

# Erfassung großflächiger Sturmschäden an Wäldern durch Radardaten

Klaus Martin, Jörg Ackermann, Friedrich Engels und Karina Hoffmann

Großflächige Sturmschäden stellen Forstverwaltungen vor große Herausforderungen. Vor allem gilt es, schnell einen Überblick über Schadensschwerpunkte und -ausmaß zu erhalten. Direkt nach einem Sturm ist die Informationslage meist sehr schlecht, sodass Entscheidungen z. B. für die Aufarbeitung auf unsicherer Datengrundlage getroffen werden müssen. Fernerkundungsdaten können hierbei wertvolle Hilfe leisten. Ein wesentliches Problem ist allerdings die starke Wetterabhängigkeit optischer Systeme. Aufnahmen von Radarsatelliten können dagegen weitgehend witterungsunabhängig angefertigt werden. Ihre Eignung für die Erfassung großflächiger Sturmschäden wird nachfolgend beschrieben.

## Sturmschäden als Herausforderung

Das Grundproblem sturmbedingter Großkalamitäten ist die schnelle, möglichst genaue Lokalisierung und Schätzung der entstandenen Schäden. Dies ist unabhängig, um die notwendigen Maßnahmen zielgerichtet ergreifen zu können, etwa die Planung des Maschinen- und Unternehmereinsatzes oder die Einrichtung von Nasslagern. Schwere Stürme treten häufig in der zweiten Winterhälfte auf. Dann bleiben nur wenige Monate Zeit, um die Forstschutzprobleme in den Griff zu bekommen. Folgeschäden drohen vor allem in Fichtenbeständen, weil die Borkenkäfer ideale Brutbedingungen auf Sturmschadensflächen finden. Nur durch

rechtzeitige Aufarbeitung von Wurf- und Bruchholz lassen sich unkontrollierbare Massenvermehrungen verhindern.

Die Diagnose großflächiger Sturmschäden vom Boden aus ist schwierig, vor allem für übergeordnet tätige, koordinierende Stellen, aber auch auf forstbetrieblicher Ebene. Schadregionen sind anfangs schwer zugänglich. Informationen von sehr unterschiedlicher Güte aus einer Vielzahl von Quellen müssen verarbeitet und gebündelt werden. Nicht zuletzt erschwert die zunehmende Größe der Reviere bei insgesamt weniger Personal die Informationsbeschaffung.

## Unterstützung durch optische Fernerkundungsdaten

Auf den ersten Blick versprechen Fernerkundungsdaten eine wertvolle Hilfestellung bei der Bewältigung von Sturmschäden. Das reicht von der Ersterfassung der Schäden bis hin zur Neueinrichtung und Wiederaufforstung der Schadflächen. Beispiele der Verwendung von Orthofotos

bzw. digitalen Luftbildern zur Kartierung von Sturmschäden finden sich in [1, 3].

Damit Fernerkundungsdaten jedoch als wesentliche Unterstützung bei der Sturmschadensbewältigung fungieren können, müssen einige wesentliche Voraussetzungen erfüllt sein:

- schnelle Verfügbarkeit,
- leichte und schnelle Auswertbarkeit sowie
- ausreichende Objekterkennbarkeit.

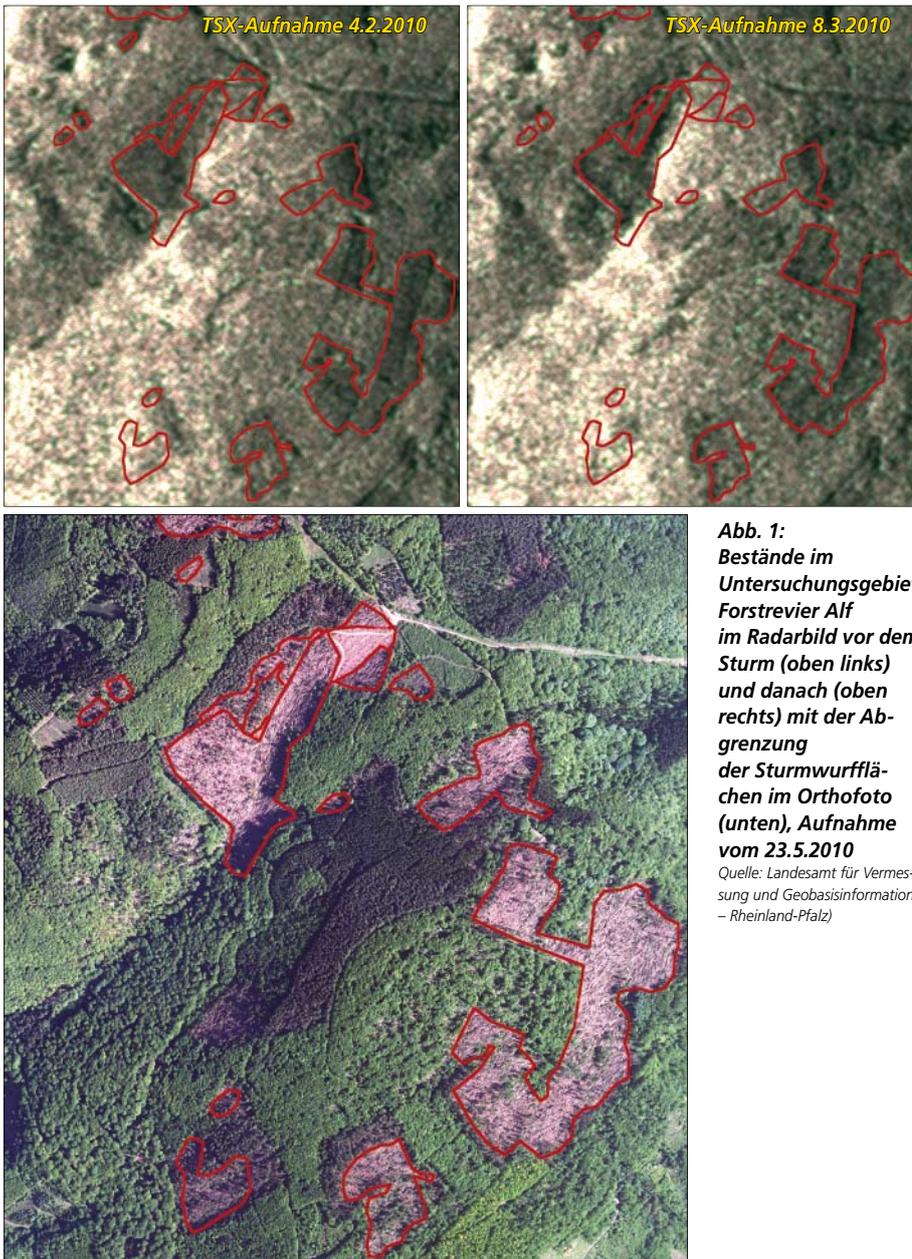
Die Aufnahme großer Gebiete erfordert digitale Großformatkameras mit hoher Flächenleistung. Gut geeignet sind Bodenauflösungen von 20 bis 40 cm. Das bedingt Flughöhen um 2 000 bis 4 000 m und verlangt weitgehende Wolkenfreiheit bei klarer Sicht. Solche Flugtage sind selten und es kann Wochen, im schlimmsten Fall auch einige Monate dauern, bis das benötigte Bildmaterial verfügbar ist. Das gilt auch für optische Satellitensysteme, die zwar von ihrer Flächenleistung und teilweise auch von den Kosten her Luftbildern überlegen sind, aber noch höhere Anforderungen an geeignete Aufnahmebedingungen stellen. Drohnen mit kleinformatischen Kameras eignen sich nur für die Aufnahme weniger tausend Hektar, nicht aber für großflächige Befliegungen von einigen zehntausend Quadratkilometern. Unter-Wolken-Flüge mit großformatigen Kameras sind technisch zwar machbar. Es können aber aufgrund geringer Flughöhen nur Bilder mit hoher Bodenauflösung unter 8 bis 10 cm angefertigt werden, was zu enormen Kosten und Datenmengen führt. Zudem bringt derartiges Bildmaterial Probleme bei der Bildorientierung mit sich.

Dr. K. Martin ist Inhaber des Sachverständigenbüros für Luftbilddauswertung und Umweltfragen (SLU) in München. J. Ackermann ist Leiter des Sachgebietes Fernerkundung und GIS an der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt in Göttingen. F. Engels ist an der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz zuständig für den Bereich Waldmonitoring und Umweltvorsorge. K. Hoffmann ist Referentin für Fernerkundung im Referat FGIS, Kartografie, Vermessung des Staatsbetriebes Sachsenforst in Graupa.



**Klaus Martin**  
klaus.martin@slu-web.de

Untersuchungsgebiet	Sturm	Aufnahmedatum TerraSAR-X	ausgewertete Waldfläche [ha]
Sachsen, Forstbezirke Taura, Dresden und Neustadt	Tornado, 24.5.2010	05.6.2010	10 300
Hessen, Forstamt Melsungen	„Xynthia“, 28.2.2010	18.11.2008 28.3.2010	12 700
Rheinland-Pfalz, Forstamt Zell, Forstrevier Alf		14.2.2010 8.3.2010	1 500



**Abb. 1:** Bestände im Untersuchungsgebiet Forstrevier Alf im Radarbild vor dem Sturm (oben links) und danach (oben rechts) mit der Abgrenzung der Sturmwurfflächen im Orthofoto (unten), Aufnahme vom 23.5.2010

Quelle: Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation – Rheinland-Pfalz

## Schnelle Verfügbarkeit von Radardaten

Radaraufnahmen hingegen können auch nachts und weitgehend unabhängig von der Witterung angefertigt werden. Wenngleich sie im Gegensatz zu optischen Systemen keine spektralen Informationen und geringere Bodenauflösungen besitzen, so verspricht gerade ihre hohe Aufnahme-wahrscheinlichkeit Vorteile.

Um die Eignung von Radardaten zur Erfassung von Sturmschäden näher zu untersuchen, wurden 2012 von der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz, der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt und dem Staatsbetrieb Sachsenforst in Zusammenarbeit mit dem Sachverständigenbüro für Luftbildauswertung und Umweltfragen

(SLU) drei Untersuchungen durchgeführt. Die Untersuchungen fanden im Rahmen des wissenschaftlichen Begleitprogramms des Radarsatelliten TerraSAR-X beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) statt (Proposal LAN0010 „Using TerraSAR-X data for land use mapping and environmental research“), wobei TerraSAR-X-Daten aus dem „Scientific Data Pool“ kostenlos zur Verfügung gestellt wurden. Zusätzlich zu den Radardaten waren zur Ableitung von Referenzdaten Orthofotos der Sturmschadensgebiete mit einer Bodenauflösung von 20 cm verfügbar.

## Optische Datenauswertung und Klassifikation

Radardaten sind ohne weitere Aufbereitung nicht auswertbar. Ein wesentlicher

## Der TerraSAR-X-Sensor

Der deutsche Radarsatellit TerraSAR-X wurde am 15. Juni 2007 als Gemeinschaftsprojekt von DLR und EADS Astrium GmbH erfolgreich in eine Umlaufbahn um die Erde gebracht. TerraSAR-X ist der erste Erdbeobachtungssatellit, der kontinuierlich globale SAR-Daten (Synthetic Aperture Radar) im X-Band (9,65 GHz) liefert. Die Wiederholungsrate der Aufnahmen beträgt 11 Tage. TerraSAR-X operiert in drei verschiedenen Basismodi. Im Spotlight-Modus wird ein 10 x 10 km großes Gebiet mit einer Bodenauflösung von 1 bis 2 m aufgenommen, im Stripmap-Modus ein 30 km breiter Streifen mit einer Auflösung von 1,25 bis 6 m (von Aufnahmewinkel und Produktspezifikation abhängig) sowie im ScanSAR-Modus ein 100 km breiter Streifen mit einer Bodenauflösung von 16 m. TerraSAR-X stellt wahlweise single oder dual polarisierte Daten zur Verfügung (weitere Informationen unter [www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10377/565\\_read-436/](http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10377/565_read-436/)).

Die Mission liefert hochwertige SAR-Daten für Forschung und Entwicklung sowie für wissenschaftliche Anwendungen. Zusätzlich werden auch kommerzielle Datenprodukte über die Firma Infoterra (<http://www.infoterra.com>) vertrieben.

## Untersuchungsgebiete und Datenmaterial

Die drei Untersuchungsgebiete liegen in Hessen, Rheinland-Pfalz und Sachsen (vgl. Tab. 1). Am 28. Februar 2010 richtete das Sturmtief „Xynthia“ bundesweit große Schäden an. Auch Wald im Bereich des Forstamtes Melsungen südöstlich von Kassel und des Forstamtes Zell an der Mosel war betroffen. Für Melsungen war aus dem Jahr 2008 (18. November) eine TerraSAR-X-Aufnahme vorhanden, eine weitere wurde für dasselbe Gebiet im Rahmen des wissenschaftlichen Programms der TerraSAR-X-Mission beim DLR in Auftrag gegeben. Diese Aufnahme konnte am 28. März 2010 gemacht werden. Für das Forstamt Zell gab es bereits unmittelbar vor dem Sturm eine TerraSAR-X-Szene (14. Februar 2010). Dasselbe Gebiet konnte am 8. März 2010 noch einmal aufgenommen werden. Infolge eines Tornados am Pfingstmontag 2010 (24. Mai) entstanden in Sachsen Sturmschadensflächen in den Forstbezirken Taura, Dresden und Neustadt. Für einen Teil der betroffenen Gebiete lag eine TerraSAR-X-Szene vom 5. Juni 2010 unmittelbar nach dem Sturm vor. Vorherige Vergleichsdaten waren nicht verfügbar.

Die im Stripmap-Modus mit Single-Polarisation HH aufgenommenen Radarszenen wurden mit einer Bodenauflösung von 1,25 x 1,25 Metern im UTM-Koordinatensystem geliefert. Der Datentransfer erfolgte per FTP. Die Daten wiesen eine hohe Lagegenauigkeit auf, sodass sie ohne weitere Lagekorrekturen verwendet werden konnten.



**Abb. 2:**  
Ergebnis der  
Klassifizierung der  
Sturmwurfflächen  
(rot) mit dem Change-Detection-Tool  
des DLR, Untersuchungsgebiet  
Forstamt Melsungen,  
TerraSAR-X-Bild  
im Hintergrund

Grund hierfür ist der „Speckle-Effekt“ (Bildrauschen, Salz-Pfeffer-Textur). Um diesen zu minimieren, wurden verschiedene Filteralgorithmen angewendet. Die Filter bewirken, dass die Radardaten zu einem homogeneren Bildprodukt mit reduzierter Körnigkeit weiterverarbeitet werden. Um die Stärken der jeweiligen Filter auszunutzen zu können, wurden die Ergebnisbilder zu mehrkanaligen Bildern kombiniert und als

Grundlage der beiden nachfolgenden Auswertungsschritte verwendet.

Die Abgrenzungen der aus den Orthofotos kartierten Sturmschadensflächen wurden zunächst über die Radarbilder gelegt, um einen ersten Eindruck davon zu bekommen, wie Sturmwurfflächen durch die aufbereiteten TerraSAR-X-Daten abgebildet werden. Leider konnte in allen drei Untersuchungsgebieten im Radarbild kein

signifikanter Unterschied zwischen Sturmwurfflächen und nicht betroffenen Gebieten festgestellt werden (s. Abb. 1). Weder pixel- noch objektbasierte mono-temporale Klassifizierungen mit kommerziellen Softwaremodulen konnten befriedigende Ergebnisse zur Abgrenzung der vom Sturm geworfenen Baumbestände liefern.

## Change-Detection-Analyse

Für die beiden Untersuchungsgebiete in den Forstämtern Melsungen und Zell lag jeweils eine Radarszene vor und eine nach dem Sturm vor. Daher konnte eine Veränderungsanalyse mit einem vom DLR im Rahmen einer Dissertation [5] entwickelten „Change-Detection-Tool“ durchgeführt werden.

Die Anwendung des Change-Detection-Tools ergab für Melsungen eine Windwurffläche von 539 ha (s. Abb. 2). Bei der Luftbildauswertung wurde für dasselbe Gebiet eine Windwurffläche von 575 ha kartiert. Im Testgebiet des Forstamtes Zell/Forstrevier Alf standen 90 ha aus der Change-Detection-Analyse 68 ha aus der Orthofotoauswertung gegenüber (s. Abb. 3).

Da diese absoluten Zahlen keine Aussage über die Lage- und Klassifizierungsgenauigkeit zulassen, wurden die Ergebnisse mit den Sturmschadenskartierungen der Orthofotos verglichen. Die Change-Detection-Klassifizierung stimmte bis zu 60 % mit den Ergebnissen der Luftbildabgrenzungen flächig überein. Vor allem bei größeren von Sturm geworfenen Waldflächen entsprachen die Flächenabgrenzungen der Change-Detection-Analyse in hohem Maß denen der Orthofotoauswertung (s. Abb. 4). Allerdings traten aufgrund der Seitwärtsicht (sidelooking) des Radarsensors an den Rändern zu höheren Nachbarbeständen z. T. „Verdeckungseffekte“ auf. Eine nähere Analyse der Zahlen erbrachte nachfolgende Ergebnisse:

### Forstamt Melsungen

- Leider war keine TerraSAR-X-Szene für das Untersuchungsgebiet Melsungen unmittelbar vor dem Sturm am 28. Februar 2010 vorhanden, sondern nur eine Aufnahme vom 18. November 2008. Die 17 Monate zwischen beiden TerraSAR-X-Aufnahmen beeinflussten das Ergebnis des Change-Detection-Tools negativ, ebenso die unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkte im Spätherbst und Frühjahr, wahrscheinlich durch Veränderungen des Belaubungszustandes.
- Bestandsauflösungen und Kahlflächen waren nicht immer eindeutig dem Sturm „Xynthia“ zuzuordnen, wie auch bereits bei der Orthofotoauswertung der Windwurfflächen über einen Zeitvergleich der Befliegungen 2008 und 2010 festgestellt wurde. So hatten einige Bestände schon Vorschäden durch



**Abb. 3:**  
Klassifizierung der  
Sturmwurfflächen  
(rot) mit dem Change-Detection-Tool  
des DLR, Untersuchungsgebiet  
Forstamt Zell/  
Revier Alf (grüne  
Umgrenzungslinie);  
Quelle für das  
Orthofoto im Hintergrund:  
Landesamt für Vermessung und  
Geobasisinformation Rheinland-Pfalz

„Kyrill“. Aber auch reguläre, forstwirtschaftliche Maßnahmen wie Durchforstungen, Endnutzungen oder Feinerschließung führten zu Veränderungen im Kronendach bzw. zum Verschwinden von Beständen.

- Da der TerraSAR-X-Sensor insbesondere Veränderungen in der Kronenoberfläche abbildet, wurden die großflächig in Buchen- und Buchenmischbeständen durchgeführten regulären Durchforstungshiebe auch als Veränderung erfasst.

#### Forstamt Zell

- Der höhere Anteil von Windwurfflächen der Change-Detection-Analyse gegenüber der Orthofotoauswertung muss nicht zwangsläufig auf Fehlklassifizierungen beruhen. Auch wenn Bäume nicht geworfen werden, verursacht Sturm an den Baumkronen Schäden, die als Veränderung in den TerraSAR-X-Daten abgebildet werden. Dies gilt auch für Bestände, in denen nur Wurf oder Bruch einzelner Bäume und kleiner Baumgruppen aufgetreten ist. Insgesamt ergeben sich hierdurch mehr Veränderungsflächen als reine Windwurfflächen.
- In geringem Umfang wurden Sturmwurfbereiche durch das Change-Detection-Tool nicht erkannt. Hierbei können die kleine Zahl liegender Bäume und/oder noch vereinzelt stehende Bäume eine Rolle spielen. In den TerraSAR-X-Daten werden solche Flächen weiterhin wie Wald abgebildet.

#### Fazit und Ausblick

TerraSAR-X-Daten sind bei großflächigen Sturmschäden nach derzeitigem Stand nur bedingt verwendbar, um die Lage und Größe von Sturmschadensflächen zuverlässig zu erfassen. Eine mono-temporale rechnerbasierte Klassifizierung erbringt keine verwertbaren Daten. Das Change-Detection-Tool des DLR führt zu deutlich besseren Ergebnissen, die allerdings in umfangreicheren Tests noch bestätigt werden müssen. Trotzdem reicht die festgestellte Erfassungsquote von 60 % der Windwurfflächen noch nicht für eine verwendbare Flächen- und Massenschätzung. Ein wesentliches Manko besteht darin, dass eindeutige Wurfflächen teilweise nicht in den Radarsignalen abgebildet werden. Gleichzeitig werden Veränderungen in den Bestandesoberflächen errechnet, die augenscheinlich sturmbedingten Blatt-, Nadel- oder Astverlusten zuzuordnen sind und nicht von Windwurf oder -bruch unterschieden werden können. Hier bedarf es einer Weiterentwicklung des verwendeten Change-Detection-Tools.

Ein Problem bei solchen Zeitvergleichen dürfte auch bei leistungsfähigerer Auswertungs-Software in jedem Fall bestehen bleiben: Für hochwertige Auswertungsergebnisse sind Aufnahmen möglichst kurz vor und nach einem Sturm erforderlich.

**Abb. 4:**  
**Vergleich einer Windwurfflächen-Kartierung auf Orthofotobasis (blau) mit dem Ergebnis der TerraSAR-Klassifizierung (Change-Detection-Tool des DLR, rot); übereinstimmende Flächen (gelb).**

*Quelle für das Orthofoto im Hintergrund: Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation Rheinland-Pfalz*



Bei starken Orkanen, die alle fünf bis zehn Jahre auftreten und weder vom Zeitpunkt und noch der betroffenen Region her voraussagbar sind, ist dies nur mit hohem Aufwand leistbar. Eine großflächig angelegte Datenbevorratung mit mindestens jährlicher Aktualisierung wäre erforderlich. Bei momentanen Kosten von 2,50 € pro Quadratkilometer für eine TerraSAR-X-Szene mit einer Flächenabdeckung von 30 x 50 km im StripMap-Modus ergeben sich durchaus beträchtliche Summen.

Zumal es nicht allein mit der Verfügbarkeit von Radardaten getan ist. Auch Auswertungsverfahren, -technik und Know-how müssen präsent sein, ebenso leistungsfähige Geoinformationssysteme, die vor allem aktuelle Walddaten aller Waldbesitzarten bereithalten. Nur so lassen sich die gebotenen, kurzfristigen Reaktionszeiten nach Sturmschadensereignissen auch tatsächlich einhalten.

Bessere Chancen für einen Einsatz von Radardaten zur Sturmschadenserkennung ergeben sich möglicherweise durch das europäische Erdbeobachtungsprogramm GMES (Global Monitoring for Environment and Security), in dessen Rahmen 2013 u. a. ein Radarsatellit gestartet werden soll. Der Sentinel-1 genannte Satellit soll Aufnahmen innerhalb von ein bis drei Tagen anfertigen können bei schneller und vor allem kostenfreier Datenbereitstellung, jedoch mit einer vergleichsweise geringen Bodenauflösung von bestenfalls 5 m.

Aber auch dann werden Radardaten als einzige Fernerkundungsdatenquelle nicht ausreichen, um die Bewältigung großflächiger Sturmschäden zu unterstützen. Ein wesentlicher Nachteil von Radardaten ist, dass sie nur rechnergestützt auswertbar

sind. Dadurch bleibt die Nutzung auf Spezialisten mit hochwertiger Auswertungstechnik begrenzt. Eine Bereitstellung von Radaraufnahmen in einem netzbasierten Geoinformationssystem für eine breit angelegte Verwendung auf forstbetrieblicher Ebene ist daher nicht möglich. Aber gerade dies ist erforderlich. Jeder, der mit der Sturmschadensbewältigung befasst ist, muss für seine Planungszwecke auf aktuelles, hoch aufgelöstes Bildmaterial zugreifen können, das Details auf Bestandesebene erkennen lässt und kleinräumige Analysen und Planungen ermöglicht. Aufnahmen optischer Sensoren bleiben dadurch auf jeden Fall unentbehrlich, entweder als digitale Luftbilder oder als Satellitenaufnahmen. Radardaten können als Bestandteil eines mehrstufigen, fernerkundungsgestützten Erfassungssystems anfängliche schnelle Überblicke über das Ausmaß sturmbedingter Bestandesschäden liefern. Allerdings ist hierfür noch weitere Entwicklungsarbeit zu leisten.

#### Literaturhinweise:

- [1] FRANKEN, F.; FRANZ, S.; MÜTERTHIES, A. (2007): Erfassung der durch den Orkan Kyrill geschädigten Waldgebiete in Nordrhein-Westfalen anhand von digitalen Luftbildern und Orthophotos. PFG, Heft 5, S. 349-354. [2] Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz; Sachverständigenbüro für Luftbilddauswertung und Umweltfragen (2012): Untersuchung zur Eignung von TerraSAR-X Daten zur Kartierung von Sturmwurfgeschäden im Bereich des Forstamtes Zell/Revier Alf. Interner Bericht, 32 S. [3] HOFFMANN, K.; KRANZ, K. (2010): Erfassung von Sturmschäden mithilfe von Orthobildern. AFZ-DerWald, Nr. 21, S. 9-13. [4] Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt; Sachverständigenbüro für Luftbilddauswertung und Umweltfragen (2012): Untersuchung zur Eignung von TerraSAR-X Daten zur Kartierung von Sturmwurfgeschäden im Bereich des Forstamtes Melsungen. Interner Bericht, 27 S. [5] SCHMITT, A. (2011): Änderungserkennung in multitemporalen und multipolarisierten Radaraufnahmen. Dissertation an der Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften der Universität Karlsruhe (TH). [6] Staatsbetrieb Sachsenforst; Sachverständigenbüro für Luftbilddauswertung und Umweltfragen (2012): Entwicklung von Methoden zur Nutzbarkeit hochauflösender TerraSAR-X-Band Daten für die Erfassung von Sturmschäden. Interner Bericht, 38 S.