



Schriftenreihe
Forschungsforum Öffentliche Sicherheit

Wetterwarnungen:
Von der Extremereignisinformation zu
Kommunikation und Handlung

Thomas Kox, Lars Gerhold (Hrsg.)

Schriftenreihe Sicherheit des Forschungsforum Öffentliche Sicherheit

herausgegeben von

Lars Gerhold
Roman Peperhove
Helga Jäckel

AG Interdisziplinäre Sicherheitsforschung, Forschungsforum Öffentliche Sicherheit,
Freie Universität Berlin

Nr. 25

Schriftenreihe Sicherheit

Herausgegeben von Lars Gerhold, Roman Peperhove, Helga Jäckel

AG Interdisziplinäre Sicherheitsforschung, Forschungsforum Öffentliche Sicherheit,
Freie Universität Berlin, Februar 2019.

ISBN Print: 978-3-96110-228-0

ISBN Online: 978-3-96110-229-7

Anschrift:

Freie Universität Berlin

Carl-Heinrich-Becker Weg 6-10

12165 Berlin

Tel: +49 (0)30 838 57367

Fax: +49 (0)30 838 4 57367

www.schriftenreihe-sicherheit.de

kontakt@schriftenreihe-sicherheit.de

Projektumriss

WEXICOM ist ein interdisziplinäres Forschungsprojekt zur Verbesserung der Nutzung von Wettervorhersagen für die Gesellschaft. Im Vordergrund steht dabei der Bereich der Warnung vor Extremwetter, die auf eine für die jeweiligen Empfänger geeignete Art kommuniziert werden muss. Dabei wird besonderes Augenmerk auf die Kommunikation der Unsicherheiten der Vorhersagen sowie der Wetterauswirkungen bei verschiedenen Vorlaufzeiten gelegt. Das Projekt wird im Rahmen des Hans-Ertel-Zentrums für Wetterforschung des Deutschen Wetterdienstes gefördert.

Zitationsvorschlag

Kox, T. & Gerhold, L. (Hrsg.) (2019). Wetterwarnungen: Von der Extremereignisinformation zu Kommunikation und Handlung. Beiträge aus dem Forschungsprojekt WEXICOM. Berlin: Forschungsforum Öffentliche Sicherheit, Freie Universität Berlin (Schriftenreihe Sicherheit, 25)

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Überblick	3
	<i>Thomas Kox, Lars Gerhold</i>	
2	Das Hans-Ertel-Zentrum für Wetterforschung und das Projekt WEXICOM	7
	<i>Martin Göber, Henning Rust, Tobias Pardowitz, Uwe Ulbrich</i>	
3	Wetter als technisch vermittelter Wissensprozess	19
	<i>Catharina Lüder</i>	
4	Kommunikation von Wetterwarnungen	43
	<i>Till Büser</i>	
5	Wie lässt sich die Unsicherheit von Vorhersagen sinnvoll kommunizieren?	63
	<i>Nadine Fleischhut, Stefan M. Herzog</i>	
6	Wetterwarnungen im Bevölkerungsschutz	83
	<i>Thomas Kox, Catharina Lüder, Clara Brune</i>	
7	Analyse und Modellierung von Wetterauswirkungen	109
	<i>Nico Becker</i>	
8	Wie wirksam sind wirkungsbasierte Unwetterwarnungen? Ein Beitrag aus der Lehre	135
	<i>John Gubernath, Nadine Fleischhut</i>	
	AutorInnenverzeichnis	145



1 Einleitung und Überblick

Thomas Kox, Lars Gerhold

Die Starkregenereignisse, sowie die Winter- und Herbststürme der vergangenen Jahre, machen jedes Mal wieder deutlich, wie exponiert und anfällig der Mensch und die von ihm geschaffenen und genutzten Infrastrukturen gegenüber Wetter sind. *Wettervorhersagen* sind eine Möglichkeit, frühzeitig über eben diese Gefahren zu informieren. Der Bevölkerung, aber auch Behörden der Gefahrenabwehr und Unternehmen, wird es so ermöglicht, sich auf mögliche Gefahrenlagen vorzubereiten. Aufgrund der chaotischen Natur der Atmosphäre, sowie lückenhaften Beobachtungsdaten und Fehlern und Vereinfachungen bei der Modellierung, sind Wettervorhersagen allerdings immer auch mit Unsicherheiten behaftet. Diese Unsicherheiten äußern sich z. B. in der räumlichen und zeitlichen Genauigkeit der Vorhersage. In der Wettervorhersage können Unsicherheiten etwa in Form von Wahrscheinlichkeitsangaben kommuniziert werden.

In den vergangenen Jahrzehnten ist viel Forschungsarbeit in die Weiterentwicklung von Wettervorhersagen investiert worden, was zu einer kontinuierlichen Verbesserung der Vorhersagen geführt hat. Insbesondere bei extremen Wetterereignissen ist aber im Hinblick auf mögliche Schäden neben der reinen Wettervorhersage auch das Verständnis der Risiken und Auswirkungen der Ereignisse von besonderer Wichtigkeit, um relevante Handlungsanweisungen geben und erfolgreiche Schutzmaßnahmen einleiten zu können. Zur Abschätzung von möglichen Wetterauswirkungen trägt die Impaktmodellierung bei, indem mit statistischen Methoden und Daten die Auswirkungen von Wetter und die Auswirkungen meteorologischer Ereignisse quantifizieren werden können.

Obwohl bereits große Fortschritte bei der Entwicklung von Wahrscheinlichkeitsvorhersagen gemacht worden sind, werden Unsicherheiten in der Praxis des *Warnens* vor extremem Wetter dagegen kaum kommuniziert. Warnungen sind derzeit vielmehr deterministische Ja/Nein-Aussagen, die angeben, ob ein Ereignis eintreten wird oder nicht. Im Hinblick auf die Weiterentwicklung des Warnwesens entstehen Fragen, die Antworten aus der Forschung bedürfen. Sollen Warnungen in Zukunft auch Wahrscheinlichkeiten enthalten? Was sind die Bedürfnisse und Anforderungen der

Kox, T. & Gerhold, L. (2019). Einleitung und Überblick. In: Kox, T. & Gerhold, L. (Hrsg.) *Wetterwarnungen: Von der Extremereignisinformation zu Kommunikation und Handlung*. Beiträge aus dem Forschungsprojekt WEXICOM. Berlin: Forschungsforum Öffentliche Sicherheit, Freie Universität Berlin (Schriftenreihe Sicherheit, 25), S. 3–6.



potenziellen Nutzergruppen? Und welche Darstellung der Warninhalte fördern das Verständnis und die Nutzung der Informationen?

In dem seit 2011 in bereits zwei Phasen durch den Deutschen Wetterdienst im Rahmen des Hans-Ertel-Zentrums für Wetterforschung (HErZ) geförderten Forschungsprojekt WEXICOM (Wetterwarnungen: von der EXtremereignis-Information zu KOMmunikation und Handlung) forschen MeteorologInnen, GeographInnen, SozialwissenschaftlerInnen und PsychologInnen der Freien Universität Berlin und – seit der zweiten Förderphase – das Max-Planck-Institut für Bildungsforschung gemeinsam zu diesen Fragen und arbeiten an der optimalen Nutzung von Wettervorhersagen und Wetterwarnungen durch BürgerInnen und Institutionen der Gefahrenabwehr. Die außergewöhnliche Förderstruktur und zeitliche Ausrichtung von HErZ ermöglicht es den Forschenden, in der notwendigen Intensität interdisziplinärer Forschungsarbeit den relevanten Fragen der Wetterwarnung nachzugehen.

Das Forschungsforum Öffentliche Sicherheit und die AG Interdisziplinäre Sicherheitsforschung der Freien Universität Berlin bedanken sich bei allen Projektpartnern und Mitwirkenden im Projekt WEXICOM. Zum Jahresbeginn 2019 hat die dritte Förderphase begonnen. Mit großer Vorfreude schauen wir auf die kommenden vier Jahre gemeinsamer Forschung zur Verbesserung des Vorhersage- und Warnprozesses für eine transparente und effektive Kommunikation von Risiken und Unsicherheiten. Bereits jetzt blicken wir auf eine herausragende gemeinsame Forschungsarbeit mit praxisrelevanten und fundierten Ergebnissen zurück, die wir Ihnen in Auszügen in diesem Band der Schriftenreihe Sicherheit vorstellen wollen.

Zunächst geben *Martin Göber, Hennig Rust, Tobias Pardowitz und Uwe Ulbrich* einen Überblick (Kapitel 2) über die Hintergründe des Forschungsprogrammes HErZ und die Entstehung des Projektes WEXICOM, dessen Inhalte und die zukünftige Entwicklung.

In ihrem Beitrag *Wetter als technisch vermittelter Wissensprozess* (Kapitel 3) präsentiert *Catharina Lüder* die Ergebnisse der teilnehmenden Beobachtung einer regionalen Wetterberatung des Deutschen Wetterdienstes und zeigt, wie Mensch, Natur und Technik beim Vorhersageprozesses zusammenwirken. Ihre praxistheoretische Arbeit veranschaulicht, wie das Wetter nicht nur als natürliches Phänomen gefasst werden kann, sondern welche sozio-materiellen Praktiken darauf Einfluss haben, wie innerhalb einer Behörde Wetter gleichermaßen als Geflecht aus Symbolen, Formen, Farben, Text und Sprache erscheint.



Till Büser zeigt in seinem Beitrag *Kommunikation von Wetterwarnungen* (Kapitel 4) auf, dass die Fähigkeiten und Möglichkeiten, Wetterrisiken und –warnungen wahrzunehmen, richtig zu interpretieren und für Entscheidungen und Handlungen optimal nutzen zu können, innerhalb der Bevölkerung unterschiedlich stark ausgeprägt sind. Um im Falle drohender Extremwetter Entscheidungen zu treffen und Schutzmaßnahmen zu ergreifen, ist das Verständnis der Warninhalte von zentraler Bedeutung. Der Beitrag erläutert die Herausforderung, die besteht, Informationen über Wetterrisiken unter Berücksichtigung dieser heterogenen Bedarfe verständlich und möglichst frühzeitig an die Bevölkerung zu kommunizieren.

Der Beitrag *Unsicherheiten in Wettervorhersagen* (Kapitel 5) von *Nadine Fleischhut und Stefan M. Herzog* beschäftigt sich näher mit dem Thema Wahrscheinlichkeiten in der Kommunikation von Wettervorhersagen. Zwar bieten heutige Wettervorhersagen zuverlässige Wahrscheinlichkeitswerte für das Eintreffen von Ereignissen, diese Informationen werden den NutzerInnen jedoch immer noch nur selten mitgeteilt. In ihrem Beitrag präsentieren die AutorInnen die Ergebnisse einer quantitativen Online-Analyse der Präferenzen von Akteuren des Bevölkerungsschutzes unter operationellen Bedingungen. Sie zeigen auf, dass die AnwenderInnen Wahrscheinlichkeitsvorhersagen für eine Reihe von Entscheidungen nützlich finden und nutzen wollen.

Thomas Kox, Catharina Lüder und Clara Brune führen das Thema Bevölkerungsschutz in diesem Sammelband fort. In ihrem Beitrag *Wetterwarnungen im Bevölkerungsschutz* (Kapitel 6) präsentieren sie die Ergebnisse einer Beobachtung in einer Feuerwehrleitstelle. Die Ergebnisse ihrer Studie zeigen, dass Handlungen in diesen Situationen nicht zwangsläufig ein Resultat von Wetterwarnungen sind. Oftmals sind sie vielmehr eine Reaktion auf ein erhöhtes Einsatz- oder Notrufaufkommen. Die wetterbedingten Herausforderungen einer Feuerwehr liegen dabei in einem Spannungsfeld zwischen dem Erwartbaren und dem Unerwartbaren, zwischen der Antizipation von Ereignissen und deren Folgen und der Ad-hoc-Reaktion auf Auswirkungen.

Nico Becker präsentiert in seinem Beitrag *Analyse und Modellierung von Wetterauswirkungen* (Kapitel 7) drei Anwendungsbeispiele, wie mithilfe statistischer Methoden die Auswirkungen von Wetter quantifiziert werden können: die Modellierung von Sturmschäden an Wohngebäuden, die Analyse wetterbedingter Feuerwehreinsätze und die Auswertung wetterbedingter Unfälle im Straßenverkehr. Mithilfe dieser Daten werden sogenannte Wirk- oder Impaktmodelle entwickelt, die die Grundlage für risikobasierte Warnsysteme bilden können.



Den Abschluss dieser Publikation bildet ein Exkurs in die Ergebnisse der universitären Lehre. In dem Beitrag (Kapitel 8) beschäftigen sich *John Gubernath und Nadine Fleischut* mit der Frage *Wie wirksam sind wirkungsbasierte Wetterwarnungen?* Im Rahmen des Seminars *Interdisziplinäre Naturrisikoforschung* an der Freien Universität Berlin führte ein studentisches Team ein Online-Experiment zu wirkungsbasierten Warnungen vor Extremwetterereignissen durch. Ziel war es, zu untersuchen, ob die Formulierung der Warnung VersuchsteilnehmerInnen in einer hypothetischen Entscheidungssituation zu einer höheren Handlungswahrscheinlichkeit bewegen würde. Entgegen den Vermutungen führten die unterschiedlichen Formulierungen der Warnungen zu keinerlei Unterschieden. Vielmehr hing die durchschnittliche Handlungswahrscheinlichkeit von dem wahrgenommenen Risiko durch den Sturm für das Wohl der TeilnehmerInnen und ihren Familien ab. Dieser Zusammenhang wurde jedoch reduziert, wenn anstatt der meteorologischen Warnung die wirkungsbasierte hinzugenommen oder alleinig verwendet wurde.

Die vorgestellten Arbeiten wurden im Rahmen des HErZ durchgeführt. HErZ ist ein Forschungsnetzwerk von Universitäten, Forschungsinstituten und dem DWD und wird gefördert durch das BMVI.

In der Schriftenreihe Sicherheit werden Forschungsergebnisse, State-of-the-Art-Experten und Projektberichte veröffentlicht, die im Rahmen der Arbeit des Forschungsforums Öffentliche Sicherheit und der Arbeitsgruppe Interdisziplinäre Sicherheitsforschung unter Leitung von Prof. Dr. Lars Gerhold an der Freien Universität Berlin entstanden sind. Die Schriftenreihe ist kostenlos und frei verfügbar unter www.schriftenreihe-sicherheit.de.



2 Das Hans-Ertel-Zentrum für Wetterforschung und das Projekt WEXICOM

Martin Göber, Henning Rust, Tobias Pardowitz, Uwe Ulbrich

Zusammenfassung

Das Hans-Ertel-Zentrum für Wetterforschung hat das Ziel, Grundlagenforschung und Ausbildung in hochaktuellen, in Deutschland aber bisher unterrepräsentierten Forschungsgebieten der Wettervorhersage und des Klimamonitorings anzustoßen und zu intensivieren. Das Projekt WEXICOM beschäftigt sich in einem inter- und transdisziplinärem Ansatz unter Beteiligung der Meteorologie, den Sozial- und den Verhaltenswissenschaften sowie der Akteuren des Katastrophenschutzes und der Öffentlichkeit mit der Kommunikation der Unsicherheit in Wetterwarnungen. Das Ziel ist, eine transparente und effektive Kommunikation von Vorhersageunsicherheit und Wetterrisiken nutzergruppenspezifisch zu befördern, um Schäden und Verluste zu vermindern. Die Fragestellungen werden hierbei aus drei Blickrichtungen betrachtet: 1) Wie kann man die Auswirkungen von extremen Wetterereignissen quantifizieren? 2) Welche Kommunikationsformate fördern das Verständnis und helfen bei Entscheidungen? 3) Können NutzerInnen von Unsicherheits- und Wirkungsinformationen in Abhängigkeit von institutionellen und sozioökonomischen Bedingungen profitieren? Das Projekt hat Strukturen aufgebaut, die eine langfristige Fortführung der Forschung und Lehre über den geförderten Zeitraum 2011–2022 hinaus ermöglichen.

2.1 Das Hans-Ertel-Zentrum für Wetterforschung

Wetterdienst und akademische Forschung gemeinsam auf dem Wege zur Verbesserung der Wettervorhersage und des Klimamonitorings

Im Jahre 2006 stellte der wissenschaftliche Beirat des Deutschen Wetterdienstes (DWD) fest, dass die Vorhersagequalität des DWD hinter der Vorhersagequalität

Göber, M., Rust, H., Pardowitz, T. & Ulbrich, U. (2019). Das Hans-Ertel-Zentrum für Wetterforschung und das Projekt WEXICOM. In: Kox, T. & Gerhold, L. (Hrsg.) Wetterwarnungen: Von der Extremereignisinformation zu Kommunikation und Handlung. Beiträge aus dem Forschungsprojekt WEXICOM. Berlin: Forschungsforum Öffentliche Sicherheit, Freie Universität Berlin (Schriftenreihe Sicherheit, 25), S. 7–18.



der führenden europäischen nationalen Wetterdiensten zurückfiel (Simmer et al., 2016). Fehlende Grundlagenforschung im DWD und fehlende Forschung in für den DWD wichtigen Feldern an den Universitäten und Forschungseinrichtungen wurden als Hürden für eine Verbesserung der Lage angesehen. Der Beirat empfahl daraufhin ein gemeinsames Grundlagenforschungsprogramm von DWD und akademischer Forschung in den Bereichen Wettervorhersage und Klimamonitoring. Dies würde einem erheblichen Teil der deutschen Atmosphärenforschungsgemeinschaft erlauben, die Grundlagen- und Vorlauftforschung durchzuführen, die nicht vom DWD geleistet werden kann. Abbildung 1 zeigt, dass die Grundlagenforschung überwiegend an Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen stattfindet. Bei der Vorlauftforschung wird der DWD-Anteil größer, je näher die Methoden an der operationellen Anwendung sind. Die angewandte Forschung und Entwicklung finden fast ausschließlich innerhalb des DWD statt, damit der DWD nach Einführung der Ergebnisse in den operationellen Betrieb die unverzichtbare fachliche Verantwortung sicherstellen kann.

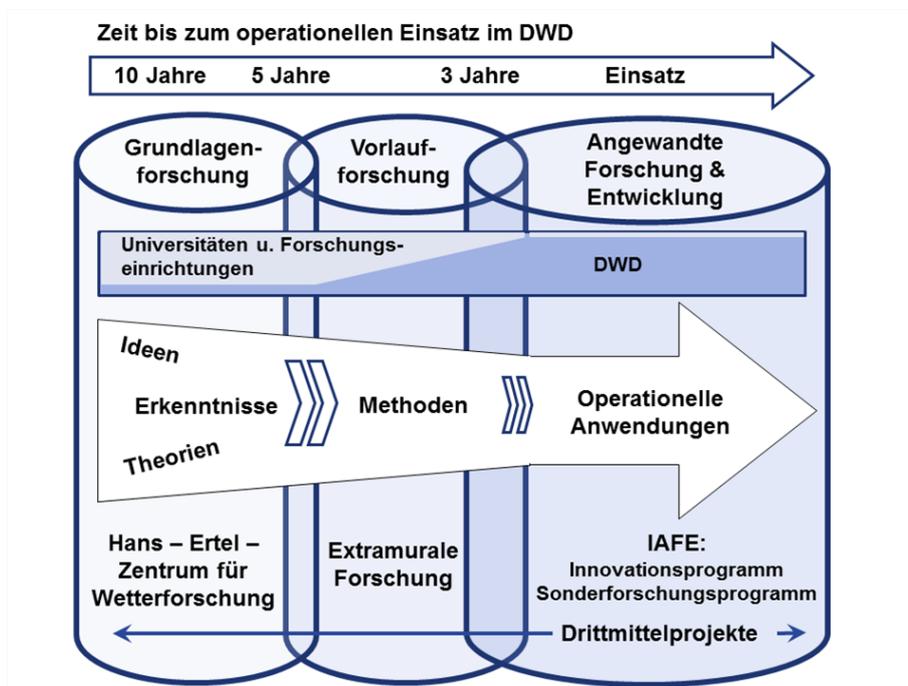


Abbildung 1: Einordnung des Hans-Ertel-Zentrums für Wetterforschung in die 3-Säulen-Strategie der Forschungs- und Entwicklungsplanung im DWD (Abbildung basiert auf Simmer et al., 2016, S. 1060).

Ein von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) finanziertes Rundgespräch brachte 2007 Vertreter der deutschen universitären und außeruniversitären Forschungseinrichtungen sowie leitende Mitarbeitende des DWD zusammen, die, aufbauend auf der Beschreibung der anstehenden Herausforderungen für Wettervorhersage und Kli-



mamonitoring, einen Forschungs- und Entwicklungsplan für das so benannte *Hans-Ertel-Zentrum für Wetterforschung* (HERZ¹) aufstellten. Da der DWD eine Bundesbehörde innerhalb des Bundesministeriums für Verkehr und Digitale Infrastruktur (BMVI, zuvor für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung) ist, war eine Finanzierung der Forschung in HERZ über die DFG oder durch das Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung (BMBF) nicht möglich. Gespräche zwischen den Ministerien eröffneten schließlich die Möglichkeit einer Finanzierung aus Mitteln ab dem Jahr 2009. Teil des Gesamtkonzepts war, nicht nur ein zeitlich begrenztes Forschungsprogramm durchzuführen, sondern von den Universitäten, die zudem eine Ausbildung in Meteorologie vorweisen mussten, auch Maßnahmen zum Aufbau *nachhaltiger Strukturen* in Forschung und Lehre zu fordern. Diese umfassten: eine Verankerung des jeweiligen Themenfeldes innerhalb von HerZ an der Universität; die Konsolidierung in der Lehre durch Etablierung neuer Lehrinhalte im Studienplan; die Forschergruppe musste nachweisen, dass sie in der Lage ist, in signifikantem Umfang weitere externe Fördermittel zu akquirieren; die Forschergruppen müssen untereinander und mit dem DWD kooperieren, um ein starkes und langlebiges Forschungsnetzwerk zu etablieren.

Nach einer offenen Ausschreibung begannen im Jahr 2011 die Arbeiten für die erste von drei Vierjahresphasen in den folgenden fünf Themenbereichen:²

- Atmosphärendynamik und Vorhersagbarkeit
- Datenassimilation
- Wettervorhersagemodellentwicklung
- Regionales Klimamonitoring
- Optimale Nutzung der Information von Wettervorhersage und Klimamonitoring zum Nutzen für die Gesellschaft

Resultate der ersten Phase sind in Weissmann et al. (2014) zusammengefasst. Die Finanzierung für die zweite Phase ab 2015 erfolgte nach erneuter offener Ausschreibung mit Anträgen existierender und neuer Gruppen und nach Begutachtung durch internationale ForscherInnen. Für die dritte Phase, die im Jahre 2019 begann, konnten sich die Projekte der zweiten Phase erneut bewerben, wofür sie ihre Exzellenz in Forschung und Lehre nachweisen sowie die Erfüllung der genannten Nachhaltig-

¹ Prof. Dr. Hans Ertel (1904–1971) war ein Pionier der Theorie meteorologischer und geophysikalischer Strömungen. Prof. Ertel lehrte an der Universität Innsbruck und an der Humboldt-Universität zu Berlin, war von 1951–1961 Vizepräsident der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin und gründete und leitete das Institut für Physikalische Hydrographie.

² https://www.dwd.de/DE/forschung/forschungsprogramme/herz/herz_node.html



keitsmaßnahmen darlegen mussten. Die Universität und der DWD stellen jeweils eine Person für die Leitung eines Themenbereichs. Die gemeinsame Leitung stellt sicher, dass die Forschung mit den Erfordernissen des DWD verbunden bleibt. Sie ermöglicht auch einen effizienten Zugang zu DWD-Daten, internen Informationen, Ansprechpartnern etc.

2.2 Das Projekt WEXICOM – Ein innovativer Ansatz für transdisziplinäre Forschung

2.2.1 Anforderungen und Stand der Wissenschaft

„If it doesn't hurt, it's not transdisciplinary!“

Prof. Dr. Jakob Rhyner (Vize-Rektor United Nations University) auf der Geo.X Konferenz in Berlin am 26. März 2015.

Transdisziplinarität

Die zunehmende Komplexität und Anfälligkeit von Verkehrs-, Produktions- und Infrastrukturnetzen lassen den Wert und die Bedeutung von Wettervorhersagen stark ansteigen. Dies betrifft einerseits Wetterereignisse mit großen Auswirkungen, die durch Anpassungs- und Reaktionsmaßnahmen vermieden oder zumindest gemindert werden müssen, andererseits aber auch Wirkung des *normalen* Wetters auf Verkehr (Luft-, Straßen-, Schienenverkehr, Seeschifffahrt), Energieversorgung, Kommunikationssysteme, Land- und Forstwirtschaft, Gesundheit und Tourismus. Die zunehmenden Möglichkeiten der Wettervorhersage sind gepaart mit einer ebenfalls starken Zunahme an verwertbaren Information(en) für die Gesellschaft. Im Vordergrund steht hier die Bemessung der Risiken sowie die Einschätzung des Minderungs- und Vermeidungspotenzials durch Anpassungsmaßnahmen und der Ausarbeitung von Reaktionsmaßnahmen durch die Betroffenen. Ohne eine dezidierte Analyse dieses Potenzials in Verbindung mit der Generierung dedizierter Produkte, unter Berücksichtigung der Portierbarkeit, der Transportwege und schließlich ihrer jeweiligen Akzeptanz durch die NutzerInnen, kann nur ein Bruchteil der generierten Information verwertet werden. Dies erfordert einen inter- und transdisziplinären Ansatz unter Berücksichtigung der Sozial- und Geisteswissenschaften, der betroffenen Institutionen und der gesellschaftlichen Akteure. Diese bislang in Deutschland kaum angedachte Komponente der nationalen Wettervorhersage wird aber als unabdingbar



für die effiziente und nutzbringende Einbindung der Wettervorhersage der Zukunft angesehen.

Unsicherheitsinformation

Wetterwarnungen werden mit dem Ziel herausgegeben, Menschenleben zu schützen und vermeidbare Schäden zu reduzieren. Es gibt jedoch einen Konflikt für die Umsetzung dieses Ziels aufgrund der begrenzten Ressourcen der Warnungsempfänger. Denn neben einem *zu wenig* an Vorsorgemaßnahmen gibt es auch ein *zu viel*. Um die Entscheidungsfindung zu verbessern, sollten Informationen über die Unsicherheit der Vorhersage in den Prozess der Entscheidungsfindung einfließen (vgl. Hirschberg et al., 2011). Warnungen werden jedoch meist deterministisch herausgegeben, als ob Auftreten und Intensität eines Ereignisses mit völliger Sicherheit vorhergesagt werden können. Dagegen haben Vorhersageprüfungen ergeben, dass Warnungen hohe Unsicherheiten aufweisen (Ebert et al., 2018).

Durch die Nutzung von Ensemblevorhersagen und durch statistische Nachbearbeitung konnten in den letzten Jahren zuverlässige³ Vorhersagen der Unsicherheit von Vorhersagen entwickelt werden. Zudem gibt es sowohl theoretische als auch operationelle Argumente für die Herausgabe probabilistischer Information⁴ Trotz dieser beiden Argumente gibt es bisher kaum Informationen über die Vorhersageunsicherheit in Wetterwarnungen. Dies ist verschiedenen Hindernissen geschuldet: Sowohl formelle wie auch informelle Regeln führen zu einer Bevorzugung deterministischer Warnungen in der Praxis. Schwierigkeiten im Verständnis durch die NutzerInnen und begrenztes Wissen, wie man Informationen über Unsicherheit nutzen kann, kommen hinzu (siehe Fischhoff, Brewer & Downs, 2011). In der Medizin oder in der Rechtsprechung existieren ähnliche Fragestellungen (siehe Gigerenzer, 2013). Die Wettervorhersage steht also nicht allein mit dem Problem der Entscheidungen unter Unsicherheit.

³ Unter *zuverlässig* versteht man für Wahrscheinlichkeitsvorhersagen die Übereinstimmung der vorhergesagten Wahrscheinlichkeit mit der beobachteten relativen Häufigkeit. Beispielsweise sollte für Situationen, für die eine 30 % Wahrscheinlichkeitsvorhersage gemacht wurde, das Ereignis dann in 30 % der Fälle eintreten.

⁴ Siehe dazu auch die Diskussion im Beitrag von *Nadine Fleischhut und Stefan M. Herzog* in Kapitel 5.2 dieses Sammelbandes.



Auswirkungen und Risiken

Letztlich ist aber für die Notwendigkeit von Vorsorge- und Hilfsmaßnahmen nicht das Wetter entscheidend, sondern seine Auswirkungen. Klassische meteorologische Vorhersagen enthalten darüber keine explizite Information. Insbesondere ungeübte NutzerInnen haben oft wenig Erfahrung bezüglich potenzieller Auswirkungen des Wetters. Die Art und Weise, wie Individuen oder soziale Gruppen Warnungen wahrnehmen, interpretieren und in Handlungen umsetzen, hängt von ihren Erfahrungen, Bedürfnissen, Mitteln, Werten und kulturellen Normen ab (Voss & Lorenz, 2016). Der britische Wetterdienst gibt seit einigen Jahren eine Kombination aus vorhergesagter Wahrscheinlichkeit und erwarteten Auswirkungen (*risikobasierte Warnungen*) mit der Erwartung heraus, dass sie die Wahrnehmung von Wetterwarnungen verbessern, da diese Information näher an den durch die NutzerInnen zu treffenden Entscheidungen ist (Neal, Boyle, Grahame, Mylne & Sharpe, 2014). Ein vergleichbarer Ansatz existiert in Deutschland noch nicht. Bei einer Einführung müsste aber zum Beispiel vermieden werden, dass aufgrund der geringeren Dichte exponierter Werte eine Unterschätzung der Risiken in ländlichen Bereichen erfolgt. So müssen Kriterien entwickelt und getestet werden, anhand derer risikobasierte Warnungen optimal implementiert werden können. Genau hier setzt das Projekt WEXICOM an.

2.2.2 Projektaufbau

Aus dem vorgestellten Stand der Anforderungen und der Wissenschaft zur Kommunikation der Unsicherheit in Wetterwarnungen wurde WEXICOM als transdisziplinäres Projekt konzipiert. Natur-, Sozial- und Verhaltenswissenschaften sowie die betroffenen Akteure aus dem Katastrophenschutz, der Öffentlichkeit und des DWD wurden einbezogen (Abbildung 2). Der Fokus der ersten Förderphase lag auf dem Raum Berlin. In der zweiten Förderphase wurde der Bezugsrahmen auf weitere Regionen in Deutschland erweitert. Das Hauptziel ist, das Potenzial von Informationen über Unsicherheiten der Vorhersage sowie risikobasierten Wetterwarnungen für die Entscheidungsfindung von Einrichtungen des Katastrophenschutzes und der Öffentlichkeit zu bestimmen. Im *Institut für Meteorologie* werden verschiedene Methoden der Modellierung von Wetterauswirkungen angewandt und systematisiert. Die *Arbeitsgruppe Interdisziplinäre Sicherheitsforschung* befasst sich mit der Wahrnehmung, Kommunikation und Nutzung von Wetterwarnungen im Katastrophenschutz und in der Bevölkerung. Seit der zweiten Förderphase von HERZ unterstützen das *Max-Planck-Institut für Bildungsforschung* (MPIB) und die *Katastrophenforschungsstelle* (KFS) das Projekt. Im MPIB werden Wege zur Kommunikation



**FU Institut für Meteorologie
Dt. Komitee Kat. Vorsorge**
Prof. Uwe Ulbrich

**FU AG Interdisziplinäre
Sicherheitsforschung**
Prof. Lars Gerhold

**MPI
Bildungsforschung**
Prof. Ralph Hertwig



**FU Katastrophen-
forschungsstelle**
Prof. Martin Voss

**Wetterdienst
Institutionelle Nutzer
Öffentlichkeit**



Abbildung 2: Schematische Darstellung des Projektes seit der zweiten Förderphase. Wissenschaftliche Sichtweisen auf Unsicherheit, beteiligte Universitäts- und Forschungseinrichtungen mit ihren Projektleitern, beteiligte Akteure des Katastrophenschutzes und der Öffentlichkeit.

probabilistischer Warnungsinformation entwickelt. Anhand des Katastrophenschutzes wird untersucht, welche Darstellungen das Verständnis und die Nutzung dieser Information unterstützen. Die KFS entwickelt Indikatoren für die Wahrnehmung und Nutzung von Wetterinformationen im Alltag durch verschiedene Gruppen der Bevölkerung, die sich durch ihre Interessen, Bedürfnisse und medialen Gewohnheiten unterscheiden. Die verschiedenen Arbeitsbereiche entwickeln zusammen evidenzbasierte Vorschläge und Empfehlungen für die Kommunikation und Nutzung probabilistischer und risikobasierter Wetterwarnungen für den Katastrophenschutz und die Öffentlichkeit, um wetterbedingte Verluste und Schäden zu verringern.

2.3 Lehre und Fortbildung

Langfristig können neue Erkenntnisse nur gewonnen und etabliert werden, wenn neue Generationen von WissenschaftlerInnen und AnwenderInnen entsprechend aus- und fortgebildet werden. Deshalb ist es auch Aufgabe von WEXICOM, Wissen und neue Erkenntnisse in der Lehre zu etablieren. Dabei stellte sich heraus, dass trotz der stark disziplinär ausgerichteten universitären Strukturen interdisziplinäre Forschung mög-



lich ist und gefördert wird, interdisziplinäre Lehre hingegen etliche formale Hürden nehmen muss.

Basierend zum einen auf den Erfahrungen aus der Forschung in WEXICOM und zum anderen auf der vorhandenen Expertise der Projektbeteiligten wurde das neue Modul *Interdisziplinäre Naturrisikoforschung* im Masterstudiengang Meteorologie entwickelt. Einige der dort behandelten Fragestellungen sind:

- Was sind Katastrophen?
- Wie gut sind sie vorhersagbar?
- Warum fürchten wir die falschen Dinge?
- Wie verwundbar sind Gesellschaften und wie können sie sich regenerieren?
- Wie werden Entscheidungen unter Unsicherheiten getroffen?
- Wie können Auswirkungen quantitativ modelliert werden?
- Wie kann man Risiken verständlich kommunizieren?
- Welche Auswirkungen haben technologische Warnsysteme auf die Sicherheitskultur?
- Wie können Warnungen einen größeren Effekt haben?

Diese Fragen werden aus der Perspektive verschiedener Natur-, Sozial-, und Verhaltenswissenschaften beleuchtet. Zu deren Untersuchung werden Konzepte (z.B. *Risiko, Vulnerabilität, Resilienz, . . .*) und Methoden (z.B. *empirische Sozialforschung, Impaktmodellierung, Vorhersageverifikation, . . .*) vermittelt, mögliche Antworten präsentiert und diskutiert. Ziele sind, dass die Studierenden die Möglichkeiten und Grenzen der verfügbaren wissenschaftlichen Methoden einschätzen können. Sie sollen in der Lage sein, im Rahmen der Veranstaltung eingeführte Konzepte zur Bearbeitung einer Projektaufgabe anzuwenden, Untersuchungen fachgerecht durchzuführen, sowie die Resultate hinsichtlich ihrer Aussagekraft einzuschätzen und zu interpretieren.⁵ Sie können in einem Umfeld von Geowissenschaften, Sozial- und Verhaltenswissenschaften interdisziplinär kommunizieren und arbeiten. Das Modul, bestehend aus Vorlesung, Seminar/Übung und Projektarbeit (insgesamt 6 Leistungspunkte, entsprechend 180 Arbeitsstunden der Studierenden), richtet sich vorrangig an Studentinnen und Studenten der Studiengänge Meteorologie, Geographie, Kommunikationswissenschaft, Sozial- und Kulturanthropologie, Informatik und Psychologie. Die Anrechenbarkeit des Moduls für den eigenen Studiengang ist dabei nicht nur für die

⁵ Siehe den Beitrag von *John Gubernath und Nadine Fleischhut* in Kapitel 8 dieses Sammelbandes.



Meteorologie gegeben, sondern auch in den Studiengängen, in denen frei wählbare Module vorgesehen sind.

WEXICOM leistet darüber hinaus Beiträge zu verschiedenen Modulen der beteiligten Institutionen, z. B. in den Modulen *Wettervorhersage*, *Meteorologische Extremereignisse*, *Statistik*, *Einführung in die empirische Sozialforschung* und *Kommunikation und Verhalten in Krisen und Katastrophen*. In den ersten zwei Phasen des Projektes betreuten die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter etwa zwei Dutzend Bachelor-, Master- und Diplomarbeiten sowie zwei Promotionen.

WEXICOM beteiligt sich auch an der Weiterbildung. Im Rahmen des jährlichen *International Summer Institute on Bounded Rationality* des MPIB wurde mehrmals über *How to communicate risk and uncertainty in weather hazards?* gelehrt. Für DWD-Schulungen der Feuerwehren wurde Lehrmaterial erstellt. Zudem organisierten die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter von WEXICOM den *7. Internationalen Workshop über Vorhersageverifikationsmethoden* der Weltorganisation für Meteorologie.⁶ Hierbei wurden zunächst in einem 4-tägigen Tutorium Studierende hauptsächlich von Wetterdiensten aus Entwicklungsländern in die Methoden der Vorhersageverifikation eingeführt. Anschließend fand eine wissenschaftliche Konferenz zu den neuesten Entwicklungen und Anwendungen der Vorhersageverifikation mit über 100 Teilnehmern aus aller Welt statt. Erstmals wurde in diesem Rahmen auch ein Wettbewerb für die *Beste nutzerorientierte Verifikationsmethode* durchgeführt (siehe Ebert et al., 2018).

2.4 Stand und Zukunft

Die externe Evaluation des Hans-Ertel-Zentrums für Wetterforschung nach den ersten beiden Förderphasen hat in 2018 belegt, dass die Sichtbarkeit der deutschen Forschung zu Wettervorhersage und Klimamonitoring erhöht werden konnte. Zahlreiche Publikationen, Tagungspräsentationen und die Mitarbeit in internationalen Arbeitsgruppen zeigen die vielfältigen Aktivitäten. Das langfristige Ziel des Aufbaus nachhaltiger Forschungs- und Ausbildungsstrukturen, die in engem Austausch mit dem DWD und der nationalen und internationalen Forschungsgemeinschaft stehen, ist auf einem guten Weg. Die Erkenntnisse und ausgearbeiteten Methoden der HErZ-Grundlagenforschung finden bereits Eingang in die Entwicklung von Anwendungen bis hin zu ihrer operationellen Nutzung für eine verbesserte Wettervorhersage und ein besseres Klimamonitoring.

⁶ www.7thverificationworkshop.de/



Auch der HErZ-Themenbereich *Optimale Nutzung der Information von Wettervorhersage und Klimamonitoring zum Nutzen für die Gesellschaft* ist etabliert und *vers-tetigt* und einige Erkenntnisse der Forschung von WEXICOM haben erste praktische Umsetzung gefunden:

- Univ.-Prof. Dr. Henning Rust hat die Leitung des Themenbereichs auf einer permanenten Stelle übernommen, wodurch die Verankerung des Themas an der Universität langfristig gesichert ist.
- Neue Lehrinhalte sind im Studienplan der Meteorologie an der Freien Universität Berlin etabliert.
- WEXICOM hat mit den anderen HErZ-Themenbereichen und dem DWD ein starkes und langlebiges Forschungsnetzwerk aufgebaut (siehe Simmer et al., 2016; Weissmann et al., 2014).
- Die Forschungsergebnisse haben zu einer Vereinfachung und Standardisierung der benutzten Begriffe zur Charakterisierung der Vorhersageunsicherheit im sogenannten *Regionalen Warnlagebericht* des DWD geführt (Pardowitz, Kox, Göber & Bütow, 2015).
- Die Projektarbeit lieferte wichtige Beiträge zu Weiterentwicklung der Warnstrategie des DWD (Kox, Kempf, Lüder, Hagedorn & Gerhold, 2018).
- WEXICOM implementierte eine präoperationelle Umgebung zum Testen der Nutzung probabilistischer Vorhersageinformation im Feuerwehr-Wetter-Informationssystem (Fundel, Fleischhut, Herzog, Göber & Hagedorn, 2019).

Nach dem oben beschriebenen Antragsprozess hat WEXICOM erfolgreich die Finanzierung für die dritte Phase des Projektes von 2019–2022 erhalten mit einer ähnlichen Struktur wie in der zweiten Phase (siehe Abbildung 2). Die generelle Ausrichtung des Projektes bleibt somit erhalten. Bei der Modellierung der Wetterauswirkungen werden nun eine Vielzahl sozioökonomischer Indikatoren für die Verletzlichkeit und die Exposition einbezogen. Für die Kommunikation der Wetterauswirkungen an Experten, Akteure und die Öffentlichkeit werden Darstellungen entwickelt, die auf der Forschung zur Risikokommunikation basieren. Ein weiterer Fokus hierbei ist die Untersuchung, wie sich der Kompromiss zwischen der Vorlaufzeit und der Genauigkeit der Warnungen bei den NutzerInnen gestaltet. Ein drittes Schlüsselement des Ansatzes bleibt die Untersuchung der Nutzung der Wetterinformation durch professionelle NutzerInnen und die Öffentlichkeit. Eine fundamentale Frage dabei ist, wie sich die Abläufe und Handlungen ändern, wenn sie sich von der Reaktion auf Wetterereignisse hin zur Vorbereitung auf Auswirkungen verlagern. Ein weiteres Augenmerk hierbei liegt auf der Wahrnehmung und Nutzung der Wetterinformation



durch die Öffentlichkeit in ihren täglichen Routinen. Das Aufdecken soziokultureller Muster des Umgangs mit Wetterrisiken ist ein Schlüssel, um zielgerichtet besonders verletzbare oder risikofreudige Gruppen anzusprechen.

Schließlich wird sich WEXICOM an einer HErZ-Messkampagne zum besseren Verständnis von Gewitterauslösung und -böen in Lindenberg, südöstlich von Berlin beteiligen. In diesem Rahmen soll ein *Bürgermessnetz* basierend auf Technologien *des Internets der Dinge* aufgebaut werden. Dieses Netzwerk liefert Daten zur Unterstützung der Messkampagne und soll durch die Beteiligung von Bürgerinnen und Bürgern deren Interesse an und Kompetenz im Umgang mit Wetterrisiken untersuchen. Nach Abschluss der vom DWD finanzierten Phasen wird der Themenbereich basierend auf den genannten Maßnahmen langfristig fortgeführt.

Danksagung

Der Erfolg von HErZ und WEXICOM ist nicht möglich ohne das Engagement und Wissen einer Vielzahl von Beteiligten. Wir danken dem BMVI und den Mitgliedern des wissenschaftlichen Beirats des DWD für die Unterstützung bei der Gründung und bei der Steuerung von HErZ. Im Besonderen geht der Dank an die Initiatoren Prof. Clemens Simmer und Prof. Gerhard Adrian. Den Mitgliedern des Programmrates von HErZ und den internationalen GutachterInnen sei gedankt für ihren Rat und die Unterstützung. Wir danken den mit der Forschungsförderung beteiligten Verwaltungen im DWD, an der Freien Universität Berlin, beim MPIIB und dem Deutschen Komitee Katastrophenvorsorge e. V. Wir danken zudem Dr. Gregor Leckebusch und Dr. Sebastien Nobert für die Initiative und ihre Beiträge für den Antrag für Phase I von WEXICOM, den ehemaligen Mitarbeitern Dr. Thorsten Ulbrich (Themenbereichsleiter in Phase I), Tobias Heisterkamp und Horst Uwe Ulbrich. Die enge Zusammenarbeit mit den MitarbeiterInnen der Referate Produktentwicklung und Kundenkommunikation sowie Planung und Koordinierung (FEPK) des DWD ist besonders hilfreich. Wir danken den MitarbeiterInnen der Feuerwehren Berlin, Dortmund, Cottbus und Bonn und vielen anderen aus dem Katastrophenschutz für ihre Unterstützung und Bereitschaft zur Teilnahme an Interviews, Umfragen und Beobachtungen ihrer Tätigkeiten sowie Jörg van Hoorn für die Programmierung von FeWIS-Pro. Der Regionalen Wetterberatung Potsdam, den KollegInnen in HErZ und bei nationalen und internationalen Partnern (z. B. bei High Impact Weather der WMO), unseren studentischen MitarbeiterInnen und den Beratern der ersten Phase Albrecht Broemme, Prof. Gerd Tetzlaff und Axel Dechamps möchten wir ebenfalls Dank aussprechen.



Literatur

- Ebert, E., Brown, B., Göber, M., Haiden, T., Mittermaier, M., Nurmi, P., ... Schuster, D. (2018). The WMO Challenge to Develop and Demonstrate the Best New User-Oriented Forecast Verification Metric. *Meteorologische Zeitschrift*, 27 (6), 435-440.
- Fischhoff, B., Brewer, N. T. & Downs, J. S. (2011). *Communicating risks and benefits: An evidence-based user's guide*. Food and Drug Administration (FDA) US Department of Health and Human Services. Zugriff auf <http://www.fda.gov/ScienceResearch/SpecialTopics/RiskCommunication>
- Fundel, V., Fleischhut, N., Herzog, S. M., Göber, M. & Hagedorn, R. (2019). Promoting the use of probabilistic weather forecasts through a dialogue between scientists, developers, and end-users. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*.
- Gigerenzer, G. (2013). *Risiko: Wie man die richtigen Entscheidungen trifft*. C. Bertelsmann Verlag.
- Hirschberg, P. A., Abrams, E., Bleistein, A., Bua, W., Delle Monache, L., Dulong, T. W., ... Stuart, N. (2011). A weather and climate enterprise strategic implementation plan for generating and communicating forecast uncertainty information. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92 (12), 1651–1666.
- Kox, T., Kempf, H., Lüder, C., Hagedorn, R. & Gerhold, L. (2018). Towards user-orientated weather warnings. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 30 (Part A), 74–80.
- Neal, R. A., Boyle, P., Grahame, N., Mylne, K. & Sharpe, M. (2014). Ensemble based first guess support towards a risk-based severe weather warning service. *Meteorological Applications*, 21 (3), 563–577.
- Pardowitz, T., Kox, T., Göber, M. & Bütow, A. (2015). Human estimates of warning uncertainty: numerical and verbal descriptions. *Mausam*, 66 (3), 625–634.
- Simmer, C., Adrian, G., Jones, S., Wirth, V., Göber, M., Hohenegger, C., ... Weingärtner, C. (2016). HERZ: The German Hans-Ertel Centre for Weather Research. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 97 (6), 1057–1068.
- Voss, M. & Lorenz, D. (2016). Sociological foundations of crisis communication. In A. Schwarz, M. W. Seeger & C. Auer (Hrsg.), *The Handbook of International Crisis Communication Research* (S. 45–55).
- Weissmann, M., Göber, M., Hohenegger, C., Janjic, T., Keller, J., Ohlwein, C., ... Deneke, H. (2014). Initial phase of the Hans-Ertel Centre for Weather Research – a virtual centre at the interface of basic and applied weather and climate research. *Meteorologische Zeitschrift*, 23 (3), 193–208.



3 Wetter als technisch vermittelter Wissensprozess

Catharina Lüder

Zusammenfassung

Zur Erstellung von Wettervorhersagen und -warnungen greifen Mensch, Natur und Technik ineinander und eine wissenschaftliche Analyse zur Verbesserung des Vorhersageprozesses muss das Zusammenspiel dieser Dimensionen berücksichtigen. Für diese Analyse wird ein praxistheoretischer Zugang vorgeschlagen, mit dessen Hilfe vier Wetterpraktiken aus ethnographisch gewonnenen Daten herausgearbeitet werden. An diesen wird gezeigt, wie das Wetter nicht nur als natürliches Phänomen gefasst werden kann, sondern welche sozio-materiellen Praktiken darauf Einfluss haben, wie in der alltäglichen Arbeit einer behördlichen Wetterberatung das Wetter gleichermaßen als Geflecht aus Symbolen, Formen, Farben, Text und Sprache erscheint. Dabei wird ebenso darauf eingegangen, wie unterschiedliche Wissensformen die Wetterpraktiken prägen. So kann aufgezeigt werden, an welchen Schnittstellen individuelles und kollektives Wissen zusammenkommt und wie so in Kommunikationsprozessen aus dem Wetter ein Risiko abgeleitet wird, vor dem gewarnt werden muss.

3.1 Einleitung – Wetter, Gesellschaft, Katastrophenschutz

Wetter ist ein Phänomen mit vielen Dimensionen. Es ist natürlich, alltäglich, vielschichtig und einflussreich. Natur und Gesellschaft sind seit jeher eng verflochten (Hannig, 2015). So führen der menschliche Einfluss auf die Erde (z. B. durch Technik) und die Auswirkungen von natürlichen Prozessen wie Wetter zu einer Verflechtung von Natur und Gesellschaft. Kommt es zu extremen Wetterereignissen wie Dürren, Stürmen, Starkregen oder Ähnlichem, wird Wetter von der Gesellschaft als Gefahr interpretiert. Der Umgang mit dieser ist abhängig davon, welche Ordnungen

Lüder, C. (2019). Wetter als technisch vermittelter Wissensprozess. In: Kox, T. & Gerhold, L. (Hrsg.) Wetterwarnungen: Von der Extremereignisinformation zu Kommunikation und Handlung. Beiträge aus dem Forschungsprojekt WEXICOM. Berlin: Forschungsforum Öffentliche Sicherheit, Freie Universität Berlin (Schriftenreihe Sicherheit, 25), S. 19–41.

Der Beitrag basiert auf einer Masterarbeit, die von der Autorin im Jahr 2017 im Studiengang Europäische Ethnologie an der Humboldt-Universität zu Berlin vorgelegt wurde.



in einer Gesellschaft den Zusammenhalt herstellen. Diese sind historisch gewachsen und wandelbar (Douglas, 2002[1966], S. 95). Folglich macht es Sinn und erscheint sogar notwendig, kommende Ereignisse abzuschätzen und sich darauf einzustellen (Lengwiler & Beck, 2008). In Mitteleuropa sind es häufig Wetterereignisse, die zu Schäden führen. Wetter stellt also oft eine Gefahr dar. Mit der Entscheidung wovon, geschützt werden soll, wird eine Naturgefahr - wie das Wetter - zu einem Risiko. Die Gefahr erscheint nicht beeinflussbar, während das Risiko Resultat einer Entscheidung ist (Luhmann, 1991, S. 16)⁷, z. B. darüber, welche Schutzmaßnahmen ergriffen werden. In Gesellschaften, die sich stark über den Staat definieren, werden solche gesellschaftlichen Entscheidungen an Behörden delegiert. Die Einrichtung von Katastrophenschutzinstitutionen spiegelt die Annahme wider, zukünftige Prozesse seien grundsätzlich gestaltbar und Risiken handhabbar (Hannig, 2015). KatastrophenschutzlerInnen erhalten einen gesamtgesellschaftlichen Auftrag, den sie aber letztendlich nicht ohne die Kooperation mit wissenschaftlichen ExpertInnen erfüllen können. Gleichzeitig beeinflussen unterschiedliche Risikowahrnehmungen die Einschätzung, gegen welche Ereignisse man einen gesellschaftlichen Schutzaufwand betreiben will (Boholm & Corvellec, 2011; Felgentreff & Glade, 2008).

In Deutschland ist der Katastrophenschutz institutionalisiert, das bedeutet, an ExpertInnen abgegeben. Die Betrauung von ExpertInnen mit der Ausgestaltung und Ausübung von Schutzfunktionen jeglicher Art kann in einen breiteren sozialtheoretischen Kontext eingeordnet werden: In Zusammenhang mit der Entwicklung moderner Gesellschaften nehmen ExpertInnen eine besondere Stellung ein, da gesellschaftliche Entwicklungen in ihrer Geschwindigkeit und Komplexität nicht mehr in Gänze von jedem und jeder erfasst werden können (Giddens, 1993, S. 447). Groß (2003, S. 42) spricht in diesem Zusammenhang von der *„importance of expert knowledge as a structuring component in social relations and organization.“*

Wettervorhersage ist eine von vielen Herausforderungen, vor denen der Katastrophenschutz steht, insbesondere der Deutsche Wetterdienst (DWD), die in Deutschland für amtliche Wetterwarnungen verantwortliche Bundesbehörde. Grundlage für die Notwendigkeit von Warnungen vor Wetter ist einerseits, dass Wetter als potenzielle Gefahr angesehen wird, und weiterhin, dass ein bestimmtes ExpertInnenwissen als Voraussetzung angenommen wird, um das Gefahrenpotenzial des komplexen Wettersystems einzuschätzen. Die ExpertInnen sind die Mitarbeitenden des DWD,

⁷ Luhmann trägt mit dieser Aussage dem Umstand Rechnung, dass in der technisierten Gesellschaft nichts einfach so passiert, sondern man vor allem mit Konsequenzen von Entscheidungen umgehen muss. Als Beispiel nennt er den Regenschirm: Seit dessen Erfindung gibt es keine Gefahr mehr, nass zu werden, sondern jede/r muss täglich die Entscheidung treffen, einen Schirm mitzunehmen oder nicht. Nass zu werden wird damit zum Teil einer Entscheidung und so zu einem Risiko.



die dazu technische Hilfsmittel verwenden, die vielfach computergestützt sind. Für den Schutz vor Wetterereignissen spielen Wettervorhersagen und -warnungen eine wichtige Rolle. Sowohl Einsatzkräfte als auch die Bevölkerung verwenden sie, um Informationen über das Wetter in näherer (ein paar Stunden) und fernerer (ein paar Tage) Zukunft zu erhalten.

In diesem Beitrag wird diskutiert, wie innerhalb einer Katastrophenschutzbehörde, dem DWD, in alltäglichen Arbeitspraktiken das Wetter als Risiko gefasst wird. Es wird dargelegt, wie dabei Technik, Menschen und Natur zusammenspielen. Die empirischen Daten basieren auf einer mehrwöchigen ethnographischen Forschung in einer der sechs Regionalen Wetterberatungen (RWB) des DWD. In den RWBn werden sowohl die Vorhersagen als auch die Wetterwarnungen erstellt.

3.2 Theorie und Forschungsstand: Verbindung von Natur und Sozialität

Die theoretische Grundannahme hier ist, dass Soziales und Materielles (hierzu zählt auch die belebte wie die unbelebte Natur) nicht getrennt voneinander analysiert werden können. Diese These vertreten Praxistheorien. Unter Praxistheorien fasst man verschiedene Theorieansätze in den Sozialwissenschaften, die sich seit etwa 50 Jahren entwickeln und derzeit an Schwung gewinnen. Die gemeinsame Grundannahme ist, dass eine analytische Trennung von sozialen und materiellen Phänomenen nicht sinnvoll ist, um gesellschaftliche Probleme zu lösen. Ihr Argument ist, dass jedes Phänomen, an dem Menschen beteiligt sind, mehrere Dimensionen in sich vereint. Die Trennung von natürlichen oder technischen Dingen und menschlichen Akteuren, wie sie sich seit der Aufklärung in den Wissenschaften etabliert hatte, ist nach Ansicht von Praxistheorien nicht haltbar. Man lenkt den Blick daher eher auf Entstehungsprozesse von Wissen. Praxistheoretisch gesehen kann wissenschaftlich produziertes Wissen nicht (mehr) als objektivistisch beschrieben werden, sondern als Produkt spezifischer sozio-materieller Entstehungsbedingungen (Sørensen, 2012). In der praxistheoretisch orientierten Forschung werden Dinge, Artefakte oder Materialitäten, Körper, Sinn und Ereignisse in ihrer gegenseitigen Konstitution nachvollzogen (Hillebrandt, 2014). Praktiken als Analyseeinheit sind dabei nicht rein lokal zu verorten, sondern können sich über verschiedene Orte hinweg verknüpfen. Die Entstehungsbedingungen von Wissen in solchen Praktiken sind entsprechend kontextspezifisch (Schilcher, 2006).



3.2.1 Praxistheoretische Perspektiven auf Wissen, Natur und Technik

Wissen kann in zwei Kategorien eingeordnet werden: *knowledge* (Substantiv, im weitesten Sinne also eher faktenorientiert) und *knowing* (Verbform, also eher prozesshaft). Barth (2002) identifiziert drei miteinander vernetzte Aspekte des prozesshaften Wissensbegriffs, der hier zentral gestellt wird: (i) ein Korpus stichhaltiger Aussagen und Ansichten über die Welt, mittels denen Menschen einordnen, welches Wissen anderer sie als glaubhaft ansehen; (ii) ein Kommunikationsmedium, welches als Instanz etabliert auf verschiedene Weise durch Worte, Gesten, konkrete Symbole oder Handlungen als Abfolge von Repräsentationen kommuniziert werden muss und (iii) eine soziale Organisation, innerhalb derer es in eine Bandbreite an sozialen Beziehungen einfließt.

Wissen jeglicher Art wird als eingebettet in alltägliche Praktiken verstanden, was eine Fokussierung auf die Entstehungsprozesse dieser Praktiken erlaubt (Niewöhner, Sørensen & Beck, 2012). Wenn Wissen nicht in Personen zu verorten ist, sondern in Interaktionen und Praktiken, wird es beobachtbar. Damit wird eine ethnographische Beschäftigung mit Wissen möglich. Es wird anhand von konkreten Interaktionen im Alltag erforscht, wie spezifische Arten zu wissen entstehen und welche menschlichen und nicht-menschlichen Akteure dabei Einfluss nehmen. Im Kontext von Organisationen wird organisationelles Wissen als eine Form sozialer Expertise gesehen (Nicolini, Gherardi & Yanow, 2003, S. 3), die eingebettet ist in einen dynamischen historischen, sozialen und kulturellen Kontext. In Bezug auf Risiko ist diese Expertise entscheidend, denn Organisationen kreieren ein spezifisches Wissen über die Umwelt, welches dann als *Fakt* in Entscheidungsprozesse Eingang findet (Jasanoff, 1999, S. 139). Weiterhin formen Organisationen das in ihnen hergestellte Wissen über die Bereitstellung von Strukturen, die die Praktiken ihrer Mitglieder beeinflussen (Douglas, 2001).

In Wettervorhersagen, um die es hier geht, spitzt sich ein spezifischer, auf die Zukunft ausgerichteter (und damit Unsicherheit einbeziehender) und durch Technik gestützter Wissensprozess zu (Kox, Lüder & Gerhold, 2018, S. 117-118). Die Wetterwarnung als spezielle Form der Wettervorhersage ist in diesem Zusammenhang dementsprechend ebenfalls als dynamischer Prozess zu sehen, der durch ein Wechselspiel von Natur, Sozialem und Technik entsteht, welches in Alltagspraktiken eingebettet ist (Créton-Cazanave & Lutoff, 2013, S. 1470).



3.2.2 Zusammenhang zwischen Wissen und Risiko

Innerhalb von Organisationen entsteht also Wissen durch Praktiken, die die Konstruktion von Risiken beeinflussen. Während naturwissenschaftliche Risikokonzepte von einer grundsätzlichen Berechenbarkeit von Risiken ausgehen, konzentrieren sich sozialwissenschaftliche Konzepte auf soziale und kulturelle Verflechtungen von Risiken. Erstere kommen vorrangig dann zur Anwendung, wenn es darum geht quantitative Aussagen zu generieren, beispielsweise um Schutzmaßnahmen (Deiche, Rückstauklappen etc.) gegeneinander abzuwägen. Ein Vorteil dieser Sichtweise ist, dass sie unterschiedliche Risiken vergleichbar macht. Nachteile sind ihre Unterkomplexität und das Außerachtlassen von sozialen Aspekten.

Sozialwissenschaftliche Risikokonzepte bewegen sich auf verschiedenen Ebenen. Sie verorten Risiko einmal als gesellschaftliche Grundeinstellung. Hier werden Risiken als allgegenwärtig konzeptualisiert, denn im Zuge der zunehmenden Technisierung von Gesellschaften würden Risiken als Nebenfolgen von Technik von der Gesellschaft selbst produziert (Beck, 1986). Weiterhin haben die Risikosoziologie und -anthropologie verschiedene Dimensionen von Risiken herausgearbeitet: Einmal geht es um Kausalität (Boholm & Corvellec, 2011; Jasanoff, 1999) sowie um Gefahr, Konsequenzen und Werte (Aven & Renn, 2009). Des Weiteren ist die Kategorisierung von Risiken abhängig von sozialen Prozessen und Symbolsystemen (Douglas & Wildavsky, 1983) und um Risiken überhaupt als solche zu erkennen, braucht es einen Beobachter oder eine Beobachterin (Boholm & Corvellec, 2011). In Bezug auf Gefahr soll angemerkt sein, dass in der Naturrisikoforschung u. a. von einer potenziellen Gefahr allein durch die Natur ausgegangen wird, diese Grundlage aber dahingehend kritisiert wird, dass sie schwer operationalisierbar ist und zugleich die komplexen Interaktionen zwischen Menschen und Umwelt außer Acht lässt (Felgentreff & Dombrowsky, 2008). Risiko ist ein vieldimensionaler Prozess. Eine Beschreibung der prozessualen Risikogenese aus praxistheoretischer Sicht erlaubt dagegen die Analyse der alltäglichen kontingenten Produktionsbedingungen von Risiken. Risiko kann somit als Wissensprozess konzeptualisiert werden, der in den Alltag eingebunden ist, durch Artefakte vermittelt und in Praktiken ständig verhandelt und reproduziert wird (Gherardi & Nicolini, 2003, S. 205). In diesem Wissensprozess ist Risiko als dynamische Relation zwischen mehreren Elementen zu sehen. Innerhalb dieser wird ein *risk object* als gefährlich definiert und einem *object at risk* ein gewisser Wert zugerechnet, es muss also schützenswert sein (Boholm & Corvellec, 2011, S. 179f.). Da die Positionierung beider Objekte von einem Beobachter oder einer Beobachterin abhängt, ist sie vor allem Ausdruck von deren Wissen, ist eingebettet in kontingente kulturelle Kategorien wie Gefahr, Wert, etc. und somit kontextabhängig (Boholm, 2009; Bohlm & Corvellec,



2011, S. 181). Die Verbindung zwischen Risiko und Wissen stellte schon Ulrich Beck heraus, der Risiken deshalb „im besonderen Maße *offen für soziale Definitionsprozesse*“ bezeichnet (Beck, 1986, S. 30; Hervorhebung im Original). Die Konsequenz der Beckschen Theorie ist, dass Risiken nicht länger als lineare Kausalitätsketten gedacht werden können, sondern durch die sozialen Definierungsprozesse als kontingente Phänomene betrachtet werden müssen. Wissen als ein in Alltagspraktiken verankerter Prozess ist unsicher insofern, als dass es von Ambivalenzen geprägt ist (Stirling, 2003). Hilfe für den Umgang mit Unsicherheiten wird häufig in technischen Lösungen gesucht, um die Natur kontrollierbar zu machen, wie es beispielsweise in der Meteorologie getan wird.

3.2.3 Sozialwissenschaftliche Zugänge zur Wettervorhersage

Die Arbeit der Wettervorhersage überbrückt die Spanne zwischen Naturwissenschaft und der Erfüllung öffentlicher Aufgaben (Fine, 2007). In Deutschland ist eine Bundesbehörde, der Deutsche Wetterdienst, dafür zuständig. Während die Vorhersagen zwar jedermann zur Verfügung stehen (z. B. über die Internetseite des DWD oder über dessen WarnWetter-App), liegt der Fokus des DWD auf der Bereitstellung verschiedener Spezialprodukte für FachnutzerInnen aus anderen Behörden (FeWIS - *Feuerwehr-Wetter-Informationssystem* für Feuerwehren, Polizei und Katastrophenschutzbehörden), Unternehmen (z. B. Windvorhersagen für Betreiber von Windkraftanlagen oder Bohrinseln), Luftfahrt (u. a. spezielle Warnsysteme für Flug-/Lande- und Standplätze) und anderen Bereichen.⁸ Gleichzeitig ist der DWD in ein internationales Forschungsnetzwerk eingebunden. Die Meteorologie als Wissenschaft entwickelt in nationalen und internationalen Verbänden (z. B. World Meteorological Organization) ständig verbesserte Verfahren, um die natürlichen Vorgänge in der Atmosphäre zu messen, zu berechnen und vorherzusagen. Ebenso arbeitet sie daran, Verifikationsverfahren effektiver zu machen, um Modelle und Vorhersagen zu verfeinern. Dabei ist den MeteorologInnen, die an der Verbesserung der Modelle forschen, bewusst, dass den vorhersagenden MeteorologInnen eine entscheidende Rolle im Vorhersageprozess zukommt. Welche Rolle Menschen im Vorhersageprozess spielen und in Zukunft spielen können oder sollen, ist Thema zahlreicher Überlegungen (Murphy, 1993; Persson, 2013). Während sich die Meteorologie dafür interessiert, was eine gute Vorhersage auszeichnet (Murphy, 1993), versuchen SozialwissenschaftlerInnen (Daipha, 2010; Fine, 2007) zu ergründen, *wie* das für eine Wettervorhersage benö-

⁸ Zum Thema Wetterwarnungen und Bevölkerungsschutz siehe auch die Beiträge von *Nadine Fleischut und Stefan M. Herzog* in Kapitel 5 und von *Thomas Kox, Catharina Lüder und Clara Brunde* in Kapitel 6 dieses Sammelbandes.



tigte Wissen entsteht. Sozialwissenschaftliche Untersuchungen des Wettervorhersageprozesses interessieren sich zwar gleichermaßen für den Umgang mit Unsicherheit und Risiko, verbinden dies aber nicht nur mit Entscheidungsfindung, sondern auch mit Wissen und Praktiken in Organisationen (Daipha, 2012, 2015). Sie beziehen sich auf Organisationskulturen und Mensch-Technik-Interaktionen in Zusammenhang mit Arbeitsalltagen (Daipha, 2010; Fine, 2007) sowie auf die Verwendung von Vorhersagen in anwendungsbezogenen Kontexten (Bruzzone, 2015; Créton-Cazanave & Lutoff, 2013; Kox, Gerhold & Ulbrich, 2015) und in gesellschaftlichen wie politischen Kontexten (Edwards, 2006).

Menschen, die Entscheidungen unter Unsicherheit treffen müssen, nutzen eine Vielzahl an Informationsquellen und fügen diese zusammen zu einem Wissen, welches Daipha (2015) in Anlehnung an Lévi-Strauss' Begriff der *bricolage* mit dem Konzept der *collage* beschreibt. Mit *collage* meint Daipha das Sammeln, Aneignen, Überlagern, Nebeneinanderstellen und Verwischen verschiedener Informationen [in einem] improvisierten, (ergebnis)offenen Prozess, der Unerwartetes und Paradoxes einbauen kann (Daipha, 2015, S. 800). Diese Praxis der *collage* geht hervor aus „*geteilten, verkörperten Fertigkeiten und Kompetenzen, die unter situativen Nutzungsbedingungen auftreten*“ (Daipha, 2015, S. 792), deren Ausübung von den Mitgliedern der Organisation trainiert wird. Daipha weist darauf hin, dass in solch einer *collage* Körperlichkeit eine wichtige Rolle spielt (Daipha, 2015, S. 796). Menschliche Körper dienen z. B. als weiteres Messinstrument, welches beispielsweise MeteorologInnen nutzen, wenn die technischen Messgeräte in ihrer Summe kein zuverlässig interpretierbares Bild des Wetters liefern, sie bedienen die eingesetzte Technik und kommunizieren über Sprache. Kurz: Sie sind der Dreh- und Angelpunkt der Wetterkommunikation.

Gütekriterien, die ein zentrales Beispiel für Arbeitspraktiken darstellen und innerhalb der Meteorologie definiert werden – wie etwa Konsistenz, Qualität und Wert einer Vorhersage (Murphy, 1993) – finden in der operationellen Meteorologie in Form von Richtlinien und Vorschriften Eingang in Ausbildung und Alltag. So werden aus den Vorhersagenden ExpertInnen gemacht, deren Aussagen geglaubt werden kann, weil ihre Expertise durch organisationelle Verifikationsmechanismen gewährleistet wird (Fine, 2006a). Wettervorhersage ist außerdem Teamarbeit, denn in ihr fließen individuelle und kollektive Wissensdimensionen zusammen (Schilcher, 2006, S. 134). Die Organisation wirkt nicht nur in die alltäglichen Praktiken hinein, indem sie ihre Mitglieder zu ExpertInnen macht, sondern gleichzeitig durch die Gruppeninteraktionen, in der eine *idioculture* entsteht. Fine definiert diese als „*a system of knowledge, beliefs, behaviors, and customs shared by members of an interacting group to which members can refer and serves as the basis for further interaction*“ (Fine,



2006b, S. 2). Fine beschreibt diese *idiocultures* als stabiles Geflecht, deren identitätsbildendem Potenzial sich Gruppenmitglieder nicht entziehen können (Fine, 2006b, S. 10). In diese *idiocultures* sind Wettervorhersagen als „*as an instructive case of expert decision making under regimes of high uncertainty*“ (Daipha, 2012, S. 15) eingebettet. Daipha sieht die Vorhersagenden in der modernen Risikogesellschaft als ExpertInnen darin, mit epistemischer und ontologischer Unsicherheit⁹ umzugehen. Sie sind in der einzigartigen Position, ihre entsprechenden Entscheidungen unter Unsicherheit zu kalibrieren und zu verbessern, da selbige ständig und zeitnah evaluiert werden (Daipha, 2012, S. 20). Daipha bezeichnet die Praxis der Wettervorhersage dahingehend als „*expert system of uncertainty management*“ (Daipha, 2012, S. 17f.). Dieses ExpertInnensystem ist darauf angewiesen, die Natur in Räumen abzubilden, die für Menschen handhabbar sind. Genauer gesagt wird die Natur visualisiert, denn Bilder spielen eine zentrale Rolle dabei, wie ExpertInnen Wissen produzieren (Daipha, 2010, S. 50). Indem sie Soziologie und kognitive Neurowissenschaften zusammenführt, arbeitet Daipha ExpertInnenwissen im Wetterbereich hauptsächlich als Bildschirmarbeit (*screenwork*) und damit als externalisierten, technisch vermittelten Prozess heraus, der so der sozialwissenschaftlichen Untersuchung zugänglich wird. MeteorologInnen streben danach, für ihre Arbeit das Wetter in seiner Gesamtheit zu erfassen. Gleichwohl sie das Wetter mit vielen Sinnen wahrnehmen können, wird es durch die allgemeine Technisierung der Meteorologie aus seinem lokalen und physikalischen Kontext gerissen, auf dem Bildschirm gebunden und an die zeitliche (und räumliche) Logik des Informationsaustauschflusses moderner Gesellschaften angepasst, indem es zu einem kommunizierbaren Artefakt gemacht wird (Daipha, 2010, S. 151ff.). Dieses kommunizierbare Artefakt wird nicht nur durch physikalisch-mathematische und/oder informationstechnische Verfahren produziert, es resultiert eben auch aus dem kulturellen Aktionskontext (Daipha, 2010, S. 159), der von Organisation zu Organisation (im vorliegenden Fall von Vorhersagebüro zu Vorhersagebüro) variieren kann.

Es stellt sich entsprechend die Frage, wie Wetter in der behördlichen Wettervorhersage im Zusammenspiel von Natur, Technik und Sozialem als Risiko entsteht. Wie sind also die angesprochenen Wissens- und Risikodimensionen mit sozio-technischen Praktiken verflochten? Zur Untersuchung der soziokulturellen Risikodimensionen müssen zunächst die alltäglichen Arbeitspraktiken der Behörde verstanden werden und in Beziehung zu den Risiken gesetzt werden, vor denen diese Behörde schützen soll. Nachfolgend werden die spezifischen Produktionsbedingungen von Wetter als

⁹ Unter epistemischer Unsicherheit versteht man z. B. Nichtwissen, Ambiguität oder Mehrdeutigkeit sowie Ungewissheit; dagegen beschreibt ontologische Unsicherheit die einem Phänomen innewohnende Unsicherheit, z. B. bei statistischen Verfahren.



Wissensprozess in der in Deutschland zuständigen Wetterbehörde nachgezeichnet. Der Fokus liegt auf sozio-materiellen Arbeitspraktiken.

3.3 Methodisches Vorgehen

Die Forschung erfolgte über mehrere Wochen im Sommer 2016 in einer Regionalen Wetterberatung des DWD, vorrangig in dem Büro, in dem die Vorhersagen und Warnungen erstellt werden. Als Hauptmethode wurde die teilnehmende Beobachtung gewählt, eine klassische Methode der Ethnographie. Sie ermöglicht eine kontinuierliche und intensive Betrachtung des Forschungsfeldes und eignet sich daher für das Beobachten und Nachvollziehen von Prozessen (Murchison, 2010). Teilnehmend beobachten bedeutet, dass die Forscherin durch intensive Feldaufenthalte Teil der Gruppe wird, die sie untersucht, um deren innere Logiken zu erforschen und zu verstehen (Campbell & Lassiter, 2015). In Zusammenwirken mit weiteren ethnographischen Methoden (informelle Gespräche, Interviews, Dokumentenanalyse) gibt sie der Forscherin durch die intensive und längerfristige Auseinandersetzung mit dem Feld eine Grundlage für das Verstehen desselben. Die teilnehmende Beobachtung wurde ergänzt durch qualitative Interviews, die im Oktober 2016 im Anschluss an die Beobachtungsphase geführt wurden. Es handelte sich um sechs themenzentrierte Interviews mit den vier MeteorologInnen vom Dienst (MvD) sowie dem RWB-Leiter und seiner Stellvertreterin. Das themenzentrierte Interview eignete sich, weil es darauf ausgelegt ist, die Erfahrungen und Sichtweisen der Interviewten aufzugreifen und durch Klärungs- und Vertiefungsfragen deren Sichtweise herauszuarbeiten (Schorn, 2000). Die in der Beobachtungsphase gewonnenen Erkenntnisse konnten so aufgegriffen werden und ermöglichten eine Vorstrukturierung des Erkenntnisinteresses der Interviews, also eine thematische Schwerpunktsetzung. Die Beobachtung wurde genutzt, um das Alltagsgeflecht aus Natur, Technik und Mensch zu ergründen und deren unterschiedliche Verbindungen in Praktiken aufzuzeigen. Die dahinterliegenden Bedeutungszuschreibungen der Arbeitspraktiken waren dann Teil der Interviews. Der Leitfaden umfasste entsprechend folgende Themen:

- Einstieg der/s Interviewpartnerin/Interviewpartners in die Meteorologie
- Umgang mit Problemen in der Vorhersage und Warnung
- Kontakt mit und Feedback von NutzerInnen
- Umgang mit Medien und breiter Bevölkerung
- Zusammenarbeit mit Katastrophenschutzbehörden, insb. Feuerwehren



Anschließend an die qualitative Auswertung der Feldnotizen und Interviewtranskripte (Emerson, Fretz & Shaw, 2011) erfolgte eine Auswahl beispielhafter Situationen, anhand derer im folgenden Kapitel die Ergebnisse dargestellt und diskutiert werden.

3.4 Ergebnisdarstellung: Wetter in der Wetterbehörde

Wettersvorhersage ist ein technisch vermittelter Prozess, in dem Natur, Mensch und Technik zusammenspielen. Der Beruf von MeteorologInnen ist der von MaschinenbedienerInnen. Während der Arbeitszeit wird das Wetter zu einem Konglomerat aus Zahlen, Formen, Farben und bewegten Bildern. Ist das Wetter als Naturphänomen von allen Sinnen erleb- und wahrnehmbar, so wird es am Arbeitsplatz auf die visuelle Dimension reduziert. Die Abstraktion erfolgt in mehreren Schritten, beginnend mit dem Wirken der Natur auf die Messgeräte. Der Regen fällt in Niederschlagsmesser, der Wind bewegt Windsäcke und Anemometer, die Sonne scheint auf photoelektrische Sensoren. Von diesen und anderen Messgeräten wird die Natur übersetzt in Zahlen und mittels elektrischer Signale weitergeleitet an meteorologische Rechenzentren, wo sie in meteorologische Modelle eingespeist und verarbeitet und an die Visualisierungssoftware und das gesamte DWD-Netz weitergeleitet wird. Die Mess- und Modelldaten kommen dabei aus aller Welt.

Operationelle Meteorologie stellt sich als Geflecht sozialer Praktiken, organisationaler Grenzen und natürlicher Unsicherheiten dar. Bisher beschäftigt sich die Verifikation des DWD mit der Überprüfung nach wissenschaftlich-quantitativen Kriterien. Es geht um Zahlen. Die Bedingungen für eine gute Vorhersage hängen jedoch nicht ausschließlich von genauen Messungen oder Modellrechnungen ab. Sie hängt weder allein von Formulierungen und Darstellungen in Wetterberichten, noch allein von der Erfahrung derjenigen, die die Vorhersagen erstellen, ab. Die Einflüsse sind mannigfaltig. Denjenigen, die sie mit der Vorhersage betraut, stellt die Organisation die Freiräume und Hilfsmittel zur Verfügung, die ihnen ermöglichen, ihre Aufgabe bestmöglich auszuführen.

Die spezifischen Bedingungen, unter denen die MvD arbeiten, sind eingebettet in verschiedene Wissenstraditionen: einmal das Wissenssystem der Wetterbeobachtung, welches die wohl längste Vergangenheit hat. Wissen wird hier vor allem über das Messen natürlicher Erscheinungen und deren Umwandlung in Symbole und Einheiten hergestellt. Zentral ist das meteorologische Wissen, das auf Kenntnissen der Naturgesetze sowie den Beobachtungen und Messungen basiert und sich mithilfe von Maschinen verdichtet. Dort spielt die spezielle Organisationsform *Behörde* eine Rolle,



die sich auf jahrzehntelange Erfahrungen der Strukturierung von Arbeitsprozessen stützt und in deren alltäglichen Praktiken organisationelles Wissen produziert wird, welches in Vorschriften und Technik verstetigt und routinisiert wird. Und schließlich wird der gesamte Vorhersageprozess erst durch moderne Kommunikations- und Vertriebssysteme ermöglicht, mittels derer die Organisation Schnittstellen schafft zu ihrer Umwelt und anderen Behörden, Unternehmen und der Bevölkerung.

Die Meteorologie als Wissenschaft ist im Kern eine kritische und selbstreflexive Naturwissenschaft. Bereits die ersten wissenschaftlichen Publikationen zur Wettervorhersage (Finley, 1884; Köppen, 1884) beschäftigen sich mit der Verifikation, also dem Abgleich der Vorhersagen und den Beobachtungen, um eine Einschätzung über die Güte von Vorhersagen zu ermöglichen und Verbesserungen der Vorhersagen herbeizuführen. Dieses Denken kann man auch in der alltäglichen Arbeit von MeteorologInnen wiederfinden. Obwohl die operationellen Vorhersagen streng genommen keine wissenschaftlichen Erkenntnisse, sondern angewandte Wissenschaft sind, wird die Güte von Modellen und Vorhersagen der MvD ständig überprüft. Dem Verifikationsgedanken liegt die Annahme zugrunde, dass es sich bei Wetter um ein objektiv messbares, natürliches Phänomen handelt. Kann die Komplexität des Wettersystems bisher noch nicht vollständig physikalisch-mathematisch erfasst werden, so scheint es doch nur eine Frage der Zeit zu sein, bis dies den Naturwissenschaften besser gelingen wird. Diese Praxis fließt ineinander mit dem Erfahrungswissen der MvD. Die ständige Reflexion der eigenen Arbeit macht sie zu ExpertInnen im Umgang mit Unsicherheiten (Daipha, 2012), weshalb ihre Vermittlerrolle bei der Beschreibung und Erklärung des Wetters für Laien wichtig ist (Shaw, 2008, S. 2).

Die MvD sind es gewohnt, sich zur Beschreibung des Wetters auf Rechenverfahren, Modelle und Maschinen zu verlassen. Sie sind jedoch keine blinden Technikgläubigen, vielmehr ist es Teil ihrer täglichen Arbeit, die Stärken und Schwächen von Modellen, Radaren und Messstationen zu kennen und abzuschätzen, wie sie deren Informationen interpretieren müssen. In diese Interpretationsarbeit fließt einmal ihre technische Grundkenntnis der Messgeräte hinein, dann ihre Erfahrung im Umgang mit in Modellen gegossenen statistischen Verfahren (Welches Modell über-/unterschätzt welchen Parameter regelmäßig?) und ebenso ihre Erfahrungen mit dem Wetter, die sich ebenfalls aus mehreren Quellen speisen, vor allem der Ausbildung, der eigenen Arbeitserfahrung und Erzählungen von erfahreneren KollegInnen.

Wetter wird in dieser Konstellation in unterschiedlichen Formen verhandelt: gemessen wird es als Natur, analysiert wird es in Zahlen und Algorithmen, dargestellt in Formen und Farben und kommuniziert in Text und Sprache. In den Praktiken der MvD fließen diese verschiedenen Formen mit ein und strukturieren sie. Sie sammeln



sich um die Körper der MvD, deren Person den Mittelpunkt der Vorhersage und Warnung bildet. Risiko tritt dabei im Arbeitsalltag der MvD immer unterschiedlich auf und wird ständig in verschiedenen Wetterpraktiken verhandelt.

Es konnten vier Wetterpraktiken herausgearbeitet werden:

- *im Wetter sein* – Wettervorhersage als technisch-körperliche Wetterpraktik,
- *Wetter verhandeln* – die Wetterbesprechung als technisch vermittelter Entstehungsprozess von organisationellem Wissen,
- *Wetter schreiben* – Wetterberichte, -beratung und -warnungen als kommunikative Verhandlung von Unsicherheiten und
- *vor Wetter warnen* – Verdichtung von Wetterpraktiken im Extremfall.

3.4.1 Im Wetter sein

Generell findet die Wettervorhersage in Deutschland heutzutage in einem Zimmer in einem Gebäude statt. Das Wetter bleibt draußen. Im Laufe der Zeit rückte es durch die Technisierung immer weiter in den Hintergrund. Das heißt jedoch nicht, dass die Körper der MeteorologInnen nicht auch eine Rolle bei der Erstellung von Vorhersagen spielen. Das gesamte Sein-in-der-Welt ist für MeteorologInnen immer wieder ein Indiz für die Wetterlage. Sie spüren die Feuchte, die sie zum Schwitzen bringt, hören das Blätterrauscheln am Morgen, welches ihnen anzeigt, dass die Thermik einsetzt, und sehen die Wolken, deren Beschaffenheit ihnen Aufschluss über den Zustand der Luftmasse gibt. Das Fühlen und Körperempfinden ist das eine. Das andere ist die visuelle Wahrnehmung des Wetters. Das Auge ist das wichtigste Sinnesorgan, will man eine Wettervorhersage erstellen. Die gesamte Arbeitsumgebung ist darauf ausgelegt, dass das Wetter gesehen werden kann. Nicht etwa in seiner Natürlichkeit *draußen*, sondern technisch vermittelt auf Computerbildschirmen und auf ausgedruckten Karten.

Das Wissen der MeteorologInnen ist stark personengebunden, da es ein lebenslanges Lernen ist. Die MvD reflektieren selbstständig regelmäßig, ob ihre Vorhersagen vom Vortag (bzw. letzten Dienst) richtig waren. Die Organisation schafft solche Momente auch durch die Verifikation. Dadurch erarbeiten sie sich kontinuierlich ein Gefühl, ein Erfahrungswissen, dafür, wie Wetter sich verhält, und gleichzeitig lernen sie die Modelle in ihren Eigenarten kennen und immer besser einzuschätzen.



Diejenigen, die Vorhersagen und Warnungen erstellen, vermitteln zwischen dem Wetter als atmosphärischem Phänomen, als symbolischer, technologischer Visualisierung und als Kommunikationsprodukt. In der Praktik des Im-Wetter-Seins fließen Narrationen, organisationelle Ordnungen und Erfahrungswissen zusammen. Ihre Expertise stützt sich auf Visualisierungen, wie es heute typisch für ExpertInnenkontexte ist (*screenwork*), in denen von Computern hergestellte Bilder des Wetters, also technologische Repräsentationen des Atmosphärenzustands, dargestellt werden. Um sich in die Wetterlage einzuarbeiten, müssen die MvD nicht nur die physikalischen Zusammenhänge verinnerlicht haben. Der Weg dahin erfordert gleichermaßen das routinemäßige Bedienen von Maschinen. Die Körper bewegen sich zwischen mehreren Informationsquellen: den verschiedenen Bildschirmdarstellungen, den ausgedruckten Wetterkarten und immer wieder wenden sie sich zueinander, um sich über die Informationsflut auszutauschen. Ihr Vorgehen bei der Handhabung der mannigfaltigen Informationen lässt sich in Anlehnung an Daipha ebenfalls als *collage* beschreiben. Dies bedeutet, dass die Entscheidung, welche Vorhersage ausgegeben wird, keine rein individuelle anhand von visuellen Wetterdaten ist, sondern dass sie erlernt und eingebettet ist in einen institutionell abgesehenen Handlungsstrang, der jedoch Alternativen als Auswahl zulässt (Daipha, 2015, S. 792). Das institutionell gespeicherte Wissen ist Teil einer Wissenskultur, die im Vorhersageprozess in der Gestalt von implizitem Wissen in der Praxis der *collage* zum Tragen kommt. Alle verfügbaren Informationen werden um den Arbeitsplatz der MvD herum gesammelt, denn sie und ihre Körper bilden sowohl im Vorhersageprozess als auch im Arbeitsraum den Mittelpunkt. Gleichwohl routinisiertes Sehen und routinisierte Bedienung der Computerprogramme wichtige Aspekte des meteorologischen Arbeitens sind, erfordert das Wetter, welches nicht routinisiert oder programmiert werden kann, eine hohe Flexibilität von all jenen, die sich mit ihm beschäftigen. So müssen mehrmals täglich aufs Neue die verfügbaren Quellen zusammengebracht werden, damit die MvD das Wetter wissen. Das Wetter *wissen* heißt „im Wetter sein“. Wetter erscheint dann nicht mehr als ein Naturphänomen, welches objektiv gemessen werden kann, sondern wird letztendlich Teil eines Wissensprozesses.

VorhersagerInnen sind mit einer Flut an komplexen Informationen konfrontiert, die sie in Einklang bringen müssen, um ihre Vorhersagen zu erstellen. Sie gehen dabei heuristisch vor. Die Technik, die eingesetzt wird, um mit Unsicherheiten umzugehen, ist jedoch selbst mit ontologischen Unsicherheiten behaftet, die sich zur epistemologischen hinzugesellen und so die Komplexität nicht verringern – was man sich für Entscheidungsprozesse wünschen würde – sondern erhöhen (Daipha, 2012). Das bedeutet, jedes technische Messgerät, dessen Messdaten elektronisch übermittelt werden, trägt erst einmal die Unsicherheit seines Intaktseins. Hinzu kommt die



Unsicherheit der von diesem technischen Messgerät durchgeführten Beobachtung an sich, denn es hat möglicherweise blinde Flecken, wenn es beispielsweise einfriert oder sich Laub oder ähnliches darin verfängt etc. Hinzu kommt das Nicht-Wissen des Gerätes um bestimmte Parameter. Es misst nur das, für das es geschaffen wurde. Auf einer Messwiese werden also verschiedene Parameter gemessen. Alle Messgeräte haben zahlreiche wissenschaftliche und anwendungsbezogene Prozesse durchlaufen, sodass ihre Grundfunktionsweise nicht in Zweifel gezogen werden muss. Die MvD kennen jedoch die Stärken und Schwächen der Messgeräte. Dieses Wissen ist im Vorhersageprozess unabdingbar. Es fügt der Arbeit der MeteorologInnen zusätzlich zu der Unsicherheit des Eintritts natürlicher Phänomene eine weitere Unsicherheit hinzu. In dieser Verflechtung von Unsicherheiten stellen Menschen zwar einen Teil der Unsicherheit im Vorhersageprozess dar, weil ihr Wissen unsicher ist, aber gleichzeitig ist ihr Umgang mit den Informationen der Messgeräte wichtiger Bestandteil des Unsicherheitsmanagements im Vorhersageprozess.

Technik hat dabei eine Doppelrolle: Zunächst ermöglicht sie bestimmte Messvorgänge und verhindert andere – das Wetter wird hier zu einer objektivierbaren und damit messbaren Größe gemacht. Dies geschieht nach wissenschaftlichen Methoden entweder durch menschliche BeobachterInnen, heutzutage aber größtenteils durch automatisierte Messstationen. Anschließend wird diese durch verschiedene Rechenverfahren – wiederum durch Maschinen – für das menschliche Auge erfassbar gemacht. Im nächsten Schritt macht eine bestimmte Technik (die Software NinJo) das Wetter zu einer dynamischen Visualisierung. Die Natur wird in Zahlen, Farben und Formen ausgedrückt. Diese Mehrdimensionalität des Wetters wird täglich zwischen den MvD und der Technik innerhalb der Organisation in den Alltagspraktiken verhandelt. Die für die Wettervorhersage als Kommunikationsprozess entscheidende Konstruktion des Wetters passiert im Kopf des MvD. Technik und Natur tragen zu diesem Konstruktionsprozess ebenso bei wie organisationelle Routinen, die die Praxis der Einarbeitung ins Wetter einordnen.

3.4.2 Wetter verhandeln

Das Arbeitsumfeld beeinflusst die Art und Weise, wie gearbeitet wird (Fine, 2007, S. 97). Im Fall von Wettervorhersagen müssen diese durch die Organisation legitimiert werden (Fine, 2007, S. 101), weil der DWD als Katastrophenschutzbehörde einen gesetzlichen Schutzauftrag erfüllen muss. Eine Legitimation findet in den Wetterbesprechungen statt. Sie sind ein zentrales Element im Arbeitsalltag der RWB und laufen nach vorgeschriebenen Regeln und zu festgelegten Zeiten ab. Der Arbeit-



salltag schafft dynamische Praktiken, die einerseits stabilisiert sind (dieser Umstand wird immer dann bemerkbar, wenn es zu Störungen im Ablauf kommt, z. B. durch Ausfall von Technik) und gleichzeitig wandelbar durch punktuelle Veränderungen (Knecht, 2012, S. 257).

Die Strukturierung der Wetterbesprechung obliegt im Prinzip derjenigen Person, die sie präsentiert. Gleichwohl ist sie in ihrer Kreativität eingeschränkt. Denn sie hat auch die Erwartungen anderer MeteorologInnen verinnerlicht, da sie in ihrer Ausbildung die Richtlinien, sozusagen das traditionelle Vorgehen, einer *synoptischen Übersicht* erlernt hat und darauf trainiert wurde, das Wetter stets nach diesen Richtlinien zu beschreiben. Die Wetterbesprechung ist gleichzeitig für den oder die nachfolgende/n MvD Teil der Einarbeitung in die Wetterlage. So werden Interpretationen abgeglichen und kollektives Handeln ermöglicht (Fine, 2007, S. 100). Bei der Vereinheitlichung der Präsentation tritt wiederum die Technik in Form der meteorologischen Software NinJo in den Mittelpunkt. Die Möglichkeit, dort Favoriteinstellungen festzulegen, die mit einem Mausklick favorisierte Kartendarstellungen aufrufen und sichtbar machen, führt dazu, dass alle MvD die gleichen Darstellungen aus den verfügbaren Programmmodulen verwenden. Technik fließt hier einmal mehr aktiv in die Alltagspraxis der RWB ein. In der Praxis der Wetterbesprechung nimmt sie Einfluss, indem sie (i) ein spezifisches Zeigen ermöglicht oder verwehrt, (ii) sozial verhandelte Übereinkünfte in sich verfestigt und in der Zukunft verfügbar macht und (iii) Handlungen und Interaktionen der in die Praxis involvierten Individuen kollektiviert. Die Auswahl der Darstellungen wurde in einem gemeinsamen Aushandlungsprozess festgelegt. Im Vordergrund steht dabei immer die Überlegung, welche Darstellungen am besten verwendet werden können, um einen adäquaten Eindruck des atmosphärischen Zustands zu vermitteln. Was ein adäquater Eindruck der Atmosphäre ist, orientiert sich wiederum an der *synoptischen Übersicht*, die sich traditionell im Fach etabliert hat. Ebenso wird für einen adäquaten Eindruck eine visuelle Ästhetik vor dem Hintergrund der Klarheit und Übersichtlichkeit geschätzt.

Die Wetterbesprechung ist der Ort, an dem diese Beschreibung in der Gruppe expliziert, plausibilisiert und ggf. korrigiert wird. Hier wird sie von dem verinnerlichten Wissen einer Meteorologin oder eines Meteorologen hineintransportiert in einen Diskussionsraum. Dabei ist die Explizierung begrenzt, da *im Wetter sein* eine Vielzahl von Wissensformen einschließt, die nicht alle direkt vermittelbar sind (Schilcher, 2006). Dass in der Wetterbesprechung auf geteiltes, also kollektiviertes Wissen zurückgegriffen werden kann, erleichtert die Wissensverhandlung innerhalb der Organisation.



3.4.3 Wetter schreiben

Wetterberichte routinisieren und strukturieren den Arbeitsalltag (Logue, Clegg & Gray, 2016, S. 1594). Sie sind Hauptbestandteil der meteorologischen Arbeit. Ihr Inhalt wird ständig diskutiert und in der Gruppe abgeglichen. Die Berichte kreieren – dadurch, dass sie eine Struktur geben – Sicherheit für die MvD. Um als MittlerInnen von Unsicherheiten wirken zu können (zwischen Modellen und Menschen), müssen die MvD ihren eigenen Aussagen vertrauen und Sicherheit haben (Fine, 2007, S. 245f.). Diese erhalten sie im Austausch mit KollegInnen und durch ständiges Lernen durch die interne Verifikation.

Das Verfassen der Texte erfordert die Kenntnis von mehreren Vorschriften. Es ist vorgegeben, wie viele Zeilen die einzelnen Abschnitte haben dürfen, welche Wörter in Großbuchstaben geschrieben werden und welche Wetterparameter mit welchen Einheiten beschrieben werden sollen. Die Zeitangaben sollen sinnvoll verwendet werden und Begriffe wie *abends* oder *nachts* bezeichnen leicht unterschiedliche Zeitspannen, je nachdem ob Sommer oder Winter ist. Insgesamt kommt es darauf an – so der organisationelle Konsens – „*die Natur so zu beschreiben, wie sie ist*“. Trotz der vielen Vorschriften bleibt so viel Freiraum in der Formulierung, dass für die Mitarbeitenden der RWB am Text erkennbar ist, wer ihn geschrieben hat.

Diese Unterschiede machen es nötig, die einzelnen Formulierungen auch immer wieder in den Wetterbesprechungen zu diskutieren. Den NutzerInnen den richtigen Eindruck vom Wetter zu vermitteln ist deshalb wichtig, weil diese den Aussagen des DWD vertrauen müssen, um Warnungen auch ernst zu nehmen (Fine, 2007). Täglich passt als erstes der Frühdienst die Berichte an, die durch den Nachtdienst in der Zentrale in Offenbach bearbeitet wurden. Im Laufe des Vormittags ändert er sie nochmals, der Spätdienst übernimmt dann nach der Wetterbesprechung am Mittag und nimmt nach der Einarbeitung in die Wetterlage seinerseits Anpassungen vor. Zur Nacht erfolgt wiederum die Übergabe an den Nachtdienst in der Zentrale. Die Übergabe der Texte vom Früh- an den Spätdienst ist gekennzeichnet durch ausgeprägte Kommunikation. Es wird immer wieder diskutiert, warum bestimmte Aussagen oder Formulierungen im Text stehen, wie der Frühdienst zu dieser Interpretation der Wetterlage kam, aber auch, ob der Text von den NutzerInnen so verstanden werden kann, wie er gemeint ist.

Das Wetter erscheint hier insbesondere als Teil von Kommunikationsprozessen. Es wird verbal verhandelt und seine Gefährlichkeit oder Ungefährlichkeit konstruiert. Die Logik der Wettervorhersage ist es, den NutzerInnen ein genaues und wenig fehl-



interpretierbares Bild der Wetterlage zu vermitteln. Die Organisation baut durch *gute* Wetterberichte Vertrauen in der Bevölkerung auf, welches wichtig ist, damit die Menschen die Warnungen als glaubwürdig einschätzen. Eine Vorgabe, die sich nicht in festen Vorschriften festlegen lässt, ist deshalb die Nachvollziehbarkeit durch die NutzerInnen. Um diese zu gewährleisten, müssen sich die MvD auf ihre eigenen Einschätzungen verlassen. Diese treffen sie vor ihrem eigenen sozio-kulturellen Hintergrund. Sie alle nutzen selbst Vorhersagen im privaten Bereich und können sich deswegen in die anderen NutzerInnen hineinversetzen – in Grenzen. Wie ihre Vorhersagen bei den EmpfängerInnen wirklich ankommen, können sie nicht wissen. Es gibt kein Feedback dazu, wie die Texte von den NutzerInnen aufgefasst werden. Eine Verifikation wie für die messbaren Wetterparameter kann die Organisation in Bezug auf die Texte nicht vornehmen, da es kein richtig oder falsch gibt. Die sprachliche Unsicherheit und die Unsicherheit, wie die NutzerInnen die Formulierungen interpretieren, sind nicht messbar, da der Kommunikationsprozess keinem geradlinigen Sender-Empfänger-Modell folgt, sondern durch sozio-kulturelle Konstruktionsprozesse sowohl auf Seiten der InitiatorInnen als auch auf Seiten der EmpfängerInnen von Kommunikation komplex ist (Boholm, 2009).

Wetter erscheint hier wiederum als Teil von Wissenspraktiken. Nach der Verinnerlichung durch die MvD und der Diskussion in organisationellen Routinen muss es wieder expliziert und durch Sprache vermittelt werden. Damit wird die vorher vorherrschende visuelle Ebene auf eine sprachliche gebunden. Es findet eine Vermischung von *screenwork* (Daipha, 2010) und *paperwork* (Latour, 2012[1986]) statt. Die Berichte in Textform sind Teil einer langen Geschichte der Wettervorhersage. Sie werden trotz aller Technisierung auch heute zum Teil noch in Papierform verbreitet, z. B. als Aushänge an Wetterstationen. Vormals wurde vor allem Papier genutzt, um Informationen handhabbar, also mobil und reproduzierbar, zu machen. Das bedeutet, in ihrer Komplexität zu reduzieren, auf Papier zu binden und damit zeitlich zu verstetigen (Latour, 2012[1986], S. 23f.). Die dahinterliegende Logik ist, dass dem Laienpublikum die Expertise fehlt, um die komplexen visuellen Informationen zu verarbeiten, die durch die technisch vermittelte, wissenschaftliche Darstellung der Natur in Zahlen, Polygonen und Farben produziert werden. Für sie wird das Wetter in eine verständliche Sprache übersetzt. In seiner versprachlichten Form ist das Wetter gebunden an informationstechnische Materialitäten, nämlich an das Vorhandensein einmal von Computern und einem informationstechnischen Netzwerk auf Seiten des DWD, ebenso wie technischen Empfangsgeräten auf NutzerInnenseite.



3.4.4 Vor Wetter warnen

Bis hierhin wurde deutlich, wie in Alltagspraktiken Wetter als natürliches Phänomen, als semiotisch-technologische Visualisierung und als organisationell verhandelter Text entsteht. Natur, Technik und Menschen sind in diesen Wetterpraktiken verwoben und produzieren das Wetter in verschiedenen Konstellationen. Für die Praxis der Wetterwarnung sind diese Aspekte in besonderer Weise von Bedeutung, weil in ihr all dies zeitlich verdichtet zusammenkommt und dadurch eine höhere Relevanz erhält. Hinzu kommt, dass die Warnung gemäß dem gesetzlichen Schutzauftrag des DWD im Grunde die Kernaufgabe der Organisation ist. Am Beispiel der Gewitterwarnung wird nun gezeigt, wie sich mit der Intensivierung des physikalischen bzw. natürlichen Phänomens auch organisationelle Praktiken verdichten und intensivieren.

Warnungen müssen stimmen. Es geht dabei nicht mehr – wie im Falle des einfachen Wetterberichts – nur darum, die Glaubwürdigkeit der Organisation und damit der Information zu erhalten oder zu schaffen. Wird eine Warnung ausgegeben, so wird dem Wetter eine Gefährlichkeit in verschiedenen Stufen zugeschrieben. Es geht nun darum, den Schutzauftrag zu erfüllen. Die Warnung soll NutzerInnen ermöglichen, Entscheidungen über notwendige Schutzhandlungen zu treffen und gleichzeitig weiter der Vertrauensbildung in die Organisation Rechnung tragen. Um dies zu erreichen muss Wetter als *risk object* (Boholm & Corvellec, 2011) konstruiert werden. In der Kommunikation über Wetterextreme wird die Relation zwischen diesem und einem *object at risk* (Boholm & Corvellec, 2011) ausgehandelt. Die Schwierigkeit besteht darin, dass im Fall von Extremwetter schnell gehandelt werden muss (sowohl auf Seiten der Warnung als ggf. auch auf Seiten der Nutzenden) und gleichzeitig auf Seiten der MvD nicht klar ist, was bzw. welche die *objects at risk* sind. Die Mehrdimensionalität des Wetters wird hier besonders deutlich. Die Darstellung des Wetters für die NutzerInnen ändert sich. Die Warnlogik gibt vor, dass nicht mehr die Wetterlage im Allgemeinen (die ja in den Wetterberichten parallel weiterhin beschrieben bleibt) beschrieben wird, sondern einzelne Parameter mit konkreten farblichen Schwellenwerten in den Mittelpunkt rücken. Die Darstellung wird abstrakter und so weniger komplex. Dazu wird das Wetter in kurze Schlagworte verpackt und als farbige Fläche auf einer Warnkarte dargestellt. Damit ist es kein komplexes, unsicheres System mehr, sondern eine eindeutige Farbe auf einer Karte – eine abstrakte, vereinfachte Visualisierung. Die Verdichtung des Zeitlichen führt auch zu einer Änderung der Arbeitsabläufe. Organisationelle Rituale werden unter Umständen verkürzt oder fallen weg, wie bspw. die Wetterbesprechung. Die Technik rückt noch mehr in den Fokus, denn das *screenwork* wird ausgebaut. Wird für die Wetterberichte ein Text verfasst,



so verschiebt sich die Computerarbeit beim Warnen von einer Textarbeit wieder zu einer grafischen Arbeit. Dazu wird die Warnsoftware AutoWarn verwendet. Sie basiert auf der Visualisierungssoftware NinJo und ist ähnlich aufgebaut. Anders als diese erlaubt AutoWarn jedoch die aktive Arbeit an grafischen Wetterdarstellungen. Die MvD müssen ihr Wetterwissen nicht mehr als Text explizieren, sondern als grafische Darstellung. Sie können damit in einer Darstellungsart bleiben. In AutoWarn zeichnen die MvD mit der Maus Polygone um Gewitterzellen oder potenzielle Gewitterzellen herum. Die Lage und Größe des Polygons wird bestimmt durch die Größe und Lage der Zelle sowie der Einschätzung der MvD bzgl. deren Zugbahn und Intensivierungs- oder Abschwächungspotenzial.

Sie bewegen sich immer auf dem schmalen Grad zwischen Warnlogik und Rechtfertigungslogik. Die Allgemeinheit soll so frühzeitig wie möglich gewarnt werden, damit sie ggf. Schutzmaßnahmen ergreifen kann. Andererseits sollen möglichst nur diejenigen eine Warnung erhalten, die auch von dem Extremwetterereignis betroffen sein werden (Fine, 2007, S. 86). Beides vollständig zu gewährleisten ist nicht möglich, dennoch soll diesem Ziel so nah wie möglich gekommen werden. Da es in großen Warnlagen erforderlich sein kann, viele Polygone schnell nacheinander zu zeichnen, ist eine gute Einarbeitung ins Wetter unerlässlich, um die Masse an Informationen handhaben zu können. Für die *collage* müssen die MvD *im Wetter sein*, denn das Wetter ist chaotisch und entzieht sich einer vollständigen Berechenbarkeit. Es lässt sich nicht immer durch Technik allein fassen.

3.5 Diskussion und Fazit: Wetterpraktiken als Risikopraktiken

Während in der Einarbeitung ins Wetter, in der Wetterbesprechung und im Schreiben der Wetterberichte das Wetter zwischen Natur, Technik und Sozialem verhandelt wird, stellt die Warnung diejenige Praktik dar, in der das Wetter situativ als *risk object* definiert wird. Dieser Zuschreibungsprozess wird vorstrukturiert durch organisationelle Vorschriften wie die Warnkriterien. Im Einzelfall ist jede Zuschreibung dann Teil von Alltagspraktiken innerhalb einer spezifischen, organisationell gebundenen *idioculture*, beeinflusst durch den Aufbau und das Funktionieren von Technik, durch zwischenmenschlichen Austausch und dessen Ablauf und durch die Verinnerlichung der Wetterlage durch die MvD. Die Verkettung von Unsicherheiten wird so zu einer technisch vermittelten Produktion von Risiko. Letztlich kommt all dies in der zeitlichen Verdichtung der Warnung zum Tragen und das Wetter formt in seinen verschiedenen Formen Risikopraktiken. Wetter ist keine reine Naturgefahr mehr. Es wurde durch verschiedene Entscheidungen – alltägliche und organisationelle – zu



einem Risiko transformiert. Dabei greift Technik ein (die Messgeräte, die Modelle aus den Rechenzentren, die Visualisierungs- und Warnsoftware) und unterschiedliche Wissensformen (verkörpert, kommunikativ vermittelt, in Artefakte eingeschrieben, organisationell, erfahrungsbasiert) bringen Praktiken hervor, in denen das Wetter zum Risiko gemacht wird.

Die Entscheidung, ab wann Wetter als gefährlich kategorisiert wird, ist dabei einerseits zurückzuführen auf einen organisationellen Produktionsprozess, der sich in den Farbstufen der Warnkriterien manifestiert, andererseits findet die Kategorisierung alltäglich in den Wetterpraktiken statt. Dort ist die Kategorisierung keine dichotome Entscheidung, sondern als Wissensprozess Teil von Wissenspraktiken, in der die beschriebenen Seinsformen des Wetters im Kontext von gesellschaftlichen Schutzbemühungen verhandelt werden. Das Wissen um das Risiko liegt hier in Praktiken, die geprägt sind durch Technik, auf die sich die Meteorologie zu großen Teilen verlässt, um das Wetter handhabbar zu machen. Die MvD erscheinen in diesem Geflecht wiederum als MittlerInnen, weil sie erfahren im Umgang mit der Technik sind. Sie können aus Erfahrungen lernen und ihr Wissen ständig anpassen. In diesem Punkt wird deutlich, wie wichtig es ist, alltägliche Wissenspraktiken im Blick zu haben. Ein Grund, warum die Warnung (noch) nicht vollautomatisiert, also an Maschinen abgegeben wird, besteht darin, dass dieser Wissensprozess von Maschinen nicht geleistet werden kann. Sie sind nur der technische Teil der mehrdimensionalen Wissenspraktiken, die in der Wettervorhersage und -warnung zum Tragen kommen. Die Technik, die den Alltag durchdringt, stößt bei der Aushandlung von Risiko an ihre Grenzen. Dieser Beitrag zeigte, dass eine praxistheoretische Analyse sinnvoll ist, weil erst durch die Betrachtung der Verbindung sozialer und materieller – natürlicher ebenso wie technischer – Aspekte von Praktiken eine umfängliche Erforschung der Bedeutung von Risiko in unterschiedlichen Kontexten geleistet werden kann. Das Verständnis des Zusammenspiels der verschiedenen Dimensionen ist relevant, auch um technische Artefakte so zu gestalten, dass sie bestmöglich eingesetzt werden können.

Literatur

- Aven, T. & Renn, O. (2009). On Risk Defined as an Event Where the Outcome is Uncertain. *Journal of Risk Research*, 12 (1), 1–11.
- Barth, F. (2002). An Anthropology of Knowledge. *Current Anthropology*, 43 (1), 1–18.
- Beck, U. (1986). *Risikogesellschaft: auf dem Weg in eine andere Moderne*. Frankfurt a. M.: Suhrkamp.



- Boholm, Å. (2009). Speaking of Risk: Matters of Context. *Environmental Communication*, 3 (3), 335–354.
- Boholm, Å. & Corvellec, H. (2011). A Relational Theory of Risk. *Journal of Risk Research*, 14 (2), 175–190.
- Bruzzone, S. (2015). Risk Forecast As Work Practice: Between Codified And Practical Knowledge. *Journal of Risk Research*, 18 (2), 170–181.
- Campbell, E. & Lassiter, L. E. (2015). *Doing Ethnography Today*. London: Wiley.
- Créton-Cazanave, L. & Lutoff, C. (2013). Stakeholders' Issues For Action During the Warning Process and the Interpretation of Forecasts' Uncertainties. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13, 1469–1479.
- Daipha, P. (2010). Visual Perception At Work: Lessons from the World of Meteorology. *Poetics*, 38, 150–164.
- Daipha, P. (2012). Weathering Risk: Uncertainty, Weather Forecasting, and Expertise. *Sociology Compass*, 6 (1), 15–25.
- Daipha, P. (2015). From Bricolage to Collage: The Making of Decisions at a Weather Forecast Office. *Sociological Forum*, 30 (3), 787–808.
- Douglas, M. (2001). Dealing With Uncertainty. *Ethical Perspectives*, 8 (3), 145–155.
- Douglas, M. (2002[1966]). *Purity and Danger: An Analysis of the Concept of Pollution and Taboo*. London, New York: Routledge.
- Douglas, M. & Wildavsky, A. (1983). *Risk and Culture: An Essay On the Selection of Technological and Environmental dangers*. Berkeley, CA: University of California Press.
- Edwards, P. N. (2006). Meteorology as Infrastructural Globalism. *Osiris*, 21 (1), 229–250.
- Emerson, R. M., Fretz, R. I. & Shaw, L. L. (Hrsg.). (2011). *Writing Ethnographic Fieldnotes* (2. Aufl.). Chicago, London: University of Chicago Press.
- Felgentreff, C. & Dombrowsky, W. R. (2008). Hazard-, Risiko- und Katastrophenforschung. In C. Felgentreff & T. Glade (Hrsg.), *Naturrisiken und Sozialkatastrophen* (S. 13–29). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Felgentreff, C. & Glade, T. (2008). Naturrisiken - Sozialkatastrophen: zum Geleit. In C. Felgentreff & T. Glade (Hrsg.), *Naturrisiken und Sozialkatastrophen* (S. 1–10). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Fine, G. A. (2006a). Ground Truth: Verification Games in Operational Meteorology. *Journal of Contemporary Ethnography*, 35 (1), 2–23.
- Fine, G. A. (2006b). Shopfloor Cultures: The Idioculture of Production in Operational Meteorology. *The Sociological Quarterly*, 47, 1–19.
- Fine, G. A. (2007). *Authors of the Storm*. Chicago, London: University of Chicago Press.
- Finley, J. P. (1884). Tornado Predictions. *American Meteorological Journal*, 1, 85–88.
- Gherardi, S. & Nicolini, D. (2003). To Transfer Is to Transform: The Circulation of Safety Knowledge. In D. Nicolini, S. Gherardi & D. Yanow (Hrsg.), *Knowing In Organizations: a practice-based approach* (S. 204–224). New York: M.E. Sharpe.



- Giddens, A. (1993). Tradition in der post-tritionalen Gesellschaft. *Soziale Welt*, 44 (4), 445–485.
- Groß, M. (2003). Sociologists of the Unexpected: Edward A. Ross and Georg Simmel on the Unintended Consequences of Modernity. *The American Sociologist*, 40–58.
- Hannig, N. (2015). Die Suche nach Prävention. Naturgefahren im 19. und 20. Jahrhundert. *Historische Zeitschrift*, 300, 33–65.
- Hillebrandt, F. (2014). Soziologische Praxistheorien. Eine Einführung. Wiesbaden: Springer VS.
- Jasanoff, S. (1999). The Songlines of Risk. *Environmental Values*, 8 (2), 135–152.
- Knecht, M. (2012). Ethnographische Praxis im Feld der Wissenschafts-, Medizin- und Technikanthropologie. In S. Beck, J. Niewöhner & E. Sørensen (Hrsg.), *Science and Technology Studies. Eine sozialanthropologische Einführung* (S. 245–274). Bielefeld: transcript.
- Köppen, W. (1884). Eine rationelle Methode zur Überprüfung der Wetterprognosen. *Meteorologische Zeitschrift*, 1, 39–41.
- Kox, T., Gerhold, L. & Ulbrich, U. (2015). Perception and Use of Uncertainty in Severe Weather Warnings by Emergency Services in Germany. *Atmospheric Research*, 158–159, 292–301.
- Kox, T., Lüder, C. & Gerhold, L. (2018). Anticipation and response. Emergency services in severe weather situations in Germany. *International Journal of Disaster Risk Science*, 9 (1), 116–128.
- Latour, B. (2012[1986]). Visualization and Cognition. Thinking with eyes and hands. In M. Lynch (Hrsg.), *Science and Technology Studies* (Bd. II, S. 3–44). Abingdon, New York: Routledge.
- Lengwiler, M. & Beck, S. (2008). Historizität, Materialität und Hybridität von Wissenspraxen. Die Entwicklung europäischer Präventionsregime im 20. Jahrhundert. *Geschichte und Gesellschaft*, 34 (4), 489–523.
- Logue, D. M., Clegg, S. & Gray, J. (2016). Social Organization, Classificatory Analogies and Institutional Logics: Institutional Theory Revisits Mary Douglas. *Human Relations*, 69 (7), 1587–1609.
- Luhmann, N. (1991). *Soziologie des Risikos*. Berlin: de Gruyter.
- Murchison, J. M. (2010). *Ethnography Essentials. Designing, Conducting, and Presenting Your Research*. Jossey-Bass/Wiley.
- Murphy, A. H. (1993). What is a Good Forecast? An Essay on the Nature of Goodness in Weather Warnings. *Weather and Forecasting*, 8, 281–293.
- Nicolini, D., Gherardi, S. & Yanow, D. (2003). Introduction: Toward a Practice-Based View of Knowing and Learning in Organizations. In D. Nicolini, S. Gherardi & D. Yanow (Hrsg.), *Knowing in Organizations. A Practice-Based Approach* (S. 3–31). New York: M.E. Sharpe.
- Niewöhner, J., Sørensen, E. & Beck, S. (2012). Einleitung. In S. Beck, J. Niewöhner & E. Sørensen (Hrsg.), *Science and Technology Studies. Eine sozialanthropologische Einführung* (S. 9–48). Bielefeld: transcript.



- Persson, A. (2013). The Future Role of the Weather Forecaster. *Weather*, 68 (2), 54.
- Schilcher, C. (2006). *Implizite Dimensionen des Wissens und ihre Bedeutung für betriebliches Wissensmanagement* (Doktorarbeit). Technische Universität Darmstadt.
- Schorn, A. (2000). Das "themenzentrierte Interview". Ein Verfahren zur Entschlüsselung manifester und latenter Aspekte subjektiver Wirklichkeit. *Forum: Qualitative Sozialforschung*, 1 (2).
- Shaw, D. B. (2008). *Technocultures: The Key Concepts*. Oxford, New York: Berg.
- Stirling, A. (2003). Risk, Uncertainty and Precaution: Some Instrumental Implications from the Social Sciences. In F. Berkhout, M. Leach & I. Scoones (Hrsg.), *Negotiating Environmental Change: New Perspectives from Social Science* (S. 33–77). London: Edward Elgar.
- Sørensen, E. (2012). Soziale Konstruktion von Technologie. In S. Beck, J. Niewöhner & E. Sørensen (Hrsg.), *Science and Technology Studies. Eine sozialanthropologische Einführung* (S. 123–144). Bielefeld: transcript.





4 Kommunikation von Wetterwarnungen

Till Büser

Zusammenfassung

Um im Falle drohender Extremwetter entsprechende Entscheidungen zu treffen und Schutzmaßnahmen zu ergreifen, ist das Verständnis der Warninhalte und die Nützlichkeit von Wetterinformationen für die Bevölkerung von zentraler Bedeutung. Dennoch ist davon auszugehen, dass die Fähigkeiten und Möglichkeiten, Wetterrisiken und –warnungen wahrzunehmen, richtig zu interpretieren und für Entscheidungen und Handlungen optimal nutzen zu können, innerhalb der Bevölkerung unterschiedlich stark ausgeprägt sind. Folglich besteht die Herausforderung darin, Informationen über Wetterrisiken unter Berücksichtigung dieser heterogenen Bedarfe verständlich und möglichst frühzeitig an die Bevölkerung zu kommunizieren und damit ein Optimum an Verständnis und Anwendbarkeit im Alltag zu erzielen. Im folgenden Beitrag sollen die Kommunikation von Wetterwarnungen theoretisch verortet und beispielhaft Forschungserkenntnisse zur Wahrnehmung von Wetterrisiken durch die Bevölkerung sowie dem Umgang mit Wetterwarnungen vorgestellt werden.

4.1 Einleitung

Ein Hauptadressat für Wetterinformationen ist die Bevölkerung. Neben allgemeiner Wettervorhersagen und ihrem Nutzen im Alltag ist insbesondere die Kommunikation über markante Wetterereignisse sowie die Warnung vor extremen Wetterlagen eine Hauptaufgabe staatlicher Wetterdienste und von zentraler Bedeutung. Nicht zuletzt Unwetterereignisse mit Stark- und Sturzregen, Gewittern und Tornados, wie die Sturzfluten im Sommer 2016 in Braunsbach und Simbach, aber auch Perioden extremer Trockenheit, wie im Sommer 2018, gehören zu den augenscheinlichsten Extremwetterereignissen in Deutschland und werden dementsprechend auch von der breiten Bevölkerung und der medialen Öffentlichkeit mit zunehmender Aufmerksamkeit verfolgt. Es wird vermutet, dass mit klimatischen Veränderungen eine Zunahme

Büser, T. (2019). Kommunikation von Wetterwarnungen. In: Kox, T. & Gerhold, L. (Hrsg.) Wetterwarnungen: Von der Extremereignisinformation zu Kommunikation und Handlung. Beiträge aus dem Forschungsprojekt WEXICOM. Berlin: Forschungsforum Öffentliche Sicherheit, Freie Universität Berlin (Schriftenreihe Sicherheit, 25), S. 43–61.



an Frequenz und Magnitude extremer Wetterereignisse wie Gewitter, Starkregen oder Stürme einhergeht (Joy Hassol, Torok, Lewis & Luganda, 2016), welche sowohl den Bevölkerungsschutz als auch die Bevölkerung selbst vor neue Herausforderungen stellen. Um auf wetterbezogene Gefahren frühzeitig und angemessen reagieren zu können und entsprechende vorbereitende Schutzmaßnahmen zu ergreifen, ist ein effektives und differenziertes Warnsystem erforderlich, welches die heterogenen Bedürfnisse der Empfänger (Behörden, spezifische Endanwender, Bevölkerung) bestmöglich anspricht.

Im folgenden Beitrag soll ein grundlegender Überblick zur Warnkommunikation sowie eine Verortung von Wetterwarnungen innerhalb der Risikokommunikation erfolgen. Ein weiterer Fokus sind Erkenntnisse über die Wahrnehmung von Wetterrisiken durch die Bevölkerung sowie daraus abgeleitete Folgen für die Kommunikation von Wetterwarnungen. Außerdem werden Ergebnisse einer Befragung der Berliner Bevölkerung zum Umgang mit Wettergefahren vorgestellt.

4.2 Wetterwarnungen als Risiko- und Warnkommunikation

Wettervorhersagen sind tief in den Alltag der Bevölkerung eingebettet und können somit als ein Teil der Alltagskommunikation betrachtet werden. Da das Wettergeschehen alle – wenn auch in unterschiedlichen Kontexten und unterschiedlichem Grad – betrifft, kann zumindest davon ausgegangen werden, dass Wetterinformationen in bestimmten Situationen für jeden in der Bevölkerung relevant sind. Dadurch kommt Wettervorhersagen ein hoher alltagspraktischer Wert zu, da diese z. B. zur Tagesplanung wie der Kleidungs- oder Verkehrsmittelwahl oder der Planung von Freizeitaktivitäten herangezogen werden können (Demuth, Lazo & Morss, 2011). Im Gegensatz zu eher allgemeinen Wettervorhersagen, deren spezifisch praktischer Nutzen im Alltag sich oft auf die reine Informationsleistung bezieht, handelt es sich bei *Wetterwarnungen* um die Information über (unmittelbar) mögliche Extremwetterereignisse und dadurch einhergehende Gefahren für die Bevölkerung. Als Extremwetter können Wetterereignisse betrachtet werden, deren Auswirkungen Personen-, Sach- oder allgemeiner sozio-ökonomische Schäden verursachen können und welche daher auch gesondert zu betrachten sind (Jones & Golding, 2014).



4.2.1 Warnung als Risikokommunikation

Wettervorhersagen wie auch Wetterwarnungen werden auf Grundlage von stochastischen Daten erstellt und kommuniziert, wie z. B. das Regenrisiko für den nächsten Tag. Es werden also Wahrscheinlichkeiten über das Eintreffen zukünftiger wetterbedingter Ereignisse vermittelt, welche im Falle von Extremwetterereignissen zur Gefahr verbunden mit unmittelbaren Schäden werden können. Dies macht die Wetterkommunikation zu einer prominenten Form wissenschaftlicher Risikokommunikation im Alltag (Wilson, 2008), die probabilistische Vorhersagen für zukünftig prognostiziertes Wettergeschehen vermittelt. Im Allgemeinen werden Wettervorhersagen bisher jedoch in Deutschland überwiegend als deterministische Aussagen ohne Eintrittswahrscheinlichkeiten kommuniziert; probabilistische Angaben werden oft nur im Zusammenhang mit Niederschlag oder Entwicklungskorridoren für Wochenvorhersagen gemacht (Kox & Thielen, 2017, S. 299).¹⁰

Auch wenn jegliche Wetterkommunikation eine Form von Risikokommunikation ist, ist es wesentlich, tägliche Wettervorhersagen von der Kommunikation von Wetterwarnungen inhaltlich, zeitlich und formal zu unterscheiden: Ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal besteht darin, dass Extremwetterereignisse keine Alltagsphänomene sind und auch die damit verbundenen amtlichen Wetterwarnungen nicht als Bestandteil alltäglicher Kommunikation zu betrachten sind, sondern formal dem Katastrophenschutz zugerechnet werden können (siehe auch Kapitel 4.2.2). Des Weiteren unterscheiden sich Wetterwarnungen von allgemeinen Wettervorhersagen in ihrer inhaltlichen Zielsetzung: Wettervorhersagen werden zunächst primär mit dem Ziel einer reinen Informationsvermittlung kommuniziert. Es ist den InformationsempfängerInnen überlassen, ob und wie darauf reagiert wird oder Informationen verwendet werden, beispielsweise für Entscheidungen bezüglich der Tagesplanung oder Wahl der Kleidung (Lazo, Morss & Demuth, 2009). Wetterwarnungen hingegen beziehen sich auf zeitlich meist unmittelbar mögliche Gefahren durch Wetterrisiken, wodurch die Informationsvermittlung darauf abzielt, einerseits die Aufmerksamkeit der Bevölkerung für ein bevorstehendes mögliches Ereignis zu wecken, andererseits bestimmte Schutzhandlungen zu initiieren oder zumindest die Vermeidung risikoverstärkenden Verhaltens bei den durch die Gefahr potenziell betroffenen Menschen zu beeinflussen, um somit die Gefährdung zu verhindern oder die Konsequenzen zu minimieren (Lindell & Perry, 2012; Quarantelli, 1976).

¹⁰ Zur Kommunikation von Unsicherheiten siehe auch den Beitrag von *Nadine Fleischhut und Stefan M. Herzog* in Kapitel 5 dieses Sammelbandes.



Im Allgemeinen werden Warnungen vor dem Eintritt einer drohenden Gefahr initiiert und lassen sich somit zeitlich und inhaltlich von Krisenkommunikation abgrenzen, die sich eher als unmittelbare Bewältigungs- und Managementaufgabe akuter Krisen oder Störfälle versteht (Dombrowsky, 1991; Ruhrmann & Guenther, 2017). Folglich ist die Kommunikation von Extremwetterwarnungen zwischen einer allgemein gehaltenen fortlaufenden und alltäglichen Wetterrisikokommunikation und der Krisenkommunikation nach Eintritt eines Extremwetterereignisses zu verorten.

Um durch Warnkommunikation eine Wirkung im Sinne risikoverringernenden Verhaltens zu erzielen, müssen Warnungen zunächst mittels einer Alarmierung Aufmerksamkeit erzeugen (Weckfunktion), um eine Sensibilisierung für die jeweilige Gefährdung zu erzielen. Darüber hinaus dienen Warnungen der Informationsvermittlung, um über Art der Gefährdung selbst sowie die räumliche und zeitliche Ausdehnung und damit verbunden über konkrete Handlungsempfehlungen für Schutzmaßnahmen zu informieren (Geenen, 2009). Damit es zu Schutzhandlungen als Reaktion von Warnungen kommt, müssen folglich möglichst viele der potenziell gefährdeten Menschen die Warnung zuerst einmal hören oder lesen, dann die Warnung in der von den Sendern gewünschten Art und Weise bewerten und schließlich Maßnahmen zur Risikoverringerng ergreifen. Mileti und Peek (2000) sprechen von einem Hear-Perceive-Response-Prozess, der in Abhängigkeit einer Vielzahl von Faktoren letztlich zu Schutzhandlungen oder dem Vermeiden von risikoverstärkendem Verhalten führt.

Die Warnkommunikation muss so gestaltet werden, dass möglichst wenige Warnlücken durch eine fehlende oder nicht funktionierende Warninfrastruktur entstehen können. Wetterkommunikation wird als hauptsächlich massenmedial und technisch-vermittelte Kommunikation über unterschiedlichste Medien und Kommunikatoren verbreitet (Lazo et al., 2009), weshalb es wichtig ist, die spezifischen Kommunikationswege und Rezeptionsgewohnheiten auch in Bezug auf Warnkommunikation zu berücksichtigen. Darüber hinaus sind Verständnisprobleme aufgrund fehlgeleiteter oder inhaltlich nicht auf die Bedürfnisse der betroffenen Bevölkerung zugeschnittener Warnungen möglichst zu verhindern (Geenen, 2009). Außerdem ist es wesentlich, entsprechende Entwarnungen in der Warnkommunikation zu bedenken, da insbesondere bei Wetterwarnungen auch von einem falschen Alarm ausgegangen werden muss (Geenen, 2009), also dass Extremwetterereignisse nicht oder abgeschwächt bzw. räumlich variabel auftreten können. In der Folge kann es auch zu Vertrauensverlusten bezüglich der Glaubhaftigkeit von Wetterwarnungen kommen, die zu einem Ignorieren zukünftiger Warnungen führen könnten (*Cry-Wolf-Effect*) und einem Legitimitätsproblem gegenüber den Warngewerbern (LeClerc & Joslyn, 2015). Dies ist insbesondere für Behörden wie den Deutschen Wetterdienst zu beachten, die im Sinne des



Katastrophenschutzes durch die amtliche Warnung auch eine hoheitliche Aufgabe zu erfüllen haben. Außerdem können Extremwetterwarnungen nicht getrennt vom fortlaufenden Wetterrisikodiskurs betrachtet werden. Auch wenn Extremwetterereignisse nicht zum Alltag gehören, bedingen alltägliche Wettervorhersagen die Herausbildung eines nachhaltigen vertrauensbildenden Diskurses über Wettergefahren. Daher beeinflusst das alltägliche Beziehen und Nutzungsverhalten von Wetterinformationen, sowie das Verständnis und besonders das Vertrauen in geläufige Wetterinformationen, inwieweit Warnungen reibungslos und erfolgreich kommuniziert werden können (Mileti & Sorensen, 1990; Renn, Schweizer, Dreyer & Klinke, 2007). Die Aspekte zur Risiko- und Warnkommunikation zusammenfassend, zeigt sich die Herausforderung, ein differenzierteres Verständnis der Anforderungen seitens der Bevölkerung in Bezug auf die Kommunikation von Wetterrisiken und Wetterwarnungen zu bekommen.

4.2.2 Warnpraxis des DWD

In Deutschland ist der Deutsche Wetterdienst (DWD) formal für Warnungen der Bevölkerung vor Extremwetterereignissen zuständig. Zu seinen gesetzlichen Aufgaben gehört die „Herausgabe amtlicher Warnungen über Wettererscheinungen, die zu einer Gefahr für die öffentliche Sicherheit und Ordnung führen können oder die in Bezug zu drohenden Wetter- und Witterungsereignissen mit hohem Schadenspotenzial stehen.“¹¹ Das Grundgerüst des Warnmanagements bildet eine täglich aktualisierte *Wochenvorhersage Wettergefahren in Deutschland*, welche eher allgemein Vorabinformation über mögliche Wettergefahren in Deutschland basierend auf globalen numerischen Vorhersagemodellen (Ensembles & deterministische Vorhersagen) vermittelt. Um das Warnmanagement umfassend und darüber hinaus räumlich und zeitlich skalierbar zu betreiben, also der zunehmenden Sicherheit in Bezug auf mögliche Ereignisse gerecht zu werden, ist das Warnsystem dreistufig aufgebaut und basiert je nach Stufe sowohl auf automatisierten Modellvorhersagen als auch auf meteorologischen Beobachtungen (DWD, 2017).

Als erste Stufe wird im Zuge der *Wochenvorhersage Wettergefahren* eine *Frühwarninformation* (bis fünf Tage vor dem Ereignis) herausgegeben, die textbasiert über erwartete Extremwetterereignisse innerhalb Deutschlands informiert und somit vor allem zur Erhöhung der Aufmerksamkeit in Bezug auf mögliche, sich abzeichnende Extremwetterereignisse dient (Kox, Kempf, Lüder, Hagedorn & Gerhold, 2018, S. 75). Mit zunehmender zeitlicher Nähe zum möglichen Ereignis werden auch die Vorhersagemodelle präziser und die Unsicherheit der Vorhersagen nimmt ab. In der

¹¹ Gesetz über den Deutschen Wetterdienst (DWD-Gesetz).



zweiten Stufe des Warnsystems werden *Vorwarninformationen*, basierend auf numerischen Wettervorhersagen unter Miteinbezug regionaler Modelle in die Vorhersage, herausgegeben, die bereits nähere Information in Bezug auf mögliche betroffene Regionen (bzw. Bundesländer) beinhalten. Diese werden sowohl als automatisierte *Vorabinformation Unwetter* (ab 48 h vor dem Ereignis), als auch als textbasierter *Warnlagebericht* (24 h bis 12 h vor dem Ereignis) herausgegeben und regelmäßig aktualisiert. Sobald ein Ereignis mit der nötigen Sicherheit vorhersagbar ist und die erwarteten meteorologischen Schwellenwerte für spezifische Warnkriterien erfüllt, werden *amtliche (Un-)Wetterwarnungen* (bis 12 h vor dem Ereignis) herausgegeben (DWD, 2017). Neben der Zentrale des DWD sind auch die sechs Regionalzentralen des DWD mit der Erstellung von Wetterwarnungen befasst, die nun landkreisbezogen und darüber hinaus auch auf Gemeindeebene herausgegeben werden und sich an den administrativen räumlichen Strukturen orientieren. Diese werden zentral gebündelt und anschließend über unterschiedlichste Kanäle (Website, E-Mail, Fax, DWD-Warnapp etc.) kommuniziert (Kox et al., 2018, S. 75).

Neben dem Warnmanagement für die allgemeine Öffentlichkeit gibt es außerdem spezielle Warninformationsmedien und -kanäle, um insbesondere Akteure des Bevölkerungs- und Katastrophenschutzes (z. B. Feuerwehren¹²) bestmöglich zeitnah und umfassend zu informieren. Darüber hinaus werden amtliche Wetterwarnungen ab DWD-Warnstufe 3 auch in das modulare Warnsystems des Zivil- und Katastrophenschutzes (MoWas) integriert.

4.3 Bevölkerung und Wetterkommunikation

Wettervorhersagen und -warnungen wurden lange Zeit vor allem von operationeller meteorologischer Seite aus in Bezug auf ihre inhaltliche Konsistenz und Güte (Verifikation) hin untersucht, die Empfängerseite von Vorhersagen und Warnungen wurde jedoch eher vernachlässigt; erst in jüngerer Zeit erfolgte auch eine nähere Betrachtung der Bevölkerung und ihrer Wahrnehmung und Handlung in Bezug auf Wetterinformationen (Silver, 2015). Das ist insbesondere daher bemerkenswert, als das letztlich nur dann von einer erfolgreich kommunizierten Wettervorhersage oder -warnung ausgegangen werden kann, wenn diese seitens der EmpfängerInnen (in diesem Falle der Bevölkerung) verstanden und in entsprechende Handlungen im Alltag umgesetzt wird. Eine Warnung oder Vorhersage hoher Güte (im meteorologischen Sinne) hat somit zunächst keinen spezifischen (ökonomischen oder auch gesellschaft-

¹² vgl. auch den Beitrag von *Thomas Kox, Catharina Lüder und Clara Brune* in Kapitel 6 dieses Sammelbandes.



lichen) Wert, sofern sie nicht von einem Endnutzer in entsprechende Handlungen mit dem Ziel einer Minimierung von Schäden umgesetzt wird (Murphy, 1994).

Um Warn- und Kommunikationsprozesse von Wetterinformationen im Sinne der Nutzer zu optimieren, sind auch Erkenntnisse über die jeweilige Anwendbarkeit und den Nutzen wetterspezifischer Informationen im Alltag der Bevölkerung hilfreich (Doswell, 2003). Aus diesem Grund sollen nun zunächst Erkenntnisse über die Nutzung allgemeiner Wetterinformationen durch die Bevölkerung angeführt werden.

4.3.1 Wahrnehmung & Nutzung von Wettervorhersagen

Ein nicht unerheblicher Teil wissenschaftlicher Studien hat sich mit der Nutzung allgemeiner Wetterinformationen durch die Bevölkerung auseinandergesetzt. Auch im Zuge des Forschungsprojektes WEXICOM wurde eine Bevölkerungsbefragung zum Umgang mit Wetterinformationen und -warnungen durchgeführt. Fokus der quantitativen repräsentativen Bevölkerungsbefragung war einerseits die allgemeine Nutzung von Wetterinformationen aber auch die Wahrnehmung von Wettergefahren sowie der Umgang mit Wetterrisiken und -warnungen. Tabelle 1 gibt einen Überblick über Umfang, Stichprobe und Zeitpunkt der durchgeführten Studie. Im Folgenden sollen Ergebnisse der Befragung jeweils kurz vorgestellt und in den Kontext weiterer Forschung zum Umgang der Bevölkerung mit Wetterinformationen und -gefahren gebracht werden.

Grundgesamtheit	(Deutschsprachige) Wohnbevölkerung ab 18 Jahren in Berlin
Methode	Telefonische Befragung (CATI)
Anzahl der Interviews (n)	1006 (zusätzlich 51 Pretest-Interviews)
Auswahlverfahren	Repräsentative Haushaltsstichprobe
Feldzeit	Pretests Juni 2017, Hauptfeldphase Juni/Juli 2017
Repräsentativität	Gewichtung nach den Merkmalen Alter, Geschlecht, Haushaltsgröße, Schulbildung und Stadtbezirk

Tabelle 1: Untersuchungsdesign

Laut Studien aus den USA und Kanada sind Wettervorhersagen fester Bestandteil des Alltags der Bevölkerung und werden vor allem aus pragmatischen Gründen für Alltagsentscheidungen wie etwa die Wahl der Kleidung, die Wahl des Verkehrsmittels oder die Planung von Freizeitaktivitäten herangezogen. Aus den Studien geht außerdem hervor, dass in den USA 50 % der Bevölkerung täglich Wettervorhersagen beziehen, was die alltägliche Relevanz von Wetter unterstreicht (Demuth, Morss,



Lazo & Trumbo, 2016; Lazo et al., 2009; Silver, 2015) Neben dem Nutzen von Wettervorhersagen im Alltag wurde auch die Wettersalienz innerhalb der Bevölkerung als Faktor untersucht, welche die Wahrnehmbarkeit von Wetter und Wetterveränderungen beschreibt und die damit das Nutzerverhalten und Vertrauen in Wettervorhersagen beeinflusst (Stewart, Lazo, Morss & Demuth, 2012). Als Gründe für die unterschiedliche Wahrnehmung und Nutzung von Wetterinformationen werden soziodemographische Einflussfaktoren sowie die Erfahrungen mit der Genauigkeit von Wettervorhersagen angeführt (Demuth et al., 2016). Auch die für die Konsultation von Wettervorhersagen genutzten Informationsquellen sind ein Fokus wissenschaftlicher Untersuchungen. Eine Studie aus Österreich belegt beispielsweise die pluralistische Mediennutzung bezüglich Wetterinformationen. Demnach sind nach wie vor klassische Medien wie TV und Radio die Hauptquellen für Wettervorhersagen, werden aber häufig mit neueren Kanälen wie dem Internet gemeinsam als Portfolio für Wetterinformationen genutzt (Keul & Holzer, 2013). Darüber hinaus sind auch Kommunikationsnetzwerke wie Social Media und Wetter-Apps auf mobilen Medien zunehmend für Wetterinformationen relevant (Demuth et al., 2016).

Ähnliche Ergebnisse lassen sich auch aus der Befragung der Berliner Bevölkerung ziehen. Der überwiegende Teil der Befragten nutzt Wetterinformationen mit einer täglichen oder mehrmals täglichen Frequenz (vgl. Tabelle 2).

	mehrmals täglich	täglich	mehrmals pro Woche	wöchentlich	monatlich	seltener	nie
Fernsehen	7,2	47,5	9,2	5,7	1,5	8,5	20,4
Radio	13,1	35,2	7,3	3,2	1,2	10,7	29,3
Internet	6,2	26,4	11,1	7,4	3,1	10,5	35,3
Mobiltelefon	11,9	28,7	7,7	2,5	1,5	5,3	42,4
Spezielle Wetter-App	8,4	18,8	5,9	2,5	0,7	4,3	59,4
Zeitung	0,4	10,1	3,3	3,6	1,5	11,5	69,6
Eigene Beobachtung	22,5	50,1	6,2	2,5	0,8	5,4	12,6
Bekannte & Verwandte	1,5	9,4	6,6	8,5	3,0	16,3	54,7

Tabelle 2: Quellen für Wetterinformationen: Wie häufig informieren Sie sich über die folgenden Quellen über das Wetter? (n=1006; Angaben in %)

Auch die Berliner Bevölkerung konsultiert laut der Befragung unterschiedliche Medien für Wetterinformationen. Fast die Hälfte der Befragten nutzt täglich das Fernsehen für Wetterinformationen (47,5 %), gefolgt von Radio (35,2 %), der vorinstallierten Wetterinformation auf dem Mobiltelefon (28,7 %), Internet (26,4%) und einer speziellen Wetter-App (18,8 %). Die Zeitung wird diesbezüglich nur von 10,1 % der Befragten täglich konsultiert. Auffällig ist außerdem, dass immerhin knapp die Hälfte der Befragten selten oder nie Wetterinformationen über Mobiltelefone oder Smartphones konsultiert. Neben der Nutzung von Wettervorhersagen vertraut die Hälfte der Befragten auf die eigene Beobachtung für Wetterinformationen (50,1 %),



knapp ein Viertel tut dies mehrmals täglich (22,5 %). Freunde oder Bekannte werden hingegen eher selten bis nie als Quelle von Wetterinformationen angegeben.¹³

In der Studie wurde die Berliner Bevölkerung auch bezüglich der Nutzung von Wetterinformationen befragt (vgl. Abbildung 3). Anhand des Zustimmungsgrads zu den Aussagen erschließt sich, dass auch die Berliner Bevölkerung Wettervorhersagen überwiegend für die Planung von Alltagsterminen und Freizeitaktivitäten sowie die Kleiderwahl nutzt und außerdem auch auf die eigene Wahrnehmung in Bezug auf Wetterveränderungen vertraut.

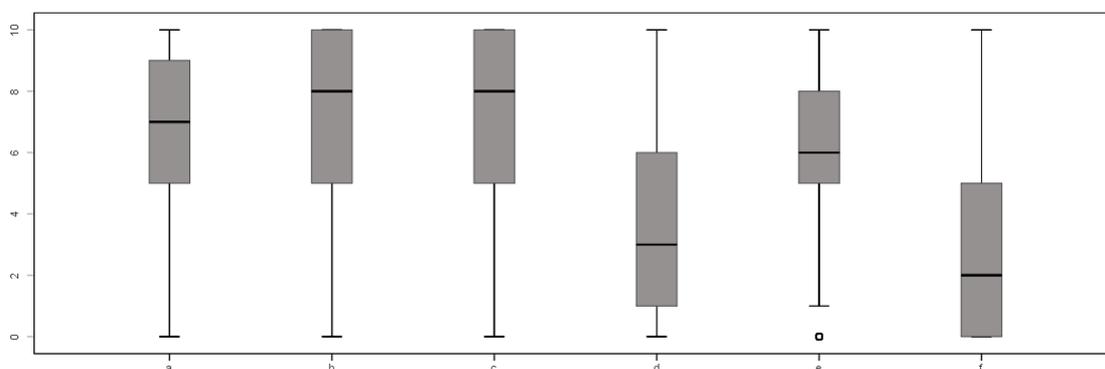


Abbildung 3: Aussagen zur Nutzung von Wettervorhersagen. Ich nutze die Wettervorhersage zur... a) Planung von Tagesaktivitäten und Terminen, b) Wahl von Bekleidung und Verkehrsmitteln, c) Planung von Freizeitaktivitäten, d) nur wenn extremes Wetter droht. e) Ich nehme Wetterveränderungen selbst wahr – auch ohne Wettervorhersage. f) Wettervorhersagen spielen für mich keine Rolle. (Boxplot zeigt Grad der Zustimmung 0-10)

Im Kontext erfolgreicher Risikokommunikation wird Vertrauen sowohl in den Kommunikator als auch in Bezug auf die Richtigkeit der Information oft als ein zentraler Faktor genannt. Auch in Bezug auf die Kommunikation von Wetterrisiken ist zwischen einer inhaltlichen Korrektheit und Vertrauen in die Quelle zu unterscheiden (Kox, Gerhold & Ulbrich, 2015). Die Berliner Bevölkerung zeigt in der Befragung insgesamt ein hohes Vertrauen in die Zuverlässigkeit von Wettervorhersagen und kann auch die zunehmende Unsicherheit einer 7-Tages-Vorhersage im Vergleich zu einer 2-Tages-Vorhersage richtig einschätzen (vgl. Abbildung 4). Das Vertrauen in den Kommunikator (Wetterdienst) wurde nicht abgefragt.

¹³ Die Angaben zeigen ein ähnliches Bild wie die Ergebnisse einer im Jahr 2014 durchgeführten Studie von Kox und Thieken (2017, S. 307).

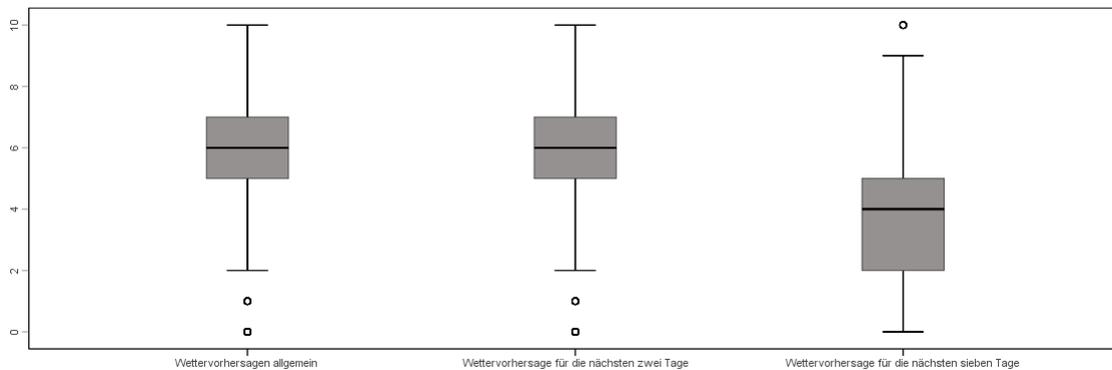


Abbildung 4: Vertrauen in die Zuverlässigkeit von Wettervorhersagen (Wie hoch ist allgemein ihr Vertrauen in die Zuverlässigkeit von Wettervorhersagen, also dass Vorhersagen auch so eintreffen wie vorhergesagt? Boxplot zeigt Grad des Vertrauens 0-10.)

4.4 Bevölkerung und Wetterrisiken

Die Förderung der Resilienz und Selbsthilfefähigkeit in der Bevölkerung gegenüber wetterbedingter Naturgefahren ist ein Hauptziel der Kommunikation von Wetterrisiken und -warnungen. Um im Falle drohender Extremwetter entsprechende Entscheidungen zu treffen und Schutzmaßnahmen zu ergreifen ist das Verständnis der Warninhalte und die Nützlichkeit von (Wetter-)Informationen für die Bevölkerung von zentraler Bedeutung (WMO, 2002).

4.4.1 Wetterrisikowahrnehmung

Es ist davon auszugehen, dass die Fähigkeiten und Möglichkeiten, Wetterrisiken und -warnungen wahrzunehmen, richtig zu interpretieren und für Entscheidungen und Handlungen optimal nutzen zu können, innerhalb der heterogenen Bevölkerung unterschiedlich stark ausgeprägt sind. Die Bevölkerung unterscheidet sich nicht nur bezüglich sozio-kultureller Merkmale (z. B. Bildung, Alter, Einkommen) sondern auch in Bezug auf die dadurch geprägten lebensweltlichen Erfahrungsräume (soziale Milieus), welche alltägliche Handlungen und Entscheidungen formen. Durch diese heterogenen Lebensbedingungen ergeben sich Unterschiede bezüglich der Bewertung wetterbedingter Risiken, ebenso hängt die Vulnerabilität und Resilienz gegenüber Wettergefahren von den jeweiligen sozialen Kontexten ab. So sind beispielsweise Berufspendler, Familien mit kleinen Kindern oder ältere Menschen mit körperlichen Einschränkungen spezifische Personengruppen, die aufgrund unterschiedlicher Voraussetzungen vulnerabel gegenüber wetterbedingten Gefahren sind (Cutter, Boruff & Shirley, 2003). Da Wetterrisiken im Kontext alltäglicher Handlungen in Erscheinung



treten (wie Arbeitswege, Freizeitaktivitäten etc.), resultiert dies in ebenso unterschiedlichen Möglichkeiten, entsprechend auf Extremwetterereignisse zu reagieren.

Untersuchungen bezüglich der Wahrnehmung von Wetterrisiken und dem Umgang mit Wettergefahren haben sich auch mit Einflussfaktoren auf die Wahrnehmung von Risiken befasst. Als zentraler Aspekt wird die Erfahrung mit Extremwetterereignissen hervorgehoben, welche die Gefahrenwahrnehmung beeinflussen und die Bedeutungszuschreibung (eng. *salience*) erhöhen, insbesondere, wenn diese zu hohem (ökonomischen) Schaden geführt haben (Keller, Siegrist & Gutscher, 2006; Stewart, 2009). Auch eine erhöhte Exposition gegenüber wetterbedingten Gefahren, beispielsweise durch häufigen Aufenthalt oder Arbeit im Freien, hat einen Einfluss auf die Risikowahrnehmung und kann sich darüber hinaus auf die Bedeutungszuschreibung bezüglich Wetterrisiken im soziokulturellen Umfeld auswirken (Kalkstein & Sheridan, 2007). Zahlreiche Studien unterstreichen außerdem die heterogene Risikowahrnehmung innerhalb der Bevölkerung und machen dies auch anhand soziodemographischer Einflussfaktoren aus. Dazu zählen unter anderem Alter, Geschlecht, Bildung, Wohnstatus oder auch die Wohnform (Eigentum oder Miete), die Einfluss auf die Wahrnehmung von Naturgefahren haben kann (etwa Carr et al., 2016; Grothmann & Reusswig, 2006; Kox & Thielen, 2017).

Dennoch lässt eine hohe Risikowahrnehmung nicht unbedingt auch auf verstärkt risikominimierendes Verhalten schließen. Powell (2008) zeigt in einer Studie hierzu auf, dass das Verhalten bezüglich Wetterinformationen und Warnungen durch demographische Faktoren, besonders geographische Lage, Alter und Geschlecht beeinflusst ist. Kox und Thielen (2017) führen an, dass klassische soziodemographische Faktoren alleine jedoch nicht ausreichen, um die Risikowahrnehmung und darauf folgende Schutzhandlungen zu verstehen, da diese von (sozio-ökonomisch bedingten) Möglichkeiten zu handeln und komplexeren Zusammenhängen beeinflusst sind, wozu auch die Art und Quelle der Gefahr, mögliche Auswirkungen, Vertrauen und Selbstwirksamkeitserwartung der betroffenen Person gehören. So können Handlungsentscheidungen bezüglich Wetterwarnungen beispielsweise auch von der Wahrnehmung, ob das eigene Haus betroffen ist und vom Verhalten von Nachbarn und Freunden beeinflusst sein (Carr et al., 2016). Wachinger, Renn, Begg und Kuhlicke (2013) beschreiben in einer Metastudie eine Vielzahl von Faktoren, welche Schutzhandlungen beeinflussen, wie die Erinnerung an Auswirkungen vorangegangener Extremwetterereignisse, die Fähigkeit sich die Auswirkungen vorzustellen, Vertrauen oder Misstrauen in Autoritäten sowie das Verständnis von Eigenverantwortung und Zuständigkeiten bezüglich des Ergreifens von Schutzhandlungen.



Hieraus zeigt sich, dass sowohl die Wahrnehmung von Wetterrisiken als auch das konkrete Handeln aufgrund von Wettergefahren und -warnungen innerhalb der Bevölkerung sehr heterogen ausfallen kann. Die soziokulturellen Hintergründe und alltägliche Handlungsräume als Einflussfaktoren sind dabei als eher komplexe Zusammenhänge zu betrachten, welche sich selten auf einzelne Indikatoren reduzieren lassen. Folglich besteht die Herausforderung, Informationen über Wetterrisiken unter Berücksichtigung dieser heterogenen Bedarfe verständlich und möglichst frühzeitig (Warnungen) an die Bevölkerung zu kommunizieren und damit ein Optimum an Verständnis und Anwendbarkeit im Alltag zu erzielen. Um je nach Kontext bedarfsgerecht zu kommunizieren, ist also nicht nur die sozio-kulturell unterschiedlich geprägte Wahrnehmung wetterbedingter Risiken zu beachten, sondern auch die sich aus den jeweils alltäglichen Handlungen ergebende spezifische Vulnerabilität gegenüber wetterbedingter Gefahren. Daraus resultierend zeigen sich die jeweiligen Handlungsspielräume auf, um überhaupt auf Wetterwarnungen reagieren zu können.

4.4.2 Kommunikation von Wetterwarnungen

Wie bereits eingangs erwähnt, kommt im ganzheitlichen Prozess des Risiko- und Krisendiskurses Warnkommunikation eine besondere Rolle zu, bei der das Risiko eines unmittelbaren oder auch zeitlich späteren Ereignisses (Frühwarnung) mit möglichem Schaden kommuniziert wird. Die intendierte Informationsleistung einer Wetterwarnung geht dabei über die reine Alarmierungsfunktion hinaus. Während die Alarmierung also relativ unspezifisch eine reine Signalfunktion zwecks Sensibilisierung der Aufmerksamkeit erfüllen kann (beispielsweise Sirenen), erfordert eine Wetterwarnung als Botschaft unter Umständen spezifischere Inhalte wie auch Übertragungswege, um von den Empfängern innerhalb ihres räumlich-sozialen Kontexts empfangen und verstanden zu werden (Geenen, 2009). Wenn dabei bereits ein etabliertes Kommunikationsverhältnis existiert, welches auf Vertrauen basiert, kann dies die Reaktion auf Warnungen positiv beeinflussen (Lindell & Perry, 2004). Insbesondere in Bezug auf Wetterwarnungen ist also davon auszugehen, dass die alltägliche Erfahrung und der Nutzen von Wetterinformationen einen Einfluss auf den Umgang mit entsprechenden Wetterwarnungen haben. Darüber hinaus ist es im Sinne einer bestmöglichen Nutzung von Wetterwarnungen hilfreich, neben rein zeitlichen Aspekten (Wann und wie schnell?) sowohl die spezifischen *Übertragungswege* (Über welche Medien?) auch *inhaltliche Kriterien* (Was und Wie?) zu berücksichtigen. Hierzu gibt es bereits eine Vielzahl von Forschungsergebnissen, welche die heterogenen Anforderungen bezüglich Wetterwarnungen verdeutlichen und hier beispielhaft vorgestellt werden.



Medium, Darstellung und Aufbereitung von Warnungen

Um mit einer Wetterwarnung möglichst viele gefährdete Menschen zu erreichen, ist es zielführend, die individuell unterschiedlichen Mediennutzungs- und Informationsroutinen (Hasebrink, 2012) zu berücksichtigen und somit multiple Übertragungswege (z. B. Radio, Fernsehen oder Social Media) einer Warnung zu gewährleisten. Die aktuelle Forschung zeigt, dass Menschen Extremwetterwarnungen weiterhin über dieselben Kanäle wie für alltägliche Wettervorhersagen beziehen (Steelman, McCaffrey, Velez & Briefel, 2015). Daraus geht hervor, dass das alltägliche spezifische Nutzungsverhalten in Bezug auf Wetterinformationen Hinweise auf bestmögliche Übertragungskanäle für Warnkommunikation gibt. Dennoch lassen sich auch Unterschiede bezüglich der Übertragungskanäle feststellen. Drost, Casteel, Libarkin, Thomas und Meister (2016) untersuchen die Auswirkungen der Darstellung von Wetterwarnungen im Fernsehen und empfehlen die Reduktion der Komplexität von traditionellen Warnungen, um die Aufmerksamkeit der Zuschauer zu erhöhen. Demgegenüber können sich die Probanden laut einer anderen Studie schwerer an über das Radio vermittelte Warnungen erinnern. Gleichzeitig wird eine einheitliche Anordnung der Informationen in jeder Nachricht und geringes Tempo beim Sprechen bevorzugt (Keul & Holzer, 2013).

Bezüglich der inhaltlichen Darstellung von Warnungen werden Farben und andere graphischen Darstellungen als wichtiges Hilfsmittel zum Verständnis einer Warnung gesehen. So haben Teilnehmer einer Studie einen Mix zwischen Graphen und Text vorgezogen. Die Graphen als kurze Informationsquelle und der Text als Erklärung und Detailinformation (Carr et al., 2016). Casteel und Downing (2013) vergleichen die Informationsleistung von Grafiken im Zuge textbasierter Wetterwarnungen über Mobiltelefone und kommen jedoch zu keinem eindeutigen Ergebnis, ob Grafiken in Warnungen das Verständnis über betroffene Gebiete erhöhen. Außerdem werden lange Warnungen mit ausreichenden (Zusatz-)Informationen gegenüber kurzen mit wenigen Information vorgezogen.

Insbesondere im Fernsehen und Radio werden Wetterinformationen und Warnungen meist von WettermoderatorInnen präsentiert. Carr et al. (2016) zeigen in einer Untersuchung jedoch auf, dass von ExpertInnen der Wetterdienste präsentierte Wetterinformationen gegenüber den von WettermoderatorInnen kommunizierten bevorzugt werden. Dennoch ist auch zu beachten, dass nicht alle Darstellungsformen gleich in der Bevölkerung wahrgenommen und interpretiert werden und es somit zu Missverständnissen und Unklarheiten bezüglich der von ExpertInnen intendierten Aussage kommen kann.



Kommunikation von Unsicherheiten und Auswirkungen

Ein weiterer Aspekt bezüglich der Kommunikation von Wetterwarnungen ist der Miteinbezug von Unsicherheitsinformationen. Da wie bereits erwähnt jegliche Wetterkommunikation auf stochastischen Daten beruht, kann die Kommunikation dieser Unsicherheit das Verständnis von Warnungen und Handlungsentscheidungen gegenüber der geläufigen deterministischen Kommunikation verbessern (Joslyn & LeClerc, 2013).¹⁴ Ein darauf aufbauender Ansatz ist darüber hinaus die Kommunikation möglicher Auswirkungen (*impacts*) im Zuge von Wetterwarnungen (WMO, 2015). Untersuchungen zu *Impact-* oder *Consequence-Based Warnings* zeigen, dass Warnungen, die über die Gefahr hinaus auch über die damit verbundenen möglichen Konsequenzen informieren, die Wahrscheinlichkeit erhöhen, dass Schutzmaßnahmen durch die Bevölkerung ergriffen werden (Casteel, 2016; Ripberger et al., 2015).¹⁵ Allerdings besteht laut Ripberger et al. (2015) für die USA auch die Gefahr, dass Extremwetterwarnungen, die als sehr ernst wahrgenommen werden, eher zu Fluchttendenzen innerhalb der Bevölkerung führen, statt sich am nächsten Ort in Sicherheit zu bringen und es so zu Folgerisiken wie Staus führen kann. Im Zusammenhang mit der Wahrnehmung von Wetterwarnungen führen Patt und Schrag (2003) außerdem an, dass seitens der Bevölkerung bezogen auf die Warninhalte von eher zu extremen Angaben für Eintrittswahrscheinlichkeit und der Magnitude des Ereignisses ausgegangen wird (*forecasting bias*), was sich negativ auf die Handlungsbereitschaft auswirken kann. Dies kann insbesondere dann zu einem Problem werden, wenn Schutzhandlungen besonders notwendig wären (Joslyn & Savelli, 2010). Dennoch zeigen Kox und Thieken (2017) auf, dass die Handlungsbereitschaft in der Bevölkerung höher ist, wenn das zu erwartende Extremwetterereignis bedrohlich erscheint und zudem Eigentum von hohem Wert bedroht ist. Mit dem Ergreifen von Schutzmaßnahmen seitens der Bevölkerung erfolgt ein wichtiger, letzter Schritt einer effektiven Warnkommunikationskette, welcher letztlich auch als Hinweis auf eine erfolgreich kommunizierte Warnung dienen kann.

Die hier nur überblickartig angeführten Forschungsarbeiten bezüglich der Kommunikation von Wetterwarnungen zeigen auf, dass die Kommunikation von Extremwetterinformationen an die Bevölkerung ein komplexer Prozess ist, der sich nur mittels vielseitiger Kommunikationsmedien und unterschiedlicher Darstellungsweisen erfolgreich realisieren lässt. Im Zusammenhang mit den aufgezeigten heterogenen Wahr-

¹⁴ Für umfassende Informationen zur Kommunikation von Unsicherheiten siehe auch den Beitrag von Nadine Fleischut und Stefan M. Herzog in Kapitel 5 dieses Sammelbandes.

¹⁵ Für wirkungsbasierte Warnungen siehe auch die Beiträge von Nico Becker in Kapitel 7 und von John Gubernath und Nadine Fleischut in Kapitel 8 dieses Sammelbandes.



nehmungen und damit verbundenen facettenreichen Reaktionsmöglichkeiten innerhalb der Bevölkerung zeigen sich die Schwierigkeiten, eine bedarfsgerechte Wetterwarnkommunikation zielgruppengerecht zu verwirklichen. Da eine umfassende Erfüllung jeglicher kommunikativer Bedürfnisse im Rahmen eines umfassenden Warnauftrages nur schwer umsetzbar erscheint, kann es zielführend sein, bestimmte, besonders vulnerable Gruppen innerhalb der Bevölkerung, wie etwa Pendler, körperlich eingeschränkte Personen, alte Menschen oder Familien, entsprechend ihrer Bedürfnisse zu bedienen.¹⁶ Grundsätzlich besteht die Hauptaufgabe einer Wetterwarnung in der Alarmierung und Information der Bevölkerung vor möglichen Extremwetterereignissen. Falls von den Warngebern spezifische Reaktionen und Schutzhandlungen erwünscht sind, sollten sich diese darüber hinaus an den inhaltlichen Bedarfen der EmpfängerInnen orientieren. So können beispielsweise weitere Informationen bezüglich möglicher Auswirkungen oder konkrete Handlungshinweise zusätzlich bereitgestellt werden, die spezifischer auf die Bedürfnisse einzelner Gruppen innerhalb der Bevölkerung abgestimmt sind.

4.5 Fazit

In diesem Beitrag wurde ein allgemeiner Überblick über die Komplexität der Warnkommunikation gegeben und es wurden insbesondere sozialwissenschaftliche Aspekte beleuchtet. Darüber hinaus wurden allgemeine Wettervorhersagen sowie Wetterwarnungen im Rahmen von Risikokommunikation verortet. Hierbei wurde insbesondere die Wahrnehmung und Nutzung von Wetterinformationen im Alltag der Bevölkerung als ein wichtiger Baustein für eine effektive Kommunikation von Wetterwarnungen herausgestellt und es wurden beispielhaft einzelne Ergebnisse einer Bevölkerungsbefragung der Berliner Bevölkerung vorgestellt. Da auch die Fähigkeiten und Möglichkeiten, Wetterrisiken und -warnungen wahrzunehmen und darauf entsprechend zu reagieren, innerhalb der Bevölkerung sehr heterogen ausgeprägt sind, muss von unterschiedlichen Bedarfen bezüglich der Inhalte und Verbreitungswege für Wetterwarnungen ausgegangen werden. Die Herausforderung besteht darin, die breite Bevölkerung ausreichend vor einem drohenden Wetterereignis über diverse Kommunikationskanäle zu warnen und darüber hinaus spezifisch vulnerable Bevölkerungsgruppen bedarfsgerecht mit entsprechend Warninhalten zu erreichen. Weiterer Forschungsbe-

¹⁶ Beispielsweise stellen Klafft und Reinhardt (2016) u. a. besondere Anforderungen an Nachrichten für Menschen, die unter Taubheit leiden, heraus. Auch wenn Menschen, die unter Taubheit leiden, keine Schwierigkeit haben, Warnungen zu verstehen, kann es zu Verwirrungen kommen, wenn Warnungen nicht deutlich von normalen Wettervorhersagen abgegrenzt werden. Sie empfehlen beispielsweise ein Blinken des Smartphones bei Warnmeldungen.



darf beinhaltet somit die Evaluierung spezifischer Warnformate für bestimmte Bevölkerungsgruppen, um bestmögliches Verständnis und optimale Anwendbarkeit von Wetterinformationen zu erlangen.

Literatur

- Carr, R. H., Montz, B., Maxfield, K., Hoekstra, S., Semmens, K. & Goldman, E. (2016). Effectively Communicating Risk and Uncertainty to the Public Assessing the National Weather Service's Flood Forecast and Warning Tools. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 97 (9), 1649–1665.
- Casteel, M. A. (2016). Communicating Increased Risk: An Empirical Investigation of the National Weather Service's Impact-Based Warnings. *Weather, Climate, and Society*, 8 (3), 219–232.
- Casteel, M. A. & Downing, J. R. (2013). How Individuals Process NWS Weather Warning Messages on Their Cell Phones. *Weather, Climate, and Society*, 5 (3), 254–265.
- Cutter, S. L., Boruff, B. J. & Shirley, W. L. (2003). Social Vulnerability to Environmental Hazards. *Social Science Quarterly*, 84 (2), 242–261.
- Demuth, J. L., Lazo, J. K. & Morss, R. E. (2011). Exploring Variations in People's Sources, Uses, and Perceptions of Weather Forecasts. *Weather, Climate, and Society*, 3 (3), 177–192.
- Demuth, J. L., Morss, R. E., Lazo, J. K. & Trumbo, C. (2016). The Effects of Past Hurricane Experiences on Evacuation Intentions through Risk Perception and Efficacy Beliefs: A Mediation Analysis. *Weather, Climate, and Society*, 8 (4), 327–344.
- Dombrowsky, W. R. (1991). *Krisenkommunikation: Problemstand Fallstudien und Empfehlungen*. Jülich.
- Doswell, C. A. (2003). Societal impacts of severe thunderstorms and tornadoes: lessons learned and implications for Europe. *Atmospheric Research*, 67-68, 135–152.
- Drost, R., Casteel, M., Libarkin, J., Thomas, S. & Meister, M. (2016). Severe Weather Warning Communication: Factors Impacting Audience Attention and Retention of Information during Tornado Warnings. *Weather, Climate, and Society*, 8 (4), 361–372.
- DWD. (2017). *Die Wetterwarnungen des Deutschen Wetterdienstes: Amtlich, zuverlässig und aus einer Hand*. Zugriff am 30.10.2018 auf https://www.dwd.de/SharedDocs/broschueren/DE/presse/warnmanagement_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=8
- Geenen, E. M. (2009). Warnung der Bevölkerung. In *Gefahren und Warnungen* (S. 60–102). Schutzkommission beim Bundesminister des Innern.



- Grothmann, T. & Reusswig, F. (2006). People at Risk of Flooding: Why Some Residents Take Precautionary Action While Others Do Not. *Natural Hazards*, 38 (1-2), 101–120.
- Hasebrink, U. (2012). *Informationsrepertoires der deutschen Bevölkerung: Konzept für eine regelmässig durchzuführende bevölkerungsrepräsentative Befragung im Rahmen des Vorhabens Erfassung und Darstellung der Medien- und Meinungsvielfalt in Deutschland*. Hamburg: Hans-Bredow-Inst. für Medienforschung.
- Jones, S. & Golding, B. (2014). *HIWeather: A research activity on High Impact Weather within the World Weather Research Programme*. Zugriff am 30.10.2018 auf https://www.wmo.int/pages/prog/arep/wwrp/new/documents/HIW_IP_v1_4.pdf
- Joslyn, S. & LeClerc, J. (2013). Decisions with uncertainty: The glass half full. *Current Directions in Psychological Science*, 22 (4), 308–315.
- Joslyn, S. & Savelli, S. (2010). Communicating forecast uncertainty: Public perception of weather forecast uncertainty. *Meteorological Applications*, 17 (2), 180–195.
- Joy Hassol, S., Torok, S., Lewis, S. & Luganda, P. (2016). (Un)Natural Disasters: Communicating Linkages Between Extreme Events and Climate Change. *WMO Bulletin*, 65 (2), 2–9.
- Kalkstein, A. J. & Sheridan, S. C. (2007). The social impacts of the heat-health watch/warning system in Phoenix, Arizona: assessing the perceived risk and response of the public. *International Journal of Biometeorology*, 52 (1), 43–55.
- Keller, C., Siegrist, M. & Gutscher, H. (2006). The role of the affect and availability heuristics in risk communication. *Risk Analysis*, 26 (3), 631–639.
- Keul, A. G. & Holzer, A. M. (2013). The relevance and legibility of radio/TV weather reports to the Austrian public. *Atmospheric Research*, 122, 32–42.
- Klaftt, M. & Reinhardt, N. (2016). *Information and interaction needs of vulnerable groups with regard to disaster alert apps*. Gesellschaft für Informatik e.V.
- Kox, T., Gerhold, L. & Ulbrich, U. (2015). Perception and use of uncertainty in severe weather warnings by emergency services in Germany. *Atmospheric Research*, 158-159, 292-301.
- Kox, T., Kempf, H., Lüder, C., Hagedorn, R. & Gerhold, L. (2018). Towards user-orientated weather warnings. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 30 (Part A), 74–80.
- Kox, T. & Thielen, A. H. (2017). To Act or Not To Act? Factors Influencing the General Public's Decision about Whether to Take Protective Action against Severe Weather. *Weather, Climate, and Society*, 9 (2), 299–315.
- Lazo, J. K., Morss, R. E. & Demuth, J. L. (2009). 300 Billion Served. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 90 (6), 785–798.
- LeClerc, J. & Joslyn, S. (2015). The Cry Wolf Effect and Weather-Related Decision Making. *Risk Analysis*, 35 (3), 385–395.
- Lindell, M. K. & Perry, R. W. (2004). *Communicating environmental risk in multiethnic communities*. Zugriff auf <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&AN=474190>



- Lindell, M. K. & Perry, R. W. (2012). The protective action decision model: theoretical modifications and additional evidence. *Risk Analysis*, 32 (4), 616–632.
- Mileti, D. S. & Peek, L. (2000). The social psychology of public response to warnings of a nuclear power plant accident. *Journal of Hazardous Materials*, 75 (2-3), 181–194.
- Mileti, D. S. & Sorensen, J. H. (1990). *Communication of emergency public warnings: A social science perspective and state-of-the-art assessment*. Washington, D.C..
- Murphy, A. H. (1994). Assessing the economic value of weather forecasts : an overview of methods, results and issues. *Meteorological Applications*, 1 (1), 69–73.
- Patt, A. G. & Schrag, D. P. (2003). Using specific language to describe risk and probability. *Climatic Change*, 61 (1/2), 17–30.
- Powell, S. (2008). Communicating Weather Information to the Public: People’s Reactions and Understandings of Weather Information and Terminology. *Conference Paper: 3rd Symposium on Policy and Socioeconomic Impacts, AMS Annual Meeting, New Orleans, LA*.
- Quarantelli, E. L. (1976). *Social aspects of disasters and their relevance to pre-disaster planning*. Disaster Research Center.
- Renn, O., Schweizer, P.-J., Dreyer, M. & Klinke, A. (2007). *Risiko: Über den gesellschaftlichen Umgang mit Unsicherheit*. München: oekom-Verl.
- Ripberger, J. T., Silva, C. L., Jenkins-Smith, H. C., Carlson, D. E., James, M. & Herron, K. G. (2015). False Alarms and Missed Events: The Impact and Origins of Perceived Inaccuracy in Tornado Warning Systems. *Risk Analysis*, 35 (1), 44–56.
- Ruhrmann, G. & Guenther, L. (2017). Katastrophen- und Risikokommunikation. In H. Bonfadelli, B. Fähnrich, C. Lüthje, J. Milde, M. Rhomberg & M. S. Schäfer (Hrsg.), *Forschungsfeld Wissenschaftskommunikation* (S. 297–314). Wiesbaden: Springer VS.
- Silver, A. (2015). Watch or warning? Perceptions, preferences, and usage of forecast information by members of the Canadian public. *Meteorological Applications*, 22 (2), 248–255.
- Stelman, T. A., McCaffrey, S. M., Velez, A.-L. K. & Briefel, J. A. (2015). What information do people use, trust, and find useful during a disaster? Evidence from five large wildfires. *Natural Hazards*, 76 (1), 615–634.
- Stewart, A. E. (2009). Minding the Weather. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 90 (12), 1833–1841.
- Stewart, A. E., Lazo, J. K., Morss, R. E. & Demuth, J. L. (2012). The Relationship of Weather Salience with the Perceptions and Uses of Weather Information in a Nationwide Sample of the United States. *Weather, Climate, and Society*, 4 (3), 172–189.
- Wachinger, G., Renn, O., Begg, C. & Kuhlicke, C. (2013). The risk perception paradox—implications for governance and communication of natural hazards. *Risk Analysis*, 33 (6), 1049–1065.



- Wilson, K. (2008). Television weathercasters as potentially prominent science communicators. *Public Understanding of Science*, 17 (1), 73–87.
- WMO. (2002). *Guidelines on Improving Public Understanding of and Response to Warnings*. Zugriff am 21.01.2019 auf http://library.wmo.int/pmb_ged/wmo-td_1139.pdf
- WMO. (2015). *Wmo guidelines on multi-hazard impact-based forecast and warning services*. Genf: World Meteorological Organization.





5 Wie lässt sich die Unsicherheit von Vorhersagen sinnvoll kommunizieren?

Nadine Fleischhut, Stefan M. Herzog

Zusammenfassung

Trotz ihrer immer besseren Qualität werden Wahrscheinlichkeitsvorhersagen bis heute selten kommuniziert, da sie als für Laien schwer verständlich gelten. Studien zeigen allerdings, dass Wahrscheinlichkeiten verstanden werden und Entscheidungen verbessern können, wenn sie richtig kommuniziert werden. Anders als deterministische Vorhersagen erlauben sie NutzerInnen, Risiken selbst einzuschätzen und zu entscheiden, ab welcher Wahrscheinlichkeit gehandelt werden soll. In der vorliegenden Fallstudie untersuchen wir, ob Akteure des Bevölkerungsschutzes Wahrscheinlichkeitsvorhersagen unter realen operationellen Bedingungen nützlich finden und welche Darstellungen sie bevorzugen. Dazu wurden ihnen verschiedene Darstellungen parallel in einem Online-Informationsportal zur Verfügung gestellt. So lässt sich über einen längeren Zeitraum beobachten und quantitativ auswerten, welche Darstellungen sie während extremer Wetterereignisse nutzen. Während der Stürme Xavier und Herwart war die Karte mit ihrem räumlichen Überblick die beliebteste Darstellung. Aber auch Boxplots, die zeigen, in welchem Bereich die Windgeschwindigkeit wahrscheinlich liegen wird, wurden häufig aufgerufen – insbesondere während und nach dem Ereignis. Die Ergebnisse belegen, dass Akteure des Bevölkerungsschutzes Wahrscheinlichkeitsvorhersagen für eine Reihe von Entscheidungen unter realen operationellen Bedingungen nützlich finden und nutzen wollen. Zusätzlich beschreiben wir in diesem Beitrag einige bewährte Methoden der Risikokommunikation und verweisen auf relevante Studien aus den Sozial- und Verhaltenswissenschaften.

Fleischhut, N. & Herzog, S. M. (2019). Wie lässt sich die Unsicherheit von Vorhersagen sinnvoll kommunizieren? In: Kox, T. & Gerhold, L. (Hrsg.) Wetterwarnungen: Von der Extremereignisinformation zu Kommunikation und Handlung. Beiträge aus dem Forschungsprojekt WEXICOM. Berlin: Forschungsforum Öffentliche Sicherheit, Freie Universität Berlin (Schriftenreihe Sicherheit, 25), S. 63–81.

Der Beitrag basiert auf Teilen einer englischen Veröffentlichung der AutorInnen:
Fundel, V., Fleischhut, N., Herzog, S. M., Göber, M. & Hagedorn, R. (2019). Promoting the use of probabilistic weather forecasts through a dialogue between scientists, developers, and end-users. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*.



5.1 Einleitung

Wahrscheinlichkeitsvorhersagen werden von Wetterdiensten schon seit vielen Jahren berechnet (z. B. die Wahrscheinlichkeit, dass eine Warnstufe erreicht wird oder ein Gewitter eintritt). Dennoch werden sie bis heute selten kommuniziert, mit Ausnahme von Vorhersagen für Flughäfen oder Hochwasserprognosen (Frick & Hegg, 2011). Als Grund wird oft angeführt, dass Wahrscheinlichkeiten für Laien schwer verständlich sind. Es wird befürchtet, dass NutzerInnen missverstehen, wie sicher oder unsicher die Vorhersage ist, und dies zu riskantem Verhalten oder einem Vertrauensverlust führt. Immer mehr Studien belegen jedoch, dass Wahrscheinlichkeitsvorhersagen Entscheidungen unterstützen und verbessern (Joslyn & LeClerc, 2013) und auch von Laien gut verstanden werden, wenn sie transparent dargestellt werden (Gigerenzer, Gaissmaier, Kurz-Milcke, Schwartz & Woloshin, 2007; Hoffrage, Lindsey, Hertwig & Gigerenzer, 2000). Laien wollen nicht nur über Wahrscheinlichkeiten informiert werden (Morss, Demuth & Lazo, 2008), sondern diese können das Vertrauen in Vorhersagen sogar stärken (LeClerc & Joslyn, 2015). Werden Wahrscheinlichkeiten allerdings schlecht kommuniziert, z. B. durch vage definierte verbale Angaben wie *möglich* oder *wahrscheinlich*, kann deren Verständnis sich je nach Person und Situation stark unterscheiden (Budescu, Por, Broomell & Smithson, 2014; Pardowitz, Kox, Göber & Bütow, 2015; Weber & Hilton, 1990). Wahrscheinlichkeitsvorhersagen müssen daher gut dargestellt und erklärt werden, um für Entscheidungen nützlich zu sein.

Die aktuelle Praxis, Informationen über die Unsicherheit von Vorhersagen und Warnungen zurückzuhalten, verhindert, dass Experten, Institutionen und die Öffentlichkeit Entscheidungen gemeinsam tragen („shared decision-making“; zur Diskussion des Problems in der Medizin siehe Gigerenzer & Muir Gray, 2011). Anstatt Institutionen und die Öffentlichkeit nur zu informieren, finden sich Meteorologen so oft ungewollt in der Lage wieder, Entscheidungen für andere zu treffen, ohne die Hintergründe und Anforderungen der Entscheidungen zu kennen.

Um die Kommunikation der Unsicherheit von Vorhersagen zu fördern, hat die Weltorganisation für Meteorologie (WMO) eine entsprechende Empfehlung veröffentlicht (Gill, 2008). Diese betont, dass gerade die Kommunikation und Reaktion auf Extremereignisse eine Herausforderung darstellt, da Extremereignisse vergleichsweise selten auftreten, jedoch gravierende Auswirkungen haben können. Trotz der bisherigen Bemühungen besteht daher weiterhin die Aufgabe, Wahrscheinlichkeitsvorhersagen in die täglichen Entscheidungsprozesse der NutzerInnen zu integrieren (Fundel, Fleischhut, Herzog, Göber & Hagedorn, 2019; Taylor, Kox & Johnston, 2018).



In der hier beschriebenen Studie verfolgen wir einen neuen Ansatz, um zu untersuchen, ob Akteure des Bevölkerungsschutzes Wahrscheinlichkeitsvorhersagen unter realen operationellen Bedingungen nützlich finden – und welche Darstellungen sie bevorzugen. Darüber hinaus beschreiben wir einige bewährte Methoden der Risikokommunikation und verweisen auf relevante Studien aus den Sozial- und Verhaltenswissenschaften. Die Studie ist Teil eines interdisziplinären Forschungsprojektes, das durch das Hans-Ertel-Zentrum für Wetterforschung finanziert wird (Simmer et al., 2016).

5.2 Wahrscheinlichkeitsvorhersagen für den Bevölkerungsschutz

Wettervorhersagen und Warnungen für den Bevölkerungsschutz bereitzustellen gehört zu den Hauptaufgaben des Deutschen Wetterdienstes (DWD). Die Nutzergruppe ist relativ divers und beinhaltet Leitstellen, Berufsfeuerwehren, freiwillige Feuerwehren, Polizeistellen, Rettungsdienste sowie Leiter von technischen Organisationen (Kox, Gerhold & Ulbrich, 2015; Kox, Lüder & Gerhold, 2018). Eine zentrale Rolle nehmen die Leitstellen sowie der Lagedienst der Feuerwehren ein, die für die Koordination der Rettungsdienste sowie die Einsatzplanung der Fahrzeuge und des Personals zuständig sind. Die Hauptaufgaben dieser Teilgruppe fallen eher als Reaktion auf Wetterereignisse an. Wettervorhersagen und Warnungen sind dennoch für die Planung und Vorbereitung wichtig, um auch während extremer Wetterereignisse immer schnell reagieren zu können (Kox, Lüder & Gerhold, 2018). Wettervorhersagen können zum Beispiel herangezogen werden, wenn über die Alarmierung zusätzlicher Einsatzkräfte, den Einsatzort des Personals, der Fahrzeuge oder des Materials entschieden werden muss (für weitere Informationen über die Rollen von Wetterwarnungen für den Bevölkerungsschutz siehe auch den Beitrag von *Thomas Kox, Catharina Lüder und Clara Brune* in Kapitel 6 dieses Sammelbandes).

Bis jetzt erhält der Bevölkerungsschutz hauptsächlich deterministische Warnungen und Vorhersagen¹⁷ über ein Online-Informationssystem (FeWIS; siehe Abbildung 5) des DWD für ihre Regionen. Die Vorlaufzeiten reichen von einer generellen Vorwarninformation eine Woche im Voraus bis zu Kurzfristvorhersagen (Kox, Kempf, Lüder, Hagedorn & Gerhold, 2018). Offizielle Unwetterwarnungen werden bis zu 12 Stunden im Voraus auf Gemeindeebene herausgegeben und sind normalerweise das Signal für

¹⁷ Eine Wahrscheinlichkeitsvorhersage gibt an, wie wahrscheinlich es ist, dass z. B. ein Gewitter eintritt, oder dass die Windgeschwindigkeit mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit z. B. zwischen 80 und 120 km/h liegen wird. Im Gegensatz dazu legt sich eine deterministische Vorhersage darauf fest, dass z. B. ein Gewitter eintritt, oder dass die Windgeschwindigkeit z. B. über 90 km/h liegen wird, wenn dies hinreichend wahrscheinlich ist.



eine Reihe von Entscheidungen im Bevölkerungsschutz, wie z. B. bestimmte Notfallpläne auszuführen.

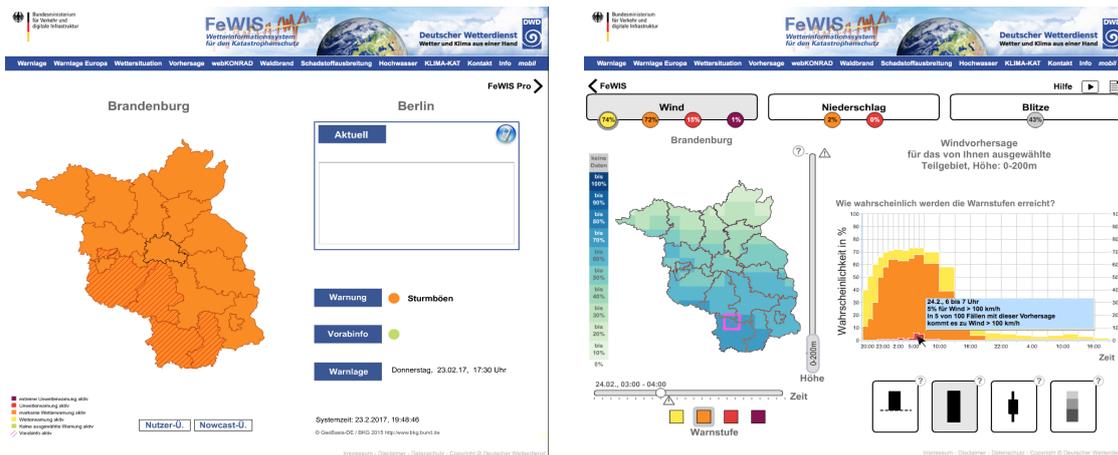


Abbildung 5: Die linke Seite zeigt eine offizielle deterministische Warnung in FeWIS; die rechte Seite zeigt die entsprechende Wahrscheinlichkeitsvorhersage im neuen System FeWIS Pro. FeWIS Pro erlaubt den NutzerInnen, zwischen drei verschiedenen Vorhersagen (Wind, Niederschlag oder Gewitter) und fünf verschiedenen Darstellungen zu wählen. Auf der Karte ist das jeweilige Zuständigkeitsgebiet der NutzerInnen im Zentrum zu sehen (hier: Berlin) sowie die umliegende Region. Die Farben repräsentieren die Wahrscheinlichkeit, dass eine Warnstufe (hier: orange) erreicht wird. Der Zeitpunkt kann über den Schieber unten geändert werden. Mit den Knöpfen unten rechts kann man zwischen weiteren vier Darstellungen wählen. Diese geben einen zeitlichen Überblick für das in der Karte ausgewählte Teilgebiet (pinkes Rechteck). Hier zeigt das Diagramm auf der rechten Seite gerade die Wahrscheinlichkeiten, dass die gelbe, orange, oder rote Warnstufe innerhalb der nächsten 48 Stunden erreicht wird. Alle vier Darstellungen werden detaillierter in Abbildung 6 erklärt.

Hierin besteht ein entscheidendes Problem für deterministische Warnungen: Um zu bestimmen, ab welcher Wahrscheinlichkeit gewarnt werden sollte, müssten die Meteorologen wissen, wie wichtig es für die jeweiligen NutzerInnen ist, bestimmte Folgen zu verhindern oder Ergebnisse sicherzustellen (d. h. den relativen Nutzen aller möglichen Konsequenzen der Entscheidungen; Luce & Raiffa, 1957; Murphy, 1966). Das Problem wird noch dadurch verstärkt, dass sich die Anforderungen der NutzerInnen stark unterscheiden können. So zeigt z. B. eine Studie, wie stark die benötigten Vorlaufzeiten zwischen den unterschiedlichen Akteuren des Bevölkerungsschutzes variieren (Kox et al., 2015). Dies kann z. B. an unterschiedlichen institutionellen Anforderungen liegen (Demeritt, Nobert, Cloke & Pappenberger, 2010), aber auch an Unterschieden in den Kapazitäten, der Bevölkerungsdichte oder den geographischen Gegebenheiten der Einsatzgebiete. Dieselbe Studie (Kox et al., 2015) zeigt auch, dass verschiedene Akteure des Bevölkerungsschutzes Vorbereitungen bei unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten starten würden: Angesichts einer hypothetischen Sturmvorhersage gaben 30 % der Befragten an, dass sie ab einer Wahrscheinlichkeit von 50 % Vorbereitungen treffen würden, und ca. 35 % gaben an, erst bei einer Wahrscheinlichkeit von 70 % zu beginnen. Dies legt nahe, dass es – insbesondere bei einer



großen Gruppe – keine einheitliche Wahrscheinlichkeit gibt, ab der gewarnt werden könnte, die den Anforderungen aller NutzerInnen gerecht werden würde. Deterministische Warnungen erfordern daher eigentlich immer eine enge Zusammenarbeit zwischen Meteorologen und einzelnen NutzerInnen, die jedoch in der Praxis kaum umsetzbar ist.

Wahrscheinlichkeitsvorhersagen bieten hingegen hierfür eine Lösung: Sie erlauben NutzerInnen, selbst zu entscheiden, ab welcher Wahrscheinlichkeit sie handeln wollen. Dennoch werden bisher selbst in der *Vorwarninformation*, die mit 48 Stunden Vorlaufzeit herausgegeben wird, Wahrscheinlichkeiten nur verbal angegeben (z. B. Windgeschwindigkeiten über 100 km/h sind *möglich* oder örtlich *können* Gewitter auftreten). Verbale Wahrscheinlichkeitsangaben sind jedoch für Entscheidungen ungeeignet, da sie nicht eindeutig sind: Verschiedene Personen verstehen sie verschieden, und die Interpretation durch dieselbe Person hängt zudem davon ab, wie schwerwiegend ein Ereignis ist und wie häufig es innerhalb eines längeren Zeitraums auftritt (Budescu et al., 2014; Kox et al., 2015; Pardowitz et al., 2015; Weber & Hilton, 1990). Numerische Wahrscheinlichkeitsangaben dagegen drücken für jede Person dieselbe quantitative Information aus und ermöglichen so jeder Person, gemäß ihrer Anforderungen zu entscheiden, ab welcher Wahrscheinlichkeit gehandelt werden soll (Murphy, 1966; Palmer, 2002). Wahrscheinlichkeitsvorhersagen überbrücken damit die Lücke zwischen den eher kurzfristigen Warnungen und den frühzeitiger herausgegebenen, aber weniger sicheren Vorwarnungen: sie erlauben einheitliche Vorhersagen für Vorlaufzeiten von 48 Stunden bis zu einer Stunde im Voraus. Nichtsdestotrotz ist es bisher unklar inwieweit numerische Wahrscheinlichkeitsvorhersagen zur derzeitigen institutionellen Praxis und den Anforderungen der Akteure des Bevölkerungsschutzes passen, denn letztere müssen häufig auf offizielle Warnungen reagieren und nicht anhand von Vorhersagen Entscheidungen im Voraus treffen (Kox, Lüder & Gerhold, 2018). Um den Nutzen von Wahrscheinlichkeitsvorhersagen für Akteure des Bevölkerungsschutzes zu untersuchen, wurden ihnen in dieser Studie gleichzeitig verschiedene Darstellungen in einem Online-Informationsportal zur Verfügung gestellt. So lässt sich beobachten und quantitativ auswerten, welche Darstellungen sie unter realen operationellen Bedingungen nutzen.

5.3 Untersuchungsmethode: Quantitative Analyse des Onlineverhaltens der Akteure des Bevölkerungsschutzes

Um zu testen, welche Informationen Akteure des Bevölkerungsschutzes nützlich finden, wurden fünf verschiedene Darstellungen für Wahrscheinlichkeitsvorhersagen



entwickelt und in das Onlineinformationssystem FeWIS Pro integriert. Die Wahrscheinlichkeitsvorhersagen decken Wetterbedingungen ab, die für Akteure des Bevölkerungsschutzes in Deutschland relevant sind (vgl. Kox et al., 2015): Wind, Niederschlag und Gewitter, letzteres definiert als das Auftreten von Blitzen (siehe Abbildung 5, rechte Darstellung). In FeWIS Pro können die NutzerInnen zwischen den verschiedenen Wahrscheinlichkeitsvorhersagen wählen (siehe Abbildung 6). Das System erlaubt uns, das Onlineverhalten der NutzerInnen zu analysieren, indem gespeichert wird, welche Darstellung von welchem kollektiven NutzerInnenzugang¹⁸ zu welchem Zeitpunkt ausgewählt wurde.

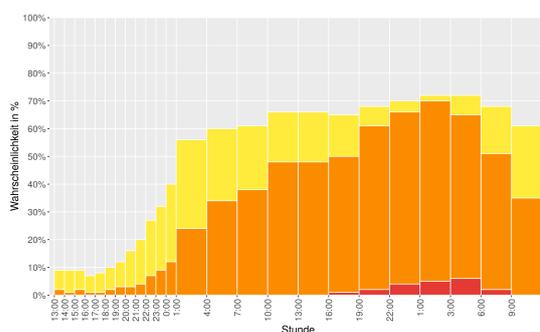
Diese Untersuchungsmethode bietet mehrere Vorteile. Erstens kann das Verhalten der NutzerInnen unter realen operationellen Bedingungen beobachtet werden – und damit, welche Darstellung sie tatsächlich bevorzugen. Im Gegensatz dazu spiegeln Selbstberichte oft nicht die tatsächlichen Vorlieben der Befragten in realen Situationen wieder: Was wir sagen, entspricht nicht notwendigerweise dem, was wir tatsächlich tun. (Frey, Pedroni, Mata, Rieskamp & Hertwig, 2017). Darüber hinaus bevorzugen Leute nicht immer die Kommunikationsformate, welche auch am Besten verstanden werden (Hildon, Allwood & Black, 2011; Okan, Garcia-Retamero, Cokely & Maldonado, 2015). Ein zweiter Vorteil ist, dass NutzerInnen erst Erfahrungen mit Wahrscheinlichkeitsvorhersagen und den verschiedenen Darstellungen sammeln können, bevor sie diese bewerten (für die Bedeutung von Erfahrung für Entscheidungen siehe Hogarth & Soyer, 2015; Lejarraga, Woike & Hertwig, 2016; Wulff, Mergenthaler-Canseco & Hertwig, 2018). Drittens stehen verschiedene Informationen und Darstellungsformate gleichzeitig zur Verfügung, was uns erlaubt, die Bedürfnisse verschiedener Nutzergruppen in verschiedenen Situationen und unter verschiedenen Wetterbedingungen zu charakterisieren.

Um das Verständnis der Unsicherheit so gut wie möglich zu unterstützen, folgt das Design der Darstellungen (siehe Abbildung 6) den Empfehlungen empirischer Forschung zur Risikokommunikation (z. B. aus der Medizin). Konzeptuell repräsentieren die Darstellungen die Unsicherheit einer Vorhersage auf zwei Arten: entweder als Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmtes Ereignis eintritt (z. B. das Erreichen einer Warnstufe oder das Auftreten eines Gewitters); oder als Schwellenwert einer physikalischen Variable, der mit einer vordefinierten Wahrscheinlichkeit überschritten wird (z. B. die Windgeschwindigkeit, die nur in 10 %, 25 %, 50 %, 75 % oder 90 % aller Situationen mit dieser Vorhersage überschritten wird). Alle Darstellungen basieren auf statistisch nachbearbeiteten Wettermodellvorhersagen für die Warnstufen des DWD. Die Vorhersagen haben eine Vorlaufzeit von 48 Stunden (für die ersten 12

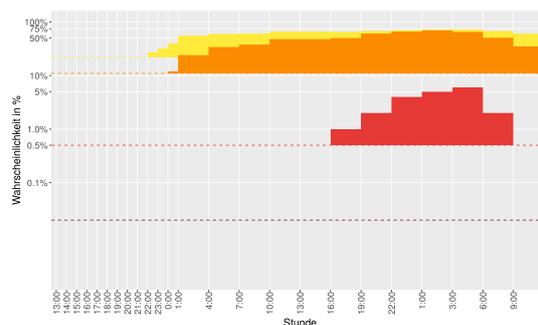
¹⁸ Kollektive NutzerInnenzugänge werden von mehreren Personen innerhalb einer Dienststelle genutzt.



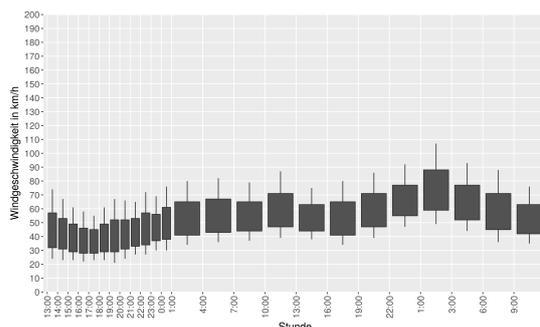
(a) Wie wahrscheinlich werden die Warnstufen erreicht?



(b) Wie wahrscheinlich werden die Warnstufen erreicht im Vergleich zum Durchschnitt dieser Jahreszeit?



(c) Welche Windgeschwindigkeiten sind wahrscheinlich?



(d) Welche höchsten Windgeschwindigkeiten sind wahrscheinlich?

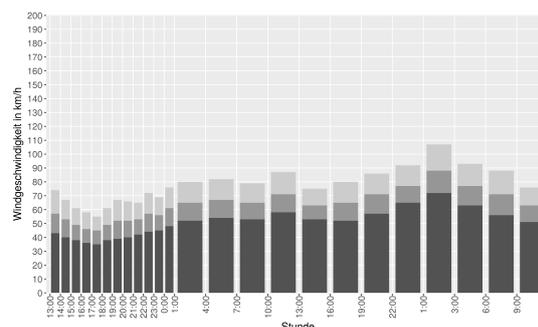


Abbildung 6: Vier Darstellungen der Unsicherheit der Windvorhersage während des Sturms Herwart, der Deutschland zwischen dem 28. Oktober 2017 um 21:00 MESZ und dem 29. Oktober um 14:00 MEZ überquerte (herausgegeben zum Zeitpunkt der ersten Vorwarninformation am 27. Oktober um 13:00 MESZ für die nächsten 48 Stunden; x-Achse). (a) und (b) zeigen die Wahrscheinlichkeiten, dass verschiedene Warnstufen erreicht werden (y-Achse). (b) nutzt eine logarithmische Skala und zeigt außerdem die Klimatologie als Vergleichswert, d. h. die durchschnittliche Wahrscheinlichkeit während dieser Jahreszeit (gestrichelte Linien). Die Höhe der Säulen spiegelt wieder, wie viel wahrscheinlicher es ist, dass eine Warnstufe erreicht wird, im Vergleich zur Klimatologie. (c) und (d) geben die Unsicherheit der Vorhersage über Schwellenwerte an, die mit einer festgelegten Wahrscheinlichkeit überschritten werden (Quantile); hier für Windgeschwindigkeiten (y-Achse). Bei (c) markiert die Box den Bereich zwischen dem 25 %-75 % Quantil und die Enden der Antennen begrenzen den Bereich zwischen dem 10 %-90 % Quantil. Bei (d) markiert das obere Ende der Säule den wahrscheinlichen Höchstwert (90 % Quantil), d.h. die Windgeschwindigkeit, die nur in 10 % der Fälle überschritten wird. Das obere Ende der mittelgrauen Säule zeigt das 75 % Quantil und die dunkelgraue Säule das 50 % Quantil.

Stunden einstündig, danach dreistündig; die räumliche Auflösung ist 20 km x 20 km) und werden stündlich aktualisiert.

Welche Darstellungen könnten Akteure des Bevölkerungsschutzes bevorzugen und warum? Einerseits könnte man erwarten, dass sie Darstellungen bevorzugen, die den deterministischen Warnungen ähneln, die sie zur Zeit verwenden (d. h. Darstellungen, die die Wahrscheinlichkeit zeigen, dass eine Warnstufe erreicht wird). Andererseits



ist es aber auch möglich, dass die Darstellung wahrscheinlicher physikalischer Werte (z. B. der wahrscheinlichsten Windgeschwindigkeiten) einfacher zu verstehen ist als die Darstellung von Wahrscheinlichkeiten, mit denen die Warnstufen erreicht werden. Indem beide Arten von Information parallel zur Verfügung gestellt werden, lässt sich auswerten, welche Art von Information Akteure des Bevölkerungsschutzes unter realen operationellen Bedingungen nützlicher finden.

5.4 Visualisierung von Wahrscheinlichkeitsvorhersagen: Empfehlungen der Risikokommunikationsforschung

Bisher gibt es relativ wenige empirische Studien zur Frage, wie sich die Unsicherheit von kontinuierlichen Variablen, wie sie für meteorologische Vorhersagen typisch sind, am besten kommunizieren lässt (Spiegelhalter, Pearson & Short, 2011). Daher haben wir beim Design der Darstellungen auf Forschungsergebnisse und bewährte Methoden aus anderen Bereichen zurückgegriffen, z. B. der Risikokommunikation in der Medizin oder im Finanzbereich, sowie aus der Grundlagenforschung zur menschlichen Wahrnehmung. In den nächsten Abschnitten beschreiben wir fünf Empfehlungen, die für die Kommunikation von Wahrscheinlichkeitsvorhersagen in der Meteorologie relevant sind und die wir in unseren Darstellungen umgesetzt haben. Dabei verweisen wir auf die entsprechenden Studien und systematische Überblicksartikel.

Korrektes Ablesen erleichtern

Wenn es darum geht, Informationen genau abzulesen, sind Farben weniger geeignet als Säulen- oder Liniendiagramme (Cleveland & McGill, 1985). Kommen Farben doch zur Anwendung, sollten unbedingt nur wenige Farbabstufungen verwendet werden, damit Unterschiede gut wahrnehmbar bleiben (Kosslyn & Kosslyn, 2006; Stauffer, Mayr, Dabernig & Zeileis, 2015). Wenn die Farbabstufungen richtig gewählt werden, sind sie sogar für LeserInnen mit den häufigsten Formen von Farbblindheit erkennbar (Wong, 2011). Bei kontinuierlichen Variablen, wie z. B. Wahrscheinlichkeiten, sollte eine sequentielle Farbskala gewählt werden (d. h., hell vs. dunkel der gleichen Farbe), da hier die Reihenfolge leicht zu interpretieren ist (für Empfehlungen zu Farbskalen siehe Gehlenborg & Wong, 2012; Harrower & Brewer, 2003; Stauffer et al., 2015). Im Gegensatz dazu können konventionelle Farbskalen, wie sie manchmal in der Meteorologie verwendet werden, nur mittels der Legende interpretiert werden, was jedoch zusätzlichen kognitiven Aufwand erfordert und fehleranfällig ist (Borland & Ii, 2007). Die Karte in FeWIS Pro nutzt eine sequentielle Farbskala, um



darzustellen, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass eine bestimmte Warnstufe überschritten wird (z. B. für Windgeschwindigkeiten > 100 km/h; siehe Abbildung 5). Um das Ablesen der Zahlen zu erleichtern, tauchen außerdem automatisch kleine Informationsfenster für den Teil der Darstellung auf, auf den der Mauszeiger zeigt. Die *mouseovers* enthalten alle an dieser Stelle ablesbaren Werte als Text sowie eine Erklärung der Vorhersageunsicherheit (siehe Abbildung 5, rechts).

Wahrscheinlichkeiten erklären

Wahrscheinlichkeiten werden besser verstanden, wenn sie als Häufigkeiten relativ zu einer klar definierten Bezugsmenge angegeben werden, anstatt als Wahrscheinlichkeit für ein einzelnes Ereignis (Gigerenzer & Edwards, 2003; Joslyn & Nichols, 2009; McDowell & Jacobs, 2017). Die Angabe als relative Häufigkeit zwingt KommunikatorInnen dazu, die Bezugsmenge explizit anzugeben: „An 30 von 100 Tagen mit einer Vorhersage wie dieser...“ anstatt nur „Die Wahrscheinlichkeit für X ist 30 %“ (Gigerenzer, Hertwig, Van Den Broek, Fasolo & Katsikopoulos, 2005; Murphy, Lichtenstein & Fischhoff, 1980). Andererseits ist es leichter, Wahrscheinlichkeiten anhand einzelner Zahlen wie Prozentzahlen zu vergleichen als anhand relativer Häufigkeiten (insbesondere mit wechselnden Nennern; für einen Überblick zu dieser und anderen evidenz-basierten Empfehlungen zur Kommunikation von Wahrscheinlichkeiten siehe z. B. Gigerenzer et al., 2007; Lipkus, 2007; Trevena et al., 2013; Visschers, Meertens, Passchier & De Vries, 2009). Angesichts dieser Befunde wählten wir einen komplementären Ansatz: Wir zeigen Wahrscheinlichkeiten in allen Darstellungen als Prozentzahlen, aber erklären diese durch relative Häufigkeiten („In x von 100 Situation mit einer Vorhersage wie dieser...“) in den *mouseovers*. Weitere Hilfemenüs bieten genauere Erklärungen mittels graphischer Häufigkeitsdarstellungen (sogenannte „icon arrays“; Ancker, Senathirajah, Kukafka & Starren, 2006).

Deterministische Fehlinterpretationen von Unsicherheit vermeiden

Wahrscheinlichkeiten können leicht deterministisch missverstanden werden (Joslyn & LeClerc, 2013). Fragt man Laien zum Beispiel, wie die Vorhersage „Die Regenwahrscheinlichkeit für morgen ist 30 %“ zu verstehen ist, wählen die meisten entweder die Interpretation, dass es in 30 % des Vorhersagegebiets regnen wird oder während 30 % des Vorhersagezeitraums (Gigerenzer et al., 2005; Murphy et al., 1980). Die richtige Interpretation dagegen ist, dass es an 30 % der Tage mit dieser Vorhersage regnen wird. Auch wenn die Befragten sich scheinbar bewusst sind, dass Vorhersagen immer



auch räumlich und zeitlich unsicher sind (d. h. es ist nicht sicher, wo oder wann es regnen wird), sind solche deterministischen Fehlinterpretationen problematisch. Sie implizieren nämlich, dass die Vorhersage ein Fehlalarm ist, wenn es nicht irgendwo im Vorhersagegebiet oder irgendwann im Vorhersagezeitraum regnet. Dagegen ist es mit der korrekten Interpretation vollkommen vereinbar und sogar wahrscheinlicher, dass es nirgends und zu keinem Zeitpunkt regnet – nämlich an 70 % aller Tage mit dieser Vorhersage.

Um eine deterministische Fehlinterpretation der Wahrscheinlichkeiten als physikalische Werte zu verhindern (z. B. als Windgeschwindigkeit oder Niederschlagsmenge), enthält die Wahrscheinlichkeitsskala keine Farben, die dem Farbschema des DWD für Warnstufen (gelb, orange, rot, violett) ähneln. Die Vorhersageunsicherheit wird möglicherweise auch nicht angemessen wahrgenommen, wenn bestimmte Teile der Darstellung betont werden, wie z. B. der Median (Broad, Leiserowitz, Weinkle & Stekete, 2007) oder die Enden eines Unsicherheitsintervalls. So kann es bei Intervallvorhersagen passieren, dass der Bereich zwischen dem unteren und dem oberen Schwellenwert (Quantile) z. B. als die Variation der Temperatur über den Tag hinweg missverstanden wird (Cumming, 2007; Savelli & Joslyn, 2013). Die Boxplots in FeWIS Pro zeigen daher weder den Median noch Querstriche am Ende der Antennen. Bei Säulendiagrammen dagegen gibt es die Tendenz, Werte innerhalb der Säulen für wahrscheinlicher zu halten als Werte außerhalb, selbst wenn sie gleich weit vom Ende der Säule entfernt sind (Newman & Scholl, 2012; Okan, Garcia-Retamero, Cokely & Maldonado, 2018). Die Säulendiagramme in FeWIS Pro berücksichtigen diese Tendenz, indem das obere Ende der Säule den Schwellenwert zeigt, der in 90 % aller Situationen mit dieser Vorhersage nicht überschritten wird (das 90 % Quantil). In diesem Fall ist es daher richtig anzunehmen, dass Werte außerhalb der Säule weniger wahrscheinlich sind als Werte innerhalb der Säule.

Seltene aber schwerwiegende Ereignisse in die richtige Perspektive rücken

Wetterereignisse mit extremen Auswirkungen sind vergleichsweise selten. Die Herausforderung ist daher, zu vermitteln, dass selbst kleine Wahrscheinlichkeiten für die Bewertung von Extremwettervorhersagen wichtig sind. Eine Möglichkeit ist, zu kommunizieren, wie viel höher die Wahrscheinlichkeit im Vergleich zu einem Grundrisiko ist. Wird der Vergleich gut gewählt, kann er Laien helfen, selbst die Relevanz kleiner Zahlen nicht zu unterschätzen (Barrio, Goldstein & Hofman, 2016; Peters et al., 2009). Um Missverständnisse zu vermeiden, sollte allerdings nicht nur das relative Risiko, sondern auch das Grundrisiko und das absolute Risiko kommuniziert



werden (Bodemer, Meder & Gigerenzer, 2014). Andernfalls kann das Risiko leicht überschätzt werden, da relative Risiken groß aussehen können, wenn das Grundrisiko niedrig ist. Dies kann zu Überreaktionen oder Vertrauensverlust führen (Gigerenzer et al., 2007).

Eine andere Möglichkeit ist, den Unterschied zwischen kleinen Werten durch eine logarithmische Achse visuell zu vergrößern und so kleine Wahrscheinlichkeiten hervorzuheben (Lipkus, 2007). Allerdings beeinträchtigen logarithmische Achsen die Fähigkeit, das absolute Risiko korrekt abzulesen (Lipkus, 2007). Eine der Darstellungen in FeWIS Pro zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass eine Warnstufe erreicht wird, auf einer logarithmischen Achse. Gleichzeitig zeigt sie den Vergleich zur Klimatologie, d. h. der Wahrscheinlichkeit, dass die Warnstufe an einem *normalen* (durchschnittlichen) Tag der gleichen Jahreszeit erreicht wird. Dabei werden nur Vorhersagen angezeigt, deren Wahrscheinlichkeiten höher sind als dieses klimatologische Grundrisiko. Die *mouseover* geben außerdem den relativen Anstieg der Wahrscheinlichkeit gegenüber der Klimatologie wieder (z. B. „5 mal wahrscheinlicher als normalerweise während dieser Jahreszeit“), sowie die absolute Wahrscheinlichkeit, dass eine Warnstufe erreicht wird.

Nicht mehr darstellen als zuverlässig vorhergesagt werden kann

In der Risikokommunikation sollte man Forderungen der NutzerInnen nach immer detaillierteren und sichereren Informationen widerstehen, wenn derart präzise Vorhersagen nicht möglich sind (Stephens, Edwards & Demeritt, 2012). Vorhersagen genauer oder sicherer darzustellen, als die zugrundeliegenden Modelle es erlauben, kann gerade bei Laien falsche Erwartungen über die Vorhersagbarkeit von Wetterereignissen hervorrufen. Um die tatsächliche räumliche Auflösung klar zu vermitteln, hat daher jedes 20 x 20 km Gebiet der Karte in FeWIS Pro die Farbe, die der vorhergesagten Wahrscheinlichkeit für das Gebiet entspricht – ohne dass die Übergänge zwischen den Gebieten geglättet werden. Aus demselben Grund spiegelt die Breite der Zeitintervalle in den Diagrammen (siehe Abbildung 6) die zeitliche Auflösung der Vorhersagen wider (d. h. einstündig für die ersten 12 Stunden und dreistündig danach).



5.5 Ergebnisse: Wie nützlich sind Wahrscheinlichkeitsvorhersagen für Akteure des Bevölkerungsschutzes und welche Darstellungen werden bevorzugt?

In der vorliegenden Fallstudie vergleichen wir das Verhalten der NutzerInnen anhand von zwei schweren Stürmen in Deutschland: Xavier und Herwart. Welche Darstellungen bevorzugten die NutzerInnen und ab welcher Vorlaufzeit? Die Fallstudie ermöglicht die Präferenzen der NutzerInnen unter realen operationellen Bedingungen während extremer Wetterereignisse zu charakterisieren.

Da die Wahrscheinlichkeitsvorhersagen eine Vorlaufzeit von 48 Stunden haben, betrachten wir hier das Nutzerverhalten 48 Stunden vor bis 24 Stunden nach den Stürmen. Xavier überquerte Deutschland am 5. Oktober 2017 zwischen 08:00 und 20:00 MESZ von Nordwesten nach Südosten. Eine erste Vorwarnung wurde am 4. Oktober um 12:08 MESZ herausgegeben, gefolgt von einer Warnung um 22:04 MESZ. Herwart begann am 28. Oktober um 21:00 MESZ und zog bis zum 29. Oktober um 14:00 MEZ vom Nordwesten Deutschlands zum Osten. Die erste Vorwarnung für den Nordwesten wurde am 27. Oktober um 13:00 MESZ herausgegeben; die darauf folgende Warnung um 15:45 MESZ. Abhängig vom Weg des Sturms ist es natürlich möglich, dass die NutzerInnen in Deutschland zu verschiedenen Zeitpunkten beginnen, Wahrscheinlichkeitsvorhersagen abzurufen. Daher berücksichtigen wir zur Auswertung für jeden Sturm nur die NutzerInnen, die davon ausgehen konnten, zuerst betroffen zu sein (d. h. für Xavier und Herwart jeweils der Nordwesten Deutschlands). Wir definieren diese Gruppe als alle NutzerInnen, für deren Gebiet FeWIS Pro ein 90 % Quantil von Windgeschwindigkeiten ≥ 110 km/h für das erste Drittel des jeweiligen Sturms vorhergesagt hat. Dieses Kriterium trifft im Fall von Xavier auf 93 und im Fall von Herwart auf 114 kollektive NutzerInnen zu.

Bei beiden Stürmen zeigen die ausgewählten Darstellungen eine klare Präferenz für die räumliche Darstellung der Karte (siehe Abbildung 7), welche die Wahrscheinlichkeit zeigt, dass eine Warnstufe erreicht wird (siehe Abbildung 5). Vergleicht man die vier Diagramme, die einen zeitlichen Überblick geben, zeigt sich bei Xavier ebenfalls eine leichte Präferenz für das Diagramm, das die Wahrscheinlichkeit für die Warnstufen zeigt (im Vergleich zu den Boxplots und den Säulendiagrammen für die Quantile). Insgesamt sind die Unterschiede jedoch klein. Bei Herwart wurden die Boxplots nach der Karte am häufigsten abgerufen. Die Präferenz für die Karte spiegelt daher wahrscheinlich eher eine Präferenz für eine räumliche Darstellung wider als eine generelle Präferenz für Wahrscheinlichkeiten für Warnstufen anstelle von Quantilen. Da man an der räumlichen Übersicht ablesen kann, welche Gebiete am



wahrscheinlichsten betroffen sind, ist die Karte für Akteure des Bevölkerungsschutzes möglicherweise nützlich, um Personal und Ressourcen innerhalb ihres Gebiets zu koordinieren. Gleichzeitig wurde aber auch die Vorhersage, in welchem Bereich die Windgeschwindigkeiten wahrscheinlich liegen (Boxplots), ebenfalls klar genutzt – und zwar besonders häufig ab 12 Stunden vor und während des Sturms (siehe Abbildung 8).

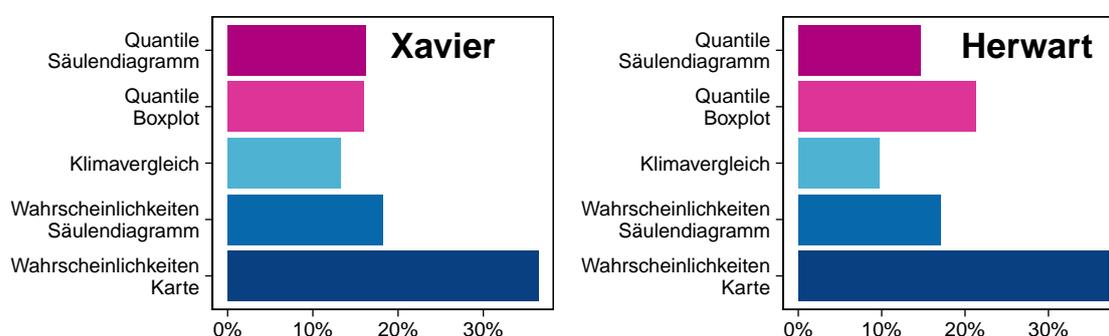


Abbildung 7: Welche Darstellung wurde beim Sturm Xavier und Herwart bevorzugt? Gezeigt wird die relative Häufigkeit, mit der die NutzerInnen jede Darstellung während der Stürme abgerufen haben. Insgesamt haben die NutzerInnen während Xavier 439 Mal eine Darstellung abgerufen sowie 722 Mal während Herwart.

Die Daten erlauben uns auch, zu untersuchen, ab welcher Vorlaufzeit die Akteure des Bevölkerungsschutzes nach Informationen suchten. Bei Xavier begannen die NutzerInnen die Vorhersagen ca. 24 Stunden vor dem Sturm abzurufen, und sogar bevor die Vorwarninformation herausgegeben wurde (siehe Abbildung 8). Die stärkste Aktivität war vor und während des Sturms zu beobachten. Bei Herwart war die Nutzeraktivität vor dem Sturm fast genauso hoch wie während des Sturms. Eine Erklärung für die frühere Aktivität bei Herwart könnte sein, dass Xavier nur drei Wochen vorher in Deutschland schwere Schäden hinterlassen hatte. Das Bewusstsein der möglichen Auswirkungen eines Sturms war daher wahrscheinlich vor Herwart viel ausgeprägter als vor Xavier. Wichtig ist außerdem die Beobachtung, dass die Wahrscheinlichkeitsvorhersagen während des Sturms genauso häufig genutzt wurden wie vor dem Sturm.

Die Erkenntnisse, welche wir aufgrund der beobachteten Informationssuche der NutzerInnen gewonnen haben, werden auch von einer zusätzlichen Umfrage unterstützt, die wir ein Jahr nach dem Start von FeWIS Pro unter 100 NutzerInnen online durchgeführt haben. Hier gaben die Akteure des Bevölkerungsschutzes an, dass sie die Wahrscheinlichkeitsvorhersagen nicht nur zur Vorbereitung auf Extremwetterereignisse nutzen, sondern auch zur Personal- und Ressourcenplanung während der Ereignisse. 57 % gaben an, dass sie Wahrscheinlichkeitsvorhersagen im Voraus nützlich



finden, wenn die Ereignisse noch unsicher sind, 66 % fanden sie nützlich, wenn die Ereignisse konkreter werden, und 43 % fanden Wahrscheinlichkeitsvorhersagen auch nützlich während der Wetterereignisse. 27 % gaben sogar an, dass sie Wahrscheinlichkeitsvorhersagen auf regelmäßiger Basis nutzen. Insgesamt waren die NutzerInnen zufrieden mit dem System ($M = 3.8$ auf einer 5er Bewertungsskala), wobei die Einfachheit der Benutzung des Systems ($M = 3.2$) und dessen Verständlichkeit ($M = 3.4$) etwas schlechter bewertet wurden.

Die Dokumentation von FeWIS Pro beinhaltet zur Zeit ein Onlinehandbuch, Videoeinführungen, Kurzerklärungen mit Grafiken und Beispielen sowie automatische erscheinende Infofenster (*mouseovers*). Insbesondere die Videos und Erklärungen mit Grafiken werden häufig genutzt. Weitere Erklärvideos oder auch interaktive Lernmöglichkeiten durch online-Spiele, Simulationen (Hogarth & Soyer, 2015) oder Quizfragen scheinen daher vielversprechende Möglichkeiten, wichtige Aspekte der Darstellungen zu erklären und das Verständnis von Wahrscheinlichkeiten zu fördern. Fast alle Befragten (88 %) gaben an, dass sie auch in Zukunft weiter Wahrscheinlichkeitsvorhersagen erhalten möchten.

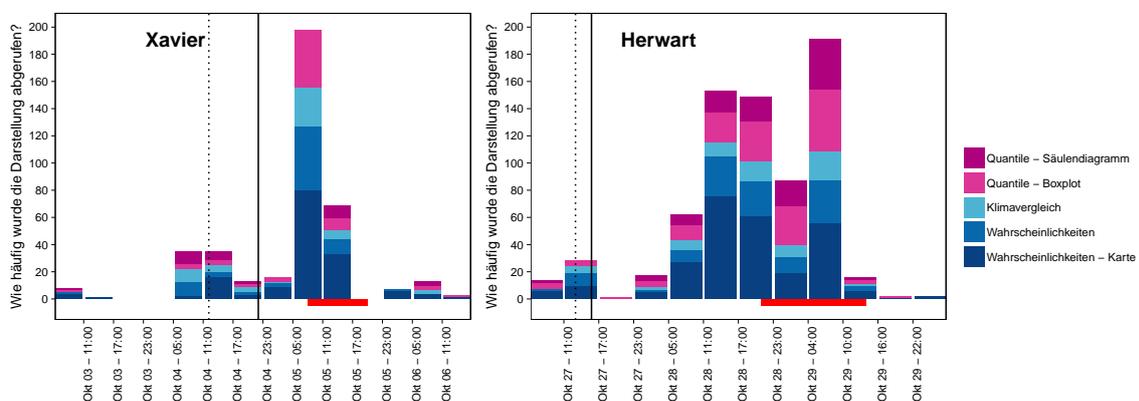


Abbildung 8: Wann begannen die NutzerInnen, Wahrscheinlichkeitsvorhersagen abzurufen? Die Säulen zeigen, wie häufig die Darstellungen insgesamt vor, während und nach Sturm Xavier und Herwart ausgewählt wurden (pro 6-Stunden-Intervall). Die Farben zeigen, welche Darstellungen gewählt wurden. Die vertikalen Linien markieren jeweils den Zeitpunkt, an dem die Vorwarninformation (gestrichelte Linie) und die Warnung (durchgezogene Linie) herausgegeben wurde. Die horizontale rote Linie unterhalb der Säulen zeigt den Zeitraum, in dem der Sturm Deutschland passiert hat.

5.6 Fazit und Diskussion

Die häufige Nutzung von FeWIS Pro und die positiven Reaktionen der Befragten in der Umfrage zeigen, dass Wahrscheinlichkeitsvorhersagen für Akteure des Bevölkerungsschutzes klar, informativ und nützlich sind. Die Karte mit ihrem räumlichen



Überblick war die beliebteste Darstellung, aber die Boxplots, die den Bereich zeigen, in dem die Windgeschwindigkeit wahrscheinlich liegen wird, wurden ebenfalls häufig aufgerufen. Die Kombination beider Darstellungen in einer Karte, die bestimmte Quantile zeigt, könnte daher den Bedürfnissen der NutzerInnen möglicherweise noch besser entsprechen als die bisherigen Darstellungen. Die Tatsache, dass NutzerInnen die Vorhersagen mehr als 12 Stunden vor dem Ereignis abgerufen haben, zeigt auch, dass Wahrscheinlichkeitsvorhersagen helfen können, die Lücke zwischen den eher kurzfristig herausgegebenen Warnungen (bis zu 12 Stunden vor dem Ereignis) und den früheren, aber unsichereren Vorwarninformationen (bis zu 48 Stunden Vorlaufzeit) zu schließen. Übereinstimmend mit einer vorherigen Studie (Kox, Lüder & Gerhold, 2018) nutzten Akteure des Bevölkerungsschutzes die Wahrscheinlichkeitsvorhersagen aber auch während des Sturms. In diesem Fall bevorzugten sie die Darstellungen der Quantile als Boxplots, die zeigen, in welchem Bereich die Windgeschwindigkeit wahrscheinlich zu verschiedenen Zeitpunkten liegen wird. Diese Information könnte hilfreich sein, um während des Sturms immer ausreichend reagieren zu können, aber auch, um die täglichen Anforderungen und Aufgaben direkt nach dem Sturm vorzubereiten.

Eine offene Frage ist, wie sich Wahrscheinlichkeitsvorhersagen angesichts der derzeitigen institutionellen Gegebenheiten der Akteure des deutschen Bevölkerungsschutzes am besten mit deterministischen Warnungen kombinieren lassen (Kox, Lüder & Gerhold, 2018). Die bisherigen Ergebnisse sind sehr ermutigend und belegen, dass Akteure des Bevölkerungsschutzes Wahrscheinlichkeitsvorhersagen für eine Reihe von Entscheidungen unter realen operationellen Bedingungen nützlich finden und nutzen wollen.

Literatur

- Ancker, J. S., Senathirajah, Y., Kukafka, R. & Starren, J. B. (2006). Design features of graphs in health risk communication: A systematic review. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 13 (6), 608–618.
- Barrio, P. J., Goldstein, D. G. & Hofman, J. M. (2016). Improving comprehension of numbers in the news. In *The 2016 CHI Conference* (S. 2729–2739). New York, NY: ACM Press.
- Bodemer, N., Meder, B. & Gigerenzer, G. (2014). Communicating relative risk changes with baseline risk: Presentation format and numeracy matter. *Medical Decision Making*, 34 (5), 615–626.
- Borland, D. & Ii, R. M. T. (2007). Rainbow color map (still) considered harmful. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 27 (2), 14–17.



- Broad, K., Leiserowitz, A., Weinkle, J. & Steketee, M. (2007, Mai). Misinterpretations of the “cone of uncertainty” in Florida during the 2004 hurricane season. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 88 (5), 651–668.
- Budescu, D. V., Por, H.-H., Broomell, S. B. & Smithson, M. (2014). The interpretation of IPCC probabilistic statements around the world. *Nature Climate Change*, 4 (6), 508–512.
- Cleveland, W. S. & McGill, R. (1985). Graphical perception and graphical methods for analyzing scientific data. *Science*, 229 (4716), 828–833.
- Cumming, G. (2007). Inference by eye: Pictures of confidence intervals and thinking about levels of confidence. *Teaching Statistics*, 29 (3), 89–93.
- Demeritt, D., Nobert, S., Cloke, H. & Pappenberger, F. (2010). Challenges in communicating and using ensembles in operational flood forecasting. *Meteorological Applications*, 17 (2), 209–222.
- Frey, R., Pedroni, A., Mata, R., Rieskamp, J. & Hertwig, R. (2017). Risk preference shares the psychometric structure of major psychological traits. *Science Advances*, 3 (10).
- Frick, J. & Hegg, C. (2011). Can end-users’ flood management decision making be improved by information about forecast uncertainty? *Atmospheric Research*, 100 (2-3), 296–303.
- Fundel, V., Fleischhut, N., Herzog, S. M., Göber, M. & Hagedorn, R. (2019). Promoting the use of probabilistic weather forecasts through a dialogue between scientists, developers, and end-users. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*.
- Gehlenborg, N. & Wong, B. (2012). Mapping quantitative data to color. *Nature Methods*, 9 (8), 769.
- Gigerenzer, G. & Edwards, A. (2003). Simple tools for understanding risks: From innumeracy to insight. *British Medical Journal*, 327, 741–744.
- Gigerenzer, G., Gaissmaier, W., Kurz-Milcke, E., Schwartz, L. M. & Woloshin, S. (2007). Helping doctors and patients make sense of health statistics. *Psychological Science in the Public Interest*, 8 (2), 53–96.
- Gigerenzer, G., Hertwig, R., Van Den Broek, E., Fasolo, B. & Katsikopoulos, K. V. (2005). A 30 % chance of rain tomorrow: How does the public understand probabilistic weather forecasts? *Risk Analysis*, 25 (3), 623–629.
- Gigerenzer, G. & Muir Gray, J. A. (Hrsg.). (2011). *Better doctors, better patients, better decisions: Envisioning health care 2020*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Gill, J. (2008). Communicating forecast uncertainty for service providers. *WMO Bulletin*, 57 (4), 237-243.
- Harrower, M. & Brewer, C. A. (2003). ColorBrewer.org: An online tool for selecting colour schemes for maps. *The Cartographic Journal*, 40, 27–37.
- Hildon, Z., Allwood, D. & Black, N. (2011). Impact of format and content of visual display of data on comprehension, choice and preference: A systematic review. *International Journal for Quality in Health Care*, 24 (1), 55-64.
- Hoffrage, U., Lindsey, S., Hertwig, R. & Gigerenzer, G. (2000). Communicating statistical information. *Science*, 290 (5500), 2261–2262.



- Hogarth, R. M. & Soyer, E. (2015). Communicating forecasts: The simplicity of simulated experience. *Journal of Business Research*, 68 (8), 1800–1809.
- Joslyn, S. & LeClerc, J. (2013). Decisions with uncertainty: The glass half full. *Current Directions in Psychological Science*, 22 (4), 308–315.
- Joslyn, S. & Nichols, R. M. (2009). Probability or frequency? Expressing forecast uncertainty in public weather forecasts. *Meteorological Applications*, 16 (3), 309–314.
- Kosslyn, S. M. & Kosslyn, S. M. (2006). *Graph design for the eye and mind*. Oxford, United Kingdom: Oxford University Press.
- Kox, T., Gerhold, L. & Ulbrich, U. (2015). Perception and use of uncertainty in severe weather warnings by emergency services in Germany. *Atmospheric Research*, 158–159, 292–301.
- Kox, T., Kempf, H., Lüder, C., Hagedorn, R. & Gerhold, L. (2018). Towards user-orientated weather warnings. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 30 (Part A), 74–80.
- Kox, T., Lüder, C. & Gerhold, L. (2018). Anticipation and response: Emergency services in severe weather situations in Germany. *International Journal of Disaster Risk Science*, 9 (1), 116–128.
- LeClerc, J. & Joslyn, S. (2015). The cry wolf effect and weather-related decision making. *Risk Analysis*, 35 (3), 385–395.
- Lejarraga, T., Woike, J. K. & Hertwig, R. (2016). Description and experience: How experimental investors learn about booms and busts affects their financial risk taking. *Cognition*, 157, 365–383.
- Lipkus, I. M. (2007). Numeric, verbal, and visual formats of conveying health risk: Suggested best practices and future recommendations. *Medical Decision Making*, 27 (5), 696–713.
- Luce, R. & Raiffa, H. (1957). *Games and decisions: Introduction and critical survey*. Oxford: Wiley.
- McDowell, M. & Jacobs, P. (2017). Meta-analysis of the effect of natural frequencies on Bayesian reasoning. *Psychological Bulletin*, 143 (12), 1273–1312.
- Morss, R. E., Demuth, J. L. & Lazo, J. K. (2008). Communicating uncertainty in weather forecasts: A survey of the U.S. Public. *Weather and Forecasting*, 23 (5), 974–991.
- Murphy, A. H. (1966). A note on the utility of probabilistic predictions and the probability score in the cost-loss ratio decision situation. *Journal of Applied Meteorology*, 5 (4), 534–537.
- Murphy, A. H., Lichtenstein, S. & Fischhoff, B. (1980). Misinterpretations of precipitation probability forecasts. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 61 (7), 695–701.
- Newman, G. E. & Scholl, B. J. (2012). Bar graphs depicting averages are perceptually misinterpreted: The within-the-bar bias. *Psychonomic Bulletin & Review*, 19 (4), 601–607.
- Okan, Y., Garcia-Retamero, R., Cokely, E. T. & Maldonado, A. (2015). Improving risk understanding across ability levels: Encouraging active processing with



- dynamic icon arrays. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 21 (2), 178–194.
- Okan, Y., Garcia-Retamero, R., Cokely, E. T. & Maldonado, A. (2018). Biasing and debiasing health decisions with bar graphs: Costs and benefits of graph literacy. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 71, 2506–2519.
- Palmer, T. (2002). The economic value of ensemble forecasts as a tool for risk assessment: From days to decades. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 128, 747–774.
- Pardowitz, T., Kox, T., Göber, M. & Bütow, A. (2015). Human estimates of warning uncertainty: Numerical and verbal descriptions. *Mausam*, 66, 625–634.
- Peters, E., Dieckmann, N. F., Västfjäll, D., Mertz, C. K., Slovic, P. & Hibbard, J. H. (2009, September). Bringing meaning to numbers: The impact of evaluative categories on decisions. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 15 (3), 213–227.
- Savelli, S. & Joslyn, S. (2013). The advantages of predictive interval forecasts for non-expert users and the impact of visualizations. *Applied Cognitive Psychology*, 27 (4), 527–541.
- Simmer, C., Adrian, G., Jones, S., Wirth, V., Göber, M., Hohenegger, C., ... and, J. K. (2016). HErZ: The German Hans-Ertel Centre for Weather Research. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 97 (6), 1057–1068.
- Spiegelhalter, D., Pearson, M. & Short, I. (2011). Visualizing uncertainty about the future. *Science*, 333 (6048), 1393–1400.
- Stauffer, R., Mayr, G. J., Dabernig, M. & Zeileis, A. (2015). Somewhere over the rainbow: How to make effective use of colors in meteorological visualizations. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96 (2), 203–216.
- Stephens, E. M., Edwards, T. L. & Demeritt, D. (2012). Communicating probabilistic information from climate model ensembles—lessons from numerical weather prediction. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 3 (5), 409–426.
- Taylor, A., Kox, T. & Johnston, D. (2018). Communicating high impact weather: Improving warnings and decision making processes. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 30 (Part A), 1–4.
- Trevena, L. J., Zikmund-Fisher, B. J., Edwards, A., Gaissmaier, W., Galesic, M., Han, P. K., ... Woloshin, S. (2013). Presenting quantitative information about decision outcomes: A risk communication primer for patient decision aid developers. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 13 (Suppl 2).
- Visschers, V. H. M., Meertens, R. M., Passchier, W. W. F. & De Vries, N. N. K. (2009). Probability information in risk communication: A review of the research literature. *Risk Analysis*, 29 (2), 267–287.
- Weber, E. U. & Hilton, D. J. (1990). Contextual effects in the interpretations of probability words: Perceived base rate and severity of events. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16 (4), 781–789.



- Wong, B. (2011). Color blindness. *Nature Methods*, 8 (6), 441.
- Wulff, D. U., Mergenthaler-Canseco, M. & Hertwig, R. (2018). A meta-analytic review of two modes of learning and the description–experience gap. *Psychological Bulletin*, 144 (2), 140–176.





6 Wetterwarnungen im Bevölkerungsschutz. Beobachtung einer Feuerwehrleitstelle

Thomas Kox, Catharina Lüder, Clara Brune

Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag zeigt die Ergebnisse einer explorativen Beobachtung der Abläufe in einer Feuerwehrleitstelle mit dem Fokus auf Extremwettersituationen. Als Fallbeispiel dient die Berliner Feuerwehr. Die Ergebnisse zeigen, dass Handlungen in (Extrem-)Wettersituationen nicht zwangsläufig ein Resultat von Wetterwarnungen sind. Oftmals sind sie vielmehr eine Reaktion auf ein erhöhtes Einsatz- oder Notrufaufkommen. Die wetterbedingten Herausforderungen einer Feuerwehr liegen dabei in einem Spannungsfeld zwischen dem Erwartbaren und dem Unerwartbaren, zwischen der Antizipation von Ereignissen und deren Folgen sowie der Ad-hoc-Reaktion auf Auswirkungen. Der zuständigen Person des Lagedienstes kommt dabei die Funktion des Informationsmanagements über die Wetterereignisse zu. Dazu steht ein breites Spektrum an technischen Kommunikationsmitteln und persönlichen Kontakten zur Verfügung.

6.1 Einleitung

Der Bevölkerungsschutz in Deutschland setzt sich aus einer Vielzahl von Akteuren auf Bundes-, Landes- und kommunaler Ebene zusammen. Gemeinsame Aufgabe ist es, die Lebensgrundlagen der Bevölkerung mit Maßnahmen zum Schutz vor Katastrophen und schweren Notlagen zu schützen, sowie diese Ereignisse zu vermeiden, zu begrenzen oder zu bewältigen. Die jeweiligen Aufgaben der nicht-polizeilichen Gefahrenabwehr, des Brand- und Katastrophenschutzes sowie des Rettungsdienstes werden durch Landesgesetze geregelt, sind für die Durchführung meist aber auf die kommunale Ebene übertragen worden (Geier, 2017). Zentrale operationelle Kräfte sind dort die Feuerwehren. Feuerwehren werden auch als *hybride Organisationen*

Kox, T., Lüder, C. & Brune, C. (2019). Wetterwarnungen im Bevölkerungsschutz. Beobachtung einer Feuerwehrleitstelle. In: Kox, T. & Gerhold, L. (Hrsg.) Wetterwarnungen: Von der Extremergebnisinformation zu Kommunikation und Handlung. Beiträge aus dem Forschungsprojekt WE-XICOM. Berlin: Forschungsforum Öffentliche Sicherheit, Freie Universität Berlin (Schriftenreihe Sicherheit, 25), S. 83–107.



verstanden. Gekennzeichnet sind sie durch das Spannungsfeld zwischen der (bürokratischen) Gewährleistung und Produktion von Sicherheit (geprägt durch Hierarchien, Arbeitsteilung und Spezialisierungen) auf der einen Seite und dem Umgang mit Turbulenzen und Unerwartbarem (geprägt durch Flexibilität und Offenheit) auf der anderen Seite (Apelt, 2014; Apelt & Tacke, 2012). Es entsteht also eine Dissonanz zwischen Vorausplanung, um Ressourcen gezielt einzusetzen, und Flexibilität, um auf katastrophen- und notfallbedingte Schwankungen im Einsatzaufkommen einzugehen.

Zur Vorbereitung von (Schutz-)Maßnahmen sind Informationen über potenzielle Bedrohungen hilfreich, *bevor* sich die Bedrohung manifestiert (Neisser & Runkel, 2017), etwa um Verzögerungen der Reaktionsfähigkeit zu vermeiden und um Handlungsbereitschaft sicherzustellen (Kox, Lüder & Gerhold, 2018). Für Feuerwehren ergibt sich daraus die Notwendigkeit, für Notfälle und Extremsituationen Routinen zu entwickeln, die einerseits „*Unvorhersehbares vorhersehbar*“ machen und „*dabei für das (wirklich) Unerwartbare weiter offen bleiben*“ (Apelt, 2014, S. 69). Für Extremwittersituationen können Wetterinformationen zu einer relevanten Quelle für die Vorbereitung von Maßnahmen werden. Amtliche Wetterwarnungen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) beispielsweise erreichen die Feuerwehr in der Regel über den Lagedienst in der Leitstelle – dem Ort, wo die Koordination und Disposition aller Einsätze im gesamten Einsatzgebiet stattfindet.

Der folgende Beitrag widmet sich daher der Frage, wie innerhalb einer Feuerwehrleitstelle mit (Wetter-)Informationen umgegangen wird und wie entsprechende Informationen und Warnungen in Handlungen und Entscheidungen eingebunden werden. Als Fallbeispiel dient die Berliner Feuerwehr. In Anlehnung an Créton-Cazanave und Lutoff (2013) werden (Wetter-)Warnungen als ein sozio-technischer Prozess verstanden, bei dem unter Einbezug der gegebenen Wirklichkeit Bedeutung konstruiert wird und Handlungen in Bezug auf die Gefährdung abgeleitet werden. Demnach ist es wichtig, sich mit den Handlungen auseinanderzusetzen, diese zu beobachten und zu beschreiben. Dabei stellt sich auch die Frage nach den technischen (Kommunikations-)Mitteln, die dem Lagedienst dafür zur Verfügung stehen und wie diese für die Aus-



einandersetzung mit der Gefährdung eingesetzt werden. Vor diesem Hintergrund stehen folgende Fragen im Mittelpunkt dieses Beitrags:

- 1) Wie erfolgt der Umgang mit (Wetter-)Informationen und welche Bedeutung haben sie für Handlungen und Entscheidungen bei der Feuerwehr?
- 2) Welche Mittel stehen dem Lagedienst dafür zur Verfügung?
- 3) Mit welchen (wetterbedingten) Herausforderungen sieht sich der Lagedienst konfrontiert und wie sehen Lösungsansätze aus?

6.2 Die Feuerwehrleitstelle und der Lagedienst

Die Feuerwehrleitstelle ist für die Aufnahme und Verarbeitung von Informationen sowie die Koordination und Disposition von Einsätzen zuständig. Feuerwehren können für Brandbekämpfung und für den Rettungsdienst eigene Leitstellen betreiben (Geier, 2017). Häufig – wie bei der Berliner Feuerwehr – wird dies aber gemeinsam an einem Ort durchgeführt und als *Integrierte Leitstelle für Feuerwehr und Rettungsdienst* bezeichnet. In der Leitstelle laufen die Notrufe aus der Bevölkerung und automatischen Brandmeldeanlagen (öffentliche Gebäude, Bahnhöfe, etc.) auf und werden bearbeitet. Im Schnitt sind dies in Berlin etwa 2.600 Notrufe täglich, aus denen ca. 1.250 Einsätze folgen (Berliner Feuerwehr, 2018a). Während knapp 80 % der Einsätze dabei auf den Rettungsdienst entfallen (Kox, Heisterkamp & Ulbrich, 2015), machen Einsätze der Kategorie *Technische Hilfeleistung*, also Einsätze ohne die direkte Beteiligung des Rettungsdienstes, im Vergleich einen deutlich geringeren Anteil aus. Sie werden unter anderem mit Alarmierungstichworten wie *Baum*, *Verkehrshindernis* oder *Wasserschaden* gekennzeichnet und können damit auf einen Einfluss des Wetters hinweisen. Rund 10.000 Einsätze technischer Hilfeleistung pro Jahr lassen sich aufgrund des Stichwortes als wetterbedingte Einsätze klassifizieren (Pardowitz & Göber, 2017, vgl. auch den Beitrag von Nico Becker in Kapitel 7 dieses Sammelbandes).

Bearbeitet werden die Einsätze durch die Mitarbeitenden der Leitstelle, den DisponentInnen. Diese übernehmen auch die Koordination des Einsatzes von der Leitstelle aus, etwa die Einsatzführung über Funk, oder unterstützen die Koordination einer mobilen Einsatzleitung vor Ort. Bei der Berliner Feuerwehr sind im Normalbetrieb 15 von 45 Arbeitsplätzen besetzt (Berliner Feuerwehr, 2018a). Häufig ist es so, dass ein Teil der DisponentInnen Notrufe annimmt und ein anderer Teil den Kontakt zu den Einsatzkräften vor Ort übernimmt. Möglich ist auch die zentrale Disposition



(z. B. für wetterbedingte Einsätze). Während die DisponentInnen nicht wetterbedingte Einsätze weiterhin selbst bearbeiten, geben sie wetterbedingte Einsätze an eine Gruppe DisponentInnen (die zentrale Disposition) ab, die diese dann je nach Dringlichkeit priorisiert und beschickt.

Die Berliner Feuerwehr verwendet zur Disposition von Einsätzen, d. h. der Koordination der Einsätze bezüglich Personal und Material, eine computergestützte Entscheidungshilfe. Anrufe werden in chronologischer Reihenfolge (nach Eingang) angenommen und dann mit Hilfe eines *Standardisierten Notrufabfrageprotokolls* (SNAP) priorisiert. Das Protokoll strukturiert mittels vorgegebener Fragen das Notrufgespräch mit dem Ziel, die Verarbeitungszeit eines jeden Notrufs zu verkürzen und vergibt vollautomatisch einen Einsatzcode an das Einsatzleitsystem. Dieses leitet daraus ein Alarmstichwort nach vorgegebener Kategorisierung ab und alarmiert das passende Fahrzeug (auch Einsatzmittel genannt: etwa Rettungswagen, Notarzteinsatzfahrzeug, Drehleiter oder Rettungshubschrauber) inkl. der Besatzung. Das Einsatzleitsystem übernimmt auch die Dokumentation der Einsätze (Berliner Feuerwehr, 2018b).

Wie bei den meisten Feuerwehren kommen auch bei der Berliner Feuerwehr Wetterwarnungen zunächst immer noch auf dem klassischen Weg als Fax an. So ist nachvollziehbar, ob die Warnung den Empfänger auch tatsächlich erreicht hat. Zusätzlich verfügt die Feuerwehrleitstelle über Zugang zu einer nur dem Bevölkerungsschutz zugänglichen Online-Plattform: das *Wetterinformationssystem für den Katastrophenschutz* FeWIS. Über FeWIS werden neben den Feuerwehren auch Polizei, Hilfsorganisationen und weitere kommunale, Landes- und Bundeseinrichtungen des Bevölkerungsschutzes informiert. Dabei werden zentrale Wetterinformationen gebündelt in einem Webportal zusammengeführt (für weitere Informationen zu FeWIS siehe auch den Beitrag von *Nadine Fleischhut und Stefan M. Herzog* in Kapitel 5 dieses Sammelbandes). Daneben besteht aber auch die Möglichkeit, die zuständige Regionale Wetterberatung (RWB) des DWD oder die DWD-Zentrale in Offenbach telefonisch zu kontaktieren, um weitere Details zu erfragen und Interpretationen abzusichern.

Die zuständige Person des Lagedienstes übernimmt die Gesamtkoordination der Einsatzlage. Seine/Ihre Aufgabe ist es, den Überblick über die Gesamtlage zu behalten. Bei speziellen Einsätzen koordiniert er/sie aus der Leitstelle und ist AnsprechpartnerIn für die Einsatzführung vor Ort. Dem Lagedienst der Berliner Feuerwehr steht dazu eine IT-Ausstattung mit insgesamt acht Monitoren zur Verfügung, die u. a. einen Überblick bzw. Zugriff geben auf eine Liste der aktuellen Notrufe in der Warteschleife, eine Liste und Karte der aktuell aktiven Einsätze, auf die interne Organisation wie E-Mail und Intranet und auf FeWIS.



Der Lagedienst hat sicherzustellen, dass Einsätze innerhalb bestimmter Fristen bearbeitet werden.¹⁹ Wenn aufgrund einer Unwetterlage eine erhöhte Anzahl an Fahrzeugen im Einsatz ist, bereits eine bestimmte Menge an Einsätzen parallel abgearbeitet werden muss, oder es abzusehen ist, dass aufgrund der Entwicklung die Einsatzzahlen das Alltagsgeschäft bald deutlich überstiegen werden, so kann durch die Feuerwehr als eine Maßnahme der *Ausnahmezustand-Wetter* (AZ-Wetter) ausgerufen werden. Dieser erlaubt es u. a., die im Alltag durch die *Ausrückordnung* vorgegebene Mindestbesetzung je Fahrzeug zu reduzieren. Durch das anwesende Personal kann somit eine erhöhte Anzahl an Fahrzeugen und schließlich eine größere Anzahl an Einsätzen gleichzeitig bedient werden (Kox et al., 2018).

Zu den ersten vorbereitenden Maßnahmen, die der Bevölkerungsschutz und insbesondere die Feuerwehren vor einem Extremwetterereignis durchführen, zählen typischerweise das Schließen von Fenstern sowie das Sichern von losen Gegenständen auf dem eigenen Gelände. Diese Maßnahmen werden u. a. auch zum Zweck des Selbstschutzes getroffen, um Störungen von routinierten Arbeitsabläufen zu vermeiden. Die Feuerwehrleitstelle übernimmt im Ereignisfall auch die Information der Öffentlichkeit.²⁰ Sie kommuniziert die Wetterinformationen des DWD u. a. an ihre Feuerwehrwachen und den Rettungsdienst, an kommunale Einrichtungen wie Park- und Grünflächenämter oder Ordnungsämter, an kommunale Unternehmen und Organisatoren öffentlicher Veranstaltungen sowie an Schulen oder Badeseen (vgl. Kox, Gerhold & Ulbrich, 2015). Feuerwehrleitstellen fungieren damit als *Gatekeeper* (Kox et al., 2018, S. 121) für die Kommunikation von Wetterinformationen an andere Behörden des Bevölkerungsschutzes in ihrem Zuständigkeitsbereich.

Zusätzliche vorbereitende Maßnahmen der Feuerwehren umfassen etwa die Bereitstellung und Verteilung von technischem Material (Pumpen, Schneeketten etc.) und Fahrzeugen, das Alarmieren von Einheiten, die Verlängerung von Arbeitszeiten, sowie allgemein eine verstärkte Wachsamkeit und intensiviertere Beobachtung der Entwicklung der Wetterlage. Für diese zusätzlichen Maßnahmen benötigen Feuerwehren in der Mehrzahl der Fälle zwischen einer und sechs Stunden Vorlaufzeit (vgl. Kox, Gerhold & Ulbrich, 2015). Während eines Wetterereignisses zielen Maßnahmen überwiegend auf die Bewältigung der durch das Wetterereignis verursachten Störungen ab: bspw. die Sicherung beschädigter Gebäude und Infrastrukturen, das Abpumpen von Wasser aus Kellern und die Sperrung von Straßen und öffentlichen Plätzen.

¹⁹ Diese sogenannten Hilfsfristen werden von der Feuerwehrleitung gemeinsam mit den politisch Verantwortlichen (in Berlin: SenatorIn für Inneres) festgelegt. Für den Rettungsdienst beträgt sie derzeit 8 Minuten und für die Brandbekämpfung und Technische Hilfeleistung 15 Minuten (Berliner Feuerwehr, 2016).

²⁰ Die Berliner Feuerwehr spielt Warnungen des DWD über die Warnapps KATWARN und NINA ein.



Zur Absicherung von eingetretenen Schäden und zur Priorisierung von Einsätzen werden sogenannte Erkunder eingesetzt. Erkunder sind Mitarbeiter des gehobenen feuerwehrtechnischen Dienstes, die die Aufgabe haben, Meldungen, die keine akute Lebensgefahr vermuten lassen, vor Ort zu überprüfen und eine Entscheidung hinsichtlich der Priorität für den notwendigen Kräfteinsatz zu treffen (vgl. Kox et al., 2018).

Wie im Folgenden dargestellt wird, sind Wetterinformationen nur ein Teil einer Vielzahl von Informationen, die beim Lagedienst zusammenkommen, um diese Aufgaben zu bewältigen. In diesem Beitrag liegt der Fokus auf der Bedeutung von Wetterinformationen in der Feuerwehrleitstelle, deren Verwendung im konkreten Arbeitsalltag und unter Extremwetterbedingungen ergründet werden soll. Es sollten Abläufe im Arbeitsalltag nachgezeichnet werden, die Aufschluss darüber geben, wie Wetterwarnungen in realen Organisationskontexten eingebettet sind.

6.3 Methode und Ablauf der Beobachtungen

Für die Erforschung des konkreten Umgangs mit Wetterinformationen im praktischen Arbeitsalltag von Feuerwehren wurde eine teilstrukturierte, direkte Fremdbeobachtung (Döring & Bortz, 2016, S. 328) in Verbindung mit Beobachtungsinterviews (Kuhlmann, 2009) gewählt. Eine Teilstrukturierung²¹ erschien sinnvoll, da durch die Vorarbeiten (u. a. Kox, Gerhold & Ulbrich, 2015; Kox, Heisterkamp & Ulbrich, 2015; Kox et al., 2018, vgl. Kapitel 6.2) bereits (teilweise) bekannt war, welche Maßnahmen von der Feuerwehr bei Extremwetter im Allgemeinen ergriffen werden. Bisher unklar war, wie diese Abläufe im Verhältnis zu alltäglichen Routinen und Strukturen stehen. Um dies zu ergründen, musste der Beobachtung eine gewisse Offenheit eingeräumt werden, um neue Erkenntnisse erfassen zu können.

Der standardisierte Teil (vgl. Abb. 9) bezog sich auf die Rahmenbedingungen, deren Dimensionen aus vorhergehenden Forschungen sowie aus Vorgesprächen mit Verantwortlichen der Feuerwehr bekannt waren. Standardisiert erhoben wurden: Beobachtungszeit, allgemeine Wetterlage, Besetzung der Leitstelle (standardmäßig oder verstärkt), zentrale Disposition (ja/nein; seit wann), Anwesende im Lagedienstraum, Ausnahmezustand Wetter (ja/nein).

²¹ Während bei einer *unstrukturierten Beobachtung* visuelle und verbale Beobachtungsdaten ohne jegliche Vorgabe von Richtlinien erhoben werden, existieren bei der *teilstrukturierten Beobachtung* konkrete Forschungsfragen oder theoretische Konzepte, an denen sich die Erhebung orientiert. Die *strukturierte Beobachtung* erhebt numerische Messwerte nach vorher genau festgelegten Variablen und Ausprägungen (Döring & Bortz, 2016, S. 328).



Beobachtungsschema

Datum: _____ Beginn: _____ Ende: _____ Beobachter/in: _____

Ausgangssituation (kurze Beschreibung, vor oder während der Beobachtung eintragen):

Aktuelle Wetterlage:

Leitstelle* : Standardbesetzung	verstärkte B.	geringere B.	zentrale Dispo? JA	NEIN
*erfragen	seit: _____,		seit: _____	
aktuell anwesend im Lagedienst-Raum: _____			AZ Wetter? JA	NEIN seit: _____

Aktuelle Warnung vor: _____	Stufe 1 (gelb)	seit: _____	Stufe 2 (ocker)	seit: _____
Keine	Stufe 3 (rot)	seit: _____	Stufe 4 (violett)	seit: _____
Aktuelle Warnung vor: _____	Stufe 1 (gelb)	seit: _____	Stufe 2 (ocker)	seit: _____
	Stufe 3 (rot)	seit: _____	Stufe 4 (violett)	seit: _____

Auslöser für die Wettersituation (FeWIS, Medien, Warnung per Fax...): _____

Sonstige Vorbemerkungen:

Abbildung 9: Beobachtungsschema

So konnten im Vorhinein zu erfassende Informationen schnell und eindeutig dokumentiert werden, sodass für den offenen Teil der Beobachtungen im Feld genügend Aufmerksamkeitskapazitäten der Beobachtenden zur Verfügung standen. Beobachtungsgegenstand und -ort wurden auf den diensthabenden Lagedienst und/oder den Lagedienstraum begrenzt. Die Eingrenzung rechtfertigte sich zum einen durch das Aufgabenspektrum und die beschriebene organisationale Bedeutung der Position des Lagedienstes und zum anderen durch die im Raum versammelten technischen Geräte (v. a. Kommunikationsmittel, alleiniger Zugriff auf FeWIS), die dem jeweiligen Lagedienst die Erfüllung seiner Aufgaben erst ermöglichen.²²

Der Beobachtungszeitraum erstreckte sich vom 20. Juni 2017 bis zum 24. Juli 2017 und wurde durch die drei AutorInnen des Beitrags durchgeführt. Während zu Beginn noch zwei der Beobachtenden gleichzeitig anwesend waren, wurde im weiteren Verlauf in aufeinanderfolgenden Schichten einzeln gearbeitet. Es wurden während des Zeitraums mindestens zwei Beobachtungen pro Woche mit einer Dauer zwischen zwei und fünf Stunden durchgeführt, sodass sich über neun Beobachtungstage eine Gesamtbeobachtungsdauer von 35 Stunden ergab. Der Beobachtungszeitraum wurde gewählt, da zu dieser Jahreszeit erfahrungsgemäß die Häufigkeit von Gewittern und

²² Dieser Fokus erwies sich als sinnvoll, wengleich hin und wieder der Lagedienst den Raum verließ, um in die Leitstelle zu gehen oder sich zu besonderen Ereignissen (siehe Kapitel 6.4.2) wesentlich mehr Personen im Raum des Lagedienstes aufhielten.



somit von entsprechenden Warnungen am höchsten ist. Die Beobachtungen fanden tagsüber statt und wurden ggf. in den Abend hinein verlängert, da erfahrungsgemäß in den Nachmittags- und Abendsstunden die Häufigkeit von sommerlichen Wärmegezeiten ebenfalls am höchsten ist (Göber, 2007). Während dieses Zeitraumes befand sich die Feuerwehr an zwei Tagen im *Ausnahmestand Wetter* (22. Juni und 29. Juni). Die Beobachtungsdauer im Ausnahmestand betrug 14 Stunden. Durch das beschriebene Vorgehen konnte jeder der sechs bei der Berliner Feuerwehr beschäftigten Lagedienstmitarbeiter mindestens zweimal über mehrere Stunden beobachtet werden. Dies ist konzeptionell deshalb relevant, weil die der Organisation eigenen Tätigkeiten (z. B. Schadenbeseitigung bei Sturmschäden im öffentlichen Raum) und positionsspezifischen Handlungen (z. B. Empfangen und Weiterleiten von Wetterinformationen) Untersuchungsgegenstand waren (vgl. Hacker & von der Weth, 2012, S. 85 f.).

Die Beobachtenden klingelten zu Beginn jeder Beobachtung an der Tür der Leitstelle. Von dort wurden sie zum Lagedienstraum geführt, wo sie sich jeweils am Rand des Raums – perspektivisch hinter dem Lagedienst – setzten. Damit hatten sie sowohl den Lagedienst als auch das, was auf den Monitoren erschien, im Blick. Während der Beobachtung waren die Beobachtenden weitestgehend in einer passiven und zuhörenden Rolle, interagierten aber mit den Personen im Raum, wenn die Situation es erforderte. Man kann insgesamt sicherlich von einer *passiven Teilnahme* am Geschehen sprechen (Döring & Bortz, 2016, S. 329), die darauf abzielte, im Arbeitsalltag präsent zu sein, um Routinen zu erfassen und zu verstehen. Gleichzeitig war eine *teilnehmende Beobachtung* im klassischen Sinne einerseits nicht möglich (*hochspezialisiertes Feld*, vgl. Bachmann, 2009, S. 257) und andererseits nicht angestrebt, weil dies über das Erkenntnisinteresse hinausgehen würde. Am Ende der Beobachtungsphase standen teilstandardisierte Protokolle, die die visuellen und verbalen Beobachtungen in einen verschriftlichten und analysierbaren Zustand brachten (Schirmer & Blinkert, 2009, S. 147).

Vor allem in Zeiten geringer Arbeitsbelastung der Beobachteten intensivte sich die Interaktion mit den Beobachtenden, sodass sich in mehreren Situationen *Beobachtungsinterviews* (vgl. Kuhlmann, 2009) entwickelten. Diese werden vor allem in der Untersuchung von Arbeitssituationen eingesetzt, um zwei Ebenen der sozialen Wirklichkeit zu erfassen: faktische Rahmenbedingungen (z. B. Arbeitsplatzausstattung) sowie soziale (nicht subjektive) Sinnzuschreibungen der Arbeit (z. B. Ziel von Tätigkeiten) (Hacker & von der Weth, 2012, S. 85). Außerdem konnten so Hinweise auf individuelle (Berufs-)Erfahrungen und Ausbildungswege erfasst werden, die bei der Bewältigung komplexer Situationen, wie sie im Arbeitsalltag der Feuer-



wehr immer wieder vorkommen, relevant werden können (Hacker & von der Weth, 2012, S. 89 f.). Beobachtungsinterviews bieten also den Vorteil, Verhalten (Beobachtung) sowie Sinnzuschreibungen (Interview) in Kombination zu erheben. Die Beobachtungsinterviews wurden durch Notizen und Gedächtnisprotokolle festgehalten. Fallstricke der offenen Beobachtung im nichtstandardisierten Teil wurden dadurch minimiert, dass zum einen die Beobachtenden anfangs gemeinsam vor Ort waren und die ersten Beobachtungs- und Feldprotokolle in Anlehnung an König (1967, S. 130; hier zit. nach Titscher, Meyer & Mayrhofer, 2008, S. 250) diskutiert wurden, um Beobachtungsfehlern vorzubeugen. Zum anderen fand während der Erhebungsphase ein regelmäßiger Austausch zu Schwierigkeiten und Besonderheiten der Beobachtungssituation zwischen den Beobachtenden statt. Solch ein kollektiver Forschungsprozess ist der Validität der Daten zuträglich (Kuhlmann, 2009).

Zur Analyse der Beobachtung wurden die Beobachtungsprotokolle, Gedächtnisprotokolle und Notizen sowie das den AutorInnen zur Verfügung stehende Material zur Wettersituation (Wetterwarnungen, Fax, Medienberichte, Pressemitteilungen) herangezogen. Zur Beantwortung der Fragestellungen wurde das Material in einem iterativen Prozess strukturiert und Kategorien zur weiteren Analyse gebildet (Mayring, 2015).

6.4 Ergebnisdarstellung und Analyse

Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf die Auswertung der Beobachtungsprotokolle. Um den LeserInnen einen Einblick in das Feld zu ermöglichen, werden die Beobachtungsergebnisse zunächst beschreibend dargestellt. Es folgt eine übersichtliche Darstellung (Griesecke, 2001), die erlaubt, durch eine gruppierte (verdichtete) Darstellung der Beobachtung Zusammenhänge zu erkennen. Die Erzählperspektive der dritten Person verdeutlicht, dass es sich um eine Außenperspektive handelt, was sich für eine übersichtliche Darstellung anbietet.

6.4.1 Wetterinformationen im Kontext routinierter Arbeitsabläufe im Alltag

Den Lagedienstraum im ersten Stock des Leitstellengebäudes betritt man durch zwei dicke Feuerschutztüren mit einem Guckloch (Bullauge). Direkt gegenüber des Eingangs ist eine breite Fensterfront, die den Blick hinunter auf das Herzstück der Leitstelle – die Notrufannahmeplätze – freigibt. Auf dem Fensterbrett stehen ein Faxgerät, mehrere Funkgeräte, Ordner und Ablagefächer. Beherrscht wird der Raum



jedoch von einem breiten Eckschreibtisch in der Mitte, auf dem acht Monitore und mehrere Telefone sowie Tastaturen und Computermäuse Platz finden, und der zugleich noch ausreichend Platz für allerlei Dokumente bietet. Die linke Wand ist gefüllt mit einer Karte des Berliner Stadtgebietes, auf der die einzelnen Direktionen farblich eingezeichnet sind, sowie einer großen Pinnwand, an der neben Mitteilungen und wichtigen Informationen auch die aktuellen Faxe mit den Warnungen des DWD angepinnt sind. Vom Arbeitsplatz des Lagedienstes aus hat man einen guten Überblick über den gesamten Raum. Der Lagedienst ist ein Einzelarbeitsplatz, um den herum vielfältige Informationssysteme aufgebaut sind. Der Lagedienst ist die einzige Person, die in diesem Raum Dienst hat. Entsprechend hat auch nur er Zugriff auf bestimmte Informationssysteme wie FeWIS, und auch das Fax des DWD kommt nur im Lagedienstraum an. Die Kommunikation aus dem Lagedienstraum heraus erfolgt vorrangig technisch vermittelt über Telefone und IT. Die Einzelposition des Lagedienstes wird auch räumlich deutlich: Der Lagedienstraum ist abgegrenzt zu den anderen Teilen der Leitstelle. Er befindet sich oberhalb der Notrufzentrale, auf die er durch eine breite Fensterfront einen Überblick ermöglicht. Die Position des Lagedienstes ist aufgeteilt auf sechs Personen, die sich in 12-Stunden-Schichten abwechseln. Die Schichtwechsel sind jeweils um halb sechs Uhr morgens und abends. Der erste und letzte Schritt jeder Schicht ist die Übergabe. Hier wird der nachfolgend diensthabe Lagedienst über alle wichtigen Informationen in Kenntnis gesetzt. Er erhält ein erstes Lagebild, welches er im Laufe seiner Schicht fortlaufend weiterführen wird und am Ende an den nächsten diensthabenden Lagedienst weitergeben wird. Dieses Lagebild beinhaltet mündliche Berichte über die Entwicklung der Notrufe und Einsätze, genauso wie eine Erwähnung oder Erläuterung der aktuellen und zu erwartenden Wetterlage sowie besondere Einsätze, etwa Großbrände oder Ähnliches. Zu Beginn seiner Schicht informiert sich der Lagedienst ausführlicher über die Wettervorhersage für die nächsten Stunden über FeWIS und die Faxe des DWD. Bei unauffälligen Wetterlagen, die sich nicht direkt auf die Arbeit der Feuerwehr auswirken, nimmt der Lagedienst die Informationen kurz zur Kenntnis. Er wird über Veränderungen in der Wetterlage durch die regelmäßigen Aktualisierungen der FeWIS Weboberfläche informiert. Zentral für die Arbeit des Lagedienstes ist es, einen Überblick über all das zu behalten, was einen Einfluss auf die Einsatzfähigkeit der Feuerwehr und die Bearbeitung von Einsätzen haben könnte. Dazu gehören neben dem Wetter auch andere *externe* Faktoren wie die Uhrzeit und der Wochentag (Helligkeit, Pendlerbewegungen, Tag- und Nachtbevölkerung etc.) und das Notruf- und Einsatzaufkommen. Zu *feuerwehrinternen* Faktoren zählen etwa die Arbeitszeiten und Arbeitsbelastung der Feuerwehrleute, die Erreichbarkeit der Freiwilligen Feuerwehr und die Verfügbarkeit von Einsatzmitteln.



Basierend auf der Übergabe informiert sich der jetzt diensthabende Lagedienst weiter. Immer präsent auf einem der Monitore in der Mitte des Tisches, der auch etwas höher und daher gut sichtbar angebracht ist, ist die Liste aller offenen Einsätze sowie die Liste aller aktuell eingehenden Notrufe. Beide Listen füllen und leeren sich mal schneller und mal langsamer und manchmal, wie z. B. am 29. Juni 2017 (siehe Kapitel 6.4.2) steigt ihre Länge sprunghaft an. Im Regelfall werden die Einsätze von den DisponentInnen bearbeitet, der Lagedienst kontrolliert nur Einsätze und greift ggf. ein, wenn etwas nicht ordnungsgemäß läuft. Da der Lagedienst die Aufgabe hat, im gesamten Stadtgebiet alle Einsätze so schnell und effizient wie möglich abarbeiten zu lassen, wird er die Zuordnung von Einsatzmitteln in Auftrag geben, um nur wirklich benötigte Einsatzmittel in einem Einsatz zu binden und die restlichen Ressourcen weiterhin zur Verfügung zu haben. Dies kann der Fall sein, wenn die falschen oder zu viele Einsatzmittel bzw. Fahrzeuge zu einem Einsatzort geschickt werden, weil der oder die zuständige DisponentIn die vor Ort benötigten Mittel falsch eingeschätzt hat.

Der Blick auf den Monitor mit den Notrufen und Einsätzen ist also regelmäßig und wird durch die Anordnung der Informationstechnik im Raum unterstützt. Um diesen zentralen Monitor herum sind die häufiger benutzten Kommunikationsmittel angeordnet: die Telefone (auch schnurlos verfügbar), die Tastaturen und Computermäuse und die PCs/Monitore für die E-Mail-Kommunikation und Büroarbeiten. Der Bildschirm, auf dem dauerhaft FeWIS geöffnet ist, befindet sich ganz rechts auf dem Tisch. Er steht damit nicht im Mittelpunkt der Aufmerksamkeit des Lagedienstes, ist aber wie alle Informationen auf einen Blick sichtbar. Welche konkrete Oberfläche (FeWIS bietet verschiedene zur Auswahl) dauerhaft sichtbar ist, kann von Lagedienst zu Lagedienst unterschiedlich sein, wobei eine Präferenz für den GewitterMonitor zur Vorhersage von Gewitterverlagerungen zu beobachten war. Welche technischen, materiellen und kommunikativen Mittel der Lagedienst für seine Entscheidungen nutzt, hängt von seiner eigenen Einschätzung der Lage ab, aber auch von seiner Persönlichkeit. Ohne Extremwetterereignis spielt das Wetter im Arbeitsalltag des Feuerwehrlagedienstes keine herausragende Rolle, es ist vielmehr Teil eines Komplexes von unterschiedlichsten Informationen, die routinemäßig gehandhabt werden.

6.4.2 Routinierte und nicht-routinierte Arbeitsabläufe bei Unwetter und Extremwettersituationen. Fallbeispiel Dauerregen am 29. Juni 2017

Auch in Zeiten hoher Belastung besteht innerhalb der Feuerwehr der Anspruch, möglichst viele Routinen aufrechtzuerhalten. In Extremwettersituationen, die ein



besonders hohes Einsatzaufkommen hervorrufen, ist das jedoch nicht mehr vollständig möglich. Während des Beobachtungszeitraumes konnte am Donnerstag, den 29. Juni 2017 auch ein solcher Extremfall beobachtet werden. An diesem Tag kam es zu lang andauerndem, gewittrigem Starkregen im Osten und Norden Deutschlands. Besonders betroffen war Berlin (vgl. DWD, 2017).

Die Warnlage

Am Nachmittag des 28. Juni 2017 gab der DWD eine Vorabinformation Unwetter heraus, aus der hervorging, dass am folgenden Tag ab Mittag über den gesamten Tag bis in die Nacht „*heftiger/ergiebiger Regen*“ zu erwarten sei.²³ Diese Vorabinformation wurde am Abend und in der Nacht weiter konkretisiert. Am frühen Morgen (5:16 Uhr) des 29. Juni wurde zunächst eine *Amtliche Warnung vor Dauerregen* (Stufe 2 von 4) herausgegeben, die schließlich am Vormittag (10:09 Uhr) auf eine *Amtliche Unwetterwarnung vor ergiebigem Dauerregen* (Stufe 3 von 4) erhöht wurde. Während des Vormittags kamen weitere *amtliche Warnungen vor starkem Gewitter* (Stufe 2 von 4) für den Mittag und Nachmittag hinzu. Die *Amtliche Unwetterwarnung* wurde am Nachmittag (14:35 Uhr) auf Stufe 4 von 4 (*Amtliche Unwetterwarnung vor extrem ergiebigen Dauerregen*) erhöht.²⁴

Beginn der Beobachtung (14–16 Uhr)

Beim Eintreffen der ersten Beobachterin um 14 Uhr verweiste der anwesende Lagedienst gleich darauf, dass seiner Meinung nach eigentlich alles schon vorbei sei. Der Ausnahmezustand sei bereits ausgerufen, da die Leitstelle mittags gegen 12:30 Uhr ein verstärktes Notrufaufkommen verzeichnete, bei dem überwiegend vollgelaufene Keller gemeldet wurden. Zu diesem Zeitpunkt wurde dann der *Ausnahmezustand Wetter* ausgerufen.

Der Lagedienst berichtete, am Vormittag habe ihn die Unwetterwarnung vor ergiebigem Dauerregen vom DWD erreicht. Die Werkfeuerwehren und Freiwilligen Feuerwehren im Stadtgebiet wurden daraufhin informiert und Erkunder bis Freitagabend, den 30. Juni, eingeplant, da davon ausgegangen wurde, dass im weiteren Verlauf des Tages noch mehr Regen als bisher kommen könnte.

²³ Entsprechend wurde am 28. Juni durch die Beobachtenden beschlossen, am Folgetag ab 14 Uhr in drei Beobachtungsschichten zu beobachten, um möglichst bis in die Abendstunden anwesend zu sein.

²⁴ Bezüglich des Warnsystems des DWD siehe auch den Beitrag von *Till Büser* in Kapitel 4.2.2 dieses Sammelbandes.



Auf dem FeWIS-Monitor ganz rechts auf dem Schreibtisch waren gegen 14:30 Uhr der GewitterMonitor und eine Übersicht der aktuell bestehenden Warnungen parallel geöffnet. Es gab immer wieder eingehende Anrufe bei denen der Lagedienst verschiedenen, teils unbekanntenen Personen Auskunft über die Wetterlage gab. Ein Mitarbeiter der Feuerwehr suchte den Lagedienst persönlich auf. Gemeinsam betrachteten sie ein Fax des DWD (Warnung vom Vormittag). Der Lagedienst riet ihm, lieber jetzt heimzufahren, da es später schlimmer mit dem Regen werden würde.

Um 14:45 Uhr, rief ein Mitarbeiter des DWD von der RWB Potsdam an und informierte den Lagedienst über die aktualisierte Wettervorhersage (Amtliche Unwetterwarnung vor extrem ergiebigem Dauerregen, Warnung von 14:35 Uhr). Der Warntext in FeWIS wurde entsprechend ebenfalls aktualisiert. Kurz darauf betrat der Beauftragte der Freiwilligen Feuerwehr den Lagedienststrahl und fragte nach den Wetteraussichten. Er hielt sich schon seit dem Mittag in der Leitstelle auf und hatte die gesamte Koordination der freiwilligen Einsatzkräfte übernommen. Nachdem beide die Wetterlage in FeWIS betrachtet hatten, berichtete der Lagedienst von den Informationen, die er kurz davor durch den DWD telefonisch erhalten hatte. Er sagte dem Kollegen, dass sie den Ausnahmezustand aufrechterhalten würden. Zusätzlich zu den Informationen des DWD zeigte er ihm ein PDF-Dokument des Bundesamts für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK), welches er zuvor per E-Mail erhalten hatte. In dem Dokument war eine rot eingefärbte Deutschlandkarte zu sehen.

Gegen 15:30 Uhr beschrieb der Lagedienst der Beobachterin die Warnungen, die die Feuerwehr vom DWD erhalten hatte. Als er beschlossen hatte, in den Ausnahmezustand zu gehen, lautete die Warnung *Starkregen Stufe 2 von 4*. Der Mitarbeiter des DWD fügte im Telefonat hinzu, dass dies 50–80 Liter Regen pro m^2 für die nächsten 24 Stunden bedeute. Er setzt im Gespräch mit der Beobachterin diese Angabe in Relation zu den üblichen ihm bekannten Regenmengen bei Gewittern von 30–50 Litern pro m^2 . Zusätzlich berichtete er, dass die aktuelle Einsatzzahl bei 1200 liege. Demnach war bereits zum Zeitpunkt des Gesprächs die übliche Zahl an Einsätzen pro Tag erreicht.

Im Laufe des Nachmittages gingen immer wieder Anrufe ein, in denen der Lagedienst von unterschiedlichen Personen über neue Entwicklungen des Wetters und aktuelle Einsatzzahlen gefragt wurde. Er gab über die Wetterwarnungen und Einsatzzahlen Auskunft und teilte mit, dass der AZ Wetter weiterhin aufrecht erhalten werde. Nicht immer war ersichtlich, von wem die Anrufe kamen. Er berichtete der Beobachterin, dass es zu Beginn eines Ausnahmezustandes üblich ist, dass von unterschiedlichen



Stellen (Fahrzeugbesatzungen, Wachen etc.) nachgefragt wird, wie sich die Situation in naher Zukunft weiterentwickeln wird und wie genau verfahren werden soll.

Die Übergabe zwischen den Beobachtenden kurz vor 16 Uhr umfasste die vorab beschriebenen Themen. Die erste Beobachterin nahm die Beobachtung bis zu diesem Zeitpunkt als sehr ruhig und entspannt wahr.

Beobachtung in den späteren Nachmittagsstunden (16–18 Uhr)

Gegen 16 Uhr waren die Einsatzzahlen zwar rückläufig, aufgrund der Aussichten für stärkeren Regen erhielt der Lagedienst den Ausnahmezustand jedoch weiter aufrecht. Er berichtete der zweiten Beobachterin, dass er diese Entscheidung auf die Vorhersage des DWD stützte. Insgesamt wäre er mit der heutigen Bewarnung der Wetterlage zufrieden. Das Wetter käme so, wie es bewarnt wurde. Er schätze den direkten Telefonkontakt zu den Mitarbeitenden des DWD, da diese eine umfassendere Einschätzung der Wetterentwicklung geben können als die schriftlichen oder visuellen Warnungen.

Gegen 16:30 Uhr berichtete der Lagedienst einer unbekannt Person in einem Telefonat, welche Auswirkungen das Wetter derzeit habe: Da Straßen teilweise nicht befahrbar sind, dauern die Anfahrtswege länger und Einsatzfahrzeuge erreichen die Einsatzorte später als angedacht. Dies betreffe mittlerweile auch den Rettungsdienst. Aktuell gebe es insgesamt 230 offene Einsätze, früher am Tag gab es um die 300 offene Einsätze. Für einen normalen Tag seien bis zu 130 offene Einsätze üblich.

Kurz nach 17 Uhr berichtete der Lagedienst der Pressestelle der Feuerwehr, dass es bisher 49 rein wetterbedingte Einsätze gab. Da aufgrund der Wetterwarnungen ersichtlich wäre, dass der Dauerregen bis in die Nacht andauern würde (in FeWIS war zu dem Zeitpunkt deutlich sichtbar, dass sich ein großes Regengebiet über Berlin befand, das sich nur sehr langsam weiterbewegte), wären die Freiwilligen Feuerwehren in drei Wellen in Dienst gerufen worden, damit bis Freitagabend Einsätze bearbeitet werden könnten. Die erste Welle sei seit dem Zeitpunkt des Ausrufens des Ausnahmezustands um 12:30 Uhr im Dienst. 150 freiwillige Kräfte stünden bereit.

Um 17:15 erfolgte der Schichtwechsel und der Dienst übernehmende Lagedienst erschien im Raum. Er wurde darüber informiert, dass das vorherrschende Problem zu diesem Zeitpunkt das nicht abfließende Wasser in den Straßen wäre, es gebe aber bis dahin keine größeren Einsätze. Der neue Lagedienst kannte bereits die Wetterlage, er wäre gerade durch den Regen in die Dienststelle gefahren und habe gesehen, wie



die Situation auf manchen Straßen war. Während der Lagedienst der ersten Schicht immer noch recht entspannt wirkte, machte sein Kollege auf die Beobachterin bereits einen etwas angespannteren Eindruck. Für ihn begann die Schicht bereits mit einer hohen Arbeitsbelastung.

Kurz vor halb sechs gingen die Einsätze sprunghaft hoch. Um 17:26 Uhr ertönte durch das gesamte Leitstellengebäude eine Durchsage, die alle Mitarbeiter auf Grund des erhöhten Einsatzaufkommens in die Leitstelle rief. Um 17:29 Uhr kam erneut eine Änderung in FeWIS ein (angezeigt durch das Ertönen eines Jingles) und der Lagedienst wandte sich dem Monitor zu, auf dem ein Niederschlagsradar und Warnungen zu sehen waren.

Kurz vor 18 Uhr berichtete der Lagedienst einem Anrufer, dass die Feuerwehr aufgrund des Notrufaufkommens mit allen verfügbaren Kräften im Einsatz sei. Die Leitstelle war damit stärker besetzt als an einem Tag ohne Ausnahmezustand. Es wurde deutlich, wie sehr der Regen zu einem besonders starken Einsatzaufkommen führte.

Während die Auswirkungen des Wetters viele Einsätze im gesamten Stadtgebiet verursachten, klingelte beim Lagedienst insbesondere wegen eines bestimmten Einsatzes ständig das Telefon. Er vermutete daher, dass die Kräfte vor Ort die Lage nicht in den Griff bekämen und kommentierte, dass er wegen dieses Einsatzes nicht dazu komme, sich einen Überblick über die gesamten Einsätze zu schaffen. Auch Presseanfragen per Telefon, die der Lagedienst wiederholt an die Pressestelle verwies, häuften sich.

Die zweite Übergabe um 17:45 Uhr der zweiten Beobachterin an den dritten Beobachter war von Tempo und Eile geprägt, zusammen mit einer deutlichen Informationsflut im Lagedienstraum. Die Einsatzliste blinkte und das Telefon klingelte beständig.

Beobachtung in den Abendstunden (18 –23 Uhr)

Während der Lagedienst in ruhigen Zeiten einen Einzelarbeitsplatz hat, kamen am Abend des 29. Juni immer wieder Kollegen, die ihre Hilfe auch über das übliche Maß hinaus anboten. Zusätzlich erschien auch der Landesbranddirektor, um sich vor einem Auftritt im regionalen Fernsehen vor Ort über die aktuelle Lage zu informieren. Von besonderem Interesse waren die aktuellen Niederschlagsmengen. Auf Vorschlag des Landesbranddirektors minimierte der Lagedienst die FeWIS-Seite und öffnete



eine andere Webseite mit Wetterinformationen.²⁵ Beide suchten nach Angaben zu aktuellen Niederschlagsmengen und überschlugen die stündlichen Messungen. Sie rechneten hoch, was noch zu erwarten sei.

Parallel klingelte in sehr kurzen Zeitabständen das Telefon und der Lagedienst gab immer wieder Informationen zu aktuellen Einsatzzahlen heraus. Die Zahl der offenen Einsätze war auf 329 gestiegen. Alle 25 Feuerwehren im Großraum Berlin waren zu dem Zeitpunkt im Dienst. Die Notrufannahme war überlastet. Die Wartezeit für Notrufe betrug etwa zehn Minuten, obwohl bereits die Reserve der Leitstelle an den Notrufannahmeplätzen saß. Daher entschied der Landesbranddirektor, bei seinem Fernsehauftritt einen Appell an die Öffentlichkeit zu richten: Die Feuerwehr solle nur noch gerufen werden, wenn es sich um lebensbedrohliche Situationen handle.

Kurz nach halb sieben wurde das Technische Hilfswerk (THW) zu Hilfe gerufen, da weitere Geräte zum Abdichten und Pumpen benötigt wurden. Es wurde darum gebeten, dass das THW jemanden in die Leitstelle schicke, um die Einsätze auf kurzem Wege zuzuteilen und selbstständig zu bearbeiten. Der Lagedienst merkte an, dass er gegenwärtig nicht zusätzlich die Kräftekoordination des THW übernehmen könnte.

Es riefen weiterhin zahlreiche Personen an. Oftmals handelte es sich um Presseanfragen. Daher ließ der Lagedienst den Pressedienst in die Leitstelle rufen, der ihm bei der Bewältigung des Anrufaufkommens helfen sollte. Der Pressesprecher erreichte den Lagedienst um 19:10 Uhr, nahm sich eines der tragbaren Telefone und verließ den Lagedienstraum. Mit seinem Eintreffen nahm die Dichte der Anrufe im Lagedienstraum deutlich ab.

Um 19:20 Uhr betrat ein Feuerwehrmitarbeiter den Lagedienstraum und löste über Telefon eine Alarmierung aus, die über die Lautsprecher der Leitstelle verkündet wurde. Freiwillige Kräfte wurden gebeten, sich zu melden und bis Mitternacht in der Leitstelle auszuhelfen.

Die Einsätze am späteren Abend beruhten fast ausschließlich auf den großen Wassermengen durch den Dauerregen. Alle Fahrzeuge waren im Einsatz, der Rettungsdienst wäre nach Auskunft des Lagedienstes aber kein Problem. Schäden durch umgefallene Bäume spielten kaum eine Rolle. Der wiederholte Blick auf FeWIS bestätigte immer wieder, dass das Regengebiet über Berlin nur langsam weiterzog.

²⁵ Es handelte sich um die Webseite WIND der FU Berlin. Eine Webseite, die primär für Wassersportler regionale Wetterdaten zur Verfügung stellt.



In der Notrufwarteschleife befanden sich um 19:50 Uhr 50 Notrufe. Diese Zahl wurde als zu hoch gesehen und es wurde entschieden, die Abläufe in der Notrufannahme zu ändern: Die Annahme der Anrufe mittels des standardisierten Notrufabfrageprotokolls (SNAP, siehe Kapitel 6.2), welches die Notrufannahme strukturiert und einen Einsatzcode an das Einsatzleitsystem vergibt, wurde von nun an ausgesetzt. Die Hoffnung war, dass so Notrufe schneller bearbeitet werden können.²⁶ Der Großteil der Notrufe war wetterbedingt, es gab nur 46 Rettungsdiensteinsätze.

Um 20:45 Uhr rief erneut ein Mitarbeiter des DWD aus Potsdam den Lagedienst an. Nach Aussagen des DWD sei bis 2 Uhr nachts mit Regen zu rechnen. Der Lagedienst rechnete damit, dass es vom Wetter her zwar weniger werden würde, die Einsatzzahlen jedoch nicht zurückgehen würden. Die Einsatzzahlen blieben den gesamten Abend über hoch. Das sich abzeichnende Problem würde dann die Kräfteablösung sein, da bereits auch dienstfreie Kräfte zur Unterstützung gerufen wurden. Auch in dieser Lage war der Lagedienst dauerhaft damit beschäftigt, Informationen zusammenzutragen und regelmäßig den Leitstellenleiter und den Landesbranddirektor zu informieren. Koordinierungsaufgaben gab er an Beauftragte anderer Organisationen oder freiwillig in den Dienst gekommene Kollegen ab.

Im Lagedienstraum waren an diesem Abend mehrere Personen versammelt, die gemeinsam versuchten, die Situation zu bewältigen. Der Lagedienst hatte dabei seine Rolle als Informationsmittelpunkt behalten und zusätzliche Aufgaben (etwa die Übernahme von Presseanfragen und weiterer Anrufe, oder die Koordination zusätzlicher Kräfte des THW und der Freiwilligen Feuerwehr) an Kollegen abgegeben.

Der Beobachtungsabend endete mit der Aussicht auf noch mehr Einsätze. Auch wenn innerhalb der Feuerwehr vermutet wurde, dass die Einsätze während der Nacht zurückgehen würden, da der Großteil der Menschen schlafen ginge. Der Lagedienst fasste um 22:45 Uhr zusammen: Sie hätten noch 560 offene Einsätze und 40 Notrufe in der Warteschleife, mit einer Wartezeit von bis zu 10 Minuten. 11 Leute, inklusive Leitstellenleiter und Lagedienst, trafen sich zu einer Besprechung der aktuellen Lage und weiteren Aussichten. Eine weitere Besprechung sollte um Mitternacht stattfinden. Die Beobachtung wurde an dieser Stelle um 23 Uhr beendet.

²⁶ Später in der Nacht entstand dadurch jedoch das Problem, dass Einsätze nicht mehr detailliert nach Stichworten durchsucht werden konnten, was eine Priorisierung erschwerte.



6.5 Analyse und Diskussion der Beobachtungen

Ziel der Beobachtung war es, die Verwendung von Wetterinformationen durch die Feuerwehr im konkreten Arbeitsalltag und unter Extremwetterbedingungen zu betrachten. Die im vorhergehenden Kapitel erfolgte Darstellung der Abläufe im Arbeitsalltag soll einen Einblick geben, wie Wetterwarnungen im realen Organisationskontext eingebettet sind. Die folgenden Ausführungen beziehen die Auswertung aller Beobachtungssituationen mit ein und versuchen so, die Ergebnisse zu abstrahieren und auf die in der Einleitung genannten Fragestellungen zu fokussieren.²⁷

6.5.1 Umgang mit und Bedeutung von (Wetter-)Informationen

Eine zentrale Aufgabe des Lagedienstes ist es, die Funktion der Feuerwehr durch zielgerichtete und effiziente Koordination und Disposition der Kräfte zu erhalten, damit sie zeitnah und angemessen auf Ereignisse und Notfälle reagieren kann. Um dies umzusetzen, werden vielfältige Informationen aus verschiedenen Quellen zusammengetragen, verglichen und miteinander verbunden (vgl. Kox et al., 2018, S. 126).

Es konnte beobachtet werden, dass an einem Tag, an dem kein extremes Wetterereignis zu erwarten war, das *Sich-Informieren* (aktiv) und das *Informiert-Werden* (passiv) über Wetter zu einer von vielen Informationsaufgaben des Lagedienstes gehört. Der Umgang mit den Warnlageberichten und Warnungen, die per Fax kommen, ist dabei ebenso routiniert, wie der Blick auf den Bildschirm, auf dem FeWIS läuft. Dass Wetterinformationen in alltägliche Routinen eingebaut sind, ist bezeichnend für deren Stellenwert und hebt hervor, dass sich das Aufgabenfeld der Feuerwehr auch im Freien abspielt und Maßnahmen somit durch Wetter beeinflusst werden. Gleichzeitig ist *das Informieren* nur eine von vielen Routinen. Sie steht nicht allein, sondern ist mit vielerlei anderen Routinen formeller wie informeller Art verflochten. Dazu gehören z. B. das Überwachen und Dokumentieren der Einsatz- und Notruflisten (formell) ebenso wie die gelegentliche Abstimmung mit den Zuständigen der Notrufzentrale (informell).

Zwischen den Mitarbeitenden der Leitstelle und des Lagedienstes findet auch ein privater Austausch über Wetter statt. Wenn etwa vor dem Feierabend der Weg nach Hause mit dem Fahrrad oder öffentlichen Verkehrsmitteln ansteht oder die Frage nach Wochenend- und Freizeitplanung diskutiert wird. Hier vermischt sich privates

²⁷ Die Ergebnisse dürfen dabei nicht als umfassend für die Arbeit einer Leitstelle angesehen werden, sondern sollen einen ersten Einblick dazu geben, wie Wetterwarnungen in der Realität der Feuerwehr eingebettet sind. Siehe dazu auch Kapitel 6.3.



und berufliches Informieren über Wetter. Besonders deutlich wird dies, wenn Informationen über Auswirkungen des Wetters auch von privaten Kontakten mit in die Lagebestimmung aufgenommen werden. Kox et al. (2018, S. 124) weisen darauf hin, dass eigene Quellen und die eigene Exposition gegenüber Wetter, also bspw. das Fühlen der Hitze oder die Eigenwahrnehmung von Sturmstärken und -schäden, zusätzlich zu offiziellen Informationsquellen wie Wetterwarnungen hinzugezogen werden.

6.5.2 Technische Mittel der Interaktion

Neben den persönlichen Interaktionen zwischen den Mitarbeitenden der Feuerwehr, nehmen technische Mittel einen großen Stellenwert ein. Ellebrecht und Jenki (2014, S. 31) unterscheiden vier Einsatzfelder von Technik in Notfallorganisationen: 1. Einsatz- und Transportmittel, 2. Technik, die am Schadensort zum Einsatz kommt, 3. Digitale Informationstechnik der Verwaltung (Leitstelle) und 4. Kommunikationstechnik wie Funk und (Mobil-)Telefon für weitere Zwecke. Während Einsatz- und Transportmittel sowie technisches Einsatzmaterial benötigt werden, um vor Ort Kräfte, Patienten oder Material zu mobilisieren und Ereignisse zu bewältigen (Retten, Löschen, Bergen, Schützen), reichen Informationstechniken der Feuerwehrleitstelle nur bedingt in den Einsatzbereich hinein. Kommunikationstechnik findet dagegen sowohl für die Kommunikation zwischen Einsatzkräften vor Ort als auch zwischen Leitstelle und Einsatzkräften Verwendung (Ellebrecht & Jenki, 2014, S. 31).

Die Auswertung der Protokolle zeigt die starke Bedeutung der (digitalen) Informationstechnik für das *Sich-Informieren* und das *Informiert-Werden*. Hier sind vor allem das Telefon und die IT-Infrastruktur (etwa digitale Listen aktueller Einsätze und Warteschlangen der Notrufe, FeWIS) hervorzuheben. Dagegen scheint das Fax des DWD eine untergeordnete Rolle zu spielen. Es dient, neben der Möglichkeit sich untereinander über die Entwicklung des Vorhersageprozesses auszutauschen, zunächst allein der Dokumentation.²⁸ Lauche (2012, S. 212) weist darauf hin, dass Leitstellen und Koordinationszentren von einer „Kultur [geprägt sind], die gesättigt ist mit Instrumenten, Vorschriften und Dokumenten, die dazu eingesetzt werden, die zunächst unvollständige oder inakkurate Information zu validieren“.

Telefonische Kontaktpersonen sind neben KollegInnen anderer Behörden der Gefahrenabwehr (etwa THW und Polizei), Kontakte bei Einrichtungen des Landes und der Bezirke sowie bei Betreibern von Infrastruktureinrichtungen für Verkehr (U-

²⁸ Welche Bedeutung die Dokumentation für eventuelle Nachbereitungen und Absicherungen hat, konnte in der Studie nicht beobachtet werden.



Bahn, Deutsche Bahn) und Gas- und Stromversorgung, in erster Linie das eigene Führungspersonal (etwa A-Dienste, Leitstellenleitung, Landesbranddirektor). Eine wichtige Rolle kommt im Alltag des Lagedienstes auch der Presse zu. Die Person des Lagedienstes ist neben der Presseabteilung die Person, die Informationen nach außen gibt. Besonders in Extremwettersituationen mit hohem Einsatzaufkommen und mit besonderem öffentlichen Interesse nehmen Presseanfragen deutliches Gewicht ein.

Das Aufblinken eines bestimmten Einsatzes in der Einsatzliste, das Blinken der Notruffliste, die Wartezeiten anzeigt, oder das Ertönen des Jingles von FeWIS zeigen, dass Alarmierungen häufig Auslöser von Handlungen sind, die den Lagedienst aus seinem gegenwärtigen Tun reißen und Bewegungen und Abläufe beschleunigen: „*Mit der Notfallfeststellung gilt das Gesetz der Dringlichkeit. Gegenwart und unmittelbare Zukunft werden zu dominanten temporalen Bezugspunkten*“ (Ellebrecht & Jenki, 2014, S. 21). Handlungen sind demnach oft reaktiv auf ein Ereignis, eine Warnung oder eine Alarmierung (vgl. u. a. Apelt, 2014; Demeritt, 2012; Kox et al., 2018). Dennoch findet durch das Informieren und Informiert-Sein eine Vorbereitung auf, ja gar Planung, dieser Ergebnisse statt. In diesem Kontext scheinen Wetterwarnungen nur als Bestätigung für bereits getroffene Entscheidungen und Planungen zu dienen (Kox et al., 2018, S. 125).

Die Bedeutung der technischen Systeme ist auch symbolisch für die Abgeschlossenheit des Raumes zu sehen. So ist für den Lagedienst wenig direkt erfahrbar über das, was *draußen* passiert, welche Wirkung beispielsweise das Wetter hat. Live-TV-Berichterstattung aus der Stadt und dem Umland, Meldungen von EinsatzleiterInnen und Erkundern per Funk und Mobiltelefon oder persönliche Gespräche per Telefon brechen diese Abgeschlossenheit von Zeit zu Zeit auf.

6.5.3 Herausforderungen und Lösungen

Besonders während der in Kapitel 6.4.2 beschriebenen Extremwettersituation am 29. Juni 2017 wurden verschiedene Herausforderungen deutlich, denen sich der Lagedienst stellen musste. Diese waren auch während des gesamten Beobachtungszeitraumes immer wieder beobachtbar: 1) Ein erhöhtes Notrufaufkommen, 2) Ein erhöhtes Einsatzaufkommen, 3) Engpässe in der Verfügbarkeit und Einsatzbereitschaft von Material, Fahrzeugen und Personal und 4) Ein erhöhtes Anrufaufkommen in der Feuerwehrleitstelle.

1) Besonders bei Großschadenslagen und speziellen Einsätzen kann ein *erhöhtes Notrufaufkommen* zu Wartezeiten für die Anrufenden führen. Dies ist etwa dann möglich,



wenn größere Gebiete und damit mehrere Personen lokal gleichzeitig betroffen sind (konzentrierte räumliche Betroffenheit). Neben lokalen Unwetterereignissen könnten darunter auch Großbrände oder Ausfälle der Strom- und Wasserversorgung fallen. In Extremwettersituationen ist auch eine konzentrierte zeitliche Betroffenheit möglich. Insbesondere in den frühen Morgenstunden oder Abendstunden, wenn die Menschen ihre Häuser und Wohnungen verlassen und sich auf den Weg von der oder zur Arbeit machen, werden Auswirkungen eines Unwetters ersichtlich und viele Menschen wählen infolgedessen gleichzeitig den Notruf. Die Interaktionen mit der Bevölkerung – der Appell, den Notruf nicht für geringe Wasserschäden zu wählen und stattdessen lieber abzuwarten oder kleine Beeinträchtigungen selbst zu beheben – stellt als Lösungsstrategie dieser Herausforderung sicherlich einen Sonderfall des 29. Juni 2017 dar.

2) In Extremwettersituationen oder während Großveranstaltungen (bspw. Silvester) kann es zeitlich oder räumlich begrenzt zu einem *erhöhten Einsatzaufkommen* und dadurch zu einer großen Anzahl offener und nicht bearbeiteter Einsätze kommen. Die Liste offener Einsätze (ebenso Wartezeiten bei Notrufen) ist für den Lagedienst ein Indiz für die aktuelle Belastung der Leitstelle. Wird eine Liste zu lang, bedeutet dies, dass Handlungsbedarf besteht, insofern als abgewogen werden muss, wie die Abläufe so angepasst werden können, dass eine zeitnahe Abarbeitung aller Einsätze (und Notrufe) möglich ist. Der Lagedienst muss entscheiden, welche Maßnahmen (zentrale Disponierung, Ausnahmezustand etc.) im konkreten Fall am sinnvollsten sind. Da die Feuerwehr in ihrem Tagesgeschäft auf ein gewisses Belastungsniveau eingestellt ist, welches für Extremsituationen im Vorhinein angepasst werden kann, sind Wetterwarnungen generell von Bedeutung. Sie erlauben, wenn auch begrenzt, eine Planung für die nahe Zukunft. Allerdings kann eine Feuerwehr auf Wetterwarnungen reagieren und vorsorglich personelle, materielle und (einsatz-)strategische Anpassungen vornehmen, doch diese Maßnahmen betreffen zunächst vor allem die feuerwehrinterne Ereignisbewältigung. Dies wird besonders deutlich an der ständig zu dokumentierenden und an Entscheidungsträger zu kommunizierenden Anzahl aktueller offener Einsätze.

3) *Engpässe in der Verfügbarkeit und Einsatzbereitschaft von Material, Fahrzeugen und Personal* können etwa durch ein allgemein oder lokal erhöhtes Einsatzaufkommen entstehen, oder wenn Kräfte durch Einsätze länger an einen bestimmten Ort gebunden werden. Solchen Engpässen kann durch mehrere Maßnahmen begegnet werden: Erkunder können etwa Prioritäten bei der Einsatzbewältigung festlegen und durch das Ausrufen des Ausnahmezustands können Fahrzeuge anders besetzt und Personal und Material flexibler auf Einsätze verteilt werden. Die Alarmierung der



Freiwilligen Feuerwehr erweitert zusätzlich verfügbare Mittel und entlastet so die Strukturen der Berufsfeuerwehr in einer Großstadt.²⁹ Im Dualismus von professionellen und freiwilligen Kräften wird die Hybridität der Feuerwehr besonders deutlich. Es erscheint wenig effektiv, jederzeit für den gesamten Brand- und Katastrophenschutz Berufsfeuerwehren vorzuhalten. Stattdessen wird auf ehrenamtliche Kräfte gebaut, die im Notfall und in Extremsituationen hinzugezogen werden (Apelt, 2014, S. 76). Dies gibt der Organisation Stabilität und Flexibilität gleichermaßen.

4) Besonders Presseanfragen bei Ereignissen mit hohem Einsatzaufkommen und mit besonderem öffentlichen Interesse können zu einem *erhöhten Anrufaufkommen* in der Leitstelle bzw. direkt beim Lagedienst führen. Diesen Einsätzen ist unter anderem auch zu eigen, dass sie die Einbeziehung weiterer Akteure der Verwaltung, der Polizei oder von Infrastrukturbetreibern erfordern, von denen Informationen gesammelt und beim Lagedienst gebündelt werden, um die Koordination in der Leitstelle und die Einsatzkräfte vor Ort zu unterstützen. Ellebrecht und Jenki (2014, S. 32) verweisen auf die „zentralisierte Lenkungsstruktur“ einer Leitstelle. Auch nimmt die Kooperation mit anderen Behörden eine tragende Rolle ein, etwa wenn Fachpersonal des THW oder von Infrastrukturbetreibern angefordert wird, Anrufer bei der Leitstelle auf andere Fachbehörden verwiesen werden oder der DWD persönlich telefonisch kontaktiert wird, um Unklarheiten in der Vorhersage oder der Warnung zu klären. Zwar mag diese Herausforderung eher typisch für die Leitstelle einer Großstadt sein, die Lösungsansätze sind aber ein gutes Beispiel dafür, welchen großen Stellenwert die persönliche Unterstützung untereinander einnimmt. Denn während der Lagedienst im Normalfall immer alleine arbeitet, so wurde beobachtet, dass in der Extremwettersituation am 29. Juni 2017 nicht nur zusätzliche KollegInnen in den Dienst gerufen wurden, einige kamen auch freiwillig dazu, um zu helfen. Dieser Dualismus von kollegialen und hierarchischen Strukturen ist ein Zeichen für die Hybridität der Organisation (vgl. Apelt, 2014) und macht deutlich, welches Risiko darin liegen könnte, durch (technische) Standardisierungsversuche die Dinge zu übersehen, die gegenseitige Unterstützung ermöglichen (vgl. Lauche, 2012, S. 212).

6.6 Fazit

Die hier vorgestellten Ergebnisse der explorativen Beobachtungsstudie geben am Fallbeispiel der Berliner Feuerwehr einen Einblick in die Abläufe bei einem Lagedienst, der für die Gesamtkoordination der Einsatzlage im Stadtgebiet zustän-

²⁹ Dort, wo keine Berufsfeuerwehr vorhanden ist, und die Freiwillige Feuerwehr den Brandschutz und Rettungsdienst hauptsächlich übernimmt, existiert diese Entlastung nicht.



dig ist. Sie verdeutlichen, dass die Handlungen und Entscheidungen im Kontext von (Extrem-)Wettersituationen nicht zwangsläufig ein Resultat der Warnungen vor eben diesem Ereignis sind. Oftmals sind sie vielmehr eine Reaktion auf ein erhöhtes Einsatz- oder Notrufaufkommen zum Zweck des Erhalts der zentralen Aufgaben, Funktionen und Zielen der Feuerwehr (z. B. Hilfsfristen).

Der zuständigen Person des Lagedienstes kommt dabei die Aufgabe des Informationsmanagements über Wetter und zwischen Wettervorhersagen/-warnungen und der Feuerwehrleitstelle zu. Für das *Sich-Informieren* und das *Informiert-Werden* über Wetterereignisse und deren Auswirkungen steht dem Lagedienst ein breites Spektrum an Kommunikationsmitteln zur Verfügung. Während in alltäglichen Situationen routiniert auf technische Systemen wie FeWIS zurückgegriffen wird, nimmt bei Extremwetter der telefonische Kontakt zum DWD eine größere Rolle ein. Dies ist Ausdruck des prinzipiellen Spannungsfeldes zwischen der Antizipation von Ereignissen und der Bewältigung von deren Folgen, verbunden mit einer vorausschauenden Planung von (Schutz-)Maßnahmen auf der einen Seite sowie der Ad-hoc-Reaktion auf Auswirkungen auf der anderen Seite.

Durch die Beobachtung konnten einige wetterbedingte Herausforderungen und Lösungsansätze der Feuerwehr erfasst werden. Für ein umfassenderes Bild erscheint es jedoch sinnvoll, längere Zeiträume zu erfassen, um einen Gesamteindruck auf routinierte und nicht-routinierte Abläufe in einer Feuerwehrleitstelle während Extremwettersituationen zu gewinnen.

Literatur

- Apelt, M. (2014). Organisationen des Notfalls und der Rettung - eine Einführung aus organisationssoziologischer Perspektive. In M. Jenki, N. Ellebrecht & S. Kaufmann (Hrsg.), *Organisationen und Experten des Notfalls* (S. 69–84). Berlin: Lit.
- Apelt, M. & Tacke, V. (2012). Einleitung. In M. Apelt & V. Tacke (Hrsg.), *Handbuch Organisationstypen* (S. 7–20). Wiesbaden: Springer VS.
- Bachmann, G. (2009). Teilnehmende Beobachtung. In S. Kühl, P. Strodtholz & A. Taffertshofer (Hrsg.), *Handbuch Methoden der Organisationsforschung* (S. 248–271). Wiesbaden: VS, Verl. für Sozialwiss.
- Berliner Feuerwehr. (2016). *Das Einsatzspektrum*. Zugriff am 29.10.2018 auf <https://www.berliner-feuerwehr.de/ueber-uns/berufsfeuerwehr/das-einsatzspektrum/>



- Berliner Feuerwehr. (2018a). *Die Leitstelle*. Zugriff am 29.10.2018 auf <https://www.berliner-feuerwehr.de/ueber-uns/behoerdenstruktur/serviceeinheiten/einsatzlenkung-und-leitstelle/die-leitstelle/>
- Berliner Feuerwehr. (2018b). *Die Notrufabfrage*. Zugriff am 29.10.2018 auf <https://www.berliner-feuerwehr.de/ueber-uns/behoerdenstruktur/serviceeinheiten/einsatzlenkung-und-leitstelle/die-notrufabfrage/>
- Créton-Cazanave, L. & Lutoff, C. (2013). Stakeholders' issues for action during the warning process and the interpretation of forecasts' uncertainties. *Natural Hazards and Earth System Science*, 13 (6), 1469–1479.
- Demeritt, D. (2012). *The Perception and Use of Public Weather Services by Emergency and Resilience Professionals in the UK: A Report for the Met Office Public Weather Service Customer Group*.
- Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften* (5. Aufl.). Berlin and Heidelberg: Springer.
- DWD. (2017). *Jahresrückblick 2017. Gefährliche Wetterereignisse und Wetterschäden in Deutschland*. Deutscher Wetterdienst.
- Ellebrecht, N. & Jenki, M. (2014). Organisationen und Experten des Notfalls: ein Forschungsüberblick. In M. Jenki, N. Ellebrecht & S. Kaufmann (Hrsg.), *Organisationen und Experten des Notfalls* (S. 11–48). Berlin: Lit.
- Geier, W. (2017). Strukturen, Zuständigkeiten, Aufgaben und Akteure. In H. Karutz, W. Geier & T. Mitschke (Hrsg.), *Bevölkerungsschutz* (S. 93–128). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Göber, M. (2007). *Verifikationsbericht zur Güte lokaler Wetterprognosen* (Nr. 35). Offenbach.
- Griesecke, B. (2001). *Japan dicht beschreiben. Produktive Fiktionalität in der ethnographischen Forschung*. München: Fink.
- Hacker, W. & von der Weth, R. (2012). Denken - Entscheiden - Handeln. In P. Badke-Schaub, G. Hofinger & K. Lauche (Hrsg.), *Human Factors* (S. 83–99). Dordrecht: Springer.
- Kox, T., Gerhold, L. & Ulbrich, U. (2015). Perception and use of uncertainty in severe weather warnings by emergency services in Germany. *Atmospheric Research* (158-159), 292–301.
- Kox, T., Heisterkamp, T. & Ulbrich, T. (2015). Viel Wind um nichts? Orkan XAVER über Berlin. In L. Gerhold, H. Jäckel, J. Schiller & S. Steiger (Hrsg.), *Ergebnisse interdisziplinärer Risiko- und Sicherheitsforschung. Eine Zwischenbilanz des Forschungsforum Öffentliche Sicherheit* (S. 73–94). Berlin.
- Kox, T., Lüder, C. & Gerhold, L. (2018). Anticipation and response. Emergency services in severe weather situations in Germany. *International Journal of Disaster Risk Science*, 9 (1), 116–128.
- Kuhlmann, M. (2009). Beobachtungsinterview. In S. Kühl, P. Strodtholz & A. Tafertshofer (Hrsg.), *Handbuch Methoden der Organisationsforschung* (S. 78–99). Wiesbaden: VS, Verl. für Sozialwiss.



- Lauche, K. (2012). Neue Formen der Zusammenarbeit. In P. Badke-Schaub, G. Hoffinger & K. Lauche (Hrsg.), *Human Factors* (S. 205–218). Dordrecht: Springer.
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken* (12. Aufl.). Weinheim, Basel: Beltz.
- Neisser, F. & Runkel, S. (2017). The future is now! Extrapolated riskscapes, anticipatory action and the management of potential emergencies. *Geoforum*, 82, 170–179.
- Pardowitz, T. & Göber, M. (2017). Forecasting weather related fire brigade operations on the basis of nowcasting data. In H. Kremers & A. Susini (Hrsg.), *RIMMA Risk Information Management, Risk Models, and Applications*. Berlin: CODATA Germany.
- Schirmer, D. & Blinkert, B. (2009). *Empirische Methoden der Sozialforschung: Grundlagen und Techniken* (Bd. 3175). Paderborn: Fink.
- Titscher, S., Meyer, M. & Mayrhofer, W. (2008). *Organisationsanalyse - Konzepte und Methoden*. Wien: UTB/Facultas.





7 Analyse und Modellierung von Wetterauswirkungen

Nico Becker

Zusammenfassung

In den vergangenen Jahrzehnten ist viel Arbeit in die Weiterentwicklung von Wettervorhersagesystemen investiert worden, was zu einer kontinuierlichen Verbesserung der Vorhersagen geführt hat. Insbesondere bei extremen Wetterereignissen ist aber neben der reinen Wettervorhersage auch das Verständnis der Risiken und Auswirkungen der Ereignisse von besonderer Wichtigkeit, um relevante Handlungsanweisungen geben und erfolgreiche Schutzmaßnahmen einleiten zu können. Zur Abschätzung von Wetterauswirkungen trägt die Impaktmodellierung bei, indem mithilfe von Impakt-daten und statistischen Methoden die Auswirkungen meteorologischer Ereignisse quantifiziert werden. Es werden drei Anwendungsbeispiele aus dem Projekt WEXICOM vorgestellt, in denen mithilfe von Impakt-daten Wetterauswirkungen untersucht werden: die Modellierung von Sturmschäden an Wohngebäuden, die Analyse wetterbedingter Feuerwehreinsätze und die Auswertung wetterbedingter Unfälle im Straßenverkehr. Impaktmodelle wie sie in WEXICOM entwickelt wurden, haben das Potenzial, in risikobasierten Warnsystemen eingesetzt zu werden.

7.1 Einleitung

Extreme Wetterereignisse verursachen einen großen Anteil der wirtschaftlichen Schäden durch Naturkatastrophen in Deutschland und Europa (SwissRe, 2000) und sind für zahlreiche Todesopfer verantwortlich. Zu den schadenträchtigen Wetterereignissen, die großflächige Auswirkungen haben, zählen extreme Winterstürme wie der Sturm Kyrill im Januar 2007, der versicherte Schäden in Höhe von 5,8 Mrd. EUR und 49 Todesopfer forderte (MunichRe, 2015). Im Sommer sind es dagegen eher starke Gewitter, die für regionale Schäden sorgen und deren Gefahren häufig unterschätzt werden (Doswell, 2003). Dabei kann es sowohl zu extremen Windböen, aber auch zu Hagel und Starkniederschlägen kommen, die zu Überflutungen führen können. Insbe-

Becker, N. (2019). Analyse und Modellierung von Wetterauswirkungen. In: Kox, T. & Gerhold, L. (Hrsg.) Wetterwarnungen: Von der Extremereignisinformation zu Kommunikation und Handlung. Beiträge aus dem Forschungsprojekt WEXICOM. Berlin: Forschungsforum Öffentliche Sicherheit, Freie Universität Berlin (Schriftenreihe Sicherheit, 25), S. 109–134.



sondere in dicht besiedelten urbanen Räumen können lokale konvektive Extremniederschläge zu großen Herausforderungen für die Feuerwehren und Rettungsdienste werden, da hier auch durch kleinräumige Ereignisse eine Vielzahl an Personen betroffen sein können. Diese Problematik wird noch dadurch verschärft, dass sich einzelne konvektive Ereignisse mit ausreichender Genauigkeit nur für einen Zeitraum von wenigen Stunden vorhersagen lassen. Dass aber nicht nur extreme Wetterereignisse zu Gefahrensituationen führen können, zeigt sich beispielsweise im Straßenverkehr. Hier führt bereits *alltägliches* Wetter zu einem erhöhten Unfallpotenzial, da schon eine regennasse Fahrbahn durch einen verringerten Reibungswiderstand (Persson, Tartaglino, Albohr & Tosatti, 2005) und verlängerte Bremswege zu mehr Unfällen führen kann (Eisenberg, 2004).

Eine wichtige Voraussetzung für eine Verringerung der Schäden durch meteorologische Ereignisse sind verlässliche Wettervorhersagen. Insgesamt hat sich die Qualität der Wettervorhersagen im Laufe der letzten Jahrzehnte kontinuierlich verbessert (Simmons & Hollingsworth, 2002). Ein wesentlicher Grund dafür sind stetig steigende Rechenleistungen der Supercomputer und die dadurch ermöglichten Verbesserungen der Vorhersagemodelle. Weitere Beiträge liefern neue Beobachtungsmethoden, wie z. B. Satellitenmessungen, und neue Methoden zur Einbindung der Beobachtungen in die Vorhersagemodelle.

Ein weiterer wichtiger Aspekt, der in den letzten Jahrzehnten immer mehr an Bedeutung gewinnt, ist die Entwicklung probabilistischer Vorhersagesysteme (Legg & Mylne, 2004; Palmer, 2002, 2018; Richardson, 2000). Mit probabilistischen Vorhersagesystemen lassen sich die Unsicherheiten der Vorhersagen quantifizieren. Allerdings hat sich gezeigt, dass eine Wettervorhersage alleine oft nicht ausreichend ist, um materiellen Schäden oder menschlichen Opfern wirksam vorzubeugen (Weyrich, Scolobig, Bresch & Patt, 2018). Es gibt Anzeichen dafür, dass die Bevölkerung nicht im notwendigen Maße auf Wetterwarnungen reagiert. Ein Grund dafür ist, dass das nötige Hintergrundwissen fehlt, um Wetterinformationen in die zu erwartenden Auswirkungen zu übersetzen. Außerdem fehlen die Kenntnisse darüber, welche Maßnahmen zu ergreifen sind, um bestimmte Auswirkungen zu verhindern oder abzuschwächen. Damit die Bevölkerung besser auf extreme Wetterereignisse reagieren kann, ist es deshalb sinnvoll, neben den Informationen über das meteorologische Ereignis auch Informationen über die zu erwartenden Auswirkungen zu kommunizieren. Studien zeigen, dass die Übermittlung beider Informationen zu angemesseneren Reaktionen führt (Weyrich et al., 2018).

Auch im Rahmen des Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030 der Vereinten Nationen (UNISDR, 2015) wird darauf hingewiesen, dass es notwendig



ist, die Risiken und Auswirkungen extremer Ereignisse besser zu verstehen, um erfolgreiche Schutzmaßnahmen einleiten zu können. Allerdings ist die Übersetzung der meteorologischen Information in deren Auswirkungen nicht trivial. Die Abschätzung der Risiken beinhaltet verschiedenste Aspekte wie die Eigenschaften des meteorologischen Ereignisses auf der einen Seite, aber auch Vulnerabilität und Exposition von Personen und Werten auf der anderen Seite. So kann das gleiche meteorologische Ereignis zu sehr unterschiedlichen Auswirkungen führen, wenn z. B. ein dicht besiedeltes Gebiet oder eine eher ländliche Region davon betroffen ist.

Um das Zusammenspiel dieser unterschiedlichen Faktoren zu verstehen und letztendlich modellieren zu können, ist es notwendig, Impaktdaten (d. h. Informationen über die Auswirkungen meteorologischer Ereignisse) systematisch zu untersuchen. Impaktdaten beinhalten beispielsweise Informationen über entstandene Schäden oder verletzte Personen, aber auch über das Verhalten von Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (z. B. Feuerwehr) oder Reaktionen der Bevölkerung auf das Ereignis. In vielen Fällen mangelt es allerdings an einer systematischen Aufnahme und Archivierung solcher Daten, oder sie sind aus verschiedenen Gründen nicht öffentlich zugänglich, da sie sich z. B. in der Hand privater Organisationen befinden oder aus Datenschutzgründen nur unter beschränkten Bedingungen verwendet werden können.

Während in den vergangenen Jahrzehnten viel Arbeit in die Weiterentwicklung von Wettervorhersagesystemen gesteckt wurde, gibt es noch viel Forschungsbedarf im Bereich der Impaktmodellierung. Ein Ziel des Forschungsprojekts WEXICOM ist es, im Forschungsfeld der Impaktmodellierung neue Ansätze und Methoden zu entwickeln. Der Fokus liegt dabei auf folgenden drei Bereichen: Schäden an Gebäuden, verursacht durch großskalige Winterstürme, wetterbedingte Feuerwehreinsätze, verursacht durch konvektive Extremereignisse, sowie dem Einfluss des Wetters auf Verkehrsunfälle.

In früheren Studien wurden bereits Modelle entwickelt, um Schäden durch Winterstürme zu Modellieren (Donat, Pardowitz, Leckebusch, Ulbrich & Burghoff, 2011; Heneka & Ruck, 2008; Klawa & Ulbrich, 2003). Andere Studien gingen einen Schritt weiter und haben mittels probabilistischer Ansätze die Vorhersageunsicherheit mit in die Schadenmodellierung einbezogen (Heneka & Hofherr, 2011; Prahl, Rybski, Kropp, Burghoff & Held, 2012). In WEXICOM wurden Ideen aus den verschiedenen Ansätzen aufgegriffen, um ein Modellsystem zu entwickeln, mit dessen Hilfe sich die Unsicherheiten der Wettervorhersage und der Schadenvorhersage quantifizieren lassen (Pardowitz, Osinski, Kruschke & Ulbrich, 2016).



Bisher gibt es nur wenige Studien zu wetterbedingten Feuerwehreinsätzen. Besonders selten wird in diesen Studien die räumliche Verteilung der Einsätze untersucht. Ein Vergleich der räumlichen Verteilung von Notrufen und Reflektivitäten aus RADAR-Daten für ein extremes Gewitter in Sydney zeigte, dass sich die Zugbahn des Ereignisses deutlich in den Ortsangaben der Notrufe widerspiegelte (Rossi et al., 2013; Schuster, Blong, Leigh & McAneney, 2005). Dieser Zusammenhang wird in WEXICOM erstmals systematisch für die Entwicklung eines empirischen Modells genutzt. Das Modell beschreibt den statistischen Zusammenhang zwischen RADAR-basierten Zugbahnen konvektiver Zellen und Einsatzdaten der Berliner Feuerwehr und ermöglicht eine Abschätzung der zu erwartenden räumlichen Verteilung von Feuerwehreinsätzen in der Folge von konvektiven Extremereignissen (Pardowitz & Göber, 2017). Die räumliche Verteilung der Einsatzhäufigkeiten in Abhängigkeit von lokalen Faktoren wie Gebäude- oder Straßendichten kann mithilfe eines weiteren statistischen Modells, das ebenfalls im Rahmen von WEXICOM entwickelt wurde, abgeschätzt werden (Pardowitz & Göber, 2017).

Der Zusammenhang zwischen Wetter und Verkehrsunfällen wurde in den vergangenen Jahrzehnten bereits in einer Reihe von Studien untersucht. Dabei wurden verschiedene zeitliche Skalen betrachtet. Die Verkehrsunfallzahlen werden in den Studien meistens in Form von Monatssummen (Bergel-Hayat & Depireb, 2004; Eisenberg, 2004; Fridstrøm, Ifver, Ingebrigtsen, Kulmala & Thomsen, 1995; Shankar, Mannering & Barfield, 1995; Stipdonk & Berends, 2008) oder Tagessummen (Brijs, Karlis & Wets, 2008; Caliendo, Guida & Parisi, 2007; Eisenberg, 2004; Keay & Simmonds, 2005) analysiert. Der Einfluss des Niederschlags ist dabei besonders häufig untersucht worden (z. B. Caliendo et al., 2007; Chang, 2005; Eisenberg, 2004; Fridstrøm et al., 1995; Fridstrøm & Ingebrigtsen, 1991). Allgemein führt Niederschlag zu erhöhten Unfallzahlen. Die Stärke und das Vorzeichen der Auswirkung des Niederschlags auf Unfallzahlen ist allerdings stark abhängig von der betrachteten Zeitskala, der Region und der Niederschlagsintensität. Für Deutschland gibt es kaum Untersuchungen wetterbedingter Verkehrsunfälle, insbesondere auf einer hohen zeitlichen Auflösung von einer Stunde. Im Rahmen von WEXICOM wurden Unfalldaten verwendet, um Auswirkungen des Wetters auf verschiedene Unfallcharakteristika zu untersuchen und um Unfallzahlen und -wahrscheinlichkeiten statistisch zu modellieren.

Der Artikel ist folgendermaßen gegliedert: In Abschnitt 7.2 werden Datensätze vorgestellt, die für die Impaktmodellierung in WEXICOM von Relevanz sind. In Abschnitt 7.3 erfolgt eine Einführung in die Methodik der statistischen Modellierung. In Abschnitt 7.4 werden Ergebnisse der Sturmschadenmodellierung, der Modellierung von



wetterbedingten Feuerwehreinsätzen in Berlin und wetterbedingter Verkehrsunfälle präsentiert. In Abschnitt 7.5 werden die Ergebnisse diskutiert und in einen größeren Zusammenhang gestellt.

7.2 Daten

7.2.1 Wetterdaten

RADAR. Mit Hilfe von Wetterradaren (RADAR = Radio Detecting And Ranging) lässt sich über die Reflexion von Radarstrahlen an Niederschlagsteilchen in der Atmosphäre die horizontale Verteilung von Niederschlagsfeldern erfassen. Der Deutsche Wetterdienst (DWD) betreibt einen Wetterradarverbund aus derzeit 17 operationellen Wetterradaren und ist so in der Lage, die Niederschlagsverteilung flächendeckend in ganz Deutschland zu beobachten. Um lokale Niederschlagsextremereignisse besser zu erfassen und zu verfolgen, existiert ein automatischer Algorithmus zur radarbasierten Identifikation von konvektiven Niederschlagszellen und deren Zugbahnen (KONRAD, KONvektionsentwicklung in RADarprodukten). KONRAD wird beim DWD als operationelles Nowcasting-System³⁰ genutzt (Lang, 2003). Basierend auf den zweidimensionalen Radarreflektivitäten wird es alle fünf Minuten gestartet. Damit eine konvektive Zelle vom System berücksichtigt wird, muss diese auf einer Fläche von mindestens 15 km^2 eine Radarreflektivität von 46 dBZ überschreiten. Neben der Lage der Zellen werden deren Zuggeschwindigkeit und -richtung identifiziert. Darüber hinaus wird die Fläche ermittelt, in der eine Reflektivität von 46 dBZ bzw. 55 dBZ überschritten wird.

Für die Untersuchung wetterbedingter Feuerwehreinsätze in Berlin im Rahmen von WEXICOM wurden archivierte KONRAD-Daten für den Zeitraum 2007-2012 weiterverarbeitet (Pardowitz & Göber, 2017). Berlin wurde innerhalb dieses Zeitraum von 180 konvektiven Gewitterzellen überquert. Auf Basis der Zugbahninformationen dieser Zellen wurden die Regionen identifiziert, die von diesen Ereignissen betroffen waren. Diese Regionen wurden für weitere Untersuchungen auf ein $1 \times 1 \text{ km}$ -Gitter übertragen. Darin enthalten ist die Information, ob der 46 dBZ bzw. der 55 dBZ Schwellwert überschritten wurde.

³⁰ Der Begriff *Nowcasting* beschreibt Vorhersagen für einen Zeitraum von Minuten bis zu wenigen Stunden.



Numerische Wettervorhersagen. Zur Berechnung von Wettervorhersagen werden numerische Wettervorhersagemodelle (NWV-Modelle) entwickelt und operationell betrieben. Diese Modelle basieren auf einem Satz von Differenzialgleichungen, mit deren Hilfe die zeitliche Entwicklung verschiedener atmosphärischer Parameter wie Luftdruck, Temperatur oder Windgeschwindigkeiten auf einem dreidimensionalen Gitter global oder für bestimmte regionale Ausschnitte berechnet werden kann. Ein essenzieller Schritt für die Berechnung der Modellvorhersagen ist die Abschätzung des Anfangszustands, mit dem die Berechnungen gestartet werden. Dieser Anfangszustand ist die bestmögliche Abschätzung des aktuellen Zustands der Atmosphäre.

Es wird zwischen deterministischen und probabilistischen numerischen Wettervorhersagen unterschieden. Bei deterministischen Vorhersagen wird aus einem einzigen Anfangszustand (auch Analyse genannt) eine einzige Vorhersage berechnet. Bei der probabilistischen Vorhersage wird der Anfangszustand im Rahmen der vorhandenen Unsicherheiten gestört, sodass mehrere leicht unterschiedliche Anfangszustände entstehen. Mit diesen verschiedenen Anfangszuständen wird für denselben Zeitraum eine Reihe von Vorhersagen berechnet. Jede dieser Vorhersagen repräsentiert eine mögliche zukünftige Entwicklung. Die Abweichungen zwischen diesen möglichen Entwicklungen repräsentieren die Unsicherheit der Vorhersage. Ein solches System wird auch Ensemble-System genannt, wobei die einzelnen Vorhersagen als Ensemble-Mitglieder bezeichnet werden.

Das Europäische Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage (ECMWF) betreibt seit 1992 ein operationelles Ensemble-Vorhersagesystem (Molteni, Buizza, Palmer & Petroliagis, 1996). Die horizontale Auflösung des Modellgitters betrug ursprünglich ca. 200 km, wurde im Dezember 1996 auf ca. 120 km, im November 2000 auf ca. 80 km, im Februar 2006 auf ca. 50 km und im Januar 2010 auf ca. 32 km erhöht. Zur Generierung der unterschiedlichen Anfangsbedingungen wird die Methode der singulären Vektoren (Palmer, Gelaro, Barkmeijer & Buizza, 1998) verwendet. Ursprünglich wurden 32 Ensemble-Mitglieder generiert. Im Dezember 1996 wurde das System auf 50 Ensemble-Mitglieder erweitert. Zusätzlich zu den Störungen der Anfangsbedingungen wurden im Oktober 1998 stochastische Störungen der Modellphysik eingeführt, um weitere Unsicherheitsquellen in den Ensemble-Vorhersagen zu berücksichtigen (Buizza, Milleer & Palmer, 1999; Palmer et al., 2009).

Im Rahmen von WEXICOM wurden die archivierten Ensemble-Vorhersagen des ECMWF zur Modellierung von Sturmschäden verwendet. Genutzt wurden die Vorhersagen der Windgeschwindigkeiten in 10 m Höhe aus den 50 Ensemble-Mitgliedern aus dem Zeitraum von November 2000 bis Januar 2012. Die Vorhersagen wurden für einen Vorhersagezeitraum von bis zu 10 Tagen ausgewertet. Vor der Verwen-



derung der Windfelder zur Impaktmodellierung wurden sie mit Hilfe eines statistischen Downscaling-Verfahrens auf eine feinere horizontale Auflösung gebracht (für Details vgl. Pardowitz et al., 2016).

Beobachtungsdaten und Reanalysen. In einem weltweiten Beobachtungsnetzwerk wird täglich eine Vielzahl verschiedener meteorologischer Beobachtungsdaten gesammelt. Zu diesem Beobachtungsnetzwerk gehören beispielsweise Bodenmessstationen, Radiosonden, Satelliten, Radarstationen, sowie Messungen von Flugzeugen, Schiffen und Bojen. Die gesammelten Daten werden in Echtzeit zwischen den verschiedenen Mitgliedern der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) und anderen Partnern ausgetauscht. Die Beobachtungsdaten sind unerlässlich für die Durchführung von Wettervorhersagen und deren Verifikation. Allerdings sind sie mit Unsicherheiten und Problemen behaftet, die sich je nach Beobachtungssystem unterscheiden können. Beobachtungen von Bodenmessstationen sind beispielsweise Punktmessungen, die oft viele Kilometer voneinander entfernt liegen und nur eingeschränkt repräsentativ für einen größeren Umkreis sind. Satellitendaten sind dagegen großflächig verfügbar, einige Parameter können aber beispielsweise nur unter wolkenfreien Bedingungen gemessen werden.

Zur Verifikation von Vorhersagen oder für Klimastudien werden anstelle von Beobachtungsdaten häufig sogenannte Reanalysen verwendet. Reanalysen werden mit Methoden der Datenassimilation erzeugt, indem verschiedene heterogene Beobachtungsdaten mit den gegitterten dreidimensionalen meteorologischen Parametern eines numerischen Modells kombiniert werden. Die Methode ähnelt der Generierung der Anfangszustände für die numerische Wettervorhersage. Der Unterschied zur operationellen Analyse in der Wettervorhersage ist, dass ein gleichbleibendes Modell und Assimilationsverfahren verwendet wird, um einen homogenen Datensatz für einen längeren Zeitraum unter Berücksichtigung archivierter Beobachtungsdaten zu erzeugen. Zwei Beispiele für häufig verwendete globale Reanalysen sind ERA-Interim (Dee et al., 2011) und NCEP/NCAR-Reanalysen (Kalnay et al., 1996).

Werden hochaufgelöste numerische Regional-Modelle, die nur eine bestimmte Region wie Europa oder Deutschland abdecken, für die Erzeugung einer Reanalyse verwendet, spricht man von regionalen Reanalysen. Eine solche regionale Reanalyse mit einer horizontalen Auflösung von 2 km wurde im Rahmen des Hans-Ertel Zentrums für Wetterforschung erzeugt (COSMO-REA2; Wahl et al., 2017). Im Gegensatz zu den meisten globalen Reanalysen wurden hier zusätzlich Radarbeobachtungen assimiliert, um Niederschlagsfelder in einer hohen Auflösung zu erfassen.



In WEXICOM wurde der COSMO-REA2 Datensatz verwendet, um die Auswirkung verschiedener Wetterparameter auf Verkehrsunfälle zu untersuchen. Dazu wurden die stündlichen Daten auf unterschiedliche räumliche Aggregationsstufen (Bundesländer, Landkreise) gebracht.

7.2.2 Vulnerabilität und Exposition

OpenStreetMap. OpenStreetMap (<https://www.openstreetmap.org>) ist ein im Jahre 2004 gegründetes internationales Projekt mit dem Ziel, eine frei verfügbare Weltkarte zu erschaffen. Dafür werden weltweit Daten über Straßen, Eisenbahnen, Flüsse, Wälder, Häuser und andere geographische Informationen gesammelt. OpenStreetMap bietet der Öffentlichkeit verschiedene Möglichkeiten zur Mitarbeit an, vom Melden kleiner Fehler in der Karte über das Vervollständigen bestehender Daten bis zum Abzeichnen neuer Gebäude aus Luftbildern. OpenStreetMap selbst bietet die gesammelten Daten entweder in Rohform oder in Form von vorberechneten Kartenbildern an. Die Daten von OpenStreetMap eignen sich, um Informationen über lokale Vulnerabilitäten abzuleiten. Dazu gehören z. B. Informationen über die Lage und Größe von Gebäuden oder das Straßennetzwerk. Verschiedene abgeleitete Parameter wurden auf ein Gitter mit 1×1 km großen Gitterzellen aggregiert, um sie in statistischen Impaktmodellen zu nutzen (z. B. Pardowitz, 2018). Beispiele dafür sind die Anzahl der Gebäude pro Gitterzelle oder die Fläche der Gitterzelle, die durch Gebäude bedeckt ist. Diese beiden Parameter sind zwar stark korreliert, eignen sich aber um z. B. Innenstadtbereiche mit wenigen aber großflächigen Gebäuden von Stadtrandgebieten mit vielen aber eher kleinen Gebäuden zu unterscheiden. Des Weiteren wurde die Dichte des Verkehrsnetzes ermittelt, indem die Anzahl der Straßenkilometer pro Gitterzelle ins Verhältnis zur Fläche der Gitterzellen gesetzt wurde. Informationen über die Bevölkerungsdichte sind nicht auf einer Auflösung von 1 km frei verfügbar. Frei verfügbar ist der globale gegitterte Datensatz des Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), sowie ein Datensatz des Statistischen Bundesamts (DESTATIS) mit Bevölkerungsdichten auf Landkreisebene.

CORINE. Der CORINE (Coordination of Information on the Environment) Land Cover (CLC) Datensatz beinhaltet europaweit harmonisierte Informationen über Landbedeckung und Landnutzung. Die Daten werden aus Satellitendaten in einer sehr hohen räumlichen Auflösung abgeleitet. In der Arbeit von Pardowitz (2018) wurde der Datensatz CLC2006 (Büttner & Kosztra, 2007) verwendet, der eine räum-



liche Auflösung von 25 ha aufweist. In aktuelleren Datensätzen wurde die Auflösung noch weiter erhöht (z. B. CLC2012 mit 10 ha Auflösung). Es werden 44 verschiedene Landnutzungsklassen unterschieden, die als Unterkategorien der Haupttypen *bebaute Flächen*, *landwirtschaftliche Flächen*, *Wälder und naturnahe Flächen*, *Feuchtflächen* und *Wasserflächen* beinhalten. Die Landnutzungsinformationen liegen als Polygondaten in Form von Shapefiles vor. Diese wurden auf ein 1×1 km-Gitter aggregiert, wobei für die 44 Landnutzungsklassen die Flächenanteile für die jeweiligen Gitterzellen berechnet wurden. Die so erzeugten Daten wurden von Pardowitz (2018) zur Modellierung von lokalen Häufigkeiten wetterbedingter Feuerwehreinsätze verwendet.

7.2.3 Impaktdaten

Gebäudeschäden. Winterstürme der mittleren Breiten, die durch Tiefdruckgebiete verursacht werden, betreffen häufig großräumige Gebiete und richten große Schäden an. Die Schäden betreffen z. B. Gebäude, Wälder oder Infrastruktur wie Stromleitungen, Bahnlinien oder Straßen. Es kann zwischen direkten und indirekten Schäden unterschieden werden. Direkte Schäden sind z. B. durch starke Windböen abgedeckte Dächer, oder umgestürzte Bäume. Stürzt ein Baum auf ein Gebäude, wird dies als indirekter Schaden bezeichnet. Auch Schäden an Infrastrukturen wie z. B. Bahnlinien sind meist indirekte Schäden, die durch umstürzende Bäume verursacht werden. Des Weiteren kann es zu sturmbedingten Folgeschäden kommen, z. B. wenn das Dach eines Hauses durch starken Wind abgedeckt wurde und es durch auftretenden Niederschlag zu Wasserschäden kommt. In Deutschland deckt die Sturm- und Hagelversicherung sturmbedingte Schäden an Wohngebäuden ab. Sie gilt als die am häufigsten in Anspruch genommene Wohngebäudeversicherung. Sie greift ab Windstärke 8 und deckt direkte Einwirkungsschäden wie abgerissene Dachziegel oder beschädigte Fenster, Schäden, die auf durch die Luft fliegende Gegenstände zurückgehen, und auch Folgeschäden durch eindringende Nässe. Alle in Deutschland auftretenden versicherten Schäden werden durch den Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (GDV) gesammelt und archiviert.

Die Schadendaten der Sturm- und Hagelversicherung wurden im Rahmen von WE-XICOM verwendet (Pardowitz et al., 2016). Die versicherten Schäden liegen auf täglicher Basis und aggregiert auf Ebene der deutschen Landkreise und kreisfreien Städte vor. Diese umfassen Gebiete in verschiedenen Größenordnungen von rund 40 km^2 für Städte bis zu 3.000 km^2 für große Landkreise. Da die Schäden räumlich aggregiert vorliegen, liefern die Daten flächendeckende Informationen über die Aus-



wirkungen von Stürmen. Das macht die Daten besonders wertvoll für Impaktstudien. Dennoch gibt es einige Einschränkungen, die bei der Auswertung der Schadendaten berücksichtigt werden müssen. So ist in einigen Fällen der genaue Zeitpunkt des Schadenereignisses nicht bestimmbar, z. B. wenn der Schaden erst am nächsten Tage oder erst nach einem längeren Zeitraum festgestellt wurde. Des Weiteren hängt der versicherte Schaden, der durch ein Sturmereignis in einem bestimmten Landkreis verursacht wurde, neben der Stärke des Sturms natürlich von den in diesem Landkreis versicherten Werten ab. In einem dünn besiedelten Landkreis sind bei gleicher Windgeschwindigkeit offensichtlich geringere versicherte Schäden zu erwarten, als in dicht besiedelten Ballungsräumen. Es werden deshalb häufig relative Schadenmaße verwendet, wie z. B. der Schadensatz. Der Schadensatz ergibt sich aus der Summe der versicherten Schäden (in EUR), geteilt durch die Summe der versicherten Werte (in tausend EUR) und wird angegeben in ‰ (= 1 EUR / 1000 EUR). Durch Verwendung des Schadensatzes wird einerseits eine räumliche Homogenität gewährleistet, andererseits werden auch zeitliche Variationen der vorhandenen Werte sowie Auswirkungen von Inflation in den Zeitreihen ausgeglichen.

Feuerwehreinsätze. Neben der Brandbekämpfung haben Feuerwehren verschiedene Einsatzbereiche mit direktem Bezug zu extremen Wetterereignissen. Dazu gehören z. B. das Abpumpen von Wasser nach Extremniederschlägen oder die Entfernung von umgestürzten Bäumen oder abgebrochenen Ästen, verursacht durch extreme Windgeschwindigkeiten (Kox, Lüder & Gerhold, 2018, S. 122–124). Besonders relevant sind hier konvektive Ereignisse, wie z. B. Gewitter, die zu Starkniederschlägen und hohen Windgeschwindigkeiten führen können. Informationen über wetterbedingte Feuerwehreinsätze sind daher eine wertvolle Datengrundlage, um die lokalen Auswirkungen konvektiver Extremereignisse zu untersuchen. Ein solcher Datensatz wurde von der Berliner Feuerwehr bereitgestellt. Der Datensatz umfasst den Zeitraum von 2002 bis 2011. Aufgezeichnet sind Ort des Einsatzes und der Zeitpunkt der Alarmierung, sowie Stichwörter, die die Art des Einsatzes beschreiben. Diese Stichwörter kennzeichnen beispielsweise *wasser-bezogene* Einsätze, *baum-bezogene* Einsätze, *verkehrs-bezogene* Einsätze, *bauteil-bezogene* Einsätze sowie Einsätze aufgrund von *Schnee und Eis*. Diese Stichwörter werden operationell in der Leitstelle der Berliner Feuerwehr vergeben.³¹ Wasser-bezogene Einsätze beinhalten beispielsweise das Auspumpen vollgelaufener Keller oder anderweitiges Entfernen von eindringendem Wasser nach starken Niederschlagsereignissen. Baum-bezogene Ereignisse beinhalten die Beseitigung von Bäumen oder Baumteilen von öffentlichen Straßen, z. B.

³¹ vgl. auch den Beitrag von *Thomas Kox, Catharina Lüder und Clara Brune* in Kapitel 6 dieses Sammelbandes.



nach einem Sturmereignis. Verkehrs-bezogene Einsätze beinhalten alle Einsätze zur Beseitigung von Hindernissen zur Wiederherstellung des Verkehrsflusses auf den Berliner Straßen. Bauteil-bezogene Einsätze beziehen sich auf Einsätze zur Beseitigung von Schäden durch z. B. umgestürzte Baugerüste nach einem Sturm. Im betrachteten Zeitraum von 2002 bis 2011 wurden pro Jahr etwa 10.000 Einsätze registriert, die anhand der Einsatzstichwörter als wetterbedingte Einsätze klassifiziert werden konnten. Das entspricht in etwa 27 % aller Einsätze der Berliner Feuerwehr, die sich insgesamt auf ca. 37.000 belaufen. Im Vergleich dienen etwa 20 % der Einsätze der Brandbekämpfung.

Verkehrsunfälle. Auf deutschen Straßen wurden im Jahr 2017 täglich 7.200 Verkehrsunfälle von der Polizei erfasst (BASt, 2017). Dabei kam es im gesamten Jahr zu fast 400.000 Verletzten und über 3.000 Todesfällen. Neben der Verkehrsdichte, die den größten Einfluss auf die Unfallwahrscheinlichkeit hat, ist auch das Wetter eine wichtige Ursache für Verkehrsunfälle. Um die Auswirkung des Wetters auf Verkehrsunfallzahlen und -wahrscheinlichkeiten zu analysieren, wurde im Projekt WEXICOM ein Datensatz mit Informationen über Verkehrsunfälle in Deutschland für den Zeitraum von 2007 bis 2012 verwendet, der vom Statistischen Bundesamt bereitgestellt wurde. Der Datensatz beinhaltet alle schweren Verkehrsunfälle, d. h. Unfälle mit Totalschaden, Verletzten oder Todesopfern. Neben der Angabe des Unfallorts (Gemeinde, in der der Unfall stattgefunden hat) und der Uhrzeit des Unfalls enthält der Datensatz zahlreiche weitere Informationen über Straßentyp, Geschwindigkeitsbegrenzung, sowie verschiedene Kategorien für Unfallart und Unfallursache. Die Unfallursache kann durch fünf Kategorien beschrieben werden, von denen zwei Kategorien in unseren Untersuchungen relevant sind: Die Kategorie *Straßenverhältnisse* beschreibt Unfälle durch Schnee, Regen, Verunreinigungen und Schlamm und die Kategorie *Witterungseinflüsse* beschreibt Unfälle durch Wind, Starkregen, Nebel und blendende Sonne. Es ist zu beachten, dass jedem Unfall zwei Unfallursachen zugeordnet werden können. Wird keine Unfallursache zugeordnet, wurde der Unfall durch am Unfall beteiligte Personen verursacht.

7.3 Statistische Modellierung

7.3.1 Generalisierte Lineare Modelle

Wie sich das Wetter auf eine bestimmten Größe wie z. B. die Anzahl wetterbedingter Feuerwehreinsätze auswirkt, hängt oft von einer Vielzahl verschiedener Faktoren ab,



die miteinander wechselwirken können. Eine Methode zur Untersuchung des Einflusses möglicher Faktoren und deren Wechselwirkungen ist die Anwendung statistischer Modelle. Eine grundlegende Form der statistischen Modellierung ist die lineare Regression

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_N x_N \quad (1)$$

Eine Zielvariable y (z. B. die mittlere Häufigkeit von Feuerwehreinsätzen in einem bestimmten Gebiet) wird ausgedrückt als die Summe verschiedener Prädiktorvariablen³² x_1, x_2 , und so weiter. Eine solche Prädiktorvariable könnte beispielsweise die Gebäudedichte in dem entsprechenden Gebiet sein. Jede der Prädiktorvariablen wird mit einem sogenannten Regressionskoeffizienten β multipliziert. Die Größe des Regressionskoeffizienten beschreibt, wie stark die Zielvariable von der jeweilige Prädiktorvariable abhängt. Ziel der Linearen Regression ist die bestmögliche Schätzung der Regressionskoeffizienten, z. B. mithilfe der Methode der kleinsten Quadrate. Wurden die Regressionskoeffizienten abgeschätzt, lassen sich beispielsweise die Feuerwehreinsatzhäufigkeiten für Gebiete mit verschiedenen Gebäudedichten berechnen.

Ein Problem der Linearen Regression ist, dass sich der Wertebereich, den die Zielvariable annehmen kann, nicht kontrollieren lässt. Das führt unter Umständen dazu, dass man negative Werte für y erhält. Das ist problematisch, wenn man beispielsweise Zähldaten (Anzahl der Feuerwehreinsätze) oder Wahrscheinlichkeiten (Wahrscheinlichkeiten für die Überschreitung einer bestimmten Anzahl an Feuerwehreinsätzen) mit dem Modell beschreiben will, da Zähldaten prinzipiell positiv sein sollten und Wahrscheinlichkeiten im Intervall zwischen 0 und 1 liegen sollten. Eine Lösung dieses Problems bieten Generalisierte Lineare Modelle (GLMs). Hier wird eine Transformation der linearen Regressionsgleichung (Gl. 1) durchgeführt, sodass die Zielvariable per Definition im gewünschten Wertebereich liegt.

Für Zählvariablen mit positiven Werten eignet sich die Poisson-Regression (oder log-lineare Regression)

$$\log(y) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_N x_N, \quad (2)$$

oder in umgestellter Form

$$y = \exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_N x_N). \quad (3)$$

Die Anwendung der Exponentialfunktion auf die rechte Seite von Gleichung 1 bewirkt hier, dass die Zielvariable y nur positive Werte annehmen kann.

³² Die Prädiktorvariablen werden häufig auch als Einflussgrößen oder unabhängige Variablen bezeichnet.



Zur Modellierung von Wahrscheinlichkeiten mit Werten zwischen 0 und 1 eignet sich die logistische Regression

$$\log\left(\frac{y}{1-y}\right) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_N x_N \quad (4)$$

oder in umgestellter Form

$$y = \frac{1}{1 + \exp[-(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_N x_N)]}. \quad (5)$$

Die Anwendung der Logit-Funktion $f(x) = \log\left(\frac{x}{1-x}\right)$ auf die Zielvariable y in Gleichung 1 bewirkt hier, dass die Zielvariable y per Definition zwischen 0 und 1 liegt.

7.3.2 Modellverifikation

Es gibt verschiedene Methoden, ein statistisches Modell zu verifizieren. Es ist z. B. gängige Praxis, mithilfe von Hypothesentests zu prüfen, ob die einzelnen Regressionskoeffizienten signifikant von Null verschieden sind. Eine weitere Methode ist die Berechnung sogenannter Informationskriterien. Häufig wird das Akaike-Informationskriterium (AIC; Akaike, 1974) verwendet, welches die Anzahl der Modellparameter (Regressionskoeffizienten) als Strafterm beinhaltet. Von zwei Modellen, die mit denselben Daten angepasst wurden, sollte das Modell mit dem niedrigeren AIC bevorzugt werden.

Werden in einem GLM zu viele Prädiktorvariablen verwendet, kann es zu einer Überanpassung (engl. overfitting) kommen. Das Modell ist dann zwar sehr gut in der Lage, die Daten zu reproduzieren, die auch zur Schätzung der Regressionskoeffizienten verwendet wurden, es ist allerdings nicht in der Lage, neue Daten zu reproduzieren. Das AIC versucht, diesen Effekt durch die Einführung des Strafterms zu berücksichtigen.

Ein Gütemaß (engl. score) für probabilistische Vorhersagen, z. B. mit logistischen Regressionsmodellen, ist der Brier Score (BS). Basierend auf Brier (1950) kann der BS als $BS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (f_i - o_i)^2$ definiert werden, wobei f_i die vorhergesagte Wahrscheinlichkeit, o_i das beobachtete Ergebnis (1 bei Eintreten, 0 bei Nicht-Eintreten des Ereignisses) repräsentiert. i kennzeichnet das jeweilige Ereignis und N ist die Gesamtzahl der Ereignisse.

Um die Güte eines Modells im Vergleich zu einem Referenzmodell zu messen, werden sogenannte Skill Scores berechnet. Zur Verifikation von Wettervorhersagen wird als Referenz häufig der klimatologische Mittelwert verwendet, womit man davon



ausgeht, dass man keine Informationen über die aktuelle Wettersituation hat. Die allgemeine Definition eines Skill Scores ist

$$\text{Skill Score} = \frac{\text{Score des Modells} - \text{Score des Referenzmodells}}{\text{Perfekter Score} - \text{Score des Referenzmodells}} \quad (6)$$

Der Wertebereich eines Skill Scores liegt zwischen $-\infty$ und $+1$, wobei positive Werte eine Verbesserung und negative Werte eine Verschlechterung gegenüber dem Referenzmodell kennzeichnen.

Das AIC versucht, eine Überanpassung eines Modells implizit durch die „Bestrafung“ der Verwendung zu vieler Prädiktorvariablen zu berücksichtigen. Eine explizite Methode, um eine Überanpassung des Modells zu verhindern, ist die Durchführung einer Kreuzvalidierung (engl. cross-validation). Bei der einfachsten Art der Kreuzvalidierung werden die verfügbaren Daten in einen Trainings- und einen Test-Datensatz aufgeteilt. Der Trainings-Datensatz wird verwendet, um die Regressionskoeffizienten zu schätzen, während der Test-Datensatz verwendet wird, um mit Hilfe des zuvor geschätzten Modells verschiedene Gütemaße zu berechnen. Üblicherweise wird die Aufteilung in Trainings- und Testdaten mehrfach durchgeführt.

7.4 Sturmschäden an Wohngebäuden

Von Pardowitz et al. (2016) wurde ein Ansatz entwickelt, um mithilfe eines logistischen Regressionsmodells probabilistische Vorhersagen für das Auftreten von Wintersturmschäden an Wohngebäuden durchzuführen. Meteorologische Datengrundlagen sind die globalen Ensemblevorhersagen des ECMWFs. Diese wurden für einen Vorhersagezeitraum von neun Tagen untersucht. Vor der Verwendung der relativ grob aufgelösten globalen Ensemblevorhersagen wurden diese auf ein feineres Gitter mit einer Auflösung von 7 km transformiert. Dazu wurde ein statistisches Downscaling-Verfahren angewendet (Kruschke, 2015). Ein logistisches Regressionsmodell wurde angepasst, um mit den täglichen Maximalböen aus den Ensemblevorhersagen als Prädiktorvariable die Wahrscheinlichkeit für das Überschreiten bestimmter Schwellenwerte der Schadensätze, basierend auf den Sturm- und Hagelversicherungen in deutschen Landkreisen und kreisfreien Städten, zu modellieren.

Ein wesentlicher Aspekt der Studie war die Untersuchung der verschiedenen Unsicherheitsquellen im Modellierungsprozess. Einerseits existiert die Unsicherheit der meteorologischen Vorhersage der Windböen, die durch die Verwendung der Ensemblevorhersagen ermittelt wurde (siehe Abschnitt 7.2.1). Andererseits existiert eine

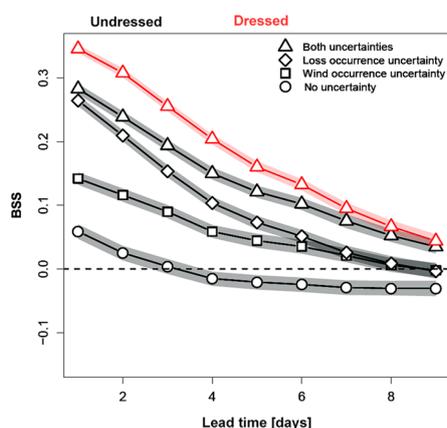


Abbildung 10: Brier Skill Score (BSS; mit der Klimatologie als Referenz) in Abhängigkeit von der Vorhersagezeit für Sturmschadenereignisse mit Schadensätzen über 0,001 ‰ für den Zeitraum 2006-2009. Schwarze Linien zeigen den BSS für vier Methoden, die Unsicherheiten zu berücksichtigen, die rote Linie zeigt den BSS mit zusätzlicher Ensemble-Kalibrierung (aus Pardowitz et al., 2016)

weitere Unsicherheit in der Modellierung der Schadensätze. Diese Unsicherheit entsteht unter anderem dadurch, dass die lokalen Vulnerabilitäten nicht genau genug bekannt sind. So wird der Schadensatz innerhalb eines Landkreises beispielsweise von den Eigenschaften der vorhandenen Gebäude, wie deren Alter oder Bauzustand, bestimmt. Diese Informationen sind allerdings nicht bekannt und gehen deshalb nicht in die Modellierung ein. Diese Unsicherheiten werden durch die Anwendung der logistischen Regression in Form von Wahrscheinlichkeitsangaben berücksichtigt. Um den Beitrag der beiden Unsicherheitskomponenten (Unsicherheit der meteorologischen und der Schaden-Vorhersage) zur Gesamtunsicherheit zu untersuchen, wurden in mehreren Schritten die einzelnen Unsicherheitskomponenten vernachlässigt und die Auswirkung auf den Vorhersageskill analysiert.

Abbildung 10 zeigt den Brier Skill Score (BSS) für die vier Modelle, die die meteorologische Unsicherheit und die Unsicherheit des Schadenmodells in unterschiedlichen Kombinationen berücksichtigen, in Abhängigkeit von der Vorhersagezeit (engl. lead time). Die Ergebnisse zeigen, dass der beste Vorhersageskill erreicht wird, wenn beide Unsicherheitskomponenten berücksichtigt werden. Außerdem wird deutlich, dass Vorhersagen des Schadensatzes auf Landkreisebene mit positivem BSS für Vorhersagezeiträume von mehreren Tagen möglich sind.



Wetterbedingte Feuerwehreinsätze in Berlin

Die Auswertung der Berliner Feuerwehreinsätze im Zeitraum von 2002 bis 2011 hat ergeben, dass etwa 27 % der Einsätze in Zusammenhang mit Wetterereignissen wie z. B. Starkniederschlägen oder Sturmböen stehen. Damit steht die Frage im Raum, ob sich wetterbedingte Feuerwehreinsätze vorhersagen lassen. Vorhersagen dieser Art hätten das Potenzial, die Organisation der Einsatzplanung bei der Feuerwehr zu optimieren. Einen ersten Schritt in diese Richtung geht die Arbeit von Pardowitz und Göber (2017). Hier wurde ein empirisches Modell zur Abschätzung der Wahrscheinlichkeit für wetterbedingte Feuerwehreinsätze auf einer hohen räumlichen Auflösung von 1 km entwickelt. Die meteorologischen Daten zur Abschätzung der Einsatzwahrscheinlichkeiten stammen aus dem operationellen Nowcasting-System KONRAD. Die darin enthaltenen Informationen über die Zugbahnen konvektiver Zellen wurden mit Gebäudedichten aus OpenStreetMap verknüpft. Auf Basis verschiedener Kombinationen von Zellintensitäten und Gebäudedichten wurden mit Hilfe der Feuerwehreinsatzdaten empirische Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten von wetterbedingten Feuerwehreinsätzen abgeleitet. Dabei wurde zwischen *wasser-bedingten* Einsätzen (z. B. das Auspumpen vollgelaufener Keller) und *baum-bedingten* Einsätzen (z. B. das Entfernen von durch Sturm gefällten Bäumen) unterschieden. Der stärkste Zusammenhang zwischen Zellintensität und Einsatzwahrscheinlichkeit wurde für wasser-bedingte Einsätze gefunden. Generell steigt hier die Einsatzwahrscheinlichkeit mit steigender Gebäudedichte und steigender Zellintensität (Abbildung 11). Die baum-bedingten Einsätze zeigten dagegen einen weniger starken Zusammenhang. Das lässt sich dadurch erklären, dass die wasser-bedingten Einsätze im wesentlichen durch die Niederschlagsintensität geprägt werden, die sich gut aus den Radardaten abschätzen lässt. Für die baum-bedingten Einsätze spielt dagegen die Böigkeit eine größere Rolle, die in einem weniger starken Zusammenhang zur Radarreflektivität steht. Es konnte gezeigt werden, dass insbesondere das Modell für wasser-bedingte Einsätze in der Lage ist, die räumliche Verteilung der Einsatzwahrscheinlichkeiten wiederzugeben (Abbildung 12).

Im Feuerwehreinsatzmodell von Pardowitz und Göber (2017) wurde nur die Gebäudedichte als Prädiktorvariable zur Berücksichtigung der lokalen Bedingungen (Exposition) verwendet. In einer weiterführenden Studie (Pardowitz, 2018) wurde ein deutlich größerer Satz von Prädiktoren verwendet, um die lokale Exposition und Vulnerabilität in Beziehung zu den mittleren Häufigkeiten von wetterbedingten Feuerwehreinsätzen in Berlin zu untersuchen. Die Prädiktoren wurden aus OpenStreetMap, der CORINE-Landnutzungsdaten, sowie einem digitalen Höhenmodell übernommen. Die Prädiktoren wurden auf ein 1 km-Gitter aggregiert. Dazu gehören

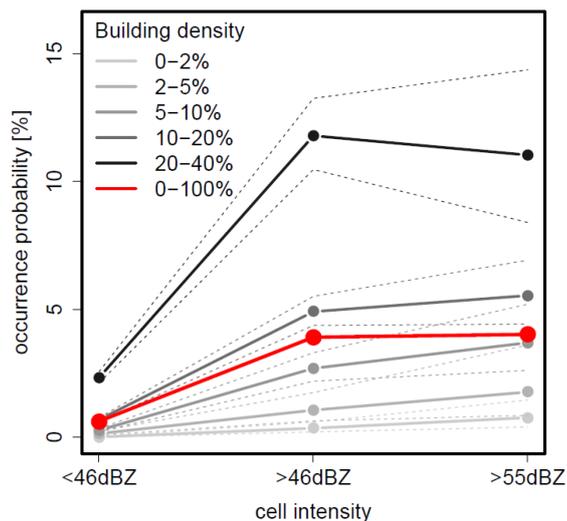


Abbildung 11: Empirische Wahrscheinlichkeit für wasser-bedingte Feuerwehreinsätze innerhalb eines 1×1 km großem Gebiets in Abhängigkeit von der Gebäudedichte und der Intensität konvektiver Zellen (Radar-Reflektivität) (aus Pardowitz & Göber, 2017).

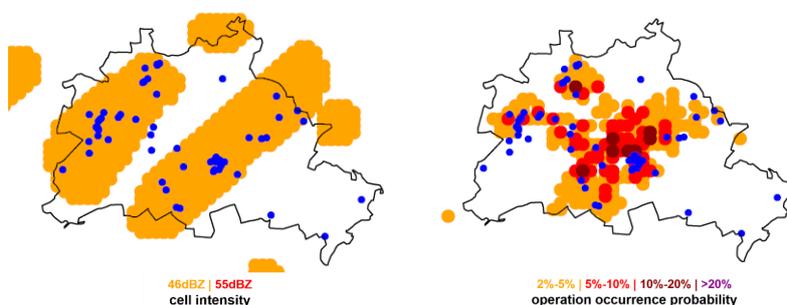


Abbildung 12: Fallstudie 22.06.2011. Durch konvektive Zellen betroffene Gebiete, abgeleitet aus KONDAD-Daten (links). Modellierter Wahrscheinlichkeit für wasser-bedingte Feuerwehreinsätze (rechts). Blaue Punkte markieren Einsatzorte wasser-bedingter Einsätze der Berliner Feuerwehr (aus Pardowitz & Göber, 2017).

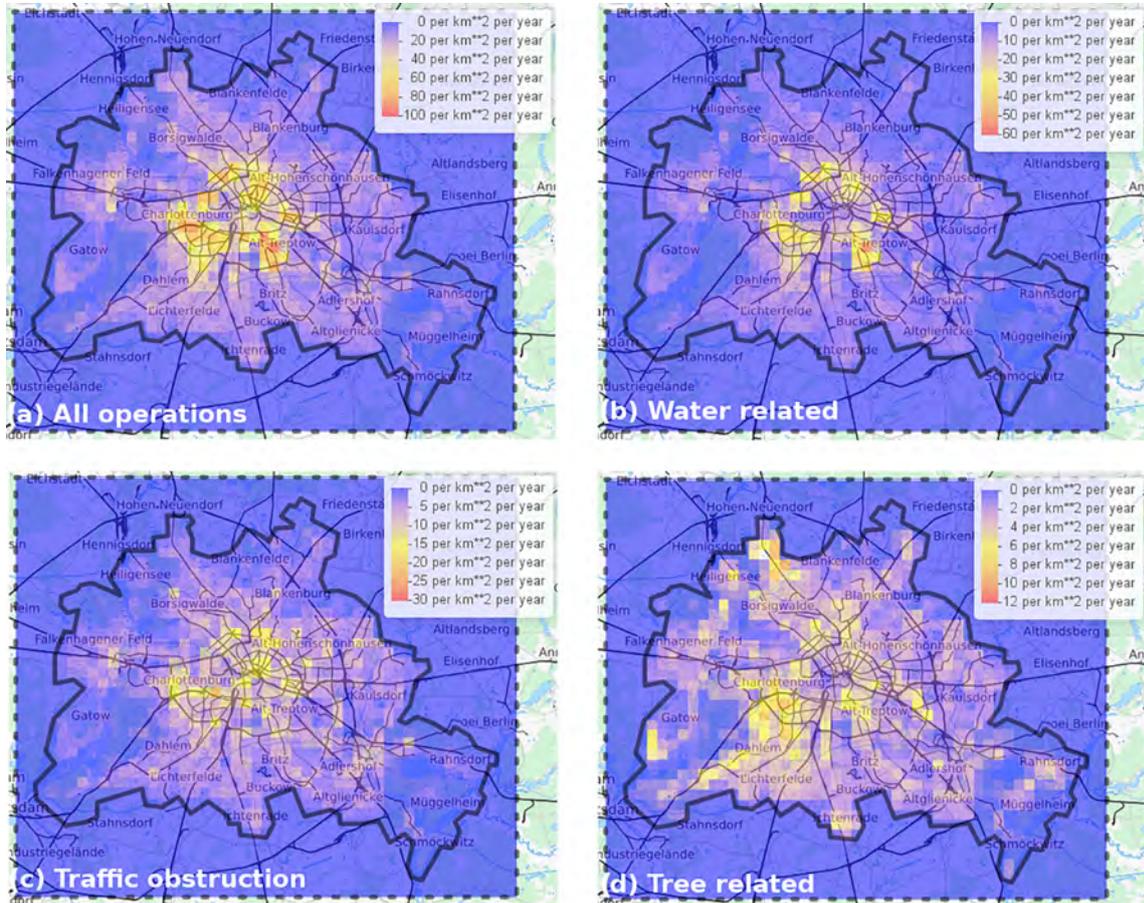


Abbildung 13: Modellierter jährliche Zahl der Feuerwehreinsätze (Einheit: Anzahl der Einsätze pro Quadratkilometer pro Jahr) für (a) alle Einsatztypen, (b) wasser-bedingte Einsätze, (c) verkehrs-bedingte Einsätze und (d) baum-bedingte Einsätze (aus Pardowitz, 2018).

Gebäudedichte und Gebäudebedeckung, Straßendichte für verschiedene Straßentypen, Höhe und Steigung der Topographie, sowie der Flächenanteil verschiedener Landnutzungstypen an der Gesamtfläche der einzelnen Gitterboxen (z. B. Waldflächen, Wasserflächen, oder städtische Flächen). Es wurden Korrelationen zwischen den Prädiktorvariablen und den mittleren Feuerwehreinsatzhäufigkeiten berechnet, wobei zwischen den sechs Einsatzkategorien unterschieden wurde. Im Anschluss wurden verschiedene generalisierte lineare Modelle (Lineare Regression, Lineare Regression mit logarithmischer Transformation der Zielvariablen, sowie Poisson-Regression) angewendet, um Vorhersagen der lokalen Feuerwehreinsatzhäufigkeiten durchzuführen. Es wurde gezeigt, dass die Modelle in der Lage sind, bis zu 83 % der räumlichen Varianz der Feuerwehreinsätze zu beschreiben. Wasser-bedingte Einsätze treten beispielsweise vorwiegend in einem engen Bereich um das Stadtzentrum herum auf (Abbildung 13). Baum-bedingte Einsätze sind dagegen großflächiger über das gesamte Stadtgebiet verteilt.



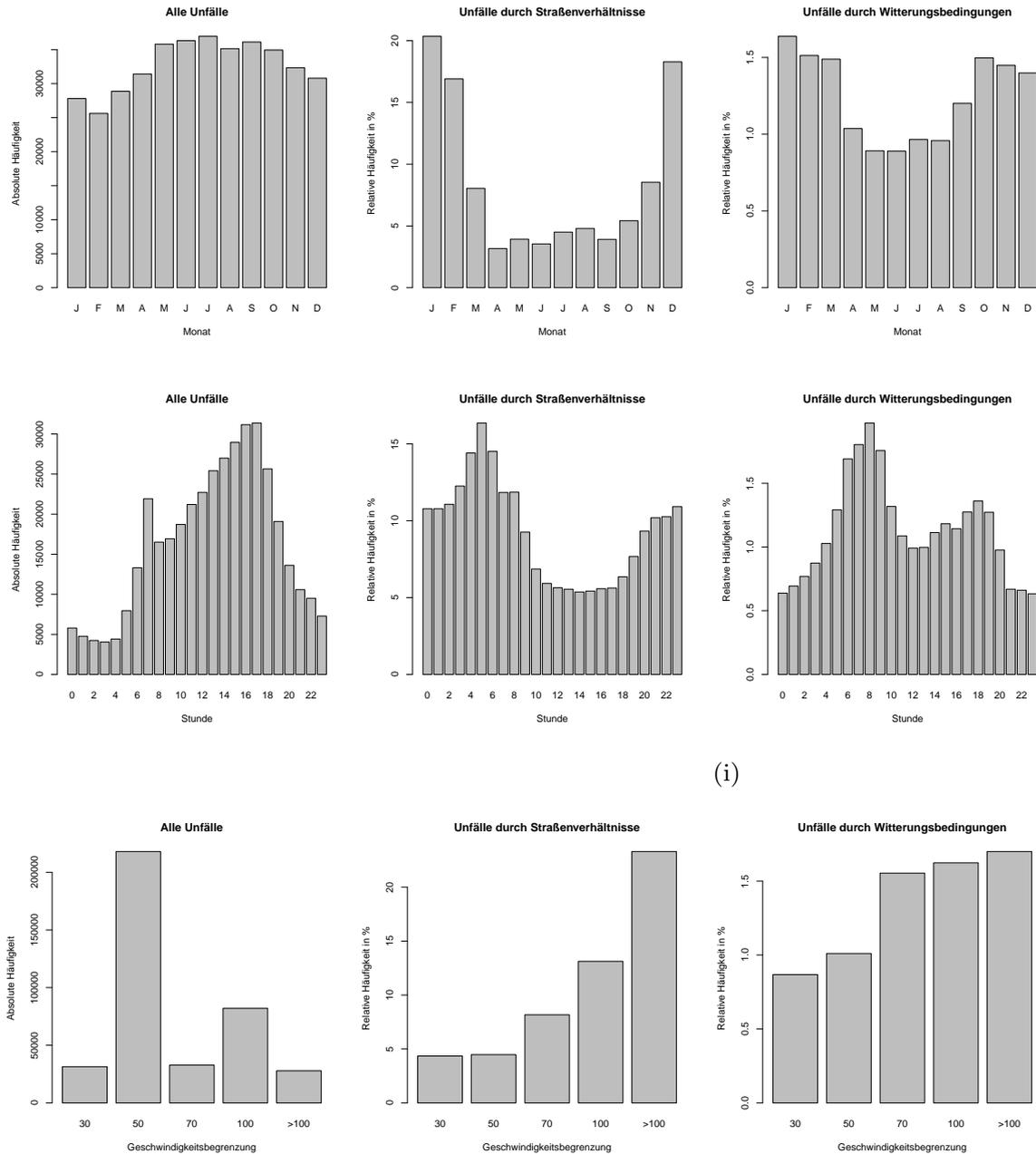
7.4.1 Wetterbedingte Verkehrsunfälle in Deutschland

In einem ersten Schritt wurden die Verkehrsunfalldaten für ganz Deutschland für den Zeitraum 2002 bis 2012 ausgewertet. Die Unfallberichte wurden hinsichtlich der Unfallursachen *Straßenverhältnisse* (z. B. Verunreinigungen, Schnee, Regen, Schlamm,) und *Witterungseinflüsse* (z. B. Wind, Starkregen, Nebel, blendende Sonne) ausgewertet.

Bei 7,9 % aller Unfälle werden die Straßenverhältnisse als Unfallursache angegeben, Witterungseinflüsse dagegen nur bei 1,2 % aller Unfälle. Die absoluten und relativen Unfallhäufigkeiten wurden in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren untersucht (Abbildung 14). In den Wintermonaten liegt der Anteil der durch Straßenverhältnisse verursachten Unfälle mit über 15 % deutlich höher als im Sommer ($< 5\%$). Der höhere Anteil im Winter lässt sich auf die Glättebedingungen durch Schnee oder überfrierende Nässe zurückführen. Im Tagesgang treten Unfälle durch Straßenverhältnisse am häufigsten in den frühen Morgenstunden zwischen 5 und 7 Uhr auf, wenn auch die Temperaturen häufig ihren Tiefpunkt erreichen. Des Weiteren ist der Anteil der durch Straßenverhältnisse verursachten Unfälle stark von der erlaubten Höchstgeschwindigkeit abhängig. Bei erlaubten Geschwindigkeiten über 100 km/h liegt der Anteil der durch Straßenverhältnisse verursachten Unfälle z. B. bei ca. 25 %, während er bei 50 km/h und weniger unter 5 % liegt. Der Anteil der durch Straßenverhältnisse verursachten Unfälle liegt bei Unfällen ohne Personenschaden bei 12 %. Bei Unfällen mit Personenschaden oder Todesfällen ist er mit ca. 6 % nur halb so groß. In den Unfallberichten wird zwischen verschiedenen Unfalltypen unterschieden, z. B. Zusammenstöße mit anderen Fahrzeugen, oder Abkommen von der Fahrbahn. Insbesondere das Abkommen von der Fahrbahn wird dabei häufig durch Straßenverhältnisse verursacht. Bei über 20 % aller Unfälle, bei denen ein Fahrzeug von der Fahrbahn abgekommen ist, wurden die Straßenverhältnisse als Unfallursache angegeben.

7.5 Diskussion und Fazit

Im Rahmen des Forschungsprojekts WEXICOM wurden die Auswirkungen des Wetters auf Gebäudeschäden, Feuerwehreinsätze und Verkehrsunfälle untersucht. Eine Voraussetzung für die Analyse von Wetterauswirkungen ist die Verfügbarkeit von Impaktdaten. Die Identifizierung, Verfügbar- und Nutzbarmachung solcher Daten macht einen großen Teil der Arbeit aus. In der Regel liegen die meteorologischen Daten und die Impaktdaten in unterschiedlichen Formaten vor. Das betrifft sowohl die



(i)

Abbildung 14: Mittlere jährliche Anzahl der schweren Verkehrsunfälle in Deutschland im Zeitraum 2002-2012 (linke Spalte), Anteil der durch Straßenverhältnisse verursachten Unfälle (mittlere Spalte) und Anteil der durch Witterungsverhältnisse verursachten Unfälle (rechte Spalte) in Abhängigkeit vom Monat (obere), von der Uhrzeit (Mitte) und der zulässigen Höchstgeschwindigkeit in km/h (unten).



räumliche als auch die zeitliche Komponente. Während meteorologische Daten meist in Form eines Modellgitters oder als Punktmessungen vorliegen, liegen Impaktdaten oft räumlich aggregiert vor, beispielsweise auf Basis von Verwaltungsgebieten wie Gemeinden oder Landkreisen. Bei der Aggregation auf Verwaltungsebenen können Gebietsreformen eindeutige Zuordnungen erschweren oder unmöglich machen.

Ein wesentliches Fazit aus der Modellierung von Sturmschäden ist die Wichtigkeit der Berücksichtigung verschiedener Unsicherheiten im Modellierungsprozess. Für kurze Vorhersagezeiten und Situationen mit geringen Schäden ist die Berücksichtigung weniger relevant. Für lange Vorhersagezeiten von bis zu 9 Tagen zeigt die Berücksichtigung von Unsicherheiten dagegen einen großen Effekt. Durch die so erzielte Verbesserung der Vorhersagegüte kann ein Tag Vorhersagezeit gewonnen werden. Für Situationen mit besonders starken Schäden ist die Verbesserung mit 2–3 Tagen sogar noch größer.

Insgesamt zeigt die Studie von Pardowitz et al. (2016), dass probabilistische Vorhersagen von Sturmschäden für Vorhersagezeiträume von mehreren Tagen möglich sind, wenn sowohl die meteorologischen Vorhersageunsicherheiten als auch die Unsicherheiten des statistischen Impaktmodells berücksichtigt werden. Ein solches Modellsystem liefert somit die Grundlage für die Entwicklung von risikobasierten Warnsystemen.

Im Gegensatz zu großskaligen Stürmen und deren Auswirkungen lassen sich einzelne kleinräumige konvektive Ereignisse, die Extremniederschläge und Böen verursachen können, nur für einen sehr kurzen Zeitraum von wenigen Stunden verlässlich vorher-sagen. Für die Modellierung der Auswirkung solcher Ereignisse auf Feuerwehreinsätze in Berlin wurde deshalb aus Daten aus dem radarbasierten Nowcasting-System KONRAD zurückgegriffen. Neben der Stärke der meteorologischen Ereignisse, die aus den KONRAD-Daten abgeleitet wurden, wurde der Einfluss der lokalen Exposition auf einem räumlich hoch aufgelösten Gitter in der Modellierung berücksichtigt. In einem ersten Ansatz wurde der Gebäudebedeckungsgrad zur Quantifizierung der Exposition herangezogen. Die Studie hat gezeigt, dass durch die Kombination der meteorologischen Daten und der Exposition sinnvolle Abschätzungen der Wahrscheinlichkeit für wetterbedingte Feuerwehreinsätze möglich sind.

Um die Untersuchung der Rolle der Exposition weiterzuführen, wurden mehrere Datensätze aufbereitet und eine Vielzahl verschiedener Parameter extrahiert, die unterschiedliche Aspekte der lokalen Exposition kennzeichnen. Dazu gehörten beispielsweise Gebäude- oder Straßendichten, aber auch unterschiedliche Waldbedeckungsarten. Um die Auswirkung der lokalen Exposition auf die Häufigkeit verschiedener



Arten wetterbedingter Feuerwehreinsätze zu beschreiben, war ein multivariater Modellierungsansatz und der Einsatz iterativer Prädiktorselektion nötig. So konnten die für die jeweiligen Einsatzart relevanten Prädiktorvariablen ausgewählt werden. Besonders gute Ergebnisse lieferten die Modelle für wasser- und verkehrsbedingte Einsätze (70 und 80 % erklärte Varianz). Die Modelle wurden zwar für Berlin entwickelt, bieten aber die Möglichkeit, wetterbedingte Feuerwehreinsatzhäufigkeiten auch für Regionen zu ermitteln, für die keine expliziten Feuerwehreinsatzdaten vorliegen. Voraussetzung ist, dass Informationen über die lokale Exposition vorliegen, die sich aus den hier verwendeten Datenquellen extrahieren lassen. Somit lassen sich beispielsweise auch in anderen Regionen Stadtgebiete identifizieren, die potenziell besonders anfällig gegenüber Extremwetterereignissen sind. Auf Basis der entwickelten Modelle ließen sich verschiedene Anwendungen sowohl im Notfallmanagement, als auch für den Bereich der Stadtplanung entwickeln. Allerdings muss bei der Extrapolation auf andere Regionen mit starken Einschränkungen gerechnet werden, wenn dort stark abweichende Bedingungen vorherrschen. Dies könnten einerseits durch unterschiedliche Eigenschaften der auftretenden konvektiven Ereignisse bedingt sein, andererseits aber auch durch große Unterschiede der lokalen Exposition. Eine Extrapolation der Berliner Feuerwehreinsatzhäufigkeiten in Regionen mit stark unterschiedlicher Topographie könnte beispielsweise zu großen Fehlern führen.

Impaktmodelle, wie sie in WEXICOM entwickelt wurden, haben das Potenzial, in risikobasierten Warnsystemen eingesetzt zu werden. Indem die Auswirkungen extremer Wetterereignisse und deren Wahrscheinlichkeiten quantifiziert werden, könnten Warnungen von Nutzern besser angenommen werden. Der nationale meteorologische Dienst des Vereinigten Königreichs (Met Office) hat als einer der ersten nationalen Wetterdienste ein solches risikobasiertes Warnsystem eingeführt (Neal, Boyle, Grahame, Mylne & Sharpe, 2014). Eine Grundlage dieses Warnsystems bildet eine Risiko-Matrix, anhand derer sowohl die Wahrscheinlichkeit als auch die zu erwartenden Auswirkungen eines Wetterereignisses ablesbar sind. Durch die Abschätzung der Auswirkung wird beispielsweise berücksichtigt, dass eine bestimmte Windgeschwindigkeit im Norden Schottlands geringere Schäden anrichtet als dieselbe Windgeschwindigkeit im dichter besiedelten Süden Englands, wo ähnliche Windgeschwindigkeiten deutlich seltener auftreten. Die Abschätzungen der Auswirkungen basieren allerdings nur auf den klimatologischen Auftretshäufigkeiten der Wetterereignisse. Statistische Impaktmodelle, die mit beobachteten Impakt Daten trainiert wurden, könnten einen wertvollen Beitrag dazu liefern, Risikoabschätzungen objektiv zu quantifizieren.



Die Nutzergruppen risikobasierter Warnsysteme sind breit gestreut. Sie reichen von der allgemeinen Bevölkerung über private Unternehmen wie Winterdienste bis hin zu Behörden und Institutionen des Notfallmanagements und der Gefahrenabwehr wie Feuerwehr und Polizei. Die Kommunikation von Impakt- und Unsicherheitsinformationen an die Bevölkerung kann zusammen mit entsprechenden Handlungsempfehlungen zu zielgerichteteren Vorkehrungen gegenüber Schäden führen. Wichtig ist dabei die Art und Weise der Kommunikation. Die Nutzer müssen in der Lage sein, die angebotenen Informationen zu verstehen. Auch im Bereich des Notfallmanagements sind verschiedene Anwendungen von Impaktvorhersagen denkbar. Am Beispiel der Feuerwehr reichen diese von Kurzfristvorhersagen von Einsatzzahlen bis hin zur längerfristigen Ressourcenplanung. So kann bei länger andauernden Extremniederschlägen beispielsweise die Entscheidung anstehen, ob Einsatzkräfte für einen Einsatz zu einem späteren Zeitpunkt zurückgehalten werden müssen.

Wichtig für die Umsetzung solcher Systeme ist eine transparente und offene Datenpolitik. Während der Zugang zu vielen Daten sowie deren Nutzung noch schwierig ist, stehen mehr und mehr Datensätze bereits öffentlich und weltweit zur Verfügung, teilweise durch Open-Source-Gemeinschaften wie OpenStreetMap. Somit bieten sich Möglichkeiten, um Impaktbasierte Anwendungen auch über nationale Grenzen hinweg zu entwickeln.

Literatur

- Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19 (6), 716–723.
- BAST. (2017). *Verkehrs- und Unfalldaten - Kurzzusammenstellung der Entwicklung in Deutschland*. Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach.
- Bergel-Hayat, R. & Depireb, A. (2004). Climate, Road Traffic and Road Risk: An Aggregate Approach. In *10th World Conference on Transport Research*.
- Brier, G. W. (1950). Verification of forecasts expressed in terms of probability. *Monthly Weather Review*, 78 (1), 1–3.
- Brijs, T., Karlis, D. & Wets, G. (2008). Studying the effect of weather conditions on daily crash counts using a discrete time-series model. *Accident Analysis & Prevention*, 40 (3), 1180–1190.
- Buizza, R., Milleer, M. & Palmer, T. N. (1999). Stochastic representation of model uncertainties in the ECMWF ensemble prediction system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 125 (560), 2887–2908.
- Büttner, G. & Kosztra, B. (2007). CLC2006 technical guidelines. *European Environment Agency, Technical Report*.



- Caliendo, C., Guida, M. & Parisi, A. (2007). A crash-prediction model for multilane roads. *Accident Analysis & Prevention*, 39 (4), 657–670.
- Chang, L.-Y. (2005). Analysis of freeway accident frequencies: negative binomial regression versus artificial neural network. *Safety Science*, 43 (8), 541–557.
- Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., ... others (2011). The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137 (656), 553–597.
- Donat, M. G., Pardowitz, T., Leckebusch, G., Ulbrich, U. & Burghoff, O. (2011). High-resolution refinement of a storm loss model and estimation of return periods of loss-intensive storms over Germany. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11 (10), 2821–2833.
- Doswell, C. A. (2003). Societal impacts of severe thunderstorms and tornadoes: Lessons learned and implications for Europe. *Atmospheric Research*, 67, 135–152.
- Eisenberg, D. (2004). The mixed effects of precipitation on traffic crashes. *Accident Analysis & Prevention*, 36 (4), 637–647.
- Fridstrøm, L., Ifver, J., Ingebrigtsen, S., Kulmala, R. & Thomsen, L. K. (1995). Measuring the contribution of randomness, exposure, weather, and daylight to the variation in road accident counts. *Accident Analysis & Prevention*, 27 (1), 1–20.
- Fridstrøm, L. & Ingebrigtsen, S. (1991). An aggregate accident model based on pooled, regional time-series data. *Accident Analysis & Prevention*, 23 (5), 363–378.
- Heneka, P. & Hofherr, T. (2011). Probabilistic winter storm risk assessment for residential buildings in Germany. *Natural Hazards*, 56 (3), 815–831.
- Heneka, P. & Ruck, B. (2008). A damage model for the assessment of storm damage to buildings. *Engineering Structures*, 30 (12), 3603–3609.
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., ... others (1996). The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77 (3), 437–472.
- Keay, K. & Simmonds, I. (2005). The association of rainfall and other weather variables with road traffic volume in Melbourne, Australia. *Accident Analysis & Prevention*, 37 (1), 109–124.
- Klawa, M. & Ulbrich, U. (2003). A model for the estimation of storm losses and the identification of severe winter storms in Germany. *Natural Hazards and Earth System Science*, 3 (6), 725–732.
- Kox, T., Lüder, C. & Gerhold, L. (2018). Anticipation and response. Emergency services in severe weather situations in Germany. *International Journal of Disaster Risk Science*, 9 (1), 116–128.
- Kruschke, T. (2015). *Winter wind storms: Identification, verification of decadal predictions, and regionalization* (Doktorarbeit). Freie Universität Berlin.



- Lang, P. (2003). *KONRAD©: ein operationelles Verfahren zur Analyse von Gewitterzellen und deren Zugbahnen, basierend auf Wetterradarprodukten*. Deutscher Wetterdienst.
- Legg, T. & Mylne, K. (2004). Early warnings of severe weather from ensemble forecast information. *Weather and Forecasting*, 19 (5), 891–906.
- Molteni, F., Buizza, R., Palmer, T. N. & Petroliagis, T. (1996). The ECMWF ensemble prediction system: Methodology and validation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 122 (529), 73–119.
- MunichRe. (2015). *Wintersturm Kyrill*. GeoRisikoForschung, NatCatService, MunichRe, München.
- Neal, R. A., Boyle, P., Grahame, N., Mylne, K. & Sharpe, M. (2014). Ensemble based first guess support towards a risk-based severe weather warning service. *Meteorological Applications*, 21 (3), 563–577.
- Palmer, T. N. (2002). The economic value of ensemble forecasts as a tool for risk assessment: From days to decades. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 128 (581), 747–774.
- Palmer, T. N. (2018). The ECMWF ensemble prediction system: Looking back (more than) 25 years and projecting forward 25 years. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*.
- Palmer, T. N., Buizza, R., Doblas-Reyes, F., Jung, T., Leutbecher, M., Shutts, G., ... Weisheimer, A. (2009). Stochastic parametrization and model uncertainty. *ECMWF Technical Memoranda*, 598, 1–42.
- Palmer, T. N., Gelaro, R., Barkmeijer, J. & Buizza, R. (1998). Singular vectors, metrics, and adaptive observations. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 55 (4), 633–653.
- Pardowitz, T. (2018). A statistical model to estimate the local vulnerability to severe weather. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18 (6), 1617–1631.
- Pardowitz, T. & Göber, M. (2017). Forecasting Weather Related Fire Brigade Operations on the Basis of Nowcasting Data. In H. Kremers & A. Susini (Hrsg.), *Lecture Notes in Information Sciences Vol. 8, RIMMA Risk Information Management, Risk Models, and Applications*. (S. 1-9). Berlin: CODATA Germany.
- Pardowitz, T., Osinski, R., Kruschke, T. & Ulbrich, U. (2016). Uncertainties in Forecasts of Winter Storm Losses. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 1–18.
- Persson, B. N., Tartaglino, U., Albohr, O. & Tosatti, E. (2005). Rubber friction on wet and dry road surfaces: The sealing effect. *Physical Review B*, 71 (3).
- Prahl, B., Rybski, D., Kropp, J., Burghoff, O. & Held, H. (2012). Stochastic Modeling of Empirical Storm Loss in Germany. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (Bd. 14).
- Richardson, D. S. (2000). Skill and relative economic value of the ECMWF ensemble prediction system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 126 (563), 649–667.



- Rossi, P. J., Hasu, V., Halmevaara, K., Mäkelä, A., Koistinen, J. & Pohjola, H. (2013). Real-time hazard approximation of long-lasting convective storms using emergency data. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 30 (3), 538–555.
- Schuster, S., Blong, R., Leigh, R. & McAneney, K. (2005). Characteristics of the 14 April 1999 Sydney hailstorm based on ground observations, weather radar, insurance data and emergency calls. *Natural Hazards and Earth System Science*, 5 (5), 613–620.
- Shankar, V., Mannering, F. & Barfield, W. (1995). Effect of roadway geometrics and environmental factors on rural freeway accident frequencies. *Accident Analysis & Prevention*, 27 (3), 371–389.
- Simmons, A. J. & Hollingsworth, A. (2002). Some aspects of the improvement in skill of numerical weather prediction. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 128 (580), 647–677.
- Stipdonk, H. & Berends, E. (2008). Distinguishing traffic modes in analysing road safety development. *Accident Analysis & Prevention*, 40 (4), 1383–1393.
- SwissRe. (2000). *Storm over Europe - An underestimated risk*. Swiss Re Publishing.
- UNISDR. (2015). *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030*. Geneva, Switzerland: United Nations.
- Wahl, S., Bollmeyer, C., Crewell, S., Figura, C., Friederichs, P., Hense, A., ... Ohlwein, C. (2017). A novel convective-scale regional reanalyses COSMO-REA2: Improving the representation of precipitation. *Meteorologische Zeitschrift*, 26 (4), 345–361.
- Weyrich, P., Scolobig, A., Bresch, D. N. & Patt, A. (2018). Effects of impact-based warnings and behavioural recommendations for extreme weather events. *Weather, Climate, and Society* (10), 781–796.



8 Wie wirksam sind wirkungsbasierte Unwetterwar- nungen? Ein Beitrag aus der Lehre

John Gubernath, Nadine Fleischhut

Zusammenfassung

Im Rahmen des Seminars *Interdisziplinäre Naturrisikoforschung* an der Freien Universität Berlin führte ein studentisches Team ein Online-Experiment zu wirkungsbasierten Warnungen für Extremwetterereignisse durch. Ziel war, zu untersuchen, ob die Art der Warnung – rein meteorologisch vs. mit Informationen über mögliche Auswirkungen des Wetters – beeinflusst, wie wahrscheinlich VersuchsteilnehmerInnen in einer hypothetischen Entscheidungssituation handeln würden. In dem genutzten Szenario wurde den TeilnehmerInnen eine Warnung vor einem Wintersturm präsentiert und abgefragt, wie wahrscheinlich sie eine Reihe an empfohlenen Vorsichtsmaßnahmen treffen würden. Entgegen der ursprünglichen Hypothese führten die unterschiedlichen Formulierungen der Warnungen zu keinem Unterschied in der Wahrscheinlichkeit, die einzelnen Vorkehrungen zu treffen. Vielmehr hing die mittlere Handlungswahrscheinlichkeit von dem wahrgenommenen Risiko durch den Sturm für das Wohl der TeilnehmerInnen und ihren Familien ab. Dieser Zusammenhang war jedoch schwächer für die Warnungen, bei denen Informationen über die Auswirkungen hinzukamen oder allein kommuniziert wurden.

8.1 Einleitung

Warnungen vor extremen Wetterereignissen können Menschenleben retten und Schäden verringern. Eine entscheidende Voraussetzung hierfür ist, dass die Öffentlichkeit nicht nur die Unwetterwarnung versteht, sondern auch die Gefahren, die durch das Wetter entstehen. Dieses Verständnis von wetterbedingten Gefahren ist jedoch nicht selbstverständlich. So zeigt zum Beispiel eine repräsentative Studie in Deutschland, dass die Bevölkerung Schwierigkeiten hat, Wetterrisiken einzuschätzen. So überschät-

Gubernath, J. & Fleischhut, N. (2019). Wie wirksam sind wirkungsbasierte Unwetterwarnungen? Ein Beitrag aus der Lehre. In: Kox, T. & Gerhold, L. (Hrsg.) *Wetterwarnungen: Von der Extremereignisinformation zu Kommunikation und Handlung*. Beiträge aus dem Forschungsprojekt WEXICOM. Berlin: Forschungsforum Öffentliche Sicherheit, Freie Universität Berlin (Schriftenreihe Sicherheit, 25), S. 135–144.



zen ein Drittel der Befragten, bei welchen Windgeschwindigkeiten man von einem *Sturm* (Beaufort 10; > 90 km/h) spricht, bzw. bei welchen Windgeschwindigkeiten man die entsprechenden Auswirkungen erwarten kann (Fleischhut, Herzog & Hertwig, unter Begutachtung).

Um die Wahrnehmung von Wetterrisiken zu verbessern, hat die *Weltorganisation der Meteorologie* (WMO) daher 2015 dazu aufgerufen, die Vorhersage von extremen Wetterereignissen durch Informationen über die erwarteten Auswirkungen zu erweitern (Brunet, Jones & Ruti, 2015). Diese „wirkungsbasierten Warnungen“ (engl. *Impact Based Warnings*; siehe auch den Beitrag von *Nico Becker* in Kapitel 7 in diesem Band) sollen die vorhergesagten Wetterbedingungen in Informationen über die wahrscheinlichen Auswirkungen übersetzen. Indem nicht nur kommuniziert wird, welche Wetterbedingungen zu erwarten sind, sondern auch, welche Auswirkungen das Wetter haben kann, soll die Reaktion der Öffentlichkeit sowie der Medien und Behörden angesichts potenziell gefährlicher Wetterereignisse verbessert werden.

Erste Studien legen nahe, dass wirkungsbasierte Warnungen die Wahrscheinlichkeit erhöhen, dass Vorkehrungsmaßnahmen ergriffen werden (Ripberger, Silva, Jenkins-Smith & James, 2015) und Personen sich im Vergleich zu rein meteorologischen Warnungen in Experimenten adäquater verhalten, z. B. wenn sie in einer hypothetischen Situation als LeiterIn eines Kraftwerks auf Tornadowarnungen reagieren müssen (Casteel, 2016).

Neben dem Verständnis von Wetterauswirkungen können jedoch auch andere Faktoren die Wirkung von Warnungen hemmen oder untergraben. Qualitative Interviews mit Betroffenen des Hurrikans Katrina 2005 in den USA belegen, dass weitere kognitive Faktoren beeinflusst haben, ob Personen ihr Zuhause räumten oder nicht, wie z. B. das Verständnis der Warnungen, die Einstufung des Risikos für einen selber, aber auch die Bewertung der Informationsquelle. Die eigentliche Schlüsselrolle im Entscheidungsprozess spielten jedoch praktische Gründe, wie z. B. fehlende Transportmöglichkeiten und/oder fehlende Zufluchtsorte, ein fehlendes soziales Netzwerk sowie weitere soziokulturelle Gründe (Eisenman, Cordasco, Asch, Golden & Glik, o. J.). Da Unwetterwarnungen häufig entweder in Gegenwart anderer erhalten werden oder mit anderen Menschen über Warnungen gesprochen wird, ist schon das Verarbeiten von Katastrophenwarnungen ein sozialer Prozess. Bei der Verarbeitung als Gruppe liegt dabei oft kein unmittelbarer Konsens über die adäquate Reaktion vor, da demographische Faktoren wie Alter und frühere Erfahrungen vergleichbarer Ereignisse eine wichtige Rolle bei der Bewertung der Warnung und Einstufung als bedrohlich spielen (Drabek, 1999).



8.2 Ein Sturm zieht auf. Eine explorative Studie zu Wintersturmwarnungen im Nordosten der USA

Die aktuelle Studie untersucht experimentell die Wirksamkeit von wirkungsbasierten Warnungen für ein relativ häufig auftretendes Extremwetterereignis im Norden der USA: Winterstürme. Die Studie wurde im Rahmen des Seminars *Interdisziplinäre Naturrisikoforschung* (siehe auch den Beitrag von *Martin Göber, Henning Rust, Tobias Pardowitz und Uwe Ulbrich* in Kapitel 2 dieses Sammelbandes) an der Freien Universität Berlin von einer Gruppe Studierender unter Anleitung der Zweitautorin konzipiert und durchgeführt.

Winterstürme treten auf, wenn die Temperaturen niedrig genug sind, sodass sich Niederschlag in Graupel, Schnee oder Eis umwandelt (FEMA, 2017). Ein Wintersturm kann von gefrierendem Regen bis hin zu moderatem Schneefall über mehrere Stunden oder einem Blizzard über mehrere Tage reichen. Die meisten Todesfälle während Winterstürmen werden indirekt durch Fahrzeugunfälle (durch Schnee und Eis) verursacht. Ebenfalls treten vermehrt Herzattacken (z. B. durch Überanstrengung beim Schneeschaukeln) und schwere Verletzungen durch Frostbeulen bei Unterkühlung (z. B. durch mangelnden Schutz vor der Kälte) auf. Ein richtiges Verständnis von Warnungen und adäquate präventive Maßnahmen sind für Winterstürme daher essenziell (FEMA, 2017).

Die Ausgangshypothese des Experiments war, dass das Risiko eines Wintersturms als größer wahrgenommen wird, wenn Warnungen Informationen über Auswirkungen kommunizieren, als wenn sie nur meteorologische Informationen enthalten. Wirkungsbasierte Warnungen sollten daher auch zu einer höheren Bereitschaft führen, Vorkehrungen zu treffen. Die Wirksamkeit jeder Art von Warnung kann darüber hinaus von kognitiven, soziokulturellen und demographischen Faktoren abhängen, die nichts mit der Art der Warnung selbst zu tun haben, wie z. B. ob Winterstürme generell als Risiko wahrgenommen werden, wie viel Erfahrung mit Winterstürmen jemand hat, wie hoch das Vertrauen in Warnungen ist, und für wie viele Personen jemand mitentscheiden muss.

8.3 Methode

Das Ziel des Experiments war, zu untersuchen, inwiefern wirkungsbasierte Warnungen gegenüber rein meteorologischen Warnungen die Wahrscheinlichkeit erhöhen, dass Vorkehrungen getroffen werden.



Jedem Teilnehmenden wurde jeweils eine von drei möglichen Warnmeldungen für denselben bevorstehenden Wintersturm präsentiert: eine reine Unwetterwarnung, eine Warnung vor den Auswirkungen oder eine Warnung, die sowohl vor dem vorhergesagten Wetter als auch den Auswirkungen warnt. Angesichts der erhaltenen Warnung sollten die TeilnehmerInnen angeben, wie wahrscheinlich sie verschiedene Vorkehrungen treffen würden. Die zentrale Frage war, wie sich die Wahrscheinlichkeit, Vorkehrungen zu treffen, unterscheidet, je nachdem welche Warnung die TeilnehmerInnen erhielten. Eine zweite Frage war, inwiefern die Handlungswahrscheinlichkeit von der allgemeinen Risikowahrnehmung, der Anzahl erlebter Winterstürme, dem generellen Vertrauen in Wintersturmwarnungen, sowie der Anzahl der Haushaltsmitglieder abhängt.

8.3.1 VersuchsteilnehmerInnen

Insgesamt 151 Personen (71 Männer, 80 Frauen) wurden im Februar 2018 online aus dem Nordosten der USA über Amazons Crowdsourcing Plattform *Mechanical Turk* rekrutiert (für eine Studie zur Validität auf diesem Wege erhobener Daten siehe Buhrmester, Kwang & Gosling, 2011). Da das Gebiet öfter von zum Teil schweren Winterstürmen betroffen war (z. B. NOAA/NWS, 2018), sollte das präsentierte Szenario für die VersuchsteilnehmerInnen relevant und gut nachvollziehbar sein. Die TeilnehmerInnen stammten hauptsächlich aus den Bundesstaaten New York, Massachusetts, Connecticut und Maine, wobei 25 % der Versuchspersonen aus Großstädten mit mehr als 250.000 Einwohnern stammten und 48 % aus eher ländlichen Gegenden (weniger als 50.000 Einwohner). Das Durchschnittsalter (Mittelwert) der TeilnehmerInnen lag bei 38 Jahren ($SD = 13$, Spanne = 18–75). Die Hälfte der TeilnehmerInnen hatte weniger als 15 Winterstürme erlebt, die Hälfte mehr als 15 Winterstürme, wobei alle TeilnehmerInnen angaben, mindestens einen Wintersturm erlebt zu haben.

8.3.2 Materialien und Vorgehen

Am Beginn des Experiments wurden die TeilnehmerInnen zufällig einer von drei Versuchsgruppen zugeteilt. Jeder Gruppe wurde eine der drei möglichen Warnungen für denselben Wintersturm präsentiert (Abbildung 15):

1. Eine rein meteorologische Warnung ($n = 49$)
2. Eine rein wirkungsbasierte Warnung ($n = 51$)
3. Eine Kombination aus beiden Warnungen ($n = 51$)



Imagine it is Wednesday and while checking your phone's weather app for the local forecast, you receive the following warning message:

Winter Storm Warning. Heavy snow occurring expected from 5 AM Friday to 4 PM Saturday in your area.

Total snow and sleet accumulations of 6 to 9 inches, with localized amounts up to 14 inches. Gusty wind over land and mountains and cold wind chills as low as 20°F below zero will occur. Ice accumulations of up to one half of an inch are expected.

A Winter Storm Warning means significant amounts of snow, sleet and ice are expected. Strong winds over land and mountains will cause blowing snow, drifting conditions and reduced visibility. This will make travel very hazardous or impossible. Cold wind chills as low as 20°F below zero will cause frostbite in as little as 30 minutes to exposed skin.

Abbildung 15: Szenario und Textbausteine der drei verschiedenen Warnungen für denselben Wintersturm. Der oberste Teil beschreibt das Szenario für jede der drei Versuchsgruppen. Die mittlere Box zeigt den meteorologischen Warntext für die erste Versuchsgruppe. Die untere Box zeigt die wirkungsbasierte Warnung für die zweite Versuchsgruppe. Die Warnung für die dritte Versuchsgruppe enthielt den Text der zweiten und der dritten Box zusammen. Die farbigen Umrandungen der Texte wurden im Experiment nicht angezeigt.

Nach dem Lesen der Warnung wurden die Teilnehmer zuerst gefragt, was die wichtigste Vorkehrung ist, die sie angesichts der Warnung in Betracht ziehen würden. Danach wurde jedem Teilnehmenden eine Liste mit neun möglichen Vorkehrungsmaßnahmen in zufälliger Reihenfolge präsentiert. Für jede Vorkehrungsmaßnahme sollten sie auf einer Skala von 0 bis 100 % angeben, wie wahrscheinlich sie diese Vorkehrung nach Erhalt der Warnung treffen würden. Alle Vorkehrungsmaßnahmen stammen aus den Empfehlungen des Amerikanischen Roten Kreuzes (*Winter Storm Safety*³³) sowie des American Department of Homeland Security (*Snowstorms & Extreme Cold*³⁴). Die Vorkehrungsmaßnahmen reichten vom „Einschalten von lokalen Radiosendern, NOAA Radio oder Fernsehsendern für aktuelle Informationen und Neuigkeiten“ über das „Anfertigen eines Notfallkits für mindestens drei Tage Selbstversorgung, inklusive Wasser, Nahrungsmittel, genügend Heizmaterial, Medikamente und Sanitätsartikel“ bis zu „Mit Familienmitgliedern/Freunden über das Verhalten

³³ <https://www.redcross.org/get-help/how-to-prepare-for-emergencies/types-of-emergencies/winter-storm.html>

³⁴ <https://www.ready.gov/winter-weather>



im Falle eines Notfalls reden“. Zusätzlich gaben die TeilnehmerInnen auch an, wie wahrscheinlich sie die Vorkehrungsmaßnahme treffen, die sie selbst genannt hatten.

Als nächstes wurden die TeilnehmerInnen gebeten, anzugeben, für wie sicher sie die Wintersturmwarnungen des Nationalen Wetterdienstes der USA halten („Von 10 Wintersturmwarnungen, die der Nationale Wetterdienst der USA ausgibt, wie häufig tritt ein Sturm tatsächlich in Ihrer Region auf? Bitte schätzen Sie.“), wie sie das Risiko von Winterstürmen unter Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeit und potentiellen Konsequenzen für sich und die eigene Familie auf einer Skala von 1 bis 10 (1 = kein Risiko, 10 = extremes Risiko) einschätzen, und wie viele schwere Winterstürme sie in Ihrem Leben schon erlebt haben. Als letztes gaben sie die Anzahl der im Haushalt lebenden Mitglieder an, sowie ihren Wohnort (Bundesland und Postleitzahl und dessen Größe (8 Kategorien von *weniger als 10.000* bis *mehr als 1.000.000*), ihr jährliches Einkommen (9 Kategorien von *weniger als \$15.000* bis *\$200.000 oder mehr*), Alter, Geschlecht, ethnischen Hintergrund, Englischkenntnisse, ihren höchsten Bildungsabschluss und ihre berufliche Tätigkeit.

8.3.3 Ergebnisse

Steigt die Wahrscheinlichkeit für Vorkehrungen, wenn die Warnung nicht nur rein meteorologische Informationen enthält, sondern Informationen über die Auswirkungen des Wetters oder beides? Entgegen der ursprünglichen Hypothese, dass wirkungsbasierte Warnungen die Wahrscheinlichkeit für Vorkehrungen erhöhen, gab es für keine der 9 Vorkehrungen (oder dem „Ignorieren der Warnung“) einen Unterschied in der Handlungswahrscheinlichkeit zwischen den drei Warnungen (Abbildung 16).

Dabei variierte die mittlere Handlungswahrscheinlichkeit der TeilnehmerInnen je nach Vorkehrung. Informationen aus TV und Radio zu beziehen war mit einem Mittelwert von 65 % am wahrscheinlichsten, während z. B. das Anlegen von Vorräten schon weniger wahrscheinlich war (52 %). Für weiterreichende Vorkehrungen, wie z. B. das Suchen einer Notunterkunft, lag die Handlungswahrscheinlichkeit dagegen nur bei 23 %. Die bei der offenen Angabe am häufigsten genannte Antwort war, das eigene Haus nicht zu verlassen, bzw. die nötigen Vorkehrungen hierfür zu treffen, wie z. B. Lebensmittel zu bevorraten und Pläne abzusagen.

Auf individueller Ebene hing die Handlungswahrscheinlichkeit damit zusammen, wie das Risiko von Winterstürmen generell von den TeilnehmerInnen eingeschätzt wurde ($M = 4.70$, $SD = 2.35$): Umso höher die TeilnehmerInnen das Risiko einschätzten, umso höher war ihre mittlere Handlungswahrscheinlichkeit (berechnet als Mit-

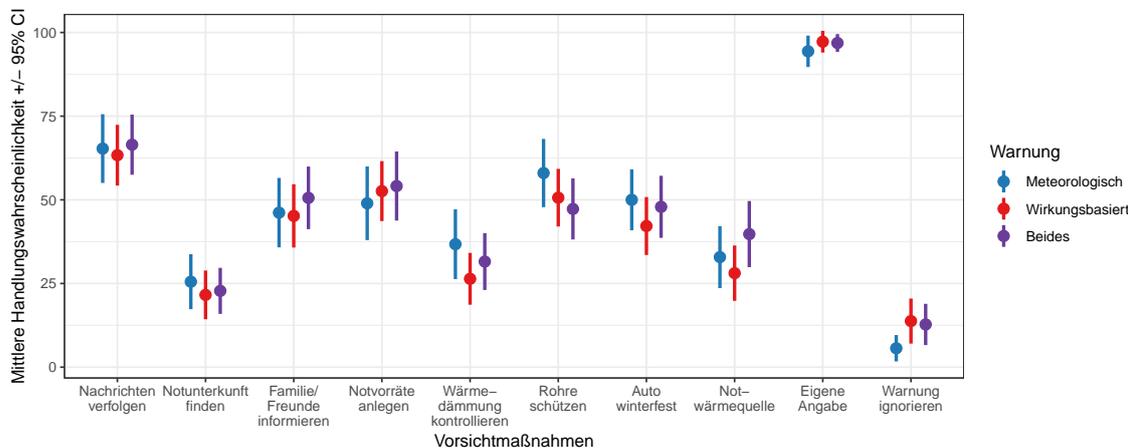


Abbildung 16: Vergleich der mittleren Handlungswahrscheinlichkeit angesichts einer meteorologischen Warnung, einer wirkungsbasierten Warnung, sowie einer Warnung, die beides kombiniert. Die Farben stehen für die unterschiedlichen Warnarten. Die Punkte markieren die Mittelwerte pro Gruppe, die Linien das 95 % Konfidenzintervall.

telwert der 9 Vorkehrungsmaßnahmen pro TeilnehmerIn, $r(149) = .40$, $p < .001$, Abbildung 17). Für die Warnung, die meteorologische und wirkungsbasierte Informationen kombinierte, war die mittlere Handlungswahrscheinlichkeit allerdings weniger von der Risikowahrnehmung abhängig ($r(49) = .28$, $p = .043$) als für die rein meteorologische ($r(47) = .52$, $p < .001$) oder die rein wirkungsbasierte ($r(49) = .36$, $p = .009$). Gleichzeitig gab es keinen systematischen Zusammenhang zwischen der mittleren Handlungswahrscheinlichkeit und soziodemographischen Unterschieden zwischen den TeilnehmerInnen (Alter, Erfahrung mit Winterstürmen, Anzahl der Mitglieder im Haushalt, Einkommen oder Größe des Wohnorts). Um den Zusammenhang zwischen der mittleren Handlungswahrscheinlichkeit und den erhobenen Variablen weiter zu untersuchen, wurde eine multiple lineare Regression mit den Variablen Risikowahrnehmung, Anzahl erlebter Winterstürme, Vertrauen in Wintersturmwarnungen, sowie den soziodemographischen Variablen (kategorial, als Summenkontraste kodiert) als Prädiktoren berechnet ($F(25, 123) = 3.086$, $p < .001$), mit einem korrigierten R^2 von .26. Auch hier ergab sich eine höhere Risikowahrnehmung ($\beta = 5.22$, $p < .001$) als stärkster Prädiktor für eine höhere Handlungswahrscheinlichkeit. Alter ($\beta = 0.26$, $p = .05$), ein Einkommen zwischen 50.000 und 75.000 USD ($\beta = 9.77$, $p = .004$) sowie ein Bachelor als höchster Abschluss ($\beta = -6.66$, $p = .005$) hatten ebenfalls einen schwachen Effekt (wobei der Einfluss der demographischen Variablen aufgrund der geringen Anzahl an TeilnehmerInnen pro Kategorie nicht wirklich bewertet werden kann).

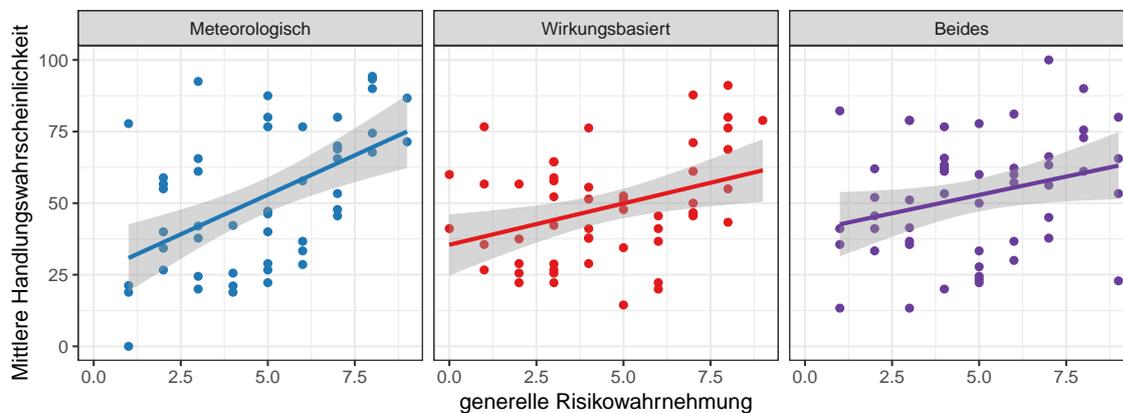


Abbildung 17: Zusammenhang zwischen genereller Risikowahrnehmung bei Winterstürmen und Handlungswahrscheinlichkeit, separat für die drei Arten von Warnungen. Jeder Punkt zeigt den Mittelwert der Vorkehrungsmaßnahmen pro TeilnehmerIn. Die farbige Linie markiert die Regressionsgraden und die graue Schattierung das 95 % Konfidenzintervall.

8.4 Diskussion

Wirkungsbasierte Warnungen sollen helfen, die Reaktion auf Wettergefahren zu verbessern, indem rein meteorologische Warnungen durch Informationen über die zu erwartenden Auswirkungen ergänzt oder ersetzt werden (Brunet et al., 2015). In dieser Online-Studie wurde untersucht, ob wirkungsbasierte Warnungen die Wahrscheinlichkeit erhöhen, angesichts eines bevorstehenden Wintersturms Vorkehrungen zu treffen. Bisherige Studien (z. B. Casteel, 2016) legen nahe, dass Informationen über Auswirkungen das Verhalten von Personen zumindest in hypothetischen Situationen beeinflussen können. In der aktuellen Studie konnte dieser Effekt jedoch nicht nachgewiesen werden: Die Wahrscheinlichkeit, Vorkehrungen zu ergreifen, unterschied sich nicht, wenn die Warnung rein meteorologisch dargestellt wurde, Informationen über Auswirkungen enthielt, oder sogar beides kombinierte.

Stattdessen war die Handlungswahrscheinlichkeit höher, je höher die generelle Risikowahrnehmung der TeilnehmerInnen war, während soziodemographische Unterschiede keine Rolle spielten. Interessant ist, dass der Zusammenhang zwischen Risikowahrnehmung und Handlungswahrscheinlichkeit schwächer war, wenn die Warnung sowohl meteorologische als auch Informationen über Auswirkungen enthielt. Diese Interaktion zwischen Risikowahrnehmung und Warnungsart könnte ein Hinweis sein, dass die kombinierte Warnung Informationen enthielt, die über die allgemeine Risikowahrnehmung der TeilnehmerInnen hinausgingen und die Handlungsbereitschaft je nach Risikowahrnehmung unterschiedlich beeinflusst.



Ein möglicher Grund, warum es keinen Effekt der wirkungsbasierten Warnung gegenüber der meteorologischen Warnung gab, könnte die bereits relativ große Erfahrung der TeilnehmerInnen im Umgang mit Winterstürmen sein. Mehr als zwei Drittel der Teilnehmenden gaben an, bereits mindestens 10 Winterstürme erlebt zu haben. Dies könnte dazu führen, dass sich bei den Vorkehrungen eine Routine einstellt, die nicht durch die Kommunikation der Meldung beeinflusst wird.

Es sind daher weitere Studien nötig, um den Einfluss wirkungsbasierter Wintersturmwarnungen zu beurteilen und besser zu verstehen, wie wirkungsbasierte Warnungen die Reaktion der Öffentlichkeit beeinflussen. Die Ergebnisse dieser Studie legen nahe, dass sich zukünftige Studien nicht nur auf die (hypothetische) Handlungswahrscheinlichkeit konzentrieren sollten, sondern auch auf die Risikowahrnehmung in der beschriebenen Situation. Auch wenn Handlungen von einer Vielzahl weiterer Faktoren abhängen, ist eine adäquate Risikowahrnehmung zumindest eine wichtige Voraussetzung für eine angemessene Reaktion auf Wintersturmwarnungen.

Literatur

- Brunet, G., Jones, S. & Ruti, P. M. (2015). *Seamless prediction of the earth system: From minutes to months*. Geneva: World Meteorological Organization.
- Buhrmester, M., Kwang, T. & Gosling, S. D. (2011). Amazon's Mechanical Turk: A new source of inexpensive, yet high-quality, data? *Perspectives on psychological science*, 6 (1), 3–5.
- Casteel, M. A. (2016). Communicating increased risk: An empirical investigation of the National Weather Service's impact-based warnings. *Weather, Climate, and Society*, 8 (3), 219–232.
- Drabek, T. E. (1999). Understanding disaster warning responses. *The Social Science Journal*, 36 (3), 515–523.
- Eisenman, D. P., Cordasco, K. M., Asch, S., Golden, J. F. & Glik, D. (o. J.). Disaster planning and risk communication with vulnerable communities: lessons from Hurricane Katrina. *American Journal of Public Health*, 97.
- FEMA. (2017). *How to Prepare for a Winter Storm*. Zugriff am 01.12.2017 auf https://www.fema.gov/media-library-data/1494008826172-%76da095c3a5d6502ec66e3b81d5bb12a/FEMA_2017_WinterStorm_HTP_FINAL.pdf
- Fleischhut, N., Herzog, S. M. & Hertwig, R. (unter Begutachtung). Weather literacy in times of climate change.
- NOAA/NWS. (2018). *January 4, 2018 Blizzard*. Zugriff am 15.01.2019 auf <http://web.archive.org/web/20080207010024/http://www.808multimedia.com/winnt/kernel.htm>



Ripberger, J. T., Silva, C. L., Jenkins-Smith, H. C. & James, M. (2015). The influence of consequence-based messages on public responses to tornado warnings. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96 (4), 577–590.



AutorInnenverzeichnis

Dr. Nico Becker studierte im Bachelor- und Masterstudiengang Meteorologie an der Freien Universität Berlin. Er promovierte im Rahmen der Helmholtz Graduate Research School for Explorative Simulation in Earth Sciences (GEOSIM) und arbeitete als wissenschaftlicher Mitarbeiter im EU-Projekt RAIN (Risk Analysis of Infrastructure Networks in response to extreme Weather). Im Auftrag des Bundesamts für Seeschifffahrt und Hydrographie entwickelte er ein operationelles probabilistisches Sturmflutvorhersagesystem. Seit 2016 beschäftigt er sich als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin im Projekt WEXICOM mit dem Forschungsfeld der Impaktmodellierung. Der Schwerpunkt ist dabei die Modellierung der Auswirkungen des Wetters auf den Straßenverkehr und Verkehrsunfälle.

Clara Brune, M.Sc. studierte im Bachelor Staatswissenschaften an der Universität Erfurt und im Master International Economics an der Georg-August-Universität Göttingen. Nach Tätigkeiten für GIZ und OECD studierte sie Meteorologie an der Freien Universität Berlin. Währenddessen arbeitete sie am Max-Planck-Institut für Bildungsforschung und am Forschungsforum Öffentliche Sicherheit im Projekt WEXICOM als studentische Hilfskraft.

Till Büser, M.A. studierte Publizistik- und Kommunikationswissenschaft mit den Nebenfächern Politikwissenschaft und Soziologie an der Freien Universität Berlin, Humboldt Universität und am L'institut d'études politiques de Paris (Sciences Po). Seit 2012 arbeitet er als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Freien Universität Berlin, zunächst am Institut für Publizistik- und Kommunikationswissenschaft und seit 2015 an der Katastrophenforschungsstelle (KFS). Im Projekt WEXICOM beschäftigt er sich mit Warn- und Risikokommunikation sowie der heterogenen Wahrnehmung von Wetterrisiken durch die Bevölkerung.

Dr. Nadine Fleischhut studierte Philosophie im Magister an der Freien Universität Berlin. Nach einem Journalismusvolontariat im Dokumentarfilmbereich war sie Stipendiatin am Max-Planck-Institut für Bildungsforschung in Berlin und promovierte in kognitiver Entscheidungspsychologie an der Humboldt Universität Berlin. Zurzeit arbeitet sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Max-Planck-Institut für Bildungsforschung in Berlin. Im Projekt WEXICOM nutzt sie Erkenntnisse der Kognitionspsychologie und Risikokommunikation, um zu untersuchen, wie man die Unsicherheit von Extremwettervorhersagen sowie deren Auswirkungen am besten kommunizieren kann.

Prof. Dr. Lars Gerhold ist Universitätsprofessor für Interdisziplinäre Sicherheitsforschung an der Freien Universität und Leiter des Forschungsforum Öffentliche Sicherheit. Nach dem Studium der Politikwissenschaft, Psychologie und Soziologie promovierte er 2008 zum Thema Umgang mit makrosozialer Unsicherheit am In-



stitut für Psychologie der Universität Kassel. Seit 2015 leitet er die AG Interdisziplinäre Sicherheitsforschung. Die Professur wird aus Mitteln der Exzellenzinitiative der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert. Seine Forschungsschwerpunkte sind Interdisziplinäre Sicherheitsforschung, Security Foresight, Gesellschaftlicher Wandel, Wahrnehmungs- und Handlungsforschung sowie Methoden der Zukunftsforschung.

John Gubernath ist Student der Psychologie an der Freien Universität Berlin und war Teilnehmer des Seminars Interdisziplinäre Naturrisikoforschung im Wintersemester 2017/2018.

Dr. Martin Göber ist Mitarbeiter des DWD und seit 2012 Themenbereichsleiter von WEXICOM. Er studierte Meteorologie an der Humboldt-Universität und wurde mit einer Arbeit zur Methodik der Klimadiagnostik in Bonn promoviert. Dort arbeitete er anschließend zur Frischwasserbilanz der Arktis und entwickelte dann ein großes interdisziplinäres Projekt der Universitäten Bonn und Köln zum Umgang mit Wasser in Westafrika. Danach arbeitete er beim britischen Wetterdienst an der Verifikation operationeller Wettervorhersagemodelle. Seit 2003 ist er Mitarbeiter des DWD und leitete bis zum Beginn von WEXICOM das Sachgebiet Verifikation lokaler Wettervorhersagen und Warnungen.

Dr. Stefan M. Herzog studierte Psychologie, Betriebswirtschaft, und Computerwissenschaften an der Universität Basel und promovierte dort in kognitiver Entscheidungspsychologie. Aktuell arbeitet er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Max-Planck-Institut für Bildungsforschung in Berlin. Seine Forschung beschäftigt sich mit der Frage, wie man menschliche Urteile und Entscheidungen unterstützen und verbessern kann und nutzt dazu Erkenntnisse aus den Kognitionswissenschaften und Forschung zur begrenzten Rationalität, Heuristiken, kollektiver Intelligenz, und maschinellem Lernen.

Dr. Thomas Kox studierte Geographie mit den Nebenfächern Politische Wissenschaft und Soziologie an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, am University College Cork, Irland und an der Universität Potsdam. Zuvor leistete er seinen Zivildienst beim Arbeiter-Samariter-Bund im Rettungsdienst der Stadt Dortmund. Nach Praktika beim Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe und am Institute for Environment and Human Security der United Nations University arbeitet er seit 2011 als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Freien Universität Berlin. Im Projekt WEXICOM beschäftigte er sich zunächst am Institut für Meteorologie und später am Institut für Informatik mit den Themen Wetterwarnungen, der Wahrnehmung von und dem Umgang mit Unsicherheit sowie Praktiken des Katastrophen- und Bevölkerungsschutzes.

Catharina Lüder, M.A. studierte im Bachelor Publizistik- und Kommunikationswissenschaft mit Nebenfach Sozial- und Kulturanthropologie an der Freien Universität Berlin und anschließend Europäische Ethnologie an der Humboldt-Universität



zu Berlin. Währenddessen arbeitete sie am Forschungsforum Öffentliche Sicherheit im Projekt WEXICOM als studentische Hilfskraft.

Prof. Dr. Henning Rust ist Professor für Statistische Meteorologie an der Freien Universität Berlin, gefördert aus Mitteln der Exzellenzinitiative der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Er ist Leiter der gleichnamigen Arbeitsgruppe und seit 2019 Themenbereichsleiter im Hans-Ertel-Zentrum für Wetterforschung, Projekt WEXICOM. Nach dem Studium der Physik an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg und der Brock-University, St. Catharines, Kanada, forschte er am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung und promovierte an der Universität Potsdam in Theoretischer Physik. Neben der Kommunikation von probabilistischen Vorhersagen und Warnungen sind seine Forschungsschwerpunkte Extremereignisse und statistische Methoden in der Meteorologie, wie zum Beispiel die Impaktmodellierung, Vorhersage-
rekalibrierung und -verifikation.

Dr. Tobias Pardowitz war wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Meteorologie und von 2015–2018 FU-Themenbereichsleiter in der zweiten Förderphase von HERZ. Er studierte Physik an den Universitäten Jena, Warwick (England) und Freiburg und wurde 2014 an der FU Berlin promoviert mit einer Arbeit zu Anthropogenen Änderungen der Häufigkeit und Stärke Europäischer Winterstürme. Im Projekt WEXICOM beschäftigte er sich mit der statische Modellierung von Wetterauswirkungen sowie mit impakt- und risikobasierten Warnungen.

Prof. Dr. Uwe Ulbrich ist Geschäftsführender Direktor des Instituts für Meteorologie der Freien Universität Berlin und Leiter der Arbeitsgruppe Klimadiagnose und Meteorologische Extremereignisse. Er hat an der Universität zu Köln ein Diplom in Geophysik erhalten, und dort anschließend in Meteorologie promoviert. Er ist einer der Chefredakteure der Zeitschrift *Natural Hazards and Earth System Sciences*. Weiterhin ist er Mitglied der Steuerungsgruppe der internationalen MedCLIVAR-Initiative, des Beirats des European Severe Storms Laboratory und des ERC-Programms THUNDERR an der Universität Genua. An der Freien Universität ist er Studiengangsleiter für den Bachelor- und Masterstudiengang Meteorologie, Mitglied der Ständigen Kommission der Dahlem Research School und der Kommission für die Einstein Lectures. Sein Forschungsschwerpunkt liegen in der Diagnose der Atmosphäre hinsichtlich physikalischer Prozesse.