

Satellitengestützte Waldkartierung in transregionalem Kontext

Dieser Beitrag befasst sich mit der flächendeckenden Waldtypenkartierung in transregionalem Kontext. Er greift die Problematiken der Forsteinrichtung im Hinblick auf terrestrische Datenakquise auf und bietet einen Weg an, wie u. a. regionale Forsteinrichtungen in Grenzregionen mithilfe von regelmäßig bereitgestellten und aus Fernerkundungsdaten abgeleiteten Kartenwerken unterstützt werden können.

TEXT: SASCHA NINK, JOACHIM HILL, JOHANNES STOFFELS, WOLFGANG KRATZ, JOACHIM LANGSHAUSEN

Die in den Untersuchungen betrachtete Großregion (Abb. 1), bestehend aus Wallonien, Rheinland-Pfalz, Luxemburg, dem Saarland und Lothringen, verfügt mit einer Fläche von 23.750 km² über einen beachtlichen Waldbestand, der ein Drittel der Gesamtfläche umfasst. Für dieses weitgehend ländlich geprägte Gebiet ist der Wald nicht nur von ökologisch hoher Bedeutung, sondern ist auch eine ökonomisch besonders wertvolle Ressource für die lokale Holzwirtschaft.

Für ein nachhaltiges Forstmanagement in der Großregion sind, auch im Hinblick auf sich durch den Klimawandel ändernde Bedingungen, transnational verfügbare Informationen über die Wälder unerlässlich. Hierzu stehen Informationen aus den jeweiligen Forsteinrichtungen sowie aus den nationalen Bundeswaldinventuren (BWI) bzw. Landeswaldinventuren (LWI) zur Verfügung.

Diese Daten sind sehr umfangreich, entsprechen allerdings nicht mehr den neuesten Anforderungen hinsichtlich Aktualität und Abdeckung und sind zudem aufgrund unterschiedlich geregelter Datenhoheiten in der Großregion auch nicht einheitlich organisiert. Eine Aktualisierung der jeweiligen Daten mittels terrestrischer Begehung bedeutet einen hohen organisatorischen und monetären Aufwand und wird daher nur in mehrjährigen Abständen durchgeführt; in Rheinland-Pfalz beispielsweise nur alle fünf bis zehn Jahre im Rahmen der Forsteinrichtung [12] sowie

alle zehn Jahre im Rahmen einer LWI, zuletzt 2012 [14]. Die dabei erhobenen Informationen beziehen sich entweder auf Punkte der Waldinventuren [1, 14] und erlauben damit nur punktuell gültige Aussagen. Oder sie beziehen sich auf eine Fläche (Forsteinrichtung), wobei die einzelnen Elemente, die dieser Fläche zugeordnet sind, nicht geografisch exakt verortet werden können. Dies ist immer dann der Fall, wenn innerhalb eines Waldortes mehr als eine Baumart in der Datenbank aufgelistet ist [2, 15, 16]. Ein nicht unerheblicher Teil der Waldfläche befindet sich in privatem Besitz. Dies führt zu einem weiteren Problem hinsichtlich der räumlichen Abdeckung, weil in der Regel keine Informationen über die Privatwä-

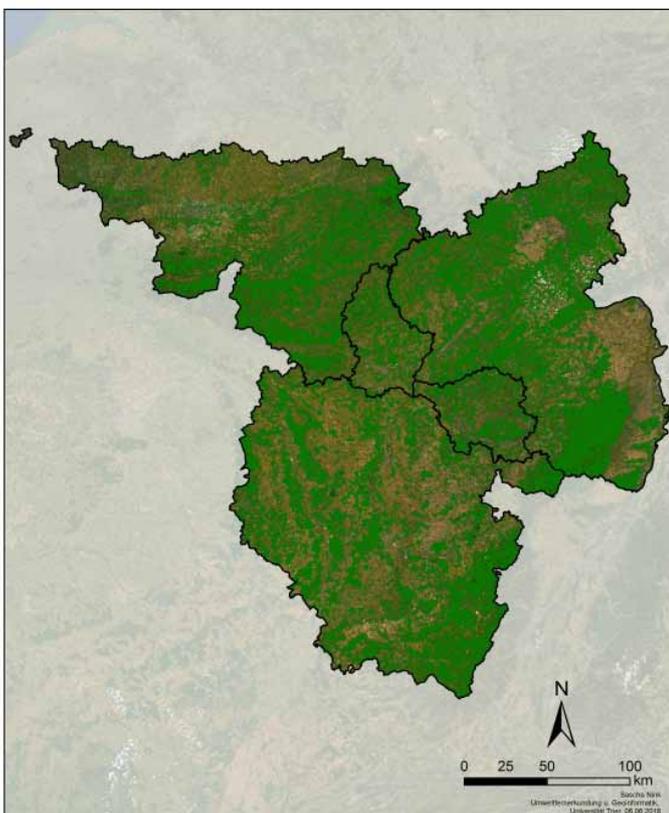


Abb. 1: Mehr als ein Drittel der Großregion Wallonien, Rheinland-Pfalz, Luxemburg, dem Saarland und Lothringen ist von Wäldern bedeckt.

Schneller ÜBERBLICK

- » **Verschiedene Problematiken** bei der Datenlage über den Wald: ungleichmäßige, z. T. fehlende räumliche und temporale Abdeckung
- » **Die Kombination** von terrestrischen Forstinformationen und satellitenbasierten Informationen erlaubt eine bessere räumlich-temporale Kartografie des Waldes
- » **Durch regelmäßige** Bereitstellung und Aktualisierung der Kartenwerke lässt sich die terrestrische Inventur gezielter planen und besser einsetzen



„Die Kombination von satellitenbasierten Daten mit terrestrisch erhobenen forstlichen Informationen führt zu einer Verbesserung der gesamten Daten-situation, v. a. im Privatwald.“

SASCHA NINK

der erhoben werden (abgesehen von der LWI, die auch solche Flächen beinhaltet). In Rheinland-Pfalz betrifft dies 24 % und in Luxemburg mehr als 54 % der Waldfläche. Für das Saarland mit einem Privatwaldanteil von 28 % wurde im Jahr 2014 einmalig auch auf diesen Flächen eine Inventur analog zur Forsteinrichtung durchgeführt [17]. Eine nachhaltige Nutzung des gesamten Waldes erfordert allerdings Informationen über die gesamten Flächen. Insbesondere in Bezug auf die dem Klimawandel geschuldeten Ereignisse (Wetterextreme, Kalamitäten), aber auch zur Unterstützung des Privatwaldes durch offizielle Körperschaften sind daher möglichst genaue Informationen sowie eine bessere Aktualität des Datenbestandes dringend erforderlich (Abb. 2).

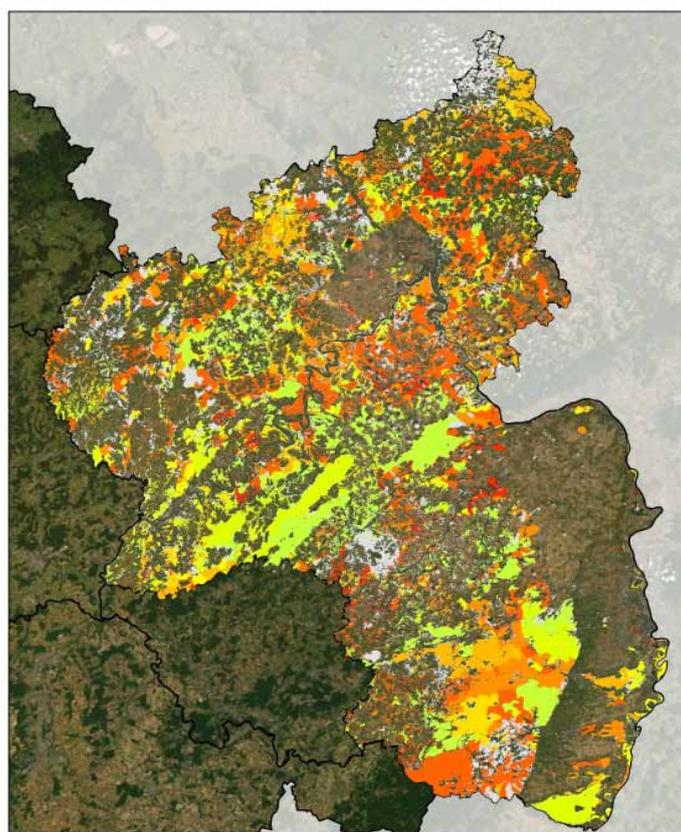
Im Rahmen des von Interreg geförderten EU-Projektes Regiowood II (<http://www.regiowood2.info>) arbeiten Forstbehörden, Politiker, Geo- und Umweltwissenschaftler, Kommunen und Privatwaldbetreuer un-

Forstlicher Datensatz

Tab. 1: Überblick über die verwendeten forstlichen Informationen

Name	Typ	Gebiet	Anzahl	Erhebung	Referenz
Forsteinrichtungsdaten	Fläche	Rheinland-Pfalz (öffentlicher Wald)	15.063	2003 bis 2016	[15]
Landeswaldinventur	Punkt	Rheinland-Pfalz	5.534	2010	[14]
Forsteinrichtungsdaten	Fläche	Saarland (öffentlicher Wald)	1.210	2010	[16]
Forsteinrichtungsdaten	Fläche	Saarland (Privatwald)	911	2014	[18]
Projiziertes LWI-Grid ¹⁾	Punkt	Saarland	349	2010 bis 2014	[16, 18]
Forsteinrichtungsdaten	Fläche	Luxemburg	697	2016	[2]
Nationale Waldinventur	Punkt	Luxemburg	311	2010	[1]

¹⁾Für das Saarland waren keine Landeswaldinventur-Daten verfügbar, sodass ein künstliches Netz an Punkten erstellt wurde, welches sich an dem Landeswaldinventur-Netz orientiert, aber Daten aus der Forsteinrichtung enthält.



Stichtag
 vor/avant 1999 2011 2014
 2000 - 2005 2012 2015
 2010 2013 2016
 Privatwald / forêt privée

0 10 20 40 km
 Quelle: S. Nink
 Service Nink
 Umwelterkundung u. Geoformal,
 Universitäts Forst, 06.09.2019

Abb. 2: Überblick über die Forsteinrichtungsdaten aus dem Jahr 2017 mit Angabe des Jahres der terrestrischen Datenerhebung. Je mehr Rot in der Farbgebung der Fläche ist, desto älter sind die Daten, je mehr Grün, desto jünger sind diese. Private Waldflächen ohne Informationen sind in Grau dargestellt.

ter anderem an Verbesserungen der Datenlage von Basisdaten: einer flächenscharfen Unterscheidung zwischen Laub- und Nadelwald im transregionalen Kontext. Um den forstlichen Informationsfluss zu verbessern und gleichzeitig den hohen qualitativen Standard der bereits existierenden forstlichen Informationen zu erhalten, wurden im Rahmen des Projektes Leitlinien erarbeitet:

- Nutzung bereits existierender Informationen aus Forsteinrichtung und Waldinventuren
- Bereitstellung einer flächendeckenden und möglichst hochaufgelösten Waldtypenkarte, die auch Strukturen im Kleinprivatwald erfasst
- Jährliches Update und freie Verfügbarkeit der Daten

Untersuchungsgebiet

Die Waldtypenkartierung erfolgt in der gesamten Großregion. Dies erlaubt es auch, im Rahmen der Projektdurchführung unterschiedliche Methoden anzuwenden, und zwar auf den



Abb. 3: RGB-Satellitenbild (Sentinel-2, 14.3.2018) des Meulenwaldes nördlich von Trier (links), NDVI-Bild desselben Gebietes (rechts). Gesunder, grüner und fotosynthetisch aktiver Nadelwald ist hell dargestellt, Laubwald mit (vor dem Blattaustrieb) kaum fotosynthetischer Aktivität hat einen entsprechend niedrigen NDVI und ist dunkel dargestellt.

Gebieten von Wallonien durch die Universität Liège (Gembloux Agro-BioTech), auf dem Gebiet Grand-Est durch die Universität Strasbourg (ICube SERTIT) und auf dem Gebiet von Rheinland-Pfalz, dem Saarland und Luxemburg durch die Universität Trier (Fach Umweltfernerkundung & Geoinformatik), deren Methode und Ergebnisse hier vorgestellt werden.

Fernerkundung als sinnvolle Unterstützung im Forst

Die fortlaufende Entwicklung im Bereich der zivilen Nutzung von Satellitenbilddaten führt zu einer stetig steigenden Verfügbarkeit immer besser aufgelöster Daten. Diese erlauben einen flächendeckenden Überblick über den Wald der Großregion in immer geringeren zeitlichen Abständen und hoher räumlicher Auflösung. Die Informatio-

nen über die Waldoberfläche sind in verschiedenen Bereichen des Spektrums vom sichtbaren Bereich bis zum kurzwelligen Infrarot verfügbar. Aus diesen spektralen Informationen lassen sich Vegetationsindizes ableiten, die eine Aussage über die fotosynthetische Aktivität bzw. die Vitalität der Waldfläche geben. Für die satellitenbildbasierte Waldtypenkartierung in den gemäßigten Breiten eignet sich die Nutzung von Vegetationsindizes auf im Frühjahr aufgenommenen Bilddaten besonders gut, weil zu dieser Zeit im Laubwald noch kein Blattaustrieb vorhanden ist und somit eine maximale Unterscheidbarkeit zu Nadelwald gegeben ist (Abb. 3). Mithilfe gängiger Vegetationsindizes wie dem Vegetationsindex (NDVI) [13] lassen sich fotosynthetisch aktive Flächen (immergrüne Nadelwälder) von fotosynthetisch wenig aktive Flächen (noch nicht

belaubte Laubwälder im Frühjahr) unterscheiden (Abb. 3).

Daten

Zur Nutzung von Satellitenbilddaten für die Kartierung von Waldtypen müssen die spektralen Informationen aus diesen Daten mit den forstlichen Informationen verknüpft werden, sodass die verknüpften Daten als Referenz bzw. Validierung genutzt werden können. Forstliche Informationen stehen in den Daten der Forsteinrichtung [2, 15, 16] und den Waldinventuren [1, 14] zur Verfügung, sodass ein Datensatz als Referenz (Forsteinrichtungsdaten, $n = 17.878$) und einer zur Validierung (Waldinventuren, $n = 5.994$) genutzt werden konnte (Tab. 1). Flächendeckende und kostenfrei verfügbare Satellitenbilddaten stammen von Landsat 8 [10] mit einer geometrischen Auflösung von 30 m sowie ab 2017 von Sentinel-2 mit einer geometrischen Auflösung von 10 m [3, 5]. Die Satellitenbilddaten (Tab. 2) wurden mit im Fach Umweltfernerkundung und Geoinformatik entwickelten Methoden zur Vorprozessierung geometrisch, radiometrisch und topografisch korrigiert [6, 7].

Methodik

Zur Erstellung der Referenz- und Validierungsdaten wurden ausschließlich walddtypreine Daten der Forsteinrichtung und der LWI verwendet, weil nur diese eine eindeutige Zuordnung des Waldtypes erlauben. Die spektralen Informationen wurden an LWI-Punkten bzw. im geometrischen Zentrum der Forsteinrichtungsdaten aus den Satellitenbilddaten extrahiert und mit den Forstinformationen verschnitten. Mithilfe dieser Referenzdaten, die nun Forstinformationen und spektrale Informationen enthalten, lassen sich Laub- und Nadelwald anhand eines zu ermittelnden Schwellwertes trennen. Hierzu wurde ein bootstrabasierter Ansatz verwendet [4]. Bootstrapping bedeutet, dass aus der verfügbaren Menge an Daten wiederholt eine Stichprobe mit Zurücklegen gezogen wird. In jeder dieser Zufallsstichproben wird mit der vorhandenen Informationen der spektrale Wert ermittelt (Schwellwert), der Laub- und Nadelwald mit der geringsten Feh-

Satellitendaten

Tab. 2: Liste der verwendeten Satellitenbilddaten

Sensor	Erhebung	Wolkenbedeckung [%]	Waldanteil im Bildausschnitt [%]
Landsat 8	27.3.2014	2,0	95,3
Sentinel-2A	11.3.2017	64,7	21,2
Sentinel-2A	14.3.2017	42,1	45,3
Sentinel-2A	20.4.2017	4,3	6
Sentinel-2B	14.3.2018	75,4	5,8
Sentinel-2B	21.3.2018	35,8	48,6
Sentinel-2B	24.3.2018	89,4	7,5



lerquote trennt. Mithilfe einer Reihe dieser Zufallsstichproben wird die wahre Verteilung in der Realität aus den Referenzdaten statistisch valide approximiert. Der am häufigsten ermittelte Schwellwert wird zur Laub-/Nadelwald-Kartierung auf dem gesamten Bilddatensatz angewendet. Die Qualität der Kartierung wurde systematisch mittels der LWI-Daten geprüft, die gleichmäßig über das Gebiet verteilt sind. Da diese nicht Teil der Referenzdaten sind, eignen sie sich als unabhängiger Datensatz zur Überprüfung der Ergebnisse [11].

Ergebnisse und Diskussion

Mithilfe weitestgehend wolkenfreier Landsat-8-Daten konnte auf 95 % der Waldfläche die Waldtypenverteilung vor 2017 kartiert werden. Durch die Verfügbarkeit von Sentinel-2-Daten hat sich die Datenlage stark verbessert: 2017 und 2018 konnten mehr als 70 % der Waldfläche mit einer besseren geometrischen Auflösung von 10 m aktualisiert werden. Ein Vergleich der kartografischen Darstellung auf Basis der Forsteinrichtungsinformationen und der fernerkundungsbasierten Kartierung ist in Abb. 4 dargestellt.

Die Genauigkeit der Karten liegt zwischen 64 und 65 % für nicht normierte Vegetationsindizes und bei 96 % für die NDVI-basierte Kartierung auf dem Gebiet von Luxemburg. Eine Reihe weiterer Vegetationsindices wurde entwickelt, die unter anderem resistent gegen Einflüsse z. B. aufgrund von unterschiedlichen Bodeneigenschaften oder atmosphärischen Einflüssen im Ausschnitt der Satellitenaufnahme sind. Aufgrund der sehr präzisen Vorverarbeitung der Satellitenbilder ist ein Zugewinn an Genauigkeit mit auf abgewandelten Vegetationsindizes durchgeführten Kartierungen allerdings nicht feststellbar, sodass eine eingehendere Beschäftigung mit weiteren Vegetationsindizes nicht zielführend ist. Die erreichten Genauigkeiten sind in Tab. 3 dargestellt.

Bei der Validierung zeigt sich deutlich, dass die Gesamtgenauigkeit mit den höher aufgelösten Sentinel-2-Daten in den Bezugsjahren 2017 und 2018 in Rheinland-Pfalz und dem Saarland gestiegen ist. Auf dem Gebiet von Luxemburg sinkt die Genauigkeit leicht von

Kartengenauigkeit

Tab. 3: Vergleich der Genauigkeit der Waldtypenkartierung auf Basis von Landsat-8- und Sentinel-2-Daten in den Gebieten von Rheinland-Pfalz (RLP), dem Saarland und Luxemburg

	Gesamtgenauigkeit					
	Landsat 8			Sentinel-2		
	RLP	Saarland	Luxemburg	RLP	Saarland	Luxemburg
NDVI-basiert	0,83	0,79	0,96	0,87	0,82	0,93

96 % auf 93 %; dies liegt daran, dass die erste Kartierung vor 2017 nur einen Teil von Luxemburg abgedeckt hat und dort nur wenige Laubwald-Validierungspunkte zur Verfügung standen. In der Großregion liegt die Gesamtgenauigkeit der Waldtypenkarte bei 91 %, auf die einzelnen Länder bezogen zwischen 82 % und 95 %.

Fazit und Ausblick

Die satellitengestützte Kartierung der Waldtypen lässt sich weitgehend automatisieren und ist ein hilfreiches Werkzeug für die Wälder der Großregion, insbesondere was die Abdeckung der Privatwälder betrifft. Die Kombination von Fernerkundungsdaten und bestehenden Forstinformationen führt mit einem jährlichen Update zu einer nennenswerten Verbesserung der Datenlage. Dies ist auch in Relation zu bereits verfügbaren digitalen Waldtypenkarten

aus dem Copernicus-Programm [9] oder von der Europäischen Kommission [8] der Fall, deren zeitliche (Update nur alle drei Jahre bzw. unregelmäßig) und geometrische Auflösung (20 m) nicht den regionalen Vorgaben entspricht. Aktuelle Informationen stehen somit nicht nur weitaus regelmäßiger zur Verfügung, sondern auch deren Qualität wird durch flächendeckende und räumlich hochaufgelöste Karten sukzessive verbessert, insbesondere im Kleinprivatwald. Im Gegensatz zu den terrestrisch erhobenen Forstinformationen der jeweiligen Länder beschränkt sich der Referenzzeitraum für einen Großteil der Fläche auf das vergangene Jahr und maximal auf die vergangenen drei Jahre (z. B. im Falle von andauernder Wolkenbedeckung im Zeitraum der Satellitenbildaufnahme), was eine wesentliche Verbesserung im Vergleich zu den terrestrischen Aktualisierungszyklen darstellt.

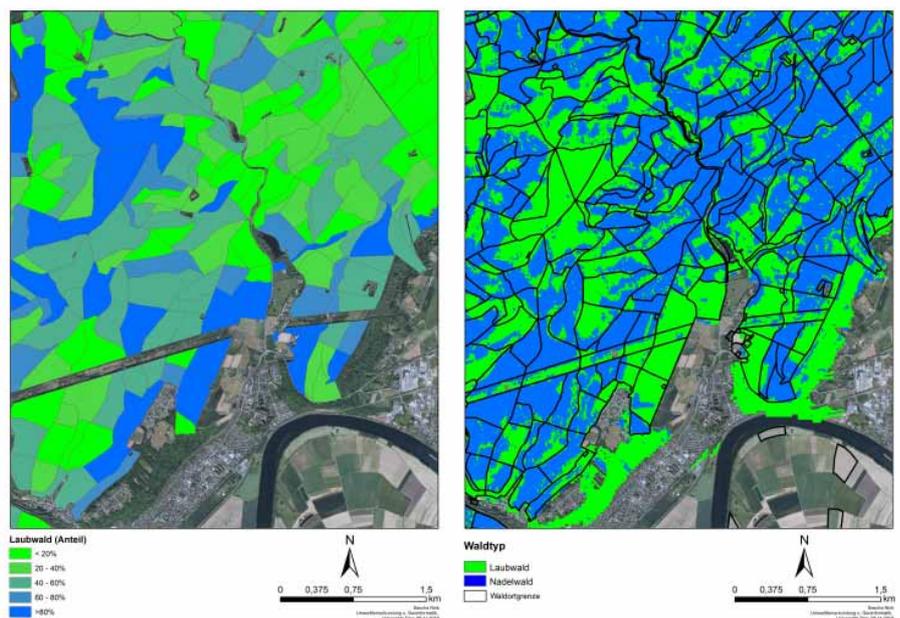


Abb. 4: Darstellung des Meulendorfes auf Basis der ursprünglichen Waldort-Informationen (links) und unter Kombination von Sentinel-2-Daten und Forstinformationen (rechts). Je grüner eine Fläche ist, desto höher ist der Laubwaldanteil, je blauer, desto höher ist der Nadelwaldanteil.

Die Nutzung dieser Karten erlaubt es wiederum, abweichende Informationen der Forsteinrichtung oder der Landeswaldinventur prioritär terrestrisch zu kontrollieren und bei Bedarf zu korrigieren, womit ebenfalls eine Verbesserung der Forstinformationen einhergeht.

Literaturhinweise:

[1] Administration de la nature et des forêts. Inventure national des forêts Luxembourg (2010). [2] Administration de la nature et des forêts. Administrative units of forest administration (2019): <https://data.public.lu/en/datasets/administrative-units-of-forest-administration/> (accessed on 20.3.19). [3] DRUSCH, M. et al. (2012): Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sensing of Environment*, 120, 25–36. [4] EFRON, B. (1979): Bootstrap Methods: Another Look at the Jackknife. *Ann. Statist.*, 7, 1–26, doi:10.1214/aos/1176344552. [5] FLETCHER, K. (Hrsg.) (2012): ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services; ESA Communications: Noordwijk. [6] FRANTZ, D.; RÖDER, A.; STELLMES, M.; HILL, J. (2016): An Operational Radiometric Landsat Preprocessing Framework for Large-Area Time Series Applications. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 54, 3928–3943, doi:10.1109/TGRS.2016.2530856. [7] FRANTZ, D. (2019): FORCE-Landsat + Sentinel-2 Analysis Ready Data and Beyond. *Remote Sensing*, 11, 1124, doi:10.3390/rs11091124. [8] KEMPENEERS, P. et al. (2011): Data Fusion of Different Spatial Resolution Remote Sensing Images Applied to Forest-Type Mapping. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 49, 4977–4986, doi:10.1109/TGRS.2011.2158548. [9] LANGKANKE, T. (2017): Copernicus Land Monitoring Service - High Resolution Layer Forest: Product Specifications Document (accessed on 13.3.19). [10] LOVELAND, T. R.; IRONS, J. R. (2016): Landsat 8: The plans, the reality, and the legacy. *Remote Sensing of Environment*, 185, 1–6, doi:10.1016/j.rse.2016.07.033. doi:10.1016/j.rse.2011.11.026. [11] OLOFSSON, P. et al. (2014): Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment*, 148, 42–57, doi:10.1016/j.rse.2014.02.015. [12] PEERENBOOM, H. G.; ONTRUP, G.; BÖHMER, O. (2003): Weiterentwicklung der Forsteinrichtung in Rheinland-Pfalz. *Forst und Holz*, 58, 728–731. [13] ROUSE, J. W. (1973): Monitoring the vernal advancement and retrogradation of natural vegetation. *NASA/GSFC Type II Report*. [14] Landesforsten Rheinland-Pfalz (Hrsg.) (2012): Landeswaldinventur 2012. [15] Landesforsten Rheinland-Pfalz (Hrsg.) (2017): wöFIS - waldökologisches Forstinformationssystem. [16] SaarForst Landesbetrieb (Hrsg.) (2016): Forsteinrichtung. [17] SaarForst Landesbetrieb (Hrsg.) (2014): Privatwaldinventur. [18] SaarForst Landesbetrieb (Hrsg.) (2014): Abschlussbericht zur Inventur des Privatwaldes im Saarland. Überarbeitung 2014 (accessed on 27 July 2018).

Die satellitengestützte Kartierung mit hoher räumlicher Auflösung erlaubt erstmals ein flächendeckendes und regelmäßiges Monitoring der Privatwälder, welches mit terrestrischen Methoden zumindest nicht regelmäßig zu stemmen ist. Die im Rahmen dieses Projektes erstellten Waldtypenkarten können von jeder Person verwendet werden und sollen zeitnah im geografischen Informationssystem der Großregion (<http://www.gis-gr.eu>) zur freien Verfügung stehen, können auf Anfrage aber auch direkt herausgegeben werden.

Mithilfe des grenzüberschreitenden regelmäßigen satellitengestützten Waldmonitorings können auch weitere Themen im transnationalen Kontext bedient werden; dazu zählen insbesondere die zeitnahe Erfassung von Kahlschlägen oder die durch den Klimawandel und Trockenstress bedingten vermehrten Borkenkäferkalamitäten, welche die Forstwirtschaft der Großregion noch einige Zeit beschäftigen werden.



Sascha Nink

ninks@uni-trier.de,

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fach Umweltfernerkundung und Geoinformatik an der Universität Trier. **Prof. Dr. Joachim Hill** ist Professor im Fach Umweltfernerkundung und Geoinformatik an der Universität Trier. **Dr. Johannes Stoffels** ist Akademischer Rat im Fach Umweltfernerkundung und Geoinformatik an der Universität Trier. **Dr. Joachim Langshausen** ist Leiter der Forsteinrichtung. **Wolfgang Kratz** ist Privatwaldreferent bei den Landesforsten Rheinland-Pfalz.

Land oder Forst verkaufen,
dann lebenslang kostenlos nutzen!

Weitere Info durch Agraring. Matthias Manthey,
L&F Makler seit 35 Jahren! Tel. 04102/51136

JETZT NEU!

Giganten und Legenden unter den Forstmaschinen – ein Muss für jeden Technikfan.



PREIS
6,90 €*

JETZT BESTELLEN!

089-12705-228

www.landecht.de/forst

*zzgl. Versandkosten
(4,50 € Inland bzw. 4,95 € Ausland).
Ab 30 € Bestellwert versandkostenfrei.