Bild: Peter Thorn

Abb. 1: Blick in die südlichen Ausläufer des Rothaargebirges

Kalamitätsmonitoring der Nadelwälder in Hessen mit Sentinel-2-Satellitendaten

Der Klimawandel hat längst gravierende Folgen für den Wald in Deutschland. Seit dem Orkantief Friederike im Januar 2018 und den nachfolgenden heißtrockenen Sommern hat das Baumsterben derart bedrückende Ausmaße angenommen, dass mittlerweile drastische Vokabeln, wie „Waldsterben 2.0“ und „Jahrhundertkatastrophe“, die öffentliche Diskussion prägen. Das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) geht einschließlich der Schäden im Jahr 2020 von 171 Mio. Kubikmetern Schadholz und einer Schadkulisse von 277 000 Hektar aus, was mehr als der Fläche des Saarlands entspricht [1].

Autor: **Dr. Manuel Weis**

Beim Ausmaß der Schäden gibt es große Unterschiede in den Bundesländern. Laut „Waldmonitor Deutschland“ [2] haben Nordrhein-Westfalen (10,3 Prozent), Sachsen-Anhalt (8,2 Prozent) und Hessen (8,1 Prozent) die größten Verluste an Nadelwald in den letzten Jahren (Stand 2020). Fernerkundliche Analysen im Landesbetrieb HessenForst zeichnen jedoch für das Bundesland Hessen ein deutlich düstereres Bild und belegen einen Nadelholzverlust von etwa 18 Prozent, wo-

bei unter Berücksichtigung methodischer Limitierungen davon auszugehen ist, dass einschließlich der Schäden des Jahres 2021 deutlich über 20 Prozent der Nadelwälder verloren sind. Für den Gesamtwald in Hessen wird seitens der Fernerkundung von einem Kalamitätsflächenumfang in einer Größenordnung von etwa 90 000 Hektar – und damit etwa der Fläche Berlins – ausgegangen.

Regionale Unterschiede der Nadelwald-Schadkulisse in Hessen

Wie die Übersichtskarte der Nadelwald-Schadkulisse in Abbildung 2 illustriert, zeigen sich innerhalb Hessens deutliche regionale Unterschiede des Schadgeschehens mit räumlichen Schwerpunkten im Norden und Nordosten des Landes. Eines der größten zusammenhängenden Waldgebiete und zugleich das größte Schadgebiet ist der aus Grimms Märchen bekannte Reinhardswald im äußersten Norden. Mit einer Nord-Süd-Ausdehnung von etwa 30 km waren die Buntsandsteinhochflächen nach den großflächigen Aufforstungen der devastierten Weidelandschaften im 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts bis in die jüngste Zeit durch weite Fichtenwälder charakterisiert, die das Kulturlandschaftsbild des „Märchenwaldes“ seitdem prägten. Wie der Satellitenbildkarten-Vergleich in Abbildung 3 zeigt, ist seit dem Sturmtief Friedericke im Januar 2018 eine Fläche von etwa 3 400 Hektar (oder 4 700 Fußballfeldern) dem Sturm und der nachfolgenden Borkenkäferkalamität zum Opfer gefallen. Würde Grimms Rapunzel noch heute in ihrem Turm sitzen, böte sich ihr nun ein völlig anderes Landschaftsbild.

In gewisser Hinsicht erinnern die z. T. vollständig entwaldeten Landschaften mit ihren beeindruckenden Aussichtsmöglichkeiten an die Landschaftsbilder gegen Ende des 18. Jahrhundert, als viele

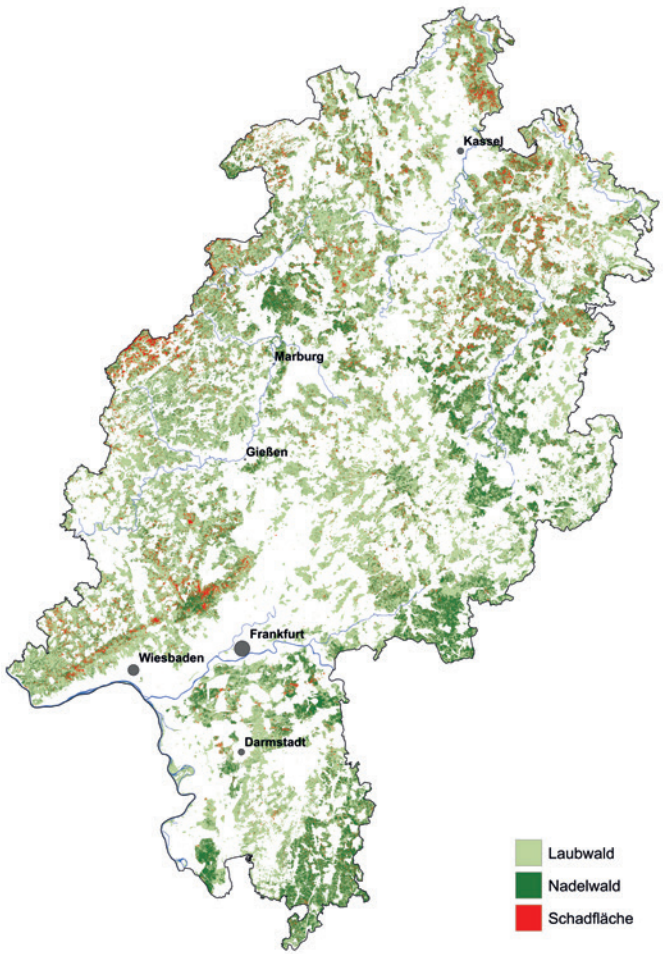

Bild: Dr. Manuel Weis

Abb. 2: Übersichtskarte der Nadelwald-Schadkulisse

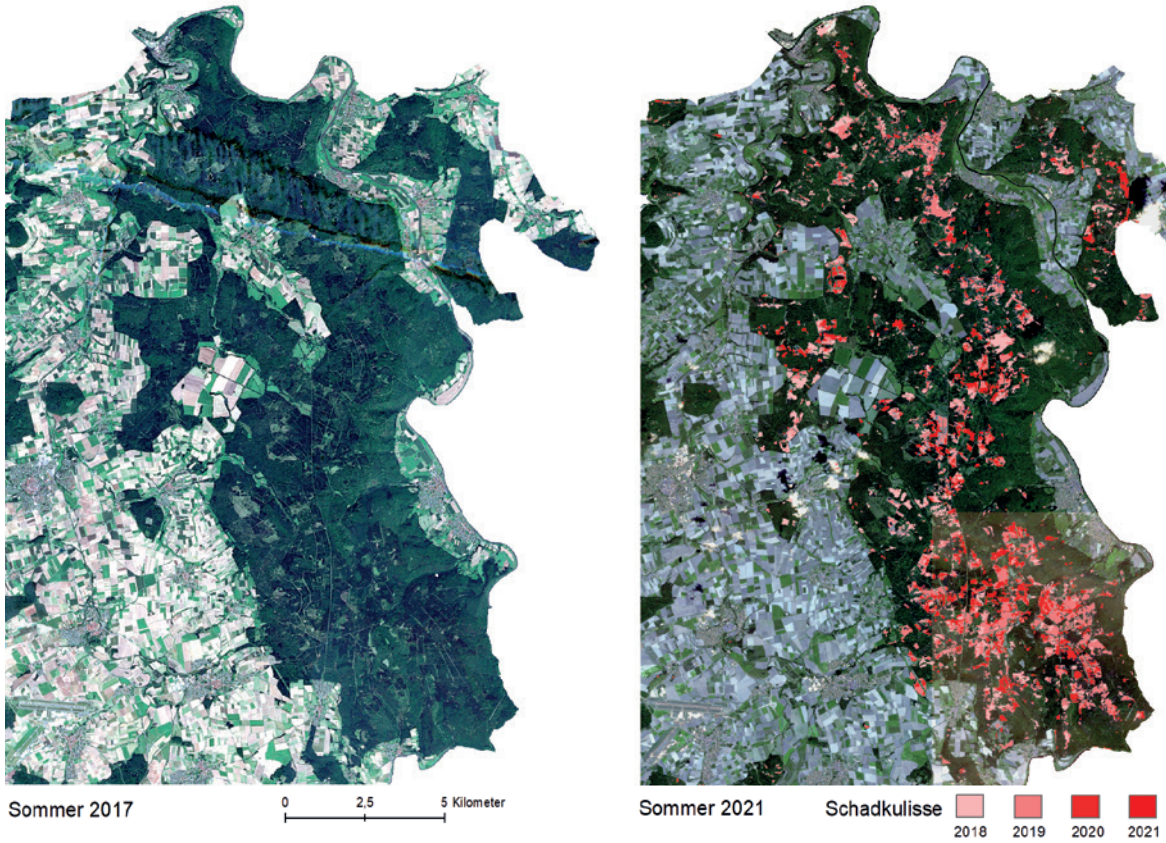

Bild: Dr. Manuel Weis

Abb. 3: Vergleich Schadflächen im Reinhardswald

Mittelgebirgslandschaften aufgrund einer nicht nachhaltigen Waldnutzung und der extensiven Beweidung weitaus offener waren als heute.

Kartierung der Waldschadensflächen

Die Waldfläche in Hessen beträgt knapp 900 000 Hektar und damit etwa 42 Prozent der Landesfläche, womit Hessen zusammen mit Rheinland-Pfalz an der Spitze der waldreichen Bundesländer liegt. Der Landesbetrieb HessenForst hat als Teil der hessischen Landesverwaltung die Betreuung des Staatswalds sowie des Körperschafts-, Gemeinschafts- und Privatwalds zur Aufgabe. Größter Waldbesitzer ist das Land, dem etwa 38 Prozent der Waldfläche gehören [3]. Für den Landesbetrieb ist die regelmäßige, mindestens jährliche Kartierung der Waldschadensflächen eine entscheidende Grundlage für die Bewältigung der Waldkrise, insbesondere für die Planung von Wiederaufforstungen, aber auch für zahlreiche weitere forstbetriebliche Aufgaben wie die steuerliche Abschreibung infolge der Wertminderungen des Walds, die Forsteinrichtung und vielfältigste naturschutzfachliche Belange. Mit der Verfügbarkeit kostenfreier Satellitendaten der Sentinel-Missionen im Rahmen des Copernicus-Erdbeobachtungsprogramms bot sich für den Landesbetrieb HessenForst die Voraussetzung einer schnellen, kosteneffizienten Kartierung. Seit Anfang 2019 wurde anlässlich der Waldkrise in der Abteilung Waldentwicklung und Umwelt der Landesbetriebsleitung im Sachbereich Forstliche Geoinformation der neue Bereich Fernerkundung etabliert. Ein wichtiger Arbeitsschwerpunkt ist seitdem die Entwicklung von Methoden und praxistauglichen Workflows für die Schadflächenerfassung auf der Grundlage multispektraler Sentinel-2-Daten.

Erhebung der Schäden im Nadelholzbereich

Die Methoden für die Erhebung der Schäden im Nadelholzbereich zeigt Abbildung 4. Im Kern besteht der Ansatz aus einer Change Detection (dt. Veränderungsdetektion), bei der pixelbasiert die Entwicklung des aus Multispektraldaten abgeleiteten „Normierten differenzierten Vegetationsindex“ (NDVI) zwischen zwei Zeitpunkten bzw. zwei Satellitenaufnahmen analysiert wird. Dem liegt der Zusammenhang zugrunde, dass gesunde Bäume im roten Bereich des sichtbaren Lichts relativ wenig Strahlung reflektieren, dafür aber im nahen Infrarot-Bereich viel, was letztlich mit der Zellstruktur der Blätter zusammenhängt.

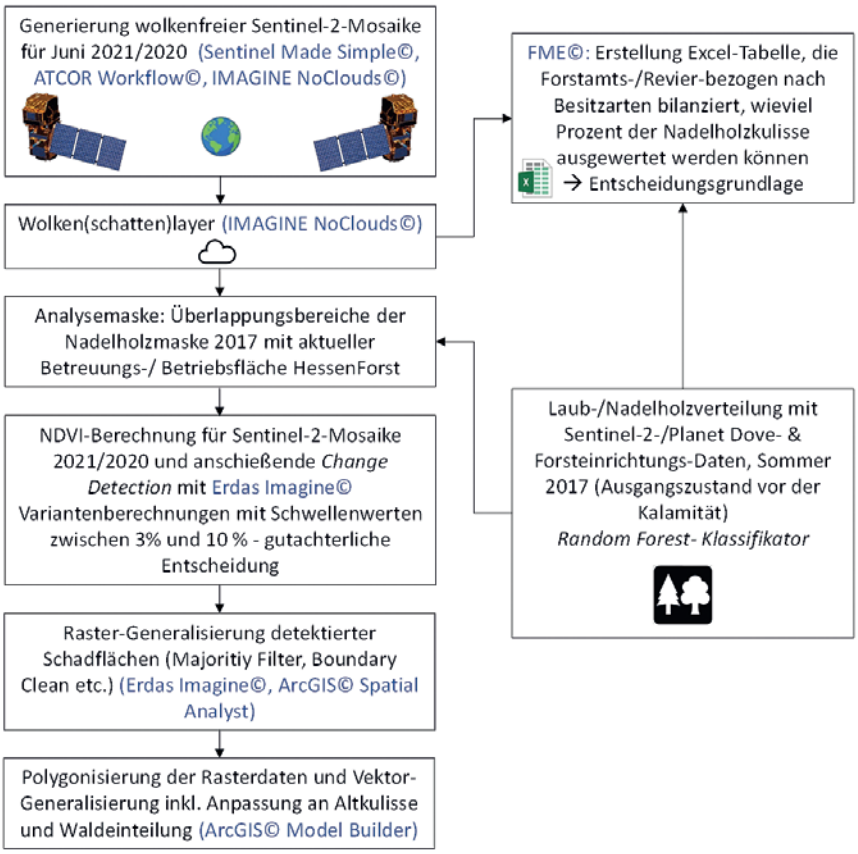

Bild: Dr. Manuel Weis

Abb. 4: Methoden für die Erhebung der Schäden im Nadelholzbereich

Je vitaler bzw. grüner ein Baum ist, desto stärker ist die Reflexion im Bereich des nahen Infrarots. Nimmt die Vitalität eines Baums zum Beispiel aufgrund von Trockenstress oder Borkenkäferbefall ab, zeigt sich dies darin, dass sich das Verhältnis der Reflexion von rotem Licht und nahem Infrarot verändert, was mathematisch mittels des NDVI beschrieben wird. Die Erfahrung hat gezeigt, dass im Vorfeld der Change Detection eine Klassifizierung von Laub- und Nadelbäumen die Ergebnisqualität deutlich erhöhen kann, da dies eine wichtige Voraussetzung dafür ist, optimale bzw. scharfe Schwellenwerte bei der Erfassung von Waldschäden definieren zu können. Vor diesem Hintergrund wurde unter Verwendung von Sentinel-2-Daten und hochaufgelösten Planet-Dove-Aufnahmen aus dem Sommer 2017 landesweit die Verteilung von Laub- und Nadelbäumen in einer räumlichen Auflösung von 10 m für den Referenzzustand des Walds in Hessen vor Beginn der Kalamität rekonstruiert. Dazu wurde der aus dem Bereich des überwachten Lernens im Machine Learning eingesetzte Random-Forest-Algorithmus verwendet, wobei Forsteinrichtungsdaten von HessenForst für das Training eingesetzt wurden. Der erzeugte Layer der Nadelholzverteilung wird mit den Geodaten der Betriebsflächen der von HessenForst betreuten Waldflächen räumlich verschnitten, womit eine hochgenaue Analysemaske für die Change Detection vorliegt.

Datengrundlagen und -verarbeitung

Bei der Vorprozessierung der Sentinel-2-Satellitendaten stellen sich aufgrund der Wiederholungsrate der Sentinel-2-Satelliten (fünf Tage), der Bewölkungsverhältnisse im Sommer, des landesweiten Fokus der Untersuchung sowie der Notwendigkeit, nur Daten zu verwenden, die innerhalb eines relativ engen Zeitfensters aufgenommen wurden (maximal vier Wochen), besondere Herausforderungen. Für die Erstellung der Satellitenbildmosaike wird das

Bild: Dr. Manuel Weis

Abb. 5: Wolkenfreies Mosaik von Sentinel-2-Daten mit Imagine NoClouds von Geosystems

Framework Sentinel Made Simple von Geosystems verwendet, das die Datenrecherche und den Download erheblich rationalisiert und durch die Integration von Atcor-Workflow atmosphärische und topografische (Geländeschatten-)Korrekturen der Daten vornimmt. Zusätzlich wurde innerhalb des Frameworks Imagine NoClouds genutzt, um wolkenfreie und radiometrisch optimierte Mosaike zu generieren, die eine weitere Voraussetzung für eine hohe Ergebnisqualität der Change Detection darstellen (siehe Abbildung 5).

Die ebenfalls mithilfe von Imagine NoClouds berechneten Wolkenmasken, die auch Wolkenschatten erfassen, werden automatisiert mit der Software FME von Safe Software im Zusammenspiel mit forstbetrieblichen Daten ausgewertet, um forstamts- bzw. revierbezogen und differenziert nach Besitzarten (Staatswald, Kommunalwald etc.) den Grad der Auswertbarkeit der generierten Sentinel-Mosaike beziffern zu können.

Change Detection

Die Durchführung der Change Detection erfolgt mit Erdas Imagine, wobei mit verschiedenen Schwellenwert-Varianten zwischen 3 Prozent und 10 Prozent operiert wird. Die Ergebnisse der Varianten werden anhand vorliegender Informationen (Meldungen aus den Forstämtern, Luftbildern etc.) verifiziert, um entscheiden zu können, welcher Schwellenwert bei der Veränderung des NDVI die Realität am besten widerspiegelt.

Mehr und mehr zeigen sich die Folgen des Klimawandels auch in den Buchenwäldern Hessens. Die Trockenheit der letzten Jahre und immer wieder auftretende Extremtemperaturen haben dazu geführt, dass neben Schäden an Einzelbäumen (geschädigte Kronenteile, abgestorbene Bäume) und Baumgruppen mittlerweile auch abgestorbene Bestände keine Seltenheit mehr sind. Es ist daher eine zunehmend drängende zukünftige Herausforderung, einen Überblick über das Ausmaß der Schäden in den Laubwäldern Hessens zu erhalten.

Quellen:

[1] www.bmel.de/DE/themen/wald/wald-in-deutschland/wald-trockenheit-klimawandel.html
[2] naturwald-akademie.org/forschung/positionen/neue-satellitendaten-zeigen-deutliche-waldverluste-in-deutschland
[3] umwelt.hessen.de/Wald

Kontakt
Dr. Manuel Weis
Sachgebietsleiter GIS-Analyse
HessenForst
I: www.hessen-forst.de