



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Fakultät Life Sciences

**Priorisierung von Standorten für Sirenen im Katastrophenschutz und Zivilschutz
nach fachlichen und organisatorischen Kriterien mithilfe der MCDA-Methode
PROMETHEE**

Bachelorarbeit

Im Studiengang Gefahrenabwehr

Vorgelegt von

Jacob Müller



Hamburg

Am 10. Juli 2023

Gutachter: Prof.Dr. Karsten Loer (HAW Hamburg)

Gutachter: Referatsleiter Maik Vorwerk (Behörde für Inneres und Sport)

Die Abschlussarbeit wurde in Zusammenarbeit mit der Behörde für Inneres und Sport erstellt

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit mit dem o. a. Thema ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe. Wörtlich oder dem Sinne nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Datum: 10.07.2023

Jacob Müller



Inhalt

1 Einleitung	6
2 Problem und Hintergrund	8
2.1 Hamburg	8
2.1.1 Behörde für Inneres und Sport.....	9
2.2 Warnung der Bevölkerung	9
2.2.1 Rechtliche Grundlagen.....	9
2.2.2 MOWAS und Warnmittelmix.....	10
2.2.3 Warnung in Hamburg	11
2.2.4 Sirenen	12
2.2.4.1 Historischer Abriss.....	12
2.2.4.2 Akustik.....	14
2.2.4.3 Sirenen in Hamburg	20
2.2.4.4 Vor- und Nachteile.....	21
2.2.5 Modelle und Leitfäden zur Warnung.....	22
2.2.5.1 Lasswell-Formel.....	22
2.2.5.2 IDEA-Model	23
2.2.5.3 C-HIP	25
2.2.5.4 Protective Action Decision Model.....	29
2.2.5.5 Leitfaden Krisenkommunikation	32
2.3 Katastrophenrisiko nach UNDRR	34
2.4 Problematik der Sirenenauswahl	34
3 Methodik.....	36
3.1 Begriffsdefinition.....	36
3.2 Auswahl der MCDA-Methode.....	38
3.3 Definition des Entscheidungsproblems.....	41
3.4 Identifikation und Ausgestaltung der Alternativen.....	41
3.5 Ermittlung des Zielsystems.....	44
3.6 Offenlegung der Kriterien und Darstellung in einer Hierarchie	45
3.7 Offenlegung der Präferenzen und Wertefunktion.....	47
3.8 Bestimmung der Kriterienausprägung für die einzelnen Alternativen.....	52
3.9 Ermittlung der subjektiven Kriteriengewichtung	52
3.10 Aggregation mittels der gewählten Methode und erzielen einer Rangfolge	53

3.11 Durchführung einer Sensitivitätsanalyse und Beurteilung der Ergebnisse	54
4 Ergebnisse.....	55
4.1 Definition des Entscheidungsproblems.....	55
4.2 Identifikation und Ausgestaltung der Alternativen	55
4.3 Ermittlung des Zielsystems	56
4.4 Offenlegung der Kriterien und Darstellung in einer Hierarchie	57
4.5 Offenlegung der Präferenzen und Wertefunktion.....	62
4.6 Bestimmung der Kriterienausprägung für die einzelnen Alternativen	63
4.7 Ermittlung der subjektiven Kriteriengewichtung	65
4.8 Aggregation mittels der gewählten Methode und erzielen einer Rangfolge	65
4.9 Durchführung einer Sensitivitätsanalyse	66
5 Diskussion	68
5.1 Zielerfüllung.....	68
5.2 Limitierungen des ermittelten Sirennetzes.....	68
5.3 Limitierungen des Rankings	69
5.5 Anwendbarkeit der MCDA für vergleichbare Entscheidungsprobleme.....	70
5.5 Beurteilung der Ergebnisse	71
6 Quellenverzeichnis	72
Anhang	81
Anhang 1 Organigramm der BIS	81
Anhang 2 Datenblätter der ECN-Sirenen.....	82
Anhang 3 Kennziffernkatalog der bundeseinheitlichen Gefährdungsabschätzungen.....	88
Anhang 4 Bewertung der Gefährdungen des Katalogs auf Anwendbarkeit als Kriterium für gefährdungsbezogene Ziele.....	90
Anhang 5 Excel-Makro zur Aggregation.....	99
Anhang 6 Liste der ermittelten Standorte.....	107
Anhang 7 Liste der Orte hoher Personenfrequenz.....	110
Anhang 8 Geschwärtztes Ranking	111

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Erwartbare Lautstärken am Tag an verschiedenen Orten.	15
Tabelle 2: Lautstärkeverlust für verschiedene Frequenzen über 100 Fuß mittel-dichtem Wald.....	16
Tabelle 3: Lautstärkeverlust für verschiedene Gebäudetypen	18
Tabelle 4: Wahrscheinlichkeit des Aufwachens für verschiedene Lautstärken und Altersgruppen (24).....	28
Tabelle 5: Verwendete Online-Datenbanken, Suchbegriffe und gefundene Anwendungsbereiche	46
Tabelle 6: Aufteilung der Sirenenstandorte auf Bezirke und Sirenentypen.....	56
Tabelle 7: Kriterien der gefahrenbezogenen Ziele mit Kriterienausprägung und Angaben zur Maximierung/Minimierung	57
Tabelle 8: bevölkerungsbezogene Kriterien mit Kriterienausprägung und Angaben zur Maximierung/Minimierung	58
Tabelle 9: Organisatorische Kriterien, Kriterienausprägungen und Ziel der Maximierung/Minimierung	62
Tabelle 10: Übersicht über die verwendeten GIS und Layer, sowie die Methode zur Bestimmung der Kriterienausprägungen	63
Tabelle 11: Übersicht über die Gewichtungen der Kriterien durch die Vertreter von A44, das arithmetische Mittel der Gewichtungen und die prozentuale Gewichtung aus der arithmetischen Gewichtung	65
Tabelle 12: Übersicht über Kriteriumsvariationen und Anzahl an Abweichungen im Ranking	66

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Warnung in Hamburg am Beispiel einer Sturmflut (14)	11
Abbildung 2: Schallübertragung bei negativem Temperaturgradienten.....	15
Abbildung 3: Schallübertragung bei positiven Temperaturgradienten	16
Abbildung 4: Beugung um ein Gebäude (28).....	17
Abbildung 5: Beispielhafte Anwendung der LOS-Methodik, Draufsicht mit Höhenlinien-Darstellung eines Hügels (24)	19
Abbildung 6: Beispielhafte Anwendung der LOS-Methodik mit Querschnitt-Darstellung eines Hügels (24).....	20
Abbildung 7: Bildung von Schallschatten mit und gegen den Wind (24).....	20
Abbildung 8: Darstellung des IDEA-Modells (36).....	23

Abbildung 9: Darstellung des C-HIP (34)	25
Abbildung 11: Darstellung des PADM (39)	29
Abbildung 12: Zusammensetzung des Katastrophenrisikos aus Eintrittswahrscheinlichkeit, Exposition und Vulnerabilität (45)	34
Abbildung 13: Darstellung einer Kriteriumshierarchie	37
Abbildung 14: Darstellung der Kriteriumshierarchie für einen Fahrradkauf	38
Abbildung 15: Hypothetische Sirenen	42
Abbildung 16: Hypothetische Sirenen	43
Abbildung 17: Beurteilung potenzieller Sirenenstandorte am hypothetischen Beispiel	44
Abbildung 18: Allgemeiner Aufbau einer Präferenzfunktion (46)	48
Abbildung 19: Präferenzfunktion für gewöhnliche Kriterien (46)	49
Abbildung 20: Präferenzfunktion für Quasi-Kriterien (46)	49
Abbildung 21: Präferenzfunktion für Kriterien mit linearer Präferenz (46)	50
Abbildung 22: Präferenzfunktion für Stufen-Kriterien (46)	50
Abbildung 23: Präferenzfunktion für Kriterien mit linearer Präferenz und Indifferenzbereich (46)	51
Abbildung 24: Präferenzfunktion für Gauß'sche Kriterien (46)	51
Abbildung 25: Darstellung des Zielsystems dieser Arbeit	57

1 Einleitung

Bereits vor Jahrhunderten wurden akustische Warnmittel verwendet, um die Menschen vor Gefahren zu warnen. Kirchenglocken machten auf Feuer, Unwetter oder Überschwemmungen aufmerksam. Heutzutage werden für denselben Zweck Sirenen eingesetzt.

Diese wurden in Deutschland erstmals während des ersten Weltkriegs eingesetzt, um Menschen zu warnen. Im zweiten Weltkrieg wurde die Nutzung von Sirenen weiter vorangetrieben und im kalten Krieg wurde ein deutschlandweites Sirenenwarnnetz aufgebaut. Mit Ende des kalten Krieges wurde dieses Netz aufgegeben und die Nutzung von Sirenen ging stark zurück.

In den letzten Jahren erlebt die Sirene jedoch eine Art Renaissance. Für ihren Weckeffekt von Experten geschätzt und von der Bevölkerung als Warnmittel erwartet werden zunehmend wieder Sirenen aufgebaut und eingesetzt.

Auch die Stadt Hamburg plant ihr Sirenenetz auszubauen. Dabei stellte sich die Frage danach, wie das Netz erweitert werden sollte. Bisher wurde dieses nur für die Warnung vor Sturmfluten verwendet und war dementsprechend auf Gebiete der Stadt beschränkt, die durch Sturmfluten gefährdet sind. Für den Ausbau des Netzes musste entschieden werden, wo neue Sirenen aufgebaut werden sollten und nach welchen Kriterien dabei vorgegangen werden sollte.

Diese Arbeit hat das Ziel den Prozess hinter dieser Entscheidung zu strukturieren und den Entscheidungsträgern eine fundierte Entscheidung zu ermöglichen.

Zu diesem Zweck werden zuerst in 2 Problem und Hintergrund die notwendigen Informationen, Konzepte und Modelle erläutert, welche Einfluss auf diese Entscheidung haben.

Zuerst werden in 2.1 Hamburg Informationen zur Stadt Hamburg, insbesondere der Struktur der Exekutive bereitgestellt. Dies dient dazu die Entscheidungsträger und Verantwortlichen für das Sirenenetz zu verorten. Die verantwortliche Behörde wird in 2.1.1 Behörde für Inneres und Sport vorgestellt.

Nach der Vorstellung der verantwortlichen Behörde wird in 2.2 Warnung der Bevölkerung auf die gegenwärtige Situation der Warnung der Bevölkerung eingegangen. Zuerst werden hierzu die rechtlichen Grundlagen dargelegt, aus denen sich die Notwendigkeit ergibt Warnungen zu veranlassen (2.2.1 Rechtliche Grundlagen). Dem folgt eine Beschreibung des Warnsystems in Deutschland und des zugrundeliegenden Konzepts für dieses Warnsystem (2.2.2 MOWAS und Warnmittelmix). Auf Grundlage dieser Informationen wird dargelegt, wie dieses Warnsystem in Hamburg umgesetzt wurde und welche Warnmittel darüber hinaus verwendet werden (2.2.3

Warnung in Hamburg). In 2.2.4 Sirenen erfolgt zuerst ein historischer Abriss zur Entwicklung des Warnmittels Sirene bevor darauf eingegangen wird, wie sich Sirensignale ausbreiten und welche Faktoren Einfluss auf die Reichweite dieser haben. Im Weiteren wird erläutert, wie Sirenen in Hamburg zur Warnung eingesetzt werden und welche Besonderheiten vorliegen. Abschließend erfolgt eine Übersicht der Vor- und Nachteile der Warnung mit Sirenen.

Nach der Vorstellung des Warnmittels Sirene wird dieses in 2.2.5 Modelle und Leitfäden zur Warnung im Kontext mehrerer Modelle zur Warnung eingeordnet. Dafür werden diese Modelle zuerst vorgestellt.

Dem folgt in 2.3 Katastrophenrisiko nach UNDRR eine Beschreibung des Katastrophenrisikobegriffs des United Nations Office For Disaster Risk Reduction (UNDRR).

Auf Grundlage dieser Informationen wird in 2.4 Problematik der Sirenenauswahl das Ziel der Arbeit formuliert und eingegrenzt.

Die Methoden zum Erreichen der Ziele werden in 3 Methodik erläutert. Hierfür werden zuerst mehrere für das Verständnis der weiteren Arbeit notwendige Begriffe definiert (3.1 Begriffsdefinition). Anschließend wird die Auswahl der Methode begründet (3.2 Auswahl der MCDA-Methode). In den folgenden Kapiteln 3.3 bis 3.11 wird beschrieben, wie die gewählte Methode in dieser Arbeit umgesetzt wurde.

In 4 Ergebnisse werden die Ergebnisse der zuvor beschriebenen Methodik dargestellt.

Diese Ergebnisse werden in 5 Diskussion beurteilt

2 Problem und Hintergrund

2.1 Hamburg

Die Freie und Hansestadt Hamburg ist ein Stadtstaat in der Bundesrepublik Deutschland. Es liegt in Norddeutschland an den Mündungen der Bille und Alster in die Unterelbe. Die Unterelbe mündet etwa 100 Kilometer nordwestlich Hamburgs in die Nordsee. Die angrenzenden Bundesländer sind Schleswig-Holstein und Niedersachsen. Die Fläche Hamburgs beträgt 75509 Hektar. 45,6 % dieser Fläche dienen als Siedlungsfläche, 32,9 % als Vegetationsfläche, 12,4 % als Verkehrsfläche und 8,2 % sind Gewässer (1).

Aufgeteilt auf sieben Bezirke (Hamburg-Mitte, Altona, Eimsbüttel, Hamburg-Nord, Wandsbek, Bergedorf und Harburg) (2) leben 1 853 663 Menschen (3) in 1 043 767 Haushalten (4) in Hamburg. 16,6 % der Bevölkerung sind unter 18-Jährige und 18 % über 65-Jährige. Der Anteil der Bevölkerung mit Migrationshintergrund beläuft sich auf 36,7 %. (4).

Gemäß der Landesverfassung ist Hamburg ein sozialer und demokratischer Rechtsstaat. Das Landesparlament ist die Bürgerschaft. Der Präsident der Bürgerschaft ist der erste Bürgermeister. Dieser wird in direkter Wahl durch die Bürgerschaft gewählt. Der erste Bürgermeister beruft den zweiten Bürgermeister und die Senatoren. Diese müssen durch die Bürgerschaft bestätigt werden. Der erste und der zweite Bürgermeister und die Senatoren bilden den Senat. Dieser ist die Landesregierung Hamburgs und beaufsichtigt die Verwaltung. Die Senatoren leiten jeweils eine Behörde, vergleichbar den Ministern in Flächenländern (5). Die Behörden sind:

- Die Behörde für Arbeit, Gesundheit, Soziales, Familie und Integration
- Die Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft
- Die Finanzbehörde
- Die Behörde für Wissenschaft, Forschung, Gleichstellung und Bezirke
- Die Behörde für Verkehr und Mobilitätswende
- Die Behörde für Justiz und Verbraucherschutz
- Die Behörde für Kultur und Medien
- Die Behörde für Wirtschaft und Innovation
- Die Behörde für Inneres und Sport (BIS)
- Die Behörde für Schule und Berufsbildung

Hinzu kommen die Senatskanzlei und das Personalamt, welche direkt vom ersten Bürgermeister geleitet werden (6).

2.1.1 Behörde für Inneres und Sport

Die Behörde für Inneres und Sport nimmt Aufgaben im Bereich der öffentlichen Sicherheit und Ordnung, des Ausländerrechts, der Verkehrssicherheit und des Sportes wahr. Hinzu kommt die Organisation aller in Hamburg stattfindenden Wahlen, und die Koordination des Katastrophenschutzes. Geleitet wird sie von Senator Andy Grote und zwei Staatsräten: Thomas Schuster (Inneres) und Christoph Holstein (Sport) (7). Aufgeteilt ist die Behörde in fünf Bereiche:

- Dem Ministerialamt: dem Amt für Innere Verwaltung und Planung
- Der Polizei
- Der Feuerwehr
- Dem Amt für Migration
- Dem Landesamt für Verfassungsschutz

Ein Organigramm ist *Anhang 1 Organigramm der BIS* verfügbar.

Die Koordination des Katastrophenschutzes, die für diese Arbeit relevante Aufgabe der BIS, erfolgt im Amt für Innere Verwaltung und Planung, in der Abteilung für Öffentliche Sicherheit (A4), im Referat für Katastrophenschutz und zivil-militärische Zusammenarbeit (A44).

2.2 Warnung der Bevölkerung

2.2.1 Rechtliche Grundlagen

Gemäß Art. 73 Absatz 1 des Grundgesetzes (Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland in der im Bundesgesetzblatt Teil III, Gliederungsnummer 100- 1, veröffentlichten bereinigten Fassung, das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 19. Dezember 2022 (BGBl. I S. 2478) geändert worden ist) ist der Zivilschutz Aufgabe des Bundes. Aus den Art. 30 und 70 GG folgt demnach, dass der Katastrophenschutz Aufgabe der Länder ist.

§1 des ZSKG (Zivilschutz- und Katastrophenhilfegesetz vom 25. März 1997 (BGBl. I S. 726), das zuletzt durch Artikel 144 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist) legt insbesondere die Warnung der Bevölkerung im Verteidigungsfall als Aufgabe des Zivilschutzes fest. §6 (2) des ZSKG regelt, dass die für die Warnung im Katastrophenfall zuständigen Behörden der Länder, auch für die Warnung der Bevölkerung im Verteidigungsfall verantwortlich sind.

Nach § 13 (4) des HmbKatSG (Hamburgisches Katstrophenschutzgesetz vom 16.01.1978, das zuletzt am 24.01.2020 geändert worden ist) ist es Aufgabe der Katastrophenschutzbehörden „die

Bevölkerung und die Betriebe über das zweckmäßige Verhalten im Falle einer Katastrophe aufzuklären [...]“.

Die KatSO (Katastrophenschutzordnung der Freien und Hansestadt Hamburg vom 15.09.1984, zuletzt geändert am 30.10.2006) legt unter I. Vorbeugender Katastrophenschutz Nr. 2 (2) c) fest, dass die BIS für die Vorbereitung der Maßnahmen zur Alarmierung und Warnung der Bevölkerung selbst vorzubereiten oder deren Vorbereitung durch andere Katastrophenschutzbehörden zu veranlassen hat.

2.2.2 MOWAS und Warnmittelmix

Nach den Terroranschlägen vom 11.09.2001 wurde durch das Bundesministerium des Inneren das Satellitengestützte Warnsystem (SatWaS) entwickelt. Die erste Version eines bundesweiten Warnsystems. Aus diesem entwickelte sich das Modulare Warnsystem (MoWaS). 2020 lag die Version MoWaS 2.0 vor (8).

MoWaS dient nicht nur der Warnung und Information der Bevölkerung, es ermöglicht auch eine geschützte Kommunikation zwischen den Anwendern. Es integriert die oberen mittleren und unteren Katastrophenschutzbehörden (9). Insgesamt gibt es 108 Sende- und Empfangsstationen (S/E), sowie 250 vorlagenerstellende Sende- und Empfangsstationen (vS/E) (10).

Die vS/E und S/E können Warnmeldungen in drei Kategorien auslösen. Die Warnstufe 1 stellt die höchste Priorität dar. Über diese werden Amtliche Gefahrendurchsagen übermittelt. TV und Radio, die in MoWaS eingebunden sind unterbrechen für Warnungen dieser Art ihr Programm. Warnstufe 2 umfasst Amtliche Gefahrenmitteilung. TV und Radio arbeiten diese eigenverantwortlich in das Programm ein. Warnungen der Warnstufe 3 sind die niedrigste Priorität. Diese Gefahreninformationen müssen vom Rundfunk nicht übermittelt werden (9).

Die von den vS/E und S/E ausgelösten Warnmeldungen werden über Satellit und als Redundanz per Kabel an die Steuersysteme der Endgeräte und die Warnmultiplikatoren übermittelt (10). Bei Endgeräten handelt es sich Warnmittel die der Bevölkerung unmittelbar als Endnutzer zur Verfügung stehen. Dies sind beispielsweise die Warnapps NINA, Katwarn und der Mobilfunkdienst Cell Broadcast. Warnmultiplikatoren sind Behörden, Organisationen und Unternehmen die Warnmeldungen an ihre Nutzer weiterleiten. Diese sind in das MoWaS mithilfe von Multiplikatorvereinbarungen eingebunden (10, 11). Hierzu zählen unter anderen Radio- und Fernsehsender, sowie Betreiber von digitalen Stadtinformationssystemen (10). Sirenen können derzeit noch nicht über MoWaS ausgelöst werden. Hieran arbeitet das BBK jedoch (12).

Warnungen werden üblicherweise über mehrere Warnmittel verbreitet. Dies wird als Warnmisch bezeichnet. Durch den Einsatz mehrerer Warnmittel bieten sich zwei Vorteile: 1. Fällt ein Warnmittel aus, oder wird nicht wahrgenommen wird die Warnung über andere Mittel dennoch übermittelt. 2. Die einzelnen Warnmittel ergänzen sich (13). Über das Radio können beispielsweise mehr Informationen übermittelt werden als über Sirensignale. Ist das Radio jedoch ausgeschaltet wird die Warnung nicht wahrgenommen. Sirenen hingegen lassen sich nicht ausschalten.

2.2.3 Warnung in Hamburg

Die Warnung in Hamburg erfolgt entweder direkt mithilfe von MoWaS durch Behörden und Ämter des Bundes (Deutscher Wetterdienst, BBK, Bundesamt für Strahlenschutz, etc.) oder durch Behörden und Ämter der Stadt Hamburg. Diese sind die Polizei Hamburg, die Feuerwehr Hamburg, die Fachbehörden der Stadt, die Bezirksämter, der Hamburger Sturmflutwarndienst, sowie der zentrale Katastrophendienststab (ZKD)(14). Im diesem Kapitel wird die Warnung durch die Ämter und Behörden der Stadt Hamburg näher beschrieben.

Die Entscheidung, ob eine Warnung notwendig ist, erfolgt durch die Einsatzleitung vor Ort, dem Stab eines Bezirksamts oder einer Fachbehörde oder dem ZKD. Ausgeführt wird die Warnung durch die Polizei, die Feuerwehr oder, im Katastrophenfall, den ZKD (14).

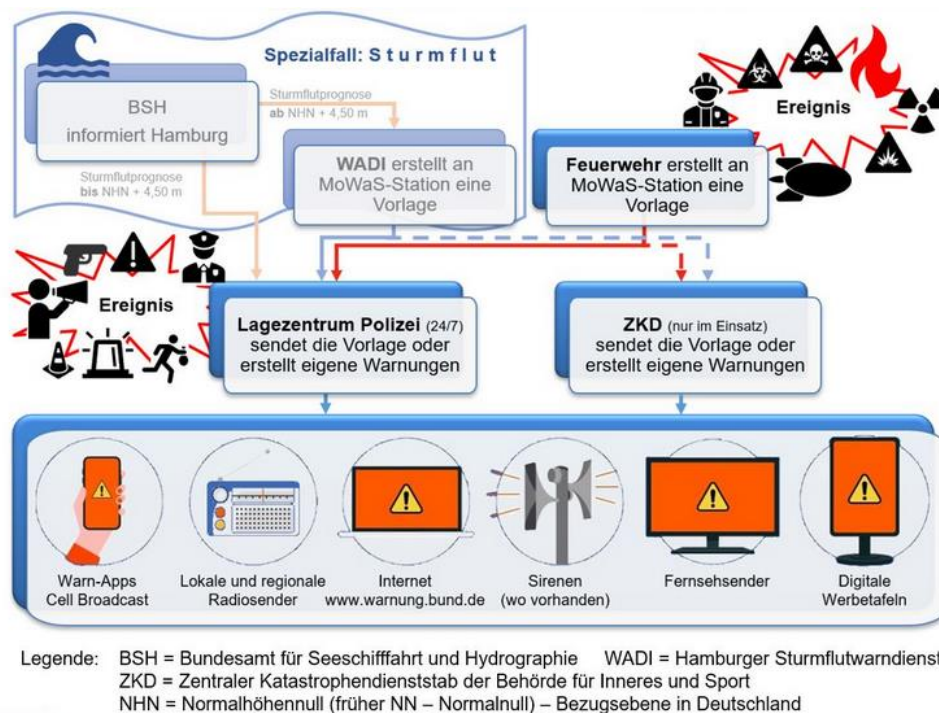


Abbildung 1: Warnung in Hamburg am Beispiel einer Sturmflut (14)

Am Beispiel einer Sturmflut wird in Abbildung 1 dieser Prozess näher beschrieben: Das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie oder der Hamburger Sturmflutwarndienst informieren die warnenden Stellen oder erstellen eine MoWaS-Vorlage. Durch die warnende Stelle (Polizei, Feuerwehr oder ZKD) wird entweder eine Warnung erstellt oder die bereits erstellte Vorlage veröffentlicht. Die Warnung mithilfe von Warnmitteln, die nicht in MoWaS integriert sind, wird auch durch diese Stellen veranlasst. Für Einsatzlagen, für die die Polizei, die Feuerwehr oder der ZKD die Einsatzleitung innehaben erstellen und veröffentlicht diese die Warnung selbst (14).

In Hamburg werden nicht nur die überall in Deutschland verfügbaren Warnmittel (Warnapps (z.B.: NINA, KATWARN und BIWAPP), Cell Broadcast und Rundfunk) verwendet. Zusätzlich besteht die Möglichkeit mithilfe von Böllerschüssen, Lautsprecherwagen, digitalen Werbetafeln und Sirenen zu warnen (14). Nicht alle diese Systeme sind in MoWaS eingebunden. Die Auslösung der Warnmittel Lautsprecherwagen und Böllerschüsse muss separat beauftragt werden. Lautsprecherwagen werden durch die Bezirksamter und die Polizei vorgehalten. Die Bezirksamter haben auch verschiedene Hilfsorganisationen in die Warnung mit Lautsprecherwarnungen eingebunden (15, 14). Die Polizei ist zudem für die Auslösung der Böllerschussanlagen verantwortlich (14).

Auf die Auslösung von Sirenen wird in *2.2.4.3 Sirenen in Hamburg* näher eingegangen.

2.2.4 Sirenen

2.2.4.1 Historischer Abriss

Ein erster Prototyp einer Sirene wurde von John Robison erfunden(16). Um 1819 entwickelte Charles Cagniard De La Tour eine verbesserte Sirene und gab diesen den heute verwendeten Namen (17).

In Deutschland begann die Verwendung von Sirenen zur Warnung der Bevölkerung im ersten Weltkrieg. Zum Schutz vor Luftangriffen wurde mithilfe von Kirchenglocken, Fabriksirenen und Böllerschüssen gewarnt. Diesen Warnprogrammen wird unter anderem die geringe Zahl an Toten durch Luftangriffe zugerechnet (18).

Ab 1927 wurde ein erstes großflächiges Warnprogramm aufgelegt. Insbesondere in dicht besiedelten, sowie politisch und wirtschaftlich als wichtig erachteten Gebieten wurden Anlagen errichtet. Allein in Berlin standen 12000 Sirenen (18).

1943 beginnend wurden Luftschutzwarnungen durch Sirenen mit Warnungen im Radio ergänzt. Da mit zunehmender Zerstörung der Infrastruktur die Sirenen häufig ausfielen, war das Radio häufig das letzte verbliebende Warnmittel (18).

Nach dem Krieg wurde 1955 in Westdeutschland ein neues Warnprogramm aufgelegt. 1957 wurde Luftschutz per Gesetz vorgeschrieben. Die Luftschutzwarnung wurde bundesweit einheitlich organisiert. Das Gebiet der BRD wurde auf zehn Gebiete mit eigenen Warnämtern aufgeteilt. Diese konnten für ihr gesamtes Gebiet oder Teile dieses Gebiets Warnungen ausgeben. (18)

1958 wurde, das Bundesamts für Zivilschutz geschaffen. Bis in die 1970er wurde unter dessen Leitung ein Sirenenetz aufgebaut. Die Anzahl an Sirenen wird auf 65000 bis 82000 geschätzt. Bis zu 80% der Bevölkerung konnten so erreicht werden. Jede Warnung wurde an den Rundfunk weitergeleitet. Dieser diente als weiteres Warnmittel (18).

1976 wurden neben dem bereits existierenden Warnsignal für Luftalarm vier weitere Signale eingeführt: „ABC-Alarm“, „Feueralarm“, „Entwarnung“ und „Katastrophenalarm“. War die Nutzung des Sirenenetzes bis dahin auf den Zivilschutz beschränkt, konnte es nun auch während Friedenszeiten verwendet werden (18). Das Signal „Fliegeralarm“ wird noch heute als das Signal „Warnung“ verwendet. Das Signal „Entwarnung“ wird ebenso noch heute, in unveränderter Bedeutung, verwendet (19).

Mit Ende des kalten Krieges wurde das Sirenenetz als nicht mehr notwendig betrachtet und 1992 der Rückbau eingeleitet. Zuvor erhielten die Kommunen die Möglichkeit die Sirenen in dem von ihnen verwalteten Gebieten zu übernehmen (18). Hamburg übernahm das Sirenenetzwerk im sturmflutgefährdeten Gebiet der Stadt.

Der Rückbau des Netzes wird heute als Fehler eingeschätzt. Das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) schrieb hierzu:

„Nach Abbau des ehemals flächendeckenden Sirenenetzes existiert eine zwingend zu schließende Warnlücke beachtlichen Umfangs. Durch die Demontage des Sirenenetzes ohne adäquate Ersatzleistung hat sich die Gesellschaft eines robusten und zuverlässigen Systems selbst beraubt, das von der Mehrheit der Bevölkerung, der Kommunen und der Organisationen in vollem Umfang akzeptiert war. (20)“

2019 wurden durch den Ausschuss "Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung" des Arbeitskreises V der Ständigen Konferenz der Innenminister und -Senatoren der Länder (AfKzV) beschlossen die einheitliche Verwendung der Signale „Warnung“ (ein-minütiger Heulton) und „Entwarnung“ (ein-minütiger Dauerton) zu empfehlen (19). Kommunen können weiterhin abweichende und zusätzliche Signale verwenden (21). In Hamburg werden nur die empfohlenen Signale verwendet (22).

Nach dem Warntag 2020 wurde im März 2021 durch das BBK ein Sirenenförderprogramm aufgelegt. Dieses diente dazu den Ausbau bestehender und Aufbau neuer Sirenenetze zu fördern und diese an das MoWaS anzuschließen (12, 21). Hamburg nutzt das Förderprogramm und errichtet mit eigenen und Mitteln des Bundes 50 neue Sirenen (23).

Erneut betont wurde die Wichtigkeit von Warnungen mit Sirenen nach der Flutkatastrophe 2021 (21).

2.2.4.2 Akustik

Schall ist eine Form von mechanischer Energie, die sich von einer Quelle durch ein Medium ausbreitet. Er pflanzt sich mit einer Geschwindigkeit 342 m/s bei 20 °C in der Luft fort. Faktoren die Einfluss auf die Geschwindigkeit der Luft haben sind Luftfeuchtigkeit, Wind, Turbulenzen und Temperatur. Schall kann anhand der Lautstärke und der Frequenz gemessen werden (24, 25).

Die Frequenz [Hz] ist die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde. Der für Menschen hörbare Bereich ist 16 bis 20000 Hz (26).

Die Lautstärke des Schalls, genauer gesagt der Schalldruckpegel, wird in Dezibel [dB] gemessen. Es handelt sich dabei um eine logarithmische Skala, die wahrgenommene Lautstärke verdoppelt sich alle 10 dB, d.h. eine Lautstärke von 50 dB ist doppelt so laute wie 40 dB (25).

Mit zunehmendem Abstand zur Quelle nimmt die Lautstärke ab. Dies wird als Dämpfung bezeichnet. Die Reichweite einer Sirene hängt von der Dämpfung der Lautstärke bis zu einem vordefinierten Wert ab (24). Der Bereich, in dem dieser Wert nicht unterschritten wird, heißt Warnradius.

Der vordefinierte Wert ergibt sich aus dem erwartbaren Umgebungslärm. Die Federal Emergency Management Agency der Vereinigten Staaten hat aus verschiedenen Quellen Daten zur Umgebungslautstärke verschiedener Gebiete zusammengetragen:

Tabelle 1: Erwartbare Lautstärken am Tag an verschiedenen Orten. Von Oben nach Unten: ländliche Gebiete (< 1Wohnung/100 Acres), ländliche Gebiete (<1 Wohnung/ 5 Acres), Vororte (>1 Wohnung/ 0,25 Acres), Stadt (>2500 Personen/Quadratmeile), Industriegebiet, Piers und andere vom Gewässern umgeben Strukturen, Durchfahrtstraßen, Leichter Verkehr, Highways in Gebieten mittlerer Bebauungsdichte, Highways in Gebieten hoher Bebauungsdichte (24).

Location	Average Ambient Sound Level	
	dBA	dBC
Rural areas – single-family housing density less than 1 dwelling per 100 acres	30	30
Suburban residential areas – primarily single-family housing density less than 1 dwelling per 5 acres, agricultural land use or recreation areas with transient populations, no significant industrial or commercial activity	35	40
Residential areas – primarily single-family housing density less than 1 dwelling per ¼-acre, no significant industrial or commercial activity	40	50
Urban residential areas – primarily single- and multiple-family housing density greater than 1 dwelling per ¼-acre, no significant industrial or commercial activity	50	60
Commercial and industrial areas – land use is primarily commercial or industrial, daytime population density greater than 2,500 persons per square mile or containing major highways or thoroughfares with vehicle counts > 300 per hour	55	70
Piers and other water-surrounded structures	40	45
Thoroughfares – rural and suburban	45	60
Light traffic – at 100 feet from right-of-way	50	70
Highways – medium density urban at 100 feet from right-of-way	55	80
Highways – high density urban at 100 feet from right-of-way	65	90

Um die Aufmerksamkeit einer Person sicher wecken zu können, sollte die Lautstärke des Sirensignals mindestens 10 dB über dem Umgebungslärm liegen (24).

Faktoren die Einfluss auf die Dämpfung haben sind unter anderen die Frequenz, das Terrain, der atmosphärische Temperaturgradient, Windstärke und -richtung und die Luftfeuchtigkeit (24).

Der atmosphärische Temperaturgradient beschreibt die Temperaturveränderung in der Atmosphäre abhängig von der Höhe. Für gewöhnlich ist der Gradient negativ, d.h. die Temperatur nimmt mit zunehmender Höhe ab. In solchen Bedingungen „biegen“ sich Schallwellen nach oben und es können Schallschatten am Boden entstehen (24).

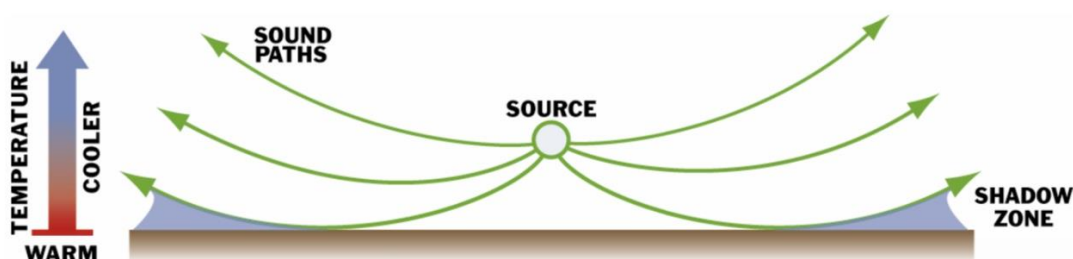


Abbildung 2: Schallübertragung bei negativem Temperaturgradienten. Entnommen von 24, S. 4. Ursprung der Grafik: 27

Biegen ist hier umgangssprachlich gemeint. Im Sinne der Akustik handelt es sich um eine Brechung der Schallwellen und nicht um Beugung.

Liegt ein positiver Temperaturgradient vor, also eine inverse Wetterlage, „biegen“ sich die Schallwellen nach unten (24).

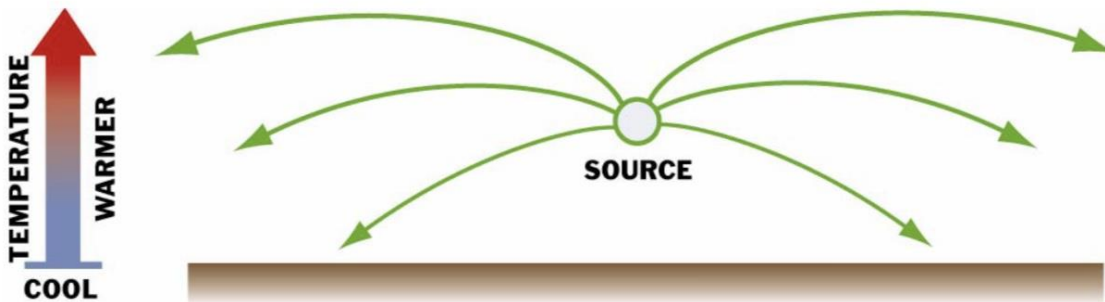


Abbildung 3: Schallübertragung bei positiven Temperaturgradienten. Entnommen von 24, S. 5. Ursprung der Grafik: 27

Das Terrain fasst verschiedene Faktoren zusammen: Weichheit der Oberfläche, Bebauung, Vegetation und Topografie.

Die Weichheit der Oberfläche hat vor allem Einfluss auf die Schallausbreitung, wenn die Quelle nahe am Boden steht. Eine „weiche“ Oberfläche (z.B. eine Wiese) führt zu einer stärkeren Dämpfung als eine harte Oberfläche (z.B. Wasser oder Asphalt) an der Schallwellen reflektiert werden (24).

Die Vegetation hat ebenfalls Einfluss auf die Dämpfung. Bereits ein mittel-dichter Wald kann, abhängig von der Frequenz, eine enorme Dämpfung verursachen.

Tabelle 2: Lautstärkeverlust für verschiedene Frequenzen über 100 Fuß mittel-dichtem Wald. Tabelle wurde 24, S. 5 entnommen. Ursprüngliche Quelle ist 27, S. 5-8.

Octave Frequency Band, Hz	Sound Transmission Loss, dB per 100 feet
31	0.0
63	0.5
125	1.0
250	1.5
500	2.0
1,000	3.0
2,000	4.0
4,000	4.5
8,000	5.0

Die Bebauung stellt für den Schall ein Hindernis dar, an dem der Schall reflektiert wird und um den er sich herum beugt (27). Dies führt im Ergebnis zu einer Dämpfung des Schalls. Die Firma Hörmann

hat für Ihre Sirenen die Entwicklung der Lautstärke über die Entfernung zur Quelle für verschiedene Bebauungsdichten aufgetragen (siehe *Anhang 2 Datenblätter der ECN-Sirenen*).

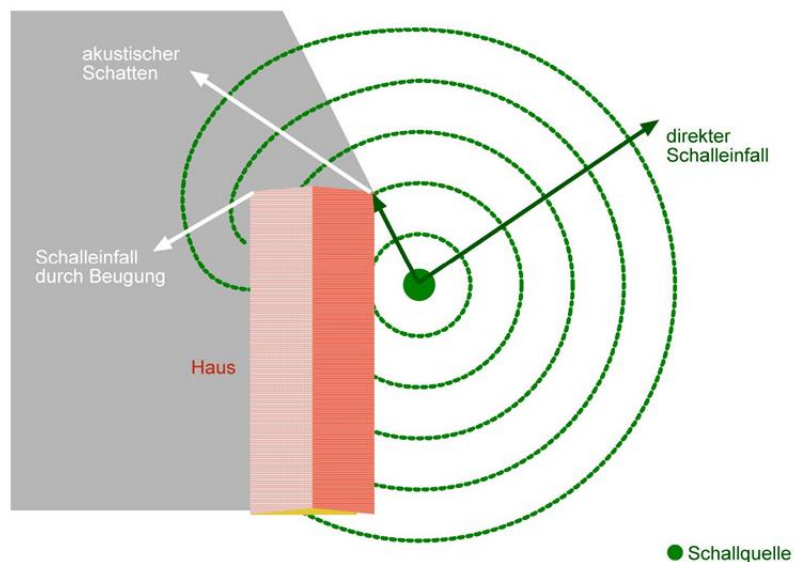


Abbildung 4: Beugung um ein Gebäude (28)

Durch die Gebäude wird nicht nur der Schall außerhalb der Gebäude gedämpft, auch die Schallausbreitung in die Gebäude wird gedämpft (24). Die Federal Emergency Management Agency der vereinigten Staaten hat Werte für den Lautstärkeverlust verschiedener Gebäudetypen zusammengetragen:

Tabelle 3: Lautstärkeverlust für verschiedene Gebäudetypen. Von oben nach unten: Holzbauten mit einfacher Verglasung, Holzbauten mit doppelter Verglasung, Schulen, Kirchen, Krankenhäuser, Büros, Theater, Hotels, gemauerte Gebäude mit Einfachverglasung, gemauerte Gebäude mit Doppelverglasung, Versiegelte Glaswände mindestens 0,25 Zoll dick und 50 % der Außenwandfläche einnehmend, 20 Pfund/Quadratfuß Wand ohne Öffnungen, 50 Pfund/ Quadratfuß Wand ohne Öffnungen (24).

Building or Construction Type	Sound Loss (dB)	
	Open Windows	Closed Windows
Residences – light frame, single-pane windows	12	20
Residences – light frame, dual-pane or storm windows	12	25
Schools	12	25
Churches	20	30
Hospitals/Convalescent Homes	17	25
Offices	20	30
Theaters	17	25
Hotels/Motels	17	25
Masonry wall construction – single pane windows	12	25
Masonry wall construction – dual pane windows	12	35
Sealed glass wall –1/4-inch glass thickness more than 50 percent of exterior wall area	-	28
20 lb/ft ² solid wall – no windows, no cracks, no openings	-	30
50 lb/ft ² solid wall – no windows, no cracks, no openings	-	38

Diese Werte gelten für Gebäude, die nach amerikanischen Standards gebaut wurden. Inwiefern die Werte auf Gebäude in Hamburg übertragbar sind, ist unbekannt.

Derzeit wird davon ausgegangen dass die zunehmende und effektivere Wärmedämmung in Gebäuden auch eine zunehmende Dämpfung des Schalls zufolge hat, sodass die Werte in Tabelle 3 zukünftig höher ausfallen werden (24).

Die Topografie hat einen ähnlichen Einfluss wie die Bebauung. An Hindernissen muss sich der Schall beugen und es entstehen Schallschatten hinter diesen Hindernissen. In der Planung von Sirennennetzen kann dies durch die Nutzung der Line-of-Sight-Methodik (LOS-Methodik) mit einbezogen werden. Diese wird vor allem in hügeligen Gelände angewandt (24).

Hierfür wird auf einer topografischen Karte ein Radius um die Schallquelle gezogen. Der Radius ist der Bereich, in dem der vordefinierte Wert der Lautstärke nicht durch die Dämpfung unterschritten wird. Der Radius wird dann entlang von Erhöhungen (Hügel, Felswände, etc.) verkürzt. Innerhalb des „Warnradius“ verbleibt das Areal, für das von der Quelle aus eine direkte Sichtlinie zum Boden

gezogen werden kann (24).

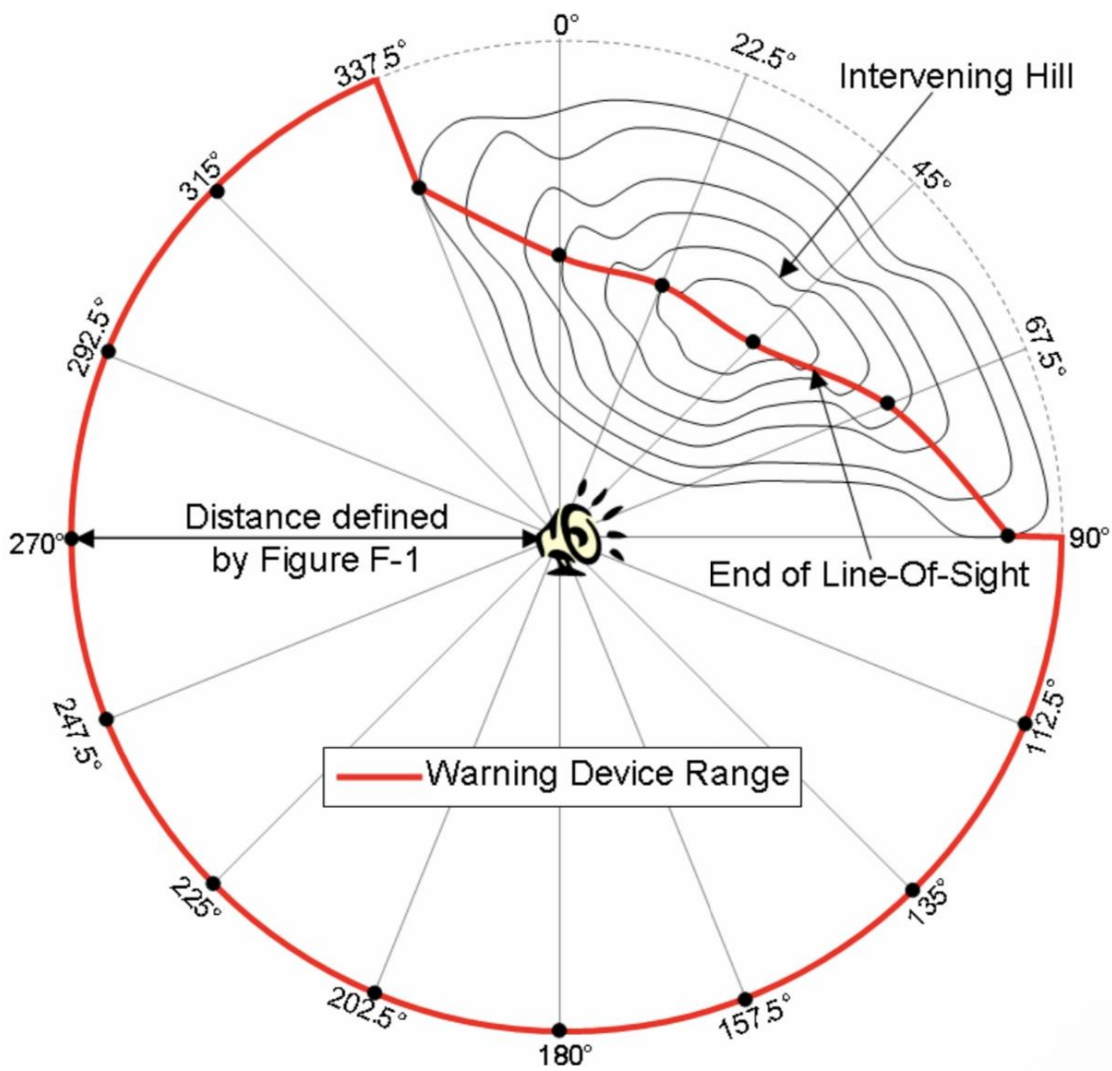


Abbildung 5: Beispielhafte Anwendung der LOS-Methodik, Draufsicht mit Höhenlinien-Darstellung eines Hügels (24)

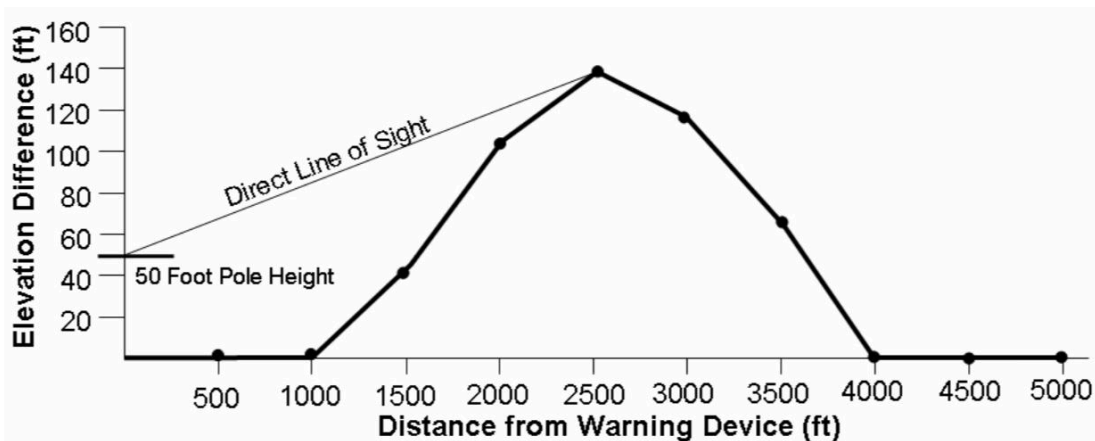


Abbildung 6: Beispielhafte Anwendung der LOS-Methodik mit Querschnitt-Darstellung eines Hügels (24)

In den Abbildung 5 und Abbildung 6: Beispielhafte Anwendung der LOS-Methodik mit Querschnitt-Darstellung eines Hügels (24) wird dies gezeigt. Die Sichtlinie „bricht“ entlang des Hügelkamms. Der Bereich hinter dem Kamm wird aus dem Warnradius ausgeschlossen.

Dieser Ansatz führt zu konservativen Ergebnissen, da auch Bereiche hinter dem Hindernis vermutlich noch erreicht werden. Dies geschieht durch die Beugung der Schallwellen (24).

Der Wind verändert die Schallausbreitung abhängig von der Windrichtung. Mit dem Wind wird die Bildung von Schallschatten durch einen negativen Temperaturgradienten verringert oder ganz verhindert. Gegen den Wind verstärkt sich der Schallschatten und die Dämpfung wird stärker (27).

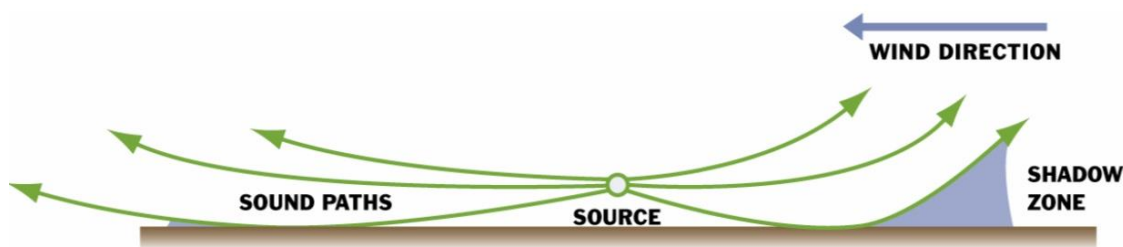


Abbildung 7: Bildung von Schallschatten mit und gegen den Wind (24)

2.2.4.3 Sirenen in Hamburg

Gegenwärtig besteht das Sirenenetz in Hamburg aus 123 Sirenen des ECN-Typs (siehe *Anhang 2 Datenblätter der ECN-Sirenen*) im sturmflutgefährdeten Gebiet der Stadt (22). 50 weitere Sirenen wurden ausgeschrieben und sollen bis Ende 2023 errichtet werden. Hierfür wurde das 2021 aufgelegte Förderprogramm des Bundes genutzt (12). Die so teilfinanzierten Sirenen werden überwiegend im nicht sturmflutgefährdeten Gebiet stehen (29). Da die Gesamtheit des

Sirenenwarnnetzes als Verschlussache - Nur für den Dienstgebrauch (VS-NfD) eingestuft wird, können in dieser Arbeit weder die Standorte des bestehenden, die 50 zukünftigen, noch die in dieser Arbeit ermittelten Standorte offengelegt werden.

Der Ausbau des Netzes auf nicht sturmflutgefährdete Gebiete wird zu einer Veränderung der Nutzung der Sirenen führen. Bisher wurden Sirenen nur für die Warnung vor Sturmfluten genutzt, für die ein Wasserpegel von mehr als 7,30 m über Normalhöhenull vorausgesagt wurde (30). Zukünftig sollen Sirenen auch vor anderen Gefahren warnen, jedoch beschränkt auf Warnungen analog der MoWaS-Warnstufe 1 (31, 23).

Mit der Abschaltung des POCSAC-Netzes in Hamburg und dem Austausch alter Sirenen des Typs E 57 gegen die ECN-Sirenen wurde die Auslösetechnik der Sirenen in Hamburg ebenfalls erneuert. Die Auslösung erfolgt nun mithilfe des TETRA-BOS-Funk (22, 32).

Ausgelöst werden können Sirenen über eine von zwei bzw. drei Steuerzentralen. Eine steht bei der Polizei, eine ist für die Feuerwehr geplant und die dritte steht bei A44. Die Zentrale der Polizei wurde organisatorisch als primäre Steuerzentrale festgelegt. Die Zentralen der Feuerwehr und bei A44 sollen die erste und zweite Redundanz darstellen. Über diese können das gesamte Sirenenetz, einzelne oder Gruppen von Sirenen ausgelöst werden. Weiterhin ermöglichen es die Zentralen den Status der Sirenen (Funktionsfähig, Ausgelöst, nicht Ausgelöst, Defekt) aus der Ferne zu überwachen, was die Verwendung von Sirenenwarten überflüssig macht.

Verwendet werden dabei lediglich die Signale „Warnung“ und „Entwarnung“ wie sie vom AfKzV festgelegt wurden (22).

2.2.4.4 Vor- und Nachteile

Häufig als Vorteil wird der Weckeffekt einer Sirene genannt. Das heißt die Fähigkeit den Alltag zu unterbrechen und die Aufmerksamkeit des Warnungsempfängers zu erregen (21). Wie in 2.2.4.2 *Akustik* beschrieben hängt das Erregen der Aufmerksamkeit von der Lautstärke des Sirenensignals in Relation zur Umgebungslautstärke ab. Die Lautstärke des Sirenensignals wiederum hängt von verschiedenen Faktoren ab, die nicht unbedingt in der Planung des Sirenennetzes berücksichtigt werden können (z.B.: Windstärke und -richtung und Temperaturgradient). Bei bestehenden Sirenenstandorten kann insbesondere innerhalb von Gebäuden durch zunehmend bessere Wärmeisolierung die Lautstärke so stark reduziert werden, dass ein Weckeffekt nicht mehr gegeben ist (siehe 2.2.4.2 *Akustik*).

Ein weiterer Vorteil liegt in der Eigenschaft der Sirene als passives Warnmittel. Hiermit ist gemeint, dass durch den Warnungsempfänger keine Maßnahmen ergriffen werden müssen um die Warnung

zu erhalten (33). Andere Warnmittel die über einen Weckeffekt verfügen sind keine passiven Warnmittel. Warnapps zum Beispiel müssen heruntergeladen werden und richtig eingestellt werden, um einen Weckeffekt zu gewährleisten. Für Cell Broadcast ist dies nicht notwendig. Jedoch ist sowohl für Warnapps als auch für Cell Broadcast ein an der Person getragenes, aufgeladenes, eingeschaltetes Handy notwendig, dass Empfang haben muss und nicht zu alt sein darf, sodass die Warnapps und Cell Broadcast auf diesem Handy funktionieren. Sirenen benötigen dies nicht .

Ein Nachteil ist die Kodierung von Sirensignalen. Ist die Bedeutung der Signale nicht bekannt oder wird eine andere womöglich sogar gegensätzliche Bedeutung angenommen tritt nicht notwendigerweise der vom Sender gewünschte Effekt ein (18). Gemindert wird dies durch den in 2.2.5.4 Protective Action Decision Model beschriebenen Informationsbedarfs des Empfängers und Feedback-Loops. Durch die Verwendung von Sirenen mit Sprachausgabe kann dieser Nachteil ausgeglichen werden, jedoch führt dies dazu dass die Sprachverständlichkeit der Nachricht berücksichtigt werden muss (siehe hierzu 2.2.5.3 C-HIP). Verallgemeinert bedeutet dies auch eine Reduzierung des Warnradius (24). Wird durch den Warnungsempfänger die in der Warnung verwendete Sprache nicht verstanden ergibt sich jedoch erneut, der oben beschriebene Nachteil (34).

Ein weiteres Problem ist die Genauigkeit der Sirenen. Durch Wettereinflüsse verändert sich der Warnradius (siehe 2.2.4.2 Akustik). Gebiete die gewarnt werden sollten, werden dann nicht erreicht, bzw. nicht gefährdete Gebiete werden unnötigerweise gewarnt. Beides kann sich über die unmittelbaren negativen Auswirkungen (Nichtwarnung eines gefährdeten Warnungsempfängers) (18, 14) langfristig negativ auf die Wahrnehmung des Warnmittels und des Senders durch den Warnungsempfänger auswirken (siehe 2.2.5.4 Protective Action Decision Model und 2.2.5.5 Leitfaden Krisenkommunikation).

Im Folgenden Kapitel 2.2.5 Modelle und Leitfäden zur Warnung werden im Kontext verschiedener Kommunikationsmodellen und Leitfäden noch einmal die Eigenheiten von Sirenen diskutiert.

2.2.5 Modelle und Leitfäden zur Warnung

In diesem Kapitel werden verschiedene Modelle und Leitfäden erläutert, welche auf die Warnung der Bevölkerung angewendet werden können und das Warnmittel Sirene wird in diese eingeordnet.

2.2.5.1 Lasswell-Formel

Die Lasswell-Formel ist weniger eine Formel als eine Heuristik. Sie dient der Strukturierung und Beschreibung von „[...]Akten der Kommunikation[...]“ (35). Sie lautet „Who says what in which

channel to whom with what effect?" (35). Frei übersetzt: "Wer sagt was in welchem Kanal zu wem, mit welchem Effekt."

Auf die Warnung mit Sirenen angewandt ist das „Wer“ die warnende Behörde, in Hamburg, die Polizei, die Feuerwehr oder A44 bzw. der ZKD (Zentraler Krisendienststab) (siehe 2.2.3 *Warnung in Hamburg*). Bei dem „Was“ handelt es sich um eins von zwei Signalen „Warnung“ oder „Entwarnung“. Diese bedeuten „Achtung! Es besteht eine Gefahr. Informieren Sie sich“ bzw. „Die Gefahr besteht nicht mehr.“ (14). Der Kanal ist das Warnmittel Sirene. Der Empfänger des Aktes der Kommunikation ist die Bevölkerung im Warnradius einer oder mehrerer Sirenen, in denen eine Gefahr für die Bevölkerung vorliegt oder zu erwarten ist. Der Effekt des Aktes der Kommunikation hängt von verschiedenen Faktoren ab. Die in den folgenden Modellen und Richtlinien beschrieben werden.

2.2.5.2 IDEA-Modell

Das IDEA-Modell (Internalisation, Distribution, Explanatoin, Action) (frei übersetzt: Internalisierung, Verteilung, Erklärung, Maßnahme) ist ein strategisches Kommunikationsmodell. Es dient dazu die Aufmerksamkeit der Bevölkerung auf Schutzmaßnahmen zu lenken, die Umsetzung zu erklären und zur Umsetzung zu motivieren.

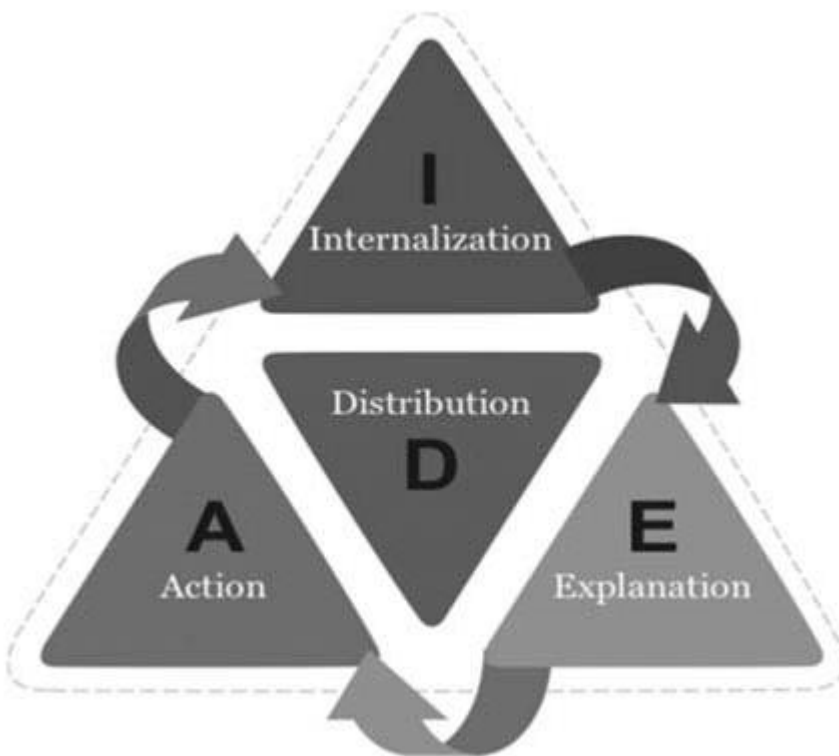


Abbildung 8: Darstellung des IDEA-Modells (36)

Die Internalisierung dient der Motivation des Empfängers die Nachricht zu beachten, diese im Gedächtnis zu behalten und Schutzmaßnahmen umzusetzen. Dies kann unter anderem das zeigen von Mitgefühl, eine Karte des betroffenen Gebiets, das Nennen möglicher Auswirkungen oder ein Zeitstrahl über die zu erwartenden Ereignisse beinhalten. Ziel ist es dabei den Empfängern die Frage „Wie bin ich und die, die mir wichtig sind betroffen und in welchem Ausmaß?“ (36) zu beantworten (37, 36).

Der Aspekt der Verteilung dient dazu verschiedenste Bevölkerungsgruppen mit einheitlichen Nachrichten über verschiedene Kanäle zu erreichen (36, 37).

Die Erklärung dient der Übermittlung von Informationen an die Empfänger in einer verständlichen und vertrauenswürdigen Weise. Es sollten die Fragen: „Was ist passiert?“, „Wieso ist es passiert?“ und „Was tun offizielle Stellen dagegen?“ (36). Dies sollte auch beinhalten welche Informationen noch nicht vorliegen (37, 36).

Der Maßnahmen-Aspekt des IDEA-Modells beinhaltet die Elemente der Nachricht, die die Empfänger dazu bringen soll, Schutzmaßnahmen zu ergreifen. Es sollte die Frage „Welche Maßnahmen sollten ich und diejenigen die mir wichtig sind ergreifen bzw. nicht ergreifen, um uns zu schützen?“ (36), (37, 36).

Sirenen sind im Kontext des IDEA-Modells Kommunikationskanäle der Verteilung. Die Frage der Internalisierung wird durch die genutzten Sirenensignale nur unzureichend beantwortet. Es wird zwar deutlich, dass eine Gefahr besteht, jedoch wird weder das Ausmaß, der Ort, noch die Art der Gefahr dargelegt. Lediglich aus dem Kontext des Signals könnte geschlussfolgert werden, wo sich die Gefahr befindet (Die Sirenen können einzeln, in Gruppen oder vollständig ausgelöst werden → hört man die Sirenen, befindet man sich am Ort der Gefahr). Um diese Schlussfolgerung treffen zu können, muss jedoch ein gewisses Hintergrundwissen über das Hamburger Sirenenwarnnetz vorliegen. Auch mit diesem Wissen wird nicht klar, ob die Gefahr das gesamte von der Sirene abgedeckte Gebiet betrifft, nur einen Teil des Gebiets oder auch weitere Gebiete, die von anderen Sirenen abgedeckt werden.

Für den Erklärungs-Aspekt des IDEA-Modells ist das Warnmittel Sirene noch schlechter geeignet. Durch die verwendeten Signale wird weder deutlich was passiert noch wieso es passiert. Lediglich über einen Teil der Maßnahmen der offiziellen Stellen können Rückschlüsse gezogen werden. Die Aufforderung sich zu informieren, deutet darauf hin, dass an anderer Stelle weitere Informationen bereitgestellt werden. Auch dies lässt sich nur Schlussfolgern, wenn entweder die Bedeutung des Sirenensignals oder das Prinzip des Warnmittelmix bekannt ist.

Die Aufforderung sich zu informieren ist auch die einzige Maßnahme, die über Sirensignale empfohlen wird.

2.2.5.3 C-HIP

Das Communication-Human Information Processing Model ist ein Stufenmodell basierend auf Kommunikations- und Informationsverarbeitungsmodellen. Die Stufen folgen aufeinander, jedoch ist das Modell nicht streng linear, d.h. spätere Stufen können Einfluss auf vorherige Stufen haben (34).

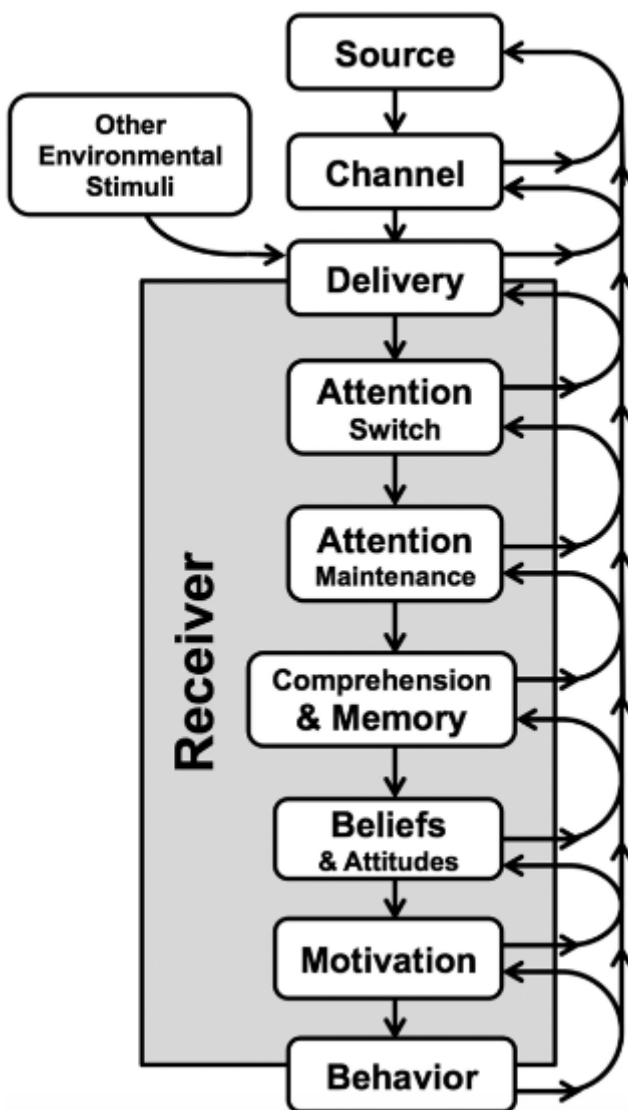


Abbildung 9: Darstellung des C-HIP (34)

Das Modell beginnt mit dem Sender. Die Quelle der Warnung können eine staatliche Stelle, ein Unternehmen, Importeur oder eine einzelne Person sein. Es wird allgemein angenommen, dass die Quelle überlegenes Wissen hat und die Notwendigkeit für eine Warnung durch Gefahrenanalysen,

Industriestandards, Berichte aus der Bevölkerung/ dem Kundenkreis, grundlegenden physikalischen und chemischen Prinzipien oder gesetzlichen Vorgaben ermittelt hat (34).

Der Kanal ist das Medium, über welches die Warnung übermittelt wird. Möglich sind visuelle, auditive oder andere sensorische Modalitäten. Die Verwendung mehrerer Kanäle und Modalitäten wird empfohlen (34).

Der Empfang der Warnung ist die dritte Stufe im C-HIP-Model. Es ist nicht garantiert, dass eine Warnung auch die Zielgruppe erreicht. Jedoch kann durch die Wiederholung der Warnung und die Verbreitung über verschiedene Kanäle die Wahrscheinlichkeit hierfür gesteigert werden (34).

Wird die Warnung empfangen muss der Warnungsempfänger seine Aufmerksamkeit im nächsten Schritt auf diese lenken. Ob dies geschieht, hängt von dem Empfänger, der Umgebung des Empfängers, sowie der „salience“ der Warnung (Englisch für Prominenz/ Herausstand oder Auffälligkeit, im weiteren als Weckeffekt übersetzt). Faktoren den Empfänger betreffend sind dessen kognitiver und physischer Zustand, seine Wahrnehmung, Ausbildung und Aufmerksamkeit. Die Umgebung des Empfängers bedingt den Weckeffekt der Warnung. Zum Beispiel wird eine visuelle Warnung in roter Farbe für gewöhnlich leicht erkannt und der Empfänger lenkt seine Aufmerksamkeit auf diese. Ist die Umgebung jedoch auch in Rot gehalten, nimmt der Weckeffekt der Warnung stark ab (34). In einer lauten Umgebung sind auditive Warnungen schwerer zu hören und der Weckeffekt nimmt ebenfalls ab (24).

Der Wechsel der Aufmerksamkeit ist weniger wahrscheinlich wenn der Empfänger bereits an die Warnung gewohnt ist (34).

Wurde die Aufmerksamkeit auf die Warnung gelenkt muss diese aufrecht erhalten werden, bis die adäquaten Informationen erhalten wurden. Einen negativen Effekt auf die Aufmerksamkeit für auditiver Warnungen sind Hintergrundgeräusche auf einer ähnlichen Frequenz, geringe Lautstärke, besonders schnelle oder langsame Rede, große Länge der Warnung und Nutzen einer Fremdsprache (34). Ebenfalls relevant ist die Komplexität der Warnung. Ist die Warnnachricht zu komplex oder in einem Fachjargon formuliert wird die Aufmerksamkeit des Empfängers verloren gehen. Auch wenn es sich um eine bereits bekannte Warnnachricht bzw. Information handelt, kann die Aufmerksamkeit verloren gehen. In diesem Fall kann jedoch eine Erinnerung an vorhergehende Warnungen und damit verknüpfte zusätzliche Informationen geweckt werden (34).

Die nächste Stufe des C-HIP-Modells ist Erinnerung/Verständnis. Wenn der Empfänger seine Aufmerksamkeit auf die Warnung lenkt, wird diese teilweise oder vollständig in das Gedächtnis übernommen. Auch dies hängt von der Komplexität der Warnung ab. Ist der Empfänger mit dem

verwendeten Fachjargon vertraut, fällt dieser jedoch weniger stark ins Gewicht. Beim Verständnis der Warnung ist es das Ziel das der Empfänger die Natur der Gefahr, Möglichkeiten diese zu vermeiden, sowie mögliche Konsequenzen, wenn die Gefahr nicht vermieden wird, versteht. Diese Informationen bieten die Grundlage um eine Entscheidung treffen zu können (34).

Die Verarbeitung einer verstandenen Warnung hängt unter anderem von den Überzeugungen und der Haltung des Empfängers ab. Stimmt eine erhaltene Warnung mit diesen überein, ist es wahrscheinlicher, dass die Warnung befolgt wird. Stimmt sie nicht überein kann die Warnung auch ignoriert werden. Bereits der Wechsel der Aufmerksamkeit kann hiervon abhängen. Wird bspw. ein Konsumprodukt vom Empfänger als sicher betrachtet, ist es unwahrscheinliche, dass ein Warnaufdruck überhaupt gelesen wird (34).

Empfänger können durch jede der vorgenannten Stufen gehen, eine Warnung erhalten, ihre Aufmerksamkeit auf diese lenken, Warnung verstehen und sie als in Einklang mit ihren Überzeugungen wahrnehmen. Dies führt jedoch nicht zwangsläufig zur Umsetzung von Schutzmaßnahmen. Die Umsetzung von Schutzmaßnahmen hängt von der Motivation der Empfänger ab. Diese wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Hier sind die Kosten der Umsetzung von Schutzmaßnahmen, soziale Einflüsse, Zeit und Stress zu nennen. Je höher die Kosten der Umsetzung (monetär und aufwandbezogen) und der Stress, desto unwahrscheinlicher ist die Umsetzung der Schutzmaßnahmen. Dasselbe gilt auch wenn nur wenig Zeit zur Verfügung steht. Bei den sozialen Einflüssen geht es hauptsächlich um das Verhalten der Menschen, welches vom Empfänger beobachtet wird. Führen diese die Schutzmaßnahmen durch steigt die Wahrscheinlichkeit, dass auch der Empfänger die Schutzmaßnahmen ergreift (34).

Das Umsetzen der Schutzmaßnahmen ist der letzte Schritt im C-HIP-Model. Über ihn kann schlussendlich die Effektivität der Warnung gemessen werden (34).

Der Sender und der Kanal für Sirenenwarnungen wurden bereits in 2.2.3 *Warnung in Hamburg* und 2.2.5.1 *Lasswell-Formel* etabliert. In 2.2.2 *MOWAS und Warnmittelmix* und 2.2.3 *Warnung in Hamburg* sind die diversen weiteren Kanäle aufgeführt die gemeinsam mit Sirenen angewendet werden, sodass der Empfänger die Warnung erhält.

Entscheidender Faktor für die Umgebung ist die Umgebungslautstärke. Diese kann abhängig von der Umgebung stark variieren (siehe 2.2.4.2 *Akustik*). Wie bereits mehrfach erwähnt sollte die Lautstärke 10 dB über der Umgebungslautstärke liegen. Die Lautstärke, um einen Empfänger mithilfe von Sirenen auch wecken zu können und seine Aufmerksamkeit auch nachts zu erhalten hängt vom Alter des Empfängers ab. Je höher das Alter umso wahrscheinlicher dass der Empfänger erwacht (24).

Tabelle 4: Wahrscheinlichkeit des Aufwachens für verschiedene Lautstärken und Altersgruppen (24)

Siren SEL in Bedroom (dBA)	Probability of Arousal from Sleep (Percent)		
	Age group: 18-34	Age group: 35-54	Age group: 55+
	75	38	43
70	31	36	45
65	26	30	37
60	22	26	28
55	17	22	19

Die Sirensignale, die in Hamburg verwendet werden, sind beide 60 Sekunden lang. Mindestens für diesen Zeitraum muss die Aufmerksamkeit des Empfängers aufrechterhalten werden. Im Falle des Signals „Warnung“ sollte die Aufmerksamkeit des Empfängers über die Dauer des Signals erhalten bleiben, sodass er weitere Kanäle zu Rate zieht, um mehr Informationen zu sammeln.

In der Hansestadt erfolgt einmal jährlich ein Test des Sirennetzes zum Beginn der Sturmflutseason. Diese Tests werden über die verschiedenen Warnsignale angekündigt und die Bedeutung der Signale erläutert. Dies kann die Signale und ihre Bedeutung im Gedächtnis verankern.

Sturmfluten werden in Hamburg als eine der größten Gefahren angesehen (38). Sirenen waren in der Vergangenheit ausschließlich für die Warnung vor Sturmfluten vorgesehen. Da dies bekannt und den Empfängern mindestens einmal jährlich durch die Sirentests zum Beginn der Sturmflutseason erneut ins Gedächtnis gerufen wurde, kann davon ausgegangen werden, dass die Sirenenwarnung in der Wahrnehmung der Bevölkerung eng mit der Gefahr einer Sturmflut verknüpft ist und die Warnung daher ernstgenommen wird. Die Warnung stimmt also mit der Überzeugung der Bevölkerung überein.

Das Signal Warnung fordert dazu auf weitere Informationen über andere Kanäle zu suchen. Abhängig vom Kanal kann dies einen größeren oder kleineren Aufwand bedeuten. Ob die Empfänger diesen Aufwand tatsächlich auf sich nehmen, ist unklar. Sirenen mussten in Hamburg noch nie großflächig im Ernstfall eingesetzt werden (22).

2.2.5.4 Protective Action Decision Model

Das Protective Action Decision Model (PADM) basiert auf Forschungen zur Reaktion von Menschen auf Umweltkatastrophen. Es beschreibt den Prozess, der Menschen dazu bewegt Schutzmaßnahmen zu ergreifen und welche Faktoren Einfluss auf diese Entscheidung haben (39).

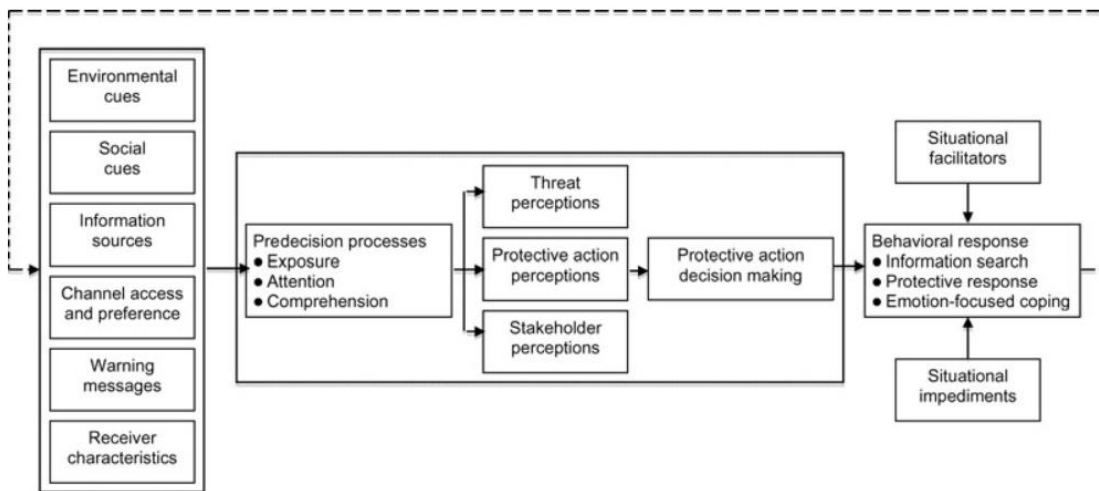


Abbildung 10: Darstellung des PADM (39)

Das Modell beginnt mit einem geophysischen, meteorologischen, hydrologischen oder technologischen Prozess, welcher ein Risiko für die Menschen in einem Gebiet darstellt. Ein wichtiger Faktor für die Entscheidung Schutzmaßnahmen zu ergreifen sind „environmental cues“ (frei übersetzt: Umweltindikatoren) die auf das Risiko durch den Prozess hinweisen. Im Falle eines Tornados beispielsweise „a roar „like a freight train““ (frei übersetzt: ein Brüllen wie ein Güterzeug) und Trichterwolken (39).

Der zweite wichtige Einflussfaktor sind „social cues“. Quellen in einem sozialen Milieu stellen Informationen zu dem Risiko und möglichen Schutzmaßnahmen bereit und unterstützen teilweise auch bei deren Umsetzung. Quellen können unter anderen Nachbarn Freunde, Verwandte, Kollegen, Behörden und Medien sein. Durch die Weitergabe von Informationen zwischen Quellen (Verbreitung amtlicher Warnungen durch die Medien, Aufforderung Nachbarn zu informieren und diesen zu helfen, etc.) entstehen Warnnetzwerke, welche günstigenfalls dazu führen, dass alle Personen in einem gefährdeten Gebiet mehrere Warnungen erhalten. Es ist jedoch realistisch davon auszugehen, dass nicht alle Personen gewarnt werden oder sich widersprechende Warnungen erhalten. Warnungen müssen nicht notwendigerweise explizit übermittelt werden. Allein das Verhalten der Quellen kann als social cue dienen (z.B.: erkennbare Vorbereitungen der Nachbarn auf eine Evakuierung) (39).

Warnnetzwerke können über eine Vielzahl von Kanälen Informationen verbreiten (Zeitungen, Internet, Soziale Medien, Broschüren, Radio, Fernsehen, Persönliche Gespräche, Warnapps, etc.) Diese Kanäle werden im PADM hinsichtlich der Verbreitungsrate, der Präzision, Weckeffekt, Spezifität und Eindeutigkeit der Nachricht, Notwendigkeit für besondere Ausrüstung von Sender und/oder Empfänger und der Möglichkeit auf die Nachricht zu antworten bzw. deren Empfang zu bestätigen unterschieden (39).

Der psychologische Entscheidungsprozess, Schutzmaßnahmen zu ergreifen, beginnt mit dem Vorentscheidungsprozess. Dieser setzt sich aus Exposition (die Information wurde erhalten), Aufmerksamkeit (die Information wird beachtet) und Verständnis (die Information wurde verstanden) zusammen. Unabhängig, ob es sich um social cues, environmental cues oder beides handelt, müssen alle drei durchlaufen werden, um eine Reaktion zu erreichen. Ob die Information Beachtung findet, hängt von den Erwartungen des Empfängers, seiner Aufmerksamkeit und des Weckeffekts des verwendeten Kanals ab. Das Verständnis hängt unter anderem von einer gemeinsamen Sprache und des Verzichts auf unverständliche Fachbegriffe ab (39).

Der Vorentscheidungsprozess führt zur „core perception oft the [...] threat“ (frei übersetzt: Kernwahrnehmung der Gefährdung). Diese bildet die Grundlage für die Schutzmaßnahmenentscheidung. Erster Teil der Kernwahrnehmung ist die Wahrnehmung der Umweltgefährdung. Diese wird durch den erwartenden Einfluss des Ereignisses auf das eigene Leben geprägt. Dies beinhaltet unter anderen Tod, Verletzungen, Sachschäden, Unterbrechung der Arbeit und Schule und Einfluss auf weitere Aktivitäten des täglichen Lebens (39).

Der Zweite Teil der Kernwahrnehmung umfasst die Wahrnehmung der Schutzmaßnahmen. Diese werden anhand der Kosten, der Effizienz, dem notwendigen Wissen zur Umsetzung und der Nützlichkeit für andere Zwecke beurteilt (39).

Der dritte Schritt der Kernwahrnehmung stellt die Wahrnehmung der „social stakeholder“, der Interessen- und Anspruchsgruppen dar (40, 39). Stakeholder werden in die Kategorien Autoritäten (Behörden), Evaluierer (Wissenschaftler, Medizinisches Fachpersonal, Universitäten), watchdog (Medien, Bürger- und Umweltgruppen), Industrie und Arbeitgeber, sowie Haushalte unterteilt. Die Beziehungen zwischen Stakeholdern sind durch die Fähigkeit geprägt, die Entscheidung für oder gegen Schutzmaßnahmen zu beeinflussen. Dies kann entlang von sechs „bases“ erfolgen. Diese sind Belohnung, Zwang, Expertise, Informationen, Identifizierung und legitime Macht. Belohnung und Zwang sind die typischen Methoden, um gewünschte Verhalten zu erreichen, benötigen jedoch beständige Überwachung, um eine konsequente Belohnung für das Umsetzen der Schutzmaßnahmen bzw. Strafen für das Ignorieren dieser zu gewährleisten. Mit Expertise ist das

Verstehen von Ursache und Wirkung gemeint. Mit Informationen das Wissen über die gegenwärtige Situation. Identifizierung ist das Gefühl einer gemeinsamen Identität einer Person gegenüber einer anderen. Dies hängt zu einem großen Teil von der Vertrauenswürdigkeit dieser ab. Legitime Macht beschreibt die wahrgenommenen Rechte und Pflichten von Stakeholdern im sozialen System. Wird beispielsweise die Vorbereitung auf Katastrophen als Aufgabe des Staates gesehen, wird es unwahrscheinlicher, dass die Bevölkerung Schutzmaßnahmen ergreift. Die Wahrnehmung einer gestiegenen Eigenverantwortung andererseits kann die Umsetzung von Schutzmaßnahmen durch die Bevölkerung wahrscheinlicher machen (39).

Auf Basis der Kernwahrnehmung erfolgt die Entscheidung für oder gegen Schutzmaßnahmen. Diese beginnt mit der Risikoidentifizierung, welche auf die Frage reduziert werden kann: „Gibt es eine reale Bedrohung, die meine Aufmerksamkeit erfordert?“ (39). Wird dies bejaht, beginnt der zweite Schritt: die Risikobeurteilung. Auch diese lässt sich auf eine Frage reduzieren: „Muss ich Schutzmaßnahmen ergreifen?“. Für diese Stufe der Entscheidung ist die Dringlichkeit der Warnung besonders relevant. Wird durch die Warnung nicht deutlich, dass eine Bedrohung unmittelbar bevorsteht, wird der Entscheidungsträger nicht den nächsten Schritt des Entscheidungsprozesses durchlaufen. Stattdessen könnte er mehr Informationen suchen oder Maßnahmen ergreifen, um sein Eigentum zu schützen. Zwar können zusätzliche Informationen zur Durchführung empfohlener Schutzmaßnahmen führen, jedoch entsteht so eine potenziell gefährliche Zeitverzögerung. Ebenso können Maßnahmen zum Schutz des Eigentums Maßnahmen zum Schutz des eigenen Lebens verzögern (39).

Werden die Fragen nach einer realen Bedrohung und der Notwendigkeit für Schutzmaßnahmen bejaht, beginnt die Suche nach Schutzmaßnahmen. Abhängig von der Erfahrung und dem Wissen des Entscheidungsträgers, beobachteten „social cues“ und erhaltenen Warnungen werden verschiedene Schutzmaßnahmen identifiziert. Dieser dritte Schritt wird mit der Frage „Was kann getan werden, um sich zu schützen?“ (39) zusammengefasst. Wurden Maßnahmen identifiziert, stellt sich im nächsten Schritt die Frage nach der besten Schutzmaßnahme. Auch wenn nur eine einzige Maßnahme identifiziert wurde, muss entschieden werden ob diese umgesetzt wird oder nicht (39).

Im fünften Schritt erfolgt die Umsetzung der gewählten Schutzmaßnahme. Dies erfolgt nur wenn alle vorherigen Fragen zufriedenstellend beantwortet wurden. Da Schutzmaßnahmen häufig sehr ressourcenintensiv sind, wird deren Umsetzung häufig verzögert (39).

Während jeder Stufe des Entscheidungsprozesses kann der Entscheidungsträger zusätzliche Informationen benötigen, um die oben genannten Fragen klar beantworten zu können. Der

Entscheidungsträger wird nun über die von ihm favorisierten Kanäle nach den gewünschten Informationen suchen. Diese Kanäle stehen jedoch nicht zwangsläufig zur Verfügung. Eine Hotline oder der Notruf können beispielsweise durch zu viele Anrufe belegt sein, sodass keine Information hier erhältlich sind. Wie bei der Umsetzung von Schutzmaßnahmen, kann es auch bei der Suche nach Informationen zu Verzögerungen kommen, wenn die Bedrohung als nicht zeitkritisch eingestuft wird (39).

Durch die Suche nach Informationen entsteht ein „Feedback-Loop“. Eine erneute Beurteilung der environmental und social cues, insbesondere der Warnungen (39).

Im Kontext des PADM sind Sirenen ein Kanal in Warnnetzwerken. Die Quelle ist hierbei eine Behörde. Die übermittelte Nachricht (siehe 2.2.5.1 *Lasswell-Formel*): „Achtung! Es besteht eine Gefahr. Informieren Sie sich!“ nutzt den Informationsbedarf der Entscheidungsträger und fördert diesen. Es werden jedoch keine Informationen über die Art und das Ausmaß der Gefährdung übermittelt oder welche Schutzmaßnahmen zu ergreifen sind. Hierfür wären deutlich differenziertere Signale nötig als die verwendeten „Warnung“ und „Entwarnung“. Es ist jedoch fraglich ob solche Signale unterschieden werden könnten bzw. ob deren Bedeutung ohne langfristige und aufwendige Maßnahmen durch die Behörden (Unterricht, Öffentlichkeitsarbeit, Warntag, etc.) der Bevölkerung bekannt wären. Das gegenwärtige Signal wird in Hamburg bereits seit mehreren Jahrzehnten verwendet (18) und deren Bedeutung über Sirenentests, Broschüren und die Website der BIS verbreitet. Zudem kann auch ohne genaue Kenntnis der Bedeutung des Signals, davon ausgegangen werden, dass die erwartete Wirkung eintritt. Die Sirenensignale würden dann als environmental cue fungieren und dem Entscheidungsträger als Indikator für eine Bedrohung dienen und die Suche nach weiteren Informationen einleiten.

2.2.5.5 Leitfaden Krisenkommunikation

Die Warnung der Bevölkerung wird gemäß dem Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) als „Information der Bevölkerung über drohende [...] Gefahren und/oder akute [...] Schadensereignisse inklusive Handlungsempfehlungen [...] (41)“ definiert. Sie wird im Bereich der Krisenkommunikation verortet, welche der „Austausch von Informationen und Meinungen während einer Krise zur Verhinderung oder Begrenzung von Schäden an einem Schutzgut. (42)“ ist.

Um das Hauptziel der Krisenkommunikation - die Verhinderung oder Begrenzung von Schäden an einem Schutzgut – zu erreichen werden im Leitfaden des Bundesministeriums des Inneren (BMI) mehrere Unterziele definiert:

1. „der Aufbau von Vertrauen [...] und Glaubwürdigkeit [...] [welche] auch in der Krise bestehen bleiben. (43)“
2. „In einer Krise [...] die Meinungshoheit anzustreben und Präsenz zu zeigen. (43)“
3. „[...] [Offen] und ehrlich über Ursachen, Auswirkungen und die Folgen einer Krise [informieren,] [...] Informationen [kanalisieren] und die Diskussion in der Öffentlichkeit [leiten]. (43)“

Auch wird die Wichtigkeit einer zielgruppengerechten Kommunikation und einer abgestimmten Kommunikationslinie der von der Krise betroffenen Behörden und Unternehmen betont (43).

Unterschieden wird zwischen offensiven und defensiven Kommunikationsstrategien. Eine offensive Strategie beinhaltet das Ansprechen indirekter und direkter Ursachen und Auswirkungen, sowie das Übernehmen von Verantwortung. Eine defensive Strategie ist nur bei geringer öffentlicher Aufmerksamkeit anwendbar und zielt darauf ab eine Krise nicht nach außen dringen zu lassen (43). Aus offensichtlichen Gründen ist die defensive Strategie im Kontext dieser Arbeit bedeutungslos.

Der Leitfaden legt weiterhin vier Grundprinzipien der Krisenkommunikation fest:

- Schnelligkeit (aktiv und frühzeitig)
- Wahrhaftigkeit (sachlich, transparent und wahr)
- Verständlichkeit (kurz, einfach, unkompliziert, bildhaft)
- Konsistenz (einheitlich, koordiniert und kontinuierlich) (43)

Sirenen allein können die oben beschriebenen Unterziele und Grundprinzipien der Krisenkommunikation nur eingeschränkt erfüllen. Der Aufbau von Vertrauen und Glaubwürdigkeit kann erreicht werden, bspw. durch den erfolgreichen Einsatz bei Gefahrenlagen und Übungen und die öffentliche Wahrnehmung als erfolgreichen Einsatz. Jedoch ist es so gut wie unmöglich das zweite und dritte Unterziel ohne zusätzlichen Einsatz anderer Medien zu erreichen. In Hamburg werden nur zwei Signale verwendet (siehe 2.2.4.3 *Sirenen in Hamburg*) Diese können die komplexen und ausführlichen Informationen zur Erfüllung der besagten Unterziele nicht übermitteln. Zudem gibt es keine Möglichkeit Fragen aus der Bevölkerung zu beantworten, Desinformationen und Gerüchte zu identifizieren und über diese aufzuklären.

Die Erfüllung der Grundprinzipien von Schnelligkeit und Wahrhaftigkeit hängen vom Anwender ab. Die verwendeten Signale sind kurz, einfach und unkompliziert. Die Verständlichkeit ist damit gegeben, wenn die Bedeutung der Signale bekannt ist. Siehe hierzu **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** Die Konsistenz ist, zumindest innerhalb Hamburgs, durch den Einsatz einheitlicher Signale gegeben (siehe 2.2.4.3 *Sirenen in Hamburg*).

2.3 Katastrophenrisiko nach UNDRR

Das United Nations Office for Disaster Risk Reduction (frei übersetzt: Büro der Vereinten Nationen für die Reduzierung von Katastrophenrisiken) definiert Katastrophenrisiko als Wahrscheinlichkeit für den Verlust von Leben, Verletzungen, sowie Schäden und Zerstörung von Sachgütern in einem festgelegten Zeitraum ((44) (45)).

Die Wahrscheinlichkeit hierfür ergibt sich aus der Wahrscheinlichkeit des Eintritts einer bestimmten Gefahr an einem bestimmten Ort, der Exposition der Bevölkerung und der Sachwerte gegenüber der Gefahr und der Vulnerabilität, also der Anfälligkeit für Schäden an Sachwerten, Verletzungen und Tode in der Bevölkerung durch die Gefahr (45).



Abbildung 11: Zusammensetzung des Katastrophenrisikos aus Eintrittswahrscheinlichkeit, Exposition und Vulnerabilität (45)

2.4 Problematik der Sirenenauswahl

Infolge der Ereignisse des Warntags 2020 und der Ankündigung des Sirenenförderprogramms des Bundes 2021 wurde ausgehend von A44 beschlossen den Ausbau des Sirenenetzes in Hamburg zu planen. Als Ziel der Planung wurde ein flächendeckendes Sirenenetz festgelegt. Es wurde jedoch schnell klar, dass durch die begrenzten zur Verfügung stehenden Mittel, der zu erwartenden Auslastung der Firmen die Sirenen herstellen und installieren, sowie dem begrenzten Zeitraum der Förderung in Verbindung mit dem Zeitaufwand für die Planung eines Netzes, der öffentlichen Ausschreibung der Leistung und der Installation der Sirenen kein flächendeckendes Netz im Rahmen der Bundesförderung aufgebaut werden konnte. Es wurde, daher beschlossen den Aufbau des Netzes schrittweise durchzuführen. Die Förderung sollte soweit möglich in Anspruch genommen werden. Dies geschah durch die Beauftragung der bereits erwähnten 50 neuen Sirenen.

Sowohl bei diesen 50 Sirenen als auch bei allen weiteren Ausbausritten traten und treten zwei Fragestellungen auf:

1. Welche Sirenen sollen wo in Hamburg aufgestellt werden, um die Warnung der Bevölkerung mithilfe von Sirenen zu gewährleisten?

2. In welcher Reihenfolge sollen die so identifizierten Sirenenstandorte realisiert werden?

Beide Fragen sollen im Rahmen dieser Arbeit beantwortet werden. Das Vorgehen hierzu wird in 3 *Methodik* beschrieben.

Für die Auswahl der Sirenen, die mithilfe der Bundesförderung errichtet wurden, wurde ein anderes Verfahren als das hier verwendete genutzt. Dieses wird in 5 *Diskussion* besprochen.

3 Methodik

Für diese Arbeit wurde eine Multi Criteria Decision Analyses (MCDA) durchgeführt.

Eine MCDA auf Deutsch: Multikriterielle Entscheidungsunterstützung, wird genutzt, um bei Entscheidungsproblemen zu helfen. Sie dient dazu eine Problematik zu strukturieren, sowie Informationen und Handlungsempfehlungen zu geben (46, 47). Sie bieten dabei insbesondere den Vorteil verschiedene Zielsetzungen, die einander teilweise beeinflussen oder sogar im Konflikt stehen berücksichtigen zu können. In Anlehnung an Geldermann & Lerche 2014 sei hier das Beispiel eines Fahrradkaufs genannt: Zur Auswahl stehen verschiedene Modelle. Das Oberziel wäre es ein Fahrrad zu erwerben. Dieses soll möglichst günstig, langlebig, bequem und ästhetisch ansprechend sein. Diese Eigenschaften stellen Unterziele dar. Das Ziel möglichst wenig Geld auszugeben, steht dabei im Widerspruch zu den anderen Zielen, da teurere Fahrräder, besser verarbeitet und ergonomischer sind. Zudem erweist es sich als schwierig die verschiedenen Ziele gegeneinander aufzuwiegen, da sie unterschiedliche Größen/ Einheiten aufweisen: Der Preis der verschiedenen Fahrräder wird in Euro oder einer anderen Währung angegeben. Während die Langlebigkeit des Fahrrads womöglich noch in Euro ausgedrückt werden können (Kosten der Wartung) ist dies für die Ästhetik und Ergonomie des Fahrrads ungleich schwieriger. Hinzu kommt das dem Entscheidungsträger die Ziele womöglich unterschiedlich wichtig sind.

Da bereits zu Beginn der Ausbauplanung klar wurde, dass verschiedenste Zielsetzungen Auswahl auf die Standorte von Sirenen haben würden, wurde durch den Autor die Anwendung einer MCDA vorgeschlagen. Die Vertreter der BIS stimmten dem zu.

3.1 Begriffsdefinition

Bevor auf die Auswahl der MCDA-Methode eingegangen wird, müssen mehrere Begriffe definiert werden. Es werden die Definitionen von 46 verwendet.

Alternativen sind die Wahlmöglichkeiten für die Lösung des betrachteten Entscheidungsproblems. Sie stellen Handlungsoptionen oder Maßnahmen dar, die sich aus dem Entscheidungsproblem ableiten. Einzelne Alternativen schließen sich gegenseitig aus (46). Im oben beschriebenen Beispiel eines Fahrradkaufs können verschiedene Fahrradmodelle als Alternativen gesehen werden. Für diese Arbeit sind die verschiedenen Sirenenstandorte die Alternativen

Ein Ziel ist die Beschreibung eines angestrebten zukünftigen vom Status quo verschiedenen Zustands. Sie werden vom Entscheidungsträger festgelegt und sollten möglichst realistisch und

messbar sein. Zumeist werden mehrere unterschiedliche Ziele verfolgt, zwischen denen Abhängigkeiten bestehen oder die sich widersprechen. Ein Zielsystem besteht aus einem Oberziel, welches das Gesamtziel des Entscheidungsproblems darstellt und diesem Oberziel untergeordnete Unterziele, die das Oberziel konkretisieren (46). Beim Fahrradkauf wäre das Oberziel der Kauf eines für den Entscheidungsträger geeigneten Fahrrads. Die Eignung des Fahrrads wird anhand der Kosten, der Ergonomie und des Aussehens bestimmt. Diese dienen als Unterziele. Die Kosten setzen sich aus den Anschaffungskosten und den Wartungskosten zusammen. Diese sind dem Unterziel Kosten untergeordnete Ziele.

Kriterien werden auf Basis der Ziele definiert. Sie dienen dazu den Erfüllungsgrad eines Ziels zu bestimmen. Kriterien werden in einer Kriterienhierarchie angeordnet. Auf der höchsten Ebene einer solchen Hierarchie befinden sich die Oberziele. Dem sind verschiedene Unterziele untergeordnet. Jedem Ziel, dem keine weiteren Unterziele zugeordnet werden, wird ein Kriterium zugeordnet, welches den Erfüllungsgrad des Ziels beschreibt. Dies erfolgt anhand einer Maßeinheit und der Angabe, ob eine Maximierung oder Minimierung gewünscht wird.

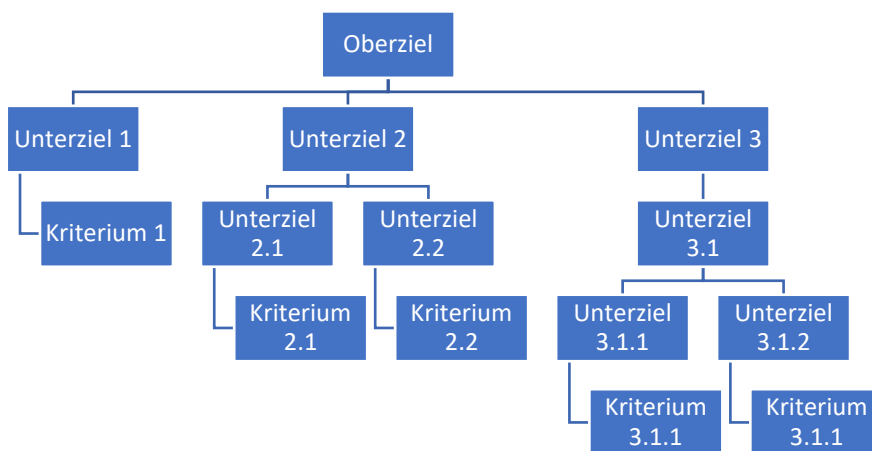


Abbildung 12: Darstellung einer Kriteriumshierarchie

Anhand des oben benannten Beispiels eines Fahrradkaufs wird eine Kriteriumshierarchie als Beispiel dargestellt.

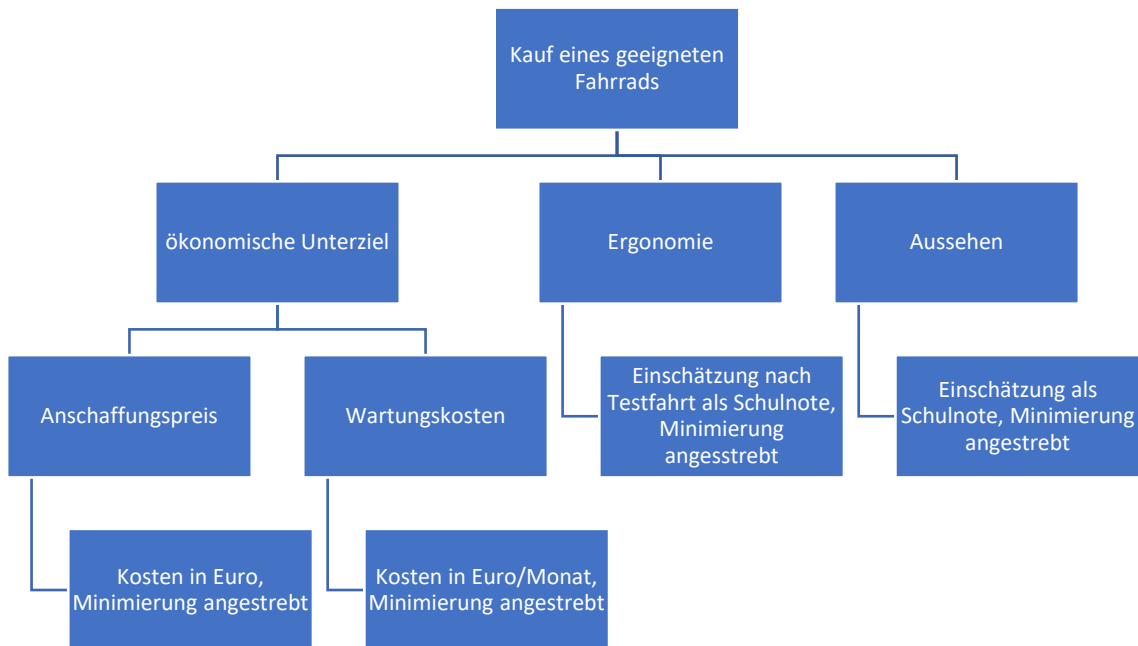


Abbildung 13: Darstellung der Kriteriumshierarchie für einen Fahrradkauf

Für jede Alternative muss die Ausprägung jedes Kriteriums bestimmt werden, um den Vergleich der Alternativen zu ermöglichen.

Beim Vergleich der Alternativen entscheidet der Entscheidungsträger welche Alternative er vorzieht. Dies wird als Präferenz bezeichnet. Kann nicht entschieden werden welche Alternative vorzuziehen ist, spricht man von Indifferenz. Eine Präferenz oder Indifferenz kann sowohl für Alternativen als auch für den Vergleich von einzelnen Kriterienausprägungen festgelegt werden.

3.2 Auswahl der MCDA-Methode

Es existieren verschiedene MCDA-Methoden, die helfen sollen, Probleme zu lösen. Diese unterteilen sich in Multi-Objective Decision Making (MODM) und Multi-Attribute Decision Making (MADM).

MODM-Methoden ermitteln aus einer stetigen Menge an Alternativen optimale Lösungen. Dies erfolgt mithilfe mathematischer Verfahren wie der Vektoroptimierung (46, 48). Am Beispiel des Fahrradkaufs würde dies bedeuten der Entscheidungsträger würde anhand der Unterziele ein für ihn optimales Fahrrad konstruieren.

Die Verwendung einer MODM in dieser Arbeit hätte den Vorteil bereits bei der Ermittlung der Standorte eine Priorisierung zu erhalten: der zuerst ermittelte Standort wäre der optimale, d.h. der

Standort mit der höchsten Priorität. Jedoch müsste im nächsten Schritt die MODM um einen Mindestabstand zum optimalen Standort angepasst werden, sodass diese nicht identisch sind bzw. deren Warnradien eine extrem hohe Überschneidung aufweisen. Diese Anpassung müsste nach der Ermittlung jedes neuen Standorts erneut erfolgen. Hinzu kommt das die Anzahl an potenziellen Standorten diskret und nicht stetig ist. Angenommen jedes Gebäude in Hamburg kommt als Standort in Frage, dann könnte die Anzahl an Alternativen zwar als annähernd stetig beschrieben werden, jedoch würde sich aufgrund des Mindestabstands zu bereits ermittelten Standorten die Anzahl an potenziellen Standorten immer weiter verringern, bis eine Annahme als stetige Menge keinen Sinn mehr macht. Auch ist die Annahme das jedes Gebäude als Standort geeignet ist fehlerhaft. Gebäude können aufgrund von Denkmalschutz, Ablehnung der Eigentümer, der Gebäudehöhe in Relation zur Höhe der Gebäude im Umfeld oder statischer Probleme nicht geeignet sein. Dies könnte zwar im Rahmen der MODM berücksichtigt werden, jedoch übersteigt der Aufwand diese Daten für jedes Gebäude in Hamburg zu ermitteln den Rahmen dieser Arbeit.

MADMs vergleichen im Gegensatz zu MODMs diskrete, klar voneinander abgrenzbare Alternativen (46). Um im oben beschriebenen Beispiel zu bleiben: der Entscheidungsträger hat die Wahl zwischen vier Fahrrädern, aus denen er die bestmögliche Auswahl treffen muss.

In der Gruppe der MADMs wird zudem noch zwischen den klassischen Ansätzen der amerikanischen Schule und den Outranking Ansätzen der Europäischen Schule unterschieden (46).

Unabhängig davon welcher Ansatz gewählt wird, ist der grundsätzliche Ablauf gleich:

1. Das Entscheidungsproblem muss definiert werden
2. Die Alternativen müssen identifiziert und ausgestaltet werden
3. Das Zielsystem muss ermittelt werden
4. Die Kriterien müssen offengelegt und in einer Hierarchie dargestellt werden
5. Die Präferenzen und Wertefunktionen müssen offengelegt werden
6. Die Kriterienausprägungen der einzelnen Alternativen müssen bestimmt werden
7. Die subjektive Kriteriengewichtung muss ermittelt werden
8. Mithilfe der gewählten MCDA-Methode muss eine Rangfolge erzielt werden
9. Die Ergebnisse müssen beurteilt werden und eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt werden

Wie dies in dieser Arbeit erfolgte, wird in den nachfolgenden Unterkapiteln beschrieben. Der oben beschriebene Ablauf wird zwar als linear dargestellt, dies trifft jedoch nicht immer zu. So waren im Rahmen dieser Arbeit bereits einige Kriterien bekannt noch bevor eine MCDA-Methode ausgewählt wurde. Diese Kriterien hatten Einfluss auf die Auswahl der Methode und auch des Zielsystems. Ähnliche Rückgriffe traten wiederholt auf.

Klassische Verfahren gehen davon aus, dass Präferenzen des Entscheidungsträgers als Nutzenfunktion darstellbar sind. Mithilfe dieser wird jeder Kriterienausprägung jeder Alternative ein Nutzenwert zugewiesen. Aus diesen wird dann ein Gesamtnutzenwert errechnet. Dabei wird von der Annahme ausgegangen, dass sich der Entscheidungsträger seiner Präferenzen klar bewusst ist und in der Lage diese korrekt und verständlich zu kommunizieren. Problematisch ist oftmals ein Informationsverlust durch die Aggregation der Kriterienausprägungen, eine zu vereinfachende Darstellung der Präferenzen und die Voraussetzung von voneinander unabhängiger Kriterien für die Anwendung klassischer Verfahren (46).

Outranking-Verfahren wurden als Reaktion auf die klassischen Verfahren entwickelt und versuchen deren Schwächen zu umgehen. Eine Annahme ist hierbei, dass die Entscheidungsträger sich ihrer Präferenzen nicht komplett klar sind. Outranking-Methoden berücksichtigen dies und dienen primär dazu das Entscheidungsproblem zu strukturieren, sowie Konsequenzen eigener Annahmen und der subjektiven Kriteriengewichtung aufzuzeigen. Am Ende entsteht dabei eine Rangfolge, die im Kontext der neu entwickelten Informationen gesehen werden soll. Als Vorteilhaft bei diesen Methoden gilt ein erweiterter Präferenzbegriff, das Aufzeigen von Unvergleichbarkeiten, der geringere Informationsbedarf vom Entscheidungsträger und die Vermeidung einer vollständigen Kompensation von Kriterienausprägungen (46).

Zu Beginn des Prozesses waren nur einige wenige Kriterien und Zielsetzungen bekannt, die Einfluss auf die Entscheidung der Sirenenstandorte haben sollten. Diese waren teilweise noch nicht vollständig ausformuliert. Da die Entscheidungsträger Ihre Präferenzen noch nicht vollständig ausformuliert hatten und nicht bestimmt werden konnte ob die verschiedenen Kriterien voneinander unabhängig sein würden, wurde entschieden ein Outranking-Verfahren anzuwenden.

Da es verschiedene Outranking-Verfahren gibt, wurde im weiteren nach den von 47 entwickelten Leitlinien für die Auswahl eines Verfahren vorgegangen.

Es wurde bereits entschieden ein Outranking-Verfahren anzuwenden, daher kann die Leitlinie G2 außen vor gelassen werden (47). Die Leitlinie G1 erfordert es die Entscheidungsträger zu identifizieren. Die Entscheidungsträger sind Vertreter von A44. Da diese dieselbe Position vertreten bzw. sich auf eine gemeinsame Position einigen, werden sie als einzelner Entscheidungsträger betrachtet (47). G3 erfordert die Bestimmung der Art des erwünschten Ergebnisses. Gemäß der in 2.4 Problematik der Sirenenauswahl formulierten zwei Fragen soll festgelegt werden, in welcher Reihenfolge identifizierte Sirenenstandorte realisiert werden sollen. Grundannahme ist dabei, dass die wichtigste bzw. am meisten benötigte Sirene zuerst errichtet werden soll. Das Ergebnis der MCDA sollte daher ein Ranking der Sirenen sein. G4 definiert die Art der Informationen, die in der

MCDA verwendet werden sollen. Die Wahl besteht hier zwischen ordinal und metrisch skalierten Daten, bzw. einer Mischung aus beiden. Aus den zum Zeitpunkt der Methodenauswahl bereits ermittelten Kriterien wurde deutlich, dass sowohl metrisch als auch ordinal skalierte Informationen zu bearbeiten sein würden. G5 unterscheidet ob zwischen den Kriterien ein Ausgleich ermöglicht werden soll (d.h. eine mangelnde Ausprägung eines Kriteriums kann durch eine besonders große Ausprägung eines anderen Kriteriums ausgeglichen werden) oder nicht und inwieweit diese voneinander unabhängig sein müssen (47). Die Unabhängigkeit der Kriterien war zum Zeitpunkt der Auswahl der MCDA-Methode unbekannt und ein Ausgleich zwischen Kriterien wurde als unproblematisch erachtet. Mithilfe der durch die Leitlinien entwickelten Vorgaben wurde aus den in 47 vorgestellten Verfahren eine Auswahl getroffen. Aus den verbliebenen Verfahren PROMETHEE II (Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluations II) und NAIAD wurde PROMETHEE II ausgewählt, da dieses als einfach in der Anwendung gilt und weder beim Autor noch bei A44 gesteigerte Expertise für die Anwendung einer MCDA vorlag (46).

3.3 Definition des Entscheidungsproblems

Der erste Schritt der MCDA ist die Definition des Entscheidungsproblems. Dies umfasst die Identifizierung des Oberziels, des Entscheidungsträgers und sämtlicher Stakeholder (46).

3.4 Identifikation und Ausgestaltung der Alternativen

Im Rahmen einer MCDA wird aus einer diskreten Anzahl an Alternativen eine Wahl getroffen, bzw. ein Ranking erstellt (46).

Um eine solche Auswahl treffen zu können, müssen die Alternativen zuerst identifiziert werden.

Für diese Arbeit bedeutet dies die Beantwortung der ersten in 2.4 Problematik der Sirenenauswahl genannten Frage: Welche Sirenen sollen wo in Hamburg aufgestellt werden, um die Warnung der Bevölkerung mithilfe von Sirenen zu gewährleisten?

Zu diesem Zweck musste, aufbauend auf bereits bestehenden und geplanten Sirenen, ein annähernd flächendeckendes Netz für die Stadt Hamburg entwickelt werden. Es handelt sich um ein annähernd flächendeckendes Netz da in Absprache mit A44 die Gebiete des Hamburg Airport Helmut Schmidt, der Hauptfriedhof Ohlsdorf, der Hauptfriedhof Öjendorf, der Altonaer Volkspark, der Hafen und Gebiete ohne Einwohner oder sehr wenigen Einwohnern (bspw. der Duvenstedter Brook) ausgespart wurden.

Es wurden drei geographische Informationssysteme (GIS) verwendet. Für die Planung des neuen Netzes wurde hauptsächlich das Geoportal Hamburg verwendet. Dieses bietet die Möglichkeit eigene Kartenlayer zu erstellen, zu speichern und später erneut zu bearbeiten. Zudem verfügt das

Portal über eine 3D-Kartenfunktion welche genutzt werden konnte um potentielle Standorte bezüglich der Bebauung und Topografie im Umkreis zu bewerten (siehe 2.2.4.2 Akustik). Das GIS Google Maps wurde genutzt um die Informationen bezüglich der Gebäude und Topografie zu überprüfen. Der Atlas Innere Sicherheit wurde verwendet, um die Standorte der bereits bestehenden Sirenen zu ermitteln.

Die bereits bestehenden Sirenen und die 50 im Zuge des Bundesförderprogramms neu hinzukommende Sirenen wurden in ein Kartenlayer eingezeichnet. Da die tatsächlichen Standorte VS-NfD sind, wurden in Abbildung 14 hypothetische Standorte eingezeichnet. Die Abbildung dient als Anschauung um das Prinzip zu verdeutlichen.

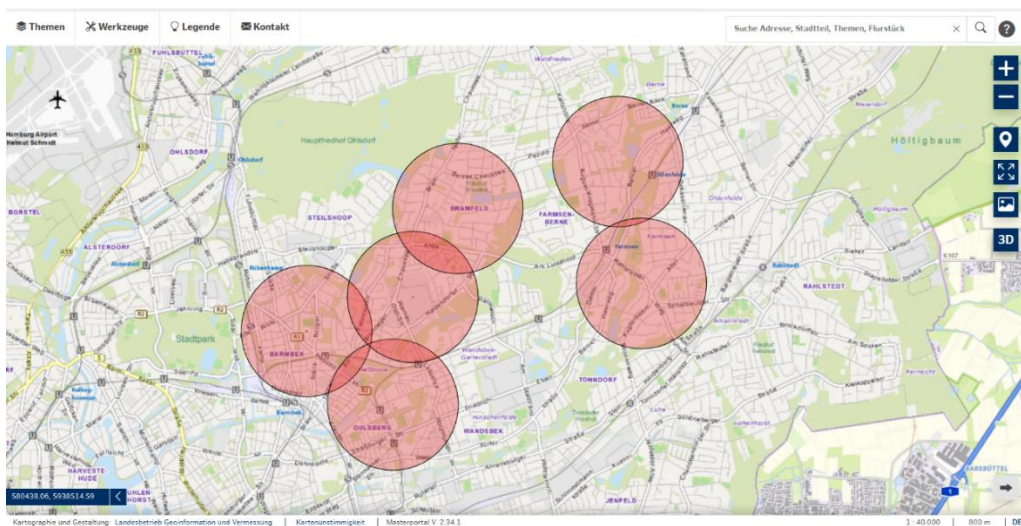


Abbildung 14: Hypothetische Sirenen In Rot: bereits vorhandene Sirenen oder Sirenen deren Aufbau bereits beschlossen wurde (49)

Nachdem die bestehenden Sirenen eingetragen wurden, wurden Gebiete identifiziert, welche nicht durch deren Warnradien abgedeckt sind. Für diese Gebiete musste nun entschieden werden, welche Sirenentypen praktikabel wären. Geplant wurde mit drei Sirenentypen: ECN-600, ECN-1200 und ECN 2400. Dies sind, nach der Modernisierung des Sirenenetzes, die in Hamburg am häufigsten verwendeten Sirenen.

Von Vertretern der Firma, die die Sirenen für die Modernisierung installierte und die die Wartung der Anlagen durchführt ist der Warnradius für die verschiedenen Sirenentypen bei einem vordefinierten Wert von 70 dB in Hamburg bekannt. Diese betragen:

- 600 m für Sirenen des Typs ECN-600
- 800 m für Sirenen des Typs ECN-1200
- 1000 m für Sirenen des Typs ECN-2400

Durch unterschiedliche Bebauungsdichten, Gebäudehöhen und den diversen weiteren in 2.2.4.2 Akustik genannten Faktoren werden sich die tatsächlichen Warnradien lokal unterscheiden. Für die Planung wurden jedoch die von der Firma empfohlenen und von A44 genutzten Werte verwendet. Für jeden einzelnen potenziellen Standort einer Sirene eine detaillierte Berechnung des Warnradius durchzuführen, hätte den Rahmen dieser Arbeit gesprengt.

Mithilfe der Sirenentypen wurde nun das noch nicht abgedeckte Gebiet überplant. Waren die Gebiete so groß, dass mehrere neue Sirenen notwendig waren, wurden Sirenen des Types ECN-2400 bevorzugt. Zwar ist der angenommene Preis/Fläche für die verschiedenen Modelle ähnlich hoch ($< 0,01 \text{ €} / \text{m}^2$), jedoch sollen durch eine geringere Anzahl an benötigten Anlagen die Wartungskosten für das Netz niedrig gehalten werden und ECN-2400 Sirenen decken in absoluten Zahlen die größte Fläche ab.

Es wurde versucht Überschneidungen und Lücken zu vermeiden bzw. zu minimieren. Aufgrund der Form der Warnradien als Kreise sind diese jedoch nicht zu vermeiden.

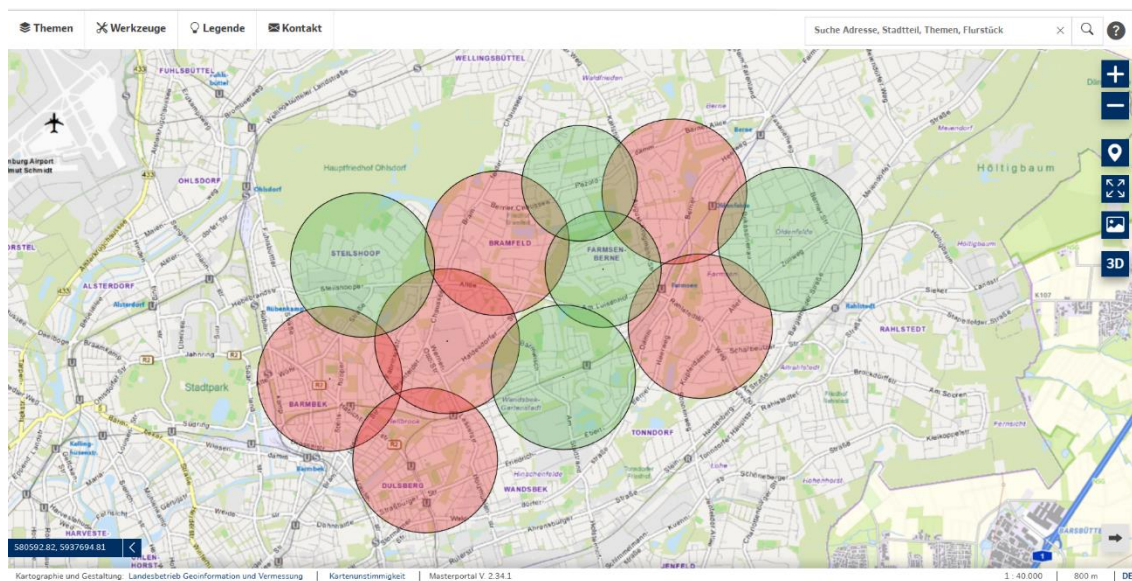


Abbildung 15: Hypothetische Sirenen In Rot: bereits vorhandene Sirenen oder Sirenen deren Aufbau bereits beschlossen wurde, in Grün: neu geplante Standorte (49)

In Abbildung 15 wird deutlich erkennbar wie Überschneidungen und Lücken zwischen Warnradien auftreten.

Für die so vorgeplanten Warnradien wurden nun Sirenenstandorte gesucht. Hierfür wurde die 3D-Funktion des Geoportals Hamburg und die 3D-Funktion von Google-Maps genutzt. Ziel war es einen Standort im Zentrum des jeweiligen Warnradius zu finden, der höher als oder gleich hoch wie die

Gebäude im Umkreis ist, sodass es nicht zu der in Abbildung 4 gezeigten und in 2.2.4.2 Akustik beschriebenen Beugung um ein Hindernis mit deutlicher Dämpfung der Lautstärke kommt.

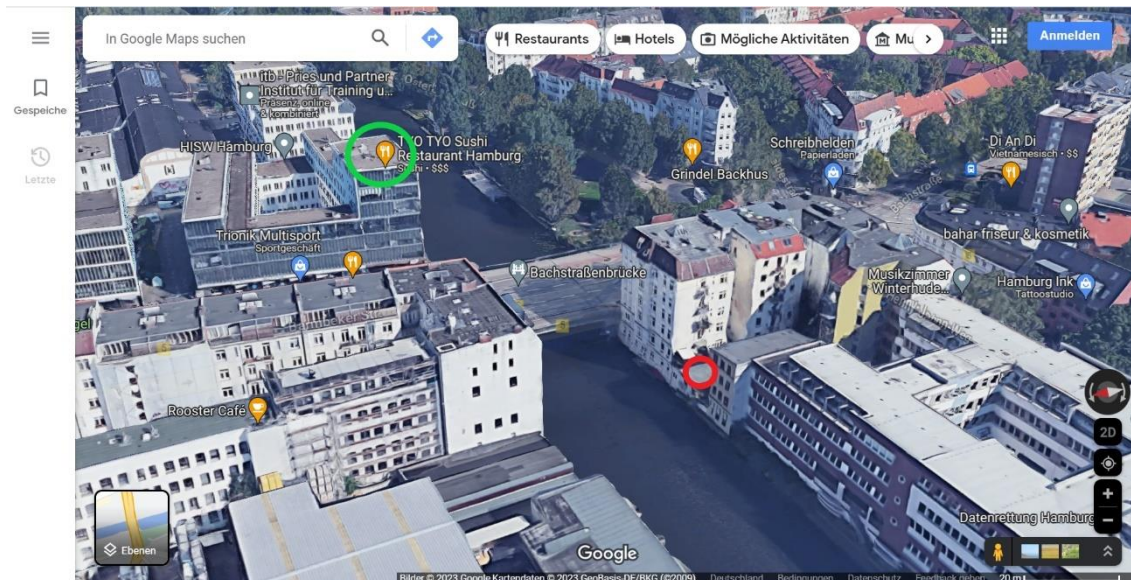


Abbildung 16: Beurteilung potenzieller Sirenenstandorte am hypothetischen Beispiel ©Google, Kartendaten©2023 GeoBasis-DE/BKG (©2009)

Das Vorgehen kann beispielhaft an dem in Abbildung 16 gezeigtem Gebiet beschrieben werden. Das mit einem roten Kreis markierte Dach ist denkbar ungeeignet. Es ist an allen Seiten von höheren Gebäuden umgeben, welche den Warnradius signifikant verringern würden. Das grün markierte Dach ist deutlich besser geeignet. Es scheint sich um das höchste Dach im Umkreis handeln, sodass es nicht zu einer so starken Dämpfung wie am ersten Dach kommt. Es würde hier also das grün markierte Dach als Standort ausgewählt werden.

Derart wurde für das gesamte Stadtgebiet vorgegangen, mit Ausnahme der oben bereits genannten, von der Planung ausgenommenen, Gebieten.

3.5 Ermittlung des Zielsystems

Das Zielsystem ist die Beschreibung des Oberziels und aller Unterziele. Das Oberziel ist dabei das abstrakteste Ziel während die Unterziele, mit zunehmender Unterordnung immer konkreter werden. Auf Basis des Zielsystems wird die Kriterienhierarchie entwickelt (46).

Das Zielsystem für diese Arbeit wurde im Rahmen mehrerer Gespräche gemeinsam mit Vertretern von A44 entwickelt.

3.6 Offenlegung der Kriterien und Darstellung in einer Hierarchie

Der nächste Schritt in einer MCDA ist die Offenlegung der Kriterien und Darstellung in einer Hierarchie. Zur Ermittlung der Kriterien können zwei Methoden angewandt werden (46).

Beim Top-Down-Ansatz wird das bereits formulierte Zielsystem genutzt. Für jedes Unterziel werden Kriterien festgelegt. Mithilfe von Attributen werden diese Kriterien konkretisiert, d.h. ihnen wird eine Maßeinheit zugeordnet und festgelegt, ob eine Maximierung oder Minimierung angestrebt wird. Die Maßeinheit kann nominal, ordinal oder metrisch skaliert sein (46).

Beim Bottom-up-Ansatz werden die Alternativen hinsichtlich Gemeinsamkeiten und Unterschieden, Stärken und Schwächen verglichen und aus diesen anschließend Kriterien abgeleitet. Diese Kriterien werden dann Zielen zugeordnet und diese Ziele in das Zielsystem integriert (46).

Unabhängig vom Ansatz sollte das Entscheidungsproblem und alle damit verbundene Ziele möglichst vollständig erfasst werden. Gleichzeitig ist es zu vermeiden Aspekte doppelt zu berücksichtigen.

Für diese Arbeit wurden beide Ansätze verwendet. Zu Beginn des Entscheidungsprozesses war bereits klar, dass bestimmte Kriterien Einfluss auf die Auswahl haben würden. Aus diesen wurden Ziele und Unterziele abgeleitet. So war bereits bekannt, dass der Faktor, ob die Sirene im sturmflutgefährdeten Gebiet steht oder nicht relevant für die Entscheidung ist und dass eine Warnung nur dort Sinn machen würde, wo auch Menschen seien die sie hören können. Aus diese noch unausgereiften Kriterien wurden die Unterziele der gefährdungsbezogenen und bevölkerungsbezogenen Ziele abgeleitet. Diese Unterziele wurden in das Zielsystem integriert. Auf Basis des Zielsystems wurden durch den Autor mithilfe des Top-Down-Ansatzes eine Auswahl an Kriterien entwickelt.

Für die organisatorischen Ziele wurden die Anmerkungen der Vertreter von A44 genutzt und hinsichtlich ihrer Eignung als Kriterien beurteilt.

Für die bevölkerungsbezogenen Ziele wurde nach Kriterien gesucht, die die Aufenthaltsorte der Bevölkerung beschreiben und nach Kriterien, die es erlauben vulnerable Gruppen, die von einer Warnung besonders profitieren bzw. mehr als die Durchschnittsbevölkerung auf diese angewiesen sind geografisch zu verorten.

Für die gefahrenbezogenen Ziele wurde zuerst eine Online-Datenbanksuche durchgeführt. Ziel war es Anwendungsbeispiele zu finden und Gefahren zu finden vor denen mit Sirenen gewarnt wurde.

Die verwendeten Onlinedatenbanken, die Suchbegriffe und die gefundenen Gefahren sind im Folgenden aufgeführt.

Tabelle 5: Verwendete Online-Datenbanken, Suchbegriffe und gefundene Anwendungsbereiche

Online-Datenbanken	Verwendete Suchbegriffe	Gefundene Anwendungs-bereiche
Google Scholar	<ul style="list-style-type: none"> • Sirenen 	<ul style="list-style-type: none"> • Alarmierung der Feuerwehr
BASE (Bielefeld Academic Search Engine)	<ul style="list-style-type: none"> • Sirenen -Mythologie -Odysseus 	<ul style="list-style-type: none"> • Amoktaten • Blackout • Blitzschlag
Fachinformationsstelle (FIS) des BBK	<ul style="list-style-type: none"> • Sirenen + Zivilschutz 	<ul style="list-style-type: none"> • CBRN
JSTOR	<ul style="list-style-type: none"> • Sirenen + 	<ul style="list-style-type: none"> • Damnbrüche
Homeland Security Digital Library	<ul style="list-style-type: none"> Katastrophenschutz • Sirenen + Bevölkerungsschutz • Sirenen + Einsatzmöglichkeiten • Siren +public warning system • Siren -vehicles • Public warning systems +siren 	<ul style="list-style-type: none"> • Erdbeben • Extreme Windgeschwindigkeiten • Gewitter • Hagelstürme • Hochwasser • Hurricanes • Lightning • Luftangriffe • Starkregen • Sturmflut • Sturzflut • Terrorismus • Tornados • Tsunami • Unfälle in Kernkraftwerken • Vulkanausbrüche • Waldbrände

Es hätten hier noch verschiedene andere Datenbanken (Alexandria, Desastres – Virtual Health Library, Library Catalogue Emergency Planning College, Federal Emergency Management Agency Library Catalogue, etc.) und verschiedene weitere Kombinationen an Suchbegriffen verwendet werden können, jedoch wurde die Online-Datenbanksuche an diesem Punkt abgebrochen. Es wurde zunehmend deutlich, dass keine neuen Anwendungsbereiche mehr und immer öfter über verschiedene Datenbanken hinweg dieselben Quellen gefunden wurden. Der Aufwand der Suche stand nicht mehr im Verhältnis zum erwarteten Nutzen. Zudem konnte nicht bestimmt werden ob

alle möglichen Anwendungsbereiche gefunden wurden und somit alle gefahrenbezogene Ziele erfasst wurden. Es wurde daher ein anderer Ansatz entwickelt.

Als Grundlage des neuen Ansatzes wurde der Kennzifferkatalog der bundeseinheitlichen Gefährdungsabschätzungen (siehe *Anhang 3* Kennziffernkatalog der bundeseinheitlichen Gefährdungsabschätzungen) herangezogen (50). Bezüglich jeder dort aufgeführten Gefährdung wurden drei Fragen gestellt:

1. Ist die Gefährdung in Hamburg präsent?
2. Ist eine Warnung mit Sirenen sinnvoll und möglich?
3. Ist es möglich und sinnvoll aus der Gefährdung ein Kriterium zu entwickeln?

Wurde eine oder mehrere dieser Fragen verneint, wurde die Gefährdung nicht als Kriterium in Betracht gezogen. Die Gefährdungen, für die die Fragen bejaht werden konnten oder die Antwort nicht klar war, wurden den Vertretern von A44 für die endgültige Entscheidung vorgelegt. Auch die Kriterien, die für die bevölkerungsbezogenen und organisatorischen Unterziel entwickelt wurden, wurden den Vertretern von A44 zur Entscheidung vorgelegt.

3.7 Offenlegung der Präferenzen und Wertefunktion

Um als Endergebnis ein Ranking mit der PROMETHEE II – Methode zu erhalten, muss jede Alternative mit allen anderen Alternativen über jedes Kriterium verglichen werden. Dies erfolgt mithilfe von Präferenzfunktionen (46).

Zuerst wird die Differenz zwischen den Kriterienausprägungen eines Kriteriums zweier Alternativen berechnet. Beispielsweise so:

$$KA1_{A1} - KA1_{A2} = D1_{A1;A2}$$

$KA1_{A1}$...Kriteriumsausprägung des ersten Kriteriums der ersten Alternative

$KA1_{A2}$... Kriteriumsausprägung des ersten Kriteriums der zweiten Alternative

$D1_{A1;A2}$...Differenz zwischen den Kriterienausprägungen des ersten Kriteriums der Alternativen Eins und Zwei

Diese Differenz wird auf der X-Achse aufgetragen.

Auf der Y-Achse ist die Präferenz aufgetragen. Diese kann Werte von Null bis Eins ausgeben. Ein Wert von Null bedeutet, dass keine Präferenz zwischen den Alternativen bezüglich des Kriteriums

vorliegt. Dies wird auch als Indifferenz bezeichnet. Ein Wert von Eins bedeutet eine strikte Präferenz. Ein Wert zwischen Null und Eins wird als schwache Präferenz bezeichnet (46).

Die Präferenzfunktion legt für jedes Kriterium fest, für welche Differenz zwischen Kriterienausprägungen welcher Präferenzwert ausgegeben wird (46).

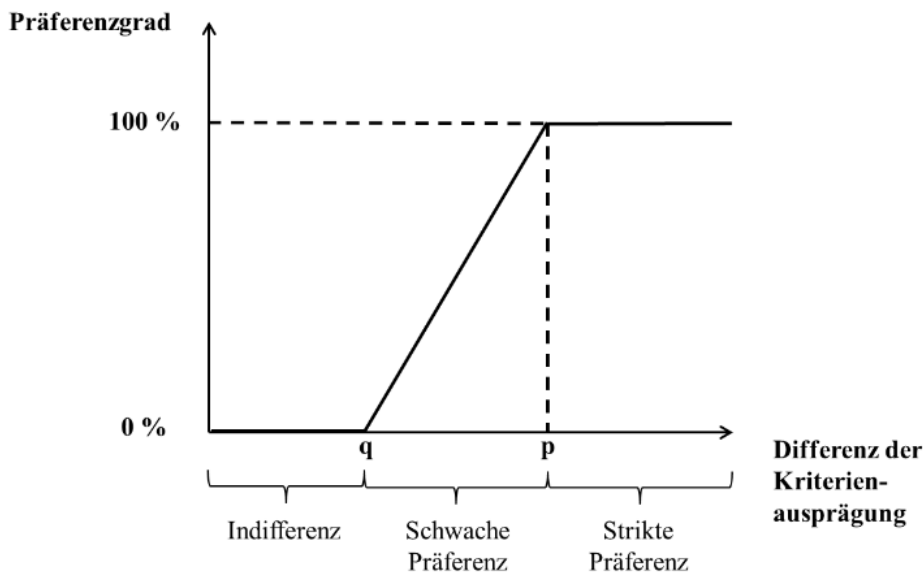
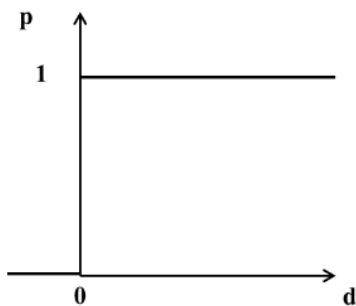


Abbildung 17: Allgemeiner Aufbau einer Präferenzfunktion (46)

Ist die Differenz geringer als q (Indifferenzwert) ist die Präferenz für dieses Kriterium Indifferent. Ist die Differenz größer als q, aber kleiner als p (Präferenzwert) liegt der Präferenzgrad zwischen Null und Eins. Je näher die Differenz an p liegt, desto stärker die Präferenz. Ist die Differenz größer als p ist der Präferenzgrad Eins und es liegt eine strikte Präferenz vor (46).

Für PROMETHEE II sind sechs verschiedene Präferenzfunktionen definiert. Diese werden in den folgenden Abbildungen gezeigt.

Typ 1: Gewöhnliches Kriterium



Definition:

$$p(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 & d > 0 \end{cases}$$

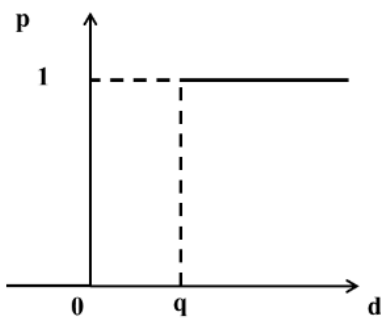
Festzulegende Parameter:

keine

Abbildung 18: Präferenzfunktion für gewöhnliche Kriterien (46)

Das gewöhnliche Kriterium wird angewandt, wenn die Größe der Differenz irrelevant ist und es nur relevant ist ob es eine gibt (46).

Typ 2: Quasi-Kriterium



Definition:

$$p(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ 1 & d > q \end{cases}$$

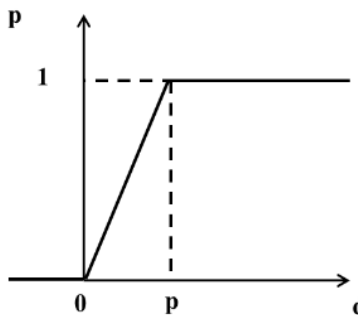
Festzulegende Parameter:

Indifferenzschwellenwert q

Abbildung 19: Präferenzfunktion für Quasi-Kriterien (46)

Der Typ Zwei ist eine Erweiterung des Typs Eins. Es wird ein Puffer eingeführt. Diese Funktion wird genutzt wenn die Differenz einen bestimmten Wert überschreiten soll bevor eine Präferenz ausgegeben wird. Empfohlen für diesen Wert wird die Standardabweichung der Kriterienausprägungen des Kriteriums über alle Alternativen (46).

Typ 3: Kriterium mit linearer Präferenz



Definition:

$$p(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ \frac{d}{p} & 0 \leq d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$$

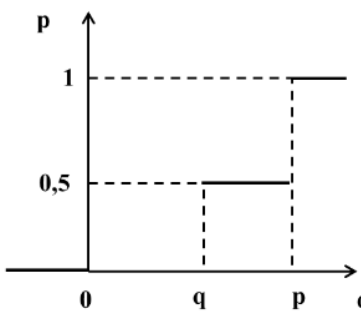
Festzulegende Parameter:

Präferenzschwellenwert p

Abbildung 20: Präferenzfunktion für Kriterien mit linearer Präferenz (46)

Die Präferenzfunktion des Typs Drei führt einen Bereich schwacher Präferenz ein. So muss der Entscheidungsträger nicht unmittelbar zwischen Indifferenz und strikter Präferenz entscheiden, da ein Übergangsbereich existiert (46). Dasselbe gilt für den Typ Fünf der eine Kombination des Typs Zwei und Drei ist.

Typ 4: Stufen-Kriterium



Definition:

$$p(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{1}{2} & q < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$$

Festzulegende Parameter:

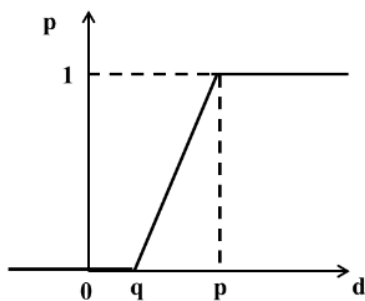
Indifferenzschwellenwert q

Präferenzschwellenwert p

Abbildung 21: Präferenzfunktion für Stufen-Kriterien (46)

Für den Bereich schwacher Präferenz wird beim Typ Vier keine lineare Funktion genutzt sondern eine Stufenfunktion (46). Es können eine oder mehrere Stufen verwendet werden. Ordinal skalierte Kriterien des Typs Drei und Fünf werden grundsätzlich zu Funktionen des Typs Vier.

Typ 5: Kriterium mit linearer Präferenz und Indifferenzbereich



Definition:

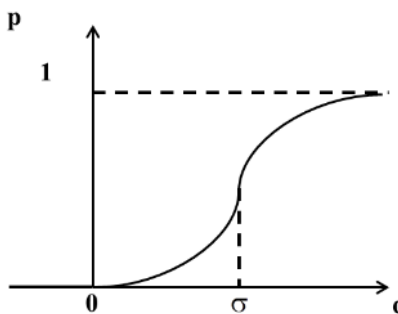
$$p(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{d - q}{p - q} & q < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$$

Festzulegende Parameter:

Indifferenzschwellenwert q
Präferenzschwellenwert p

Abbildung 22: Präferenzfunktion für Kriterien mit linearer Präferenz und Indifferenzbereich (46)

Typ 6: Gauß'sches Kriterium



Definition:

$$p(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 - e^{-\frac{d^2}{2\sigma^2}} & d > 0 \end{cases}$$

Festzulegende Parameter:

Wendepunkt σ

Abbildung 23: Präferenzfunktion für Gauß'sche Kriterien (46)

Für die Präferenzfunktion des Typs Sechs wird kein Indifferenzwert und kein Präferenzwert definiert. Stattdessen wird ein Wert für den Wendepunkt festgelegt. Funktionen dieser Art erreichen nie einen Präferenzgrad von Eins (46).

Die Auswahl der Funktionen wurde durch A44 dem Autor überlassen.

3.8 Bestimmung der Kriterienausprägung für die einzelnen Alternativen

In diesem Schritt müssen für jede Alternative alle Kriterienausprägungen anhand der bestimmten Maßeinheiten bestimmt werden.

Für diese Arbeit erfolgte dies mithilfe des GIS Geoportal Hamburg. Die verwendeten Kartenlayer waren entweder frei zugänglich oder wurden mithilfe von Informationen von A44 selbst erstellt. Welche Kartenlayer verwendet wurden wird in *4.6 Bestimmung der Kriterienausprägung für die einzelnen Alternativen* dargelegt.

3.9 Ermittlung der subjektiven Kriteriengewichtung

Nicht jedes Kriterium ist gleich wichtig. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wird eine Gewichtung der Kriterien vorgenommen. Die Methode der Gewichtung kann in PROMETHEE II frei gewählt werden (46).

Gemeinsam mit Vertretern von A44 wurde die SMART-Methode (Simple Multi-Attribute Rating Technique) (46) angewandt:

Nach der Vorstellung der Kriterien und nachdem die Vertreter von A44 diesen ihre Zustimmung gaben, wurden diese gebeten, bis zum nächsten Termin individuell zu entscheiden welches Kriterium das wichtigste sei. Diesem sollten sie 100 Punkte zuordnen. Alle anderen Kriterien sollten in Relation zu diesem wichtigsten Kriterium bewertet werden. War ein Kriterium bspw. nur halb so wichtig wie das wichtigste Kriterium sollte es 50 Punkte erhalten. In der nächsten Besprechung wurden die so ermittelten Gewichtungen der Vertreter verglichen und diskutiert. Nachdem einige wenige Missverständnisse bezüglich der Kriterien und der Methodik ausgeräumt wurden, wurde durch A44 vorgeschlagen das arithmetische Mittel der individuellen Gewichtungen zu bilden und für die Aggregation zu verwenden.

3.10 Aggregation mittels der gewählten Methode und erzielen einer Rangfolge

Die Aggregation mittels der gewählten Methode, in diesem Falle PROMETHEE II, beginnt mit den ermittelten Präferenzgraden p_k und Kriteriengewichtungen w_k . Wie die Präferenzgrade bestimmt werden, ist in 3.7 Offenlegung der Präferenzen und Wertefunktion beschrieben. Die Kriteriengewichtungen berechnen sich mithilfe der Formel:

$$w_k = \frac{\text{Punktwert des Kriteriums } k}{\text{Summe der Punktwerte aller Kriterien}}$$

Wie bereits in 3.7 Offenlegung der Präferenzen und Wertefunktion beschrieben wird jede Alternative mit jeder anderen Alternative verglichen und es werden jeweils paarweise für jedes Kriterium die Präferenzgrade ermittelt. Aus den Präferenzgraden und Kriteriengewichtungen wird für den paarweisen Vergleich die Outranking-Relation $\pi(A_i; A_j)$ bestimmt. $\pi(A_i; A_j)$ beschreibt die Outranking-Relation von Alternative A_i zu Alternative A_j . Also das Maß wie sehr die Alternative A_i gegenüber A_j bevorzugt wird (46). Dies erfolgt mithilfe der Formel

$$\pi(A_i; A_j) = \sum_{k=1}^K w_k \cdot p_k(A_i; A_j) \quad (46)$$

K ...Anzahl der Kriterien

Aus den Outranking-Relationen wird nun für jede Alternative der Nettofluss Φ_i^{net} berechnet. Dieser setzt sich aus dem Ausgangsfluss, welcher beschreibt wie sehr die Alternative A_i gegenüber allen anderen Alternativen bevorzugt wird und dem Eingangsfluss, welcher beschreibt wie sehr alle anderen Alternativen gegenüber A_i bevorzugt werden zusammen (46). Die Formel für den Nettofluss lautet:

$$\Phi_i^{net} = \left(\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n \pi(A_i; A_j) \right) - \left(\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n \pi(A_j; A_i) \right) (46)$$

n ...Anzahl der Alternativen

Aus den Nettoflüssen wird nun das Ranking erstellt. Je höher der Nettofluss, umso höher die Position der Alternative im Ranking. Die Berechnung erfolgte mithilfe eines Excel-Makros (siehe *Anhang 5 Excel-Makro zur Aggregation*).

3.11 Durchführung einer Sensitivitätsanalyse und Beurteilung der Ergebnisse

Die Sensitivitätsanalyse dient der Überprüfung der Stabilität des Rankings. Durch Veränderungen der Gewichtungen der Kriterien soll überprüft werden, ob sich das Ranking ändert. Bleibt es auch bei großen Veränderungen der Gewichtungen gleich gilt das Ranking als stabil, verändert es sich jedoch schon bei kleinen Veränderungen, sollte die Rangfolge kritisch hinterfragt werden (46).

Aufgrund der hohen Anzahl an Alternativen und Kriterien in dieser Arbeit ist nicht mit einem stabilen Ranking zu rechnen. Durch bereits kleine Änderungen der Gewichtungen werden höchstwahrscheinlich signifikante Unterschiede im Nettofluss entstehen welche das Ranking beeinflussen. Erschwerend kommt hinzu das die Sirenenstandorte in Teilen in denselben Gebieten stehen, und für diese ähnliche Größen für die Sturmflutgefahr, Einwohnerzahl, etc. zu erwarten sind. Wenn aber nur geringe Unterschiede in diesen Kriterien vorliegen, werden die Präferenzen für die paarweise Vergleiche bei diesen Kriterien nur sehr gering ausfallen, sodass anderen Kriterien für den Nettofluss eine noch größere Bedeutung zukommt.

Die MCDA endet nicht mit der Durchführung einer Sensitivitätsanalyse. Wie bereits zu Beginn der Methodik beschrieben dient eine MCDA der Unterstützung bei einem Entscheidungsproblems. Mit den erhaltenen Ergebnissen sollte nun das Problem neu bewertet werden und versucht werden eine Entscheidung zu treffen die auf breite Akzeptanz trifft (46). Dieser letzte Schritt ist nicht mehr Teil dieser Arbeit.

4 Ergebnisse

4.1 Definition des Entscheidungsproblems

Der Entscheidungsträger konnte schnell ermittelt werden. Ausbau, Modernisierung und Wartung des Sirennetzes sind Aufgabe von A44. Deren Vertreter entscheiden welche Sirenenstandorte realisiert werden und nach welchen Kriterien dabei vorgegangen wird.

In Abstimmung mit diesen wurde das Oberziel wie folgt formuliert: Entwicklung einer Reihenfolge für die Realisierung von Sirenenstandorten.

Die Stakeholder (d.h. Personen, Gruppen oder Institutionen, die von der Entscheidung unmittelbar betroffen sind) umfassen grundsätzlich die Bevölkerung der Stadt Hamburg. Deren politische Vertretung hat sich bereits in der Vergangenheit mit dem Ausbau des Sirennetzwerks beschäftigt (29, 23). Inwieweit andere Gruppen und Institutionen ein gesteigertes Interesse am Ausbau des Netzes haben ist unbekannt. Grundsätzlich wird angenommen das ein Ausbau des Netzes begrüßt wird. Allgemeine Beschwerden über den Ausbau sind nicht bekannt (29). Es wurde jedoch in Frage gestellt weshalb bestimmte Standorte gewählt wurden und nicht in anderen Bezirken mehr Sirenen aufgebaut werden (23).

4.2 Identifikation und Ausgestaltung der Alternativen

Es wurden insgesamt 125 Sirenenstandorte identifiziert. Die Aufteilung auf Bezirke ist in der nachfolgenden Tabelle aufgeschlüsselt. Für die Standorte wurde jeweils mit bestimmten Typen von Sirenen oder vergleichbaren Anlagen mit gleichem Warnradius geplant. Diese sind auch in der Tabelle aufgeschlüsselt. Eine Excel-Datei mit den genauen Adressen für die Standorte wurde den Gutachtern übergeben. Eine Liste mit geschwärzten Adressen ist in *Anhang 6 Liste der ermittelten Standorte* aufgeführt.

Tabelle 6: Aufteilung der Sirenenstandorte auf Bezirke und Sirenentypen

Bezirke\ Sirenentypen	ECN-600	ECN-1200	ECN-2400	Gesamt
Altona	14	1	11	26
Bergedorf	9	4	10	23
Eimsbüttel	2	2	9	13
Hamburg-Mitte	3	2	2	7
Hamburg-Nord	6	3	3	12
Harburg	4	2	2	8
Wandsbek	14	5	17	36
Gesamt	52	19	54	125

4.3 Ermittlung des Zielsystems

Das in mehreren Gesprächen mit Vertretern von A44 ermittelte Zielsystem beruht in groben Zügen auf dem Katastrophenrisikobegriff der UNDRR (siehe 2.3 Katastrophenrisiko nach UNDRR). Dem Oberziel untergeordnet ist das Unterziel „fachliche Ziele“. Dieses unterteilt sich in die gefahrenbezogene Ziele und die bevölkerungsbezogene Ziele. Die gefahrenbezogene Ziele umfassen Gefährdungen die für die Priorisierung von Sirenen relevant sind.. Die bevölkerungsbezogene Ziele umfassen zum einen die Bevölkerung im Allgemeinen, zum anderen als vulnerabel eingestufte Bevölkerungsgruppen. Die Exposition wird durch die Kriterienausprägungen mit einbezogen. Ein derartiges System wurde gewählt, da unbekannt ist wie lange der Ausbau des Sirenenetzes andauern wird. Schlussendlich soll zwar ein annähernd flächendeckendes Netz entstehen, bis dieses Netz steht werden aber größere Lücken bleiben. Es sollen die Lücken zuerst geschlossen werden bei denen eine Warnung mit Sirenen besonders sinnvoll/ notwendig ist.

Zusätzlich zu den beschriebenen Zielen wurde durch A44 angemerkt, dass auch der benötigte Aufwand für den Aufbau einer Sirene mit einbezogen werden sollte. Dem wurde durch die Einführung des Unterziels „organisatorische Ziele“ Rechnung getragen

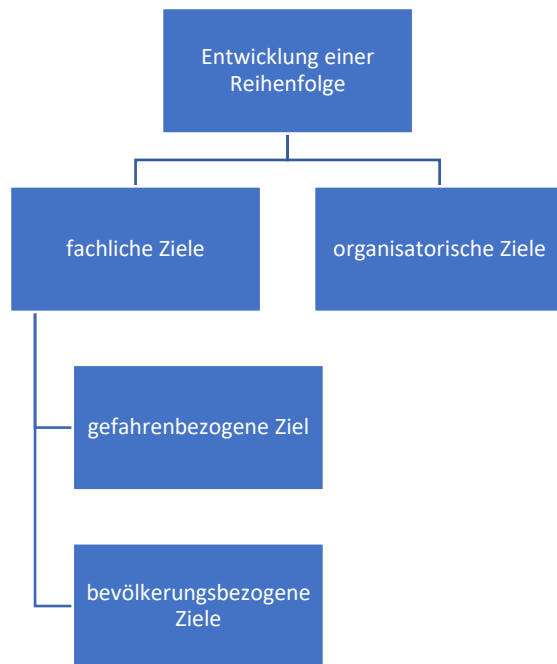


Abbildung 24: Darstellung des Zielsystems dieser Arbeit

4.4 Offenlegung der Kriterien und Darstellung in einer Hierarchie

Für die gefahrenbezogenen, bevölkerungsbezogenen und organisatorischen Ziele wurden verschiedene Kriterien ermittelt.

Für die gefahrenbezogene Ziele wurden die folgenden Kriterien entwickelt:

Tabelle 7: Kriterien der gefahrenbezogenen Ziele mit Kriterienausprägung und Angaben zur Maximierung/Minimierung

Kriterium	Kriteriumsausprägung	Maximierung/ Minimierung
Sturmflut	Fläche des sturmflutgefährdeten Gebiets in Quadratmeter	Maximierung
Binnenflut	Fläche des binnenflutgefährdeten Gebiets in Quadratmeter	Maximierung
Starkregen	Kumulierte Fläche von Geländetiefpunkten tiefer als 0,5 m in Quadratmetern	Maximierung
Störfallbetriebe	Überschneidung der Warnradien mit einem 500m Radius um das Gelände des Störfallbetriebs	Maximierung
Waldbrände	Quadratmeter Waldfläche	Maximierung

Diese Kriterien sind wie bereits in 3.6 Offenlegung der Kriterien und Darstellung in einer Hierarchie erklärt, die Gefährdungen des Gefährdungskataloges welche nicht durch eine der drei Fragen

- Ist die Gefährdung in Hamburg präsent?
- Ist eine Warnung mit Sirenen sinnvoll und möglich?
- Ist es möglich und sinnvoll aus der Gefährdung ein Kriterium zu entwickeln?

ausgeschlossen wurden. Der Ausschluss bzw. die Verwendung der Gefährdungen und die Kriterienausprägungen werden in *Anhang 4* Bewertung der Gefährdungen des Katalogs auf Anwendbarkeit als Kriterium für gefährdungsbezogene Ziele begründet. Es sei betont, dass ein Ausschluss als Kriterium nicht notwendigerweise bedeutet, dass vor einer solchen Gefährdung nicht mithilfe von Sirenen gewarnt werden kann. Der Ausschluss bedeutet lediglich, dass die Gefährdung nicht geeignet ist, um die Sirenenstandorte zu priorisieren.

Für die bevölkerungsbezogenen Ziele wurden folgende Kriterien genutzt:

Tabelle 8: bevölkerungsbezogene Kriterien mit Kriterienausprägung und Angaben zur Maximierung/Minimierung

Kriterium	Kriteriumsausprägung	Ziel der Maximierung, Minimierung
Einwohnerzahl	Zahl der in dem Warnradius gemeldeten Einwohner	Maximierung
Schulen	Kumulierte Anzahl an Schülern an Schulen in dem Warnradius	Maximierung
Kindertagesstätten	Anzahl an Kitas im Warngebiet	Maximierung
Krankenhäuser und stationäre Pflegeeinrichtungen	Kumulierte Anzahl an Betten in Krankenhäusern und stationären Pflegeeinrichtungen im Warnradius	Maximierung
Arbeitsplätze	Kumulierte gewerbliche Bauflächen und gemischte Bauflächen mit Dienstleistungscharakter in Quadratmeter	Maximierung
Flüchtlingsunterbringung	Kumulierte Anzahl an Plätzen in zentralen Erstaufnahmeeinrichtungen und öffentlich rechtlichen Unterbringungen für Flüchtlinge	Maximierung
Orte hoher Personenfrequenz	Kumulierte Einstufung von Orten hoher Personenfrequenz im Warnradius	Maximierung

Für die bevölkerungsbezogenen Ziele wurde zuerst nach Kriterien gesucht die die Aufenthaltsorte der Bevölkerung beschreiben. Das Kriterium Einwohnerzahl war zu diesem Zeitpunkt bereits bekannt und wurde nun lediglich in der obigen Form beschrieben. Die Bevölkerung hält sich jedoch nicht gantztägig in ihren gemeldeten Adressen auf. Um diesem Umstand Rechnung getragen wurde

nach Kriterien gesucht, die den Aufenthaltsort der Menschen beschreibt, wenn diese sich nicht an ihren Meldeadressen aufhalten.

Da bereits das GIS Geoportal Hamburg bekannt war, wurde dieses für die Suche herangezogen. Dabei wurde der Flächennutzungsplan der Freien und Hansestadt Hamburg gefunden. Dieser legt für die Stadt die Art der Bodennutzung fest. Es wurden zwei relevante Arten der Nutzung identifiziert:

1. Gemischte Bauflächen, deren Charakter als Dienstleistungszentren für die Wohnbevölkerung und für die Wirtschaft durch besondere Festsetzung gesichert werden soll
2. Gewerbliche Bauflächen

Diese wurden als Kriterium aufgenommen, da in diesen Gebieten wenige bis keine Meldeadressen existieren, sich Menschen aber trotzdem zum Zwecke der Arbeit oder zur Inanspruchnahme von Dienstleistungen hier aufhalten.

Es wird davon ausgegangen so die Verteilung der allgemeinen Bevölkerung zwischen den Alternativen gut beschreiben zu können.

Die Bevölkerung ist jedoch nicht homogen. Es existieren verschiedene Bevölkerungsgruppen, die von Gefahren besonders betroffen sind. Diese werden als vulnerable Gruppen bezeichnet (51). Zu diesen zählen unter anderen:

- Personen mit Sinnesbeeinträchtigungen und/oder körperlichen Behinderungen,
- Personen mit akuten oder chronischen physischen und/oder psychischen Erkrankungen,
- Personen mit Suchterkrankungen,
- Intensivpatienten (auch Heimpatienten),
- Pflegebedürftige Personen,
- Personen in hohem Alter,
- Schwangere Personen,
- Kinder und Säuglinge,
- Personen ohne festen Wohnsitz,
- Personen im Straf/Maßregelvollzug,
- Personen mit Flucht- oder Migrationsgeschichte,
- Nicht-binäre, trans- und intergeschlechtliche, homo- und bisexuelle Personen
- Personen die die Landessprache nicht sprechen,
- Personen in Armutsverhältnissen und
- Personen in alleingeführten Familienhaushalten (51, 52)

Aus diesen vulnerablen Gruppen wurden die Kriterien Flüchtlingsunterbringung, Schulen, Kindertagesstätten, Krankenhäuser und Vollpflegeeinrichtungen entwickelt. Da bei diesen Einrichtungen eine Häufung der entsprechenden vulnerablen Gruppen zu erwarten ist.

Nicht für alle Gruppen konnten solche geografischen Häufungen ermittelt werden.

Im Falle von Schulen Kindertagesstätten, Krankenhäusern und Vollpflegeeinrichtungen kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Sirensignale von den vulnerablen Gruppen verstanden und ernstgenommen werden und diese in der Lage sind Schutzmaßnahmen zu ergreifen. Jedoch sollten die dort arbeitenden pädagogischen und medizinischen Fachkräfte durchaus dazu in der Lage sein die Signale zu verstehen und notwendige Schutzmaßnahmen für ihre Schutzbefohlenen und sich selbst zu ergreifen oder zumindest Hilfe bei der Umsetzung dieser anzufordern.

Das Kriterium der Orte hoher Personenfrequenz ist ein Sonderfall. Es entstand zuerst aus den gefährdungsbezogenen Zielen als Kriterium für *Gefahren und Anforderungen durch Terrorismus/ Anschläge/ Attentate/Sabotage*. Jedoch konnte in der Besprechung der Kriterien mit A44 keine endgültige Entscheidung getroffen werden, ob eine Warnung mit Sirenen in einem solchem Fall sinnvoll sei. Als Kriterienausprägung wurde dabei eine Liste der Polizei Hamburg herangezogen die Orte aufführt, die besonders gefährdet sind. Ein Kriterium für die Aufnahme auf diese Liste ist, wie intensiv ein solcher Ort von Menschen frequentiert wird. Es wurde durch A44 vorgeschlagen die Liste in angepasster Form als Ausprägung für ein anderes Kriterium zu nutzen. Im Vordergrund stand dabei an diesen Orten eine Vielzahl an Menschen erreichen zu können. Das so neu entstandene Kriterium wurde dann den bevölkerungsbezogenen Zielen zugeordnet. Durch A44 wurden die Orte bewertet und auf einer ordinalen Skalen von Eins bis Drei bewertet, wobei eins der niedrigste Wert und Drei der höchste Wert ist. Befinden sich mehrere Orte innerhalb eines Warnradius wurden die Werte aufaddiert. Befindet sich also ein Ort mit der Einstufung Eins und einer mit der Einstufung Drei im selben Warnradius ergibt sich für die Kriterienausprägung ein Wert von Vier.

Durch A44 und den Autor wurden für die organisatorischen Ziele mehrere Kriterien entwickelt.

Diese sind:

- Zustimmung des Geländeeigentümers
- Notwendigkeit zur Warnung in der Vergangenheit
- Überschneidung mit Warnradien anderer Sirenenstandorten
- Art der Anlage

Das Kriterium Zustimmung des Eigentümers basiert auf der Erfahrung von A44 aus dem Modernisierungsprogramm. Hier stellte man fest, dass Privatbesitzer von Häusern am häufigsten Einwände gegen eine Modernisierung haben, bzw. den Abbau wünschten. Die Zusammenarbeit mit Unternehmen stellte sich als einfacher heraus. Die Zusammenarbeit mit anderen Behörden war am einfachsten.

Die Notwendigkeit zur Warnung in der Vergangenheit konnte als Kriterium nicht aufrechterhalten werden. Mit Ausnahme des Sonderfalls Overwerder, der bereits mit Sirenen abgedeckt wird, wurden Sirenen in Hamburg noch nicht als Warnmittel verwendet (22).

Die Art der Anlage bezieht sich auf die Frage ob für den Standort eine Anlage auf einem Mast oder auf einem Dach vorgesehen ist. Mastanlage sind im Aufbau aufwändiger und kostenintensiver. Jedoch wurden in der Planung des Netzes keine Mastanlage eingeplant. Es könnte sich zwar in der Umsetzung erweisen, dass aufgrund von nicht vorhergesehen Umständen keine Dachanlage möglich ist und stattdessen eine Mastanlage errichtet werden soll, dies kann in der Priorisierung jedoch nicht berücksichtigt werden. Als Kriterium entfällt die Art der Anlage also.

Die Überschneidung mit Radien anderer Sirenen wurde eingeführt, um möglichst frühzeitig einen großen Bereich abdecken zu können. Durch die Überschneidung von Warnradien verschiedener vorgeplanter und bereits bestehenden Sirenen entstehen Bereiche, die von mehreren Sirenen aus gewarnt werden. Indem Sirenen priorisiert werden, bei denen eine solche Überschneidung möglichst gering ist werden Standorte zuerst errichtet bei denen der „Nettogewinn“ an gewarntem Gebiet möglichst hoch ist. Später zu realisierende Standorte dienen dann dazu die Lücken zu füllen. Dieses Vorgehen erhöht die Wahrscheinlichkeit bei lokal begrenzten Gefahren und die Effektivität bei großflächigen Gefahren, noch während des Aufbaus des Netzes die Bevölkerung warnen zu können.

Tabelle 9: Organisatorische Kriterien, Kriterienausprägungen und Angaben zur Maximierung/Minimierung

Kriterium	Kriteriumsausprägung	Ziel der Maximierung, Minimierung
Zustimmung des Eigentümers	Einstufung auf einer ordinalen Skala von eins bis drei (Privatbesitz, Im Besitz eines Unternehmens, Im Besitz einer Behörde)	Maximierung
Überschneidung des Warnradius	Warnradius des Standort minus des Gebiets, dass von anderen Sirenen abgedeckt wird in Quadratmeter	Maximierung

4.5 Offenlegung der Präferenzen und Wertefunktion

Für die Kriterien wurden entweder Präferenzfunktionen des Typs Drei oder des Typs Fünf verwendet.

Für alle Kriterien wurde für den Präferenzschwellenwert die über alle Alternativen höchste Kriterienausprägung gewählt. Die absolute Präferenz für ein Kriterium kann also nur erreicht werden, wenn ein Kriterium in der einen Alternative maximal ausgeprägt ist und in der anderen Alternative keine Ausprägung aufweist.

Für die Kriterien *Zustimmung des Eigentümers* und *Orte hoher Personenfrequenz* wurde der Typ III gewählt. Bei deren Kriterienausprägungen wurden ordinale Skalen gewählt, sodass ein Indifferenzschwellenwert wenig sinnvoll scheint.

Für die restlichen Kriterien wurde der Typ Fünf gewählt. Bei diesen können durch die Methoden zur Ermittlung der Kriterienausprägung Messfehler entstehen (alle Kriterien für die Flächen ermittelt wurden), die verwendeten Informationen sind zu ungenau (Es konnten nur Informationen über die Anzahl an Kitas gefunden werden, keine über die Größe der Kitas, die Gruppenanzahl und Größe der Gruppen in den Kitas) oder es sind nur Sollwerte bekannt die in der Realität über- oder unterschritten werden können (Anzahl Krankenhausbetten, Anzahl Schüler, Anzahl Plätze in Unterbringungen, etc.). Um diese Faktoren mit einzubeziehen, wurde eine Indifferenzschwelle verwendet. Für diese wurde die Standardabweichung der Kriterienausprägungen verwendet. Dies erfolgte mittels der Excel-Funktion =STABW.N(Zahl 1, Zahl 2, ...).

4.6 Bestimmung der Kriterienausprägung für die einzelnen Alternativen

Die Bestimmung der Ausprägung aller Kriterien für die Standorte erfolgte mithilfe der GIS Geoportal Hamburg und Google Maps. Welches GIS verwendet wurde und im Falle des Geoportals welche Layer verwendet wurden wird in der folgenden Tabelle 10 dargestellt. Auch sind Informationen zur Art der Bestimmung enthalten. Die hinterlegten Quellen zu den Layern verweisen auf die im Metadatenverbund hinterlegten Informationen, mit der Möglichkeit die Layer herunterzuladen. Im Geoportal können diese Layer aufgerufen werden, wenn der Name des fraglichen Layers in der Suchmaske eingegeben und ausgewählt wird.

Tabelle 10: Übersicht über die verwendeten GIS und Layer, sowie die Methode zur Bestimmung der Kriterienausprägungen

Kriterium	Verwendete GIS und Layer	Art der Bestimmung
Sturmflut	Geoportal Hamburg, Hochwasserrisiko-management-Karten 1. Zyklus Hamburg (53)	Mithilfe des Werkzeugs <i>Strecke/ Fläche messen</i> wurde die Ausprägung ermittelt
Binnenflut	Geoportal Hamburg, Hochwasserrisiko-management-Karten 1. Zyklus Hamburg (53)	Mithilfe des Werkzeugs <i>Strecke/ Fläche messen</i> wurde die Ausprägung ermittelt
Starkregen	Geoportal Hamburg, Starkregenhinweiskarte Hamburg(54)	Mithilfe des Werkzeugs <i>Strecke/ Fläche messen</i> wurde die Ausprägung ermittelt
Störfallbetriebe	Geoportal Hamburg, Störfallbetriebe Hamburg(55) und ein durch den Autor eingefügter 500 m -Radius um die Standorte analog des Radius in dem Informationsbroschüren zu den Betrieben verteilt wurden(56)	Mithilfe des Werkzeugs <i>Strecke/ Fläche messen</i> wurde die Ausprägung ermittelt
Waldbrände	Geoportal Hamburg, Flächennutzungsplan Hamburg(57)	Mithilfe des Werkzeugs <i>Strecke/ Fläche messen</i> wurde die Ausprägung der relevanten Flächen ermittelt
Einwohnerzahl	Geoportal Hamburg(49)	Mithilfe des Werkzeugs <i>Einwohnerzahl abfragen</i> wurde die Ausprägung bestimmt
Schulen	Geoportal Hamburg, Schulstammdaten und Schülerzahlen der Hamburger Schulen(58)	Für jede Schule ist die Anzahl an Schülern hinterlegt. Diese wurden ermittelt und für jede Alternative aufaddiert.
Kindertagesstätten	Geoportal Hamburg, MRH Erreichbarkeitsanalysen Ziele und Einrichtungen(59)	Die Anzahl an Kitas wurde für jede Alternative aufaddiert.
Krankenhäuser und stationäre	Geoportal Hamburg, Vollstationäre Pflegeeinrichtungen Hamburg(60) und Krankenhäuser Hamburg(61)	Für jedes Krankenhaus und jede vollstationäre Pflegeeinrichtung ist die

Pflege-einrichtungen		Anzahl an Plätzen hinterlegt. Diese wurden ermittelt und für jede Alternative aufaddiert.
Arbeitsplätze	Geoportal Hamburg Flächennutzungsplan Hamburg(57)	Mithilfe des Werkzeugs <i>Strecke/ Fläche messen</i> wurde gemessen wie groß die relevanten Flächen sind und für jede Alternative aufaddiert
Flüchtlings-unterbringung	Geoportal Hamburg, Öffentlich rechtliche Unterbringung (ÖRU) Hamburg(62), Flüchtlingsunterbringung mit der Perspektive Wohnen Hamburg(63) und Zentrale Erstaufnahmeeinrichtungen (ZEA) Hamburg(64)	Für jede ÖRU, Unterbringung und ZEA ist die Anzahl an Plätzen hinterlegt. Diese wurden ermittelt und für jede Alternative aufaddiert.
Orte hoher Personenfrequenz	Die Standorte wurden durch den Autor in das Geoportal Hamburg eingefügt. Grundlage ist eine Liste der Polizei Hamburg (siehe Anhang 7 Liste der Orte hoher Personenfrequenz) Die Liste durfte nur unter der Bedingung genutzt werden sie als vertraulich zu behandeln. Sie wurde daher geschwärzt. Die Gutachter erhalten separat eine ungeschwärzte Version	Die durch A44 bestimmte Wertung der Orte wurden für jede Alternative aufaddiert
Zustimmung des Eigentümers	Google Maps	Wurde aus den für die Standorte hinterlegten Daten deutlich, dass das Gebäude einer Behörde (Schulen, Polizeireviere, etc.) oder einem Unternehmen (Fabriken, Unternehmenssitze, etc.) gehören oder durch diese angemietet wurden wurde der Standort entsprechend gewertet. Wurde dies nicht deutlich oder blieb unklar erfolgte die Einstufung als Privatbesitz
Überschneidung des Warnradius	Geoportal Hamburg, durch den Autor erstelltes Layer	Mithilfe des Werkzeugs <i>Strecke/ Fläche messen</i> wurde die Ausprägung ermittelt. Von der errechneten Kreisfläche, die der Warnradius abdeckt, wurden die Bereiche abgezogen die auch von anderen Sirenen abgedeckt werden. Mehrfache Überschneidungen (ein Bereich wird von Drei oder mehr Sirenen abgedeckt) wurden auch mehrfach abgezogen.

4.7 Ermittlung der subjektiven Kriteriengewichtung

Insgesamt nahmen vier Vertreter an dem Treffen zur Bestimmung der Kriteriengewichtung teil. Die Mithilfe der SMART-Methode ermittelten Gewichtungen sind in der Tabelle 11 aufgelistet.

Tabelle 11: Übersicht über die Gewichtungen der Kriterien durch die Vertreter von A44, das arithmetische Mittel der Gewichtungen und die prozentuale Gewichtung aus der arithmetischen Gewichtung

Kriterien	1. Teil- nehmer	2. Teil- nehmer	3. Teil- nehmer	4. Teil- nehmer	arithmetisches Mittel	Bestimmung der Gewichtung
Einwohnerzahl	95	80	100	95	92.5	0.10452
Schulen	60	60	60	85	66.25	0.074859
Kindertagesstätten	65	60	60	80	66.25	0.074859
Krankenhäuser und stationäre Pflege- einrichtungen	90	70	60	75	73.75	0.083333
Flüchtlingsunterbringung	50	10	60	75	48.75	0.055085
Sturmflut	100	100	70	90	90	0.101695
Binnenflut	40	90	70	70	67.5	0.076271
Starkregen	85	90	70	80	81.25	0.091808
Waldbrände	35	10	70	50	41.25	0.04661
Störfallbetriebe	80	60	10	85	58.75	0.066384
Orte hoher Personenfrequenz	75	30	90	95	72.5	0.081921
Zustimmung des Eigentümers	55	40	20	5	30	0.033898
Überschneidung des Warnradius	45	20	40	100	51.25	0.05791
Arbeitsplätze	70		50	60	45	0.050847

4.8 Aggregation mittels der gewählten Methode und erzielen einer Rangfolge

Nach der Bestimmung der Ausprägungen für die Kriterien wurden diese in eine Excel-Datei eingetragen. Für die Aggregation wurde ein Excel-Makro geschrieben (siehe *Anhang 5 Excel-Makro zur Aggregation*). Die Ausgabe der Ergebnisse erfolgte in derselben Excel-Datei in Form einer Matrix. Die Ausgangs- und Eingangsflüsse wurden aus der Matrix mithilfe der Formel

$$=(1/(125-1))*SUMME(A:B)$$

A...Koordinaten der Zelle mit der Beginnend Aufsummiert werden sollte

B... Koordinaten der Zelle bis zu der aufsummiert werden sollte

ermittelt. Die Matrix selbst wird in dieser Arbeit nicht als Anhang angefügt, da sie einen Umfang von mehr als hundert Seiten hat. Den Gutachtern wird sie als Excel-Datei zur Verfügung gestellt.

Die Ergebnisse wurden in die Tabelle der Standorte übernommen. Aus diesen wurde der Nettofluss berechnet. Der Nettofluss einer Sirene stellt den Punktwert für das Rankings dar. Mithilfe der Funktion „Nach Größe sortieren“ in Excel wurden die Standorte nach Größe des Nettoflusses geordnet (siehe *Anhang 8 Geschwärztes Ranking*)

4.9 Durchführung einer Sensitivitätsanalyse

Für die Sensitivitätsanalyse wurden von den arithmetischen Kriteriengewichtungen jeweils 10;20 und 30 Punkte abgezogen und erneut Rankings ermittelt. Dann wurde die Zahl an Abweichungen zwischen dem Originalranking und den Variationen gezählt. Diese sind in Tabelle 12 aufgeführt.

Tabelle 12: Übersicht über Kriteriumsvariationen und Anzahl an Abweichungen im Ranking

Kriteriumsvariation	Anzahl der Abweichungen im Ranking
Einwohner -10	37
Einwohner -20	77
Einwohner -30	90
Schule -10	26
Schule -20	49
Schule -30	61
Kita -10	26
Kita -20	42
Kita -30	42
Krankenhäuser -10	40
Krankenhäuser -20	57
Krankenhäuser -30	62
Flüchtlingsunterbringung -10	38
Flüchtlingsunterbringung -20	66
Flüchtlingsunterbringung -30	80
Sturmflut -10	35
Sturmflut -20	57

Sturmflut -30	74
Binnenflut -10	43
Binnenflut -20	64
Binnenflut -30	74
Starkregen -10	0
Starkregen -20	0
Starkregen -30	0
Flächenbrand -10	71
Flächenbrand -20	89
Flächenbrand -30	98
Störfallbetriebe -10	28
Störfallbetriebe -20	38
Störfallbetriebe -30	50
Personenfrequenz -10	23
Personenfrequenz -20	34
Personenfrequenz -30	45
Zustimmung -10	55
Zustimmung -20	78
Zustimmung -30	100
Radienüberschneidung -10	75
Radienüberschneidung -20	97
Radienüberschneidung -30	106
Gewerbe -10	32
Gewerbe -20	47
Gewerbe -30	61

Wie der Tabelle entnommen werden kann kommt es, mit Ausnahme des Kriteriums Starkregen, bei allen Variationen der Gewichtung zu Abweichungen. Wie zu erwarten war, die Abweichung vom Originalranking umso größer, umso größer die Variation der Kriterien ist.

5 Diskussion

5.1 Zielerfüllung

Ziel der Arbeit war es den Entscheidungsprozess für die Auswahl neuer Sirenen zu strukturieren und im Rahmen dessen zwei Fragen zu beantworten:

1. Welche Sirenen sollen wo in Hamburg aufgestellt werden, um die Warnung der Bevölkerung mithilfe von Sirenen zu gewährleisten?
2. In welcher Reihenfolge sollen die so identifizierten Sirenenstandorte realisiert werden?

Mithilfe der MCDA-Methodik gelang es das Entscheidungsproblem zu strukturieren. Durch das Abarbeiten der festgelegten Schritte konnte das Problem geordnet und systematisch analysiert werden. Für beide Fragen konnten Lösungen erarbeitet werden. Es wurde eine Liste an Standorten erarbeitet, welche den überwiegenden Teil Hamburgs abdecken und es konnte mithilfe der MCDA-Methode PROMETHEE II eine Priorisierung der Standorte für deren Errichtung ermittelt werden. Die Güte der Lösungen ist jedoch noch unklar.

5.2 Limitierungen des ermittelten Sirenenetzes

Zum einen ist für das Netz unklar, ob es sich um eine kosteneffiziente Lösung handelt. Es ist denkbar, dass eine andere Kombination an Standorten und Sirenentypen kostengünstiger wäre. Um dies zu bestimmen hätten entweder verschiedene Netze geplant und dann miteinander verglichen werden müssen oder doch MODM-Methode angewendet werden müssen. Beides hätte jedoch den Rahmen dieser Arbeit gesprengt. Daher wurde stattdessen während der Planung des Netzes versucht Überschneidungen und Lücken zu minimieren und so eine möglichst kosteneffiziente Lösung zu erhalten. Inwiefern dies gelungen ist könnte aber nur durch die oben beschriebenen Verfahren beurteilt werden.

Zum anderen könnte durch die Annahme von Standardwerten für die Warnradien Lücken oder Überschneidungen entstehen, wenn die lokalen Gegebenheiten nicht denen entsprechen die für die Standardwerte angenommen wurden. Inwiefern tatsächlich Differenzen auftreten, kann nur nach Aufbau der Anlagen mithilfe akustischer Messungen bestimmt werden.

Darüber hinaus könnte es sich während der Installation der Sirenen erweisen, dass einzelne Standorte aufgrund verschiedener Faktoren (Denkmalschutz, instabile Statik, Weigerung des Eigentümers, etc.) ungeeignet sind und für diese Standorte Ersatz gefunden werden muss. Dies könnte den Aufbau verzögern

5.3 Limitierungen des Rankings

Auch für das Ranking der ermittelten Standorte ergeben sich verschiedene Faktoren, die dessen Güte verringern können.

Bereits die Auswahl der MCDA-Methode ist ein entscheidender Faktor. Durch verschiedene Berechnungsmethoden kommen verschiedene MCDA-Methoden auch bei gleichen Entscheidungsprobleme häufig zu unterschiedlichen Ergebnissen. Der Wahl einer für das Entscheidungsproblem geeigneten Methode, kommt daher eine große Bedeutung zu. In dieser Arbeit wurde anhand des Leitfadens von Guitouni und Martel (47) die Methode gewählt um die Gefahr zu verringern eine ungeeignete Methode zu wählen. Dadurch konnte dieser Faktor, wenn auch nicht eliminiert, doch reduziert werden.

Der zweite Faktor ist die Subjektivität des Entscheidungsträgers. Die Ausgestaltung des Zielsystems, die Bestimmung und Gewichtung der Kriterien und die Bestimmung der Präferenzfunktionen basieren letztendlich auf der subjektiven Einschätzung des Entscheidungsträgers. Liegt dieser in seiner Einschätzung „falsch“ kann dies die Ergebnisse verzerren. Um diesen Faktor möglichst zu reduzieren, wurden im Rahmen dieser Arbeit mehrere Maßnahmen ergriffen:

1. Es wurde kein einzelner Entscheidungsträger ausgewählt, mehrere Vertreter von A44 und der Autor waren an der Durchführung der MCDA beteiligt.
2. Die Vertreter von A44 sind Experten des Katastrophenschutz Hamburg. Es ist anzunehmen das Ihre Entscheidungen weniger von einer unfundierten persönlichen Meinung und Präferenz und eher von langjähriger Erfahrung und Fachwissen geprägt sind
3. Für die Bestimmung und Gewichtung der Kriterien wurde versucht ein faktenbasiertes Vorgehen zu entwickeln und durchzuführen, um eine möglichst objektive Auswahl zu treffen.

Ein weiterer die Aussagekraft limitierender Faktor liegt darin, dass verschiedene Schritte der MCDA durch den Autor der Arbeit allein durchgeführt wurden. Diese Entscheidungen wurden zwar den Vertretern von A44 zur Beurteilung vorgelegt und begründet, jedoch ist es davon auszugehen, dass eine subjektive Einschätzung des Autors Einfluss auf diese fand.

Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse sind ebenfalls ein Faktor, der die Aussagekraft des Rankings verringert. Zwar wurde aufgrund der hohen Anzahl an Alternativen kein stabiles Ranking erwartet, dennoch sind 106 Abweichungen in einem Ranking von 125 Alternativen bedenklich.

5.4 Anwendbarkeit der MCDA für vergleichbare Entscheidungsprobleme

Das grundlegende Prinzip einer MCDA ist für die Anwendung geeignet.

Das in dieser Arbeit entwickelte Verfahren für die Priorisierung von Sirenen ist jedoch nur eingeschränkt auf andere Entscheidungsprobleme übertragbar. Sollten andere Entscheidungsträger vor einem ähnlichen Problem stehen wäre es ungünstig die entwickelten Kriterien, Kriteriengewichtungen, Zielsysteme, etc. einfach zu übernehmen, da diese für die Situation in Hamburg entwickelt wurden.

Dies kann anhand eines Beispiels veranschaulicht werden: aufgrund der Lage an der Tideelbe besteht in Hamburg ein erhöhtes Risiko für Sturmfluten. Die Vertreter von A44 trugen dem Rechnung indem sie dem Kriterium Sturmflut eine der höchsten Gewichtungen zuwiesen. Gleichzeitig wurde die Gefährdung durch Lawinen als Kriterium abgelehnt, da diese Gefährdung in Hamburg nicht vorkommt. Würde nun eine Gemeinde in den Alpen das entwickelte Verfahren ohne Anpassungen übernehmen, sind bestenfalls suboptimale Ergebnisse zu erwarten und im schlimmsten Fall Ergebnisse, die die Warnung der Bevölkerung negativ beeinflussen.

Die Notwendigkeit Anpassungen an dem Verfahren durchzuführen sind nicht auf die Auswahl der gefährdungsbezogenen Ziele beschränkt. Abhängig von den äußeren Umständen und verfolgten Oberzielen kann eine komplette Neugestaltung des Zielsystems erforderlich werden.

Verdeutlicht werden kann dies anhand der Auswahl der 50 Sirenen, die mithilfe des Bundesförderprogramms finanziert wurden. Zum Zeitpunkt der Auswahl dieser Anlagen lagen dieselben Gefährdungen, vulnerable Gruppen und organisatorische Herausforderungen vor wie zum Zeitpunkt der Auswahl der Sirenen in dieser Arbeit. Dennoch erfolgte die Auswahl anhand deutlich anderer Kriterien. Dies ist auf unterschiedliche Oberziele zurückzuführen. Für die 50 Sirenen war die Vorgabe die Förderung möglichst vollumfänglich zu nutzen. Da hierfür jedoch nur ein begrenzter Zeitraum zur Verfügung stand musste die Auswahl der Sirenen möglichst schnell erfolgen und auf eine möglichst komplikationslose Installation der Anlagen hingearbeitet werden. Dementsprechend wurde, anders als in dieser Arbeit, nicht gesamt Hamburg mit Sirenen überplant, was zeitintensiv wäre und bei der Errichtung von Anlagen die Notwendigkeit gebracht hätte mit Privatbesitzern von Grundstücken zusammenzuarbeiten und Vereinbarungen abzuschließen. Stattdessen wurde auf stadteigene Immobilien und Betriebe zurückgegriffen, um eine möglichst reibungslose Zusammenarbeit garantieren zu können. Aus der Liste dieser Immobilien wurden dann geeignete Standorte ausgewählt, welche eine möglichst geringe Überschneidung mit den Warnradien anderer

Sirenen aufwiesen. Auch hier wurde, wenn auch nicht formalisiert, ein Zielsystem entwickelt und Alternativen anhand verschiedener Kriterien beurteilt. Allerdings ein Zielsystem das sich deutlich von dem in dieser Arbeit unterscheidet. Der Versuch das Oberziel des einen Systems mit Kriterien des anderen abzubilden wäre zum Scheitern verurteilt. Dabei ist kein System „besser“ oder „schlechter“. Sie sind lediglich auf die Erfüllung unterschiedlicher Oberziele ausgelegt.

Nur wenn eine Anpassung des Zielsystems an die Umstände des Entscheidungsproblems erfolgt ist und das Zielsystem oder einzelne Unterziele weiter übereinstimmen, können die jeweiligen in dieser Arbeit entwickelten Verfahren übertragen werden.

5.5 Beurteilung der Ergebnisse

Wie oben ausgeführt bestehen mehrere Limitierungen, die die Güte der Lösungen einschränken. Diese Faktoren sollten jedoch im Kontext des Sinns einer MCDA gesehen werden. Eine MCDA dient dazu ein Entscheidungsproblem zu strukturieren, sowie Informationen und Handlungsempfehlungen bereitzustellen. Die entwickelten Lösungen sind also keine Endergebnisse. Vielmehr dienen sie als zusätzliche Informationen um das Entscheidungsproblem besser zu verstehen und strukturieren zu können.

Wäre beispielsweise der Duvenstedter Brook mit Sirenen überplant worden hätten, aufgrund der hohen Ausprägung des Kriteriums Waldbrände, die dortigen Sirenen relativ weit oben im Ranking stehen können. In der Auswertung der Ergebnisse würde dies auffallen und von den Entscheidungsträgern als Fehler angesehen werden. Nun würde eine Anpassung erfolgen. Entweder könnte das Kriterium eine geringere Gewichtung erhalten oder die Sirenen für den Duvenstedter Brook könnten aus der Planung genommen werden. Mit der so angepasstem MCDA würde ein neues Ranking ermittelt werden.

Dieser iterative Prozess wird wiederholt bis der Entscheidungsträger ein konsensfähiges Ergebnis bzw. einen umsetzbaren Plan erhalten hat.

Die jetzigen Lösungen stellen also lediglich die Grundlage für den weiteren Prozess dar. Anhand derer, unter Berücksichtigung der Limitationen, weitere Anpassungen vorgenommen werden und ein endgültiges Ranking ermittelt wird.

6 Quellenverzeichnis Literature Cited

1. Bodenflächen in Hamburg am 31.12.2020 nach Art der tatsächlichen Nutzung: Statistische Berichte. Hamburg; 2021 Sep 8 [cited 2022 Aug 17]. Available from: URL: https://www.statistik-nord.de/fileadmin/Dokumente/Statistische_Berichte/andere_statistiken/A_V_1_H_gebiet_flaeche/A_V_1_j20_HH.pdf.
2. juris GmbH. § 1 BezVG | Landesnorm Hamburg | Bezirkseinteilung | § 1 - Bezirkseinteilung | gültig ab: 01.08.2006; BezVG; 2022 [cited 2022 Aug 17]. Available from: URL: <https://www.landesrecht-hamburg.de/bsha/document/jlr-BezVwGHA2006pP1>.
3. Monatszahlen - Bevölkerung: Bevölkerungsfortschreibung [Bevölkerung am Monatsende insgesamt]; 2022 [cited 2022 Aug 17]. Available from: URL: <https://www.statistik-nord.de/zahlen-fakten/bevoelkerung/monatszahlen-bevoelkerung>.
4. Hamburger Stadtteil-Profile: Berichtsjahr 2020; 2021 [cited 2022 Aug 17]. Available from: URL: https://www.statistik-nord.de/fileadmin/Dokumente/NORD.regional/Stadtteil-Profile_HH-BJ-2020.pdf.
5. juris GmbH. Verfassung der Freien und Hansestadt Hamburg: Verf HA; 1952 [cited 2022 Aug 17]. Available from: URL: <https://www.landesrecht-hamburg.de/bsha/document/jlr-VerfHAV11ELS>.
6. Die Behörden der Freien und Hansestadt Hamburg; nicht datiert [cited 2022 Aug 17]. Available from: URL: <https://www.hamburg.de/behoerden/3733948/fachbehoerden/>.
7. Behörde für Inneres und Sport Hamburg. Aufbau der Behörde für Inneres und Sport: Wir über uns; nicht datiert [cited 2023 Jun 28]. Available from: URL: <https://www.hamburg.de/innenbehoerde/behoerdenaufbau/102128/innenbehoerde-aufbau/>.
8. Feldmann A, Hollstein M. MoWaS 2.0: Die neue Generation der Bevölkerungswarnung. Bevölkerungsschutz 2020; 2020(3):24–35.
9. Nutzerhandbuch: Modulares Warnsystem; Integrierte Leitstelle Coburg. Ebersdorf b. Coburg; nicht datiert.
10. BBK. MoWaS; nicht datiert [cited 2023 Jun 18]. Available from: URL: https://www.bbk.bund.de/DE/Warnung-Vorsorge/Warnung-in-Deutschland/MoWaS/mowas_node.html.
11. BBK. Warnmultiplikatoren: BBK; nicht datiert [cited 2023 Jun 18]. Available from: URL: https://www.bbk.bund.de/DE/Warnung-Vorsorge/Warnung-in-Deutschland/Warnmultiplikatoren/warnmultiplikatoren_node.html.
12. Bundesrepublik Deutschland B. Bund-Länder-Vereinbarung über Finanzhilfe zur Verbesserung der Warninfrastruktur in den Ländern: Sonderförderprogramm Sirenen; 2021 [cited 2023 Jun 18]. Available from: URL: https://mik.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/Bund_Laender_Vereinbarung_Sonderfoederprogramm_Sirenen.pdf.
13. BBK. So werden Sie gewarnt: BBK; nicht datiert [cited 2023 Jun 18]. Available from: URL: https://www.bbk.bund.de/DE/Warnung-Vorsorge/Warnung-in-Deutschland/So-werden-Sie-gewarnt/so-werden-sie-gewarnt_node.html.
14. Behörde für Inneres und Sport Hamburg. Warnkonzept für Hamburg: So werden Sie gewarnt und informiert; nicht datiert [cited 2023 Jun 20]. Available from: URL: <https://www.hamburg.de/innenbehoerde/warnung/14174024/warnkonzept-hamburg/>.

15. Höner S-P. Warnung der Bevölkerung-Wie gut wird die Bevölkerung in der Freien und Hansestadt Hamburg im Schadensfall informiert? [Bachelorarbeit]. Hamburg: Hochschule für angewandte Wissenschaft Hamburg; 2012.
16. Robel E. Die Sirenen: Ein Beitrag zur Entwicklungsgeschichte der Akustik. Berlin: Gaertners Verlagsbuchhandlung; 1891 [cited 2023 Jun 19]. Available from: URL: https://books.google.de/books?id=bmVCAAAAYAAJ&pg=PP11&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false.
17. Hooper HE, editor. Encyclopedia Britannica: A Dictionary of Arts, Sciences, Literature and general Information. 11th ed. Vereingte Staaten: Cambridge University Press; 1911 [cited 2023 Jun 19]. Available from: URL: https://en.wikisource.org/wiki/Page%3AEB1911_-_Volume_04.djvu/973.
18. Rüter E. Evaluating warning effectiveness from a social science perspective: A case study about civil protection sirens in Mannheim and Ludwigshafen am Rhein, Germany. Bonn; 2020.
19. Ausschuss "Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung" des Arbeitskreises V der Ständigen Konferenz der Innenminister und Senatoren der Länder. Beschlussniederschrift TOP 8. Saarlouis; März 2019 [cited 2023 Jun 20]. Available from: URL: <https://www.leitstelle-lausitz.de/wp-content/uploads/2021/09/Anlage-2-AKZV-Beschlussniederschrift.pdf>.
20. BBK. Neue Strategie zum Schutz der Bevölkerung in Deutschland. 2. Aufl. Bonn; 2010. (WissenschaftsforumBand 4).
21. BBK. Sirenen; nicht datiert [cited 2023 Jun 20]. Available from: URL: https://www.bbk.bund.de/DE/Warnung-Vorsorge/Warnung-in-Deutschland/So-werden-Sie-gewarnt/Sirenen/sirenen_node.html#vt-sprg-4.
22. Behörde für Inneres und Sport Hamburg. FAQ Sirenen: Was können Sirenen; nicht datiert [cited 2023 Jun 20]. Available from: URL: <https://www.hamburg.de/katastrophenschutz/14296986/faq-sirenen/>.
23. Hansen L. Im Katastrophenfall:: Wie werden die Hamburger gewarnt? Hamburger Abendblatt 2023 Mar 22 [cited 2023 Jun 24]. Available from: URL: <https://www.abendblatt.de/hamburg/harburg/article237965617/Im-Katastrophenfall-Wie-werden-die-Harburger-gewarnt.html>.
24. Federal Emergency Management Agency. Outdoor Warning Systems: Technical Bulletin (Version 2.0). Federal Emergency Management Agency; 2006 Jan 12.
25. akustikform. Dezibel-Skala; nicht datiert [cited 2023 Jun 20]. Available from: URL: <https://www.akustikform.ch/raumakustik/dezibel-skala>.
26. lärmorama. Was ist Schall?; nicht datiert [cited 2023 Jun 20]. Available from: URL: https://www.laermorama.ch/m1_akustik/schall_w.html.
27. Joint Departments of the Army and Air Force. TM 5-805-4/AFJMAN 1090 Army Technical Manual: Noise and Vibration Control; 1995 May 26.
28. MediaHouse GmbH. Schallbeugung; 2018. Available from: URL: <https://medienportal.siemensstiftung.org/de/schallbeugung-101199>.
29. Senat der Stadt Hamburg [schriftliche kleine Anfrage und Antwort]; 2022. Available from: URL: https://www.buergerschaft-hh.de/parldok/dokument/81510/zivil_und_katastrophenschutz_50_neue_sirenenstandorte_in_hamburg_konfliktbehaftet_oder_ausbaufaehig.pdf [cited 2023 Jun 24].

30. Behörde für Inneres und Sport Hamburg. Maßnahmen der Behörden anlässlich einer Sturmflut: Maßnahmen bei Wasserstandsstufe 4: Freie und Hansestadt Hamburg; nicht datiert. Available from: URL: <https://www.hamburg.de/innenbehoerde/sturmflut/7884430/sturmflut-wasserstandsstufe-4/>.
31. Senat der Stadt Hamburg [schriftliche kleine Anfrage und Antwort]; 2022. Available from: URL: https://www.buergerschaft-hh.de/parldok/dokument/81117/katastrophen_und_bevoelkerungsschutz_in_hamburg.pdf [cited 2023 Jun 24].
32. Polizei Hamburg. Umrüstung der Auslösetechnik für das Hamburger Sirenenwarnnetz: Freiwillige Ex-ante-Transparenzbekanntmachung Lieferauftrag; 2020 Nov 18 [cited 2023 Jun 24]. Available from: URL: https://ausschreibungen-deutschland.de/721466_Umruetzung_der_Ausloesetechnik_fuer_das_Hamburger_Sirenenwarnnetz_2020_Hamburg.
33. Laidlaw E. The Controversy over Outdoor Warning Sirens. *Weatherwise* 2010 [cited 2023 Jun 24]; 63(1):16–25. Available from: URL: https://www.researchgate.net/publication/249040375_The_Controversy_over_Outdoor_Warning_Sirens.
34. Wogalter MS. Communication-Human Information Processing (C-HIP) Model. In: Wogalter MS, editor. *Forensic Human Factors and Ergonomics*. Boca Raton : Taylor & Francis, 2018. | Series: Human factors and ergonomics: CRC Press; 2018. p. 33–49.
35. Bentele G, Brosius H-B, Jarren O. *Lexikon Kommunikations- und Medienwissenschaft*. 2., überarb. und erw. Aufl. Wiesbaden: Springer VS; 2013. (Studienbücher zur Kommunikations- und Medienwissenschaft).
36. Sellnow DD, Lane DR, Sellnow TL, Littlefield RS. The IDEA Model as a Best Practice for Effective Instructional Risk and Crisis Communication. *Communication Studies* 2017; 68(5):552–67.
37. Sellnow D, Sellnow L. Effective communication in times of risk and crisis: The IDEA model for translating science to the public. *RO* 2020; (115).
38. Storch H von, Meinke I, Claußen M. *Hamburger Klimabericht – Wissen über Klima, Klimawandel und Auswirkungen in Hamburg und Norddeutschland*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2018.
39. Lindell MK, Perry RW. The protective action decision model: theoretical modifications and additional evidence. *Risk Analysis* 2012 [cited 2022 Aug 25]; 32(4):616–32. Available from: URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1539-6924.2011.01647.x>.
40. Christa H. socialnet.Lexikon: Stakeholder; 2023 [cited 2023 Jun 12]. Available from: URL: <https://www.socialnet.de/lexikon/Stakeholder>.
41. BBK. Glossar - W: Warnung der Bevölkerung: BBK; nicht datiert [cited 2023 May 15]. Available from: URL: https://www.bbk.bund.de/DE/Infothek/Glossar/_functions/glossar.html?nn=19742&cms_lv2=19852.
42. BBK. Glossar - K - Krisenkommunikation: Krisenkommunikation; nicht datiert [cited 2023 May 15]. Available from: URL: https://www.bbk.bund.de/DE/Infothek/Glossar/_functions/glossar.html?cms_lv2=19756&cms_lv3=65272.
43. Bundesministerium des Inneren. *Leitfaden Krisenkommunikation*. Berlin; August 2014.
44. UNDRR. *Global assessment report on disaster risk reduction (GAR) 2015: Making development sustainable : the future of disaster risk management*. [New York]: United Nations; 2015.

45. PreventionWeb. Disaster Risk; nicht datiert [cited 2023 Jun 27]. Available from: URL: <https://www.preventionweb.net/understanding-disaster-risk/component-risk/disaster-risk>.
46. Geldermann J, Lerche N. Leitfaden zur Anwendung von Methoden der multikriteriellen Entscheidungsunterstützung; Methode: Promethee; 2014. Available from: URL: <https://www.uni-goettingen.de/de/document/download/285813337d59201d34806cfc48dae518.pdf/mcda-leitfaden-promethee.pdf>.
47. Guitouni A, Martel J-M. Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDA method. *European Journal of Operational Research* 1998; 109(2):501–21. Available from: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221798000733>.
48. Fiala P, Stehfest H. Überblick über Methoden der linearen Vektoroptimierung. Kernforschungszentrum Karlsruhe; 1979 KFK-2795. Available from: URL: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKewiItI6xjtH8AhVISPEDHV0gA5IQFnoECBAQAw&url=https%3A%2F%2Fpublikationen.bibliothek.kit.edu%2F270013162%2F3811932&usg=AOvVaw1AL1p9KA7YCFf8UXfDCo_k.
49. Geoportal Hamburg. Version Masterportal V 2.34.1. Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung; 2020. Available from: URL: <https://geoportal-hamburg.de/geo-online/>.
50. BBK. Kennzifferkatalog der bundeseinheitlichen Gefährdungsabschätzungen. BBK; 2005 [cited 2023 Jun 27]. Available from: URL: https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Risikomanagement/Neue_Anlage02_Kennziffernkatalog.pdf?__blob=publicationFile&v=4.
51. BMI. Deutsche Strategie zur Stärkung der Resilienz gegenüber Katastrophen: Umsetzung des Sendai Rahmenwerks für Katastrophenvorsorge (2015–2030) – Der Beitrag Deutschlands 2022–2030. Berlin: Bundesministerium des Inneren und für Heimat; 2022 [cited 2023 Jul 4]. Available from: URL: https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/bevoelkerungsschutz/BMI22017-resilienz-katastrophen.pdf?__blob=publicationFile&v=2.
52. Forum Rettungswesen und Katastrophenschutz. Positionspapier: Bedarfe vulnerabler Gruppen im Katastrophenfall. Berlin: Der Paritätische Gesamtverband; 2017 [cited 2023 Jul 4]. Available from: URL: https://www.der-paritaetische.de/fileadmin/user_upload/171215_Positionspapier_Katastrophenfall_Bedarfe_vulnerable_Personengruppen_final.pdf.
53. Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Umwelt und Energie. HWRM-Karten 1.Zyklus Hamburg; 2013. Available from: URL: <https://metaver.de/trefferanzeige?cmd=doShowDocument&docuuid=47233BC2-8D3F-4D9E-B760-BA153327F0E8>.
54. Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft. Starkregenhinweiskarte Hamburg; 2020 [cited 2023 Jul 7]. Available from: URL: <https://metaver.de/trefferanzeige?cmd=doShowDocument&docuuid=8478CB55-EE63-4D8B-98D0-A9D8318F2BE1>.
55. Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Umwelt und Energie. Störfallbetriebe Hamburg; 2014 [cited 2023 Jul 7]. Available from: URL:

<https://metaver.de/trefferanzeige?cmd=doShowDocument&docuuid=DFA37E3E-F640-47DE-B7EF-3D3FFB11435C>.

56. Senat der Stadt Hamburg [schriftliche kleine Anfrage und Antwort]; 2020. Available from: URL: https://www.buergerschaft-hh.de/parldok/dokument/72259/stoerfallbetriebe_in_hamburg.pdf [cited 2023 Jul 4].

57. Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen. Flächennutzungsplan Hamburg; 2000 [cited 2023 Jul 7]. Available from: URL:

<https://metaver.de/trefferanzeige?cmd=doShowDocument&docuuid=DFDA2969-A041-433B-BD65-4CDA9F830A55>.

58. Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Schule und Berufsausbildung. Schulstammdaten und Schülerzahlen der Hamburger Schulen; 2013 [cited 2023 Jul 7]. Available from: URL:

<https://metaver.de/trefferanzeige?cmd=doShowDocument&docuuid=D3DDBBA3-7329-475C-BB07-14D539ED6B1E>.

59. Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Wirtschaft und Innovation, Technische Universität Hamburg. MRH Erreichbarkeitsanalysen Ziele und Einrichtungen; 2016 [cited 2023 Jul 7]. Available from: URL: <https://metaver.de/trefferanzeige?cmd=doShowDocument&docuuid=76E7AE5D-9C06-48A5-BC7F-94DDBF62745C>.

60. Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Arbeit, Gesundheit, Soziales, Familie und Integration. Vollstationäre Pflegeeinrichtungen Hamburg; 2021 [cited 2023 Jul 7]. Available from: URL:

<https://metaver.de/trefferanzeige?cmd=doShowDocument&docuuid=CE58C4F7-4D45-429E-A556-53AA32FF6C7E>.

61. Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Arbeit, Gesundheit, Soziales, Familie und Integration. Krankenhäuser Hamburg; 2022 [cited 2023 Jul 7]. Available from: URL:

<https://metaver.de/trefferanzeige?cmd=doShowDocument&docuuid=9329C2CB-4552-4780-B343-0CC847538896>.

62. Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Arbeit, Gesundheit, Soziales, Familie und Integration (Sozialbehörde). Öffentlich rechtliche Unterbringung (ÖRU) Hamburg; 2015 [cited 2023 Jul 7]. Available from: URL: <https://metaver.de/trefferanzeige?cmd=doShowDocument&docuuid=B394D0AD-722C-4BD7-B372-25EE407BE605>.

63. Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Arbeit, Gesundheit, Soziales, Familie und Integration (Sozialbehörde). Flüchtlingsunterbringung mit der Perspektive Wohnen Hamburg; 2015 [cited 2023 Jul 7]. Available from: URL: <https://metaver.de/trefferanzeige?cmd=doShowDocument&docuuid=26301F97-A19C-43EE-9330-E5A7207722A8>.

64. Zentrale Erstaufnahmeeinrichtungen (ZEA) Hamburg. Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Arbeit, Gesundheit, Soziales, Familie und Integration (Sozialbehörde); 2015 [cited 2023 Jul 7]. Available from: URL: <https://metaver.de/trefferanzeige?cmd=doShowDocument&docuuid=13217475-1B3B-4CD8-B034-59DA42A81D3A>.

65. Behörde für Inneres und Sport Hamburg. Organigramm der Behörde für Inneres und Sport: Auf einen Blick; 2022 [cited 2023 Jul 5]. Available from: URL:

<https://www.hamburg.de/contentblob/102210/18978e19551c4fb5f631c529391c14b1/data/organigramm-bis.pdf>.

66. Hörmann Warnsysteme. Elektronische Sirene ECN-D; nicht datiert [cited 2023 Jul 5]. Available from: URL: <https://www.hoermann-ws.de/de/sirenen/elektronische-sirenen/elektronische-sirene-ecn-d-grosse-warnsysteme-und-sirenennetze>.
67. WetterKontor. Wetterlexikon: Sturmfeld [cited 2023 Jul 8]. Available from: URL: <https://www.wetterkontor.de/de/lexikon/sturmfeld.html>.
68. Munich RE. Winterstürme: Eine Gefahr für ganze Kontinente [cited 2023 Jul 8]. Available from: URL: <https://www.munichre.com/de/risiken/naturkatastrophen/winterstuerme.html>.
69. wetteronline. Unwetter im Rückblick: Tornado wütet in Hamburg. Available from: URL: <https://www.wetteronline.de/extremwetter/tornado-wuetet-in-hamburg-sturmschaeden-und-ueberflutungen-2016-06-07-xs>.
70. Goderbauer-Marchner G, Sontheimer R. Die unterschätzten Risiken "Starkregen und Sturzfluten": Ein Handbuch für Bürger und Kommunen. Ausgabe: 1, Stand: Dezember 2015. Bonn: Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, Referat II. 5 - Baulicher Bevölkerungsschutz, Wassersicherstellung; 2015.
71. RISA. Downloads: Starkregenhinweiskarte [cited 2023 Jul 8]. Available from: URL: <https://www.risa-hamburg.de/downloads.html>.
72. Henniger S, Rumberg M, Albert S, Albert L, Jung A, Müller H et al. Smarte Sirenen im Rahmen kommunaler Klimaanpassungskonzepte im Spannungsfeld von Stadtklimatologie und Stadtplanung; 2020. Proceedings of the 25th International Conference on Urban Planning, Regional Development and Information Society : 15-18 September 2020, virtual conference = Beiträge zur 25. internationalen Konferenz. Available from: URL: https://www.corp.at/archive/corp2020_245.pdf.
73. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg. Lawinen: Grundlagen für einen effektiven Schutz [cited 2023 Jul 8]. Available from: URL: <https://www.waldwissen.net/de/waldwirtschaft/schadensmanagement/wind-schnee-und-eis/lawinengefahr>.
74. Behörde für Umwelt und Energie. Luftreinhalteplan für Hamburg (2. Fortschreibung); 2017 [cited 2023 Jul 8]. Available from: URL: <https://www.hamburg.de/contentblob/9024022/7dde37bb04244521442fab91910fa39c/data/d-lrp-2017.pdf>.
75. BUKEA. 3. Fortschreibung des Luftreinhalteplans für Hamburg; 2022 [cited 2023 Jul 8]. Available from: URL: <https://www.hamburg.de/contentblob/16216346/81188cdab1a59a4f27e1d60bb43d9d1e/data/d-lrp-3-teil-1-24-05-2022-beschlossen-fuer-uebersichtsseite.pdf>.
76. Behörde für Inneres und Sport Hamburg Amt A. Information und Warnung der Bevölkerung über das Modulare WarnSystem MoWaS [cited 2023 Jul 8]. Available from: URL: <https://www.hamburg.de/contentblob/16400668/9deb8b4189feb6cc091b4f76b5d00045/data/download-mowas-kurze-einfuehrung.pdf>.
77. Grünthal G, Stromeyer D, Bosse C, Cotton F, Bindi D. The probabilistic seismic hazard assessment of Germany—version 2016, considering the range of epistemic uncertainties and aleatory variability. Bull Earthquake Eng 2018; 16(10):4339–95.

78. BBK. Geologische Gefahr: Erdbeben [cited 2023 Jul 8]. Available from: URL: https://www.bbk.bund.de/DE/Themen/Risikomanagement/Baulicher-Bevoelkerungsschutz/Schutz-vor-geologischen-Gefahren/Erdbeben/erdbeben_node.html.
79. Senat der Stadt Hamburg; 2010. Available from: URL: https://www.buergerschaft-hh.de/parldok/dokument/30173/erdbeben_einsturzbeben_und_erdsenken_in_hamburg_welche_gefahren_bestehen_oder_werden_diese_vom_senat_ignoriert.pdf [cited 2023 Jul 8].
80. Lenthe, Andre. Wer pflegt jetzt Harburgs Bergwerkgeschichte: Denkmal in Gefahr. Hamburger Abendblatt 2022 Jun 8 [cited 2023 Jul 8]. Available from: URL: <https://www.abendblatt.de/hamburg/harburg/article235556633/Wer-pflegt-jetzt-Harburgs-Bergwerk-Geschichte-Hamburg-Denkmal-Harburger-Berge-Stollen-Ehestorfer-Heuweg.html>.
81. Hamburger Abendblatt. Elbhang nach Erdrutsch für 445.000 Euro gesichert. Hamburger Abendblatt 2016 Jun 21 [cited 2023 Jul 8]. Available from: URL: <https://www.abendblatt.de/hamburg/altona/article207709663/Elbhang-nach-Erdrutsch-fuer-445-000-Euro-gesichert.html>.
82. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Forst, Holz: Hier finden Sie die Waldbrandstatistiken der Bundesrepublik Deutschland der vergangenen Jahre: [cited 2023 Jul 8]. Available from: URL: <https://www.bmel-statistik.de/forst-holz/waldbrandstatistik/>.
83. Julie Cart. Sirens, texts, even church bells. California wildfire alerts and evacuations still ad hoc [cited 2023 Jul 8]. Available from: URL: <https://eu.redding.com/story/news/2019/11/15/sirens-texts-even-church-bells-california-wildfire-alerts-evacuations-still-ad-hoc/4211934002/>.
84. Miroslava Malachovska. Use of Sirens for Forest Fires [cited 2023 Jul 8]. Available from: URL: <https://www.electronic-sirens.com/use-of-sirens-for-forest-fires/>.
85. Talsperren in Deutschland. Wiesbaden: Imprint: Springer Vieweg; 2013.
86. Wikipedia. Liste von Talsperren in Deutschland; 2023 [cited 2023 Jul 8]. Available from: URL: https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_von_Talsperren_in_Deutschland#Siehe_auch.
87. Vattenfall. Pumpspeicherkraftwerk Geesthacht [cited 2023 Jul 8]. Available from: URL: <https://powerplants.vattenfall.com/de/geesthacht/>.
88. Wirtschaftskurier. Der Bau neuer Talsperren ist eine logische Konsequenz. Wirtschaftskurier 2023 Jun 9. Available from: URL: <https://www.wirtschaftskurier.de/artikel/der-bau-neuer-talsperren-ist-eine-logische-konsequenz.html>.
89. BUKEA, Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer Hamburg. Information der Öffentlichkeit gemäß § 79 Wasserhaushaltsgesetz über die Umsetzung der Hochwasserrisikomanagementrichtlinie in der Flussgebietsgemeinschaft Elbe: Hintergrunddokument der Freien und Hansestadt Hamburg zum Hochwasserrisikomanagementplan der Flussgebietsgemeinschaft Elbe für den Zeitraum von 2021 bis 2027; 2021 [cited 2023 Jul 8]. Available from: URL: <https://www.hamburg.de/contentblob/15675304/8dd333140484974eabc69f6fe662bab8/data/d-3-hintergrunddokument-hwrm-plan.pdf>.
90. Bundesländer der Flussgebietsgemeinschaft Elbe. Hochwasserrisikomanagementplan für den deutschen Teil der Flussgebietseinheit Elbe für den Zeitraum von 2021 bis 2027 gemäß § 75 WHG; 2021 [cited 2023 Jul 8]. Available from: URL:

<https://www.hamburg.de/contentblob/15675298/104082c859592e86a02fe074401a8090/data/d-1-hwrm-plan-fgg-elbe-komprimiert.pdf>.

91. Hörmann Warnsysteme. Warnsysteme für Hochwasser und Überflutung [cited 2023 Jul 8]. Available from: URL: <https://www.hoermann-ws.de/de/einsatzbereiche/bevoelkerungswarnsysteme/warnsysteme-fuer-hochwasser-und-ueberflutung>.

92. Jöbstl C, Ortner S, Knoblauch H, Zenz G. Hochwasserereignisse in kleinen, urbanen Einzugsgebieten - Vorhersage und Vorwarnung am Beispiel Graz. Österr Wasser- und Abfallw 2011; 63(7-8):146–52.

93. Ingo Knopf. So können wir uns vor Asteroiden schützen: Was ist der Unterschied zwischen Asteroiden, Kometen und Meteoriten? Quarks 2020 Apr 7 [cited 2023 Jul 9]. Available from: URL: <https://www.quarks.de/weltall/astronomie/so-koennen-wir-uns-vor-asteroiden-schuetzen/>.

94. Center for Near Earth Object Studies. NEO Basics [cited 2023 Jul 9]. Available from: URL: <https://cneos.jpl.nasa.gov/about/basics.html>.

95. JPL. NASA System Predicts Impact of Small Asteroid; 2022 [cited 2023 Jul 9]. Available from: URL: <https://www.jpl.nasa.gov/news/nasa-system-predicts-impact-of-small-asteroid>.

96. ESA. Die wichtigste Aufgabe: Suche und Überwachung [cited 2023 Jul 9]. Available from: URL: https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Germany/Die_wichtigste_Aufgabe_Suche_und_Ueberwachung.

97. Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung. Auflistung kerntechnischer Anlagen in der Bundesrepublik Deutschland; 2023 May 16 [cited 2023 Jul 9]. Available from: URL: https://www.base.bund.de/SharedDocs/Downloads/BASE/DE/berichte/kt/kernanlagen-stilllegung.pdf;jsessionid=1EE1A5608DC88ADA59D269C9C5FB14D7.internet002?__blob=publicationFile&v=33.

98. Strahlenschutzkommission. Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen. Strahlenschutzkommission; 2015 [cited 2023 Jul 9]. Available from: URL: https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2015/Rahmenempfehlungen_Katastrophenschutz.pdf?__blob=publicationFile.

99. Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung. Zwischenlager Brokdorf [cited 2023 Jul 9]. Available from: URL: <https://www.base.bund.de/DE/themen/ne/zwischenlager/standorte/kbr.html>.

100. Bundesamt für die Sicherheit der nuklearen Entsorgung. Zwischenlager Krümmel [cited 2023 Jul 9]. Available from: URL: <https://www.base.bund.de/DE/themen/ne/zwischenlager/standorte/kkk.html>.

101. Gesellschaft für Zwischenlagerung mbH. Zwischenlager für schwach- und mittelradioaktive Abfälle [cited 2023 Jul 9]. Available from: URL: <https://zwischenlager.info/standort/stade/>.

102. Timo Jann. Atommüll zurück in die USA - Reaktor-Abbau dauert 15 Jahre. Lauenburgische Landeszeitung 2012 Jul 25 [cited 2023 Jul 9]. Available from: URL: <https://www.abendblatt.de/region/kreis-lauenburg/geesthacht/article112620705/Atommuell-zurueck-in-die-USA-Reaktor-Abbau-dauert-15-Jahre.html>.

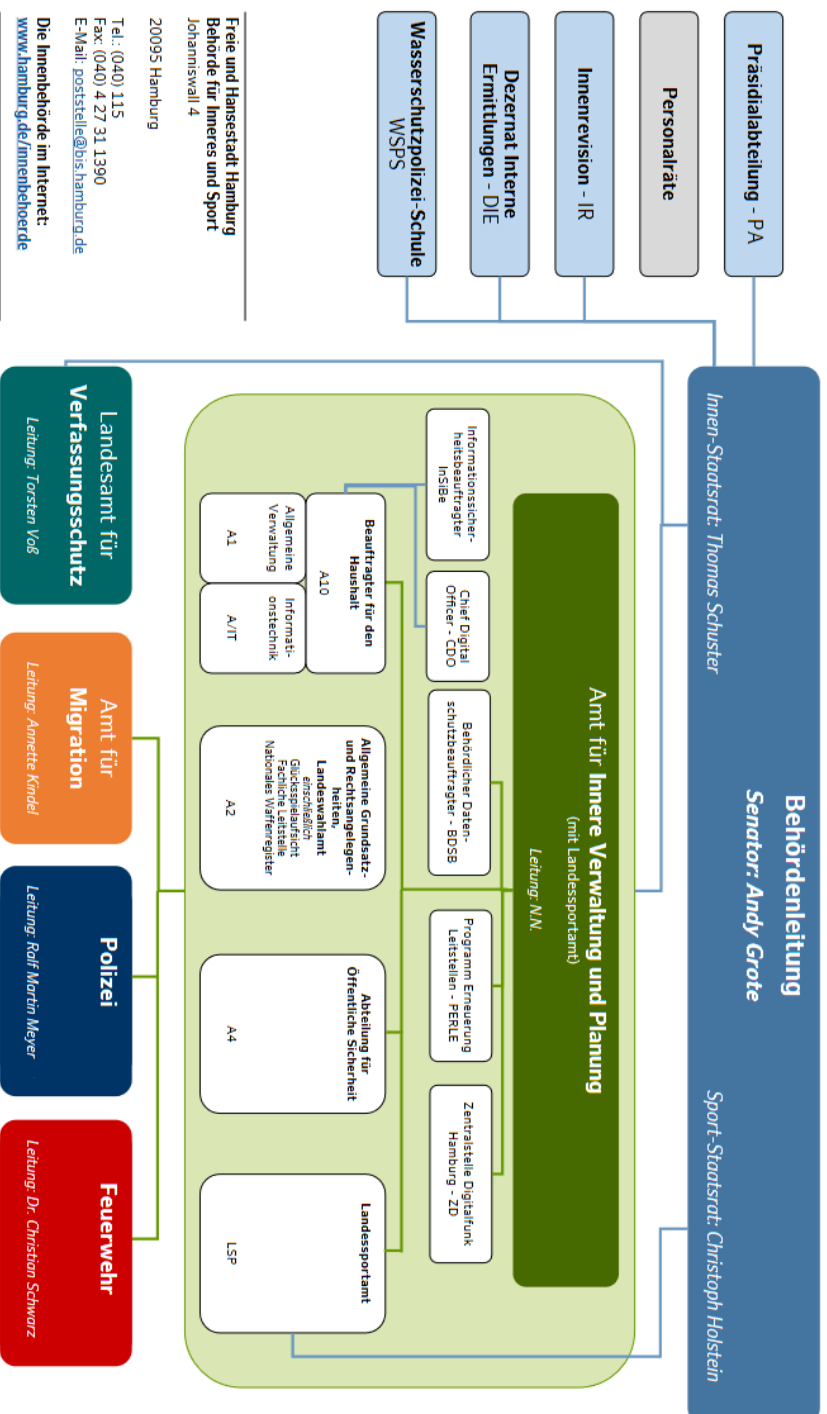
103. International Atomic Energy Agency. The radiological accident in Goiania. Vienna; 1988.

104. Spiegel. Strahlender Stahl. Spiegel Politik 1984 Mar 18 [cited 2023 Jul 9]. Available from: URL: <https://www.spiegel.de/politik/strahlender-stahl-a-5e723afc-0002-0001-0000-000013509534>.

105. International Atomic Energy Agency. The radiological accident in Samut Prakarn. Vienna: IAEA; 2002. (STI/PUB / International Atomic Energy Agency; vol 1124).
106. Estonian Rescue Board. Behaviour in case of a chemical accident [cited 2023 Jul 9]. Available from: URL: <https://www.rescue.ee/en/instruction/behavior-in-case-of-a-chemical-accident/what-is-a-siren>.
107. Frankfurter Allgemeine. Chemie-Unfall im Industriepark Höchst. Frankfurter Allgemeine 2020 Dec 21 [cited 2023 Jul 9]. Available from: URL: <https://www.faz.net/aktuell/rhein-main/sirenen-warnung-chemie-unfall-im-industriepark-hoechst-17113994.html>.

Behörde für Inneres und Sport

www.innenbehoerde.hamburg.de



Freie und Hansestadt Hamburg
Behörde für Inneres und Sport
Johanniswall 4

20095 Hamburg

Tel.: (040) 115

Fax: (040) 4 27 31 1390

E-Mail: poststelle@bis.hamburg.de

Die Innenbehörde im Internet:
www.hamburg.de/innenbehoerde

Stand: Dezember 2022

Anhang

Anhang 1 Organigramm der BIS

Quelle: (65)

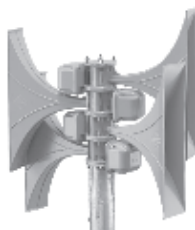
Anhang 2 Datenblätter der ECN-Sirenen

Quelle: (66)



WARNEN UND INFORMIEREN

Elektronische Sirene ECN 600-D



SIRENENKOPF
aus selbsttragenden
Sirenenhörnern
in modularem Aufbau.
360° omnidirektionale
Schallausbreitung
durch Spalteffekt.

Produkte
und Lösungen von
HÖRMANN
Warnsysteme sind
„MoWaS-ready“



SYSTEM

Lautstärke/Schalldruckpegel	109 dB (A) / 30 m
Grundfrequenz	415 Hz / 425 Hz
Sirenenklang/Alarmsignale	nach Kundenwunsch
Fernalarmierung	nach Kundenwunsch
Sprachdurchsage	optional
Digitale Sprachtexte	optional
Standby-Zeit	mind. 10 Tage
Anzahl der verfügbaren Alarme innerhalb 48 Stunden ohne Netzversorgung	mind. 20 Alarme

SIRENENKOPF

Anzahl Hörner/Treiber	4
Gewicht Sirenenkopf	28 kg
Kopfmaße (B x H x T)	280 x 960 x 840 mm
Windlast bei 160 km/h	522 N
Material der Hörner	Aluminiumlegierung

SIRENENSCHRANK

Anzahl Class-D Verstärker	2
Netzversorgung	230 VAC oder 110 VAC +/-10%
Batteriespannung	24 VDC
Maximaler Ladestrom	4 A
Solarstromversorgung	optional
Lokale Alarmierung und Anzeige	Folientastatur mit LCD Display
Schrankmaße (B x H x T)	600 x 600 x 350 mm
Ausführung	Edelstahl oder pulverbeschichtet
Schutzklasse	IP66
Gewicht	82 kg
Umgebungstemperatur	-25° +65°C

Änderungen sind dem Hersteller vorbehalten.

SIRENENSCHRANK

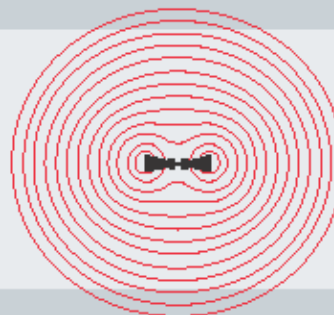
Kompakt und übersichtlich konzipiert dank 19" Einschubtechnik und modularer Bauweise. Robuste Baugruppen mit langer Lebensdauer garantieren höchste Ausfallsicherheit.
MoWaS-ready: Die Sirene kann in das Modulare Warnsystem des Bundes (MoWaS) integriert werden und entspricht den Förderrichtlinien des BBK.

01/22

Elektronische Sirene ECN 600-D

AKUSTIK – 360° OMNIDIREKTIONALE SCHALLAUSBREITUNG

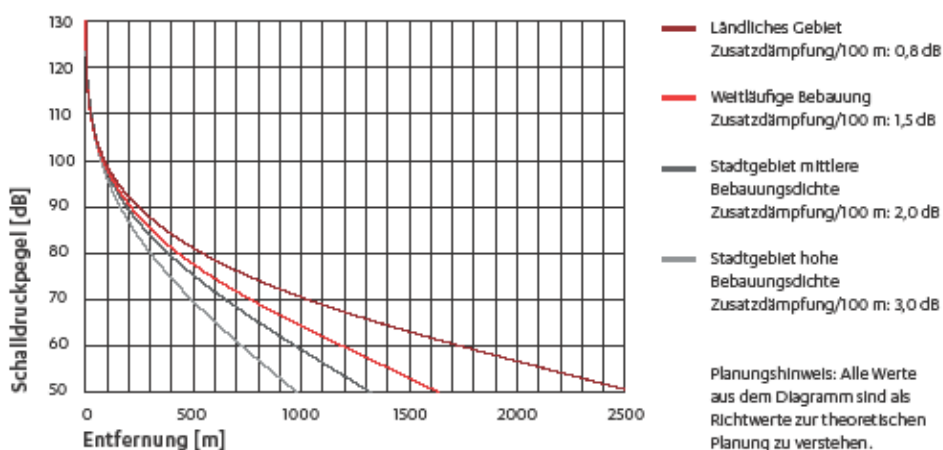
Die omnidirektionale Ausbreitung der Schallwelle in der horizontalen Ebene beruht auf dem Huygensschen Prinzip. Dieses physikalische Gesetz besagt, dass eine Schallwelle an einem Spalt gebeugt wird. Durch die Beugung des Schalls entsteht eine kreisförmige Schallwelle mit omnidirektionaler Charakteristik, wodurch eine 360° Beschallung ermöglicht wird.



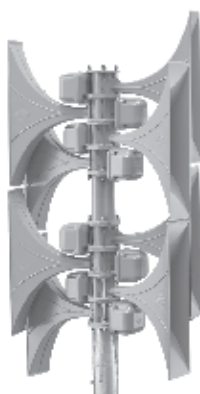
VERTIKALE SCHALLAUSBREITUNG

Das ECN-Sirenenhorn erweitert sich zur Öffnung hin entsprechend einer Exponentialfunktion und wurde eigens entwickelt, um Sirensignale mit möglichst großer Lautstärke abstrahlen zu können. Diese spezielle Konstruktionsweise gewährleistet eine optimale Ausbreitung der Schallwelle im Sirenenhorn und hat sich vielfach bewährt, um laute Signale erzeugen zu können.

AUSBREITUNG DES SCHALLDRUCKPEGELS (SPL)



Elektronische Sirene ECN 1200-D



SIRENENKOPF
aus selbsttragenden
Sirenenhörnern
in modularem Aufbau.
360° omnidirektionale
Schallausbreitung
durch Spalteffekt.

Produkte
und Lösungen von
HÖRMANN
Warnsysteme sind
„MoWaS-ready“



SYSTEM

Lautstärke/Schalldruckpegel	115 dB (A) / 30 m
Grundfrequenz	415 Hz / 425 Hz
Sirenenklang/Alarmsignale	nach Kundenwunsch
Fernalarmierung	nach Kundenwunsch
Sprachdurchsage	optional
Digitale Sprachtexte	optional
Standby-Zeit	mind. 10 Tage
Anzahl der verfügbaren Alarme innerhalb 48 Stunden ohne Netzversorgung	mind. 20 Alarme

SIRENENKOPF

Anzahl Hörner/Treiber	8
Gewicht Sirenenkopf	59 kg
Kopfmaße (B x H x T)	280 x 1660 x 840 mm
Windlast bei 160 km/h	1064 N
Material der Hörer	Aluminiumlegierung

SIRENENSCHRANK

Anzahl Class-D Verstärker	4
Netzversorgung	230 VAC oder 110 VAC +/-10%
Batteriespannung	24 VDC
Maximaler Ladestrom	4 A
Solarstromversorgung	optional
Lokale Alarmierung und Anzeige	Folientastatur mit LCD Display
Schrankmaße (B x H x T)	600 x 600 x 350 mm
Ausführung	Edelstahl oder pulverbeschichtet
Schutzklasse	IP66
Gewicht	83 kg
Umgebungstemperatur	-25° +65°C

Änderungen sind dem Hersteller vorbehalten.

SIRENENSCHRANK

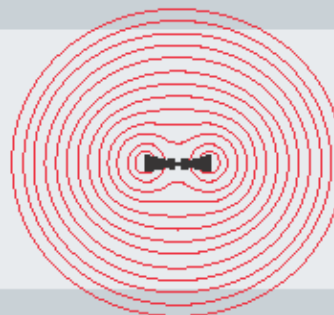
Kompakt und übersichtlich konzipiert dank 19" Einschubtechnik und modularer Bauweise. Robuste Baugruppen mit langer Lebensdauer garantieren höchste Ausfallsicherheit.
MoWaS-ready: Die Sirene kann in das Modulare Warnsystem des Bundes (MoWaS) integriert werden und entspricht den Förderrichtlinien des BBK.

09/22

Elektronische Sirene ECN 1200-D

AKUSTIK – 360° OMNIDIREKTIONALE SCHALLAUSBREITUNG

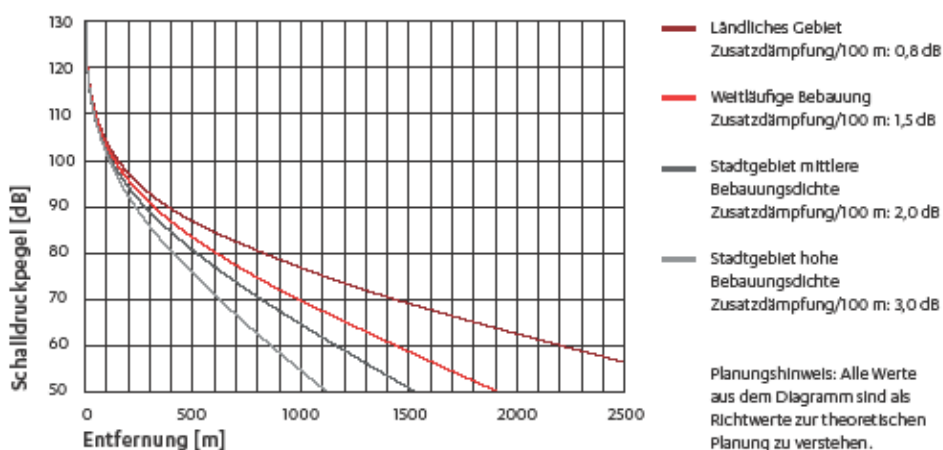
Die omnidirektionale Ausbreitung der Schallwelle in der horizontalen Ebene beruht auf dem Huygensschen Prinzip. Dieses physikalische Gesetz besagt, dass eine Schallwelle an einem Spalt gebeugt wird. Durch die Beugung des Schalls entsteht eine kreisförmige Schallwelle mit omnidirektionaler Charakteristik, wodurch eine 360° Beschallung ermöglicht wird.



VERTIKALE SCHALLAUSBREITUNG

Das ECN-Sirenenhorn erweitert sich zur Öffnung hin entsprechend einer Exponentialfunktion und wurde eigens entwickelt, um Sirensignale mit möglichst großer Lautstärke abzustrahlen. Diese spezielle Konstruktionsweise gewährleistet eine optimale Ausbreitung der Schallwelle im Sirenenhorn und hat sich vielfach bewährt, um laute Signale erzeugen zu können.

AUSBREITUNG DES SCHALLDRUCKPEGELS (SPL)



Elektronische Sirene ECN 2400-D



SIRENENKOPF
aus selbsttragenden
Sirenenhörnern
in modularem Aufbau.
360° omnidirektionale
Schallausbreitung
durch Spalteffekt.

Produkte
und Lösungen von
HÖRMANN
Warnsysteme sind
„MoWaS-ready“



SYSTEM

Lautstärke / Schalldruckpegel	121 dB (A) / 30 m
Grundfrequenz	415 Hz / 425 Hz
Sirenenklang / Alarmsignale	nach Kundenwunsch
Fernalarmierung	nach Kundenwunsch
Sprachdurchsage	optional
Digitale Sprachtexte	optional
Standby-Zeit	mind. 10 Tage
Anzahl der verfügbaren Alarme innerhalb 48 Stunden ohne Netzversorgung	mind. 20 Alarme

SIRENENKOPF

Anzahl Hörner/Treiber	16
Gewicht Sirenenkopf	121 kg
Kopfmaße (B x H x T)	280 x 2900 x 840 mm
Windlast bei 160 km/h	2200 N
Material der Hörner	Aluminiumlegierung

SIRENENSCHRANK

Anzahl Class-D Verstärker	8
Netzversorgung	230 VAC oder 110 VAC +/-10%
Batteriespannung	24 VDC
Maximaler Ladestrom	4 A
Solarstromversorgung	optional
Lokale Alarmierung und Anzeige	Folientastatur mit LCD Display
Schrankmaße (B x H x T)	600 x 600 x 350 mm
Ausführung	Edelstahl oder pulverbeschichtet
Schutzklasse	IP66
Gewicht	85 kg
Umgebungstemperatur	-25° +65°C

Änderungen sind dem Hersteller vorbehalten.

SIRENENSCHRANK

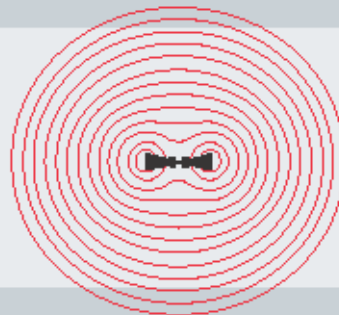
Kompakt und übersichtlich konzipiert dank 19" Einschubtechnik und modularer Bauweise. Robuste Baugruppen mit langer Lebensdauer garantieren höchste Ausfallsicherheit. **MoWaS-ready**: Die Sirene kann in das Modulare Warnsystem des Bundes (MoWaS) integriert werden und entspricht den Förderrichtlinien des BBK.

01/22

Elektronische Sirene ECN 2400-D

AKUSTIK – 360° OMNIDIREKTIONALE SCHALLAUSBREITUNG

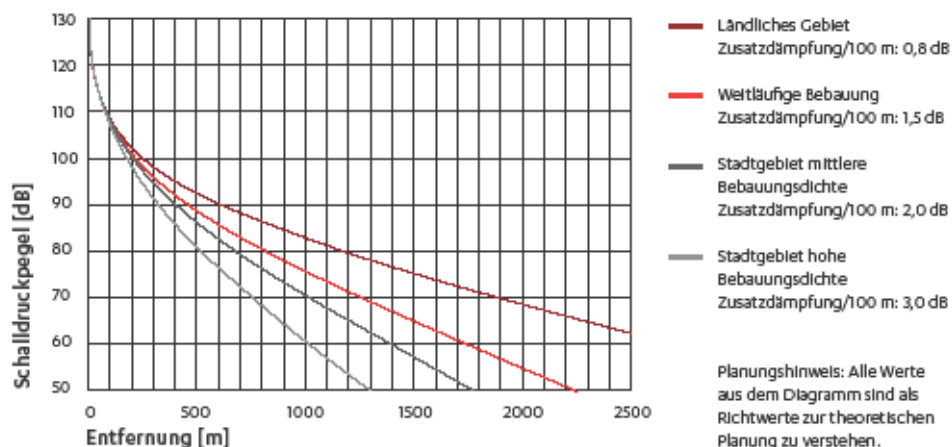
Die omnidirektionale Ausbreitung der Schallwelle in der horizontalen Ebene beruht auf dem „Huygenschen Prinzip“. Dieses physikalische Gesetz besagt, dass eine Schallwelle an einem Spalt gebeugt wird. Durch die Beugung des Schalls entsteht eine kreisförmige Schallwelle mit omnidirektionaler Charakteristik, wodurch eine 360° Beschallung ermöglicht wird.



VERTIKALE SCHALLAUSBREITUNG

Das ECN-Sirenenhorn erweitert sich zur Öffnung hin entsprechend einer Exponentialfunktion und wurde eigens entwickelt, um Sirensignale mit möglichst großer Lautstärke abzustrahlen. Diese spezielle Konstruktionsweise gewährleistet eine optimale Ausbreitung der Schallwelle im Sirenenhorn und hat sich vielfach bewährt, um laute Signale erzeugen zu können.

AUSBREITUNG DES SCHALLDRUCKPEGELS (SPL)



Anhang 3 Kennziffernkatalog der bundeseinheitlichen Gefährdungsabschätzungen

Quelle: (50)



Stand: 2005

Kennziffernkatalog der bundeseinheitlichen Gefährdungsabschätzungen

Kennziffer	Überschrift/Beschreibung
3100	<i>Gefahren und Anforderungen auf Grund von Naturereignissen und anthropogenen Umwelteinflüssen</i>
3110	<i>Extremwetterlagen</i>
3111	Sturm/Orkan/Tornado
3112	Starkregen, Hagel, Eisregen, Blitzeis
3113	Langanhaltender Schneefall / Schneeverwehungen
3114	Langanhaltender Starkfrost
3115	Lawinengefahren
3116	Schwere Gewitter mit massiven Blitzeinschlägen
3117	Hitze- und Dürreperioden mit Missernten und/oder Trinkwassermangel
3118	SMOG
3120	<i>Erdbeben</i>
3130	<i>Erdbewegungen</i>
3131	Bergschäden/Erdsenkungen/Erdbeben/Muren/Hangrutschungen
3140	<i>Flächenbrände (Waldbrand, Heidebrand, Moorbrand)</i>
3150	<i>Hochwasser/Sturmfluten</i>
3151	Hochwasser durch Staudammbrüche
3152	Örtliche Hochwasser durch starke Regenfälle
3153	Hochwasser in Bächen, Flüssen und Stromtälern
3154	Sturmfluten / Hochwasser an Meeresküsten und Binnenseen
3160	<i>Meteoriteneinschläge</i>
3200	<i>Gefahren und Anforderungen auf Grund von ABC-Lagen, Technologie- und Transportunfällen und Großbränden</i>
3210	<i>A-Gefahren</i>
3211	Gefahrstofffreisetzungen aus Kernkraftwerken des eigenen Landes
3212	Gefahrstofffreisetzungen aus Kernkraftwerken der Nachbarländer
3213	Gefahrstofffreisetzungen aus Kernkraftwerken anderer Staaten
3214	Gefahrstofffreisetzungen aus sonstigen kerntechnischen Anlagen (Forschungsreaktoren, Wiederaufarbeitungsanlagen oder anderen Anlagen mit radioaktiven Stoffen)
3215	Freisetzung sonstiger radioaktiver Stoffe
3220	<i>B-Gefahren</i>
3221	Seuchen (Epidemien, z.B. Influenza und Pandemien)
3222	Tierseuchen (Epizootien)
3223	Großflächige Pflanzenkrankheiten (Epiphytien)
3224	Freisetzung pathogener Stoffe oder Mikroorganismen aus biologischen/gentechnischen Anlagen
3225	Freisetzung sonstiger pathogener (biologischer) Stoffe oder Mikroorganismen

- 3230 **C-Gefahren**
 3231 Freisetzung toxischer Stoffe (nicht-Seveso-Betriebe)
- 3235 **Gefahrstofffreisetzungen aus ortsfesten Objekten mit bekanntem Gefahrenpotenzial (Seveso-Betriebe, z.B. Freisetzung bestimmter ungefährlicher Stoffe, die erst durch die Freisetzung selbst brennen, explodieren, verpuffen oder durch Verbindung mit anderen Stoffen pathogen oder toxisch werden)**
- 3240 **Gefahrstofffreisetzungen bei Transportunfällen (Straße, Schiene, Wasserstrassen einschließlich Küstenmeer und hohe See, Luft)**
 Ausführungen zu Pipelines entweder unter dieser Kennziffer oder unter 3260
 3241 Straße, Schiene, Luft
 3242 Binnenwasserstraßen
 3243 Küstenmeer / hohe See
- 3245 **Großbrände, Explosionen, Zerknalle, Verpuffungen**
- 3250 **Massenanfall von Betroffenen**
 3251 Straße einschließlich Übergänge und Tunnels
 3252 Schiene einschließlich Übergänge und Tunnels
 3253 Wasserstrassen einschließlich Küstenmeer und hohe See sowie Binnengewässer
 3254 Luft
 3255 Massenanfall von Betroffenen durch sonstige Ursachen
- 3260 **Schwere Störungen und Schäden in Einrichtungen der Versorgung und Ernährung (Kritische Infrastruktur - Versorgung)**
 Ausführungen zu Pipelines entweder unter dieser Kennziffer oder unter 3240
 3261 Wasser
 3262 Lebensmittel
 3263 Gas (Erdgas, Flüssiggas)
 3264 Elektrizität
 3265 Fernwärme
 3266 Mineralöl
 3267 Kohle
 3269 Gesundheit (Krankenhäuser/Klinika, zentrale Arzneimittellager, ...)
- 3270 **Schwere Störungen und Schäden in Einrichtungen der Entsorgung (Kritische Infrastruktur - Entsorgung)**
 3271 Abwassernetz, Klärwerke
 3272 Abfallentsorgung allgemein, Mülldeponien, Müllverbrennungsanlagen
 3273 Sondermüll-Verbrennungsanlagen
- 3280 **Langanhaltende Störungen/großflächiger Ausfall der Informations-, Kommunikations- und Warnsysteme unter Berücksichtigung von Interdependenzen und Dominoeffekten (Kritische Infrastruktur - Informationstechnik)**
 3281 Telefonnetze, Funknetze, EDV-Netze
 3282 Satellitengestützte Systeme
 3283 Rundfunk und Fernsehen
- 3290 **Absturz kosmischer Flugkörper**
- 3295 **Gefährdung durch Kampfmittel als Altlasten**
- 3300 **Gefahren und Anforderungen durch Terrorismus/Anschläge/Attentate/ Sabotage**
- 3400 **Kriegshandlungen auf oder über deutschem Boden oder in Grenzgebieten benachbarter Staaten zu Deutschland**

Anhang 4 Bewertung der Gefährdungen des Katalogs auf Anwendbarkeit als Kriterium für gefährdungsbezogene Ziele

Um als Kriterium in Frage zu kommen, müssen die Fragen

1. Ist die Gefährdung in Hamburg präsent?
2. Ist eine Warnung mit Sirenen sinnvoll und möglich?
3. Ist es möglich und sinnvoll aus der Gefährdung ein Kriterium zu entwickeln?

bejaht werden.

3111 Sturm/Orkan/Tornado

Stürme und Orkane entstehen durch große Luftdruckgradienten zwischen Tiefdruck- und Hochdruckgebieten. Sie weisen Sturmfronten von mehr als 1000 km und Sturmfelder von bis zu mehreren hundert Kilometern auf (67, 68). Aufgrund dieser Ausdehnungen ist zu erwarten das die gesamte Stadt gegenüber Stürmen und Orkanen exponiert ist. Da auch keine Faktoren bekannt sind, die eine besondere Vulnerabilität einzelner Gebiete in der Stadt gegenüber Stürmen anzeigen, ist es nicht möglich für verschiedene Gebiete der Stadt eine Priorisierung für Stürme und Orkane zu entwickeln. Die Gefährdung als Kriterium zu nutzen ist daher nicht möglich. Ähnliches gilt für Tornados. Diese treten zwar in Hamburg auf (69), jedoch konnte kein Faktor bestimmt werden der eine gesteigerte Exposition oder Vulnerabilität einzelner Gebiete der Stadt offenlegt. Da somit die dritte Frage verneint wird sind Stürme, Orkane und Tornados als Kriterium ungeeignet.

3112 Starkregen, Hagel, Eisregen, Blitzeis

Diese Gefährdungen treten in Hamburg auf Starkregen(70). Jedoch konnte für Hagel, Eisregen und Blitzeis analog zu 3111 keine Faktoren identifiziert werden, die eine gesteigerte Exposition oder Vulnerabilität aufzeigen. Für Starkregen jedoch wurde im Rahmen des Regeninfrastrukturprojekts (RISA) durch Hamburg Wasser und die Behörde für Umwelt Klima Energie und Agrarwirtschaft eine Starkregenhinweiskarte mit Senken und Fließwegen erstellt (71). Für die Gefährdung durch Starkregen sind also Gebiete bekannt die besonders vulnerabel sind. Aus der in *3.6 Offenlegung der Kriterien und Darstellung in einer Hierarchie* beschriebenen Literatursuche ist auch bekannt, dass der Einsatz von Sirenen bei Starkregenereignissen zumindest erwogen wird (72). Da somit die drei formulierten Fragen mit „Ja“ beantwortet werden können, wurde Starkregen als Kriterium A44 vorgeschlagen und durch diese bestätigt. Die Kriterienausprägung ergibt sich aus der Überschneidung von Warnradius und Senken die tiefer 0,5 m sind. Der Gedanke dahinter ist ein direkter Zusammenhang zwischen dem Gebiet und der Exposition gegenüber der Gefährdung.

3113 Langanhaltender Schneefall/ Schneeverwehungen

Für langanhaltenden Schneefall stellt sich die Frage nach der Sinnhaftigkeit der Warnung mit Sirenen. Das hervorstechendste Merkmal von Sirenen ist deren Weckeffekt. Dieser ist insbesondere relevant, wenn eine Gefahr sehr schnell eintritt oder keine Environmental cue's (siehe 2.2.5 *Modelle und Leitfäden zur Warnung*) vorhanden sind. Im Falle des Langanhaltenden Schneefalls ist dies nicht gegeben. Zudem konnten in der Literatursuche keine Anwendung von Sirenen für diese Gefährdung gefunden.

Es konnte auch kein Faktor bestimmt werden, der eine gesteigerte Vulnerabilität oder Exposition einzelner Gebiete der Stadt aufzeigt. Da somit die zweite und dritte Frage verneint werden, ist diese Gefährdung als Kriterium ungeeignet.

3114 Langanhaltender Starkfrost

Auch langanhaltender Starkfrost ist als Kriterium ungeeignet. Die Begründung entspricht der von 3113 *Langanhaltender Starkfrost/ Schneeverwehung*.

3115 Lawinengefahren

Lawinen treten zumeist bei Hängen mit 30 bis 50 % Grad Steigung und ohne Waldbewuchs auf (73). In Hamburg treten jedoch maximal Steigungen von 24,9 % auf. Da zudem zumindest im Stadtgebiet ein Winterdienst existiert, der die Akkumulierung von Schnee verhindert und keine Fälle von Lawinen in Hamburg bekannt sind muss die erste Frage verneint werden. Lawinen sind als Kriterium daher ungeeignet.

3116 Schwere Gewitter mit massiven Blitzeinschlägen

Es konnten keine Gebiete identifiziert werden die besonders exponiert oder vulnerabel sind. Da die Frage Drei daher verneint werden muss sind Gewitter als Kriterium ungeeignet.

3117 Hitze- und Dürreepisoden mit Missernten und/ oder Trinkwassermangel

Hitze und Dürreepisoden sind als Kriterium ungeeignet. Die Begründung entspricht 3113 *Langanhaltender Starkfrost/ Schneeverwehung*.

3118 SMOG

Untersuchungen und Modelle zeigen eine absinkende Belastung der Luft in Hamburg und überwiegende Einhaltung der Grenzwerte (74, 75). Darüber hinaus ist unklar, ob eine Warnung mit Sirenen sinnvoll ist. Sirenen sollen in Hamburg analog der MOWAS-Warnstufe 1 eingesetzt werden

(siehe 2.2.4.3 *Sirenen in Hamburg*). Ob die Voraussetzungen für diese (kurzfristig zu erwartende oder bereits eingetretene Gefahr für Leib und Leben der Bevölkerung und/oder Infrastrukturen und Sachwerte, die zu einer solchen Gefahr führen kann(76)) durch das Auftreten von SMOG erfüllt sind ist unklar. Da die Fragen Eins und Zwei daher verneint werden, ist SMOG als Kriterium ungeeignet.

3120 Erdbeben

Im Jahr 2004 kam es zu einem Erdbeben der Stärke 4,5 auf der Richterskala. Ursache war vermutlich die Erdgasförderung in Niedersachsen. Die Gefahr für Hamburg durch Erdbeben wird jedoch als sehr gering eingestuft (77)(78)(79) und es ist auch kein Frühwarnsystem etabliert. Da daher die Frage Eins nur bedingt bejaht werden kann, die Frage nach der Möglichkeit zur Warnung ohne Frühwarnsystem verneint werden muss und davon ausgegangen werden muss, dass im Falle eines Erdbeben das gesamte Stadtgebiet exponiert ist, ist das Kriterium Erdbeben als ungeeignet einzustufen.

3131 Bergschäden/ Erdsenkungen/Erdrutsche/Muren/ Hangrutschungen

In Hamburg gibt es mehrere ehemalige Ton- und Ziegeleigruben, welche mittlerweile Seen oder Teiche sind (49). Des Weiteren existiert in den Hamburger Bergen das ehemalige Bergwerk Robertshall. Die alten Stollen des Bergwerks führen insbesondere beim Straßenbau noch heute zu Problemen (80). Darüber hinaus sind keine Schäden und Gefährdungen durch Bergschäden bekannt geworden.

Durch Erdsenkungen kam es in den Jahren 2000 und 2009 zu lokalen Einsturzbeben durch Erdsenkungen die an der Oberfläche als Erschütterungen wahrgenommen wurden die Gefahr für die Bevölkerung wird jedoch als gering eingestuft. Zudem existiert kein Frühwarnsystem, sodass die Warnung der Bevölkerung vor Eintritt der Versenkung nicht möglich ist (79).

Im Jahr 2016 kam es zu einem Erdrutsch am Elbhänge. Anschließend wurden Maßnahmen ergriffen, um die Gefahr durch Erdrutsche zu verringern. (81). Die verbliebene Gefahr kann durch den Autor nicht eingeschätzt werden. Weitere Erdrutsche sind jedoch nicht bekannt.

Unabhängig von der Frage des Vorhandenseins, dieser Gefährdungen in Hamburg können diese nicht als Kriterium genutzt werden. Da kein Frühwarnsystem existiert, ist es nicht möglich die Bevölkerung vor Eintritt der Gefahr zu warnen. Die Frage Zwei ist daher verneint wurden.

3140 Flächenbrände

In den Jahren 2010 bis 2021 kam es zu zwei Waldbränden in Hamburg (82). Die Gefahr kann daher als in Hamburg vorhanden angenommen werden. Da Sirenen bereits für die Warnung vor

Waldbränden genutzt werden, kann auch die Sinnhaftigkeit der Warnung als gegeben angenommen werden (83, 84). Durch die Darstellung von Waldflächen im Flächennutzungsplan der Stadt Hamburg besteht zudem die Möglichkeit das Ausmaß der Gefährdung für verschiedene Gebiete zu approximieren (Fläche des Waldes ~ Maß der Gefährdung). Daher konnten die drei Fragen bejaht werden und Waldbrände wurden als Kriterium aufgenommen.

3151 Hochwasser durch Staudammbrüche

In Hamburg selbst gibt es keine Staudämme (85, 86). In unmittelbarer Nähe steht jedoch das Pumpspeicherkraftwerk Geesthacht (87) Zudem gibt es weiter Elbaufwärts und in den Zuflüssen verschiedene Talsperren (85, 86). Das Risiko für Dammbrüche gilt als gering (88). Durch den Autor wird im Weiteren ein Hochwasser durch Staudammbruch mit 3153 *Hochwasser in Bächen, Flüssen und Stromtälern* gleichgesetzt, da diese im Effekt für Hamburg dieselben Auswirkungen haben würden.

3152 Hochwasser durch starke Regenfälle

Siehe 3112 *Starkregen, Hagel, Eisregen, Blitzeis*

3153 Hochwasser in Bächen, Flüssen und Stromtälern

Da Risiko für Hochwasser an der Elbe und in Hamburg wurde bestimmt und im Rahmen von Hochwasserrisikomanagementkarten aufgezeigt (89, 90, 53). Mithilfe dieser konnte bestimmt werden, dass eine Gefährdung in Hamburg vorliegt und eine lokal unterschiedliche Exposition ermittelt werden. Die Fragen Eins und Drei können daher positiv beantwortet werden. Durch die Literatursuche ist zudem bekannt, dass Sirenen auch bei Hochwassern eingesetzt werden (91, 92). Da damit die drei Fragen positiv beantwortet werden können wurden Binnenhochwasser als Kriterium aufgenommen. Die Kriterienausprägung ergibt sich aus der Überschneidung von Warnradius und binnenflutgefährdetem Gebiet. Der Gedanke dahinter ist ein direkter Zusammenhang zwischen dem Gebiet und der Exposition gegenüber der Gefährdung.

3154 Sturmfluten/ Hochwasser an Meeresküsten und Binnenseen

Sturmfluten waren bereits zu Beginn dieser Arbeit als Kriterium gesetzt. Mithilfe der Hochwasserrisikomanagementkarten konnte bestimmt werden, dass die Gefährdung in Hamburg vorhanden und die Exposition lokal unterschiedlich ist (89, 53). Da Sirenen bereits in Hamburg für die Warnung vor Sturmfluten vorgesehen sind und im Sonderfall von Overwerder auch eingesetzt werden kann die Sinnhaftigkeit angenommen werden. Da somit alle drei Fragen positiv beantwortet werden können werden Sturmfluten als Kriterium aufgenommen. Die Kriterienausprägung ergibt sich

aus der Überschneidung von Warnradius und sturmflutgefährdetem Gebiet. Der Gedanke dahinter ist ein direkter Zusammenhang zwischen dem Gebiet und der Exposition gegenüber der Gefährdung.

3160 Meteoriteneinschläge

Meteoriten bezeichnen Himmelskörper einer Größe von wenigen Millimetern bis zu einem Meter, die auf der Erde einschlagen und nicht in der Atmosphäre verglühen (93). Überwachungsprogramme beschränken sich für gewöhnlich auf Asteroiden und Kometen, welche deutlich größer sind. Das Entdecken kleinerer Objekte ist zumeist zufällig (94–96). Auch wenn Meteoriten entdeckt werden und deren wahrscheinlicher Einschlagsort bestimmt wird, erfolgt dies zumeist nur wenige Stunden vor dem Einschlag (95). Daher kann kein lokal besonders exponiertes Gebiet bestimmt werden. Die Gefährdung durch Einschläge ist daher als Kriterium ungeeignet.

3211 Gefahrstofffreisetzung aus Kernkraftwerken des eigenen Landes

Hamburg verfügt über keine eigenen Kernkraftwerke. Die Frage Eins muss daher verneint werden. 3211 ist nicht als Kriterium geeignet.

3212 Gefahrstofffreisetzung aus Kernkraftwerken der Nachbarländer

In den Nachbarländern Hamburgs gibt es mehrere Kernkraftwerke. In der Nähe Hamburg stehen die Kernkraftwerke Krümmel, Brokdorf und Stade. Darüber hinaus stehen in größerer Entfernung in Niedersachsen die Kraftwerke Unterweser, Emsland, Lingen und Grohnde. Diese wurden abgeschaltet, befinden sich im Prozess der Stilllegung oder wurden bereits stillgelegt (97). Die Gefährdung durch diese ist dadurch allerdings nicht eliminiert. Es wird weiterhin empfohlen Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung aufgeteilt auf Zentral, Mittel und Außenzonen aufrecht zu erhalten, solange noch Brennstäbe in der Anlagen verwahrt werden (98). Für die in der Nähe Hamburgs gelegenen Kraftwerke wurden diese mittlerweile jedoch in Zwischenlager verbracht. (99–101). Da damit die Gefährdung stark reduziert wurde, wird die erste Frage verneint und die Gefährdung ist als Kriterium nicht geeignet.

3213 Gefahrstofffreisetzung aus Kernkraftwerken anderer Staaten

Die Gefahrstofffreisetzung aus Kernkraftwerken anderer Staaten ist als Kriterium ungeeignet, da nicht bestimmt werden kann ob und welche Gebiete der Stadt betroffen wären. Dies würde bei einem Ausbruch von der vorherrschenden Wetterlage abhängen und kann nicht vorausgeplant werden. Daher muss die Frage Drei verneint werden.

3214 Gefahrstofffreisetzung aus sonstigen kerntechnischen Anlagen

In der Nähe Hamburgs befindet sich zwar der Forschungsreaktor Geesthacht. Dieser ist jedoch abgeschaltet und es befinden sich keine Brennstäbe mehr vor Ort (97, 102). Die erste Frage wird daher verneint.

3215 Freisetzung sonstiger radioaktiver Stoffe

Vorfälle bei denen Radioaktive Stoffe nicht aus Kernkraftwerken freiwurden sind bekannt. Beispielsweise können hier der Goiânia-Unfall (103), der radiologische Unfall von Ciudad Juárez (104), der Nuklearunfall von Samut Prakan (105) und der Verlust einer radioaktiven Kapsel in Australien genannt werden.

3220 B-Gefahren

Da die Begründung für die Gefährdungen 3221 bis 3225 identisch ist werden diese hier gesammelt bewertet.

Das biologische Gefährdungen eine relevante Gefährdung darstellen hat nicht zuletzt die Covid-19-Pandemie verdeutlicht. Jedoch stellt sich die Frage nach der Sinnhaftigkeit vor diesen Gefährdungen mit Sirenen zu warnen und inwiefern ein Kriterium aus der Gefährdung abgeleitet werden kann. Wie bereits erläutert sind Sirenen nicht dazu in der Lage komplexe Informationen zu übermitteln und sollen insbesondere vor Gefahren warnen die kurzfristig auftreten. Die Sinnhaftigkeit eines Einsatzes von Sirenen für eine sich über mehrere Tage, Wochen und Monate entwickelnde Lage, für dessen Bewältigung komplexe Schutzmaßnahmen durch die Bevölkerung auszuführen sind ist fraglich. Zudem konnte kein Faktor identifiziert werden der die Exposition und Vulnerabilität verschiedener Gebiete der Stadt gegenüber der Gefährdung voraussagen kann. Da daher die Fragen Zwei und Drei verneint werden sind B-Gefahren als Kriterium ausgeschlossen wurden.

3231 Freisetzung toxischer Stoffe (nicht-Seveso-Betriebe)

Die Freisetzung toxischer Stoffe aus Betrieben die nicht unter §3 Abs. 5a BImSchG (Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274; 2021 I S. 123), das zuletzt durch Artikel 2 Absatz 3 des Gesetzes vom 19. Oktober 2022 (BGBl. I S. 1792) geändert worden ist) fallen (nicht-Seveso-Betriebe) kann zwar eine Gefährdung darstellen jedoch ist es praktisch unmöglich aus dieser Gefährdung ein Kriterium abzuleiten. Nicht nur stellen nicht-Seveso-Betriebe die deutliche Mehrheit an Betrieben, es gibt auch keine Übersicht dieser. Allein die Ermittlung von nicht-Seveso-Betrieben die toxischen Stoffe verwenden, würde den

Rahmen dieser Arbeit überschreiten. Daher muss die Frage Drei verneint werden. Die Gefährdung ist als Kriterium ungeeignet.

3230 Gefahrstofffreisetzungen aus ortsfesten Objekten mit bekanntem Gefahrenpotenzial (Seveso-Betriebe, z.B. Freisetzung bestimmter ungefährlicher Stoffe, die erst durch die Freisetzung selbst brennen, explodieren, verpuffen oder durch Verbindung mit anderen Stoffen pathogen oder toxisch werden)

Die Freisetzung von Gefahrstoffen durch Betriebe die unter § 3 Abs. 5a BImSchG fallen (Seveso-Betriebe) stellt eine Gefährdung dar. Dem wird bereits durch § 13a HmbKatSG Rechnung getragen. Die Warnung mithilfe von Sirenen wird in anderen Jurisdiktionen bereits praktiziert (106, 107) und kann daher als sinnvoll angesehen werden. Da die Lage der Betriebe zudem bekannt ist (55) können auch lokal unterschiedliche Expositionen gegenüber der Gefährdung bestimmt werden und ein Kriterium abgeleitet werden. Da eine Freisetzung von Gefahrstoffen, die für die Bevölkerung eine Gefährdung darstellt, nicht auf den Bereich des Betriebs beschränkt ist, musste dem auch in dem Kriterium Rechnung getragen werden. So könnte die Freisetzung aus einem Betrieb im Warnradius einer Sirenen durchaus Auswirkungen auf den Warnbereich einer anderen Sirene haben in der kein Betrieb steht. Um dies zu berücksichtigen wurden Kreise um die Betriebe gezogen mit einem Radius von 500 m. Dieser 500 m Radius entspricht dem Bereich in dem Informationsbroschüren zu den Anlagen verteilt wurden (56). Die Ermittlung der Ausprägung erfolgt anhand der Überschneidungen zwischen dem Warnradius und den Kreisen mit 500 m -Radius. Der Gedanke dahinter ist ein direkter Zusammenhang zwischen dem Gebiet und der Exposition gegenüber der Gefährdung.

3240 Gefahrstofffreisetzung bei Transportunfällen (Straße, Schiene, Wasserstraßen, einschließlich Küstenmeer und hohe See, Luft)

Da die Begründung für die Gefährdungen 3241 bis 3243 identisch ist werden diese hier gesammelt bewertet.

Es konnte kein Faktor identifiziert werden, der eine gesteigerte Exposition oder Vulnerabilität einzelner Gebiete gegenüber der Gefährdung indiziert. Damit ist die Frage Drei verneint und die Gefährdung als Kriterium ungeeignet.

3245 Großbrände, Explosionen, Zerknallen, Verpuffungen

Es konnte kein Faktor identifiziert werden, der eine gesteigerte Exposition oder Vulnerabilität einzelner Gebiete gegenüber der Gefährdung indiziert. Zwar hätten Seveso-Betriebe als Orte mit gesteigerter Wahrscheinlichkeit für solche Ereignisse genutzt werden können, jedoch werden diese

bereits als Kriterium genutzt und eine erneute Verwendung würde die Aussagekraft der Ergebnisse durch eine verringerte Unabhängigkeit der Kriterien verringern. Damit ist die Frage Drei verneint und die Gefährdung als Kriterium ungeeignet.

3250 Massenanfall von Betroffenen

Da die Begründung für die Gefährdungen 3251 bis 3255 identisch ist werden diese hier gesammelt bewertet.

Massenanfälle sind zumeist Auswirkungen anderer Gefährdungen und werden daher über andere Kriterien abgedeckt. Entstehen die Massenanfälle durch Unfälle auf Straßen, Schienen und Wasserwegen sind diese zumeist bereits eingetreten bevor es die Möglichkeit gibt vor den Unfällen zu warnen. Daher muss die Frage Zwei verneint werden und die Gefährdung ist als Kriterium ungeeignet.

3260 Schwere Störungen und Schäden in Einrichtungen der Versorgung und Ernährung (Kritische Infrastruktur - Versorgung)

Da die Begründung für die Gefährdungen 3261 bis 3269 identisch ist werden diese hier gesammelt bewertet.

Es konnte kein Faktor identifiziert werden, der eine gesteigerte Exposition oder Vulnerabilität einzelner Gebiete gegenüber der Gefährdung indiziert. Zudem ist unklar ob es sinnvoll ist vor schweren Störungen und Schäden an der kritischen Infrastruktur mit Sirenen zu warnen. Diese können keine komplexen Informationen übermitteln und sollen vor allem vor kurzfristig eintretenden Gefährdungen für Leben und Gesundheit warnen. Damit kann die Frage Zwei nicht abschließend positiv beantwortet werden und die Frage Drei muss verneint werden. Daher ist die Gefährdung als Kriterium ungeeignet.

3270 Schwere Störungen und Schäden in Einrichtungen der Entsorgung (Kritische Infrastruktur - Entsorgung)

Die Bewertung der Gefährdungen 3271 bis 3273 entspricht den Gefährdungen 3260 *Schwere Störungen und Schäden in Einrichtungen der Versorgung und Ernährung (Kritische Infrastruktur - Versorgung)*

3280 Langanhaltende Störungen/großflächiger Ausfall der Informations-, Kommunikations- und Warnsysteme unter Berücksichtigung von Interdependenzen und Dominoeffekten (Kritische Infrastruktur - Informationstechnik)

Da die Begründung für die Gefährdungen 3281 bis 3283 identisch ist werden diese hier gesammelt bewertet.

Bei einem großflächigem Ausfall ist nicht mit einer differenzierten Exposition oder Vulnerabilität für verschiedene Gebiete der Stadt zu rechnen. Eine Verwendung als Kriterium ist daher nicht möglich. Sollte es zu solchen Ausfällen kommen ist auch der Warnmittelmix ernsthaft beeinträchtigt, was die Verwendung von Sirenen ernsthaft in Ihrer Effektivität beschränkt.

3290 Absturz kosmischer Flugkörper

Die Begründung entspricht der der Gefährdung 3160 *Meteoriteneinschläge*.

3295 Gefährdung durch Kampfmittel als Altlasten

Es konnte kein Faktor identifiziert werden, der eine gesteigerte Exposition oder Vulnerabilität einzelner Gebiete gegenüber der Gefährdung indiziert. Zudem ist unklar, ob eine Warnung mithilfe von Sirenen sinnvoll oder möglich ist. Kommt es zu einer spontanen Zündung besteht keine Vorwarnzeit innerhalb derer gewarnt werden könnte. Werden Kampfmittel gefunden die nicht detoniert sind wäre eine Warnung jedoch möglich. Dennoch kann die Frage Drei nicht bejaht werden und die Gefährdung ist als Kriterium ungeeignet.

3300 Gefahren und Anforderungen durch Terrorismus/Anschläge/Attentate/ Sabotage

Durch die Polizei Hamburg wurde eine Liste von Orten erstellt, die besonders gefährdet sind (siehe *Anhang 7 Liste der Orte hoher Personenfrequenz*). Damit konnte die Frage Eins bejaht werden. Die Liste ermöglichte es auch bestimmte Gebiete in der Stadt zu identifizieren die besonders exponiert sind, was es ermöglicht ein Kriterium aus der Gefährdung zu entwickeln. Jedoch konnte im Gespräch mit A44 nicht entschieden werden, ob der Einsatz von Sirenen in solchen Fällen sinnvoll ist. Da ein großer Einflussfaktor für die Aufnahme auf die Liste die Personenfrequenz an diesen Orten ist, wurde entschieden die Liste dennoch als Kriterium aufzunehmen da erwartet wurde hier eine große Anzahl an Menschen erreichen zu können. Die Liste wurde als Kriterium für die bevölkerungsbezogenen Ziele aufgenommen.

3400 Kriegshandlungen auf oder über deutschem Boden oder in Grenzgebieten benachbarter Staaten zu Deutschland

Der Autor verfügt über keine Expertise, die eine Beurteilung der Gefährdung ermöglicht. Die Gefährdung wurde A44 zur Entscheidung vorgelegt. Es wurde entschieden die Gefährdung auszusparen.

Anhang 5 Excel-Makro zur Aggregation

Das nachfolgende Makro wurde in Visual Basic for Applications (VBA) geschrieben und dient der Aggregation der Kriterienausprägungen:

```
Sub Outranking_Relationen()
```

```
,
```

```
' Outranking_Relationen Makro
```

```
,
```

```
'Gewicht der Kriterien
```

```
BevGew = Cells(2, 33).Value ' Bevölkerung
```

```
SchGew = Cells(3, 33).Value ' Anzahl Schüler
```

```
KitGew = Cells(4, 33).Value ' Anzahl Kitas
```

```
KraGew = Cells(5, 33).Value ' Anzahl Krankenhausbetten und Pflegeplätze
```

```
StuGew = Cells(7, 33).Value ' Quadratmeter Sturmflutgefährdetes Gebiet
```

```
BinGew = Cells(8, 33).Value ' Quadratmeter Binnenhochwassergefährdetes Gebiet
```

```
RadGew = Cells(14, 33).Value ' Quadratmeter die nur durch diesen Standort abgedeckt werden
```

```
GewGew = Cells(15, 33).Value ' Gebiete gewerblicher Nutzung in Quadratmeter
```

```
FlaGew = Cells(10, 33).Value ' Quadratmeter Grünfläche
```

```
SevGew = Cells(11, 33).Value ' Quadratmeter Störfallbetriebe
```

```
FeqGew = Cells(12, 33).Value ' Orte hohe Personenfrequenz
```

```
FluGew = Cells(6, 33).Value ' Anzahl Plätze in Flüchtlingsunterkünften
```

```
RegGew = Cells(8, 33).Value ' Quadratmeter Starkregengefährdete Gebiete
```

```
ZusGew = Cells(13, 33).Value ' Erwartete Zustimmung der Eigentümer
```

'Quellkoordinaten

MY = 2 ' Y-Koordinate des Minuend

SY = 2 ' Y-Koordinate des Subtrahent

'X-Koordinaten von Subtrahenten und Minuend

BevX = 6

SchX = 7

KitX = 8

KraX = 9

StuX = 10

BinX = 11

RadX = 12

GewX = 16

FlaX = 17

SevX = 18

FeqX = 19

FluX = 20

RegX = 21

ZusX = 22

'Zielkoordinaten

ZY = 130

ZX = 2

Do While MY < 127

SY = 2

ZY = 130

Do While SY < 127

'Berechnung der Differenz der Kriterienausprägungen zweier Alternativen

BevDif = 0

SchDif = 0

KitDif = 0

KraDif = 0

StuDif = 0

BinDif = 0

RadDif = 0

GewDif = 0

FlaDif = 0

SevDif = 0

FeqDif = 0

FluDif = 0

RegDif = 0

ZusDif = 0

BevDif = Cells(MY, BevX).Value - Cells(SY, BevX).Value

SchDif = Cells(MY, SchX).Value - Cells(SY, SchX).Value

KitDif = Cells(MY, KitX).Value - Cells(SY, KitX).Value

KraDif = Cells(MY, KraX).Value - Cells(SY, KraX).Value

StuDif = Cells(MY, StuX).Value - Cells(SY, StuX).Value

BinDif = Cells(MY, BinX).Value - Cells(SY, BinX).Value

RadDif = Cells(MY, RadX).Value - Cells(SY, RadX).Value

GewDif = Cells(MY, GewX).Value - Cells(SY, GewX).Value

FlaDif = Cells(MY, FlaX).Value - Cells(SY, FlaX).Value

SevDif = Cells(MY, SevX).Value - Cells(SY, SevX).Value

FeqDif = Cells(MY, FeqX).Value - Cells(SY, FeqX).Value

FluDif = Cells(MY, FluX).Value - Cells(SY, FluX).Value

RegDif = Cells(MY, RegX).Value - Cells(SY, RegX).Value

ZusDif = Cells(MY, ZusX).Value - Cells(SY, ZusX).Value

'Berechnung der Präferenz

BevPra = 0

SchPra = 0

KitPra = 0

KraPra = 0

StuPra = 0

BinPra = 0

RadPra = 0

GewPra = 0

FlaPra = 0

SevPra = 0

FeqPra = 0

FluPra = 0

RegPra = 0

ZusPra = 0

BevMax = 47826

SchMax = 9631

KitMax = 48

KraMax = 1378

StuMax = 3141592.654

BinMax = 654426

RadMax = 3141592.654

GewMax = 1855383

FlaMax = 1530958

SevMax = 1201924

FeqMax = 6

FluMax = 1201

RegMax = 2460252.654

ZusMax = 3

BevInd = 8160.446029

SchInd = 1414.749581

KitInd = 6.118854795

KraInd = 288.8291502

StuInd = 959526.4124

BinInd = 90700.11929

RadInd = 733267.1229

GewInd = 274210.8308

FlaInd = 268809.5679

SevInd = 189912.506

FeqInd = 0

FluInd = 187.2876096

RegInd = 293472.5882

ZusInd = 0

'Bevölkerung

If BevDif > BevInd Then BevPra = (1 / (BevMax - BevInd)) * (BevDif - BevInd)

'Schulen

If SchDif > SchInd Then SchPra = (1 / (SchMax - SchInd)) * (SchDif - SchInd)

'Kitas

If KitDif > KitInd Then KitPra = (1 / (KitMax - KitInd)) * (KitDif - KitInd)

'Krankenhäuser und Pflegeheime

If KraDif > KraInd Then KraPra = (1 / (KraMax - KraInd)) * (KraDif - KraInd)

'Sturmflut

If StuDif > StuInd Then StuPra = (1 / (StuMax - StuInd)) * (StuDif - StuInd)

'Binnenhochwasser

If BinDif > BinInd Then BinPra = (1 / (BinMax - BinInd)) * (BinDif - BinInd)

'Radenüberschneidung

If RadDif > RadInd Then RadPra = (1 / (RadMax - RadInd)) * (RadDif - RadInd)

'Büroflächen

If GewDif > GewInd Then GewPra = (1 / (GewMax - GewInd)) * (GewDif - GewInd)

'Flächenbrand

If FlaDif > FlaInd Then FlaPra = (1 / (FlaMax - FlaInd)) * (FlaDif - FlaInd)

'Seveso

If SevDif > SevInd Then SevPra = (1 / (SevMax - SevInd)) * (SevDif - SevInd)

'Orte hoher Personenfrequenz

If FeqDif > FeqInd Then FeqPra = (1 / (FeqMax - FeqInd)) * (FeqDif - FeqInd)

'Flüchtlingsunterkünfte

If FluDif > FluInd Then FluPra = (1 / (FluMax - FluInd)) * (FluDif - FluInd)

'Starkregen

If RegDif > RegInd Then RegPra = (1 / (RegMax - RegInd)) * (RegDif - RegInd)

'Zustimmung der Eigentümer

If ZusDif > ZusInd Then ZusPra = (1 / (ZusMax - ZusInd)) * (ZusDif - ZusInd)

Praferenz = 0

Praferenz = BevPra * BevGew + SchPra * SchGew + KitPra * KitGew + KraPra * KraGew +
StuPra * StuGew + BinPra * BinGew + RadPra * RadGew + GewPra * GewGew + FlaPra * FlaGew
+ SevPra * SevGew + FeqPra * FeqGew + FluPra * FluGew + RegPra * RegGew + ZusPra * ZusGew

Cells(ZY, ZX).Value = Praferenz

ZY = ZY + 1

SY = SY + 1

Loop

ZX = ZX + 1

MY = MY + 1

Loop

,

End Sub

Anhang 6 Liste der ermittelten Standorte

Nr.	ECN-Typ	Adresse	Bezirk	Radius
1	600		Altona	600
2	600		Altona	600
3	600		Altona	600
4	600		Altona	600
5	600		Altona	600
6	600		Altona	600
7	600		Altona	600
8	600		Altona	600
9	2400		Altona	1000
10	1200		Altona	800
11	2400		Eimsbüttel	1000
12	2100		Eimsbüttel	1000
13	1200		Eimsbüttel	800
14	600		Eimsbüttel	600
15	600		Eimsbüttel	600
16	2400		Eimsbüttel	1000
17	600		Altona	600
18	2100		Altona	1000
19	600		Altona	600
20	2100		Altona	1000
21	600		Altona	600
22	600		Altona	600
23	600		Hamburg-Nord	600
24	1200		Hamburg-Nord	800
25	1200		Hamburg-Nord	800
26	600		Wandsbek	600
27	1200		Wandsbek	800
28	600		Wandsbek	600
29	1200		Wandsbek	800
30	600		Wandsbek	600
31	1200		Wandsbek	800
32	600		Wandsbek	600
33	600		Wandsbek	600
34	600		Wandsbek	600
35	600		Wandsbek	600
36	600		Wandsbek	600
37	600		Wandsbek	600
38	600		Wandsbek	600
39	600		Wandsbek	600
40	2400		Wandsbek	1000
41	2100		Wandsbek	1000
42	2400		Wandsbek	1000
43	2100		Wandsbek	1000
44	1200		Hamburg-Nord	800
45	600		Hamburg-Nord	600
46	2400		Wandsbek	1000
47	600		Wandsbek	600
48	600		Hamburg-Nord	600
49	2100		Wandsbek	1000

50	2400		Wandsbek	1000
51	2400		Wandsbek	1000
52	2100		Wandsbek	1000
53	1200		Hamburg-Mitte	800
54	1200		Hamburg-Mitte	800
55	600		Hamburg-Mitte	600
56	2100		Bergedorf	1000
57	600		Bergedorf	600
58	1200		Bergedorf	800
59	2400		Bergedorf	1000
60	1200		Bergedorf	800
61	2400		Bergedorf	1000
62	600		Hamburg-Mitte	600
63	1200		Hamburg	800
64	2100		Hamburg	1000
65	600		Hamburg	600
66	600		Hamburg	600
67	1200		Hamburg	800
68	600		Hamburg	600
69	600		Hamburg	600
70	2400		Hamburg-Mitte	1000
71	2400		Hamburg-Mitte	1000
72	2400		Altona	1000
73	2400		Altona	1000
74	2400		Altona	1000
75	2400		Altona	1000
76	600		Altona	600
77	2100		Eimsbüttel	1000
78	2400		Wandsbek	1000
79	2100		Wandsbek	1000
80	2400		Wandsbek	1000
81	600		Wandsbek	600
82	1200		Bergedorf	800
83	600		Bergedorf	600
84	600		Bergedorf	600
85	2100		Hamburg	1000
86	2400		Altona	1000
87	600		Altona	600
88	2400		Altona	1000
89	2100		Altona	1000
90	2400		Altona	1000
91	1200		Eimsbüttel	800
92	2400		Eimsbüttel	1000
93	600		Hamburg-Nord	600
94	600		Hamburg-Nord	600
95	600		Hamburg-Nord	600
96	2400		Hamburg-Nord	1000
97	2400		Eimsbüttel	1000
98	2400		Eimsbüttel	1000
99	2400		Eimsbüttel	1000

100	2400		Eimsbüttel	1000
101	2400		Hamburg-Nord	1000
102	1200		Wandsbek	800
103	2400		Wandsbek	1000
104	2100		Wandsbek	1000
105	2400		Wandsbek	1000
106	2100		Wandsbek	1000
107	1200		Wandsbek	800
108	600		Wandsbek	600
109	600		Bergedorf	600
110	2100		Bergedorf	1000
111	2400		Bergedorf	1000
112	2100		Bergedorf	1000
113	2400		Bergedorf	1000
114	2100		Wandsbek	1000
115	2400		Bergedorf	1000
116	2400		Bergedorf	1000
117	2400		Bergedorf	1000
118	600		Bergedorf	600
119	600		Bergedorf	600
120	600		Bergedorf	600
121	600		Bergedorf	600
122	1200		Bergedorf	800
123	600		Hamburg-Mitte	600
124	600		Bergedorf	600
125	2400		Hamburg-Nord	1000

Anhang 8 Geschwärztes Ranking

Nummer im Ranking	Nummer der Alternative	Adresse	Bezirk
1	92		Eimsbüttel
2	71		Hamburg-Mitte
3	125		Hamburg-Nord
4	115		Bergedorf
5	117		Bergedorf
6	59		Bergedorf
7	16		Eimsbüttel
8	116		Bergedorf
9	61		Bergedorf
10	96		Hamburg-Nord
11	80		Wandsbek
12	91		Eimsbüttel
13	18		Altona
14	19		Wandsbek
15	44		Hamburg-Nord
16	113		Bergedorf
17	50		Wandsbek
18	101		Hamburg-Nord
19	52		Wandsbek
20	64		Harburg
21	17		Altona
22	102		Wandsbek
23	70		Hamburg-Mitte
24	112		Bergedorf
25	105		Wandsbek
26	11		Eimsbüttel
27	98		Eimsbüttel
28	31		Wandsbek
29	83		Bergedorf
30	114		Wandsbek
31	77		Eimsbüttel
32	106		Wandsbek
33	41		Wandsbek
34	72		Altona
35	79		Wandsbek
36	103		Wandsbek
37	25		Hamburg-Nord
38	43		Wandsbek
39	56		Bergedorf
40	110		Bergedorf
41	89		Altona
42	60		Bergedorf
43	86		Altona
44	99		Eimsbüttel
45	100		Eimsbüttel
46	75		Altona
47	122		Bergedorf
48	58		Bergedorf
49	40		Wandsbek

50	111	Bergedorf
51	90	Altona
52	71	Altona
53	97	Eimsbüttel
54	51	Wandsbek
55	15	Eimsbüttel
56	73	Altona
57	48	Hamburg-Nord
58	101	Wandsbek
59	67	Harburg
60	9	Altona
61	82	Bergedorf
62	121	Bergedorf
63	109	Bergedorf
64	12	Wandsbek
65	78	Wandsbek
66	27	Wandsbek
67	120	Bergedorf
68	12	Eimsbüttel
69	53	Hamburg-Mitte
70	108	Wandsbek
71	107	Wandsbek
72	123	Hamburg-Mitte
73	30	Wandsbek
74	20	Altona
75	94	Hamburg-Nord
76	63	Harburg
77	88	Altona
78	93	Hamburg-Nord
79	16	Wandsbek
80	13	Eimsbüttel
81	119	Bergedorf
82	95	Hamburg-Nord
83	21	Hamburg-Nord
84	121	Bergedorf
85	57	Bergedorf
86	33	Wandsbek
87	51	Hamburg-Mitte
88	10	Altona
89	60	Harburg
90	66	Harburg
91	45	Hamburg-Nord
92	84	Bergedorf
93	65	Harburg
94	23	Hamburg-Nord
95	29	Wandsbek
96	68	Harburg
97	118	Bergedorf
98	62	Hamburg-Mitte
99	14	Eimsbüttel

100	87	Altona
101	38	Wandsbek
102	36	Wandsbek
103	34	Wandsbek
104	19	Altona
105	81	Wandsbek
106	8	Altona
107	55	Hamburg-Mitte
108	1	Altona
109	85	Harburg
110	7	Altona
111	39	Wandsbek
112	1	Altona
113	5	Altona
114	22	Altona
115	28	Wandsbek
116	26	Wandsbek
117	37	Wandsbek
118	32	Wandsbek
119	35	Wandsbek
120	21	Altona
121	2	Altona
122	3	Altona
123	6	Altona
124	76	Altona
125	47	Wandsbek