Technische Universität Darmstadt

Institut für Numerische Methoden
und Informatik im Bauwesen

Marcus Dombois

# Multilayer graph networks for modeling and analyzing exercise scenarios in civil protection and disaster response

Bericht

Nr. 3/2020

# Multilayer graph networks for modeling and analyzing exercise scenarios in civil protection and disaster response

Zur Erlangung des akademischen Grades Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)
genehmigte Dissertation von Marcus Dombois, M.Sc. aus Kassel
Tag der Einreichung: 22.04.2020, Tag der Prüfung: 30.06.2020
Darmstadt — D 17

1. Gutachten: Prof. Dr.-Ing. Uwe Rüppel
2. Gutachten: Prof. Dr. Jens Ivo Engels

TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Multilayer graph networks for modeling and analyzing exercise scenarios in civil protection and disaster response
Dissertation

Genehmigte Dissertation von Marcus Dombois, M.Sc. aus Kassel

1. Gutachten: Prof. Dr.-Ing. Uwe Rüppel
2. Gutachten: Prof. Dr. Jens Ivo Engels

Tag der Einreichung: 22.04.2020
Tag der Prüfung: 30.06.2020

Darmstadt – D 17

Berichte des Instituts für Numerische Methoden
und Informatik im Bauwesen

Band 3/2020

**Marcus Dombois**

# Multilayer graph networks for modeling and analyzing exercise scenarios in civil protection and disaster response

D 17 (Diss. TU Darmstadt)

Shaker Verlag
Düren 2020

**Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek**
The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at http://dnb.d-nb.de.

Zugl.: Darmstadt, Techn. Univ., Diss., 2020

URN: urn:nbn:de:tuda-tuprints-131491
URI: https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/id/eprint/13149

Copyright Shaker Verlag 2020
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-7556-4
ISSN 1860-9430

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren
Phone: 0049/2421/99011-0 • Telefax: 0049/2421/99011-9
Internet: www.shaker.de • e-mail: info@shaker.de

Für meine Frau Clarissa und meinen Sohn Malio

## Acknowledgements

This dissertation was written during my work as a research assistant and doctoral student at the Institute of Numerical Methods and Informatics in Civil Engineering and in the DFG-funded research training group KRITIS at the Technical University of Darmstadt.

I would like to thank Prof. Dr.-Ing. Uwe Rüppel for the opportunity to pursue a doctorate, the good professional and moral support and for his supervision. I would also like to thank Prof. Dr. Jens Ivo Engels for his interest, the various feedback and for taking over the second review.

A very special thanks goes to Mr. Timo Bittner for his friendship, the intensive discussions, the feedback on the content and all the proofreading of this dissertation.

I would like to thank my colleagues from the Institute of Numerical Methods and Informatics in Civil Engineering as well as from KRITIS for the last years, especially for the many friendships that have grown, the exciting discussions and the numerous entertaining moments during work and in private. In particular I would like to thank Mr. Christian Eller, Dr.-Ing. Christian Leifgen, Dr.-Ing. Arturo Crespo, Mr. Chris Stahlhut, Mr. Benedikt Vianden, Ms. Nadja Thiessen, Mr. Marcel Müller, Ms. Alice Knauf and Ms. Stephanie Eifert.

Furthermore, I would like to thank all partners from science and practice as well as the student assistants who supported me in the preparation of the dissertation in various ways, e.g. through discussions, interviews or the possibility to participate in disaster control exercises. Special thanks go to Mr. Jens Rönnfeldt, Mr. Thomas Finis, Ms. Susanne Krings, Dr. Leon Hempel and Mr. David Breuer.

A sincere thanks goes to my parents and my sister who paved the way for me to become who I am today.

From the bottom of my heart I thank my wife Clarissa for her love and support over all these years. Without her encouragement and critical reflection this work would not have been possible.

Marcus Dombois

## Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Doktorand an dem Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen und in dem von der DFG geförderten Graduiertenkolleg KRITIS an der Technischen Universität Darmstadt.

Ich bedanke mich herzlich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Uwe Rüppel für die Möglichkeit zur Promotion, die gute fachliche und moralische Betreuung und die Übernahme des Hauptreferates. Ebenso möchte ich Herrn Prof. Dr. Jens Ivo Engels für sein Interesse, das vielfältige Feedback und die Übernahme des Korreferates meinen Dank aussprechen.

Ein ganz besonderer Dank geht an Herrn Timo Bittner für seine Freundschaft, die intensiven Diskussionen, das inhaltliche Feedback und das viele Korrekturlesen der Arbeit.

Meinen Kolleginnen und Kollegen vom Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen und von KRITIS danke ich für die letzten Jahre, insbesondere für die vielen entstandenen Freundschaften, die spannenden Diskussionen und die zahlreichen lustigen Momente während der Arbeit und im Privaten. Besonders danke ich dabei Herrn Christian Eller, Herrn Dr.-Ing. Christian Leifgen, Herrn Dr.-Ing. Arturo Crespo, Herrn Chris Stahlhut, Herrn Benedikt Vianden, Frau Nadja Thiessen, Herrn Marcel Müller, Frau Alice Knauf und Frau Stephanie Eifert.

Überdies möchte ich mich bei allen Partnern aus der Wissenschaft und der Praxis sowie den studentischen Hilfskräften bedanken, die mich bei der Erstellung der Dissertation auf vielfältige Art und Weise, z.B. durch Diskussionen, Interviews oder die Möglichkeit zur Teilnahme an Katastrophenschutzübungen, unterstützt haben. Ein besonderer Dank geht dabei an Herrn Jens Rönnfeldt, Herrn Thomas Finis, Frau Susanne Krings, Herrn Dr. Leon Hempel und Herrn David Breuer.

Ein besonderer Dank geht an meine Eltern und meine Schwester, die mir den Weg geebnet haben zu demjenigen zu werden, der ich heute bin.

Aus tiefstem Herzen danke ich meiner Frau Clarissa für die Liebe und Unterstützung über all die Jahre. Ohne ihren Zuspruch und das kritische Hinterfragen wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Marcus Dombois

## Abstract

Based on a reflection of the emergency sector as critical infrastructure and with reference to the concepts of preparedness and prevention as well as criticality, the dissertation examines to what extent software applications can be used to support the planning and evaluation of practical exercises in civil protection and disaster response. A network-theoretical approach is chosen which allows to model scenario-based exercises as dynamic networks. In particular, it is thereby achieved that actions and structures from the exercise can be represented and analyzed in their temporal context through different types of relationships or interactions.

First of all, the unique dual role of the emergency sector in the system of infrastructures is addressed and the importance of the practical exercise as a training method and for simulating real operations for the sector is explained. Based on a literature review and interviews with practice partners from different organizations and authorities of civil protection and disaster response in Germany, the exercise will be analyzed with regard to its objectives and the methods used. In this context, especially practical approaches and problems will be discussed and compared. The analysis shows that each exercise is very different in terms of its underlying objectives and approaches and depends strongly on the needs of the respective organizations and authorities. Furthermore, it becomes apparent that especially the planning of such exercises is very complex and therefore there is a need for support tools for the development of scenarios and the definition of exercise boundaries. Also in connection with the evaluation of the exercises, there is a need for a software solution to support the processes. It is apparent that, despite the existing awareness of the importance of evaluations, hardly any systematic procedures are available for this purpose, and that the evaluation as a whole is often not carried out with the necessary consistency, partly due to time constraints. It is particularly noticeable that communication between the participants is often identified as a potential for errors during the exercise, but that the actual communication interactions taking place during the exercise are not yet systematically recorded and analyzed.

In addition to the analysis of the practical exercise, the dissertation also evaluates the relevant research literature from the fields of organizational research, emergency management and risk and criticality research. The potential of social network analysis for the aspects of planning and evaluation of exercises is identified and decisively worked out, which, supported by statements from practice, allows to define requirements for a software system. In order to meet the specific requirements of the exercise, a concept for a network-based support software is designed and implemented in a tablet-based demonstrator application called *ScenarioBuilder BOS*. The application supports the user in modeling and developing exercise scenarios as well as in analyzing and evaluating them in various ways. For example, simulations of cascading effects can be carried out or the centrality of the various actors in the network can be compared. The aim of the application is to enable the user to develop interpretation approaches and to question actions and relationship structures by presenting the scenario in different perspectives. In order to evaluate the application and the benefit of social network analysis as a methodology to support the planning and evaluation of exercises, the thesis describes four use cases for the *ScenarioBuilder BOS*, three of which are evaluations of real civil protection exercises in different organizations and authorities. The fourth case describes the use of the application to develop

the scenario of a fictitious exercise and serves to validate the simulation and other functions of *ScenarioBuilder BOS*. The use cases show that the application and the associated methodology of social network analysis has a great potential especially for the evaluation of exercises. It enables a systematic recording and evaluation of communication relationships in particular and can therefore make a valuable contribution, for example, to assessing the workload of actors, analyzing compliance with command structures or explaining dynamics in teams.

## Zusammenfassung

Ausgehend von einer Betrachtung des Notfallsektors als kritische Infrastruktur und unter Bezugnahme auf die Konzepte der Preparedness und Prevention sowie der Kritikalität wird im Rahmen der Dissertation untersucht, inwieweit Software-Anwendungen zur Unterstützung der Planung und Evaluation von praktischen Übungen im Bevölkerungsschutz eingesetzt werden können. Hierbei wird ein netzwerktheoretischer Ansatz gewählt der es ermöglicht, Szenario-basierte Übungen als dynamische Netzwerke zu modellieren. Insbesondere wird dadurch erreicht, dass Handlungen und Strukturen aus der Übung durch verschiedene Arten von Beziehungen bzw. Interaktionen in ihrem zeitlichen Zusammenhang dargestellt und analysiert werden können.

Zunächst wird auf die besondere Doppelrolle des Notfallsektors im System der Infrastrukturen eingegangen und die Bedeutung der praktischen Übung als Trainingsmethode und zur Simulation realer Einsätze für den Sektor erläutert. Darauf aufbauend wird auf Basis einer Literaturrecherche und Interviews mit Praxispartnern aus unterschiedlichen Organisationen und Behörden des Bevölkerungsschutzes in Deutschland die Übung in Bezug auf die mit ihr verfolgten Ziele und die verwendeten Methodiken hin analysiert. Hierbei werden insbesondere Handlungsweisen und Problemstellungen aus der Praxis thematisiert und verglichen. Dabei stellt sich heraus, dass jede Übung im Hinblick auf ihre zugrunde liegenden Ziele und Herangehensweisen sehr unterschiedlich ist und stark von den Bedürfnissen der jeweiligen Organisationen und Behörden abhängt. Weiterhin zeigt sich, dass insbesondere die Planung solcher Übungen sehr komplex ist und daher ein Bedarf an Unterstützungstools für die Entwicklung von Szenarien und die Definition der Übungsgrenzen besteht. Auch im Zusammenhang mit der Auswertung der Übungen besteht der Wunsch nach einer Softwarelösung zur Unterstützung der Abläufe. Es zeigt sich, dass trotz des vorhandenen Bewusstseins über die Bedeutung von Evaluationen hierzu kaum systematische Verfahren zur Verfügung stehen und dass die Evaluation als Ganzes, auch aus Zeitgründen, oft nicht mit der notwendigen Konsistenz durchgeführt wird. Besonders auffällig ist, dass die Kommunikation der Beteiligten untereinander häufig als Potenzial für Fehler während der Übung identifiziert wird, die tatsächlich stattfindenden Kommunikationsinteraktionen während der Durchführung der Übung jedoch noch nicht systematisch erfasst und analysiert werden.

Neben der Analyse der praktischen Übung wird in der Dissertation auch die einschlägige Forschungsliteratur aus den Bereichen der Organisationsforschung, des Notfallmanagements sowie der Risiko- und Kritikalitätsforschung ausgewertet. Dabei wird das Potenzial der sozialen Netzwerkanalyse für die Aspekte der Planung und Auswertung von Übungen identifiziert und dezidiert herausgearbeitet, um damit, gestützt durch Aussagen aus der Praxis, Anforderungen für ein Softwaresystem zu definieren. Um den spezifischen Anforderungen an die Übung gerecht zu werden, wird ein Konzept für eine netzwerkbasierte Unterstützungssoftware entworfen und in einer Tablet-basierten Demonstrator-Anwendung namens *ScenarioBuilder BOS* umgesetzt. Mit Hilfe der Anwendung wird der Anwender bei der Modellierung und Entwicklung von Übungsszenarien sowie bei deren Analyse und Auswertung auf verschiedene Weise unterstützt. So können Simulationen zu Kaskadeneffekten durchgeführt oder die Zentralität der verschiedenen Akteure im Netzwerk verglichen werden. Ziel der Anwendung ist

es, den Benutzer in die Lage zu versetzen, Interpretationsansätze zu entwickeln und Handlungen und Beziehungsstrukturen in Frage zu stellen, indem das Szenario in verschiedenen Perspektiven dargestellt wird. Um die Anwendung und den Nutzen sozialer Netzwerkanalyse als Methodik zur Unterstützung der Planung und Auswertung von Übungen zu evaluieren, beschreibt die Dissertation vier Anwendungsfälle für den *ScenarioBuilder BOS*, von denen drei Auswertungen realer Katastrophenschutzübungen in verschiedenen Organisationen und Behörden sind. Der vierte Fall beschreibt den Einsatz der Anwendung zur Entwicklung des Szenarios einer fiktiven Übung und dient der Validierung der Simulation und anderer Funktionen des *ScenarioBuilder BOS*. Die Anwendungsfälle zeigen, dass die Anwendung und die damit verbundene Methodik der sozialen Netzwerkanalyse ein großes Potenzial insbesondere für die Auswertung von Übungen hat. Sie ermöglicht eine systematische Erfassung und Auswertung speziell von Kommunikationsbeziehungen und kann damit einen wertvollen Beitrag zum Beispiel zur Einschätzung der Arbeitsbelastung von Akteuren, zur Analyse der Einhaltung von Befehlsstrukturen oder zur Erklärung von Dynamiken in Teams leisten.

## Table of Contents


1. .... Introduction 1
1.1. Emergency Services – A Critical Infrastructure 1
1.2. Research Aim and Objectives 4
1.3. Methodology and Approach 5
1.4. Structure of the Work 7

2. .... Civil and Disaster Protection in Germany 9
2.1. "Zivilschutz" – Civil Protection at Federal Level 9
2.2. "Katastrophenschutz" – Disaster Control at State and Municipal Level 11
2.3. "Stabsarbeit" – Staff Work in Crisis Management 14

3. .... Exercise in Civil and Disaster Protection 17
3.1. Exercise Objectives 17
3.2. Types of Exercises 19
3.3. Exercise Methodology 21
3.4. LÜKEX – An Interministerial and Interstate Crisis Management Exercise 25
3.5. The Exercise in Practice 26

4. .... Social Network Analysis 31
4.1. Social Network Fundamentals 31
4.2. Graph Theory – The Mathematical Representation of Networks 33
4.3. Centrality in Networks 37
4.4. Network Visualization 43

5. .... Social Network Analysis in Civil Protection and Disaster Response 47
5.1. Social Network Analysis in Organizational Research and Emergency Management 47
5.2. Social Network Analysis within Risk and Criticality Research 50
5.3. Social Network Analysis in Exercise Planning and Evaluation 52
5.4. Requirements and Existing Software 55

6. .... Software Concept for the ScenarioBuilder BOS – A Network-based Tool for Exercise Planning and Evaluation 59
6.1. Software Objectives and Use Cases 59
6.2. Scenario Development 61
6.3. Scenario Analysis 71
6.4. Practical Use of the ScenarioBuilder BOS and Possibilities for Enhancement 90

7. .... Android-based Implementation of the ScenarioBuilder BOS 93
7.1. General Implementation Decisions 93
7.2. Data Structure 95
7.3. User Interface 97

8. .... Evaluation 105

8.1. Introduction into the Use Cases 105
8.2. Scenario Development for the “Flooded City” Exercise 106
8.3. Evaluation of the “Winterübung TEL” Exercise 109
8.4. Evaluation of the “KatKom 2-2019” Exercise 115
8.5. Evaluation of the “Wesersturm” Exercise 119
8.6. Discussion 124
9.....Conclusion and Future Work 129
References IX
List of Figures XXI
Table Directory XXV