

# Erzeugung von Sturm-Schadens-Szenarien am Beispiel des Orkans Anatol

K.S. Radtke und G. Tetzlaff

## Zusammenfassung

Es wird eine Methode zur Generierung von Sturmszenarien vorgestellt. Mit Hilfe des Lokal Modells werden Ensembles von Szenarios zu historischen Zyklonen abgeleitet. Dabei werden die Antriebsdaten für das Modell so verändert, dass stärkere Sturmfelder erzeugt werden können. Auf Basis einer Schadensfunktion wird der Sturmschaden abgeschätzt. Damit ist es möglich, die Abdeckung mit Sturmfeldern zur Untersuchung des Sturmrisikos zu erhöhen.

## Summary

Using a numerical model, a method is described, which generates an ensemble of scenarios, based on historical storms. The evolution of storms can be influenced by changing the forcing data. Amplified storm fields can be generated in this way. An assessment of the economic damage is performed using a damage function. The coverage by storm fields can be increased in order to analyse the storm risk.

## 1 Einleitung

Tiefdruckgebiete besitzen, insbesondere im Herbst und Winter, eine große Bedeutung für das Wettergeschehen in den mittleren Breiten, und damit in Mitteleuropa. Ereignisse, wie die Sturmserie vom Dezember 1999 oder die Orkane Anfang 1990 haben das große Schadenspotenzial von Stürmen in Deutschland aufgezeigt. Die Vergangenheit hat ergeben, dass Zyklonen in Deutschland sowohl bei der Anzahl der Schadensereignisse als auch bei den volkswirtschaftlichen und versicherten Schäden den Spitzenplatz bei der Gefährdung durch alle Naturkatastrophen einnehmen (Münchner Rückversicherung, 1999). Ihr Anteil beträgt ca. 53 % der gesamten volkswirtschaftlichen Schäden. Glücklicherweise sind Zyklonen mit verheerenden Auswirkungen relativ selten. Auch stehen von länger zurückliegenden Stürmen keine räumlich hoch aufgelösten Informationen zur Verfügung. Das hat zur Folge, dass die Abdeckung mit Ereignissen für eine Untersuchung einer räumlichen Verteilung des Schadensrisikos nur gering ist. Hier wird ein Verfahren vorgestellt, welches mit Hilfe eines mesoskaligen Modells Sturm-Schadens-Szenarien erzeugt. Die Vielfalt der auswertbaren Zugbahnen und räumlichen Abdeckungen von Sturmfelder kann mit diesen künstlich erzeugten, aber realistischen, Ereignissen erhöht werden. Damit wird es möglich, Risikoabschätzungen zu verbessern.

Für die Simulationen wird das Lokal Modell (LM) (Doms und Schättler, 1999) des Deutschen Wetterdienstes verwendet. Als Basis dienen Antriebsdaten realer Stürme. Diese stammen vom globalen Modell des DWD. Indem die Antriebsdaten für das Modell variiert werden, wird die Entwicklung von Tiefdruckgebieten beeinflusst. Hauptaugenmerk soll dabei auf der Intensivierung vorhandener Ereignisse liegen, d.h. das Zyklonen mit verstärktem Sturmfeld und hohem Schadenspotential generiert werden. Hierzu werden in den Antriebsdaten Faktoren variiert, welche für die Zyklogese (d.h. für die Entstehung und Intensivierung von Zyklonen) bedeutsam sind. Aus Modellvorstellungen über die Entwicklung von außertropischen Zyklonen (z.B. Kurz, 1990) kann man zwei Eigenschaften als wichtig für die Intensivierung ableiten: ein großer horizontaler Temperaturgradient und labile Schichtung mit hoher Luftfeuchtigkeit. Ein Blick auf verheerende Zyklonen der Vergangenheit zeigt, dass Beobachtungen diese Merkmale bestätigen (z.B. Capella Orkans 1976 (Emmrich, 1977) oder Niedersachsenorkan 1972 (Cappel und Emmrich, 1975)). Ulbrich (Ulbrich, 2001) findet für alle drei Stürme vom Dezember 1999, ein Band extrem hoher Baroklinität und hohe Werte von äquivalentpotentieller Temperatur südlicher der Zugbahnen. Im nächsten Abschnitt wird ein Ensemble beschrieben, welches zu einem originären Ereignis erzeugt wurde, indem der Gegensatz zwischen warmer und kalter Luft um jeweils ein Kelvin ansteigend, um 1 K bis 8 K verstärkt wurde. Für die größte Differenz von 8 K wird zusätzlich ein Experiment durchgeführt, bei welchem der Bereich in welchem die Temperaturen geändert werden verschoben wird. Eine genauere Beschreibung der dabei angewendeten Methode findet sich bei Radtke (2002).

Für die hier beschriebenen Experimente wurde die Version 2.1 des Lokal Modells verwendet. Als Modellgebiet wurde das gleiche gewählt, welches auch der Deutsche Wetterdienst für seine Simulationen im Rahmen der operationellen Wettervorhersage nutzt (siehe Abb. 1). Horizontal ist das Modellgebiet in 163 x 163 Gitterpunkte unterteilt. Die Auflösung von 0,125 Grad entspricht einem Abstand von ca. 14 km zwischen den Gitterpunkten. Vertikal wurde der betrachtete Teil der Atmosphäre in 35 Schichten unterteilt.

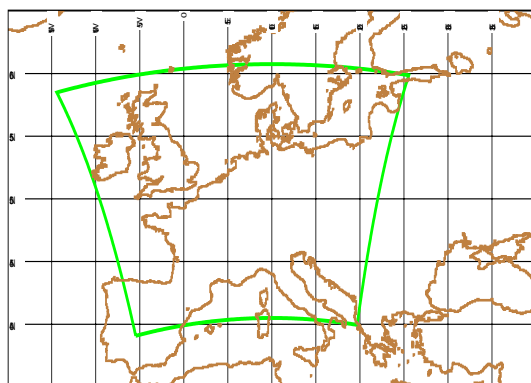


Abbildung 1: Das Modellgebiet des DWD, welches für die Simulationen verwendet wurde.

Beispielhaft wird im Folgenden der Orkan Anatol betrachtet. Anatol bildete den Auftakt zu der bekannten Serie von Stürmen im Dezember 1999. In der Nacht zum 3. Dezember lag das Tiefdruckgebiet mit einem Kerndruck von 985 hPa nördlich von Irland. Ein extrem starker meridionaler Temperaturgradient lieferte gute Entwicklungsbedingungen. Zwischen Grönland und Norwegen drang extrem kalte Luft Richtung Nordsee vor. In 500 hPa wurden über den Färör Inseln  $-39\text{ °C}$  beobachtet. Dagegen lag südlich der Zugbahn eine warme Luftmasse, mit z.B.  $-20\text{ °C}$  über England in 500 hPa Höhe (Ulbrich, 2001). In den nächsten 12 Stunden vertiefte sich die Zyklone auf 952 hPa und zog weiter in östlicher Richtung über die Nordsee, Jütland, Südschweden zur Ostsee. Die stärksten Winde wurden im Gebiet der deutschen Bucht, westlich des Skagerrak, im südlichen Dänemark und im nördlichen Schleswig-Holstein erreicht. Dort wurden an verschiedenen Stationen neue Rekordmarken beobachtet. Auf Sylt z.B. wurden, obwohl das Messgerät zeitweise ausfiel, eine Spitzenbö von 184 km/h und 10 min Mittelwinde bis zu 121 km/h gemessen (Lefebvre, 2000a). Anatol forderte mehr als 20 Todesopfer. In Dänemark erreichten die versicherten Schäden mit 2 Milliarden Euro einen neuen Schadenrekord. Zusammen mit weiteren Zerstörungen in Großbritannien, Deutschland und Schweden wurden versicherte Schäden in einer Höhe von 2,2 Milliarden Euro verzeichnet (Münchener Rück, 2001).

Ein Vergleich der durchgeführten Simulationen mit den Beobachtungen zeigt einige Unterschiede. Die Zugbahn konnte vom Referenzlauf, d.h. mit unveränderten Antriebsdaten, richtig bestimmt werden. Der Kerndruck und die mittleren Windgeschwindigkeiten sind aber zu schwach berechnet wurden. Die vom Böenmodul abgeschätzten Böen liegen im Mittel höher als die beobachteten Werte.

## 2 Simulationsergebnisse

Abbildung 2 zeigt die zeitliche Entwicklung des Maximums der mittleren Windgeschwindigkeit für alle Modellläufe. Im Referenzlauf befindet sich das Maximum der Windgeschwindigkeit, zwischen der 15. und 20. Simulationsstunde, im Bereich der Ostsee. Bei den Simulationen mit Verschärfung des Temperaturgradienten wird offensichtlich die Entwicklung beschleunigt. Das Maximum des Sturmes verschiebt sich nach Westen. Für viele Simulationen ist zur 14. Simulationsstunde ein Minimum zu beobachten. Hier befindet sich das Starkwindgebiet über der dänischen Halbinsel. Es kommt zu einer schrittweisen Verstärkung des Maximalwindes in den Simulationen. Während das Maximum im Referenzlauf zur 19. Stunde auftritt und  $30,1\text{ m/s}$  beträgt, kommt es im um 8 K verstärkten Lauf bereits zur 11. Stunde zum maximalen Wert von  $32,5\text{ m/s}$ . Man kann nicht nur ein beschleunigtes Erreichen des Höhepunktes beobachten, die hohen Windgeschwindigkeiten dauern auch länger an. Weiterhin schwächen sich die verstärkten Simulationen früher wieder ab. Auch ein Blick auf den Verlauf des Kerndruckes in Abb. 3 zeigt die Intensivierung der Tiefdruckgebiete. Hier ist der zeitliche Verlauf des tiefsten Druckes im auf NN reduzierten Druckfeld zu sehen. Man muss aber bedenken, dass das Druckfeld sich an die neuen Temperaturen anpassen musste. Die-

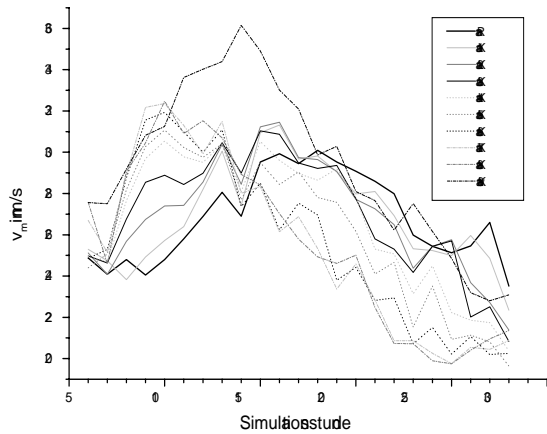


Abbildung 2: Zeitlicher Verlauf der maximalen Werte für den Mittelwind. Dargestellt ist der Referenzlauf, die um 1K,...,8K verstärkten Simulationen und eine Simulation bei welcher der Verstärkungsbereich verschoben wurde.

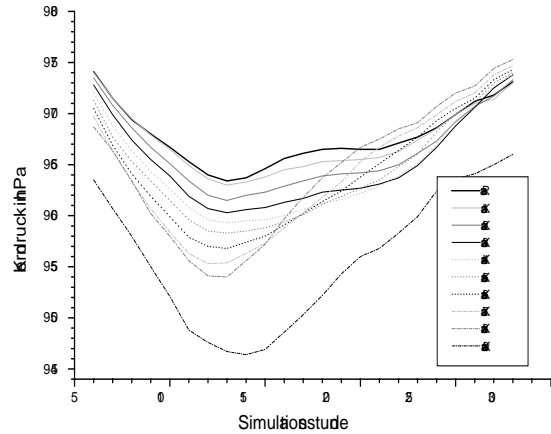


Abbildung 3: Zeitlicher Verlauf des Kerndruckes.

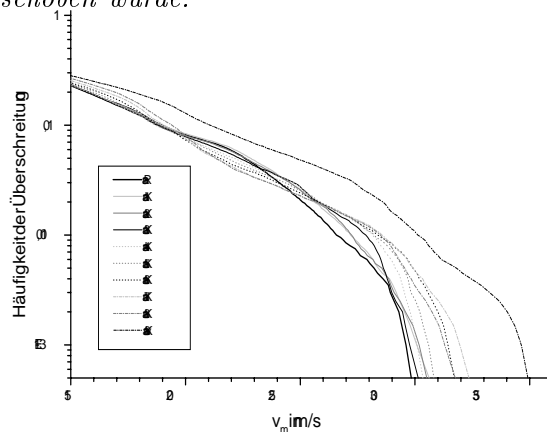


Abbildung 4: Häufigkeit der Überschreitung für Werte des Mittelwindes.

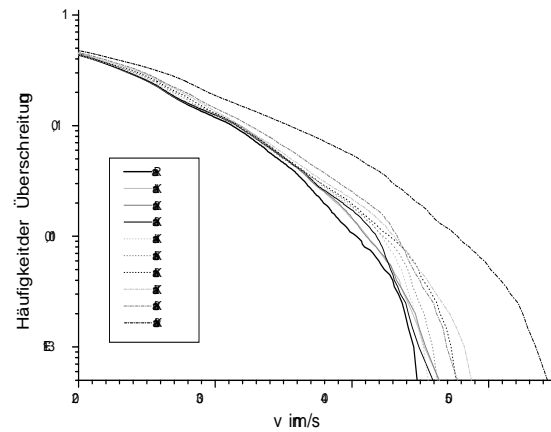


Abbildung 5: Häufigkeit der Überschreitung für Böen.

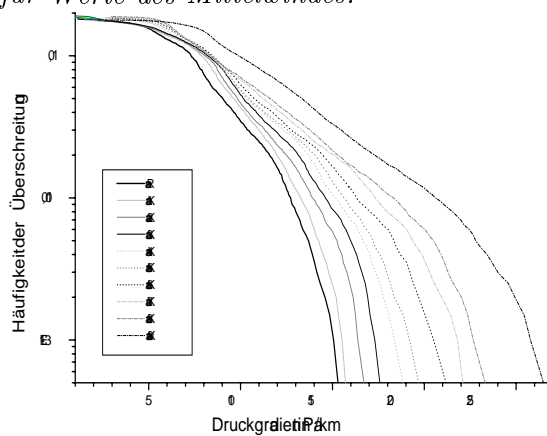


Abbildung 6: Häufigkeit der Überschreitung für den horizontalen Druckgradienten.

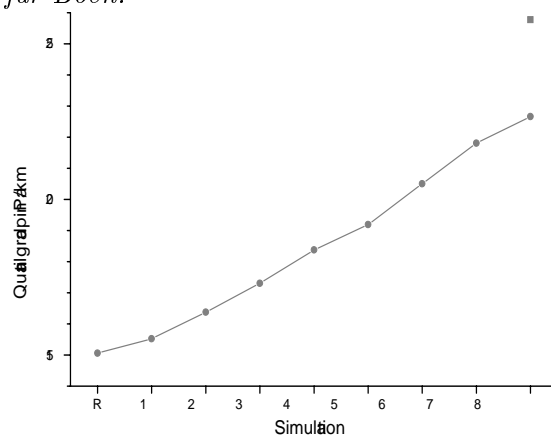


Abbildung 7: Wert des Druckgradienten, welcher in einem Promille des Modellgebietes überschritten wird.

se Anpassungseffekte überlagern sich mit den Folgen einer veränderten Zyklognese. Aus diesem Grunde sind die tiefsten Absolutwerte nur bedingt aussagekräftig. Bis zur 12./13. Stunde kommt es bei den Experimenten zu einer verstärkten Vertiefung der Zyklone. Während der Druck von der 6. bis zur 13. Stunde im Referenzlauf um 10 hPa im Tiefzentrum fällt, vertiefen sich die anderen Zyklone um bis zu 14 hPa.

Die Diagramme in Abb. 4 (Mittelwinde) und Abb. 5 (Böen) zeigen die Häufigkeit der Überschreitung von Windgeschwindigkeiten, in Anteilen am Modellgebiet. Dabei wird für jeden Gitterpunkt der höchste Wert, welcher über die Dauer der gesamten Simulation aufgetreten ist registriert. Die Windfelder, bei welchen der Temperaturgradient verschärft wird, erreichen höhere Windgeschwindigkeiten als der Referenzlauf. Dabei kann auch eine Vergrößerung der Überdeckung mit einer Windgeschwindigkeit festgestellt werden. Der letzte Modellauf, bei welchem die Modifikation des Temperaturfeldes an einem etwas verschobenem Ort durchgeführt wurde erreicht die deutlich höchsten Werte. Nun soll das Feldes der Druckgradienten, welche über die Druckgradientkraft in enger Beziehung zu den Luftbewegungen stehen, betrachtet werden. Abbildung 6 zeigt die Häufigkeit der Überschreitung für den Betrag des Gradienten, im auf NN reduzierten Druckfeld. Hierzu wurden nur Bereiche des Modellgebiets in der Nähe des Tiefzentrums am Boden (bis zu einer Entfernung von 300 km) beachtet. Auch gebirgige Gebiete, in welchen die Ableitung des reduzierten Druckfeldes problematisch sein kann, wurden ignoriert. In Abb. 7 wird eine Zusammenfassung aller Läufe gegeben, dabei ist ein Wert (der Wert des Druckgradienten, welcher in einem Promille der Gitterzellen erreicht oder überschritten wird) aus dem Diagramm in Abb. 6 entnommen worden. Man kann einen (nahezu linearen) Anstieg für die erreichten Druckgradienten mit der hinzu addierten Temperaturdifferenz registrieren.

Eine genauere Betrachtung der Simulationen zeigt, dass sich die zyklogenetischen Prozesse wie Positive Vorticityadvektion (PVA) in der Höhe über dem Tief, Warmluftadvektion (WLA) in der unteren Atmosphäre vor dem Tief und damit verbundene Vertikalbewegungen verstärkt haben. Die Zyklognese konnte demzufolge durch die Eingriffe in die Antriebsdaten intensiviert werden.

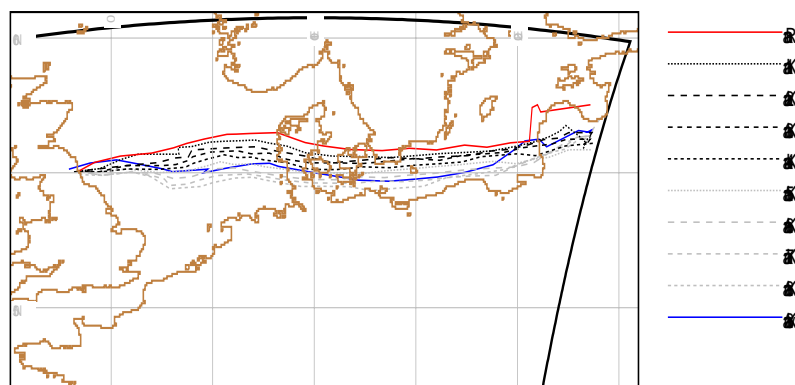


Abbildung 8: Zugbahnen für die Simulations-Gruppe Anatol.

Abbildung 8 zeigt die Zugbahnen der Simulations-Gruppe Anatol. D.h., hier ist die Bewegung des Punktes mit dem tiefsten Druck im auf NN reduzierten Druckfeld dargestellt. Man kann erkennen, dass bei den Simulationen, bei welchen der Temperaturgegensatz verstärkt wurde, die Zugbahnen Unterschiede zum Referenzlauf aufweisen. Das ist nicht überraschend, da das Bodentief die Tendenz aufweist, sich in Richtung der stärksten Warmluftadvektion zu bewegen (Kurz, 1990). Die Temperaturadvektion wird natürlich durch die Eingriffe in die Temperaturverteilung beeinflusst. Eine genauere Betrachtung der WLA zeigt, dass diese, mit steigender Temperaturdifferenz, immer weiter im Süden zu finden ist. Dies kann die Bewegungen der einzelnen Zyklonen erklären. Damit verbunden ist eine Verlagerung des Windfeldes relativ zur Land-See Verteilung. Dies übt wiederum einen Einfluss auf das Windfeld aus, wie z.B. im Diagramm 2 beim Überqueren Dänemarks durch das Windfeld zu sehen war. Neben der gewünschten Verstärkung der zyklogenetischen Entwicklung, ist dies nur ein Aspekt der möglichen Effekte, welche die Eingriffe in die meteorologische Situation, angesichts der komplizierten Zusammenhänge in der Atmosphäre, zur Folge haben können. Einen sehr bedeutsamen Einfluss auf die Entwicklung der Zyklone kann z.B. eine Lageveränderung des Tiefs relativ zum Jetstream ausüben. Die besonders starke Ausprägung der Zyklone der letzten Simulation, ist eine Folge dessen. Hier war bei einer Temperaturdifferenz von 8 K der Bereich der Erhöhung des Temperaturgradienten nach Norden verschoben worden. Dies hatte auch eine nördlicher gelegene WLA und damit eine nördliche Zugbahn zur Folge, was sich in Interaktion mit der Vorticityadvektion in der Höhe als günstig erwies.

### 3 Schadensabschätzung

Im Folgenden wird ein einfaches Verfahren erläutert, mit welchem, für die simulierten Zyklonen, eine Abschätzung des Schadenspotentials vorgenommen werden kann. Dies soll in Anlehnung an eine Beziehung zwischen Windgeschwindigkeit und Schadenintensität geschehen, welche empirisch bestimmt wurde.

Eine kleinräumige Beschreibung von Sturmschäden erscheint nicht durchführbar. Es müßte eine kaum überschaubare Anzahl von hochaufgelösten Informationen (wie z.B. Art und Zustand von Gebäuden (insbesondere dem Dach), Art und Zustand des Baumbestandes in der Umgebung, Windrichtung) über die überaus komplexen Vorgänge im Einzelnen untersucht werden. Eine Betrachtung von einzelnen Sturmschäden für die Abschätzung von Auswirkungen durch großflächige Windfelder an Zyklonen ist nicht realistisch. Eine statistische Analyse von Erfahrungswerten auf einer größeren räumlichen Skala erscheint der beste Weg zu sein. Die hier verwendete Schadensfunktion (Münchner Rückversicherung, 1993 und 2001) wurde, durch die Auswertung historischer Stürme, für Wohngebäudeschäden in Deutschland bestimmt. Vor allem Informationen über die Serien verheererer Ereignisse Anfang 1990 und im Dezember 1999 liegen den Arbeiten zu Grunde. Auf einem Gitter von  $0,1^\circ \times 0,1^\circ$  (ca.  $7 \times 11$  km) wurden Informationen zu Böenwindgeschwindigkeit, versicherten Werten und versicherten

Schäden zusammengestellt und ausgewertet. Die Schadensfunktion (Gleichung 1) stellt einen exponentiellen Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit der Spitzenbö und dem Schaden her.

$$S(v_B) = \begin{cases} S(v_{min}) \cdot \left(\frac{v_B}{v_{min}}\right)^\gamma & v_B \geq v_{min}, \\ 0 & v_B < v_{min} \end{cases} \quad (1)$$

Wobei  $S$  den mittleren Schadenssatz, also den Schaden geteilt durch den Neuwert, bezeichnet. Flächenhafte Schäden treten in Deutschland erst ab einer bestimmten Schwellgeschwindigkeit  $v_{min}$  für die Spitzenböen  $v_B$  auf. Hierzu finden sich Angaben zwischen 80 km/h (Münchner Rückversicherung, 2001) oder 90 km/h (Schraft, 1993). Für den Anfangsschadenssatz bei der Schwellgeschwindigkeit  $S(v_{min})$  wird ein Erfahrungswert von 0,008 % verwendet. Der Exponent  $\gamma$  bezeichnet die Zunahme des Schadenssatzes abhängig von der Windgeschwindigkeit. In der Literatur wird oft ein Wert von ca. 3 angenommen (z.B. Münchner Rückversicherung, 1993, Klawa, 2001 oder Lamb, 1991). Die Auswertung der Orkane Lothar, Martin und Anatol aus dem Jahr 1999 deutet auf einen mittleren Wert von ca. 4 (Münchner Rückversicherung, 2001). Eine Differenzierung nach Küstengebieten und Binnenland, wie z.B. bei Klawa (Klawa, 2001) vorgeschlagen, ist in diesem Schadensmodell nicht enthalten. Es scheint sich nicht zu bestätigen, dass bei gleichen Windgeschwindigkeiten in Küstenregionen geringere Schäden auftreten. Die Schadensfunktion ist nach oben nicht limitiert, was als Schönheitsfehler angesehen werden muß. Theoretisch wäre Gleichung 1 zufolge auch ein Schadenssatz von über 100 % möglich. Dieser würde aber auch bei einem Exponenten von 5 erst bei Windgeschwindigkeiten von über 500 km/h eintreten.

Um mittels Gleichung 1 Schäden zu bestimmen ist, neben den Windgeschwindigkeiten, auch eine Angabe über die Verteilung von Werten notwendig. Als Werteverteilung wurden die versicherten Werte für Deutschland auf dem 0,1° Gitter verwendet (Münchner Rückversicherung, 2001). Diese beinhalten die Wohngebäudeversicherung und die Gewerbe-Sturmversicherung. Aufgrund der größeren Unsicherheit in der Verteilung der Gewerbe-Sturmversicherung wurde dieselbe Verteilung wie bei den Wohngebäuden angenommen. Wenn diese versicherten Werte als Maß Verwendung finden, bleiben viele Folgen unberücksichtigt, wie z.B. Waldschäden, Schäden an Infrastruktur oder Verluste durch Produktionsausfälle. Trotzdem kann auf diese Weise eine Beurteilung der Auswirkungen von simulierten Ereignissen durchgeführt werden.

Im Folgenden wird die Schadensfunktion 1 unter Verwendung verschiedener Werte für die Parameter auf Böenwindfelder aus LM Simulationen angewandt. Damit werden die Parameter bestimmt, welche im Weiteren bei der Anwendung der Schadensfunktion benutzt werden sollen. Hierfür stehen neben dem Orkan Anatol zwei weitere Ereignisse zur Verfügung. In Tabelle 1 werden die auf diese Weise abgeschätzten versicherten Schäden für Deutschland zusammengefasst und mit beobachteten Werten gegenübergestellt. Zu beachten ist, dass hier nicht die realen Böenfelder sondern die modellierten Böenfelder verwendet werden. Ein Vergleich mit Beobachtungen zeigt, dass das Böenwindfeld des Sturms Jeanett die Realität gut wiedergibt. Bei Anatol liegen die simulier-

$\gamma$	3	3	3,5	3,5	Beobacht.
$v_{min}$	90 km/h	80 km/h	90 km/h	80 km/h	
1. Anatol	426	705	469	811	100
Anatol -3 m/s	198	435	217	486	100
2. Anna	272	600	285	642	200
3. Jeanett	1105	1580	1280	1943	1000

Tabelle 1: *Abgeschätzte versicherte Schäden für drei Stürme in Millionen Euro, unter Verwendung von verschiedenen Exponenten und Schwellgeschwindigkeiten in der Schadensfunktion 1. Zum Vergleich sind in der letzten Spalte die realen versicherten Schäden laut Angaben und Schätzungen von Versicherern aufgeführt.*

ten maximalen Böen im Mittel um 3 m/s über den Beobachtungen. Aus diesem Grund wurde das Verfahren auch auf ein modifiziertes Böenfeld von Anatol angewandt, bei welchem überall ein konstanter Betrag von 3 m/s abgezogen wurde. Die simulierten Maximalböen für das Tiefdruckgebiet Anna liegen etwas unter den Beobachtungen. Die abgeschätzten Schäden für das Windfeld Anatol sind deutlich zu groß. Mit der Kombination  $\gamma = 3$  und  $v_{min} = 90\text{km/h}$  kann für Anna und das um 3 m/s abgeschwächte Böenfeld von Anatol die beste Abschätzung erreicht werden. Auch für die Zyklone Jeanett passt diese schwächste Abschätzung am besten zu den beobachteten Schäden. Die höhere Schwelle von 90 km/h zu wählen scheint dadurch gerechtfertigt, da gerade die Ereignisse mit geringeren Schäden (und Windgeschwindigkeiten) überschätzt werden.

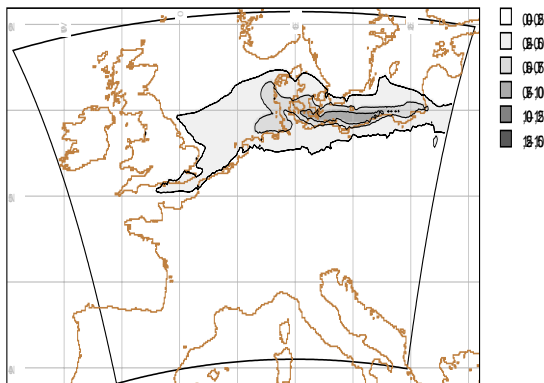


Abbildung 9: *Schadenssatz für den Referenzlauf in Promille*

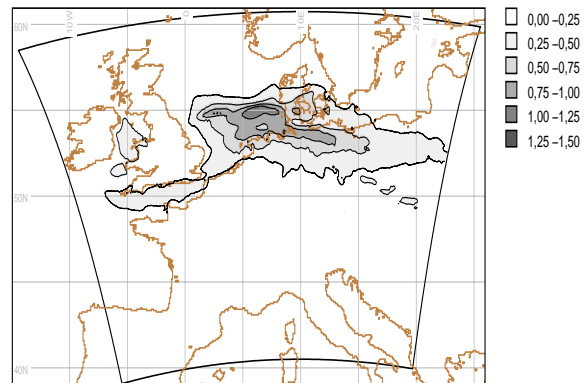


Abbildung 10: *Schadenssatz für die, um 8 K verstärkte Simulation, in Promille.*

Mit diesen Parametern wird das Schadensmodell nun auf die durchgeführten Simulationen angewandt. Die Abbildung 9 zeigt den aus dem Böenfeld des Referenzlaufes abgeschätzten Schadenssatz. Abb. 10 stellt diesem den Schadenssatz für das Szenario, bei welchem der Temperaturgegensatz um 8 K verschärft wurde gegenüber. Deutlich ist, sowohl die Erhöhung, als auch die Westverlagerung der zu erwartenden Schäden



zu erkennen. Weiterhin kann man die Auswirkungen auch weiter im Süden auf dem Festland beobachten. Dabei wird z.B. die große Konzentration von Werten in Hamburg deutlich stärker betroffen. Eine Abschätzung der Versicherten Schäden für Deutschland beläuft sich für diesen Fall auf ca. 730 Mill. Euro.

## 4 Zusammenfassung

Mit der entwickelten Methode lassen sich die Anfangs- und Randbedingungen der Simulation ändern und Sturmszenarien erzeugen. Diese sind zwar künstlich aber realistisch, da die Zyklonen intensiviert wurden, indem die Mechanismen der Zyklognese verstärkt wurden. Damit ist es möglich die Anzahl der zur Verfügung stehenden Sturmereignisse für eine Untersuchung des regionalen Sturmrisikos zu erhöhen. Weiterhin kann das vorhandene Potenzial zur weiteren Verstärkung von aufgetretenen intensiven Zyklonen untersucht werden. Das ermöglicht Aussagen zum Auftreten maximaler Windgeschwindigkeiten an Zyklonen.

## 5 Danksagung

Diese Arbeit wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert (Förderkennzeichen 01SF9976/8). Für die Bereitstellung von Daten und des Lokal Modells danken wir dem Deutschen Wetterdienst. Weiterhin danken wir der Münchner Rückversicherungsgesellschaft für die Zusammenarbeit.

## Literatur

- Cappel, A. und P. Emmrich** (1975). Zwei Wetterkatastrophen des Jahres 1972: Der Niedersachsen-Orkan und das Gewitterunwetter von Stuttgart. Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr.135, Band 17, Offenbach.
- Doms, G. und U. Schättler** (1999). The Nonhydrostatic Limited-Area Model LM (Lokal-Modell) of DWD, Part I - Scientific Documentation. Deutscher Wetterdienst, Offenbach.
- Emmrich, P.** (1977). Der latent-labil geschichtete Warmsektor - ein wichtiger Faktor bei der Entstehung des Nordsee - Orkans vom 3.1. 1976. *Meteorol. Rundsch.* 30, 129-137.
- Klawa, M.** (2001). Extreme Sturmereignisse in Deutschland: Entwicklung, Zusammenhang mit der Nordatlantischen Oszillation und Auswirkung auf die Versicherungswirtschaft. Mitteilungen aus dem Institut für Geophysik und Meteorologie der Universität zu Köln, Band 14.

- Kurz, M.** (1990). Synoptische Meteorologie - Leitfäden für die Ausbildung im Deutschen Wetterdienst 8. Deutscher Wetterdienst, Offenbach.
- Lamb, H.H.** (1991). *Historic Storms of the North Sea, British Isles and Northwest Europe*. Cambridge Press.
- Lefebvre, Ch.** (2000). Das Orkantief Anatol vom 3./4. Dezember 1999. Klimastatusbericht 1999, Deutscher Wetterdienst, Offenbach.
- Münchener Rück** (1993). Winterstürme in Europa - Schadenanalyse 1990 - Schadenpotentiale. Münchener Rückversicherungsgesellschaft, München.
- Münchener Rück** (1999). Naturkatastrophen in Deutschland - Schadenerfahrungen und Schadenpotentiale. Münchener Rückversicherungsgesellschaft, München.
- Münchener Rück** (2001). Winterstürme in Europa (II) - Schadenanalyse 1999 - Schadenpotentiale. Münchener Rückversicherungsgesellschaft, München.
- Radtke, K.S. und G. Tetzlaff** (2003). Untersuchung des Orkans Ginger mit dem Lokal Modell. Wissenschaftliche Mitteilungen aus dem Institut für Meteorologie der Universität Leipzig, Band 26.
- Ulbrich, U., A.H. Fink, M. Klawa und J.G. Pinto** (2001). Three extreme storms over Europe in December 1999. *Weather*. 56.

**Adresse der Autoren:**  
Universität Leipzig  
Institut für Meteorologie  
Stephanstraße 3  
04103 Leipzig