Clemens Strehl

Fallstudien zur Anpassung wasserwirtschaftlicher Infrastruktur an den Klimawandel

2022

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter http://www.d-nb.de abrufbar.
ISBN 978-3-89554-250-3

Druck:
Siebel Druck & Grafik, Bergisch Gladbach

Verlag:
wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH
Josef-Wirmer-Str. 3 · 53123 Bonn
Tel.: 0228 9191-40 · Fax: 0228 9191-499
E-Mail: info@wvgw.de · Internet: www.wvgw.de

© November 2022 Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlages. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitung, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Zugl.: Dissertation an der Fakultät Wirtschaftswissenschaften, Technische Universität Dortmund, 2022

Danksagung

Die vorliegende Dissertation ist berufsbegleitend entstanden. Im Rahmen verschiedener Forschungsprojekte am IWW Zentrum Wasser in Mülheim an der Ruhr hatte ich die Chance, das Thema der Klimawandelanpassung in der Wasserwirtschaft anwendungsorientiert und zugleich in einem internationalen Umfeld zu bearbeiten. Weiterhin boten die Projekte die Gelegenheit, mit Wissenschaftlern sowie Praktikern unterschiedlicher Disziplinen in den Austausch zu treten. Diese Umstände kamen dem Inhalt der vorliegenden Arbeit zu Gute und haben ihre praxisnahe, internationale sowie interdisziplinäre Ausrichtung geprägt.

Mein Dank gilt daher allen Beteiligten und den Fördermittelgebern der EU Projekte PREPARED (Grant Agreement No. 244232) sowie BINGO (Grant Agreement No. 641739), weil diese die wichtigsten Forschungsprojekte für die vorliegende Arbeit waren. Die Begegnung und Zusammenarbeit mit den zahlreichen internationalen Projektkolleginnen und Kollegen war ausgesprochen angenehm, kooperativ und produktiv. Es war eine lehrreiche und prägende Zeit, die ich nicht missen möchte. Mein besonderer Dank gilt aus dem PREPARED Projekt Janez Sušnik (Ph.D.), Maria do Céu Almeida (Ph.D.), Luuk A. Postmes, Patrick Smeets (Ph.D.) und Nelson Carriço (Ph.D.) sowie aus dem BINGO Projekt Erle Kristvik (Ph.D.), Marc Scheibel, Paula Lorza, Thorsten Luckner, Robert Mittelstädt, Daniel Heinenberg, Ashenafi Seifu Grange (Ph.D.) und Thone M. Mutanna (Ph.D.).

Besonderer Dank gebührt auch den aktuellen und ehemaligen Kolleginnen und Kollegen des IWW, welche zum Teil ebenfalls in den oben genannten Projekten aktiv waren. Insbesondere danken möchte ich Andreas Hein, Fabian Vollmer, Dr. Hans-Joachim Mälzer, Dr. Tim aus der Beek, Peter Lévai, Juliane Bräcker, Marina Hartmann und Kristina Wencki für die angenehme Zusammenarbeit sowie die zahlreichen Diskussionen, Literatur- und Datenempfehlungen rund um die Projektarbeit und das Thema meiner Arbeit.

Ganz besonders danken möchte ich meinem Doktorvater Prof. Dr. Andreas Hoffjan für seine unerschöpfliche Geduld und aufmunternde Unterstützung sowie für seine ursprüngliche Vermittlung in die spannende Arbeit im IWW, welche die vorliegende Dissertation überhaupt ermöglicht hat. In diesem Zusammenhang danke ich auch meinem Zweitgutachter Prof. Dr.-Ing. Stefan Panglisch sowie meiner Drittgutachterin Prof. Dr. Anja Fischer für die freundliche Übernahme der Begutachtung.

Weiterhin danke ich meiner Familie für die kritische Durchsicht einzelner Kapitel meines Manuskripts und an erster Stelle meiner Frau Vivian für ihre Unterstützung und den Freiraum, den sie mir zuhause geschaffen hat, um die Arbeit fertig stellen zu können.

Herdecke im November 2022, Clemens Strehl

Abstract

Die vorliegende Dissertation befasst sich mit dem Einfluss des Klimawandels auf das Versagensrisiko wasserwirtschaftlicher Infrastruktur sowie der Evaluation von Anpassungsmaßnahmen. Betrachtet wurden Überflutungs-, Umwelt- und Wasserversorgungsrisiken. Die Arbeit wurde geleitet von der Frage, wie Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel in der Wasserwirtschaft integrativ und interdisziplinär analysiert werden können, um wirtschaftliche sowie umsetzungsfähige Maßnahmen mit ausreichender Risikoreduktion zu finden.

Um diese Frage induktiv beantworten zu können und ein allgemeines Management-Schema zur Anpassung wasserwirtschaftlicher Infrastruktur zu entwickeln, wurden Fallstudien durchgeführt. Die Fallstudien umfassten dazu die Entwicklung und Anwendung jeweils individueller Evaluationsmethoden. Diese basierten auf der Kosten-Nutzen-Analyse, der Kosten-Wirksamkeitsanalyse sowie den multikriteriellen Verfahren der Nutzwertanalyse und des analytischen Hierarchieprozesses. Evaluiert wurden Maßnahmen für den Schutz vor urbanen Sturzfluten in Eindhoven, vor Überschwemmungen in Wuppertal, für die Reduktion von Umweltbelastungen aus Mischkanalsystemen in Bergen sowie zur Vermeidung eines Rohwasserdefizits im Bergischen Land.

Aus den Ergebnissen der detaillierten Fallstudienarbeit in Wasserversorgungs- sowie Siedlungsentwässerungssystemen wurde ein Management-Schema zur Anpassung wasserwirtschaftlicher Infrastruktur an den Klimawandel generalisiert. Entsprechend dieses Management-Schemas ist es für die Anpassung essenziell, zumindest die meteorologische, hydrologische, technische und ökonomische Perspektive in einer integrierenden Evaluationsmethode zu verbinden. Im Einzelnen sind dafür folgende Bestandteile notwendig: 1. globale Klimaszenarien und regionales Downscaling, 2. meteorologische Daten, 3. technische und hydrologische Daten, 4. Simulations- und Analysewerkzeuge, 5. quantitativ bewertetes Ausgangsrisiko, 5. Set aus Maßnahmen zur Risikoreduktion, 6. Kostendaten zu Maßnahmen als Input, 7. Wirksamkeitsschätzung je Maßnahme als Output, 8. fallspezifische Evaluationsmethode, 9. Gesamtbewertung und Vergleich der Maßnahmen.

Abstract

The dissertation deals with the influence of climate change on the risk of failure of water management infrastructure as well as the evaluation of adaptation measures. Flood, environmental and water supply risks were considered. The research was guided by the question of how climate change adaptation measures in water management can be examined in an integrated and interdisciplinary manner in order to find economically sound and practical measures with sufficient risk reduction.

In order to answer this question with an inductive approach and to develop a general management scheme for the adaptation of water management infrastructure, case studies were carried out. The case studies included the development and application of individual evaluation methods. These methods were based on cost-benefit and cost-effectiveness analysis as well as the multi-criteria methods of utility analysis and the analytic hierarchy process. Adaptation measures evaluated were for: urban flash flooding protection in Eindhoven, flood protection in Wuppertal, environmental pollution reduction from combined sewer systems in Bergen and raw water deficit avoidance in the Bergisches Land region.

From the results of the detailed case studies in water supply and urban drainage systems, a general management scheme for the adaptation of water management infrastructure to climate change was developed. According to this management scheme, it is essential to combine meteorological, hydrological, technical and economic perspectives in an integrated evaluation method. In detail, the necessary components are: 1. Global climate scenarios and their transfer to the regional level, 2. Meteorological data, 3. Technical and hydrological data, 4. Simulation and analysis tools, 5. Quantitative assessment of initial risk, 5. Risk reduction measures, 6. Cost for the risk reduction measures, 7. Estimate of the effectiveness of the risk reduction measures, 8. A case-specific evaluation method, 9. Overall assessment and comparison of the measures.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ... 1
1.1 Hintergrund und Zielsetzung der Arbeit ... 1
1.2 Aufbau der Arbeit ... 4
2 Grundlagen ... 7
2.1 Wasserwirtschaft ... 7
2.1.1 Aufgaben der Wasserwirtschaft und Untersuchungsfeld der Arbeit ... 7
2.1.2 Rechtlicher Rahmen ... 7
2.1.3 Organisationsformen ... 8
2.1.4 Technische Grundlagen ... 9
2.1.5 Betriebswirtschaftlicher Rahmen ... 12
2.2 Wissenschaftstheoretischer Bezugsrahmen ... 13
2.3 Klimawandel und Risiken für die Wasserwirtschaft ... 19
2.3.1 Ursachen des Klimawandels ... 19
2.3.2 Beobachtungen zum Klimawandel und Auswirkungen ... 22
2.3.3 Szenarien zukünftiger Klimaentwicklungen und Auswirkungen ... 25
2.3.4 Wasserwirtschaftliche Systeme im Kontext des Klimawandels ... 31
2.4 Betriebswirtschaftlich-theoretischer Bezugsrahmen ... 35
2.4.1 Entscheidungstheorie ... 35
2.4.2 Risikobegriff, Definition und Darstellung ... 37
2.4.3 Risikomanagement ... 39
3 Stand der Forschung und Forschungsziele ... 49
3.1 Forschung und Forschungsdefizite zur Anpassung an Klimawandelrisiken ... 49
3.1.1 Literaturanalyseprozess und Quellen ... 49
3.1.2 Entwicklung der Forschung ... 52
3.1.3 Forschungslinien ... 54
3.1.3.1 Forschungslinien nach Quellentypen ... 54
3.1.3.2 Inhaltliche Forschungsfelder ... 62
3.1.4 Forschungsdefizite ... 69
3.2 Forschungsziele und Forschungsfragen der Arbeit ... 78
4 Forschungsmethodik ... 83
4.1 Evaluationsforschung ... 83
4.2 Fallstudienforschung ... 86
4.3 Forschungsdesign der Arbeit ... 88
4.3.1 Anforderungen und passende Forschungsmethodik ... 88
4.3.2 Ablauf der Evaluation in Fallstudien ... 89
4.3.3 Sicherstellung der Ergebnisgüte der Evaluationsfallstudien ... 92
4.3.4 Zusammenfassung des Forschungsdesigns ... 96
4.4 Überblick zu den Fallstudien der Arbeit ... 97

5 Extremniederschläge in Eindhoven ... 103
5.1 Einführung und Problemstellung ... 103
5.2 Fallstudienzielsetzungen ... 106
5.3 Literaturbasis und bisherige Studien ... 107
5.4 Methodik der Fallstudie ... 120
5.4.1 Allgemeines zur Entwicklung des Evaluationskonzepts ... 120
5.4.2 Risikoidentifikation ... 121
5.4.3 Risikoanalyse und Bewertung ... 123
5.4.4 Risikobehandlung ... 129
5.5 Ergebnisse und Diskussion ... 134
5.5.1 Risikoidentifikation ... 134
5.5.2 Risikoanalyse, Bewertung und Behandlung ... 135
5.6 Zusammenfassung und Ausblick ... 143
6 Überschwemmungen in Wuppertal ... 147
6.1 Einführung und Problemstellung ... 147
6.2 Fallstudienzielsetzungen ... 149
6.3 Literaturbasis und bisherige Studien ... 151
6.4 Methodik und Material ... 156
6.4.1 Allgemeines zur Entwicklung des Evaluationskonzepts ... 156
6.4.2 Risikobeurteilung ... 159
6.4.3 Risikobehandlung ... 162
6.5 Ergebnisse und Diskussion ... 164
6.6 Zusammenfassung und Ausblick ... 167
7 Mischwasserabschläge in Bergen ... 170
7.1 Einführung und Problemstellung ... 170
7.2 Fallstudienzielsetzungen ... 172
7.3 Literaturbasis und bisherige Studien ... 173
7.4 Methodik und Material ... 175
7.4.1 Allgemeines zur Entwicklung des Evaluationskonzepts ... 175
7.4.2 Risikobeurteilung ... 177
7.4.3 Risikobehandlung ... 181
7.4.3.1 Maßnahmen und passende Teileinzugsgebiete ... 181
7.4.3.2 Wirksamkeit und Kosten der Maßnahme Straße als Regenwasserfließweg ... 184
7.4.3.3 Wirksamkeit und Kosten der Maßnahme Gründächer und Tiefbeete ... 188
7.4.3.4 Wirksamkeit und Kosten der Maßnahme Trennsystem ... 190
7.5 Ergebnisse und Diskussion ... 203
7.5.1 Risikobeurteilung ... 203
7.5.2 Risikobehandlung ... 206
7.6 Zusammenfassung und Ausblick ... 212

8 Rohwasserknappheit im Bergischen Land ... 216
8.1 Einführung und Problemstellung ... 216
8.2 Fallstudienzielsetzungen ... 218
8.3 Literaturbasis und bisherige Studien ... 219
8.4 Methodik und Material ... 224
8.4.1 Allgemeines zur Entwicklung des Evaluationskonzepts ... 224
8.4.2 Risikoanalyse ... 226
8.4.3 Risikobewertung ... 227
8.4.4 Risikobehandlung ... 228
8.4.4.1 Allgemeines zur Risikobehandlung in zwei Schritten ... 228
8.4.4.2 Wirksamkeit und Kosten der Überleitung ... 231
8.4.4.3 Wirksamkeit und Kosten des Horizontalfilterbrunnens ... 238
8.4.4.4 Wirksamkeit und Kosten der reduzierten Niedrigwasseraufhöhung ... 243
8.4.4.5 Wirksamkeit und Kosten des Wassersparens ... 245
8.5 Ergebnisse und Diskussion ... 247
8.5.1 Risikoanalyse ... 247
8.5.2 Risikobewertung ... 249
8.5.3 Risikobehandlung ... 250
8.5.3.1 Ergebnisse zu Schritt 1 ... 250
8.5.3.2 Ergebnisse zu Schritt 2 ... 255
8.6 Zusammenfassung und Ausblick ... 263
9 Gesamtbetrachtung aller Fallstudienergebnisse und Diskussion ... 268
9.1 Forschungsergebnisse und Diskussion ... 268
9.1.1 Beantwortung der Forschungsfragen und wissenschaftlicher Beitrag ... 268
9.1.2 Empfehlungen für die zukünftige Praxisanwendung der Ergebnisse ... 282
9.2 Ergebnisqualität und Limitationen der Untersuchung ... 288
10 Zusammenfassung und Ausblick ... 291
10.1 Zusammenfassung ... 291
10.2 Ausblick ... 295
Abbildungsverzeichnis ... 300
Tabellenverzeichnis ... 302
Abkürzungsverzeichnis ... 305
Literaturverzeichnis ... 308
Anhang ... 334