

**LANDESAMT FÜR
DIGITALISIERUNG,
BREITBAND UND
VERMESSUNG**



Fakultät für
Geoinformation



Bachelorarbeit

Anwendungspotential des Zeitdifferenz- Oberflächenmodells des LDBV

angefertigt von

Andreas Berchtold

Studiengang: Geoinformatik und Satellitenpositionierung

Betreuer: Prof. Dr. Peter Krzystek

Die Arbeit wurde angefertigt in Kooperation mit:

Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung

Wintersemester: 2016/2017

Abgabetermin: 19.04.2017

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit behandelt das Zeitdifferenz-Oberflächenmodell (tDOM), eine neue Entwicklung des Landesamtes für Digitalisierung, Breitband und Vermessung (LDBV). Es werden die Datengrundlagen und die Prozessierungskette des tDOM, dessen Qualitätssicherung, Visualisierung, Interpretationsmöglichkeiten und praktische Einsatzgebiete beschrieben.

Die Grundlage des tDOM bietet das Oberflächenmodell (DOM) des LDBV. Das DOM der Oberfläche Bayerns liegt in mehreren Jahrgängen vor, die Aufnahme erfolgt im 3-Jahres-Zyklus, bzw. seit 2017 im 2-Jahres-Zyklus. Das tDOM wird aus zwei DOM der geographisch gleichen Fläche zu unterschiedlichen Zeitpunkten gebildet. Es stellt die Differenz zwischen den beiden DOM dar und gibt die Höhenänderungen zwischen den beiden Zeitpunkten wieder. Zur einfacheren Anwendung wird das tDOM als Draufsicht auf das Gelände mit Nadirblick in einer monochromen Rasterdatei ausgegeben, dessen Grauwerte die Höhenwerte wiedergeben.

Das tDOM kann auf verschiedene Arten in entsprechender Software, z.B. Qgis, visualisiert werden. Eine simple und logische Darstellung ist die Verwendung der Farben Blau, Weiß und Rot, wobei Punkte, die keinen oder einen geringen Höhenwert beschreiben weiß dargestellt werden, die Darstellung in positive Richtung rot erfolgt und in negativer blau. Ebenso hat es sich als sinnvoll erwiesen, das tDOM transparent darzustellen und über Luftbilder zu legen. Je nach Einsatzgebiet ist es angebracht, die Darstellung geringfügig anzupassen.

Mögliche Einsatzgebiete der tDOM in der Bayerischen Vermessungsverwaltung umfassen die Kontrolle des DOM auf Höhenfehler und Ausreißer, sowie die Fortführung des ATKIS und des ALKIS. Als Einsatzgebiete außerhalb der Bayerischen Vermessungsverwaltung sind unter anderem Bereiche der räumlichen Entwicklung und der Forstwirtschaft denkbar.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	2
Abbildungsverzeichnis	5
Abkürzungsverzeichnis	7
1. Einleitung	8
2. Datengrundlagen und Prozessierungskette	10
2.1 Beschreibung des DOM-Datensatzes und dessen Qualitätssicherung	10
2.2 Prozessierungskette des tDOM	14
2.3 Visualisierungsmöglichkeiten des tDOM	17
2.4 Qualität und Qualitätssicherung des tDOM	31
3. Praktische Anwendung des tDOM	34
3.1 Interpretationsmöglichkeiten des tDOM	34
3.1.1 Waldgebiet	35
3.1.2 Landwirtschaftlich genutzte Fläche	38
3.1.3 Gebäude	41
3.1.3.1 Wohngebiet	41
3.1.3.2 Gewerbegebiet	44
3.1.3.3 Innenstadt	46
3.1.4 Nicht interpretierbare Bereiche	47
3.2 Anwendungsbereiche des tDOM	48
3.2.1 Qualitätssicherung des DOM	48
3.2.1.1 Vergleich von Referenzflächen	48
3.2.1.2 Ausreißererkenung	49
3.2.2 Fortführung der Geobasisdaten	54
3.2.2.1 Fortführung des ALKIS	54
3.2.2.2 Fortführung des ATKIS	55
3.2.3 Weitere Anwendungsbereiche	56
3.2.3.1 Räumliche Entwicklung	56
3.2.3.2 Forstwirtschaft	58
4. Fazit und Ausblick	59

5. Danksagung60

6. Literaturverzeichnis61

7. Anhang62

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1: Eine Kachel des DOM, dargestellt in Schrägansicht

Abb. 2-2: Skizzenhafte Darstellung des Erstellungsprozesses des tDOM

Abb. 2-3: Darstellung einer Kachel des tDOM in Grauwerten

Abb. 2-4: Darstellung des tDOM in Grauwerten mit Qgis

Abb. 2-5: Von Qgis vorgegebene Werte zur Einfärbung des tDOM

Abb. 2-6: Darstellung des tDOM in den Farben Rot, Blau und Weiß

Abb. 2-7: Empfohlene Einstellung der Klassen

Abb. 2-8: Empfohlene Einfärbung der Klassen

Abb. 2-9: Darstellung des tDOM mit den beschriebenen Werten

Abb. 2-10: Einstellung zum Ausblenden der negativen Werte

Abb. 2-11: Darstellung des tDOM nur mit positiven Werten

Abb. 2-12: Farbeinstellung für Transparenz

Abb. 2-13: Transparente Darstellung des tDOM über ein Luftbild von 2016

Abb. 2-14: Einstellung für einen Schwellenwert zum kappen geringer Höhenunterschiede

Abb. 2-15: Darstellung des tDOM mit Höhenänderungen ab 10m

Abb. 2-16: Einstellung für die Darstellung mit einem Farbverlauf

Abb. 2-17: Darstellung des tDOM mit einem Farbverlauf

Abb. 2-18: Vorgang zum Kopieren eines Stils

Abb. 2-19: Anwenden eines Stils auf mehrere Kacheln

Abb. 2-20: Rauschen und Ausreißer im tDOM

Abb. 2-21: Skizzenhafte Darstellung des Vorhangeffekts

Abb. 2-22: Auswirkung des Vorhangeffektes auf das tDOM

Abb. 2-23: Kontrollfläche im Luftbild und Darstellung im tDOM

Abb. 3-1: Darstellung eines Waldgebietes im tDOM über einem Luftbild von 2016

Abb. 3-2: Vergleich der Luftbilder eines Waldstücks

Abb. 3-3: Darstellung eines Waldstücks in tDOM über einem Luftbild von 2016

Abb. 3-4: Vergleich der Luftbilder eines Waldstücks

Abb. 3-5: Darstellung einer landwirtschaftlich genutzten Fläche im tDOM über einem Luftbild von 2016

-
- Abb. 3-6:** Vergleich der Luftbilder einer landwirtschaftlichen Fläche
- Abb. 3-7:** Darstellung eines Wohngebietes im tDOM über einem Luftbild von 2016
- Abb. 3-8:** Abgerissene Gebäude im tDOM und in Luftbildern
- Abb. 3-9:** Änderungen an Bäumen im tDOM und in Luftbildern
- Abb. 3-10:** Neubauten im tDOM und in Luftbildern
- Abb. 3-11:** Abriss & Neubau im tDOM und in Luftbildern
- Abb. 3-12:** Übersicht über ein Gewerbegebiet im tDOM über einem Luftbild von 2016
- Abb. 3-13:** Vergleich der Luftbilder einer neu gebauten Halle
- Abb. 3-14:** Vergleich zweier Luftbilder mit Abriss und Neubau
- Abb. 3-15:** Innenstadt von Deggendorf im tDOM über einem Luftbild von 2016
- Abb. 3-16:** Neubau eines Parkplatzes
- Abb. 3-17:** Bildrauschen im tDOM an Gewässeroberflächen
- Abb. 3-18:** Kontrollflächen für Höhenfehler
- Abb. 3-19:** Ausreißer in tDOM visualisiert
- Abb. 3-20:** Ausreißer an Bäumen, Darstellung des tDOM über einem Luftbild
- Abb. 3-21:** Farbliche Einteilung der Höhenwerte des tDOM
- Abb. 3-22:** Ausreißer an Bäumen, Darstellung des tDOM in verschiedenen Farben
- Abb. 3-23:** Markierte Neubauten in einem Wohngebiet
- Abb. 3-24:** Änderungen in der Vegetation und Auswirkung auf die DTK
- Abb. 3-25:** Räumliche Entwicklung in einer Ortschaft
- Abb. 3-26:** Entwicklung eines Waldgebiets

Abkürzungsverzeichnis

ADBV	Amt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung
ALKIS	Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
DFK	Digitale Flurkarte
DGM	Digitales Geländemodell
DOM	Digitales Oberflächenmodell
DTK	Digitale Topographische Karte
LDBV	Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung Bayern
TIN	Triangulated Irregular Network, unregelmäßiges Dreiecksnetz
tDOM	Zeitdifferenz – Oberflächenmodell

1. Einleitung

Seit 1985 werden am Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung (LDBV) flächendeckend Luftbilder des Freistaates Bayern erfasst und verarbeitet. Seitdem haben sich die technischen Möglichkeiten zur Aufnahme und Weiterverarbeitung von Luftbildern deutlich entwickelt. Im Jahr 2008 erfolgte der Wechsel von analogen zu digitalen Luftbildkameras. Erst die hohe radiometrische Auflösung (Farbtiefe) und das bessere Signal-Rausch-Verhältnis der digitalen Luftbilder erlauben neuen Algorithmen, den Informationsgehalt der Luftbilder voll auszuschöpfen. (Stolz, 2013)

Eines der wichtigsten Folgeprodukte der Luftbilder ist das Digitale Oberflächenmodell (DOM). Digitale Oberflächenmodelle sind geometrische Abbildungen der Erdoberfläche, die das Landschaftsmobiliar, wie z. B. Vegetation oder Gebäude mit einschließen. Bisher wurden die DOM durch Airborne Laserscanning oder flugzeug- und satellitengestützte Radarsysteme erzeugt. Innerhalb der letzten Jahre hat sich durch die rasante technische Entwicklung im Bereich des maschinellen Sehens (Computer Vision) eine weitere Methode zur Erfassung von DOM herauskristallisiert. Mit Hilfe effizienter Bildkorrelationsverfahren haben Geodatenproduzenten nun die Möglichkeit, DOM aus den Luftbildern einer photogrammetrischen Befliegung abzuleiten. (Ebd.)

Aus dem DOM lassen sich wiederum weitere Produkte, wie z.B. das True Orthophoto, das normalisierte DOM und 3D-Gebäudemodelle, ableiten. Das True Orthophoto ist eine Draufsicht auf das DOM, die alle Objekte auf der Erdoberfläche in einer Orthogonalprojektion senkrecht von oben darstellt. Das normalisierte DOM ist eine Differenz zwischen DOM und DGM. Die Geländeoberfläche ist dabei als Ebene abgebildet, nur Objekte wie z.B. Gebäude oder Vegetation weisen eine Höhe auf. 3D-Gebäudemodelle sind stilisierte, dreidimensionale Abbildungen von Gebäuden. Ein weitere Entwicklung, welche am LDBV seit dem Jahr 2016 versuchsweise hergestellt wird, ist das Zeitdifferenz-Oberflächenmodell (tDOM). Das tDOM wird aus der Differenz zweier zeitlich unterschiedlicher DOM berechnet und visualisiert die Höhenänderungen, welche zwischen den beiden DOM stattgefunden haben.

Im Rahmen dieser Arbeit wird der Herstellungsprozess und die praktische Anwendung des tDOM beleuchtet. Zunächst werden in Kapitel 2 die Datengrundlagen, welche der Erstellung des tDOM dienen, erläutert und der Erstellungsprozess des tDOM aufgezeigt. Die Vorgehensweise zur Darstellung des tDOM in der Software Qgis wird Schrittweise erklärt und soll damit auch als Hilfestellung für Erstanwender des tDOM dienen. In Kapitel 3 wird anhand von Beispielen auf die Darstellung verschiedener landschaftlicher Gebiete und Möglichkeiten der Interpretation des tDOM eingegangen. Abschließend werden noch mögliche Einsatzgebiete des tDOM an der Bayerischen Vermessungsverwaltung gezeigt und Überlegungen zum Einsatz bei externen Anwendern angestellt.

Diese Arbeit soll einen Einblick in das tDOM und dessen Potential geben und damit als Grundlage für die weitere Entwicklung und Verbesserung des tDOM dienen.

2. Datengrundlagen und Prozessierungskette

Im Folgenden wird kurz auf die Erstellung des DOM und dessen Qualitätssicherung eingegangen, da es die Datengrundlage zur Berechnung des tDOM darstellt. Anschließend wird der Vorgang zur Erstellung des tDOM erläutert und die Möglichkeiten zur Darstellung der gewonnenen Daten beschrieben. Ebenso wird auf die Qualitätssicherung des tDOM eingegangen.

2.1 Beschreibung des DOM-Datensatzes und dessen Qualitätssicherung

DOM steht für Digitales Oberflächenmodell. Ein DOM bildet, im Gegensatz zu einem Digitalen Geländemodell (DGM), welches nur die Geländeoberfläche darstellt, die gesamte Erdoberfläche inklusive der darauf befindlichen Gebäude und Vegetation ab. Im Speziellen handelt es sich hier um ein bildbasiertes Digitales Oberflächenmodell. Darunter versteht man ein DOM, welches mit Hilfe von Bildkorrelationsverfahren aus den Luftbildern einer photogrammetrischen Befliegung abgeleitet wurde.

Bisher war die Fläche des Freistaates Bayern dafür in drei Gebiete mit jeweils 23-30 Losen unterteilt. Diese Lose unterteilten sich wiederum in 1 km x 1 km große Kacheln, welche die Grundlage zur weiteren Verarbeitung darstellen. Jährlich fand die Befliegung eines der drei Gebiete statt, ganz Bayern wurde demnach im 3-Jahrs-Zyklus erfasst. Seit dem Jahr 2017 findet die Befliegung in einem 2-Jahres-Zyklus statt.

Der Ausgangsdatsatz für die Ableitung des DOM ist ein Verband von digitalen Luftbildern, der mit speziellen Luftbildkameras von einem Messflugzeug aus aufgenommen wurde. Der Bildverband besteht aus relativ zueinander und absolut im Landeskoordinatensystem orientierten Luftbildern, welche das Projektgebiet vollständig abdecken und sich zueinander in einem bestimmten Verhältnis längs und quer zur Flugrichtung überlappen. Anschließend wird jedes Stereobildpaar in ein Ausgangsbild (Referenzbild) und ein Suchbild (Matchingbild) eingeteilt und jedem Pixel im Ausgangsbild das korrespondierende Pixel im Suchbild aufgrund

eines Ähnlichkeitswertes zugeordnet. Das Ergebnis ist eine unregelmäßige Punktwolke der in den Luftbildern abgebildeten Objekte. Durch einen weiteren Interpolationsschritt wird aus dieser Punktwolke ein regelmäßiges Gitter gerechnet, das digitale Oberflächenmodell. (Stolz, 2013)

Zur Verdeutlichung ist in Abbildung 2-1 eine Kachel des DOM zu sehen.



Abb. 2-1: Eine Kachel des DOM, dargestellt in Schrägansicht

Am LDBV wird das DOM anschließend einer Qualitätssicherung unterzogen, wobei folgende Merkmale überprüft werden:

Höhengenauigkeit an ausgewählten Flächen und Punkten

Die Überprüfung der Höhengengenauigkeit an ausgewählten Flächen und Punkten erfolgt über einen Abgleich der Höhen des DOM mit den Höhen des Digitalen Geländemodells (DGM) an ebenen Testflächen, wie z.B. an Fußballplätzen, und vorgegebenen Kontroll- und Passpunkten. Für jede Testfläche wird punktweise die Differenz zwischen DOM und DGM berechnet.

Als Ergebnis werden der Durchschnitt-Höhenversatz und die Standardabweichung vom Durchschnitt-Höhenversatz festgehalten. (Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung, 2016)

Lagefehler im Vergleich zur Digitalen Flurkarte (DFK) und an Projektgrenzen

Um einen groben Lageversatz im DOM zu erkennen, wird eine Schummerungsansicht des DOM mit dem Web Map Service der Digitalen Flurkarte (DFK) überlagert. An mehreren Gebäuden ohne Dachüberhang wird geprüft, ob die Traufe mit dem Grundriss in der DFK übereinstimmt. (Ebd.)

Prüfung auf Vollständigkeit

Die Prüfung auf Vollständigkeit beinhaltet die Prüfung der Anzahl der Kacheln pro Projektfläche sowie die Anzahl der Punkte pro DOM-Kachel. (Ebd.)

Mängeln aus der Bildflugabnahme

Durch Sichtkontrolle werden die Luftbilder auf Unschärfe, Wolken, Schatten, Reflexionen, etc. geprüft. Werden Mängel erkannt wird geprüft, ob sie zu Fehlern im DOM führen. (Ebd.)

Überlappungsbereich bei mehreren Flugtagen

Wurde eine Projektfläche an mehreren Tagen befliegen, so sind besonders die Kacheln in den Überlappungsbereichen der Flugtage zu prüfen. Untersucht werden sie dabei auf vollständige Abdeckung, größere sichtbare Mängel und Höhenversatz zwischen den Flugtagen. Stehen für Kacheln im Überlappungsbereich Luftbilder aus mehreren Flugtagen zur Verfügung, muss entschieden werden, welcher der geeigneteren zur Ableitung des DOM ist. Dies geschieht z.B. anhand des Sonnenstandes, der Bildmittelpunkte und weiterer Merkmale. Ist eine Entscheidung nicht möglich wird für jeden Flugtag die DOM-Kachel produziert. Anhand einer Sichtkontrolle des DOM wird dann entschieden, welcher Flugtag für die DOM-Ableitung herangezogen wird. (Ebd.)

Höhenausreißer

Zur Erkennung von Höhenausreißern im DOM wird eine sog. globale Kontrolle mit Hilfe eines in Python geschriebenen Skripts durchgeführt. Jede Kachel einer Projektfläche wird mittels dieses Skripts automatisch geprüft und es wird eine Liste der DOM-Kacheln samt Seitansichten ausgegeben, in denen potenzielle Höhenausreißer vermutet werden. Zur Beurteilung, ob tatsächlich Höhenausreißer in den gefundenen DOM-Kacheln vorliegen, werden die Seitansichten und ggf. die Kacheln in CloudCompare, einem Programm zur Darstellung von

Punktwolken, visuell geprüft. (Ebd.)

Durch die Qualitätskontrolle am LDBV wird die amtliche Qualität des DOM sichergestellt. Die Qualitätsmerkmale des DOM werden im Folgenden genauer erklärt.

Digital

Der gesamte DOM-Produktionsprozess läuft digital ab. (Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung, 2016)

Vollständigkeit

Das Staatsgebiet Bayerns wird zeit dem Zyklus 2009 – 2011 flächendeckend erfasst. Zudem werden die DOM-Kacheln auf Datenlücken kontrolliert. (Ebd.)

Hohe zeitliche Auflösung und Aktualität

Die Erfassung erfolgt regelmäßig in einem 3-Jahres-Zyklus, ab 2017 in einem 2-Jahres-Zyklus, im Zeitraum von Mai bis September. (Ebd.)

Hohe geometrische Auflösung

Die Gitterweite des DOM beträgt 0,4m. Die Höhengenaugigkeit beträgt 1,5m, die Lagegenauigkeit 0,6 m. (Ebd.)

Hohe spektrale Auflösung

Die Aufnahme erfolgt in den Kanälen Rot, Grün und Blau (RGB) und dem nahen Infrarot (NIR). (Ebd.)

Zuverlässigkeit

Alle Daten werden der beschriebenen Qualitätskontrolle unterzogen und auf Fehler geprüft. (Ebd.)

Homogenität

Der DOM-Produktionsprozess wird für ganz Bayern einheitlich durchgeführt. (Ebd.)

Anwendungsneutral

Das DOM liegt im Standardformat .laz im amtlichen Bezugssystem vor. (Ebd.)

2.2 Prozessierungskette des tDOM

Der Begriff tDOM steht für Zeitdifferenz-DOM, das "t" für temporal. Das tDOM wird aus der Höhendifferenz den Oberflächenmodellen zweier zeitlich unterschiedlicher Befliegungen berechnet, z.B. einem DOM aus dem Jahr 2013 und einem DOM des selben Gebiets aus dem Jahr 2016. Im tDOM werden die Unterschiede zwischen den zwei DOM dargestellt.

Das DOM stellt hierbei die Grundlage zur Berechnung des tDOM dar. Die beiden verwendeten DOM liegen in 1km x 1km großen Kachel als Punktwolken in .laz-Dateien vor und sind, wie in Kapitel 2.1 beschrieben, auf ihre Qualität geprüft. Nun können sie mittels dem Programmpaket LAsTool des Gilchinger Unternehmens rapidlasso GmbH zu einem tDOM zusammengeführt werden. LAsTool ist eine Sammlung von Programmen zur Verarbeitung von Punktwolken.

Ein einfacher Weg, die oft großen Datenmengen zu verarbeiten, ist das Erstellen einer Stapelverarbeitungsdatei (Batch-Datei), welche auf das Unterprogramm lasheight.exe zugreift. Lasheight.exe ist ein Programm des LAsTool-Pakets, welches für die Berechnung von unregelmäßigen Dreiecksnetzen (TIN) verwendet wird. Mittels textverarbeitenden Programmen, z.B. Notepad+, kann die Befehlszeile kopiert und auf mehrere Dateien angewendet werden. Die Dateinamen sind entsprechend anzupassen. Folgende Textzeile ist die Befehlszeile für die Berechnung einer tDOM-Kachel:

```
lasheight.exe -i C:\...\DOM_2016.laz -ground_points C:\...\DOM2013.laz -replace_z -olas -odir C:\...
```

lasheight.exe -i greift dabei auf das Programm lasheight zu.

Über *C:\...* wird die .laz Datei des neueren DOM (2016) geladen.

Mit *-ground_points* wird das zweite DOM (2013), auf welches ebenso über *C:\...* zugegriffen wird, als Bodenpunkte klassifiziert.

Mit *-replace_z* werden die Höhenwerte des zuerst geladenen DOMs (2016) durch die relativen

Höhenwerte zu den Bodenpunkten, in diesem Fall das ältere DOM (2013), ersetzt.

-*olas* legt als Ausgabeformat .las fest.

-*odir* [C:\...](#) gibt an, wo die Ausgabedatei gespeichert wird.

Dabei wird das ältere DOM (2013) als Bodenpunkte klassifiziert, um dann die relative Höhe zum neueren DOM (2016) zu berechnen. Anschließend werden die Höhenwerte des neueren DOM mit den berechneten relativen Höhenwerten ersetzt. Das Ergebnis ist ein Oberflächenmodell, welches den Unterschied zwischen den beiden Ausgangs-DOM zeigt. Dabei haben im betrachteten Zeitraum unveränderte Punkte den Höhenwert 0, Punkte, welche im neueren Oberflächenmodell niedriger liegen als im älteren einen negativen Wert und Punkte, welche im neuen DOM höher liegen als im älteren einen positiven. Abbildung 2-2 verdeutlicht das.

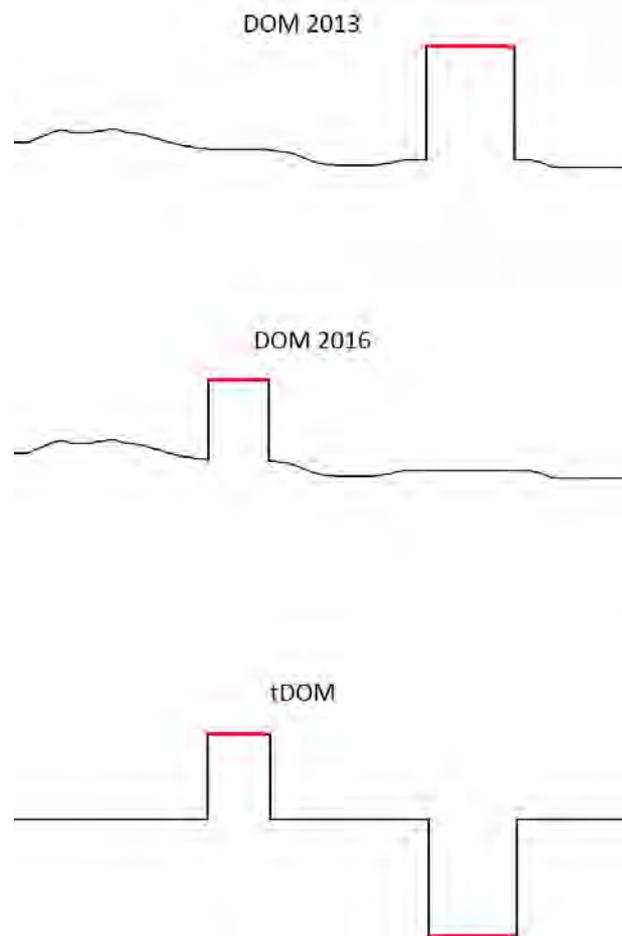


Abb. 2-2: Skizzenhafte Darstellung des Erstellungsprozesses des tDOM, oben das DOM des Jahres 2013, in der Mitte das DOM des Jahres 2016, unten der Unterschied zwischen den DOM, das tDOM

Das tDOM liegt nun als Punktwolke vor, deren Höhenwerte dem Unterschied zwischen den beiden Ausgangs-DOM entsprechen. Zur einfacheren praktischen Anwendung wird mit Hilfe des Programmes `las2dem.exe` aus der Punktwolke eine Bilddatei gerechnet. `Las2dem` ist ein Programm, welches aus Punktwolken ein temporäres TIN erstellt, um dann aus diesem TIN ein Oberflächenmodell als Rasterdatei zu rechnen. Auch hier kann eine Stapelverarbeitungsdatei benutzt werden. Um mehrere Dateien zu verarbeiten kann die Befehlszeile kopiert werden, wobei die Dateinamen je Zeile anzupassen sind.

```
las2dem.exe -i C:\...\tDOM.las -step 0.4 -nrows 2500 -ncols 2500 -otif -odir C:\...
```

las2dem.exe -i greift auf das Program `las2dem` zu.

Über `C:\...` wird die zu verarbeitende Datei gewählt.

`-step` gibt die Bodenpixelgröße in Metern an.

`-nrows` und `-ncols` gibt die Anzahl der Zeilen und Spalten der Bilddatei an.

`-otif` legt das Ausgabeformat `.tif` fest.

`-odir C:\...` gibt den Speicherort der fertigen Datei an.

In diesem Fall wird aus der gewählten LAS-Datei eine 2500x2500 Pixel große Tif-Datei mit einer Bodenauflösung von 40cm je Pixel erstellt. Abbildung 2-3 zeigt eine solche Rasterdatei. Die Bilddatei ist eine Draufsicht mit Nadirblick auf das Oberflächenmodell, also ohne Umklappeffekte zum Rand hin. Die Höhen der einzelnen Bildpunkte sind als Grauwerte wiedergegeben. In entsprechenden Programmen kann die Darstellung der Bilddatei nun für verschiedene Anwendungsfälle angepasst werden.



Abb. 2-3: Darstellung einer Kachel des tDOM in Grauwerten

2.3 Visualisierungsmöglichkeiten des tDOM

Die im vorhergehenden Kapitel erstellte Tif-Datei lässt sich nun in entsprechenden Programmen darstellen. Im diesem Kapitel wird eine Erklärung zur weiteren Benutzung des tDOM gegeben und verschiedene Möglichkeiten zur Visualisierung aufgezeigt. Für die Beispiele wurde das freie Programm Qgis verwendet, es kann jedoch jede vergleichbare Software genutzt werden.

Nachdem das Programm gestartet wurde kann durch die Funktion *Rasterlayer hinzufügen* eine oder mehrere Bilddateien in das Programm geladen werden. Zunächst werden diese in Grauwerten angezeigt (siehe Abbildung 2-4).

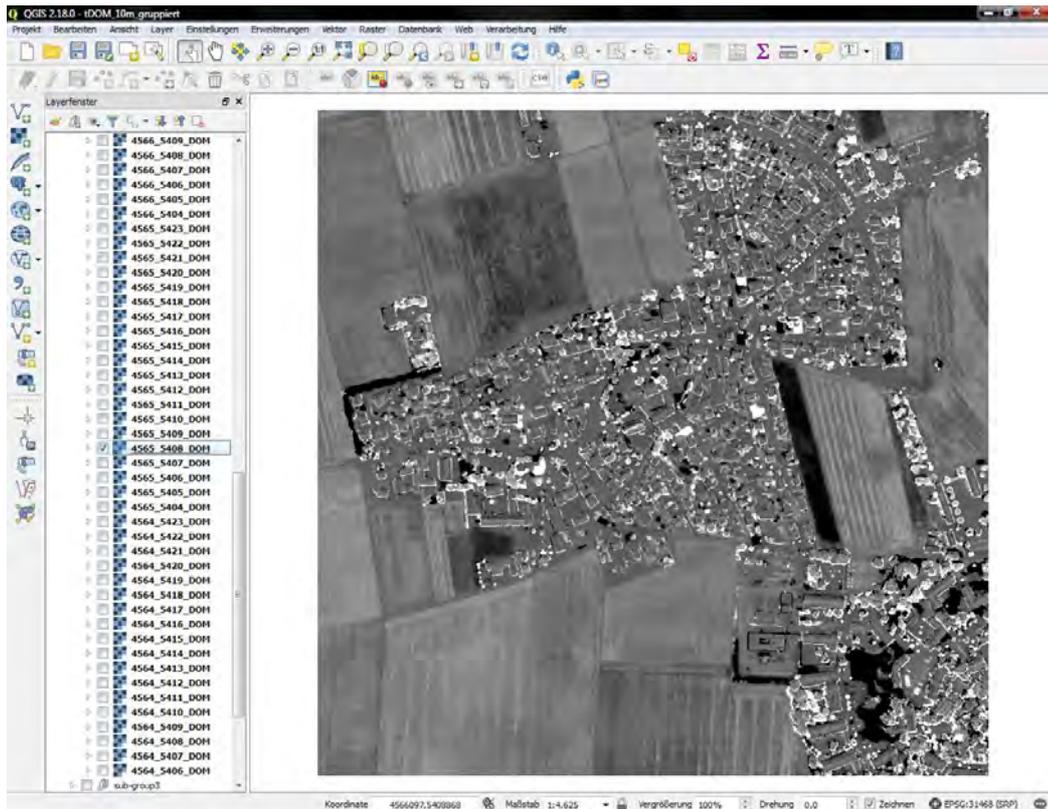


Abb. 2-4: Darstellung des tDOM in Grauwerten mit Qgis

Durch einen Rechtsklick auf die gewünschte Datei im Layerfenster kann der Unterpunkt *Eigenschaften* gewählt werden. Dort ist im Reiter *Stil* im Dropdown-Menü *Darstellungsart* der Punkt *Einkanalpseudofarbe* zu wählen. Als Kanal wird Kanal 1 der Bilddatei angegeben. Im Dropdown-Menü *Farbe* kann die farbliche Darstellung der Bilddatei gewählt werden.

Zu empfehlen ist ein Farbverlauf, welche von einem Mittelwert aus zu positiven und negativen Werten hin in zwei Farben übergeht. In Qgis gibt es die Darstellungsart *RdBu*, bei welcher die mittlere Farbe Weiß ist und sich die Farben in positive Richtung ins Rote übergeht, in negativer Richtung ins Blaue. Eine derartige Darstellung ist übersichtlich, vereinfacht die Unterscheidung von Änderungen in positiver und negativer Richtung und erleichtert damit die Interpretation der tDOM.

In folgenden Grafiken sind die Menüwerte (Abbildung 2-5) und das daraus folgende Resultat (Abbildung 2-6) zu sehen. Die dargestellten Zahlenwerte sind hier als Meter zu betrachten und geben die Höhenwerte der jeweiligen Punkte in tDOM an und damit die Änderung der Höhenwerte zwischen den zwei betrachteten DOMs.

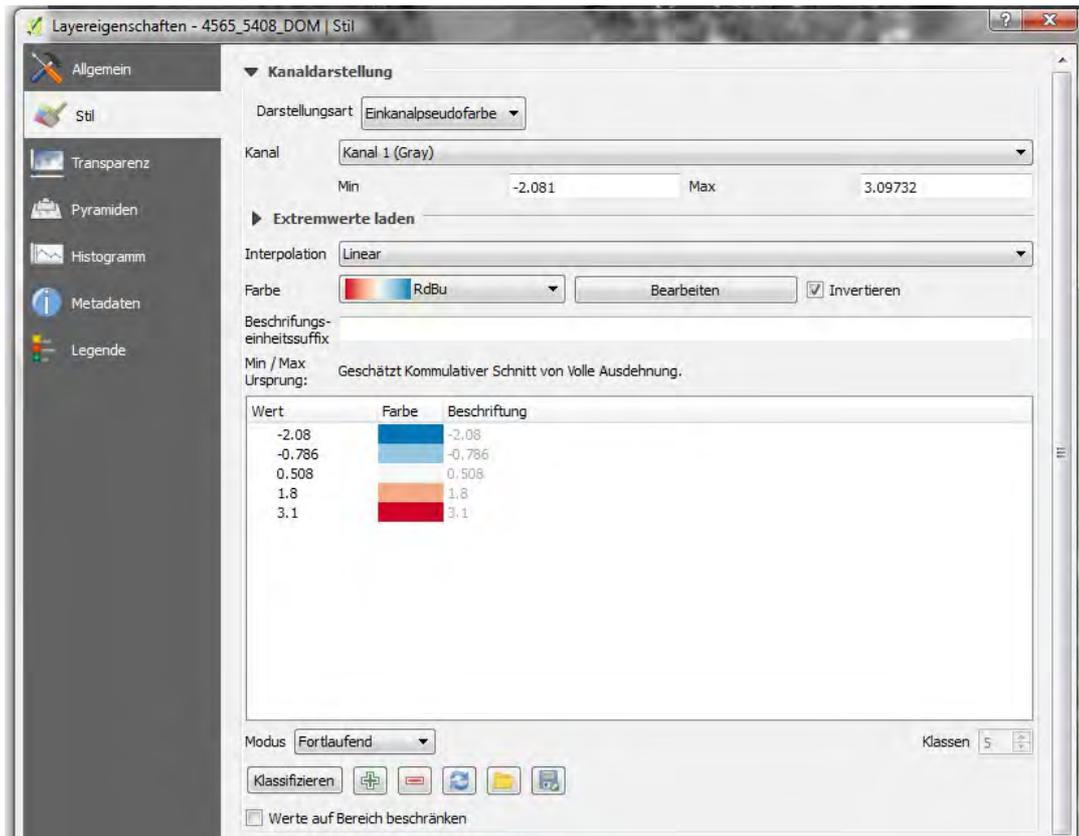


Abb. 2-5: Von Qgis vorgegebene Werte zur Einfärbung des tDOM

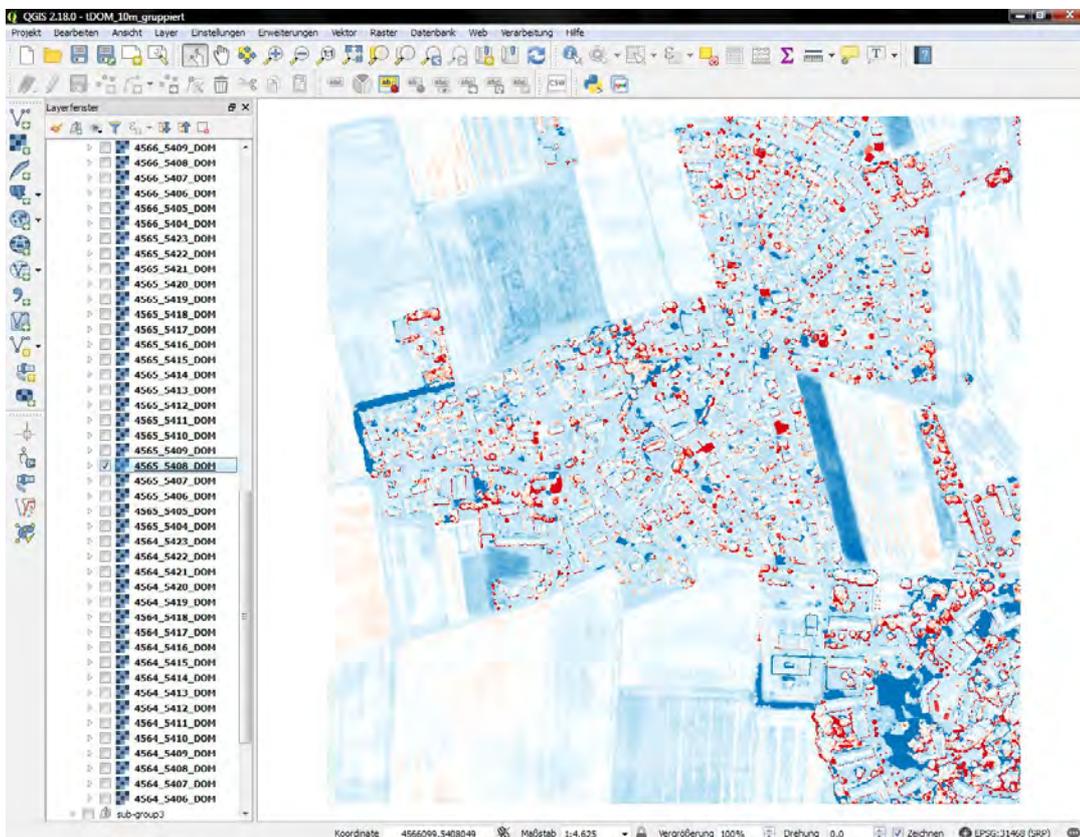


Abb. 2-6: Darstellung des tDOM in den Farben Rot, Blau und Weiß

Diese Darstellung kann weiter verbessert werden. Unter dem Dropdown-Menü *Modus* ist der Punkt *Gleiches Intervall* zu wählen. Die Anzahl der Klassen kann auf 3 reduziert werden (siehe Abbildung 2-7).

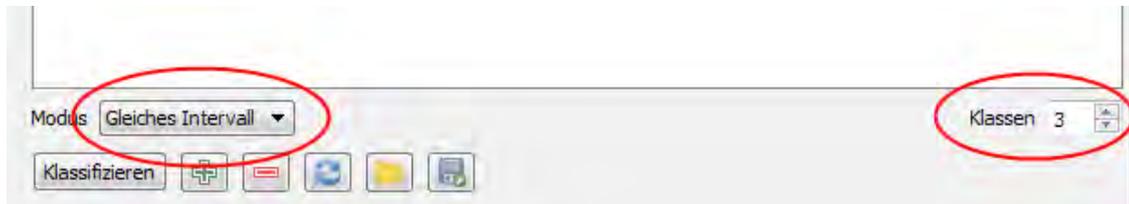


Abb. 2-7: Empfohlene Einstellung der Klassen

Anschließend wird der mittleren Farbe, in diesem Fall Weiß, der Wert 0 gegeben. Die Grenzwerte für die Einfärbung in Rot und Blau sind auf gleiche Werte, beispielsweise +5 und -5, festzulegen (siehe Abbildung 2-8).

Wert	Farbe	Beschriftung
-5		-5
0		0
5		5

Abb. 2-8: Empfohlene Einfärbung der Klassen

Die Folge daraus ist, dass Pixel mit einem Höhenwert von 0m weiß eingefärbt werden. In negative und positive Richtung steigt die Sättigung, bis sie bei +5m bzw. -5m ihren maximalen Wert erreicht. Höhenwerte im tDOM, welche +5m bzw. -5m übersteigen, werden mit voller Sättigung eingefärbt. Diese Art der Darstellung erleichtert die Interpretation, indem sich die Höhenänderungen, die tDOM darstellt, besser in ihrer Größe einschätzen lassen. Ebenso werden nun Objekte, an denen keine Höhenänderung stattgefunden hat, weiß dargestellt. In Abbildung 2-9 ist das Ergebnis zu sehen.

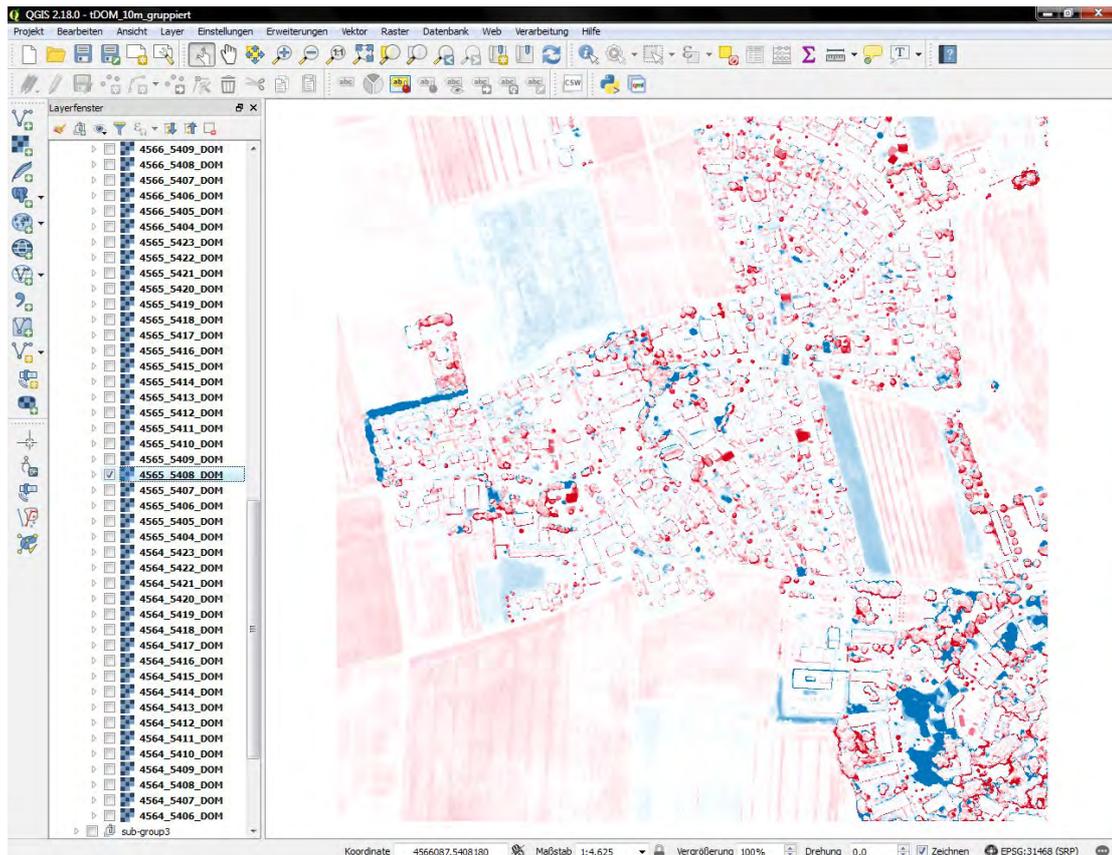


Abb. 2-9: Darstellung des tDOM mit unterschiedlicher Einfärbung für positive (rot) und negative (blau) Werte

Je nach Anwendungsfall können diese Grenzwerte beliebig geändert werden. Beispielsweise sind bei einer Darstellung mit Grenzwerten für die maximale Sättigung von 5m in positiver und negativer Richtung alle Änderungen, welche diesen Wert übersteigen, voll eingefärbt. Es ist keine Unterscheidung zwischen einer Änderung von z.B. 5m und 20m möglich. So kann es sinnvoll sein, die Grenzwerte auf einen höheren Wert festzulegen. Im Umkehrschluss gehen bei einer Darstellung mit hohen Grenzwerten für die Sättigung Details verloren, da kleinere Höhenänderungen weiß dargestellt werden. In Kapitel 3.1 werden dazu Beispiele gezeigt und Empfehlungen gegeben.

Ebenso ist es möglich, ausschließlich Änderungen in positiver oder negativer Richtung anzuzeigen. Durch einen Doppelklick auf die zu ändernde Farbe kann diese manuell angepasst werden. In folgendem Beispiel wird die Farbe Blau zu Weiß geändert. Dadurch werden auch negative Werte weiß eingefärbt und nur positive Werte werden farbig dargestellt. Zudem wurde der Grenzwert auf 10m erhöht. Der Vorgang ist in Abbildung 2-10 gezeigt.

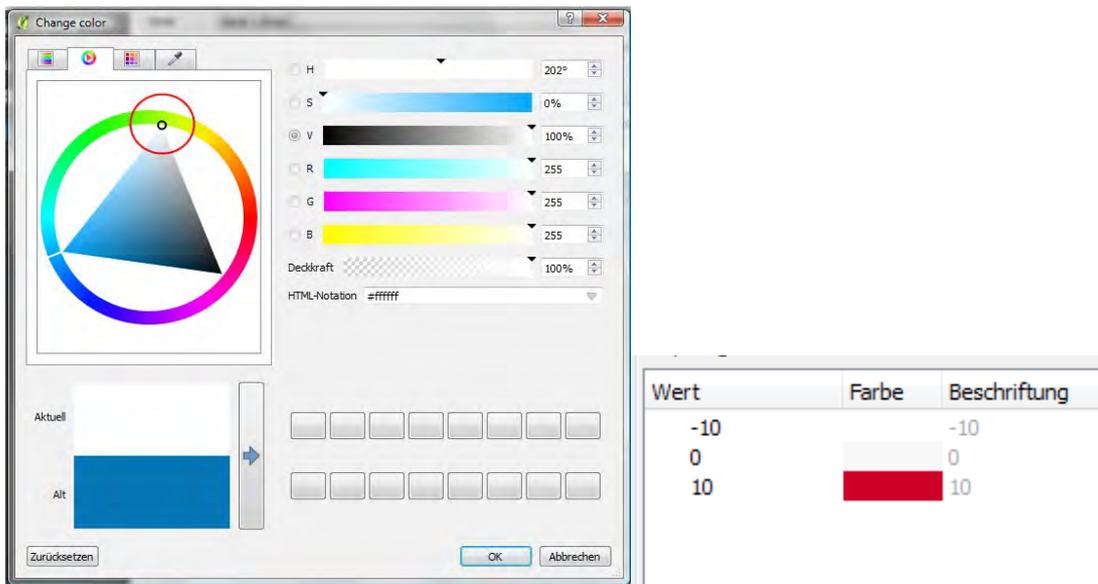


Abb. 2-10: Einstellung zum Ausblenden der negativen Werte

Es werden alle Änderungen mit einem Wert kleiner oder gleich 0 weiß eingefärbt, zwischen den Werten 0 und 10 steigt die Sättigung der roten Einfärbung und alle Werte gleich oder größer 10 werden in voller Sättigung rot dargestellt. Analog dazu können auch nur negative Werte dargestellt werden. Diese Art der Darstellung verbessert die Übersichtlichkeit, falls nur Höhenänderungen in eine Richtung untersucht werden. Das Ergebnis ist in Abbildung 2-11 zu sehen.

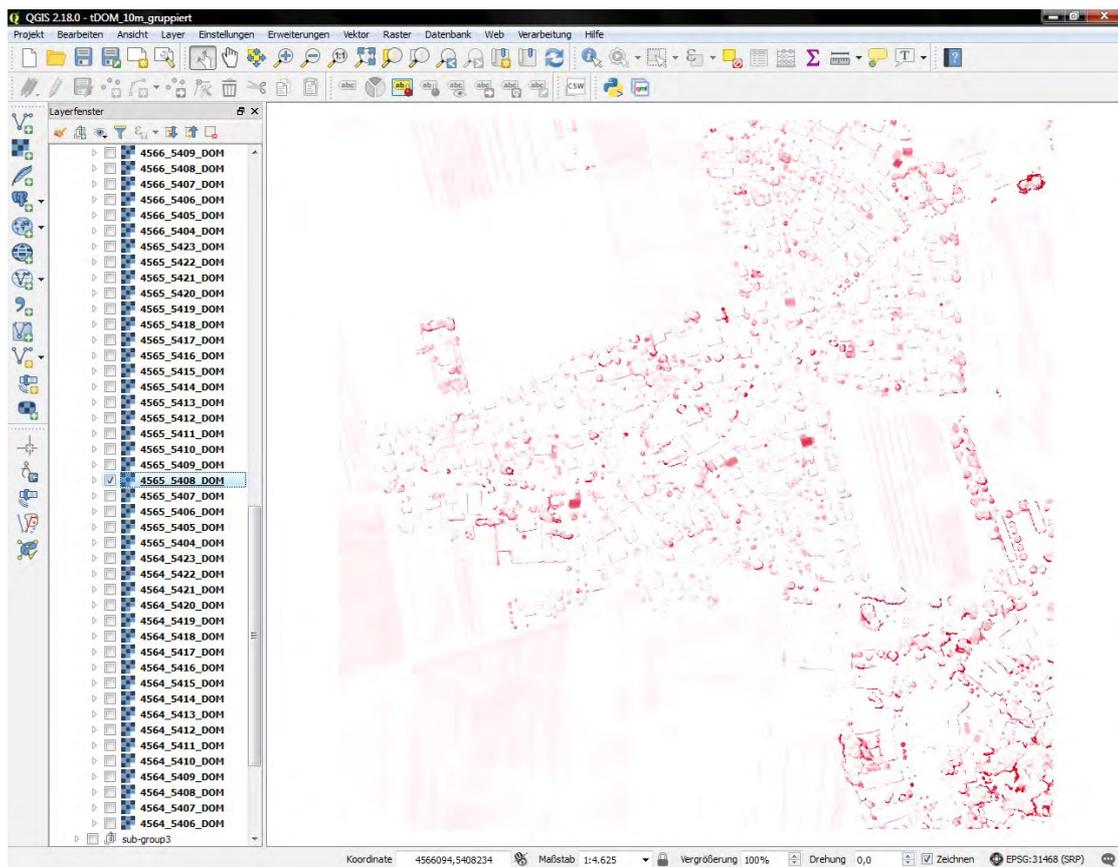


Abb. 2-11: Darstellung des tDOM nur mit positiven Werten

Für die praktische Verwendung von tDOM ist es oft sinnvoll, Luftbilder mit einzublenden. Luftbilder geben Informationen über das dargestellte Gebiet, z.B. Ob es sich um ein Wohngebiet oder Waldgebiet handelt, und damit die Art der Höhenänderung, z.B. der Neubau von Gebäuden. Dazu werden zunächst die Luftbilder als Rasterdateien in das Programm geladen und in Layern geordnet. Anschließend wird das tDOM transparent dargestellt. Als Ausgangsdaten dient die Einfärbung von tDOM in blauer und roter Farbe mit Grenzwerten von 5m in positiver und negativer Richtung, sowie ein Luftbild der selben Kachel aus dem Jahr 2016.

Im Menü Eigenschaften/Stil wird mit einem Doppelklick die weiße Farbe gewählt. Im sich öffnenden Menü kann die Deckkraft auf 0% gestellt werden. Der Vorgang ist in Abbildung 2-12 verdeutlicht.

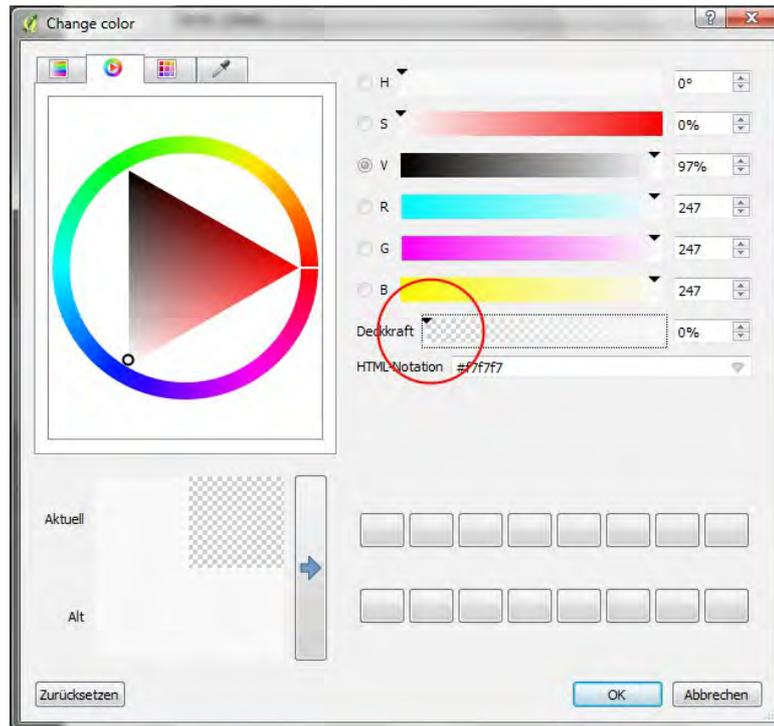


Abb. 2-12: Farbeinstellung für Transparenz

Bereiche mit dem Wert 0 werden transparent dargestellt, zu den Grenzwerten +5m und -5m hin nimmt nun sowohl die Sättigung, als auch die Deckkraft zu. Über das Luftbild gelegt sind nun nur die Änderungen je nach Ausprägung unterschiedlich stark zu sehen (siehe Abbildung 2-13).

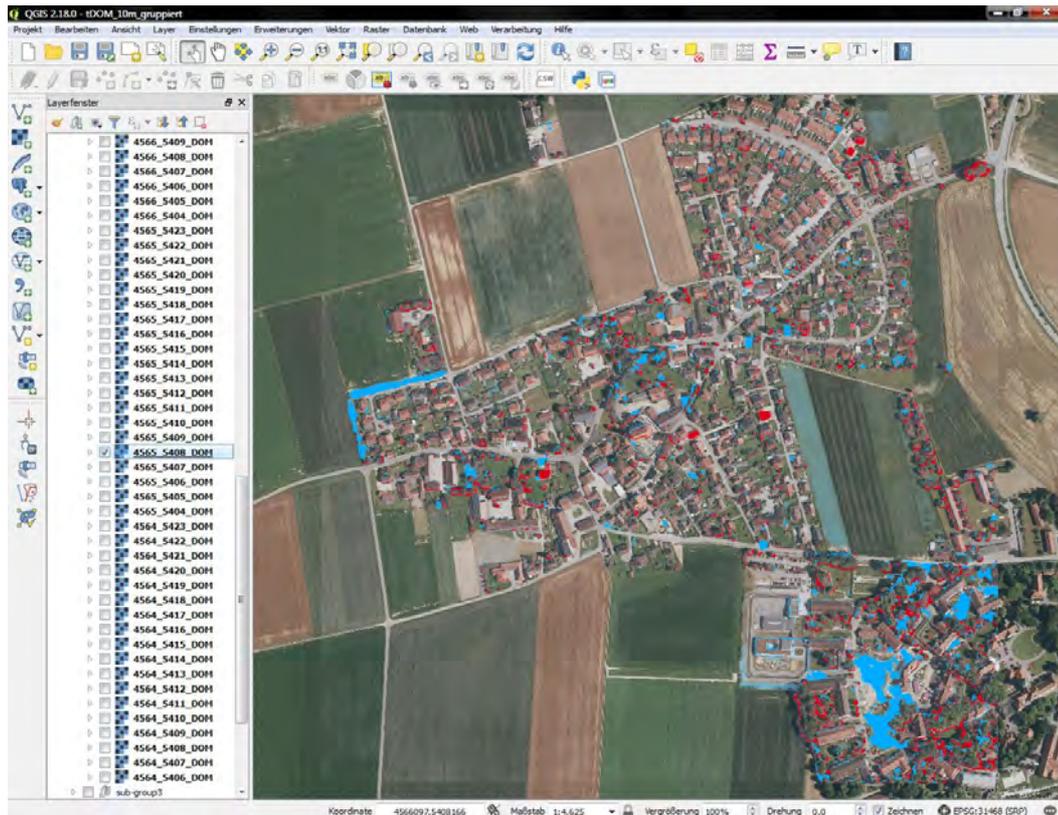


Abb. 2-13: Transparente Darstellung des tDOM über einem Luftbild von 2016

Wie bereits beschrieben kann der Stil des tDOM vom Nutzer beliebig geändert und auf spezielle Bedürfnisse angepasst werden. So ist es z.B. auch möglich, Werte unter einer bestimmten Größe zu kappen. Diese Art der Darstellung kann sinnvoll sein, wenn nur Höhenänderungen ab einer bestimmten Größe untersucht werden und kleine Details, die ansonsten die Interpretation erschweren, nicht eingeblendet werden sollen. Dazu wird die Anzahl der Klassen auf 5 gestellt. Die äußeren Grenzwerte werden nach Belieben festgelegt. In positiver und negativer Richtung wird jeweils eine weitere Farbe mit einem um einen kleinen Betrag geringeren Grenzwert hinzugefügt. Die drei mittleren Farbewerte werden transparent gestellt. In Abbildung 2-14 ist eine Einstellung gezeigt, die nur Höhenänderungen ab 10m voll darstellt.

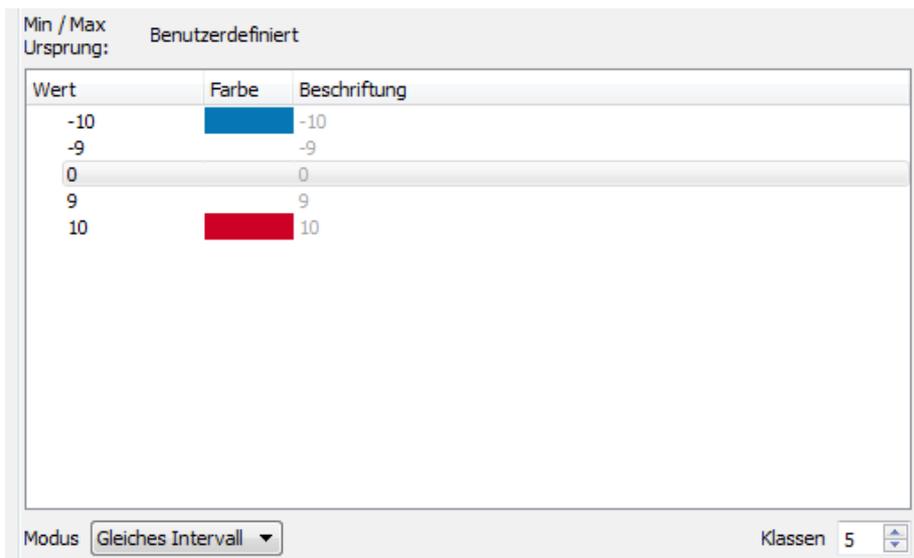


Abb. 2-14: Einstellung für einen Schwellenwert zum kappen geringer Höhenunterschiede

Durch diese Einstellung ergibt sich, dass das tDOM von 0 bis ± 9 m transparent eingefärbt wird und erst darüber hinaus die Deckkraft zunimmt. Höhenänderungen über 10m werden in voller Deckkraft dargestellt. Das Ergebnis ist in Abbildung 2-15 zu sehen.

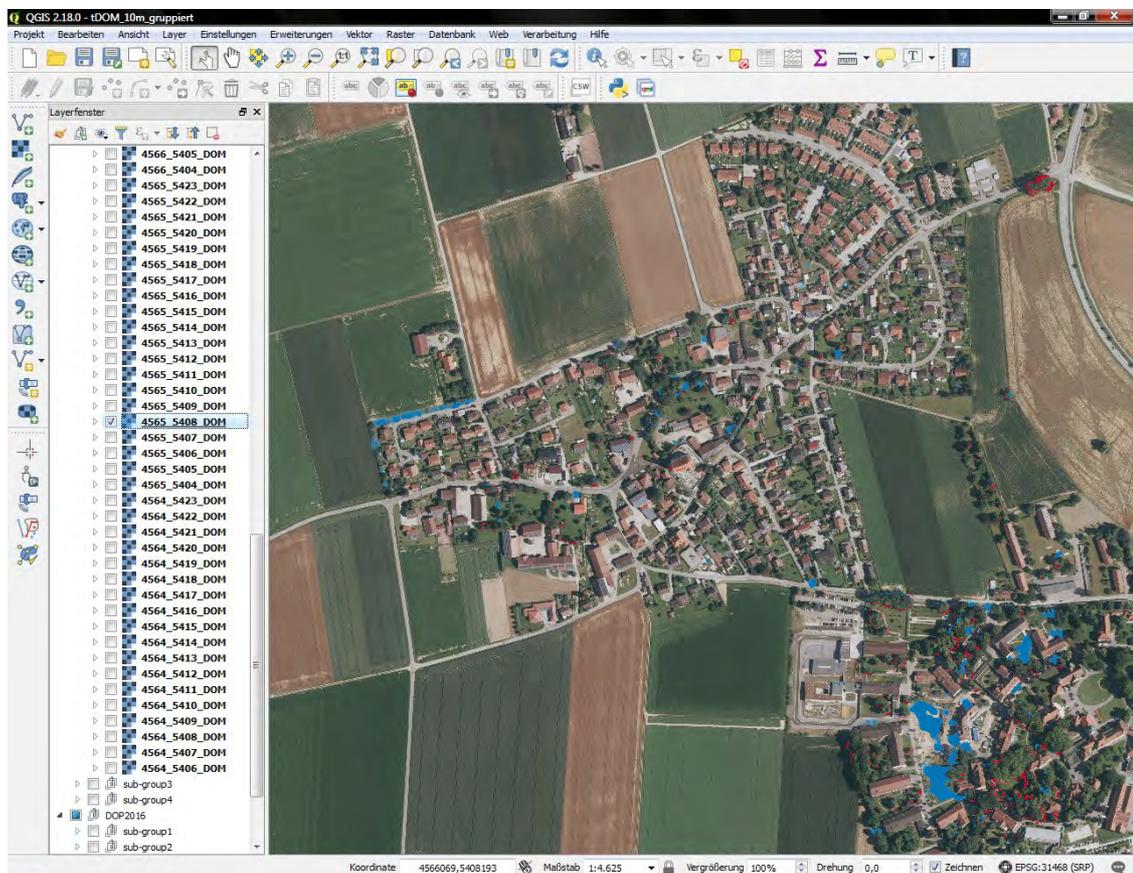


Abb. 2-15: Darstellung des tDOM mit Höhenänderungen ab 10m

Ebenso ist es möglich für spezielle Fälle eine gänzlich andere Visualisierung zu nutzen. Folgendes Beispiel kann der Erkennung von größeren Höhenänderungen, z.B. Ausreißern, dienen. Dabei wird eine Einfärbung ohne Transparenz benutzt, welche bis 30 Meter in einem dunklen Violett eingefärbt wird um dann in mehreren Stufen ins Gelbe überzugehen (siehe Abbildung 2-16). Negative Werte wurden hier außer Acht gelassen.

Wert	Farbe	Beschriftung
0		0
30		30
35		35
40		40
45		45
50		50
55		55
60		60

Modus: Fortlaufend Klassen: 5

Abb. 2-16: Einstellung für die Darstellung mit einem Farbverlauf

Als Ergebnis sieht man in Abbildung 2-17 eine violette Fläche, aus welcher in helleren Farbtönen bis hin zu Gelb starke Änderungen in positiver Richtung hervorstechen. Durch Vergleich mit der Farbtabelle lassen sich zudem grob die Höhen in der Darstellung bestimmen.

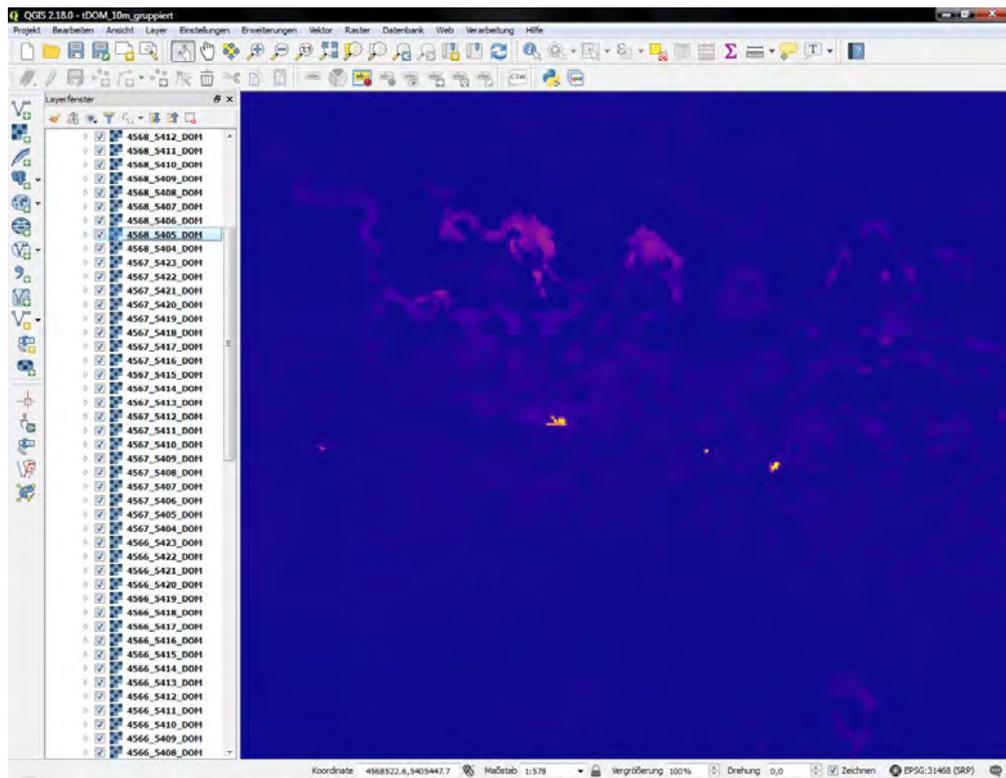


Abb. 2-17: Darstellung des tDOM mit einem Farbverlauf; dunkle Bereiche entsprechen geringer Höhenänderung, helle Bereiche einer starken Höhenänderung

Ein Stil lässt sich in Qgis auch auf mehrere Kachel anwenden. Dafür wird, wie in Abbildung 2-18 gezeigt, über einen Rechtsklick die Kachel mit dem zu kopierenden Stil gewählt und die Option *Stile -> Stil kopieren* benutzt. Ein kopierter Stil kann über *Stile -> Stil einfügen* auf eine andere Kachel angewendet werden.

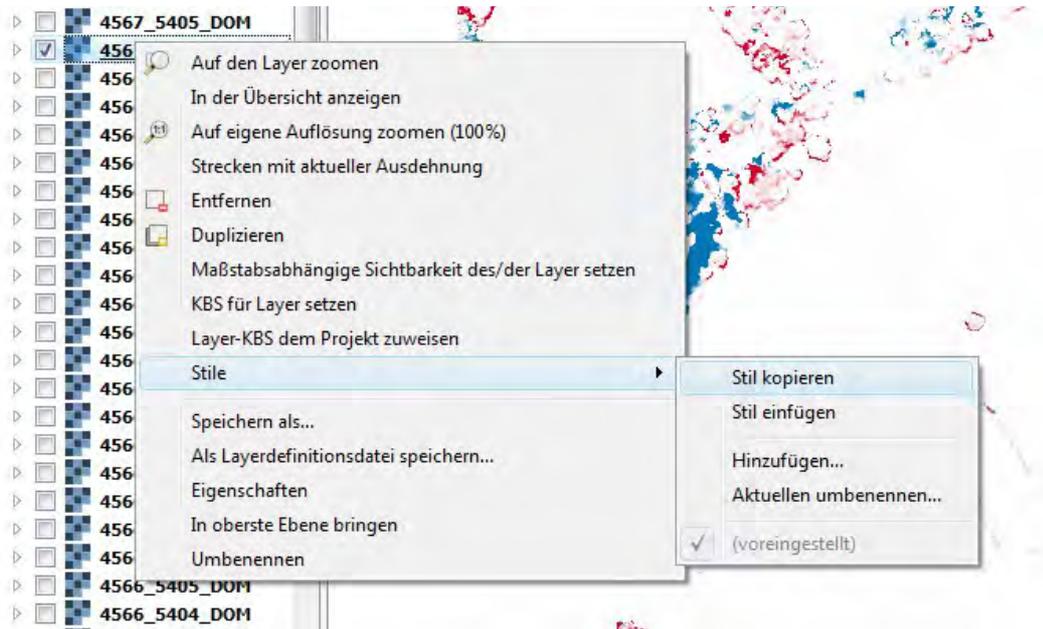


Abb. 2-18: Vorgang zum Kopieren eines Stils

Um einen Stil auf mehrere Kachel gleichzeitig anzuwenden, müssen diese Kacheln gruppiert sein. Dafür markiert man die gewünschten Kachel, wählt sie mit einem Rechtsklick an und wählt die Option *Gewählte gruppieren*. Anschließend wählt man die erstellte Gruppe mit einem Rechtsklick und aktiviert die Option *Stil einfügen*. Der Vorgang ist in der Abbildung 2-19 noch einmal verdeutlicht.

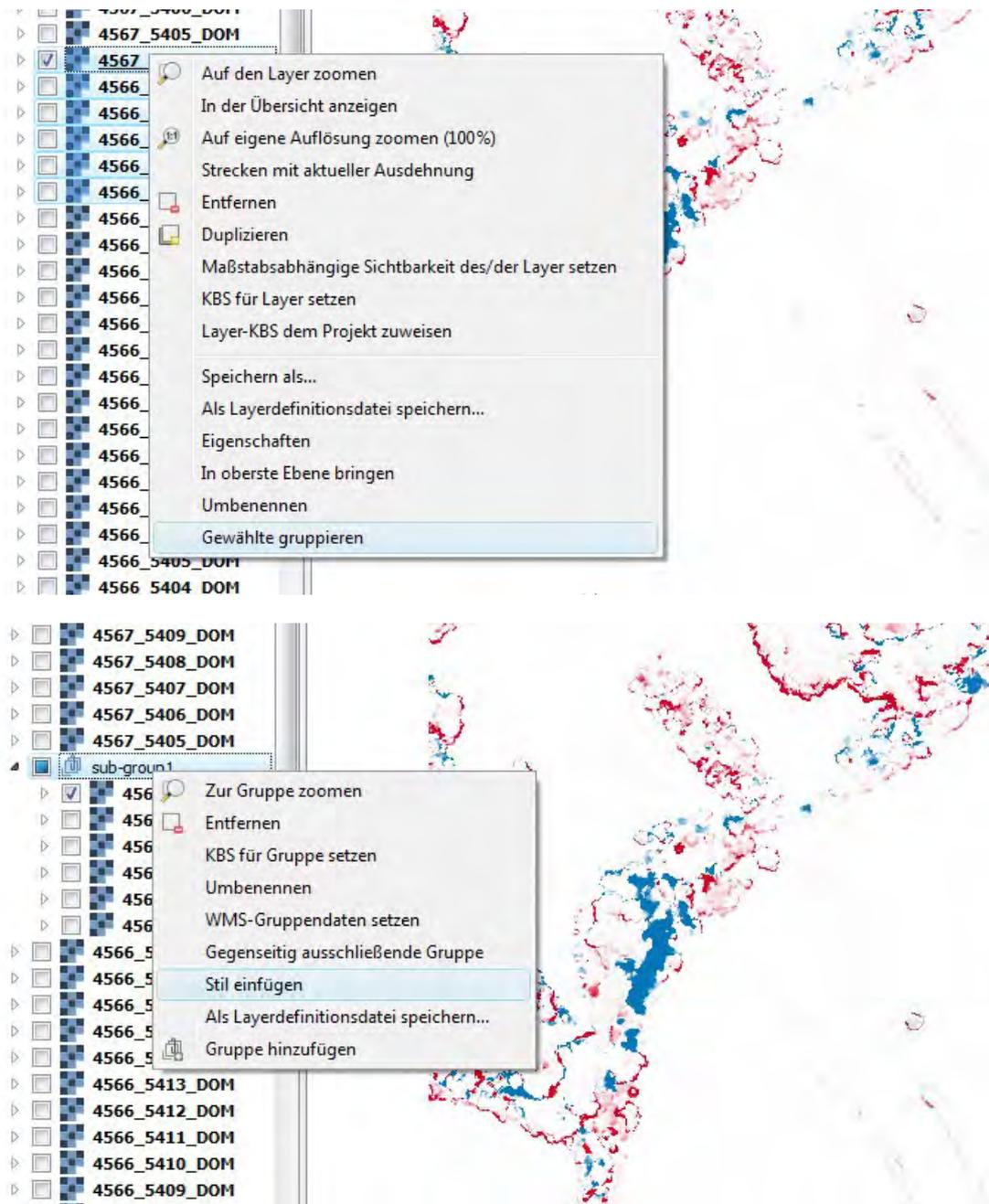


Abb. 2-19: Anwenden eines Stils auf mehrere Kacheln

2.4 Qualität und Qualitätssicherung des tDOM

Die Qualität der verwendeten DOM wirkt sich direkt auf die des tDOM aus. Die Höhengenaugigkeit entspricht der der verwendeten DOM, in diesem Fall 1,5m. Die Bodenpixelgröße beträgt 0,4m.

Fehler in den Ausgangs-DOM, z.B. Ausreißer, Unvollständigkeit, sowie Lage- und Höhenfehler, zeigen sich auch im tDOM. Ebenso sind Fehler, welche in den Ausgangs-DOM durch fehlerhafte Bildkorrelation entstehen, auch im tDOM vorhanden. Dabei handelt es sich um Rauschen auf Gewässerflächen und Ausreißer, wie in Abbildungen 2-21 dargestellt. Diese Fehler betreffen das tDOM nicht direkt, sondern sind in der Qualitätssicherung des DOM zu behandeln.

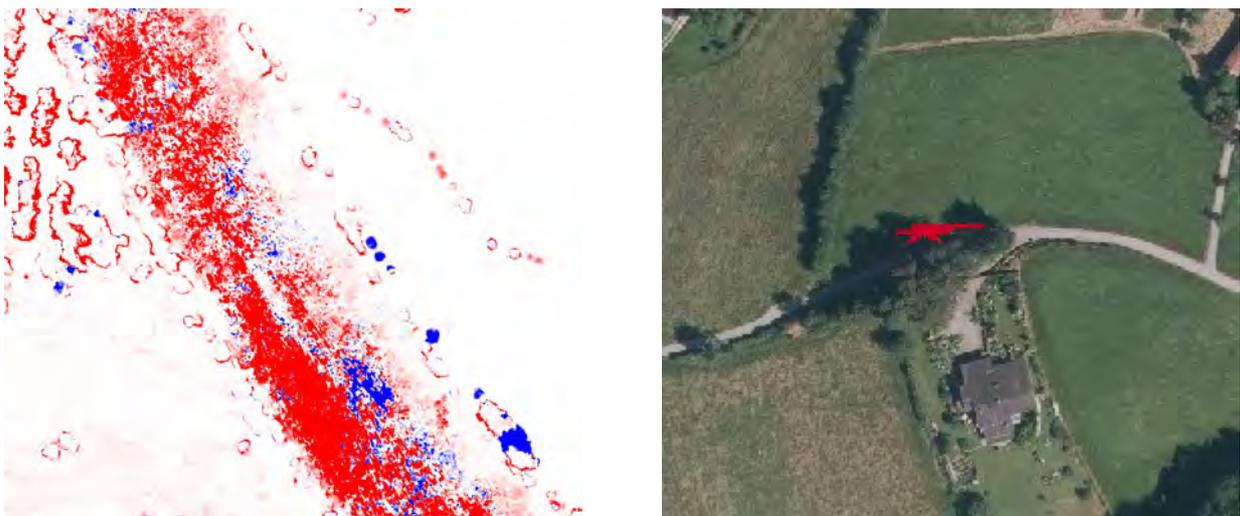


Abb. 2-20: Rauschen und Ausreißer im tDOM

Ein weiterer Fehler, welcher aus dem DOM hervorgeht, ist der Vorhangeffekt. Dieser entsteht durch sichttote Räume in den orientierten Luftbildern. Dadurch fehlen Bildinhalte für die Bildkorrelation und es entstehen Datenlücken in der Punktwolke des DOM. Durch die Interpolation werden diese Datenlücken unzureichend gefüllt und es entsteht ein sogenannter Vorhangeffekt, der in Abbildung 2-22 verdeutlicht wird. In Abbildung 2-23 ist die Auswirkung dieses Fehlers auf das tDOM zu sehen. Es bilden sich Ränder um hohe Kanten, z.B. Gebäude.

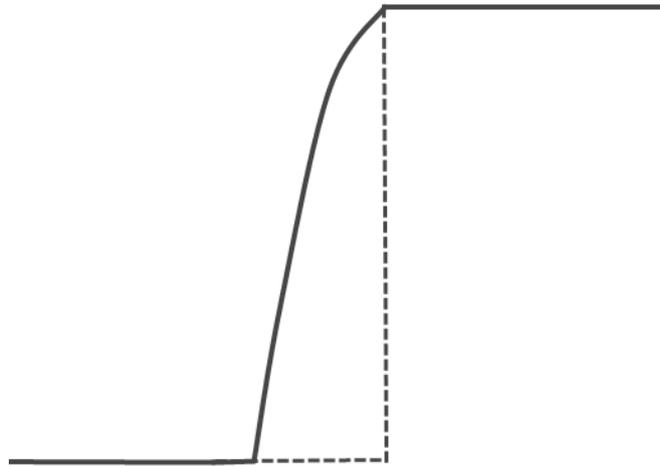


Abb. 2-21: Der Vorhangeffekt; die durchgehende Linie beschreibt das interpolierte DOM an einer senkrechten Wand, die gestrichelte Linie den Verlauf der Oberfläche in der Realität



Abb. 2-22: Auswirkung des Vorhangeffektes auf das tDOM: falsche Höhenunterschiede an Gebäudekanten

Wie in Kapitel 2.1 unter "Höhengenauigkeit an ausgewählten Flächen und Punkten" beschrieben wurde, werden Referenzflächen zur Kontrolle der Höhengengenauigkeit des DOM verwendet. Diese Flächen können auch zur Kontrolle des tDOM verwendet werden.

Die Grenzwerte für die maximale Deckkraft werden dabei niedrig angesetzt, z.B. 2M – 3m, und die Referenzflächen per Sichtkontrolle geprüft. Zeigt die Referenzfläche eine Einfärbung besteht entweder ein Höhenfehler in den Oberflächenmodellen, aus welchen tDOM berechnet wurde, oder ein Fehler in der Berechnung des tDOM. Zeigt sich keine Einfärbung, besteht kein Fehler. Es empfiehlt sich, mehrere Kontrollflächen zu untersuchen, da Änderungen an der Fläche, wie z.B. der Austausch des Rasens, zwischen den Jahrgängen stattgefunden haben können.

Abbildung 2-24 zeigt das Luftbild und das tDOM eines Fußballplatzes, der als Kontrollfläche benutzt wird. Die Grenzwerte für die Deckkraft betragen 2m. Es ist keine Einfärbung auf dem Platz zu sehen.

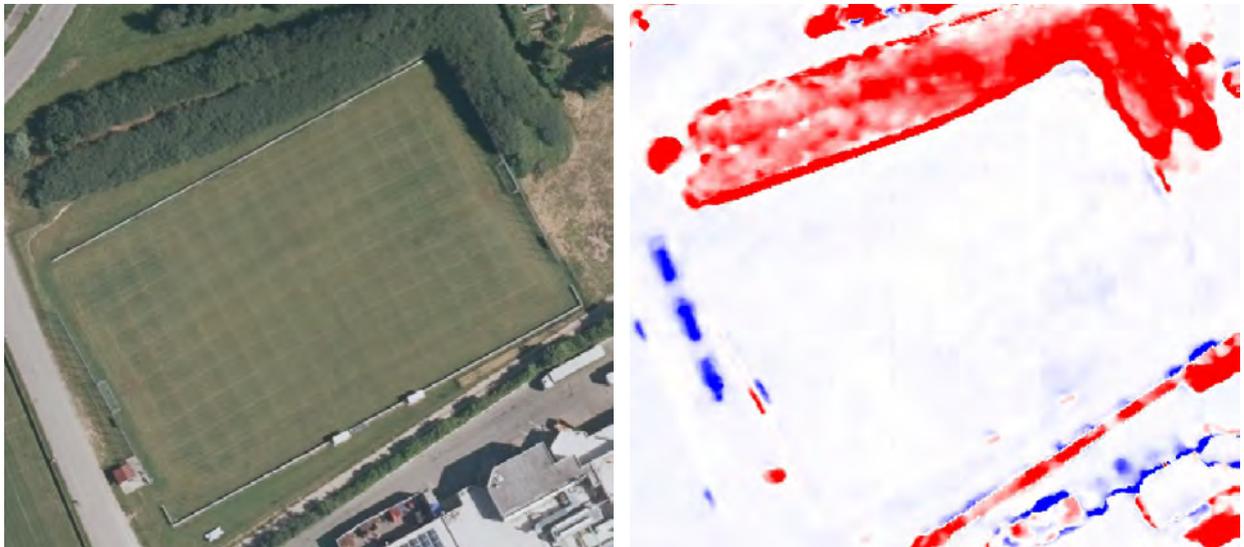


Abb. 2-23: Kontrollfläche im Luftbild (links) und Darstellung im tDOM (rechts)

3. Praktische Anwendung des tDOM

Nachdem gezeigt wurde, wie sich das tDOM in entsprechenden Programmen auf verschiedene Arten darstellen lässt, werden in diesem Kapitel Beispiele angeführt, welche die praktische Anwendung des tDOM zeigen. Zunächst werden anhand einer Auswahl von unterschiedlichen Gebieten Hinweise zur Darstellung des tDOM in den verschiedenen Fällen gegeben und Möglichkeiten der Interpretation des tDOM gezeigt. Anschließend wird noch auf mehrere praktische Anwendungsfälle in der Bayerischen Vermessungsverwaltung eingegangen, sowie Überlegungen für weitere Anwendungen angestellt.

3.1 Interpretationsmöglichkeiten des tDOM

In folgendem Kapitel werden verschiedene, landschaftlich unterschiedliche Gebiete vorgestellt, deren Darstellung im tDOM gezeigt und Interpretationsmöglichkeiten angeführt. Es soll dem Anwender dabei als Hilfestellung zur Visualisierung und Interpretation des tDOM dienen. Das tDOM wurde aus DOM der Jahre 2013 und 2016 erstellt. Die Farbgebung des tDOM wurde für die Beispiele auf Rot für Änderungen in positiver Richtung und Blau für Änderungen in negativer Richtung festgelegt. Die Darstellung erfolgt transparent über Luftbilder aus dem Jahr 2016. Die Fläche, aus welcher die verschiedenen kleineren Gebiete gewählt wurden, ist ein Bereich von ca. 400km² Größe um die Stadt Deggendorf, da hier auf einer relativ kleinen Fläche eine Vielzahl landschaftlich unterschiedlicher Gebiete anzutreffen ist.

3.1.1 Waldgebiet

Abbildung 3-1 zeigt das Luftbild eines Waldgebietes aus dem Jahr 2016. Darübergelegt ist das tDOM. Das Gebiet wurde ausgewählt, weil es gut die Darstellung gefällter Bäume und neu geschaffener Lichtungen zeigt. In diesem Fall gilt das hauptsächliche Interesse dem Baumbestand. Anhand des Luftbildes kann man sehen, dass es sich um einen Nadelwald

handelt. Da Fichten, bevor sie gefällt werden, eine Wuchshöhe von ca. 25m – 30m erreichen, sind die Grenzwerte für die maximale Deckkraft des tDOM auf 20m festgelegt. Ein höherer Wert würde eine zu blasse Darstellung gefällter Baume zur Folge haben. Ein niedrigerer Wert würde zu viel kleine Details, wie z.B. Büsche, visualisieren und die Interpretation erschweren.

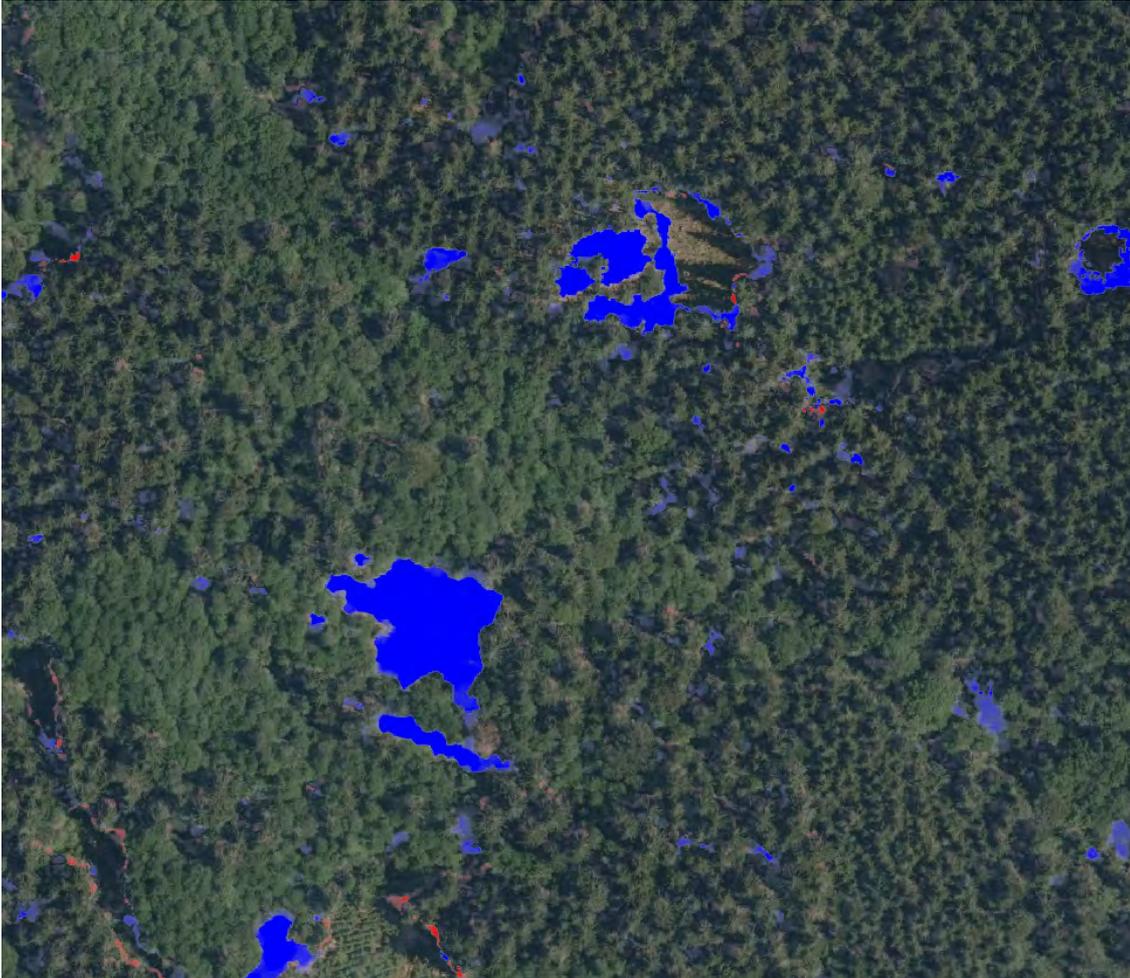


Abb. 3-1: Darstellung eines Waldgebietes im tDOM über einem Luftbild von 2016

In Abbildung 3-1 sieht man ein Luftbild mit einem dichten Baumbestand. Das tDOM ist als blaue Flecken dargestellt, teilweise als größere, decken gefärbte Flächen, teilweise als kleinere Punkten. Vereinzelt sind rote Punkte zu sehen.

Die roten Punkte sind stark gefärbt und entsprechen demnach einer Höhenänderung von ca. 20m oder mehr. Zu erklären sind diese durch seitlichen Zuwachs von Bäumen neben unbewaldeten Flächen. Wächst ein Baum in horizontale Richtung nimmt er eine Fläche ein, an deren Stelle zuvor Bodenpunkte waren. Somit ergibt sich eine Höhenänderung von

Bodenpunkten zur Höhe des Geästs des Baumes. Der Wachstum der Bäume in vertikale Richtung ist dagegen kaum auszumachen. Der Zuwachs innerhalb des Zeitraumes von 3 Jahren ist dafür zu gering und wird nicht dargestellt.

Auffällig sind die zwei größeren, blau gefärbten Flächen in der Bildmitte. Aus der Farbe geht eine Höhenänderung von über 20m hervor. Dabei handelt es sich um mehrere gefällte Bäume innerhalb einer kleinen Fläche. Bei den vereinzelt zu sehenden kleinen blauen Punkten handelt es sich um Ungenauigkeiten in den DOM, welche durch unterschiedliche Vegetationsstände zwischen den Aufnahmejahren entstehen, nicht um gefällte Bäume.

Ein Vergleich der beiden Luftbilder aus den Jahren 2013 und 2016 bestätigt das, gut zu sehen ist es an der neu geschaffenen Lichtung in der unteren Bildhälfte.



Abb. 3-2: Vergleich der Luftbilder eines Waldstücks; links 2013, rechts 2016

In folgendem Beispiel wird ein weiteres Waldstück behandelt, an welchem gut zu sehen ist, dass tDOM Änderungen in der Oberfläche zeigt, die aus den Luftbildern nicht zu erkennen sind. Der Grenzwert für die maximale Deckkraft für das tDOM beträgt auch hier 20m, jedoch sind zur besseren Übersichtlichkeit Höhenänderungen in positiver Richtung ausgeblendet. Zu beachten ist auch, dass der Maßstab kleiner ist als beim vorhergehenden Beispiel.

In Abbildung 3-3 ist ein dicht bewachsenes Waldgebiet zu sehen, über welches das blau gefärbte tDOM gelegt ist. Auffallend ist die recht gleichmäßige Verteilung von negativen

Höhenänderungen. Es sind keine größeren blauen Flächen zu erkennen. Über das Gebiet verteilen sich kleinere, blaue Punkte. Sie sind jedoch größer als die im vorhergehenden Beispiel gezeigten Ungenauigkeiten im DOM. Bei diesem Beispiel handelt es sich um ein ausgedünntes Waldstück, tDOM zeigt dabei einzelne gefällte Bäume.

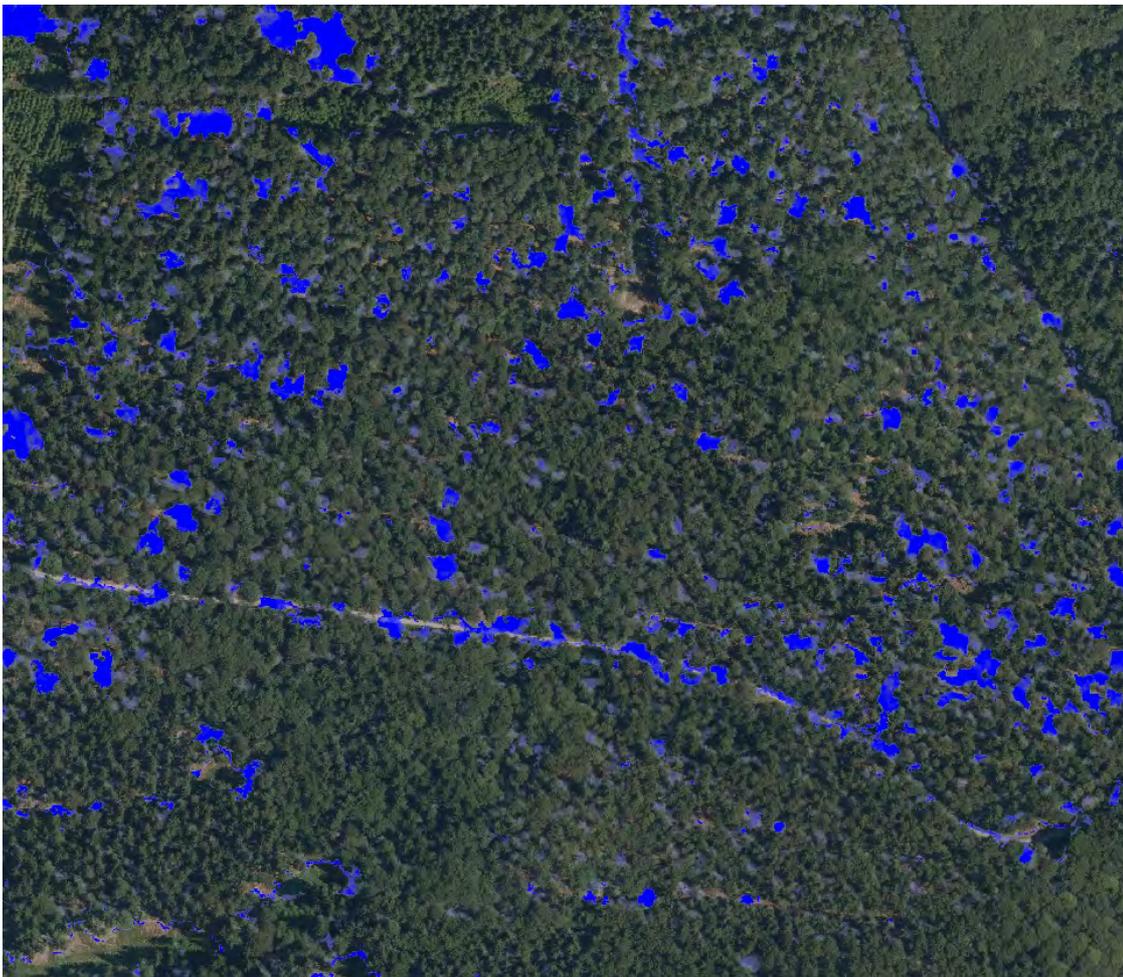


Abb. 3-3: Darstellung eines Waldstücks in tDOM über einem Luftbild von 2016

Vergleicht man nun die Luftbilder miteinander, fallen kaum Unterschiede zwischen den beiden Jahren auf (siehe Abbildung 3-4). Eine alleinige Betrachtung der Luftbilder lässt nicht sofort erkennen, dass es sich um ein ausgedünntes Waldstück handelt. tDOM stellt hier einen eindeutigen Vorteil gegenüber den Luftbildern dar.



Abb. 3-4: Vergleich der Luftbilder eines Waldstücks; links 2013, rechts 2016

3.1.2 Landwirtschaftlich genutzte Fläche

Abbildung 3-5 zeigt ein Luftbild einer landwirtschaftlich genutzten Fläche aus dem Jahr 2016, über welche das tDOM gelegt ist. Anhand dieses Beispiels wird die Darstellung von unterschiedlicher Vegetation zu den beiden Aufnahmezeitpunkten gezeigt. Die Grenzwerte für die maximale Deckkraft betragen in diesem Fall 2m in positiver als auch negativer Richtung und sind damit sehr niedrig angesetzt, da es sich bei dem Bewuchs von Feldern um Vegetation wie Getreide oder Mais handelt, welche eine Wuchshöhe von ca. 2m – 3m nicht überschreiten.

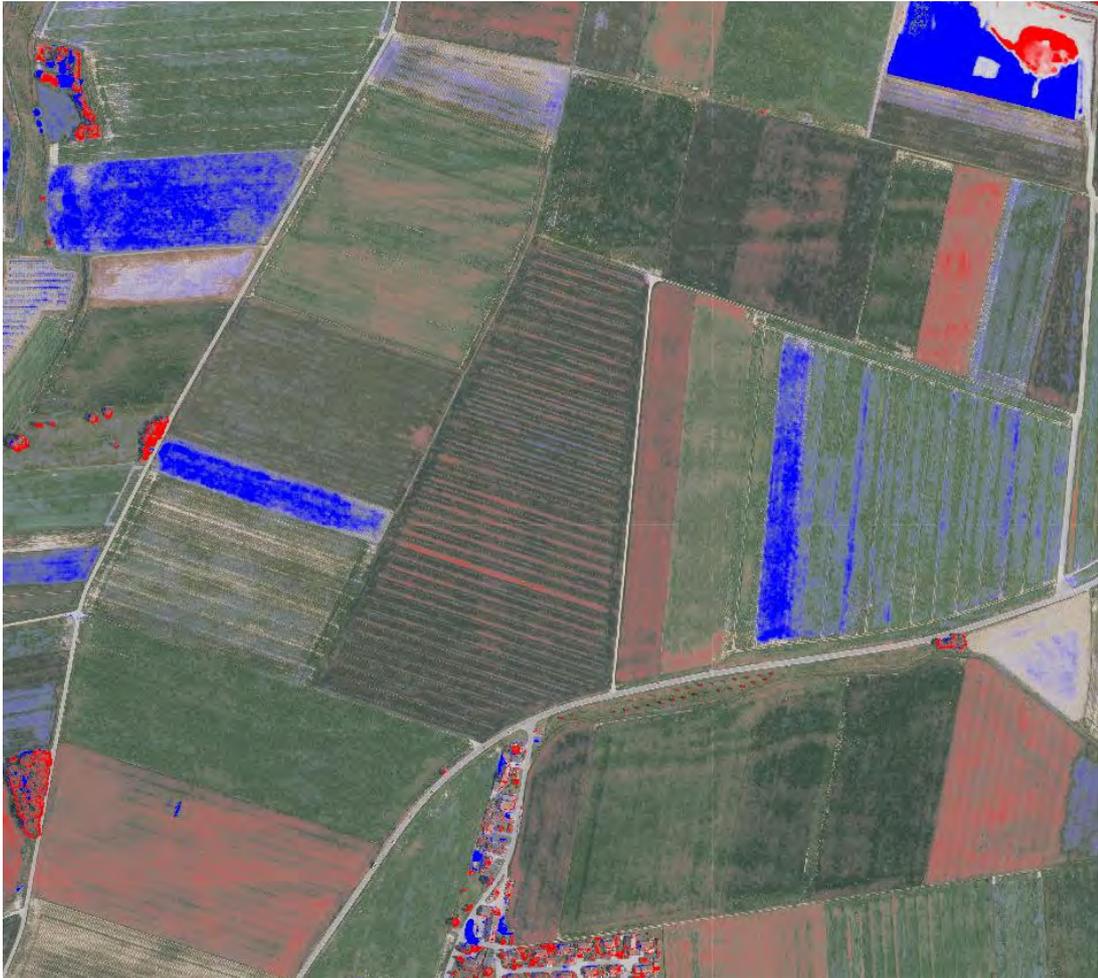


Abb. 3-5: Darstellung einer landwirtschaftlich genutzten Fläche in tDOM über einem Luftbild von 2016

In Abbildung 3-5 sind mehrere Felder mit unterschiedlicher Bepflanzung zu sehen. Einige der Felder sind blau eingefärbt, einige rot. Anhand der Deckkraft der Farbe kann man davon ausgehen, dass es sich bei den Höhenänderungen in positiver Richtung um eine Änderung von ca. 1m bis 2m handelt, da sie leicht transparent dargestellt wird. Die blau gefärbte Änderung in negativer Richtung ist größtenteils, aber nicht vollständig, deckend dargestellt und beträgt demnach etwas über 2m. Einige der Felder werden in tDOM kaum bis garnicht dargestellt, es fand also keine Höhenänderung statt.

Da es sich um landwirtschaftlich genutzte Flächen handelt, ergibt sich der Höhenunterschied in den beiden verglichenen Jahren durch unterschiedliche Bepflanzung der Felder. Bei dem positive Höhenunterschied handelt es sich, der Höhe von 1m - 2m nach, entweder um ein

Getreide, welches auf ehemals nicht bepflanzten Feldern angebaut wurde, oder um Mais auf Feldern, an denen zuvor Getreide angebaut wurde. Eine eindeutige Feststellung des Bewuchses ist mit dem tDOM alleine nicht möglich, da nur relative Höhen dargestellt werden, keine absoluten Höhen.

Am Feld in der Mitte des Bildes sind eine geringe Höhenänderung in positiver Richtung und Querstreifen zu sehen. Vor allem durch die Streifen lässt sich auf eine Höhenänderung durch Bearbeitung des Feldes mit einem Pflug schließen lassen.

Vergleicht man die beiden Luftbilder (siehe Abbildung 3-6) miteinander fällt deutlich die unterschiedliche Farbe der verschiedenen Felder auf. Die Felder, welche im tDOM blau dargestellt werden, sind im Luftbild des Jahres 2013 dunkelgrün gefärbt und im Jahr 2016 deutlich heller. Ebenso sind Felder, welche im tDOM rot gefärbt sind, im Luftbild des Jahres 2013 heller dargestellt, als im Luftbild des Jahres 2016.



Abb. 3-6: Vergleich der Luftbilder einer landwirtschaftlichen Fläche; links 2013, rechts 2016

3.1.3 Gebäude

Änderungen an Gebäuden werden aufgrund ihrer Höhe und Form in tDOM gut dargestellt. In folgenden Beispielen werden mehrere Arten von bebauten Gebieten untersucht.

3.1.3.1 Wohngebiet

Die Abbildung 3-7 zeigt ein Wohngebiet aus dem Jahr 2016. Der Grenzwert für die Deckkraft der tDOM beträgt 5 Meter, wodurch eine gute Erkennung von Änderungen an Gebäuden gegeben ist. Viele Wohngebäude haben eine Firsthöhe von ca. 10m – 15m. Die Traufhöhe ist jedoch gerade bei Satteldächern niedriger. Bei einem höheren Grenzwert für die maximale Deckkraft wären Satteldächer teilweise transparent dargestellt, einstöckigen Gebäuden, z.B. Garagen oder Schuppen, ebenso. Durch den Grenzwert von 5m werden alle Abrisse und Neubauten in ihrer charakteristischen, rechtwinkligen Form dargestellt.

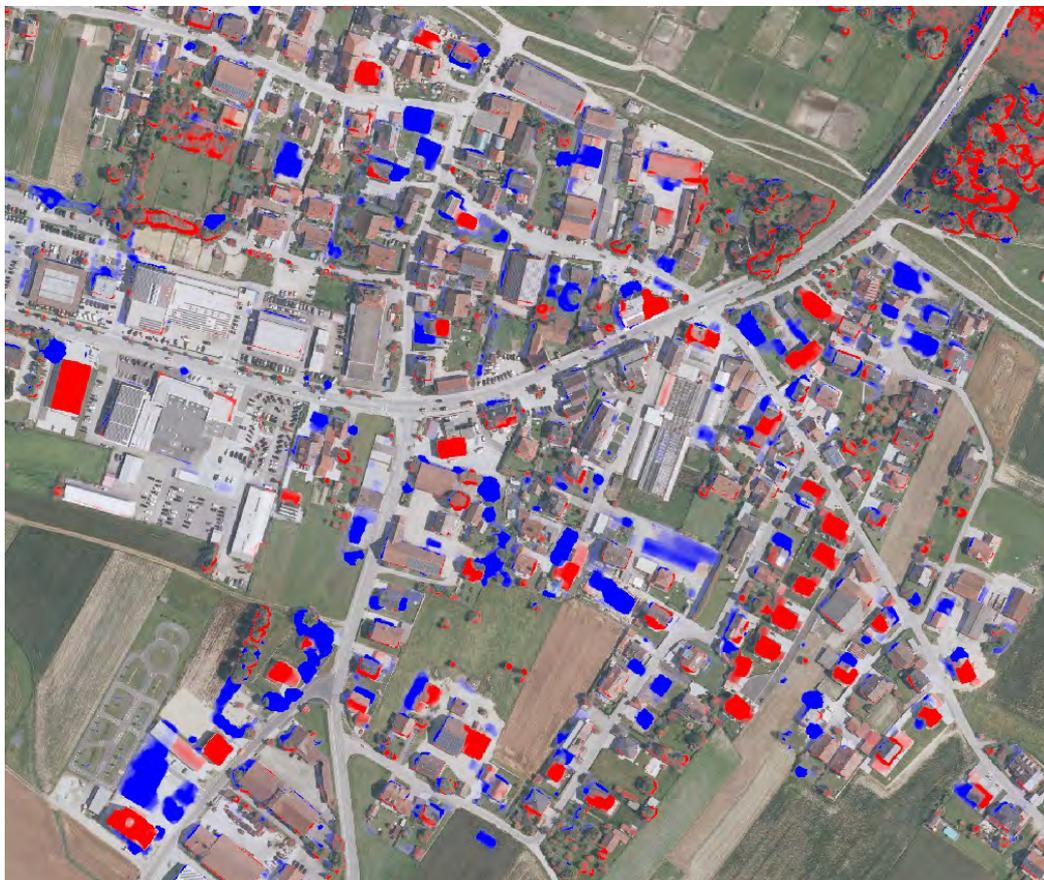


Abb. 3-7: Darstellung eines Wohngebietes im tDOM über einem Luftbild von 2016

Die Bildreihe in Abbildung 3-8 zeigt einen Ausschnitt aus diesem Gebiet. Zu sehen ist das tDOM und Luftbilder aus den Jahren 2013 und 2016. Gut zu sehen sind die drei blauen Flächen im tDOM in der Bildmitte. Die beiden unteren blauen Flächen sind quadratisch und liegen in der Mitte der Grundstücke. Dabei handelt es sich um die Abrisse von Wohnhäusern. Die obere Änderung ist in ihrer Form unregelmäßiger und liegt direkt neben einem Wohnhaus. Hier handelt es sich nicht um ein Gebäude, sondern einen gefälltten Baum. Anhand der rechteckigen Form von Gebäuden im Gegensatz zur unregelmäßigen oder runden Form von Vegetation ist eine Unterscheidung in den meisten Fällen gut möglich. Es empfiehlt sich aber, die Luftbilder zu vergleichen, um Fehler auszuschließen.



Abb. 3-8: Abgerissene Gebäude; links tDOM, in der Mitte 2013, recht 2016

In folgender Bildreihe ist zur Verdeutlichung die typische Form von Vegetation in Wohngebieten zu sehen. In der Bildmitte der Darstellung von tDOM sieht man mehrere runde und unregelmäßige blaue Flächen. Dabei handelt es sich, wie die Luftbilder bestätigen, um gefällte Bäume. Ebenso sind rote ringförmige Flächen in der oberen Bildhälfte zu sehen. Dabei handelt es sich um den horizontalen Zuwachs an Bäumen, wie auch in Kapitel 3.1.1 beschrieben wurde.

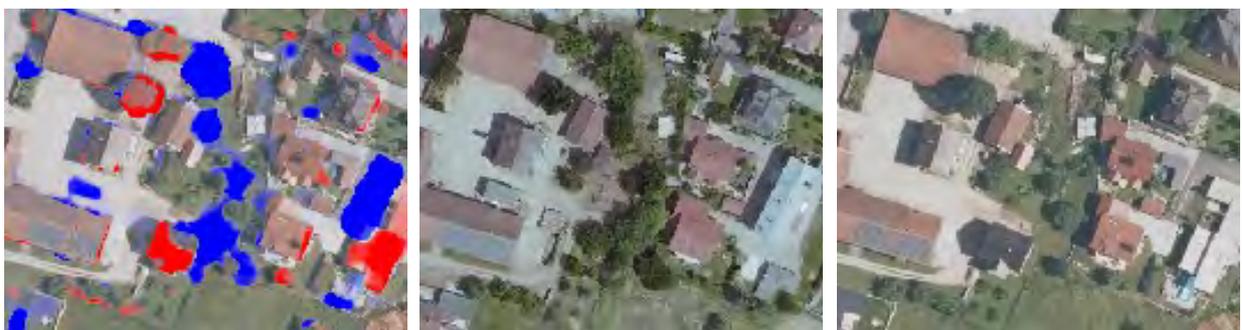


Abb. 3-9: Änderungen an Bäumen; links tDOM, in der Mitte 2013, recht 2016

Folgende Bildreihe zeigt den Neubau von Gebäuden auf ebenem Untergrund. Die roten Flächen, welche in der Bildmitte aneinandergereiht sind, zeigen die typische Darstellung von neu gebauten Wohnhäusern. Charakteristisch ist auch hier wieder die rechteckige Form.



Abb. 3-10: Neubauten; links tDOM, in der Mitte 2013, recht 2016

In folgendem Beispiel wird ein Sonderfall behandelt, welcher in Wohngebieten recht häufig auftritt. Dabei handelt es sich um einen Abriss und einen Neubau auf der selben Fläche. Wird ein Gebäude abgerissen und ein neues Gebäude mit gleicher Höhe gebaut, so hebt sich der Höhenunterschied auf. Je nach Form des alten Gebäudes und des Neubaus sind diese Fälle nicht oder nur schwer zu erkennen. Ein charakteristisches Merkmal sind zwei gegenüberliegende Winkel, einer davon rot gefärbt, der andere blau, wie in Abbildung 3-11 in der unteren Bildhälfte zu sehen ist. Diese Form ergibt sich aus einem geringen Lageversatz der beiden Gebäude zueinander, wodurch an den sich nicht überlappenden Stücken die Höhenunterschiede in tDOM deutlich werden. Erst ein Vergleich der Luftbilder schafft Klarheit über die Situation.



Abb. 3-11: Abriss & Neubau; links tDOM, in der Mitte 2013, recht 2016

3.1.3.2 Gewerbegebiet

In diesem Beispiel werden Änderungen an Gebäuden in einem Gewerbegebiet untersucht. Die Darstellung eines Gewerbegebiets unterscheidet sich im Grunde nicht von der eines Wohngebietes. Für Abbildung 3-12 wurden für das tDOM die Grenzwerte für die Deckkraft auf 10m festgelegt, da Hallen in Industriegebieten höher sind, als z.B. die Wohnhäuser im vorherigen Beispiel. Dadurch sind Änderungen an Gebäuden gut sichtbar, ohne Änderungen an der Vegetation zu deutlich darzustellen, welche in diesem Fall nicht relevant sind.



Abb. 3-12: Übersicht über ein Gewerbegebiet im tDOM über einem Luftbild von 2016

In Abbildung 3-12 fallen besonders die Änderungen am linken Bildrand und in der oberen rechten Ecke auf. Oben rechts ist der Neubau einer größeren Halle zu sehen. Das fehlende Eck im tDOM ist auf einen Schutthaufen auf der Baustelle im Jahr 2013 zurückzuführen, dessen Höhe sich mit der Höhe der gebauten Halle aufhebt. In den Luftbildern (siehe Abbildung 3-13) der beiden Jahre lassen sich die Änderungen nachvollziehen.

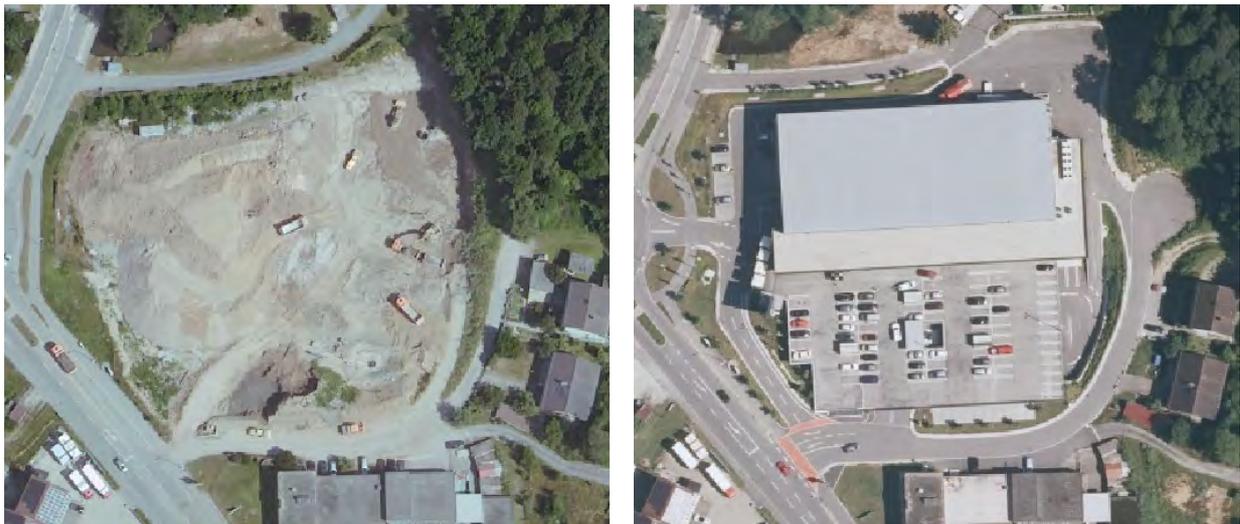


Abb. 3-13: Vergleich der Luftbilder einer neu gebauten Halle; links 2013, rechts 2016

In der linken Bildhälfte der Darstellung des tDOM in Abbildung 3-12 ist eine Konstellation von negativen und positiven Änderungen zu sehen. In der Zeit zwischen den Aufnahmen haben mehrere Änderungen stattgefunden. Es wurden zwei Reihen von Bäumen entfernt, ein Teil des unteren Gebäudes abgerissen und ein neues Gebäude in der Bildmitte gebaut.

In der Darstellung des tDOM ist die rechteckige Form des Neubaus zu erkennen. Diese wird mittig durchschnitten, was sich durch den vorherigen Bewuchs mit Bäumen erklären lässt. Ebenso hebt sich am unteren Ende der Halle die Höhe des Neubaus mit der des abgerissenen Gebäudes auf. Der Rest des abgerissenen Gebäudes ist in tDOM deutlich zu sehen.

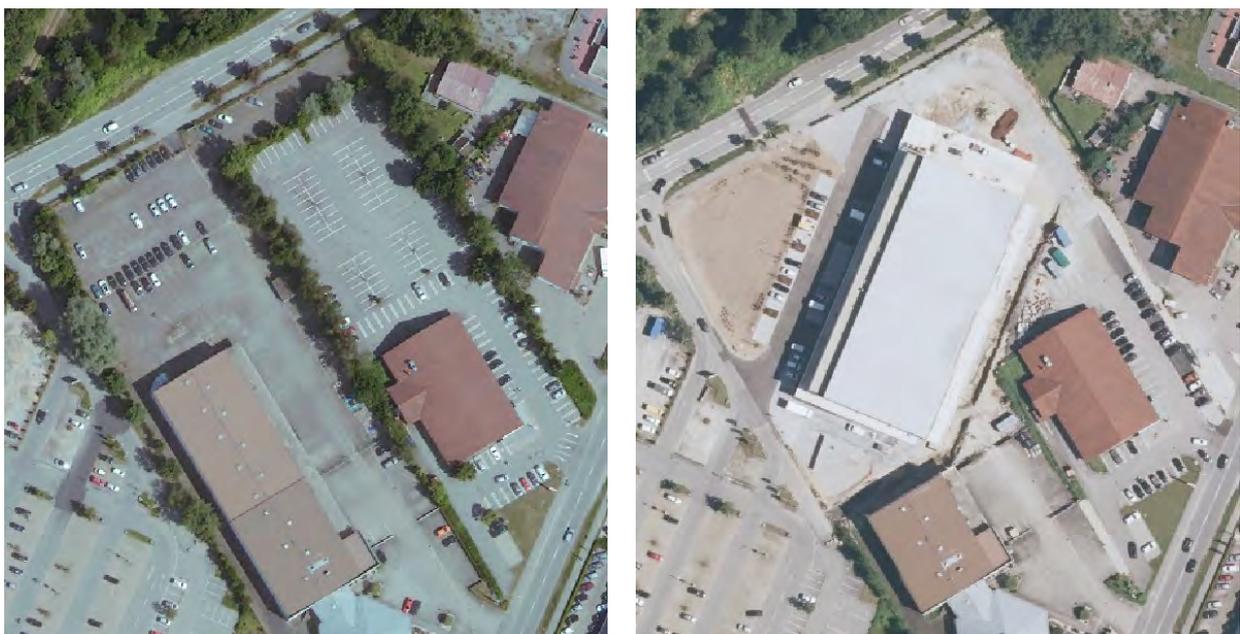


Abb. 3-14: Vergleich zweier Luftbilder mit Abriss und Neubau; links 2013, recht 2016

3.1.3.3 Innenstadt

Abbildung 3-15 zeigt die Innenstadt von Deggendorf mit einem Luftbild aus dem Jahr 2016 und dem darüber gelegten tDOM. Die Grenzwerte für die Deckkraft des tDOM betragen 8m. Dieser Wert wurde gewählt, da in Innenstädten meiste mehrstöckige Gebäude mit einer Höhe von ca. 15m – 20m vorhanden sind. Ein geringerer Wert würde mehr Details, z.B. an Vegetation, darstellen und die Übersichtlichkeit mindern. Mit einem höheren Wert würden Details an Gebäuden verloren gehen.

Auffallend sind hier vor allem die roten und blauen Ränder an den Gebäudekanten. Diese sind vor allem an den zur Straße hin gelegenen Gebäudekanten zu sehen. Sie entstehen durch den sogenannten Vorangeffekt, der in Kapitel 2.4 und Abbildung 2-21 beschrieben wurde.



Abb. 3-15: Innenstadt von Deggendorf im tDOM über einem Luftbild von 2016

3.1.4 Nicht interpretierbare Bereiche

Ebenso gibt es Fälle, bei welchen tDOM keine verwertbaren Informationen liefert. Folgende Bildreihe (Abbildung 3-16) zeigt den Neubau eines Parkplatzes, an dessen Stelle sich zuvor ein Sportplatz befand. Die Grenzwerte für die maximale Deckkraft betragen hier 3m, da sehr geringe Höhenänderungen untersucht werden. Wie zu erwarten zeigt tDOM im Bereich des Parkplatzes keine Änderung. Nur Fahrzeuge werden im tDOM leicht eingefärbt, dabei handelt es sich jedoch um bewegliche Objekte, nicht um Änderungen an der Geländeoberfläche

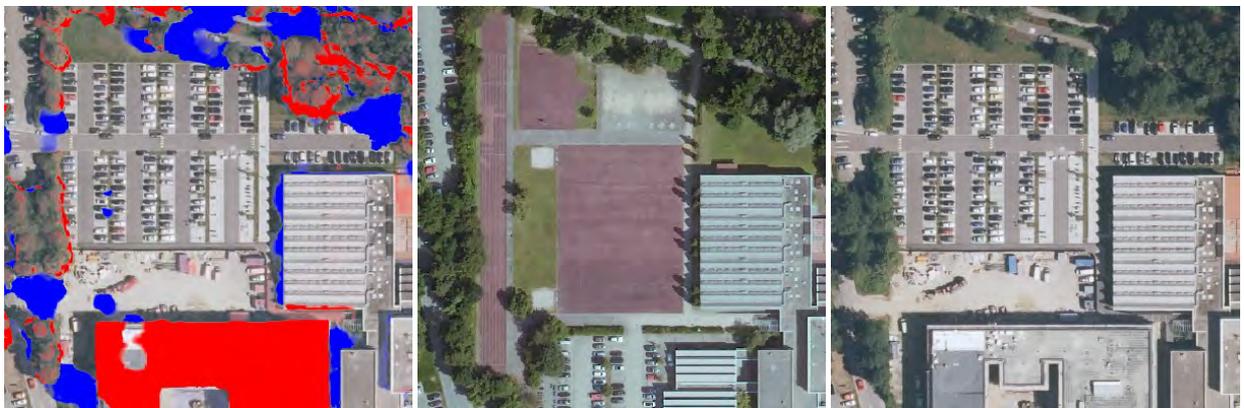


Abb. 3-16: Neubau eines Parkplatzes; links tDOM, in der Mitte 2013, rechts 2016

Ein weiteres Beispiel für nicht interpretierbare Bereiche sind Gewässerflächen. Da auf Wasseroberflächen keine Bildkorrelation möglich ist, entsteht hier bereits im bDOM Bildrauschen. Dieses Rauschen setzt sich im tDOM fort. In Abbildungen 3-17 ist zum einen eine Kiesgrube zu sehen, welche mit Wasser gefüllt ist, zum anderen ein Abschnitt eines Flusses. Die Grenzwerte für die maximale Deckkraft liegen hier bei 10m. Die Visualisierung ist in diesem Fall recht frei wählbar, da das Rauschen Höhenwerte von 0m bis über 60m in positiver und negativer Richtung enthält. Beide Fälle zeigen unregelmäßiges Rauschen, welches auch die Darstellung von Höhenänderungen im Uferbereich erschwert.



Abb. 3-17: Bildrauschen im tDOM an Gewässeroberflächen

3.2 Anwendungsbereiche des tDOM

Das tDOM hat viele praktische Anwendungsmöglichkeiten. Im folgenden Kapitel werden mögliche Einsatzgebiete beleuchtet, welche die interne Anwendung an der Bayerischen Vermessungsverwaltung betreffen. Die Darstellung des tDOM stützt sich dabei auf die in Kapitel 2.3 beschriebenen Möglichkeiten.

3.2.1 Qualitätssicherung des DOM

tDOM lässt sich am LDBV für die Qualitätssicherung des DOM auf zwei Arten einsetzen. Zum einen können durch das Betrachten von Referenzflächen Rückschlüsse auf Höhenfehler im DOM gezogen werden, zum anderen eignet sich das tDOM für die Einschätzung von Ausreißern im DOM. Die folgenden Kapitel geben einen Einblick in den Nutzen von tDOM für diese Einsatzgebiete.

3.2.1.1 Ermittlung von Höhenfehlern

Durch das Betrachten von Referenzflächen, wie in Kapitel 2.4 beschrieben, können

Rückschlüsse auf Höhenfehler im DOM gezogen werden. Zeigen mehrere Referenzflächen in einem Gebiet eine deutliche Einfärbung im tDOM, liegt wahrscheinlich ein Höhenfehler im DOM vor. Ebenso können als eben anzunehmende Flächen, wie z.B. Straßen und Parkplätze, als Kontrollflächen dienen.

In der Praxis wird dazu das tDOM mit geringen Grenzwerten, ca. 1m – 3m, für die maximale Deckkraft eingefärbt, um auch geringe Höhenunterschiede zwischen den zu vergleichenden DOM zu erkennen. Anschließend werden die Referenzflächen auf Einfärbung untersucht. In Abbildung 3-18 ist ein Sportplatz und eine Straßenkreuzung zu sehen. Die Grenzwerte für die Deckkraft des tDOM betragen hier 2m. Die kontrollierten Flächen zeigen keine Einfärbung und sind damit in Ordnung.



Abb. 3-18: Kontrollflächen für Höhenfehler; links ein Fußballfeld, rechts eine Straßenkreuzung

3.2.1.2 Ausreißererkennung

Der Einsatz von tDOM ist eine gute Möglichkeit, Höhenausreißer im DOM zu visualisieren. Diese Ausreißer entstehen durch fehlerhafte Bildkorrelation, wodurch einzelnen Punkten zu

kleine oder zu große Höhenwerte zugeordnet werden. Wie in Kapitel 2.1 unter "Höhenausreißer" beschrieben, werden diese Ausreißer am LDBV durch ein Skript erkannt. Jede Kachel einer Projektfläche wird automatisch geprüft und es wird eine Liste der DOM-Kacheln samt Seitansichten ausgegeben, in denen potenzielle Höhengausreißer vermutet werden. Zur Beurteilung, ob tatsächlich Höhengausreißer in den gefundenen DOM-Kacheln vorliegen, werden die Seitansichten und ggf. die laz-Kacheln in der Software CloudCompare visuell geprüft. (Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung, 2016)

Gerade das Betrachten der Punktwolken in CloudCompare ist ein zeitaufwendiger Schritt, welcher sich durch den Einsatz von tDOM ersetzen lässt, da bei geeigneter Darstellung des tDOM die Ursache und die Höhe eines Ausreißers schnell eingeschätzt werden kann. Ebenso kann das tDOM auch als weitere Vergleichsmöglichkeit zur Beurteilung des Höhengausreißers eingesetzt werden. Denkbar wäre, dass das Skript neben der Seitenansicht auch eine Draufsicht auf das tDOM im Bereich des Ausreißers ausgibt. Dabei gibts es verschiedene Möglichkeiten, Ausreißer im tDOM grafisch darzustellen.

Eine einfache Möglichkeit, Ausreißer zu erkennen, ist die Darstellung über einem weißen Hintergrund. Dafür werden die Werte des tDOM, welche geringer sind als die vermuteten Ausreißer, weiß gefärbt. Alle größeren Werte erhalten eine Farbe. Abbildung 3-19 zeigt Punkte des tDOM, welche eine Änderung von mehr als 20m in positiver oder negativer Richtung beschreiben. Zur besseren Sichtbarkeit sind die dargestellten Punkte markiert. Nachteil dieser Darstellung ist, dass sich weder Rückschlüsse auf die Art, noch auf die Größe der Ausreißer ziehen lassen.

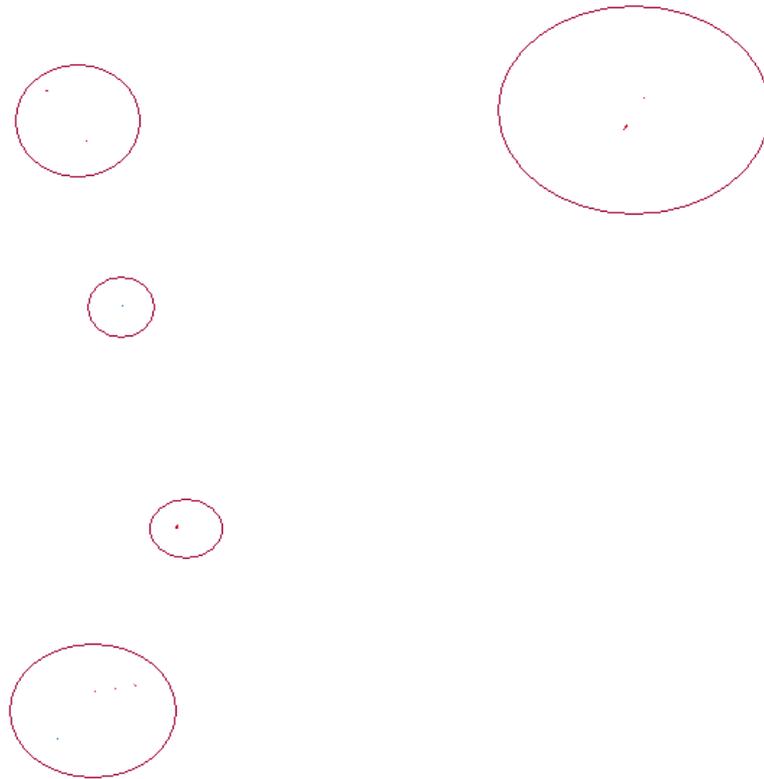


Abb. 3-19: Ausreißer in tDOM visualisiert

Die Darstellung der Ausreißer kann auch über ein Luftbild gelegt werden, indem die weißen Bereiche transparent gestellt werden. Damit lässt sich der Grund des Ausreißers besser abschätzen. Abbildung 3-20 zeigt Ausreißer über einem Luftbild aus dem Jahr 2016. Für die Darstellung wurden dabei nur Werte angezeigt, die größer als 30m sind. In diesem Beispiel ist davon auszugehen, dass die Ausreißer durch fehlerhafte Bildkorellation in sichttoten Bereichen neben den Bäume entstanden sind.



Abb. 3-20: Ausreißer an Bäumen, Darstellung des tDOM über einem Luftbild

Um auch noch den Wertebereich des Ausreißers zu bestimmen zu können, kann man eine stufenweise Einfärbung wählen. Dafür wird für die Darstellung in regelmäßigen Schritten eine andere Farbe gewählt. Bei folgendem Beispiel sind Werte unter 40m transparent dargestellt. Darüber wechselt die Farbe alle 20m (siehe Abbildung 3-21).

Wert	Farbe	Beschriftung
0		0
20		20
40	Blue	40
60	Green	60
80	Yellow	80
100	Red	100

Abb. 3-21: Farbliche Einteilung der Höhenwerte des tDOM

Die Größe der Ausreißer lässt sich nun anhand der Farbe grob abschätzen. So hat in Abbildung 3-22 der obere Ausreißer eine Größe von ca. 60m, da er grün dargestellt wird. Der untere

Ausreißer ist rot dargestellt und hat demnach eine Größe von 100m oder mehr. Wird diese Darstellung mit in die automatische Erkennung von Ausreißern im DOM eingebunden und automatisch für Kacheln mit vermuteten Ausreißern ausgegeben, könnte sie eine Verbesserung der Sichtprüfung der Ausreißer darstellen, da Art und Höhe des Ausreißers besser eingeschätzt werden können.



Abb. 3-22: Ausreißer an Bäumen, Darstellung des tDOM in verschiedenen Farben

3.2.2 Fortführung der Geobasisdaten

Die Informationen, welche tDOM liefert, können genutzt werden, um Prozesse bei der Aktualisierung des Amtliche Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS) und des Amtliche Topographisch-Kartographische Informationssystem (ATKIS) zu erleichtern. Einer der geeignetsten Anwendungsfälle des tDOM ist die Erkennung von Änderungen an Gebäuden und Vegetation.

3.2.2.1 Fortführung des ALKIS

Das tDOM kann an den Ämtern für Digitalisierung, Beitband und Vermessung (ADBV) in der Planung der Vermessung im Außendienst zur Aktualisierung des Katasters eingesetzt werden. Bei geeigneter Visualisierung lassen sich auch in größeren Maßstäben neu gebaute Gebäude gut erkennen. Anschließend können diese eingemessen und in das Liegenschaftskataster eingetragen werden.

Abbildung 3-23 zeigt ein Wohngebiet in kleiner Zoomstufe. Das tDOM ist hier über ein Luftbild aus dem Jahr 2016 gelegt. Die Grenzwerte für die Deckkraft betragen 5m, um Höhenänderungen, die Wohnhäuser betreffen, deckend darzustellen. Die gelb markierten Neubauten sind schnell und eindeutig zu erkennen. Diese Gebäude können nun von den Vermessern des lokalen ADBV erfasst werden.



Abb. 3-23: Markierte Neubauten in einem Wohngebiet

Ein Nachteil des tDOM in diesem Fall ist die geringe Aktualität, da die Oberflächenmodelle in einem 3-Jahres-Zyklus (seit 2017 in einem 2-Jahres-Zyklus) erstellt werden. Die etablierten Aktualisierungsprozesse an den ADBV, welche vor allem auf lokale Kenntnisse beruhen, arbeiten schneller. Trotzdem besteht die Möglichkeit, das tDOM zur Unterstützung der Arbeit beiträgt, beispielsweise als Kontrollmöglichkeit. (Stolz, 2016)

3.2.2.2 Fortführung des ATKIS

Ebenso kann das tDOM zur Aktualisierung der Digitalen Topographischen Karte (DTK) beitragen. Gerade Änderungen in der Vegetation und an Wäldern sind in Luftbildern oder von den Gebietstopographen nicht einfach zu erkennen, werden aber im tDOM gut dargestellt.

Die obere Hälfte der Abbildung 3-24 zeigt Luftbilder eines Waldstücks aus dem Jahr 2013 und 2016. Bis zum Jahr 2016 wurde ein Teil davon gefällt. Unten links ist die Darstellung in tDOM

zu sehen. Die Grenzwerte für die Deckkraft betragen in diesem Fall 5m. Das fehlende Waldstück ist gut an der blauen Fläche in der Bildmitte zu erkennen. Die Änderung ist einfach ausfindig zu machen und kann in die DTK eingetragen werden. In Abbildung 3-24 ist die Änderung an der DTK unten rechts schraffiert dargestellt.

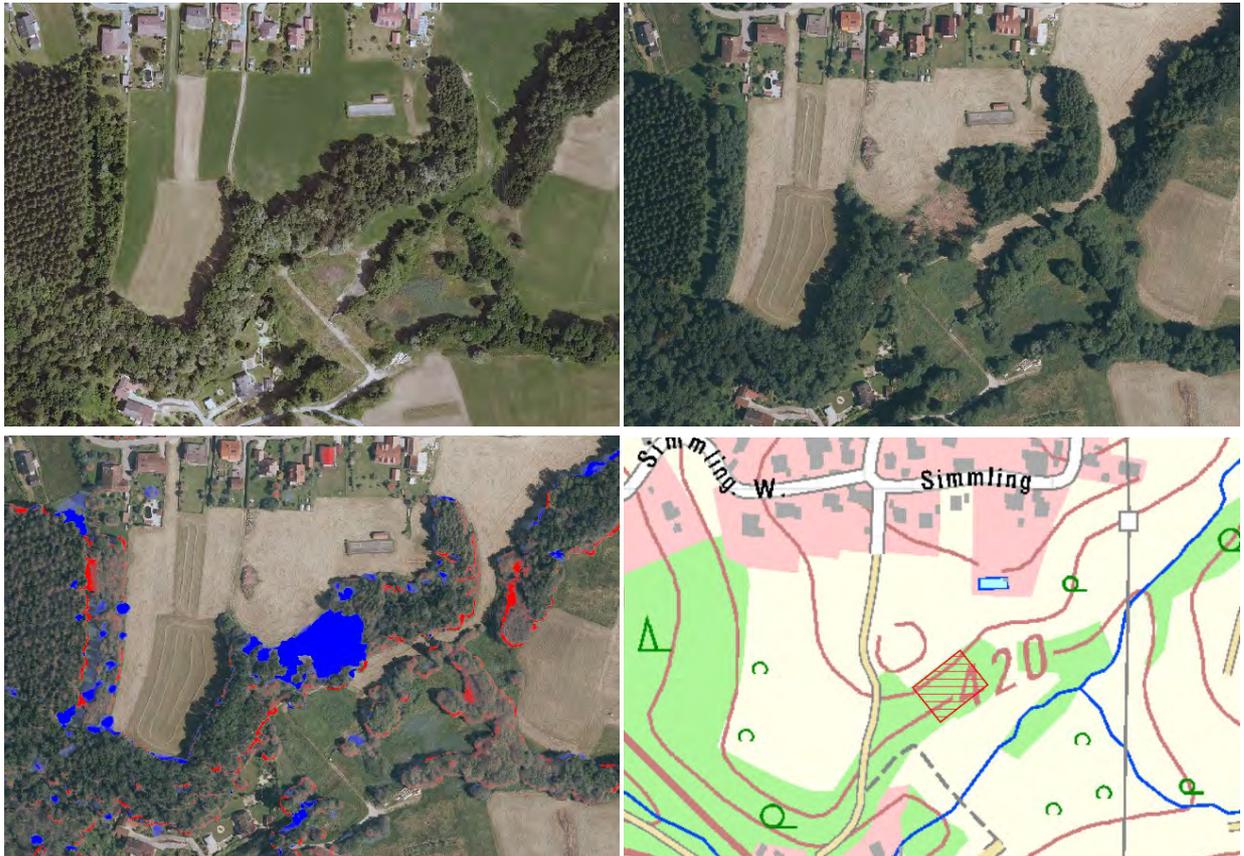


Abb. 3-24: Änderungen in der Vegetation und Auswirkung auf die DTK; links oben Luftbild von 2013, rechts oben Luftbild von 2016, links unten tDOM über Luftbild von 2016, rechts unten DTK mit schraffierter Änderung

3.2.3 Weitere Anwendungsbereiche

In diesem Kapitel wird auf weitere Anwendungsmöglichkeiten des tDOM eingegangen, welche nicht den Einsatz in der Bayerischen Vermessungsverwaltung betreffen.

3.2.3.1 Räumliche Entwicklung

Durch Untersuchung von Siedlungsgebieten im tDOM können Rückschlüsse auf die Entwicklung dieser Gebiete gezogen werden. Abrisse und vor allem Neubauten sind in tDOM gut ersichtlich und zeigen die Entwicklung in urbanen Räumen. So wäre ein Einsatz des tDOM in der Immobilienbewertung oder Bereich der Bevölkerungsgeographie, z.B. der Migrationsforschung, denkbar.

Beispielsweise ist in Abbildung 3-25 ist eine Ortschaft zu sehen. Klar ersichtlich ist das Neubaugebiet und mehrere Neubauten in bereits vorhandenen Wohngebieten in der rechten Hälfte der dargestellten Ortschaft. Dagegen ist der Gebäudebestand in der anderen Hälfte unverändert. Dadurch ist ersichtlich, dass in der rechten Hälfte der Ortschaft mehr Wandel stattfindet als in der linken Hälfte.



Abb. 3-25: Räumliche Entwicklung in einer Ortschaft

3.2.3.2 Forstwirtschaft

Auch ein Einsatz des tDOM in der Forstwirtschaft ist denkbar. So kann es ähnlich zu Kapitel 3.2.3.1 zur Untersuchung der Entwicklung bestimmter Waldstücke dienen. Abbildung 3-26 zeigt ein Waldgebiet und dessen Darstellung in tDOM. Im linken oberen Viertel des Waldstückes ist deutlich zu sehen, dass Bäume gefällt wurden, während der Rest des Waldes nur minimale Höhenänderungen zeigt. Daraus können wiederum Rückschlüsse über die Entwicklung des Forstbestandes gezogen werden.

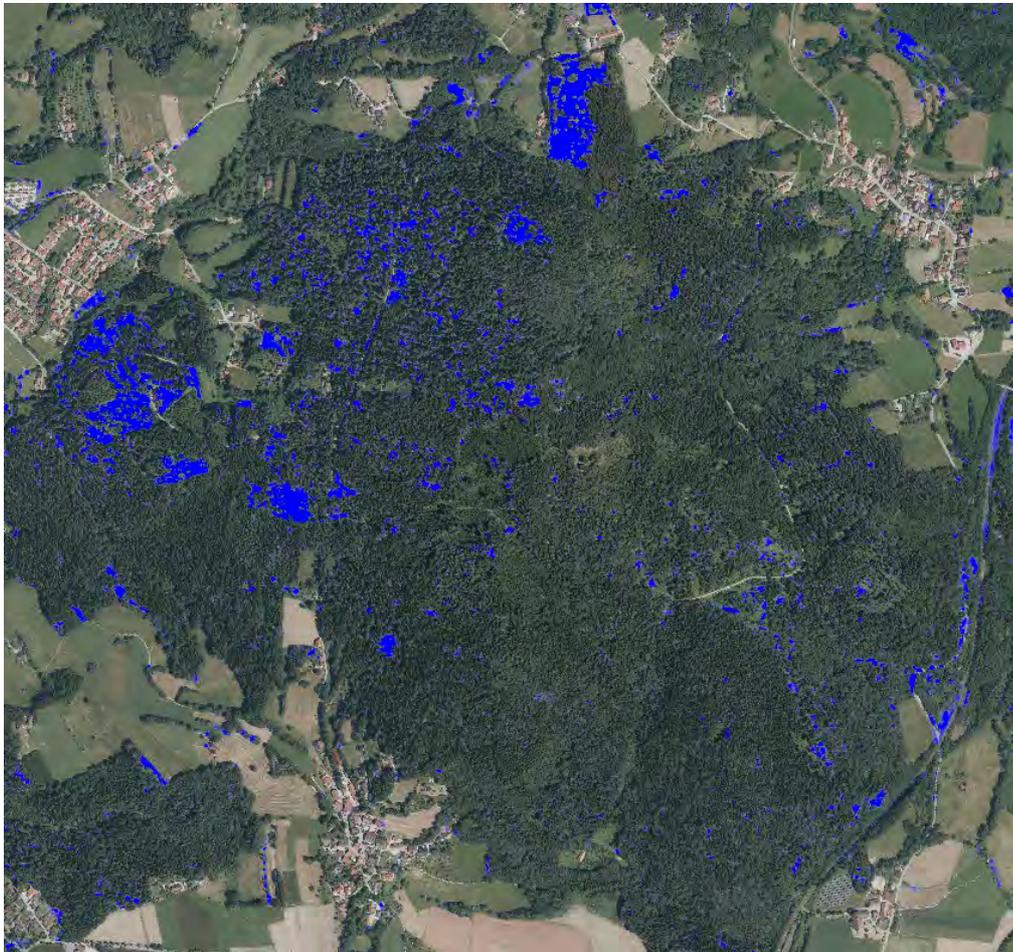


Abb. 3-26: Entwicklung eines Waldgebiets

4. Fazit und Ausblick

tDOM ist eine neue Entwicklung des LDBV, die Potential hat. Es wurde gezeigt, wie es sich aus den Ausgangsdaten, dem DOM, berechnen lässt und auf verschiedenen Arten in entsprechender Software dargestellt werden kann.

Die in Kapitel 2.3 gegebene Erklärung ist dabei auch eine Hilfestellung für Erstanwender des tDOM. Zudem wurden in Kapitel 3.1 weitere Hinweise zur Darstellung verschiedener Gebiete und möglichen Interpretationsmöglichkeiten des tDOM gegeben. Diese Arbeit erleichtert damit weiteren Benutzern das Verständnis zur zielführenden Anwendung des tDOM.

Die in Kapitel 3.2 gezeigten Beispiele sind Möglichkeiten der Implementierung des tDOM in Arbeitsschritte der Bayerischen Vermessungsverwaltung. Darüber hinaus ist die Abgabe von tDOM an weitere Behörden des Freistaates Bayern, z.B. dem Bayerisches Landesamt für Umwelt, denkbar. Auch der Vertrieb an externe Anwender, z.B. in der Immobilienbewertung oder Forstwirtschaft, ist möglich.

Durch weitere Verbesserungen des DOM wird auch die Weiterentwicklung des tDOM beeinflusst. So wird 2017 die Bayernbefliegung zur Aufnahme von Luftbildern auf einen 2-Jahres-Zyklus umgestellt. Damit steigt auch die Aktualität des tDOM. Fehler, welche in tDOM zu sehen sind, wie z.B. der Vorhangeffekt oder Rauschen an Gewässerflächen, sind auf das DOM zurückzuführen. Um diese zu beseitigen ist eine Verbesserung des DOM notwendig. So könnten z.B. Luftbilder mit größerer Überlappung und eine Reduzierung der Gitterweite der Interpolation des DOM auf 0,2m die Bildung des Vorhangeffektes verbessern. Ebenso muss eine Lösung zur Darstellung von Gewässerflächen im DOM gefunden werden.

Darüber hinaus ist es denkbar, dass die Interpretation von tDOM in Zukunft teilautomatisiert abläuft, z.B. durch Skripte zur Mustererkennung von Gebäuden. Eine weitere Forschung in diese Richtung würde das Potential des tDOM ungemein steigern.

5. Danksagung

Mein Dank gilt an dieser Stelle all jenen, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützt haben.

Nennen möchte ich dabei aufseiten der Hochschule meinen Betreuer Herr Prof. Dr. Peter Krzystek, sowie aufseiten des LDBV meine Betreuer Frau Julia Müller und Herr Matthias Stolz, als auch die weiteren Mitarbeiter des LDBV, welche mir durch ihre Fachkenntnis zur Seite standen.

Ebenso gilt mein Dank natürlich auch meinen Eltern, welche mich während meines Studiums und darüber hinaus unterstützt haben.

6. Literaturverzeichnis

Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung, 2016. *Leitfaden zur DOM-Qualitätssicherung Bayernbefliegung 2016*. (PDF)

Stolz, M., 2013. *Digitale Oberflächenmodelle aus Bildkorrelation*. In: *Mitteilungen 2/2013*, Seite 139 - 150, Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung. (PDF)

Stolz, M., 2016. *Change Detection Report*. Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung. (PDF)

7. Anhang