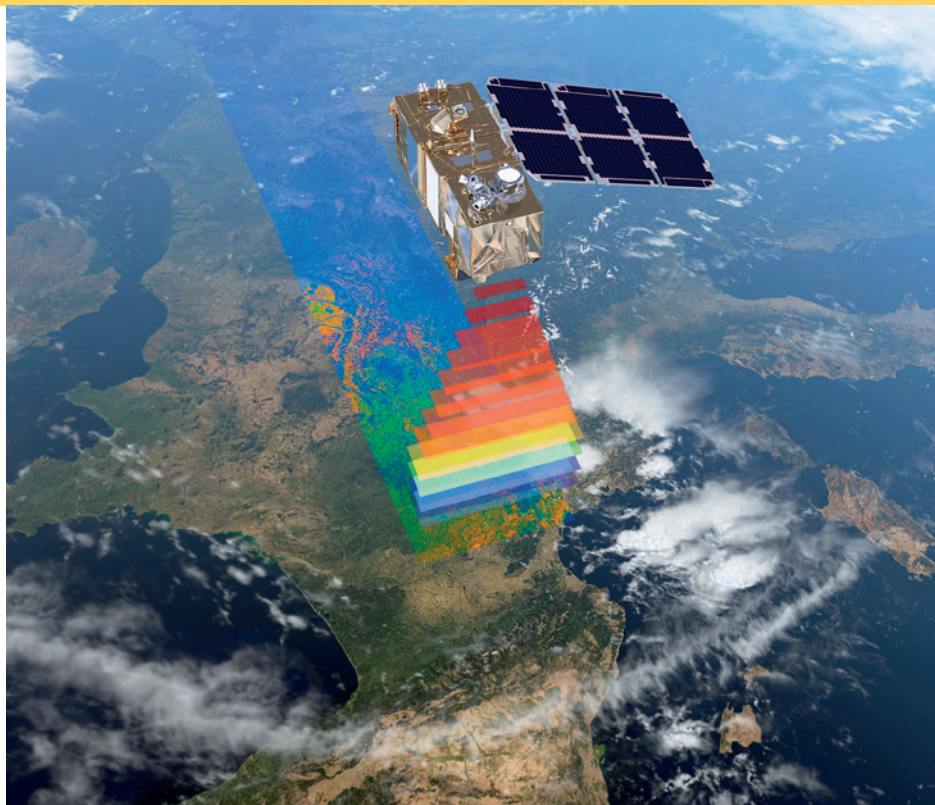




Satellitenbilder kostenfrei für die forstliche Forschung

Die LWF untersucht das Anwendungsspektrum von Sentinel-2 Satellitendaten

Christoph Straub und Rudolf Seitz

Durch das europäische Erdbeobachtungsprogramm Copernicus sind kostenfreie optische Satellitendaten zunehmend besser verfügbar. Anwendungsgebiete für die Forstwirtschaft ergeben sich unter anderem für die großflächige Waldflächenerfassung sowie für die Unterscheidung von Waldtypen beispielsweise zur Erstellung einer Laub- und Nadelholzkarte für Bayern. Zukünftige Forschungsarbeiten werden außerdem Möglichkeiten zur Erfassung der Hauptbaumarten sowie zur möglichst schnellen Identifizierung von Flächenveränderungen in Waldgebieten untersuchen.

Das europäische Erdbeobachtungsprogramm Copernicus wird seit 2014 operationell betrieben (EC 2014) und soll in den kommenden Jahren aktuelle Informationen für die Umweltüberwachung und die zivile Sicherheit liefern.

Die Sentinel-2 Mission des europäischen Erdbeobachtungsprogramms Copernicus
Speziell für Copernicus wurden von der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) eine Reihe von Erdbeobachtungsmissionen, die sogenannten Sentinels (»Wächter«), entwickelt. Neben den Rasterdaten der Sentinel-1 Mission stehen auch optische Satellitendaten der Sentinel-2 Mission zur Verfügung, die insbesondere zur Beobachtung der Landbedeckung und Landnutzung eingesetzt werden können. Sentinel-2 besteht aus den

beiden baugleichen Erdbeobachtungssatelliten Sentinel-2A und Sentinel-2B (Abbildung 1). Beide Satelliten wurden an Bord einer Vega-Rakete vom europäischen Weltraumbahnhof in Kourou, Französisch-Guayana, gestartet. Der erste Satellit Sentinel-2A hob bereits am 23. Juni 2015 ab. Am 7. März 2017 folgte ihm dann Sentinel-2B (ESA 2017a). Die Satelliten umkreisen die Erde in 786 Kilometern Höhe und nehmen jeweils kontinuierlich einen 290 Kilometer breiten Streifen der Erdoberfläche auf. Bei wolkenfreien Bedingungen ermöglichen die Satelliten theoretisch alle fünf Tage eine aktuelle Aufnahme. Beide Sentinel-2 Satelliten generieren Bilddaten im sichtbaren Bereich sowie im nahen und kurzwelligen Infrarotbereich in 13 Spektralbändern mit unterschiedlichen, räumlichen

Auflösungen von 10, 20 oder 60 m (ESA 2017b). Speziell die Spektralbänder aus dem nahen und kurzwelligen Infrarotbereich können für forstwirtschaftliche Auswertungen von besonderem Interesse sein.

Alle fünf Tage aktuelle und kostenfreie Bilder der Erdoberfläche

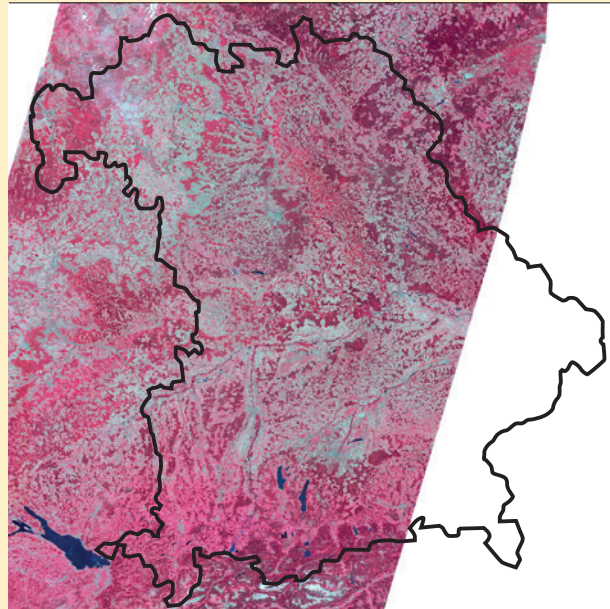
Über den öffentlichen »Copernicus Open Access Hub« (<https://scihub.copernicus.eu/>) werden die Sentinel-Satellitendaten kostenfrei angeboten. Abbildung 2 zeigt beispielhaft einen Aufnahmestreifen des Sentinel-2A Satelliten als Color-Infrarot-Darstellung, welcher einen großen Teil von Bayern abdeckt. Die Aufnahme erfolgte am 26. August 2015 und ist beinahe wolkenfrei. Die Abbildung verdeutlicht die große Flächenabdeckung der Sentinel-2 Daten mit weitgehend homogenen Beleuchtungsverhältnissen, wodurch die Satellitenbilder großes Potenzial für automatisierte Bildauswertungen haben. Zusätzlich zeigt Abbildung 3a einen kleinen Ausschnitt vom Ebersberger Forst, um die maximale räumliche Auflösung von 10 m bzw. den Detaillierungsgrad der Sentinel-2 Daten zu veranschau-



1 In 786 km Höhe kreisen die Sentinel-2 Satelliten des europäischen Erdbeobachtungsprogramms Copernicus um die Erde und nehmen dabei kontinuierlich Bilder der Erdoberfläche auf.

Copyright: ESA/ATG medialab

2 290 km breiter Aufnahmestreifen des Sentinel-2A Satelliten als Color-Infrarot-Darstellung. Die Aufnahme erfolgte am 26. August 2015 und ist beinahe wolkenfrei. Nur im linken oberen Teil der Abbildung ist eine leichte Wolkenbedeckung zu erkennen. Der östliche Teil Bayerns wird vom Nachbarstreifen des nächsten Überflugs abgedeckt. Quelle: Contains modified Copernicus Sentinel data (2015)



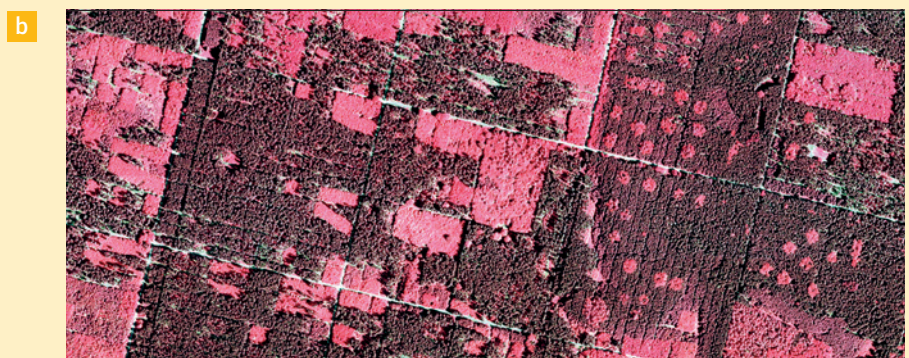
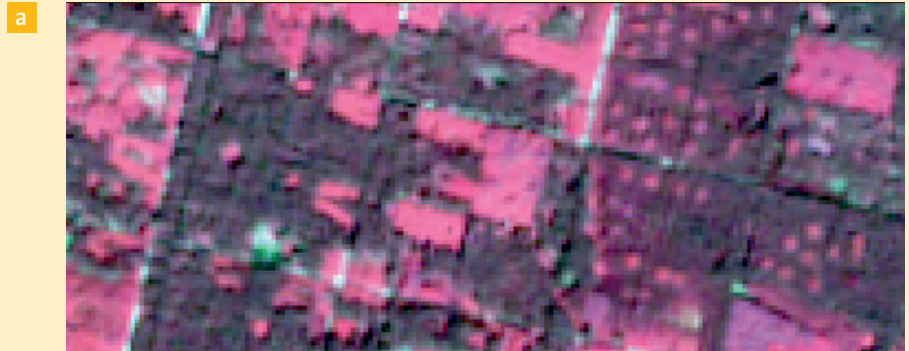
lichen. Zum Vergleich ist in Abbildung 3b ein hochaufgelöstes amtliches Orthophoto mit 0,2 m räumlicher Auflösung gegenübergestellt. Laubholzdominierte und nadelholzdominierte Bestände können in den beiden Color-Infrarot-Darstellungen deutlich unterschieden werden.

Im Folgenden soll das Potenzial von Sentinel-2 Satellitenbildern für großflächige Auswertungen aufgezeigt werden. Zu diesem Zweck hat die Abteilung »Informationstechnologie« der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) eine Untersuchung zur automatisierten Erfassung von Laub- und Nadelholzflächen durchgeführt.

Laub- und Nadelholzkarte

Der entwickelte Arbeitsablauf zur Erstellung einer Laub- und Nadelholzkarte unter Verwendung von Sentinel-2 Satellitendaten ist in Abbildung 4 skizziert und gliedert sich in die folgenden wesentlichen Arbeitsschritte:

- Datenbeschaffung
- Bildaufbereitung
- Modellierung
- Kartenerstellung



0 0.25 0.5 [km]

3 a) Ein kleiner Ausschnitt vom Ebersberger Forst veranschaulicht die maximale räumliche Auflösung von 10 m der Sentinel-2 Satellitenbilder. b) Zum Vergleich ein amtliches Orthophoto mit 0,2 m räumlicher Auflösung (Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung). Laubholzdominierte und nadelholzdominierte Flächen können deutlich unterschieden werden.

Datenbeschaffung und Bildaufbereitung

Wie einleitend erwähnt, können die Sentinel-Daten kostenfrei über den öffentlichen »Copernicus Open Access Hub« bezogen werden. Üblicherweise stehen die Sentinel-2 Aufnahmen als Bildkacheln mit einer Größe von 100 km × 100 km zum Download zur Verfügung. Nach dem Download wurde jede einzelne Bildkachel mit einer Atmosphärenkorrektur sowie einer topografischen Normalisierung aufbereitet mit dem Ziel, störende Einflüsse von Atmosphäre und Topografie auf die Spektralwerte zu verringern. Zusätzlich mussten im gesamten Sentinel-Aufnahmestreifen alle Gebiete abgegrenzt werden, deren Spektralwerte durch Wolkenbedeckung beeinflusst sind, in Abbildung 2 ist beispielsweise eine dünne Wolkenbedeckung im linken oberen Teil des Aufnahmestreifens sichtbar.

Modellierung

Die aufbereiteten Spektralbänder dienten dann als Eingangsdaten zur Modellierung von Laub- und Nadelholzanteilen für die gesamte Waldfläche im Aufnahmestreifen. Für die Modellierung wurde das k-Nearest-Neighbor (kNN)-Verfahren ausgewählt, welches eine häufig angewendete Methode zur Vorhersage forstlicher Kenngrößen ist (Chirici et al. 2016). Bevor die Modellierung auf den Sentinel-2 Aufnahmestreifen in Abbildung 2 angewendet werden konnte, musste das

kNN-Verfahren zunächst mit geeigneten Referenzflächen bzw. Trainingsgebieten trainiert werden. Im Allgemeinen sollten die eingesetzten Trainingsdaten die zu modellierenden Zielgrößen (hier: Laub- und Nadelholzanteile sowie unbestockte Flächenanteile) repräsentativ abbilden und möglichst gleichmäßig über das gesamte Bearbeitungsgebiet verteilt sein. Dies konnte im vorliegenden Fall gewährleistet werden, da auf bereits vorhandene Referenzgebiete aus dem abgeschlossenen Forschungsprojekt TreeIdent (Immitzer et al. 2015) zurückgegriffen werden konnte. Dieser Datensatz besteht aus insgesamt 4.178 Quadraten (Größe: 0,1 km × 0,1 km), die in einem regelmäßigen Abstand von 2,5 km × 2,5 km über die Waldfläche Bayerns verteilt wurden. Mit Hilfe amtlicher Color-Infrarot-Orthophotos (LDBV 2017) wurde in jedem Quadrat der prozentuale Anteil von Laubholz, Nadelholz und unbestockten Flächen visuell interpretiert. Für die kNN-Modellierung wurden im vorliegenden Fall nur Trainingsgebiete verwendet, für welche die visuelle Interpretation zuverlässig durchgeführt werden konnte. Zusätzlich mussten alle Quadrate beseitigt werden, deren Spektralwerte durch störende Wolkenbedeckung in den Sentinel-2 Daten beeinflusst waren. Dadurch konnten schließlich 1.909 Trainingsgebiete innerhalb des in Abbildung 2 gezeigten Aufnahmestreifens für die Modellierung eingesetzt werden.

Kartenerstellung

Als Endergebnis steht eine Laub- und Nadelholzkarte für den in Abbildung 2 gezeigten Sentinel-2 Aufnahmestreifen mit einer räumlichen Auflösung von 0,1 km × 0,1 km zur Verfügung. Für diese Karte wurde eine Gesamtgenauigkeit von 85 % (bzw. ein Kappa-Koeffizient von 0,71) erzielt. Abbildung 5 zeigt beispielhaft einen Ausschnitt des Bearbeitungsgebietes mit der zugehörigen Laub- und Nadelholzkarte.

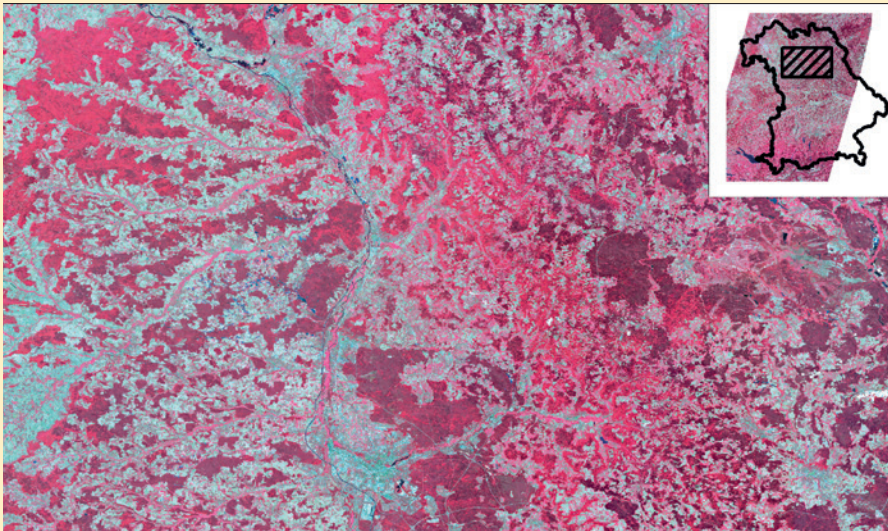
Fazit

Aufgrund des 290 Kilometer breiten Aufnahmestreifens (siehe Abbildung 2) sind Sentinel-2 Satellitenbilder für großflächige Auswertungen sehr gut geeignet. Die maximale räumliche Auflösung von 10 m ermöglicht die Ableitung von Informationen für größere Flächeneinheiten, zum Beispiel Analysen auf Bestandesebene. Einzelbaumbezogene Informationen können dagegen, wie mit Abbildung 3a veranschaulicht, nicht abgeleitet werden. Im vorliegenden Beitrag wurden exemplarisch Möglichkeiten zur großflächigen Erfassung von Baumartengruppen, d.h. von Laub- und Nadelholzflächen, in Bayern vorgestellt. Hierfür wurde ein Sentinel-2 Aufnahmestreifen vom 26. August 2015 verwendet. Eine zukünftige Verbesserung der dargestellten Methode wird durch eine multitemporale Auswertung angestrebt, d.h. durch die kombinierte Verwendung mehrerer Sentinel-2 Aufnahmestreifen, welche die Waldflächen zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Jahresverlauf bzw. während unterschiedlicher phänologischer Phasen abbilden. Eine Herausforderung könnte dabei das Auffinden mehrerer wolkenfreier Datensätze innerhalb eines Jahres sein, insbesondere wenn wolkenfreie Aufnahmestreifen für ganz Bayern benötigt werden. Deshalb wird man wahrscheinlich für diese Fläche auf wolkenfreie Aufnahmestreifen aus unterschiedlichen Jahrgängen zurückgreifen müssen.

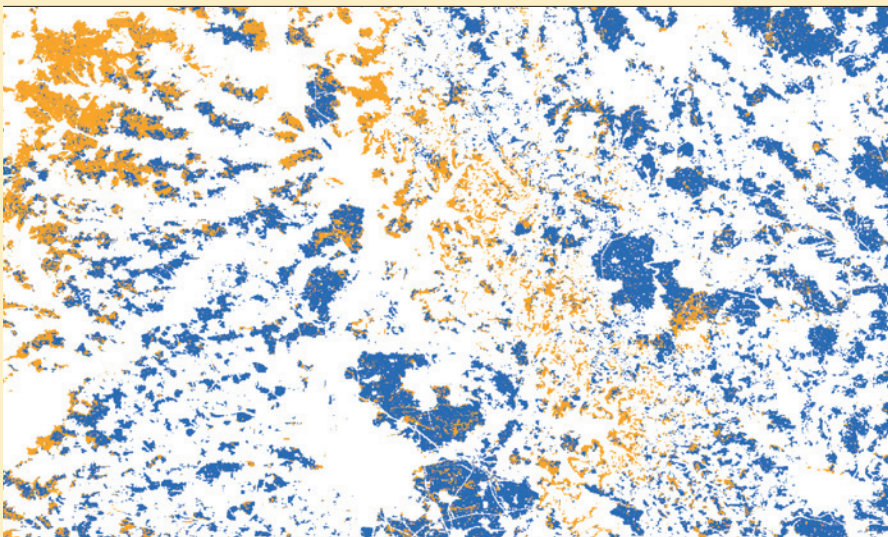


4. Arbeitsablauf zur Erstellung einer Laub- und Nadelholzkarte unter Verwendung von Sentinel-2 Satellitendaten. (ATKIS = Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem, DLM = Digitales Landschaftsmodell)

a



b



■ Nadelholz ■ unbestockte Waldflächen
■ Laubholz ■ keine Waldflächen

0 5 10 20 [km]

5 a) Ausschnitt des in Abbildung 2 gezeigten Sentinel-2A Aufnahmestreifens vom 26. August 2015 als Color-Infrarot-Darstellung; **b)** Mit dem k-Nearest-Neighbor (kNN)-Verfahren berechnete Laub- und Nadelholzkarte;

Zukünftige Forschungsarbeiten

Neben der Modellierung von Laub- und Nadelholzflächen sollen zukünftig auch Möglichkeiten zur großflächigen Kartierung der Hauptbaumarten mit den Sentinel-2 Satellitenbildern geprüft werden. Auch für andere forstliche Anwendungsgebiete haben die Sentinel-2 Daten großes Potenzial. Beispielsweise könnte durch die hohe Wiederholungsrate von fünf Tagen eine zeitnahe Identifizierung von Flächenveränderungen ermöglicht werden. Insbesondere nach einem großflächigen Sturmereignis werden schnell zuverlässige Informationen zum Schadausmaß benötigt, unter anderem um das Risiko für

biotische Folgeschäden durch eine zügige Aufarbeitung zu verringern. In diesem Zusammenhang wird die LWF prüfen, ab welcher Flächengröße Sturmschäden in Sentinel-2 Daten zuverlässig detektiert werden können und ob automatisierte Auswertungen hierfür ausreichende Genauigkeiten liefern. Ein weiteres zukünftiges Forschungsthema wird sich mit der Erfassung großflächiger Vitalitätsveränderungen in Waldgebieten (z.B. verursacht durch Trockenstress) über die Auswertung von Sentinel-2 Zeitreihendaten befassen.

Zusammenfassung

Die Sentinel-2 Satelliten des europäischen Erdbeobachtungsprogramms Copernicus liefern seit Juni 2015 kostenfreie, multispektrale Bilddaten der Erdoberfläche mit einer räumlichen Auflösung von bis zu 10 m. Neben allgemeinen Analysen zum Zustand und zu Veränderungen der Landoberfläche können Sentinel-2 Daten speziell für forstwirtschaftliche Anwendungen ein wertvolles und nützliches Hilfsmittel sein. Aufgrund einer großen Flächenabdeckung mit einem 290 Kilometer breiten Aufnahmestreifen eignen sich die Sentinel-2 Daten für großflächige Auswertungen. Im vorliegenden Beitrag wird ein Arbeitsablauf zur Erstellung einer Laub- und Nadelholzkarte basierend auf einem weitgehend wolkenfreien Sentinel-2A Aufnahmestreifen vom 26. August 2015 vorgestellt. Für die Berechnungen wurde das k-Nearest-Neighbor (kNN)-Verfahren eingesetzt. Als Ergebnis konnte eine Laub- und Nadelholzkarte für den gesamten untersuchten Aufnahmestreifen mit einer Gesamtgenauigkeit von 85% erstellt werden. Zukünftige Arbeiten werden prüfen, ob diese Genauigkeit weiter verbessert werden kann, insbesondere über eine multitemporale Auswertung. Außerdem soll die Erkennbarkeit von Hauptbaumarten untersucht werden. Durch die hohe Wiederholungsrate von fünf Tagen eignen sich Sentinel-2 Satellitenbilder zur Dokumentation von Flächenveränderungen. In diesem Zusammenhang werden künftige Forschungsarbeiten der LWF Möglichkeiten und Grenzen der schnellen Identifizierung von Waldflächenveränderungen prüfen.

Literatur

Chirici, G.; Mura, M.; McInerney, D.; Py, N.; Tomppo, E.O.; Waser, L.T.; Travaglini, D.; McRoberts, R.E. (2016): A meta-analysis and review of the literature on the k-Nearest Neighbors technique for forestry applications that use remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment* 176 (2016), S. 282–294

EC (2014): Earth observation: Copernicus satellite lifts off successfully. Pressemitteilung der Europäischen Kommission vom 4. April 2014. Online: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-14-380_en.htm (Stand: 20.07.2017)

ESA (2017a): Sentinel-2. About the launch. European Space Agency. Online: http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2/About_the_launch (Stand: 20.07.2017)

ESA (2017b): Introducing Sentinel-2. Facts and figures. European Space Agency. Online: http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2/Facts_and_figures (Stand: 20.07.2017)

Immitzer, M.; Atzberger, C.; Einzmann, K.; Mattiuzzi, M.; Wallner, A.; Seitz, R. (2015): Projekt E5: Identifikation anpassungsnotwendiger Fichten- und Kiefernbestände auf Basis von digitalen Standortinformationen und Satellitendaten (TreeIdent_Fi/Kie). Abschlussbericht, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, 65 S.

LDBV (2017): Luftbildprodukte, Produktinformation vom Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung. Online: http://www.ldbv.bayern.de/file/pdf/1039/download_faltblatt-luftbildero8.pdf (Stand: 20.07.2017)

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

Links

<https://scihub.copernicus.eu/>
www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus
www.d-copernicus.de
www.ldbv.bayern.de