

DISS. ETH NO. 20174

# **Bayesian framework for probabilistic modelling of typhoon risks**

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

Mathias Graf

Master of Science, University of Zurich

born 2.04.1977

citizen of  
Germany

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Eleni Chatzi, examiner  
Prof. Dr. Michael Havbro Faber, co-examiner  
Prof. Dr. Antoine Bommier, co-examiner  
Prof. Dr. Masahiro Matsui, co-examiner

2012

## **Abstract**

Risk assessment due to typhoon events is an important issue for decision makers in many different areas like the insurance markets or in governance. Towards this end a number of typhoon models have been developed so far. Whereas the development of improved models is one of the relevant issues to enhance optimal decision making, an equally or even more important issue is to develop a framework that can incorporate all relevant available information. Using all the available information enables a more precise risk assessment in two different ways: (1) For a risk assessment of an approaching typhoon event, actual information can be used to condition the model. This reduces the uncertainties for a specific risk analysis. (2) By using the information to update the parameters in the model, the overall modelling uncertainties can be reduced over time.

The objective of this thesis is to develop a Bayesian framework for the probabilistic modelling of typhoon risks. This framework includes not only the methodology to establish a typhoon model but also considers consistently the involved uncertainties and provides the mechanisms which enable the decision makers to take into account the available information during the process of decision making and thus facilitate conditioning the model and updating the parameters in the model over time.

The methodology employed in the thesis takes basis in Bayesian statistics and Bayesian probabilistic modelling, which provides the rationale to condition and to update the probabilistic model with additional data. As an example, the Bayesian framework is applied to the region of Japan and a typhoon risk model is established with the focus on the following features which facilitate the incorporation of the available information: typhoon events are modelled for the entire life of typhoons, i.e. from occurrence to dissipation; the effects of sea surface temperature (hereafter, SST) on the evolution of typhoon events are accounted for; seasonal differences in the probabilistic characteristics of the transition of typhoons are accounted for. The typhoon model established based on the proposed framework consists of two parts; a hazard model and a vulnerability model. The hazard model is composed of sub-models, describing all phases of the typhoon hazard process starting with the occurrence of typhoons over the spatial and temporal development of typhoons including landfall and possible filling and ending with the probabilistic characterization of extreme wind speeds at any location in Japan. The vulnerability model represents the probability distribution of the loss of individual exposures as a function of the wind speed. Based on the developed typhoon model, the consistently consideration of the involved uncertainties are investigated and a framework for updating the model is proposed.

The usefulness of the proposed Bayesian framework is demonstrated in three practical examples. The application to insurance portfolio risk analysis shows how the

uncertainties and the correlation between the individual losses can be considered. The second application shows how the Bayesian framework can be used to assess the effect of a climate change by conditioning and updating the model with new available information and data. The third application demonstrates how the proposed Bayesian framework can be used for real-time decision making in the case of an approaching typhoon by conditioning the models with the new available information.

The proposed framework is implemented in several software tools, which facilitate the practical use of the proposed Bayesian framework. These software tools allow a user-friendly typhoon risk analysis and to condition and update the typhoon model.

The scientific contribution of this thesis is a better phenomenological insight on typhoon events in probabilistic terms and provides a first step to a full probabilistic treatment of typhoon risks. The societal benefit is to enhance decision making by providing a framework where the underlying uncertainties can be reduced by incorporating all available information. The implementation of the Bayesian framework in a software tool supports decision makers in practical applications.

## Zusammenfassung

Risikoabschätzungen von Taifunereignissen ist eine wichtige Aufgabe für Entscheidungsträger in vielen verschiedenen Gebieten, wie zum Beispiel den Versicherungsmärkten oder in Regierungen. Für diesen Zweck wurden schon einige Taifun-Modelle entwickelt. Während die Entwicklung von verfeinerten Modellen wichtig für die Verbesserung der optimalen Entscheidungsfindung ist, ist es ähnlich wichtig oder sogar noch wichtiger, ein Framework zu entwickeln, welches es erlaubt, alle relevanten verfügbaren Informationen zu integrieren. Die Verwendung dieser Informationen ermöglicht eine präzisere Risikoabschätzung in zwei verschiedenen Situationen: (1) Während der Risikoabschätzung für einen sich nähernden Taifun können aktuelle Informationen verwendet werden, um das Modell zu konditionieren. Dies reduziert die Unsicherheit für die spezifische Risikoanalyse. (2) Die Verwendung aller verfügbaren Informationen zur Aktualisierung der Modellparameter reduziert die Modelunsicherheit über die Zeit hinweg.

Das Ziel dieser Dissertation ist es, ein Bayes'sches Framework für die probabilistische Modellierung von Taifunrisiken zu entwickeln. Dieses Framework beinhaltet nicht nur die Methodik ein Taifunmodell zu erstellen, sondern berücksichtigt konsistent die involvierten Unsicherheiten und bietet einen Mechanismus, welcher dem Entscheidungsträger ermöglicht, die verfügbaren Informationen während des Entscheidungsprozesses zu berücksichtigen um das Modells zu konditionieren und die Modellparameter über die Zeit hinweg zu aktualisieren.

Die Methodik, welche in dieser Dissertation angewandt wird, basiert auf der Bayes'schen Statistik und der Bayes'schen Wahrscheinlichkeitsmodellierung. Diese stellen die Grundprinzipien zur Verfügung, um das probabilistische Modell mit neuen Informationen und Daten zu konditionieren und zu aktualisieren. Das Bayes'sche Framework wird als Beispiel für die Region des Nordwest-Pazifiks angewendet. Das Taifunmodell wurde entwickelt mit Fokus auf den folgenden Eigenschaften, welche es ermöglichen, alle verfügbaren Informationen zu verwenden: Die gesamte Lebensdauer eines Taifunereignisses, von der Entstehung bis zur Auflösung, wird modelliert; der Effekt der Meeresoberflächentemperatur auf die Entwicklung der Taifune wird berücksichtigt; saisonale Unterschiede der probabilistischen Eigenschaften der Bewegung und Entwicklung der Taifune sind berücksichtigt. Das auf dem vorgeschlagenen Framework basierende entwickelte Taifun-Modell besteht aus zwei Komponenten; einem Gefahrenmodell und einem Schadensmodell. Das Gefahrenmodell besteht aus Sub-Modellen, welche alle Phasen eines Taifuns beschreiben, beginnend mit der Entstehung eines Taifuns, über die räumliche und zeitliche Entwicklung eines Taifuns, bis zur probabilistischen Charakterisierung extremer Windgeschwindigkeiten an beliebigen Orten in Japan. Das Schadensmodell repräsentiert die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion des Verlustes als eine Funktion der Windgeschwindigkeit. Basierend auf dem entwickelten Taifun-Modell wird die

konsistente Berücksichtigung der involvierten Unsicherheiten untersucht und ein Framework für das Aktualisieren des Modells vorgeschlagen.

Die Nützlichkeit des vorgeschlagenen Bayes'schen Frameworks ist in drei praktischen Beispielen demonstriert. Die Anwendung des Frameworks für die Risikoanalyse eines Versicherungsportfolio zeigt, wie die Unsicherheiten und die Korrelationen zwischen den einzelnen Verlusten berücksichtigt werden können. Die zweite Anwendung zeigt, wie das Bayes'sche Framework verwendet werden kann, um den Effekt eines Klimawandels, durch Konditionieren und Aktualisieren des Modells mit neu verfügbaren Informationen und Daten, abzuschätzen. Die dritte Anwendung demonstriert, wie das Bayes'sche Framework durch Konditionierung des Modells mit neuen Information verwendet werden kann um Echtzeit-Entscheidungsfindungen zu unterstützen für die Situation, dass ein neuer Taifun sich nähert.

Das vorgeschlagene Framework ist in einige Softwaretools implementiert, welche die praktische Benutzung des Bayes'schen Frameworks ermöglichen. Diese Softwaretools ermöglichen eine benutzerfreundliche Taifunrisikoanalyse und das Konditionieren und das Aktualisieren des Taifunmodells.

Der wissenschaftliche Beitrag dieser Dissertation ist, dass das Phänomen Taifun in Begriffen der Statistik besser verstanden wird und bietet einen ersten Schritt zu einer komplett probabilistischen Behandlung der Taifunrisiken. Der soziale Nutzen ist es, Entscheidungsfindungen zu verbessern durch die Zurverfügungstellung eines Frameworks, welches durch die Verwendung alle verfügbaren Informationen die Unsicherheiten verringert. Das Framework wurde in ein Softwaretool implementiert, um die Entscheidungsträger bei ihrer Arbeit zu unterstützen.