Wissenschaftliches Consulting im Rückversicherungsgeschäft: Modelle, Erfahrungen, Entwicklungen

Von Dietmar Pfeifer, Universität Oldenburg und
AON Re Jauch und Hübener, Hamburg

Vorbemerkung

Eines der zentralen Probleme der Rückversicherungswirtschaft in den letzten beiden Jahrzehnten dürfte die in vielen wissenschaftlichen Untersuchungen nachgewiesene, weltweit zunehmende Zahl der Naturkatastrophen und das damit verbundene hohe Schadenpotential sein. Ein großer Teil dieser Katastrophen geht auf meteorologisch bedingte Ursachen zurück, wie Stürme, Hagelschlag, Überschwemmungen oder Erdrutsch. Vor allem in diesen Bereichen sind überall besonders hohe Zuwachsraten zu verzeichnen. Wenn auch ein stringenter Beweis für die These, dass dieses Phänomen mit einer möglichen Klimaverschiebung einhergeht, wohl noch nicht endgültig erbracht ist, so spricht doch einiges dafür, dass sich die beobachteten zeitlichen Trends nicht allein durch ökonomische Faktoren wie Inflation, Wertekonzentration oder Versicherungsdichte erklären lassen. Eine interessante, ausführlichere Diskussion dieses Themas findet man beispielsweise in Berz (1999). Eine möglichst genaue Abbildung solcher Schadenszenarien durch geeignete physikalische oder mathematische Modelle mit der Möglichkeit, neben „statischen“ Informationen über die Modellparameter auch Simulationen von Schäden in der Zukunft mit Hilfe von Computern berechnen zu können, sind daher für die Rückversicherungswirtschaft von lebenswichtigem Interesse.
Der vorliegende Beitrag soll aufzeigen, dass der Einsatz solcher wissenschaftlichen Methoden insbesondere für das Consulting im Rückversicherungsgeschäft sinnvoll und wichtig ist, wobei hier vor allem moderne statistische Verfahren im Vordergrund stehen. Zur Veranschaulichung werden versicherte Schäden aus U.S.-Hurrikanen betrachtet, da für diesen Bereich öffentlich zugängliche Dokumentationen zur Verfügung stehen.

Geophysikalisch-meteorologische Modelle

Ein bedeutsamer Ansatz zur Modellierung und Analyse vor allem auf klimatische Einflüsse zurückgehender Schäden beruht auf der Nachbildung der sie verursachenden physikalischen Kräfte und deren versicherungstechnischen Auswirkungen. Einer der ersten professionellen Entwickler solcher Modelle ist die U.S.-amerikanische Firma *Applied Insurance Research* (AIR), die vor allem im Bereich der Hurrikan-Schäden im Südosten der USA umfangreiche Studien durchgeführt hat. Eine Übersicht über das von AIR verwendete Methodenspektrum gibt z.B. *K.M. Clark:* Current and Potential Impact of Hurricane Variablility on the Insurance Industry, in: Diaz und Pulwarty (1997), 273 – 283; weitere Beschreibungen geophysikalischer Modelle, insbesondere zur Erdbebensimulation, findet man in Woo (1999). Neben einer Erfassung möglichst vieler relevanter physikalischer Parameter wie Luftdruck, Windgeschwindigkeit und –richtung, geographische Ausdehnung von Sturmzonen usw. werden auch die zur Verfügung stehenden Informationen einer großen Versicherungs-Datenbank in das Modell einbezogen, die u.a. Angaben zu den Standorten versicherter Gebäude und dem zugehörigen versicherten Hausrat enthält. Mit Hilfe von Hochgeschwindigkeitsrechnern werden dann Sturmereignisse simuliert, deren Parameter aus einer historischen Wetterdatenbank mit Daten gezogen werden, die etwa seit dem Jahr 1900 erfaßt wurden. Die typische Anzahl von Simulationen beträgt 1000 Ereignisse; sie werden als repräsentativ für mögliche Sturmereignisse der heutigen Zeit angesehen. Mit Hilfe mathematischer Funktionen, die die meteorologisch-physikalischen Parameter in Beziehung zu möglichen entstehenden Schäden an und in den Gebäuden setzen, wird so ein Verlustpotential ermittelt, das als repräsentativ für ein tatsächliches, auf heute bezogenes Schadenszenario angesehen wird. Auf diese Weise lassen sich empirisch Werte für einen PML (Probable Maximum Loss) ermitteln, der statistisch einem hohen Quantil q der Verlustverteilung entspricht. Bezeichnet F(x) die Verteilungsfunktion des Verlustes, also die Wahrscheinlichkeit dafür, dass der Verlust den Wert x nicht überschreitet, so gilt formal also $PML(q) = F^{-1}(q)$ mit der inversen Verteilungsfunktion F^{-1}. Der PML wird aber in der Praxis meist nicht in dieser Form angegeben, sondern bezogen auf die sog. Wiederkehrperiode T, das ist derjenige Zeitraum, innerhalb dessen im Mittel *einmal* eine Überschreitung des PML stattfindet; der Zusammenhang ist hier gegeben durch $T = \frac{1}{1-q}$. Für das gesamte Hurrikan-Verlustpotential der USA (Basis 1993, versicherte Schäden), bezogen auf jeweils *einen* Hurrikan innerhalb eines Jahres, gibt Clark folgende Tabelle an:

Wiederkehrperiode T (Jahre)	Quantil q	PML (in Mio. U.S. $)
10	0,90	7800
20	0,95	13200
50	0,98	23600
100	0,99	30700
200	0,995	34500
500	0,998	50900
1000	0,999	51500

Tab. 1: U.S.-Hurrikan-Verlustpotential

Da es sich hierbei um empirisch ermittelte Werte handelt, läßt sich die Tabelle – von unten nach oben - auch so lesen, daß bei 1000 simulierten Sturmereignissen (entsprechend 1000 Jahren) genau ein Schaden der Höhe 51,5 Mio. $, genau zwei Schäden der Höhe 50,9 Mio. $ und mehr, genau 5 Schäden der Höhe 34,5 Mio. $ und mehr aufgetreten sind, usw.
Aus Sicht der Statistik sind dabei aber vor allem die empirischen PML's für große Wiederkehrperioden ab 200 Jahren kritisch, da sie nur auf maximal 5 der beobachteten (simulierten) Werte beruhen. Auch lässt sich allein aufgrund der PML's für einige ausgewählte Jahre wenig über die zugrundeliegende statistische Verteilung der Schäden aussagen; diese Information könnte man allerdings erhalten, wenn man alle in der Simulation erhaltenen Werte heranziehen würde.

Mathematisch-statistische Modelle

Im Gegensatz zu den physikalischen Schadenmodellen versuchen statistische Methoden, auf der Basis *historischer Daten* Voraussagen über zukünftige Schäden bzw. PML's der zugrundeliegenden statistischen Schadenverteilung zu machen. Dies wurde von der Seite der physikalischen Modellierer, aber auch aus Versicherungskreisen, häufig dahingehend kritisiert, dass eine solche Hochrechnung in die Zukunft, insbesondere in Bereiche bisher nicht beobachteter Schadenhöhen bei PML's für 200 Jahre Wiederkehrperiode und mehr, nicht zulässig sei, da man die Vergangenheit nicht unbedingt als repräsentativ für zukünftige Entwicklungen ansehen könne. Dieser Einwand ist allerdings auch bei den physikalischen Modellen gerechtfertigt, da die für die Simulation dort verwendeten Parameter ebenfalls einer historischen Quelle entstammen und darüber hinaus die der Wiederkehrperiode zugrundeliegende Philosophie davon ausgeht, dass die Schadensituation in der Zukunft vergleichbar der heutigen bleibt. Auf dieses Problem gehen auch Hipp (1999) und Pohlhausen (1999) näher ein; aus dem letzteren Text möchte ich hierzu nur zitieren: „Die Zukunft aus der Vergangenheit ableiten zu wollen, ist ein keineswegs unproblematisches Unterfangen. Dennoch ist es eine sinnvolle Tätigkeit. Eine andere Möglichkeit, sich der Ungewissheit der Zukunft zu nähern, gibt es nicht.“

Ein interessanter Vergleich der AIR-Analyse mit historischen Daten über Hurrikan-Schäden ist hier aufgrund der im *Catastrophe Reinsurance Newsletter* von 1993 wiedergegebenen Datensatzes über versicherte Schäden möglich, der sich über die Zeitspanne von 1949 bis 1992 erstreckt und mit dem durch Hurrikan Andrew verursachten Rekord-Schaden von über 15 Mrd. $ abschließt. Die Daten sind insgesamt stark trendbehaftet; eine einfache log-lineare Regression zeigt hier bereits eine durchschnittliche jährliche Steigerungsrate von ca. 10%. Aus Gründen der Vergleichbarkeit mit der AIR-Studie müssen die Daten daher entsprechend trendbereinigt und auf das Jahr 1993 bezogen werden. Die folgende Graphik zeigt das Ergebnis im Überblick.

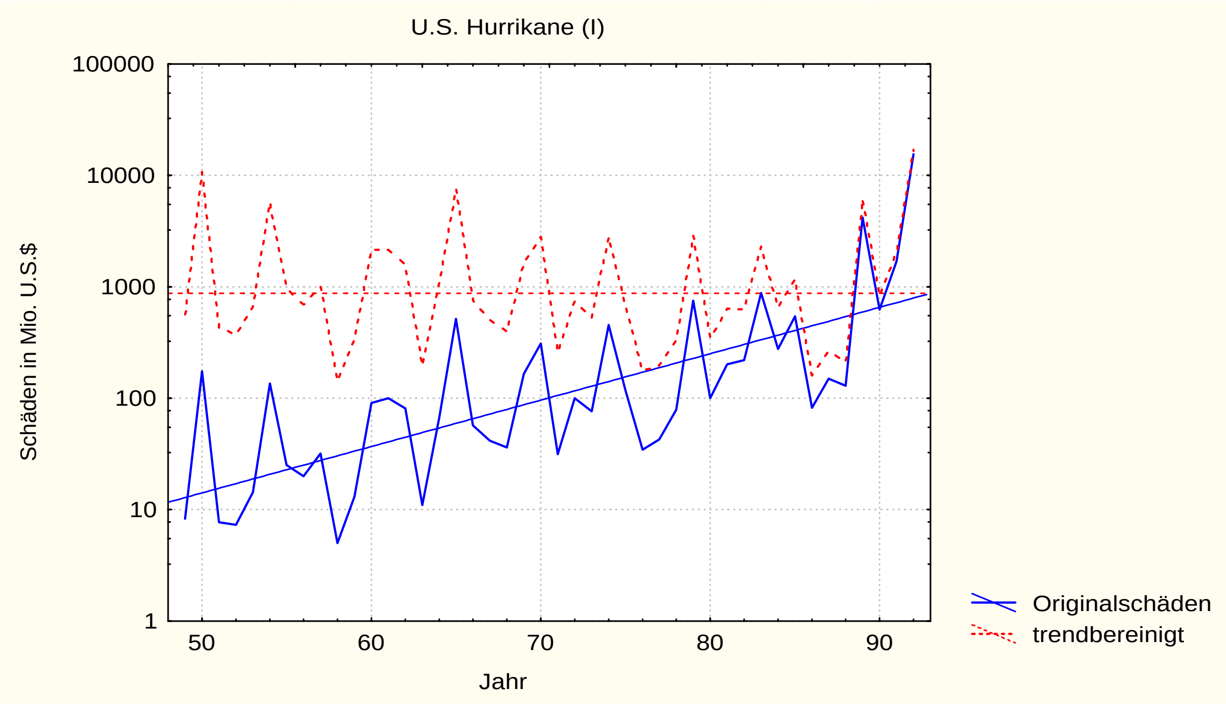

Fig. 1: beobachtete und trendbereinigte Hurrikan-Schäden 1949 - 1992

Unterwirft man die trendbereinigten Schäden einer mathematischen Analyse, so muß man zunächst auf sinnvolle Weise verschiedene statistische Verteilungen als mögliche Kandidaten für eine Datenanpassung auswählen. Die meisten kommerziellen Software-Produkte bieten hierfür mehr oder weniger umfangreiche Module an. Allerdings sollte man dabei nicht wahllos vorgehen, sondern sich vor allem im Großschadenbereich von theoretisch abgesicherten Erkenntnissen leiten lassen. Geeignete Werkzeuge für eine Datenanalyse in diesem Bereich bietet die statistische *Extremwerttheorie*, deren mathematische Grundlagen schon vor ca. 100 Jahren entwickelt wurden; Hipp (1999) enthält einige ausführlichere Anmerkungen hierzu, für versicherungsmathematische Anwendungen vgl. auch Beirlant et al. (1996), Embrechts et al. (1997) und Reiss und Thomas (1997). Ein fundamentaler Lehrsatz dieser Theorie besagt, dass unter recht allgemeinen Voraussetzungen die Extremwerte (Maxima) unabhängiger Beobachtungen nach geeigneter Normalisierung eine asymptotische Verteilungsfunktion F besitzen, die zu einer der folgenden drei Verteilungsklassen gehört:

Verteilungsfunktion	Verteilungsklasse
$F(x)=e^{-e^{-x}}, x \in \mathbb{R}$	Gumbel-Verteilung
$F(x)=e^{-x^{-\alpha}}, x > 0 \ (\alpha > 0)$	Fréchet-Verteilung
$F(x)=e^{-(-x)^{\alpha}}, x < 0 \ (\alpha > 0)$	Weibull-Verteilung

Tab. 2: Extremwert-Verteilungen

In der Literatur wird die Fréchet-Verteilung gelegentlich auch als *inverse Weibull-Verteilung* bezeichnet, weil die negativen Kehrwerte von Weibull-verteilten Zufallsgrößen Fréchet-verteilt sind. In neuerer Zeit hat sich auch eine uniformisierte Parametrisierung dieser Verteilungsklassen durchgesetzt, bei der die Gumbel-Verteilung einen Grenzfall zwischen Fréchet- und Weibull-Verteilung bildet; siehe z.B. Reiss und Thomas (1997), Kapitel 1.3 (sog. γ-Parametrisierung). Zur Anpassung an Schadenhöhen-Verteilungen scheiden die Gumbel- und die Weibull-Verteilung allerdings aus, da sie Masse im negativen Bereich besitzen. Die verbliebene Fréchet-Verteilung hat sich demgegenüber insbesondere bei der Anpassung an Sturmschäden als außerordentlich effizient erwiesen; man vergleiche hierzu etwa Pfeifer (1997) und Rootzén und Tajvidi (1997). Die folgende Graphik zeigt eine statistische Simulation von 44 Schäden aus einer an die trendbereinigten Hurrikan-Schäden angepassten Fréchet-Verteilung.

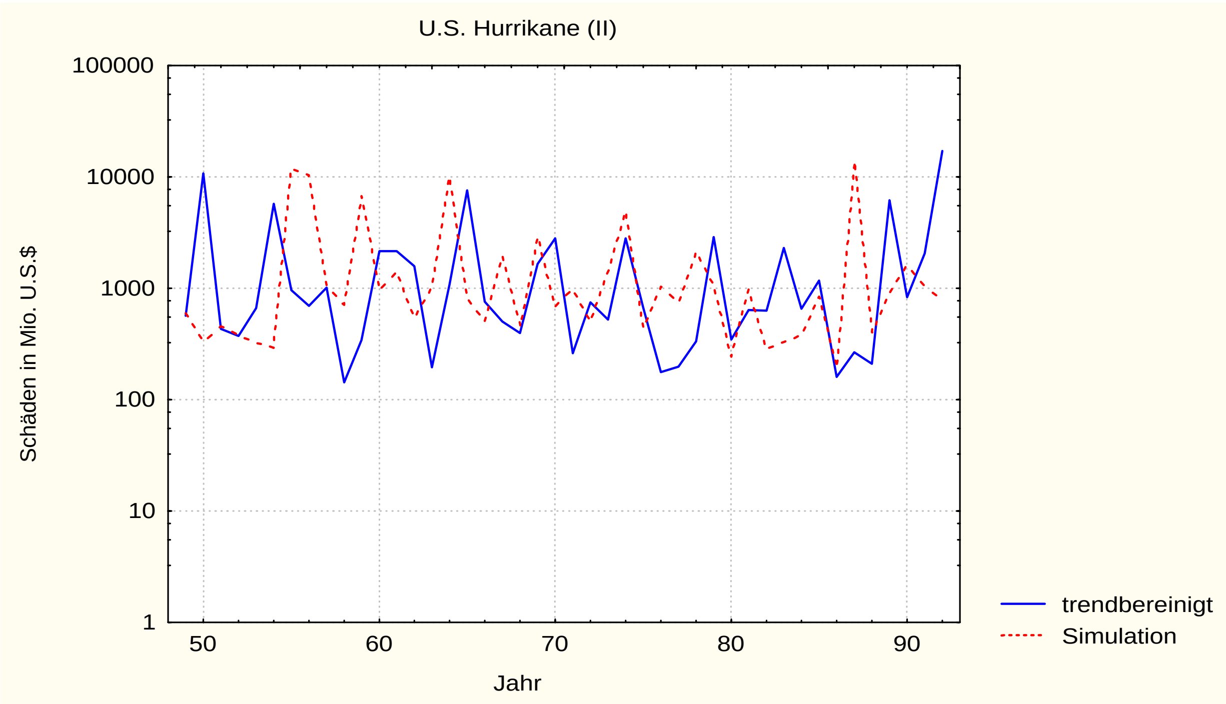

Fig. 2: simulierte vs. beobachtete Hurrikan-Schäden (trendbereinigt)

Zumindest dem optischen Eindruck nach lassen sich keine wesentlichen – statistischen - Unterschiede zwischen beiden Zeitreihen erkennen; dies wird auch von geeigneten statistischen Tests bestätigt. Dennoch macht es Sinn, hier weitere sinnvolle Kandidaten zur Verteilungsanpassung heranzuziehen, vor allem solche, die im Großschadenbereich ein ähnliches statistisches Verhalten wie die Fréchet- oder andere Extremwert-Verteilungen zeigen. Hierzu zählen u.a. die Person Typ V (inverse Gamma) und die Loglogistische Verteilung, für die kommerzielle Auswertesoftware zur Verfügung steht. Eine ausführliche Beschreibung solcher Verteilungen und ihrer möglichen industriellen Anwendungen findet man in der Monographie von Law und Kelton (1991). Die folgende Tabelle enthält die geschätzten Parameter (Skalen- und Formparameter) einiger ausgewählter Verteilungsklassen für die Anpassung an die trendbereinigten Hurrikan-Daten. Die Modelle sind der Anpassungsgüte nach geordnet, d.h. die Fréchet-Verteilung liefert hier das beste Ergebnis.

Modell	Fréchet-Verteilung	Pearson Typ V	Loglogistisch	Lognormal
Skalenparameter	506,8325	566,37823	802,31944	6,77273
Formparameter	1,05681	1,09325	1,50267	1,17497

Tab. 3: Anpassungsparameter für trendbereinigte Hurrikan-Daten

Die folgende Graphik zeigt die Güte der Anpassung der empirischen an die theoretische Verteilungsfunktion. Dargestellt sind die absoluten Differenzen zwischen beiden Größen.

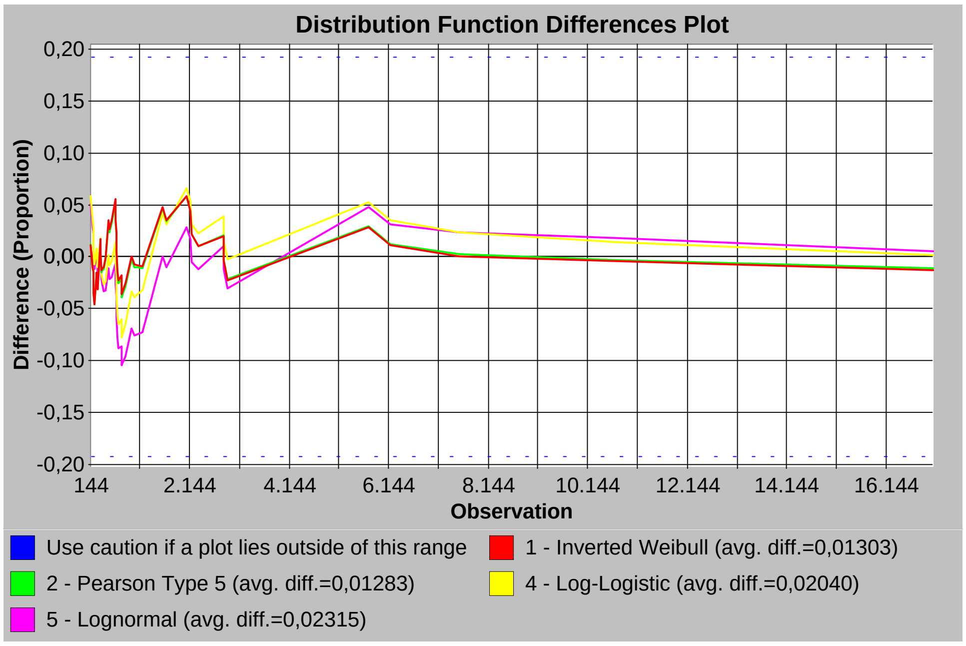

Fig. 3: Visualisierung der Anpassungsgüte an die Hurrikan-Daten (trendbereinigt)

Der Graphik ist zu entnehmen, dass potentiell alle vier Verteilungsklassen zur statistischen Modellierung der Hurrikan-Schäden geeignet sind, da die Abweichungen innerhalb des gestrichelt markierten Bereichs verlaufen. Allerdings ist hier auch zu sehen, dass die Fréchet-Verteilung die geringsten Oszillationen aufweist, also in Bezug auf dieses Anpassungskriterium am besten abschneidet. Eine weitere Möglichkeit der graphischen Visualisierung der Anpassungsgüte besteht in dem sog. P-P-Plot, bei dem die theoretischen gegen die empirischen Summenhäufigkeiten aufgetragen werden; im Idealfall sollte sich eine lineare Funktion ergeben.

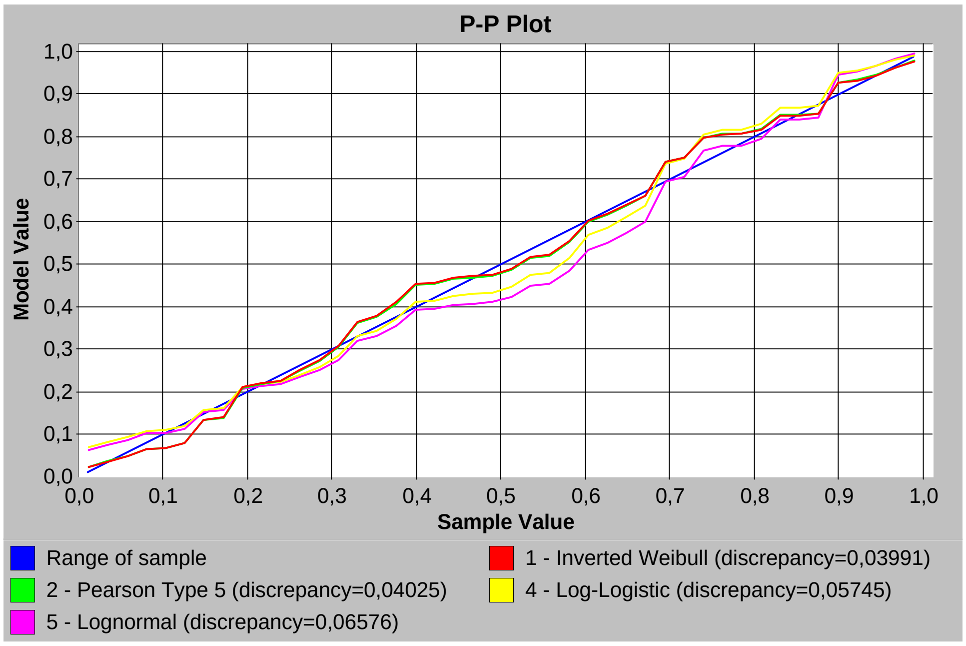

Fig. 4: P-P-Plot für Verteilungsanpassung an Hurrikan-Daten (trendbereinigt)

Auch bezgl. dieses Kriteriums schneidet die Fréchet-Verteilung am besten ab. Für eine recht ausführliche Diskussion solcher und ähnlicher graphischer Methoden, die in der Rückversicherungspraxis häufig eingesetzt werden, sei auf Beirlant et al. (1997) verwiesen.
Mit Hilfe der geschätzten Schadenhöhen-Verteilungen lassen sich nun entsprechende PML's berechnen. Im Falle der Fréchet-Verteilung kann man diese als Funktion der Wiederkehrperiode T sogar explizit angeben, es gilt hier:

$$\mathrm{PML}(\mathrm{T}) = \sigma\left\{-\ln\left(1-\frac{1}{\mathrm{T}}\right)\right\}^{-1/\alpha} \simeq \sigma \mathrm{T}^{1/\alpha},$$

wobei σ den Skalen- und α den Formparameter bezeichnet. Die obige Näherung ist für Wiederkehrperioden oberhalb von 20 Jahren bereits ausreichend genau. Für die vier ausgewählten Verteilungen ergibt sich in Analogie zu Tabelle 1 folgende Übersicht:

		Verteilungsmodell, PML in Mio. U.S. $				
Wiederkehrperiode T	Quantil q	Fréchet	Pearson Typ V	Loglogistisch	Lognormal	AIR
10	0,90	4262	4201	3462	3938	7800
20	0,95	8422	8167	5692	6035	13200
50	0,98	20340	19244	10694	9757	23600
100	0,99	39381	36520	17076	13441	30700
200	0,995	76063	69088	27176	18020	34500
500	0,998	181276	160091	50105	25706	50900
1000	0,999	349459	302041	79525	32980	51500

Tab. 4: PML-Schätzungen nach Verteilungsanpassung, U.S. Hurrikane

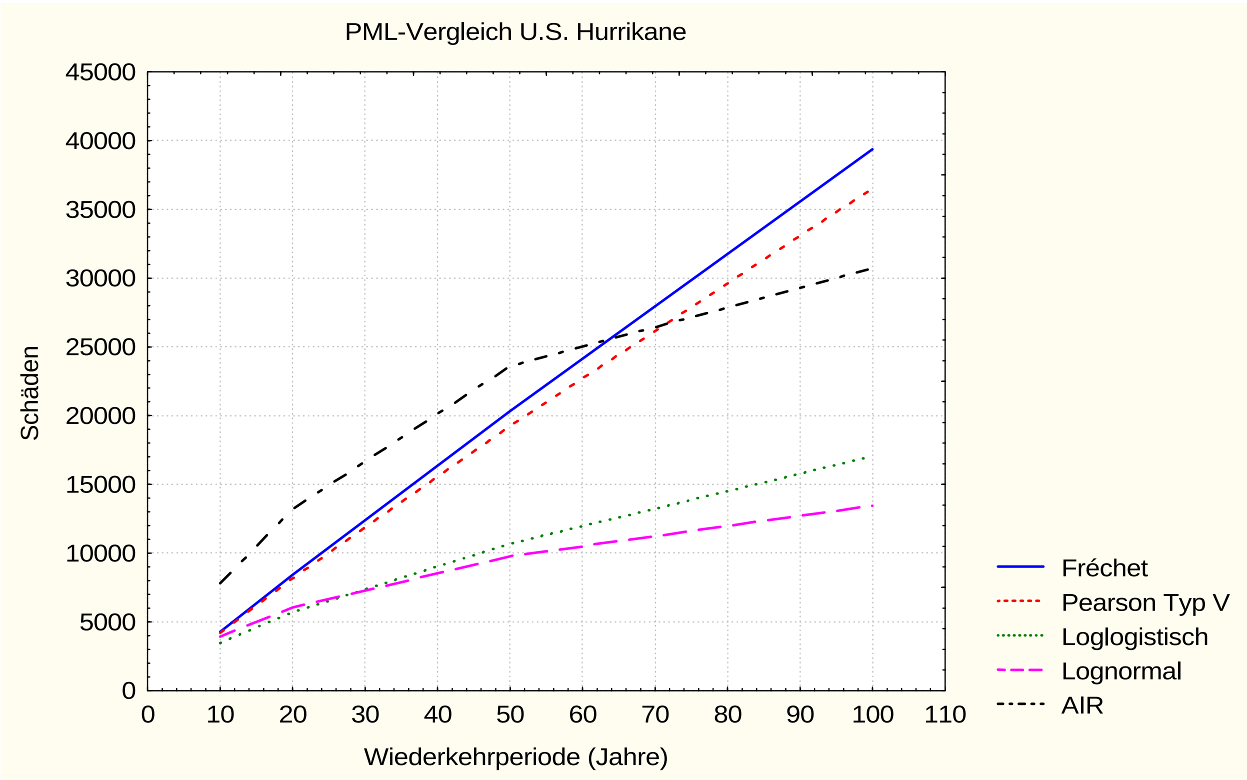

Fig. 5: Graphische Darstellung der PML-Schätzungen nach Verteilungsanpassung

Für Wiederkehrperioden bis zu 100 Jahren stimmen die von AIR ermittelten PML-Schätzungen von der Größenordnung her recht gut mit den PML-Schätzungen nach dem Fréchet- bzw. Pearson Typ V-Modell überein. Für größere Wiederkehrperioden ergeben sich allerdings erhebliche Abweichungen, was z.T. auch darauf zurückzuführen ist, dass AIR nur PML-Berechnungen für jeweils ein Sturmereignis pro Jahr vorgenommen hat, die statistische Analyse jedoch den Jahres-Gesamtschaden betrachtet. Der in etwa doppelt so hohe PML für eine Wiederkehrperiode von 200 Jahren nach Anpassung an die Fréchet- bzw. Pearson Typ V-Verteilung kann damit wohl noch gerechtfertigt werden, da die durchschnittliche Häufigkeit von Hurrikanen deutlich mehr als 1 je Jahr beträgt. Die PML-Schätzungen für Wiederkehrperioden unter 20 Jahren aus der AIR-Studie sind dagegen im Vergleich zum trendbereinigten statistischen Datensatz etwas zu hoch.

Erfahrungen und Empfehlungen

Das Dilemma, welche Berechnungen man in einem konkreten Fall für den „tatsächlichen" PML zugrundelegen soll, lässt sich naturgemäß nicht eindeutig lösen. In der Praxis werden die entsprechenden Zahlen deshalb immer differieren, je nachdem, welchen Rückversicherer oder Rückversicherungsmakler man mit der Berechnung beauftragt hat bzw. wie hoch die betrachteten Wiederkehrperioden sind; siehe hierzu auch die Ausführungen in Pohlhausen (1999). Insofern sind die unterschiedlichen Ergebnisse der beiden Modellansätze nicht nur für das amerikanische Sturmsegment symptomatisch. Die Erfahrungen aus einer mittlerweile fünfjährigen wissenschaftlichen Beratungspraxis bei einem führenden Rückversicherungsmakler haben aber gezeigt, dass für die meisten Anwendungsfälle im Katastrophen- und Elementarschadenbereich zumindest für Wiederkehrperioden bis zu 200 Jahren auch unterschiedliche Modellansätze durchaus zu vergleichbaren Ergebnissen kommen. Letztendlich ist eine exakte Bestimmung eines PML vielleicht auch gar nicht notwendig, die Einschätzung der „Gefährlichkeit" einer Schadenhöhenverteilung ist hier sicher genau so wichtig. Im Falle von Extremwertverteilungen und ihren Verwandten drückt sich dies vor allem im Formparameter α aus. Bei Fréchet-Verteilungen sieht man diese Abhängigkeit unmittelbar an der Tatsache, dass der PML in Abhängigkeit von der Wiederkehrperiode wie $T^{1/\alpha}$ wächst; je näher α am Wert 1 liegt, desto „linearer" entwickelt sich also auch der PML mit T, abgesehen davon, dass für α-Werte unterhalb von 1 gar kein Erwartungswert der Schadenhöhenverteilung existiert, also ein solches Risiko theoretisch überhaupt nicht versicherbar ist. Erfahrungsgemäß liefern Analysen von Sturmportfolios hier weltweit α-Werte zwischen 1 und 1,5, d.h. es handelt sich überwiegend um „gefährliche" Verteilungen mit der Tendenz zu regelmäßig wiederkehrenden hohen Schadenpotentialen. Die Extremwertstatistik liefert hier auch alternative Methoden zur statistischen Bestimmung solcher Parameter; verwiesen sei beispielsweise auf die Monographie von Reiss und Thomas (1997), die eine CD-ROM mit der an der Universität Siegen entwickelten wissenschaftlichen Software namens XTREMES enthält, die solche Auswertungen leicht ermöglichen.

Zukünftige Entwicklungen

Bisherige Analysen von Schadenhöhenverteilungen sowohl mit physikalischen als auch mit mathematischen Methoden waren in der Regel auf eindimensionale Betrachtungsweisen beschränkt, d.h. die Berechnung von PML's für individuelle Risiken mit univariaten Verteilungen stand hier im Vordergrund. In Zukunft werden aber vermehrt auch multivariate Analysen erforderlich werden, sei es im Zusammenhang mit dem Rating von Versicherungsbonds oder allgemein dem sog. Alternativen Risiko-Transfer (ART), d.h. der Abwälzung von Versicherungsrisiken auf den Kapitalmarkt. Darauf hat insbesondere auch Hipp (1999) in seinem Artikel ausdrücklich hingewiesen. Im Rückversicherungsbereich spielen solche derivativen Finanzinstrumente wie CatXL oder andere Katastrophenbonds volumenmäßig zwar noch keine sehr große Rolle, dennoch sollte man vorsorglich die möglichen Abhängigkeitsstrukturen zwischen den unterschiedlichen Risiken u.a. aufgrund der latenten Kumulgefahr nicht aus den Augen verlieren. Die sonst speziell in der Finanzwirtschaft üblichen Korrelationsbetrachtungen sind aber für versicherungstechnische Risiken nicht gut geeignet, da aufgrund der besonderen

Strukturen (z.B. Extremwertverteilungen) statistische Abhängigkeiten damit nicht ausreichend beschrieben werden können. Einen möglicher Ansatz bilden hier sog. parametrische *Copula*-Modelle, in denen solche Abhängigkeitsstrukturen durch Rücktransformation der univariaten Beobachtungen mit der jeweiligen inversen (angepassten) Verteilungsfunktion modelliert werden können. Die allgemeinen Grundlagen dieser Technik sind z.B. in Reiss und Thomas (1997) in Kapitel 8 beschrieben; die schon erwähnte **XTREMES** -Software enthält ansatzweise auch hierzu ein Daten-Auswertungsmodul mit drei verschiedenen Copula-Modellen, die speziell für Schadendaten mit univariaten Extremwertrandverteilungen geeignet sind. Allerdings besteht z.Z. in diesem Bereich noch Forschungsbedarf an effizienten Identifizierungswerkzeugen.

Zu den weiteren multivariaten Verfahren, die sich bereits in der Praxis bewährt haben und in Zukunft sicher weiter an Bedeutung gewinnen werden, zählen Ordinationsmethoden wie die (klassische) *Hauptkomponentenmethode* oder die neuere nicht-metrische *Multidimensionale Skalierung*, die dem großen Bereich der *Explorativen Datananalyse* zuzurechnen sind. Im letzteren Fall wird versucht, die Ähnlichkeit von Schadenverläufen unterschiedlicher Risiken mathematisch abzubilden und durch Komplexitätsreduktion mittels Einbettung der Daten in einen zwei- oder dreidimensionalen Raum Abhängigkeitsstrukturen sichtbar zu machen; vgl. etwa Fahrmeir und Hamerle (1984). Hierdurch lassen sich beispielsweise Risiken erfassen, die entweder bedingt durch geographische Nähe oder gemeinsame Trigger (z.B. klimatische Faktoren) zu erhöhter Kumulgefahr neigen. Die folgende Graphik zeigt abschließend – ohne auf technische Einzelheiten einzugehen - das Ergebnis einer solchen Studie für die Elementarschadenarten Sturm, Hochwasser, Erdrutsch, Hagel, Lawinen und Schneedruck, für die langjährige Schadenzeitreihen aus Zentraleuropa ausgewertet wurden.

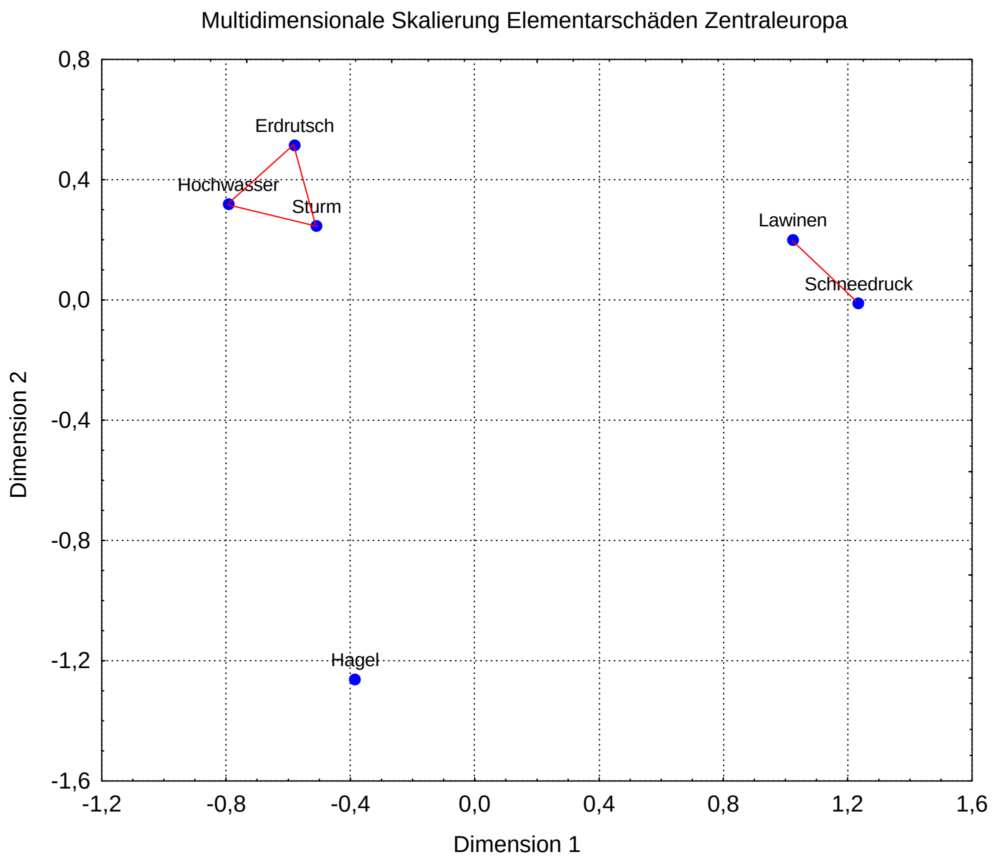

Fig. 6: Beispiel zur Schadenanalyse mit Multidimensionaler Skalierung

Die Dimensionen 1 und 2 haben hier keine direkte physikalische Bedeutung, allerdings spiegeln die euklidischen Abstände der mit den Elementargefahren gekennzeichneten „Punkte“ die

Ähnlichkeit der zugehörigen Schadenverläufe über die Zeit und damit auch eine entsprechende potentielle Kumulgefahr wider. Interessant ist hierbei, dass die Elementargefahren Sturm / Hochwasser / Erdrutsch eine deutlich abgegrenzte Gruppe von der Gruppe Lawinen / Schneedruck bilden, während Hagel offensichtlich keiner der beiden Gruppen nahe kommt, was sich tendenziell auch mit den Einschätzungen vieler betroffener (Rück-)Versicherer deckt.

Literatur

Beirlant, J., Teugels, J.L. und Vynckier, P.: Practical Analysis of Extreme Values. Leuven University Press, Leuven 1996.

Berz, G.: Naturkatastrophen an der Wende zum nächsten Jahrhundert – Trends, Schadenpotentiale und Handlungsoptionen der Versicherungswirtschaft. Zeitschrift für die gesamte Versicherungswissenschaft 2/3 (1999), 427 – 442.

Catastrophe Reinsurance Newsletter (1993) No. 2, p. 8.

Diaz, H.F. und Pulwarty, R.S.: Hurricanes. Climate and Socioeconomic Impacts. Springer, N.Y. 1997.

Embrechts, P., Klüppelberg, C. und Mikosch, Th.: Modelling Extremal Events for Insurance and Finance. Springer, Berlin 1997.

Fahrmeir, L. und Hamerle, A.: Multivariate statistische Verfahren. W. de Gruyter, Berlin 1984.

Hipp, Ch.: Risikomanagement von Naturkatastrophen: helfen mathematische Methoden? Zeitschrift für die gesamte Versicherungswissenschaft 2/3 (1999), 443 – 456.

Law, A.M. und Kelton, W.D.: Simulation Modelling & Analysis. McGraw-Hill, N.Y. 1991.

Pfeifer, D.: A statistical model to analyse natural catastrophe claims by means of record values. Proceedings of the XXVIIIth International ASTIN Colloquium, Cairns, August 10 - 12, 1997, The Institute of Actuaries of Australia, Sydney, 45 - 57.

Pohlhausen R.: Gedanken zur Überschwemmungsversicherung in Deutschland. Zeitschrift für die gesamte Versicherungswissenschaft 2/3 (1999), 457 – 467.

Reiss, R.-D. und Thomas, M.: Statistical Analysis of Extreme Values, with Applications to Insurance, Finance, Hydrology and Other Fields. Birkhäuser, Basel 1997.

Rootzén, H. und Tajvidi, N.: Extreme value statistics and windstorm losses: a case study. Scandinavian Actuarial Journal (1997), 70 – 94.

Woo, G.: The Mathematics of Natural Catastrophes. Imperial College Press, London 1999.

Anschrift des Autors:

Prof. Dr. Dietmar Pfeifer
Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
Fachbereich Mathematik
Postfach 25 03
26111 Oldenburg