

Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Geographisches Institut

Wintersemester 2020/2021

Modul: M15-MSc Masterarbeit

Erstgutachter: Prof. Dr. Andreas Vött

Zweitgutachterin: Dr. Heike Hübener

Abgabetermin: 16.04.2021

JOHANNES GUTENBERG
UNIVERSITÄT MAINZ



Analyse von Sturmereignissen in Hessen auf der Grundlage von Daten zu Feuerwehreinsätzen

Masterarbeit

Maximilian Og

Albert-Schweitzer-Straße 17a

55128 Mainz

maxog@students.uni-mainz.de

Matr.-Nr.: 2714758

Studiengang: Master of Science – Klima- und Umweltwandel

Fachsemester: 5

Zusammenfassung

Stürme sind ein Teil von wetterbedingten Großereignissen, welche extreme Schäden anrichten können. Feuerwehreinsatzdaten bieten uns Informationen solchen Ereignissen. Das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie hat alle Feuerwehreinsatzdaten zu wetterbedingten Einsätzen in Hessen in einer Datenbank zusammengeführt. Das Ziel der Arbeit ist die Daten zu den Sturmereignissen zu analysieren. Dazu wurden die Daten mithilfe von Excel und ArcMap ausgewertet und dargestellt. Die Daten wurden auf Plausibilität, Veränderungen und auf zeitliche und räumliche Merkmale untersucht. Von 1999 bis 2019 ist ein allgemeiner Anstieg von Einträgen in der Datenbank zu verzeichnen, aufgrund von technischen und möglicherweise klimatischen Faktoren. Eine rein klimatische Erklärung ist nicht möglich. Die Daten sind plausibel, da ein Jahrgang mit Maxima im Sommer und Winter zu erkennen ist und sich Stürme räumlich darstellen lassen. Es lassen sich keine räumlichen Schwerpunkte von Gemeinden oder Landkreisen erkennen, die stärker betroffen sind. Weitere Untersuchungen und eine Fortführung der Datenbank würde der Forschung von wetterbedingten Großereignissen nützen.

Abstract

Storms are part of weather-related events which can cause extreme damage. Data of firefighter missions provide us with information about these events. "Das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie" has compiled all fire department data on weather-related operations in Hesse in a database. The aim of my work is to analyze the data on storm events. For this purpose, the data was evaluated and displayed using Excel and ArcMap. The data was examined for plausibility, changes and for temporal and regional characteristics. From 1999 to 2019, a general increase of entries in the database has been observed, due to technical and possibly climatic factors. A purely climatic explanation is not possible. The data are plausible since an annual cycle with maxima in summer and winter can be recognized and storms can be displayed regionally. It is not possible to identify regional focuses on communities or districts that are more strongly affected. Further investigations and a continuation of the database would be of use for the research of weather-related events.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	IV
Tabellenverzeichnis.....	VI
Abkürzungsverzeichnis.....	VII
Vorwort/Danksagung.....	VIII
1. Einleitung.....	1
2. Theoretischer Teil.....	2
2.1 Untersuchungsgebiet Hessen.....	2
2.1.1 Feuerwehren in Hessen.....	4
2.1.2 Klima.....	6
2.1.3 Landnutzung.....	7
2.2 Meteorologische Grundsätze.....	8
2.2.1 Wind.....	8
2.2.2 Westwindzone.....	9
2.2.3 NAO.....	10
2.2.4 Zyklone.....	11
2.2.5 Stürme.....	11
2.3 Aktueller Forschungsstand.....	13
3. Methodik.....	16
4. Ergebnisse.....	17
5. Interpretation und Diskussion.....	26
5.1 Bereitstellung der Daten und technologischer Fortschritt.....	26
5.2 Bewertung Abdeckung durch Einwohnerzahlen.....	28
5.3 Grenzen der Schadensbewertung.....	30
5.4 Einfluss NAO.....	31
5.5 Einzeljahranalyse.....	33
5.6 Sturmereignisanalyse.....	42
5.7 Analyse der Einsatzkategorien.....	48
5.8 Maxima in den Sommermonaten.....	53
6. Fazit/Ausblick.....	55
Quellenverzeichnis.....	58
Anhang.....	65

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verwaltungsbezirke und Landkreise in Hessen.....	4
Abbildung 2: Klimadiagramm Hessen. Monatssumme Niederschlag (1981-2010) als 30-Jahresmittel (blaue Balken). Monatsmitteltemperatur (1981-2010) als 30-Jahresmittel (rote Kurve), Monatstemperatur (1951-1980) als 30-Jahresmittel (orange Kurve).....	6
Abbildung 3: Beispiel eines Eintrages aus der Datenbank	16
Abbildung 4: Anzahl von Einträgen von Sturmereignissen im Zeitraum von 1999 bis 2019	18
Abbildung 5: Anzahl von Einsätzen von Sturmereignissen im Zeitraum von 1999 bis 2019.....	19
Abbildung 6: Jahresverteilung, der Anzahl von Einträgen, von Sturmereignissen von 1981 bis 2019 .	19
Abbildung 7: Jahresverteilung, der Anzahl von Einsätzen, von Sturmereignissen von 1981 bis 2019 .	20
Abbildung 8: Einsatzarten der Einträge.....	22
Abbildung 9: Anzahl von Einträgen pro Landkreis insgesamt	25
Abbildung 10: Anzahl von Einträgen pro Gemeinde insgesamt.....	25
Abbildung 11: Anzahl von Einträgen pro 100.000 Einwohner je Gemeinde (links), Anzahl von Einträgen pro 100.000 Einwohner je Landkreis (rechts).....	29
Abbildung 12: Jährliche Sachschäden für Naturgefahren in Deutschland	31
Abbildung 13: Jährliche Korrelation des NAO-Index und Einträge der Datenbank. (Links: 2000–2019, Rechts: 2010–2019).....	32
Abbildung 14: Monatliche Korrelation des NAO-Index und Einträge der Datenbank	33
Abbildung 15: Anzahl von Einträgen pro Gemeinde im Jahr 2007 (links), Anzahl von Einträgen pro 100.000 Einwohner im Jahr 2007 (rechts)	34
Abbildung 16: Anzahl von Einträgen pro Gemeinde im Jahr 2010 (links), Anzahl von Einträgen pro 100.000 Einwohner im Jahr 2010 (rechts)	35
Abbildung 17: Anzahl von Einträgen pro Gemeinde im Jahr 2013 (oben links) und 2014 (unten links), Anzahl von Einträgen pro 100.000 Einwohner im Jahr 2013 (oben rechts) und 2014 (unten rechts)..	36
Abbildung 18: Anzahl von Einträgen pro Gemeinde im Jahr 2015 (oben links) und 2016 (unten links), Anzahl von Einträgen pro 100.000 Einwohner im Jahr 2015 (oben rechts) und 2016 (unten rechts)..	38
Abbildung 19: Anzahl von Einträgen pro Gemeinde im Jahr 2017 (oben links) und 2018 (unten links), Anzahl von Einträgen pro 100.000 Einwohner im Jahr 2017 (oben rechts) und 2018 (unten rechts)..	40
Abbildung 20: Anzahl von Einträgen pro Gemeinde im Jahr 2019 (links), Anzahl von Einträgen pro 100.000 Einwohner im Jahr 2019 (rechts)	41
Abbildung 21: Einträge in Verbindung mit Sturm Kyrill (links) und Emma (rechts).....	44
Abbildung 22: Einträge in Verbindung mit Sturm Xynthia (links) und Niklas (rechts)	45
Abbildung 23: Einträge in Verbindung mit Sturm Egon (links) und Burglind (rechts).....	46
Abbildung 24: Einträge in Verbindung mit Sturm Friederike (links) und Fabienne (rechts)	47

Abbildung 25: Einträge in Verbindung mit Sturm Eberhardt	48
Abbildung 26: Anzahl von Einträgen der Einsatzkategorie Baum, absolute Zahlen (links) und Anteil in % (rechts).....	50
Abbildung 27: Anzahl von Einträgen der Einsatzkategorie Gegenstände, absolute Zahlen (links) und Anteil in % (rechts)	50
Abbildung 28: Anzahl von Einträgen der Einsatzkategorie „mehrere Treffer“, absolute Zahlen (links) und Anteil in % (rechts)	51
Abbildung 29: Anzahl von Einträgen der Einsatzkategorie „Sturm/Tiefs“, absolute Zahlen (links) und Anteil in % (rechts)	52
Abbildung 30: Anzahl von Einträgen der Einsatzkategorie „Unwetter“, absolute Zahlen (links) und Anteil in % (rechts)	53

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Allgemeine Daten der Regierungsbezirke in Hessen	3
Tabelle 2: Flächennutzung in Hessen (Stand 31.12.2019)	7
Tabelle 3: Prozentualer Anteil der Flächennutzung in den Regierungsbezirken	8
Tabelle 4: Beaufort Skala.....	12
Tabelle 5: Namentlich genannte Sturmereignisse der Datenbank	21
Tabelle 6: Anzahl der Einsätze nach Kategorien und ihr prozentualer Anteil je Landkreis.....	23
Tabelle 7: Einsatz- und Eintragszahlen der namentlich genannten Sturmereignisse	43

Abkürzungsverzeichnis

DWD	<i>Deutscher Wetterdienst</i>
HLNUG	<i>Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie</i>
HMdIS	<i>Hessisches Ministerium des Innern und für Sport</i>
HSL	<i>Hessisches Statistisches Landesamt</i>
km ²	<i>Quadratkilometer</i>
NAO	<i>Nordatlantische Oszillation</i>
o. J.	<i>ohne Jahr</i>
Reg.-Bez.	<i>Regierungsbezirk</i>

Vorwort/Danksagung

Durch mein Studium und dem zu absolvierenden Praktikum kam ich zum Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie. Dort kam ich in Berührung mit ihrer Datenbank zu wetterbedingten Feuerwehreinsätzen. Während des Praktikums und der intensiven Arbeit mit der Datenbank bekam ich die Frage, ob ich nicht die Masterarbeit über einen Teil der Datenbank schreiben möchte. Nach Abschluss des Praktikums fand ich das Thema weiterhin sehr interessant, sodass ich den Beschluss fasste, meine Masterarbeit im HLNUG zu schreiben.

Das Thema und die Datenbank als Ganzes war für mich sehr interessant, da es sich um ein Unikat handelt und ein Grundstein für mögliche kommende Forschungen sein kann. Ich hoffe, dass ich zukünftig mit verfolgen kann, wie die Datenbank weiter wächst und für weitere Forschungen verwendet wird.

Ich danke dem HLNUG und den Mitarbeitern die mich während des Praktikums, sowie auch der Masterarbeit, aufgenommen und eine wohlfühlende Atmosphäre für das Arbeiten geschaffen haben. Insbesondere zu Zeiten der Pandemie wurde die Fertigstellung der Masterarbeit vonseiten des HLNUG nicht behindert. Mein besonderer Dank gilt Frau Dr. Heike Hübener für die Unterstützung und Betreuung vor allem während der Masterarbeit und Herr Dr. Andreas Hoy vor allem während meines Praktikums. Ein weiterer Dank gilt Herr Prof. Dr. Andreas Vött und dem Geographischen Institut, welche die Masterarbeit auf universitärer Seite ermöglicht haben. Mein größter Dank gilt meinen Eltern und meiner Familie, wie auch Freunden, welche während meines Lebens und Studiums mich immer unterstützt haben und an meiner Seite standen.

1. Einleitung

Mindestens 13 tote Menschen, 50 Millionen umgestürzte Bäume und Schäden in Milliardenhöhe. Das ist die Bilanz von Sturm „Kyrill“ (2007) in Deutschland (DWD 2017a).

Wie die Zahlen zeigen, haben Stürme einen starken Einfluss auf uns Menschen, sowohl auf das Leben selbst, deren Besitztümer und auch auf Natur und Umwelt. Jedes Jahr tauchen neue Namen von Stürmen in den Nachrichten auf: „Lothar“, „Kyrill“, „Xynthia“, „Friederike“ oder „Sabine“ um nur ein paar zu nennen. Hinter jedem der doch unscheinbar klingenden Namen verbirgt sich ein Sturmereignis, welches enorme Schäden über Teilen von Europa verursacht hat. Da es sich um bedeutende Wetterereignisse handelt, sind die Namen noch vielen Menschen ein Begriff. Stürme müssen nicht zwangsläufig so groß sein, dass Teile von Europa betroffen sind. Sie haben auch auf regionalen Gebieten wie im Bundesland Hessen Einfluss und haben dort Schäden verursacht.

Über all dem steht das Thema des Klimawandels, welches aus dem heutigen Bewusstsein nicht mehr zu verdrängen ist und uns sicherlich in der Zukunft vor weitere Herausforderungen stellt. Gibt es einen Zusammenhang zwischen dem Klimawandel und dem Auftreten und der Stärke von Stürmen?

Mit dieser Frage setzt sich die Masterarbeit auf Basis der Analysen von Sturmereignissen in Hessen und zwar auf Grundlage von Daten zu Feuerwehreinsätzen auseinander. Hierzu wird die Datenbank auf ihre Plausibilität untersucht. Ist eine zeitliche Veränderung erkennbar, haben Feuerwehreinsätze zu- oder abgenommen? Inwiefern sind die Veränderungen erklärbar? Sind die Ursachen meteorologischer oder anderweitiger Herkunft? Sind räumliche Schwerpunkte in Hessen erkennbar und wenn ja, lassen sich hierfür Gründe finden? Wie viel Aussagekraft haben die Informationen zu den Feuerwehreinsätzen? Um diese Fragen zu beantworten, wird die Datenbank ausgewertet, mit Daten und Literatur verglichen und analysiert.

Zu Beginn werden in Kapitel 2 zunächst einige Begrifflichkeiten erklärt und das Untersuchungsgebiet näher beschrieben. Hierzu werden Daten und Fakten herausgestellt, welche später für die Analyse nützlich sind. Neben den Begrifflichkeiten wird die Entstehung von Stürmen kurz erläutert und ein Überblick über den aktuellen Forschungsstand gegeben. Darauf folgt eine Darstellung der verwendeten Methoden in Kapitel 3. Kapitel 4 zeigt die reinen Ergebnisse der Datenbank. Aufbauend auf Kapitel 4 folgt in Kapitel 5 die Interpretation und Diskussion der Ergebnisse. In den Unterkapiteln wird sich mit dem Datensatz kritisch auseinandergesetzt und anhand der Daten wird versucht, die aufgestellten Fragen zu beantworten. Zum Abschluss findet ein Fazit und Ausblick statt, welcher den Datensatz als Ganzes bewertet und Möglichkeiten aufzeigt, wie fortgefahen werden könnte.

2. Theoretischer Teil

Eine rein klimatologische Erklärung für die Änderung der Anzahl von feuerwehreinsatzbasierenden Sturmereignissen ist sehr unwahrscheinlich, da es viele andere Faktoren geben kann, die Einfluss auf die Dokumentation und somit auf das Ergebnis haben können. Das folgende Kapitel soll daher Hessen als Untersuchungsgebiet näherbringen und inwiefern die präsentierten Daten Beispiele für einflussnehmende Faktoren sein können. Diese werden dann im Ergebnis- und Diskussionsteil aufgegriffen.

2.1 Untersuchungsgebiet Hessen

Die Verteilung der Bevölkerung und die administrative Gliederung sind die ersten zwei Faktoren, die beachtet werden müssen. Die ungleiche Verteilung der Bevölkerung in den Regierungsbezirken und den Landkreisen kann potenziell Einfluss auf die Datenbank nehmen. Fragen die sich stellen sind: Bedeutet mehr Einwohner gleich mehr Meldungen, da mehr Menschen betroffen sein können? Gibt es Unterschiede zwischen den einzelnen Landkreisen? Bedeuten kleinere Gemeinden gleich kleinere Feuerwehren und somit weniger Meldungen? Zeigen sich Unterschiede zwischen kreisfreien Städten und Landkreisen?

Hessen ist das siebt größte Bundesland Deutschlands mit einer Gesamtfläche von 21.116 km² (Statistisches Bundesamt 2020a). Zum 31.12.2019 lebten 6,288 Mio. Menschen in Hessen (Statistisches Bundesamt 2020b). Die mittlere Bevölkerungsdichte liegt folglich bei 298 Einwohner pro km² und somit über den deutschen Schnitt (232 Einwohner pro km²) (Statistische Ämter 2020). Die Landeshauptstadt ist Wiesbaden. Hessen grenzt an sechs Bundesländer an. Im Osten an Thüringen, im Süden an Bayern und Baden-Württemberg, im Westen an Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen sowie im Norden an Niedersachsen. Hessen wiederum ist in drei Regierungsbezirke (Reg.-Bez.) unterteilt: Darmstadt, Gießen und Kassel. Gießen ist der kleinste Reg.-Bez. mit einem Flächenanteil von einem Viertel, wohingegen die anderen beiden Bezirke jeweils über ein Drittel der Fläche ausmachen. Große Unterschiede zeigen sich bei der Betrachtung der Bevölkerungsdichte und ihrer Verteilung, denn 64 % der hessischen Bevölkerung lebt im Reg.-Bez. Darmstadt (Tabelle 1). Im Reg.-Bez. Gießen und Kassel liegt dieser Anteil unter 20 %. Die Bevölkerungsdichte im Reg.-Bez. Darmstadt ist doppelt beziehungsweise dreifach so hoch, wie in den Bezirken Gießen und Kassel.

Table 1: General Data of the Governmental Districts in Hesse (Source: Statistisches Bundesamt 2020a and b and HSL 2020a)

Regierungsbezirk	Flächenanteil (%)	Einwohner pro km²	Anteil Gesamtbevölkerung (%)
Darmstadt	39,3	540	64,0
Gießen	25,5	195	16,7
Kassel	35,3	147	19,4

Die Regierungsbezirke umfassen wiederum mehrere Landkreise, insgesamt 21. Der Reg.-Bez. Gießen umfasst fünf, der Reg.-Bez. Kassel sechs und der Reg.-Bez. Darmstadt zehn (Abbildung 1). Die Landkreise sind in Gemeinden aufgeteilt, sodass Hessen aus 423 Gemeinden besteht. Davon sind fünf die kreisfreien Städte: Wiesbaden, Frankfurt am Main, Offenbach am Main, Darmstadt und Kassel (HSL 2016a).

Die meisten Gemeinden pro Landkreis hat der Landkreis Kassel mit 28 und der Main-Kinzig-Kreis mit 29. Die geringsten Gemeinden umfassen die Landkreise Odenwaldkreis und Main-Taunus-Kreis mit jeweils 12. Die Anzahl der Einwohner je Landkreis variiert stark. Die wenigsten Einwohner leben im Odenwaldkreis mit 96.646 Einwohner (Stand: 31.03.2020) und die meisten im Main-Kinzig-Kreis mit 421.120 Einwohner (HSL 2020b).

Hessen nach Verwaltungsbezirken



© GeoBasis-DE / BKG 2016

Abbildung 1: Verwaltungsbezirke und Landkreise in Hessen (HSL 2016b)

2.1.1 Feuerwehren in Hessen

Brandbekämpfung in Städten gab es schon seit der Römerzeit. Über die Jahrhunderte hat sich die organisierte beziehungsweise allgemeine Brandbekämpfung nicht stetig verbessert. Teilweise gab es neue Technologien, die die Brandbekämpfung erleichtert haben. Dagegen wirkte die vorwiegende

Bauweise mit Holz oder durch fehlende Bauvorschriften entstanden enge Bauweise in den Städten. Folglich kam es oftmals zu verheerenden Stadtbränden. Erst ab dem 16. Jahrhundert kam es zu baupolizeilichen Vorschriften und Brandschutzverordnungen. Beispiele hierfür waren die Ersetzung von Strohdächern mit Ziegeln und ein größerer Abstand zwischen Gebäuden. Bei den Menschen begann vermehrt der Gedanke nach Selbsthilfe und freiwilliger Arbeit zu verrichten. Im 19. Jahrhundert wurden daher immer mehr Freiwillige Feuerwehren gegründet. Von großer Bedeutung in der Zeit waren die Turnvereine und Carl Metz, welcher eine Firma zur Herstellung von Feuerwehrgeräten gründete und Freiwillige Feuerwehren den Umgang mit den Geräten lehrte (WOLTER 2011: 37–47).

Gemeinden und Städte in Hessen sind gesetzlich nach dem Hessischen Brand- und Katastrophenschutzgesetz (HBKG) dazu verpflichtet, Feuerwehren zu besitzen. Dabei können die Feuerwehren sowohl Berufsfeuerwehren als auch Freiwillige Feuerwehren sein. Lediglich Städte mit über 100.000 Einwohner müssen eine Berufsfeuerwehr besitzen. Städte und Gemeinden mit mehreren Ortsteilen können mehrere Feuerwehren bilden (§ 7 Absatz 1–5 HBKG).

Von großer Bedeutung ist die finanzielle Förderung der Landesregierung. Die Gelder dienen zum Ausbau und Verbesserung der Infrastruktur in den Feuerwehren. Der Fördersatz deckt in der Regel 30 % ab (Feuerwehr Hessen 2019).

Hessen besitzt sechs Berufsfeuerwehren: Frankfurt am Main, Wiesbaden, Offenbach am Main, Darmstadt, Gießen und Kassel. 2018 waren in diesen Feuerwehren 1.977 Menschen beschäftigt. Die restlichen Feuerwehren sind Freiwillige Feuerwehren mit insgesamt 2475 Stellen. In den Freiwilligen Feuerwehren sind 69.740 Feuerwehrmänner und -frauen im Dienst. Die Anzahl der Angehörigen in Freiwilligen Feuerwehren in Hessen hat seit 2008 (ca. 74.000) abgenommen, jedoch sich in den letzten Jahren stabilisiert und kaum verändert. Bei den Jugendfeuerwehren ist ein ähnlicher Verlauf zu verzeichnen, auch dort haben sich die Zahlen stabilisiert. (Hessisches Ministerium des Inneren und für Sport (HMdIS) 2019: 15–16).

Bei den Feuerwehren stellt sich die Frage, inwiefern Unterschiede zwischen Freiwilligen Feuerwehren und Berufsfeuerwehren zu erkennen sind und wie stark die Datendokumentation ist, insbesondere bei den Freiwilligen Feuerwehren, da es sich um ehrenamtliche Arbeit handelt.

2.1.2 Klima

Hessen liegt in den mittleren Breiten, in der Zone des warm-gemäßigten Regenklimas. Durch die Lage in der Westwindzone erreicht vor allem feuchte Luft vom Atlantik das Gebiet. Es ist ganzjährig humid. Bei den folgenden Daten handelt es sich um gemittelte Monatsdaten über den Zeitraum 1981 bis 2010. Das Temperaturmaximum der Tagesmitteltemperatur liegt im Juli bei 17,8 °C und das Minimum im Januar bei 0,4 °C (Abbildung 2). Die Temperatur nimmt im Jahresverlauf kontinuierlich bis zum Juli zu, danach nimmt sie kontinuierlich bis Dezember ab. Die Jahresdurchschnittstemperatur, im Zeitraum von 1881 bis 2010, beträgt 8,8 °C. Auch in Hessen ist der Klimawandel spürbar, dies ist am besten zu erkennen, wenn man die Daten mit den Monatsmitteltemperaturen im Zeitraum von 1951 bis 1980 vergleicht. Die Temperatur ist in allen Monaten gestiegen, der geringste Anstieg liegt im September mit 0,2 °C und der höchste Anstieg liegt im August mit 1,1 °C. Im Schnitt liegt die Temperatur 0,65 °C höher. Das Niederschlagsmaximum liegt mit 81,2 mm im Dezember, das Minimum liegt im April mit 53,1 mm. Im Gegensatz zur Temperatur ist kein kontinuierlicher Anstieg/Abnahme zu erkennen. Mit Ausnahme des Maximums und Minimums liegen alle Monate im Bereich von 60 bis 80 mm. Die Jahresniederschlagssumme beträgt 839,7 mm. Das Klima in Hessen kann regionale starke Unterschiede aufweisen, da das Relief und die Exposition Einfluss auf die Temperatur und Niederschlagsmenge nimmt (HLNUG 2013).

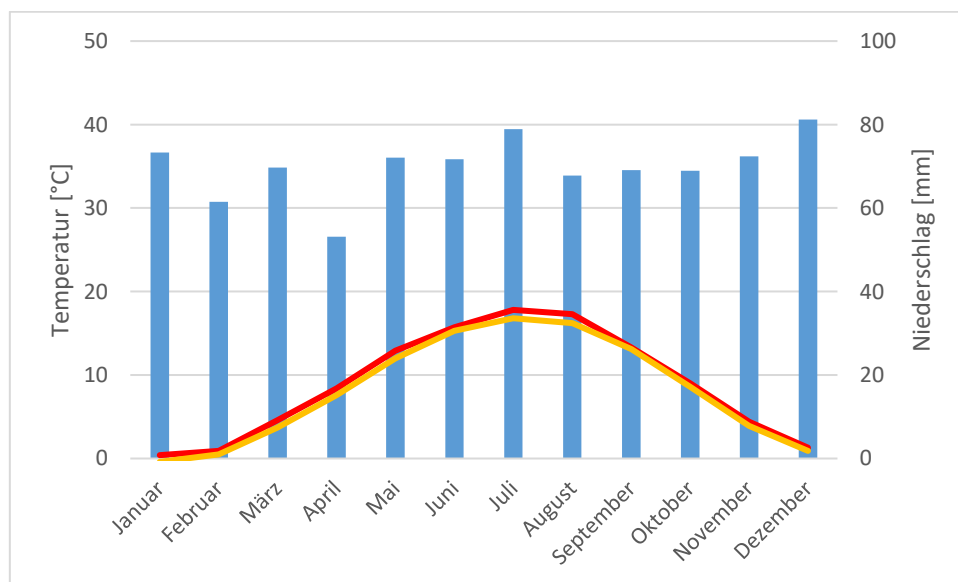


Abbildung 2: Klimadiagramm Hessen. Monatssumme Niederschlag (1981-2010) als 30-Jahresmittel (blaue Balken). Monatsmitteltemperatur (1981-2010) als 30-Jahresmittel (rote Kurve), Monatstemperatur (1951-1980) als 30-Jahresmittel (orange Kurve) Quelle: HLNUG (2020a)

2.1.3 Landnutzung

Von den 21.116 km² Gesamtfläche sind 9,4 % Siedlungsfläche, rechnet man Verkehrsflächen hinzu beträgt dieser Wert 16 %. 82,4 % der Fläche wird landwirtschaftlich genutzt oder ist Wald. Der Anteil der Waldfläche an der Gesamtfläche beträgt 39,8 %. Der Anteil der Landwirtschaftsfläche beträgt 41,6 % (Tabelle 2).

Tabelle 2: Flächennutzung in Hessen (Stand 31.12.2019) (Hessisches Statistisches Landesamt 2020c)

Flächennutzung in Hessen 31.12.2019 nach Flächenarten (Ergebnisse der Flächenerhebung)		
Art der Fläche	km ²	%
Siedlung	1 976,4	9,4
<i>darunter:</i>		
<i>Sport, Freizeit - und Erholungsfläche</i>	260,8	1,3
Verkehr	1 441,6	6,8
Vegetation	17 405,6	82,4
<i>darunter:</i>		
<i>Landwirtschaft</i>	8 777,7	50,4
<i>Wald</i>	8 405,2	48,3
Gewässer	292,1	1,4
Insgesamt	21 115,6	100
Nachrichtlich: Siedlungs- und Verkehrsfläche ¹⁾	3 375,2	16,0
<hr/> <p>1) Summe aus Siedlung und Verkehr, abzüglich Bergbaubetrieb – Tagebau, Grube, Steinbruch.</p> <p>Die hier nachgewiesene "Siedlungs- und Verkehrsfläche" dient der Berechnung des Nachhaltigkeitsindikators "Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche".</p>		

Im Jahr 2015, zu diesem Zeitpunkt betrug die Waldfläche 8488 km², lag der Anteil von Laubwald bei 23,6 %, Nadelwald bei 17,1 % und Mischwald bei 58 % (Hessisches Statistisches Landesamt (HSL) 2016b: 7). Die Waldfläche liegt in den drei Reg.-Bez. um die 40 %. In den Reg.-Bez. Gießen und Kassel ist der Unterschied vom Anteil an Landwirtschafts- und Siedlungsfläche sehr gering. Im Reg.-Bez. Darmstadt hingegen liegt der Anteil der Landwirtschaftsfläche circa 5 % niedriger, die 5 % sind in der Siedlungsfläche wiederzufinden (Tabelle 3).

Tabelle 3: Prozentualer Anteil der Flächennutzung in den Regierungsbezirken (Quelle: HSL 2020d)

Regierungsbezirk	Landwirtschaft (%)	Wald (%)	Siedlungen/Verkehr (%)
Darmstadt	37,7	39,4	20,3
Gießen	43,2	39,6	15
Kassel	44	40,4	13,2

Die Landnutzung ist insbesondere für die Betrachtung der Einsatzart von Interesse. In einem Siedlungsgebiet kann es ein häufigeres Auftreten von Dachschäden geben. In einem Gebiet mit viel Wald kann es vermehrt zu umgestürzten Bäumen kommen, aber auch zu einer geringeren Meldeanzahl, wenn Bäume im Wald umstürzen und kein Risiko für den Menschen haben.

2.2 Meteorologische Grundsätze

Um Sturmereignisse in Deutschland, beziehungsweise in Hessen zu verstehen, müssen die Entstehung und die Einflüsse, welche die Entstehung beeinflussen geklärt werden.

2.2.1 Wind

Die Verlagerung von Luftteilchen in Bezug auf Geschwindigkeit und Richtung wird als Wind bezeichnet (DWD o. J.a). Die Ursachen, welche Einfluss auf Geschwindigkeit und Richtung haben, sind vielfältig. Die Temperatur ist einer jener Faktoren. Die Temperatur führt zu der thermischen Entstehung von horizontalen Luftdruckunterschieden. Die andere Entstehung sind dynamische Abläufe (WEISCHET und ENDLICHER 2012: 134).

Luft ist ein Medium, welches sich bei Erwärmung ausdehnt. In der Atmosphäre kann sich das Luftpaket jedoch nur in vertikaler Ebene ausdehnen, da in der horizontalen Ebene kein Platz ist (KAPPAS 2009: 90). Geht man von einer Atmosphäre aus, welche in ihrer Ausgangslage auf horizontaler Ebene keine Unterschiede in Druck, Feuchte und Temperatur aufweist, kann es durch Erwärmung eines Luftpaketes zu einer vertikalen Ausdehnung der Luftsäule und der Entstehung eines Höhenhochs kommen. Hochdruckgebiete können unterschiedliche Formen annehmen, je nach Form der Isobaren (Linien gleiches Luftdrucks). Dazu gehören die Hochdruckrücken, sie besitzen eine große Länge bei konstanter Breite, die Hochdruckkeile, ein Gebilde mit auslaufender Breite und die

abgeschlossenen Hochdruckgebiete auch Antizyklone genannt. Auch bei den Tiefdruckgebieten gibt es drei Formen: Tiefdruckfurche, Tiefdrucktrog und Zyklone. Der Umfang kann stark variieren, beispielsweise durch die Stärke der Erwärmung oder Abkühlung, oder die Wechselwirkung von Land und Wasser. Wenn mehrere Luftpakete nebeneinanderliegen mit unterschiedlichem Luftdruck, entsteht ein Druckgradient, welcher die Kraft vom hohen Druckgebiet zum niedrigen Druckgebiet ist. Es kommt zu einer Bewegung. Bei Hochdruckgebieten findet ein Auseinanderströmen (Divergenz) und bei Tiefdruckgebieten ein Zusammenströmen (Konvergenz) statt. In Bereichen von Aufheizung der Oberfläche entstehen Höhenströmungen mit divergierenden Eigenschaften. Am Boden bildet sich daher ein Bodentief aus. Im Bodentief setzen konvergierende Ströme ein. Durch die Ausgleichswinde entsteht eine thermische Ausgleichszirkulation. Die Zirkulationssysteme können unterschiedliche Ausmaße haben. (WEISCHET und ENDLICHER 2012: 135–140). Wind ist somit eine Ausgleichsströmung zwischen zwei Orten mit unterschiedlichem Luftdruck.

2.2.2 Westwindzone

Die Westwindzone und die herrschenden Westwinde liegen zwischen 30° und 60° nördliche Breite und prägen das Wetter und Klima der Mittelbreiten und somit Deutschlands maßgeblich. Mit der Veränderung der Winde zieht eine Veränderung des Klimas miteinander her. Eine Beschreibungsmethode der Schwankungen ist die Nordatlantische Oszillation (NAO)(BRÖNNIMANN 2018: 167 und KUTTLER 2013: 149). Ein zonaler Verlauf der Strömungen in der Zone ist vorhanden, jedoch können kleinere Störungen zu größeren Auslenkungen führen. Es bilden sich Wellenstrukturen aus. Durch die Wellenstruktur kann es zu einer Abspaltung von Hoch- und Tiefdruckgebieten kommen. Das System ist aus mehreren Gründen instabil. Zum einen erwärmen sich zu den unterschiedlichen Jahreszeiten Land und Wasser unterschiedlich und sie sind räumlich unterschiedlich verteilt. Zum anderen ist es der Verlauf der Gebirgszüge. Die entstehenden Wellen heißen Rossby-Wellen. Die Rossby-Wellen sind stehende planetarische Wellen und können bis zu 6000 km lang sein (LAUER und BENDIX 2006: 168 und KUTTLER 2013: 151–152). Durch die Wellenstruktur kann sowohl polare Kaltluft in Richtung Äquator und tropische Warmluft in Richtung Pole gelangen. Als Folge entstehen Hochdruckkeile und Tiefdrucktröge. Durch den hohen Temperaturunterschied kommt es zur Instabilität in den Wellen. Es kann zu einer Ausbildung von Bereichen mit Zonalbewegung kommen. Die Bereiche sind meist Warmluftinseln oder Kaltlufttropfen. Beide letztgenannten können Einfluss auf die Witterung in Deutschland haben, da dadurch Luftmassen eine kontinentale Herkunft besitzen können (WEISCHET und ENDLICHER 2012: 240–242).

2.2.3 NAO

Die Zirkulation der Atmosphäre im atlantisch-europäischen Raum ist variabel und kann unterschiedlich stark ausgeprägt sein. Die Variabilität beeinflusst das Klima und Wetter in Europa und dem Nordatlantik, insbesondere im Winter. Ein Maß für die Wiedergabe der Variabilität und Stärke ist die Nordatlantische Oszillation, kurz NAO beziehungsweise der NAO-Index (LUNKEIT 2011: 90). Der NAO ist die Luftdruckdifferenz zwischen den zwei Zentren Islandtief und Azorenhoch. Aus der entstehenden Differenz wird mathematisch ein Index ermittelt. Zur Errechnung wird der Luftdruck an zwei Punkten gemessen. Auf Island meist Reykjavik und auf den Azoren. Anstatt der Messstation auf den Azoren wird manchmal eine Messstation in Lissabon für die Berechnung genutzt. Dabei gilt zu beachten, dass sowohl das Islandtief, als auch das Azorenhoch nicht stationär ist. Der Umstand wird in einer anderen Berechnung mit betrachtet (HENSE und GLOWIENKA-HENSE 2008: 89). Durch den Druckunterschied zwischen Islandtief und Azorenhoch gibt es einen mittleren Luftdruckunterschied. Änderungen in diesem Luftdruckunterschied werden durch die zwei Ausprägungen NAO+ und NAO- beschrieben. Im Falle von NAO+ ist die Luftdruckdifferenz höher, das bedeutet das beide Druckgebilde stärker ausgeprägt sind. Bei NAO- ist die Luftdruckdifferenz relativ gering und die Druckgebilde weniger stark ausgebildet. Im Sommer ist die NAO weniger stark ausgeprägt (TINZ 2002: 32).

Folgende Aussagen beziehen sich auf dem Winter. Ein positiver NAO-Index hat für Europa folgende Auswirkungen: Der nordatlantische Jetstream verläuft weiter nördlich und ist stärker, die Folgen in Nordeuropa sind erhöhte Niederschläge, stärkere Winde, höhere Temperaturen und mehr Extremereignisse, insbesondere Stürme. In Südeuropa ist es hingegen eher kühler. Bei einem negativen NAO-Index im Winter verläuft der Jetstream weiter südlich und ist abgeschwächt. In Nordeuropa kann es dadurch zum Einfluss von kontinentalen Hochdruckgebieten kommen. Es wird kälter mit geringeren Niederschlägen und weniger Stürmen. In Südeuropa hingegen gibt es mehr Niederschlag. Es muss beachtet werden, dass die NAO mit vielen anderen Systemen in Wechselwirkung steht und auch externe Einflüsse (Meeresoberflächentemperaturen, Vulkanausbrüche etc.) das System beeinflussen können (LUNKEIT 2011: 90).

2.2.4 Zyklone

Wie bereits angedeutet sind die wandernden Zyklonen und Antizyklonen verantwortlich für das meist wechselhafte Wetter in den mittleren Breiten. Die meisten Zyklone, welche aufs europäische Festland treffen, entstehen an der Polarfront (WIEDERISCH 1996: 31).

Die Luftmassengrenze zwischen der polaren Kaltluft und der milderen Luft der mittleren Breiten heißt Polarfront. An dieser entwickeln sich Tiefdruckgebiete. Die zu den Tiefdruckgebieten gehörenden Warm- und Kaltfronten bringen meist Regen. Starke Tiefdruckgebiete (Zyklone) sind Stürme. Diese treten meist im Winter auf. Stürmisches Wetter im Sommer hängt oft mit kleinräumigen Gewittern zusammen (HÄCKEL 2016: 292).

Der Nordatlantik ist der Entstehungsort der meisten Zyklonen, die über Europa gehen. Sie folgen gewissen Zugstraßen. In den Sommermonaten liegen die Zugstraßen eher nördlicher als in den Wintermonaten, da im Sommer der subtropische Hochdruckgürtel und die Polarfront nach Norden verschoben ist. Je nach Verlauf ändert sich die Temperatur und Luftfeuchtigkeit in den betroffenen Gebieten. Ein Beispiel hierfür ist, wenn im Winter über Russland ein Tief in südliche Richtung verlagert, kann es in Mitteleuropa sehr kalt werden, da kontinentale Arktikluft aus dem Norden Russlands zu uns vorstößt. Auch Zyklone aus dem Golf von Genua können Einfluss auf das Wetter nehmen. Europa steht folglich unter dem Einfluss von vielen verschiedenen Wetterlagen (WIEDERISCH 1996: 35–37).

2.2.5 Stürme

Die meteorologische Definition von Stürmen setzt eine Windgeschwindigkeit von 75 km/h, äquivalent 20,8 m/s voraus. Die Sturmdefinition umfasst weiterhin den Bereich bis 117 km/h beziehungsweise 32,6 m/s, darüber spricht man von Orkanen (Tabelle 4). Auf der Beaufort-Skala umfassen Stürme die Stufen 9 bis 11. Bei Stürmen, wie auch stürmischen Winden (ab 62 km/h) können erheblichen Schäden an Vegetation und Gebäuden entstehen.

Sollte in einem Tiefdruckgebiet, was durch einen hohen Luftdruckgradienten erleichtert wird, hohe Geschwindigkeiten ab 75 km/h entstehen, spricht man von Sturmtiefs (DWD o. J.b). Besonders hohe Windgeschwindigkeiten erreichen Wirbelstürme, dazu gehören Tornados und Hurrikane. Bei Hurrikane handelt es sich um tropische Wirbelstürme, somit für das Untersuchungsgebiet Hessen unwichtig. Tornados hingegen können in Hessen auftreten, sind jedoch eher selten. Tornados entstehen

kleinräumig, sie rotieren und bewegen sich fort und können durch die hohen Windgeschwindigkeiten verheerende Schäden verrichten (HÄCKEL 2016:269–271).

Tabelle 4: Beaufort Skala (HUPFER und KUTTLER 2005: 124)

Windstärke in Bf	Bezeichnung	Auswirkungen des Windes		Seegangsgangrad	Windgeschwindigkeit	
		im Binnenland	auf See		m s ⁻¹	km h ⁻¹
0	Stille	Rauch steigt gerade empor	Spiegelglatte See	0	0,0 - 0,2	< 1
1	Leiser Zug	Wind durch Zug des Rauches angezeigt	Kleine Kräuselwellen	1	0,3 - 1,5	1 - 5
2	Leichte Brise	Windfahne bewegt sich	Kleine Wellen mit glasigen Kämmen	2	1,6 - 3,3	6 - 11
3	Schwache Brise	Blätter und dünne Zweige bewegt, Wimpel streckt sich	Kämme beginnen sich zu brechen, vereinzelt Schaumköpfe	2	3,4 - 5,4	12 - 19
4	Mäßige Brise	Hebt Staub und loses Papier, bewegt Zweige und dünnere Äste	Wellen werden länger, weiße Schaumköpfe verbreitet	3	5,5 - 7,9	20 - 28
5	Frische Brise	Kleine Laubbäume schwanken, Schaumköpfe auf Seen	Mäßige Wellen mit ausgeprägt langer Form, überall weiße Schaumkämme	4	8,0 - 10,7	29 - 38
6	Starker Wind	Starke Äste in Bewegung	Beginn großer Wellen, Kämme brechen sich und hinterlassen größere weiße Schaumflächen	5	10,8 - 13,8	39 - 49
7	Steifer Wind	Bäume in Bewegung	See türmt sich, weißer Schaum beginnt, sich in Streifen in die Windrichtung zu legen	6	13,9 - 17,1	50 - 61
8	Stürmischer Wind	Zweige werden abgerissen	Mäßig hohe Wellenberge, von den Kanten der Kämme beginnt Gischt abzuwehen, Schaum in ausgeprägten Streifen in Windrichtung	7	17,2 - 20,7	62 - 74
9	Sturm	Kleinere Schäden an Häusern	Hohe Wellenberge. Dichte Schaumstreifen in Windrichtung, Gischt kann Sicht beeinträchtigen	7	20,8 - 24,4	75 - 88
10	Schwerer Sturm	Bäume entwurzelt	Sehr hohe Wellenberge, lange überbrechende Kämme, Sichtbeeinträchtigung durch Gischt	8	24,5 - 28,4	89 - 102
11	Orkanartiger Sturm	Starke Schäden	Außergewöhnlich hohe Wellenberge, Sicht durch Gischt herabgesetzt	9	28,5 - 32,6	103 - 117
12	Orkan	Verwüstende Wirkungen	Luft mit Schaum und Gischt erfüllt, keine Fernsicht	9	> 32,6	> 117

Zuletzt muss der Begriff des Unwetters angesprochen werden, da der Begriff im allgemeinen Sprachgebrauch sehr häufig genutzt wird. Unwetter ist ein Sammelbegriff für Extremwettererscheinungen, dazu gehören Starkregenereignisse, Stürme, starke Schneefälle etc. Die Ereignisse können hohe Schäden hervorrufen, aber auch Menschen gefährden (DWD o. J.c). Der DWD besitzt zur Bewertung einer Wettererscheinung verschiedene Kriterien, um eine Unwetterwarnung herauszugeben. Bei Winden liegt der Wert, bei bodennahen Winden, bei 75 km/h im 10 Minutenmittel (KRAUS und EBEL 2003: 3–4).

Eine Unterscheidung zwischen Stürmen und Sommergewittern muss getätigt werden. Die Datenbank umfasst alle Arten von Sturmereignissen. Die Zyklone, die an der Polarfront entstehen, sind in den meisten Fällen Winterstürme. Neben den Winterstürmen gibt es auch stark auftretende Winde in den Sommermonaten. Sie entstehen meist bei Sommerunwettern oder -gewittern. Gewitter können durch konvektive Prozesse oder Einbrüchen von Kaltluft an der Kaltfront entstehen. Meteorologische Erscheinungen während eines Gewitters sind neben Blitzen: Hagelstürme, Starkregen und erhöhte Windgeschwindigkeiten (WEISCHET und ENDLICHER 2012: 295). Insbesondere Hagelstürme spielen bei der Schadensbetrachtung eines Großereignisses eine Rolle (Deutsche Rück 2014: 9). Da die Druckunterschiede in den Sommermonaten geringer ausfallen als in den Wintermonaten, sind Sommerstürme im Vergleich schwächer. Sie können trotzdem viele Schäden verursachen (DWD 2016a).

2.3 Aktueller Forschungsstand

Um einen Überblick über den aktuellen Stand der Forschung zu erlangen, mit welcher sich die Masterarbeit befasst, müssen zwei Forschungsstände betrachtet werden. Zum einen die Sturmforschung, zum anderen inwiefern Feuerwehreinsatzdaten für die Sturmforschung genutzt wurden.

Die Autoren HOSKINS und VALDES (1990: 1854–1864) haben den Begriff der „storm tracks“ geprägt und ihre Existenz nachgewiesen. „Storm tracks“ beschreiben die Zugbahnen, auf denen Zyklone entstehen und wandern. Eine Änderung der „storm tracks“ und der einhergehenden Zyklonenbildung kann somit ein Indikator für Klimaveränderungen sein und ist ein zentraler Punkt vieler Forschungen. Früher wurden Zyklonen und ihre Laufbahn mithilfe von Wetterkarten manuell analysiert. 1982 hat RICE erstmalig, für die Südhalbkugel, einen Algorithmus entwickelt, um Stürme zu erkennen, mithilfe von digitalen Daten. In Folge haben immer mehr Forscher verschiedene Algorithmen entwickelt. Der Aspekt muss beachtet werden, wenn einzelne Studien miteinander verglichen werden, da unterschiedliche Methodiken verwendet wurden (ULBRICH et al. 2009: 117–118). Des Weiteren hat die Anzahl von Forschungen in den letzten Jahren stark zugenommen, weshalb eine detaillierte Aufschlüsselung dem Umfang der Arbeit überschreiten würde. Folglich werden einzelne Studien herausgenommen und betrachtet. ULBRICH et al. (2009: 117–128) haben versucht, die Vielzahl an Studien zu vergleichen und Kernaussagen für beide Halbkugeln präsentiert die mit den meisten Studien übereinstimmen. Der Konsens ist, dass für die Nordhalbkugel, unter dem anthropogenen Klimawandel, zukünftig die Anzahl von intensiveren Zyklonen im Nordostatlantik zunimmt, jedoch die Anzahl von Zyklonen im Winter abnimmt. Auch FESER et al. (2015: 350–378) vergleichen mehrere Studien miteinander. Die Studien wurden in verschiedenen Gruppen unterteilt, beispielsweise nach dem betrachteten Zeitraum, der Datengrundlage oder untersuchten Regionen. Die Ergebnisse unterschieden sich deutlich für den betrachteten Zeitraum. Bei der Betrachtung der letzten 40 bis 60 Jahre ist ein Anstieg an Stürmen festzustellen. Bei der Betrachtung eines längeren Zeitraums wurden keine klaren Trends festgestellt. Für die Zukunft gibt es über die Anzahl von Stürmen unterschiedliche Aussagen, aber es herrscht ein Konsens über die Zunahme der Stärke der Stürme.

Die folgenden herausgenommenen Studien, bezogen auf die Vergangenheit, zeigen wie die Ergebnisse sich unterscheiden können, wenn unterschiedliche Aspekte und Methoden untersucht und angewendet werden. WANG et al. (2011: 2355) haben herausgefunden, dass im Nordatlantik eine Zunahme der Zyklonenaktivität vorhanden ist und die Ergebnisse regional und saisonal abhängig sind. Der regionale Unterschied in Europa ist auch in der Studie von TRIGO (2006: 127) zu erkennen. Sie zeigt eine Zunahme der Anzahl von Zyklonen über Nordeuropa, aber eine Abnahme über Südeuropa.

LAMBERT (2004: 181) hingegen sagt, dass die Anzahl von Zyklonen im Winter abgenommen hat, jedoch die Intensität einzelner Events zugenommen hat.

Im fünften Bericht des IPCC wird herausgestellt, dass Zyklonen im Winter an Stärke zunahmten und häufiger auftraten, insbesondere in den höheren Breiten des Atlantiks. Außerdem ist die Anzahl von Zyklonenextremen gestiegen. Auch im IPCC-Bericht wird darauf hingewiesen, dass die einzelnen Studienergebnisse schlecht miteinander zu vergleichen sind (HARTMANN et al. 2013: 217). Wie die Ergebnisse des IPCC, Betrachtung des Zeitraums der letzten 60 Jahre, besitzen nur wenige Studien verlässliche Daten vor diesem Zeitraum. Folglich sind langzeitliche Trends schwerer zu beobachten und zu bewerten. Einige Ergebnisse für Europa und den Atlantik sind relevant für die Veränderungen in Deutschland. Auch für Deutschland sind keine langzeitlichen Trends zu erkennen, obwohl in den Alpen und um die Nordsee stärkere Winde aufgetreten sind, basierend auf Daten von 1971 bis 2000 (HOFHERR und KUNZ 2010: 113–121). Der Forschungsschwerpunkt liegt bei Winterstürmen, da der Druckunterschied der Luftmassen höher ist und folglich der Wind stärker im Winter ist als im Sommer. Bei den in Deutschland auftretenden Stürmen im Sommer handelt es sich meist um Gewitterstürme.

Viele Studien befassen sich auch mit der zukünftigen Entwicklung von Sturmereignissen im 21. Jahrhundert. Ähnlich der Studien, bei denen unterschiedliche Methodiken angewandt werden, werden unterschiedliche Klimamodelle für die Zukunft genutzt. PINTO et al. (2007), FESER et al. (2015), wie auch der IPCC-Bericht 2013 kommen zum Schluss, dass sowohl die Stärke als auch Anzahl von Zyklonen und Stürmen über Deutschland und Mitteleuropa zunimmt. Die Windgeschwindigkeiten in Deutschland, laut HUEGING et al. (2013: 917), sollen in der Zukunft im Winter zu- und im Sommer abnehmen. GERSTENGARBE et al. (2013: 715) prognostizieren, dass die Anzahl von Schadensereignissen sowohl im Sommer und Winter zunehmen werden.

Es wurden keine Forschungen gefunden, welche nur Sturmereignisse aus Feuerwehreinsatzdaten untersuchen, weshalb dies der zentrale Punkt der Masterarbeit ist. Es gibt jedoch Forschungen zu ähnlichen Themenbereichen, die Überschneidungspunkte besitzen. Es handelt sich dabei um Feuerwehreinsätze als Datenquelle, auftretende Schäden durch Extremereignisse und wetterbasierende Extremereignisse allgemein (Hochwasser, Starkregen, Stürme etc.).

KOX und GERHOLD (2019: 5) stellen heraus, dass Feuerwehreinsatzdaten wertvoll sein können, um lokale Auswirkungen von Extremereignissen zu untersuchen, da in den meisten Fällen die Feuerwehren zu wetterbedingten Einsätzen gerufen werden. Mit der Verknüpfung mit anderen Datensätzen, wie der Modellierung von Schäden an Wohngebäuden durch Stürme, können Warnsysteme erstellt werden. KUTSCHKER und GLADE (2016: 21) zeigen auf, dass durch die Dokumentation von Feuerweh-

reinsätzen Informationen zu infrastrukturellen Schwachpunkten gewonnen werden können und in stark betroffenen Gebieten Anpassungen gemacht werden können. Der Punkt der Anpassung wird in mehreren Forschungen aufgegriffen. Die Forschungen haben oftmals Starkregenereignisse oder Extremereignisse allgemein als Schwerpunkt. Beispiele hierfür sind KUTSCHKER 2018, welcher sich mit Starkregenereignissen, mithilfe von Feuerwehrdaten, im Rhein-Main-Gebiet auseinandersetzt und das HLNUG mit ihren KLIMPRAX-Projekten, insbesondere dem Projekt KLIMPRAX Starkregen (HLNUG 2016). Die Extremereignisforschung geht oftmals Hand in Hand mit der Frage, ob durch den Klimawandel mehr Extremereignisse entstehen. In den meisten Studien wird dies bejaht. JACOB et al. (o. J.: 1–8) kommen zum Ergebnis, dass es weniger Eistage geben wird und einen Anstieg der Temperatur und der Anzahl von Stürmen gibt. SCHÖNWIESE (2008: 61–63) und andere Forscher zeigen mögliche Anstiege von Extremwetterereignissen durch die Veränderungen der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen auf, wodurch die Häufigkeit des Auftretens steigt.

Der größte Forschungspunkt von Extremereignissen, insbesondere Sturmereignissen und speziell Winterstürmen, ist das Auftreten von Schäden. LECKEBUSCH und ULBRICH (2013: 3) prognostizieren einen Anstieg von Wintersturmschäden hessenweit, im Zeitrahmen von 2031 bis 2060, von bis zu 27 %. Sturmschäden machen den größten Anteil an Gesamt- und Versicherungsschäden aus und somit entsteht eine hohe Schadensbelastung. Zwei Hauptfaktoren sind der Klimawandel und der Bevölkerungsanstieg (BERZ 2008: 3–5). HELD et al. (2013: 195) zeigen einen Anstieg der 10 Jahres Gegenleistung der Versicherung, im Zeitraum von 2041 bis 2070, von bis zu 30 % auf. Im Bericht von OSBERGHAUS und PHILIPPI (2015: 12–27) zeigt sich, dass die Bedeutung des Klimawandels und von Extremereignissen auch in der subjektiven Wahrnehmung der Menschen gestiegen ist. 23,5 % der Befragten haben bereits Sturmschäden erlitten und die Erwartung einer Zunahme von Extremereignisschäden ist sehr hoch. Dies zeigt, dass es sich nicht nur um Prognosen handelt, sondern aktuelle Veränderungen festzustellen sind.

Kurz gesagt, die Forschung über die Zunahme und Stärke von Zyklonenaktivitäten ist, aufgrund der unterschiedlichen Methodik, sehr unterschiedlich. In den meisten Fällen ist ein Anstieg sowohl der Intensität als auch in der Anzahl zu verzeichnen, wie auch eine Verschiebung zu mehr Winterstürmen. Die Feuerwehreinsatzforschung hingegen ist noch sehr gering, wohingegen die Untersuchung von Schäden, eng verknüpft mit Stürmen und Extremereignis in der Dokumentation und Forschung zunimmt. Zu beiden wird ein Anstieg vorausgesagt.

3. Methodik

Die Grundlage für die Masterarbeit bildet eine Ereignisdatenbank des HLNUG. In der Datenbank wurden alle klimarelevanten Feuerwehreinsatzdaten aus ganz Hessen in einer Exceltabelle zusammengeführt. Die Datenbank umfasst neben den Sturmereignissen die Kategorien: Starkregen, Hochwasser, Flächenbrände und sonstige Ereignisse. Zu Letzteren gehören beispielsweise Insekteneinsätze, Schneebruch oder andere Einsätze, welche in Verbindung mit meteorologischen Ereignissen stehen. Für die Arbeit wurden ausschließlich die Sturmereignisdaten genutzt.

Die Datenbank wurde ab 2016 von mehreren Praktikanten des HLNUG erstellt. Die Aufgabe während meines Praktikums war es, die Datenbank auf den Stand des 31.12.2019 zu bringen und zu vervollständigen. Zum Erstellen der Datenbank wurden vor allem Feuerwehreinsatzdaten von den Feuerwehren aus dem Internet genutzt. Dazu wurden die Internetseiten aller Berufs- und Freiwilligen Feuerwehren, sowie Ortsteilfeuerwehren durchsucht und geschaut, ob relevante Einsatzdaten vorhanden sind. Bei positiven Treffern wurden die Einsätze dokumentiert. Der Großteil der Daten stammt von Freiwilligen Feuerwehren, welche weder dazu verpflichtet sind Internetseiten zu besitzen, noch ihre Einsatzdaten hochzuladen. Vereinzelt wurden auch Daten aus Quellen von sozialen Medien oder Presseartikeln aufgenommen, dies ist nur ein geringer Teil. Zu jedem Eintrag wurde notiert: Landkreis, Gemeinde, Datum, Zusatzinformationen, Anzahl der Einsätze, Quellverweis, Quellentyp und die Gemeindenummer (Abbildung 3). Die Sturmereignisdatenbank umfasst 5964 Einträge aus dem Zeitraum von 1981 bis 2019.

Nummer	Landkreis	Stadt/Gemeinde	Datum	Informationen	Anzahl Einsätze	Quelle	Quellentyp	Gemeindenummer
3267	Limburg-Weilburg	Hünfelden	10.03.2019	Sturm, Baum auf Straße	3	wehr-huenfelder	Feuerwehr	533008

Abbildung 3: Beispiel eines Eintrages aus der Datenbank

Die Quantität der Datenbank ist gut und es gibt minimale Schwachstellen in der Qualität der Datenbank. Die drei Hauptprobleme sind: nicht Anspruch auf 100%ige Vollständigkeit, subjektive Unterschiede und die Verfügbarkeit von Feuerwehreinsatzmeldungen. Die Verfügbarkeit ist ein Problem, da Feuerwehren ihre Einsatzdaten nicht veröffentlichen müssen. Hinzu kommt, dass es keine einheitlichen Richtlinien gibt, wie Einsätze dokumentiert werden müssen. Die Folge ist, dass es in Gebieten ohne Einträge nicht davon ausgegangen werden kann, dass es keine Einsätze gab. Die ersten beiden Probleme haben eine Ursache in der Tatsache, dass die Datenbank über mehrere Jahre und Personen erstellt worden ist. Über die Zeit können Internetseiten von Feuerwehren im Auf- und Umbau gewesen sein, sodass Einsatzdaten nicht dokumentiert worden sind. Des Weiteren können durch unter-

schiedliche Personen minimale Unterschiede in der Beschreibung der Zusatzinformationen entstehen. Außerdem ist die Datenbank ein Unikat, das erst vor kurzen „fertiggestellt“ wurde. Das Ziel ist es, sie fortzusetzen und die Qualität, als auch Quantität zu verbessern (ENGEL 2020: 14–22 und OG 2020: 3–5).

Für die Masterarbeit wurden nur die Sturmereignisdaten genommen. Die Daten wurden zuerst aufbereitet, Fehler beseitigt und fehlende Informationen hinzugefügt. Zu jedem Eintrag wurde die Gemeindenummer hinzugefügt, um die Daten mit Daten des ALKIS (Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem) zu verknüpfen. Von ALKIS wurden auch die Layerkarten der hessischen Gemeinden und Landkreisen genutzt, um sämtliche Abbildungen in Kapitel 5 mithilfe von ArcMap zu erstellen. Weitere statische Daten, wie Einwohnerzahlen, Nutzungsflächen etc. stammen vom HSL.

Da die Datenbank ein Unikat ist und einer reinen Datensammlung entspricht, müssen die Daten auf ihre Plausibilität geprüft werden. Die Datensammlung als Ganzes wurde bereits einer Prüfung während des Praktikums unterzogen und als plausibel eingestuft (OG 2020: 10–21). Die Plausibilität ist auch ein zentraler Schwerpunkt der Masterarbeit von ENGEL (2020). In der Arbeit wurden lediglich die Starkregenereignisse untersucht, aber mit dem Schluss, dass auch die Ergebnisse als plausibel einzuschätzen sind. Dabei wurde auf eine Trendanalyse verzichtet und die Länge der Datenreihe ist zeitlich beschränkt (ENGEL 2020: 51–53). Da sich die Einsatzarten unterscheiden, werden die Sturmereignisdaten zeitgleich mit der Analyse auch auf ihre Plausibilität untersucht.

4. Ergebnisse

Die Datenbank umfasst 5938 Einträge aus dem Zeitraum von 1999 bis 2019, da ab diesem Zeitpunkt Einsatzarchive von Feuerwehrseiten vorhanden sind. Einträge beziehen sich auf die erstellte Datenbank und beschreiben ein Sturmereignis zu einem Datum. Einsätze beschreiben wie oft die Feuerwehr zu einem Ereignis ausfahren musste, um Hilfe zu leisten. Fahren mehrere Feuerwehren aus verschiedenen Gemeinden aus, gibt es zu jeder Gemeinde einen Eintrag zum Ereignis. Die Feuerwehr kann zu mehreren Einsatzorten in der Gemeinde gerufen werden, sodass zu einem Eintrag mehrere Einsätze zugeordnet werden können. Zu beachten gilt, dass die Anzahl von Einsätzen ungenauer ist, da nicht zu jedem Eintrag die genaue Anzahl von Einzeleinsätzen bekannt ist. Es liegen lediglich 26 Einträge vor dem Zeitraum. Die Anzahl von Einträgen nimmt von 1999 bis 2007, mit Ausnahme von 2003, auf 245 Einträge stetig zu. Ab 2007 liegt das Minimum mit 83 Einträgen im Jahr 2009. Im Zeitraum von 2010 bis 2016 nimmt die Anzahl von Einträgen, im Vergleich zum Vorjahr, nicht zu. Das

Maximum liegt in 2018 mit 981 Einträgen. 2019 nimmt die Anzahl erneut stark ab auf 590 Einträge (Abbildung 4).

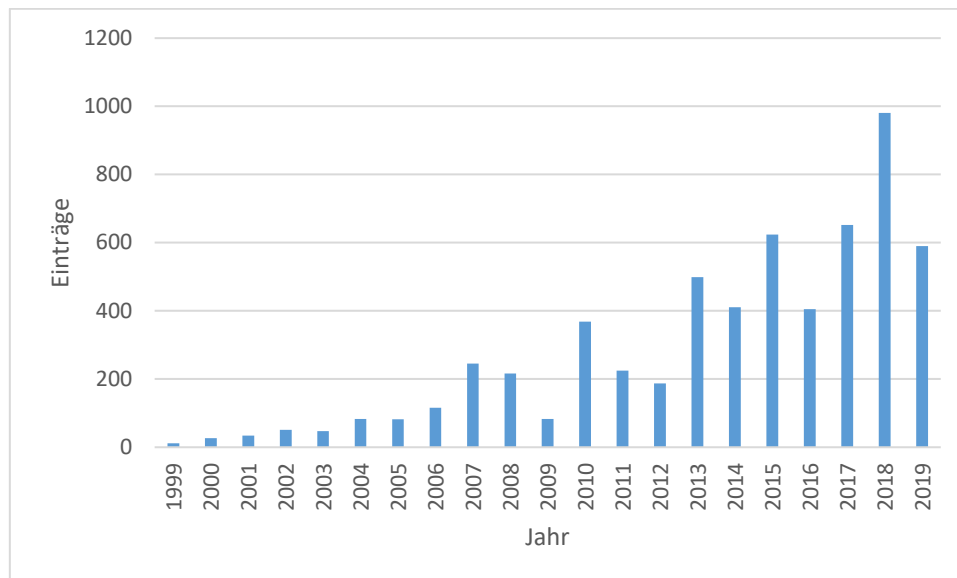


Abbildung 4: Anzahl von Einträgen von Sturmereignissen im Zeitraum von 1999 bis 2019

Bei der Betrachtung der Anzahl der Einsätze ergibt sich ein ähnliches Bild mit geringen Unterschieden. Im Zeitraum von 1999 bis 2019 wurden 16729 Einsätze erfasst, 27 weitere Einsätze liegen vor dem Zeitraum (Abbildung 5). Die Abbildungen 4 und 5 verlaufen bis auf das Jahr 2015 und den Jahren bis 2007 gleich. In den Jahren 2009, 2012 und 2016 ist die Anzahl von Einsätzen wesentlich geringer als in den Vor- und Folgejahren. Im Fall des Jahres 2009 ist die Anzahl um das Acht- bis Zehnfache geringer. Das Maximum liegt auch im Jahr 2018 mit 3412 Einsätzen. Trotz weniger Einträgen im Jahr 2019, als in den Jahren 2017 und 2015, liegt die Anzahl von Einsätzen in 2019 mit 2528 fast doppelt so hoch, wie in 2017 und 2015.

Bei der Darstellung der Häufigkeitsverteilung der Sturmereignisse in Hinsicht auf den Jahresverlauf, im betrachteten Zeitraum von 1981 bis 2019, liegen die Maxima in den Sommermonaten Juni, Juli und August und in den Wintermonaten Januar und März. Die Maxima schwanken von 873 (Juni) bis 682 (März) Einträgen. Von Januar bis Juni ist daher kein kontinuierlicher An- oder Abstieg zu verzeichnen. Ab Juni nimmt die Anzahl von Einträgen bis November auf 142 ab (Abbildung 6).

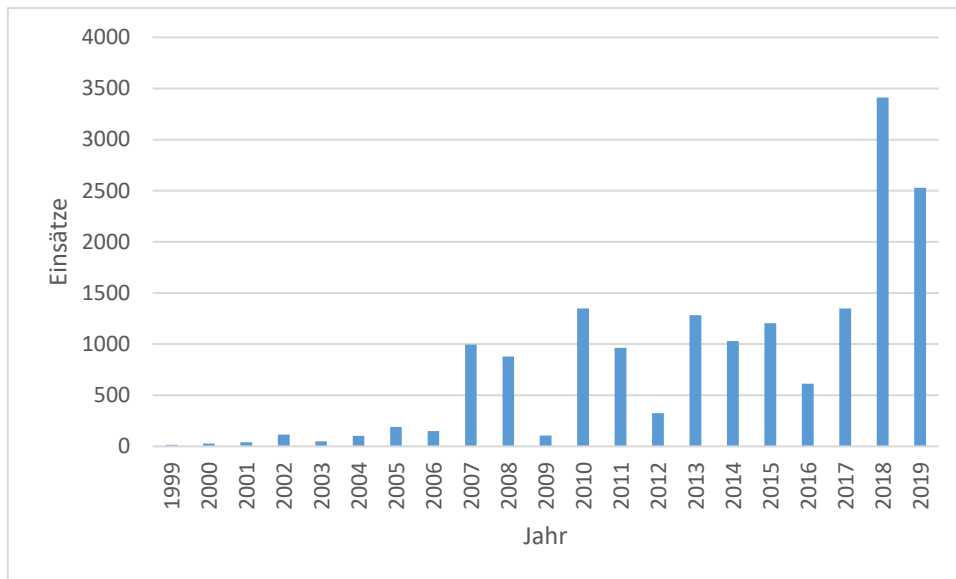


Abbildung 5: Anzahl von Einsätzen von Sturmereignissen im Zeitraum von 1999 bis 2019

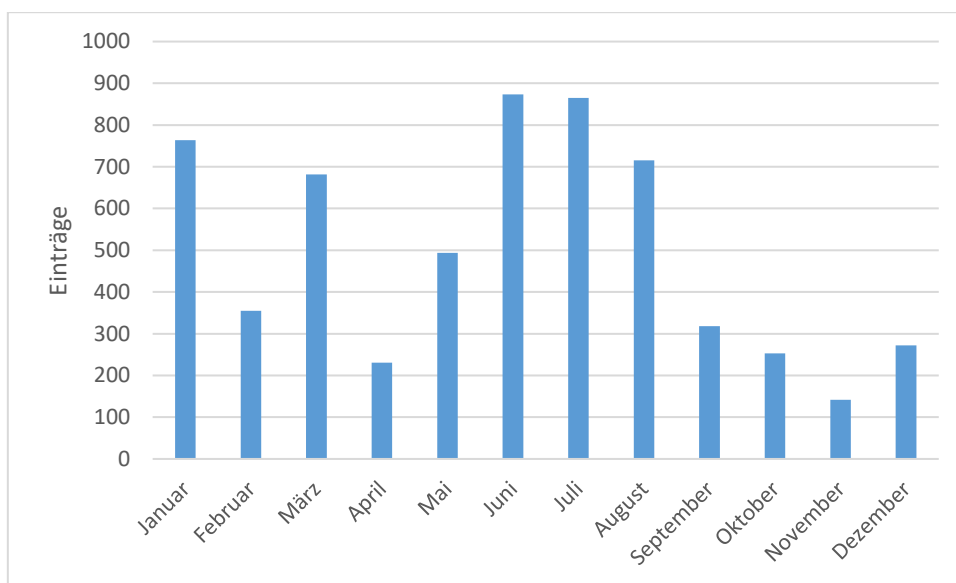


Abbildung 6: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen der Sturmereignisse von 1981 bis 2019

Bei der Anzahl von Einsätzen im Jahresverlauf liegen die Maxima auch in den Sommer- und Wintermonaten. Die absoluten Maxima liegen im August mit 3534 Einsätzen, im Januar (2100 Einsätze) und März (2413 Einsätze). Sie liegen somit über der Anzahl von Einsätzen im Juni (1888 Einsätze) und Juli (2027 Einsätze) (Abbildung 7).

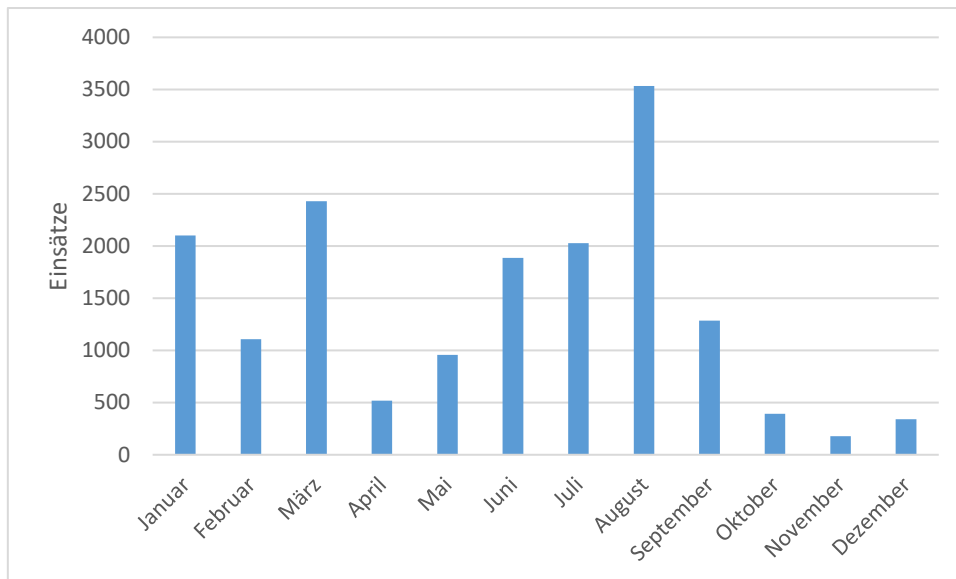


Abbildung 7: Jahresverteilung der Anzahl von Einsätzen der Sturmereignisse von 1981 bis 2019

Anhand der Zusatzinformationen aus den Einsatzarchiven der Feuerwehren wurden 22 Stürme/Tiefs namentlich dokumentiert und ein Zeitraum ihres Wirkens angegeben. Zu beachten ist, dass der Zeitraum sich auf die Datenbank bezieht. Somit konnte die Zusatzinformation „Sturm Friederike“ bei Einträgen am 18.01 und 19.01.2018 gefunden werden. Der Sturm selbst hat Deutschland nur am 18.01. getroffen. Es kann somit nicht ausgeschlossen werden, dass Einträge nach dem genannten Zeitraum in Verbindung mit dem Sturmereignis stehen (Tabelle 5). Der Anteil der namentlich genannten Sturmereignisse, an der Gesamtanzahl von Einträgen und Einsätzen der Datenbank, macht 22,1 % (1319 Einträge) und 39 % (6542 Einsätze) aus.

Tabelle 5: Namentlich genannte Sturmereignisse der Datenbank

Stürme /Tiefs	Zeitraum/Datum	
Jeanett	27.10.2002	
Ursula	08.02.2004	
Kyrill	18.01.2007	21.01.2007
Emma	01.03.2008	04.03.2008
Xynthia	28.02.2010	01.03.2010
Olivia	14.07.2010	
Andrea	05.01.2012	
Christian	27.10.2013	28.10.2013
Xaver	05.12.2013	06.12.2013
Niklas	31.03.2015	03.04.2015
Siegfried	05.07.2015	
Zjelko	15.07.2015	
Heini	18.11.2015	
Egon	13.01.2017	15.01.2017
Thomas	09.07.2017	
Herwart	30.10.2017	
Burglind	03.01.2018	
Friederike	18.01.2018	19.01.2018
Fabienne	23.09.2018	24.09.2018
Bennet	04.03.2019	
Eberhardt	09.03.2019	10.03.2019
Bernd	18.08.2019	

Die Zusatzinformationen der Einträge geben einen Überblick über die Einsatzart. Es werden vier verschiedene Kategorien mit Stürmen in Verbindung gebracht: „Stürme“, „Unwetter“, „Bäume“ und „Gegenstände“. Eine weitere Kategorie ist „mehrere Treffer“, sie umfasst Einträge auf welche mehrere Kategorien passen. Dies bedeutet, dass sowohl „Gegenstände“, als auch „Bäume“ beschädigt wurden oder entfernt werden mussten. Der größte Anteil mit 3728 Einträgen sind Einsätze, bei denen Bäume oder Äste entfernt werden mussten. Danach folgen Unwetter- und Sturmereignisse mit 846 beziehungsweise 832 Einträgen. Die wenigsten Einträge betreffen Gegenstände, darunter fallen auch Gebäudeschäden, mit 151 Einträgen. Unter die Kategorie

„mehrere Treffer“ fallen 407 Einträge. Erneut gilt, dass es sich dabei um eine grobe Einteilung handelt und es zu Überschneidung kommen kann, insbesondere Unwetter- und Sturmereinsätze sind relativ ungenaue Angaben (Abbildung 8).

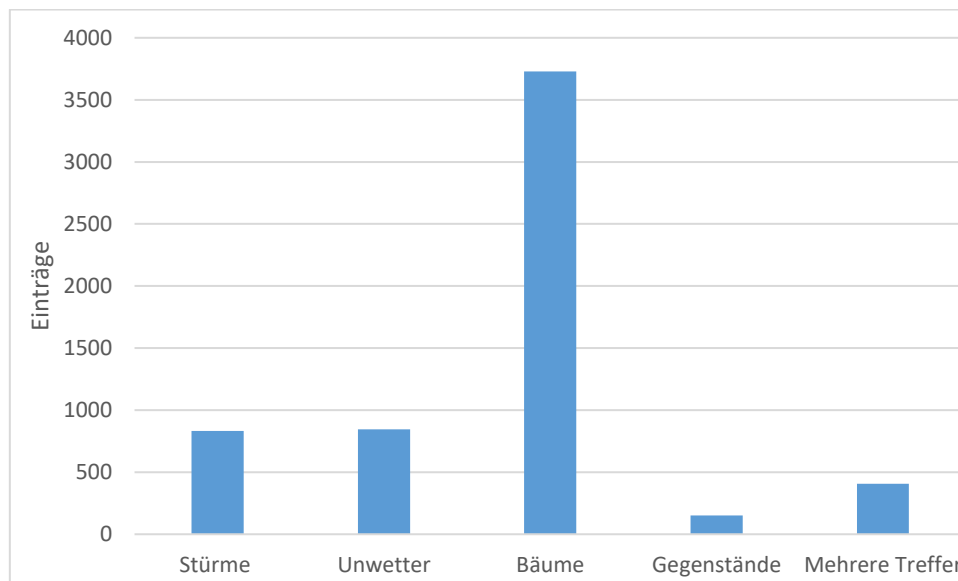


Abbildung 8: Einsatzarten der Einträge

Splittet man die Einträge der „mehreren Treffern“ in die vier Kategorien auf, stehen 379 der 407 Einträge in Verbindung mit Einsätzen, bei denen Bäume und Äste beseitigt oder entfernt werden mussten. 213 mit Gegenständen und Hausschäden, 171 mit Sturmschäden und 74 mit Unwettern (Anhang 1).

Bei der Aufschlüsselung der Einsatzarten nach Landkreisen zeigen sich deutliche Unterschiede. Bei den Sturmereinsätzen liegt der Anteil an den Gesamteinträgen in den kreisfreien Städten mit 38,4 % am höchsten, gefolgt vom Rheingau-Taunus-Kreis (28,5 %) und dem Landkreis Fulda (23,4 %) (Tabelle 6). Eine Aufschlüsselung der einzelnen kreisfreien Städte kann im Anhang nachgesehen werden (Anhang 29). Den geringsten Anteil mit 3,6 % hat der Landkreis Hersfeld-Rotenburg. Bei den Unwetterereinsätzen hingegen hat der Landkreis Hersfeld-Rotenburg den zweithöchsten Wert mit 24,1 %, lediglich der Wetteraukreis hat mit 43,7 % einen höheren Anteil. Den geringsten Anteil haben die Landkreise Darmstadt-Dieburg und Bergstraße mit 5,5 %, respektive 4,6 %. Bei den Baumeinsätzen hat der Landkreis Marburg-Biedenkopf den größten Anteil mit 82,2 %, gefolgt vom Hochtaunuskreis (75,8 %) und dem Landkreis Waldeck-Frankenberg (75,2 %). Den geringsten Anteil haben der Wetteraukreis und die kreisfreien Städte mit 42,9 % und 26 %. In der Kategorie „Gegenstände“ liegt der Anteil im Vogelsbergkreis bei 0 % und im Landkreis Hersfeld-Rotenburg bei 0,5 %. Die meisten Einsätze der Art wurden im Landkreis Groß-Gerau (4,5 %) und Darmstadt-Dieburg, (5,7 %) verzeichnet. In der letzten Kategorie, „mehrere Treffer“ liegt der Anteil im Odenwaldkreis bei

0,9 % und im Rheingau-Taunus-Kreis bei 2,2 %. Hingegen liegt der Anteil im Main-Kinzig-Kreis bei 15,5 % und im Landkreis Groß-Gerau bei 18,6 %.

Tabelle 6: Anzahl der Einsätze nach Kategorien und ihr prozentualer Anteil je Landkreis

Landkreis	Sturm/Tiefs/Orkane	Anteil (%)	Unwetter	Anteil (%)	Ast/Baum	Anteil (%)	Gegenstände/Dächer	Anteil (%)	Mehrere Treffer	Anteil (%)
Bergstraße	30	9,8	14	4,6	228	74,5	10	3,3	24	7,8
Darmstadt-Dieburg	75	12,5	33	5,5	417	69,5	34	5,7	41	6,8
Gießen	38	14,6	28	10,8	178	68,5	2	0,8	14	5,4
Groß-Gerau	34	13,8	16	6,5	140	56,7	11	4,5	46	18,6
Hersfeld-Rotenburg	8	3,6	53	24,1	139	63,2	1	0,5	19	8,6
Hochtaunuskreis	18	6,0	17	5,6	229	75,8	11	3,6	27	8,9
Kreisfreie Städte	56	38,4	30	20,5	38	26,0	3	2,1	19	13,0
Lahn-Dill-Kreis	20	19,6	11	10,8	65	63,7	2	2,0	4	3,9
Landkreis Fulda	49	23,4	38	18,2	109	52,2	6	2,9	7	3,3
Landkreis Kassel	65	18,1	48	13,4	228	63,5	3	0,8	15	4,2
Landkreis Offenbach	25	5,9	96	22,7	262	62,1	17	4,0	22	5,2
Limburg-Weilburg	30	14,5	14	6,8	150	72,5	4	1,9	9	4,3
Main-Kinzig-Kreis	25	9,0	53	19,1	144	52,0	12	4,3	43	15,5
Main-Taunus-Kreis	92	23,0	59	14,8	221	55,3	10	2,5	18	4,5
Marburg-Biedenkopf	14	4,4	26	8,1	264	82,2	2	0,6	15	4,7
Odenwaldkreis	25	21,4	24	20,5	66	56,4	1	0,9	1	0,9
Rheingau-Taunus-Kreis	127	28,5	95	21,3	209	47,0	4	0,9	10	2,2
Schwalm-Eder-Kreis	13	5,6	48	20,8	153	66,2	5	2,2	12	5,2
Vogelsbergkreis	14	8,6	36	22,1	95	58,3	0	0,0	18	11,0
Waldeck-Frankenberg	21	10,2	13	6,3	155	75,2	4	1,9	13	6,3
Werra-Meißner-Kreis	16	7,8	18	8,8	144	70,2	6	2,9	21	10,2
Wetteraukreis	37	16,9	76	34,7	94	42,9	3	1,4	9	4,1

Bei der Betrachtung der Jahresverläufe im Zeitraum von 2019 bis 2015, sind Maxima in den Monaten Januar, März, Juli und August zu erkennen (Anhang 4 bis 8). Das Maximum im Januar stammt aus dem Jahr 2018 mit 285 Einträgen, im März aus dem Jahr 2019, 273 Einträge und 2015 mit 158 Einträgen. Aus dem Jahr 2015 stammt auch das Maximum im Juli, im August ist es das Jahr 2018. Der Zeitraum bildet somit den größten Anteil an den Gesamteinträgen. Im Zeitraum von 2014 bis 2010, gibt es ein Maximum im Februar 2010, 127 Einträge, eines im Juni 2013, 186 Einträge und im August gibt es zwei Maxima aus den Jahren 2013 und 2011 (Anhang 9 bis 13). Im Zeitraum 2009 bis 2005 gibt es zwei Maxima. Eines liegt im Januar des Jahres 2007 mit 136 Einträgen und eines im März des Jahres 2008 mit 87 Einträgen (Anhang 14 bis 18). Im Zeitraum 2004 bis 2000 sind drei Maxima zu erkennen. Juni 2003 mit 21 Einträgen, Juli 2004 mit 21 Einträgen und Oktober 2002 mit 27 Einträgen (Anhang 19 bis 23). Zu beachten ist, dass die Maxima relativ zu der Skalierung stehen. In allen Zeiträumen liegen die Werte der Jahre, mit Ausnahme der Maxima, relativ nahe beieinander.

Auf Landkreisebene sind die meisten Einträge in Darmstadt-Dieburg mit 600 zu verzeichnen, gefolgt vom Rheingau-Taunus-Kreis mit 445 und dem Landkreis Offenbach mit 422. Am wenigsten Einträge haben die kreisfreien Städte mit 146, der Odenwaldkreis mit 117 und der Lahn-Dill-Kreis mit 102 (Abbildung 9).

Betrachtet man die Anzahl der Einsätze, gab es in den kreisfreien Städten mit 3058 Einsätzen am meisten. Die Landkreise Darmstadt-Dieburg und Offenbach haben die zweit- und dritthöchsten Werte mit 1802, respektive 1493 Einsätzen. Am wenigsten Einsätze sind erneut im Lahn-Dill-Kreis zu verzeichnen mit 173, gefolgt vom Landkreis Limburg-Weilburg mit 303 und dem Odenwaldkreis mit 305 (Anhang 2).

Von den 423 Gemeinden wurden zu 347 (82 %) Einsatzarchive gefunden und der Datenbank hinzugefügt. Zu 76 Gemeinden wurden keine Einträge zum Zeitpunkt der Erstellung der Datenbank gefunden (Abbildung 10). Die mittlere Abdeckung der Reg.-Bez. unterscheidet sich deutlich. Im Reg.-Bez. Darmstadt liegt der prozentuale Anteil der Abdeckung bei 89,8 %, im Reg.-Bez. Gießen bei 81,8 % und im Reg.-Bez. Kassel bei 71,3 %. Es ist ein Nord-Süd-Gefälle zu erkennen mit einer geringeren Abdeckung im Norden. Bei der Anzahl von Einsätzen sind die höchsten Werte in den kreisfreien Städten und der Stadt Marburg vorzufinden (Anhang 3). Frankfurt am Main verzeichnet 1637 Einsätze, Kassel 337, Offenbach 192 und Wiesbaden 646 Einsätze.

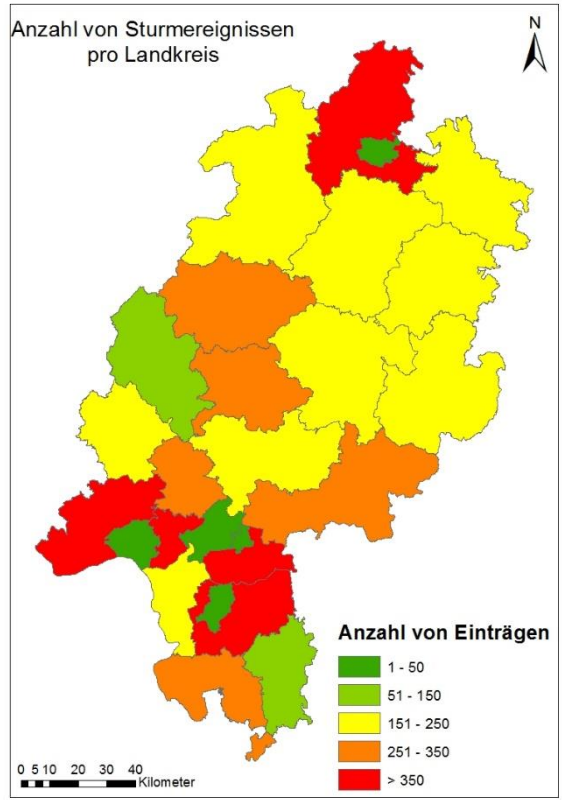


Abbildung 9: Anzahl von Einträgen pro Landkreis insgesamt

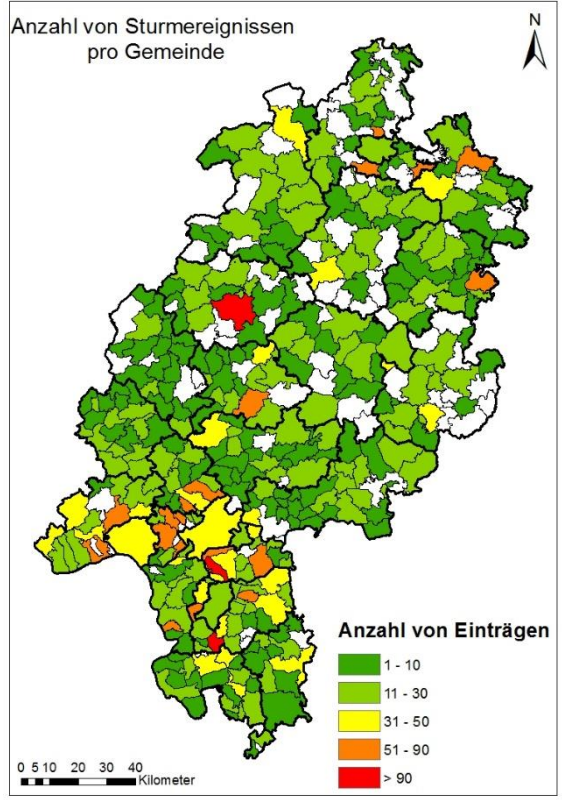


Abbildung 10: Anzahl von Einträgen pro Gemeinde insgesamt

5. Interpretation und Diskussion

Mithilfe der Daten aus dem theoretischen Teil und den Ergebnissen der Datenbank wird versucht Antworten, auf die Fragen aus der Einleitung, zu finden. Die Gründe für die Veränderungen, Anstiege etc. sind vielfältig. Das Kapitel hat das Ziel, einen Großteil der Gründe zu beleuchten und die Ergebnisse kritisch zu betrachten. Die ersten zwei Unterkapitel beschäftigen sich mit anthropogenen Faktoren, die Einfluss auf die Ergebnisse und Datenbank haben können. Das dritte Unterkapitel hat das Thema Sachschäden durch Stürme. Die restlichen Kapitel, 5.4 bis 5.8, untersuchen, ob klimatische, räumliche, zeitliche oder kategoriale Signale zu erkennen sind.

5.1 Bereitstellung der Daten und technologischer Fortschritt

Zu Beginn muss erneut erwähnt werden, dass die Datenbank eine subjektive Komponente besitzt und keinen Anspruch auf 100%ige Vollständigkeit hat. Beides hat seine Ursache in der Tatsache, dass die Datenbank über einen längeren Zeitraum erstellt und aktualisiert worden ist und die Tätigkeit von mehreren Praktikanten ausgeübt wurde. Die Folge sind minimale Unterschiede in der Dokumentation in der Datenbank. Für die Masterarbeit wurde die Datenbank vervollständigt und der Versuch unternommen, fehlende Einträge nachzutragen. Trotz der geringen Unterschiede besitzt die Datenbank genügend Einträge und vergleichbare Dokumentation, sodass aussagekräftige Schlussfolgerungen und Ergebnisse möglich sind.

Eines der wichtigsten Themen bei der Betrachtung der Daten und ihrer Quantität ist das des technologischen Fortschritts, vor allem durch die Entwicklung des Internets und die Datenverfügbarkeit beziehungsweise -bereitstellung. Es muss erneut herausgestellt werden, dass der Großteil, nämlich 5878 Einträge von 5964 der genutzten Daten auf Internetseiten von Freiwilligen und Berufsfeuerwehren basiert und nur ein geringer Teil aus Quellen wie: Presse, Unwetterdatenbanken oder sozialen Medien. Die Internetseiten der Feuerwehren sind freiwillig erstellt worden, was bedeutet, dass es Personen geben muss, die die Internetseiten pflegen und aktualisieren. Es ist somit keine Pflicht ihre Einsatzdaten der Öffentlichkeit zur Verfügung zu stellen. Umso besser ist es, dass so viele Internetseiten mit Einsatzarchiven bestehen, um genügend Daten zu erheben, um Aussagen zu tätigen. Hinzu kommt, dass die Datenbank zeitlich limitiert ist. Das bedeutet, dass sie zu einem Zeitpunkt erstellt worden ist und in dem auch nach Daten gesucht wurde. In dem Zeitraum waren einige Internetseiten

im Auf- oder Umbau inbegriffen und es können Daten zu Gemeinden zum jetzigen Zeitpunkt zur Verfügung stehen, die in der Arbeit nicht betrachtet werden konnten.

Der Umfang und Qualitätsunterschied der Einsatzdaten sind weitere Faktoren bei der Datenbetrachtung. Nicht alle Internetseiten decken den gleichen Zeitraum ab und die Informationen zu den Einsätzen sind sehr unterschiedlich. Die meisten Feuerwehren veröffentlichen Einsatzdaten ab dem Zeitpunkt der Erstellung der Internetseiten und nur wenige laden Archivdaten hoch. Drei Freiwillige Feuerwehren, nämlich die von Marburg-Mitte, von Okriftel und von Oberursel-Weißkirchen haben Einsatzarchive, welche relevant für Sturmereignisse ab 1999 sind, auf ihren Internetseiten. Damit markiert das Jahr 1999 den Zeitpunkt, wo die Datengrundlage nicht mehr aus dokumentierten Einzelergebnissen besteht, sondern komplette Jahresverläufe betrachtet werden können. Abbildung 4 zeigt, wie die Datenmenge mit den Jahren steigt, die einzelnen Schwankungen werden in den späteren Abschnitten untersucht. Im Jahr 2006 liegt die Anzahl erstmalig über 100 Einträgen. Die Vermutung liegt daher nahe, dass der allgemeine Anstieg im Zusammenhang mit der Zunahme der Internetaktivität und der Bereitstellung der Daten steht.

Bei der Betrachtung der Entwicklung der Anzahl von Einsätzen (Abbildung 5) sind die eben genannten Faktoren auch von Bedeutung. Hinzu kommt die Qualität der Einsatzarchive, welche sehr unterschiedlich ist. In vielen Fällen besteht die Information lediglich aus Einsatzort, -art und -datum und ohne Zusatzinformationen. Es ist daher oftmals unklar, ob unter dem Einsatzeintrag mehrere Einzeleinsätze fallen. Sofern keine Informationen vorhanden waren, wird der Eintrag mit einem Einsatz versehen. Die Problematik sollte nicht sonderlich stark ins Gewicht fallen, da der Verlauf der Anzahl von Einträgen und Einsätzen relativ ähnlich verläuft.

Die Qualität hat den größten Einfluss bei der Betrachtung und Unterscheidung in Einsatzarten. Die Beschreibung der Einsatzart ist meist subjektiver Art, insbesondere in den Kategorien „Sturm“ und „Unwetter“. Zwar ist bekannt, dass ein Sturm einen Einsatz hervorgerufen hat, jedoch ist in vielen Fällen eine genauere Differenzierung nicht möglich. Hinzu kommen die möglichen Überschneidungen. Ein Sturmeinsatz kann die Entfernung eines Baumes von der Straße sein, wohingegen eine andere Internetseite denselben Einsatz als Unwettereinsatz klassifiziert. Mithilfe von genauen Zusatzinformationen zu den Einsätzen kann die Ungenauigkeit verringert werden.

5.2 Bewertung Abdeckung durch Einwohnerzahlen

Wie bereits in Kapitel 2.1 dargestellt, unterscheiden sich die Einwohnerzahlen und Bevölkerungsdichten in den einzelnen Reg.-Bez. und folglich in den Landkreisen deutlich. Auch im Anteil der Siedlungsfläche zeigt sich der Unterschied. Eine Vermutung ist daher, dass in den bevölkerungsreichen Gebieten, vor allem in den kreisfreien Städten und ihrer Umgebung, die Anzahl von Einträgen höher ist. Gründe hierfür können sein, dass die Orts- und Stadtteile größer sind, folglich eine größere Feuerwehr vorhanden ist und eine bessere Bereitstellung von Daten gewährleistet ist. Das muss nicht zwangsläufig der Fall sein, was bei der Betrachtung der Anzahl in den kreisfreien Städten deutlich wird. In den kreisfreien Städten sind Berufsfeuerwehren mit Stadtteilfeuerwehren vorhanden, jedoch ist die Menge an vorhandenen Daten, in der Datenbank, im Vergleich zu anderen Gemeinden geringer (Abbildung 10). Das liegt daran, dass die Berufsfeuerwehren weniger Einsatzdaten ins Internet hochladen oder man möglicherweise keinen öffentlichen Zugriff auf die Daten hat.

Die Städte wären jedoch sehr interessant zu untersuchen. In den Gebieten leben mehr Menschen, sodass potenziell mehr Menschen von Sturmereignissen direkt oder indirekt betroffen sein könnten und somit mehr Einsätze generieren. Das die wenigen Einträge der kreisfreien Städte viele Einzeleinsätze besitzen, wurde bereits in Kapitel 4 festgestellt. Inwiefern sich die Vermutung in der Einsatzart widerspiegelt, wird im Kapitel 5.7 untersucht. Am besten lassen sich die Beobachtungen anhand von Beispielen darlegen.

Wie bereits in Abbildung 10 dargestellt, ist ein Nord-Süd-Gefälle in Hessen zu erkennen. Zu Gemeinden mit weißen Flächen wurden keine Einträge gefunden. Das Rhein-Main-Gebiet sticht mit vielen Gemeinden mit über 30 Einträgen heraus, die durch die gelben und orangen Flächen symbolisiert sind. Die Stadt Marburg hat die meisten Einträge in den nördlicheren Gebieten. In Nordhessen gibt es einzelne Gemeinden mit höheren Anzahlen an Einträgen. Vergleicht man die absoluten Zahlen mit Einträgen pro 100.000 Einwohner, verändert sich das Bild deutlich (Abbildung 11). Auf den ersten Blick ist die Verteilung homogener und es ist kein Nord-Süd-Gefälle mehr zu erkennen.

Die geringsten Werte in den Landkreisen liegen nun in den kreisfreien Städten und in Mittelhessen: Lahn-Dill-Kreis, Landkreis Gießen, Wetteraukreis, Main-Kinzig-Kreis und Landkreis Fulda (Abbildung 11, rechts). Die Werte der kreisfreien Städte, sowohl für die Betrachtung auf Gemeinde- und Landkreisebene, liegen im Bereich von 5 Einträgen pro 100.000 Einwohner in Frankfurt am Main und 16 Einträge pro 100.000 Einwohner in Offenbach am Main. In Südhessen ist die Signatur geringer geworden, lediglich im Rheingau-Taunus-Kreis und im Landkreis Darmstadt-Dieburg blieben die Werte im hohen Bereich. Bei den Einträgen pro Einwohner liegen die Zahlen durchgehend bei über

121 Einträgen pro 100.000 Einwohner. Auch in der Einzelbetrachtung haben viele Gemeinden hohe Werte über 201 Einträge pro 100.000 Einwohner. Der größte Unterschied von absoluten Einträgen zu relativen ist jedoch in den Landkreisen und Gemeinden in Nordhessen zu erkennen (vgl. Abbildung 9 und 10). Der Vergleich von absoluten und relativen Zahlen soll lediglich deutlich machen, dass es einen Zusammenhang gibt zwischen der Anzahl von Einträgen und der Einwohnerzahl in den einzelnen Gemeinden. In absoluten Zahlen hat es den Anschein, dass in Südhessen und dem Rhein-Main-Gebiet mehr Einträge vorhanden sind. Die Anzahl von Einträgen pro Einwohner zeigt auf, dass auch die Gebiete in Nordhessen relativ viele Einträge haben. Folglich muss man im Hinterkopf behalten, dass eine Häufung von Einträgen in mehr städtischen Bereichen, beispielsweise dem Rhein-Main-Gebiet, durch die Bevölkerung beeinflusst sein kann. Bei der Betrachtung auf Landkreisebene muss beachtet werden, dass es Gemeinden gibt, welche keine Meldungen zu Einsätzen haben. Jedoch wurde in der Darstellung mit der Gesamteinwohnerzahl der Landkreise gerechnet. Im Falle von Abbildung 11 ist das kein Problem, da die tatsächlichen Werte somit höher wären und auf die zu untersuchende Frage bereits eine positive Antwort gab.

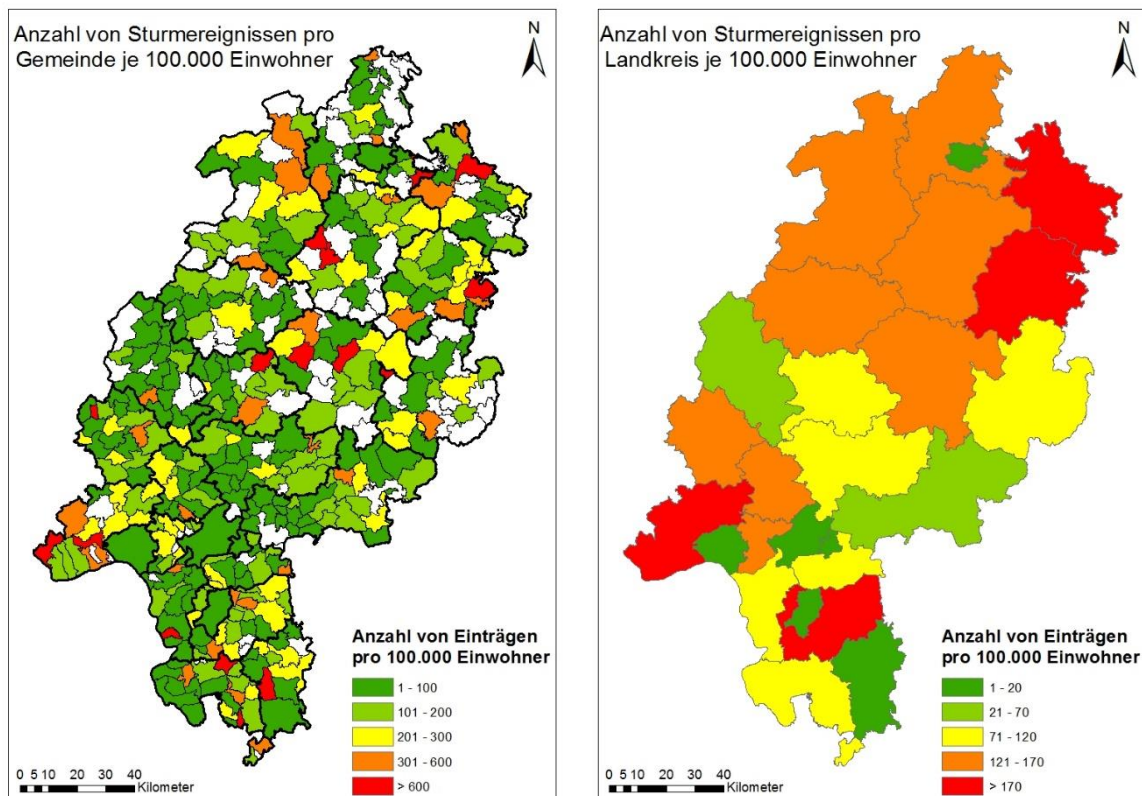


Abbildung 11: Anzahl von Einträgen pro 100.000 Einwohner je Gemeinde (links), Anzahl von Einträgen pro 100.000 Einwohner je Landkreis (rechts)

Die Abbildungen und Ergebnisse zeigen, dass bei der Betrachtung von absoluten Zahlen von Einträgen es zu anderen Schlussfolgerungen von Verteilungen kommen kann. Folglich werden bei kom-

menden Abbildungen, falls thematisch als notwendig betrachtet, sowohl die absoluten Zahlen als auch die Einträge pro 100.000 Einwohner angegeben und gezeigt.

5.3 Grenzen der Schadensbewertung

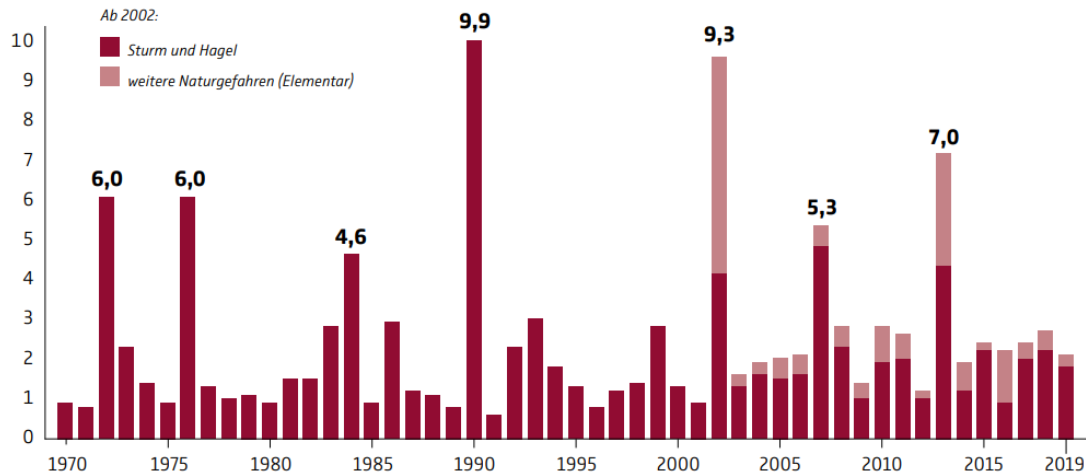
Die Datenbank lässt keine Aussagen über die entstandenen Schäden zu. Der Grund dafür ist, dass die Einsatzdaten von den Feuerwehren zeitnah hochgeladen werden, was dazu führt, dass es zu dem Zeitpunkt noch keine Informationen über die Schadensmenge gibt. Zum anderen gehört es nicht zu den Kernaufgaben und zum Expertenfeld der Feuerwehren Schadenssummen festzustellen. Lediglich bei Flächenbränden, die für das Thema der Arbeit irrelevant sind, gibt es geringe Angaben über Schadenssummen, da manchmal Zeitungsartikel mit genaueren Angaben zu den Einsätzen auf den Internetseiten verlinkt werden. Auch dies ist bei Sturmereignissen nicht vorzufinden, da es Einzeleinsätze nicht in die Zeitung schaffen, sondern meist nur Großereignisse mit vielen Einsätzen. Auch hier liegt die Vermutung nahe, dass bei Großereignissen zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der Zeitung keine genauen Schadenssummen bekannt sind oder nur Schätzungen. Falls welche vorhanden sind, findet keine Verlinkung mit den Feuerwehrseiten statt. Ein Beispiel hierfür ist das Orkantief „Friederike“. Der Spiegel (2018) hat einen Artikel am 19.01.2018 veröffentlicht und damit einen Tag nach dem Orkandurchzug. Im Artikel wurde abgeschätzt, dass ein Schaden von 500 Millionen Euro entstanden ist. Eine Woche später hat die GDV (2018a) genauere Zahlen veröffentlicht und die Sachschäden haben sich mittlerweile auf 900 Millionen Euro beziffert. Der Fall zeigt deutlich, wie die Zahlen sich mit der Zeit verändern. Ein weiterer Faktor ist, dass bei Großereignissen die Schäden für ganz Deutschland angegeben werden und nicht nur für Hessen.

Da die Datenbank keine Daten zu den Schadenssummen liefert, wird das Thema Sturmschäden nur kurz aufgegriffen und die Entwicklung der Schadenssummen lediglich angerissen. Die folgenden Zahlen und Aussagen beziehen sich auf Versicherungsschäden. Die Versicherungen zahlen bei Sturmschäden erst ab einer Windstärke von Bft 8, also 62 km/h (ALBRECHT 2017). Zwischen 1980 und 2006 machten Winterstürme, mit 56 %, den Großteil der Gesamtschäden durch Stürme aus und 24 % waren Unwetter und Sommerstürme. Bei den Versicherungsschäden liegt der Anteil der Winterstürme bei 64 % (BRÄUER et al. 2009: 37).

Betrachtet man die Entwicklung der Sachschadensmenge von 1970 bis 2019, dabei werden Sturm- und Hagelschäden zusammengenommen, lässt sich kein Trend innerhalb des Zeitraumes erkennen (Abbildung 12). Die Maxima in den Einzeljahren wie 1990, 2002, 2007 und 2013 sind keine

Einzelereignisse, sondern mehrere Großereignisse. Im Falle von 2013 waren dies die Stürme: „Andreas“, „Bernd“, „Ernst“, „Manni“ und „Norbert“.

Sachversicherung*: Jährlicher Schadenaufwand für Sturm, Hagel und weitere Naturgefahren (Elementar)**
in Mrd. €***



*) Wohngebäude, Hausrat, Gewerbe, Industrie und Landwirtschaft
 **) Schäden durch Überschwemmung/Starkregen, Hochwasser, Erdbeben, Erdsenkung, Schneedruck, Lawinen/Erdrutsch und Vulkane
 ***) Sturm-/Hagel-, seit 2002 auch weitere Naturgefahrenschäden (Elementar); hochgerechnet auf Bestand und Preise 2019

Abbildung 12: Jährliche Sachschäden für Naturgefahren in Deutschland (GDV 2020: 29)

Das die höchsten Schäden verursachende einzelne Sturmereignis war „Kyrill“ (2007) mit einem Gesamtschaden von 3,3 Milliarden Euro (GDVb 2018: 6–7).

Es lässt sich keine direkte Verbindung zwischen der Anzahl an Einträgen und Einsätzen und der Gesamtschadenssumme erkennen. Zwar beziehen sich die Schadenssummen auf ganz Deutschland, jedoch gibt es Angaben über die prozentuale Verteilung der Sturmschäden für die einzelnen Bundesländer. In der Verteilung liegt Hessen in den Einzeljahren im Schnitt in den Mittelwerten der anderen Bundesländer, das heißt es sind keine extremen Ausreißer zu erkennen, wodurch ein grober Vergleich möglich ist (GDVb 2018: 18). Es bleibt zu beachten, dass sich die Schäden auf Hagel und Stürme beziehen, was einen genaueren Vergleich auch erschweren würde.

5.4 Einfluss NAO

Ein wichtiger Faktor bei der Untersuchung der Ergebnisse ist, ob ein klimatisches Signal erkennbar ist, welches zu einer Änderung der Anzahl an Meldungen führen könnte. Hierfür wird der NAO-Index herangezogen. Die für ihn verwendeten Daten stammen von HURRELL (2020). Die NAO-Daten wurden mit der Anzahl von Einträgen korreliert, sowohl auf jährlicher als auch auf monatlicher Basis. Sowohl die Einzelwerte, die für die Korrelationen herangezogen wurden, als auch die berechneten Korrelati-

onen können im Anhang nachgesehen werden (Anhang 24 und 25). Der Korrelationswert aller Jahre, basierend auf den Jahreswerten von 2000 bis 2019 liegt bei 0,34, wodurch sich ein Bestimmtheitsmaß (R^2) von 0,1146 ergibt (Abbildung 13, links). Da die Datengrundlage in den 2000er Jahren sehr gering ist, wurden die Werte von 2010 bis 2019 erneut mit den Einträgen korreliert. Das Ziel ist zu schauen, ob eine kleinere Datenmenge mit mehr Einträgen in den Einzeljahren als in den 2000er Jahren, das Ergebnis positiv oder negativ beeinflusst. Heraus kommt, dass die Korrelation mit 0,30 geringer ausfällt (Abbildung 14, rechts). Nach COHEN (1988: 82) liegen die Werte im Grenzbereich der geringen bis mittlere Korrelation.

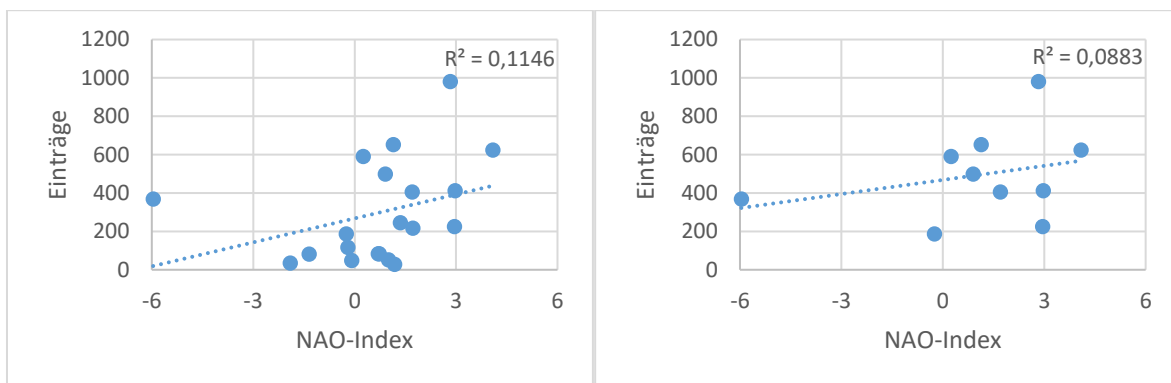


Abbildung 13: Jährliche Korrelation des NAO-Index und Einträge der Datenbank. (Links: 2000–2019, Rechts: 2010–2019)

Somit lässt sich sagen, dass die Korrelation in beiden Fällen der jährlichen Auflösung zu gering ist, um verlässliche Aussagen zu treffen. Im nächsten Schritt wurden die Daten auf monatlicher Ebene untersucht. Die Gesamtkorrelation liegt bei 0,14 und ist als gering zu bewerten. Jedoch lässt sich feststellen, dass der Anteil von Einträgen über 50 in einem Monat bei einem positiven NAO-Index höher ist (Abbildung 14). Schaut man in die Einzelwerte, lassen sich keine bestimmten Monate erkennen, die den höheren Anteil verursachen würden. Die Ergebnisse der Korrelationen müssen außerdem sehr kritisch betrachtet werden, da der betrachtete Zeitraum sehr kurz ist, die räumliche Abdeckung unklar ist und die Datenmenge zu gering ist.

Es lässt sich schlussfolgern, dass sowohl auf monatlicher als auch jährlicher Ebene keine signifikanten Korrelationen erkannt wurden, die einen Hinweis auf den Einfluss der NAO auf die Eintragszahlen geben. Auf eine genauere Durchsicht, um auch geringfügige Zusammenhänge zu finden und aus den genannten Gründen, wird verzichtet. Die allgemeine Korrelation ist bereits sehr gering und die Datenmenge würde bei selektiven Auswahlen noch stärker abnehmen, um zufriedenstellende und signifikante Ergebnisse zu erzielen.

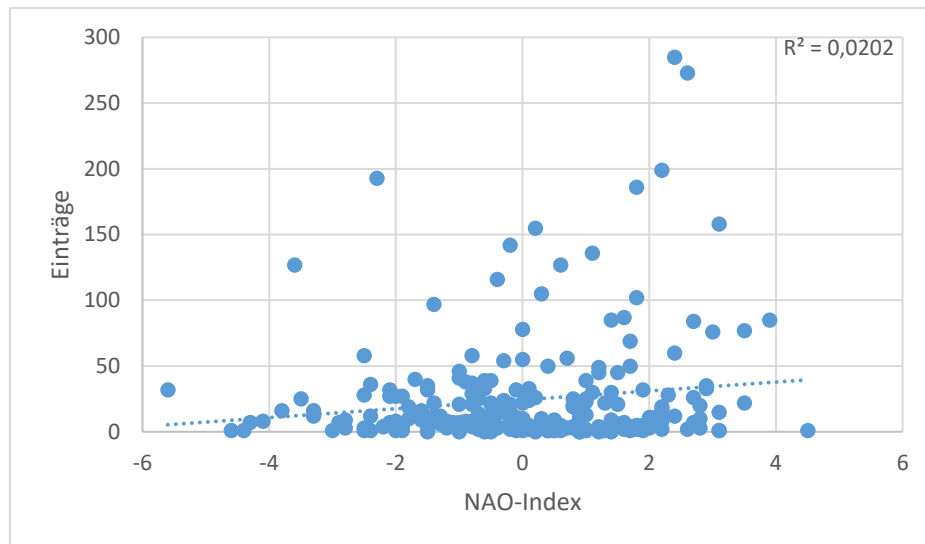


Abbildung 14: Monatliche Korrelation des NAO-Index und Einträge der Datenbank

5.5 Einzeljahranalyse

Eine Einzeljahranalyse gibt uns erste Hinweise auf räumliche und zeitliche Merkmale. Die Einzeljahranalyse ist ein Bestandteil der Gesamtuntersuchung und muss auch als solche betrachtet werden. Zu einer konkreten Aussage kann es erst nach der kritischen Auseinandersetzung aller Einzelanalysen kommen. Die Jahre 2013 bis 2019 sowie 2007 und 2010 werden hierzu genauer betrachtet. Der Grund für diese Vorgehensweise ist, dass in den genannten Jahren die Datengrundlage hoch genug ist, um vergleichbare Aussagen zu treffen (vgl. Abbildung 4). Abbildung 10 hatte bereits die Gesamteinträge gezeigt und es hat sich ein Nord-Süd-Gefälle gezeigt, welches jedoch relativiert worden ist durch die Einberechnung der Bevölkerungszahlen, sodass in Folge beide Karten gezeigt werden. Bei der folgenden Betrachtung werden die Eintragsdaten benutzt, sodass Einzelereignisse die Karten nicht stark verfälschen sollten und ein tatsächlicher Überblick über Jahresverläufe möglich ist.

Beginnend dabei mit den Jahren 2007 und 2010. In beiden Jahren sind bereits Sturmereignisse bekannt, namentlich „Kyrill“ (2007) und „Xynthia“ (2010), wodurch die Vermutung nahe liegt, dass diese die höhere Anzahl von Einträgen in den Jahren verursacht haben. Wie jedoch eben angesprochen, ändert es nichts an der Betrachtung. Im Jahr 2007 gibt es mehrere Gemeinden mit über 7 Einträgen, über Hessen verteilt. Bei den absoluten Zahlen sind das: Bad Homburg, Marburg und Eichenzell. Gemeinden mit 5 bis 6 Einträge sind vermehrt im Rhein-Main-Gebiet und im Werra-Meißner-Kreis vorzufinden. Bei der Betrachtung der Anzahl von Einträgen pro 100.000 Einwohner bleibt das Gebiet in Nordhessen bestehen. Im Odenwaldkreis und der Bergstraße sind gehäuft Einträge vorzufinden. Über Gesamthessen sind vereinzelt stärker betroffene Gemeinden vorzufinden (Abbildung 15).

Es muss angemerkt werden, dass alle folgenden Abbildungen die gleichen Farben benutzen, sich jedoch ihre Skalierung ändert. Der Grund ist, dass mit den Jahren die Anzahl an Einträgen stark zugenommen hat und es nicht sinnvoll ist, 2018 mit der Skalierung von 2007 anzugeben oder umgekehrt.

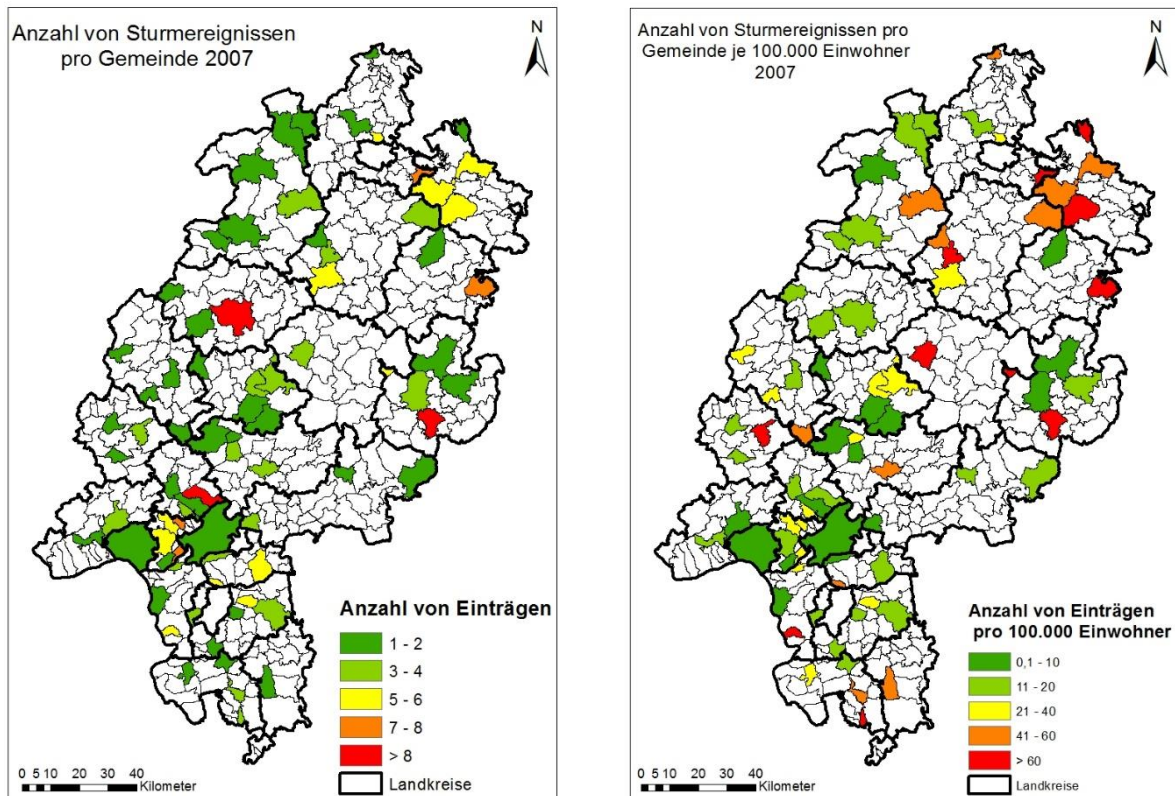


Abbildung 15: Anzahl von Einträgen pro Gemeinde im Jahr 2007 (links), Anzahl von Einträgen pro 100.000 Einwohner im Jahr 2007 (rechts)

Die Schwerpunkte in mehr urbanen Gebieten wurden geringer, was zu erwarten war. Ein Abgleich mit der Datenbank ergab, dass die Häufung von Einträgen tatsächlich über das ganze Jahr verteilt war. Die Informationen dienen als erster Referenzpunkt für die weitere Untersuchung. Die Frage ist, ob die Schwerpunkte in den anderen betrachteten Jahren ähnlich sind, was ein Hinweis wäre, dass in den Gemeinden die Feuerwehren mehr gemeldet haben. Die andere Möglichkeit wäre, dass die Schwerpunkte wechseln, wodurch andere Schlussfolgerungen möglich sind.

Im Jahr 2010 hat die Anzahl an Gemeinden mit Einträgen zugenommen. Die absolute Anzahl von Einträgen im Rhein-Main-Gebiet sowie dem Norden des Reg.-Bez. Darmstadt ist höher als 2007, jedoch relativiert sich das bei der Karte pro 100.000 Einwohner erneut. Der Schwerpunkt im Odenwaldkreis ist nicht mehr vorhanden und der Schwerpunkt im Werra-Meißner-Kreis ist weniger stark ausgeprägt. Hingegen ist Mittelhessen 2010 am stärksten betroffen (Abbildung 16). Auffällig ist außerdem, dass in Frankfurt am Main keine Einträge vorzufinden sind. Das bezieht sich jedoch nur auf Sturmereignisse, da für 2010 in Frankfurt Starkregenereignisse in der Datenbank verzeichnet sind.

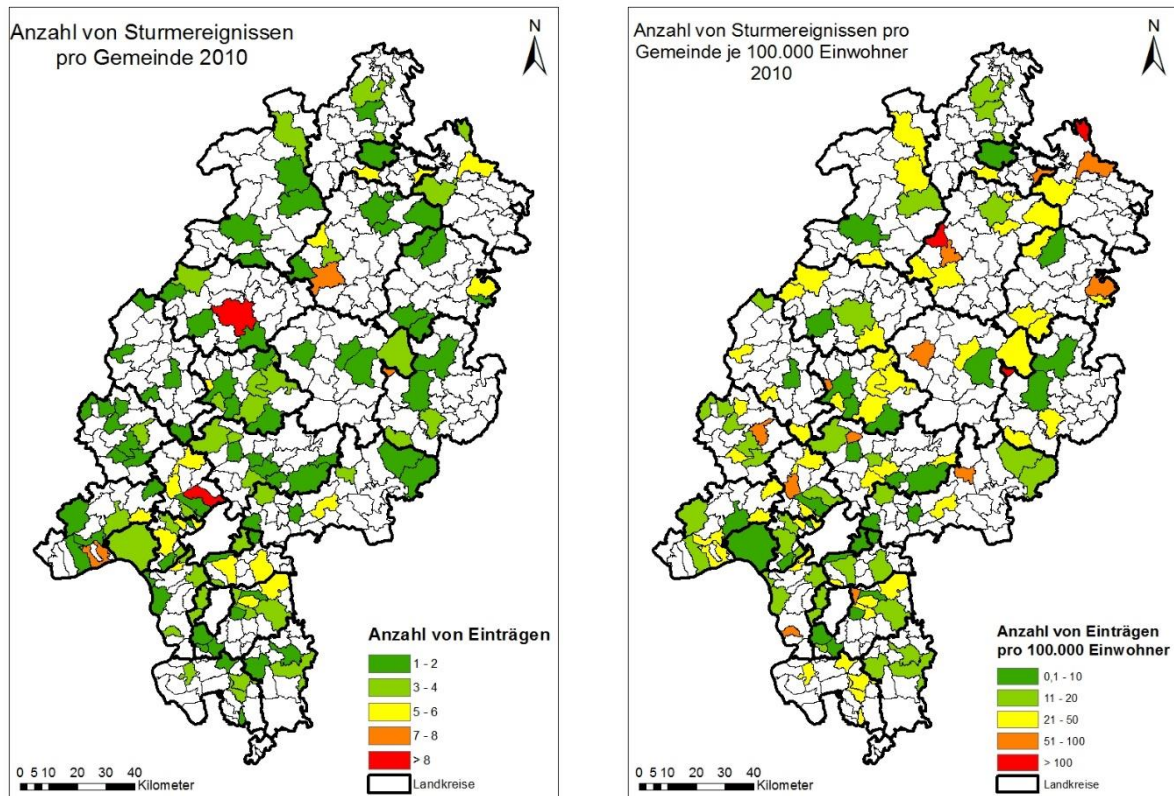


Abbildung 16: Anzahl von Einträgen pro Gemeinde im Jahr 2010 (links), Anzahl von Einträgen pro 100.000 Einwohner im Jahr 2010 (rechts)

Die Veränderung der Schwerpunkte ist ein erstes Anzeichen, dass der Effekt der Meldestärke einiger Gemeinden nicht der einzige Grund für eine Änderung in der Anzahl von Einträgen ist, sondern sich tatsächlich Gebiete identifizieren lassen, die in einzelnen Jahren stärker betroffen waren. Die These wird anhand der folgenden Jahre überprüft.

Die Jahre 2013 und 2014 wurden einfachheitshalber in einer Abbildung (Abbildung 17) zusammengefasst, um einen besseren Überblick zu gewährleisten. In absoluten Zahlen ist erneut das Rhein-Main-Gebiet und das Gebiet um Darmstadt, sowie Teile des Odenwalds und der Bergstraße stark betroffen. In Nordhessen und um den Vogelsberg sind lediglich vereinzelt Gemeinden verstärkt betroffen und die Abdeckung in den Landkreisen: Lahn-Dill-Kreis, Limburg-Weilburg sowie Marburg-Biedenkopf ist spärlich bis kaum vorhanden. Es ist davon auszugehen, dass für den Zeitpunkt keine Feuerwehrdaten gefunden wurden. Bei der Betrachtung der Anzahl pro Einwohner bilden sich stärker betroffene Gebiete im Odenwaldkreis und der Bergstraße, sowie erneut in Nordhessen und um den Vogelsberg, ähnlich der Jahre 2007 und 2010.

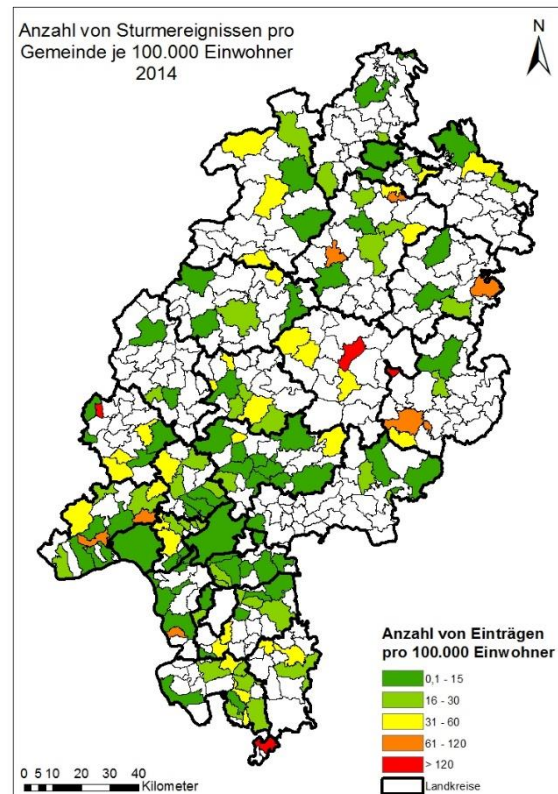
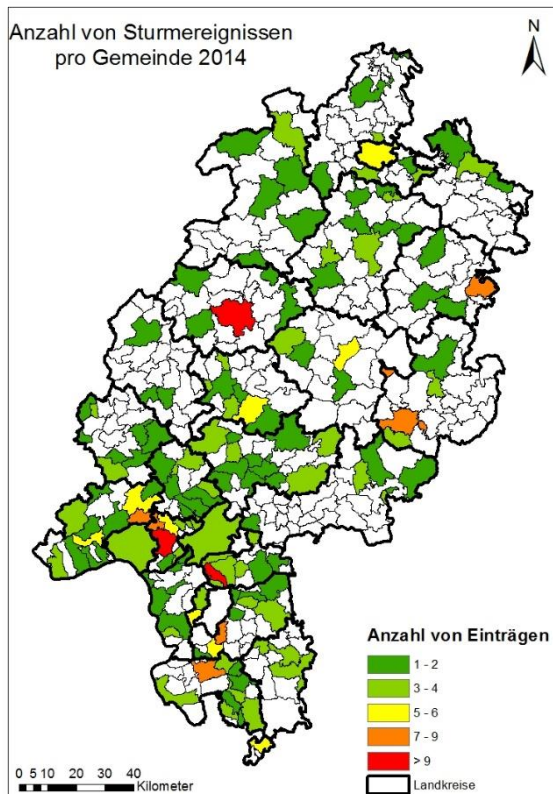
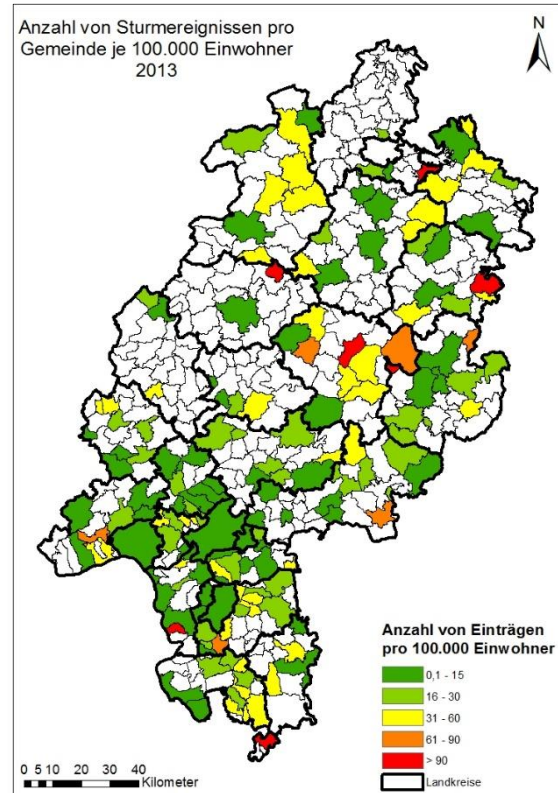
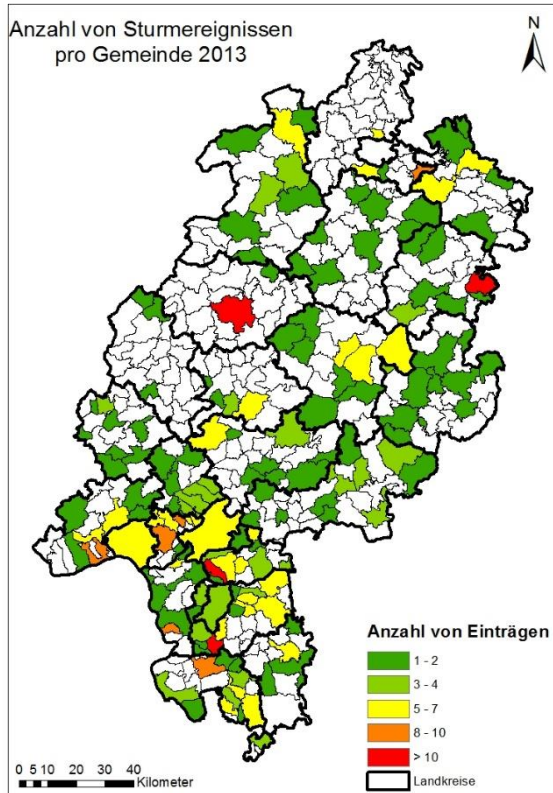


Abbildung 17: Anzahl von Einträgen pro Gemeinde im Jahr 2013 (oben links) und 2014 (unten links), Anzahl von Einträgen pro 100.000 Einwohner im Jahr 2013 (oben rechts) und 2014 (unten rechts)

Die Auseinandersetzung mit dem Jahr 2014 bringt besonders interessante Ergebnisse. Bei den Schwerpunkten, in beiden Karten, gibt es vereinzelte Gemeinden mit mehreren Einträgen über gesamt Hessen. Was sich jedoch deutlich unterscheidet, ist ein Kontrast in der Gesamtabdeckung im Vergleich zu 2013, aber auch 2015 (Abbildung 18). Es ist bereits bekannt, dass die Anzahl von Einträgen geringer war, jedoch ist die Ursache unklar gewesen. Betrachtet man den Werra-Meißner-Kreis, Hersfeld-Rotenburg über den Vogelsberg hin zum Main-Kinzig-Kreis ist kaum eine Abdeckung festzustellen.

Im Jahr 2015 sind diese Gebiete erneut abgedeckt (Abbildung 18). Sehr wahrscheinlich ist, dass es 2014 wirklich weniger Stürme in den aufgezeigten Regionen gab, die zu Feuerwehreinsätzen geführt haben, da ein rein technischer Grund sehr unwahrscheinlich ist. Trotz alledem dürfen andere Ursachen nicht ausgeschlossen werden. Zwei Schwerpunkte mit gehäuften Einträgen liegen im Rhein-Main-Gebiet und in Nordhessen. Ein besonderes Augenmerk liegt auf dem Rheingau-Taunus-Kreis, insbesondere der Gemeinde Lorsch, dort sind in beiden Jahren über 8 Einträge zu verzeichnen. Das Gebiet ist für die Folgejahre interessant.

So ist z. B. 2016 ein interessantes Jahr für die Betrachtung. Zum einen ist die Anzahl von Gemeinden, die Meldungen verzeichnet haben, erneut gesunken. Das ist ein Grund für die geringere Anzahl von Gesamteinträgen zu 2015. Zum anderen ist die Schwerpunktverteilung interessant, da das Rhein-Main-Gebiet und rund um Darmstadt, sowie die Bergstraße stärker betroffen sind. Besonders sticht erneut der Rheingau-Taunus-Kreis heraus. Die Anzahl von Einträgen, wie auch die Anzahl von Einträgen pro Einwohner, sind stark erhöht. Aus der Datenbank ging kein genanntes Sturmereignis für das Jahr 2016 hervor. Die Datenbank gibt jedoch Aufschluss über die Daten, der Großteil der Einträge lag im Zeitraum von April bis Juli, also einem Zeitraum, in dem vermehrt Sommerstürme auftreten. In dem Zeitraum traten viele Starkregenereignisse im Zuge der Gewitter auf (ENGEL 2020: 38 und LÖNNS-HANNA 2016: 16). Die Information ist ein Indiz dafür, dass die Datenbank konkrete Informationen bieten könnte, um räumliche Schwerpunkte festzustellen und neben Winterstürmen auch Sommergewitter identifizierbar sind. Die Information kann auch ein Hinweis sein, dass es Überschneidungen in der Klassifikation von den Feuerwehren zwischen Starkregen- und Sturmereignissen gibt. Zu beachten ist, dass der Rheingau-Taunus-Kreis erst ab 2013 eine größere Abdeckung mit meldenden Gemeinden aufweist.

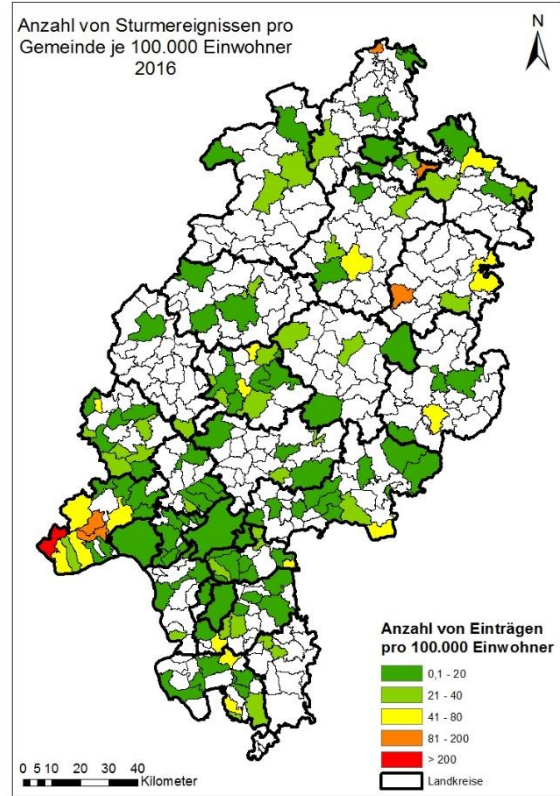
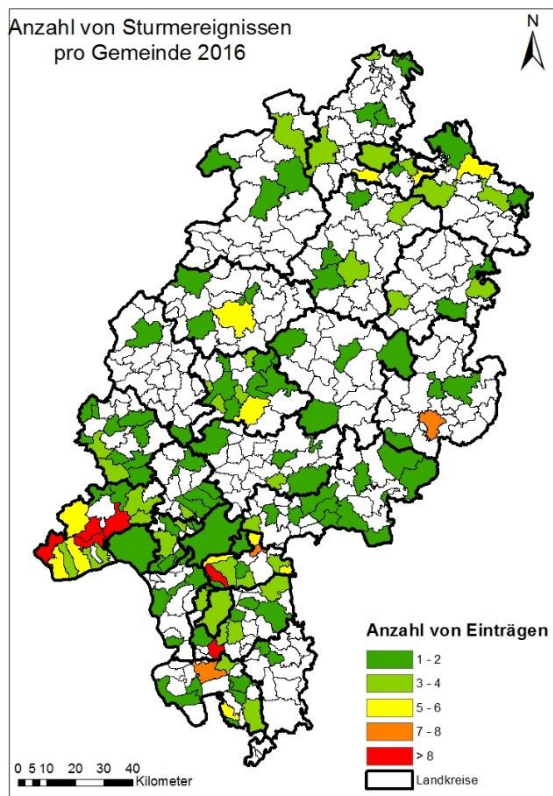
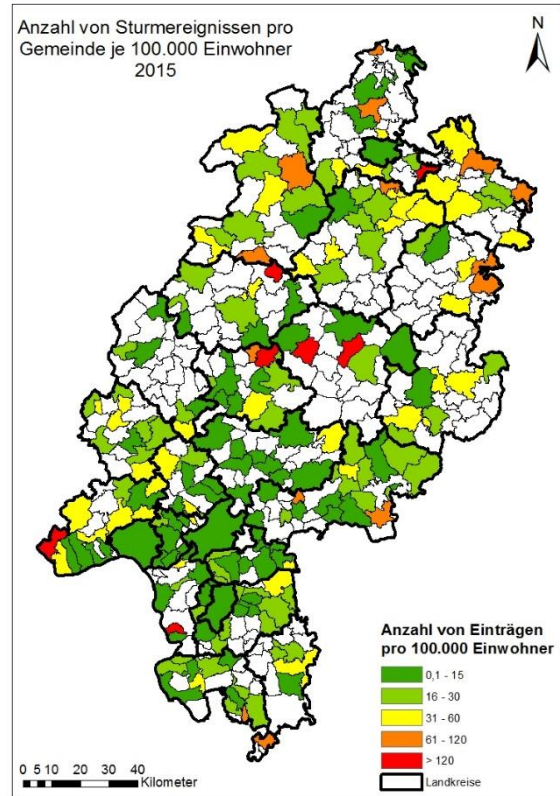
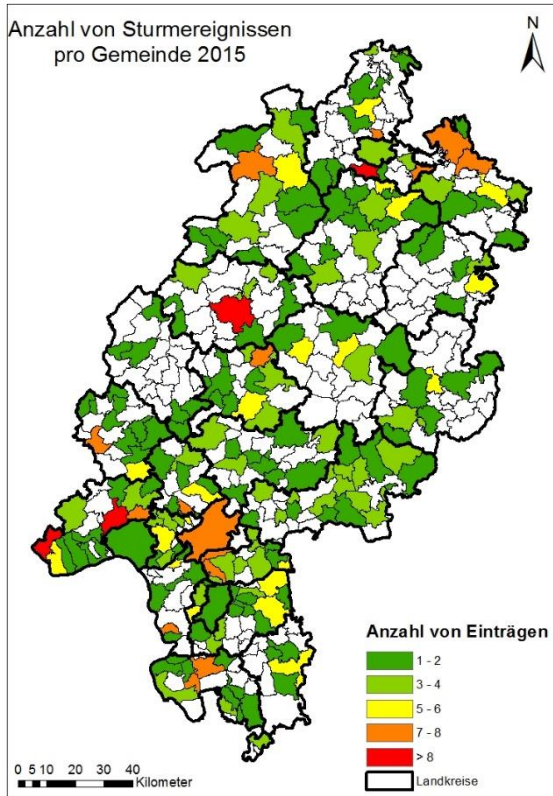


Abbildung 18: Anzahl von Einträgen pro Gemeinde im Jahr 2015 (oben links) und 2016 (unten links), Anzahl von Einträgen pro 100.000 Einwohner im Jahr 2015 (oben rechts) und 2016 (unten rechts)

Das Folgejahr 2017 hat eine größere Abdeckung als 2016. Bei den Schwerpunkten sind Ähnlichkeiten zu den bereits vorgestellten Jahren zu erkennen: erhöhte Werte im Rhein-Main-Gebiet bei den absoluten Zahlen und erhöhte Werte um den Vogelsberg und um Kassel herum bei der Anzahl pro Einwohner (Abbildung 19, oben). Die erhöhten Werte im Rheingau-Taunus-Kreis sind erneut auf Ereignisse im Sommer zurückzuführen.

2018 (Abbildung 19, unten) hatte mit Abstand die meisten Einträge zu verzeichnen. Die Abdeckung zum Vorjahr hat sich nochmals erhöht, jedoch ist ganz eindeutig ein Anstieg an Meldungen pro Gemeinde zu erkennen. Hessenweit haben, bei den absoluten Zahlen, viel mehr Gemeinden über 8 Einträge gemeldet. Erneut relativiert sich die Anzahl im Rhein-Main-Gebiet bei der Betrachtung der Anzahl pro Einwohner. Die Schwerpunkte an der Bergstraße und im Rheingau-Taunus-Kreis bleiben bestehen und im Vogelsbergkreis und Hersfeld-Rotenburg wird der Schwerpunkt noch sichtbarer. Es ist daher davon auszugehen, dass das Jahr 2018 tatsächlich stärker von Sturmereignissen betroffen war, da auch die Änderungen mit rein technologischen Unterschieden nicht zu erklären sind. Die stärkere Betroffenheit ist mit hoher Wahrscheinlichkeit durch das Sturmtief „Friederike“ (18.01.2018) zustande gekommen. Die meisten Einträge aus dem Jahr 2018 stammen aus dem Januar (Anhang 5). Die Monate August und September haben auch hohe Anzahlen von Einträgen, darauf wird im Kapitel 5.8 eingegangen. Das Sturmtief hat keinen Einfluss auf gehäufte Meldungen in Gemeinden genommen, da eine Gemeinde nur einen Eintrag, gegebenenfalls zwei, wenn der Sturm über mehrere Tage geht, zu einem Sturmereignis haben kann.

Im Jahr 2019 hingegen hat die Anzahl an Einträgen wieder abgenommen, wie auch die Abdeckung der Gemeinden. Bei den Schwerpunkten gibt es keine neuen Erkenntnisse: vermehrte Anzahl von Einträgen im Rhein-Main-Gebiet und um Darmstadt, sowie in Hersfeld-Rotenburg und dem Schwalm-Eder-Kreis (Abbildung 20). Des Weiteren ist die Abdeckung im Wetteraukreis, Hochtaunuskreis und Vogelsbergkreis geringer geworden.

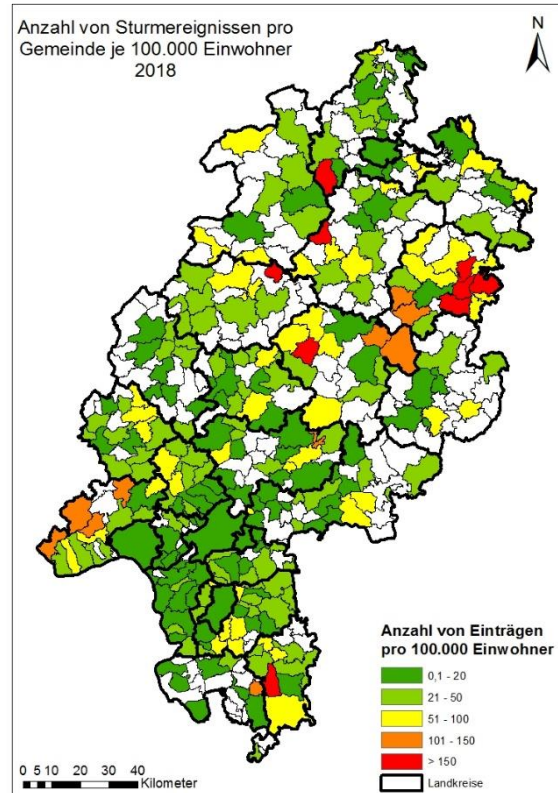
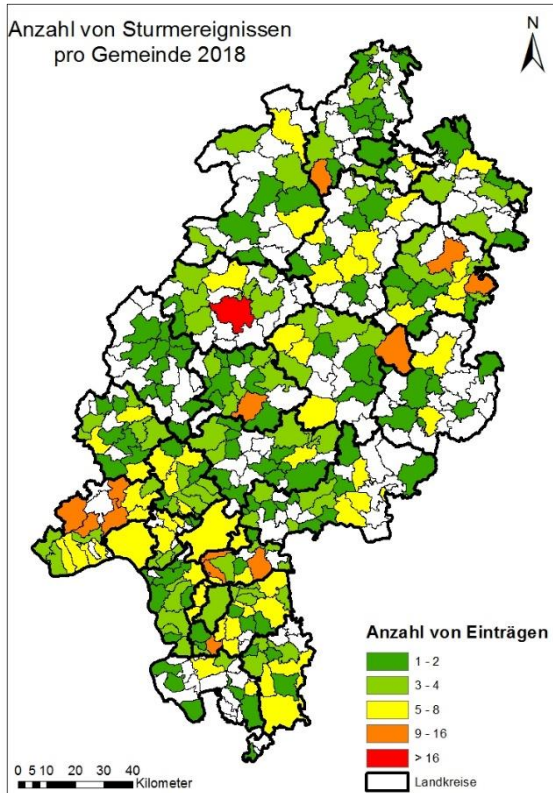
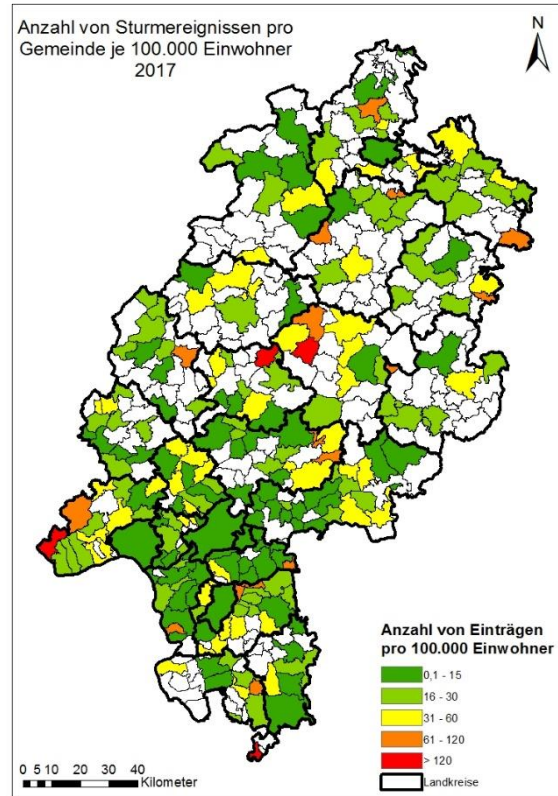
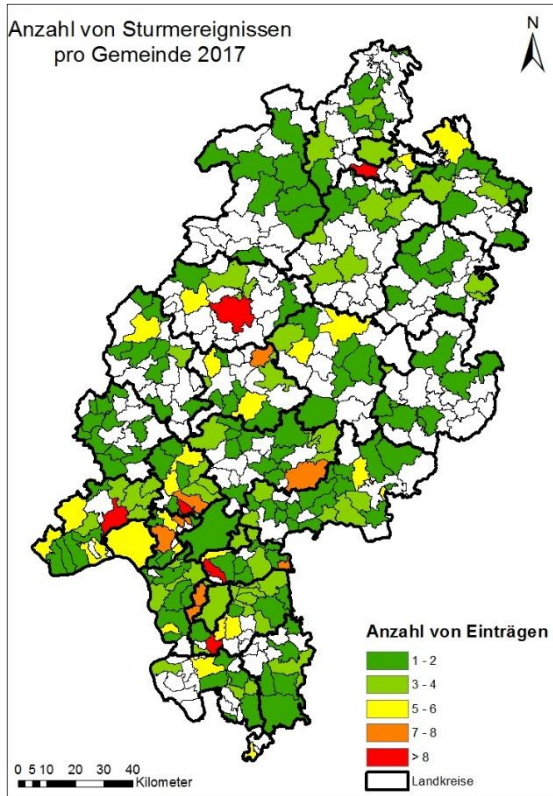


Abbildung 19: Anzahl von Einträgen pro Gemeinde im Jahr 2017 (oben links) und 2018 (unten links), Anzahl von Einträgen pro 100.000 Einwohner im Jahr 2017 (oben rechts) und 2018 (unten rechts)

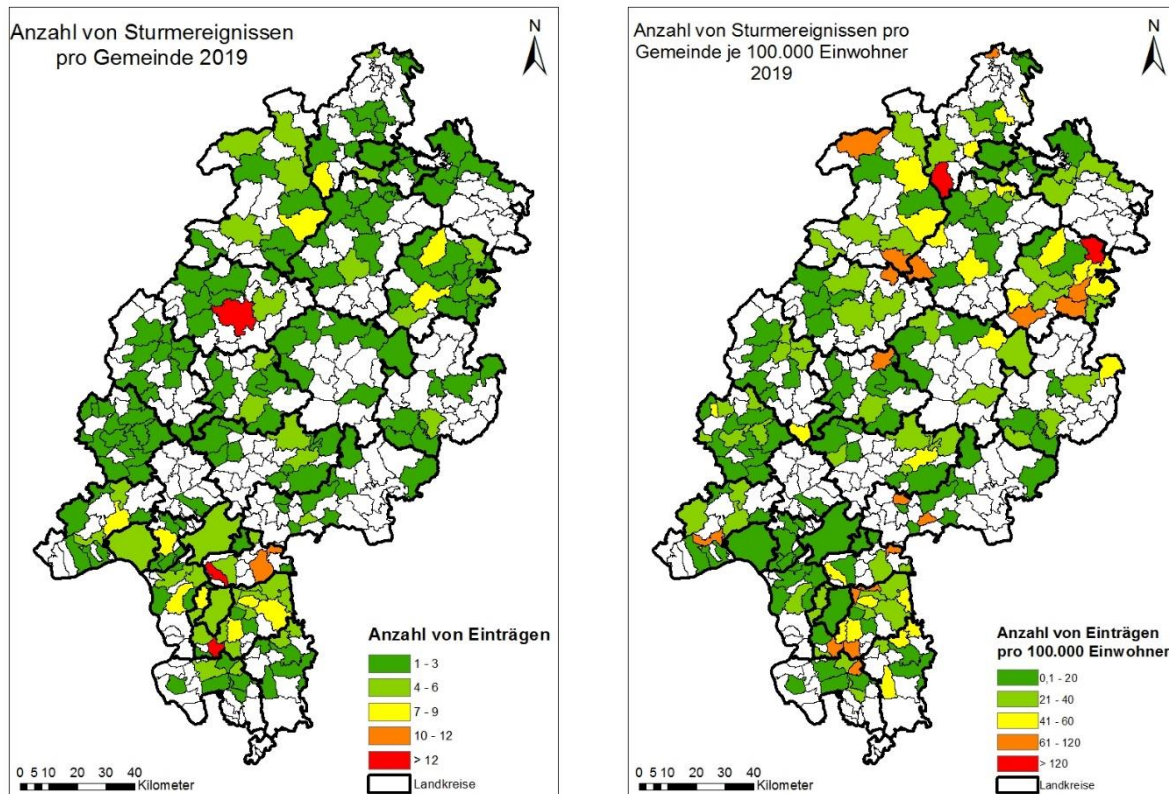


Abbildung 20: Anzahl von Einträgen pro Gemeinde im Jahr 2019 (links), Anzahl von Einträgen pro 100.000 Einwohner im Jahr 2019 (rechts)

Welche Erkenntnisse können festgehalten werden? Zuerst haben die Abbildungen 10 und 11 aufgezeigt, in denen alle Einträge insgesamt betrachtet wurden, dass keine räumlichen Schwerpunkte zu erkennen sind und sich wie bei den Starkregenereignissen eine Art „Streuselkuchenmuster“ ergibt (HLNUG 2020b). In absoluten Zahlen zeigt sich eine Häufung in Ballungsräumen, insbesondere dem Rhein-Main-Gebiet. Bei den Einträgen pro Einwohner ist das Bild wesentlich differenzierter mit einem erhöhten Auftreten in den Landkreisen des Reg.-Bez. Kassel. Der Rheingau-Taunus-Kreis liegt bei den absoluten Zahlen der Gesamteintragszahl im erhöhten Bereich. Dies kann im Zusammenhang mit der jährlichen Auflösung ein Hinweis sein, dass diese Region tatsächlich vermehrt getroffen wird und dort besonders viele Feuerwehreinsätze nötig sind. Gründe hierfür können sein, dass der Waldanteil bei 54 % liegt und das Gebiet durch den Taunus ein stärkeres Gefälle aufweist (HSL 2020d: 8). Hinzu kommt, dass die Bevölkerungsdichte mit etwa 230 Einwohner pro km² zwar unter dem Durchschnitt des Reg.-Bez. Darmstadt liegt, aber über den der anderen Reg.-Bez. (HSL 2020b). All die Faktoren würden eine Häufung begünstigen.

Die jährliche Auflösung zeigt, dass die Schwankungen in der Gesamtanzahl pro Jahr nicht ausschließlich technische Gründe haben, sondern in den einzelnen Jahren entsprechend mehr oder weniger Stürme zu Feuerwehreinsätzen geführt haben. Mithilfe der Datenbank können zum einen die auftretenden Schwerpunkte zum Teil erklärt werden, sowie um welche Art von Sturmereignissen es sich

handelt. Im nächsten Schritt werden die namentlich genannten Sturmereignisse untersucht und die entstanden Einsatzkategorien näher beleuchtet.

5.6 Sturmereignisanalyse

Von den 22 namentlich genannten Sturmereignissen wurden 9 ausgewählt und auf Hessenkarten projiziert. Sollte eine Gemeinde zum Zeitpunkt des Sturmereignisses einen Feuerwehreinsatz gemeldet haben, wird dies auf der Karte in Rot dargestellt. Fand keine Meldung statt, bleibt die Gemeinde weiß. Es muss beachtet werden, dass die Signatur bedeuten kann, dass die Gemeinde allgemein keine Einträge in der Datenbank aufweist oder die Gemeinde keine Meldungen zu dem genannten Sturmereignis verzeichnen hat. Von dem Ansatz die Stürme nur nach den Einträgen, bei denen sie namentlich genannt wurden, darzustellen wurde abgesehen. Der Grund ist, dass die Datengrundlage mit einem Maximum von 37 Einträgen mit namentlicher Nennung zu gering ausfällt, um valide Schlussfolgerungen ziehen zu können (Tabelle 7).

Die Gesamtanzahl von Einträgen im Zeitraum der Sturmereignisse macht 22,1 % der Datenbank aus. Bei den Einsätzen zeigt sich, dass die Anteile der Datenbank im Vergleich zu den Einträgen größer ist und bis zu 39 % der Gesamteinsätze ausmachen. Das liegt daran, dass die Sturmereignisse oft sehr stark waren und insbesondere in den städtischen Gebieten viele Schäden verursacht haben, die zu Feuerwehreinsätzen geführt haben. Zur Erinnerung: Eintrag bedeutet, dass zu einem Zeitpunkt in einer Gemeinde, verursacht durch ein Sturmereignis, die Feuerwehr ausrücken musste. Einträge geben keine Informationen zu dem Ausmaß des Geschehens. Das hingegen bilden die Einsätze ab. Einsätze zeigen zu wie vielen Einsatzorten die Feuerwehren fahren mussten. Die Anzahl von einem Eintrag zu den Einsätzen kann je nach Stärke des Ereignisses stark voneinander abweichen. Die meisten Einsätze, 300 an der Zahl, wurden infolge des Sturms „Emma“ in Frankfurt verzeichnet. Die Stadt Rodgau hat 284 Einsätze und die Gemeinde Hasselroth hat 171 Einsätze in Folge des Sturmes „Bernd“ zu verzeichnen. Somit wurde der Sturm „Bernd“ nur zweimal namentlich erwähnt, jedoch stehen 455 Einsätze in Verbindung zu den zwei Einträgen. Das ist ein Beispiel, das anschaulich dokumentiert, weshalb die Anzahl von Einträgen und Einsätzen sich stark unterscheiden kann. Die meisten Einträge wie auch Einsätze (987) entstanden durch den Sturm „Eberhardt“.

Tabelle 7: Einsatz- und Eintragszahlen der namentlich genannten Sturmereignisse

Tiefs/Stürme	Einträge namentliche Nennung	Einträge im Zeitraum	Einsätze namentliche Nennung	Einsätze im Zeitraum
Bernd (2019)	2	19	455	737
Eberhardt (2019)	18	184	195	987
Bennet (2019)	4	45	61	151
Fabienne (2018)	17	105	186	841
Friederike (2018)	37	179	225	702
Burglind (2018)	5	54	5	91
Herwart (2017)	1	2	1	2
Thomas (2017)	1	1	1	1
Egon (2017)	19	106	68	240
Heini (2015)	1	10	8	18
Zjelko (2015)	1	2	1	2
Siegfried (2015)	1	23	1	94
Niklas (2015)	8	125	11	309
Xaver (2015)	4	15	4	15
Christian (2013)	2	34	2	67
Andrea (2012)	3	18	12	35
Olivia (2010)	5	46	26	149
Xynthia (2010)	31	135	259	859
Emma (2008)	26	77	366	571
Kyrill (2007)	18	113	256	603
Ursula (2004)	1	8	1	8
Jeanett (2002)	1	18	6	60
Gesamt	206	1319	2150	6542
Anteil von der Datenbank (%)	3,5	22,1	12,8	39,0

Die folgenden 9 Sturmereignisse wurden nach dem Kriterium ausgewählt, dass sie über 50 Einträge im untersuchten Zeitraum aufweisen müssen. Beginnend dabei mit den ältesten Ereignissen „Kyrill“ (18.01.2007) und „Emma“ (01.03.2008) (Abbildung 21). Wie bereits im Kapitel 5.4 erwähnt, war „Kyrill“ einer der stärksten Stürme, schadenstechnisch betrachtet, der Deutschland in den letzten 30 Jahren getroffen haben (RAINER 2008: 4). In Hessen gibt es bei beiden Stürmen keine regionalen

Besonderheiten festzustellen, da über ganz Hessen verteilt Einträge zu verzeichnen sind. Es hat den Anschein, dass die Gemeinden im Vogelsbergkreis, der Schwalm-Eder-Kreis und Main-Kinzig-Kreis weniger stark betroffen sind. Betrachtet man jedoch Abbildung 15 erneut, zeigt sich, dass im Jahr 2007 insgesamt keine Meldungen aus dem Bereich vorhanden sind und dies daher ein Grund sein kann, warum Kyrill keine Einträge verursacht hat. Aus dem gesamten Vogelsbergkreis gibt es lediglich eine Meldung aus der Gemeinde Gemünden. Betrachtet man Windgeschwindigkeiten über Hessen am 18.01.2007, gibt es keine Hinweise darauf, dass die genannten Landkreise weniger stark betroffen waren (Deutsche Rück 2007: 28) und (SPATZIERER et al. 2007). Hinzu kommt, dass wenn man „Emma“ betrachtet, es fast die gleichen Gemeinden sind wie bei „Kyrill“, die Einträge haben.

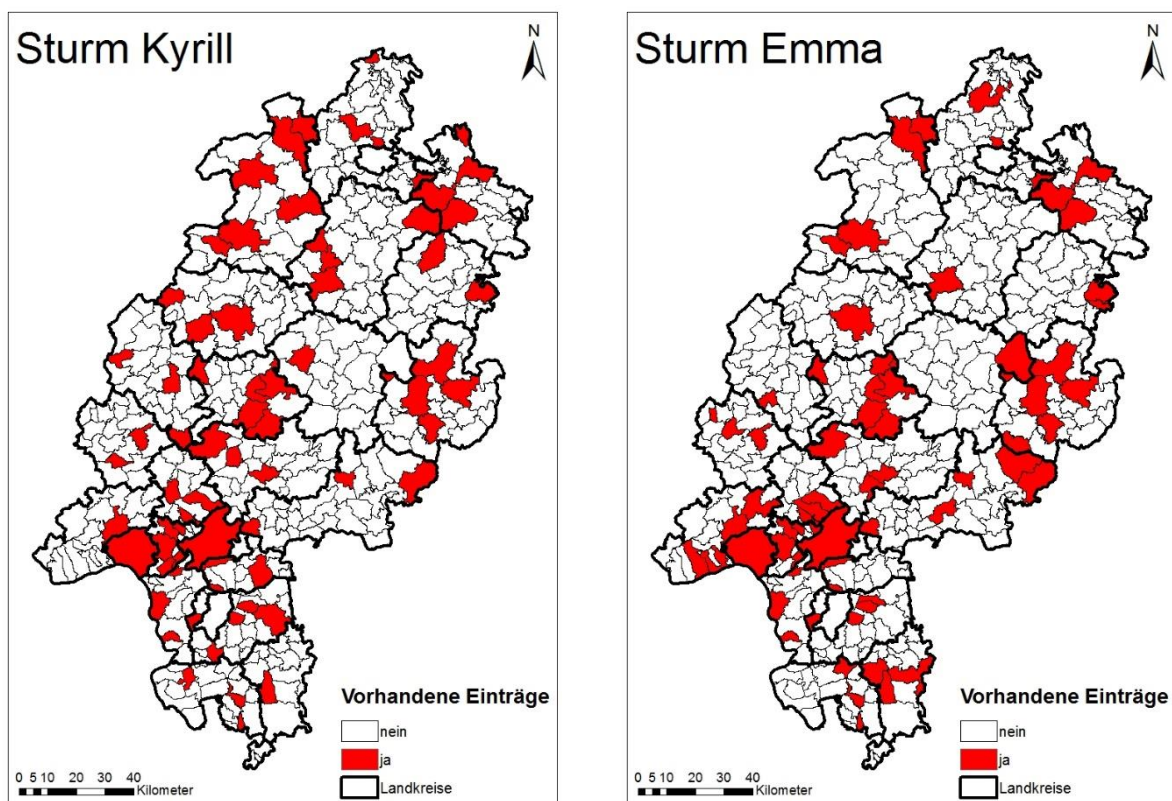


Abbildung 21: Einträge in Verbindung mit Sturm Kyrill (links) und Emma (rechts)

Die nächsten beiden Stürme sind „Xynthia“ (28.02 bis 01.03. 2010) und „Niklas“ (31.03 bis 03.04. 2015). Sturm „Xynthia“ hat eine gleichmäßige Abdeckung über Hessen (Abbildung 22, links). Zum Sturm „Niklas“ muss kurz angemerkt werden, dass die Einträge einen Zeitraum von 4 Tagen umfassen und der Umstand dazu führt, dass möglicherweise mehr Gemeinden abgebildet werden. Würde man jedoch die Einzeltage einzeln aufführen, würde sich zeigen, dass die meisten Einträge vom 31.03 stammen. Bei Sturm „Niklas“ (Abbildung 22, rechts) ist nur eine Eintragung aus dem Lahn-Dill-Kreis bekannt, in Hüttenberg. Die Landkreise Schwalm-Eder-Kreis, Vogelsbergkreis und Main-Kinzig-Kreis sind erneut weniger stark betroffen. Abbildung 18 zeigt für den Vogelsbergkreis und Lahn-Dill-Kreis im Jahr 2015 eine geringere Abdeckung. Hingegen sind für die beiden anderen

Landkreise vermehrt Einträge im Jahr 2015 vorzufinden. Das heißt, dass die Gemeinden theoretisch melden könnten. Für den Lahn-Dill-Kreis könnte das Rothaargebirge und der Westerwald eine abschirmende Wirkung haben, da der Wind aus westlicher Richtung kam (HAESLER und LEFEBVRE 2015: 3). Dementgegen spricht, dass in den Landkreisen Limburg-Weilburg und Marburg-Biedenkopf Einträge vorhanden sind. In diesem Fall besteht die Möglichkeit, dass eine Mischung aus beiden Gründen zu einem Fehlen von Einträgen führt. Südhessen erscheint verdichteter als noch bei „Kyrill“ und „Emma“, was mit der Zunahme in den Gesamtmeldungen zu erklären ist.

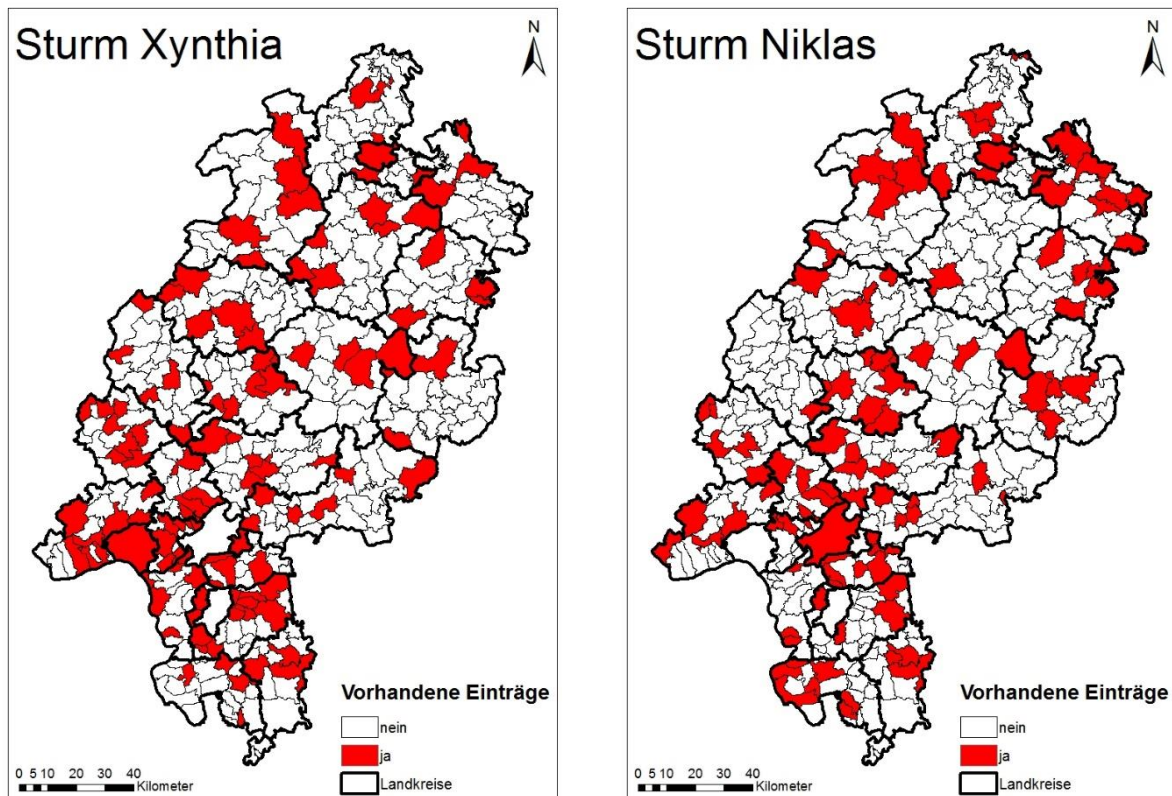


Abbildung 22: Einträge in Verbindung mit Sturm Xynthia (links) und Niklas (rechts)

Die Stürme „Egon“ (13.01 bis 15.01.2017) und „Burglind“ (03.01.2018) hingegen zeigen ein anderes Bild. Beide haben einen Schwerpunkt in den Landkreisen des Reg.-Bez. Darmstadt, insbesondere beim Sturm „Egon“, wo fast das komplette Gebiet abgedeckt ist (Abbildung 23, links). Um festzustellen, ob es sich um Zufall handelt oder es tatsächlich räumliche Schwerpunkte gibt, müssen einige Punkte betrachtet werden, wozu zuerst die Datengrundlage gehört. Die Einzeljehranalyse hat gezeigt, dass in beiden Jahren zwar die Abdeckung in den Landkreisen höher ist als in Nordhessen, jedoch die Gesamtabdeckung sehr gut ist, wodurch ein Mangel an Gemeinden, die Meldungen verzeichnen können, auszuschließen ist. Die nächste Frage ist, ob die Sturmereignisse Teile von Deutschland stärker beeinflusst haben als andere. Die Antwort darauf ist wichtig, denn sollte im Falle des Sturm „Egons“ oder „Burglind“ nur Süddeutschland betroffen gewesen sein, kann ein Zusammenhang bestehen. Berichte des DWD (2017a) und (2018a) zeigen auf, dass im Falle „Egons“ das Windfeld über

Südhessen zog und daher mehr Einträge verursachte und im Falle von „Burglind“ Süddeutschland stärker betroffen war. Somit lässt sich schlussfolgern, dass die Schwerpunkte meteorologisch erklärbar sind. Außerdem lässt sich feststellen, dass die Datenbank tatsächliche Sturmgebiete darstellen kann.

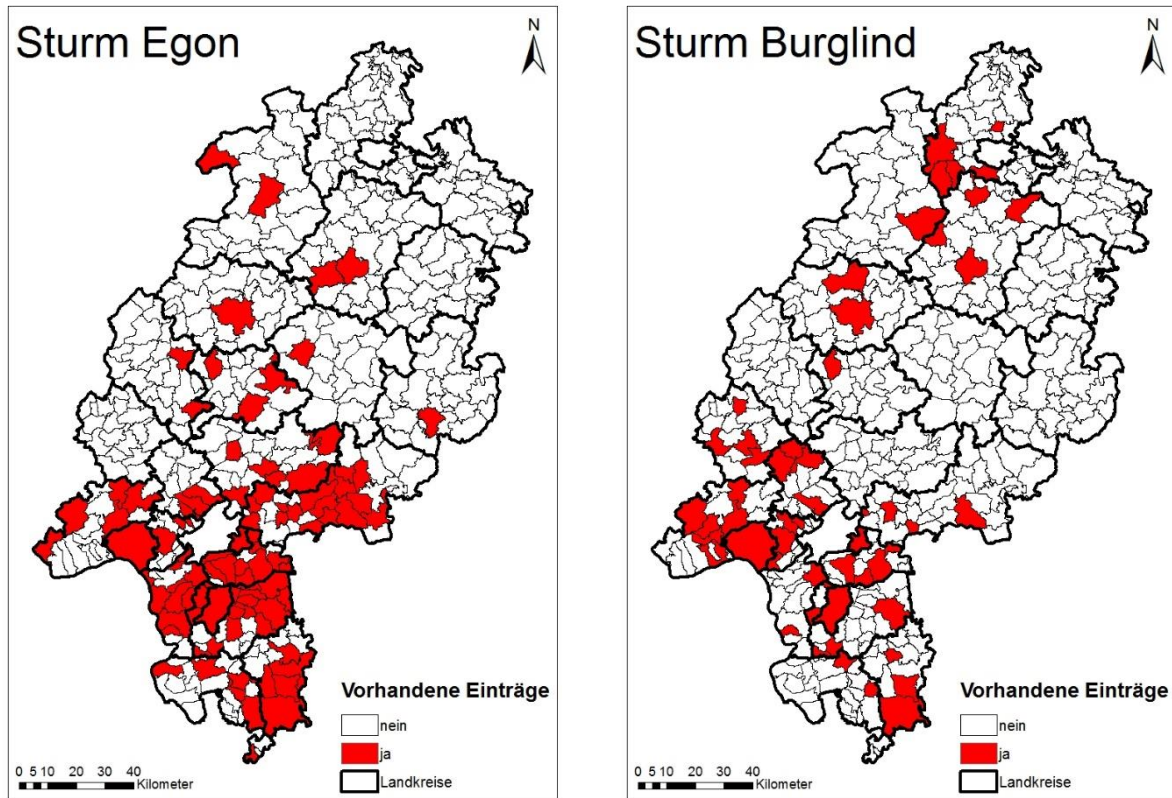


Abbildung 23: Einträge in Verbindung mit Sturm Egon (links) und Burglind (rechts)

Der Sturm „Friederike“ (18.01.2018) hat Hessen komplett getroffen, lediglich um den Odenwald, in Darmstadt-Dieburg, dem Main-Kinzig-Kreis, sowie dem Landkreis Fulda sind weniger Gemeinden mit Einträgen zu erkennen (Abbildung 24, links). Das würde auch der Annahme entgegenwirken, dass Südhessen potenziell ein Gebiet ist, welches vermehrt Feuerwehreinsätze durch Stürme aufweist. Der Sturm „Fabienne“ (23.09.2018) hat wie „Egon“ und „Burglind“ vor allem Südhessen getroffen, mit Ausnahme von Wiesbaden und Teilen des Rheingau-Taunus-Kreis. Die Ursache ist dieselbe wie die vorher angesprochene. Der Sturm, insbesondere das Windfeld, hat Süddeutschland stark betroffen (LEFEBVRE et al.: 2018: 1–2). Der Wind kam in den Mittagsstunden von Südwesten, zu dem Zeitpunkt waren die Windgeschwindigkeiten geringer. Zum Abend hin kam der Wind aus Nordwesten mit höheren Geschwindigkeiten (Kachelmannwetter 2020). Im Falle des Windes aus Nordwesten könnte der Taunus abschirmend wirken. Da der Wind über den Tagesverlauf auch aus Südwesten kam, kann der Taunus nicht als einziger Beweis gelten, dass in den Gebieten keine Einsätze gemeldet wurden.

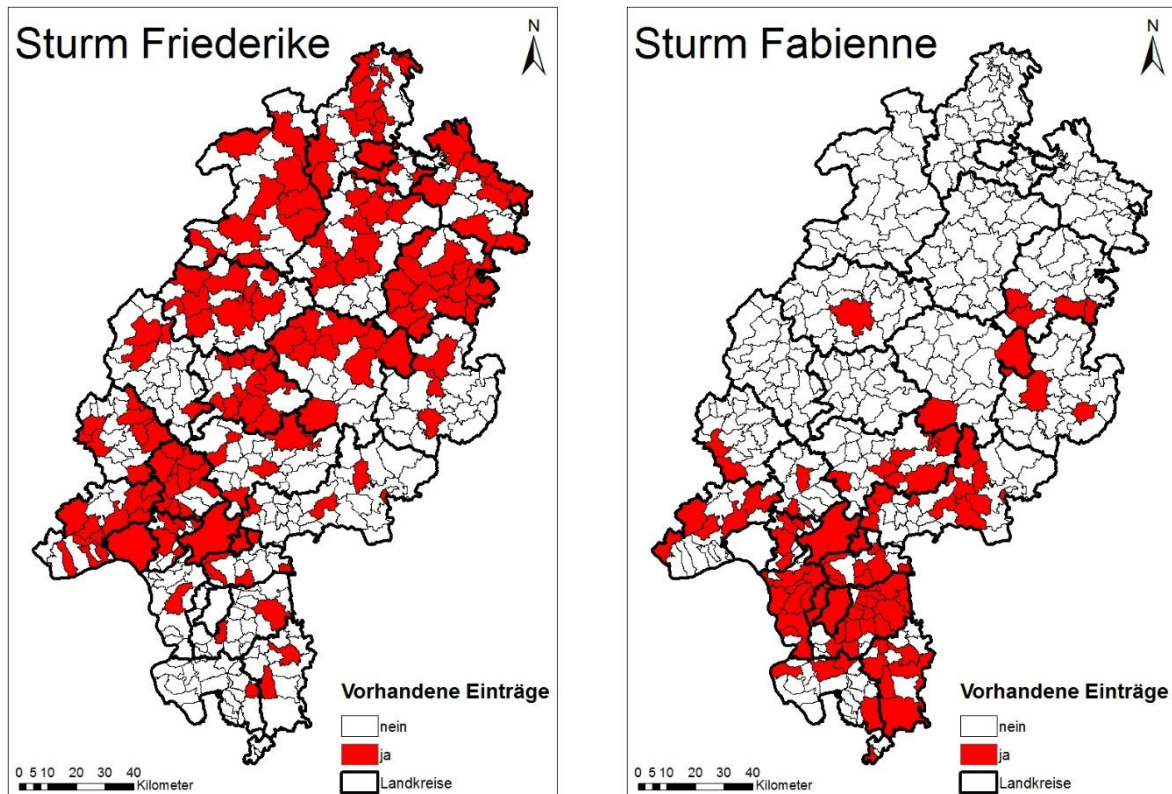


Abbildung 24: Einträge in Verbindung mit Sturm Friederike (links) und Fabienne (rechts)

Beim Sturm „Eberhardt“ (09.03 bis 10.03.2019) gibt es keine weiteren Erkenntnisse (Abbildung 25). Wieder ist ganz Hessen betroffen. Es gibt Gebiete, in dem Falle im Wetteraukreis und dem Hochtaunuskreis, sowie dem Main-Kinzig-Kreis und dem Vogelsbergkreis, welche weniger Meldungen haben. Ein Vergleich mit Abbildung 20 zeigt, dass die Gebiete ganzjährig wenige bis keine Meldungen aufweisen. Das führt zur Schlussfolgerung, dass die Landkreise 2019 tatsächlich kaum Sturmeinsätze hatten, oder ein Mangel an Daten in der Datenbank vorhanden ist.

Was ist aus der Sturmereignisanalyse mitzunehmen? Es sind keine räumlichen Schwerpunkte festzustellen, da das betroffene Gebiet sich ändern kann oder in den meisten Fällen komplett Hessen betroffen ist. Des Weiteren zeigt es die Problematik auf, dass Stürme sehr große Gebilde sind und nur in seltenen Fällen, wie „Egon“, sich lokale Unterschiede auf einer Fläche wie Hessen abzeichnen. Jedoch lässt sich festhalten, sollten lokale Unterschiede auftreten, lassen sich diese auch anhand der Daten darstellen, was ein Hinweis auf eine gute Qualität der Datenbank ist.

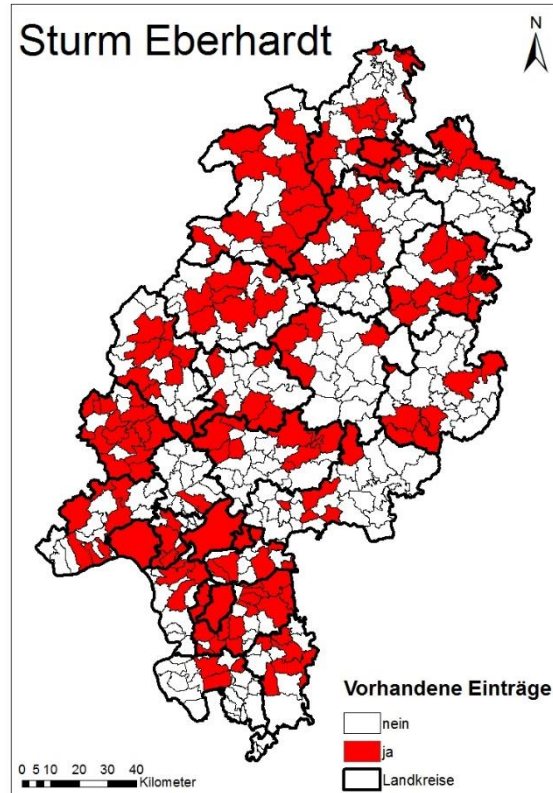


Abbildung 25: Einträge in Verbindung mit Sturm Eberhardt

5.7 Analyse der Einsatzkategorien

Bei der Einsatzkategorienanalyse wird nach räumlichen Besonderheiten auf Landkreisebene gesucht. Erneut muss beachtet werden, dass bei der Darstellung mit den Landkreisen es Gemeinden gibt, welche keine Einträge in der Datenbank haben und somit es potenziell weniger Einträge, in Landkreisen mit einer geringeren Abdeckung, geben kann. Bei den drei Kategorien: „Baum“, „Gegenstände“ und „mehrere Treffer“ liegt die Vermutung nahe, dass sich räumliche Merkmale erkennen lassen. Das liegt daran, dass möglicherweise in ländlicheren Regionen mit einem höheren Anteil an Vegetation und Wald mehr Einsätze mit umgefallenen Bäumen zu verzeichnen sind. Beachtet werden muss, dass bei größeren Waldflächen der entstandene Windbruch in den Wäldern passiert und nicht zwangsläufig die Feuerwehr gerufen werden muss. Bei den „Gegenständen“ liegt die Vermutung nahe, dass mehr Einsätze in den städtischen Gebieten zu verzeichnen sind, da die bebaute Fläche größer ist und sich potenziell mehr Angriffsfläche bietet. Der Grund bei der Kategorie „mehrere Treffer“ ist vergleichbar mit dem bei der Kategorie „Gegenständen“. Die Annahme ist, dass in städtischen Gebieten zum einen Gebäude zu Schaden kommen können, aber auch Bäume umfallen und Äste abbrechen können, die mit einer höheren Wahrscheinlichkeit Häuser, Straßen oder Autos treffen. Die zwei an-

deren Kategorien: „Unwetter“ und „Sturm“ werden auch dargestellt. Es ist unwahrscheinlich, dass sich Aussagen über ihre Verteilung tätigen lassen, da die Begriffe unspezifisch sind und bei der Recherche oftmals als Indikator genutzt werden, um einen Einsatz durch Stürme zu beschreiben.

Die Einsatzkategorie „Baum“ zeigt ein höheres Aufkommen von Einträgen bei den absoluten Zahlen in Darmstadt-Dieburg und dem Rhein-Main-Gebiet, mit Ausnahme der kreisfreien Städte. In Wiesbaden sind 13 Einträge verzeichnet, in Darmstadt und Kassel 8, in Frankfurt am Main 6 und in Offenbach nur 3 (Abbildung 26, links und Anhang 29). Somit haben die kreisfreien Städte die geringste Anzahl von Einträgen der Kategorie „Baum“. Des Weiteren finden sich erhöhte Anzahlen von Einträgen in den Landkreisen: Kassel, Schwalm-Eder-Kreis, Waldeck-Frankenberg und Marburg-Biedenkopf. Das würde mit der eben genannten Vermutung übereinstimmen, dass in den Städten weniger solche Einsätze auftreten. Es muss jedoch beachtet werden, dass die Gesamtanzahl von Einträgen, nicht die Anzahl von Einsätzen, in den kreisfreien Städten am geringsten ist. Folglich sollte in den anderen Kategorien die Anzahl auch geringer ausfallen. Die meisten Einträge sind im Landkreis Darmstadt-Dieburg vorhanden. Der Main-Taunus-Kreis hat mit 221 Einträgen nur sieben weniger als der Landkreis Kassel (Tabelle 6). Im Landkreis Kassel liegt der Waldanteil bei 46 % und im Main-Taunus-Kreis bei 36 % (HSL 2019d). Hier wird ein Problem sichtbar bei der alleinigen Betrachtung von absoluten Zahlen, denn das Bild ändert sich, wenn man die prozentualen Anteile von den Landkreisen betrachtet (Abbildung 26, rechts). Im Reg.-Bez. Kassel, außer dem Landkreis Fulda, macht die Kategorie „Baum“ einen Anteil von über 60 % an den Gesamteinträgen aus. Im Reg.-Bez. Darmstadt liegt der Großteil der Anteile in den Landkreisen unter 60 %. Allgemein lässt sich festhalten, dass Einsätze, bei denen Bäume oder Äste entfernt werden müssen, fast durchgängig über 50 % ausmachen und der Anteil in Nordhessen und somit in ländlicheren Regionen größer ist.

Bei der Einsatzkategorie „Gegenstände“ sind sich die Karten bei den absoluten Zahlen und dem prozentualen Anteil ähnlich (Abbildung 27). Zu beachten ist, dass die Anzahl von Einträgen um ein Vielfaches geringer ist. Das Maximum liegt bei 34 Einträgen. Wenige Einträge können daher einen Unterschied ausmachen. Nichtsdestotrotz lässt sich erkennen, dass es ein Nord-Süd-Gefälle gibt mit mehr Einträgen im Landkreis Offenbach, Darmstadt-Dieburg und Teilen des Rhein-Main-Gebietes. Die kreisfreien Städte im Rhein-Main-Gebiet haben geringere Werte aufgrund der geringen Gesamtanzahl von Einträgen. Die Annahme, dass in den städtischen Gebieten der Anteil an Einsätzen bei den „Gegenständen“ größer ist, scheint sich zu bestätigen.

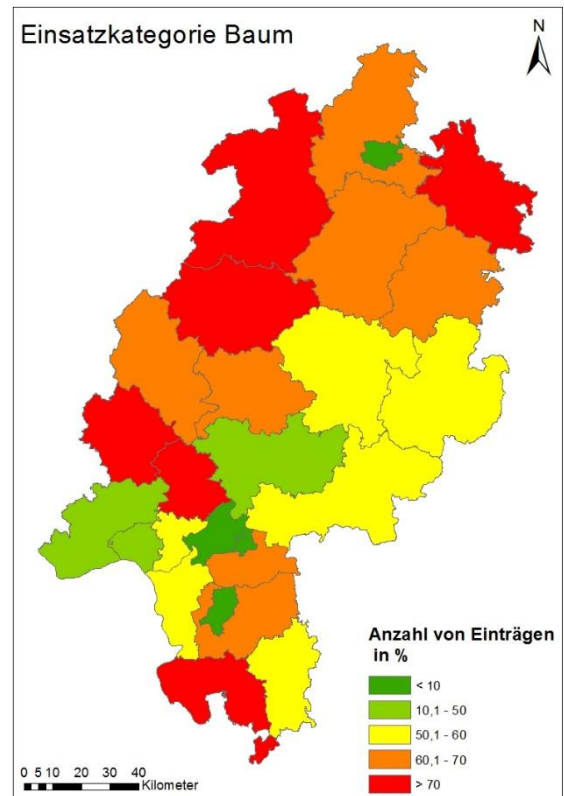
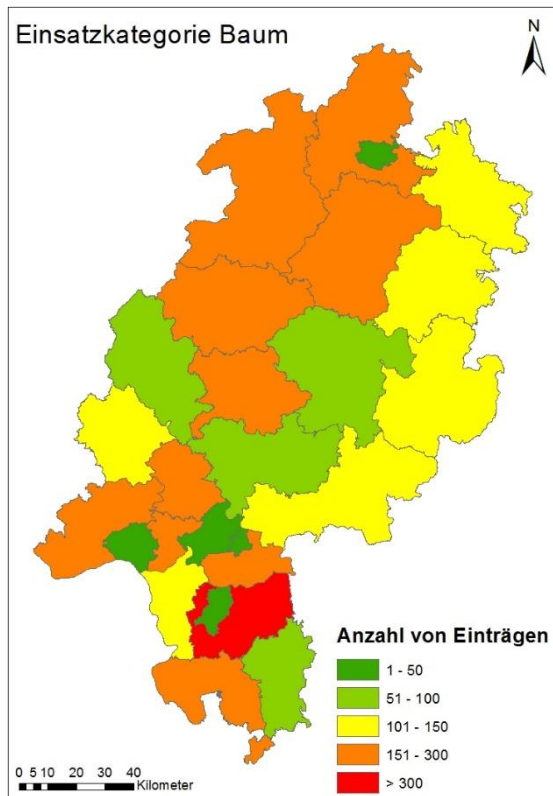


Abbildung 26: Anzahl von Einträgen der Einsatzkategorie Baum, absolute Zahlen (links) und Anteil in % (rechts)

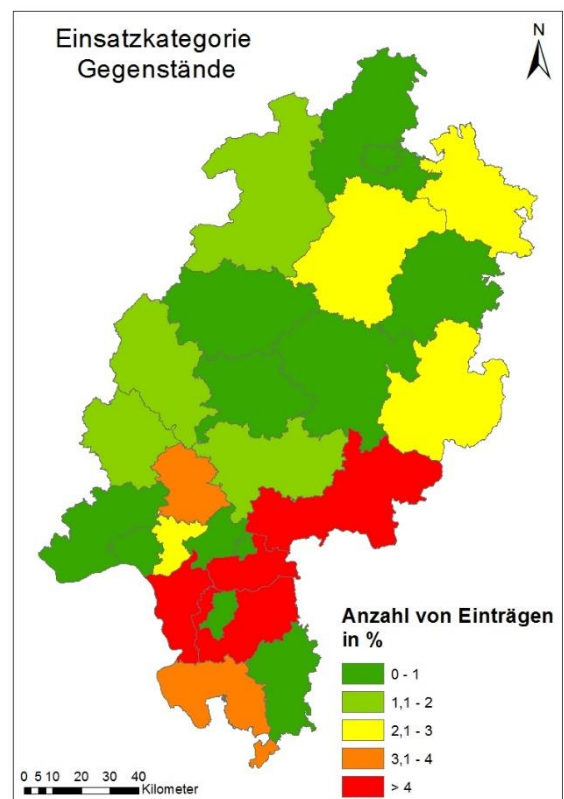
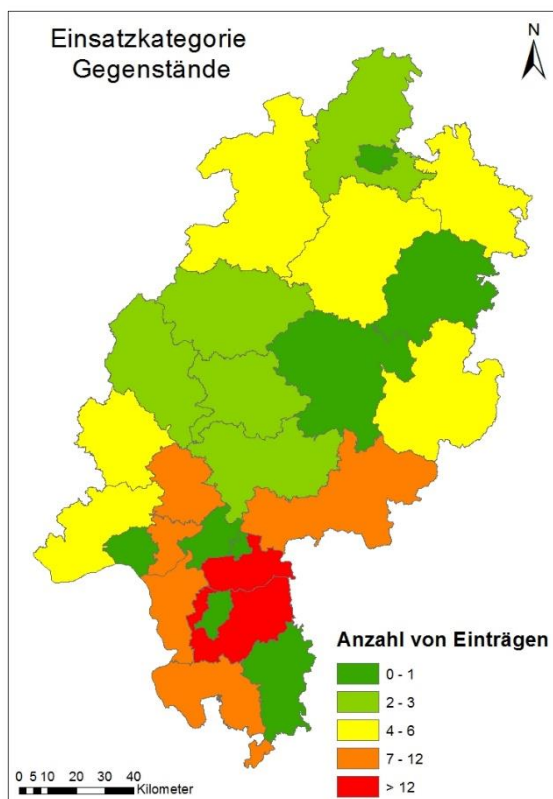


Abbildung 27: Anzahl von Einträgen der Einsatzkategorie Gegenstände, absolute Zahlen (links) und Anteil in % (rechts)

Die Kategorie „mehrere Treffer“ zeigt ein klareres Bild bei der Betrachtung der absoluten Zahlen als bei den prozentualen Anteilen. Die Vermutung, dass der Anteil dieser Kategorie in den städtischen Gebieten höher sein sollte, da größere Sturmereignisse mehr Schäden verursachen, lässt sich bestätigen (Abbildung 28). Die Sturmereignisanalyse unterstützt dies, da die Landkreise des Reg.-Bez. Darmstadt von dem Großteil der Stürme getroffen wurden und es sogar einzelne Stürme gab, welche die Landkreise verstärkt betroffen haben. Die Problematik hingegen ist, dass sich in der prozentualen Verteilung das Bild ändert und sich kein Schwerpunkt feststellen lässt. Denn Landkreise wie der Vogelsbergkreis und Werra-Meißner-Kreis haben einen erhöhten Anteil, hingegen ist die Signatur beispielsweise im Landkreis Darmstadt-Dieburg geringer geworden. Die Kategorie hilft daher nicht die zu Anfang gestellten Vermutungen zu bestätigen, da entweder alle absoluten Zahlen oder alle prozentuale Anteile verglichen werden müssen.

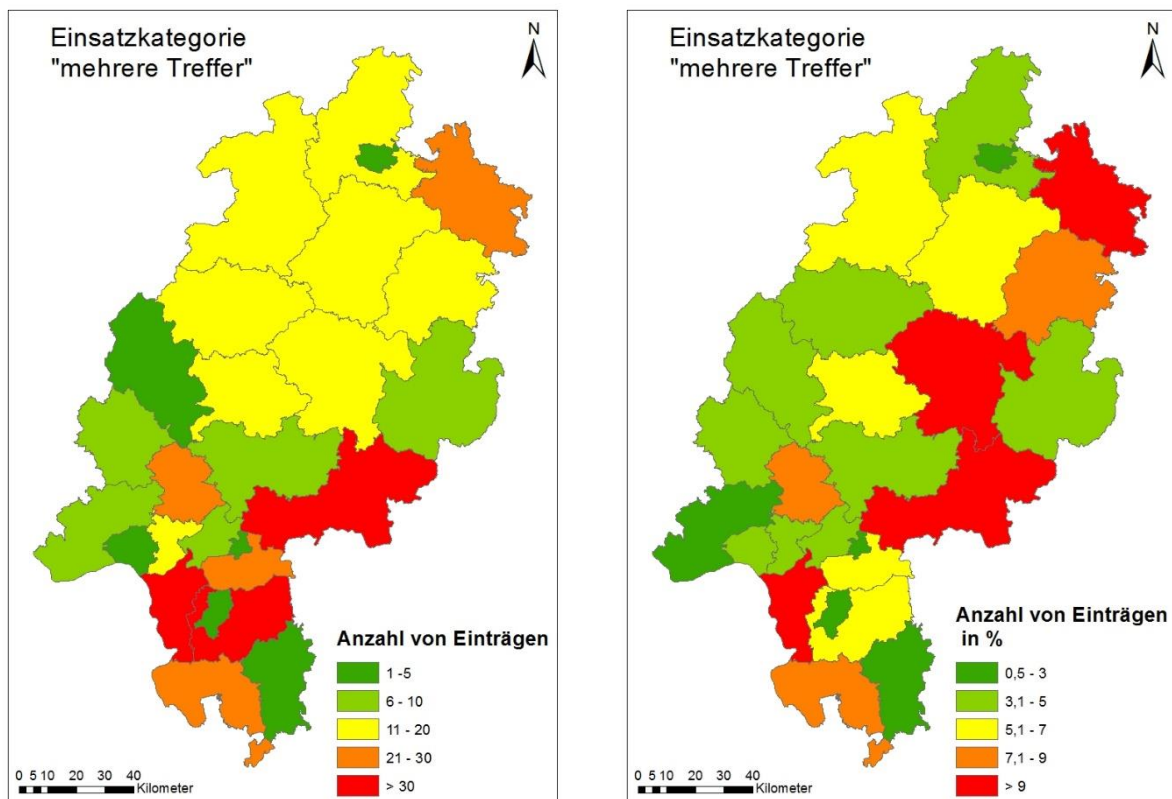


Abbildung 28: Anzahl von Einträgen der Einsatzkategorie „mehrere Treffer“, absolute Zahlen (links) und Anteil in % (rechts)

Die Einsatzkategorie „Sturm/Tiefs“ ist eine schwer zu fassende Kategorie. Zum einen sind theoretisch alle Einträge der Datenbank in die Kategorie einzuordnen. Das bedeutet, dass sich hinter den Einsätzen auch Einsätze durch Baumschäden oder zu entfernende Gegenstände verbergen können. Folglich wären höhere Werte in den ländlichen wie auch städtischen Gebieten möglich, sollte man der Argumentation des Kapitels folgen. Die Kategorie hat eine wichtige Bedeutung für die Datenbank als Ganzes, da sie den Großteil der Informationen zu den namentlich genannten Sturmereignissen gegeben hat. Gebiete, die stärker oder öfters von Stürmen getroffen werden, könnten aufgezeigt werden.

In absoluten Zahlen sind vor allem der Rheingau-Taunus-Kreis und Main-Taunus-Kreis stärker betroffen (Abbildung 29, links). Die Gebiete sind, wie bereits in der Einzeljahr- und Sturmereignisanalyse gesehen, stärker betroffen gewesen, wodurch sich ein Zusammenhang bildet. Betrachtet man hingegen den prozentualen Anteil, lässt sich nichts erkennen. Lediglich in den eben genannten Landkreisen bleibt auch der Anteil hoch. Ansonsten sind erhöhte Werte in allen Teilen von Hessen vorzufinden. Eine gewinnbringende Schlussfolgerung ist daher nicht möglich.

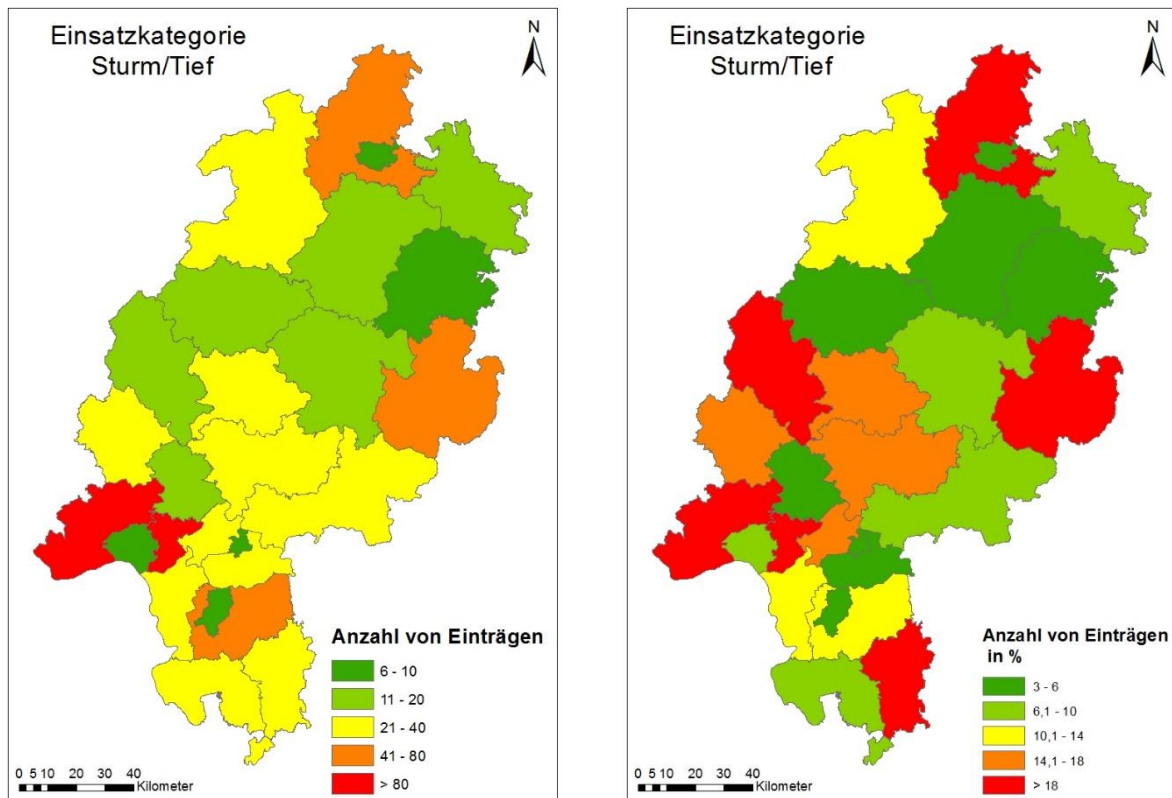


Abbildung 29: Anzahl von Einträgen der Einsatzkategorie „Sturm/Tiefs“, absolute Zahlen (links) und Anteil in % (rechts)

Zuletzt wird die Kategorie betrachtet, die am subjektivsten benannt wird, nämlich „Unwetter“. Die Problematik ist ähnlich die der Kategorie „Stürme“, es ist unklar was sich hinter dem Einsatz verbirgt. Es kann sogar so weit gehen, dass es sich nicht zwangsläufig um ein Sturmereignis handeln muss, sondern dass es auch ein Starkregenereignis sein könnte. Die Erfahrung bei der Recherche hat gezeigt, dass mit dem Begriff Unwetter beides gemeint werden kann. In absoluten Zahlen sind mehr Einträge im Reg.-Bez. Darmstadt vorhanden, was durch die Tatsache erklärbar ist, dass die Gesamtanzahl von Einträgen in dem Gebiet höher ist (Abbildung 9). Bei den prozentualen Anteilen hat nur der Wetteraukreis einen Wert von über 25 % (Abbildung 30, rechts). Es sind keine weiteren Besonderheiten zu erkennen.

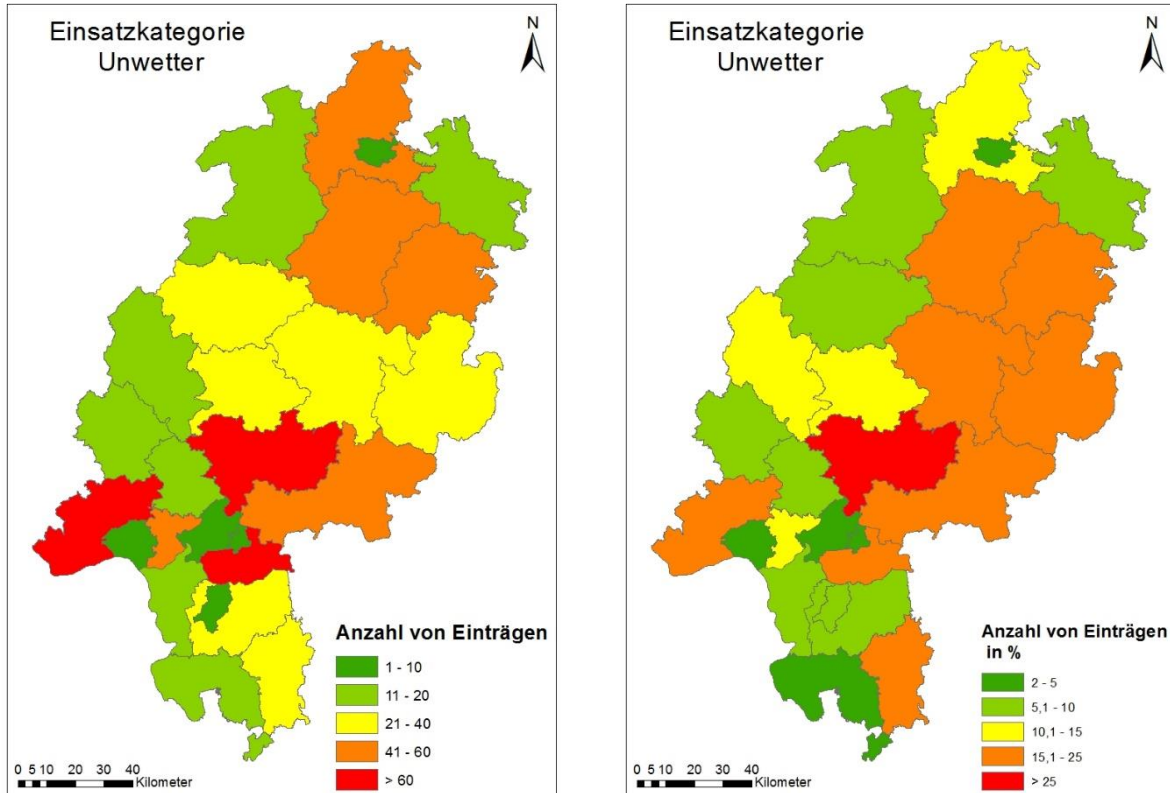


Abbildung 30: Anzahl von Einträgen der Einsatzkategorie „Unwetter“, absolute Zahlen (links) und Anteil in % (rechts)

Festzuhalten ist, dass die aufgestellten Vermutungen bejaht werden können. Die Datenbank bestätigt, dass mehr Einsätze der Kategorie „Baum“ in den ländlicheren Gebieten zu verzeichnen sind und mehr Einsätze mit „Gegenständen“ in den städtischen Gebieten. Das Gesagte stärkt die Plausibilität der Datenbank als Ganzes und unterstützt bereits erworbene Erkenntnisse. Jedoch bleibt die Analyse mit Vorsicht zu interpretieren, da ein subjektiver Faktor vorhanden ist. Ein erhöhter Anteil in der Kategorie „Stürme“ rund um das Rhein-Main-Gebiet könnte ein Hinweis darauf sein, dass Südhessen stärker betroffen ist als Nordhessen, dies ist jedoch nicht faktisch anhand der präsentierten Daten zu beweisen.

5.8 Maxima in den Sommermonaten

Als Letztes wird erneut das Augenmerk auf die Jahresverläufe in Verbindung mit Sturmereignissen gelegt. Wie in den Ergebnissen präsentiert, haben wir zwei Maxima im Jahresverlauf, in den Sommer- und Wintermonaten. Das Maximum in den Wintermonaten wird meist durch einzelne Sturmereignisse verursacht, die den größten Schaden anrichten. Mit Ausnahme von Sturm „Fabienne“ waren alle Stürme, auf die in Kapitel 5.6 eingegangen wurde, in den Wintermonaten. Schaut man sich die Tabelle mit allen genannten Stürmen an, fanden einige auch in den Sommermonaten statt. Die Frage ist

daher, ob einzelne Sturmereignisse auch Maxima in den Sommermonaten kreieren oder ob es eine Häufung von Gewitterstürmen ist. Die Jahresverläufe der Einzeljahre können im Anhang nachgesehen werden.

Im Jahr 2018 haben wir Maxima, neben Januar, im August und September. Das Maximum im September ist durch den Sturm „Fabienne“ erklärbar. 119 Einträge von 199 sind vom 09.08.18. An dem Datum kam es zu schweren Unwettern mit Sturmböen über Hessen (DWD 2018b: 3).

Das Jahr 2017 hat eine hohe Anzahl (mindestens 85) von Einträgen in den Monaten Juni, Juli und August. Von den namentlich genannten Stürmen fällt nur Sturm „Thomas“ in den Zeitraum, dabei handelt es sich jedoch nur um einen Eintrag. Tage mit mehreren Einträgen sind: 15.08.17, 01.08.17 und 22.06.17. Die drei Daten machen 87 Einträge aus und somit etwa ein Drittel der Gesamteinträge in den Monaten. Die restlichen Einträge sind zeitlich als auch räumlich komplett verteilt. Berichte des DWD geben schnellen Aufschluss darüber, dass es sich dabei tatsächlich um Gewitterstürme gehandelt hat. Am 15.08. musste beispielsweise der Flugverkehr ruhen und am 01.08. fielen 30.000 Bäume in der Umgebung von Wiesbaden um (DWD 2017c: 3). Die Einträge des 22.06 sind durch ein Gewitter zu erklären (DWD 2017d: 10).

Im Jahr 2016 liegt das Maximum im Juni mit 142 Einträgen. Die meisten Einträge sind am 25.06.16 dokumentiert, 26 an der Zahl. Im Juni 2016 gab es viele Unwetter und Starkregenereignisse (DWD 2016b: 10–11). Im Gegensatz zu 2017 waren die Einträge zeitlich mehr verteilt. Der Grund ist, dass es über den ganzen Monat Unwetter gab, aber auch mehr Starkregenereignisse, wodurch es möglicherweise mehr Starkregen bedingte Einsätze gab.

Im Jahr 2015 und 2014 sehen wir erneut ein Maximum im Juli. Von den 193 Einträgen sind 61 am 25.07.15 und 42 am 07.07.15. Das Ereignis am 25.07.15 ist tatsächlich der Sturm „Zjelko“, welcher in der Tabelle für den 15.07 auftritt, es kann sich dabei um einen Fehler bei der Dokumentation handeln. Am 07.07.15 handelt es sich um Gewitterstürme (DWD 2015). Aus dem Juli 2014 kann der 06.07.14 mit 41 Einträgen genannt werden. Ein Eintrag aus Wiesbaden an dem Tag verzeichnete 300 Einzeleinsätze. Es handelt sich dabei um einen Gewittersturm, welcher in Nordrhein-Westfalen mehr Schäden als „Kyrill“ verursacht hatte (wetteronline 2014).

Das letzte Jahr, das genauer angeschaut wird, ist 2013, da dort das Maximum im Juni noch über 100 Einträge hat. Es wird daher davon abgesehen die anderen Jahre mit ihren Maxima zu untersuchen, denn dort ist die Datenmenge geringer und die bisherigen Ergebnisse waren sehr ähnlich. Der 21/20.06.13 hat 75 Einträge. Auch hier handelt es sich um schwere Gewitter, die zahlreiche Schäden verursacht haben (DWD 2013: 6).

Es lässt sich festhalten, dass die Maxima in den Sommermonaten erklärbar sind. Es handelt sich dabei in den meisten Fällen um Gewitterstürme oder Unwetter. Aus den Daten der Datenbank lässt sich somit eine Trennung von Sturmereignissen, in den meisten Fällen Winterstürmen und Sommergewittern mit Sturmböen, ermöglichen. Dies kann möglicherweise für zukünftige Untersuchungen interessant sein. Eine allgemeine Zunahme von Einträgen von 2013 bis 2019 in den Maxima ist nicht erkennbar. Das heißt, es kann nicht zwangsläufig angenommen werden, dass es einen Anstieg von Ereignissen gibt. Besonders ist dabei das Jahr 2019 hervorzuheben, welches kein deutliches Maximum in den Sommermonaten hat.

6. Fazit/Ausblick

Ziel der Masterarbeit war es, Sturmereignisse auf Grundlage von Feuerwehreinsatzdaten in Hessen zu untersuchen und analysieren. Das Hauptaugenmerk lag darauf, ob räumliche und zeitliche Veränderungen erkennbar und inwiefern diese erklärbar waren. Im beobachteten Zeitraum von 1999 bis 2019 wurde ein Anstieg von Einträgen in der Datenbank und der damit verbundenen Anzahl von Feuerwehreinsätzen festgestellt. Die Daten bilden einen Jahresverlauf ab, der für Sturmereignisse zu erwarten war, mit Maxima in den Sommer- und Wintermonaten. Die Maxima konnten zudem mit meteorologischen Daten erklärt werden. Die Datenbank als solche lieferte viele Zusatzinformationen zu Sturmereignissen und der Einsatzart. Diese haben eine vollständige Analyse erleichtert.

Die wichtigste Frage war, ob die Datenbank plausible Ergebnisse aufzeigen kann, um wertvolle Aussagen zu tätigen. Mit den eben kurz dargestellten Ergebnissen lässt sich die Frage bejahen. Die Ausbildung eines erklärbaren Jahresverlaufes, die Darstellung von Sturmereignissen in Verbindung mit meteorologischen Fakten, wie auch die Tatsache, dass Einsatzkategorien in bestimmten Landkreisen gehäuft vorkommen. All diese Faktoren stärken die Plausibilität der Datenbank als Ganzes. Hinzu kommt, dass aus den Daten sowohl Winter- als auch Sommerstürme erkennbar sind. Zu beachten gilt, dass die Datenbank erst ab 2010 eine hohe Qualität und Quantität besitzt. Auf die Frage, ob und wie zeitliche Veränderungen in der Anzahl von Einträgen erkennbar und erklärbar sind, ist die Antwort komplexer. Die Zunahme der Internetaktivität und der Anzahl von Feuerwehrseiten mit Einsatzinformationen ist wohl der Hauptgrund für einen Anstieg der Gesamtanzahl von Einträgen. Jedoch lassen sich interannuelle Schwankungen nicht ausschließlich damit beschreiben. Die Ergebnisse der Einzeljahranalyse haben gezeigt, dass Gemeinden die Feuerwehrseiten betreiben, in manchen Jahren keine oder weniger Einsätze verzeichnen. Das zeigt, dass die Datenbank Hinweise darauf gibt, dass in manchen Jahren mehr oder weniger Stürme in Hessen auftreten. Hierzu zeigen die Korrelationen mit

NAO-Daten keine signifikanten Zusammenhänge, die eine positive oder negative Erklärung bieten. Weshalb ein Zusammenhang mit dem Klimawandel und einem Anstieg von Einträgen sich nicht bestätigen oder verneinen lässt, was auch aufgrund der kurzen Datenzeitreihe nicht möglich wäre.

Bei der räumlichen Analyse bietet die Datenbank Informationen zu Sturmereignissen, die sich räumlich darstellen lassen und betroffene Gebiete aufzeigt. In manchen Fällen, wie Sturm „Egon“ lassen sich die Erkenntnisse mit meteorologischen Daten erklären. In den meisten Fällen lassen sich keine räumlichen Schwerpunkte erkennen, da es sich um zu große Sturmereignisse handelt, welche weitreichende Gebiete betreffen. Die Einzeljahanalyse lässt auch keine Aussagen zu, dass Regionen in Hessen verstärkt getroffen sind. Die räumliche Darstellung hat ähnlich der Starkregenuntersuchung des HLNUG ein „Streuselkuchenmuster“ ergeben. Die räumliche Untersuchung der Einsatzkategorien bietet keine Hinweise auf räumliche Schwerpunkte. Hingegen verstärkt sie die Qualität der Datenbank. Vermutungen beispielsweise, dass Einträge der Kategorie „Gegenstände“ vermehrt in städtischen Gebieten auftreten, konnten bejaht werden. Es lassen sich auch Hinweise finden das Faktoren, wie Waldanteil, Gefälle und Bevölkerungsdichte Einfluss auf eine höhere Anzahl an Einträgen haben können. Mit einer Fortführung der Datenbank könnten sich möglicherweise räumliche Muster genauer und vermehrt erkennen lassen.

Da es sich bei der Datenbank um ein Unikat handelt, knüpft die Forschung nicht an die allgemeine Sturmforschung an. Jedoch knüpft sie an die Untersuchungen des HLNUG und der Starkregenforschung an, da die Datenbank alle wetterbedingten Feuerwehreinsätze umfasst. Die Ergebnisse ähneln sich jedoch.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Datenbank plausibel ist und Veränderungen sich erklären lassen. Jedoch stößt die Datenbank an ihre Grenze, zeitliche Veränderung umfangreich zu erklären und räumliche Schwerpunkte aufzeigen zu können, um komplett faktische Aussagen zu treffen.

Die Masterarbeit ist ein erster Schritt zu wünschenswerten weitreichenderen Untersuchungen. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass es sich lohnt, die Datenbank weiterzuführen und mit ihren Daten zu arbeiten. Es wäre ratsam die Datenbank auf jährlicher Basis zu aktualisieren, um die Quantität und insbesondere die Qualität zu steigern. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass ab 2010 eine gute Quantität vorhanden ist und wenn die Datenbank fortgeführt wird, sich der Untersuchungszeitraum positiv auf die Forschung auswirken wird. Eine genauere Untersuchung mit Fokus auf meteorologische Daten wäre wünschenswert, um zu sehen, wie viel tatsächlich aus der Datenbank herauszuholen ist.

Da die Datenbank fast ausschließlich auf Einsatzdaten von Freiwilligen Feuerwehren und Berufsfeuerwehren beruht, wäre es sehr positiv für die Datenbank, wenn die Feuerwehren die Internetseiten

weiter pflegen und gegebenenfalls genauere Informationen zu den Einsätzen geben würden. Eine Schließung der Flächen ohne Informationen steigert die Qualität der Daten maßgeblich.

Diese Forschung ist nur ein kleiner Teil der Gesamtforschung um das Thema Extremwetterereignisse und Klimawandel. Da der Klimawandel uns alle schon jetzt beeinflusst und in Zukunft noch mehr beeinflussen wird, sollte diese Forschung weitergeführt werden.

Quellenverzeichnis

- ALBRECHT, K. (2017): Nicht nur im Herbst: Sturmschäden in Deutschland nehmen zu. Internet: <https://www.ruv.de/ratgeber/schaeden-vorbeugen/sturmschaeden> (21.12.2020).
- BERZ, G. (2008): Versicherungsrisiko „Klimawandel“. In: *promet* 34 (1/2): 3–9.
- BRÄUER, I., K UMPFENBACH, D. BLOBEL, M. GRÜNIG, A. BEST, M. PETER, H. LÜCKGE und F. KASSER (2009): „Klimawandel: Welche Belastungen entstehen für die Tragfähigkeit der Öffentlichen Finanzen?“. Endbericht. Internet: https://www.infras.ch/media/filer_public/b3/a8/b3a8482e-221e-4ad9-8ff0-cee683eb5afb/endbericht_klimawandel_281009.pdf (21.12.2020).
- BRÖNNIMANN, S. (2018): *Klimatologie*. Bern.
- COHEN, J. (1988): *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. New York.
- Deutsche Rück (2014): Risiken Durchschauen. Sommersturmmodellierung. In: *Magazin zum Geschäftsbericht 2014*: 9–11.
- Deutsche Rück (2007): *Sturmdokumentation 2007*. Deutschland. Internet: https://www.deutscherueck.de/suche/?id=78&tx_kesearch_pi1%5Bpage%5D=1&tx_kesearch_pi1%5BresetFilters%5D=0&tx_kesearch_pi1%5BsortByField%5D=&tx_kesearch_pi1%5BsortByDir%5D=&tx_kesearch_pi1%5Bsword%5D=kyrill (21.12.2020).
- DWD (2018a): „Friederike“-einer der stärksten Stürme seit Kyrill. Internet: https://www.dwd.de/DE/wetter/thema_des_tages/2018/1/19.html (21.1.2020).
- DWD (2018b): *Deutschlandwetter im August 2018*. Internet: https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2018/20180830_deutschlandwetter_august.html?nn=636156 (21.12.2020).
- DWD (2017a): *Orkan Kyrill*. Internet: https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2017/20170111_10jahrekyrill.html (21.12.2020).
- DWD (2017b): *Deutschlandwetter im Januar 2017*. Internet: https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2017/20170130_deutschlandwetter_januar.html (21.12.2020).
- DWD (2017c): *Deutschlandwetter im August 2017*. Internet: https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2017/20170830_deutschlandwetter_august.html (21.12.2020).
- DWD (2017d): *Schadensrückblick des DWD für die letzten 12 Monate*. Internet: https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2017/20171130_schadensrueckblick.html (21.12.2020).

- DWD (2016a): NANNETTE fegt über Teile Deutschlands hinweg. Internet: https://www.dwd.de/DE/wetter/thema_des_tages/2016/11/20.html (21.12.2020).
- DWD (2016b): Schadensrückblick des DWD für die letzten 12 Monate. Internet: https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2016/20161208_schadenrueckblick.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (21.12.2020).
- DWD (2015): Der Wind, der Wind, das himmlische Kind. Internet: https://www.dwd.de/DE/wetter/thema_des_tages/2015/7/25.html (21.12.2020).
- DWD (2013): Jahresrückblick 2013 des Deutschen Wetterdienstes. Internet: https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2013/20131210_gefaehrliche_wetterereignisse_2013.html?nn=583156 (21.12.2020).
- DWD (o. J.a): Wetterlexikon. Wind. Internet: <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=102936&lv3=103196> (21.12.2020).
- DWD (o. J.b): Wetterlexikon. Sturmzyklone. Internet: <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=102248&lv3=102648> (21.12.2020).
- DWD (o. J.c): Wetterlexikon. Unwetter. Internet: <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?nn=103346&lv2=102828&lv3=102860> (21.12.2020).
- ENGEL, P. (2020): Analyse einer Starkregen-Datenbank – zeitliche und räumliche Schwerpunkte in Hessen. Unveröffentlichte Masterarbeit.
- FESER, F., M. BARCIKOWSKA, O. KRUEGER, F. SCHENK, R. WEISSE und L. XIA (2015): Storminess over the North Atlantic and northwestern Europe-A review. In: Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 141: 350–382.
- Feuerwehr Hessen (2019): Feuerwehr. Förderungen 2019. Internet: <https://feuerwehr.hessen.de/feuerwehr/f%C3%B6rderungen-2019> (21.12.2020).
- GDV (2020): Naturgefahrenreport 2020. Die Schaden-Chronik der deutschen Versicherer. Internet: <https://www.gdv.de/resource/blob/63610/9fb7d9d95fa0874f312ae871363310fa/naturgefahrenreport-2020---schadenchronik-data.pdf> (21.12.2020).
- GDV (2018a): Sturmfolgen. Orkan Friederike verursacht Schäden von rund einer Milliarde Euro. Internet: <https://www.gdv.de/de/themen/news/orkan-friederike-verursacht-schaeden-von-rund-einer-milliarde-euro-30086> (21.12.2020).

- GDV (2018b): Naturgefahrenreport 2018. Serviceteil – Tabellen, Grafiken, Karten. Internet: <https://www.gdv.de/resource/blob/36260/37064b0267bc0aed272a19cec14f780a/naturgefahrenreport-2018---serviceteil-data.pdf> (21.12.2020).
- GERSTENGARBE, F.-W., P. C. WERNER, H. ÖSTERLE und O. BURGHOFF (2013): Winter storm- and summer thunderstorm-related loss events with regard to climate change in Germany. In: *Theoretical and Applied Climatology* 114: 715–724.
- HARTMANN, D. L., A. M. G. KLEIN TANK, M. RUSTICUCCI, L. V. ALEXANDER, S. BRÖNNIMANN, Y. CHARABI, F. J. DENTENER, E. J. DLUGOKENCKY, D. R. EASTERLING, A. KAPLAN, B. J. SODEN, P. W. THORNE, M. WILD und P. M. ZHAI (2013): Observations: Atmosphere and Surface. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*: 159–254.
- HÄCKEL, H. (2016): *Meteorologie*. Stuttgart.
- HAESLER, S. und C. LEFEBVRE (2015): Orkantief NIKLAS wütet am 31. März 2015 über Deutschland. Internet: https://www.dwd.de/DE/presse/hintergrundberichte/2015/Orkantief_NIKLAS_PDF.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (21.12.2020).
- HELD, H., F.-W. GERSTENGARBE, T. PARDOWITZ, J. G. PINTO, U. ULBRICH, K. BORN, M. G. DONAT, M. K. KARREMAN, G. C. LECKEBUSCH, P. LUDWIG, K. M. NISSEN, H. ÖSTERLE, B. F. PRAHL, P. C. WERNER, D. J. BEFORT und O. BURGHOFF (2013): Projections of global warming-induced impacts on winter storm losses in the German private household sector. In: *Climatic Change* 121: 195–207.
- HENSE, A. und R. GLOWIENKA-HENSE (2008): Auswirkungen der Nordatlantischen Oszillation. In: *promet* 34 (3/4): 89–94.
- HOFHERR, T. und M. KUNZ (2010): Extreme wind climatology of winter storms in Germany. In: *Climate Research* 41: 105–123.
- HOSKINS, B. J. und P. J. VALDES (1990): On the Existence of Storm-Tracks. In: *Journal of the Atmospheric Sciences* 47 (15): 1854–1864.
- HMdIS (2019): Jahresbericht 2018: Einsatzkräfte immer öfter gefordert. In: *Florian Hessen* (6): 14–23.
- HSL (2020a): Bevölkerung, Gebiet, Haushalte, Familien, Wohnen. Tabellen Bevölkerung. Bevölkerung in Hessen nach Verwaltungsbezirken und Quartalen. Internet: <https://statistik.hessen.de/zahlen-fakten/bevoelkerung-gebiet-haushalte-familien/bevoelkerung/tabellen> (21.12.2010).

- HSL (2020b): Bevölkerung, Gebiet, Haushalte, Familien, Wohnen. Tabellen Bevölkerung. Bevölkerung in Hessen am 31.03.2020 nach Gemeinden. Internet: <https://statistik.hessen.de/zahlen-fakten/bevoelkerung-gebiet-haushalte-familien/bevoelkerung/tabellen> (21.12.2020).
- HSL (2020c): Land- und Forstwirtschaft. Tabellen. Internet: <https://statistik.hessen.de/zahlen-fakten/land-und-forstwirtschaft/tabellen-land-und-forstwirtschaft-flaeche> (21.12.2020).
- HSL (2020d): Statistische Berichte. Flächenerhebung in Hessen zum 31.12.2019 Tatsächliche Nutzung. Wiesbaden.
- HSL (2016a): Bevölkerung, Gebiet, Haushalte, Familien, Wohnen. Gebiet. Internet: <https://statistik.hessen.de/zahlen-fakten/bevoelkerung-gebiet-haushalte-familien/gebiet/gebiet-einleitung> (21.12.2020).
- HSL (2016b): Statistische Berichte. Flächenerhebung in Hessen zum 31.12.2015 Tatsächliche Nutzung. Wiesbaden.
- HLNUG (2020a): Witterungsbericht. Jahresgang. Internet: <https://www.hlnug.de/?id=12735> (21.12.2020).
- HLNUG (2020b): Schäden durch Starkregen vermeiden. Unterstützung für hessische Kommunen. Internet: <https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/klima/klimprax/starkregen/Schaeden-durch-Starkregen-vermeiden2020.pdf> (21.12.2020).
- HLNUG (2016): KLIMPRAX Starkregen Internet: <https://www.hlnug.de/themen/klimawandel-und-anpassung/projekte/klimprax-projekte/klimprax-starkregen> (07.08.2020).
- HLNUG (2013): Umweltatlas Hessen. Klima. Internet: http://atlas.umwelt.hessen.de/servlet/Frame/atlas/klima/einleitung_txt.htm#datenundkarten (26.06.2020).
- HUEGING, H., R. HAAS, K. BORN, D. JACOB und J. G. PINTO (2013): Regional Changes in Wind Energy Potential over Europe Using Regional Climate Model Ensemble Projections. In: Journal of Applied Meteorology and Climatology 52 (4): 903–917.
- HUPFER, P. und W. KUTTLER (Hrsg) (2005): Witterung und Klima. Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie. 11 Auflage bearbeitet von F.-M. CHMIELEWSKI, P. HUPFER, W. KUTTER und H. PETHE (2005). Wiesbaden.
- HURRELL, J. (2020): The Climate Data Guide: Hurrell North Atlantic Oscillation (NAO) Index (station based). Internet: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/hurrell-north-atlantic-oscillation-nao-index-station-based> (21.12.2020).

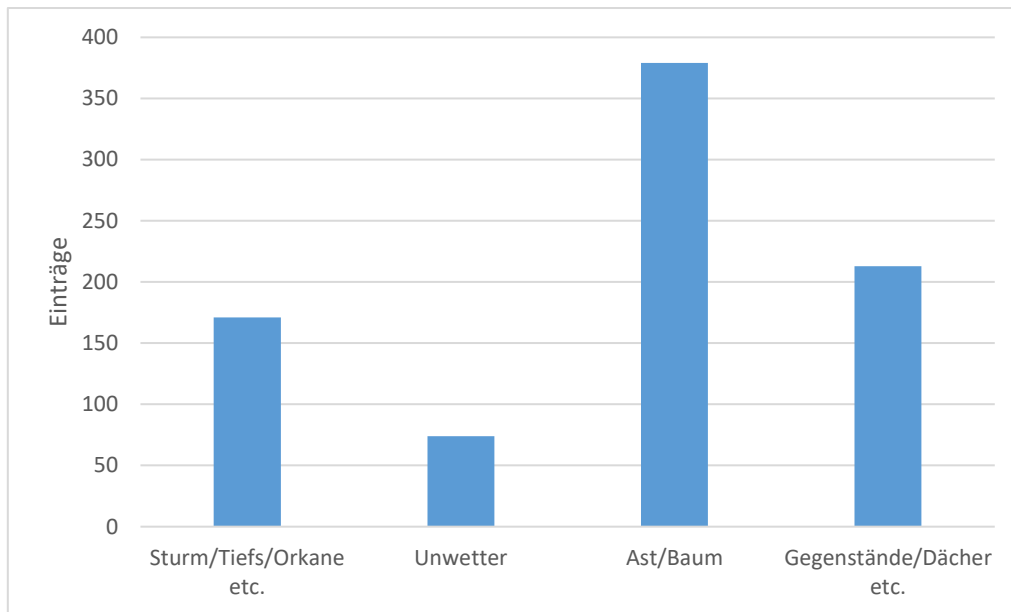
- JACOB, D., H. RIES und B. WEBER (o. J.): Ergebnisse und Auswertungen der Recherche zur Entwicklung von Extremwetterereignissen in Deutschland.
- Kachelmannwetter (2020): Messwerte und Klimadaten. Internet: <https://kachelmannwetter.com/de/messwerte/hessen/windrichtung/20180923-1800z.html> (21.12.2020).
- KAPPAS, M. (2009): Klimatologie. Klimaforschung im 21. Jahrhundert-Herausforderung für Natur- und Sozialwissenschaften. Heidelberg.
- KLAUS, H. und U. EBEL (2003): Risiko Wetter. Die Entstehung von Stürmen und anderen atmosphärischen Gefahren. Berlin, Heidelberg.
- KOX, T. und L. GERHOLD (Hrsg) (2019): Wetterwarnungen: Von der Extremereignisinformation zu Kommunikation und Handlung. In: GERHOLD, L. R. PEPPERHOVE und H. JÄCKEL (2019): Schriftreihe Sicherheit des Forschungsforum Öffentliche Sicherheit 25: 36.
- KUTSCHKER, T. (2018): Auswirkungen von Starkregenereignissen auf die Gefahrenabwehr im Ballungsraum Rhein-Main und mögliche Anpassungsstrategien im Bevölkerungsschutz.
- KUTSCHKER, T. und T. GLADE (2016): Unwetter! -Starkregen als Herausforderung für den anwendungsbezogenen Bevölkerungsschutz: 1–27.
- KUTTLER, W. (2013): Klimatologie. Paderborn.
- LAMBERT, S. J. (2004): Changes in winter cyclone frequencies and strengths in transient enhanced greenhouse warming simulations using two coupled climate models. In: Atmosphere-Ocean 42 (3): 173–181.
- LAUER, W. und J. BENDIX (2006): Klimatologie. Das Geographische Seminar. Braunschweig.
- LECKEBUSCH, G. C. und U. ULBRICH (2013): Anthropogene Beeinflussung des Sturmklimas über Europa und mögliche Folgen für die Region Hessen.
- LEFEBVRE, C., P. BISSOLLI, M. HAFER und M. ROCEK (2018): Sturmtief FABIENNE bringt am 23. September 2018 Sturm und Regen. Internet: https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/stuerme/20180923_sturm_fabienne.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (21.12.2020).
- LÖNNIS-HANNA, C. (2016): Starkregenereignisse und Hochwasser. In: Hydrologie in Hessen, Heft 15: Gewässerkundlicher Jahresbericht 2016: 16–27.
- LUNKEIT, F. (2011): Einfluss des Ozeans auf die Nordatlantische Oszillation und die Bedeutung für das Klima in Europa. In: LOZÁN, J. L., H. GRÄBL, L. KARBE und K. REISE (Hrsg.) (2011): Warnsignal Klima: Die Meere. Änderungen & Risiken. Hamburg: 90–95.

- MALBERG, H. (⁵2007): Meteorologie und Klimatologie. Eine Einführung. Berlin, Heidelberg.
- OG, M. (2020): Plausibilitätsbericht der Ereignisdatenbank über wetterbedingte Feuerwehreinsätze des Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG). Unveröffentlichter Praktikumsbericht.
- OSBERGHAUS, D und A. PHILIPPI (2015): Klimawandel in Deutschland: Risikowahrnehmung und Anpassung in privaten Haushalten 2012 und 2014.
- PINTO, J.G., E. L. FRÖHLICH, G. C. LECKEBUSCH und U. ULBRICH (2007): Changing European storm loss potentials under modified climate conditions according to ensemble simulations of the ECHAM5/MPI-OM1 GCM. In: Natural Hazards and Earth System Sciences 7: 165–175.
- RAINER, A. (2008): Der Orkan Kyrill. In: schadenprisma 2008 (1): 4–9.
- SCHÖNWIESE, C.-D. (⁴2013): Klimatologie. Stuttgart.
- SCHÖNWIESE, C.-D. (2008): Extremereignisse aus meteorologisch-statistischer Sicht. In: promet 34 (1/2): 61–65.
- SPAZIERER, M., T. SÄVERT und S. LAPS (2007): Orkantief KYRILL - 18., 19.01.2007 (Tief Nr. 33) - Der schwerste Orkan seit Jahrzehnten. Internet: <http://www.unwetterzentrale.de/uwz/348.html> (21.12.2020),
- Spiegel (2018): Bilanz nach Orkantief „Friederike“. Sturm und bang. Internet: <https://www.spiegel.de/panorama/wetter-sturmtief-friederike-acht-tote-und-schaeden-in-millionenhoehe-a-1188736.html> (27.10.2020).
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2020): Fläche und Bevölkerung nach Ländern. Internet: <https://www.statistikportal.de/de/bevoelkerung/flaechе-und-bevoelkerung> (21.12.2020).
- Statistisches Bundesamt (2020a): Bodenfläche nach Nutzungsarten und Bundesländern 31.12.2019. Internet: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen/Unternehmen/Landwirtschaft/Forstwirtschaft-Fischerei/Flaechennutzung/Tabellen/bodenflaechе-laender.html> (21.12.2020).
- Statistisches Bundesamt (2020b): Bevölkerung in Deutschland im Jahr 2019 auf 83,2 Millionen angestiegen. Internet: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2020/06/PD20_223_12411.html (21.12.2020).
- TINZ, B. (2002): Die Nordatlantische Oszillation und ihr Einfluss auf die europäischen Lufttemperaturen. In: DWD (Hrsg.) (2002): Klimastatusbericht 2002. Offenbach: 32–41.

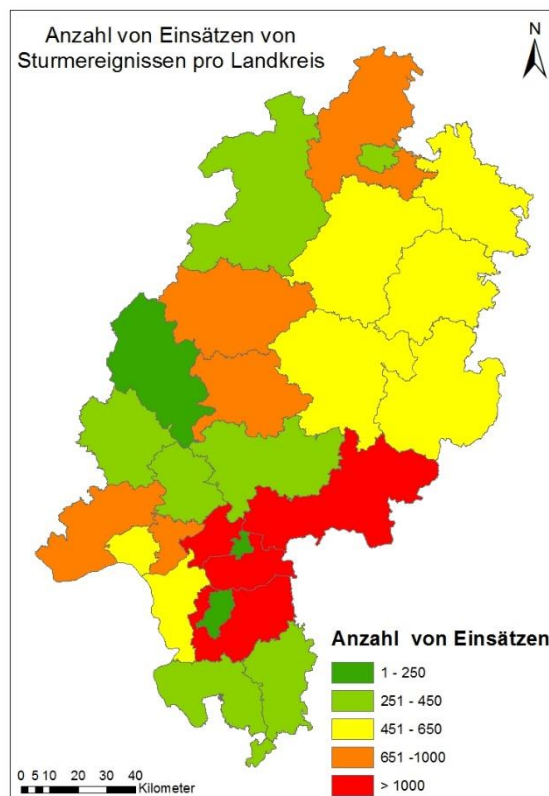
- TRIGO, I. F. (2006): Climatology and interannual variability of storm-tracks in the Euro-Atlantic sector: a comparison between ERA-40 and NCEP/NCAR reanalyses. In: *Climate Dynamics* 26: 127–143.
- ULBRICH, U., G. C. LECKEBUSCH und J. G. PINTO (2009): Extra-tropical cyclones in the present and future climate: a review. In: *Theoretical and Applied Climatology* 96: 117–131.
- WANG, X. L., H. WAN, F. W. ZWIERS, V. R. SWAIL, G. P. COMPO, R. J. ALLAN, R. S. VOSE, S. JOURDAIN und X. YIN (2011): Trends and low-frequency variability of storminess over western Europe, 1879-2007. In: *Climate Dynamics* 37: 2355–2371.
- WEISCHET, W. und W. ENDLICHER (⁸2012): Einführung in die Allgemeine Klimatologie. Berlin, Stuttgart.
- Wetteronline (2014): Gewittersturm fegt über NRW. Größere Schäden als bei Kyrill. Internet: <https://www.wetteronline.de/extremwetter/gewittersturm-fegt-ueber-nrw-groessere-schaeden-als-bei-kyrill-2014-06-09-un> (21.12.2020).
- WIEDERSICH, B. (1996): Das Wetter. Entstehung, Entwicklung, Vorhersage. Stuttgart.
- WOLTER, F. (2011): Die Freiwilligen Feuerwehren in Österreich und Deutschland. Eine volkswirtschaftlich-soziologische Bestandsaufnahme. Wiesbaden.

Anhang

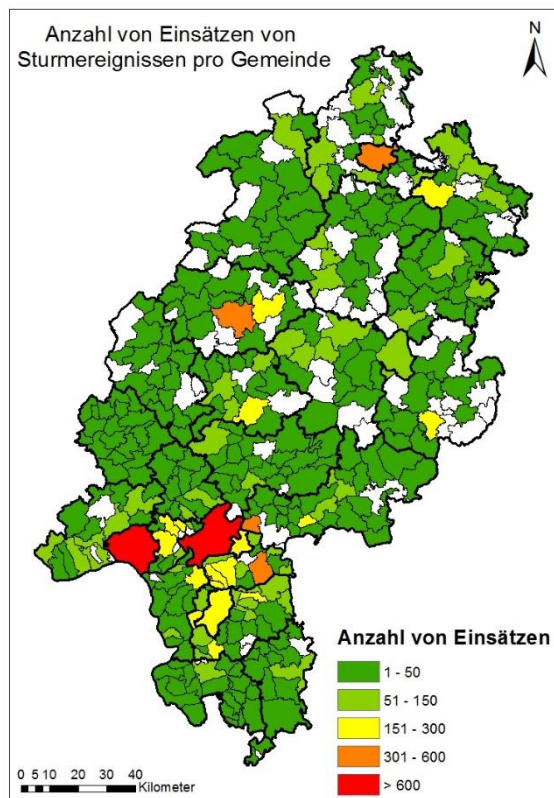
Anhang 1: Differenzierung der Kategorie "mehrere Einträge"	66
Anhang 2: Anzahl von Einsätzen pro Landkreis gesamt	66
Anhang 3: Anzahl von Einsätzen pro Gemeinde gesamt.....	67
Anhang 4: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2019.....	67
Anhang 5: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2018.....	68
Anhang 6: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2017.....	68
Anhang 7: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2016.....	69
Anhang 8: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2015.....	69
Anhang 9: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2014.....	70
Anhang 10: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2013.....	70
Anhang 11: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2012.....	71
Anhang 12: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2011.....	71
Anhang 13: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2010.....	72
Anhang 14: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2009.....	72
Anhang 15: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2008.....	73
Anhang 16: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2007.....	73
Anhang 17: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2006.....	74
Anhang 18: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2005.....	74
Anhang 19: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2004.....	75
Anhang 20: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2003.....	75
Anhang 21: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2002.....	76
Anhang 22: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2001.....	76
Anhang 23: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2000.....	77
Anhang 24: Korrelation der Anzahl von Einträgen und den Jahres NAO-Werten von 2000 bis 2019 ..	78
Anhang 25: NAO-Index und Anzahl von Einträgen von 2000 bis 2019 und Gesamtkorrelation + Korrelation 2010 bis 2019	79
Anhang 26: Monatswerte NAO-Index und Anzahl von Einträgen (2000 bis 2016)	80
Anhang 27: Monatswerte NAO-Index und Anzahl von Einträgen (2007 bis 2013)	81
Anhang 28: Monatswerte NAO-Index und Anzahl von Einträgen (2014 bis 2019)	82
Anhang 29: Einzellistung der Einsatzkategorien der kreisfreien Städte	83



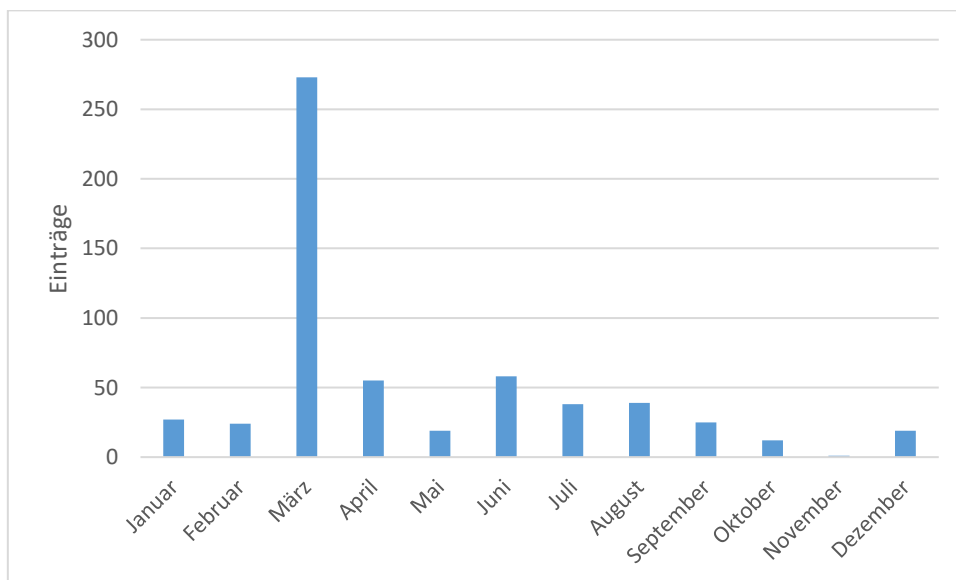
Anhang 1: Differenzierung der Kategorie "mehrere Einträge"



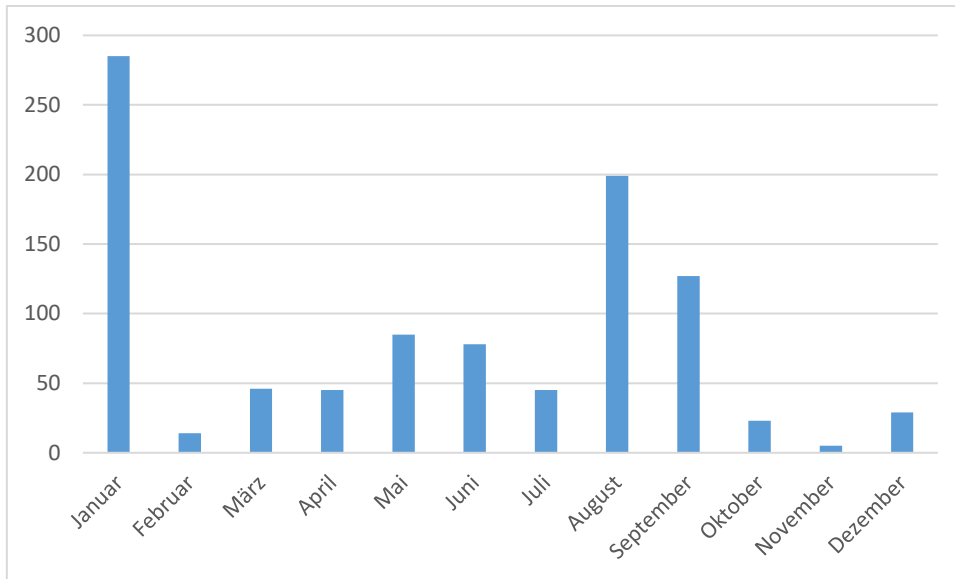
Anhang 2: Anzahl von Einsätzen pro Landkreis gesamt



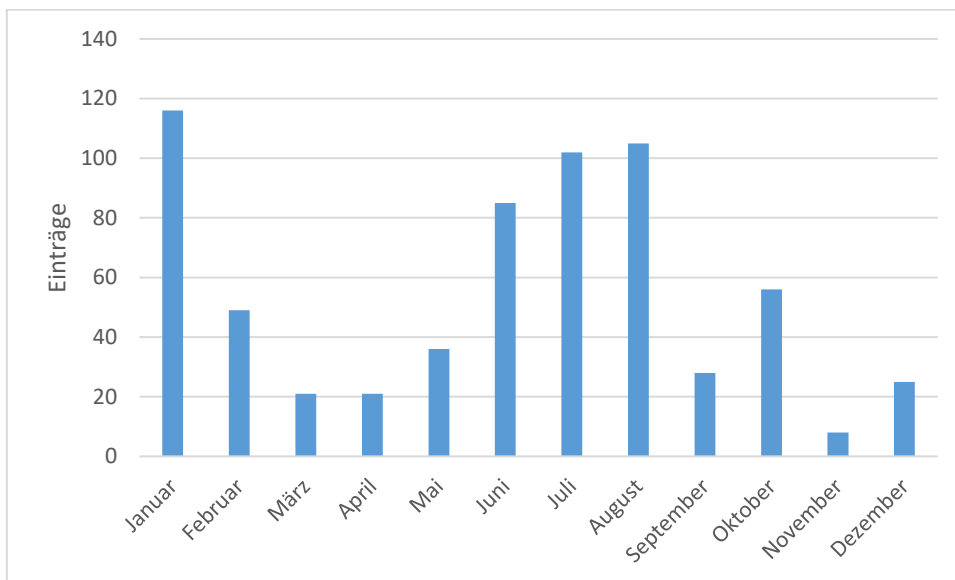
Anhang 3: Anzahl von Einsätzen pro Gemeinde gesamt



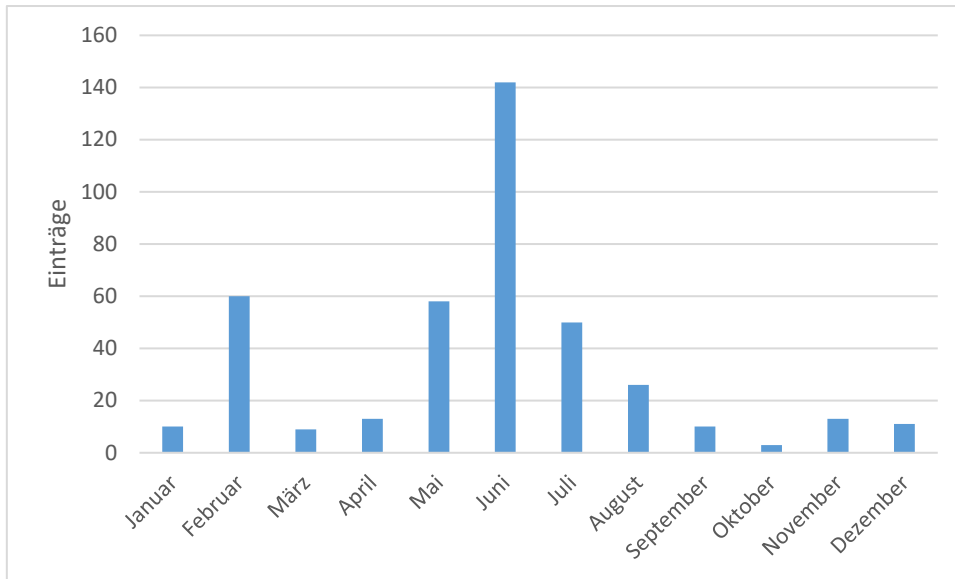
Anhang 4: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2019



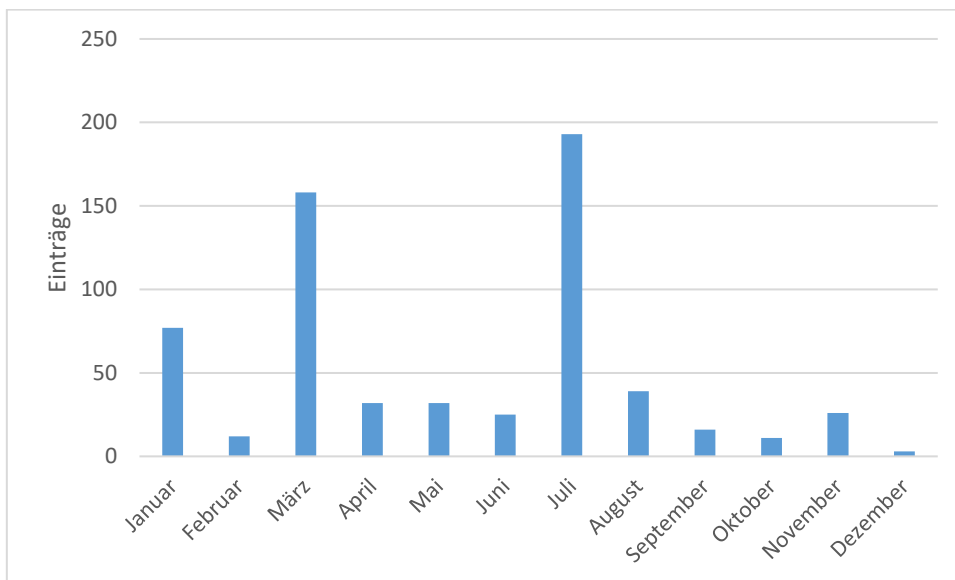
Anhang 5: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2018



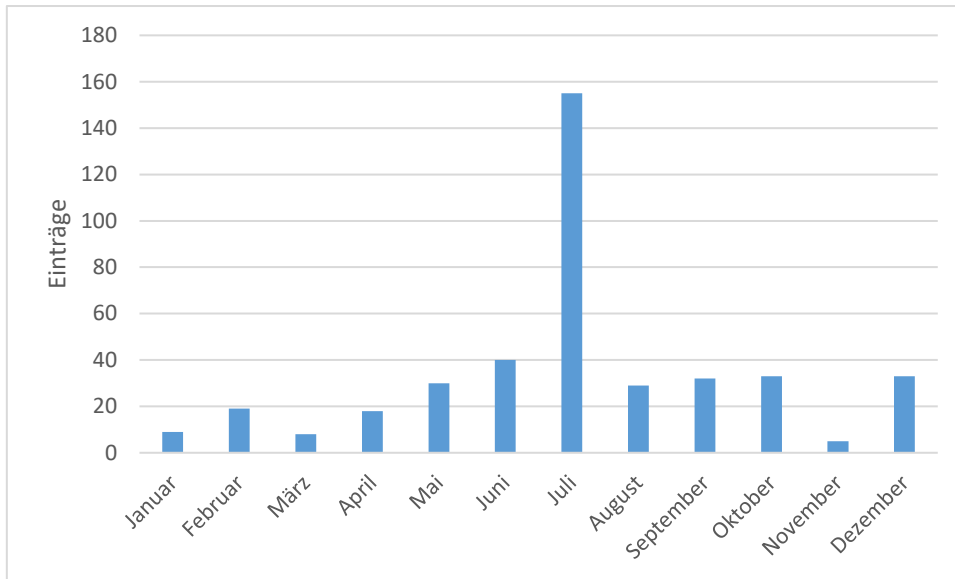
Anhang 6: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2017



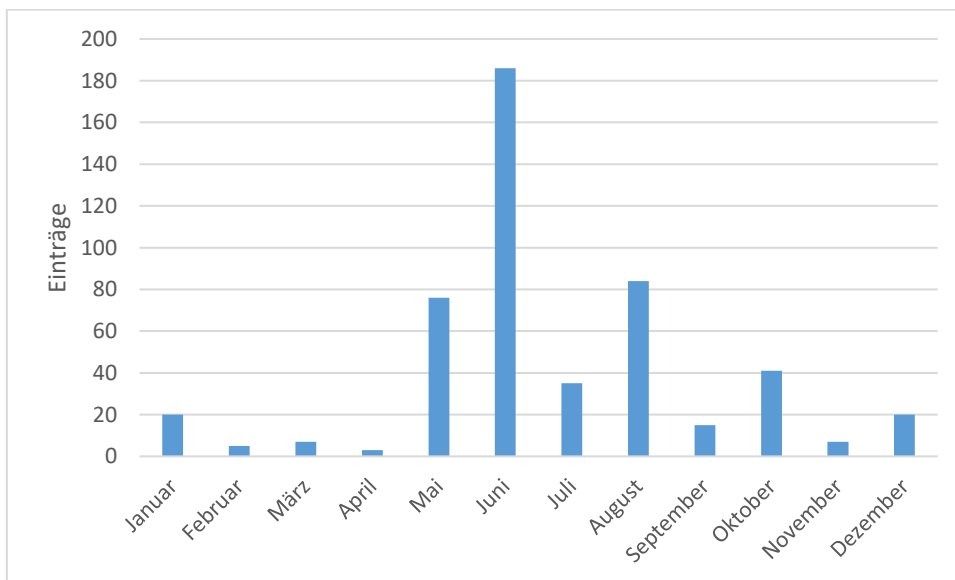
Anhang 7: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2016



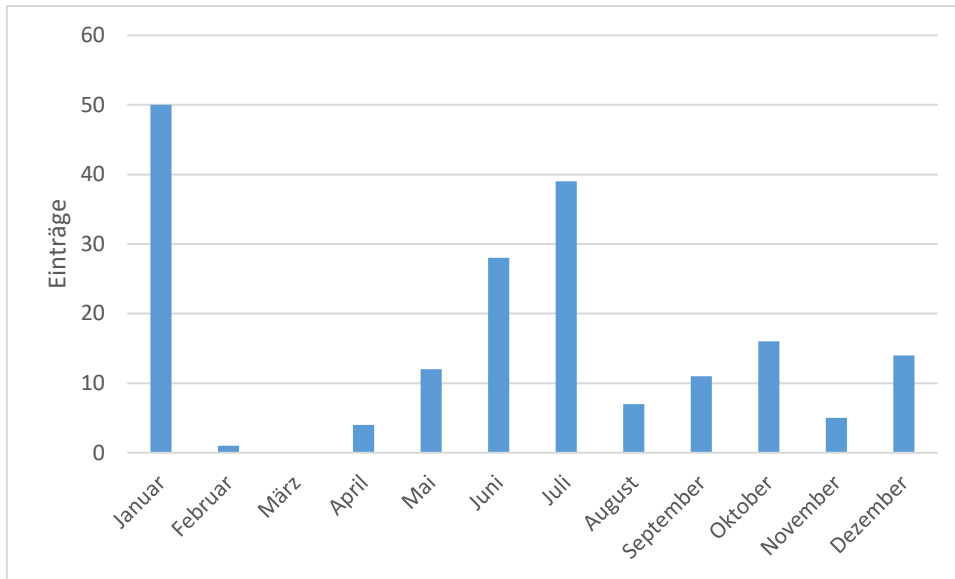
Anhang 8: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2015



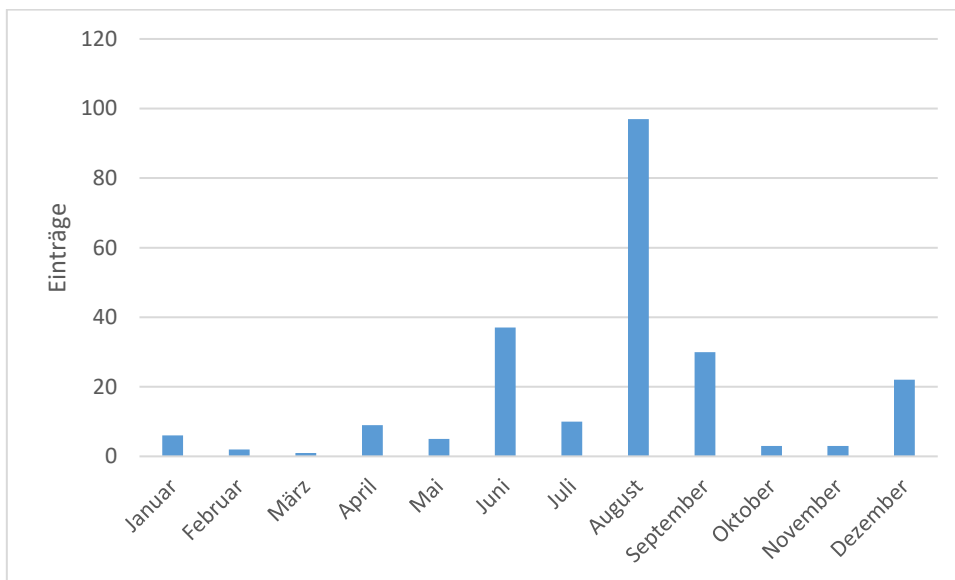
Anhang 9: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2014



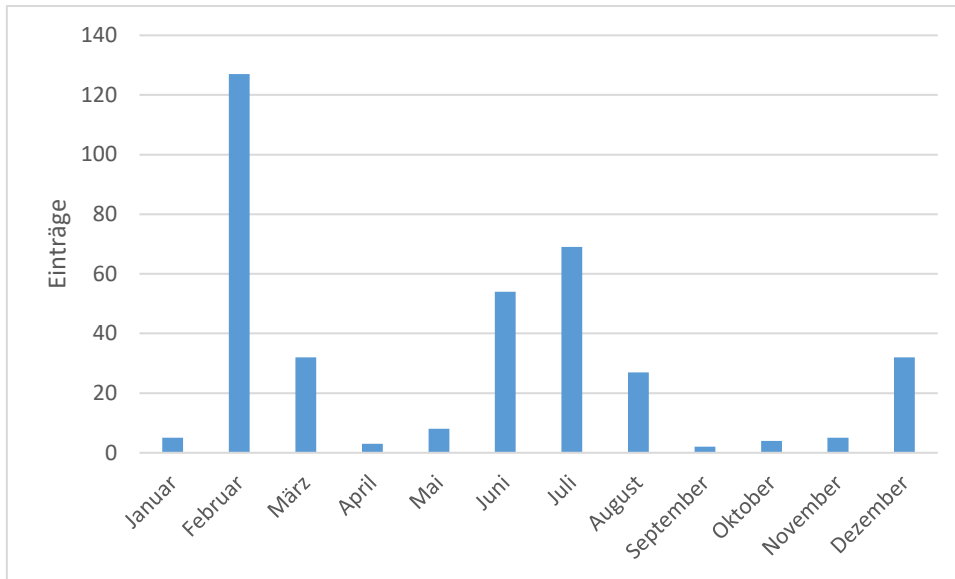
Anhang 10: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2013



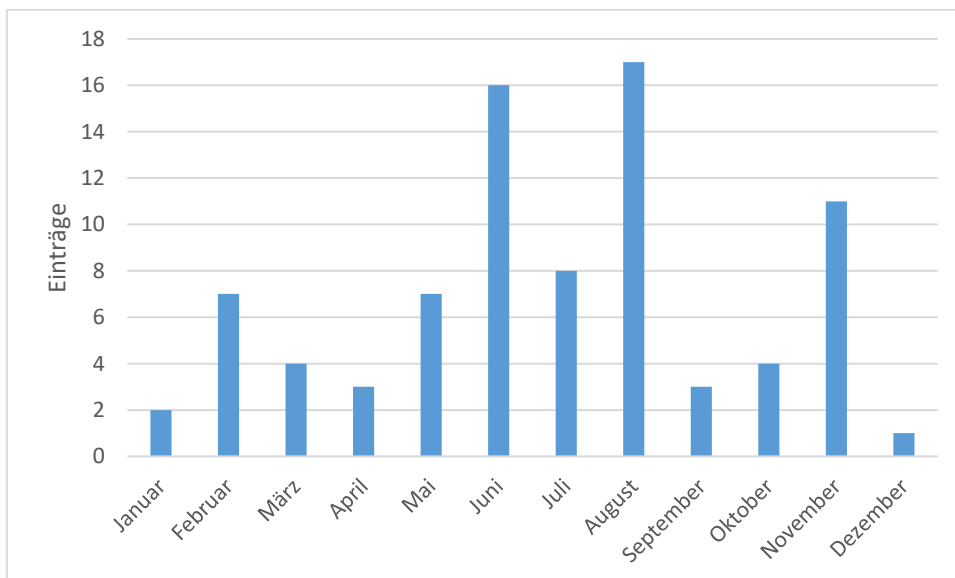
Anhang 11: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2012



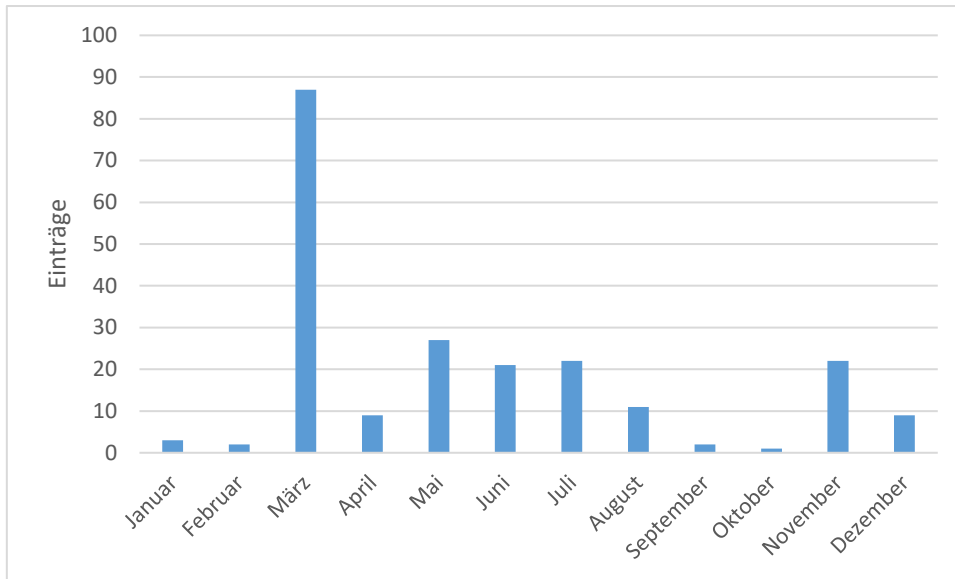
Anhang 12: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2011



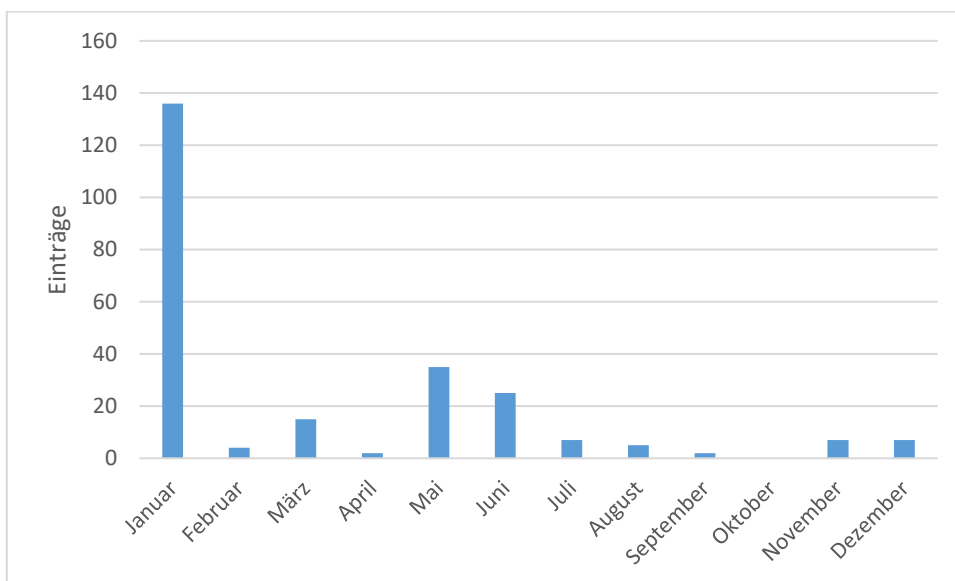
Anhang 13: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2010



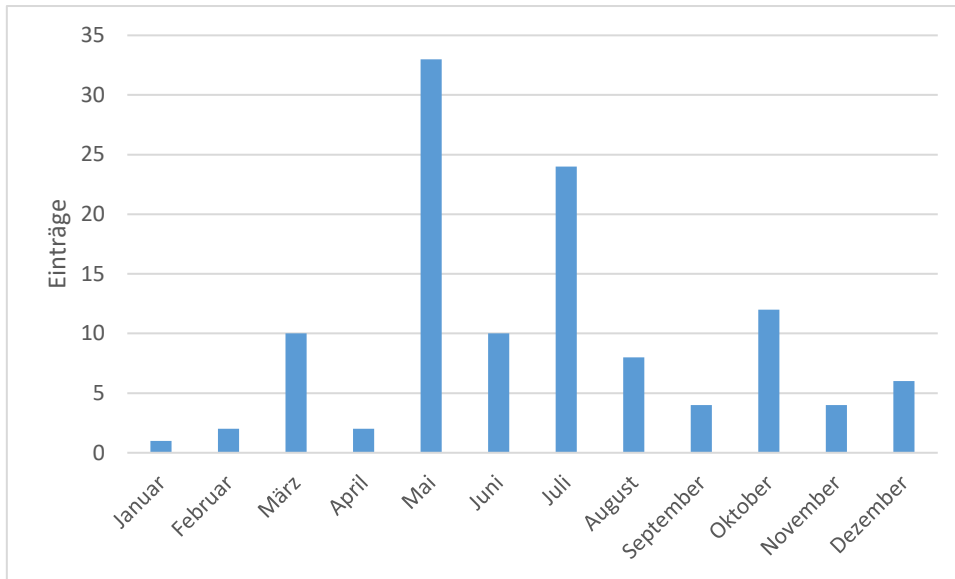
Anhang 14: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2009



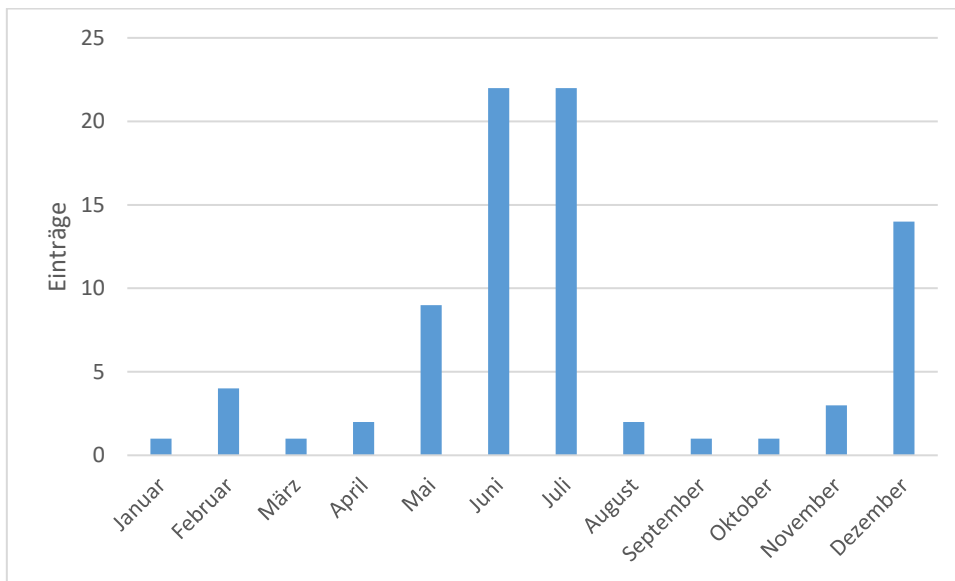
Anhang 15: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2008



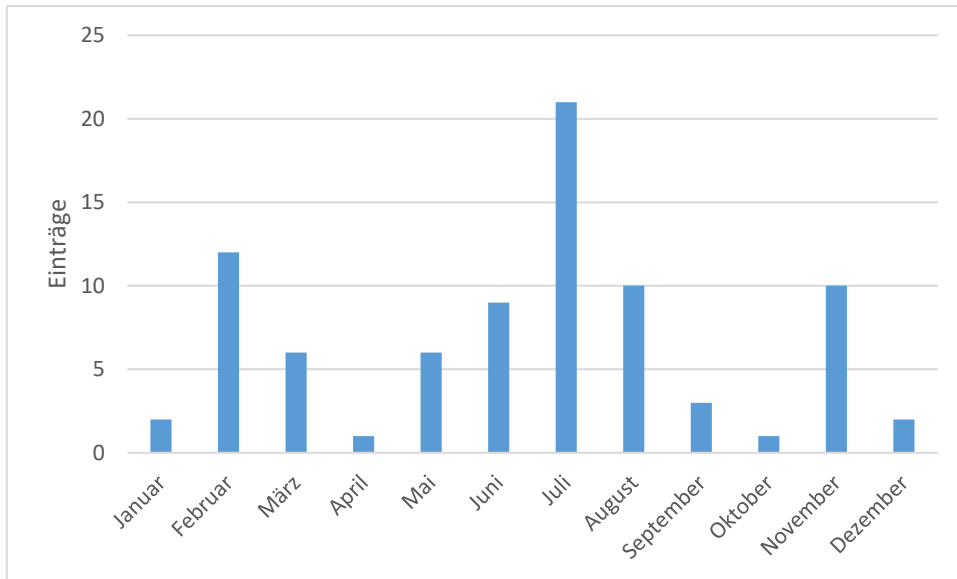
Anhang 16: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2007



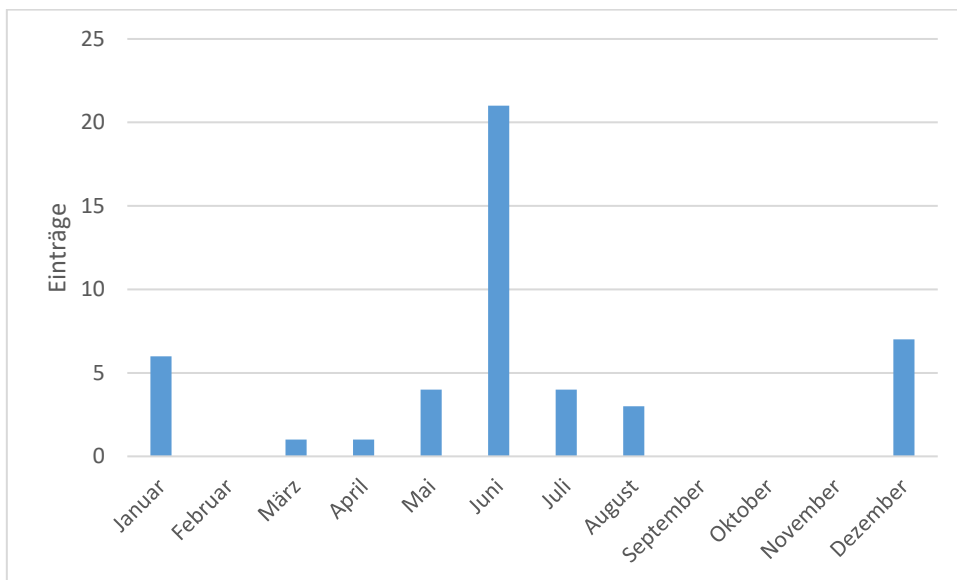
Anhang 17: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2006



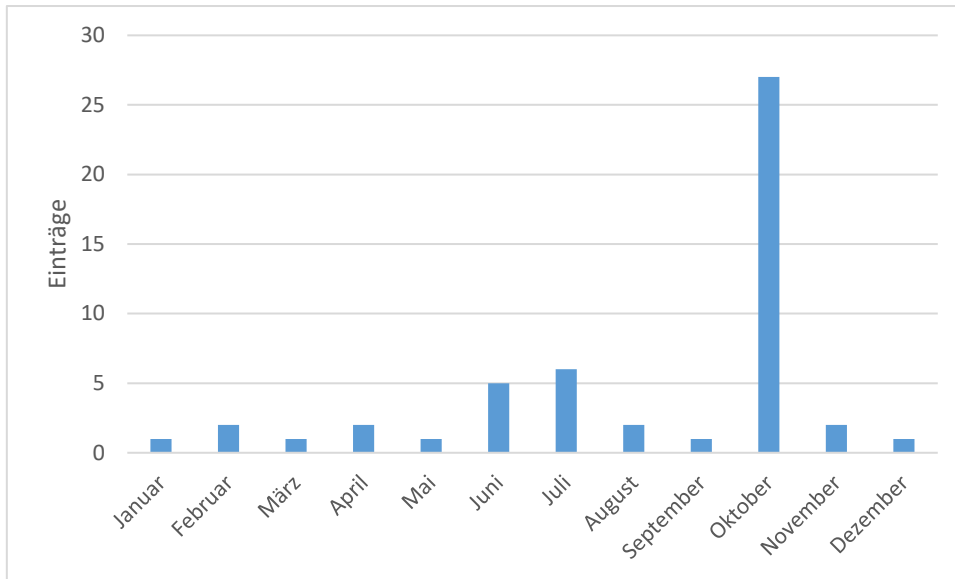
Anhang 18: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2005



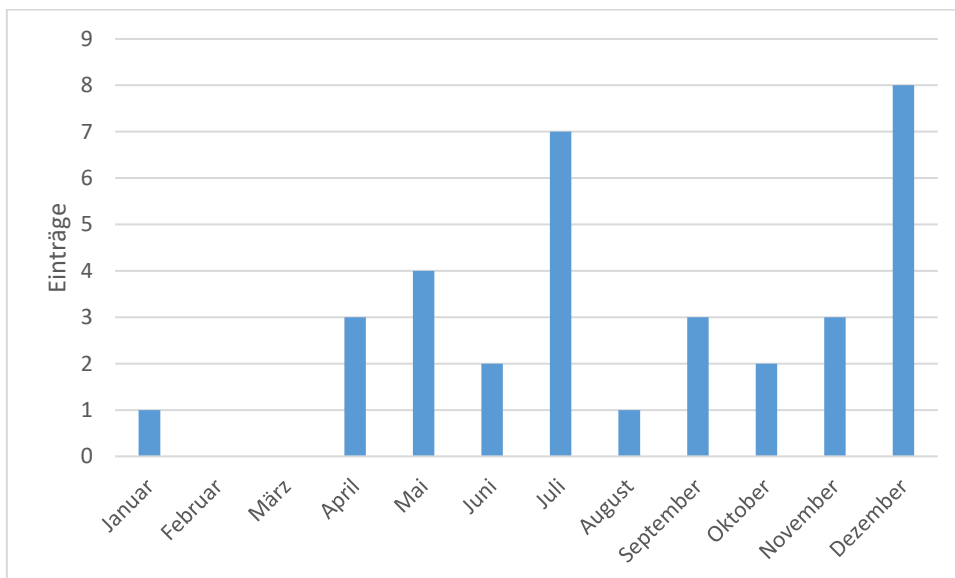
Anhang 19: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2004



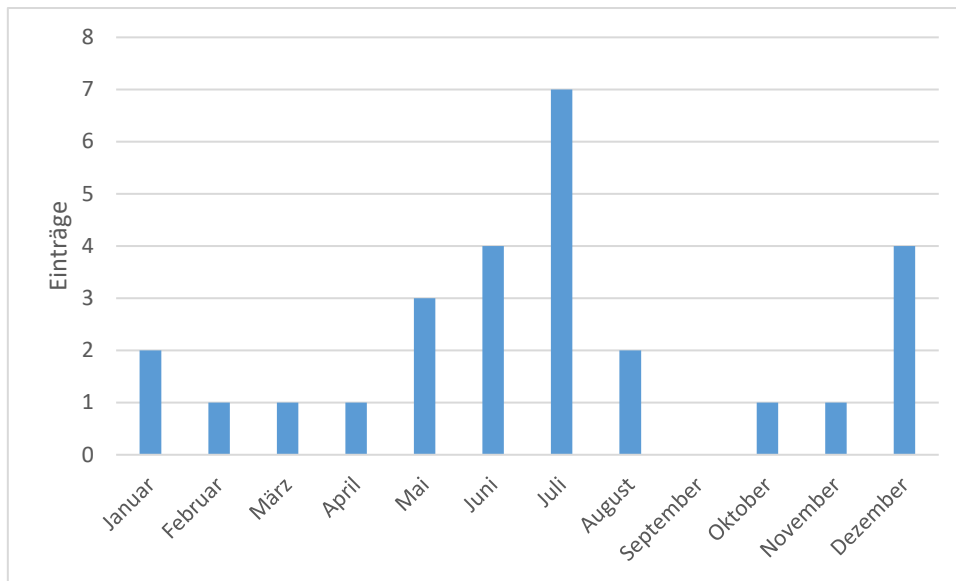
Anhang 20: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2003



Anhang 21: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2002



Anhang 22: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2001



Anhang 23: Jahresverteilung der Anzahl von Einträgen 2000

Jahr	Korrelation
2000	-0,53
2001	-0,33
2002	-0,25
2003	-0,12
2004	-0,47
2005	-0,28
2006	-0,33
2007	0,20
2008	0,05
2009	-0,01
2010	-0,12
2011	-0,48
2012	-0,04
2013	0,42
2014	-0,20
2015	-0,05
2016	-0,07
2017	0,19
2018	0,50
2019	0,56
2000-2019	0,14

Anhang 24: Korrelation der Anzahl von Einträgen und den Jahres NAO-Werten von 2000 bis 2019

Jahr	NAO-Index	Einträge
2000	1,18	27
2001	-1,91	34
2002	1	51
2003	-0,09	47
2004	0,7	83
2005	-1,35	82
2006	-0,2	116
2007	1,35	245
2008	1,72	216
2009	0,72	83
2010	-5,96	368
2011	2,95	225
2012	-0,25	187
2013	0,9	499
2014	2,97	411
2015	4,09	624
2016	1,7	405
2017	1,14	652
2018	2,83	981
2019	0,25	590
Korrelation (gesamt):	0,34	
Korrelation 2010-2019:	0,30	

Anhang 25: NAO-Index und Anzahl von Einträgen von 2000 bis 2019 und Gesamtkorrelation + Korrelation 2010 bis 2019

JJJMM	NAO-Index	Einträge	JJJMM	NAO-Index	Einträge
200001	0,1	2	200307	0,4	4
200002	3,1	1	200308	-2	3
200003	0,4	1	200309	-0,6	0
200004	-2,5	1	200310	-1	0
200005	1,4	3	200311	1,4	0
200006	-0,5	4	200312	-1,1	7
200007	-2,9	7	200401	0,2	2
200008	0,4	2	200402	-1,4	12
200009	0,2	0	200403	1,5	6
200010	4,5	1	200404	1,7	1
200011	0	1	200405	0,9	6
200012	-2,2	4	200406	-1,5	9
200101	-0,1	1	200407	-0,8	21
200102	-0,5	0	200408	-1,5	10
200103	-1,5	0	200409	2	3
200104	1,4	3	200410	-2	1
200105	-1	4	200411	-0,2	10
200106	-1,9	2	200412	2,6	2
200107	0,3	7	200501	1	1
200108	0,6	1	200502	-0,6	4
200109	-2,8	3	200503	-3	1
200110	0,9	2	200504	0,2	2
200111	1,4	3	200505	-1,6	9
200112	-4,1	8	200506	-1,4	22
200201	0,5	1	200507	-0,5	22
200202	1,7	2	200508	1,8	2
200203	0,9	1	200509	1,2	1
200204	2,2	2	200510	-1,5	1
200205	1,9	1	200511	0,7	3
200206	1,9	5	200512	-0,7	14
200207	1,6	6	200601	1	1
200208	0,6	2	200602	-0,7	2
200209	-4,4	1	200603	-1,8	10
200210	-2	27	200604	1	2
200211	1,3	2	200605	-0,6	33
200212	-2,4	1	200606	0	10
200301	0,4	6	200607	-0,3	24
200302	1,2	0	200608	-0,9	8
200303	0,5	1	200609	-0,4	4
200304	-1,9	1	200610	-2,4	12
200305	0,8	4	200611	1,2	4
200306	-0,5	21	200612	2,1	6

Anhang 26: Monatswerte NAO-Index und Anzahl von Einträgen (2000 bis 2016)

JJJMM	NAO-Index	Einträge	JJJMM	NAO-Index	Einträge
200701	1,1	136	201007	1,7	69
200702	-0,2	4	201008	-1,9	27
200703	3,1	15	201009	-0,2	2
200704	-0,1	2	201010	-0,8	4
200705	2,9	35	201011	-1,5	5
200706	-3,5	25	201012	-5,6	32
200707	-1	7	201101	-1,3	6
200708	-0,2	5	201102	1,9	2
200709	-0,1	2	201103	0,4	1
200710	0,9	0	201104	2,1	9
200711	-1,2	7	201105	1,8	5
200712	0,9	7	201106	-0,8	37
200801	1,4	3	201107	0,3	10
200802	0,4	2	201108	-1,4	97
200803	1,6	87	201109	1,1	30
200804	-2,8	9	201110	1,6	3
200805	-2,1	27	201111	1,2	3
200806	-0,2	21	201112	3,5	22
200807	0	22	201201	1,7	50
200808	2	11	201202	1,3	1
200809	0,2	2	201203	0,9	0
200810	3,1	1	201204	0,4	4
200811	1,3	22	201205	-3,3	12
200812	0,5	9	201206	-2,5	28
200901	1,6	2	201207	-0,6	39
200902	-0,2	7	201208	-2,1	7
200903	1,7	4	201209	-0,1	11
200904	2,8	3	201210	-3,3	16
200905	2,7	7	201211	1,6	5
200906	-3,8	16	201212	-0,4	14
200907	-2	8	201301	0,8	20
200908	2,2	17	201302	0,1	5
200909	1,4	3	201303	-4,3	7
200910	-2,2	4	201304	-0,4	3
200911	2,1	11	201305	3	76
200912	-4,6	1	201306	1,8	186
201001	-1,9	5	201307	-1,5	35
201002	-3,6	127	201308	2,7	84
201003	-1,5	32	201309	-0,2	15
201004	-2,5	3	201310	-1	41
201005	-0,8	8	201311	1,6	7
201006	-0,3	54	201312	2,8	20

Anhang 27: Monatswerte NAO-Index und Anzahl von Einträgen (2007 bis 2013)

JJJMM	NAO-Index	Einträge	JJJMM	NAO-Index	Einträge
201401	0,29	9	201701	0,48	116
201402	1,34	19	201702	1	49
201403	0,8	8	201703	0,74	21
201404	0,31	18	201704	1,73	21
201405	-0,92	30	201705	-1,91	36
201406	-0,97	40	201706	0,05	85
201407	0,18	155	201707	1,26	102
201408	-1,68	29	201708	-1,1	105
201409	1,62	32	201709	-0,61	28
201410	-1,27	33	201710	0,19	56
201411	0,68	5	201711	0	8
201412	1,86	33	201712	0,88	25
201501	1,79	77	201801	1,44	285
201502	1,32	12	201802	1,58	14
201503	1,45	158	201803	-0,93	46
201504	0,73	32	201804	1,24	45
201505	0,15	32	201805	2,12	85
201506	-0,07	25	201806	1,09	78
201507	-3,18	193	201807	1,39	45
201508	-0,76	39	201808	1,97	199
201509	-0,65	16	201809	1,67	127
201510	0,44	11	201810	0,93	23
201511	1,74	26	201811	-0,11	5
201512	2,24	3	201812	0,61	29
201601	0,12	10	201901	0,59	27
201602	1,58	60	201902	0,29	24
201603	0,73	9	201903	1,23	273
201604	0,38	13	201904	0,47	55
201605	-0,77	58	201905	-2,62	19
201606	-0,43	142	201906	-1,09	58
201607	-1,76	50	201907	-1,43	38
201608	-1,65	26	201908	-1,17	39
201609	0,61	10	201909	-0,16	25
201610	0,41	3	201910	-1,41	12
201611	-0,16	13	201911	0,28	1
201612	0,48	11	201912	1,2	19

Anhang 28: Monatswerte NAO-Index und Anzahl von Einträgen (20014 bis 2019)

Städte	Sturm	Anteil (%)	Unwetter	Anteil (%)	Baum	Anteil (%)	Gegenstände	Anteil (%)
Darmstadt	6	22,2	9,0	33,3	8,0	29,6	0,0	0,0
Frankfurt	24	57,1	6,0	14,3	6,0	14,3	0,0	0,0
Kassel	8	36,4	4,0	18,2	8,0	36,4	1,0	4,5
Offenbach	8	38,1	5,0	23,8	3,0	14,3	1,0	4,8
Wiesbaden	10	27,0	6,0	16,2	13,0	35,1	1,0	2,7

Anhang 29: Einzellistung der Einsatzkategorien der kreisfreien Städte

Erklärung

gemäß § 19 Abs. 3 + 5 der Ordnung für die Prüfung im Masterstudiengang Klima- und Umweltwandel an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz.

Hiermit erkläre ich, Maximilian Og (Matr.-Nr.: 2714758),
dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen
oder Hilfsmittel (einschließlich elektronischer Medien und Online-Quellen) benutzt habe. Mir ist bewusst,
dass ein Täuschungsversuch oder ein Ordnungsverstoß vorliegt, wenn sich diese Erklärung als unwahr
erweist. §19 Absatz 3 und 5 gilt in diesem Fall entsprechend.

Mainz, den 12.01.2021
Ort, Datum

Maximilian Og
Unterschrift

Auszug aus § 19 PO (3) + (5) M.Sc. Klima- und Umweltwandel: Versäumnis, Rücktritt, Täuschung, Ordnungsverstoß

(3) Versucht die Kandidatin oder der Kandidat das Ergebnis einer Prüfung durch Täuschung oder Benutzung nicht zugelassener Hilfsmittel zu beeinflussen, oder erweist sich eine Erklärung gemäß § 13 Absatz 2 Satz 5 als unwahr, gilt die betreffende Prüfungsleistung als mit „nicht ausreichend“ (5,0) absolviert. (...).

(5) Die Bestimmungen der Absätze 1-4 gelten für Studienleistungen entsprechend.