Tabellen und Statistik
- Im WebGIS erzeugte druckfertige Karten im PDF Format
- QGIS Server Abfragen
- Kurzanleitung WebGIS Viewer

Karten im WebGIS Viewer (QGIS WebClient):

Als Web-Browser empfehlen wir Firefox! Bitte Java Script aktivieren.
Das erste Laden der voreingestellten Karten im WebGIS Viewer kann je nach Bandbreite Ihrer Internetverbindung bis zu 20 Sekunden dauern.

... **Voreingestellte Kartenansichten**

GIS Projekt in Pseudo Mercator Projektion mit Google Satellite, Google Map und BING Hintergrundkarten. Die Darstellung erfolgt in neuem WebGIS Viewer mit Raster Exportfunktion. Durch die für das Internet optimierte Pseudo Mercator Projektion wird die Kartendarstellung beschleunigt. Die dazugehörigen nicht-metrischen Koordinaten werden in der Statusleiste rechts unten im WebGIS angezeigt. Die ortsüblichen metrischen Gauß-Krüger Koordinaten (Gk3) werden nicht dargestellt. Der maximale Zoombereich endet bei einem Maßstab von 1:282.
- Gesamtansicht mit Fallen und Laserpunktwolken
- Detailansicht Falle 390 mit Einzelbaumhöhen

GIS Projekt mit Karten in der Gauß-Krüger Projektion (GK3).
Darstellung des Projektes in der ortsüblichen Gauß-Krüger Projektion (Zone 3), mit höchster

3D Modelle:

Laserpunktwolken der Fallen (Umkreis von 30 m), aufgenommen am 4. Mai 2015
Die Laserpunktwolken können direkt im WebGIS Viewer geöffnet werden, indem sie den Layer "Fallen mit Laserpunktwolken" einschalten und aktivieren und mit dem "Identify"-Button auf die gewünschte Falle klicken. Alternativ können die Punktwolken auch über die folgenden Links hier im Webbrowser betrachtet und vermessen werden oder nach dem Download der Dateien mit der kostenlosen Software FUSION/LDV. Hierzu nach der Installation von FUSION/LDV einfach den FUSION Viewer "PDQ.exe" als Standard Anwendung zum Öffnen der *.las und *.laz Dateien festlegen, damit können die Dateien direkt beim Herunterladen im PDQ Viewer geöffnet werden.

- Die Laserpunktwolken einzelner Fallen direkt im Browser öffnen (bitte Dateien mit der Endung *.html anklicken). Empfehlenswert ist, für die Darstellung der Punktwolken die Option "Materials" auf "Intensity" oder "Intensity Gradient" zu setzen, damit wird die in den Laserdaten enthaltene Infrarot Information sichtbar.
- Laserpunktwolke aller Fallen direkt im Browser öffnen (Download und Darstellung kann ein paar Sekunden dauern ...).
- LAZ Dateien der Laserpunktwolken mit Höhen über Normalnull herunterladen und mit eigenem Viewer betrachten.
- Laserpunktwolke mit normalisierten Höhen (Baumhöhen) herunterladen und mit eigenem Viewer betrachten.

Interaktive 3D Modelle
Nur sichtbar für PC, die nach ca. 2012 gebaut wurden. Die Modelle enthalten entweder nur Objekthöhen (z.B. Baumhöhen), oder echte Geländehöhen über Normalnull. Durch einen Mausklick auf das Bild erhalten sie die Lagekoordinaten (X,Y) und die Baumhöhe bzw. Geländehöhe (Z). Mit gedrückter Maustaste können sie das Modell drehen, mit dem Mausrad verkleinern oder vergrößern. Der Bildaufbau dauert bei einer DSL 6000 Verbindung ca. 10-20 Sekunden.

- RGB Mosaik Bild 480-481
- Falschfarbenmosaik Bild 480-481
- Feuchtigkeitsindex
- Anaglyphenbild aus Bild 480-481

...

Tabellen:

Direkte Abfrage der Attributtabellen mit den statistischen Werten der Fallenstandorte (Umkreis von 30 m)
Für die Abfrage wird ein neues Fenster geöffnet, in dem zunächst alle Fallen dargestellt werden. Durch eine einfache Änderung der Abfragebedingung, die ganz am Ende der Textzeile im Adressfeld des Browsers steht, können verschiedene Fallenstandorte und Attribute abgefragt werden, indem die Bedingung **"name"+<+'400'** z.B. durch **"dtm_mean"+>+'900'** ersetzt wird, um nur noch Fallenstandorte aufzulisten, die im Mittel über 900 m hoch liegen.
Hier finden sie auch eine Beschreibung der berechneten Werte.

- Abfrage Attributtabelle mit Geomorphologischen Daten in neuem Fenster.
- Abfrage Attributtabelle mit Waldstrukturdaten in neuem Fenster.

Abbildung 1: Auszug Webseite Stand 05.05.2017 (unvollständig)

QGIS Server und Webclient

Zur Bearbeitung der Geodaten wurde QGIS in der Version 2.18 eingesetzt. Alle Geodaten sind in einem Projektfile für die Projektion EPSG 31467 (Gauß-Krüger Zone 3) und für die Pseudo-Mercator Projektion EPSG 3875 abgespeichert. Alle Pfade sind relativ und so können die QGIS Projekte, die sich im Verzeichnis „qgis“ befinden, direkt von der Festplatte unter Beibehaltung der vorgegebenen Datenstruktur geöffnet werden.

Diese Projektdateien sind auch über den QGIS Server von landConsult.de bereitgestellt und können über die obige Webseite abgefragt und visualisiert werden. Als WebGIS wird der QGIS WebClient genutzt, der auf jedem handelsüblichen Webbrowser läuft, auf dem JavaScript aktiviert ist.

Wir empfehlen allerdings bevorzugt die aktuelle Nutzung mit dem Firefox Browser, der für dieses Projekt getestet wurde.

Auf der Webseite lassen sich zwei Versionen öffnen:

(A) empfohlen: GIS Projekt in Pseudo Mercator Projektion mit Google Satellite, Google Map und BING Hintergrundkarten.
Die Darstellung erfolgt in neuem WebGIS Viewer mit Raster Exportfunktion. Durch die für das Internet optimierte Pseudo Mercator Projektion wird die Kartendarstellung beschleunigt. Die dazugehörigen nicht-metrischen Koordinaten werden in der Statusleiste rechts unten im WebGIS angezeigt. Die ortsüblichen metrischen Gauß-Krüger Koordinaten (Gk3) werden nicht dargestellt. Der maximale Zoombereich endet bei einem Maßstab von 1:282.

(B) für spezielle GK3 Darstellung (Link ist auf der Webseite abgeblended): GIS Projekt mit Karten in der Gauß-Krüger Projektion (GK3). Darstellung des Projektes in der ortsüblichen Gauß-Krüger Projektion (Zone 3), mit sehr hoher Lagegenauigkeit, da alle in diesem Projekt enthaltenen Datensätze ebenfalls in der GK3 Projektion vorliegen. Die metrischen GK3 Koordinaten werden in der Statusleiste unten rechts angezeigt. Der Zoombereich reicht bis zu einem Maßstab von 1:50.

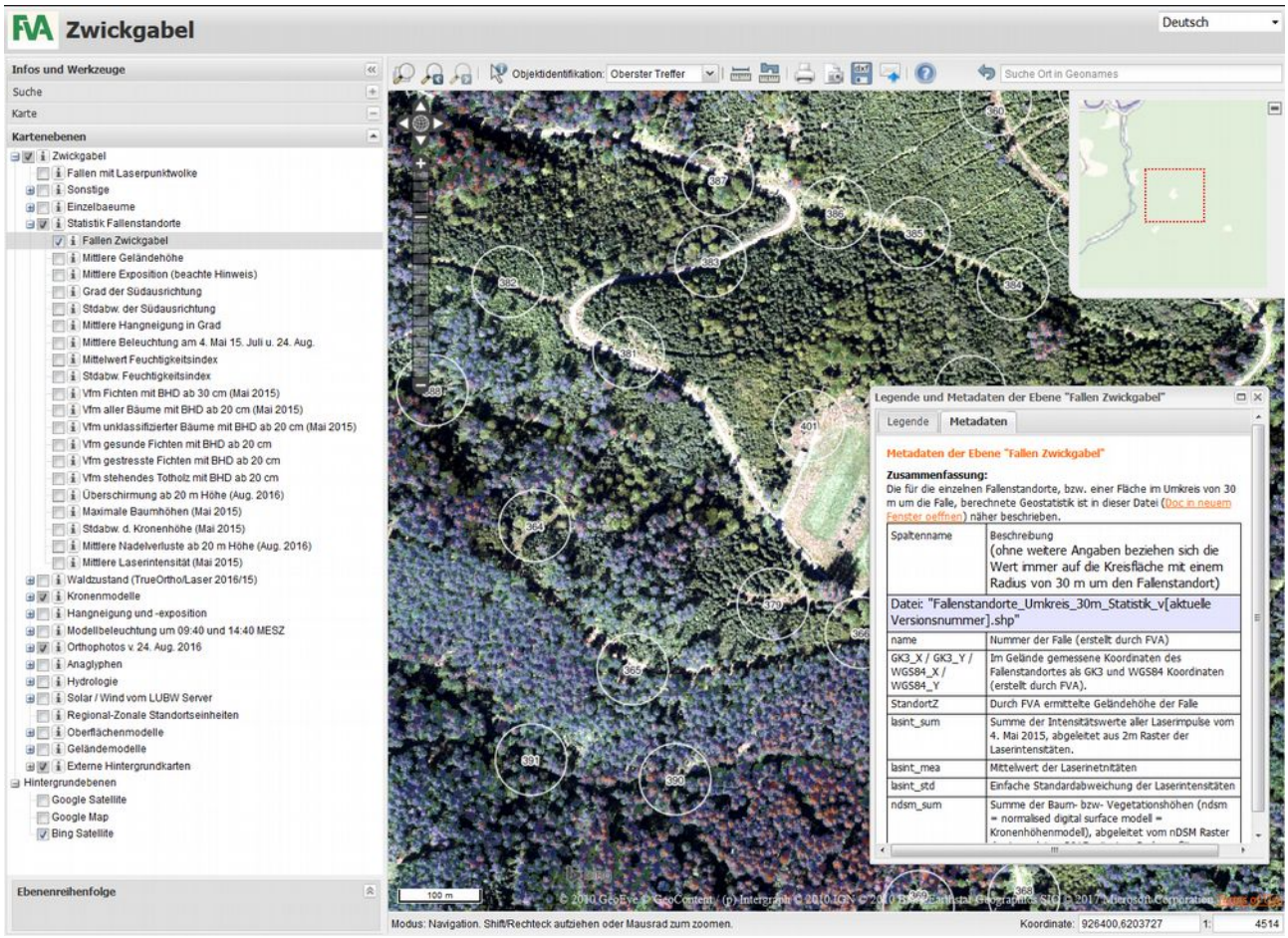


Abbildung 2: Der QGIS WebClient mit allen Projektdaten, Layerebenen, Schaltknöpfen und Legenden-, Info-, und Übersichtsfenster

Zusätzlich zu den verarbeiteten Geodaten sind drei externe WMS Layer im WebGIS zuschaltbar, die weitere für die Fragestellung relevante Daten enthalten:

- Windgeschwindigkeiten in 80 m Höhe über Grund aus dem Windatlas BW
- Solare Einstrahlung vom LUBW (Anzeige maßstabsabhängig)
- Forstliche Standortskartierung der FVA (Anzeige maßstabsabhängig)

Im folgenden sind verschiedene Abbildungen einzelner Layer einfache Screenshots der oben erwähnten WebGIS Anwendung mit **Stand 05.05.2017.** Alle dort dargestellten Layer und Geodaten sind auf einem USB Stick enthalten, der nach Abschluss der Arbeiten an Jonas Hinze (FVA) übergeben wurde.

Visualisierung der 3D Modelle

Die Laserdaten liegen sowohl für jeden einzelne Fallenumkreis als Punktwolken mit Baumhöhen oder mit Geländehöhen sowie im Rasterformat mit einer Auflösung von 20 cm vor.

Die Punktwolken können offline mit TreesVis, Fusion oder Lastools betrachtet und verarbeitet werden. Für die schnelle und flexible Online Darstellung über das Internet, kann man den Links auf der Webseite folgen. Dabei werden die Punktwolken mit dem Potree Viewer im Browser dargestellt und können mit den vorhandenen Funktionen des Viewers auch vermessen werden.

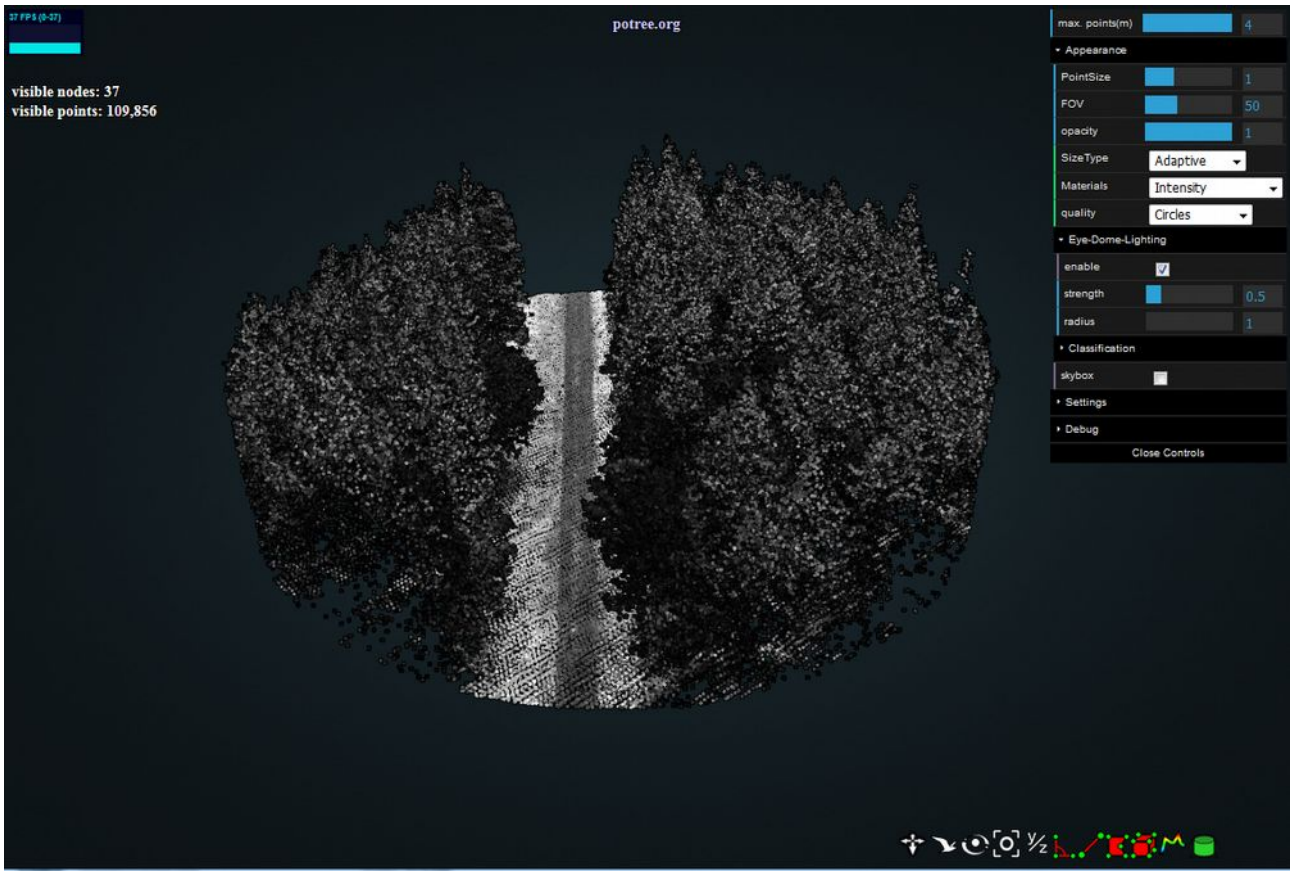


Abbildung 3: Darstellung der Punktwolke im Webbrowser durch den „Potree Viewer“ mit Auswahl- und Meßfunktionen. Potree ist ein Webclient, der für aktuelle Webbrowser konzipiert ist. Wir empfehlen die letzte Version des Firefox Browsers, den wir für diese Arbeit getestet haben.

Die Laserpunktwolken der einzelnen Fallen lassen sich auch direkt im WebGIS öffenen. Dazu muss

der Layer mit den Fallenstandorten aktiv sein, um mit der Abfrage Funktion des „Identity“ Buttons und einen Klick auf den Fallenstandort den Potree Viewer im WebGIS zu öffnen.

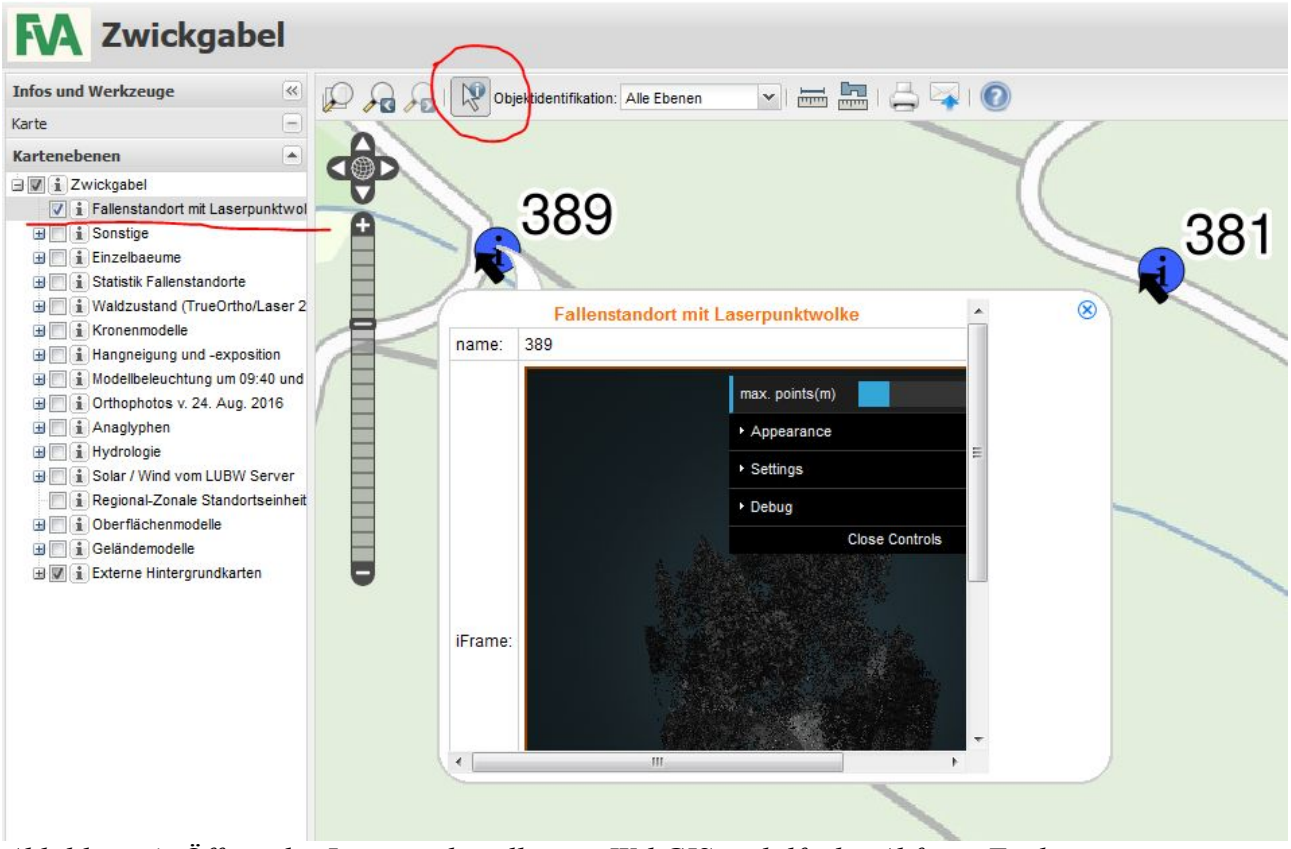


Abbildung 4: Öffnen der Laserpunktwolken im WebGIS mithilfe der Abfrage Funktion

Auf der Webseite befindet sich auch ein Link zu 3D Rastermodellen („Interaktive 3D Modelle“), die einfach in QGIS mit der Erweiterung „Threejs“ hergestellt und in den üblichen Webbrowsern angezeigt werden können (offline von der eigenen Festplatte oder online vom Web Server).
Durch einen Mausklick auf das Bild erhält man die Lagekoordinaten (X,Y) und die Baumhöhe bzw. Geländehöhe (Z), sowie die Werte aus der Attributtabelle des dargestellten Layers. Mit gedrückter Maustaste kann man das Modell drehen, mit dem Mausrad verkleinern oder vergrößern. Je nach Größe des erzeugten Modells und der vorhandenen Bandbreite kann der Bildaufbau über das Internet einige Sekunden dauern.

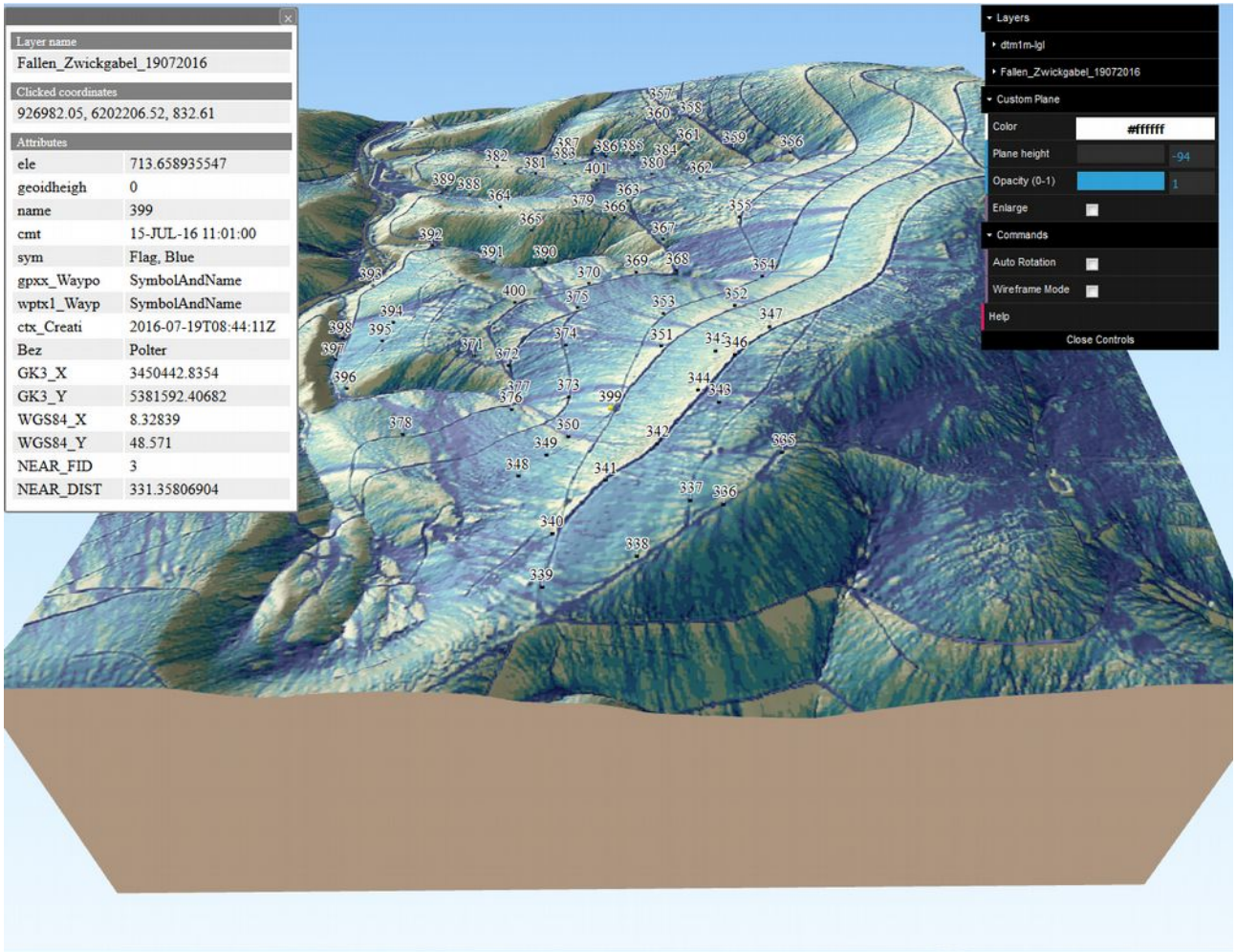


Abbildung 5: Darstellung der Wetness Index Berechnung im 3D Viewer (QGIS/Threejs Plugin). Verschiedene Layer können damit visualisiert und abgefragt werden

Online Abfrage der Tabellen

Die Abfrage der beiden Attributtabellen, welche die statistischen Berechnungen für die einzelnen Fallenstandorte beinhalten, geschieht online über den QGIS Server und ermöglicht die Auflistung von Fallen, die nach bestimmten Kriterien ausgewählt werden. Da diese Art der Abfrage sehr effektiv auch mit Desktop Datenbank, GIS oder Statistik Programme durchgeführt werden kann, ist diese Online Funktion nur als eine schnelle und überall verfügbare Zusatzfunktion zu verstehen. Bei häufigerem Gebrauch könnte eine benutzerfreundliche Programmierung zur Dateneingabe die Abfrage natürlich auch komfortabler gestalten.

Beispiel 1 (Tabelle 1 „Geomorphologie):

Das Merkmal "dtm_mean" aus der Attributtabelle Fallenstandorte_Umkreis_30m_DTM_Statistik_v3 soll größer als 900 sein, d.h. der Mittelwert des Geländemodells soll im 30 m Fallen Umkreis über 900 Meter liegen (eine genaue Beschreibung der Parameter, wie "dtm_mean" etc. findet sich weiter unten in diesem Bericht).

Dazu ist folgende Eingabe in der Adressleiste nötig:

http://188.138.88.141/cgi-bin/qgis_mapserv.fcgi?
map=/home/jhgis/qgis/zwickgabel_3857_v1.qgs&SERVICE=WMS&VERSION=1.3.0&REQUEST=GetFeatureInfo&exceptions=application
%2Fvnd.ogc.se_xml&CRS=EPSG:3857&WIDTH=1346&HEIGHT=2220&BBOX=926027.3,6201432.1,927737.6,6204246&LAYERS=Fallenstandorte_Umkreis_30m_DTM_Statistik_v320170414201055654&QUERY_LAYERS=Fallenstandorte_Umkreis_30m_DTM_Statistik_v320170414201055654&FEATURE_COUNT=100&INFO_FORMAT=text/html&FILTER=Fallenstandorte_Umkreis_30m_DTM_Statistik_v320170414201055654:'**dtm_mean'+>+'900'**

Beispiel 2 (Tabelle 2 „Waldstruktur“):

Das Merkmal "VFM_cnt30 " aus der Attributtabelle Fallenstandorte_Umkreis_30m_Statistik_v9 steht für die Anzahl der Bäume im 30 m Kreis mit einem BHD >= 30 cm und soll größer als 6 sein, d.h. es sollen nur Fallen aufgelistet werden, wo mehr als 6 Bäume mit einem BHD von >= 30 cm stehen.

Dazu ist folgende Eingabe in der Adressleiste nötig:

http://188.138.88.141/cgi-bin/qgis_mapserv.fcgi?
map=/home/jhgis/qgis/zwickgabel_3857_v1.qgs&SERVICE=WMS&VERSION=1.3.0&REQUEST=GetFeatureInfo&exceptions=application
%2Fvnd.ogc.se_xml&CRS=EPSG:3857&WIDTH=1346&HEIGHT=2220&BBOX=926027.3,6201432.1,927737.6,6204246&LAYERS=Fallenstandorte_Umkreis_30m_Statistik_v920170406081320989&QUERY_LAYERS=Fallenstandorte_Umkreis_30m_Statistik_v920170406081320989&FEATURE_COUNT=100&INFO_FORMAT=text/html&FILTER=Fallenstandorte_Umkreis_30m_Statistik_v920170406081320989:**'VFM_cnt30'+>+'6'**

Durch eine einfache Änderung der Abfragebedingung, die in dem Abfrageausdruck Fett gedruckt ist und immer ganz am Ende der Textzeile im Adressfeld des Browsers steht, können Attribute verschiedener Fallenstandorte abgefragt werden. **Dabei ist immer auf die korrekte Syntax des Ausdrucks zu achten!**

Untersuchungsgebiet und Geodaten

Das Untersuchungsgebiet

Im Untersuchungsgebiet Großhahnberg auf Gemarkung Zwickgabel bei Baiersbronn befinden sich insgesamt 67 Käferfallen, deren Lage die eigentliche Abgrenzung der Untersuchungsfläche bestimmt.

Der Großhahnberg liegt zwischen rund 600 – 1000 m ü. NN, (LiDAR Minimum Z: 559 m, max. Z: 967 m). Es handelt sich überwiegend um einen Nordwesthang mit unterschiedlich durchbrochenen Nadelholzbeständen unterschiedlichen Alters.

Die anspruchsvolle Topographie und die Heterogenität der Bestände (Kulturflächen mit Überhältern, Steillagen mit großen Geländeunterschieden) erschweren die photogrammetrische Auswertung der Luftbilder und bestimmen das 3D Modell ganz entscheidend.

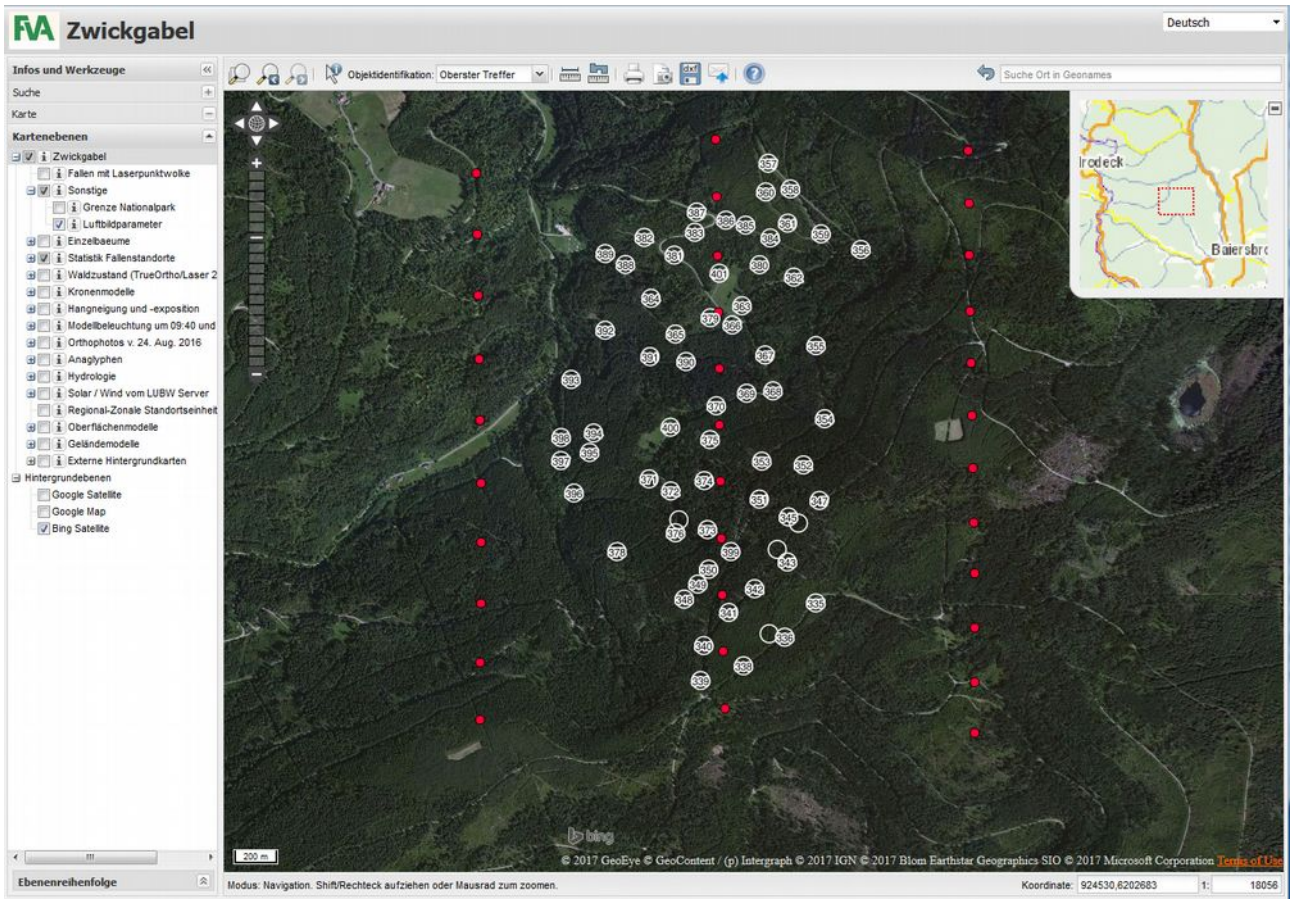


Abbildung 6: WebGIS mit Fallenstandorten (weiße Kreise) und Projektionszentren der Luftbildbefliegung 2016 (rote Punkte), vor dem Hintergrund der BING Luftbilder.

Geodaten

Die Luftbilder und Laserdaten wurden dem Projekt freundlicherweise von der Nationalparkverwaltung zur weiteren Verarbeitung überlassen. Beide Datensätze liegen bei der FVA und der das Untersuchungsgebiet abdeckende Teil wurde von der Abt. Biometrie und Informatik ausgewählt und Felis zur Verfügung gestellt.

Luftbilder

Bezug der Bilder, Projektionszentren mit Rotationswinkeln in der Reihenfolge phi, omega, kappa (in Gon) und Kamera Kalibrierungsprotokoll über FVA, Abt. Biometrie und Informatik.

Lage der Projektionszentren siehe Abbildung oben.

Befliegung vom 24.08.2016 um ca. 14:43 MESZ (Bild Nr 480, GPS Time 124344)

Flugrichtung Nord-Süd

Flughöhe ca. 1.660 m über Grund (2.379 ü.NN), Bodenauflösung ca. 10 cm

Ultracam Eagle, 16bit 4 Kanalbilder RGBI

Überlappung ca. 80% along track, ca. 40% across track

Sonnenstand am 24.08.2016 um 12;40 im Untersuchungsgebiet am Großhahnberg:
Sonnenhöhe: 49,61 Grad, Sonnenrichtung: 207,24 Grad
Schattenlänge eines 30 m hohen Baums: 25,53 m

Fullwave LiDAR Daten

Bezug über FVA, Abt. Biometrie und Informatik.

Befliegung vom 4. Mai 2015 mit unterschiedlicher Überlappung der einzelnen Flugstreifen.

Info zur Datei „zwickgabel_als2015.las“, die für die weitere Verarbeitung aus den gelieferten einzelnen Laserdateien zusammengesetzt wurde:

Anzahl verarbeiteter Flugstreifen bzw. *.las files: 22

Anzahl d. Returns: 5

Mittlerer Punktabstand aller Returns: 0.14 m

Punktdichte ca. 50 pt/qm

Flächenausdehnung ca. 400 ha

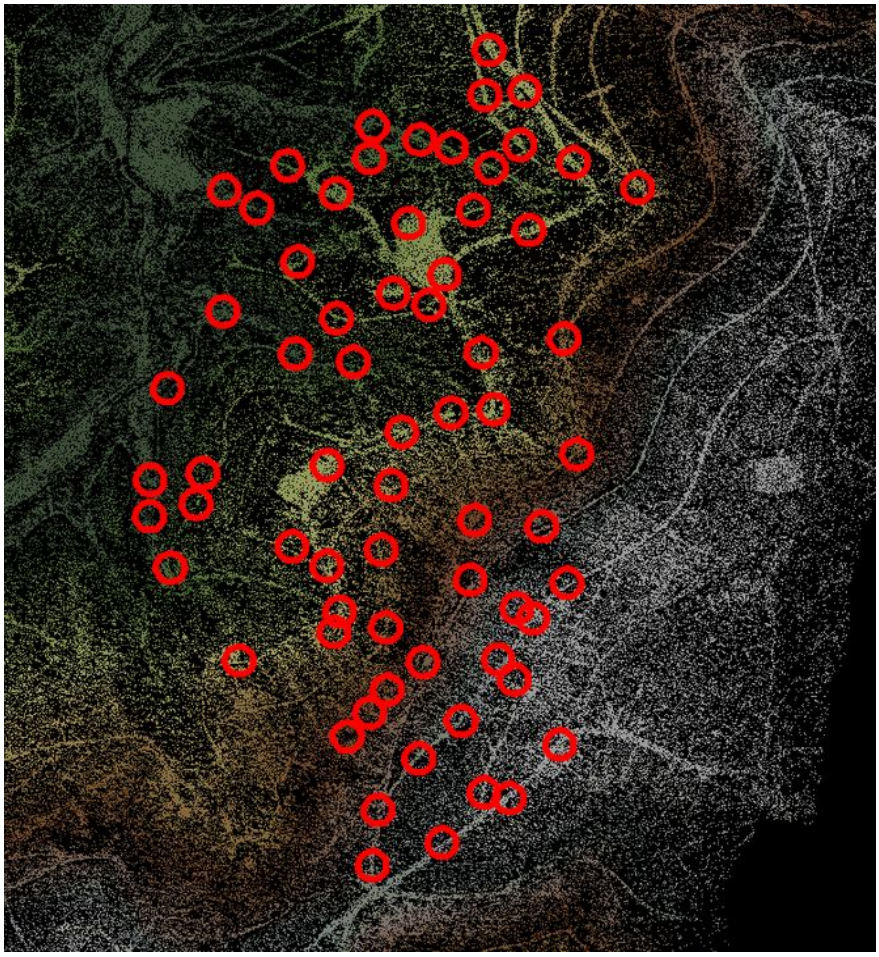


Abbildung 7: Ausdehnung der verarbeiteten Fullwave Laserdaten. Hier sind die Geländepunkte nach Geländehöhe eingefärbt (grün = tief, weiß = hoch) mit Fallenstandorte im Vordergrund (rote Kreise).

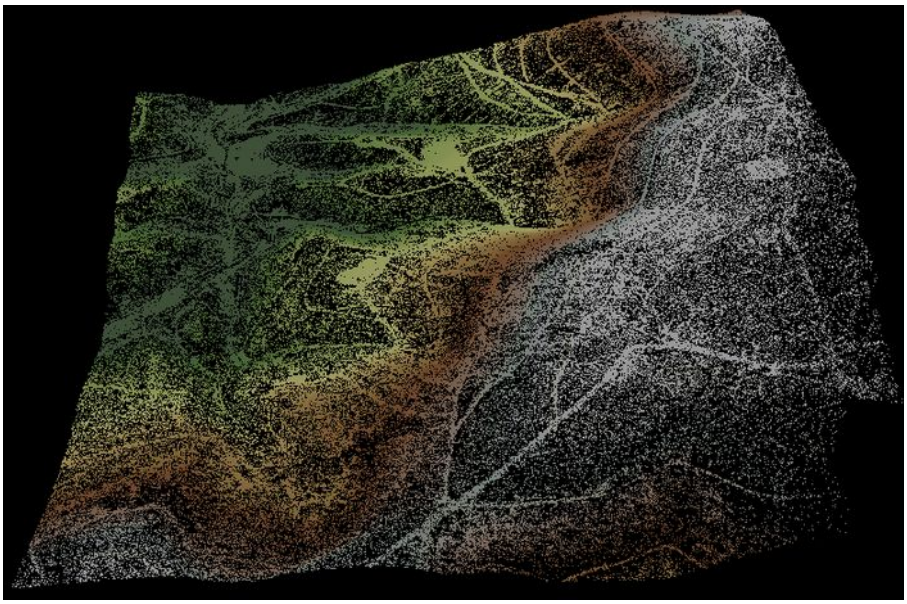


Abbildung 8: 3D Ansicht Lasergeländepunkte

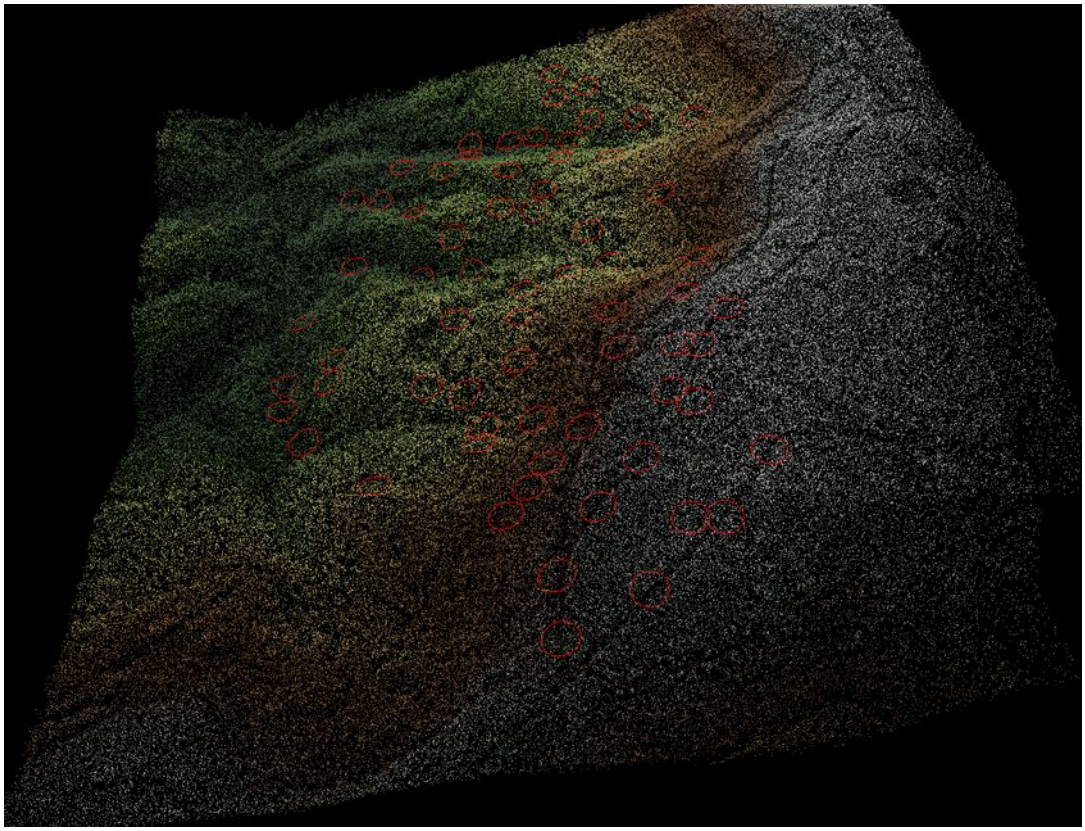


Abbildung 9: 3D Ansicht Vegetations- und Geländepunkte mit Fallenstandorten (rote Kreise)

Geländemodell des LGL

Als amtlicher Referenzdatensatz wurde das manuell bereinigte Geländemodell aus der Laserbefliegung vom April 2004 vom Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung (LGL). Die Daten wurden als 1 m Raster von Felis zur Verfügung gestellt.

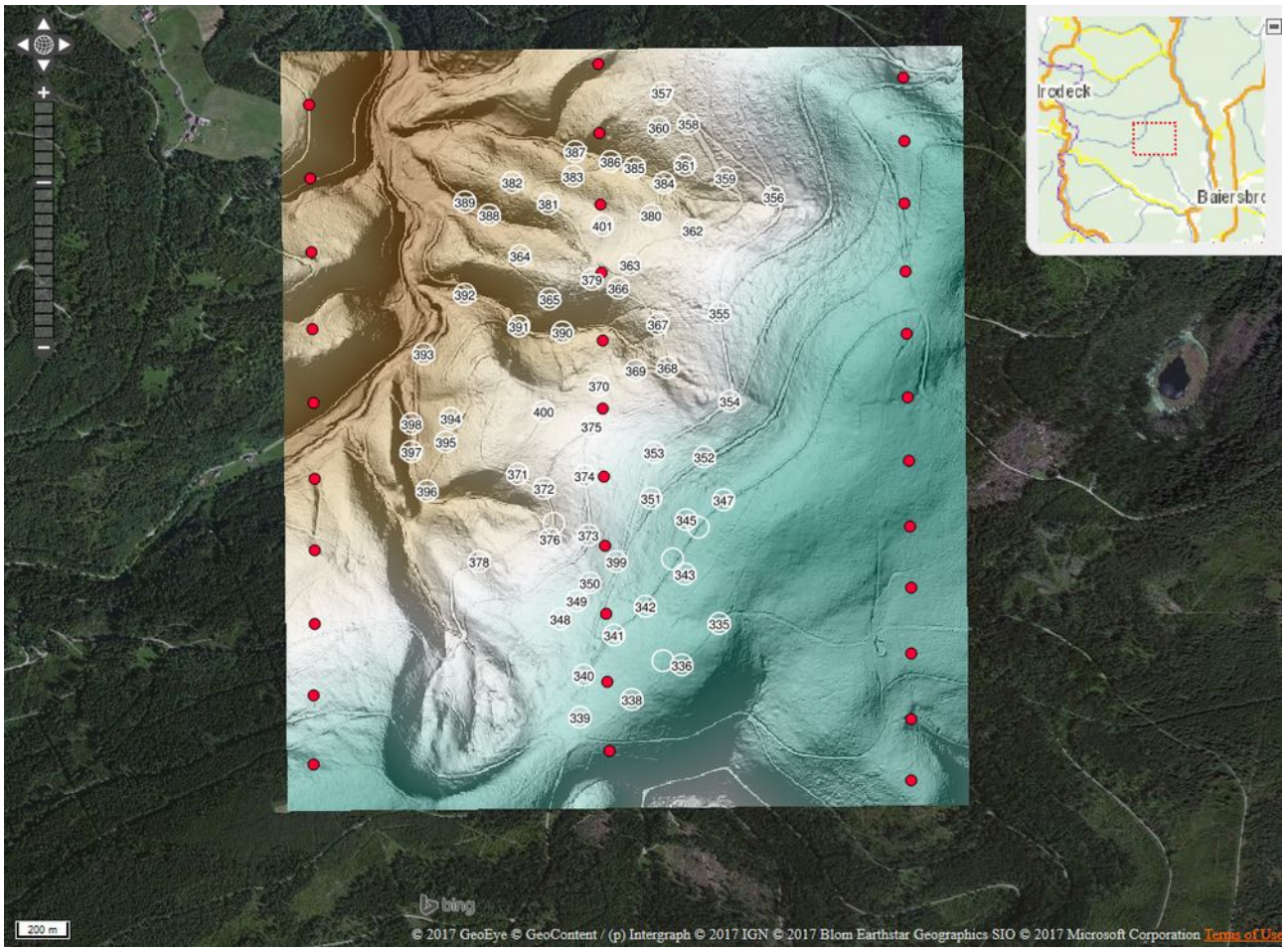


Abbildung 10: Gesamtansicht aus WebGIS mit Geländemodell des LGL vor den BING Luftbildern im Hintergrund und mit den 30 m großen Kreise umd die Fallenstandorte und den Projektionszentren der Luftbildbefliegung von 2016 (rote Punkte).

Shapefiles

Von der Abt. Waldschutz der FVA (Jonas Hinze) wurden folgende Shapedateien zur Verfügung gestellt:

(a) Punkshape der Fallenstandorte mit GPS Information der Fallen („Fallen_Zwickgabel_19072016.shp“, Stand: 23.01.2017 und „Fallen_Zwickgabel_19072016_3D_DGM.shp“ Stand: 14.02.2017 mit „Z“ Koordinate).
(b) Polygonshape mit 30 m Puffer um die einzelnen Fallen („Fallen_Zwickgabel_Kreise_30m_3D.shp“, Stand: 23.03.2017).
(c) Ergebnisse der digitalen Photointerpretation am Stereo-Luftbild Auswertegerät an der FVA durch Niklas Ohlmann, der Fichten (Baumholz) in einem 30 m Umkreis der einzelnen Fallen, insgesamt ca. 1.400 Fichten, kartiert und als Punktshape abgespeichert hat („Einzelbäume.shp“, Stand: 24.02.2017).

Abbildung 11: Auszug WebGIS mit einzelnen Fichten innerhalb der Fallenstandorte, die von der FVA vor Beginn der digitalen Datenauswertung im Umkreis von 30 m um die Fallenstandorte manuell am Stereobildschirm kartiert wurden.

Methoden und Ergebnisse

Auswertung der Laserdaten

Die Auswertung der Laserdaten fand überwiegend mit der Software FUSION Vers. 3.6 und zum Teil mit der aktuellen Version von LasTools statt.

Die 22 von der FVA bereitgestellten Fullwave Laserdateien wurden zusammengefügt und auf die Ausdehnung des Untersuchungsgebietes zugeschnitten und in einer Datei von rund 5 GB abgespeichert („zwickgabel_als2015.las“). Daraus wurde Geländepunktwolke und das Geländemodells sowie die Oberflächenpunktwolke und das Oberflächenmodells gerechnet.

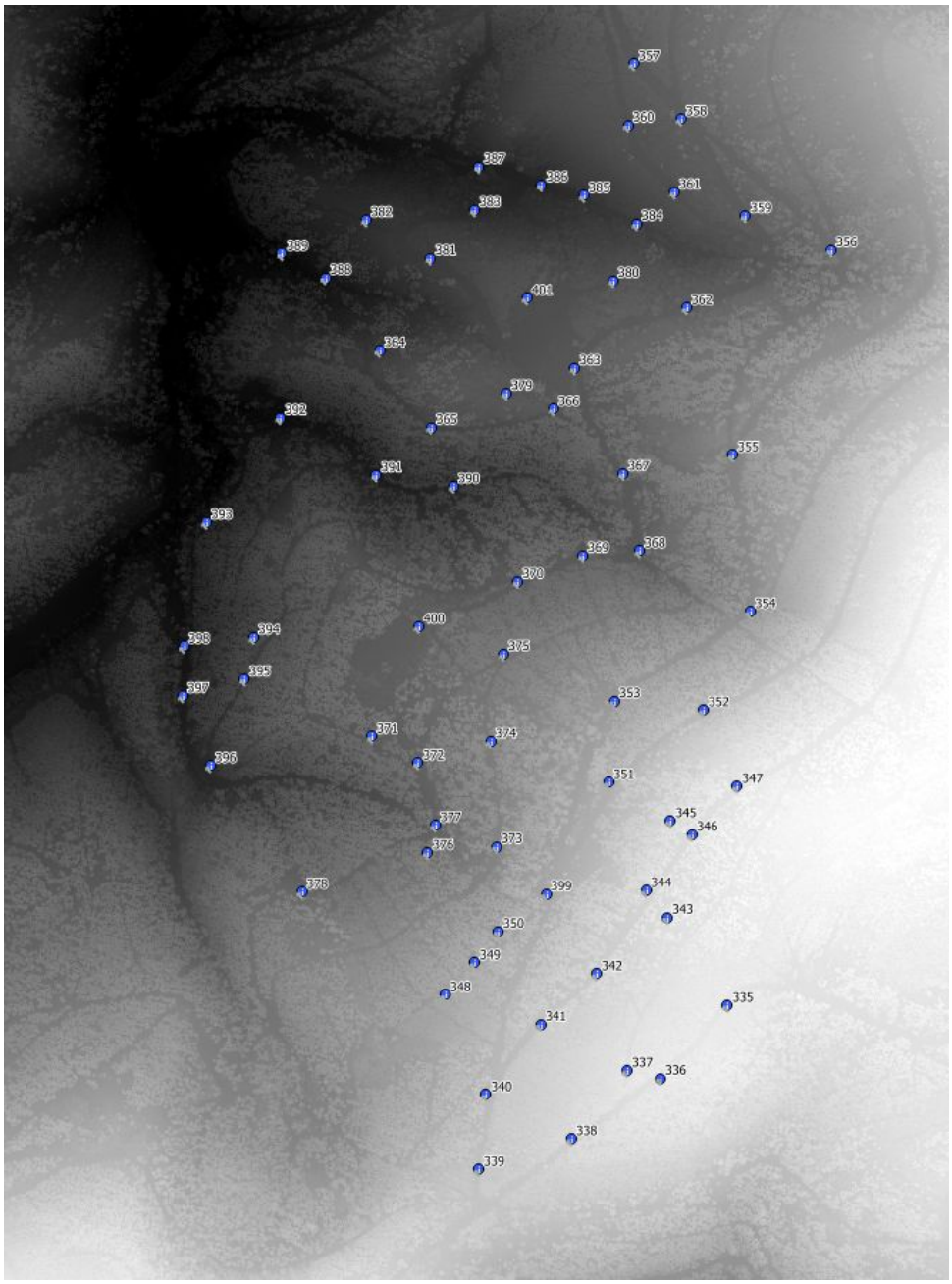


Abbildung 12: Oberflächenmodell aus Laserdaten 2015 (DSM 20 cm)

Punktwolken der Fallenstandorte

Mit den 30 m Kreisen der Fallenstandorte wurden die Laserdaten ausgeschnitten und daraus eine

1. normalisierte Punktwolke mit den Baumhöhen und eine
2. Punktwolke mit den Geländehöhen erzeugt.

Diese Punktwolken können über die Webseite direkt im Browser mit dem Potree Viewer visualisiert und manipuliert werden, oder mit einem eigenen Programm lokal geladen werden (z.B. mit Treesvis, Lastools, Fusion oder FugroViewer).

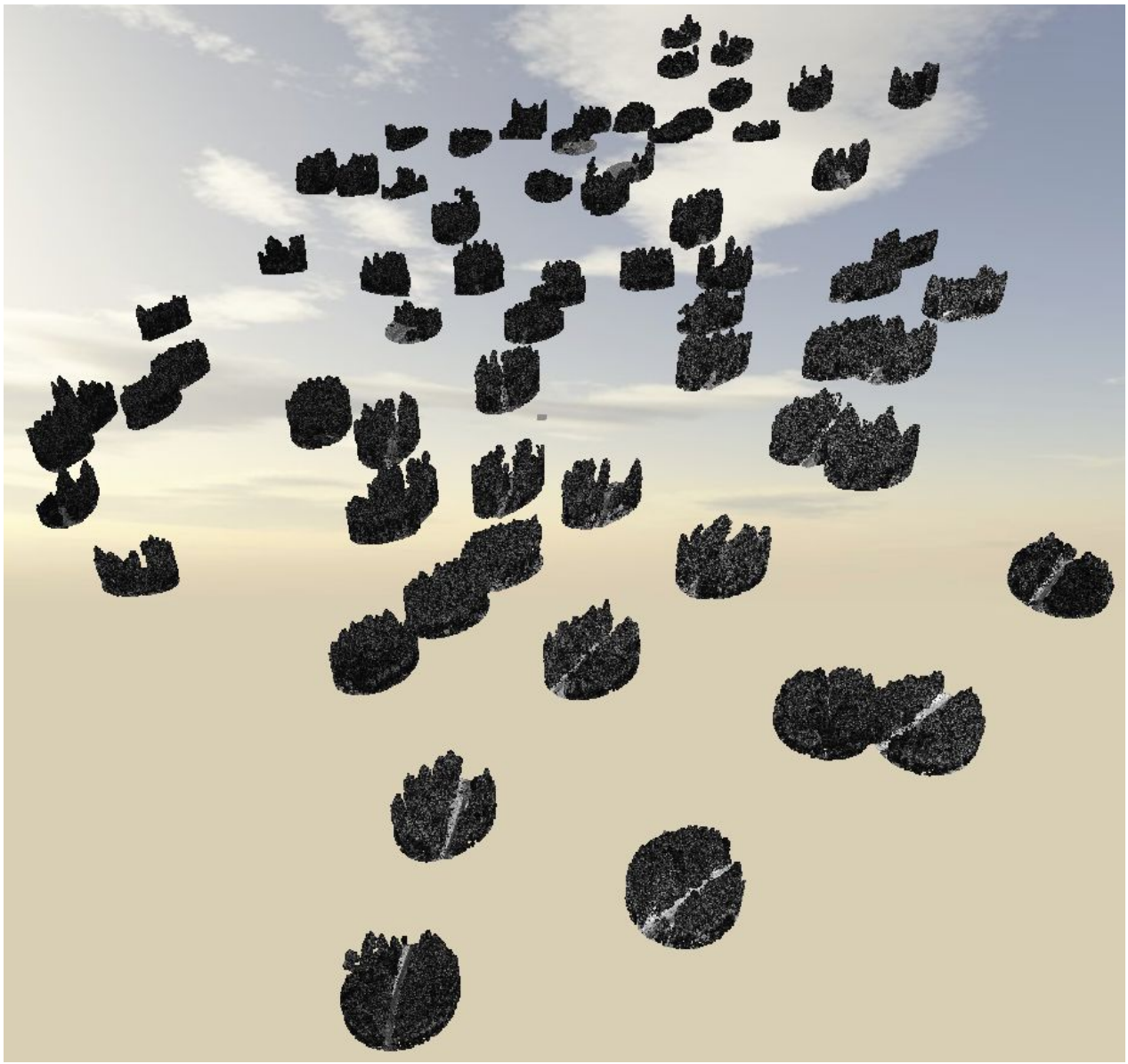


Abbildung 13: Darstellung der 67 Punktwolken im 30 m Umkreis der Fallenstandorte im Potree Viewer (Abb. Eingenordet, am unteren Bildrand ist die Punktwolke von Falle 339 zu sehen, ganz oben Falle 357).

Hangneigung, Exposition und Nord-/Südausrichtung

Aus dem Lasergeländemodell wurde die Hangneigung und die klassische Geländeexposition in Grad berechnet. Zusätzlich wurde der Grad der Süd- bzw. Nordausrichtung des Geländes berechnet, um folgendes Problem zu umgehen:

Bei der statistischen Auswertung der in Grad angegebenen Geländeexposition im Umkreis von 30 m um einen Fallenstandort, der zur Hälfte auf einem Osthang (Wert 90) und zur anderen Hälfte auf einem Westhang liegt (Wert 270), ergibt sich rein rechnerisch ein Mittelwert von 180 Grad (270 + 90 / 2 = 180), was dem Wert eines Südhanges entspricht. Gleiches gilt für Kreise, die zum Teil auf einem Nord- und z.T. auf einem Südhang liegen.

Um eine Grundlage für eine sinnvolle statistische Auswertung der Geländeexposition zu schaffen, wurde zusätzlich der „Grad der Süd-/Nordausrichtung“ berechnet, dessen Rasterwerte den Grad der N/S Ausrichtung zwischen 0 für eine reinen Südhang und 180 für einen reinen Nordhang angeben. Unter der Annahme, dass der Grad der Südausrichtung der Fallenstandorte von größerer Bedeutung ist als ihre Ost-/Westausrichtung, werden mit diesem Wert die oben beschriebenen Probleme dahingehend beseitigt, dass Ost und Westhänge einheitlich mit dem Wert 90 versehen werden und damit den Mittelwert ("sued_mean") nicht mehr beeinflussen. Lediglich dort, wo die Fallenumkreise an Geländkanten liegen und Nord- und gleichermaßen Südhänge umfassen, verliert der Mittelwert an Aussagekraft. Solche kritischen Punkte können aber durch den Wert ihrer Standardabweichung ("sued_stdev") beschrieben werden.

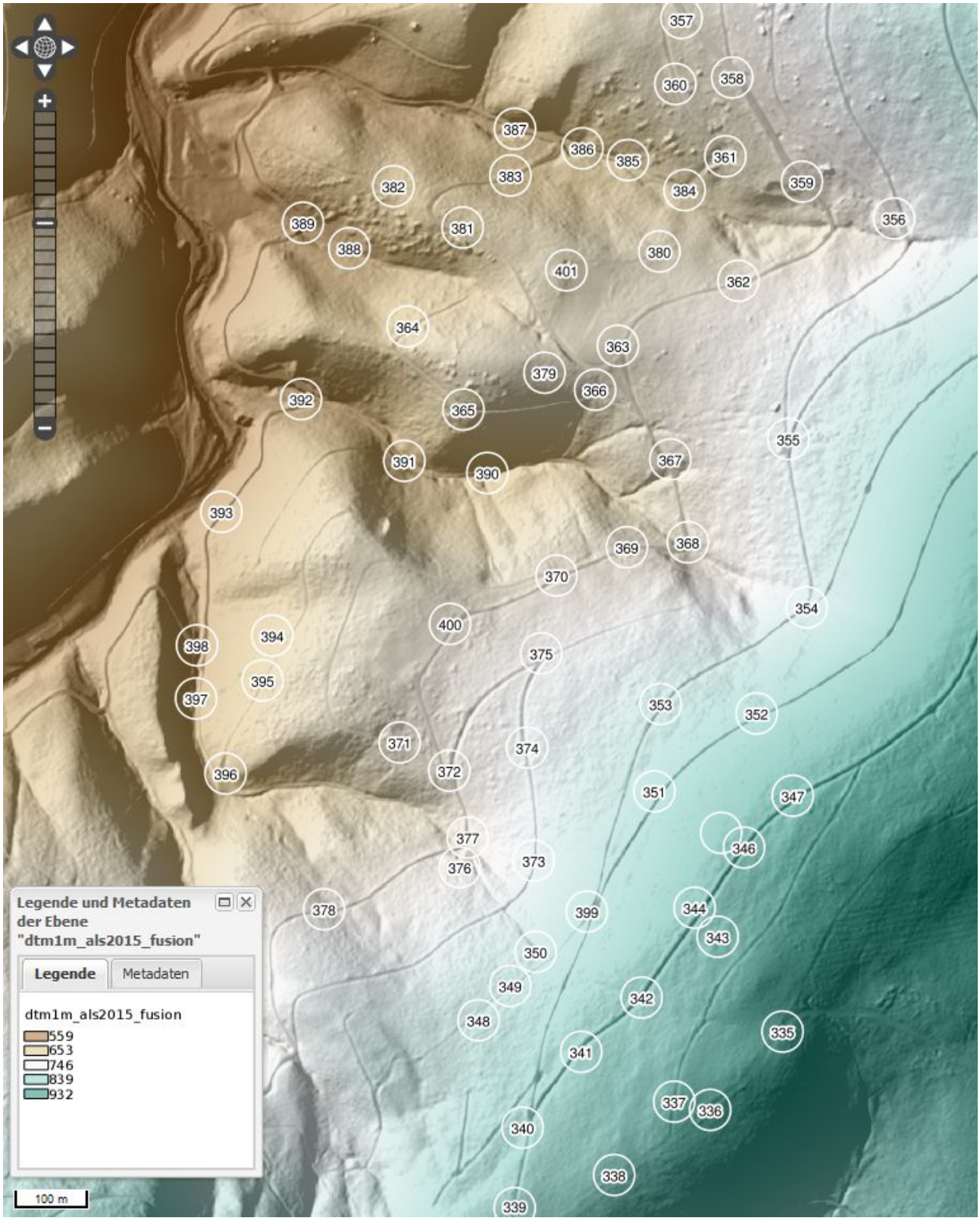


Abbildung 14: Auszug aus WebGIS mit Geländemodell aus Laserdaten 2015 für das Gesamtgebiet

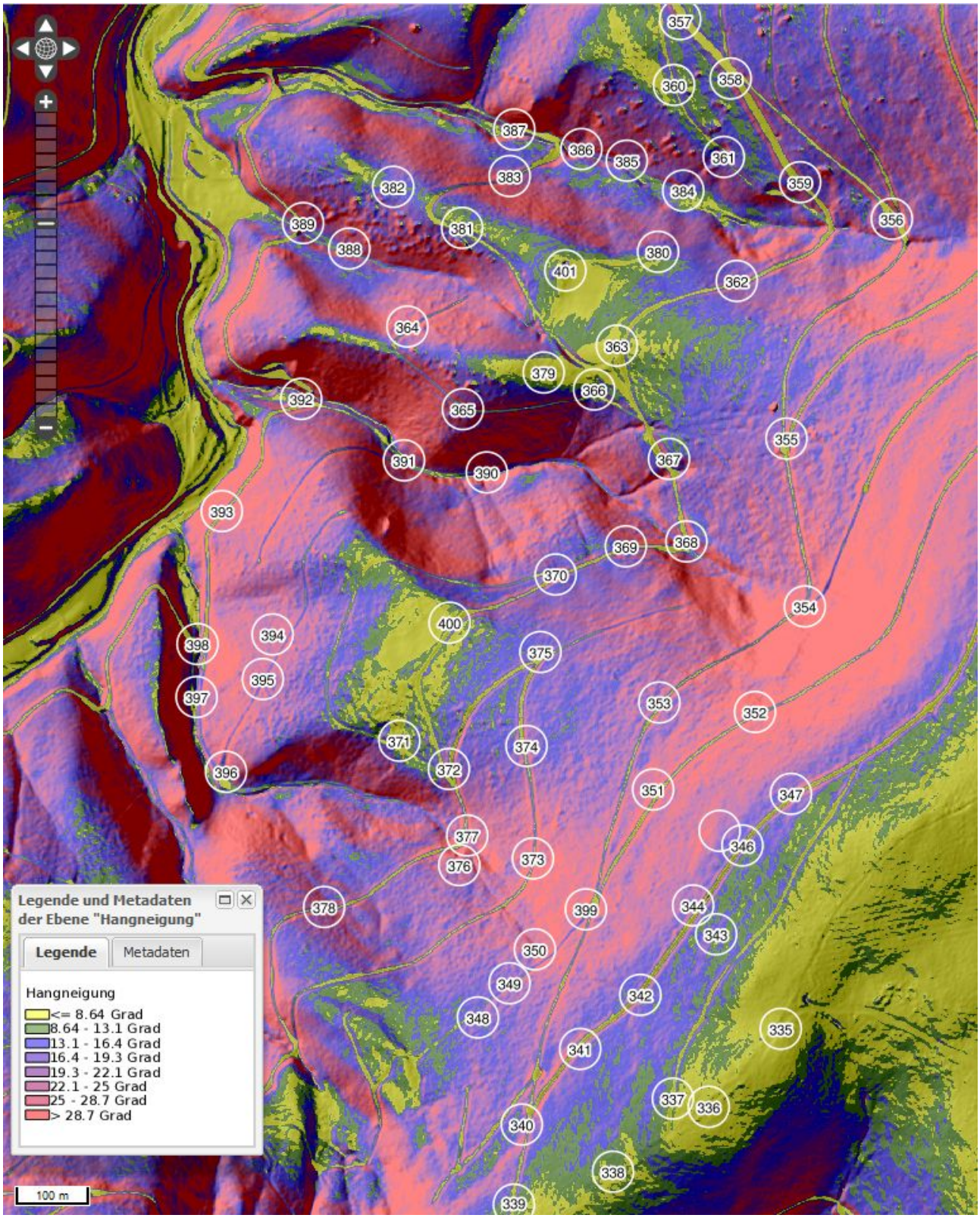


Abbildung 15: Auszug aus WebGIS mit Hangneigungsklassen für das Gesamtgebiet

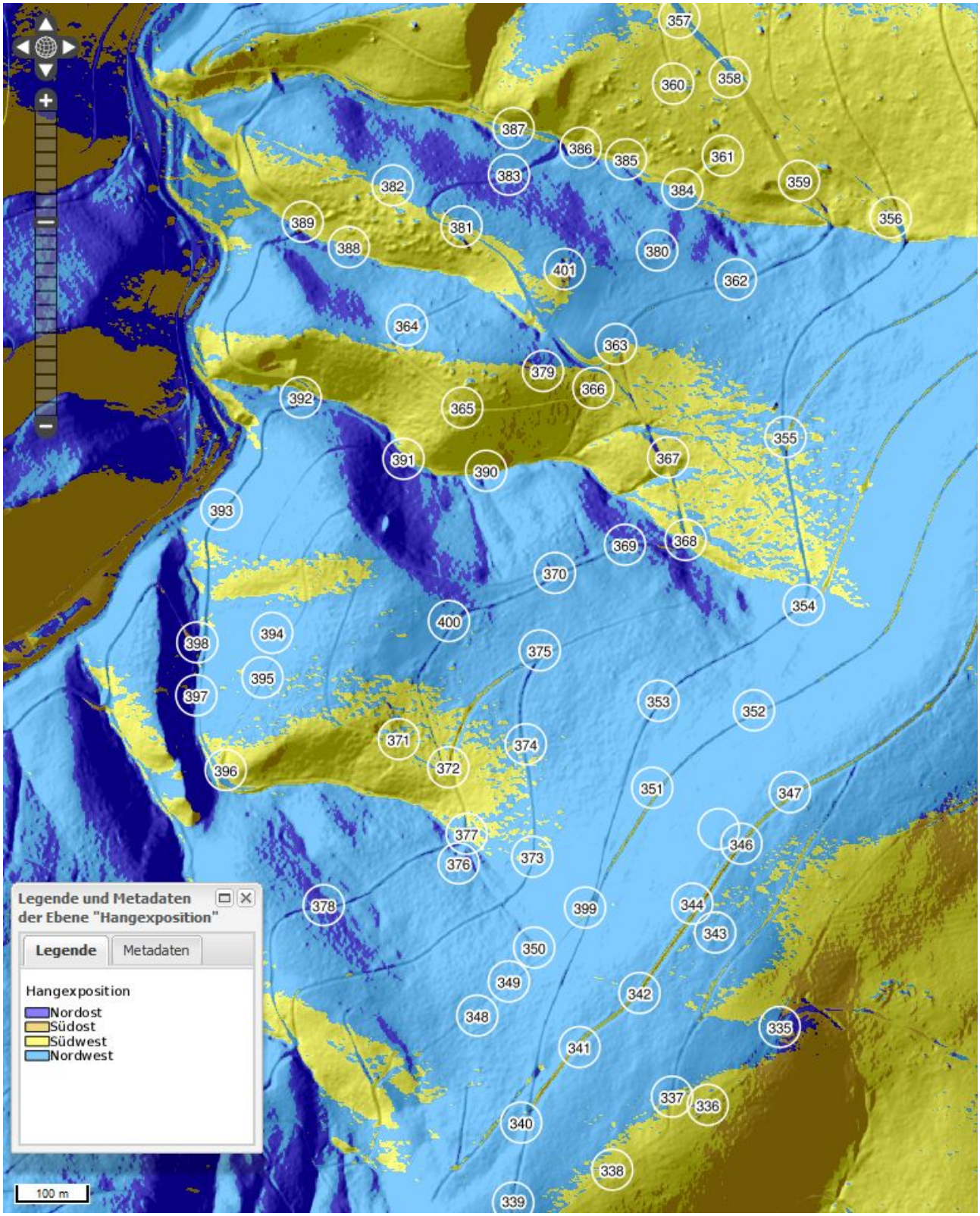


Abbildung 16: Auszug aus WebGIS mit Geländeexposition für das Gesamtgebiet

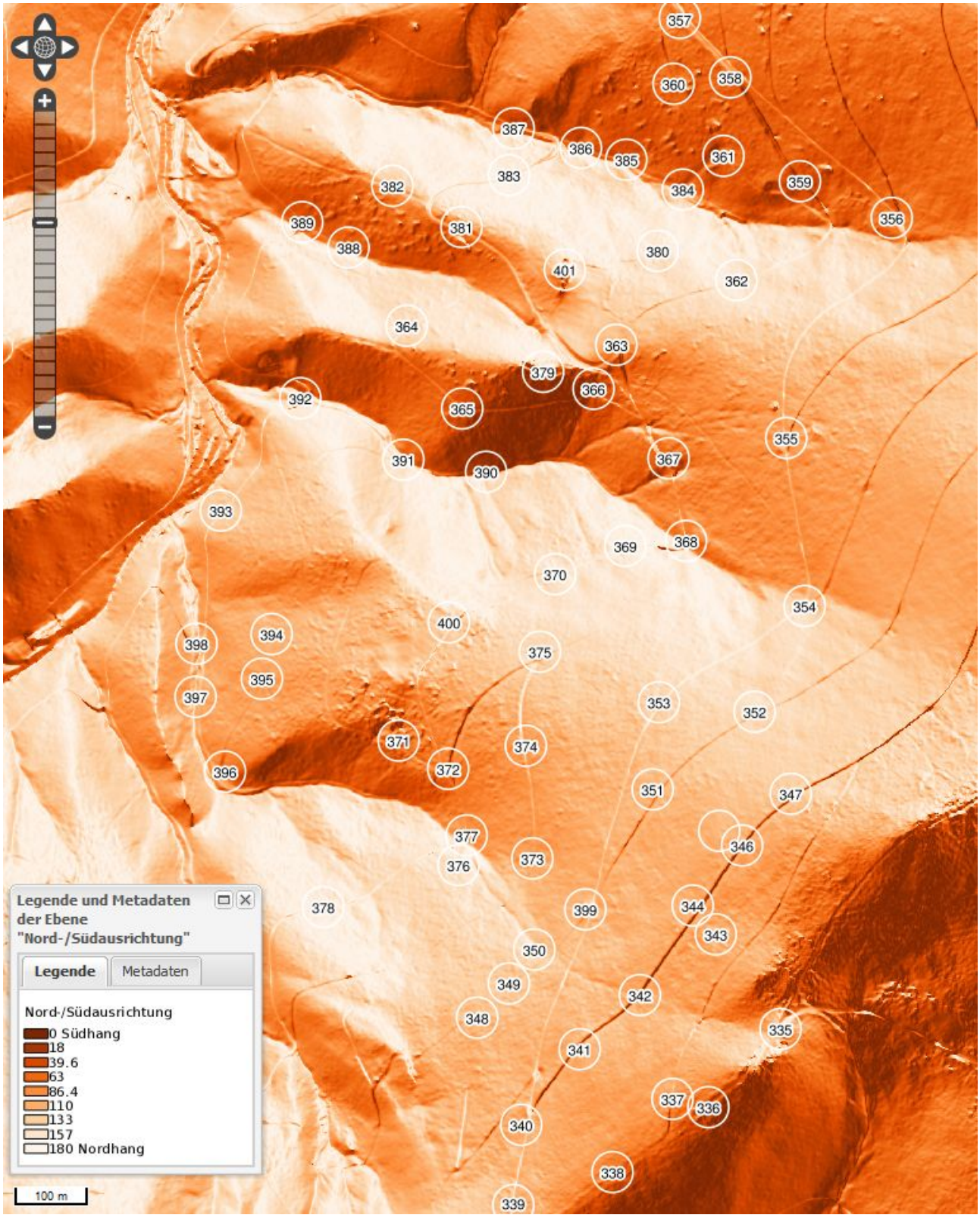


Abbildung 17: Auszug aus WebGIS mit dem Grad der Südausrichtung für das Gesamtgebiet

Feuchtigkeitsindex

Der Feuchtigkeitsindex wurde mit SAGA-GIS berechnet, er zeigt auf Grundlage des auf der Grundlage des LGL Lasergeländemodells aus der Befliegung 2004 die potentielle Verteilung mehr oder weniger feuchten Bereiche unabhängig von der Exposition der Standorte.

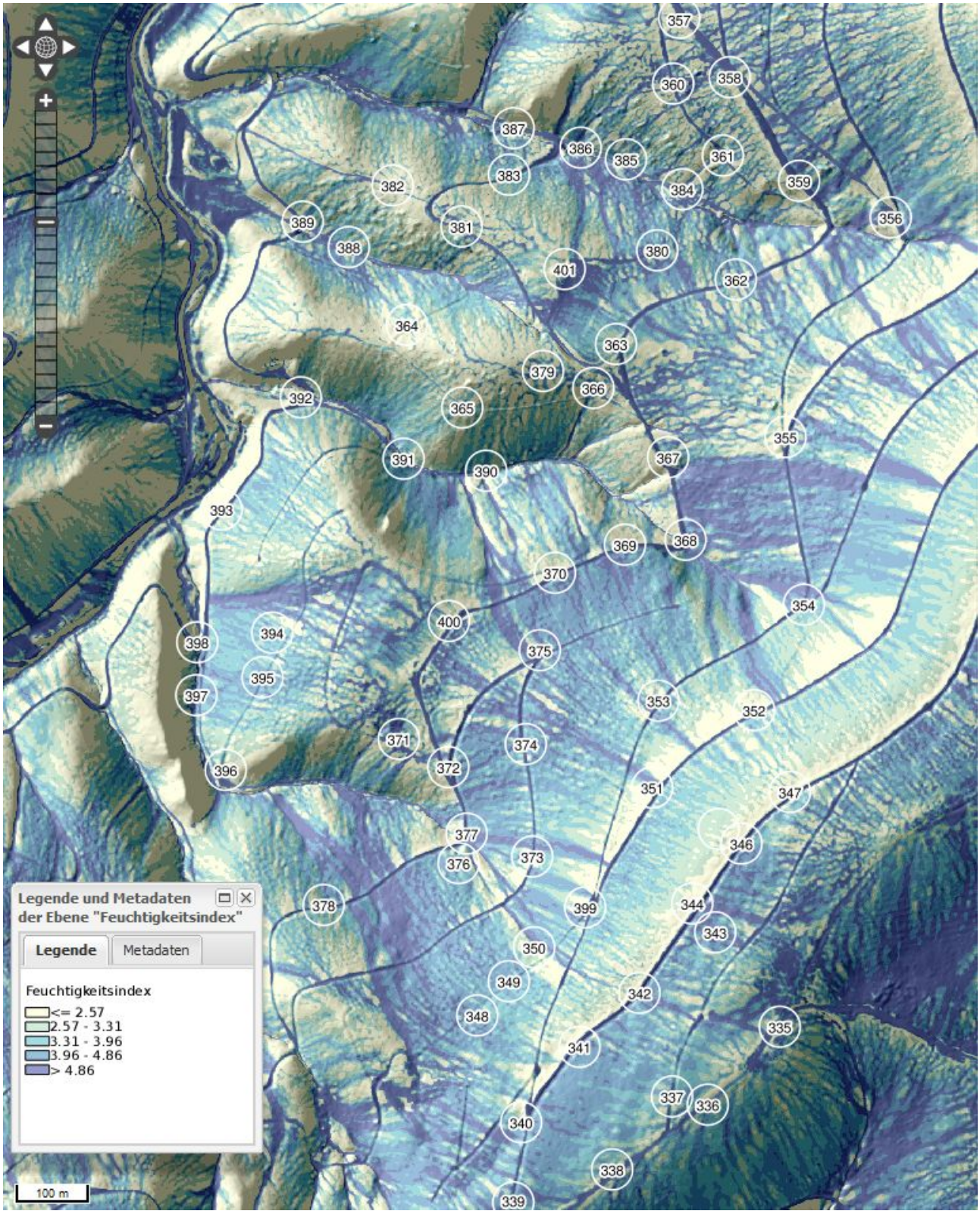


Abbildung 18: Auszug aus WebGIS mit Feuchtigkeitsindex für das Gesamtgebiet

Zitat aus der Kurzbeschreibung des Algorithmus in SAGA 4.01: The 'SAGA Wetness Index' is, as

the name says, similar to the 'Topographic Wetness Index' (TWI), but it is based on a modified catchment area calculation ('Modified Catchment Area'), which does not think of the flow as very thin film. As result it predicts for cells situated in valley floors with a small vertical distance to a channel a more realistic, higher potential soil moisture compared to the standard TWI calculation.

Für eine kritische Diskussion dieses Modells siehe: Boehner, J., Koethe, R. Conrad, O., Gross, J., Ringeler, A., Selige, T. (2002): Soil Regionalisation by Means of Terrain Analysis and Process Parameterisation. In: Micheli, E., Nachtergaele, F., Montanarella, L. [Ed.]: Soil Classification 2001. European Soil Bureau, Research Report No. 7, EUR 20398 EN, Luxembourg. pp.213-222. http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/eusoils_docs/esb_rr/EUR22646EN.pdf.

Für eine Verifizierung dieses Modells ist die Überlagerung mit der Forstlichen Standortskartierung im WebGIS ratsam.

Kronenhöhenmodell und Einzelbaumdetektion

Die gesamte Punktwolke („zwickgabel_als2015.las“) wurde mit dem aus diesem Datensatz berechneten Geländemodell normalisiert und das Kronenhöhenmodell damit erzeugt. Anhand dieses Modells wurden die einzelnen Baumspitzen mit FUSION automatisch detektiert. Der dafür genutzte Algorithmus ist vorrangig für Nadelbäume programmiert und neigt dazu im Bereich der vereinzelt vorkommenden Laubbaumkronen mehrere Baumspitzen auszugeben. In Anbetracht des thematischen Bezugs zu der Untersuchung von für den potentiellen Käferbefall von fängischen Fichtenbaumhölzern erschien diese Einschränkung akzeptable, v.a. weil mit diesem Algorithmus das gesamte Gebiet von rund 400 ha ökonomisch und mit ausreichend hoher Genauigkeit bearbeitet werden konnte.

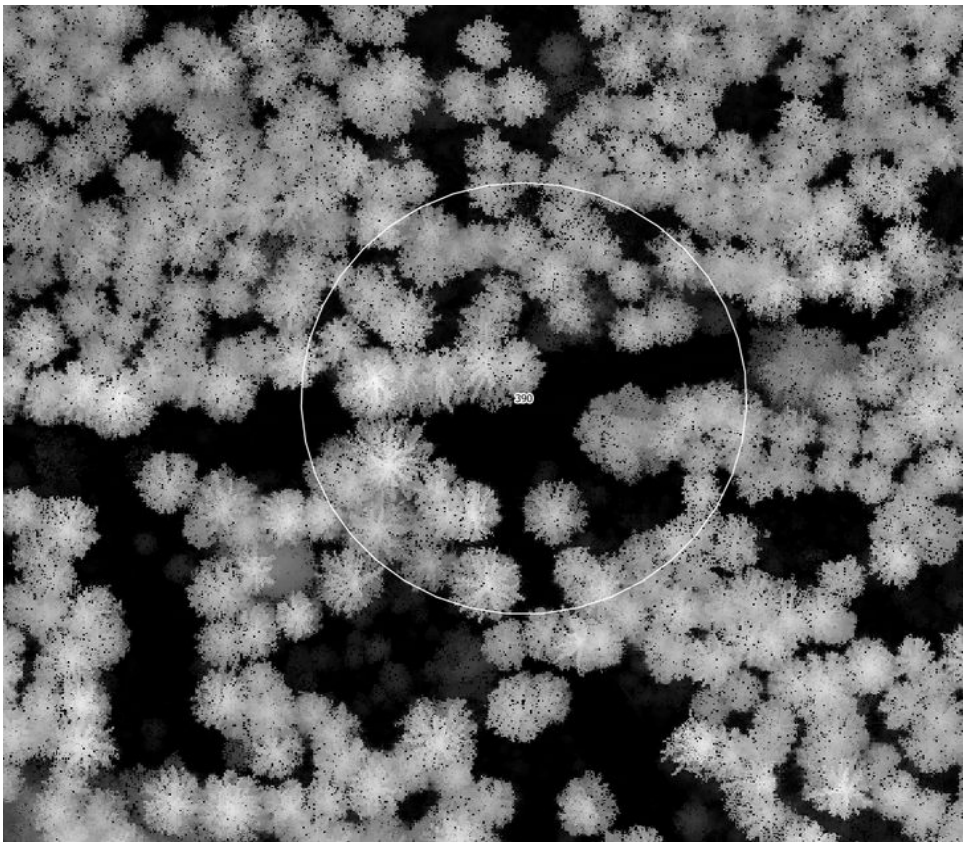


Abbildung 19: Detailansicht Kronenmodell aus Laserdaten (nDSM 20 cm), mit 30 m Fallenkreis Nr. 390 im Vordergrund.

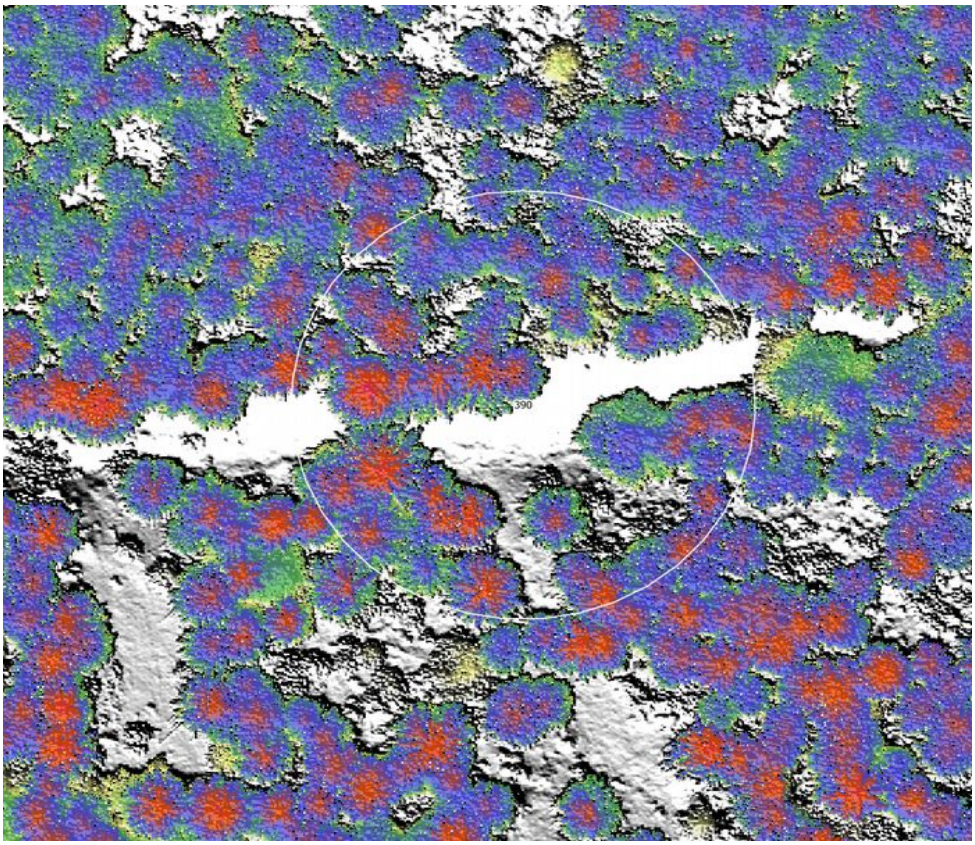


Abbildung 20: Kronenmodell aus Laserdaten im Detail (nDSM 20 cm), eingefärbt ab 5 m Höhe vor dem Hintergrund des geschummerten Laseroberflächenmodells (DSM 20 cm). Mit 30 m Fallenkreis Nr. 390 im Vordergrund.

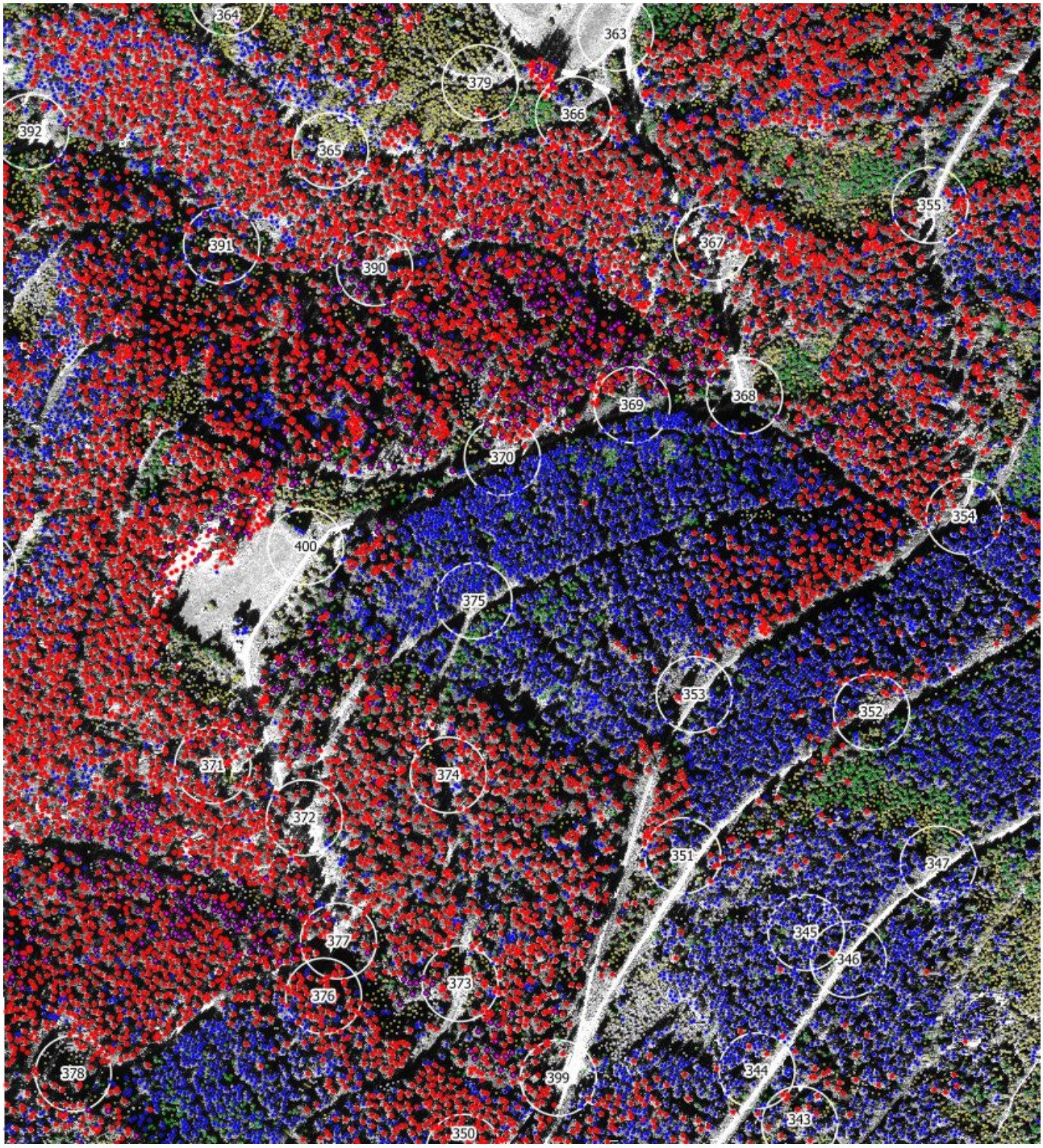


Abbildung 21: Detailansicht der am Laserkronenmodell erkannten Baumspitzen, nach Höhe klassifiziert und eingefärbt vor dem Hintergrund des s/w Trueorthophotos

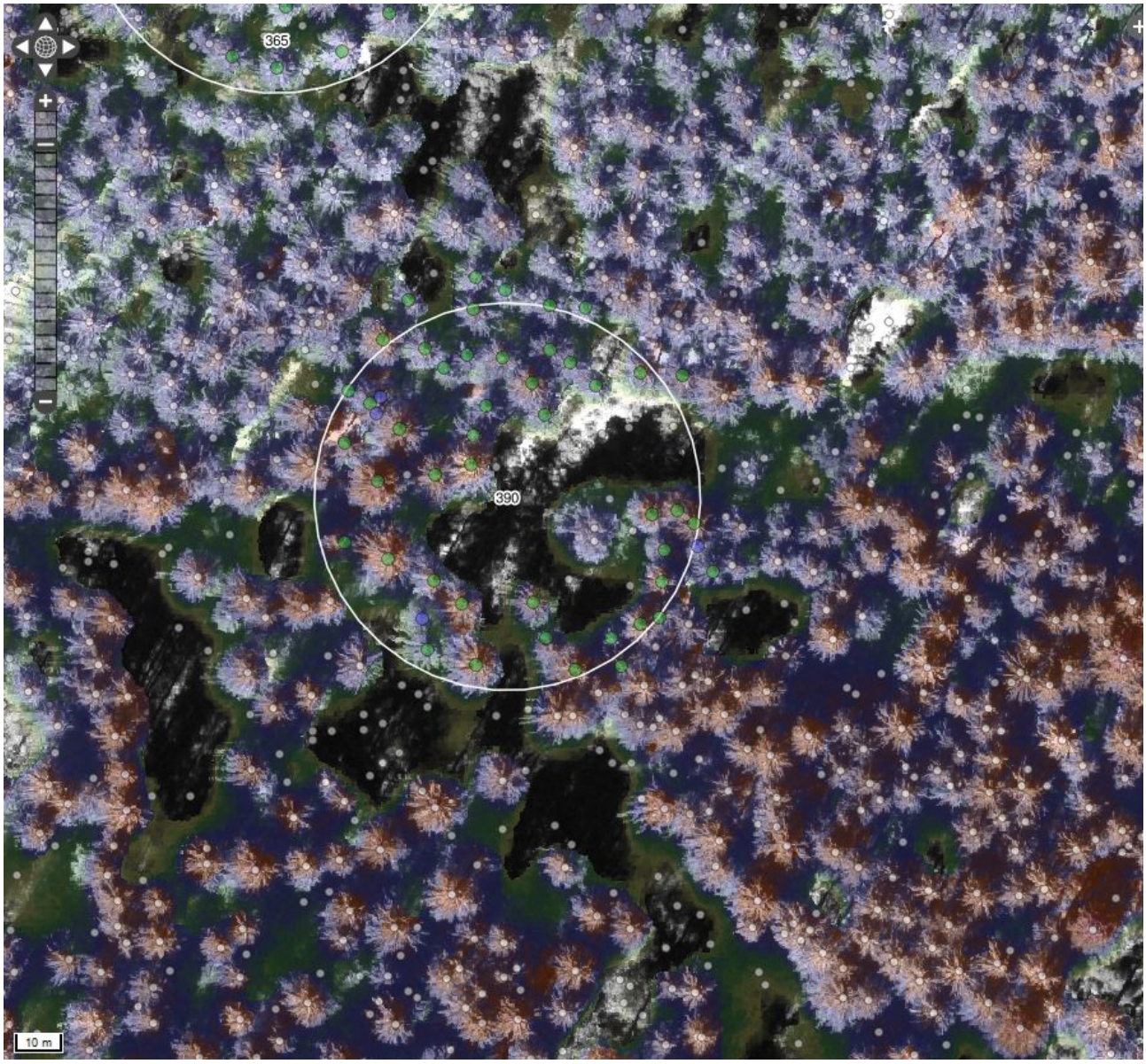


Abbildung 22: Detailansicht aus WebGIS mit klassifiziertem Kronenhöhenmodell (stereo nDSM 20 cm) und kartierten Baumspitzen (grüne Punkte aus manueller Kartierung am Stereobildschirm, graue Punkte automatisch am Lasermodell detektiert) vor dem Hintergrund des s/w Trueorthophotos

Laserintensität

Neben den x,y,z und der Nummer des Lasersignals wurde bei der Befliegung am 4. Mai 2015 auch die Intensität des Laserinfrarot aufgenommen, die für Flächen ohne größere Geländeunterschiede auch sehr gut für die Klassifikation der Oberfläche genutzt werden kann. Folgende Karte zeigt die mit einer 2 m Auflösung berechneten Werte für das Untersuchungsgebiet (dargestellt als 1 m Raster, wobei die Werte mit 1000, was ungefähr dem Maximum der Geländehöhe entspricht, normalisiert wurden).

Die Laserintensität wurde zwar für die einzelnen Fallenumkreise statistisch ausgewertet, eine genauere Analyse bzw. Klassifikation erschien jedoch aufgrund der großen Höhenunterschiede und der heterogenen Vegetationsoberfläche und dem damit verbundenen Problem der Datennormalisierung wenig Erfolg versprechend (bzw. nicht besser geeignet als die in den Luftbildern enthaltene Infrarotinformation) und wurde daher nicht weiter verfolgt.

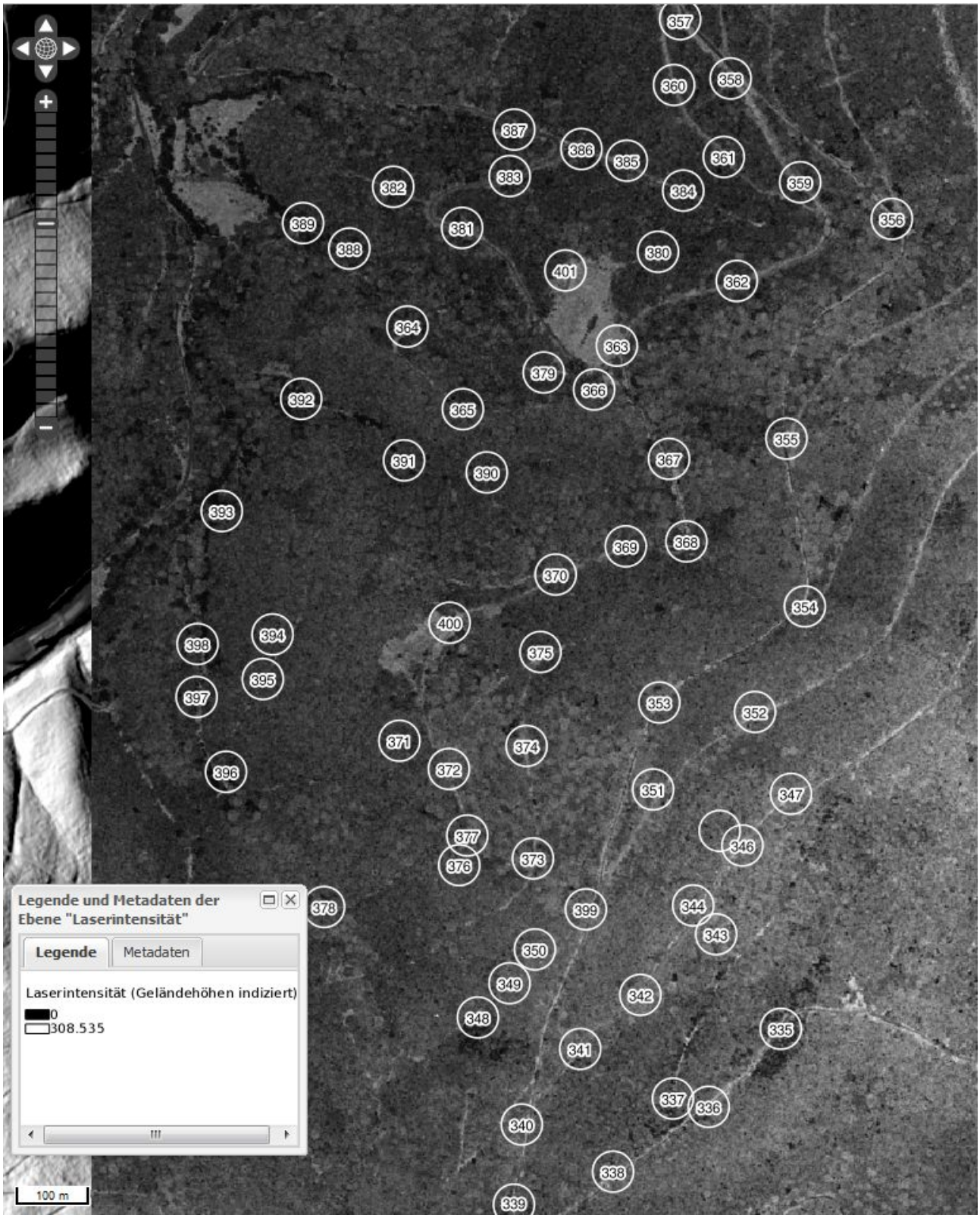


Abbildung 23: Laserintensität im Untersuchungsgebiet mit Fallenstandorten (berechnet mit 2 m Auflösung, dargestellt als 1 m Raster)

Herstellung des Kronenhöhenmodells aus Stereodaten

Das Stereo-Matching der Luftbilder aus der Befliegung vom 24. Aug. 2016 wurde mit der Software RSG des Joanneum Research GmbH in Graz durchgeführt. Aufgrund bekannter Probleme des Matching von Luftbildern unterschiedlicher Flugstreifen wurden nur Bilder, die sich entlang eines Flugstreifens überlappen, für den Matching Prozess (Semi-Global Matching Algorithmus SGM) verwendet (along track). Mithilfe der RSG Photo Suite wurden einzelne mit 20 cm aufgelöste digitale Oberflächenmodelle (DSM) erzeugt.

Diese Oberflächenmodelle wurden mit den Voronoi Polygonen der Luftbildzentren zugeschnitten, um jeweils die Nadir nächsten Bereiche für die weitere Bearbeitung zu behalten. Alle so erzeugten Voronoi DSM Flächen wurden zu einem Mosaik zusammengefügt und durch Subtraktion der Geländehöhe aus dem Lasergeländemodell der Befliegung 2015 zu einzelnen Kronenhöhenmodelle (nDSM) weiterverarbeitet. Die so entstandenen Nadir nahen Modelle wurden zu einem einzigen Kronenhöhenmodell zusammengefügt, das alle 30 m Kreise um die Fallenstandorte überdeckt.

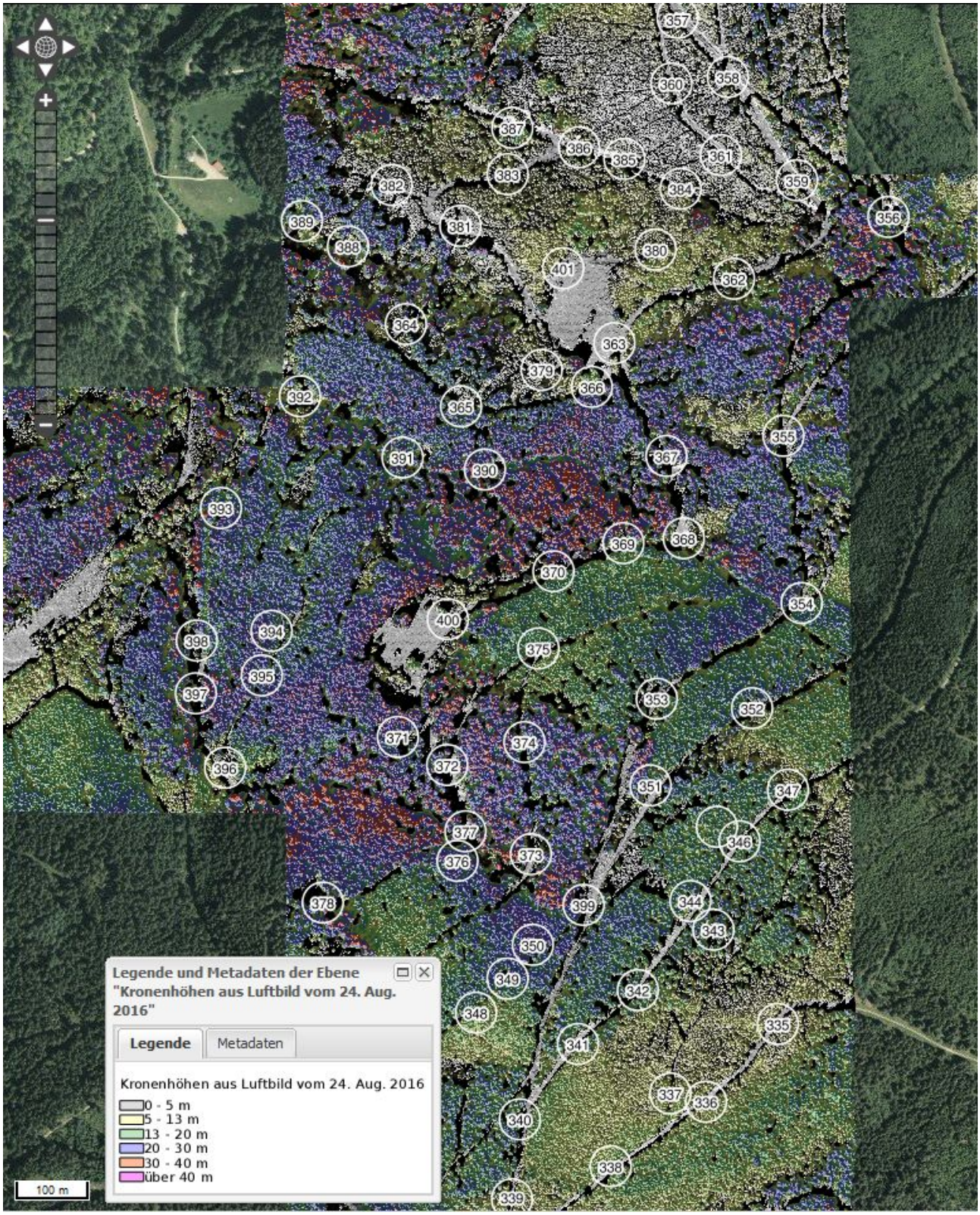


Abbildung 24: Auszug aus WebGIS: Stereoskopisch erzeugtes Kronenhöhenmodell, klassifiziert und eingefärbt nach 6 Höhenklassen für den Bereich der Fallenstandorte (weiße Kreise mit Fallennummer) und vor dem Hintergrund der amtlichen Luftbilder des LGL

Herstellung der Ortho- und Trueorthophotos

Ziel der Verarbeitung der Luftbilder war vorrangig die Auswertung der in den 4 Kanälen der Bilder enthaltene spektrale Information, um diese mit den präzisieren Höheninformationen der Lasermodelle zu kombinieren. Aufgrund der unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkte der Laserdaten (4. Mai 2015) und der Luftbilder (24. Aug. 2016) waren Überlagerungsfehler dort zu erwarten, wo in der Zwischenzeit Bäume entfernt wurden, dies war v.a. im Westteil des Untersuchungsgebietes der Fall, z.B. bei den Fallenstandorten Nr. 393, 394, 371 oder 372. Nach Rücksprache mit Jonas Hinze von der FVA wurden diese Fehler billigend in Kauf genommen.

Eine technisch genaue Überlagerung der Luftbildinformation mit den Laserhöhenmodellen gelingt nur mit einem sogenannten True Orthophoto, also ein mit den Geländehöhendaten des Laser- oder Stereomodells entzerrten Luftbildes. Grundsätzlich sind für diesen Prozess beide hochauflösenden Höhenmodelle geeignet, aufgrund der besseren Repräsentanz der Baumkronen im Lasermodell, haben wir die Luftbilder aus 2016 mit dem Lasermodell aus 2015 entzerrt und anschließend mit den Voronoi Polygonen der Luftbild Projektionszentren zugeschnitten, und diese Teile abschließend zu einem 10 cm Trueorthophotomosaik zusammengefügt.

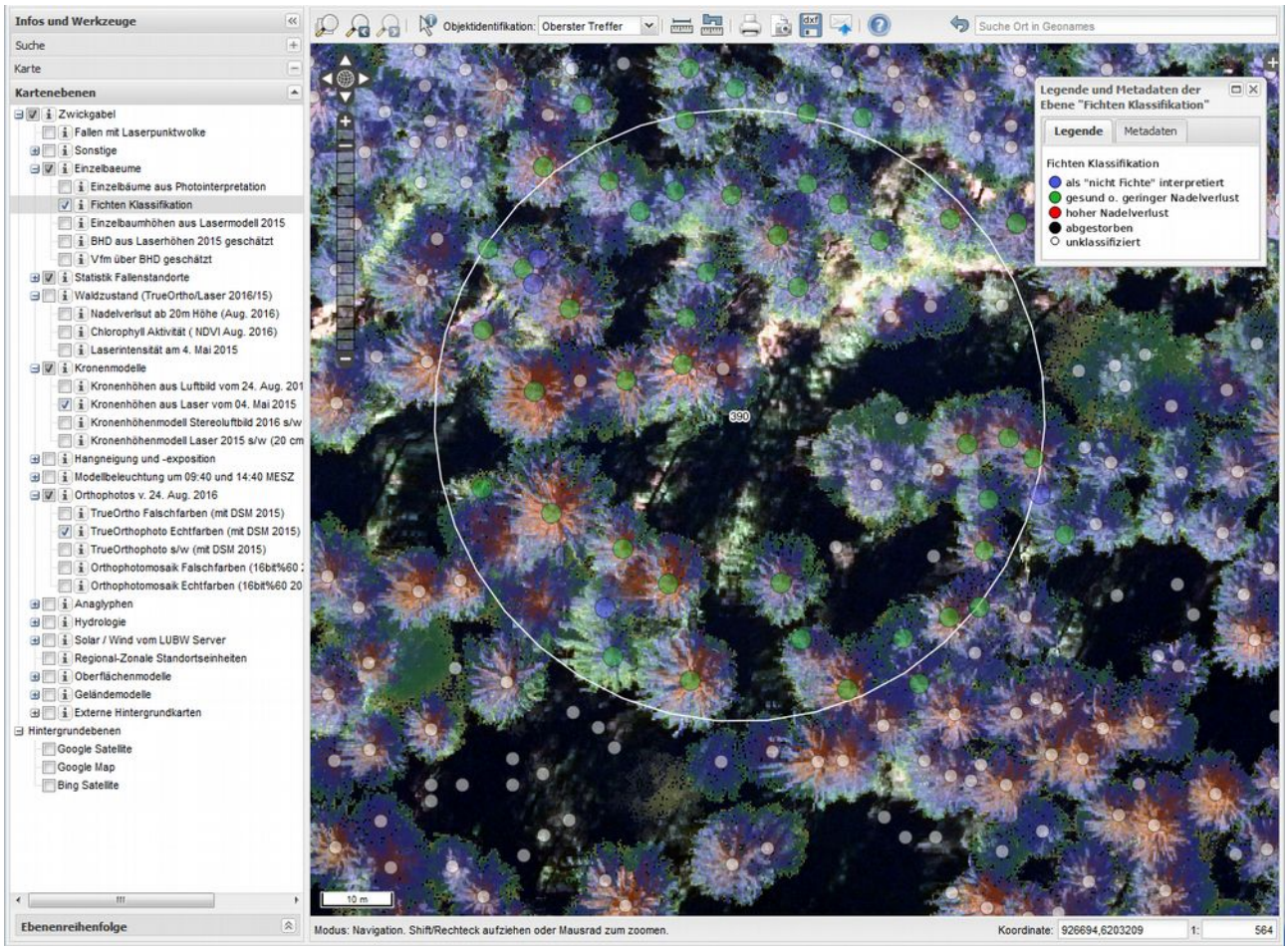


Abbildung 25: 10 cm TrueOrthophoto überlagert mit eingefärbtem Kronenhöhenmodell (Laser nDSM 20 cm) und klassifizierten Fichten mit 30 m Umkreis der Falle 390

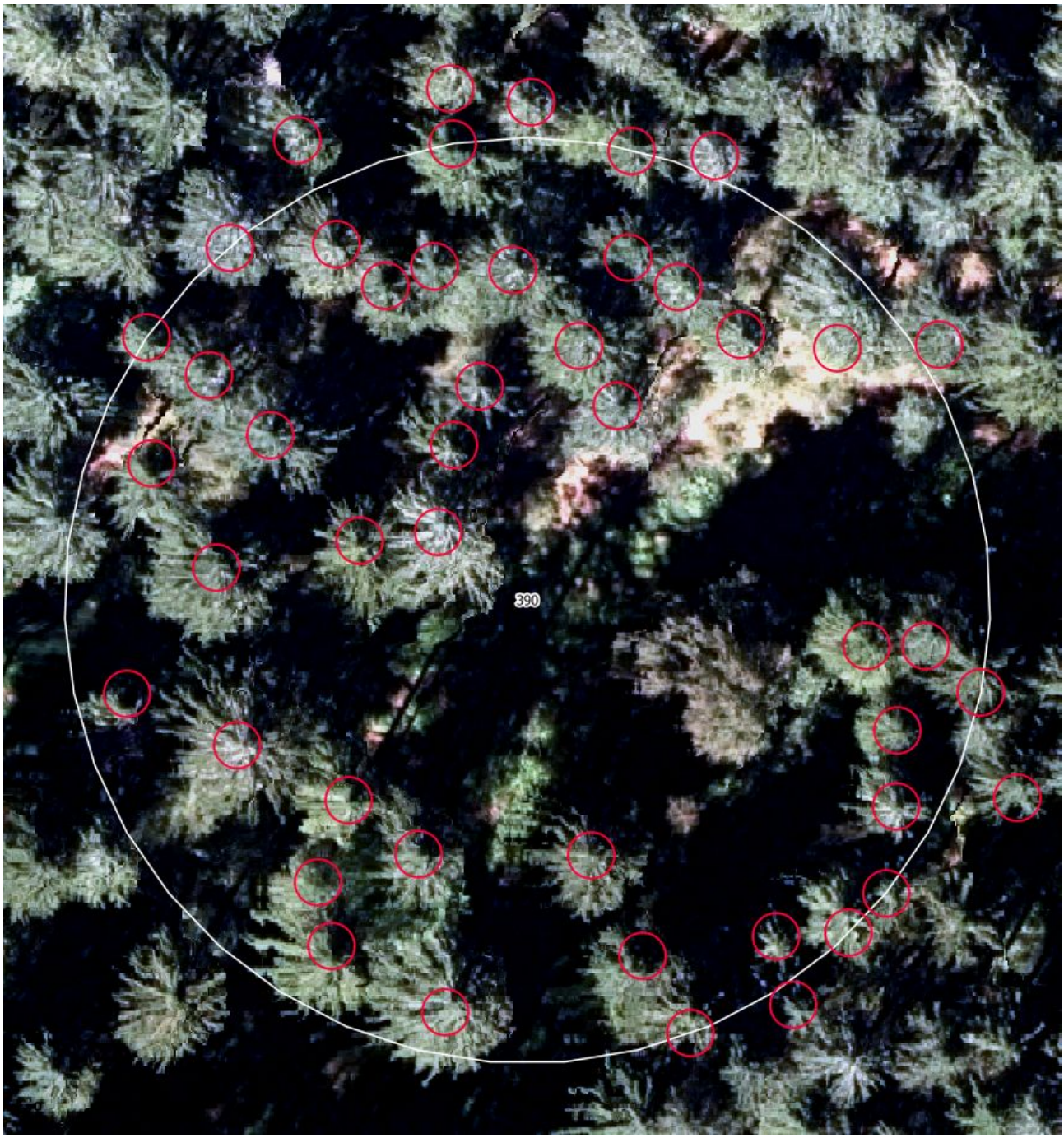


Abbildung 26: Echtfarben Trueorthophoto, das auf Grundlage der Objekthöhen und nicht der Geländehöhen erzeugt wurde (8 bit, 20 cm Auflösung, für das Gesamtgebiet gerechnet) mit den am Stereobildschirm manuell erfassten Fichtenbaumspitzen (rote Kreise). Gut zu erkennen sind die Übereinstimmung der Baumkronen im Bild mit den am Stereobildschirm gesetzten Punkten und die graphische „Verschmierung" der neu berechneten Baumkronen, die umso deutlicher wird, je weiter die Bildpunkte vom Projektionszentrum entfernt liegen.

Abbildung 27: Echtfarben Orthophoto (16 bit, 20 cm Auflösung, für Nordteil gerechnet) mit am Stereobildschirm manuell erfassten Fichtenbaumspitzen (rote Kreise). Gut zu erkennen sind die Lagefehler, die durch die auf den Waldboden bezogene Orthorektifizierung der Bilder entstehen.

Anaglyphenbild

Zusätzlich zu den Orthophotos wurde für den Nordteil auch ein Anaglyphenbild gerechnet, das als Anschauungsobjekt für eine alternative Darstellung angeboten wird. Es ist geo-referenziert und kann sowohl im GIS oder im 3D Viewer mit einer Rot-Grün (oder Rot-Cyan) Brille betrachtet werden. Durch die Aufnahme der Stereobilder in Nord/Süd Richtung muss das Anaglyphenbild im GIS um 90 Grad gedreht werden, damit ein 3D Eindruck entsteht.

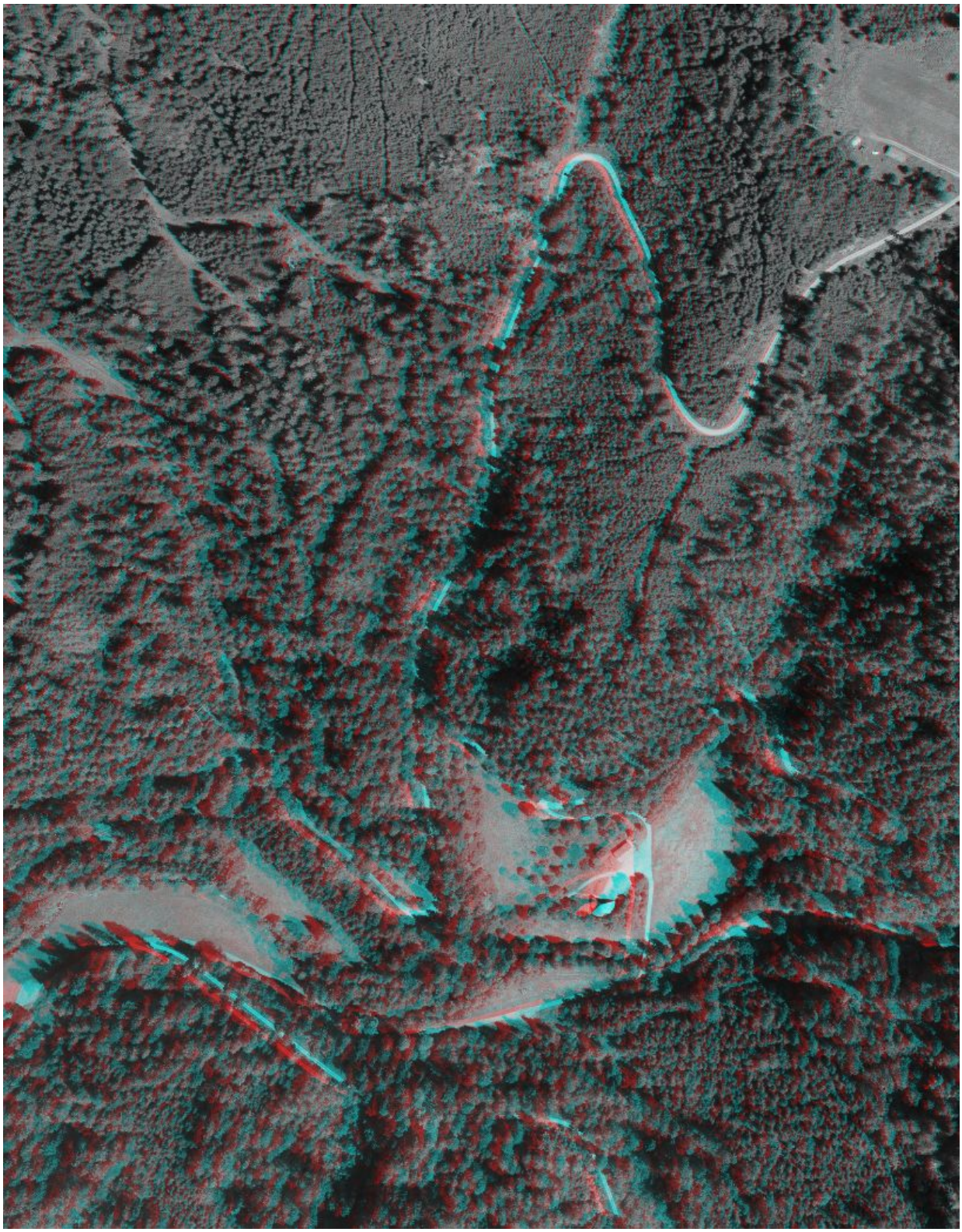


Abbildung 28: Anaglyphenbild vom Nordteil des Untersuchungsgebietes (Bild um 90 Grad gedreht)

Vegetationsindex (NDVI)

Aus dem TrueOrthophoto wurde der NDVI Wert nach der Formel ((IR+R / IR-R)+1) * 100 berechnet. Zudem wurde der NDVI nur für Baumhöhen über 20m gerechnet, indem tiefer gelegene Bereich maskiert wurden.

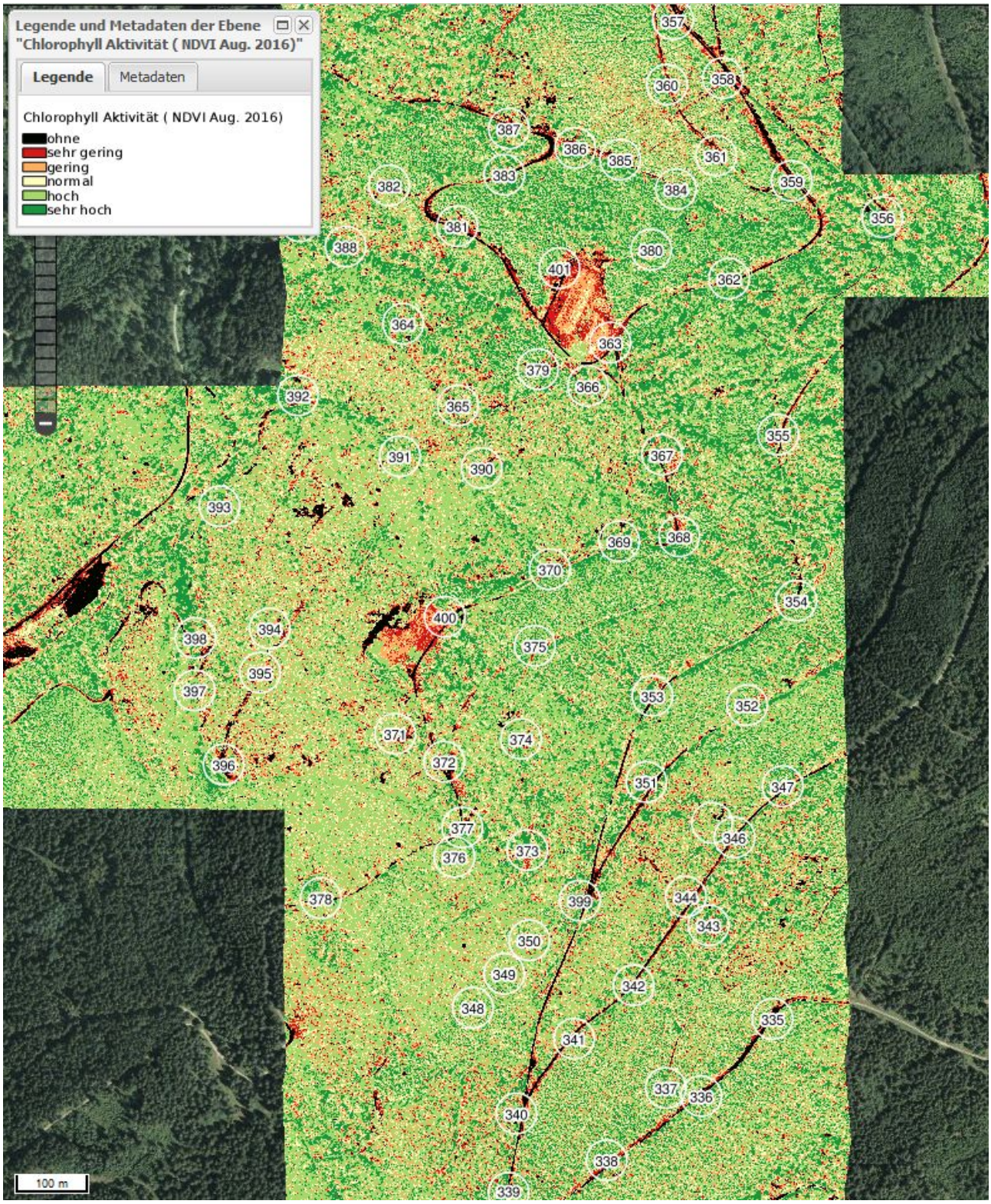


Abbildung 29: Auszug aus WebGIS: Karte mit NDVI Klassen auf Grundlage des Trueorthophotos vom 24. Aug. 2016

Nadelverlust

Für die Kronenschicht ab 20 m Höhe wurde der NDVI in 6 Klassen klassifiziert, die die unterschiedliche Vitalität des Kronenschirms widerspiegeln und als Maß für den Nadelverlust interpretiert wurden. Folgende Abbildung zeigt die 6 gebildeten Klassen.

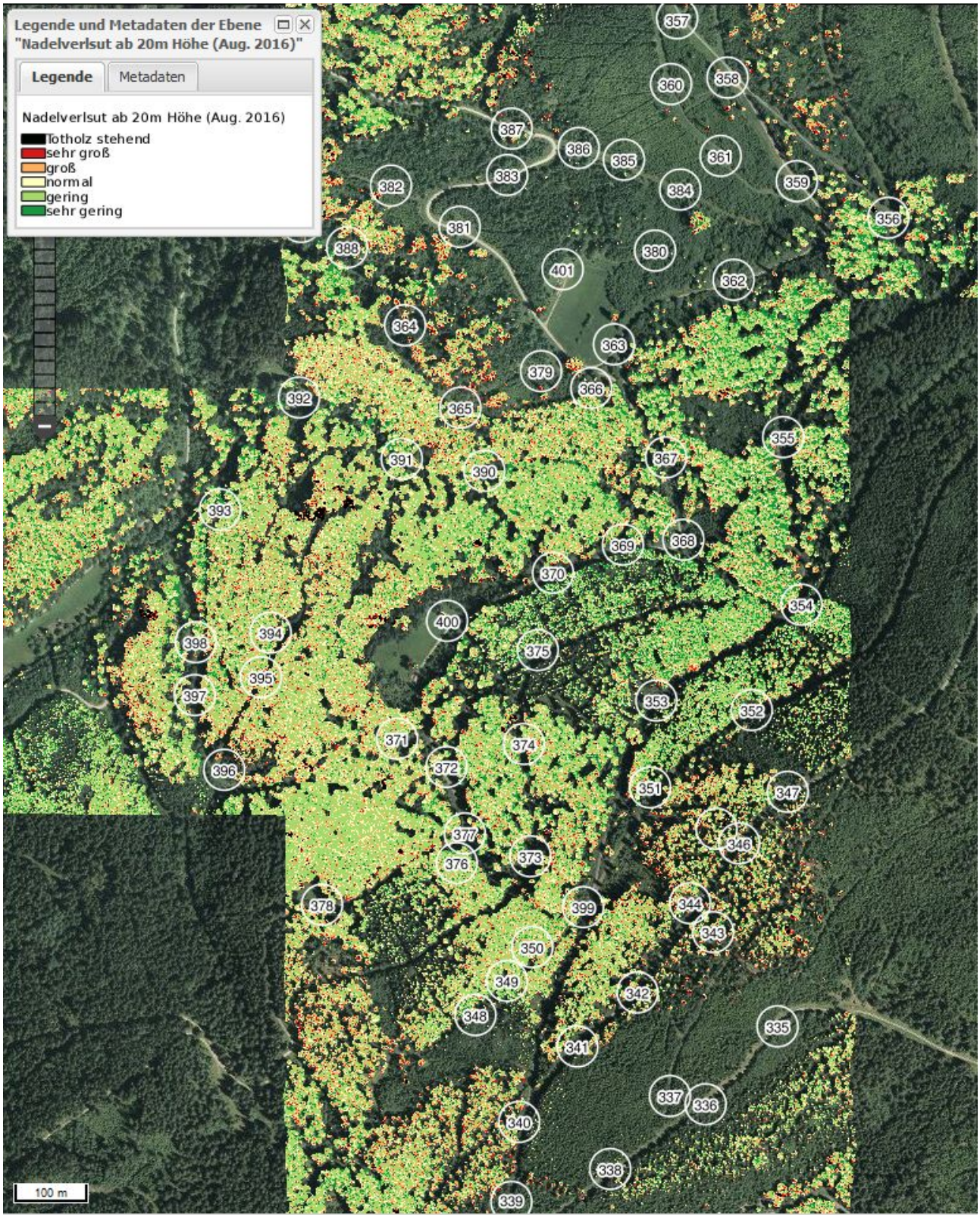


Abbildung 30: Auszug aus WebGIS: Karte mit Nadelverlust ab 20 m Höhe auf Grundlage des Trueorthophotos vom 24. Aug. 2016

Klassifizierung von Fichten im 30m Umkreis um die Fallen.

Die mit einem local maximum Algorithmus in FUSION berechneten Baumspitzen wurden im Bereich des 30 m Puffers in 2 Klassen (Fichten und übrige Bäume) unterteilt. Grundlage hierfür war die Interpretation der Baumarten am Stereobildschrim, die im Vorfeld der Bildverarbeitung manuell von der FVA durchgeführt wurde.

Hierzu musste die Lage der manuell am Steroplotter erfassten Kronenspitzen an die höchsten Punkte des Laser Kronenmodells angepasst werden.

Folgende Schritte waren hierfür notwendig:

- Puffern der aus der Luftbildinterpretation stammenden Fichten mit einem Wert von 4 m.

- Automatische Auswahl aller durch den FUSION Algorithmus erkannten Baumspitzen sobald diese durch die 4 m Pufferkreise der klassifizierten Fichten berührt werden.

- Ausgewählte Baumspitzen werden zunächst automatisch als Fichte klassifziert und anschließend durch visuelle Kontrollen am Bildschirm vor dem Hintergrund des TrueOrthophotos auf die richtige Baumwipfelposition verschoben, bzw. fehlende Punkte ergänzt und redundante Punkte gelöscht.

- Bei dieser visuellen Kontrolle wurden für die Fichten 3 Klassen vergeben, die in der Attributtabelle unter der Spalte "Fichte" eingetragen sind:

1: gesunde/normale Fichten, die vom Luftbildinterpreten im Stereobild im Vorfeld der Bildverarbeitung klassifiziert wurden

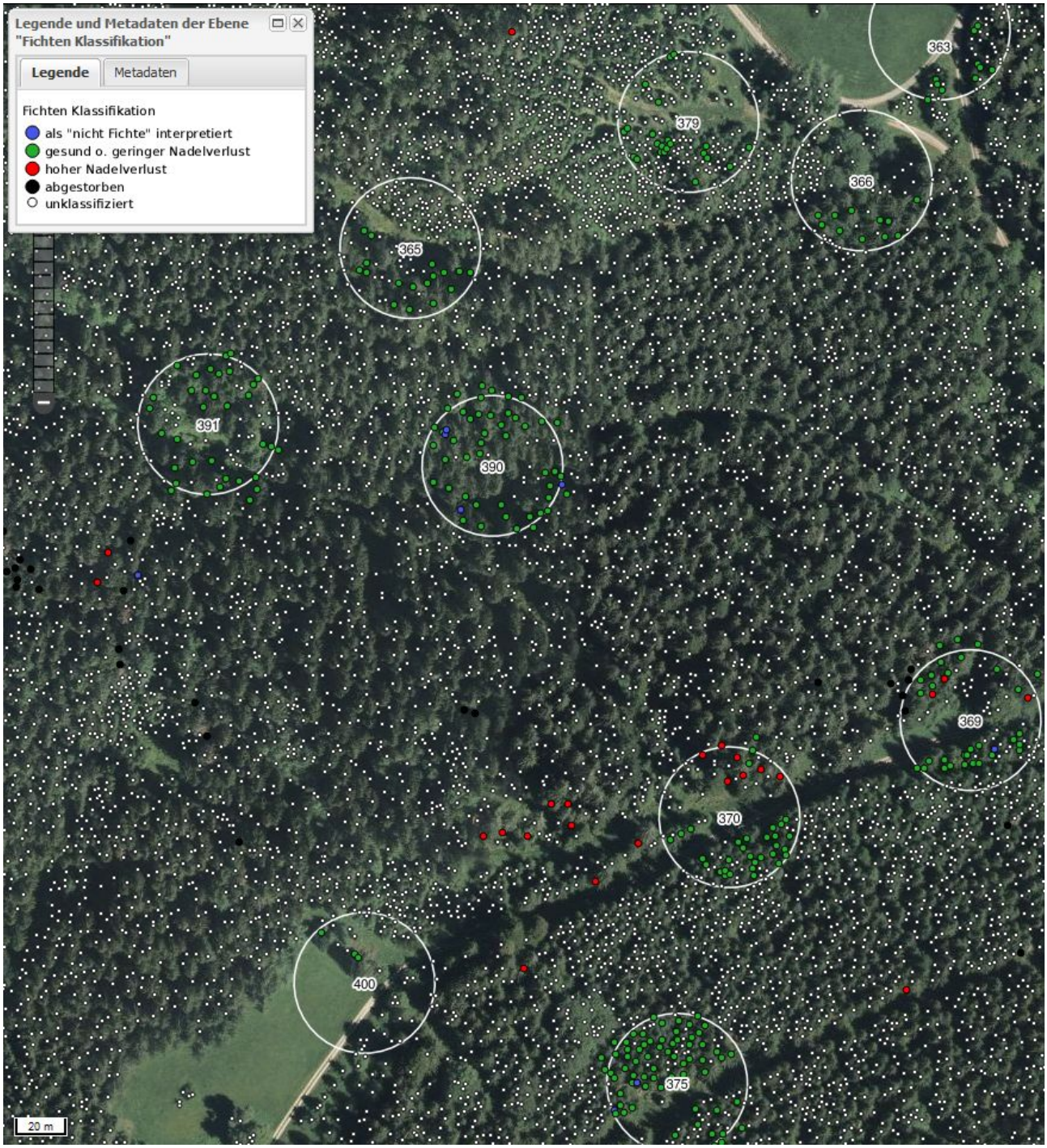
11: Fichten aus der Luftbildinterpretation, bei denen ein starker Nadelverlust deutlich im Falschfarben TrueOrthophoto erkennbar ist und während der Bildverarbeitung vom Autor klassifiziert wurden.

111: abgestorbene Fichten oder andere tote Bäume, deutlich erkennbat am Falschfarben TrueOrthophoto

0: einige Bäume, die im TrueOrthophoto vom Autor während der Bildverarbeitung als "Nicht-Fichte" klassifziert wurden.

NULL (ohne Eintrag): übrige Bäume, die vom Stereointerpreten im Vorfeld nicht als Fichte kartiert wurden und auch in der Kontrolle nicht klassifiziert wurden.

Die Bäume in den 30m Pufferzonen um die Einzelfallen wurden vollständig nach den Fichtenmerkmalen klassifiziert, außerhalb der Puffer wurden nur einzelne auffällige Bäume den Klassen 1, 11 oder 111 zugeordnet, um einige Bäume für die Kalibrierung der automatischen Bildauswertung zu erhalten.



Einzelbaum: Lage, Höhe, BHD und Vorrat

Lage und Baumhöhe der automatisch detektierten Einzelbäume ab 2 m Höhe im Untersuchungsgebiet wurden aus den Laserdaten vom 4. Mai 2015 berechnet. Über eine für die Region entwickelte Schätzfunktion (WEIDENBACH, M: 2015: 3D Forstinventurprojekt Nordschwarzwald. Cluster Forst und Holz Baden-Württemberg, Projektnummer: 041210) wurde für jeden Einzelbaum der BHD geschätzt. Der Einzelbaumvorrat wurde mit der baumartenweise modifizierte Volumenformel für Fichte von DENZIN berechnet (in KRAMER, H., AKCA, A.: 1987: Leitfaden für Dendrometrie und Bestandesinventur).

Eine Trennung der Baumarten wurde für die Vorratsschätzung auf der Gesamtfläche nicht durchgeführt, da es sich überwiegend um Fichten/Tanne Bestände handelt und die angeschätzten

Werte in erster Linie dem Vergleich der einzelnen 30 m Fallenumkreise untereinander dienen sollte.

In den 30 m Kreisen erfolgte jedoch für Bäume mit einem BHD über 20 cm eine getrennte Berechnung der Vorräte für gesunde (Fichten ID "1") und gestresste Fichten (Fichten ID "11"), sowie für stehendes Totholz (Fichten ID "111") und alle übrigen Baumarten (Fichten ID "0" und "Null").

Auf eine Berechnung des Vorrates auf Grundlage der photogrammetrischen Höhen vom 25. August 2016, also auf Grundlage des nDSM aus dem Stereoluftbild, wurde nach Rücksprache mit der FVA (Jonas Hinze) v.a. aufgrund der geringen, für die Fragestellung der Arbeit wenig relevanten Unterschiede, vorerst verzichtet.

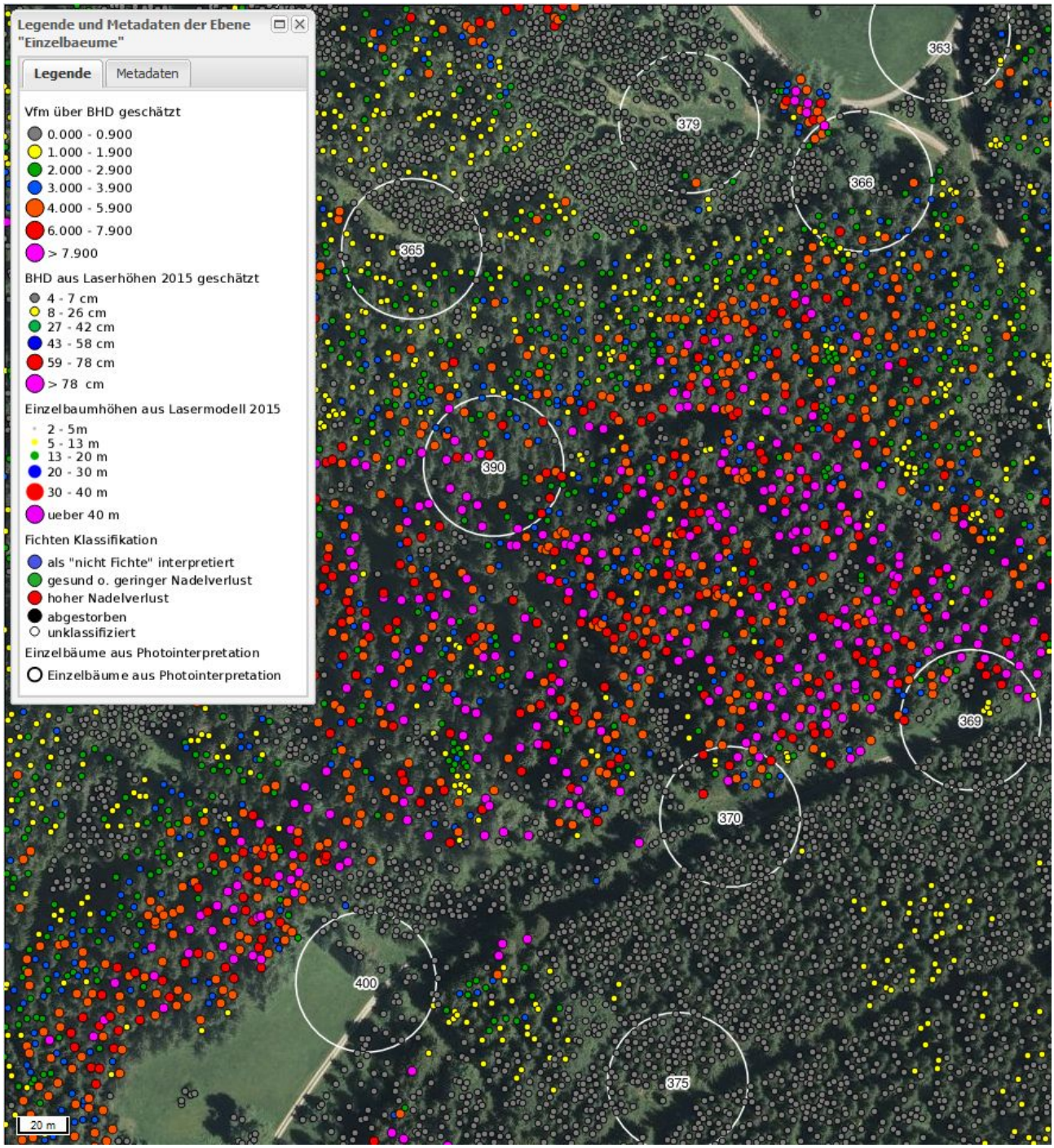


Abbildung 31: Auszug aus WebGIS mit Einzelbaumparameter (dargestellt sind die geschätzten Einzelbaumvorräte)

Beleuchtungsmodelle

Es wurden 7 verschiedene Beleuchtungsmodelle gerechnet, davon 1 Modell der Waldoberfläche mit Sonnenstand zum Zeitpunkt der Luftbildbefliegung und 6 verschieden Beleuchtungsmodelle des Laser Geländemodells (alle aus ALS 2015).

Die Modelle wurden mit folgenden Sonnenständen im Untersuchungsgebiet am Groshahnberg gerechnet: um 12:40 (UTC +2, also 14:40 MESZ, das ist die Uhrzeit der Luftbildaufnahmen am 24. Aug 2016) und um 09:40 MESZ, jeweils an drei Tagen im Jahr 2016.

Zur Berechnung der Sonenrichtungs- und Höhenwinkel wurden folgende Quelle benutzt: http://www.sonnenverlauf.de/#/48.5794,8.3232,16)

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse grafisch dargestellt. Die statistische Auswertung erfolgte für die 6 Beleuchtungsmodelle auf Grundlage des Laser DTMs. Das beleuchtete Waldoberflächenmodell wurde nicht weiter ausgewertet.

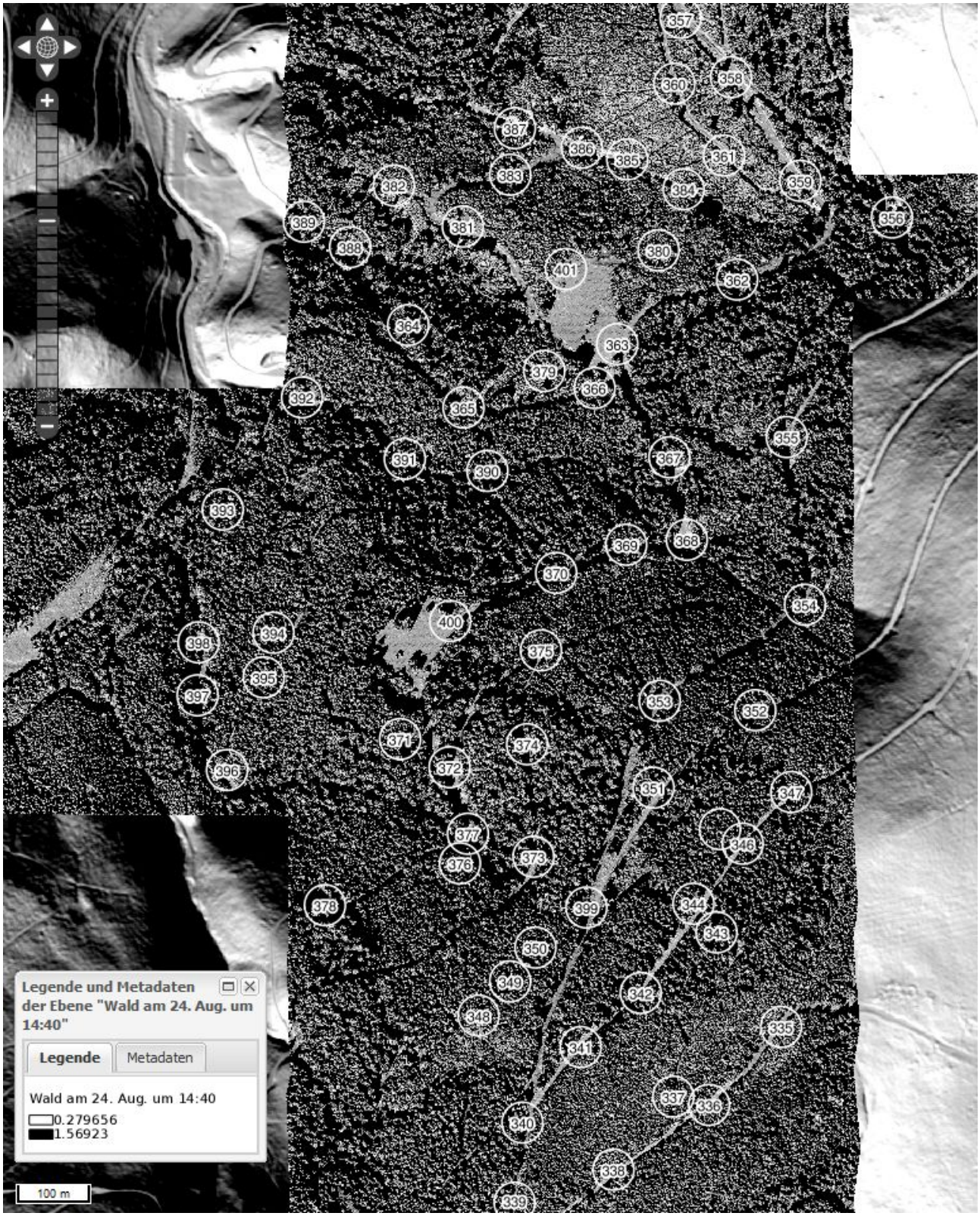
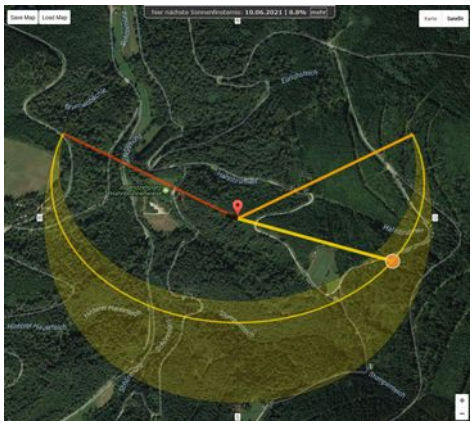
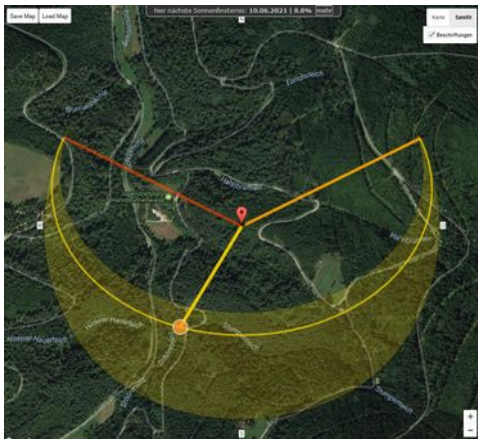
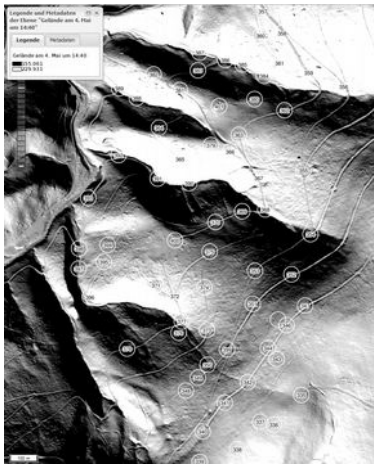
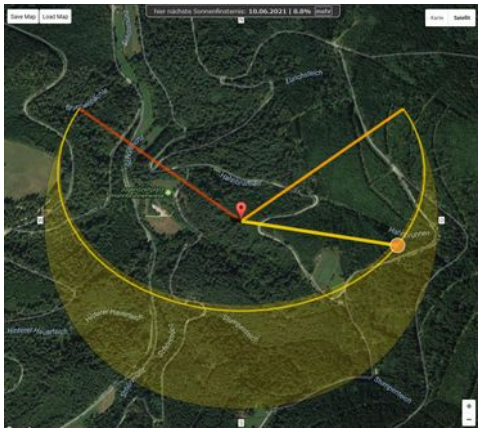


Abbildung 32: Beleuchtung der Waldoberfläche zum Zeitpunkt der Luftbildaufnahmen am 24. Aug. 2016

Datum und Sonnenstand	**Sonnenstand Grafik**	**Modell**
04 Mai 2016, 09:40 MESZ (Quelle: http://www.sonnenverlauf.de/#/48.5794,8.3232,16/2016.05.04/09:40/30/0) Sonnenhöhe:34,23° Richtung:105,41 ° Schattenlänge eines 30 m hohen Baums: 44,09 m		
04 Mai 2016 um 14:40 MESZ (Quelle: http://www.sonnenverlauf.de/#/48.5794,8.3232,16/2016.05.04/14:40/30/0) Sonnenhöhe: 54,01° Richtung: 212,11° Schattenlänge eines 30 m hohen Baums: 21,79 m		
15 Juli 2016 um 09:40 Uhr MESZ (Quelle: http://www.sonnenverlauf.de/#/48.5794,8.3232,16/2016.07.15/09:40/30/0) Sonnenhöhe: 36,72° Richtung: 98,89° Schattenlänge eines 30 m hohen Baums: 140,22 m		

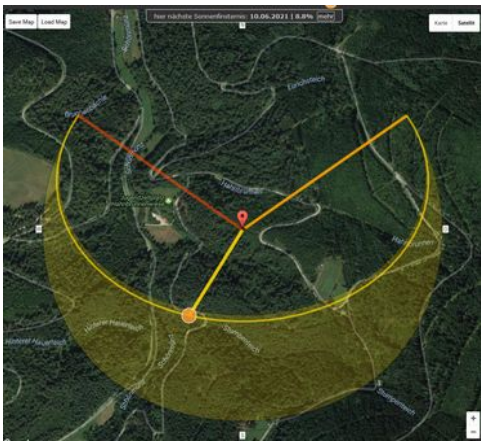
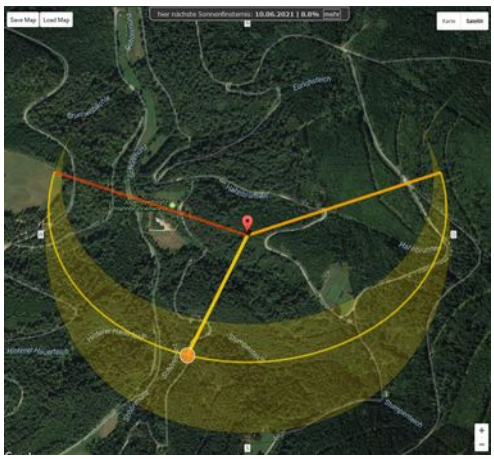
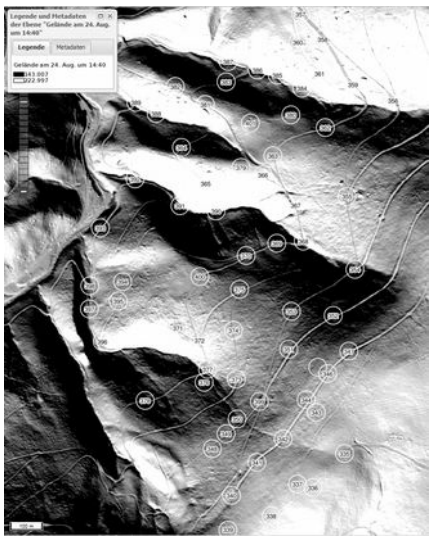
15 Juli 2016 um 14:40 MESZ (Quelle: http://www.sonnenverlauf.de/#/48.5794,8.3232,16/2016.07.15/14:40/30/0) Sonnenhöhe: 59,79° Richtung: 212,03° Schattenlänge eines 30 m hohen Baums: 17,47 m		
am 24.08.2016 um 09:40 Uhr(Quelle: http://www.sonnenverlauf.de/#/48.5794,8.3232,16/2016.08.24/09:40/30/0): Sonnenhöhe: 29,53° Richtung: 108,06° Schattenlänge eines 30 m hohen Baums: 52,96 m		
am 24.08.2016 um 14:40 MESZ (Quelle: http://www.sonnenverlauf.de/#/48.5794,8.3232,16/2016.08.24/14:40/30/0): Sonnenhöhe: 49,61° Richtung: 207,24° Schattenlänge eines 30 m hohen Baums: 25,53 m		

Tabelle 1: Beleuchtungsmodelle

Statistische Auswertung der Flächen im 30 m Umkreis um die Fallen

Die Grundlage der Statistik sind die für das Gesamtgebiet berechneten Rastermodelle wie Gelände- und Kronenschirmhöhen, Feuchtigkeitsindex, NDVI, etc. und Einzelbaummessungen mit Baumhöhen, BHD und Vorrat, sowie die von der FVA im Vorfeld der digitalen Bildverarbeitung manuell kartierten Fichten im Umkreis von 30 m um die Fallenstandorte.

Die Berechnung der Statistik der 30 m Kreise aus den zugrundeliegenden Rasterdaten wurde mit der QGIS Funktion „Zonenstatistik“ durchgeführt. Für die aus Vektrodaten abgeleitete Statistik wurde das Plugin „Group Stats“ verwendet (QGIS Version 2.18).

(a) Alle statistischen Werte zur Waldstruktur, die sich auf einen Umkreis von 30 m um die einzelnen Fallen beziehen, sind in der Attributtabelle der Shape Datei "Fallenstandorte_Umkreis_30m_Statistik_v[aktuelle Versionsnummer].shp" enthalten.

(b) Alle statistischen Werte die sich auf das Gelände (abgekürzt als DTM - Digital Terrain Model) beziehen befinden sich in der Datei "Fallenstandorte_Umkreis_30m_DTM-Statistik_v[aktuelle Versionsnummer].shp". Die Spaltennamen der Tabelle sind durch das auf 10 Zeichen beschränkte SHP/DBF Format leider auf 10 Stellen beschränkt. Eine ausführliche Beschreibung der Werte ist in der folgenden Tabelle enthalten.

Hinweis: alle Werte der Spalten, die mit "VFM_" beginnen beziehen sich auf eine manuelle und visuelle Interpretation von Einzelbäumen am Bildschirm, die als besonders relevant für die Fragestellung der Käferdynamik eingeschätzt wurden. Diese Art der Photointerpretation ist nicht standardisiert, unterliegt der Einschätzung des Interpreten und ist oft unvollständig.

Dagegen folgt die Berechnung der NDVI Werte in den entsprechenden Spalten mit der Präfix "ndvi_" einem standardisierten Verfahren und deckt alle Vegetationsflächen ab, wahlweise auch nur diejenigen, die über 20 m hoch sind. Eine Klassifizierung der erkannten Einzelbäume auf Grundlage dieser NDVI Werte wäre eine alternative und automatisierte Methode, die v.a. bei Luftbildern, die zu Beginn der Vegetationszeit aufgenommen wurden, erfolgreich sein könnte. Ob die vorliegenden, Ende Augst aufgenommenen Luftbilder sich hierfür eignen ist fraglich und wurde daher nicht weiter untersucht.

Folgende Tabelle beschreibt die statistischen Werte, die in der Attributtabelle der o.g. Shape Dateien abgespeichert sind im Detail.

Spaltenname	Beschreibung (ohne weitere Angaben beziehen sich die Wert immer auf die Kreisfläche mit einem Radius von 30 m um den Fallenstandort)
Datei: "Fallenstandorte_Umkreis_30m_Statistik_v[aktuelle Versionsnummer].shp"	
name	Nummer der Falle (erstellt durch FVA)
GK3_X / GK3_Y / WGS84_X / WGS84_Y	Im Gelände gemessene Koordinaten des Fallenstandortes als GK3 und WGS84 Koordinaten (erstellt durch FVA).
StandortZ	Durch FVA ermittelte Geländehöhe der Falle
lasint_sum	Summe der Intensitätswerte aller Laserimpulse vom 4. Mai 2015, abgeleitet aus 2m Raster der Laserintensitäten.
lasint_mea	Mittelwert der Laserinetnitäten
lasint_std	Einfache Standardabweichung der Laserintensitäten
ndsm_sum	Summe der Baum- bzw- Vegetationshöhen (ndsm = normalised digital surface modell = Kronenhöhenmodell), abgeleitet vom nDSM Raster der Laserdaten 2015 mit einer Bodenauflösung von 20 cm)
ndsm_stdev	Einfache Standardabweichung der Vegetationshöhe, bzw. des Kronenhöhenmodells
ndsm_mean	Mittlere Höhe der Vegetation bzw. des Kronenschirms
ndsm_max	Maximale Höhe der Vegetation bzw. Kronen- oder Baumhöhe
VFM_count	Anzahl der Bäume im 30m Kreis mit einem über lokale Höhenkurve für Fi/Ta abgeleiteten BHD von >= 20 cm. Für diese Bäume wurde der Einzelbaumvorrat über die modifizierte Volumenformel von Denzin geschätzt.
VFM_max	Maximaler Einzelbaumvorrat im 30 m Kreis für Bäume mit BHD ab 20 cm.
VFM_min	Minimaler Einzelbaumvorrat im 30 m Kreis für Bäume mit BHD ab 20 cm.
VFM_stdev	Einfache Standardabweichung der Einzelbaumvorräte ab BHD von 20 cm.
VFM_sum	Summe der Einzelbaumvorräte ab BHD >= 20 cm
VFM_cnt0	Anzahl der Bäume im 30 m Kreis mit einem BHD >= 20 cm, die als "Nicht Fichte" im TrueOrthophoto interpretiert wurden.
VFM_sum0	Summe der Einzelbaumvorräte im 30 m Kreis für Bäume ab einem BHD von 20 cm, die als "Nicht Fichte" im TrueOrthophoto interpretiert wurden.
VFM_cnt1	Anzahl der Bäume im 30 m Kreis mit einem BHD >= 20 cm, die im Vorfeld der Bildverarbeitung von der FVA manuell/visuell am Stereobild als "Fichte" interpretiert wurden und deren Lage im Verlauf der automatischen Bildverarbeitung and das Laser nDSM und das TrueOrthophoto angepasst wurde.
VFM_sum1	Summe der Einzelbaumvorräte im 30 m Kreis für Bäume ab einem BHD von 20 cm, die als "Fichte" visuell interpretiert wurden.
VFM_cnt11	Anzahl der Bäume im 30 m Kreis mit einem BHD >= 20 cm, die im Vorfeld der Bildverarbeitung von der FVA manuell am Stereobild als "Fichte" interpretiert wurden, deren Lage im Verlauf der automatischen

Spaltenname	Beschreibung (ohne weitere Angaben beziehen sich die Wert immer auf die Kreisfläche mit einem Radius von 30 m um den Fallenstandort)
	Bildverarbeitung and das Laser nDSM und das TrueOrthophoto angepasst wurde und die auf Grundlage des TrueOrthophotos als "Fichten mit deutlichem Nadelverlust" visuell interpretiert wurden.
VFM_sum11	Summe der Einzelbaumvorräte im 30 m Kreis für Bäume ab einem BHD von 20 cm, die als "Fichten mit deutlichem Nadelverlust" im TrueOrthophoto interpretiert wurden.
VFM_cnt111	Anzahl der Bäume im 30 m Kreis mit einem BHD >= 20 cm, die auf Grundlage des TrueOrthophotos als "stehendes Totholz" interpretiert wurden.
VFM_sum111	Summe der Einzelbaumvorräte im 30 m Kreis für Bäume ab einem BHD von 20 cm, die als "stehendes Totholz" im TrueOrthophoto interpretiert wurden.
VFM_cntnul	Anzahl der Bäume im 30 m Kreis mit einem BHD >= 20 cm, die automatisch am Laser nDSM erkannt aber nicht klassifiziert bzw. visuell interpretiert wurden.
VFM_sumnul	Summe der Einzelbaumvorräte im 30 m Kreis für Bäume ab einem BHD von 20 cm, die nicht klassifiziert bzw. visuell interpretiert wurden.
VFM_cnt30	Anzahl der Bäume im 30 m Kreis mit einem **BHD >= 30** cm, die im Vorfeld der Bildverarbeitung von der FVA manuell/visuell am Stereobild als "Fichte" (und im späteren Verlauf der Bildverarbeitung als "Fichten mit deutlichem Nadelverlust") interpretiert wurden und deren Lage im Verlauf der automatischen Bildverarbeitung an das Laser nDSM und das TrueOrthophoto angepasst wurde (Einzelbäume mit Fichten-ID = 1 oder 11)
VFM_sum30	Summe der Einzelbaumvorräte im 30 m Kreis für Bäume ab einem BHD von 30 cm, die als "Fichte" oder "Fichten mit deutlichem Nadelverlust" visuell interpretiert wurden (Einzelbäume mit Fichten-ID = 1 oder 11).
ndvi_count	Normalised Difference Vegetation Index ist nach ((NIR-Rot / NIR+Rot) +1) *100 berechnet. Das nahe Infrarot (NIR, Kanal 5 des Trueorthophotos) reagiert auf die Chlorophyllaktivität der Biomasse. Berechnet man den NDVI für die Vegetation in über 20m Höhe, so kann sein Wert als Indikator für den Zustand der Krone interpretiert werden (Nadelholz, Laubholz, Totholz, Nadelverlust). Der Wert "ndvi_count" gibt die Anzahl von 0.04 qm großen Pixeln (0.158296 m x 0.254219 m) in über 20 m Höhe wieder und kann damit auch zur Berechnung der Kronenfläche in über 20m Höhe benutzt werden (siehe auch mask_sum).
ndvi_sum	Summe der NDVI Werte in über 20 m Höhe
ndvi_mean	Mittelwert des NDVI in über 20 m Höhe
ndvi_stdev	Einfache Standardabweichung des NDVI in über 20 m Höhe
ndvi_min	Minimum des NDVI in über 20 m Höhe
ndvi_max	Maximum des NDVI in über 20 m Höhe

Spaltenname	Beschreibung (ohne weitere Angaben beziehen sich die Wert immer auf die Kreisfläche mit einem Radius von 30 m um den Fallenstandort)
mask_sum	Summe aller 0.04 qm großen Pixel in über 20 m Höhe. Der Wert entspricht der Fläche des über 20 m hohen Kronenschirms. Setzt man diese Fläche in Relation zu der Kreisfläche des 30 m Umkreises so erhält man das Überschirmungsprozent des 30 m Umkreises. Grundlage der "Höhenmaske" ist das Kronenmodell (nDSM) aus dem Stereoluftbild vom Aug. 2016. Das ist zwar aktueller als das Laser nDSM, ist aber auch etwas "unschärfer" und zeichnet kleinräumliche Höhenunterschiede im Kronenraum weniger deutlich ab. Kritisch ist hier auch die Tatsache, dass das TrueOrthophoto aus den Luftbildern von 25. Aug. 2016 und den Laserhöhen vom 04. Mai 2015 berechnet wurde (dort wo Bäume zwischen dem 04. Mai 2015 und dem 25 Aug. 2016 eingeschlagen wurden, wir die im Luftbild sichtbare entstandene Blöße mit der ursprünglichen Baumhöhe aus dem Laser kombiniert, damit könnte ein für den Waldboden typischer NDVI Wert in den Kronenbereich in über 20 m Höhe rücken. Die Verwendung des Stereohöhenmodells aus 2016 für die Höhenmaske zur Berechnung des NDVI in über 20m Höhe versucht dem entgegenzuwirken. Sollte der stattgefundene Einschlag so gering sein, dass man ihn ignorieren kann, dann könnte man auch das Laser nDSM zur Berechnung der NDVI Höhenmaske verwenden.
Datei: "Fallenstandorte_Umkreis_30m_DTM-Statistik_v[aktuelle Versionsnummer].shp"	
name	Nummer der Falle (erstellt durch FVA)
GK3_X / GK3_Y	Im Gelände gemessene Koordinaten des Fallenstandortes als GK3 und WGS84 Koordinaten (erstellt durch FVA).
StandortZ	Durch FVA ermittelte Geländehöhe der Falle
dtm_mean	Mittlere Geländehöhe der 30 m Kreisfläche aus Lasergeländemodell 2015 abgeleitet
dtm_min	Minimale Geländehöhe im 30 m Kreis
dtm_max	Maximale Geländehöhe im 30 m Kreis
hang_mean	Mittlere Hangneigung in Grad
expo_mean	Mittlere Hangexposition mit Nordwinkel (Azimut). Hinweis: durch die Mittelwertberechnung kann einem Kreis, der zur Hälfte auf einem Osthang (Wert 90) und zur anderen Hälfte auf einem Westhang liegt (Wert 270) im Mittel (270 + 90 / 2 = 180) der Wert eines Südhanges (180) zugewiesen werden. Gleiches gilt für Kreise, die zum Teil auf einem Nord- und z.T. auf einem Südhang liegen.
sued_mean	Mittelwert des Rasters "Nord-/Südausrichtung", das den Grad der N/S Ausrichtung zwischen 0 für eine reinen Südhang und 180 für einen reinen Nordhang angibt. Unter der Annahme, dass der Grad der Südausrichtung der Fallenstandorte von größerer Bedeutung ist als ihre Ost-/Westausrichtung, werden mit diesem Wert die oben unter "expo_mean" beschriebenen Probleme dahingehend beseitigt, dass Ost und Westhänge einheitlich mit dem Wert 90 versehen werden und damit den Mittelwert "sued_mean" nicht mehr beeinflussen. Lediglich

Spaltenname	Beschreibung (ohne weitere Angaben beziehen sich die Wert immer auf die Kreisfläche mit einem Radius von 30 m um den Fallenstandort)
	dort, wo die Fallenumkreise an Geländkanten liegen und Nord- und gleichermaßen Südhänge umfassen, verliert der Mittelwert an Aussagekraft. Solche kritischen Punkte werden durch die folgende Standardabweichung "sued_stdev" beschrieben.
sued_stdev	Einfache Standardabweichung der Nord/Südausrichtung. In Bereichen, wo sich die 30 m Kreise um die Fallen über eine von Ost nach West verlaufende Geländekante erstrecken, erhöht sich die Standardabweichung, z.B. bei Falle 386 oder 379.
wet_mean	Mittelwert des SAGA Wetness Index oder Feuchtigkeitsindex (berechnet in SAGA anhand des manuell editierten LGL Lasergeländemodells 2004 mit einer Bodenauflösung von 1m).
wet_mean	Mittelwert des SAGA Wetness Index oder Feuchtigkeitsindex (berechnet in SAGA anhand des manuell editierten LGL Lasergeländemodells 2004 mit einer Bodenauflösung von 1m).
Mai04aMean	Mittelwert der Beleuchtung des Geländemodells zum Datum 04. Mai 2016 um 09:40 MESZ
Mai04bMean	Mittelwert der Beleuchtung des Geländemodells zum Datum 04. Mai 2016 um 14:40 MESZ
Jul15aMean	Mittelwert Beleuchtungsmodell 15. Juli 2016 um 09:40 MESZ
Jul15bMean	Mittelwert Beleuchtungsmodell 15. Juli 2016 um 14:40 MESZ
Aug24aMean	Mittelwert Beleuchtungsmodell 24. August 2016 um 09:40 MESZ
Aug24bMean	Mittelwert Beleuchtungsmodell 24. August 2016 um 14:40 MESZ
MaiJulAug	Mittelwert der sechs obigen Beleuchtungsmodelle

Tabelle 2: Beschreibung der Statistik der berechneten Parameter

Kartographische Darstellung der Statistik je Falle

Hinweis: die kartografische Klassenbildung zur Darstellung der einzelnen Werte im GIS kann jederzeit verändert werden (Anzahl der Klassen und Methode der Klassenbildung) , um bestimmte Eigenschaften besser hervorzuheben. In der Regel wurden 5 bis 6 Klassen gebildet und die Werte nach Quantilen klassifziert, um Klassen mit einer jeweils gleichen Anzahl von Objekten zu erhalten.

Abbildung 33: Auszug aus WebGIS mit Liste der Layer, die Layergruppe 'Statistik Fallenstandorte' ist aufgeklappt

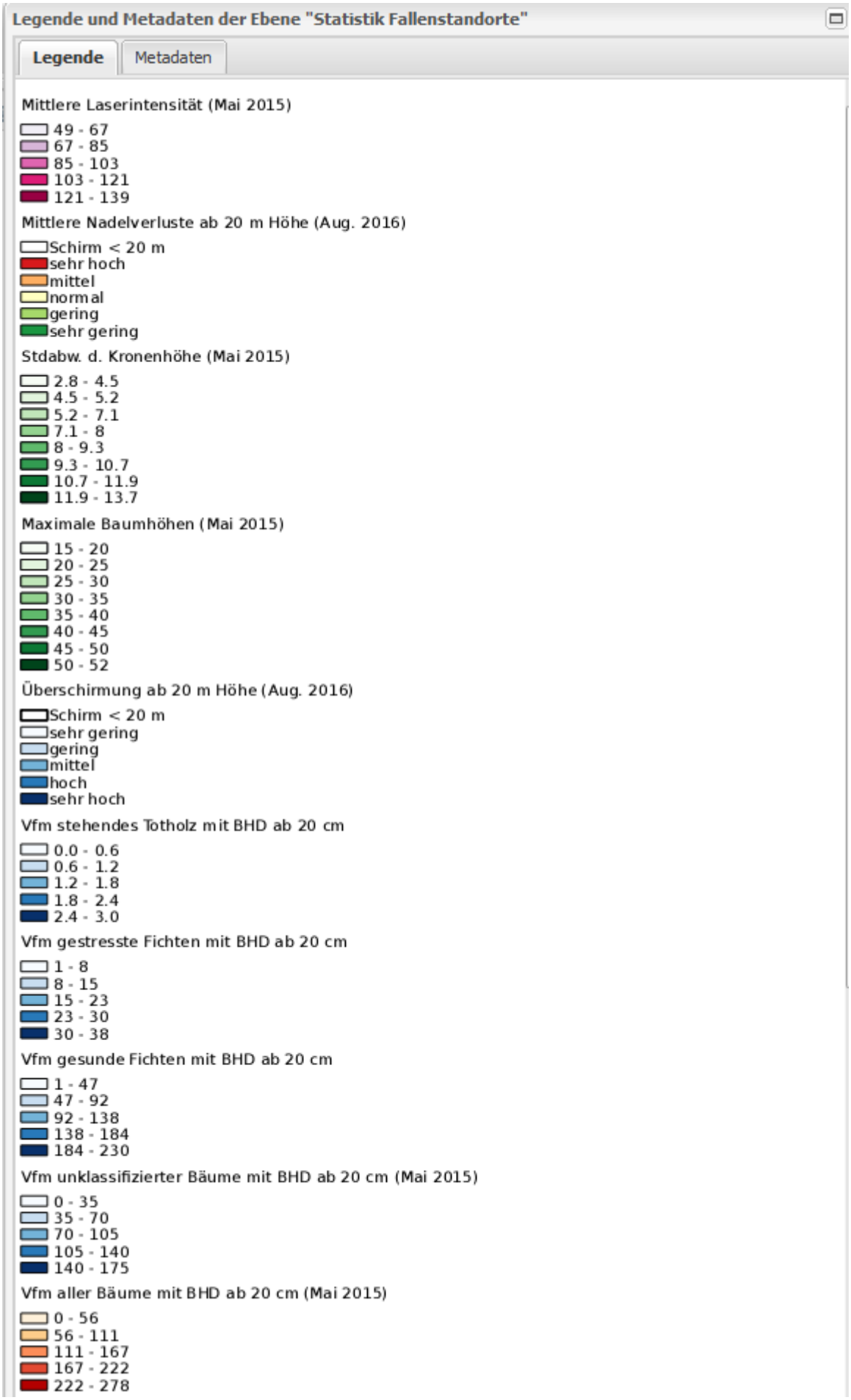


Abbildung 34: Legende für Statistikkarten Teil 1

Abbildung 35: Legende für Statistikkarten Teil 2

Auf den folgenden Seiten sind nur einige Karten aus der WebGIS Anwendung exemplarisch wiedergegeben.

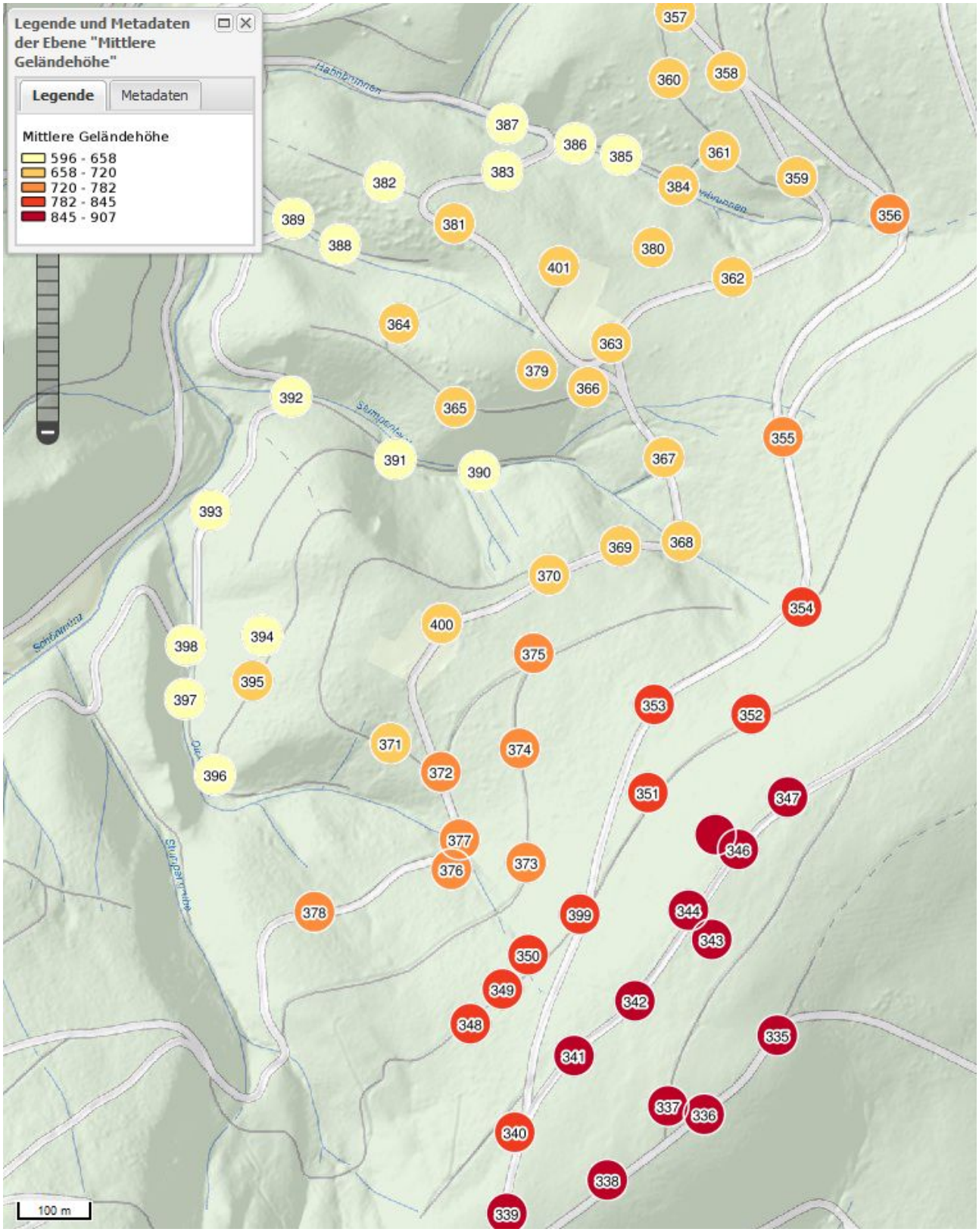


Abbildung 36: Auszug aus WebGIS mit Statistikkarte (Ex. 1)

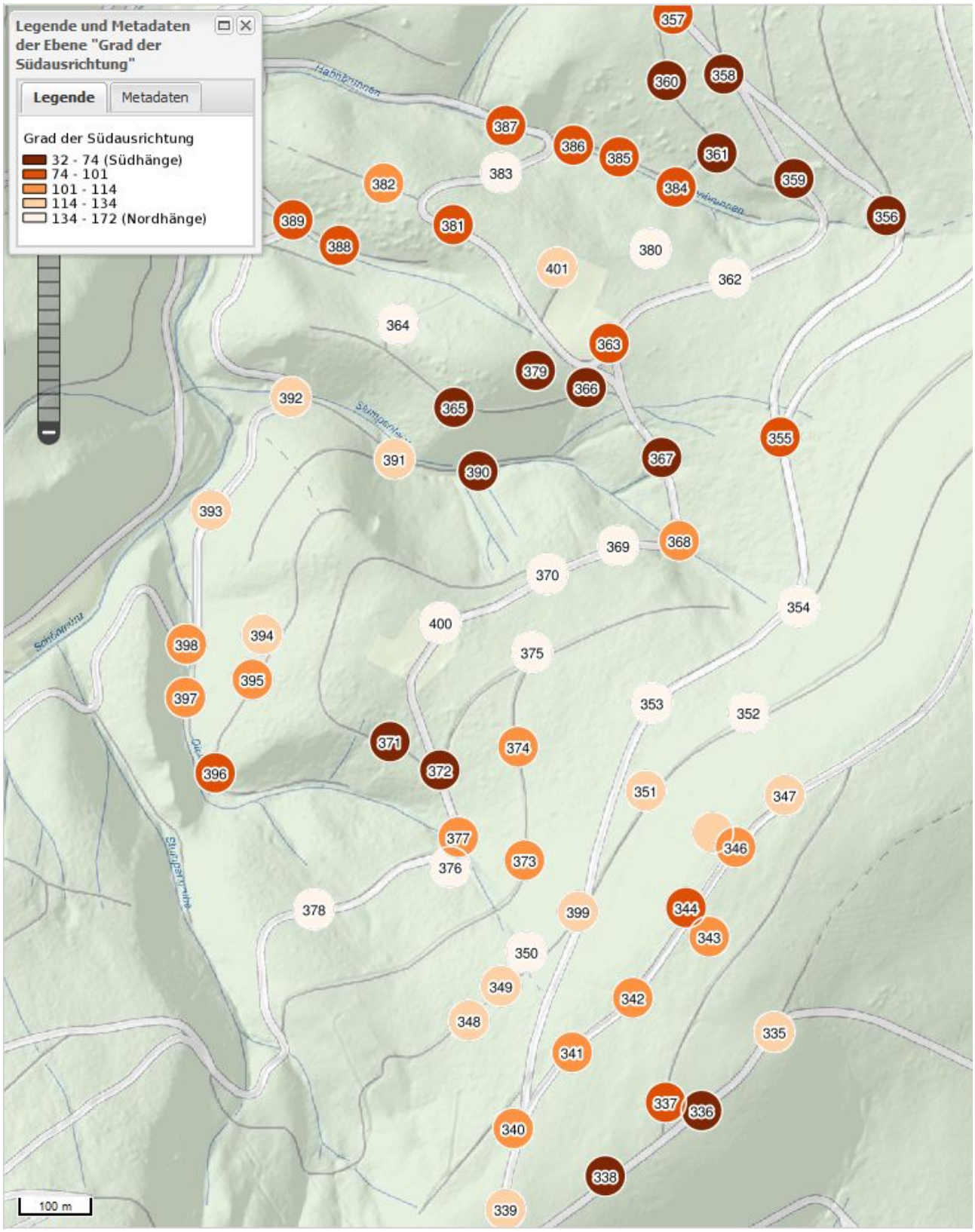


Abbildung 37: Auszug aus WebGIS mit Statistikkarte (Ex. 2)

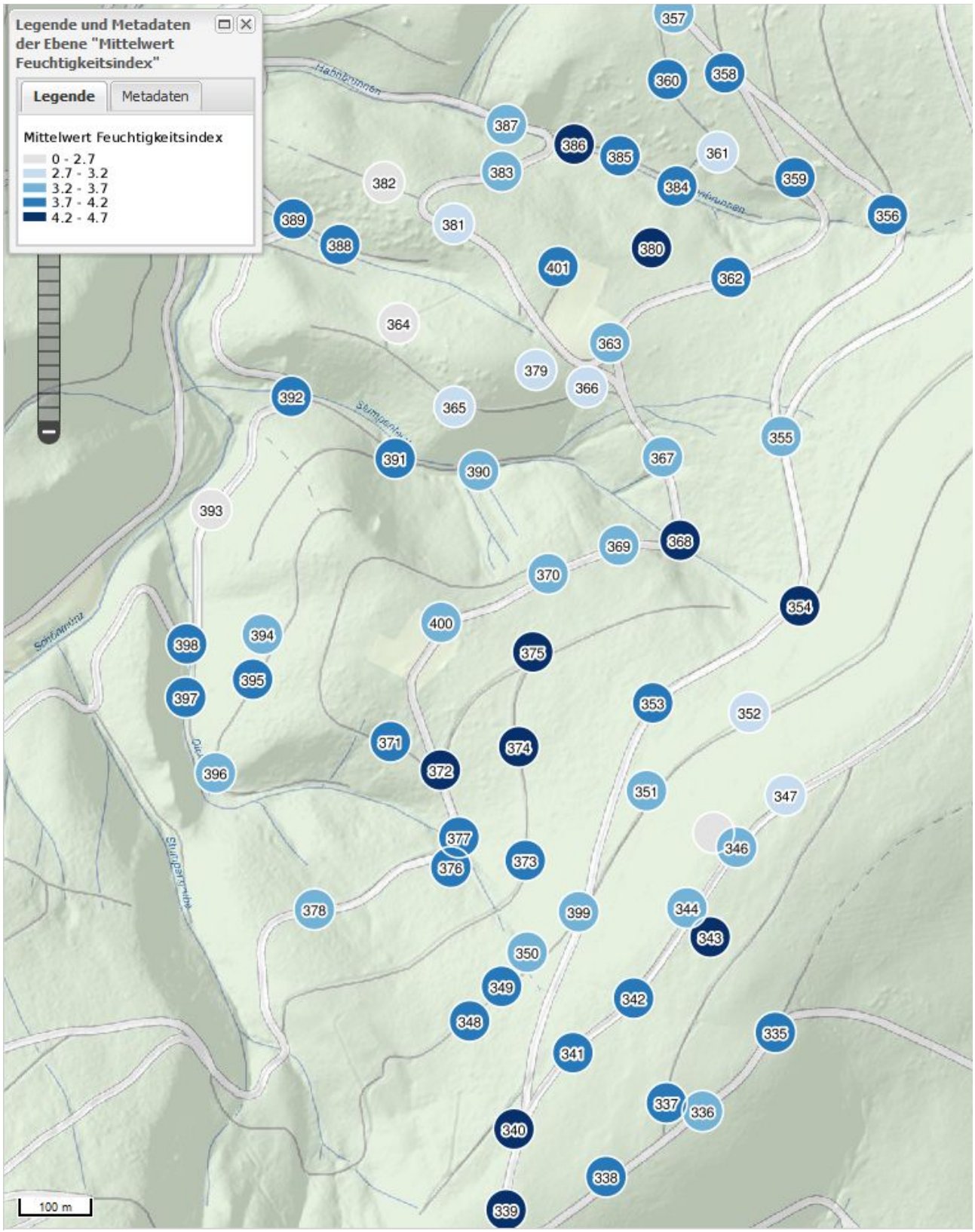


Abbildung 38: Auszug aus WebGIS mit Statistikkarte (Ex. 3)

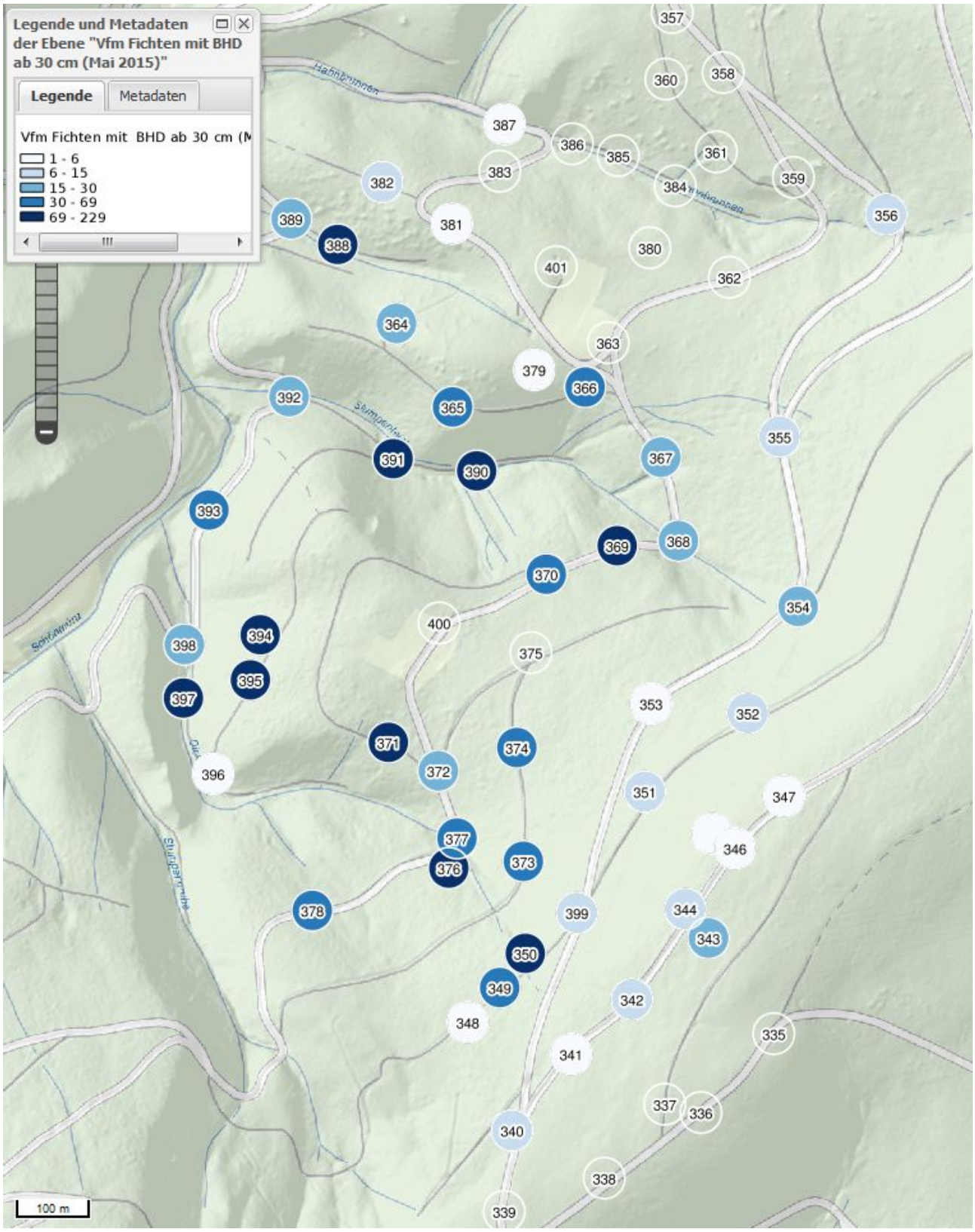


Abbildung 39: Auszug aus WebGIS mit Statistikkarte (Ex. 4)

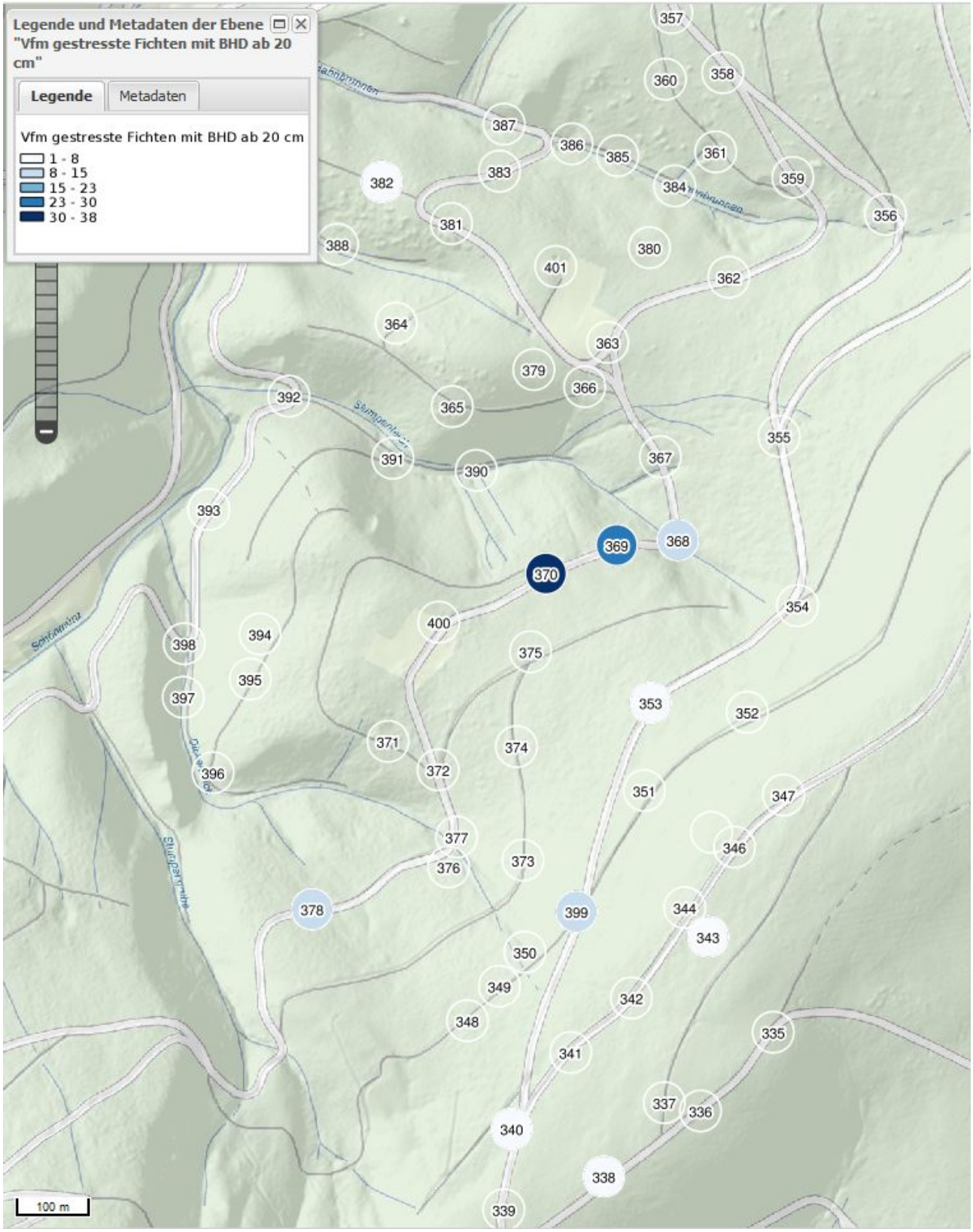


Abbildung 40: Auszug aus WebGIS mit Statistikkarte (Ex. 5)

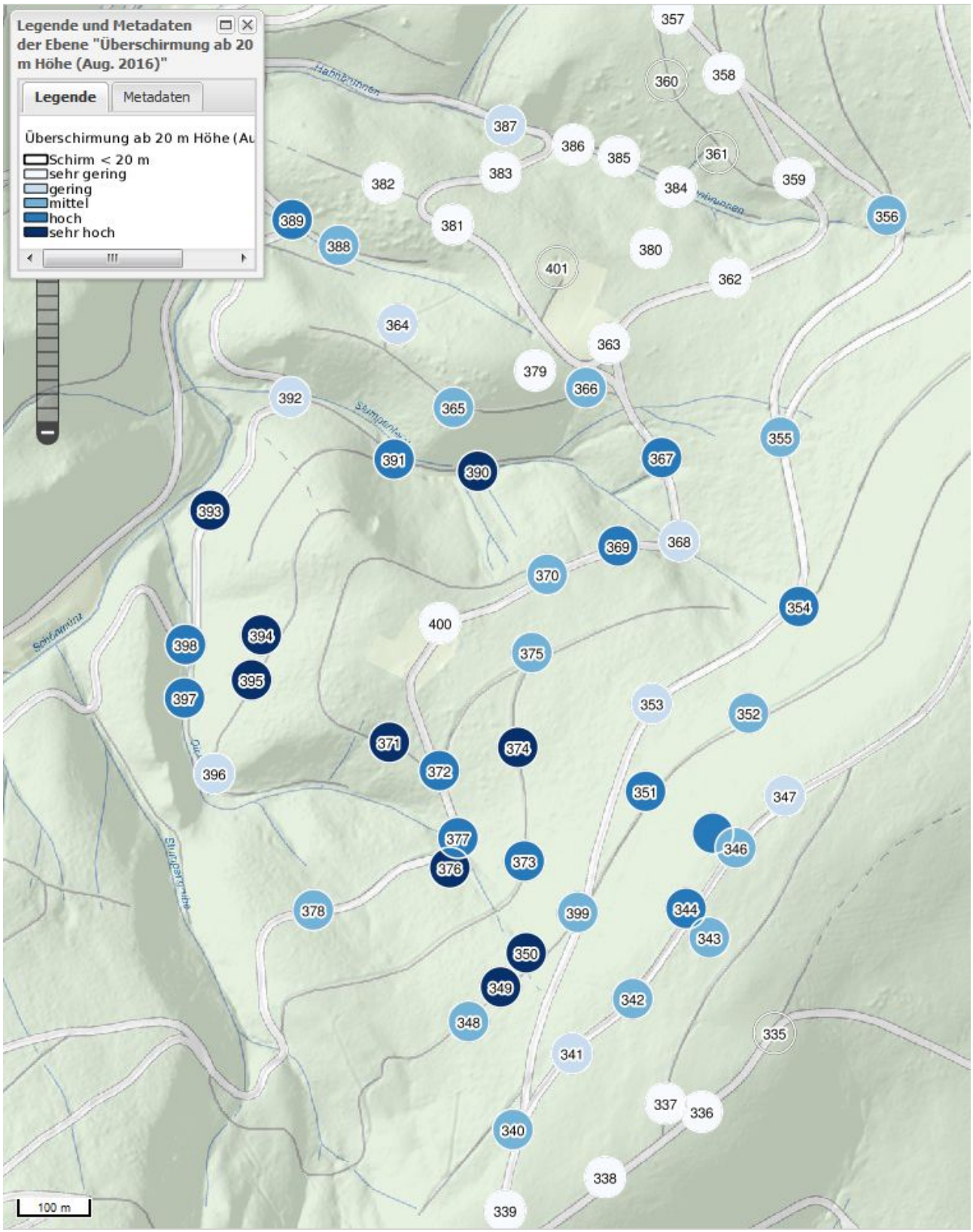


Abbildung 41: Auszug aus WebGIS mit Statistikkarte (Ex. 6)

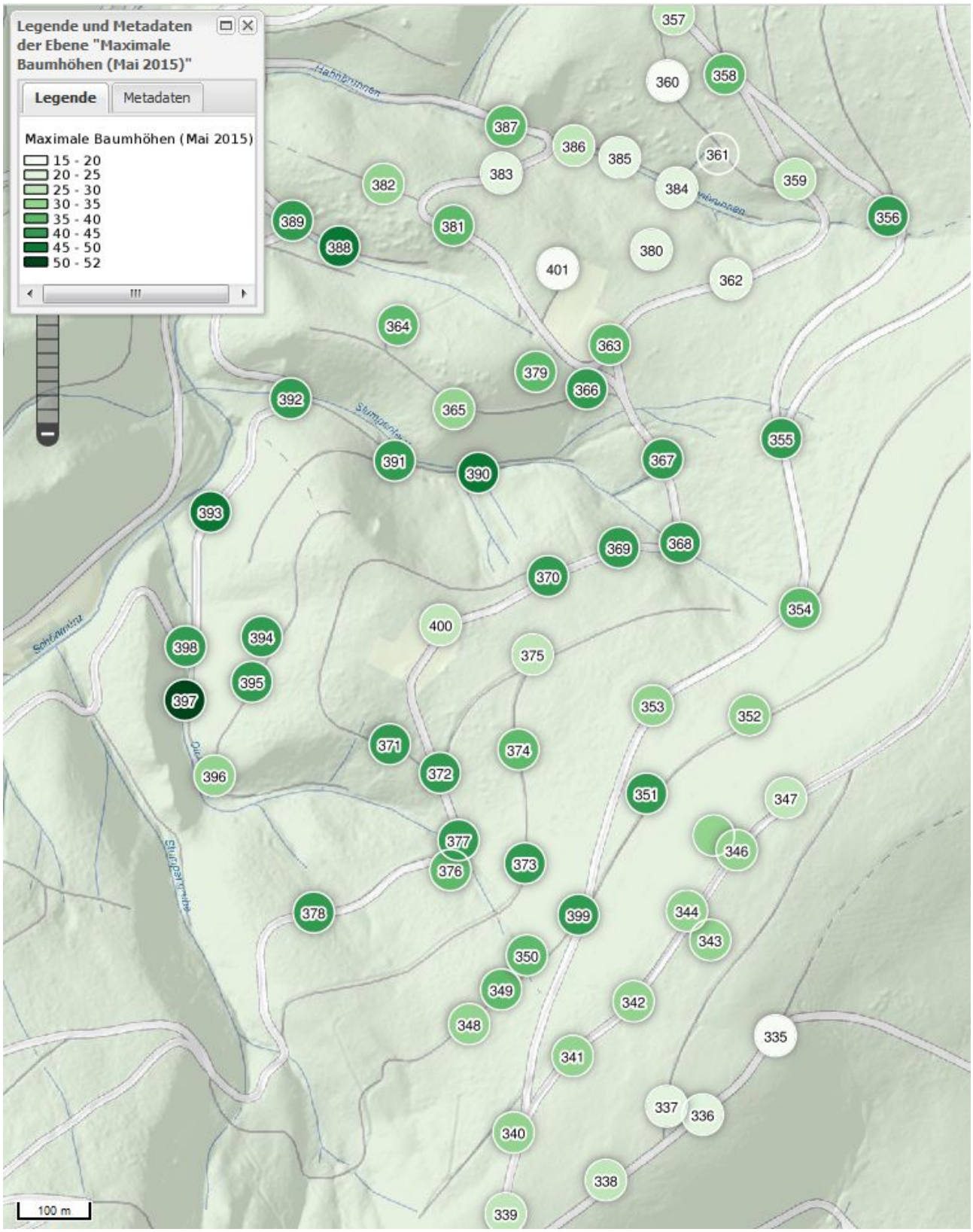


Abbildung 42: Auszug aus WebGIS mit Statistikkarte (Ex. 7)

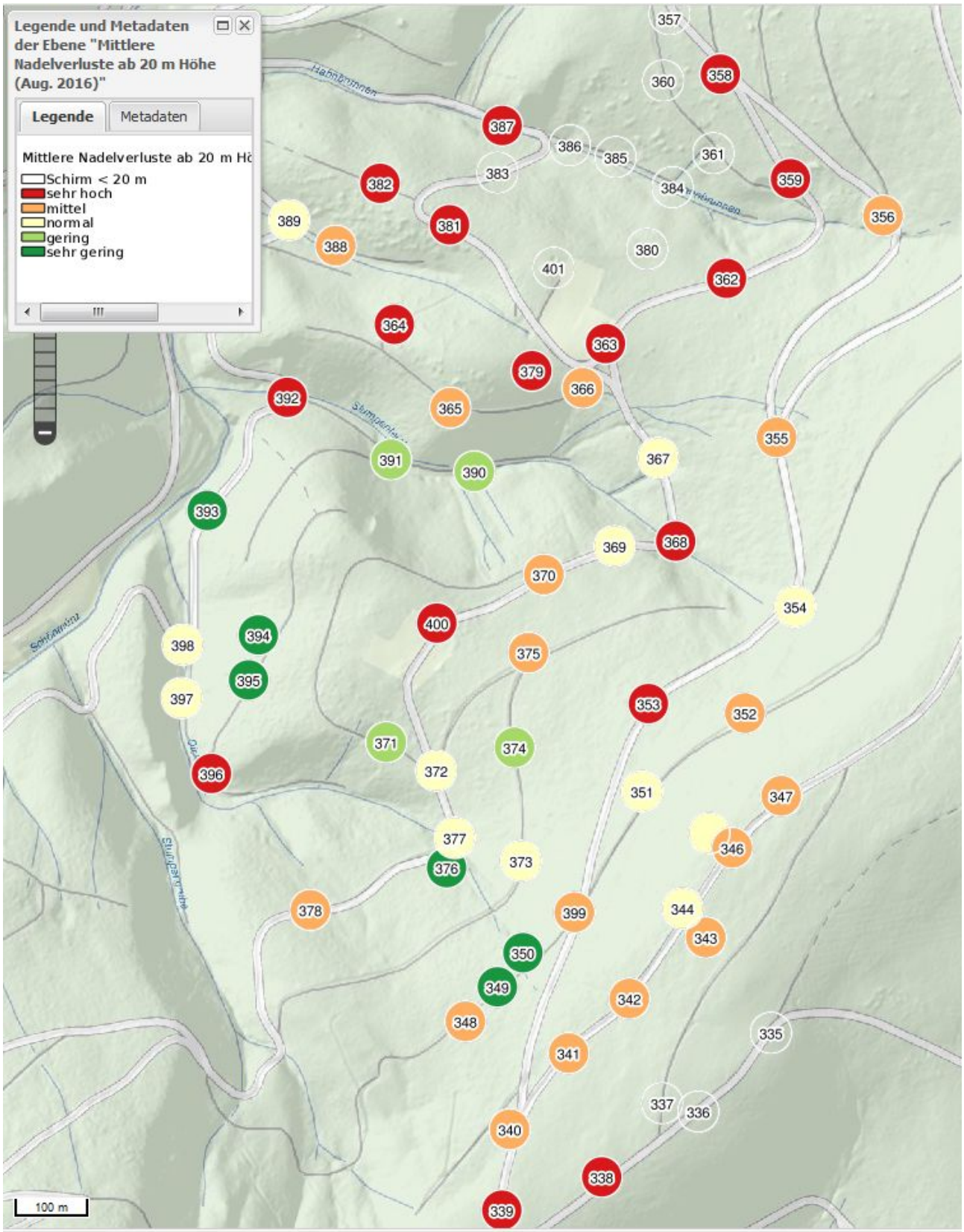


Abbildung 43: Auszug aus WebGIS mit Statistikkarte (Ex. 8)

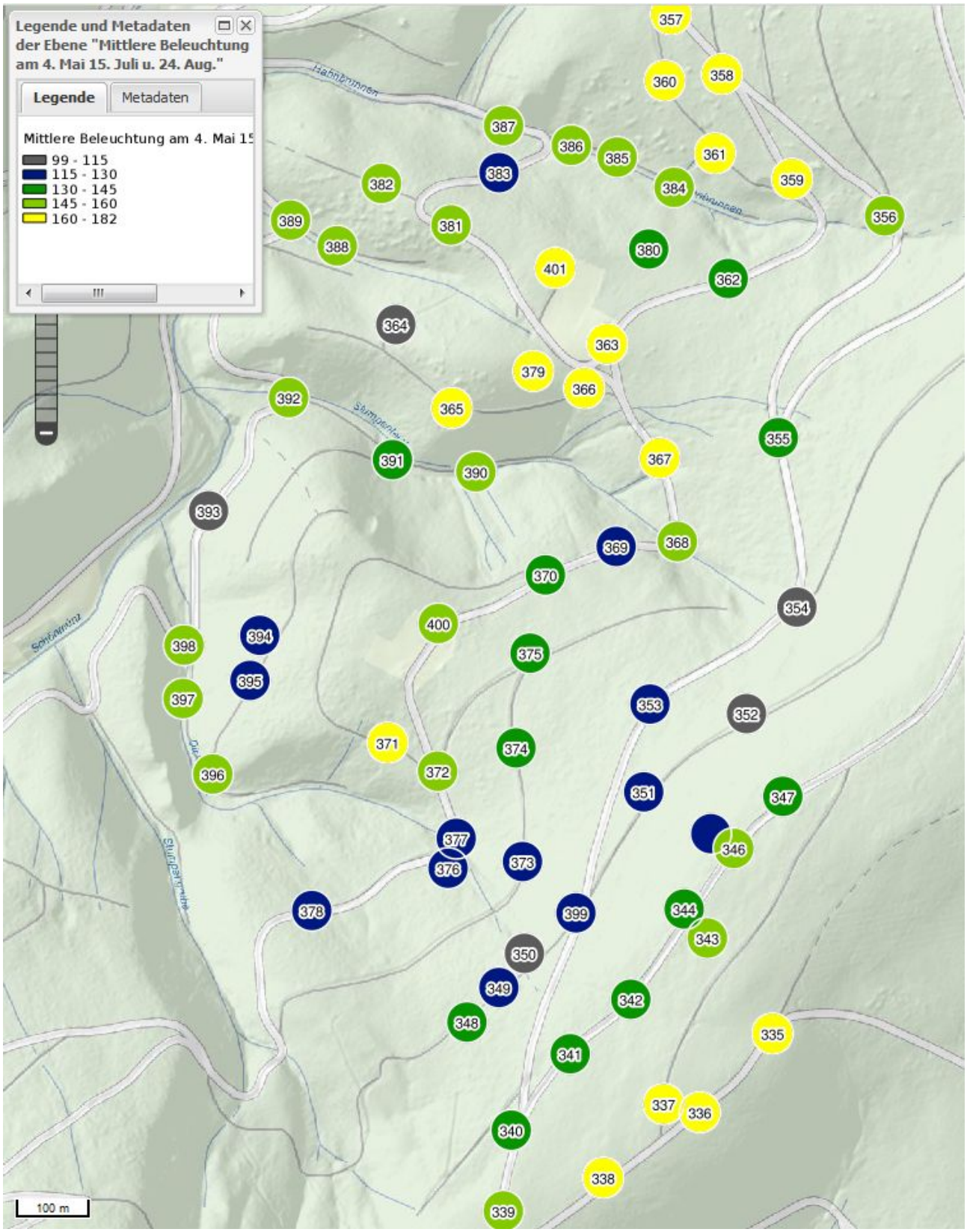


Abbildung 44: Auszug aus WebGIS mit Statistikkarte (Ex. 9)

Diskussion

Die vorliegenden Laserdaten vom Mai 2015 enthalten durch die hohe Dichte an Punkten eine sehr detaillierte Information über die Kronen- und Waldstruktur, auf die wir, trotz der fehlenden Aktualität der Daten, nicht verzichten wollten. Die aktuelleren Luftbilder liegen mit vier mit 16bit aufgelösten Spektralbänder, einer Bodenauflösung von rund 10 cm und einer Längs-/Querüberlappung von 80%/40% über dem technischen Standard amtlicher Luftbilder der Landesvermessung (20 cm Auflösung, Überlappung 60/30). Allerdings wurden sie zu einem aus Sicht der Fernerkundung ungünstigen Zeitpunkt am Ende der Vegetationszeit aufgenommen, was die Bildklassifikationsmöglichkeiten sehr einschränkt. Ideal wäre eine Aufnahme Ende April / Anfang Mai gewesen um die spektralen Unterschiede der Vegetation besser differenzieren zu können. Ein Blick auf die am 4. Mai 2015 aufgenommene Intensität des an sich weniger gut aufgelösten Laserinfrarots zeigt bereits deutliche Unterscheidungsmöglichkeiten.

In diesem Projekt wurde versucht, die Vorteile beider Datensätze durch eine Kombination der Daten zu nutzen. Dazu mussten die im Mai 2015 aufgenommenen Laserdaten mit den 15 Monate später aufgenommenen Luftbilder zur Deckung gebracht werden, was im wesentlichen auch sehr gut gelang, aber auch kleinere, unvermeidbare Deckungsfehler verursachte:

Das der NDVI Berechnung zugrunde liegende TrueOrthophoto wurde aus den Bildern der Befliegung von 2016 und dem Laserhöhenmodell von 2015 berechnet, weil durch die Verwendung des präziseren Lasermodells anstelle des Stereomodells eine genauere Darstellung der Kronen unterstellt wurde und eine wachstumsbedingte Veränderung innerhalb von rund 15 Monaten vernachlässigbar war. Allerdings ergeben sich durch den vorab nicht abschätzbaren Einschlag von vernutlich vorwiegend Käferfichten, Ungenauigkeiten, die sich z.B. dadurch bemerkbar machen, dass der Baumhöhe eines zwischen 2015 und 2016 eingeschlagenen Baumes der Spektralwert des Luftbildes, auf dem 2016 nur noch der Baumstumpf zu sehen ist, zugewiesen wurde.

Ein ähnliches Phänomen wird sichtbar, wenn man die automatisch aus den Lasermodellen detektierten Einzelbaumspitzen über das Trueorthophoto legt und gelegentlich feststellt, dass die Baumspitze keine Entsprechung im Bild findet, da an dieser Stelle der Baum bereits eingeschlagen wurde.

Solche Fälle kommen aber nur vereinzelt vor und wurden z.T. manuell nachbearbeitet (z.B. Falle 393, 394, 371, 372).

Die Verarbeitung der in Flugrichtung ca. 80% überlappenden Luftbilder zu einem Kronenmodell mit 20 cm Auflösung hat zu einem sehr genauen Stereomodell geführt, das ebenfalls für die automatische Erkennung von Einzelbäumen nutzbar und im Nadir nahen Bereich durchaus vergleichbar mit dem Lasermodell ist. Im Off-Nadir Bereich der Bilder zeigte das Lasermodell jedoch seine Überlegenheit, weil für das Stereomatching die ca. 40% überlappenden Bilder des benachbarten Flugstreifens aufgrund zu starker Verzerrung nicht genutzt werden konnten. Die Beschränkung auf die am nächsten zum Projektionszentrum liegenden Bildpunkte durch Voronoi Polygone um das Projektionszentrum selbst, hat sich dabei für die Erstellung des Kronenhöhenmodells und des Trueorthophotos bewährt.

Die klassische Exposition mit den mittleren Nordwinkeln der Fallenstandorte in Grad ist für die statistische Auswertung wenig geeignet. Bei der als Alternative angebotenen Karte mit dem Grad der Südausrichtung ist der Mittelwert für Standorte, die sich über einen Nord- und Südhang

erstrecken nicht aussagekräftig. Über die Standardabweichung können solche Fallenumkreise identifiziert werden. Betroffen davon sind z.B. die Fallen 385 oder 379.

Der Feuchtigkeitsindex bezieht weder die Höhe und den Deckungsgrad der Vegetation noch die Hangneigung und die Beleuchtungsmodelle mit ein, die für eine genauere Abschätzung des Wärmehaushaltes der Fallenstandorte wichtig wären. Einen allgemeine Beschreibung der einstrahlenden Energie für das Untersuchungsgebiet kann der im WebGIS verknüpfte Karte des Solaratlas BW (LUBW WMS) in grober Auflösung entnommen werden.