



Doctoral Thesis

## Construction and application of Bayesian probabilistic networks for earthquake risk management

**Author(s):**

Bayraktarli, Yahya Yilmaz

**Publication Date:**

2009

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-006018371> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 18781

**CONSTRUCTION AND APPLICATION OF BAYESIAN  
PROBABILISTIC NETWORKS FOR EARTHQUAKE RISK  
MANAGEMENT**

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

YAHYA YILMAZ BAYRAKTARLI

Dipl.-Ing., University of Karlsruhe (TH)

born 03.02.1972

citizen of Germany

accepted on the recommendation of

Professor Michael H. Faber, examiner  
Professor Ton Vrouwenvelder, co-examiner  
Martin Bertogg, co-examiner

2009

# Abstract

Developments in earthquake engineering research during the last decades provide within acceptable limits reliable design of new structures against earthquakes. The existing building stock however, still represents a significant risk in regard to the safety of people as well as to the economical assets of society.

Assessing the earthquake risk for buildings necessitates the consideration of uncertainties arising from seismic hazard, site effects, structural response, and immediate/indirect consequences. Furthermore, uncertainties emerge when the earthquake risk is analyzed for portfolios of buildings, e.g. cities. A city is more than a conglomeration of individual buildings, since interdependencies exist between its various elements. These "system effects" are investigated in order to set a framework for capturing the complex consequences after natural catastrophes.

First, a system theoretic definition for a city considering functional and hierarchic dependencies between its elements is given. Afterwards, a framework for risk assessment is proposed. Both perspectives are jointly considered by the application of Bayesian probabilistic networks (BPN). The elements within a BPN comprise the set of parameters considered within the risk analysis problem. The joint probability distribution of these parameters would be of highest possible value. In very rare cases it is possible to set the joint probability distribution. BPNs constitute a very efficient way of representing the joint probability distribution by exploiting conditional dependencies.

BPNs are constructed for modules of earthquake risk analysis; seismic hazard, structural damage, soil response and consequence assessment. The application of these BPN models is illustrated by four examples considering a portfolio of 5-story buildings in a city in Turkey. The first example considers the decision problem of whether or not to retrofit a class of structures in a city. The second example illustrates that the framework also facilitates portfolio loss estimation. The proposed framework allows for a consistent representation of the effect of dependencies (e.g. common events or common models) in the estimation of losses for important buildings (e.g. hospitals). It is shown that inclusion of such effects may have a significant impact on portfolio loss estimation. The third example illustrates the application of BPNs for updating seismic fragility curves based on data from post-earthquake building inspections. The fourth example discusses the assessment of consequences using a newly developed concept of robustness.

The proposed framework has several merits. By using the proposed framework consistent representation of uncertainties and the consideration of crucial effects of dependencies are possible. Furthermore, risk updating based on new information is facilitated.

# Kurzfassung

Neue Erkenntnisse in der Erdbebeningenieurforschung ermöglichen eine zuverlässige Bemessung neuer Bauwerke. Die vorhandene Bausubstanz jedoch stellt weiterhin ein signifikantes Risiko sowohl für die Sicherheit der Menschen als auch für die wirtschaftliche Wertschöpfung der Gesellschaft dar.

Die Erdbebenrisikoanalyse von Bauwerken erfordert die Berücksichtigung der Unsicherheiten in der Erdbebengefährdung, in den Standorteffekten, in den Bauwerksantworten sowie in den direkten und in den indirekten Konsequenzen. Darüber hinaus entstehen Unsicherheiten, wenn das Erdbebenrisiko für ein Portfolio von Bauwerken analysiert wird. Eine Stadt ist mehr als eine Ansammlung individueller Bauwerke, da gegenseitige Abhängigkeiten zwischen ihren Elementen existieren. Diese "Systemeffekte" werden ebenfalls untersucht, um einen theoretischen Rahmen zur Erfassung der komplexen Konsequenzen im Falle von Naturgefahren aufzustellen.

Zu Beginn wird eine systemtheoretische Definition einer Stadt unter Berücksichtigung funktionaler und hierarchischer Abhängigkeiten gegeben. Daran anschliessend wird ein theoretischer Rahmen für die Risikoanalyse eingeführt. Durch die Anwendung von Bayes'schen Netzen werden beide Perspektiven berücksichtigt. Die Elemente eines Bayes'schen Netzes stellen die explizit berücksichtigten Variablen innerhalb eines Risikoanalyseproblems dar. Die gemeinsame Wahrscheinlichkeitsverteilung dieser Variablen kann effizient durch Bayes'sche Netze ausgewertet werden. Für den Analysten ist die gemeinsame Wahrscheinlichkeitsverteilung von grossem Nutzen und kann analytisch nur in den seltensten Fällen ermittelt werden.

Bayes'sche Netze werden für die Module der seismischen Gefährdung, der Bodenantwort, der Bauwerksschäden und der Konsequenzen einer Erdbebenrisikoanalyse entwickelt. Die Anwendung dieser Module wird mit vier Beispielen anhand eines Portfolios von Stahlbetonbauwerken in einer Stadt in der Türkei illustriert. Das erste Beispiel behandelt ein Entscheidungsproblem zur Ertüchtigung einer Bauwerksklasse gegen Erdbeben. Das zweite Beispiel illustriert, wie mit Bayes'schen Netzen die Verlustüberschreitungskurve ("loss exceedance curve") eines Portfolios berechnet wird. Es wird gezeigt, dass die Berücksichtigung der Abhängigkeiten (z.B. in den Ereignissen oder in den Modellen) einen signifikanten Einfluss auf das Ergebnis hat. Im dritten Beispiel wird gezeigt, wie mit Bayes'schen Netzen eine Aktualisierung der seismischen Verletzbarkeitskurven ("seismic fragility curve"), basierend auf Schadensinspektionen nach einem Erdbeben, durchgeführt wird. Das vierte Beispiel diskutiert die Anwendung eines neu entwickelten Robustheitskonzeptes auf die Ermittlung der Konsequenzen.

Der hier vorgestellte theoretische Rahmen hat einige Vorteile. Mit der vorgeschlagenen Methode ist eine konsistente Berücksichtigung der Unsicherheiten und der Abhängigkeiten möglich. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass einzelne Risiken mit eingehenden Informationen systematisch aktualisiert werden können.