

## Regionale Kartierung von Sturmschäden in Mitteleuropa

STEFFEN KUNTZ & ULRICH EBEL, München

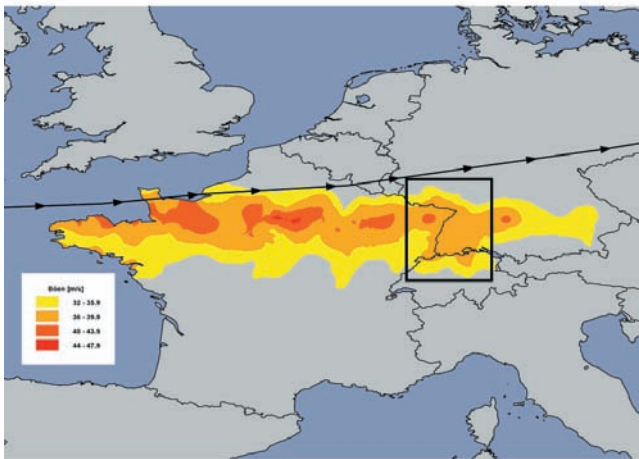
**Summary:** *Regional Storm Damage Mapping in Central Europe.* Damage due to storms in the highly populated regions of Central Europe is not as a rule visible to the eye from outer space. However, it is now considered operationally practicable to identify storm damage in large wooded areas from multi-temporal satellite data. The only conditions that need to be fulfilled are that the damaged wooded areas have to be of an adequate size (several acres) and that good-quality satellite data (i. e. as little cloud cover as possible) from before and after the event must be available. Detected in this way, storm damage in wooded areas can be used to derive the spatial distribution of the damage patterns and hence the regional features of the (gusty) wind field in an extensive area. At the same time, this method yields an indicator that can make it possible to estimate the damage potential in adjacent population centres that naturally harbour a much higher financial risk. With this in mind, Swiss Re Germany AG contracted RSS – Remote Sensing Solutions GmbH to compile a regional map of the wooded areas severely damaged by hurricane “Lothar” (on 26.12.1999). On the basis of 4 Landsat TM and ETM images – captured before and after the storm – an area of over 100,000 km<sup>2</sup> was mapped. All the results were converted to ARC-View™ so as to be available for further modelling in conjunction with wind measurements and in-house insurance data.

**Zusammenfassung:** Schäden durch Stürme in Siedlungsgebieten sind in Mitteleuropa in der Regel vom Weltraum aus nicht direkt erkennbar. Dagegen kann die Erfassung von Sturmschäden in größeren Waldgebieten aus multitemporalen Satellitendaten als weitgehend operationell gelten. Die einzigen Bedingungen, die gegeben sein müssen, sind zum einen eine entsprechende Größe der geschädigten Waldbestände (mehrere ha) und zum anderen das Vorhandensein von qualitativ guten (d. h. möglichst wolkenfreien) Satellitendaten vor und nach dem Ereignis. Dadurch sind Sturmschäden in Wäldern geeignet, um über die räumliche Verteilung der Schadensmuster die regionalen Ausprägungen des (Böen-) Windfelds in einem größeren Gebiet abzuleiten. Gleichzeitig erhält man einen Indikator, der es ermöglichen sollte, das Schadenspotenzial in benachbarten Siedlungsgebieten abzuschätzen, die naturgemäß ein vielfach höheres finanzielles Risiko aufweisen. Die Swiss Re Germany AG beauftragte deshalb die Firma RSS – Remote Sensing Solutions GmbH mit einer regionalen Kartierung der durch den Orkan „Lothar“ (am 26.12.1999) stark geschädigten Waldflächen. Auf der Basis von 4 Landsat TM und ETM Szenen – jeweils vor und nach dem Sturm aufgenommen – wurde eine Fläche von mehr als 100 000 km<sup>2</sup> kartiert. Alle Ergebnisse wurden in ARC-View™ überführt, um für weitere Modellierungen mit Windmessungen und internen Versicherungsdaten zur Verfügung zu stehen.

### Einführung

Im Dezember 1999 wurde Europa von einer Reihe von schweren Winterstürmen heimgesucht, die versicherte Schäden von ca. 11 Milliarden Euro und einen geschätzten Gesamtschaden in nahezu doppelter Höhe verursachten. Zusätzlich waren weit über 100 Tote und viele Verletzte zu beklagen, die ent-

weder direkt durch die Stürme oder indirekt während der anschließenden Aufräumarbeiten zu Schaden kamen. Speziell der Sturm „Lothar“ am 26.12.1999 nahm rekordverdächtige Schadensausmaße an: Innerhalb eines West-Ost-Korridors, der sich über mehr als 1000 km von der Britischen Küste bis nach Deutschland und der Schweiz erstreckte (Abb. 1), kam es zu Ver-



**Abb. 1:** Das (Böen-)Windfeld von „Lothar“. Das eingezeichnete Quadrat gibt das Untersuchungsgebiet der Studie an, das Teile von Frankreich, Deutschland und der Schweiz umfasst.

sicherungsschäden von ca. 6,2 Milliarden Euro und einem Anfall an gebrochenem Holz von etwa 110 Mio. m<sup>3</sup>.

Nach einer derartigen Katastrophe ist es für die Versicherungsindustrie von großer Wichtigkeit, Informationen über das Schadensausmaß und die Lokalisierung von besonders betroffenen Siedlungsgebieten so rasch als möglich zu erhalten, da die Schadenmeldungen durch die Betroffenen häufig mit längeren Verzögerungszeiten eintreffen. Im Falle von „Lothar“ brauchte es mehr als ein halbes Jahr, bis sich die Schätzungen der Schadenssummen stabilisierten. Falls genaue meteorologische Messungen in genügender Anzahl zur Verfügung stünden, wäre eine frühe Schadensschätzung auf regionaler Ebene möglich. Leider ist zurzeit die Dichte des meteorologischen Messnetzes für die Modellierung lokaler Windfelder nicht ausreichend. Anstelle solcher Messungen bietet die Fernerkundung eine Reihe von Möglichkeiten, große Gebiete rasch zu erfassen, die von der Kartierung einzelner Häuser in Luftbildern bis hin zu regionalen Übersichtsdarstellungen auf der Basis von Satellitendaten reichen kann. Bei so großflächigen Schäden, wie sie „Lothar“ anrichtete, ist jedoch normalerweise der Einsatz von Luftbildern aus ökonomischen und zeitlichen Gründen nicht möglich.

Nachdem in früheren Untersuchungen (KUNTZ & ZIMMERMANN 1993) bereits festgestellt worden war, dass sich größere

Sturmschäden in Waldbeständen aus Satellitendaten rasch und – für regionale Anwendungen – auch mit ausreichender Genauigkeit effektiv erfassen lassen, beauftragte die Swiss Re Germany AG die Firma RSS – Remote Sensing Solutions GmbH – damit, eine regionale Kartierung der geschädigten Wälder im Grenzgebiet von Frankreich, Deutschland und der Schweiz zu erstellen. Ziel der Studie war, die Ergebnisse für folgende versicherungstechnische Aufgaben nutzbar zu machen:

1. zur Korrelation der geschädigten Waldbestände mit gemeldeten Schäden an Gebäuden, um abzuschätzen, ob diese Vorgehensweise als einfacher Indikator für Schäden in Siedlungsgebieten geeignet ist.
2. als Indikator von lokalen Windgeschwindigkeiten und Turbulenzen unter Verwendung der Größe und der Verteilung geschädigter Waldbestände mit dem Ziel der Verbesserung lokaler Windmodelle.
3. zur Korrelation der geschädigten Waldbestände mit digitalen Geländemodellen und internen Versicherungsdaten zur Optimierung regionaler Risikomodelle.

### Methodik der Sturmschadenskartierungen

Die eingesetzte Methodik zur Kartierung der regionalen Sturmschadensmuster in Wäldern umfasste die folgenden Arbeitsschritte:

## 1. Arbeitsschritt: Auswahl geeigneter Satellitendaten

In Mitteleuropa treten die meisten schadenträchtigen Stürme im Herbst und Winter auf. In dieser Jahreszeit ist der Sonnenstand zum Zeitpunkt der Aufnahme (bei Landsat ca. 10.30 h MEZ) relativ niedrig. Hinzu kommt, dass länger andauernde Schönwetterperioden selten sind und damit optische Sensoren mit längeren Orbitzyklen (z. B. Landsat 16 Tage) häufig Probleme bei der Datenakquisition haben. Im Winter 1999 war genau dies der Fall. Deshalb war es nicht möglich, rasch vor und nach dem 26. 12. 1999 wolkenfreie Aufnahmen zu er-

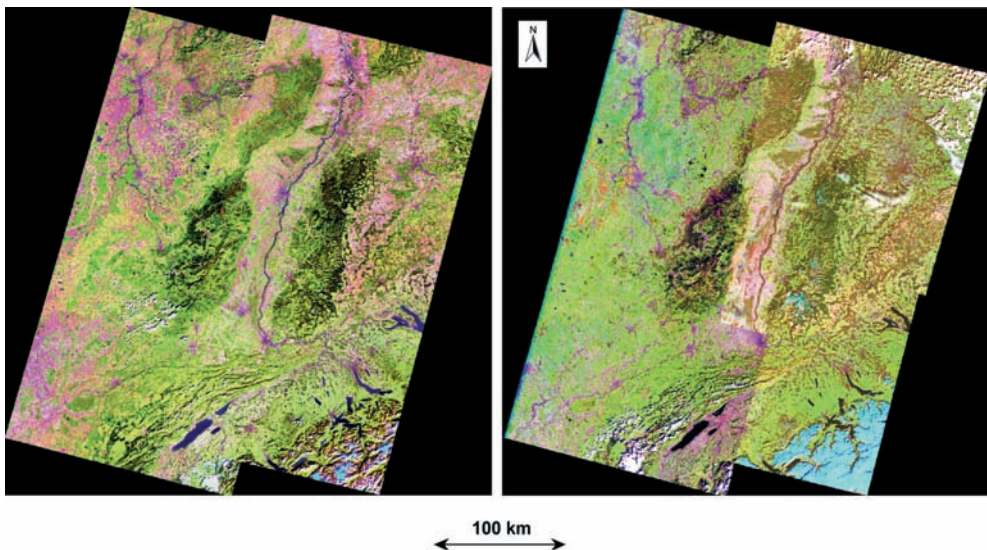
halten, die das Gesamtgebiet (der Oberrheingraben bis etwa Höhe Mannheim mit angrenzenden Regionen in Frankreich, Deutschland und der Mittelschweiz) abdeckten. Dies traf auf die Systeme SPOT, IRS und Landsat gleichermaßen zu. Die einzigen wolkenfreien Satellitenszenen, die möglichst kurz vor und nach dem Sturm verfügbar waren, stammten von Landsat 5 und 7. Tab. 1 gibt einen Überblick über die ausgewählten und verwendeten Szenen.

**Tab. 1:** Überblick über die eingesetzten Satellitenszenen.

Sensor	Path / Row	Aufnahmedatum
Landsat 7 ETM	196 / 26 & 27	02. 09. 99
Landsat 5 TM	195 / 26 & 27	11. 09. 99
Landsat 5 TM	195 / 26	13. 03. 00
Landsat 7 ETM	195 / 27	21. 03. 00
Landsat 7 ETM	196 / 26 & 27	15. 05. 00

## 2. Arbeitsschritt: Kalibrierung, Geokodierung und Mosaikierung

Alle Satellitenszenen wurden über Standardverfahren – die von dem Bildverarbeitungssystem ERDAS Imagine™ bereitgestellt werden – so weit wie es aus ökonomischen und Zeitgründen angebracht war, untereinander relativ angepasst und standardisiert. Dies umfasste eine Reduktion des Dunstschleiers (dehazing) sowie eine Histogrammanpassung. Danach erfolgte die Georeferenzierung auf UTM Projektion über Passpunkte. Da als Zielgröße der end-



**Abb. 2:** Bildmosaike von jeweils 4 Landsat Szenen (Kanalkombination 5,4,2 RGB) vom September 1999 (links) und vom März/Mai 2000 (rechts). Die Unterschiede in der Farbdarstellung im rechten Bild stammen von saisonalen Unterschieden, die durch das Wachstum der Vegetation zwischen März (östlicher Orbit) und Mai (westlicher Orbit) hervorgerufen werden. In dunkelgrünen Farben bilden sich gut die Waldflächen des Pfälzer Walds und der Vogesen im Westen sowie des Schwarzwalds im Osten ab.

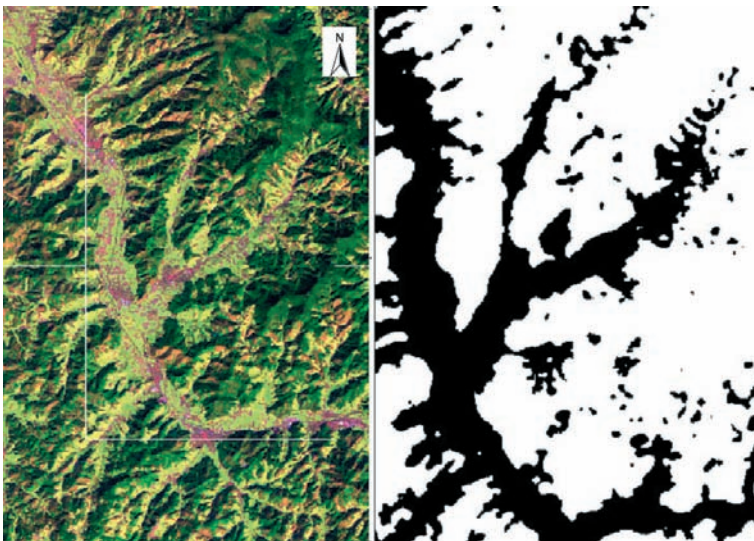
gültigen Karte der Maßstab 1:200000 war, wurden deutsche, französische und Schweizer topographische Karten in den Maßstäben 1:50000 und 1:100000 für die Bestimmung der Passpunkte herangezogen. Zusätzlich wurde auch das internationale, frei verfügbare USGS-Geländemodell für die Reduzierung von Lagefehlern in den Mittelgebirgen eingesetzt. Da allein die Passpunktbestimmung über die Ländergrenzen hinweg sehr aufwändig war, benötigte dieser Arbeitsabschnitt mehr als zwei Drittel des Gesamtaufwands der Kartierung (ca. 2 Mannwochen). Danach erfolgte die Mosaikierung aller Szenen für die weitere Interpretation. Als Resultat dieser Arbeiten lag ein homogener Datensatz des Gesamtgebiets vor, bestehend aus jeweils 4 Landsat-Szenen vor und nach dem Sturm (Abb. 2).

### 3. Arbeitsschritt: Generierung einer „Waldmaske“

Um mögliche Klassifizierungsfehler bei der thematischen Kartierung von vornherein so weit wie möglich zu reduzieren und gleichzeitig den Datensatz und damit den Analyseaufwand zu minimieren, wurde für das Gesamtgebiet eine binäre „Waldmaske“ erstellt. Dazu wird in einem neuen Datenlayer

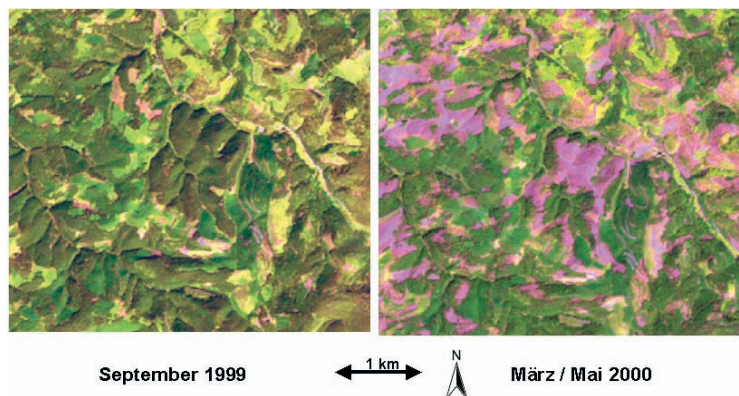
allen Waldflächen der Wert 1 und allen Nichtwaldflächen der Wert 0 zugewiesen. Das Verfahren wurde von SCHARDT 1990 beschrieben. Im vorliegenden Fall musste es allerdings in einigen Punkten modifiziert und verbessert werden, da Wasserflächen und Schatten sonst zu einer Überschätzung der Waldflächen geführt hätten. Es nutzt die Tatsache, dass Waldflächen in den Landsat-Kanälen 2 und 3 die dunkelsten Grauwerte aufweisen. Über ein einfaches Schwellwertverfahren wird dann für jeden der beiden Spektralkanäle iterativ ein Schwellwert festgelegt, der die dunklen Waldflächen von allen helleren Bildteilen trennt. Zusätzlich muss für alle Wasserflächen noch ein dritter Binär-Layer generiert werden. Dieser ergibt sich nach folgendem Verfahren: falls  $(TM 5) < (TM 2) - C$  dann wird einem Pixel der Wert 0 zugewiesen, während in allen anderen Fällen der Wert 1 zugewiesen wird. Dabei stehen TM 5 bzw. TM 2 für die entsprechenden spektralen Bänder des Landsat 5 bzw. 2 und C entspricht einem empirisch erhobenen Korrekturfaktor. Wasserflächen werden demnach mit Nullwerten maskiert.

Durch Multiplikation von allen drei Binär Layern werden Waldflächen eindeutig als solche erkannt und mit dem Wert eins maskiert. Eine erneute Multiplikation mit den



**Abb. 3:** Vergleich der binären Waldmaske mit den Originaldaten in einem Ausschnitt aus dem mittleren Schwarzwald, nahe Offenburg.

**Abb. 4:** Vergleich der Situation vor und nach dem Sturm in einem Teil des Hauptschadensgebiets in den Nordvogesen, Frankreich (Landsat 7 ETM, Bandkombination 4,5,3, RGB). Die violetten Flächen in den vormals intakten Wäldern sind Sturm-schadensflächen.



Originaldaten ergibt dann die endgültige Waldmaske. Die Berechnung erfolgte mit Hilfe des Spatial Modelers von ERDAS Imagine™.

Danach wurde die Waldmaske mit einem  $7 \times 7$  Majoritätsfilter geglättet, da die Vorgabe war, nur Flächen über 4 ha Größe zu kartieren. Kleinere Gehölze wurden dadurch bewusst eliminiert. Die Überprüfung der Waldmaske erfolgte stichprobenartig mit Hilfe topographischer Karten im Maßstab 1:50 000 und durch einen Vergleich mit dem CORINE-Datensatz von Deutschland. Dabei konnte nachgewiesen werden, dass die Genauigkeit des Verfahrens für den geforderten Kartiermaßstab 1:200 000 mehr als ausreicht und die Qualität der CORINE-Daten übertrifft. Auf Baden-Württemberg bezogen war die resultierende Waldfläche mit den Angaben der Forstverwaltung bis auf eine Nachkommastelle identisch.

#### 4. Kartierung der Schäden

Da nur der regionale Aspekt und die größeren Schäden für die Swiss Re Germany interessant war, wurde als untere Grenze einer zu erfassenden Schadfläche 4 ha vorgegeben. Zunächst wurde versucht durch eine unüberwachte Klassifizierung des mul-

titemporalen Datensatzes innerhalb der maskierten Waldflächen alle Schadflächen automatisch zu erkennen. In dem Märzorbit kam es aber infolge von Schneeflächen, Wolken und stärkeren Dunstschleiern zu einer örtlich starken Überschätzung der Schäden, während auf den Nord- und Osthängen der Mittelgebirge eine generelle Unterschätzung erfolgte. Deshalb konnte das Ergebnis dieser Klassifizierung nur als erste Näherung an die wahren Schadflächen dienen; quasi als Warninformation zu einem potenziellen Schaden, der allerdings noch zu verifizieren bzw. zu verändern war.

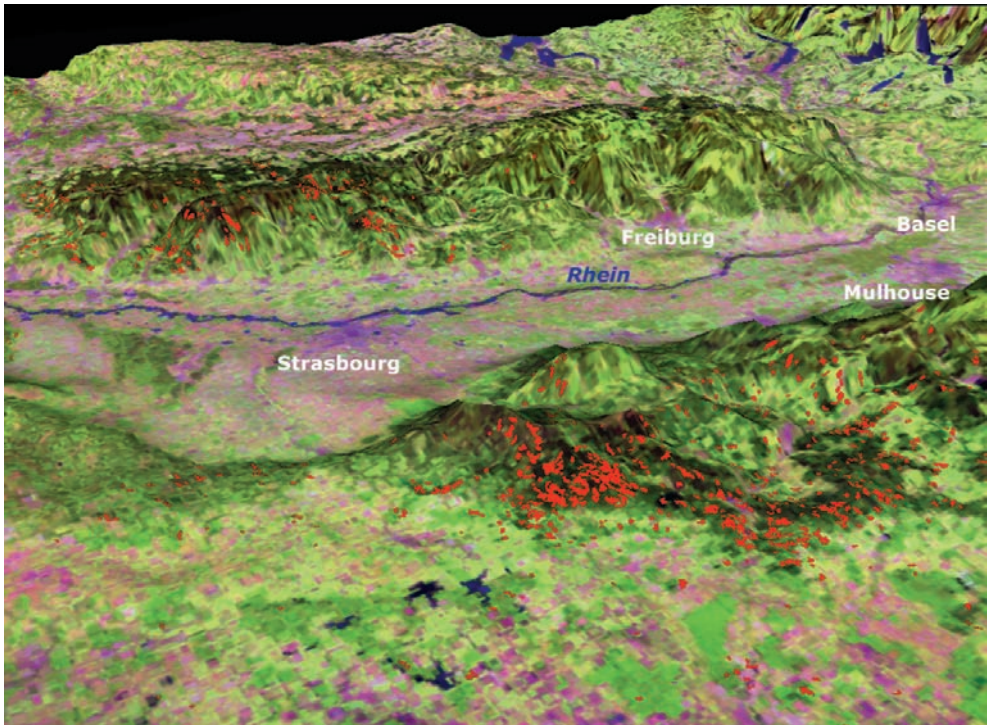
Aus Zeitgründen erfolgte die eigentliche Kartierung durch interaktive Delinierung am Bildschirm auf der Basis der multitemporalen Daten (vorher – nachher Aspekt; Abb. 4). Die Durchmusterung der Waldflächen auf etwaige Schäden und die Delinierung aller erkennbaren Schäden im Gesamtgebiet ( $> 100\,000 \text{ km}^2$ ) im Rahmen der Genauigkeitsvorgaben konnte innerhalb von 4 Manntagen, inklusive der Nachbearbeitung in wenigen Teilgebieten abgeschlossen werden. Die Ergebnisse dieser Kartierung liegen zum einen in einer Flächenstatistik (Tab. 2), als digitale Karten- und Bildprodukte für Dokumentations- und Werbezwecke (Abb. 5 und 6) sowie als Vektor- und Rasterdatensatz für weitere GIS-Einsätze vor.

**Tab. 2:** Statistiken der geschädigten Waldbestände.

geschädigte Gesamtfläche	mittlere Größe eines geschädigten Bestands	kleinste kartierte Schadensfläche	größte kartierte Schadensfläche
29,164 ha	17,0 ha	0,7 ha	289,1 ha

**Tab. 3:** Ergebnisse für das gesamte Untersuchungsgebiet.

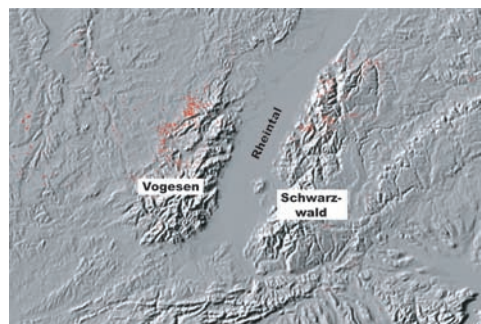
Gesamtfläche (km <sup>2</sup> )	davon bewaldet (km <sup>2</sup> )	Waldfläche in %	Schadensfläche (km <sup>2</sup> )	Schadensfläche in %
103,426	39,922	38,60	291,64	0,73

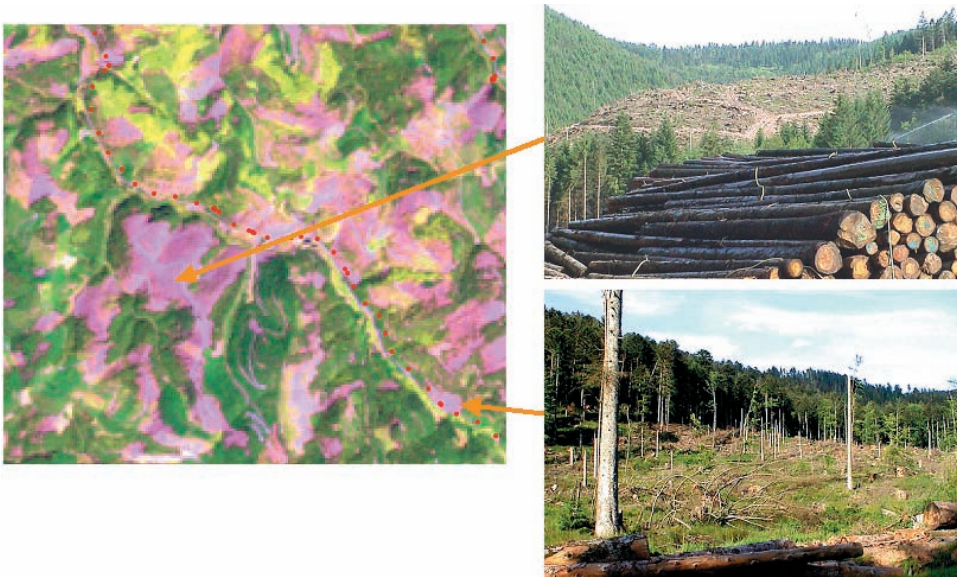
**Abb. 5:** 3D-Ansicht des Hauptschadengebiets mit Blick von Westen über die Vogesen und das Rheintal auf den Schwarzwald (Landsat 7 ETM, Bandkombination 4,5,3, RGB überlagert über das USGS-Geländemodell). Zur besseren Darstellung bei dem kleinen Maßstab wurden die Schadensflächen überzeichnet dargestellt.

## 5. Überprüfung der Ergebnisse

Bei der Größe des Schadensgebiets wurde die Verifikation vornehmlich vom Kfz aus durchgeführt. Dabei wurden die Hauptschadensgebiete im Schwarzwald und in den Vogesen bereist. Mittels eines ARC-View-Projekts mit direktem GPS-Link war im Gelände eine eindeutige Identifizierung sämtlicher aufgesuchter Flächen möglich (Abb. 7).

Anhand der im Gelände festgestellten Befunde konnte dem Auftraggeber garantiert werden, dass alle Sturmflächen über 4 ha bei der Kartierung richtig erfasst wurden. Die

**Abb. 6:** Räumliche Verteilung der Schäden in der Region überlagert auf das USGS-Geländemodell.



**Abb. 7:** Beispiel für die Geländebereisung. Links Originalsatellitenbild vom Mai 2000 aus dem Hauptschadensgebiet in den Vogesen. Die gepunktete Linie zeigt einen gemessenen GPS-Track entlang einer Straße. Die Fotografien rechts, die über die GPS-Messungen eine eindeutige geographische Zuordnung haben, dokumentieren exemplarisch den Befund an zwei Stichprobeorten.

Baden-Württembergische Forstverwaltung bestätigte zusätzlich, dass die aus dem Satelliten erfasste Schadensfläche in den Nadelholzbeständen Baden-Württembergs sehr gut mit den internen Quellen übereinstimmt (SCHLÜTER, FD Freiburg, mündl. Mitteilung).

### Diskussion der Ergebnisse

Im Rahmen der Studie wurden die durch den Orkan „Lothar“ geschädigten Waldflächen in einem Gesamtgebiet von mehr als 100000 km<sup>2</sup> mittels Landsat 7 ETM Satellitendaten kartiert. Dies ist die nach unserem Wissensstand bisher größte, in sich konsistente und international angelegte Kartierung von Sturmschäden, die in Europa durchgeführt wurde. Als Ergebnis liegen georeferenzierte Sturmschadensmuster als Grundlage für weiterreichende meteorologische und versicherungstechnische Modelle vor.

Dennoch sollte auch auf einige Schwächen des Verfahrens hingewiesen werden. Als wesentliches Element für derartige In-

venturaufgaben müssen vor und nach einem Sturmereignis so rasch als möglich qualitativ hochwertige Satellitendaten zur Verfügung stehen. Im vorliegenden Fall dauerte es immerhin mehr als drei Monate, bis die ersten wolkenfreien Aufnahmen eines Teilgebiets (der östliche Orbit; Path 195) aufgenommen worden waren. Obwohl diese Zeitverzögerung bei der Zielsetzung des Projekts nicht kritisch war, kann sie für eine Forstverwaltung, die sich mit den Folgen der Schäden unmittelbar auseinandersetzen hat, fast ein Ausschlusskriterium darstellen.

Das zweite Problem liegt darin begründet, dass sich in Satellitendaten vom Spätwinter und vom zeitigen Frühjahr unbelaubte Laubwaldbestände von gebrochenen Laubwäldern gar nicht oder nicht mit ausreichender Sicherheit differenzieren lassen. In dem März-Orbit (Schwarzwald und Mittelschweiz) wurden daher nur Schäden in Nadelholzbeständen kartiert, während die starken Schäden in Laubwäldern – beispielsweise im Rheintal – nicht erfasst wurden. Da der hohe Nadelwaldanteil in den Vogesen und dem Schwarzwald dennoch eine gute

räumliche Verteilung der Schäden erkennen lässt, ist dieses Manko für den Auftraggeber nicht gravierend. Für eine Forstverwaltung können fehlende Informationen über Schäden in größeren Laubwaldregionen jedoch wiederum kritisch sein.

Beinahe zwei Jahre nach dem Orkan sind 20% der versicherten Schäden noch nicht reguliert. Deshalb hat die Verschneidung der Schadflächen mit den Versicherungsdaten gerade erst begonnen. In Tab. 4 werden vorläufige erste Ergebnisse der Analysen für stark betroffene Gebiete in Baden-Württemberg präsentiert. Dabei gilt ein Gebiet (auf der Basis der fünfstelligen Postleitzahlen) dann als stark betroffen, wenn innerhalb dieses Gebiets die kartierte Schadensfläche im Wald größer als 1% der Gesamtwaldfläche ist. Danach zeigen die ersten Analysen einen klaren Zusammenhang zwischen dem versicherten Schaden und den kartierten Schäden in den Wäldern.

Windmodelle, die in der Versicherungsindustrie zum Einsatz kommen, basieren auf Risikoeinschätzungen, die auf einer Korrelation von Schadensparametern mit der Windgeschwindigkeit basieren. Für den Sturm „Lothar“ ergibt sich allerdings eine sehr große Streuung bei den Schäden und eine nur schwache Korrelation zu den analysierten Windgeschwindigkeiten. Die Gründe dafür sind – neben einer Reihe von methodischen Problemen bei der Messung der Windgeschwindigkeiten – das unzureichende Netzwerk an meteorologischen

**Tab. 4:** Gebäudeschäden in Baden-Württemberg in Abhängigkeit von der Stärke der kartierten Sturmschäden im Wald.

	stark geschädigte Fläche	Rest des Landes
% geschädigte Gebäude	18,8 %	12,1 %
mittlerer Schaden pro geschädigtem Gebäude	2,139 €	1,785 €
Höhe des Schadens im Verhältnis zur Summe der Gebäudewerte	0,105 %	0,058 %

Messstationen, das eine Auflösung in lokale Windfelder nicht gestattet. Dabei lässt sich speziell in den Mittelgebirgen erwarten, dass orographisch induzierte Windturbulenzen einen großen Einfluss auf das Schädgeschehen nehmen. Doch gerade im deutschen Hauptschadensgebiet zwischen Straßburg und Stuttgart gibt es gar keine Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes. Deshalb ist die Analyse der Schadensmuster in den Wäldern eine wertvolle Zusatzinformation, um lokale Windfelder besser zu verstehen und damit zu verbesserten kleinräumigen Risikoanalysen zu kommen.

### Danksagung

Wir bedanken uns bei Herrn Dipl.-Forstwirt KLAUS HALBRITTER für die umfangreiche logistische und praktische Unterstützung bei den Geländearbeiten zur Verifikation der Ergebnisse.

### Literatur

- KUNTZ, S. (1997): Satellitenfernerkundung zur Beobachtung der Waldzerstörung – 3 Fallstudien. – Habilitationsschrift, Univ. Freiburg. 238 p.
- KUNTZ, S. & ZIMMERMANN, CHR. (1993): Erfassung von Sturmschäden im nördlichen Schwarzwald mit Hilfe von Satellitendaten. – AFJZ 8/93: 150–155.
- OESTEN, G., KUNTZ, S. & GROSS, C.P. (Eds., 1991): Fernerkundung in der Forstwirtschaft – Stand und Entwicklungen. – Wichmann Verlag, Karlsruhe.
- SCHARDT, M. (1990): Verwendbarkeit von Thematic Mapper-Daten zur Klassifizierung von Baumarten und natürlichen Altersklassen. – Diss., Forstwiss. Fak., Univ. Freiburg.

Anschriften der Verfasser:

PD Dr. STEFFEN KUNTZ, RSS – Remote Sensing Solutions GmbH, Wörthstr. 49, D-81667 München. Tel.: 089-489 547 65, e-mail: kuntz@rsgmbh.de, http://www.rsgmbh.de

Dipl.-Meteorologe Dr. rer. nat. ULRICH EBEL, Swiss Re Germany AG, D-85773 Unterföhring, Tel.: 089-3844 1389, e-mail: Ulrich\_Ebel@swissre.com

Manuskript eingereicht: Januar 2002  
Angenommen: Januar 2002