

Sturm Lothar: Schadenanalyse und Risikokartierung aus meteorologischer Sicht

C. Kottmeier¹, C. Schmitt¹, J. Schmoeckel¹, A. Borchert²

¹Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Forschungszentrum Karlsruhe/
Universität Karlsruhe

²Alfred Wegener Institut für Polar- und Meeresforschung

Zusammenfassung

Das quantitative Maß an Sturmschäden, die der Orkan Lothar am 26.12.1999 im Nordschwarzwald verursacht hat, wird durch eine empirische Untersuchung und durch numerische Simulationen des Windfeldes (in einem Parallelvorhaben) untersucht. Eine Aufnahme des Schadensbildes erfolgte ca. fünf Monate nach dem Ereignis mit einem flugzeuggetragenen Zeilenscanner, dessen Daten in verschiedenen Arbeitsschritten zur Berechnung hochaufgelöster (ca. 2m x 2m Bildpunktgröße am Boden), georeferenzierter Verteilungen des Vegetationsindex verwendet werden. Die geschädigten Flächen unterscheiden sich klar durch reduzierten Vegetationsindex von vitalen Waldbeständen und durch unterschiedliche Textur von sonstigen Flächen mit geringer Vegetation. Es wird gezeigt, dass das Schadensbild erheblich von den orographischen Gegebenheiten abhängt. Große Schäden traten in Sattellagen zwischen Einzelbergen, an nordwestlich bis nördlich orientierten Bergflanken, in windparallelen Längstälern und am luvseitigen Hang von Bergücken auf. Erhebliche Schäden erlitten Waldbestände auf Bergkuppen, an exponierten Stellen im Flachland (Rheintal) und an südlich bis südöstlich orientierten Flanken von Einzelbergen. Geringe Schäden sind in mutmaßlichen Windschattenzonen, d.h. an den windabgewandten (östlichen) Seiten von Bergen, in Mulden und Nischen sowie in Quertälern zu verzeichnen.

Das insgesamt sehr komplexe Schadensbild lässt sich nur durch kombinierte Analyse besser erklären, bei der auch die Vegetations- und Standortmerkmale berücksichtigt werden.

Abstract

The damage in the woodlands of the Northern Black Mountains (Schwarzwald) caused by the storm 'Lothar' on Dec 26, 1999, is studied empirically and by numerical wind field simulations (in a parallel project). The damage pattern is assessed approx. 5 months after the disaster by an airborne survey with a digital line scanner, the data being used in calculating highly resolved (2m x 2m pixel size at the ground), georeferenced distributions of the vegetation index. The areas under concern differ significantly from vital forests by their reduced vegetation index and they contrast to other regions without vegetation by different texture. It is shown that the damage pattern is significantly affected by orographic factors. Large damage occurred at the location of saddles between single mountains, on mountain flanks facing to the North and Northwest, and at the windward (westerly) flanks of extended mountain ridges. Forests on mountain tops, at certain exposed locations in flat landscape (Rhine Valley), and at flanks of single mountains facing to the South to Southeast also suffered significant damage. Little damage is found in presumably wind guarded areas, i.e. on the leeward (Eastern) mountain flanks, in troughs and niches as well as in valleys perpendicular to the mean westerly to southwesterly winds.

The spatial distribution of damages is very complex and can be more fully explained only by a combined analysis, where characteristics of the forest canopy and of the site are taken into account.

Einführung

Das Gefährdungspotential für Gebäude, Waldbestände und Menschen durch Sturmereignisse wird unter anderem durch die Geländeform beeinflusst, da in Abhängigkeit von den orographischen Gegebenheiten (Geländehöhe, Neigung, Exposition) und den meteorologischen Bedingungen (Dichteschichtung, Wind in der freien Atmosphäre) Berge über- oder umströmt werden. Demzufolge kommt es zu Geschwindigkeitserhöhung auf den Bergkuppen oder in Taleinschnitten und Sätteln. Die Vorgänge lassen sich durch dreidimensionale atmosphärische Strömungsmodelle darstellen (s. Beitrag

H. Noppel, Universität Karlsruhe), es fehlt aber bislang an guten Vergleichsdaten über tatsächliche Schadenmuster, an denen solche Modelle kalibriert werden können.

Aufnahmegebiet und Messverfahren

Aus diesem Grunde wurde im Mai und Juni 2000 eine detaillierte Befliegung mit einer CCD-Zeilenkamera (Bochert et al., 2000) zur Schadenaufnahme nach dem Orkan Lothar im Nordschwarzwald (Abb. 1) durchgeführt und analysiert.

Ziel der abgestimmten Schadenaufnahme und Modellierung ist es, eine räumlich hochauflösende Risikokartierung für die Sturmgefährdung von Waldbeständen zu gewinnen, die insbesondere die orographisch bedingte Windverstärkung berücksichtigt.

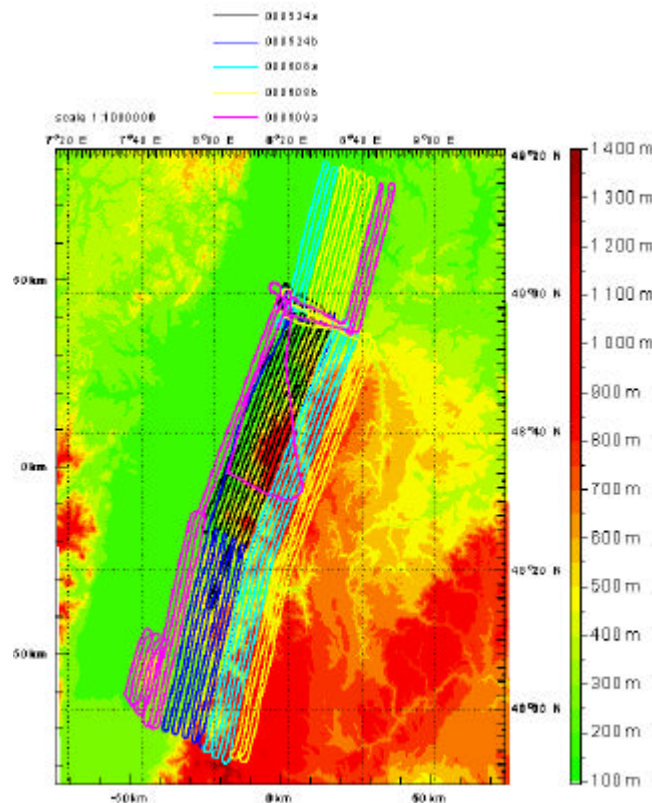


Abb. 1: Befliegungsmuster im Mai/Juni 2000 mit einem flugzeuggetragenen Scanner im Nordschwarzwald.

Mittels eines CCD-Sensors werden in dem eingesetzten Color Line Scanner (CLS) die Intensitäten der vom Erdboden reflektierten Strahlung in drei Farbkanälen gemessen: im grünen (500 – 570 nm), roten (580 – 680 nm) und nahen Infrarot- Bereich (720 – 830 nm). Im nahen Infrarot zwischen 750 nm und 1300 nm ist die Reflexion von Blättern gegenüber unbewachsenem Boden und abgestorbener Vegetation besonders hoch (Abb. 2a). Der steile Anstieg der Reflexion mit einer maximalen Steigung zwischen 690 nm und 740 nm ist ein typisches Merkmal von Vegetation. Je höher der Chlorophyllgehalt der Pflanzen ist, desto weiter ist der steile Anstieg zu höheren Wellenlängen hin verschoben. Aus den Intensitäten der reflektierten Strahlung in den Wellenlängenbereichen roter und infraroter Strahlung wird der normierte Vegetationsindex NDVI bestimmt. Abb. 2b zeigt die relative

Empfindlichkeit des CCD-Sensors, der im CLS verwendet wird, im roten Wellenlängenbereich und im nahen Infrarot.

Abb. 2c verdeutlicht im Vergleich zu Abb. 2b die Empfindlichkeit von Sensoren, die in verschiedenen Satelliten verwendet werden. Die Bandpassfilter der Satellitensensoren haben im Gegensatz zum CCD-Sensor sehr steile Kanten. Für den Vegetationsindex interessiert besonders die Intensitätsänderung der reflektierten Strahlung um 700 nm. Es ist daher von Vorteil, daß sich die Empfindlichkeiten des roten Kanals und des Kanals für nahes Infrarot beim CCD-Sensor überlappen.

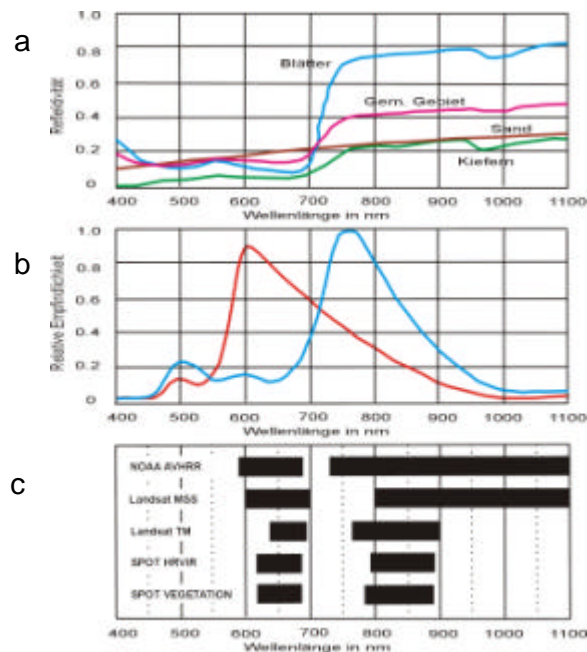


Abb. 2: Spektrale Reflektivität von Pflanzen und Boden (a, oben), spektrale Empfindlichkeit des CLS im Roten und Nahinfrarot (b, Mitte) und verschiedener Satellitensensoren zur Vegetations-Bestimmung (Bochert et al., 2000).

Fluglagekorrektur, Georeferenzierung und NDVI-Bestimmung

Die CLS-Daten lassen sich in den einzelnen Farbkanälen (Abb. 3a: roter Kanal) oder als Differenz aus mehreren Kanälen darstellen (Abb. 3b - 3d: Vegetationsindex, grün: Vegetation, braun: kein Bewuchs / abgestorbenes Material). Der Vegetationsindex (*NDVI*) wird aus der Intensität der reflektierten Strahlung der Oberfläche im nahen Infrarot (I_{nir}) und im roten Wellenlängenbereich (I_{red})

$$\text{bestimmt: } NDVI = \frac{I_{nir} - I_{red}}{I_{nir} + I_{red}} .$$

Für die Darstellung müssen die Daten georeferenziert werden. Dies geschieht mit Hilfe der gemessenen Fluglagedaten, die die absolute Position des Flugzeuges (Differential-GPS) und die Neigungswinkel um die drei Achsen zu jedem Zeitpunkt registriert werden. Außerdem muß die Lage der Kamera bezüglich des Flugzeuges bestimmt werden. Abb. 3a und 3b zeigen Darstellungen ohne Korrektur der Kamerawinkel. In Abb. 3c ist die Position der Kamera bezüglich des Flugzeuges bekannt. Der deutliche Absatz in den Bildern zeigt die Grenze zwischen zwei überflogenen Streifen. Diese sind auch nach der Korrektur der Kamerawinkel gegeneinander verschoben und überlappen sich. Eine korrekte räumliche Zuordnung aller Bildpunkte erhält man, indem sie orthoprojiziert werden, wozu hochaufgelöste digitale Höhendaten notwendig sind. Wie in Abb. 3d zu sehen ist, sind die einzelnen Streifen im Überlappungsbereich kongruent. Zusätzlich ist es möglich, Höhenlinien darzustellen. Aus derartigen Darstellungen und Klassifikation in Schadenklassen können direkt

Informationen über die Lage der geschädigten Waldbestände in Relation zu orographischen Parametern (Geländeform, -neigung, -orientierung zur Windrichtung) gewonnen werden.

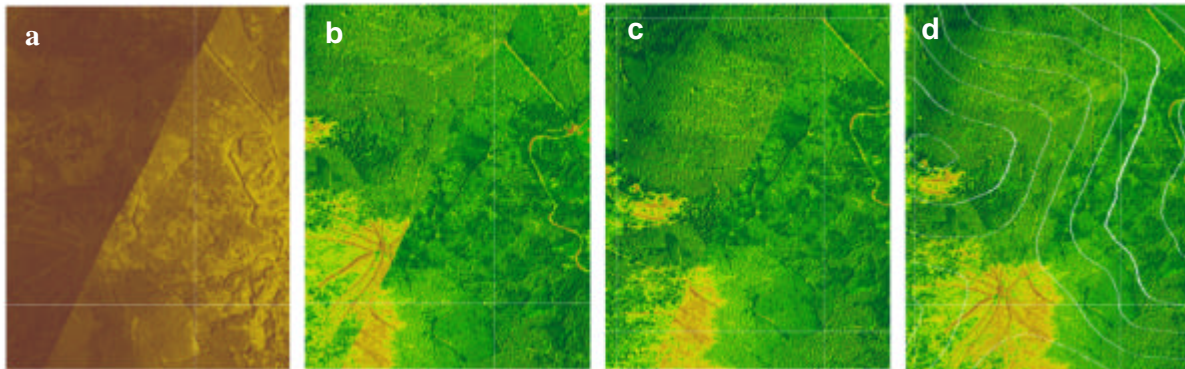


Abb.3: Bearbeitungsschritte: roter Kanal (a, links), NDVI (b, 2.v. links), NDVI nach Fluglagekorrektur, nach Einbauwinkelkorrektur (c, 2. von rechts), NDVI orthoprojiziert (d, rechts).

Exemplarische Schadensanalyse

In der Szene östlich von Baden-Baden ist der Waldschaden (gelb-braune Fläche) im Bereich eines Sattels zwischen Merkur und Staufenberg besonders markant. Der 200 m tiefer liegende Sattel mit dem Wegekreuz (Fußwege und Abräumspuren) und die südlich angrenzende Flanke des Staufenbergs sind total geschädigt, während der Gipfelbereich beider Berge weniger betroffen ist. Bereiche östlich von Erhebungen waren bei der Anströmung von Westen im Windschatten und blieben verschont.

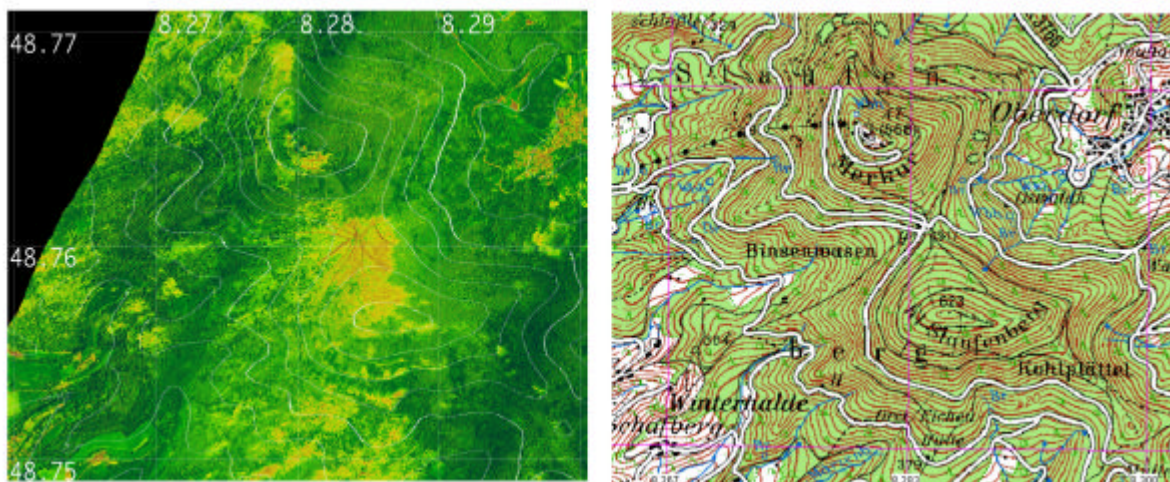


Abb. 4: Ergebnis der NDVI-Aufnahme östlich Baden-Baden. Höhenlinienabstand 50 Meter, 200 m-Linien hervorgehoben, Datenaufösung 1 m.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Aufnahme der durch den Orkan Lothar am 26.12.1999 verursachten Schäden im Waldbestand des Nordschwarzwaldes mit einem flugzeuggetragenen Farb-Scanner ermöglicht eine Zuordnung der Schadensintensität zu orographischen Gegebenheiten. Es wird deutlich, dass die Schäden nicht nur von der Baumart, Wurzeltiefe, Bodenbeschaffenheit und Wassersättigung abhängen, sondern zu einem erheblichen Teil durch Über- und Umströmungseffekte der Berge bestimmt wurden. Große Schäden

traten insbesondere in Sattellagen zwischen Bergen, an nördlichen Bergflanken, in west-ost-orientierten Talabschnitten und am luvseitigen Hang langer Bergrücken auf. Auch kleinräumige Unterschiede lassen sich durch die seitliche Querschnittsverengung für die von Westen anströmende Luftmassen erklären, während Sturmverstärkung über den Gipfeln weniger Einfluss hatte.

Durch Vergleich und Ergänzung mit satellitengestützten Methoden, die an der Universität Freiburg entwickelt werden, und in Kooperation mit Forstbehörden sollen die bisherigen Verfahren weiterentwickelt werden und räumlich differenzierte Gefährdungskarten für das Sturmrisiko in Waldbeständen und Empfehlungen für die standortgerechte Aufforstung abgeleitet werden. Eine wichtige Rolle spielt dabei die Modellentwicklung für eine verbesserte Modellierung des Starkwindfeldes für unterschiedlichste Sturmsituationen.

Literatur

Bochert, A., J. M. Hacker und K. Ohm, 2000: Color Line Scanner as imaging NDVI Sensor. Second EARSEL Workshop on Imaging Spectroscopy.