

Lagegenaue Erfassung von Bäumen aus dem Flugzeug

True-Orthophotos – eine neue Informationsgrundlage für die forstliche Praxis

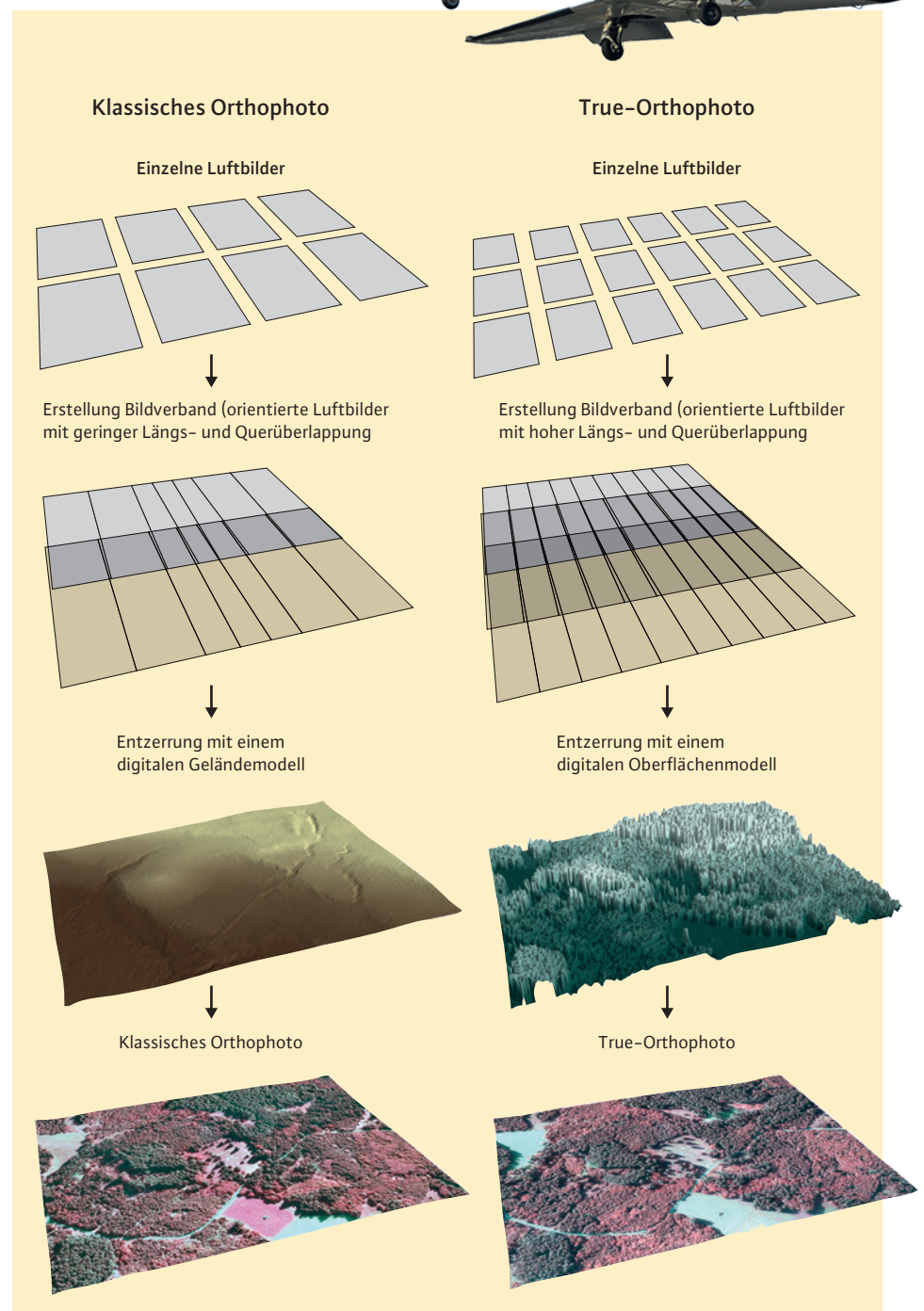
Christoph Straub und Rudolf Seitz

Fernerkundungsdaten liefern immer genauere Informationen über Bayerns Wälder. In diesem Zusammenhang sind digitale Orthophotos aus Luftbildbefliegungen ein zentrales Arbeitsmittel. Über eine Ressortvereinbarung stellt die Bayerische Vermessungsverwaltung der Bayerischen Forstverwaltung mittlerweile alle zwei Jahre aktualisierte Orthophotos zur Verfügung. Seit der Bayernbefliegung 2018 hat die Vermessungsverwaltung auf Orthophotos der neuesten Generation, sogenannte True-Orthophotos, umgestellt, die eine bessere Lagegenauigkeit aufweisen.

Orthophotos sind eine wesentliche Informationsgrundlage zur Erfassung, Digitalisierung und Vermessung von Wäldern, Waldbeständen und auch einzelnen Baumkronen in Geoinformationssystemen (GIS) wie z.B. dem Bayerischen Wald-Informationssystem (BayWIS). In diesem Beitrag werden die grundsätzlichen Unterschiede von klassischen Orthophotos und True-Orthophotos dargestellt, um dadurch die jeweiligen Vor- und Nachteile für forstwirtschaftliche Anwendungen aufzuzeigen. In diesem Zusammenhang soll angemerkt werden, dass der Begriff True-Orthophoto also »echtes« Orthophoto in der Fachliteratur durchaus umstritten ist (Kraus 2002; Wiedemann & Wicki 2010; Angerer 2015). Er soll im Folgenden dennoch weiter verwendet werden, um damit die Abgrenzung zum klassischen Orthophoto zu vereinfachen. Zuerst werden die Unterschiede im Herstellungsprozess von klassischen Orthophotos und True-Orthophotos beschrieben, da diese Unterschiede einen entscheidenden Einfluss auf die Beschaffenheit und die geometrische Genauigkeit der resultierenden Datensätze haben.

1 Bei der Herstellung klassischer Orthophotos werden orientierte Luftbilder mit geringer Bildüberlappung mit einem digitalen Geländemodell entzerrt (li.). Für True-Orthophotos werden Luftbilder mit hoher Bildüberlappung mit einem digitalen Oberflächenmodell entzerrt (re.).

Foto: camerawithlegs, fotolia.com



Herstellung digitaler Orthophotos

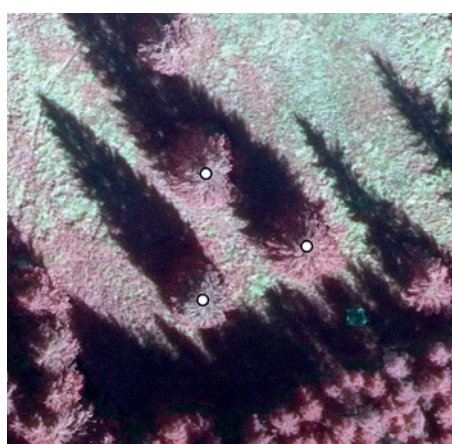
In Abbildung 1 sind die grundlegenden Unterschiede in der Herstellung von klassischen Orthophotos und True-Orthophotos vereinfacht dargestellt. Die Grundlage für Orthophotos bilden Luftbilder, die im Rahmen eines photogrammetrischen Bildflugs aufgenommen werden. Die hierbei eingesetzten Luftbildkameras liefern üblicherweise digitale Bilder als Schwarz-Weiß-, Echtfarb- und Color-Infrarot-Aufnahmen. Die Aufnahme der Luftbilder erfolgt in festgelegten Abständen entlang mehrerer benachbarter Flugstreifen, die das Projektgebiet vollständig abdecken. Nach weiteren Bearbeitungsschritten (Aerotriangulation) wird aus den einzelnen Luftbildern ein Bildverband mit *orientierten* Luftbildern erstellt. Orientierte Luftbilder sind definiert als Luftbilder mit allen erforderlichen Parametern für eine stereoskopische Auswertung, d.h. mit Daten zur inneren und äußeren Orientierung (ADV 2014). Um eine stereo-

skopische Auswertung zu ermöglichen, überlappen sich direkt benachbarte Bilder im Bildverband. Hierbei wird zum einen die Längsüberlappung in Flugrichtung und zum anderen die Querüberlappung der benachbarten Flugstreifen unterschieden. Wie in Abbildung 1 (li. und re.) gezeigt, ergibt sich hier bereits ein Unterschied zwischen klassischen Orthophotos und True-Orthophotos. Für die Herstellung von klassischen Orthophotos können geringere Überlappungen zum Beispiel 60% Längsüberlappung und 30% Querüberlappung ausreichend sein. Für die Produktion von True-Orthophotos werden jedoch deutlich höhere Überlappungen empfohlen, zum Beispiel 80% Längsüberlappung und > 50% Querüberlappung (Wiedemann & Wicki 2010). Die originären Luftbilder liefern zunächst eine zentralperspektivische Abbildung der aufgenommenen Landschaft. Durch die Zentralperspektive kommt es zu geometrischen Verzerrungen und zu Maßstabsunterschieden in den Bildern,

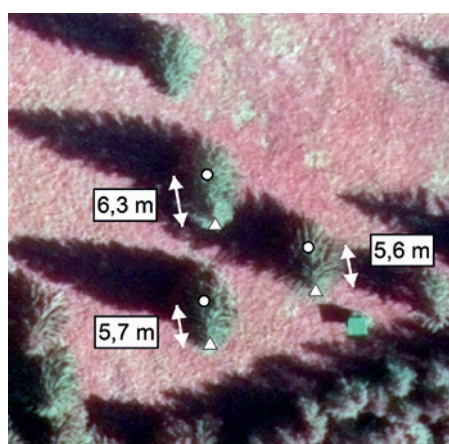
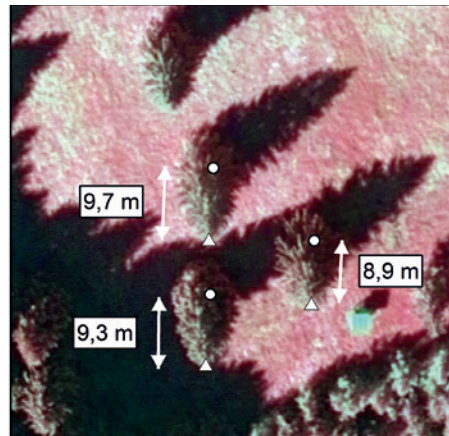
welche durch eine geneigte Kamera (wegen Schwankungen des Flugzeugs während dem Bildflug) und aufgrund von Höhenunterschieden im aufgenommenen Gelände entstehen (BKG 2019). Dadurch können zunächst keine wirklichkeitsgetreuen Distanz- oder Flächenmessungen vorgenommen werden. Die Orthophotoherstellung verfolgt nun das Ziel, die orientierten Luftbilder mit Hilfe eines Höhenmodells in eine verzerrungsfreie und maßstabsgetreue Darstellung umzurechnen. Nach dieser »Entzerrung« haben Orthophotos die folgenden Eigenschaften (LDBV 2019a):

- Die Wiedergabe der abgebildeten Landschaft ist maßstäblich und lagerichtig.
- Koordinaten, Distanzen und Flächen können erfasst werden.
- Orthophotos können in einem GIS bereitgestellt und dort mit anderen Geodaten z. B. topografischen Karten oder Standortinformationen durch den einheitlichen Raumbezug kombiniert werden.

Wie in Abbildung 1 verdeutlicht, kann für die Entzerrung der orientierten Luftbilder entweder ein digitales Geländemodell (DGM) oder ein digitales Oberflächenmodell (DOM) verwendet werden. Das DGM (Abbildung 1 li.) ist eine geometrische Abbildung der Erdoberfläche ohne Vegetation und Bebauung, welches üblicherweise mittels flugzeuggetragener Laserscannermessung gewonnen wird (LDBV 2019b). Das DGM eignet sich für die Berechnung klassischer Orthophotos. Im Unterschied dazu wird für die Berechnung von True-Orthophotos ein DOM (Abbildung 1 re.) benötigt, welches die Erdoberfläche inklusive der darauf befindlichen Vegetation und Bebauung beschreibt. Ein DOM kann direkt aus den orientierten Luftbildern mittels dichten Bildzuordnungsverfahren hergestellt werden (Hirschmüller 2017) und wird deshalb auch als bildbasiertes DOM bezeichnet (Stolz 2013). Von der Bayerischen Vermessungsverwaltung wird mittlerweile ein bildbasiertes DOM mit 0,40 m räumlicher Auflösung flächendeckend für Bayern aus den regelmäßig erhobenen Luftbildern der Bayernbefliegung produziert (LDBV 2019b). Darauf aufbauend ist auch die Ableitung von True-Orthophotos als Folgeprodukt des DOM möglich geworden. Im Frühjahr 2019 werden



2 True-Orthophoto als Color-Infrarot-Darstellung vom August 2018. In der Mitte des Bildes wurden die Kronenspitzen von drei Fichtenkronen als weiße Punkte markiert (o.). Unten ein True-Orthophoto vom September 2018. Die Kronenspitzen befinden sich in beiden Aufnahmen exakt an derselben Position.



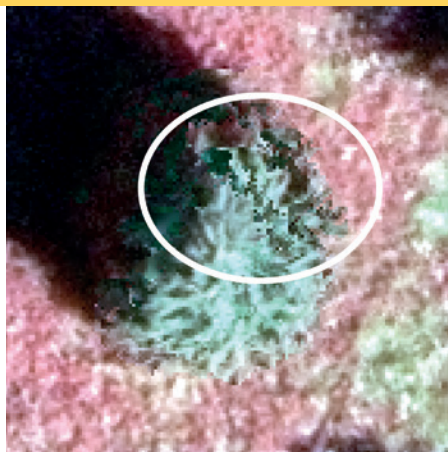
3 Klassisches Orthophoto vom Juli 2012. (o.) und vom Juli 2015 (u.). Jeweils angegeben ist die Lageabweichung der Kronenspitzen in den klassischen Orthophotos (weiße Dreiecke) zur Position der Kronenspitzen in den True-Orthophotos (weiße Punkte aus Abbildung 2).

die True-Orthophotos für die Südhälfte Bayerns verfügbar sein und im Jahr 2020 dann zusätzlich auch für die Nordhälfte (LDBV 2018).

Eigenschaften von True-Orthophotos und klassischen Orthophotos

Durch die oben beschriebene Entzerrung mit einem DOM werden im True-Orthophoto alle Objekte über dem Gelände (also auch Baumkronen) lagerichtig abgebildet. Dies soll mit Abbildung 2 verdeutlicht werden. Dargestellt sind zwei True-Orthophotos einer gering beschirmten Waldfläche jeweils als Color-Infrarot-Darstellung, welche im Rahmen eines Bildflugauftrags der LWF erstellt wurden. Abbildung 2 (o.) zeigt die Waldfläche im August und Abbildung 2 (u.) im September 2018. Auf Grundlage der August-Aufnahme wurden die Kronenspitzen von drei Fichtenkronen in der Mitte des Bildes als weiße Punkte markiert. Überträgt man diese Positionen in die September-Aufnahme wird der entscheidende Vorteil der True-Orthophotos sichtbar: Die Kronenspitzen befinden sich in den beiden Aufnahmen exakt an derselben Position. Wie Abbildung 3 verdeutlicht, wird diese Lagegenauigkeit mit klassischen Orthophotos nicht erreicht. Dargestellt sind hier Orthophotos der regelmäßigen Bayernbefliegung vom Juli 2012 und Juli 2015. Deutlich erkennbar ist die für klassische Orthophotos charakteristische Verkipfung bzw. Umklappung der Baumkronen, welche gewöhnlich zum Bildrand der originären Luftbilder zunimmt (AFL 2012; ADV 2014). Die weißen Punkte markieren auch hier die Position der Kronenspitzen des True-Orthophotos, um dadurch die Lageabweichung zu den Kronenpositionen im klassischen Orthophoto (weiße Dreiecke) zu verdeutlichen. In Abbildung 3 (o.) liegt diese Lageabweichung zwischen 8,9 m bis 9,7 m und in Abbildung 3 (u.) zwischen 5,6 m bis 6,3 m. Die Lagefehler der Kronenspitzen im klassischen Orthophoto resultieren aus der Entzerrung mit einem DGM, welches keine Baumhöhen beinhaltet (siehe Abbildung 1 li.).

Bezogen auf die Bildqualität ist zu beachten, dass es bei der Berechnung von True-Orthophotos zur Bildung von »Artefakten« bzw. lokalen Bildfehlern kommen kann (LDBV 2018). Solche Artefakte



können unter anderem auf Ungenauigkeiten im verwendeten DOM zurückgeführt werden, welches für die Entzerrung eingesetzt wird. Ein Beispiel zeigt Abbildung 4. Innerhalb der weiß umrandeten Ellipse sind Artefakte bzw. Störungen in der Farbe und Textur einer Baumkrone zu erkennen.

Diskussion

Im Vergleich zu klassischen Orthophotos werden Baumpositionen in True-Orthophotos lagegenauer abgebildet. Diese verbesserte geometrische Genauigkeit ist insbesondere bei der Auswertung von Zeitreihen vorteilhaft, da einzelne Bäume in einer True-Orthophoto-Zeitreihe einfacher wiedergefunden und räumlich zugeordnet werden können. Dadurch wird das Monitoring von Veränderungen in Baumkronen erleichtert. Ferner ist zu erwarten, dass die Verknüpfung mit terrestrisch erhobenen Daten (zum Beispiel mit Stichprobenkreisen einer Forstinventur) durch die bessere Lagegenauigkeit einfacher möglich ist. Der limitierende Faktor hierbei ist vermutlich nach wie vor die Erfassungsgenauigkeit des verwendeten Positionierungssystems (GNSS) im Gelände. Zusätzlich wird den True-Orthophotos aufgrund der verwendeten hohen Bildüberlappung ein höherer Informationsgehalt durch die Reduktion sichttoter Räume zugeschrieben (LDBV 2018). Dennoch verbleiben zwischen Bäumen noch immer sichttote Bereiche. Von Nachteil sind die in Abbildung 4 gezeigten Artefakte in True-Orthophotos. Für eine visuelle Interpretation der Bilder sollte dies keine allzu große Einschränkung darstellen. Inwieweit sich solche Artefakte auf automatisierte Auswertungen auswirken, beispielsweise bei einer Klassifizierung von Laub- und Nadelhölzern, wird die zukünftige Arbeit mit den True-Orthophotos zeigen.

4 Die weiße Ellipse markiert Artefakte in einer Baumkrone, die bei der Berechnung eines True-Orthophotos entstanden sind.

Zusammenfassung

Die Bayerische Vermessungsverwaltung stellt ab 2018 digitale Orthophotos als True-Orthophotos zur Verfügung. Diese entstehen unter Verwendung hochauflösender Stereo-Luftbilder mit hoher Längs- bzw. Querüberlappung, die mit Hilfe eines digitalen Oberflächenmodells orthorektifiziert d. h. entzerrt werden. Durch die Entzerrung mit einem Oberflächenmodell werden im True-Orthophoto alle Objekte über dem Gelände (also auch Baumkronen) lagerichtig abgebildet. Deshalb eignen sich True-Orthophotos in besonderer Weise für das Monitoring von Einzelbäumen sowie für die Verknüpfung mit terrestrischen Erhebungen. Bezogen auf die Qualität der Bilder ist zu beachten, dass es bei der Berechnung von True-Orthophotos zur Bildung von »Artefakten« bzw. lokalen Bildfehlern kommen kann. Solche Artefakte können unter anderem auf Ungenauigkeiten im verwendeten Oberflächenmodell zurückgeführt werden, welches für die Entzerrung eingesetzt wird. Ihre Auswirkung auf automatisierte Analyseschritte ist Gegenstand weiterer Forschungsvorhaben.

Literatur

- ADV (2014):** Standard für Digitale Luftbilder des amtlichen deutschen Vermessungswesens. Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland, Online: <http://www.adv-online.de/> (Stand: 09.04.2019)
- AFL (2012):** Das digitale Luftbild. Ein Praxisleitfaden für Anwender im Forst- und Umweltbereich. Arbeitsgruppe forstlicher Luftbildinterpretanten, Universitätsverlag Göttingen
- Angerer, C. (2015):** Generierung von True-Orthophotos – Vergleich verschiedener Produktionsprozesse unter besonderer Berücksichtigung der Software »Sure«. Bachelorarbeit, Hochschule für angewandte Wissenschaften München
- BKG (2019):** Digitale Orthophotos (DOP), Produktinformation, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Online: <https://www.bkg.bund.de/DE/Home/home.html> (Stand: 09.04.2019)
- Hirschmüller, H. (2017):** Dichte Bildzuordnung. In: Heipke C. (Hrsg.) Photogrammetrie und Fernerkundung. Springer Reference Naturwissenschaften, Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg
- Kraus, K. (2002):** Zur Orthophoto-Terminologie. Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation, 6, S. 451–452
- LDBV (2018):** Kundeninformation – Digitales Orthophoto. Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung, Online: https://www.ldbv.bayern.de/file/pdf/12834/Kundeninformation_DOP.pdf (Stand: 09.04.2019)
- LDBV (2019a):** Luftbildprodukte. Produktinformation, Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung, Online: <https://www.ldbv.bayern.de/file/pdf/1039/Faltblatt-Luftbildprodukte.pdf> (Stand: 09.04.2019)
- LDBV (2019b):** 3D-Höhenmodelle. Produktinformation, Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung, Online: https://www.ldbv.bayern.de/file/pdf/1614/Faltblatt_3D-Höhenmodelle.pdf (Stand: 09.04.2019)
- Stolz, M. (2013):** Digitale Oberflächenmodelle aus Bildkorrelation. Mitteilungen des DVW-Bayern e.V., Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, 2, S. 139–150
- Wiedemann, A.; Wicki, P. (2010):** Mythos True Orthophotos. Vom Sinn und Unsinn eines Produkts. DGPF Tagungsband, 19, S. 271–278

Autoren

Dr. Christoph Straub ist in der Abteilung »Informationstechnologie« der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) für den Fachbereich Fernerkundung zuständig. Rudolf Seitz leitet die Abteilung »Informationstechnologie« der LWF.

Kontakt: Christoph.Straub@lwf.bayern.de, Rudolf.Seitz@lwf.bayern.de