



LANDCONSULT.DE

Dr. Markus Weidenbach  
Öhinghaltweg 3  
D 77815 Bühl

Tel.: +49-7223-9158030  
Mobil: +49-170-8988393  
Fax: +49-321-21252410  
E.mail: office@landconsult.eu  
Internet: <http://landconsult.de>

Büro für Geographische Informationsverarbeitung, Umweltplanung und Beratung

Datum: 12.10.11

Sachbericht Innovationsgutschein A für das bewilligte Vorhaben:

## **Machbarkeitsstudie zur photogrammetrischen Erzeugung von hochwertigen Waldoberflächenmodellen mit konventionellen digitalen Luftbildern**

Bewilligungsbescheid vom 20.06.2011,  
AZ 3-4310.026/29/59

### **Hintergrund und Innovation**

Seit 2007 stellt landConsult.de dreidimensionale digitale Waldmodelle aus den amtlichen Laserdaten des Landesamtes für Geoinformation und Landentwicklung (LGL) in Stuttgart her.

Aus diesen Modellen lassen sich wichtige forstliche Parameter, wie z.B. Einzelbaumhöhen und Holzvorrat ableiten, die v.a. für den bisher wenig untersuchten Privatwald von Bedeutung sind (siehe <http://laser.landconsult.de>).

Leider sind die aus der landesweiten Befliegung von 2003 bis 2005 stammenden Laserdaten mittlerweile veraltet. Die flächige Erhebung von Laserdaten aus der Luft wurde 2005 eingestellt. Seither hat sich die Waldstruktur durch das natürliche Baumwachstum und durch Sturm, Schnee und Käferkalamitäten sowie durch die dabei entstandenen Waldblößen stark verändert. Eine neue Laseraufnahme der Waldfläche wäre nötig, um diese Veränderungen dokumentieren zu können. Dies ist nach Auskunft des LGL aus Kostengründen jedoch nicht geplant.

Stattdessen befliegt das LGL seit 2009 - und zukünftig in einem dreijährigen Turnus - das gesamte Land mit digitalen Luftbildkameras. Die Originalluftbilder könnten unter gewissen technischen Umständen (Farbtiefe, Kanalkombination, Überlappungsprozent, Bodenauflösung) dazu geeignet sein die Laserdaten bis zu einem gewissen Grad zu ersetzen, sofern sich daraus vergleichbare dreidimensionale, photogrammetrische Waldoberflächenmodelle erzeugen lassen.

Die Innovation besteht darin, aktuelle Waldoberflächenmodelle (und damit aktuelle Baumhöhen und Holzvorräte) kostengünstig für den Privatwald und den öffentlichen Wald aus den jeweils neuesten Luftbildern des LGL zu berechnen. Eine teure, für den privaten Waldbesitzer alleine nicht zu finanzierende Laserbefliegung könnte damit vermieden werden. Ähnlich wie mit Laserdaten lassen sich u.U. Einzelbaumhöhen, Blößen und der Bestandesvorrat anhand der neuen Luftbilder mit neuesten Methoden photogrammetrisch vermessen. Zudem wäre bei entsprechender Qualität der Luftbilder auch eine automatische Trennung der Baumarten unter bestimmten näher zu untersuchenden technischen Bedingungen möglich.

## Ziele der Machbarkeitsstudie

Ziel der der Machbarkeitsstudie war die Untersuchung der technischen Eignung der vom Landesamt für Geoinformation Baden-Württemberg erfassten Luftbilder für eine photogrammetrische Erzeugung von hochwertigen Waldoberflächenmodellen.

Die Machbarkeit und die technische Qualität der zu erzeugenden Waldoberflächenmodelle sollte an einem Testdatensatz näher untersucht werden.

## Ablauf und Datenmaterial

Dr. Weidenbach hat zu diesem Zweck im Juli 2011 die Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH in Graz besucht, um die Arbeit an einem mitgebrachten exemplarischen Datensatz des Landesamtes für Geoinformation in Stuttgart zu unterstützen.

Nach Sichtung der Daten wurde damit begonnen für einen im Gelände vermessenen Waldbestand die nötigen Modellparameter festzulegen.

Bei dem Bestand handelt es sich um einen ca. 1.5 ha großen Plenterwald im Nordschwarzwald, der im Juli 2009 aus einer Flughöhe von rund 3000 m aufgenommen wurde. Die dabei mit einer Farbtiefe von 12bit (ausgeliefert als 4 Kanal RGB-NIR Farbbilder in Form von 8bit und 16bit Bilddateien) erzeugten Luftbilder haben eine Bodenauflösung von rund 20 cm und überlappen sich in Flugrichtung auf rund 60% und zwischen den Flugstreifen auf rund 30%. Durch die besondere Lage des Testgebietes wurde dieses auf insgesamt 6 Bilder aus verschiedenen Aufnahmerichtungen abgebildet. Die Abbildung dieser unterschiedlichen Perspektiven kann schließlich zur Erzeugung eines Stereomodells genutzt werden. Bei einer allgemein üblichen Bildüberlappung von 60/30 wird jeder Punkt im Bild mindestens aus zwei Perspektiven aufgenommen, was im Prinzip bereits zur Erzeugung eines Stereomodells ausreicht.

Zusätzlich war der Waldteil 2004 durch vom Flugzeug aufgenommene Laserdaten vermessen worden. Diese Daten, aus denen ein digitales Gelände- und Baumkronenmodell berechnet wurde, dienten als Referenzdaten. Anhand dieser Lasermodelle wurden vorab die Einzelbäume automatisch detektiert, Das gleiche Verfahren wurde später auch für das Luftbildmodell angewandt, um anschließend beide Ergebnisse miteinander vergleichen zu können.

Die entwickelte Methode wurde schließlich an einem weiteren, qualitativ ähnlichen Datensatz eines Waldbestandes im Kraichgau, östlich von Heilbronn überprüft.

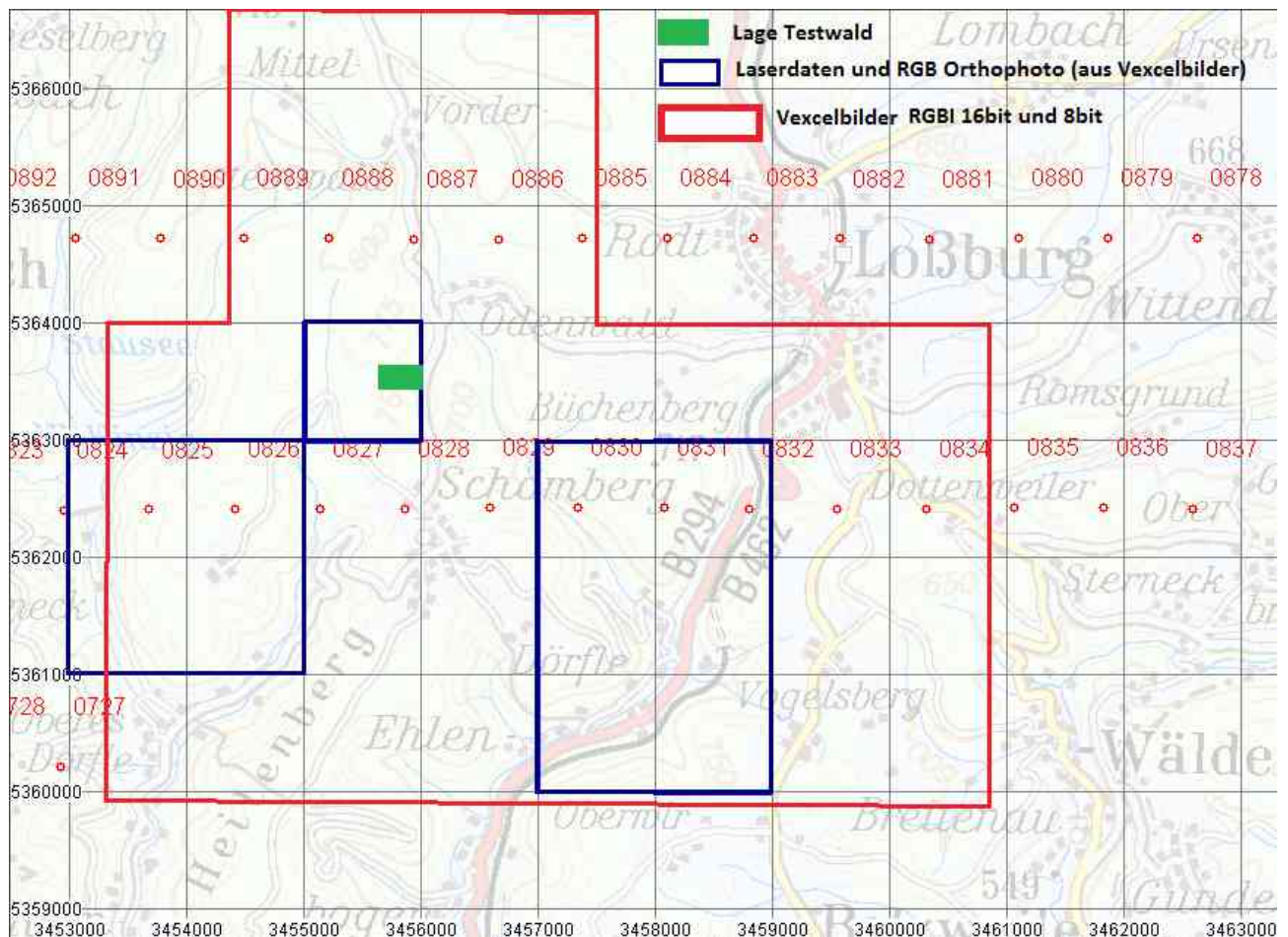


Abb.: Übersicht über die Testdatensätze im Bereich Nordschwarzwald

Zur groben Georeferenzierung der Bilddaten wurde die amtliche topographische Karte im Maßstab 1 zu 10.000 in der für Baden-Württemberg üblichen Gauss-Krüger Projektion verwendet. Die für die äußere Orientierung und die Orientierung der Kamera notwendigen Aufnahmeparameter (Rechts- und Hochwert und Flughöhe über dem Bildmittelpunkt), Rotationswinkel (Neigungswinkel der Kamera), Brennpunktverschiebung (Focal Point) und Brennweite (Focal Length) sind weitere wesentliche Parameter, die bei der Modellbildung berücksichtigt werden mussten. Für jede Kamera sind diese Werte in einem separaten Kalibrierungsbericht dokumentiert.

Die Hauptaufgabe bestand im folgenden darin, die unterschiedlichen Aufnahmeperspektiven durch einen geeigneten Algorithmus so miteinander zu verbinden, dass mithilfe der definierten Modellparameter eine normalorthometrische Höheninformation für jedes Bildpixel erzeugt werden kann. Die Einstellungen für diesen sogenannte Matching-Algorithmus müssen an das zu bearbeitende Bildobjekt angepasst werden (Waldbestände sind anders zu behandeln als z.B. urbane Strukturen), um letztlich ein optimales Oberflächenmodell zu erhalten, auf dem die Form und Höhe der Baumkronen fehlerfrei dargestellt sind.

## Ergebnisse

Nach mehreren i.d.R. sehr rechenintensiven Prozessierungsschritten konnte der Matching Algorithmus soweit angepasst werden, dass in dem erzeugten Stereomodell die herrschenden und mitherrschenden Einzelbäume gut zu erkennen waren. Somit war zunächst einmal die Grundlage für eine automatische Erkennung der Einzelbäume geschaffen.

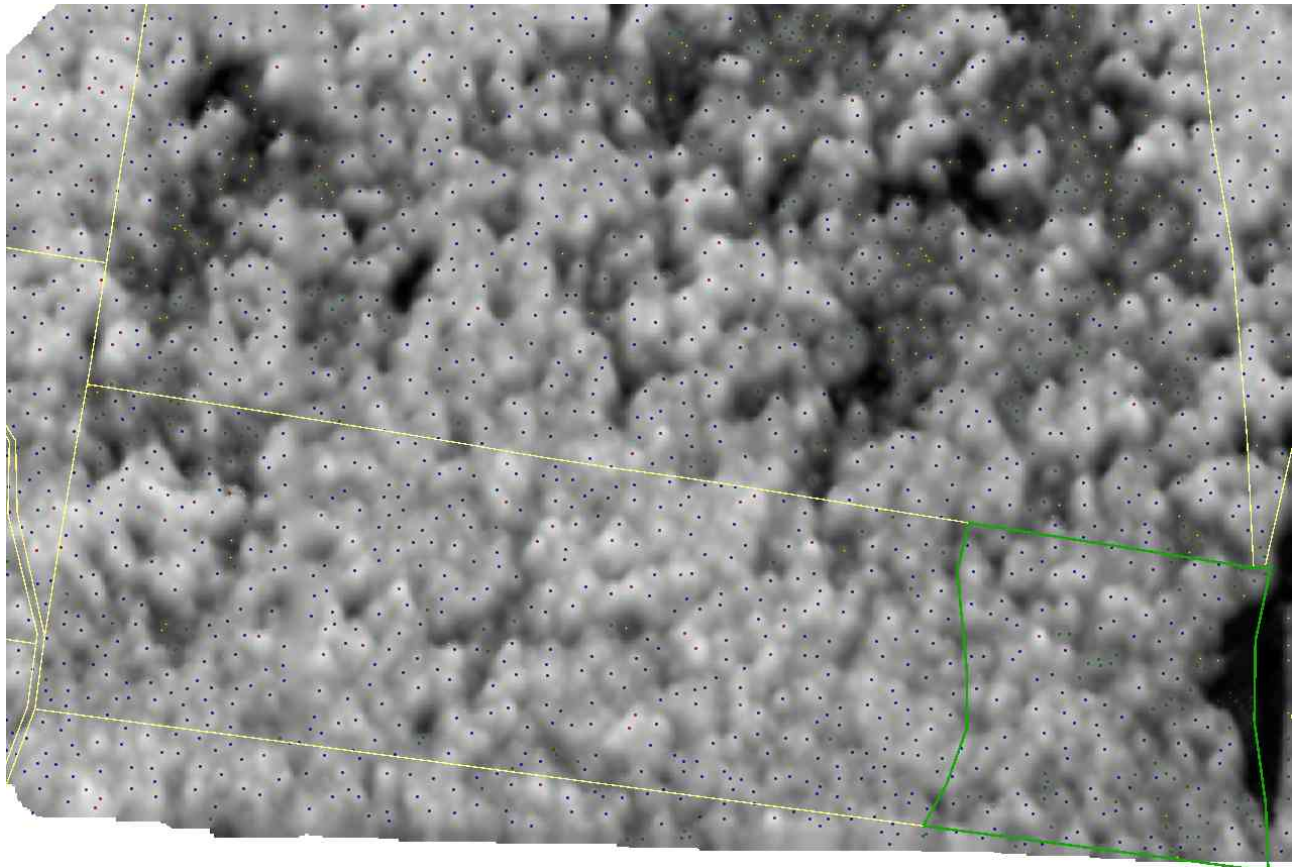


Abb.: Die Abbildung zeigt das aus den amtlichen Luftbildern des LGL (Befliegung 2009) generierte Kronenmodell. Die gelben Linien sind Flurstücksgrenzen, das grüne Polygon umspannt den am Boden vermessenen Waldteil. Helle Bereiche (Baumkronen) sind höher als dunkle Flächen (schwarze Bereiche repräsentieren den Waldboden). Die Baumkronen sind sehr gut zu erkennen und die Baumspitzen können automatisch detektiert werden, was in diesem Bild bereits dargestellt ist (gelbe Punkte bezeichnen einen Baumhöhe von 5- 13 m, grün = 13-20 m, blau = 20-30, rot = > 30m).

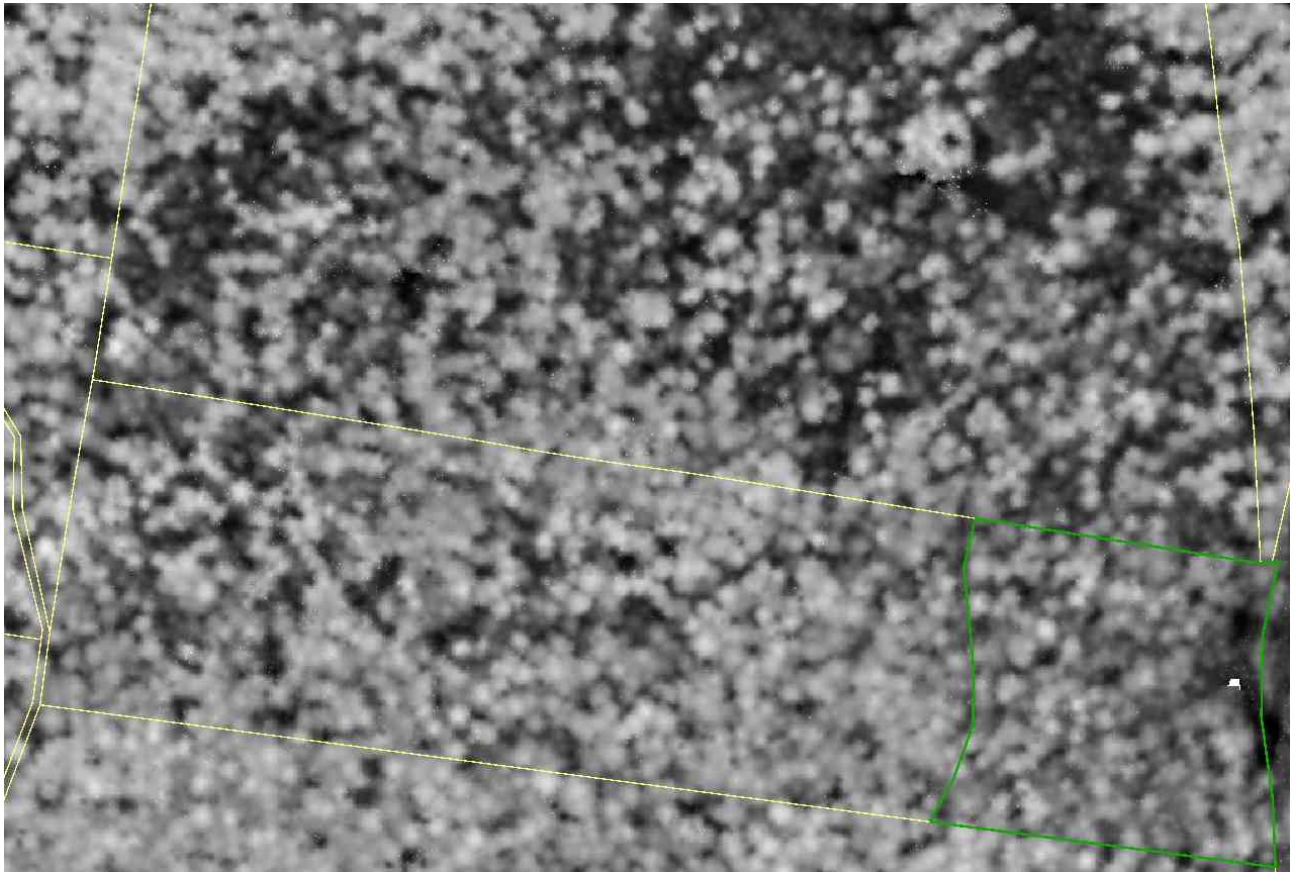


Abb.: Ein aus Laserdaten der Befliegung 2003 (first/last pulse Daten mit einer Punktdichte von ca. 1.4 Punkten pro qm) erzeugtes Kronenmodell mit dem Testgebiet in grün. Erkennbar heben sich die Baumkronen als helle Flächen von ihrer dunkleren Umgebung ab.

Die automatische Detektionsrate von Einzelbäumen war auf beiden Modelle (Lasermmodell: 170 Bäume, Luftbildmodell: 169 Bäume) annähernd gleich. Auch die geographische Lage der erkannten Baumspitzen ist nahezu identisch, was in der folgenden Abbildung sehr gut zu erkennen ist, auf der das Lasermmodell im Hintergrund mit den aus dem Luftbildmodell erkannten Einzelbäumen überlagert wurde.

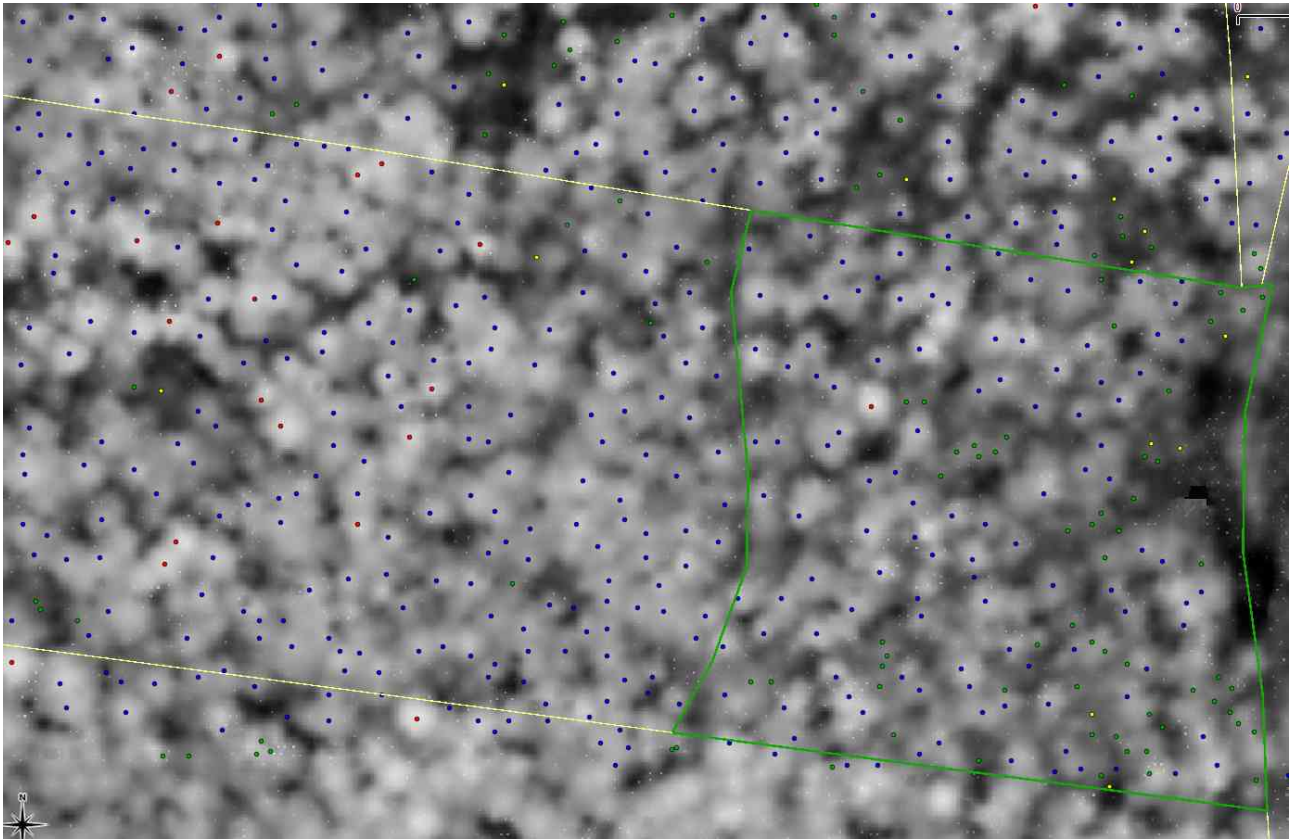


Abb. Lasermodell in Graustufen überlagert mit Einzelbäumen (farbige Punkte), die aus dem Luftbildstereomodell generiert wurden.

Zur Überprüfung der Gültigkeit des entwickelten Modells wurde für ein zweites Testgebiet, das einen Mischwald im Kraichgau, östlich von Heilbronn, umfasst, ein weiteres Oberflächenmodell aus digitalen Luftbildern (Befliegung 2010, Überlappung 60/30, 8bit, Bodenauflösung 20 cm) des LGL gerechnet.

In der folgenden Abbildung ist das Modell vor dem Hintergrund des Laseroberflächenmodells aus dem Jahr 2001 dargestellt. Die rot markierten unbewachsenen Geländebereiche wurden direkt mit dem Lasermodell aus dem Jahr 2001 verglichen. Sie sollten - unter der Annahme, dass dort bis 2010 keine Erdbewegungen stattgefunden hatten - auch gleich große Geländehöhen aufweisen, was tatsächlich auch der Fall war, womit die Höhengenaugigkeit des Verfahrens belegt wurde.

Bei dieser wichtigen Qualitätsüberprüfung hat uns Frau Zollinger vom LGL (Abt. Photogrammetrie in Karlsruhe) bereitwillig unterstützt, wofür wir ihr an dieser Stelle noch einmal recht herzlich danken möchten.



Abb.: Aus Luftbildern der Befliegung 2010 gerechnetes Oberflächenmodell vor dem Hintergrund des Lasermodells aus dem Jahr 2001. Die rot markierten unbewachten Geländebereiche wurden direkt mit dem Lasermodell aus dem Jahr 2001 verglichen.

Anders sah der Vergleich der Waldoberfläche der beiden Modelle aus. Die Waldhöhen liegen im Luftbildmodell aus der Befliegung 2010 naturgemäß höher als in dem Modell von 2001. Dieser Zuwachs ist durch den Vergleich beider Modelle messbar, was in der folgenden Abbildung dargestellt ist.

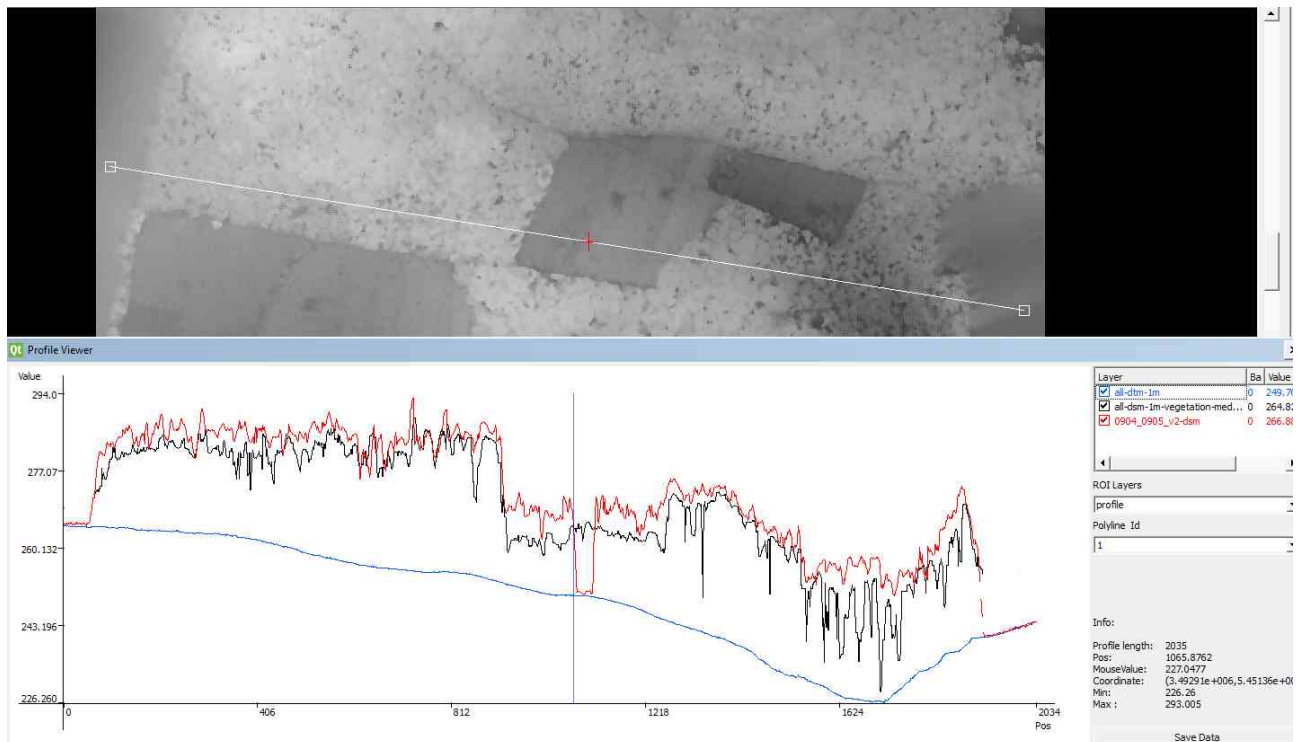


Abb. Höhenprofillinie über die Waldoberfläche, die aus Luftbildern des Jahres 2010 (rote Linie) und aus dem Laserdaten des Jahre 2001 (schwarze Linie) gerechnet wurde. Die blaue Linie beschreibt den Waldboden. Deutlich ist im Bildmittelpunkt an der Stelle wo sich die rote Linie an die blaue Linie anpasst, die Entstehung einer Waldblöße zu erkennen.

Um die Frage nach den Auswirkungen der Farbtiefe (16 bit oder 8bit) auf die Qualität des Ergebnisses zu untersuchen, wurde ein Ausschnitt aus dem verwendeten Nordschwarzwald Datensatz etwas genauer betrachtet. Die folgende Abbildung zeigt die Gegenüberstellung eines Bildausschnittes, dessen Farbspektrum links mit bis zu 65.536 (16 bit) Abstufungen und rechts als 8bit Datei mit 256 Farbabstufungen abgespeichert wurde.

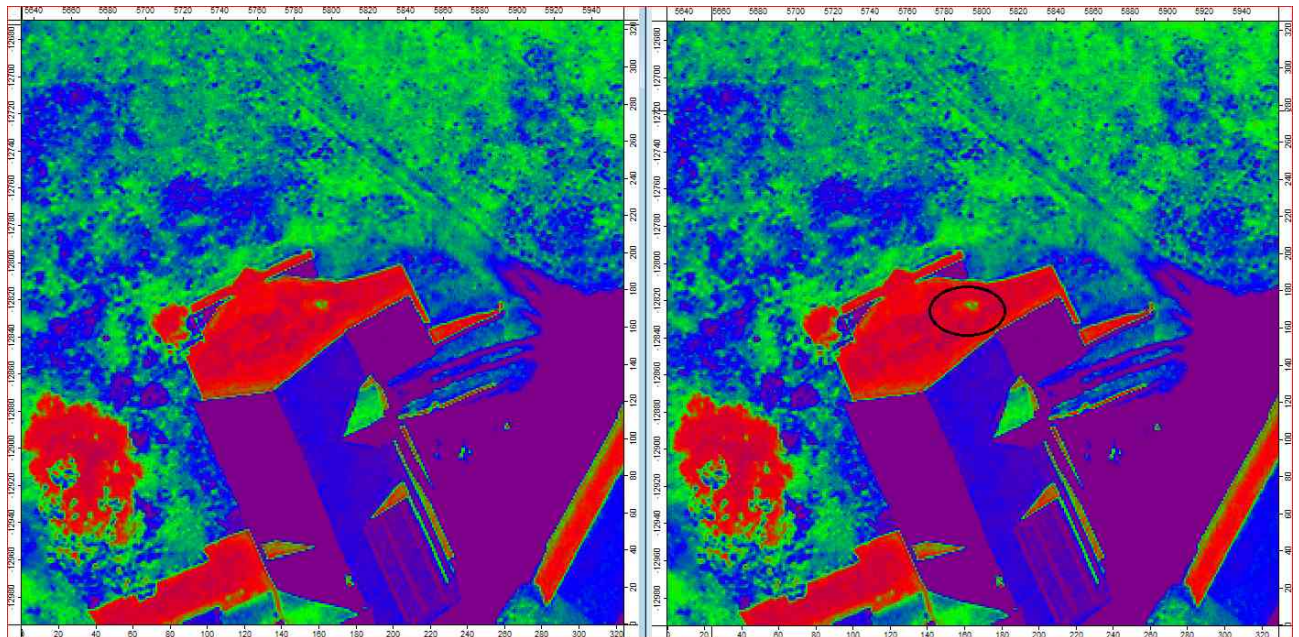


Abb. Darstellung eines Gebäudes mit angrenzender Wiese als 16bit Datei (links) und als 8bit Datei (rechts). Aufgrund unseres eingeschränkten Sehvermögens können wir den Unterschied der beiden Bilder nur an den numerischen Farbwerten der Bildelemente wahrnehmen, wie dies der durch den schwarzen Kreis markierten und in der folgenden Darstellung stark vergrößerten Ausschnitt deutliche wird.

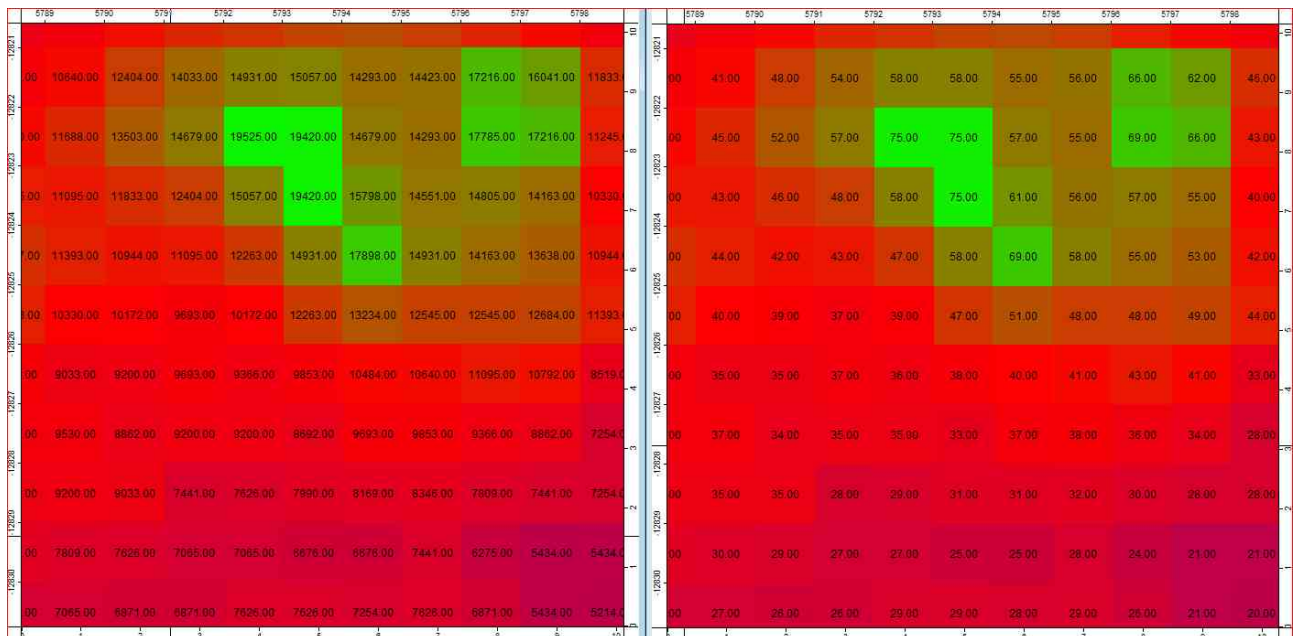


Abb.: Vergrößerung der im Schatten liegenden Hausfront (schwarzer Kreis in der obigen Abbildung). Den augenscheinlich gleichen Farben liegen andere Pixelwerte zugrunde. Links ist das Farbspektrum auf 65536 Farbwerte (16 bit) aufgespannt, rechts nur auf 256 Stufen (8bit), so erhält das als hellgrün dargestellte Bildelement den einheitlichen Wert von 75 im 8bit Bild, dagegen variieren die Pixelwerte im 16bit Bild zwischen 19420 und 19525.



Eine endgültige Bewertung, ob mit 16 bit Bilddateien ein besseres Stereomodell erzeugt werden kann oder nicht, konnte abschließend nicht getroffen werden. Es war allerdings bei genauerer Betrachtung der Bilddetails zu vermuten, dass zum großen Teil auch radiometrische Unschärfen durch die erweiterte 16 bit Darstellung repräsentiert wurden und nicht nur echte Bildmerkmale und -objekte, was demzufolge nicht zu einer Verbesserung der Stereomodellqualität führen würde.

## Schlussfolgerung

Die Studie hat gezeigt, dass aus den amtlichen Luftbilder des Landesamtes für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg (LGL) durch einen entsprechend angepassten und weiterentwickelten Matching Algorithmus des Joanneum Research hochwertige Waldoberflächenmodelle erzeugt werden können, die den von Dr. Weidenbach formulierten Zielen entsprechen. Insbesondere sind die Modelle dazu geeignet Einzelbäume automatisch zu detektieren und die dazugehörigen Einzelbaumhöhen zu berechnen, womit eine messbare Grundlage zur Bestimmung des Holzvorrates geschaffen wird.

Durch das beschriebene Verfahren lassen sich die aus den mittlerweile veralteten Laserdaten des LGL erstellten Oberflächenmodelle ersetzen. Von großem Vorteil ist dabei das Vorgehen des LGL, das gesamte Land Baden-Württemberg in einem Turnus von drei Jahren mit digitalen Kamerasystemen neu zu befliegen, womit aktuelle und kostengünstige Luftbilder für die Berechnung der Waldoberflächenmodelle bereitgestellt werden.

Bei der Beurteilung der Luftbildqualität, ist v.a ein hoher Überlappungsbereich zu nennen, der sich positiv auf die Qualität der Waldoberflächenmodelle auswirkt.

Nach wie vor wird aber für eine zuverlässige Berechnung der Baum- und Bestandeshöhen auf das amtliche Geländemodell aus Laserdaten zurückgegriffen werden müssen, da eine repräsentative Abbildung des Waldbodens aus den eingesetzten Luftbildern derzeit nur sehr eingeschränkt möglich ist.

Nicht eindeutig nachgewiesen werden konnte eine Verbesserung durch den Einsatz von 16 bit anstatt 8 bit Bildern. Der vermeintliche Zugewinn an Bildinformation kann aber durchaus zu einer verbesserten und differenzierteren Klassifikation der vorkommenden Baumarten führen. Dieser wichtige Aspekt der Forstplanung müsste allerdings in einer weiterführenden Studie näher untersucht werden.