



Geographisches
Institut

Ruhr Universität Bochum

Geographisches Institut

Analyse des Hochwasserereignisses 2021 in ausgewählten Ortschaften, die an den Deilbach grenzen.

Masterarbeit zur Erlangung des Grades Master of Science

Erstgutachter: Herr PD. Dr. Lutz Weihermüller

Zweitgutachterin: Frau Dr. Stefanie Heinze

Abgabedatum: 09.02.2025

Vorgelegt von:

Lucie Grieving

108017246598

Lucie.Grieving@ruhr-uni-bochum.de

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	2
Tabellenverzeichnis	3
Abkürzungsverzeichnis	4
1 Einleitung	5
2 Theoretischer Hintergrund	9
2.1 Hydrologische Faktoren & anthropogener Einfluss	9
2.2 Umweltbelastungen	17
3 Methodik	22
4 Ergebnisse und Diskussion	26
4.1 Untersuchungsgebiet	26
4.2 Kartenmaterial	28
4.2.1 Topographische Karten DTK 25	28
4.2.2 DGM-Schummerung	30
4.2.2 Landnutzungskarten	30
4.2.3 Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten	31
4.3 Qualitative Umfragen	33
5 Fazit	53
Quellenverzeichnis	57
Anhang	62
Eigenständigkeitserklärung	65

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Umweltauswirkungen durch Hochwasser (eigene Darstellung).	8
Abbildung 2: Niederschlag-Abflussmodell (Steinbrich et al. 2015).	10
Abbildung 3: Abflussganglinie mit Basis- und direkt Abfluss nach DIN 4049 (Patt & Jüpner 2020: 54).....	14
Abbildung 4: Schadstoffquellen (eigene Darstellung).	18
Abbildung 5: Methodisches Vorgehen (Bildquellen designed by freepik: www.freepik.de)(eigene Darstellung).	22
Abbildung 6: Verwendetes Kartenmaterial (eigene Darstellung).	23
Abbildung 8: Untersuchungsgebiet mit den 4 Teilgebieten (eigene Darstellung).	27
Abbildung 9: DTK25 von Kupferdreh und Bonsfeld & Nierenhof (eigene Darstellung).	29
Abbildung 10: DTK25 von Langenberg und Neviges (eigene Darstellung).	29
Abbildung 11: DGM der Standorte (eigene Darstellung).	30
Abbildung 12: Landnutzung der einzelnen Standorte (eigene Darstellung).	31
Abbildung 13: HWGKextrem von Kupferdreh (links) und Nierenhof & Bonsfeld (rechts) (verändert nach Flussgebiete.NRW).	32
Abbildung 14: HWGKextrem von Langenberg (links) und Neviges(rechts) (verändert nach Flussgebiete.NRW).	32
Abbildung 15: HWRKextrem von Kupferdreh (links) und Nierenhof & Bonsfeld (rechts) (verändert nach Flussgebiete.NRW).	33
Abbildung 16: HWRKextrem von Langenberg (links) und Neviges(rechts) (verändert nach Flussgebiete.NRW).	33
Abbildung 17: Schadensbereiche in der Industrie und Industrielle Produktionsausfälle (eigene Darstellungen). Anzahl der Befragten = 4.	35
Abbildung 18: Hochwasserschäden im Handel (eigene Darstellung). Anzahl der Befragten = 5.	37
Abbildung 19: Altersstruktur der befragten Anwohner (eigene Darstellung). Anzahl der Befragten = 29.	39
Abbildung 20: Hochwasserschäden und Schadstoffeinträge der Anwohner (eigene Darstellung). Anzahl der Befragten = 29.	40
Abbildung 21: Verunreinigung von Gewässern (eigene Darstellung). Anzahl der Befragten = 34.	42
Abbildung 22: Erosion und Sedimentation (eigene Darstellung). Anzahl der Befragten = 36.	43
Abbildung 23: Zerstörung von Lebensräumen (eigene Darstellung). Anzahl der Befragten = 35.	43
Abbildung 24: Ausfall der Verkehrs- und Versorgungsinfrastruktur (eigene Darstellung). Anzahl der Befragten = 37.	44
Abbildung 25: Allgemeine Maßnahmen (eigene Darstellung). Anzahl der Befragten = 25.	48
Abbildung 26: Unterstützungsmöglichkeiten für die Bevölkerung (eigene Darstellung). Anzahl der Befragten = 25.	49
Abbildung 27: Maßnahmen im Bereich Politik und Behörden (eigene Darstellung). Anzahl der Befragten = 24.	50
Abbildung 28: Anmerkungen und Vorschläge (eigene Darstellung). Anzahl der Befragten = 9.	51

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Globale Hochwasserereignisse im 21. Jahrhundert (eigene Darstellung).....	7
Tabelle 2: Auswahl gruppenübergreifender Fragestellungen (eigene Darstellung).....	24
Tabelle 3: Städtische Maßnahmenplanung für die Risikogewässer Hardenberger Bach und Deilbach (verändert nach MULNV 2021).....	46

Abkürzungsverzeichnis

BSB =	Biochemischer Sauerstoffbedarf
CSB =	Chemischer Sauerstoffbedarf
DGM =	Digitales Geländemodell
DTK25 =	Digitale Topografische Karte, Maßstab 1:25.000
f ₀ =	Anfangsinfiltrationsrate
f _c =	Endinfiltrationsrate
HOF =	Hortonischer Oberflächenabfluss
HQ =	Hochwasser mit einer bestimmten Wiederkehrperiode
HQ 100 =	Eintrittswahrscheinlichkeit alle 100 Jahre
HQextrem =	Eintrittswahrscheinlichkeit alle 1.000 Jahre
HWGK =	Hochwassergefahrenkarte
HWRK =	Hochwasserrisikokarte
INF =	Infiltration
K-Wert =	Konstante in Abhängigkeit vom Boden und der Landnutzung
MP =	Makroporen
POPs =	persistente organische Schadstoffe
PTBS =	posttraumatische Belastungsstörung
SFA =	Sättigungsflächenabfluss
THW =	Technisches Hilfswerk
TP =	Tiefenperkolation
UHI =	Urban Head Island
URI =	Urban Rain Island

1 Einleitung

Global ist die Zunahme von Naturkatastrophen aktuell ein wichtiges Thema, das nicht nur in der Wissenschaft, der Bevölkerung, sondern auch in der Politik stark diskutiert wird. Dabei geht es unter anderem um Naturkatastrophen wie Überschwemmungen, Stürme, Erdbeben, sowie Hitze- und Kältewellen, die die Menschen, die Umwelt, aber auch die regionale und nationale Wirtschaft belasten.

Nach Statista (2024) wird deutlich, dass global die Stürme seit 1980 bis 1999 den Großteil der Naturkatastrophen ausgemacht haben und ab dem 21. Jahrhundert von Überschwemmungen abgelöst wurden. Betrachtet man den Zeitpunkt ab 1980, zeigt sich, dass die Naturkatastrophen bis heute insgesamt in der Häufigkeit zugenommen haben. Überschwemmungen haben sich zum Beispiel seit 1980 mit einer Anzahl von 3.254 im Jahr 2019 mehr als verdoppelt und treten mittlerweile häufiger auf als Stürme, die mit einer Anzahl von 2.043 im gleichen Zeitraum folgen (Statista 2024).

In den Medien kam es in den letzten Jahren daher vermehrt zu Schlagzeilen, wie: „Bis zu 500 Liter Regen! - Nach Rekordbränden droht Griechenland ein Jahrhundert-Hochwasser“ (Schenk 2023), „Jahrhundert-Hochwasser in China: Mehr als 127 Millionen Menschen bedroht“ (Teichmanis 2024) oder „BRASIL: „Beispiellose Katastrophe!“ Schlimmstes Hochwasser seit 80 Jahren – Mindestens 39 Tote!“ (WELT-Nachrichtensender 2024) die die globale Problematik thematisieren.

Auch in Deutschland häufen sich Berichte über lokale und regionale Überflutungen und dessen Auswirkungen auf Menschen, Infrastruktur und die Umwelt. Zu den schlimmsten Hochwassern der letzten Jahre zählen das Elbehochwasser 2002 und das Hochwasser im Jahre 2021, welches besonders den Süden von Nordrhein-Westfalen und den nördlichen Teil von Rheinland-Pfalz getroffen hat (sogenanntes Ahr-Hochwasser). Beim Elbehochwasser 2002 kam es in der Bundesrepublik Deutschland zu Schäden im Wert von 8,9 Milliarden Euro (IKSE 2004: 57) und fast alle bundesdeutschen Anrainer der Elbe - Sachsen, Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein – waren betroffen. In Sachsen gab es im Gegensatz zu den anderen Bundesländern nicht nur Sachschäden, sondern auch 21 Todesopfer und 110 Menschen mit schweren Verletzungen wurden registriert (IKSE 2004:57f.). Während des sogenannten Ahr-Hochwassers 2021 kam es zu Sturzfluten, die durch extreme Niederschlagsmengen ausgelöst wurden. Bei Sturzfluten handelte es sich im Gegensatz zu Hochwasser in größeren Flussläufen oft um örtlich begrenzte Fluten induziert durch konvektive Niederschlagsereignisse. Ein Beispiel aus der näheren Vergangenheit ist die Sturzflut in Braunsbach 2016. Im Falle des Ahr-Hochwassers handelt es sich ebenfalls um eine Sturzflut, wobei in diesem Fall langanhaltende Niederschläge durch ein ‚festsitzendes‘ Tiefdruckgebiet im Westen Deutschlands zu dem Flutereignis führten (Brasseur et al. 2023: 123).

Ursache für das häufigere Auftreten von Fluten (Flusshochwässer und Sturzfluten) ist nicht nur der Klimawandel, sondern auch die historische Entwicklung von Flussstrukturen und ihren angrenzenden Gebieten. Darunter fallen unter anderem Entwaldung, Versiegelung, Entnahme von Hecken und Knicks und die Umwandlung von Grün- zu Ackerland. Brasseur et al. (2023) berichtet, dass die Veränderungen in den hydrologischen Prozessen besonders in den letzten 100 Jahren zugenommen haben, wobei der Fokus auf „Flussbegradigungen, Bau von Stauanlagen, Versiegelung und Landschaftswandel gelegt wurde“ (Brasseur et al. 2023: 111). Auch Lübken (2007) hat festgestellt, dass Überflutungen im 20. Jahrhundert größere Schäden aufweisen als vergleichbare Hochwasser in vorausgegangenen Perioden, da die Infrastrukturen an Flüssen immer mehr ausgebaut wurden und Industrie- und Gewerbegebiete, aber auch Siedlungen und Verkehrswege, wie Straßen und Brücken in unmittelbarer Fluss- oder Bachnähe errichtet wurden. Der Ursprung dieser Entwicklung liegt zum einen an dem „wechselseitigen Prozess von Urbanisierung, Bevölkerungswachstum und Industrialisierung auf der einen, und Regulierung der Flüsse auf der anderen Seite“ (Lübke 2007: 94). Flüsse wurden über die letzten 100 Jahre zu sogenannten „Wasserwegen“ ausgebaut, die die Anforderungen an modernen Schifffahrtsstraßen, Abwasserkanäle, Versorgungsarme oder der Energiegewinnung entsprechen sollten (Lübken 2007: 93ff.). Durch den Ausbau wurden mitunter die Fließstrecken verkürzt und natürliche Auenflächen abgeschnitten, wodurch der Abfluss gefördert und die Retention verringert wurde. Durch Versiegelung und veränderter Landnutzung im landwirtschaftlichen Sektor kann das Niederschlagswasser bei Starkregenereignissen nicht mehr infiltrieren und läuft oberflächlich ab. Als Konsequenz sammelt sich das Wasser an der Oberfläche (z.B. in Vorflutern, wie Bächen und Flüssen), wodurch Gebäude und andere Bauwerke von den Wassermassen getroffen werden können. Je größer die flächenmäßige Bebauung und der Bevölkerungszuwachs in direkter flussnähe, desto höher ist die Vulnerabilität vor Ort.

In Tabelle 1 sind exemplarisch zehn globale Hochwasserereignisse aufgelistet, die im 21. Jahrhundert aufgetreten sind, um die globale Wichtigkeit von Hochwasserereignissen darzustellen. Bei den aufgelisteten Katastrophen sind die wirtschaftlichen Schäden an der Infrastruktur und Wirtschaft, aber auch auf die örtliche Bevölkerung gravierend und oft sind größere Zahlen an menschlichen Opfern zu beklagen. Allerdings entstehen auch langfristige Auswirkungen auf die Umwelt und Gesellschaft, die in die Betrachtung der Schwere einer solchen Katastrophe einzuordnen sind. Generell sind die Schwere der Schäden und Opfer oft mit der „Intensität“ der medialen Berichterstattung korreliert, wobei auch kleinere Ereignisse lokal relativ größere Schäden verursachen können.

Tabelle 1: Globale Hochwasserereignisse im 21. Jahrhundert (eigene Darstellung). Quelle: Manandhar et al. (2023), Charrua et al. (2021), Mishra & Shah (2018), Stephens et al. (2020), Okamura et al. (2015), Grams et al. (2014), Loc et al. (2020), Akbar & Aldrich (2018), Baker (2014), Ulbrich et al. (2003).

Jahr	Ort	Beschreibung	Todesopfer	Schadenssumme (ca.) in Euro
2021	China, Provinz Henan	Henan-Überschwemmungen durch Starkregenereignisse mit Rekordniederschlägen	398	17 Mrd.
2019	Mosambik	Zyklon Idai führte zu extremen Regenfällen, Überschwemmungen und Landrutschen	Mehr als 600	3 Mrd.
2018	Indien	Kerala-Überschwemmungen durch Starkregenereignisse	Mehr als 440	3 Mrd.
2017	USA: Texas und Louisiana	Hurrikan Harvey führte zu extremen Regenfällen und Überschwemmungen	88	123 Mrd.
2015	Nepal	Gorkha Erdbeben löste Lawinen und Überschwemmungen aus	8.800	13 Mrd.
2013	Mitteleuropa	Hochwasser nach starkem Schneefall und anschließenden Regenfällen in mehreren Ländern	25	12 Mrd.
2011	Thailand	Überschwemmungen in Bangkok und anderen Städten durch Monsunregen und Sturmflut	813	45 Mrd.
2010	Pakistan	Extreme Monsunregenfälle führten zu Überschwemmungen in weiten Teilen des Landes	Mehr als 1.700	42 Mrd.
2005	USA, New Orleans	Hurrikan Katrina führte zu Sturmflut und Überschwemmungen	Mehr als 1.800	123 Mrd.
2002	Mitteleuropa	Donau-Hochwasser durch Starkregenereignisse in mehreren Ländern	100	15 Mrd. €

Wie lange einzelne Regionen mit den Schäden von Hochwasserereignissen zu kämpfen haben, soll im Folgenden am Beispiel des Ahr-Hochwassers 2021 erläutert werden. Der geschätzte Sachschaden in Nordrhein-Westfalen durch das Ahr-Hochwasser wird mit

12,3 Milliarden Euro beziffert und 180 Menschen kamen während der Fluten ums Leben, wobei weitere 800 Menschen verletzt wurden (BMEL 2022: 3f.).

Zwei Jahre nach der Katastrophe an der Ahr kann man Fortschritte beim Wiederaufbau durch sanierte Hotels, Weingüter und Restaurants sehen, jedoch wird noch mit weiteren Jahren für die schwer betroffenen Regionen gerechnet, um die Schäden zu beseitigen. Genaue Zeitangaben lassen sich dabei schwer festlegen. Vorübergehende Grenzen der Behinderungen beim Wiederaufbau können unter anderem durch fehlende finanzielle Mittel und eine Neustrukturierung in der Stadtplanung erfolgen. Bei dem letzteren gilt es unter anderem den Disput um einen Siedlungsrückzug und um Denkmalschutz zu klären (bpb 2023).

Generell werden die Auswirkungen von Flutkatastrophen durch Schäden in der Landschaft aber auch durch materielle Schäden und der Gefahr für Lebewesen und Menschen deutlich. Dies soll in Abbildung 1 skizziert werden, die einen Eindruck über mögliche Umweltauswirkungen und Schäden durch ein Hochwasserereignis darstellt.

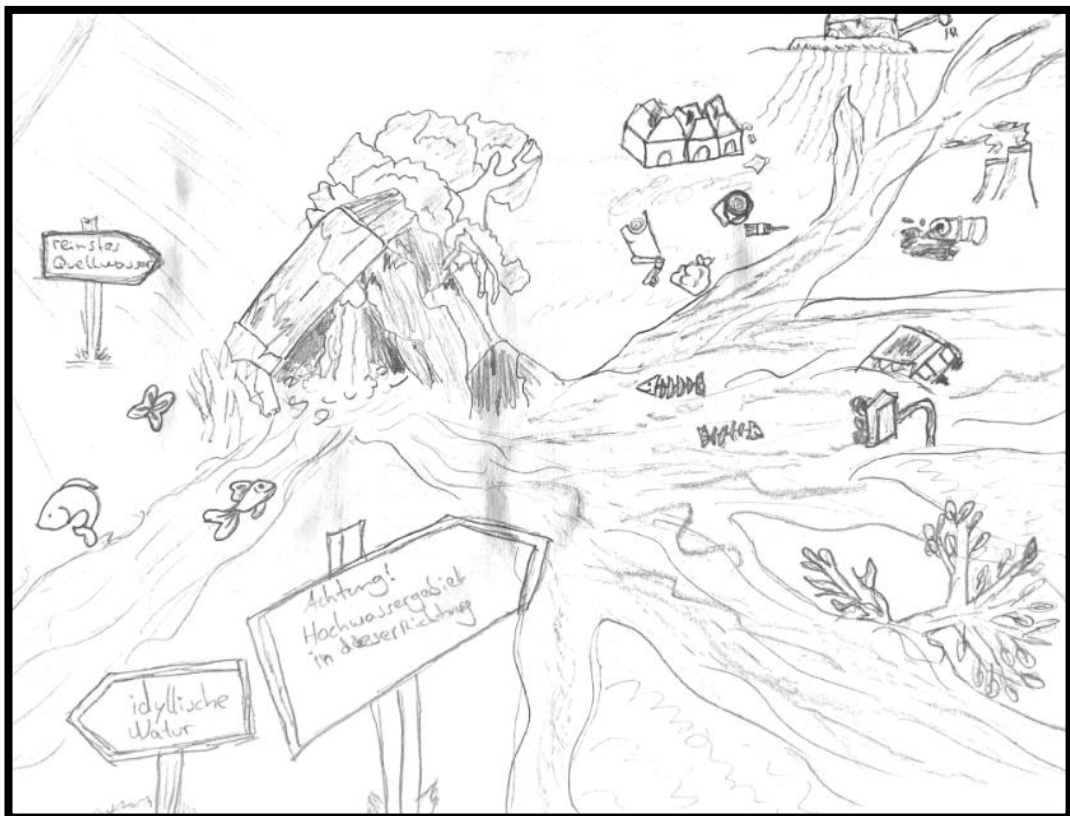


Abbildung 1: Umweltauswirkungen durch Hochwasser (eigene Darstellung).

Wie man in Abbildung 1 erkennen kann, sind die auftretenden Probleme, die auf die Umwelt einwirken und bei einem Hochwasser entstehen divers. Ein wesentlicher Aspekt hinsichtlich der Umwelteinwirkungen ist die Verunreinigung des Gewässers und sekundär der überfluteten Flächen. Aufgrund der großen Überflutungsfläche kann es dazu kommen, dass Einträge aus Haushalten, Industrien und Landwirtschaft die oft Schad-

stoffe enthalten, in die Umwelt eingetragen werden. Der Schadstoffgehalt des Gewässers steigt dadurch und führt kurzfristig zu einer Verschlechterung der Wasserqualität (Müller 1998: 246f.). Auch können die Schadstoffe über das gesamte Überflutungsgebiet verteilt werden und lagern sich dort z.B. in den zurückbleibenden Sedimenten ab. Zusätzlich können gelöste Substanzen oder Fäkalkeime sowohl die Umwelt als auch die menschliche Gesundheit beeinträchtigen. Neben den direkten Folgen ist ein weiterer Aspekt nicht zu vernachlässigen, nämlich die der psychischen Gesundheit, da durch ein miterlebtes Hochwasser nicht nur körperliche, sondern auch psychische Schäden verursacht werden können. Dieser psychische Aspekt wird jedoch in dieser Arbeit nicht weiter berücksichtigt, da er schwer zu erfassen ist und oft auch erst mit zum Teil langer zeitlicher Verzögerung auftritt.

Ziel dieser Arbeit ist es, einen Überblick über die Auswirkungen des Hochwasserereignis 2021 in den betroffenen Gebieten am Deilbach in Velbert zu geben, wobei die Auswirkungen auf Menschen, Infrastruktur und Umwelt durch strukturierte Fragebögen erfasst werden sollte. Die Fragebögen sollen des Weiteren helfen zu klären inwieweit die einzelnen betroffenen (private Haushalte, Industrie und Gewerbe, Landwirte) sich vor möglichen zukünftigen Hochwässern schützen können.

Die Forschungsfrage zu dem Thema lautet: „Wie können Umweltbelastungen durch Hochwasser in den betroffenen Städten mithilfe von einer Befragungsstudie erfasst und bewertet werden, um die bestehenden Maßnahmenpläne zu optimieren und zukünftige Hochwasserschäden zu minimieren?“

Daraus ergeben sich folgende zu betrachtenden Fragestellungen:

1. Welchen Einfluss haben Bewertungsansätze, die sowohl direkte als auch indirekte Umweltbelastungen berücksichtigen auf die Effektivität von Hochwasserschutzmaßnahmen?
2. Welche Bedeutung hat die Einbeziehung von betroffenen Personen und die Berücksichtigung von sozialen und ökonomischen Faktoren auf die Entwicklung nachhaltiger Hochwasserschutzkonzepte?

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Hydrologische Faktoren & anthropogener Einfluss

Neben den meteorologischen Bedingungen (Niederschlägen) spielen die hydrologischen Faktoren eine zentrale Rolle bei der Entstehung und Entwicklung von Hochwasserereignissen, da sie den Abfluss und das Verhalten des Wassers in einem Einzugsgebiet beeinflussen. Veränderungen der Landschaft, Landnutzung und Vegetation haben

Meteorologische Ursachen für Hochwasser sind unter anderem Stürme, Schneeschmelze und Sturzfluten durch intensive Regenfälle. In Küstenregionen können auch Sturmfluten entstehen, die jedoch andere Ursachen als klassische Flusshochwässer haben. Besonders Regenüberschwemmungen, die durch langanhaltende Niederschläge, wie sie oft bei Stürmen auftreten, stellen ebenfalls ein erhebliches Hochwasserrisiko dar. Neben dem Niederschlag ist die Evapotranspiration ein weiterer wichtiger Parameter, der von der Bodenbeschaffenheit abhängt. Je nach Bodenart wird das Wasser durch Evapotranspiration unterschiedlich schnell wieder an die Atmosphäre abgegeben (Bradzil 2006: 753; Liu & Smedt 2005: 615f.).

Niederschlag

intensiv moderat

kurz lang

Interzeption

SFA

MP-INF

HOA

TP

Matrix-ZA

Fluss

Grundwasser

Hortonscher Oberflächenabfluss

Matrix Infiltration

Interaktion

Makroporenabfluss $\theta(t)$

Tiefenperkolation

HOA Hortonscher Oberflächenabfluss
SFA Sättigungsflächenabfluss
ZA Zwischenabfluss
INF Infiltration
TP Tiefenperkolation
MP Makroporen

Die Oberflächenabflussprozesse lassen sich in zwei verschiedene Mechanismen unterteilen, zum einen nach Horton und zum anderen nach Dunne. Der Hortonische Oberflä-

chenabfluss (HOF) beschreibt den Landoberflächenabfluss, der entsteht, wenn die Niederschlagsmenge größer als die Infiltrationskapazität des Bodens ist. Dabei kann ein Teil des Niederschlagswassers nicht mehr in das Bodenprofil eindringen und sammelt sich an der Bodenoberfläche, wo es schließlich abfließt. Mit Einsetzen des Niederschlags auf den ungesättigten Boden wird dieser durch die Infiltration (INF) des Niederschlags langsam aufgesättigt, wodurch die Druckhöhe an der Oberfläche zunimmt und es zu einer Abnahme des hydraulischen Gradienten und somit der Infiltrationskapazität kommt. Ist die maximale Infiltrationskapazität erreicht fließt das überschüssige Wasser oberflächlich ab (run-off). Beim Oberflächenabfluss nach Dunne handelt es sich um den Sättigungsflächenabfluss (SFA), der durch Ansteigen des Grundwasserspiegels entsteht und somit den Boden von unten aufsättigt. SFA entsteht und Niederschlagswasser kann wie beim HOF nicht mehr in den Boden infiltrieren. Der HOF tritt meistens in Gebieten mit geringer Bodenpermeabilität (hydraulische Leitfähigkeit) auf, in der das Wasser kaum infiltrieren kann und der SFA in Gebieten, wo feuchte Landflächen und variable Quellen vorzufinden sind (z.B. Niederungen, Auen)(Loague et al. 2010: 2499).

Liang und Xie (2001) berücksichtigen für Modellierungen beide Oberflächenabflüsse, sowie die räumliche Variabilität der Bodenheterogenität. Diese Bodenheterogenität ist gekennzeichnet durch die Startwassergehälter. Heterogenität wurde auch in der Topografie und den Niederschlägen berücksichtigt. Anhand geeigneter Infiltrationsformeln (hier nach Phillip) kann der Oberflächenabfluss berechnet werden, der die zwei Oberflächenabflussmechanismen und die Bodenheterogenität berücksichtigt, um eine genauere Abbildung des Land-Atmosphären-Systems schaffen zu können (Zhenghui et al. 2003: 165). Dies ist auch wichtig für das Verständnis des regionalen atmosphärischen Wasser- und Energiehaushalts. Trennt man den HOF, den SFA und die Bodenheterogenität voneinander, können Fehler die durch den Startwassergehalt entstehen und die Einschätzung des Oberflächenabflusses (Über- und Unterschätzung) betreffen, differenziert werden (Zhenghui et al. 2003: 165).

Der Zwischenabfluss, auch Hangwasser genannt, erfolgt in den oberen Bodenschichten. Das Niederschlagswasser infiltriert zunächst in den Boden, wird jedoch durch eine undurchlässige Schicht (oder Schicht mit geringer hydraulischer Leitfähigkeit) an der weiteren Perkolation in die Tiefe gehindert und fließt stattdessen lateral ab. Dieser Prozess tritt typischerweise verzögert nach dem Niederschlag auf. Zudem gibt es den Grundwasserabfluss, bei dem das Niederschlagswasser tief in den Boden (oder die ungesättigte Zone) eindringt und den Grundwasserspeicher erreicht. Dort wird es über einen längeren Zeitraum gespeichert und langsam an Oberflächengewässer abgegeben, was für einen kontinuierlichen Wasserzufluss auch nach der Beendigung des Niederschlagsereignisses sorgt (Akkermann 2004: 17f.).

Ein wesentlicher Faktor bei der Verteilung des oberflächennahen Wassers spielt die Vegetation und die Interzeption. Die Interzeption ist eine Größe, die durch die Differenz des Niederschlags und des Durchschlags ermittelt wird und somit den abgefangenen (gespeicherten) Niederschlag beschreibt, der sich an Pflanzenoberflächen sammelt und verdunstet werden kann. Sie stellt damit eine wesentliche Rolle in der Gesamtverdunstung dar, da das Interzeptionswasser nicht bis zur Bodenoberfläche gelangt und somit nicht für die weiteren unterirdischen Abflussprozesse zur Verfügung steht (Savenije 2004). Je nach äußeren Einflussfaktoren wie Vegetation, Wind und Niederschlagsintensität kann die Interzeption unterschiedlich hoch ausfallen und unter anderem den Erosionsschutz und das Mikroklima verbessern. Die Vegetation kann zum einem durch Wurzelwasseraufnahme die Tiefenperkolation (TP) reduzieren oder sogar stoppen und zum anderen die Tiefenperkolation erleichtern, wenn wurzelinduzierte Makroporen (MP) vorhanden sind und das Wasser entlang dieser Poren schnell in die Tiefe abgeleitet werden kann. Der Einfluss der Vegetation ist dabei abhängig vom Klima, Boden- und Vegetationsmerkmalen, sowie von der Häufigkeit und Dauer der Niederschläge, sowie dessen Einfluss auf die Makroporen. Wie bereits diskutiert ermöglichen MP eine schnelle Tiefenperkolation und somit die Geschwindigkeit des Wassers sich in die Tiefe zu verlagern. Dabei hängt die Verlagerungsgeschwindigkeit von der MP Dichte und Tiefe und dessen hydraulischer Leitfähigkeit ab (Guan et al. 2010: 1095f.).

Das Infiltrationsmodell nach Horton beschreibt den zeitlichen Verlauf der Infiltration im Boden. Wie hoch die einzelnen Infiltrationsraten sind, ist abhängig von der gesättigten hydraulischen Leitfähigkeit, dem sogenannten K -Wert, der eine Konstante in Abhängigkeit vom Boden und der Landnutzung ist. Je höher der K -Wert, desto höher ist die Infiltrationsrate. Zum Beispiel weisen unbedeckte Böden mit einsetzender Verschlämmung einen niedrigen K -Wert auf als Böden die mit Pflanzen bewachsen sind (siehe oben). Des Weiteren sind die Anfangsinfiltrationsrate (f_0) und Endinfiltrationsrate (f_c) wichtig, die durch den Boden und die Landnutzung gekennzeichnet sind. Die Anfangsinfiltrationsrate variiert je nach Anfangsbodenfeuchte. Bei sandigen und kiesigen Böden, sowie vegetationsreichen Böden sind die Werte f_0 und f_c im Vergleich zu beispielsweise lehmigen Böden höher (Patt & Jüpner 2020: 46ff.).

Anhand der Bodentextur, die den prozentualen Anteil von Sand, Schluff und Lehm im Boden wiedergeben, kann bereits grob auf die Infiltrationskapazität geschlossen werden. Dabei sind die Porengrößen der einzelnen Materialien zu betrachten, durch die das Wasser unterschiedlich schnell in den Boden infiltrieren kann. Große Poren, die bevorzugt in sandigen Böden vorzufinden sind, begünstigen den Wasserfluss, wohingegen kleinere Poren von lehmigen Böden den Wasserfluss reduzieren. Eine Besonderheit bei tonhaltigen Böden ist deren Schrumpfung durch Trockenheit, die die Infiltrationsrate im Vergleich zu nassen Böden steigern kann. Grund für die schnellere Infiltration bei trockenen

Böden sind Poren und Risse, sowie die fehlende Verdichtung, die durch gesättigte Böden, zum Beispiel durch eine dichte Tonschicht entstehen können. Auch ein hoher Anteil an organischer Substanz steigert die Wahrscheinlichkeit von Bodenlebewesen wie Regenwürmer, die sowohl den Porenraum Vergrößern als auch Makroporen generieren können und Bodenschichten mit unterschiedlichen hydraulischen Leitfähigkeiten miteinander verbinden (U.S. Department of Agriculture 2014: 1ff.).

Überschwemmungsgebiete und Hochwasserrisiken entstehen besonders in Regionen in denen gesellschaftliche Veränderungen zu strukturellen Umgestaltungen der Landschaft geführt haben. Ein wichtiger Faktor ist dabei die Landmorphologie, die die hydrologischen Eigenschaften eines Einzugsgebietes maßgeblich beeinflusst. Dazu zählt der Oberflächenabfluss, der Sedimenttransport und lokale klimatische Bedingungen. Besonders durch anthropogene Eingriffe wie die Bodenversiegelung, kommt es zu weitreichenden Veränderungen in der Landschaftsdynamik, was wiederum Bodendegradation und lokal auch zu Wassermangel führen kann. Versiegelte Flächen verringern die Infiltrationsrate sowie die Wasserspeicherkapazität, was zu einer stärkeren Ansammlung von Oberflächenwasser führt. Im Vergleich zu naturnahen Flächen mit hoher Infiltrationskapazität kann das Wasser nicht in den Boden aufgenommen werden und führt so zu schnellerem Abfluss und steigendem Hochwasserspiegel. Gleichzeitig nimmt die Bodenerosion zu, was zur Verschmutzung von Oberflächengewässern beiträgt und die Flussbetten durch abgelagerte Sedimente weiter verengen kann (Cunha et al. 2006: 172f.).

In der Landschaft gibt es auch konkave und konvexe Flächen, die in der Hydrologie eine wichtige Rolle spielen. Konkave Flächen, wie Täler oder Mulden, sind oft durch nährstoffreiche Böden, Ufervegetation und die Ansammlung von Oberflächenwasser gekennzeichnet. Der Verlust solcher Flächen führt zu einer Abnahme der Wasserspeicherkapazität und erhöht die Abflussgeschwindigkeit, wodurch das Risiko von Sturzfluten steigt. Konvexe Flächen, die oft in höheren Hanglagen vorkommen, weisen zumeist eine geringere Bodenfeuchte auf und fördern eine schnellere Wasserabfuhr, was die Bodenerosion verstärkt (Cunha et al. 2006: 174; Nguyen et al. 2020: 116).

Die Abflussbildung ist somit von den Faktoren Dauer und Intensität des Niederschlags, aktueller Bodenfeuchte (auch Vorfeuchte genannt), Vegetation und Boden abhängig. Der Faktor Boden setzt sich dabei aus Bodenart, Bodengefüge und Bodenaufbau zusammen. Wie die Abflussbildung grundsätzlich verläuft, wird durch die Abflussganglinie mit Basis- und Direktabfluss in Abbildung 3 deutlich. Oberflächen- und Zwischenabfluss bilden dabei zusammen den Direktabfluss, der den Hochwasserscheitel bei Hochwasser ausbildet. Die in der Abbildung 3 eingezeichnete Hochwasserganglinie wird durch die Gebietseigenschaften beeinflusst und passt sich dadurch mit ihrer Form an. Dabei ist die Abflussbildung durch Bodeneigenschaften und Bodenbedeckung gekennzeichnet. Die Abflusskonzentration, die die Fließzeit und das Rückhaltevermögen berücksichtigt,

wird durch Geländegefälle, Topografie und Bewuchs bestimmt. Im Gerinne müssen zur Ermittlung der Wellenform, Haupt- und Nebenflüsse, Ausweichflächen wie angrenzende Auen, Sohlgefälle und technische Maßnahmen beispielsweise Eindeichungen betrachtet werden (Patt & Jüpner 2020: 26f.).

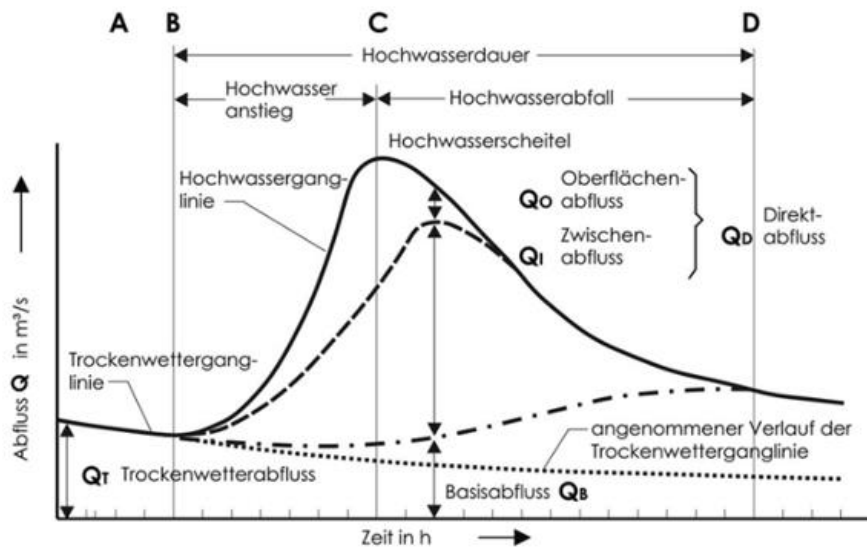


Abbildung 3: Abflussganglinie mit Basis- und direkt Abfluss nach DIN 4049 (Patt & Jüpner 2020: 54).

In urbanen Gebieten beeinflusst die Struktur der Oberfläche, abhängig von der Nutzung, den Wasserhaushalt. Während grüne Infrastrukturen, die durch Vegetation gekennzeichnet sind, das Wasser effektiv speichern können, verstärken versiegelte Flächen den Oberflächenabfluss. Je dichter die Bebauung und je höher der Anteil versiegelter Flächen, desto größer ist folglich das Hochwasserrisiko in einem Gebiet (Lin et al. 2020: 4).

Die Urbanisierung und die durch den Klimawandel verursachten Veränderungen in der Niederschlagsverteilung beeinflussen den Wasserhaushalt und den Schweregrad von Hochwasserereignissen erheblich. Diese lassen sich auch durch Pegelaufzeichnungen feststellen (Sebastian et al 2019: 1). Sebastian et al (2019) hat sich mit der Wechselwirkung des Klimawandels und der Urbanisierung auf Hochwasserereignisse auseinandergesetzt. Festgestellt wurde, dass durch den Klimawandel der Scheitelpunkt der Hochwasserganglinie erhöht wird, aber der Verlauf der Kurve ähnlich bleibt. Bei der Urbanisierung hat sich dagegen die Form der Ganglinie verändert, wobei eine schnellere Anstiegszeit, die durch den steilen Anstieg bis zur Scheitelhöhe definiert wird, festgestellt wurde. Der Hochwasserscheitel wird ebenfalls durch die Versiegelung deutlich erhöht (Sebastian et al. 2019: 6).

Eine Besonderheit der Urbanisierung ist die Entstehung von urbanen Phänomenen wie die urbanen Wärmeinseln (Urban Heat Island, UHI) oder die urbanen Regeninseln (Urban Rain Island, URI). Die UHI entstehen in Städten durch großflächige Versiegelung

und sorgen dafür, dass die Lufttemperaturen im Vergleich zum Umland deutlich höher ausfallen. Grund dafür sind das hohe Absorptions- und Speichervermögen von Wärme der versiegelten Flächen wie Straßen aber auch Gebäude. Des Weiteren entstehen in Städten UHI Effekte, die dafür verantwortlich sind, dass mit zunehmender städtischer Dichte die Niederschlagsmenge zunimmt. Wärmeemissionen und die Konzentration von Kondensationskernen sind dort besonders hoch und bilden die Grundlage für die Entstehung von Niederschlägen. Dies wird am Beispiel von Klimaanlage in Gebäuden deutlich. Sie fördern die Wärmeabgabe, wobei warme Luft aufsteigt und sich in der Atmosphäre staut, wodurch sich Regenwolken formieren und letztendlich Niederschlag gebildet wird. Insgesamt kann es dadurch zur Erhöhung der Häufigkeit, Dauer und Intensität von Starkregenereignissen in stark urbanisierten (und versiegelten) Regionen kommen. Dabei ist zu beachten, dass dieser Effekt in der Regel im Sommer auftritt (Lin et al. 2020: 5ff.).

Zusammenfassend kann man sagen, dass Urbanisierung und die damit einhergehende Versiegelung zu einem Verlust der Anpassungsfähigkeit im Einzugsgebiet führt und die Bewältigung der Zunahme von extremen Niederschlägen aufgrund des Klimawandels erschwert. Belastung der Abwassersysteme, erhöhter Oberflächenabfluss und Spitzenabflüsse können somit in kürzester Zeit entstehen.

Beispiele für anthropogene Eingriffe in der Landschaft die Hochwasserereignisse verändern ist die Po-Ebene in Italien und die Moldau in Tschechien. In der Po-Ebene in Italien wurden Berghänge gerodet, um neue landwirtschaftliche Flächen zu erschließen, was eine intensivere Ausprägung von Hochwasserereignissen zur Folge hatte. Erhöhte Sedimentfracht wurde ins Tiefland transportiert, die zur Verlandung der Flusssohle und einem erhöhten Überschwemmungsrisiko in den Auengebieten führte (Bradzil 2006: 749ff.). Die Moldau ist ein Beispiel für die Regulierung von Flüssen, bei denen Flussmäander beseitigt und Wasserläufe begradigt werden. Folglich kommt es zu einer Erhöhung der Abflusskapazität und Strömungsgeschwindigkeit, dass das Hochwasserrisiko verstärkt. Weitere negative Folgen solcher Eingriffe sind der Anstieg des Wasserspiegels, die Verringerung des Gefälles und die Ansammlung von Treibgut, die den Abfluss zusätzlich behindern (Bradzil 2006: 749ff.).

In der EU-Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie 2007/60/EG wird die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken, die zur Verringerung von negativen Auswirkungen wie die menschliche Gesundheit, Umwelt, wirtschaftliche Tätigkeiten und das Kulturerbe beitragen soll, beschrieben. Dabei sollen aufgrund der unterschiedlichen lokalen und regionalen Gegebenheiten, die Maßnahmen zur Risikominderung innerhalb eines Einzugsgebiets koordiniert werden. Die Bewertung erfolgt hierbei anhand der Topografie, Lage von Wasserläufen und ihrer allgemeinen hydrologischen und geomorpho-

logischen Merkmale, sowie durch Retentionsflächen. Zur Verringerung der Auswirkungen von Hochwasserereignissen und zur Verbesserung des Zustandes hin zu einem guten ökologischen und chemischen Gewässer, soll ein Ordnungsrahmen in der Wasserpoltik durch Bewirtschaftungspläne für die Einzugsgebiete aller Flussgebietseinheiten geschaffen werden. Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten, die negative Folgen von Hochwasserszenarien, sowie potenzielle Quellen der Verschmutzung aufzeigen, werden als Grundlage für Bewertung und Priorisierung von technischen, politischen und finanziellen Entscheidungen hinzugezogen. Dabei werden die Überflutungsszenarien nach Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Hochwassers wie folgt unterteilt: Niedrige Wahrscheinlichkeit (z.B. Extremereignisse), mittlere Wahrscheinlichkeit (wiederkehrende Ereignisse ca. alle 100 Jahre) und hohe Wahrscheinlichkeit. Des Weiteren sollen Hochwasserrisikomanagementpläne, deren Fokus auf Hochwasservermeidung, -schutz und -vorsorge liegen und Hochwasservorhersagen, sowie Frühwarnsysteme zur Verringerung der negativen Auswirkungen beitragen. Zentrale Maßnahmen sind beispielsweise Unterstützung nachhaltiger Flächennutzungsmethoden, Verbesserung des Wasserrückhalts, kontrollierte Überflutungen bei Hochwasser und Erhalt bzw. Wiederherstellung von Überschwemmungsgebieten (BMUV 2007: 27f.).

Einzelne Gegenmaßnahmen wie die Errichtung von Retentionsbecken, Stauseen und Anpassung von Kanälen für die Verbesserung des regionalen Hochwasserschutzes sind oft nicht mehr ausreichend und müssen durch weitere Maßnahmen begleitet werden. Zur Minimierung des Hochwasserrisikos sind diese Maßnahmen ungeachtet dessen ein erster Schritt, der durch weitere Maßnahmen begleitet werden muss. Bei zukünftigen Planungen sollten Aspekte wie die Wiederherstellung von Überschwemmungsgebieten, landwirtschaftliche Bewirtschaftungspraktiken und Ansiedlungen menschlicher Aktivitäten je nach ökologischer Eignung berücksichtigt werden. Verringerung der Bebauungsdichte, Reduzierung der Verbindung und Verdichtung von bebautem Land und Verlangsamung des Tempos der Urbanisierung, können ebenfalls das Risiko reduzieren und zum Hochwasserschutz beitragen. Um das Ziel einer Resilienz Steigerung im Einzugsgebiet zu schaffen ist es wichtig Vorhersagen zu betrachten und mögliche Pläne wie die Verbesserung des städtischen Entwässerungssystems in Angriff zu nehmen (Sebastian et al. 2019: 8; Cunha et al. 2017: 172; Lin et al 2020:6).

Es gibt verschiedene Ansätze in Form von Konzepten und Modellen, die sich mit der Vorhersage und Bewertung von Hochwasserrisiken beschäftigen. Modelle sind generell ein wichtiges Werkzeug für Hochwasserprognosen und für städte- und gewässerbauliche Planungen. Ein Ansatz ist das Land Morphologie Konzept, das in Cunha et al. (2017) beschrieben wird. Dabei wird die morphologische Struktur in Bezug auf hydrologische und geomorphologische Merkmale untersucht. Anhand dieses Konzeptes lassen sich

das Verhalten von Wasserflüssen und die Verteilung von Sedimenten berechnen, um die Dynamik des Hochwassers besser erfassen zu können (Cunha et al. 2017: 173). Ein zweites Beispiel ist das WetSpa-Modell, das in Liu und Smedt (2005) angewendet wurde. Das WetSpa-Modell ist ein hydrologisches Modell, das mithilfe von räumlich verteilten Daten von Topografie, Boden und Landnutzung versucht die Hochwasserbildung zu simulieren (Liu & Smedt 2005: 606f.). Allgemein kann die Anwendung solcher Konzepte und Modelle helfen die fluvialen Prozesse in den Einzugsgebieten besser zu verstehen und geeignete Maßnahmen zur Reduzierung des Hochwasserrisikos zu planen und durchzuführen.

Neben der modelltechnischen Abbildung der Räume (Einzugsgebiete) spielen auch moderne städtebauliche Konzepte eine Rolle um Hochwasser zu minimieren. Eine Maßnahme zum Hochwasserschutz stellt dabei das Konzept der Schwammstadt dar, die auch unter dem Begriff *Sponge City* bekannt ist. In diesem Konzept wird der Fokus auf urbane Wasserressourcen, ökologisches Wassermanagement, grüne Infrastrukturen und wasserdurchlässige Straßenbeläge gelegt. Ziel des Konzepts ist die Verbesserung der Wasserqualität, sowie die Verringerung des Wasserabflusses und der Treibhausgasemissionen. Umgesetzt werden soll es unter anderem durch die Schaffung von begrünten Dächern, Grünflächen, künstlichen Regenwassersümpfen, Versickerungsteichen und wasserdurchlässigen Pflasterungen. Konzepte wie diese sind wichtig um die derzeitige Stadtentwicklung vor dem Hintergrund des Klimawandels und der massiven Urbanisierung gesünder, widerstandsfähiger und nachhaltiger zu gestalten (Nguyen et al. 2019: 147f.).

2.2 Umweltbelastungen

Nach der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG) ist „jeder Stoff, der zu einer Wasserverschmutzung führen kann“ (EUR-Lex. 2000) ein Schadstoff. Verschmutzungen entstehen durch direkten oder indirekten anthropogenen Einfluss und Schaden unter anderem der menschlichen Gesundheit, sowie der Qualität aquatischer Ökosysteme und Landökosystemen (EUR-Lex. 2000).

Es lassen sich zwei Arten von Verschmutzungen unterscheiden. Zum einen die zufällige Verschmutzung, die punktuell und großflächig entsteht und die chronische Verschmutzung, die eine dauerhafte Freisetzung von Schadstoffen aufweist. Allgemein werden Schadstoffe in gelöste und ungelöste Substanzen unterteilt. Gelöste Schadstoffe können dabei organisch und anorganisch sein. Organische Schadstoffe können Verbindungen mit anderen Elementen wie beispielsweise Sauerstoff eingehen und zu sauerstoffzehrenden Verunreinigungen führen. Anorganische Schadstoffe sind biologisch nicht abbaubar und können beispielsweise hohe Metallkonzentrationen verursachen, die vor allem mit organischen Verbindungen giftig sein können. Bei den ungelösten Schadstoffen

handelt es sich um ausgefällte Substanzen wie unter anderem Schwebstoffe, schwimmende Stoffe, Öle und Fette. Sie gelangen durch Oberflächenabflüsse und städtische Abwassersysteme ins Wasser und richten dort Schaden an. Schwebstoffe können zum Beispiel das Pflanzenwachstum beeinträchtigen, da sie die Sonneneinstrahlung und somit die Photosynthese im Wasser beeinträchtigen (Breida et al. 2020).

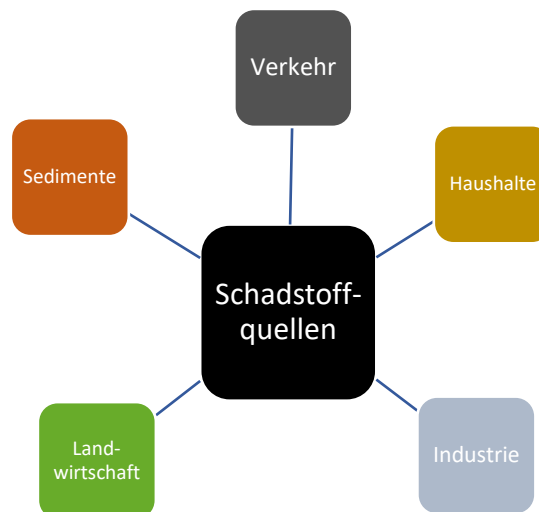


Abbildung 4: Schadstoffquellen (eigene Darstellung).

Hochwasserereignisse können Schadstoffe freisetzen, die zu Umweltbelastungen führen können. Es gibt verschiedene Schadstoffquellen, die den Eintrag in die Umwelt fördern und in Abbildung 4 in einzelne Hauptkategorien eingeteilt wurden. Die Schadstoffquellen finden sich oft in städtischer Umgebung wieder und sind unter anderem durch städtisches Abwasser, Abfluss von Dächern und Abflussrohren sowie von Trockenablagern charakterisiert. Besonders städtische, landwirtschaftliche und industrielle Aktivitäten führen aufgrund ihrer Zunahme zu größeren Abwassermengen. Durch menschliche Aktivitäten werden eine Vielzahl von Schadstoffen generiert, die je nach Art der Tätigkeit entstehen (Garcia-Garcia et al. 2019: 1f.; Breida et al. 2020).

Eine Verschmutzungsquelle ist der Verkehr, der Fahrbahnen und Straßenausstattungen umfasst. Dabei sind Schwermetalle, Kohlenwasserstoffe, Nährstoffe, Partikel und Streusalz die Komponenten, die bei Verschmutzungen im Verkehr auftreten. Der Großteil der emittierten Schadstoffe lagert sich dabei direkt in Straßennähe an Pflanzen und im Boden ab. Die Schadstoffe können aber auch durch Versickerungsprozesse, aber vor allem durch Wassertransport wie den Oberflächenabfluss und Lufttransport weiter in der Umwelt verbreitet werden (Folkeson et al. 2009:107ff.).

Verschmutzungen durch Haushalte entstehen durch Einträge von Hauschemikalien wie Lacke, aber auch durch Gegenstände wie Möbel, die durch Hochwasser in die Umgebung eingetragen werden können. Möbel können dabei auch zu einem Eintrag von Chemikalien führen. Die Website „The world counts“ hat eine Liste von Chemikalien erstellt, die in Möbeln nachgewiesen wurden und unterschiedliche Einflüsse auf die menschliche Gesundheit haben. Ein Beispiel dafür ist der Stoff Formaldehyd, der Krebserkrankungen fördern soll (The world counts 2024). Auch Plastik ist ein gesundheits- und umweltschädlicher Stoff, der in vielen verschiedenen Polymerarten vorkommt, und vor allem in urbanisierten Räumen wiederzufinden ist (van Emmerik 2024: 1). Des Weiteren spielen häusliche Abwässer eine Rolle, die aus den Haushalten stammen und das Wasser aus Krankenhäusern, Industrie und anderen gewerblichen Einrichtungen mit einbeziehen kann. Dabei wird Abwasser als unreines Wasser definiert, dass nicht für den menschlichen Verzehr geeignet ist. Abwasser führt dazu, dass natürliche Lebensräume verunreinigt und zerstört werden, beispielsweise durch die Eutrophierung von Süßgewässern, durch die wiederum Ökosystemleistungen beeinträchtigt werden, sowie die Infektionsverbreitung gefördert wird (Earth Eclipse 2024).

Im Industriesektor entstehen ebenfalls Abwässer, die als industrielle Abwässer bezeichnet werden und durch Produktions- oder Gewerbebetriebe entstehen. Das führt zu der Zufuhr von einer großen Anzahl an unterschiedlichen Stoffen, die sich mit dem Wasser vermischen und in die Umwelt eingetragen werden können. Beispiele dafür sind Öle, Schlämme, Medikamente und Chemikalien, die zum Teil giftig sein können (Earth Eclipse 2024). Bei industriellen Abwässern werden zur Klassifizierung des Verschmutzungsgrads die Parameter biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB), chemischer Sauerstoffbedarf (CSB), pH-Wert und Alkalität bestimmt (Breida et al. 2020). Dabei ist der BSB ein Indikator für die Menge an Sauerstoff, die Organismen verbrauchen, um organische Substanz abzubauen. Je höher der BSB-Wert, desto größer ist die Verschmutzung des Wassers, da die Sauerstoffverfügbarkeit reduziert wird (Vigiak et al. :1090). Im Vergleich zum BSB, der die biologische Aktivität beinhaltet und damit die biologische Abbaubarkeit miteinbezieht, gibt der CSB die gesamte organische Belastung an (Geerdink 2017: 2). Ein generelles Merkmal von industriellem Abwasser ist die hohe Konzentration von organischen und anorganischen Verbindungen (Breida et al. 2020).

Aus der Landwirtschaft kommen organische und anorganische Schadstoffe, die in Form von Tiermedikamenten und Düngemitteln, sowie unter anderem durch Pestizide verursacht werden. Aufgrund dieser Agrarchemikalien lassen sich die folgenden vier Wasserschadstoffgruppen Nährstoffe, Krankheitserreger, Pestizide und Sedimente aufstellen, die in die Umwelt freigesetzt werden können. Der Eintrag aus der Landwirtschaft kann punktuell oder diffus erfolgen und führt zu einer Verschlechterung der Oberflächen- und

Grundwasserressourcen, beispielsweise durch Freisetzung von Schwebstoffen aus Bodenerosionen oder die Auswaschung von Düngemitteln (Breida et al. 2020). Es gibt viele Pestizide die hydrophile, das heißt sogenannte wasserlösliche Eigenschaften haben, wodurch sich die Stoffe besser im Boden verteilen mit dem perkolierenden Wasser transportiert werden (horizontal und vertikal) und zum Teil durch Pflanzen aufgenommen werden und sich dort anreichern können. Hydrophile Schadstoffe können sich allgemein schneller in der Umwelt ausbreiten und dort Schäden anrichten. Der Eintrag von Agrarchemikalien in Gewässer wird gefördert durch die Beseitigung von natürlichen Puffern wie Ufervegetation, durch Erosion, die besonders an steilen und langen Hängen stattfindet, durch die Verringerung der Bodenbedeckung und den zunehmenden Einsatz von Landmaschinen. Wichtig bei der Verringerung solcher Schadstoffeinträge ist die Anwendung von Wasser- und Bodenschutztechniken wie zum Beispiel die Terrassierung, die als Abflusskontrollmaßnahme umgesetzt werden kann und eine Begrenzung zwischen den Quellen und Gewässern bildet (Didoné et al. 2021: 39.370f.). Dies ist eine Maßnahme zum Schutz gegen Eutrophierung von Gewässern und Versauerung von Böden. Ein Beispiel für den negativen Einfluss aus der Landwirtschaft ist das ansteigende Wachstum von Blaualgen in Gewässern, die toxische Auswirkungen auf die dort lebenden Lebewesen darstellt und durch Nitratreinträge gefördert wird (Breida et al. 2020).

Eine weitere Schadstoffquelle ist die Sedimentablagerung, die gleichzeitig auch eine Senkenfunktion hat. Zum einen können gelöste Schadstoffe der Wassersäule entzogen und gebunden werden und zum anderen durch Resuspension, die aufgrund von beispielsweise Strömungen entstehen, wieder in die Wassersäule freigegeben werden. Sedimente und Schwebstoffe sind dadurch wichtige Betrachtungsgrößen für die Bewertung von ökotoxikologischen Belastungen von aquatischen Systemen, da durch die Resuspension und Desorption die Schadstoffkonzentration ansteigen kann. Hochwasserereignisse fördern die Remobilisierung und Umverteilung von Schadstoffen wie kontaminierte Sedimente, die das aquatische System direkt belasten. Schadstoffe die über Jahrzehnte in strömungsberuhigten Bereichen wie den Rückstaubereichen vor Wehren lagern und hohe Emissionsraten aufweisen, sowie aus beschädigten Abwasserinfrastruktur oder Öltanks stammen, können dabei während eines Hochwasserereignisses freigesetzt werden (Hollert et al. 2003: 5, Völker et al. 2023). Darunter können sich unter anderem Spurenmetalle befinden, die aus natürlichen oder anthropogenen Quellen eingetragen wurden und als prioritäre Schadstoffe gelten und als besonders gefährlich für die Umwelt und menschliche Gesundheit eingestuft werden. Grund dafür ist ihre Toxizität, Persistenz und Bioakkumulation, die aufgrund ihrer Beständigkeit zu langanhaltenden Auswirkungen führen können. Metalle findet man vor allem in der Feinfraktion der Sedimente, die durch Hochwasserereignisse schneller flussabwärts getrieben werden (García-

García et al. 2019:1f.). Auch Schwebstoffe lassen sich im Fluss nachweisen, die nach Erosionen an der Landoberfläche und im Flussbett aufgewirbelt und anschließend weitertransportiert werden können. Schwebstoffe bieten viele Bindungsstellen für Chemikalien aufgrund ihrer anorganischen und organischen Bestandteile, die unter anderem Tonminerale und Huminstoffe beinhalten. Folgend kommt es zu einer Ablagerung der Schwebstoffe mit den organischen und anorganischen Schadstoffen im Sediment. Eine der wichtigsten chemisch kontaminierten Gruppen in Sedimenten bilden die persistenten organischen Schadstoffe (POPs), die schwer abbaubar sind und somit eine längere Zeitperiode, die bis zu mehreren Jahrzehnten und in manchen Fällen sogar Jahrhunderte umfassen können andauern. POPs haben eine lipophile Beschaffenheit und eine geringe Biotransformationsrate, wodurch sie sich an kleine Partikel anlagern, die in der Luft oder im Wasser schweben und anschließend durch Organismen, durch die Nahrung aufgenommen werden können. Folglich kommt es auch hier zu einer Akkumulation der POPs in Partikeln und Biota (Crawford et al. 2022: 2ff.).

Insgesamt werden durch die einzelnen Schadstoffquellen unterschiedliche Stoffe in Gewässer eingetragen, die sich in Sedimentablagerungen widerspiegeln, die durch geringen Wasserdurchfluss wie sie in Häfen, Feuchtgebieten oder Flussmündungen vorzufinden sind entstehen. Weitere Quellen für die Schadstofffreisetzung sind Mülldeponien und Urbanisierung. Bei Überflutungen von Mülldeponien kann die Freisetzungsrates von Schadstoffen im Vergleich zu normalen Bedingungen um das Millionenfache (6 Größenordnungen) gesteigert werden. Die Urbanisierung, die mit dem Eintrag der Schadstoffe durch Oberflächenwasser einhergeht, erhöht die Phosphor- und NO_3^- -Konzentrationen. Wesentliche Schadstoffquellen, die zur Verschmutzung von Oberflächen- und Grundwasser führen, sind der Industriesektor, mit einem hohen Schwermetalleintrag, die kommunalen und landwirtschaftlichen Quellen, mit hohem Nährstoff, Stickstoff und Phosphor Gehalt, aber auch schlechtes Wassermanagement, durch das beispielsweise übermäßige Wasserentnahmen möglich sind (Breida et al. 2020, Crawford et al. 2022: 4).

Die Auswirkungen von Überflutungen werden am Beispiel von Plastikverschmutzungen näher erläutert, die sich nach den Arten fluviale Überschwemmungen, pluviale Überschwemmungen und Sturzfluten unterscheiden. Fluviale Überschwemmungen entstehen, wenn der Flusswasserstand das Ufer übersteigt, wodurch es zur Mobilisierung und Rückhaltung von Kunststoffen kommen kann. Dabei wird der Kunststoff zum oder parallel zum Fluss transportiert und lagert sich je nach Größe an Hindernissen wie Pflanzen ab. Pluviale Überschwemmungen entstehen aufgrund einer hohen Niederschlagsintensität, die die Versickerungskapazität überschreitet, wodurch der Oberflächenabfluss gebildet wird. Die Mobilisation von Plastik erfolgt hierbei durch die Druckkräfte des Wassers

auf die Oberfläche, durch Auftrieb, sowie durch die Suspension bei ausreichender Wassertiefe. Auch hier kann sich Kunststoff abhängig von Hindernissen und Oberflächenrauigkeit ablagern, aber auch durch städtische Entwässerungssysteme schneller in die umliegenden Gewässer eingetragen werden. Sturzfluten entstehen durch eine sehr hohe Niederschlagsintensität auf einer kleinen Fläche, wodurch große Wassermassen in kurzer Zeit entstehen, die mit einer hohen Fließgeschwindigkeit einhergehen und aufgrund ihrer Kraft auch sehr große Gegenstände wie Wohnwagen mit sich reißen können. Direkte Auswirkungen sind somit der Transport von großen Gegenständen, die Infrastrukturen wie Brücken blockieren können und somit den Wasseranstieg weiter fördern. Indirekte Auswirkungen können die Zunahme von Mikroplastikkonzentrationen in Flusssedimenten und die Gefährdung der Vegetation durch Akkumulationsprozesse vor Ort sein (van Emmerik 2024: 2).

3 Methodik

Datenerhebung & -auswertung

Zur Beantwortung der Forschungsfrage „Wie können Umweltbelastungen durch Hochwasser in den betroffenen Städten erfasst und bewertet werden, um die bestehenden Maßnahmenpläne zu optimieren und zukünftige Hochwasserschäden zu minimieren?“ wurden zur Analyse verschiedene Aspekte und Herangehensweisen hinzugezogen. Diese werden in der Abbildung 5 dargestellt.

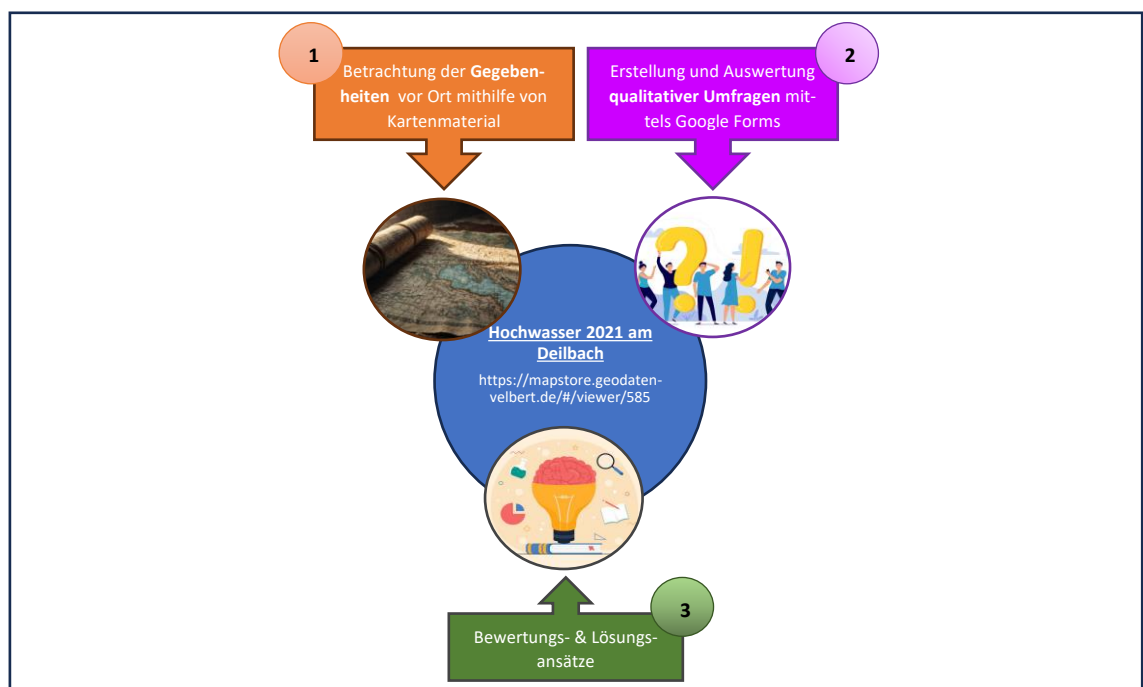


Abbildung 5: Methodisches Vorgehen (Bildquellen designed by freepik: www.freepik.de)(eigene Darstellung).

Im ersten Schritt wurden die Gegebenheiten vor Ort mithilfe von den aufgelisteten Kartenmaterialien in Abbildung 6 betrachtet. Dabei wurden bis auf die Hochwassergefahren-

und Hochwasserrisikokarten, die Daten in QGIS eingeladen, um Karten für die einzelnen Standorte zu generieren.

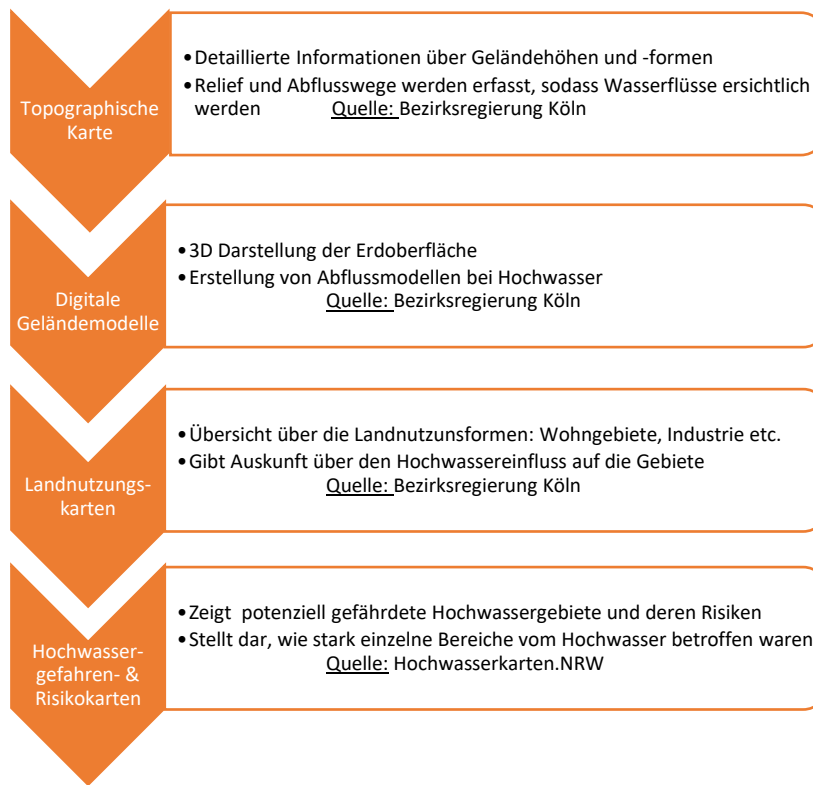


Abbildung 6: Verwendetes Kartenmaterial (eigene Darstellung).

Im zweiten Schritt wurden Primärdaten in Form von Umfragen und Interviews für die verschiedenen Untergruppen Landwirtschaft, Industrie, Handel, Anwohner, Technisches Hilfswerk (THW) und Feuerwehr aufgenommen. Dabei handelt es sich um qualitative Umfragen, die persönliche Beobachtungen und Erfahrungsberichte zusammenträgt, aber auch Denkanreize für vorhandene Problemstellungen und -lösungen aufgreift (Seers 2011: 2). Die erstellten Fragebögen zielen darauf ab, dass ein detailliertes Bild der Hochwasserlage 2021 vor Ort erstellt werden kann, weswegen die Fragebögen gruppenübergreifend zum Teil gleiche Fragen beinhalten. Der Fragenkatalog ist in Tabelle 2 aufgelistet. Zu Beginn der Umfrage wurden vor allem geschlossene Fragen gestellt, die sich mit den visuellen Erfahrungen beschäftigen. Geschlossene Fragen werden gestellt, um klare Antworten zu bekommen, die man zum Beispiel mit Ja und Nein beantworten kann. Anschließend folgten offene Fragestellungen, die die Perspektiven der einzelnen Personen erfassen sollten. Weitere zentrale Aspekte, die bei Handel, Landwirtschaft und Industrie abgefragt wurden, waren zum einen die finanziellen Verluste und zum anderen

die Dauer der Betriebsschließungen nach dem Hochwasserereignis. Bei den Experteninterviews mit THW und der Feuerwehr gab es zusätzliche Fragen zu dem Verlauf des Einsatzes und die damit einhergehenden Herausforderungen der Hilfskräfte.

Tabelle 2: Auswahl gruppenübergreifender Fragestellungen (eigene Darstellung).

Frage	Fragenart	Begründung der Auswahl
Welchem Geschlecht gehören Sie an?	Geschlossene Frage	Wahrnehmungsunterschiede geschlechtsbedingt
In welcher Altersgruppe befinden Sie sich?	Geschlossene Frage	Wahrnehmungsunterschiede altersbedingt
Wo und in welchem Bereich befindet sich Ihr Wohnort/Geschäft/Unternehmen/ Einsatzbereich?	Fokussierende Frage	Eingrenzung der betroffenen Untersuchungsgebiete
Wie hoch stand das Hochwasser bei Ihnen?	Fokussierende Frage	Erfassung der lokalen Hochwasserschäden
Hatten Sie Hochwasserschäden?	Geschlossene Frage	
Wenn ja, welche?	Fokussierende Frage	
Sind Schadstoffe (z.B. Heizöl) aus ihrem Haushalt/Geschäft/Unternehmen in die Umgebung eingetragen worden?	Geschlossene Frage	Erfassung der lokalen Schadstoffeinträge
Wenn ja, welche?	Fokussierende Frage	
Haben Sie Maßnahmen gegen Hochwasser an ihrem Haus/Grundstück vorgenommen?	Geschlossene Frage	Erfassung der Resilienz
Wenn ja, welche?	Fokussierende Frage	
Wie lassen sich die direkten Umweltbelastungen „Verunreinigung von Gewässern, Erosion & Sedimentation und Zerstörung von Lebensräumen“ vor Ort durch das Hochwasser bewerten?	Fokussierende Frage	Erfassung direkter lokaler Umweltbelastungen
Wie lassen sich die indirekten Folgen vom Ausfall der Infrastruktur des Verkehrs und der Versorgung bewerten?	Fokussierende Frage	Erfassung von Beeinträchtigungen der Infrastruktur
Welche Maßnahmen der Hochwasservorsorge sind Ihnen in Ihrem Stadtteil bekannt?	Offene Frage	Erfassung der Wahrnehmung von städtischen Maßnahmen im Bereich Hochwasserschutz
Sind diese ausreichend?	Geschlossene Frage	
Welche weiteren Maßnahmen könnten ergriffen werden?	Offene Frage	
Wie kann die Bevölkerung besser auf Hochwasser vorbereitet werden?	Offene Frage	

Was wünschen Sie sich von der Politik und den Behörden im Hinblick auf die Hochwasservorsorge?	Offene Frage	
Haben Sie weitere Anmerkungen oder Vorschläge zu diesem Thema?	Offene Frage	

Die Erstellung der Fragebögen erfolgte in Google Forms und wurde mithilfe von Links und per QR-Code verbreitet. Für die Datenverbreitung wurden E-Mails, WhatsApp und Flyer verwendet. Der Großteil der Informationen erfolgte per Flyer, die in den betroffenen Gebieten verteilt und aufgehängt wurden. Die Flyer wurden so angefertigt, dass man auf dem ersten Blick die wichtigsten Informationen zum Thema erkennen kann. Diese sind die Relevanz des Themas, der Zeitaufwand und die Teilnahmebedingungen. Des Weiteren wurde darauf geachtet, dass mittels QR-Code ein schneller und einfacher Zugriff auf die ca. 10-minütige Umfrage gestartet werden kann, um eine höhere Umfragequote zu erzielen. Die Aufnahme der eigenen RUB-Mail auf den Flyer und in den Umfragebögen sollte eine Vertrauensbasis bilden und einen Weg für weitere Kommunikation und Austausch ermöglichen. Der Umfragezeitraum erstreckte sich insgesamt auf 4 Monate von Mai bis August 2024.

Zuletzt wurden die Daten dann aus den qualitativen Umfragen und Gegebenheiten vor Ort verwendet, um Bewertungs- und Lösungsansätze für zukünftige Hochwasserereignisse zu erstellen. Die unterschiedlichen Herangehensweisen und Perspektiven zur Analyse werden in Abbildung 7 aufgelistet. Bei der Umfrageauswertung wurden die Ergebnisse in Form von Kreis- und Säulendiagrammen in Excel erstellt. Häufigkeiten und Prozentwerte der geschlossenen Fragen wurden in Google Forms direkt ausgerechnet und die Auswertung der offenen Fragen manuell. Bei der Zusammenführung der gruppenübergreifenden Antworten wurden die Prozentsätze selbständig errechnet. Bei den offenen Fragen wurden die Antworten zuerst betrachtet und dann in fünf Oberkategorien zusammengefasst. Die manuelle Analyse wurde aufgrund der geringen Datenmenge gewählt, um die quantitativen Daten aus den geschlossenen Fragen und die qualitativen Daten aus den offenen Fragen zu analysieren. Aufgrund der geringen Stichprobenanzahl ist zu beachten, dass die Umfrage nicht repräsentativ ist und somit nicht als statistisches Verfahren angesehen werden kann. Die Ergebnisse geben lediglich eine qualitative Einschätzung und keine generalisierbaren Aussagen. Kartenanalysen wurden mithilfe von QGIS durchgeführt, um die Hochwasserdynamik vor Ort erfassen zu können. Neben den Daten aus den qualitativen Umfragen und Gegebenheiten vor Ort, kann auch der HQ-Wert zur Analyse hinzugezogen werden. Der HQ-Wert gibt an, in welcher Häufigkeit Hochwasser statistisch gesehen auftreten kann und ist abhängig von der Nieder-

schlagsmenge (Malcherek 2019: 42f.). Nach der Bewertung und Analyse der Auswirkungen von Hochwasser ist die Betrachtung von Maßnahmenplänen wichtig. Dadurch kann eine Grundlage für den zukünftigen Schutz der vom Hochwasser betroffenen Gebiete geschaffen werden.

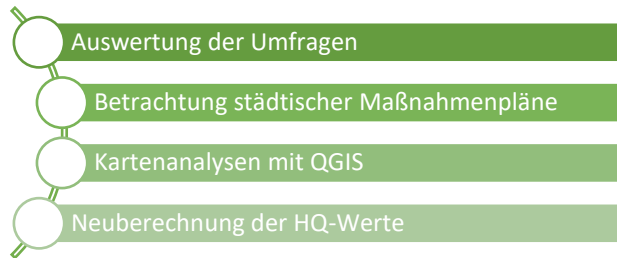


Abbildung 7: Bewertungs- und Lösungsansätze (eigene Darstellung)

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Untersuchungsgebiet

Das in dieser Arbeit zu betrachtende Untersuchungsgebiet erstreckt sich am Deilbach und umfasst drei Stadtteile von Velbert und eins von Essen, die besonders vom Deilbach-Hochwasser 2021 betroffen waren (Abb. 8). Dabei handelt es sich um die Stadtteile Velbert Neviges, Velbert Langenberg, Velbert Nierenhof und Essen Kupferdreh, die auch auf der Website Geodaten-Velbert.de ausgewiesen sind (Overkamp 2021).

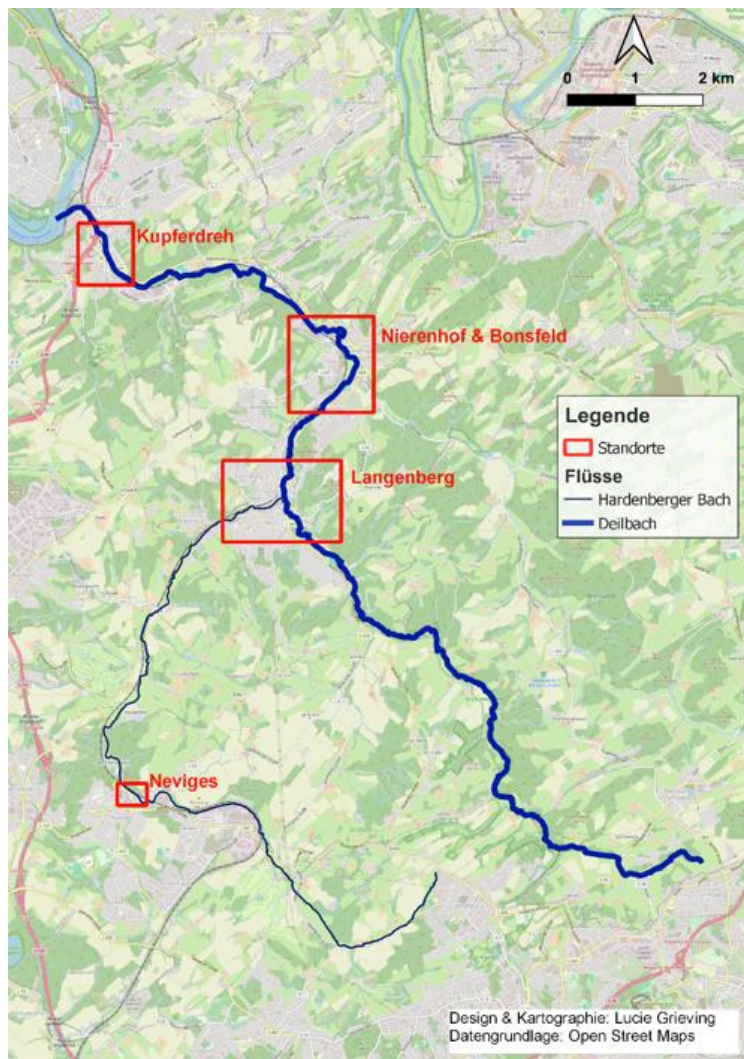


Abbildung 7: Untersuchungsgebiet mit den 4 Teilgebieten (eigene Darstellung).

Die Quelle des Deilbachs entspringt in Wuppertal Barmen im Stadtteil Sprockhövel, im südöstlichen Bereich des Untersuchungsgebietes und durchfließt die Gemeinden Wuppertal, Velbert, Hattingen und Essen, und mündet schließlich im Baldeneysee. Auf der Strecke nach Velbert Langenberg fließt er vor allem durch landwirtschaftlich genutzte Flächen, bis es dort zu einer Veränderung des natürlichen Bachlaufs durch Verbauung wie begradigte Ufermauern und Brücken kommt. Der Oberlauf ist somit durch natürliche Strukturen wie Wälder und Hügellandschaften geprägt, die den natürlichen Verlauf des Baches schützen. Im Unter- und Mittellauf hingegen befinden sich große Siedlungsstrukturen, die in Velbert und Essen-Kupferdreh am deutlichsten sind. Nebenflüsse, die in den Deilbach münden, sind der Hardenberger Bach in Velbert Langenberg und die Gewässer Felderbach und Heierbergsbach in Bonsfeld (Bezirksregierung Düsseldorf 2024: 1ff.).

Für die Stadt Velbert ist der Deilbach als Risikogewässer eingestuft worden, da die Überflutungswahrscheinlichkeit, sowie damit einhergehende potenzielle Schäden bei den

Hochwasserszenarien HQ100 (= Eintrittswahrscheinlichkeit alle 100 Jahre) und HQextrem (= Eintrittswahrscheinlichkeit alle 1.000 Jahre) hoch sind. Neviges wäre bei einem Ereignis von HQextrem betroffen und Velbert Langenberg bereits bei einem HQ 100 Ereignis, wobei in beiden Fällen mit großen Schäden an Gebäuden und Infrastruktur zu rechnen ist (Stadt Velbert o.J.).

4.2 Kartenmaterial

4.2.1 Topographische Karten DTK 25

Einen Überblick über die natürlichen und anthropogenen Gegebenheiten vor Ort wie Höhenlinien, Gewässer, Siedlungen, Straßen, Wald- und Landwirtschaftsflächen gibt die hier dargestellte Digitale Topographische Karte im Maßstab von 1:25.000 (DTK 25) an (Abb. 9/10). Die DTK25 ist eine frei zugängliche Karte und stellt detailliertere Informationen über die einzelnen Standorte dar als beispielweise die DTK100 mit einem höheren Maßstab. Betrachtet man die einzelnen Standorte in den Abbildungen 21 und 22, so wird ersichtlich, dass bei den einzelnen Standorten in flussnähe vor allem anthropogene Strukturen (rosa) vorzufinden sind. Des Weiteren erkennt man die Hauptverkehrswege (gelb) die durch das Untersuchungsgebiet verlaufen und von denen immer einer parallel zum Fluss verläuft. Die Brücke die in der Befragung als Problempunkt wahrgenommen wurde, befindet sich in der Karte Nierenhof und Bonsfeld (Abb. 9) und befindet sich an der Stelle, wo sich der Fluss und der Hauptverkehrsweg kreuzt. Die Höhenlinien geben die Struktur in den einzelnen Standorten in Bezug auf die Form der Berge und der Hänge wieder, die bis zu 200 Höhenmeter annehmen.

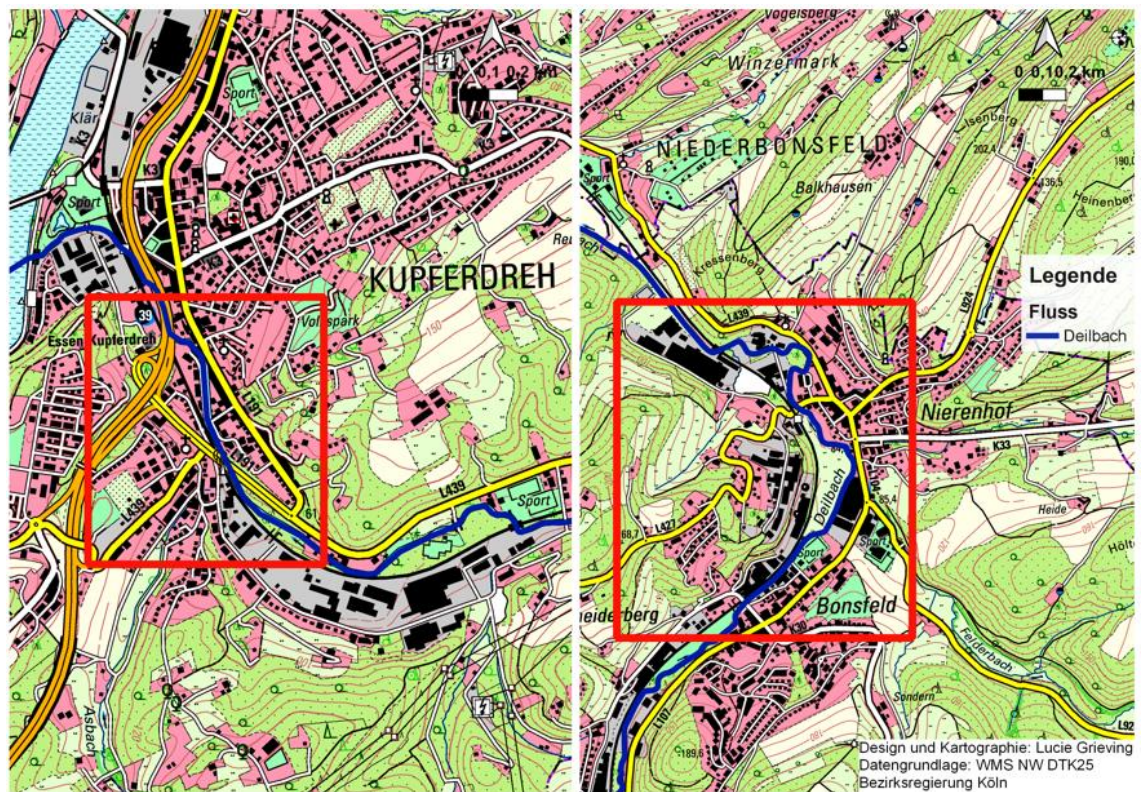


Abbildung 8: DTK25 von Kupferdreh und Bonsfeld & Nierenhof (eigene Darstellung).

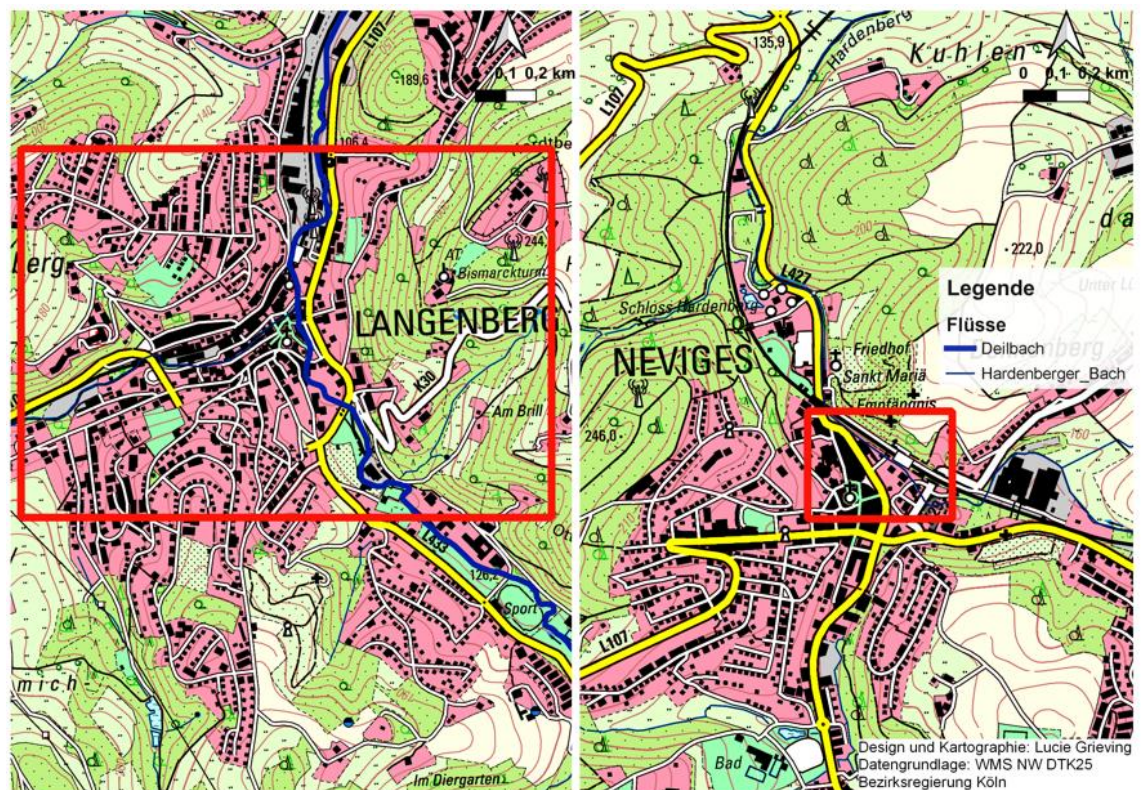


Abbildung 9: DTK25 von Langenberg und Neviges (eigene Darstellung).

4.2.2 DGM-Schummerung

Digitale Geländemodelle (DGM) stellen die Geländehöhen und -formen, sowie deren Höhenunterschiede visuell dar (Abb. 11). Anhand der DGM werden die Höhenunterschiede, die in der DTK25 vereinfacht abgebildet wurden hervorgehoben, wodurch sich Wasserabflusswege besser herleiten lassen. Wichtig dabei ist die Betrachtung von Steilhängen und Senken, die potenzielle Überschwemmungsgebiete identifizieren können. Alle Standorte haben mindestens einen steilen Berg in der Nähe, von dem aus das Hangwasser ins Tal fließen kann. Der Standort Langenberg hat die Besonderheit, dass er von drei Bergen umschlossen ist und der Fluss somit von mehreren Seiten mit Hangwasser bei Regenereignissen gespeist werden kann.

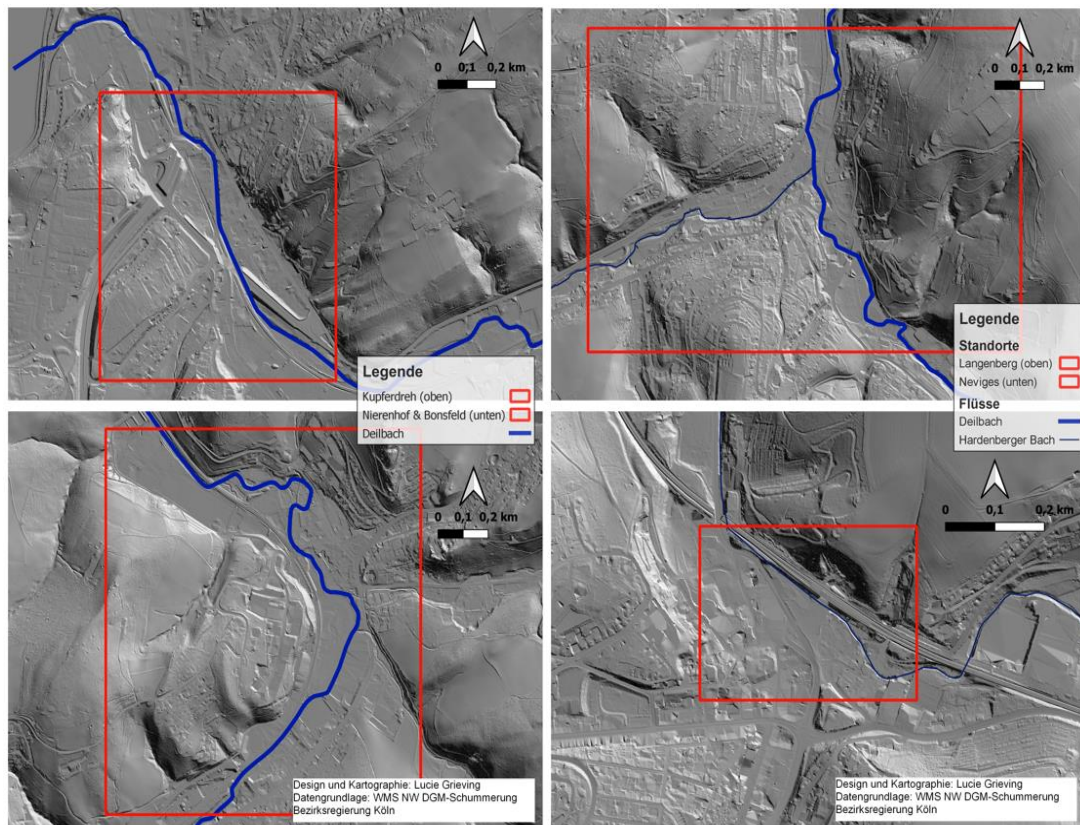


Abbildung 10: DGM der Standorte (eigene Darstellung).

4.2.2 Landnutzungskarten

In den Landnutzungskarten liegt der Fokus auf der Nutzung der Flächen durch den Menschen, die in verschiedene Gruppen eingeteilt wurden (Abb. 12). Dabei ist in Kupferdreh, Langenberg und Neviges vor allem der Tertiäre Sektor vorhanden, der unter anderem Handel und Dienstleistungen umfasst, aber auch eine große Wohnraumfläche. Nierenhof & Bonsfeld weist im Vergleich zu den anderen Standorten eine hohe Sekundärproduktion auf, die den Industriesektor miteinbezieht. Alle Gebiete weisen auch vereinzelt Flächen der Primärproduktion auf, zu der auch die Landwirtschaft zählt. Auch der Verkehrssektor mit Straßen- und Schienennetzen wird in dieser Karte deutlicher hervorgehoben als bei der DTK25.

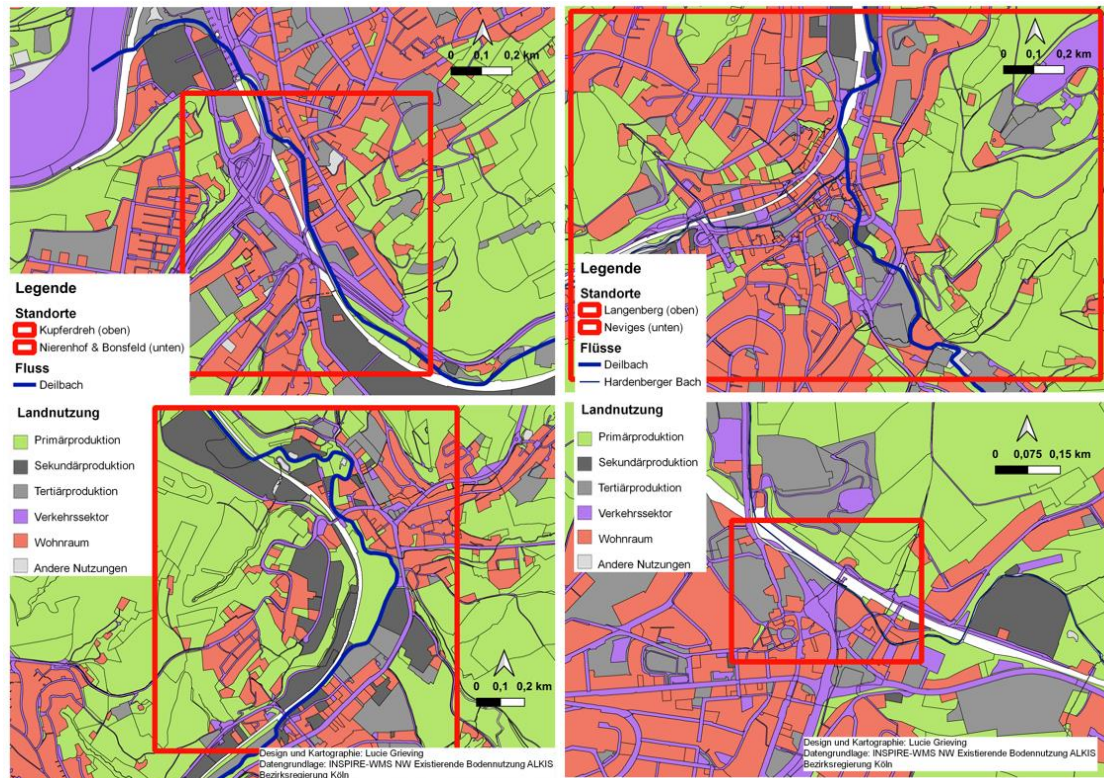


Abbildung 11: Landnutzung der einzelnen Standorte (eigene Darstellung).

4.2.3 Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten

Die Hochwassergefahrenkarten (HWGK) stellen für potenzielle Hochwassersituationen verschiedene Szenarien wie das eines HQextrem Ereignisses dar, die Wassertiefe und Fließgeschwindigkeiten beinhalten. Bei den hier dargestellten Karten wird von einem extremen Hochwasserereignis ausgegangen, dass eine seltene Eintrittswahrscheinlichkeit aufweist (Abb. 13/14). Die Fließgeschwindigkeit kann in Kupferdreh mit $>2\text{m/s}$ am höchsten werden und beläuft sich auf den restlichen Flussabschnitten zwischen $0,2$ und $0,5\text{m/s}$. Neviges würde mit einer Wassertiefe, die größtenteils maximal bis zu $0,5\text{ m}$ am Standort einnimmt, im Vergleich eher gering überflutet werden. Auch in Kupferdreh wäre der überflutete Bereich trotz der höchsten Fließgeschwindigkeit nicht so groß und stark betroffen wie in Bonsfeld & Nierenhof und Langenberg. Dabei hätte Langenberg den größten Überflutungsbereich, der durch die Mündung des Hardenberger Bachs in den Deilbach verstärkt wird und vielfach Wassertiefen von bis zu 2 m mit sich bringen würde. Auch in Nierenhof & Bonsfeld gäbe es vielfach Wassertiefen von 2 m .

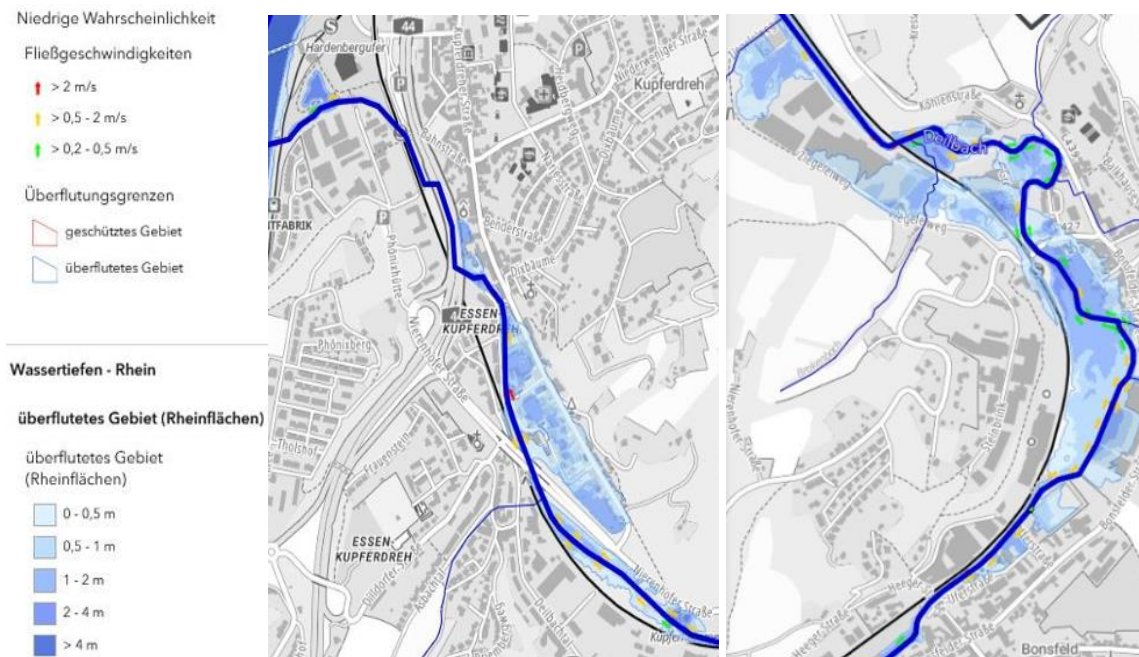


Abbildung 12: HWGKextrem von Kupferdreh (links) und Nierenhof & Bonsfeld (rechts) (verändert nach Flussgebiete.NRW).

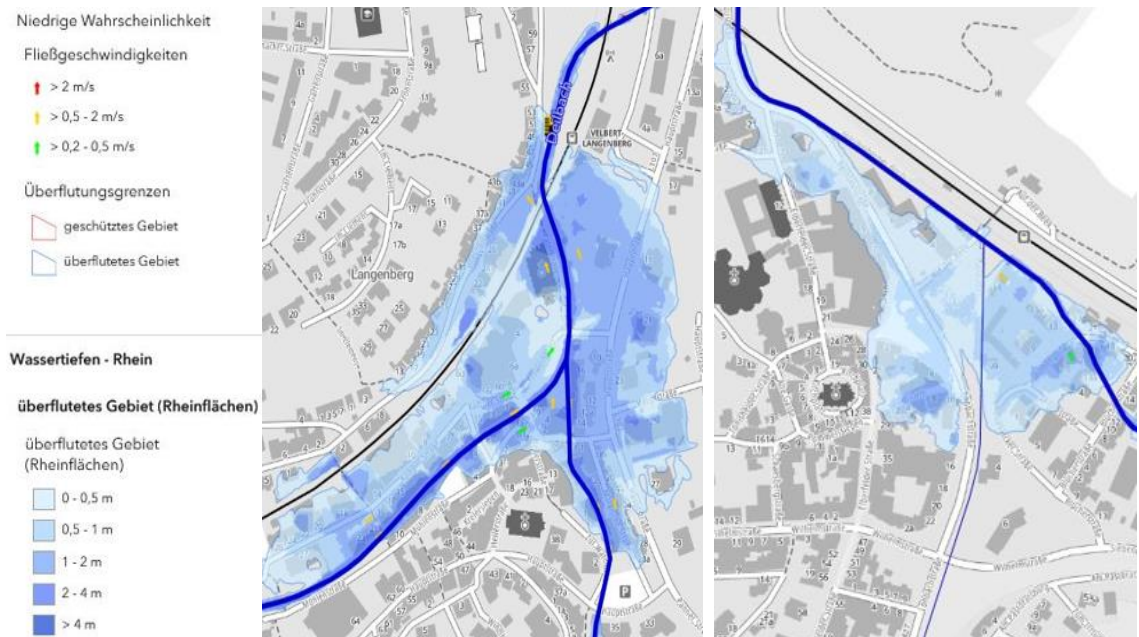


Abbildung 13: HWGKextrem von Langenberg (links) und Neviges(rechts) (verändert nach Flussgebiete.NRW).

In den Hochwasserrisikokarten (HWRK) sind die überfluteten Gebiete aus den HWGK mit ihrer Flächennutzung verzeichnet, die hier ebenfalls das Szenario eines HQextrem Hochwasserereignisses darstellen (Abb. 15/16). In Kupferdreh, Langenberg und Neviges wären hauptsächlich Wohnbauflächen und Flächen mit gemischter Nutzung, sowie kleinere Industrie- und Gewerbeflächen betroffen. Bonsfeld & Nierenhof hätten im überfluteten Bereich vor allem Industrie- und Gewerbeflächen liegen, die durch das Hochwasser betroffen wären. Auch Wohnungen, Landwirtschaft und Freiflächen würden zum Teil überflutet werden, zählen aber nicht zu der betroffenen Hauptflächennutzung vor Ort.

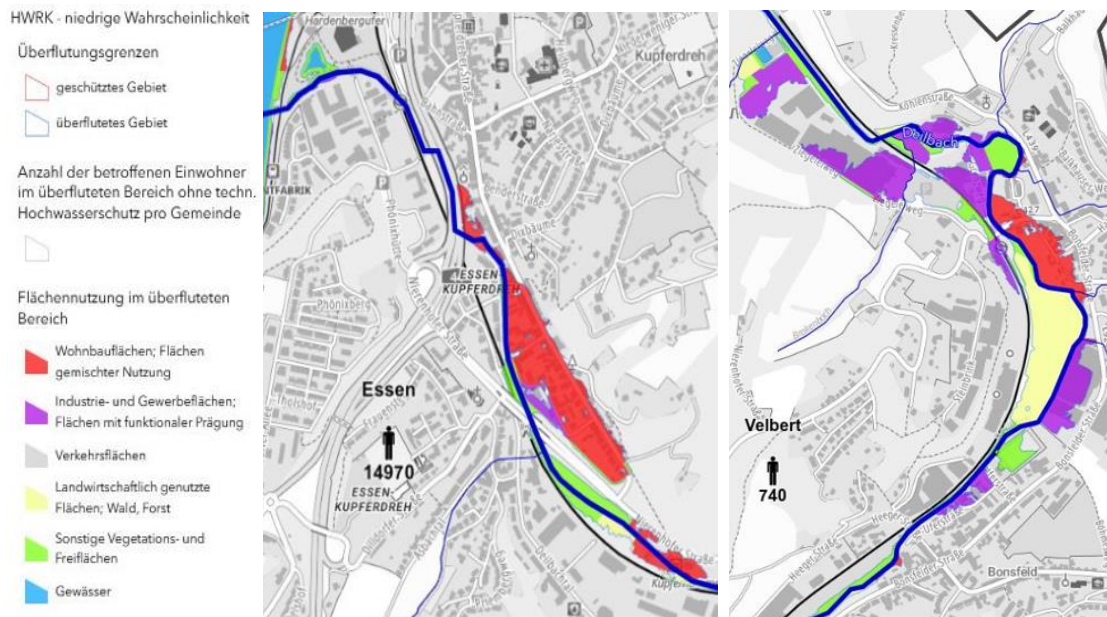


Abbildung 14: HWRKextrem von Kupferdreh (links) und Nierenhof & Bonsfeld (rechts) (verändert nach Flussgebiete.NRW).

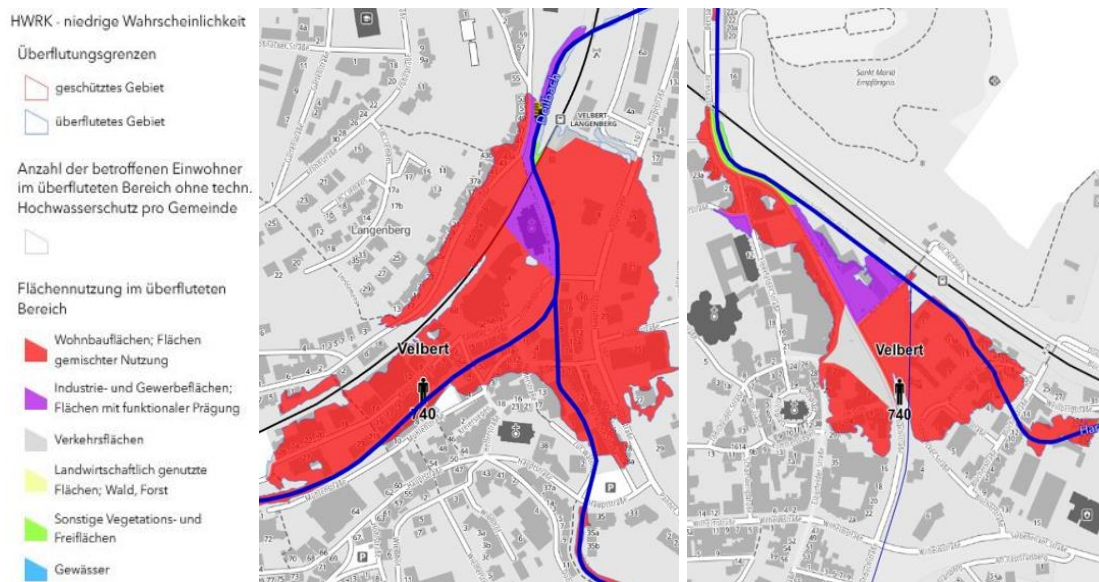


Abbildung 15: HWRKextrem von Langenberg (links) und Neviges(rechts) (verändert nach Flussgebiete.NRW).

4.3 Qualitative Umfragen

In der Auswertung der qualitativen Umfragen wurden zuerst die einzelnen Befragungsgruppen betrachtet, da jede Gruppe unterschiedliche Sichtweisen hat und über individuelle Schäden berichtet. Anschließend wurden die Antworten der gruppenübergreifenden Fragen zusammengefügt und ausgewertet. Bei der Umfrage kam es auch vereinzelt zu einem persönlichen Informationsaustausch, der zum Teil bei der Auswertung der Ergebnisse aufgegriffen wird. Des Weiteren wurden Informationen aus Feldbeobachtungen für ein besseres Verständnis der Ergebnisse der Umfragewerte hinzugezogen. Die Ergebnisse werden im Folgenden vorgestellt und analysiert.

Landwirtschaft

In der Gruppe Landwirtschaft hat leider nur eine Person an der Umfrage teilgenommen, die vom Hochwasser in Velbert Langenberg betroffen war, jedoch ist anzumerken, dass in dem Untersuchungsgebiet nur wenige Landwirte ansässig sind. Die befragte Person betreibt Ackerbau und Viehzucht. Bei der durch das Hochwasser überfluteten Fläche handelt es sich um eine Grünlandfläche am Hardenberger Bach, wodurch geringe finanzielle Schäden entstanden sind. Auch sind die Flächen kurze Zeit nach dem Hochwasserereignis (Abtrocknung nach wenigen Wochen) wieder genutzt worden. Aufgrund der geringen Beteiligung der Landwirte lässt sich schließen, dass die Flächen kaum vom Hochwasser betroffen waren und somit nicht speziell geschützt werden müssen. Das liegt daran, dass die landwirtschaftlichen Flächen vor allem oberhalb des Überschwemmungsbereichs hangaufwärts liegen.

Industrie

Im Industriesektor gab es vier Personen, die in den vier Branchen Metallverarbeitung, Dienstleistung, Handwerk und Naturkosmetik zur Zeit des Hochwasserereignisses angestellt waren und an der Umfrage teilgenommen haben. Davon befinden sich jeweils zwei in Langenberg und in Nierenhof. Die Zeitspanne der Unternehmensgründungen im Hochwassergebiet liegt zwischen dem ältesten Unternehmen, das seit 1980 und dem Jüngsten welches dort seit 2021 ansässig ist. Alle Betriebsstätten hatten mittlere bis hohe finanzielle Schäden zu verzeichnen, die durch die Schäden im Archiv und IT-Bereich, bei Produkten und Waren, sowie bei Maschinen innerhalb der Betriebsstätten aufgetreten sind (siehe Abbildung 17). Die Hauptschäden liegen bei den Betriebsstätten und den Produkten und Waren, dicht gefolgt von Schäden an Maschinen, die sich auch in den Produktionsausfällen widerspiegeln. Aufgrund der Schäden und Produktionsausfällen vor Ort sind erste wirtschaftliche Schäden entstanden, die sich vor der erneuten Inbetriebnahme noch verstärkt haben. Ursache dafür ist die Schließung der Betriebe für einen längeren Zeitraum, wodurch trotz bestehender Zahlungen von Standortkosten Produkte nicht hergestellt und verkauft werden konnten. Je später die Inbetriebnahme stattfand, desto höher war der wirtschaftliche Schaden, wobei die Hälfte der an der Umfrage teilgenommenen Industrien für eine komplette Aufnahme der Produktion ungefähr 1 Jahr benötigte.

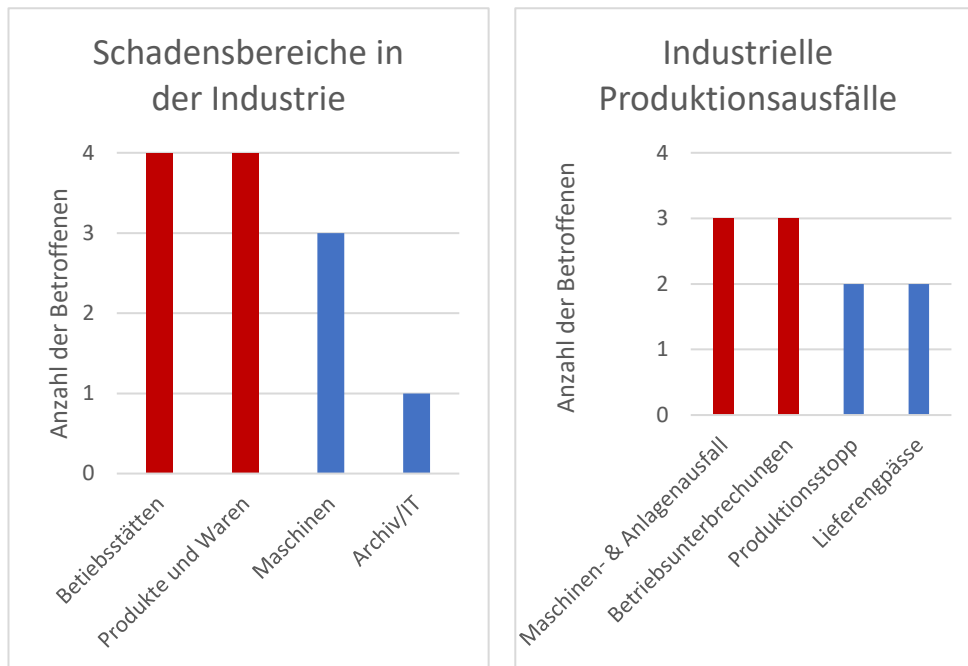


Abbildung 16: Schadensbereiche in der Industrie und Industrielle Produktionsausfälle (eigene Darstellungen). Anzahl der Befragten $n = 4$.

Der Großteil der Befragten berichtete über unzureichende Hochwasserschutzmaßnahmen. Nichtsdestotrotz gab es in den einzelnen Industriesektoren erste Maßnahmen zur Hochwasservorsorge, die organisatorische, technische und allgemeine Maßnahmen umfassen und mindestens von der Hälfte der befragten Unternehmen umgesetzt wurden. Einzelne Maßnahmen wie die Errichtung von Hochwassertoren, Einbau von manuellen Hochwasserschotten (Dambalkensysteme) an Türen und Toren, Lagerung von Waren mindestens 40 cm über dem Boden und die Erstellung von Notfallplänen wurden teilweise an den Industriestandorten umgesetzt. Dabei plant ein Unternehmen in Zukunft die Erstellung eines Hochwasserkonzepts, das auf 500-jährige Hochwasserereignisse ausgelegt ist und folgende Aspekte umzusetzen versucht: Verbau von Spundwänden, Winkelstützwänden und Entwässerungsrinnen, Verlegung der Werkseinfahrt und die Renaturierung von Kleingewässern. Die Teilnahme an der Umfrage fiel in Langenberg und Nierenhof niedrig aus und leider gab es in den Stadtteilen Neviges und Kupferdreh keinen Rücklauf der Fragebögen. Das liegt daran, dass in Neviges und Kupferdreh kaum Industrieflächen vom Hochwasser betroffen waren, was an den Standorten Nierenhof und Langenberg nicht der Fall war. In Nierenhof und Langenberg haben insgesamt 4 Betriebe an der Umfrage teilgenommen, wobei bereits dieser geringe Rücklauf Auskunft über ungefähr die Hälfte der betroffenen Unternehmen vor Ort widerspiegelt. Pro Ortschaft sind um die 5-10 Industrien in der Nähe des Deilbachs zu verordnen, die in Relation zu der Flächengröße der Industrien und in Betrachtung des Überschwemmungsgebietes gestellt werden müssen. Das größte Gelände, das vom Hochwasser betroffen war, gehört zu den Wieland Werken. Die Wieland Werke produzieren für den globalen

Markt Kupfer und Kupferlegierungen und liegen am Deilbach in Nierenhof (Wieland o.J.). Bei den Fragebögen zum Hochwasserereignis im Juli 2021 von der Stadt Velbert (Anhang) wurde der Schaden der Wieland Werke auf 50-100 Millionen Euro geschätzt. Das Hochwasser hatte nicht nur wirtschaftliche Auswirkungen auf das Unternehmen, sondern auch Auswirkungen auf die Umwelt, da es zu Ölsammlungen in ehemaligen Klärbecken, Öleintritten in den Deilbach kam und Ölsperren im Klärbecken errichtet werden mussten (Overkamp 2021). Taylor und Little (2013: 36) haben sich mit den Auswirkungen von Einträgen aus einer Kupfermine beschäftigt und dabei festgestellt, dass es zu Metallkontamination in umliegenden Fluss- und Auenlandschaften kommt. Die Metallkontamination beschränkte sich hauptsächlich auf die Oberflächensedimente und führte nicht zu langfristigen Umweltproblemen. Generell können jedoch aus der industriellen Kupferverarbeitung Schwermetalle und Partikel freigesetzt werden und durch Wasser- und Winderosion weiterverbreitet werden. Die Folge ist die Kontamination von Böden, Wasser und Wohngebieten, mit toxischen Metallen wie Blei, Quecksilber, Cadmium und Arsen, die aus den Abfällen der Kupferverarbeitung, den Aschen, Schlacken und Stäuben stammen (Izydorczyk et al. 2021: 1).

Einzelhandel

Der Einzelhandel in Kupferdreh und Neviges hat an der Umfrage leider nicht teilgenommen. In Kupferdreh liegt es daran, dass der Überflutungsbereich sich auf ein Wohngebiet begrenzt. Von den fünf Teilnehmern im Alter von 35 und älter kamen drei aus Langenberg und zwei aus Nierenhof, bei denen das Hochwasser zwischen 0 und 2 Metern Hoch stand. Alle Befragten hatten Hochwasserschäden zu verzeichnen, die in der Abbildung 18 aufgeführt sind. Die Hauptschäden im Einzelhandel lagen dabei im Bereich von Stromausfällen, sowie bei Schäden an der Gebäudestruktur und am Inventar.

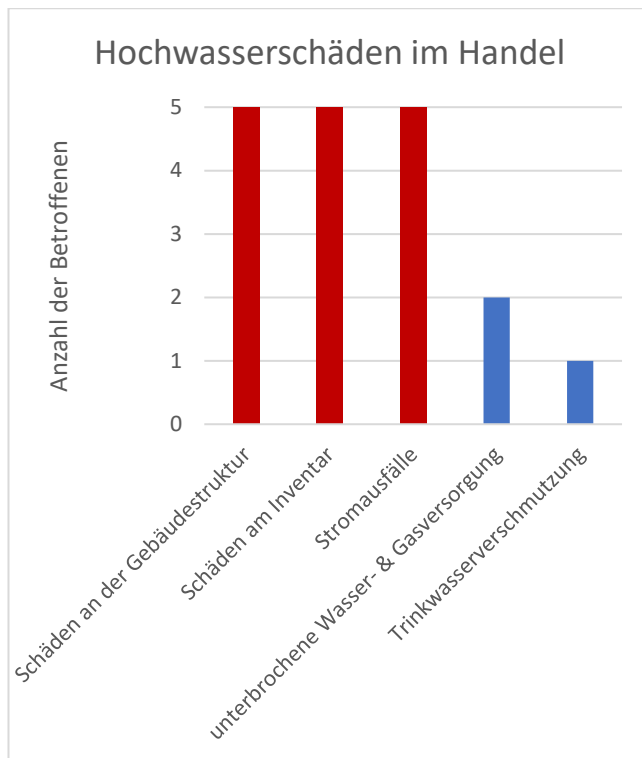


Abbildung 17: Hochwasserschäden im Handel (eigene Darstellung). Anzahl der Befragten $n = 5$.

Trotz der Hochwasserschäden sind jedoch nur Schadstoffe von einem Handelsgeschäft in die Umgebung eingetragen worden, die in Form von Sperrmüll, Schlammaufkommen und weiteren Gegenständen ersichtlich wurden. Technische Maßnahmen wurden in einem Fall durchgeführt, wobei von der Installation von Rückstausicherungen, Abdichtungen und Hochwasserpumpen berichtet wurde. Finanzielle Schäden in mittlerer bis hoher Höhe sind bei vier Unternehmen entstanden, wobei ein Geschäft keine Verluste meldete. Die durch das Hochwasser entstandenen Schäden können in Bezug zu der Schließungsdauer gesetzt werden, in der der Einzelhandel keinen Umsatz machen konnte. Dabei ist ein Einzelhandel nur 4 Tage geschlossen gewesen, wobei zu vermuten ist, dass kein oder nur ein geringer Schaden aufgetreten ist im Vergleich zu denen, die Wochen bis hin zu einem halben Jahr Zeit benötigten, um ihr Geschäft wieder zu eröffnen. Alle Befragten fanden die aktuellen Maßnahmen zum Hochwasserschutz nicht ausreichend und appellierten für mehr Ausgleichsflächen und Rückhaltebecken, aber auch weniger versiegelte Flächen. Der Fokus der Hochwasservorsorge liegt im örtlichen Einzelhandel bei den organisatorischen Maßnahmen, die unter anderem die Lagerung von Waren und Betriebsmitteln, sowie die Sicherung von IT-Systemen umfassen. Auch allgemeine (z.B. Hochwasserrisikobewertung und Notfallkommunikation) und technische Maßnahmen (z.B. Hochwasserschutzwände und Rückstausysteme) sind umgesetzt worden. Aufgrund von Feldbeobachtungen wurde ersichtlich, dass in den einzelnen Straßen der Stadtteile in denen noch heute Handel betrieben wird viele Leerstände zu verzeichnen

sind. Diese Leerstände können möglicherweise das Resultat des Hochwasserereignisses sein, erklären aber unter anderem auch eine geringe Beteiligung an der Umfrage. Einzelne Handelsgeschäfte sind hangaufwärts gezogen, wodurch diese ebenfalls vom Hochwasser verschont blieben. Ein weiterer Aspekt für die geringe Resonanz im Handelsbereich kann aber auch einen psychologischen Ursprung haben, wie Existenzängste und Traumata, die auch aus einzelnen persönlichen Gesprächen abgeleitet werden konnten.

Anwohner

Die größte Gruppe mit den meisten Rückmeldungen (29 Personen) bildeten die Anwohner. In der Umfrage haben ungefähr gleichermaßen viele Männer ($n = 15$) und Frauen ($n = 14$) im Alter von 18 bis über 60 Jahren teilgenommen, wobei die Anzahl der Befragten in den Altersgruppen mit dem Alter zugenommen haben (Abbildung 19). Die geringe Teilnahme der jüngeren Altersgruppen unter 24 Jahren kann durch eine geringe Betroffenheit resultieren, da sie keine Immobilien besitzen und sich möglicherweise nicht durch das Hochwasser gefährdet sehen und somit geringes Interesse besteht. Des Weiteren aber auch durch die primäre Erreichbarkeit der Altersgruppe durch digitale Kommunikationskanäle, die bei der Umfrage nicht genutzt wurden. In der Altersgruppe zwischen 25 und 45 Jahren ist das Interesse größer, da dies das Alter ist, in dem die Familie eine Rolle spielt und somit der Schutz der Familie und des Eigentums im Fokus tritt. Bei der älteren Altersgruppe (>45 Jahre) können Lebenserfahrung und Erinnerung ein wesentlicher Aspekt sein. Sie können sich mit der Thematik besser identifizieren sei es durch frühere Erfahrungen mit Hochwasserereignissen oder generell durch ein lokales Gemeinschaftsgefühl, dass sie dazu ermutigt positive Veränderungen im Hochwasserbereich vor Ort zu schaffen. Auch der Zeitfaktor ist sicherlich ein Aspekt, der bei den jüngeren Altersgruppen zu weniger Resonanz führt im Gegensatz zu den über 60-jährigen, die beispielsweise nicht mehr arbeiten und dadurch mehr Zeit haben an Umfragen teilzunehmen.

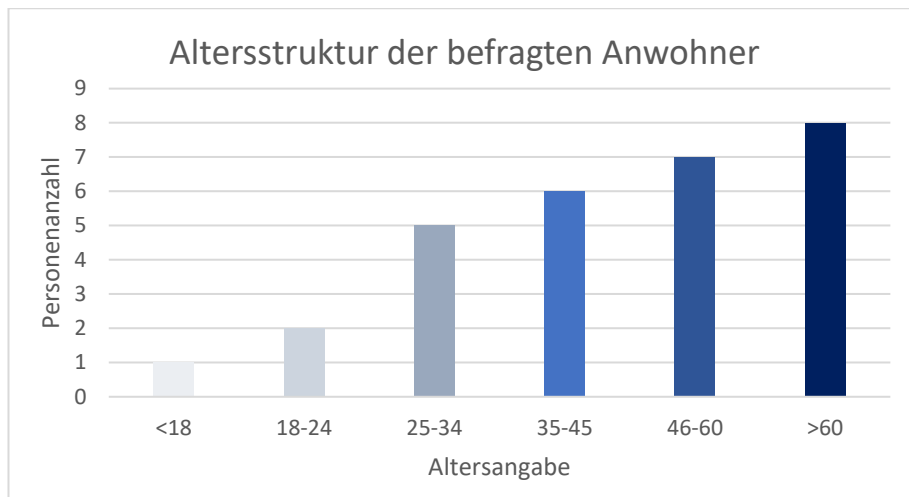


Abbildung 18: Altersstruktur der befragten Anwohner (eigene Darstellung). Anzahl der Befragten $n = 29$.

Mehr als die Hälfte der Anwohner kam aus der Stadt Velbert Langenberg, die aufgrund der Nähe zum Fluss am stärksten von dem Hochwasserereignis betroffen war, gefolgt von Velbert Neviges, Nierenhof und Kupferdreh. In Neviges war nur eine Straße vom Hochwasser betroffen, eine kleine Senke hinter dem Bach, die durch viel Leerstand und Renovierungs- und Bauarbeiten geprägt ist. Ansonsten gibt es vor Ort große Parkflächen, die keinen direkten Schaden bei den Befragungsgruppen hervorruft. Die restlichen Wohnflächen sind höher gelegen und waren nicht vom Hochwasser betroffen. In Kupferdreh war nur ein kleiner Bereich betroffen, der nach Berichten durch eine Baustelle vor Ort verursacht worden war. Allgemein waren nur wenige Häuser vom Hochwasser betroffen, die zudem nur im Kellerbereich überflutet wurden. Die meisten Befragten in den einzelnen Stadtteilen waren direkt vom Hochwasser betroffen und nur in Neviges lebt die Mehrheit der Befragten außerhalb des Überflutungsbereiches. Die Spanne des Wasserstands während des Hochwasserereignisses lag bei den Anwohnern zwischen 0 und über 4 Metern, dabei bildeten die zwei größten Gruppen von 1-2 Metern (40%) und 2-4 Metern Höhe (24%) zusammen mit 64% die Mehrheit. Über 80% der Befragten hatten Hochwasserschäden, deren Verteilung in der Abbildung 20 aufgeführt sind. Dabei sind Schäden an der Gebäudestruktur und Stromausfälle die Hauptschäden, die bei fast allen Betroffenen entstanden sind. Vergleicht man die Schäden der Gruppe Anwohner mit denen der Gruppe Einzelhandel, so wird ersichtlich, dass zwar auch Schäden im Bereich Trinkwasserverschmutzung und unterbrochene Wasser- und Gasversorgung entstanden sind, aber nicht so ausgeprägt sind wie die anderen drei Schadensgruppen. Des Weiteren wurden vereinzelte Schäden der Betroffenen genauer beschrieben und ausgeführt wie zum Beispiel die Explosion von Akkus, die unter Wasser waren und später explodierten, sowie der Abriss eines Teichs, der durch das Hochwasser weggespült wurde. Trotz alledem wurden nur bei 30,8% der Teilnehmer Schadstoffe in die Umge-

bung eingetragen (Abbildung 20), die sich vor allem aus Sperrmüll und Haushaltschemikalien zusammensetzen. Hochwasserschutzmaßnahmen wurden bei fast der Hälfte der Befragten am Grundstück vorgenommen, die den Fokus vor allem auf technische Maßnahmen gelegt haben wie beispielsweise den Einbau eines Abflusses im Gewölbe. Natürliche Maßnahmen wurden dabei weniger umgesetzt (15,4%).

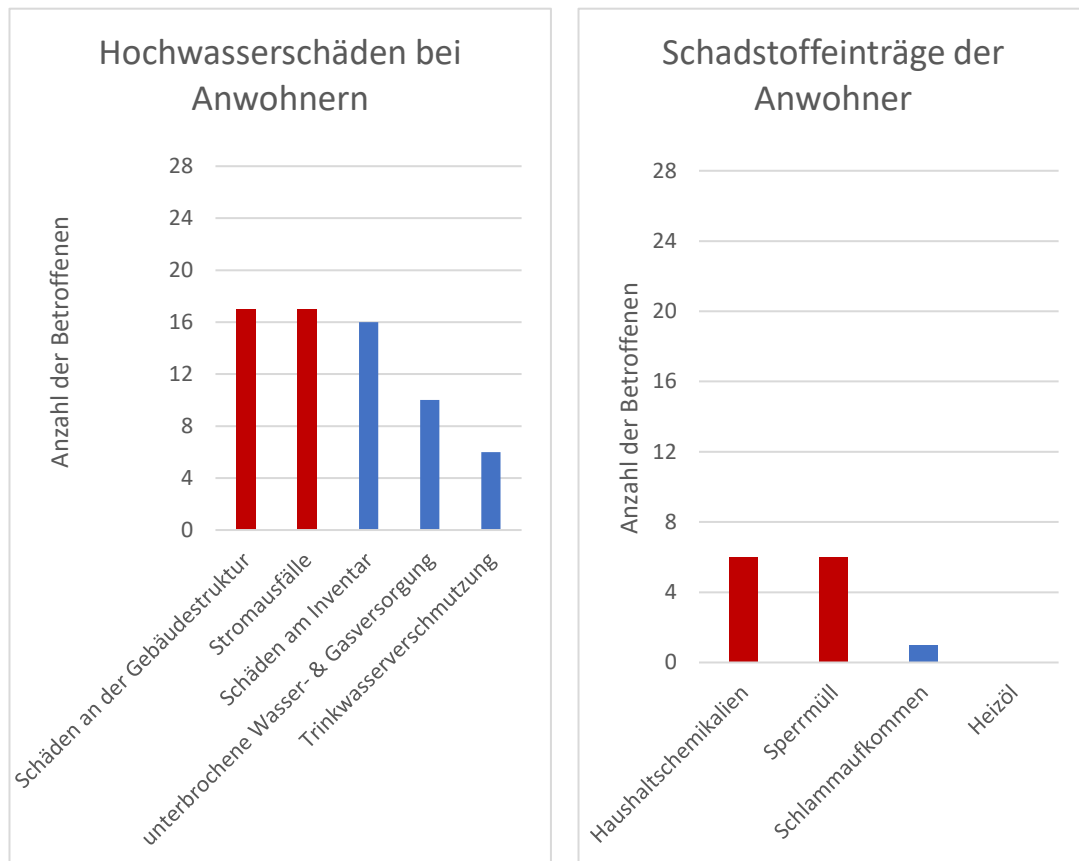


Abbildung 19: Hochwasserschäden und Schadstoffeinträge der Anwohner (eigene Darstellung). Anzahl der Befragten $n = 29$.

THW und Feuerwehr

Im Bereich des THWs und der Feuerwehr hat jeweils eine Person (männlich) stellvertretend für die Konstitutionen als Experte teilgenommen. Das Einsatzgebiet von der befragten Person des THWs bezog sich auf Velbert Langenberg, wo 18 Einsatzkräfte 18 Stunden lang im Einsatz waren, bevor sie von einem Ortsverband vor Ort abgelöst wurden. Dort hat das THW technische Hilfe zur Sicherung und Versorgung geleistet, die durch die gute Zusammenarbeit aller Einsatzkräfte während des überraschenden Hochwasserereignis mit vielen parallelen Einsatzorten sichergestellt wurde. Die Feuerwehr, die die Hochwassersituation als angespannt beschrieb, hatte ihren Einsatzort in Velbert Langenberg und Nierenhof. Dort gab es zahlreiche Herausforderungen wie schnell ansteigende Wassermassen, viele parallele Einsatzorte, beeinträchtigte Infrastruktur, Rettung von Menschen, Unterbrechung der Kommunikationswege und Hilfsmittelmangel, die es zu bewältigen gab. Die vorhandene feuerwehrtechnische Ausstattung hat vor Ort unter

anderem bei der Evakuierung, Errichtung von Barrieren mithilfe von Sandsäcken geholfen. Auch psychologische Betreuung wurde der betroffenen Bevölkerung angeboten. Maßnahmen, die in Zukunft aus Sicht des THWs und der Feuerwehr für die Reduzierung der Hochwasserschäden umgesetzt werden sollten, sind unter anderem die Errichtung weiterer Rückhaltebecken, die in den anderen Befragungsgruppen auch gefordert wurden, eine möglichst frühe und schnelle Warnung, sowie eine stetige Sensibilisierung der Bevölkerung als Grundlage für eine bessere Hochwasservorbereitung. Bei der Befragung zur Treib- und Schmierstofffreisetzung durch beschädigte Tankstellen und Autos, sowie von Austrägen von ungereinigtem Abwasser durch Überlastungen von Kanalisation und Überschwemmungen von Kläranlagen wurden diese von THW und Feuerwehr eher als gering bewertet. Die Bewertung der Kanalisation stimmt auch mit den Informationen aus dem Gespräch mit den technischen Betrieben überein, die für die Stadtentwässerung zuständig sind und geprüft haben, ob die Kanalisation durch das Hochwasserereignis überlastet war, was sich nicht bestätigt hat. Verlagerungen von umweltgefährdeten Stoffen aus der Industrie in die Gewässer und den Boden wurden bei dem Ereignis nicht erfasst. Zu der Frage über die Maßnahmen und Verbesserungsvorschlägen aus Sicht der Politik und Stadt wurde keine Auskunft gegeben, was ggf. auf die Anstellung bei der Stadt zurückzuführen sein kann.

Gruppenübergreifende Ergebnisse

Die Ergebnisse aus den geschlossenen Fragen, die sich mit den direkten und indirekten Umweltauswirkungen befasst haben, wurden in den Abbildungen 21-24 in Form von Kreisdiagrammen dargestellt. Dabei decken die direkten Umweltauswirkungen die Bereiche Verunreinigung von Gewässern, Erosion und Sedimentation, sowie die Zerstörung von Lebensräumen ab. Bei den indirekten Folgen wurde der Ausfall von Infrastrukturen im Verkehrs- und Versorgungsbereich betrachtet. Anschließend folgen die offenen Fragen, die für jede Frage einzeln kategorisiert und in Balkendiagrammen dargestellt wurden (Abbildungen 25-28).

Direkte Umweltauswirkungen

Am stärksten ausgeprägt ist die Verunreinigung von Gewässern, die mit 29% im sehr hohen Bereich bewertet wurde (Abbildung 21). Zusammen ergaben Stufe 4 (hoch) und 5 (sehr hoch) 50% der Auskünfte, dass die Verunreinigung von Gewässern wie dem Deilbach besonders präsent war. Die Mehrheit gibt an, dass die Verunreinigung deutlich erkennbar war, und ordnen diese den Stufen 3-5 (mittel bis sehr hoch) zu.

Generell ist die visuelle Wahrnehmung ein entscheidender Faktor bei der Bewertung der Umweltauswirkungen. Dinius (1981) hat sich schon im Jahre 1981 mit dieser Thematik

auseinandergesetzt und diese weiter erforscht. Dabei wurde ersichtlich, dass die Menschen die Zunahme der Abfallmenge in Ufernähe mit einer Zunahme des Verschmutzungsgrades des Wassers gleichgesetzt haben. Auch die Farbgebung des Wassers wird als wichtiger Indikator bei der Bewertung der Wasserqualität hinzugezogen. In der Studie war die Verfärbung des Wassers für die Teilnehmer das Hauptindiz für eine schlechte Wasserqualität und wurde als aussagekräftiger als die Abfalleinträge angesehen (Dinius 1981: 120).

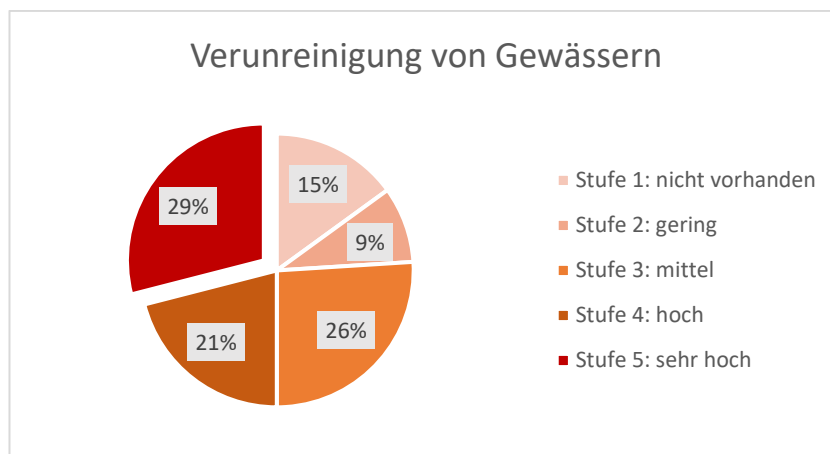


Abbildung 20: Verunreinigung von Gewässern (eigene Darstellung). Anzahl der Befragten $n = 34$.

Schäden durch Erosion und Sedimentation nehmen in der Wahrnehmung der Betroffenen ebenfalls eine hohe Wahrnehmung ein (Abb.22), wobei die Stufen 3 (mittel) bis 5 (sehr hoch) wie bei der Verunreinigung von Gewässern (Abb. 21) hauptsächlich genannt wurden. Hier ist jedoch die Stufe 3 am meisten vertreten, sodass die gefühlten Auswirkungen von Erosion und Sedimentation sich im mittleren Bereich befindet. Morphologische Veränderungen, die sich auf die Landoberfläche beziehen und durch Hochwasser verursacht werden, können die Menschen vor Ort visuell erfassen. Direkte und indirekte Auswirkungen, die den Menschen betreffen und durch die dieser die Erosion wahrnimmt sind unter anderem Bodendegradation und Wasserverschmutzung. Auch Erosions- und Ablagerungsprozesse werden beispielsweise durch Sedimentverlust in einzelnen Erosionsbereichen und Ablagerungen in anderen ersichtlich. Des Weiteren kommt es zu Veränderungen der Flussstruktur, die zum Beispiel anhand von einer zunehmenden Breite und Fließgeschwindigkeit geprägt wird, wodurch sich unter anderem Sedimente stärker in der Umgebung verbreiten können. Dies wird deutlich durch die Überschreitung der durchschnittlichen Fluss- und Sedimentationsmenge bei Hochwasser (Akay et al. 2020: 1f.).

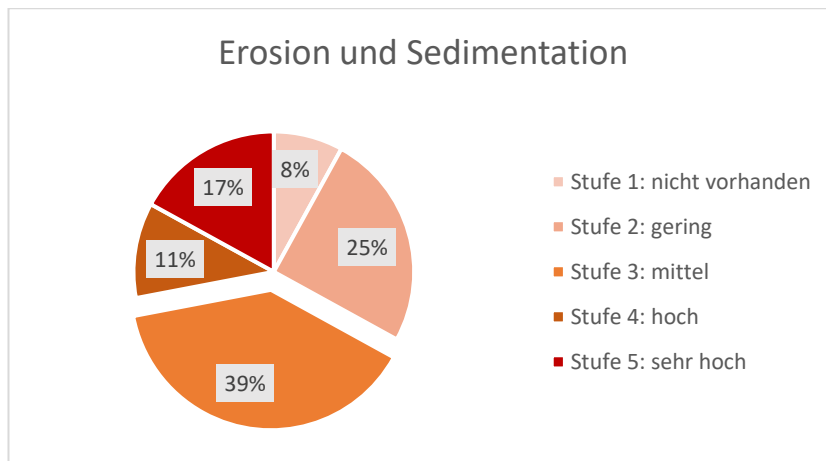


Abbildung 21: Erosion und Sedimentation (eigene Darstellung). Anzahl der Befragten $n = 36$.

Die Zerstörung von Lebensräumen weist bei den direkten Auswirkungen den geringsten Schaden auf, wenn man die Antworten der Befragten zugrunde legt (Abb. 23). Die Mehrheit hat diese in Stufe 1 und 2 kategorisiert und sieht somit keine bis kaum eine Zerstörung der Lebensräume vor Ort. Eine moderate Zerstörung (Stufe 3) haben 29% wahrgenommen, allerdings gibt es nur wenige Personen die die Zerstörungen als hoch (4) und keine die die Schäden als sehr hoch (5) eingeschätzt hat. Jedoch können Lebensräume individuell unterschiedlich definiert werden, beispielsweise als natürliche Lebensräume und menschliche Lebensräume. Natürliche Lebensräume wie unter anderem Wälder und Gewässer fördern die Biodiversität und sind minimalen anthropogenen Eingriffen ausgesetzt. Menschliche Lebensräume können landwirtschaftliche Flächen, industrielle Gebiete und städtische Flächen sein (Dominiczak 2016). Je nach Interpretation des Begriffs Lebensraum, kann die Frage daher aus unterschiedlichen Blickwinkeln betrachtet werden, und somit zu verschiedenen Antworten führen, die aus den Ergebnissen nicht hervorgehen, aber diese ggf. beeinflussen.

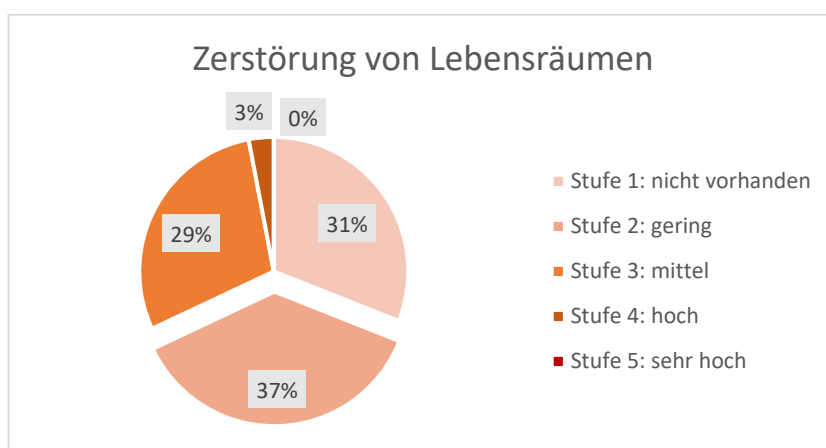


Abbildung 22: Zerstörung von Lebensräumen (eigene Darstellung). Anzahl der Befragten $n = 35$.

Die Betrachtung aller direkten Auswirkungen zeigt, dass die Bewertung der einzelnen Faktoren von der Zerstörung von Lebensräumen, Erosion und Sedimentation bis hin zur

Verunreinigung von Gewässern immer schlechter ausfällt. Um ein besseres Bild zu bekommen, müssen jedoch die einzelnen Faktoren betrachtet werden und dessen Wechselwirkungen. Werden die Faktoren miteinander in Bezug gesetzt, so lässt sich folgende Kettenreaktion erstellen: Die Erosion und Sedimentation begünstigen unter anderem den Transport von Gegenständen, Chemikalien und Schlamm, wodurch der Eintrag ins Wasser erleichtert wird. Das führt dazu, dass die Gewässerqualität abnimmt und es zu einer Verunreinigung des Wassers kommt. Dies hat wiederum negative Auswirkungen auf das betroffene Wasserökosystem und die dort vorkommenden Lebensarten. Der Lebensraum der dort lebenden Organismen wird beeinträchtigt und im schlimmsten Fall zerstört. Warum die Zerstörung des Lebensraums vergleichsweise als gering durch die Befragten beurteilt wird, kann zum einen auf die unterschiedliche Definition des Begriffs Lebensraum zurückzuführen sein, wodurch vielleicht eher auf Bewaldung, Gewässer oder Stadt der Fokus gelegt wurde oder zum anderen dadurch, dass die Lebensräume in Relation zu den anderen Bereichen nach eigener Meinung nicht so stark betroffen waren.

Indirekte Auswirkungen

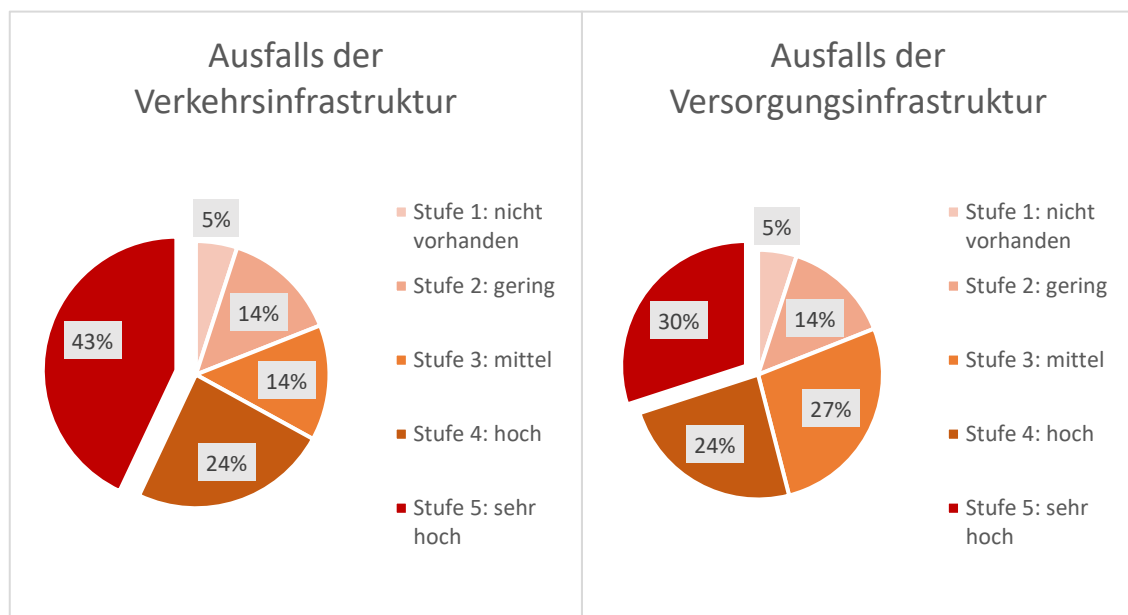


Abbildung 23: Ausfall der Verkehrs- und Versorgungsinfrastruktur (eigene Darstellung). Anzahl der Befragten $n = 37$.

Bei den indirekten Auswirkungen in Abbildung 24 wurden sowohl im Verkehrs- als auch im Versorgungsbereich ähnliche Bewertungen abgegeben. Der Unterschied liegt darin, dass bei der Verkehrsinfrastruktur die Schäden bei Stufe 5 um 14% höher sind als bei der Versorgungsinfrastruktur, die dafür 14% mehr bei der Stufe 3 aufweist. Nichtsdestotrotz werden die Schäden bei beiden vor allem als sehr hoch eingeschätzt. Die nahezu gleichen Bewertungen können daraus resultieren, dass die Versorgungsinfrastruktur zum Teil mit der Verkehrsinfrastruktur verknüpft ist. Die Verkehrsinfrastruktur ist ein wichtiger Faktor, der bei der Bewältigung von Überschwemmung maßgebend ist. Ist die

Funktionsfähigkeit der Straßen beeinträchtigt, so kann der Zugang zu wichtigen Dienstleistungen wie beispielsweise Krankenhäusern aber auch Handel etc. unterbrochen werden (Alabbad et al. 2021: 1).

Maßnahmen zur Hochwasservorsorge

Bei den offenen Fragen wurde der Fokus auf die Maßnahmen zur Hochwasservorsorge gelegt. Zuerst wurde gefragt, ob Maßnahmen in der Stadt vorgenommen wurden, die den Bewohnern bekannt sind. Die Mehrheit (8 Personen, 44%) der Befragten hat dabei angegeben, dass ihnen keine Maßnahmen bekannt sind, gefolgt von (5 Personen, 28%) den Personen, denen die Maßnahmen zur Hochwasservorsorge bekannt sind. Genannte Maßnahmen sind die Ausarbeitung der Hochwasserschutzkonzepte für HQ100, Rückhaltebecken und Wasserpumpen im Keller von Altbauhäusern. Die Minderheit (5 Personen, 28%) berichtet, dass keine Maßnahmen existieren (3 Personen, 17%) oder dass ihnen diese durch einen detaillierten Bericht der Stadt Velbert mitgeteilt wurden (2 Personen, 11%). Bis auf 2 Personen (7%), waren sich alle befragten 25 Personen (93%) einig, dass die Maßnahmen nicht ausreichen und ausbaufähig sind.

Als Grundlage für die Maßnahmenplanung gilt der Hochwassermanagementplan der Ende 2020 mit der Bezirksregierung Düsseldorf abgestimmt wurde. Die langfristigen Strategien zielen dabei im Bereich Bauen auf die Berücksichtigung von Hochwasserrisiken und Gefährdungsabschätzungen, sowie Auflagen und Hinweise von Baugenehmigungen ab. Des Weiteren sind die Katastrophenschutzplanung für Hochwasserereignisse und die Steuerung kommunaler Abwassereinleitungen zentrale Aspekte des Plans. Auch die Schaffung von Retentionsräumen an den Bächen wird aufgeführt. Zum Schluss wird noch die Entwicklung eines Hochwasser-Schutzkonzeptes speziell für Langenberg genannt (Stadt Velbert o.J.). Diese Strategien werden anschließend im Hochwassermaßnahmenplan konkretisiert und an die lokalen Gegebenheiten angepasst.

Die städtische Maßnahmenplanung in Bezug auf die Risikogewässer Hardenberger Bach und Deilbach ist vom Stand Dezember 2021 und identisch zu den Inhalten vom März 2021. Diese Maßnahmen wurden in der Tabelle 3 aufgelistet und zeigen die städtischen Maßnahmen, deren Beginn und Umsetzung, sowie die Ziele. Um die städtischen Maßnahmen in Bezug zu den Anmerkungen und Wünschen der Bevölkerung zu setzen wurden die angesprochenen Themen der Bevölkerung (Abbildung 25-28) in 5 Oberkategorien eingeteilt. Die Oberkategorien sollen somit die Wünsche der Bevölkerung und die dazugehörigen städtischen Maßnahmen aufzeigen, sodass man sie im weiteren Verlauf leichter miteinander vergleichen kann.

Tabelle 3: Städtische Maßnahmenplanung für die Risikogewässer Hardenberger Bach und Deilbach (verändert nach MULNV 2021).

Raumplanung und Infrastruktur		
Städtische Maßnahmenplanung	Beginn und Umsetzung	Ziel
Ausweisung bzw. Überarbeitung der Überschwemmungsgebiete	1999 - fortlaufend	Festsetzung der Überschwemmungsgebiete
Berücksichtigung der Hochwasserrisiken in der Regionalplanung	2013 - fortlaufend	Stärkung ökologischer sozialer und wirtschaftlicher Resilienz
Berücksichtigung von Hochwasserrisiken in überschwemmten und geschützten Gebieten bei der Aufstellung/Änderung von Flächennutzungsplan	2013 - fortlaufend	Schaffung einer nachhaltigen und sicheren Nutzung des verfügbaren Raums
Beratung von Antragstellern/ Bauwilligen und Bereitstellen von Informationsmaterialien zur Bauvorsorge im Rahmen der allgemeinen Bauberatung	2014 - fortlaufend	Überprüfung ob Eingriffsbereich im HW-Gefahrenbereich liegt
Verbesserung der Hochwasserinformationen durch Überprüfung und Fortschreibung der Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten	2015 - 2021	Festlegung von Pegelständen/ Alarmschwellen
Katastrophenschutzplanung für Hochwasserereignisse	2020 - fortlaufend	Aufstellung und Aktualisierung von Alarm- und Einsatzplänen und deren Umsetzung im Hochwasserfall (Gefahrenabwehrplan)
Entwicklung eines HW-Schutzkonzepts für Langenberg	2021 - 2023	Menschen, Sachwerte und Umwelt durch präventive, nachhaltige und anpassungsfähige Maßnahmen schützen
Natürliche Maßnahmen und Landschaftsplanung		
Städtische Maßnahmenplanung	Beginn und Umsetzung	Ziel
Regelmäßige Kontrolle des Gewässerzustands und der Gewässerunterhaltung	2013 - fortlaufend	Gewährleistung der Funktionalität und der ökologischen Gesundheit des Gewässers
Freihaltung der Abflussquerschnitte im Rahmen der Unterhaltungspflicht	2013 - fortlaufend	Sicherstellung eines ungehinderten Wasserabfluss
Gewässer- und Auenrenaturierung zur Verbesserung des Wasserrückhalts	2015 - 2023	Reduzierung des Hochwasserscheitels
Technische Maßnahmen		
Städtische Maßnahmenplanung	Beginn und Umsetzung	Ziel

Regelmäßige Aufnahme von Hinweisen und Auflagen bei Baugenehmigungen inklusive Überwachung von Bauvorhaben	2013 - fortlaufend	Klimafolgenanpassung auch in Bezug auf Hochwasser und Starkregen
Bauliche Anpassung bestehender Gebäude im Rahmen von Sanierungen/Umbauten	2020 - 2022	Gefährdungsabschätzung, bauliche Anpassung und Nutzungsanpassung
Frühwarnsystem und Notfallmanagement		
Städtische Maßnahmenplanung	Beginn und Umsetzung	Ziel
Optimierung und Einrichtung/Ergänzung von Kommunikationswegen, Warnplänen und Warnhinweisen	2014 - fortlaufend	Informationsverbreitung in der Öffentlichkeit durch mobile Sirene, Lautsprecherfahrzeug, Bürgertelefon und Radio
Jährliche Dienstbesprechung mit den Gefahrenabwehrbehörden	2014 - fortlaufend	Bereithaltung und Koordination notwendiger Personal- und Sachressourcen
Evaluierung und Nachbereitung von Katastropheneinsätzen	2020 - fortlaufend	Verbesserung der Einsatz-/Gefahrenabwehrplanung
Informationsaustausch und Aufklärung		
Städtische Maßnahmenplanung	Beginn und Umsetzung	Ziel
Ortsnahe Veröffentlichung der HWGK und HWRK	2013 - fortlaufend	Umfassende Informationsbereitstellung für die Bevölkerung über potenzielle Hochwasserrisiken
Information von Betrieben mit IED-Anlagen (Industrieemissionsrichtlinie) über Hochwassergefahren	2014 - 2025	Wissensvermittlung der Betriebe zur HW-Gefahr und Eigenvorsorge, sowie der Umgang mit wassergefährdenden Stoffe
Beratung und Information von Unternehmen mit Anlagen nach AwSV (Verordnung zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen), Seveso III-RL (Beherrschung der Gefahren schwerer Unfälle mit gefährlichen Stoffen) und BImSchG (Bundesemissionsschutzgesetz)	2014 - fortlaufend	Überwachung von Anlagen/Betrieben mit wassergefährdenden Stoffen
Informationsmaterial für Bevölkerung und Wirtschaft mit Anleitungen zur Eigenvorsorge	2014 - umgesetzt	Vermittlung von Eigenvorsorge und Verhalten bei Hochwasser
Informationsveranstaltung für Eigentümer der gefährdeten Bebauungen und interessierte Bürger zur HW-Gefahr und Eigenvorsorge	2014 - umgesetzt	Schaffung eines Risikobewusstseins

Potenzielle Maßnahmen, die die Bevölkerung vor Ort als sinnvoll erachtet, wurden in der Abbildung 25 aufgeführt. Die wichtigsten sind dabei natürliche Maßnahmen und Landschaftsplanung, sowie technische Maßnahmen. Bei den natürlichen Maßnahmen wurden vielfach Aspekte wie Entsiegelung und ein naturnaher Bachverlauf erwähnt, aber

auch die Umsetzungen von Konzepten wie die Schwammstadt. Die technischen Maßnahmen, die den Anwohnern besonders wichtig sind, sind Stauwerkregulierungen, Dammbau und Rückhaltebecken. Des Weiteren wurde in der Befragung auch die Brücke in Nierenhof am Bahnübergang als Problempunkt hervorgehoben, da sie bei Hochwasser die Wassermassen aufgrund eines geringen Durchflusses staut, was durch Schwemmmaterial noch verstärkt wird. Weitere Kategorien, die erwähnt wurden, sind unter anderem ein besseres Frühwarn- und Notfallmanagement, wozu auch die Bereitstellung von Sandsäcken zählt, sowie Verwaltung und rechtliche Rahmenbedingungen, die schnellere und leichtere Genehmigungsprozesse miteinschließen. Das Ziel von leichteren Genehmigungsprozessen ist, die bürokratischen Prozesse zu reduzieren, um Hochwasserschutzprojekte schnell, effizient und effektiv umzusetzen.

Die letzten beiden Kategorien in Abbildung 25 befassen sich mit der Pflege vor Ort wie zum Beispiel der Kanalisation und dem weltweiten Klimaschutz, die von jeweils einer einzelnen Person angesprochen wurden.

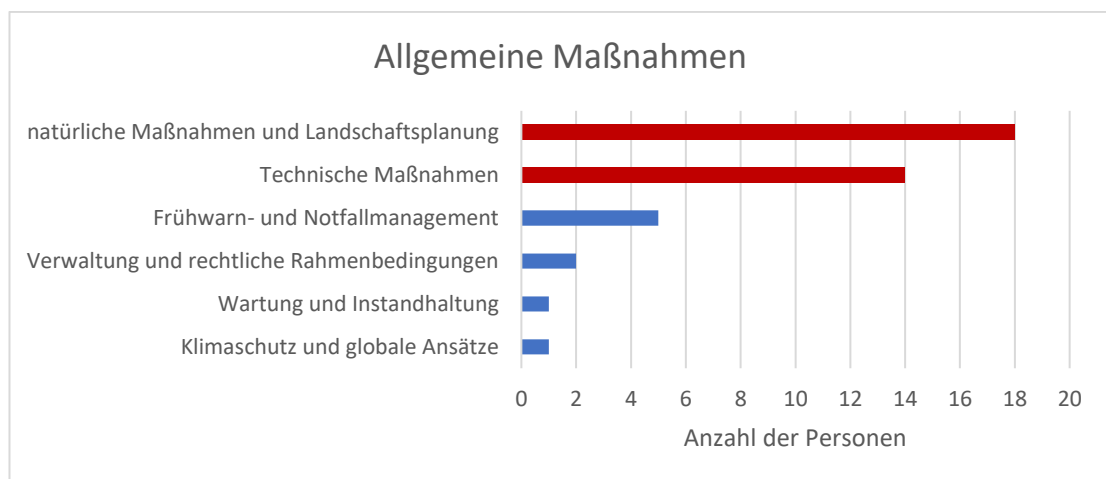


Abbildung 24: Allgemeine Maßnahmen (eigene Darstellung). Anzahl der Befragten $n = 25$.

Neben den oben aufgeführten Maßnahmen, die vor allem Eingriffe in die Landschaft propagieren, gibt es auch weitere Unterstützungsmöglichkeiten für die Bevölkerung (Abb. 26), um sich besser auf das Hochwasser vorbereiten zu können. Am wichtigsten ist der Bevölkerung die Kategorie Frühwarnsysteme und Kommunikation, die ein schnelleres Handeln vor Ort gewährleisten soll. Dies kann technisch durch Warn-Apps und Sirenen oder direkt durch Durchsagen vor Ort ermöglicht werden. Information und Aufklärung folgt danach mit den baulichen und strukturellen Maßnahmen. Zum einen regt die Bevölkerung konkretere Vorschläge und Informationen zu Schutzmaßnahmen und das Angebot eines Haus-Checks an, um ein besseres Verständnis und bessere Handlungsmöglichkeiten bei Hochwasser zu bekommen. Zum anderen wird der Versiegelungsstopp, der auch in der Kategorie Landschaftsplanung in Abbildung 25 vorzufinden ist, nochmal angesprochen. Zusätzlich aber auch der Wunsch, dass die Stadt Maßnahmen im Bereich Hochwasserschutz umsetzen soll (Tab. 3). Der Denkmalschutz spielt

dabei auch eine wichtige Rolle, da dadurch bei einzelnen unter anderem die Abdichtung des Mauerwerks verhindert wird und die Umsetzung von Hochwasserschutzmaßnahmen am eigenen Wohnort erschwert werden. Unterstützung und Ressourcenbereitstellung ist ein weiterer Aspekt, der die Verfügbarmachung von Sandsäcken und die Notversorgung umfasst, wobei die Notversorgung auch eine Bereitstellung von Ausweichräumen bei Hochwasser miteinbezieht, die besonders Personen mit einem eingeschränkten Bewegungsradius wie Rollstuhlfahrern helfen soll. Die individuelle und gemeinschaftliche Verantwortung, soll des Weiteren dazu dienen, dass mehr Eigenverantwortung geschaffen wird, um wichtige Informationen aus beispielsweise Apps herauszufiltern.

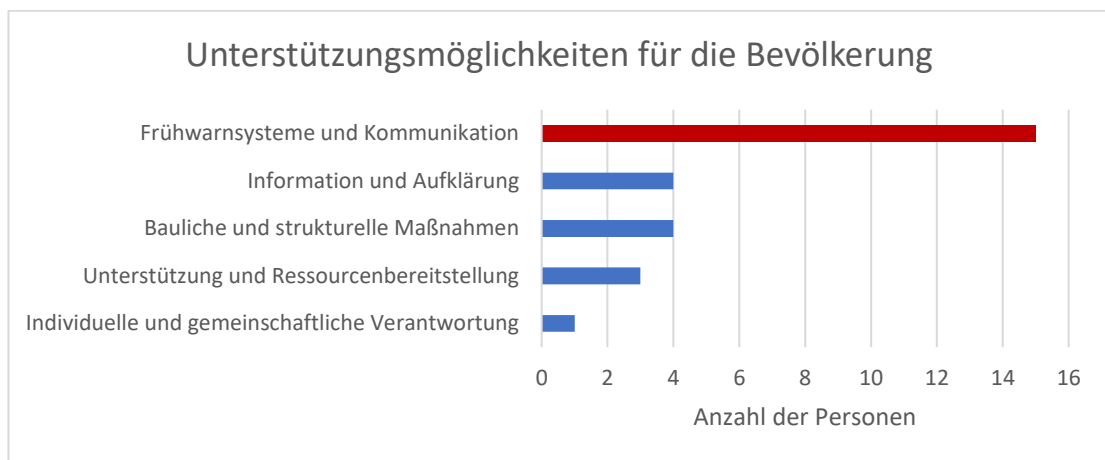


Abbildung 25: Unterstützungsmöglichkeiten für die Bevölkerung (eigene Darstellung). Anzahl der Befragten $n = 25$.

Eine weitere offene Frage bezog sich auf politische und behördliche Maßnahmen, die nach Angaben der Bevölkerung den Hochwasserschutz vor Ort optimieren können (Abb. 27). Der Hauptaspekt hierbei ist ein effizienterer Verwaltungsprozess, der Genehmigungsprozesse priorisieren und somit beschleunigen soll und im Idealfall eine schnellere Umsetzung der Hochwasserschutzmaßnahmen mit sich bringt, die für die Bevölkerung als sehr wichtig eingestuft werden. Der Aspekt effizientere Verwaltungsprozesse lässt sich auch mit dem Punkt politische Verantwortung und Bewusstsein verknüpfen, da dabei die Verantwortung gegenüber den Hochwasserschutz aufgegriffen wird, indem Maßnahmen gegen Hochwasserereignisse getätigt werden sollen. Danach folgen die Kategorien Raumplanung und Infrastruktur und Frühwarnsysteme und Kommunikation, die in den anderen beiden offenen Fragen auch thematisiert wurden und unter anderem die Probleme Entsiegelung und Brückenerweiterung ansprechen. Zuletzt wird noch das Schadensmanagement erwähnt, durch das der Wunsch nach mehr Rücksicht auf Privathaushalte und Mittragen von Schäden angesprochen wird.

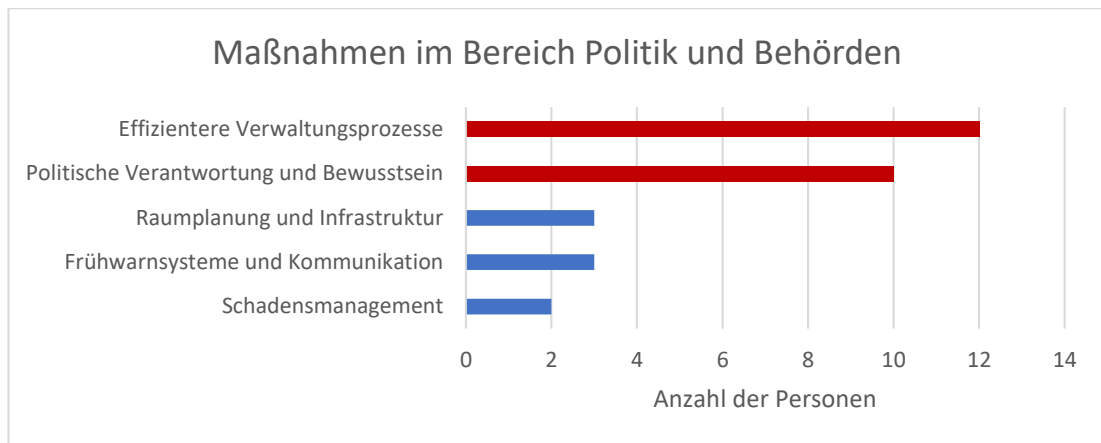


Abbildung 26: Maßnahmen im Bereich Politik und Behörden (eigene Darstellung). Anzahl der Befragten $n = 24$.

Weitere Ergänzungen zu dem Hochwasserereignis, die in dem Fragebogen noch angemerkt wurden sind in Abbildung 28 zu finden. Die meisten Befragten weisen nochmal auf Prävention und nachhaltige Planung hin, die unter anderem vorausschauendes Handeln bei der Staubeckenregulierung und Freihaltung von Bachflächen von beispielsweise Müll und Bäumen beinhaltet. Ein weiterer wichtiger Punkt bei den Betroffenen ist die Kommunikation und Bürgerbeteiligung, unter dem ein größerer Informationsaustausch in Form von Infobroschüren und Infoveranstaltungen vor und nach dem Hochwasserereignis vor Ort stattfinden soll. Die Betroffenen wollen damit einen Leitfaden haben, der Hochwasservor und -nachsorge, sowie den psychischen Umgang mit diesen umfasst und anhand dessen sie sich orientieren können. Auch die Präsenz des Bürgermeisters ist ein weiterer Punkt, der in diese Kategorie fällt und von der Bevölkerung gewünscht wird. Die letzten drei Kategorien umfassen die operativen, gesetzlichen und technischen Maßnahmen sowie die Versicherungen. Bei den operativen Maßnahmen wird das vorausschauende Handeln erwähnt, dass beispielsweise die kontrollierte Ablassung des Staubeckens vorsieht. Generell ist bei den Maßnahmen eine konkretere Regelung im Ernstfall erwünscht, die auch die gesetzlichen und technischen Maßnahmen umschließen. Dazu zählt die Wiederherstellung des Abflussprofils nach §39 des Wasserhaushaltsgesetz und die Optimierung der Querbauwerke, die die hydraulische Funktion des Flusses zur Vermeidung von Überschwemmungen verbessern soll. Zusätzlich würden günstige Elementarversicherungen die Betroffenen noch weiter unterstützen.

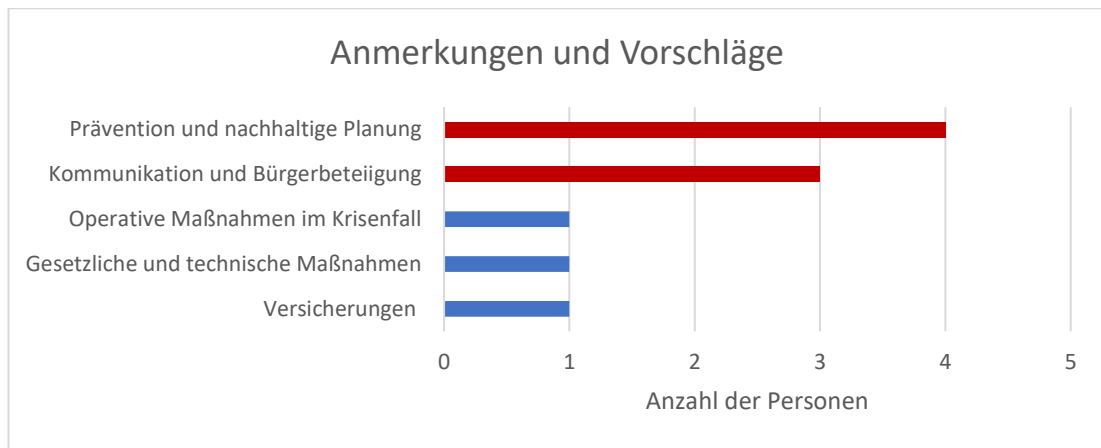


Abbildung 27: Anmerkungen und Vorschläge (eigene Darstellung). Anzahl der Befragten $n = 9$.

Anhand der Auswertung der offenen Fragen wird deutlich, dass bei der Beantwortung der Fragen manche Begriffe immer wieder auftauchen, wie beispielsweise Entsiegelung, Stauwerkregulierung und Problempunkt Brücke, was die Wichtigkeit dieser Themen für die Bevölkerung hervorhebt. Vergleicht man jetzt die Wünsche der Bevölkerung mit der Maßnahmenplanung der Stadt Velbert (Tab. 3), so wird deutlich, dass die Bevölkerung oft konkretere Vorschläge hat, die zum Teil in dem allgemein verfassten Maßnahmenplan wiederzufinden sind. Im Bereich der Raumplanung und Infrastruktur ist das Ziel die Stadt bestmöglich an Hochwassergefahren anzupassen und somit die Resilienz zu steigern. Nichtsdestotrotz kann man hervorheben, dass zum Beispiel die Idee der Bevölkerung den Hochwasserschutz vor den Denkmalschutz zu stellen sinnvoll ist, um die Hochwassergefahren für alle gleichermaßen fair zu gestalten. Natürliche Maßnahmen und Landschaftsplanung stimmen mit den Aspekten der Bevölkerung überein, die sich im Weiteren auch wünscht, dass speziell für Hochwasserschutz entwickelte Konzepte umgesetzt werden sollen. Die technischen Maßnahmen, die vor allem die baulichen Prozesse und Gebäude umfassen, könnten aus Sicht der Bevölkerung noch Stauwerkregulierungen, Dammbau und Rückhaltebecken berücksichtigen. Auch beim Frühwarnsystem und Notfallmanagement bemüht sich die Stadt sich nach jedem Katastropheneinsatz zu verbessern mithilfe von Evaluierungen, die zu besseren Reaktionsvermögen und Planung in Zukunft führen soll. Dabei ist die Bereitstellung von Ausweichräumen vor allem für bewegungseingeschränkte Betroffene ein wichtiger Ansatzpunkt, der in den Überlegungen mitaufgegriffen werden kann. Ein weiterer oft aufgeführter Punkt ist der Informationsaustausch und die Aufklärung, die den Bürgern einen besseren Überblick und Einblicke in die Handlungsmöglichkeiten bei Hochwasserereignissen geben soll. Trotz der Umsetzung von zwei Informationsverbreitungsmaßnahmen, gibt die Bevölkerung an nicht ausreichend informiert zu sein und wünscht sich dabei mehr Unterstützung.

Insgesamt möchte die Bevölkerung mehr Fortschritte im Hochwasserschutzbereich von der Politik und den Behörden sehen, da die Dringlichkeit der Thematik die Betroffenen

beschäftigt. Dennoch kann man festhalten, dass die Stadt bereits Maßnahmen eingeleitet hat, auch wenn mehr als die Hälfte der Maßnahmen noch fortlaufend sind und die Planung noch nicht vollständig umgesetzt wurde.

Hochwasserbefragungen

Hochwasserbefragungen dienen dazu die Auswirkungen von Hochwasserereignissen zu dokumentieren und ein Verständnis von der Wahrnehmung und dem Verhalten der betroffenen Bevölkerung zu bekommen. Dabei ist die Betrachtung von Langzeitbefragungen interessant, die zwar selten durchgeführt und vermehrt zu Verzerrungen und hohen Abbruchraten führen, jedoch die Entwicklung nach dem Hochwasserereignis detaillierter aufgreifen (Hudson et al. 2020: 642). Um die hier durchgeführte Befragung besser einordnen zu können und gegebenenfalls anzupassen wurde vergleichsweise die Befragung des Ahr-Hochwassers hinzugezogen. Dort kam es auch zu Umwelt- und Infrastrukturfolgen, die gesellschaftliche und wirtschaftliche Folgen hatten. Dazu zählen Verkehrsbehinderungen durch zerstörte Straßen und Brücken, die unter anderem beim Ahr-Hochwasser die Einsatzfahrten von Notdiensten verlängerten und einschränkten (Wassmer et al. 2024: 1).

Das Hochwasser führte zu hohen wirtschaftlichen Schäden, die mit Betriebsunterbrechungen von Unternehmen einhergingen. Diese Schäden wurden für schlimmer als direkte finanzielle Verluste eingestuft. Finanzielle Verluste sind in der Regel einmalig, wohingegen Betriebsunterbrechungen zu einem längeren Ausfall der Einnahmen durch Stilllegung und im schlimmsten Fall zur Insolvenz eines Unternehmens führen (Thieken et al. 2016: 1519). Insgesamt wurden in dieser Arbeit verschiedene Wege genutzt, um die Sichtweisen und Informationen der Betroffenen zu erlangen. Dabei wurden computergestützte Telefoninterviews 9 Monate nach dem Hochwasserereignis und 557 Interviews im Unternehmensbereich während und nach dem Ereignis durchgeführt (Thieken et al. 2016: 1523ff.).

Die Frage nach dem Wiederaufbau oder Umzug wurde insgesamt von 516 Personen beantwortet, die an der Befragung zum Großteil online teilgenommen haben. Zur Erhöhung der Teilnahme von älteren Personen wurden extra Papierumfragen erstellt. Diese wurden von 21 Personen ausgefüllt. Das Ergebnis war, dass vor allem die Betroffenen unabhängig vom Geschlecht, die dort Immobilien besitzen, sich für den Wiederaufbau entschieden haben. Diese Personen haben oft auch eine Verbindung zum Wohnort aufgebaut und hoffen beziehungsweise denken, dass dieses Ereignis einmalig war und in Zukunft nicht mehr auftreten wird (Truedinger et al. 2023).

Neben den materiellen Schäden wurde auch die psychische Gesundheit betrachtet. Die psychische Gesundheit kann aufgrund eines solchen Ereignisses zu langanhaltenden

negativen Folgen wie posttraumatische Belastungsstörungen (PTBS), Depressionen und Ängsten führen. PTBS kann sich durch traumatische Erlebnisse wie Hochwasser entwickeln, wenn die betroffene Person Todesangst oder ernsthafte Verletzungen bei sich selbst oder bei anderen Personen erlebt hat und es somit mit Angst, Hoffnungslosigkeit und Horror assoziiert. Bei einer Befragung zur Erhebung von PTBS im Hochwassergebiet der Ahr, wurden 411 Teilnehmer 1 Jahr nach dem Ereignis nach bestimmten Symptomen befragt. Das Ergebnis war, dass mehr als die Hälfte (67, 90%) der Befragten an mindestens einem PTBS-Syndrom, zumeist Schlafstörungen oder Interessensverlust litten. Allgemein sind Frauen anfälliger als Männer für die PTBS-Syndrome, da bei sechs von sieben Symptomen ein signifikanter Unterschied bei den Geschlechtern besteht. Nur bei der Vermeidung von Gedanken, Gefühlen und Personen in Bezug auf die Flut ist kein signifikanter Unterschied zu verzeichnen. Mögliche Ursachen und Hintergründe zum Zeitpunkt der Umfrage, die zu dem Ergebnis geführt haben, ist die Präsenz des Ereignisses in den Medien und die noch visuellen Schäden vor Ort (Zenker et al. 2024: 2838f.).

Vergleicht man nun die Ergebnisse vom Ahr-Hochwasser mit denen aus dieser Studie, so wird ersichtlich, dass es sich beim Ahr-Hochwasser um ein wesentlich größeres Gebiet handelt, welches betroffen war. Dies wird unter anderem durch die hohe Anzahl der Umfragen Teilnehmer deutlich, wodurch die Studie repräsentativer ist. Da das Untersuchungsgebiet in dieser Arbeit vergleichsweise klein ist, sind auch die Teilnehmerzahlen geringer und weniger Informationen konnten gesammelt werden. Dies gilt auch für die Gegenüberstellung und Relevanz der Geschlechter, die durch eine geringe Anzahl an Rückmeldung kaum miteinander vergleichbar sind. Dieser Faktor scheint aber in einzelnen Befragungsgruppen wie zum Beispiel bei der psychischen Gesundheit relevant zu sein. Zur Erreichbarkeit von möglichst vielen Bevölkerungsgruppen wurden in dieser Arbeit wie beim Ahr-Hochwasser Umfragen digital und in Papierform durchgeführt. Verbesserungsmöglichkeiten wären beispielsweise die Einbindung sozialer Medien oder Schulen, wobei trotz alledem die Limitierung durch die Größe des Untersuchungsgebiets vorbestimmt ist.

5 Fazit

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Umweltauswirkungen durch verschiedene Faktoren beeinflusst werden. Zum einen durch die Schadstoffquellen, die den Eintrag in die Umwelt bewirken und zum anderen durch den Niederschlag und den Abfluss, der von den örtlichen Gegebenheiten abhängt. Zur Erfassung und Bewertung der Umweltbelastungen durch Hochwasser in den betroffenen Teilgebieten am Deilbach wurde auf Kartenmaterialien und Umfragen zurückgegriffen. Anhand des Kartenmaterials werden die örtlichen Gegebenheiten sichtbar, wodurch Fließwege und Schadstofftransporte

besser analysiert und betroffene Gebiete genauer identifiziert werden können. Umfragen führen zu einer Einbindung der Bevölkerung, die besonders von dem Hochwasser betroffen ist. Das hat den Vorteil, dass Betroffene und Helfer die Hochwassersituation unmittelbar miterlebt haben und Problemfelder aufzeigen können, die möglicherweise von der Stadt oder den Behörden nicht wahrgenommen werden. Weitere Möglichkeiten für eine detailliertere Erfassung der Umweltbelastungen vor Ort wären Messungen und Begehungen während und nach dem Hochwasserereignis. Mithilfe der Messdaten können Schadstoffe, sowie deren prozentualer Anteil bestimmt werden und führen somit zu einer detaillierteren Datengrundlage. Restriktionen dabei sind zeitliche Komponenten im Bezug zum schnellen Handeln und lokale Verordnungen, sowie das Vorhandensein von Hilfsmitteln, die für die einzelnen Messungen wichtig sind. All diese Herangehensweisen ermöglichen es die Umweltbelastungen präziser zu erfassen und optimalere Maßnahmenpläne aufzustellen.

Der Einbezug von direkten und indirekten Umweltbelastungen ist ebenfalls wichtig, um den Handlungsraum festzulegen und die verschiedenen Standorte nach Dringlichkeit zu priorisieren. Direkte Belastungen umfassen beispielsweise die Kontamination von Böden und Gewässern durch Schadstoffe, sowie die Gefahr für den Menschen. In diesem Fall ist es wichtig im Notfall schnell zu reagieren und Sofortmaßnahmen zur Dekontamination einzuleiten, damit sich die Schadstoffe nicht weiterverbreiten können. Die Evakuierung gefährdeter Gebiete hilft dabei die Gefahr für den Menschen zu reduzieren. Indirekte Belastungen können zu langfristigen Folgen wie beispielsweise zu Schäden an der Infrastruktur führen. Bei beschädigten Straßen kann es somit auch zur Beeinträchtigung der Versorgungsinfrastruktur kommen. Direkte und indirekte Folgen können des Weiteren dazu führen, dass auch die wirtschaftliche Stabilität und Lebensqualität in den betroffenen Gebieten beeinträchtigt wird. In der Landwirtschaft kann bei Schadstoffeinträgen in den Boden die Flächen gegebenenfalls nicht mehr genutzt werden und bei Industrien und im Handel kommt es unter anderem zur Beschädigung von Maschinen. Anhand der Bewertung von den direkten und indirekten Umweltauswirkungen lassen sich gezielte Lösungsansätze entwickeln, die technische und natürliche Maßnahmen umfassen. Ziele der Maßnahmen sind die Ableitung und Speicherung von Wasser, Reduzierung von Wasseransammlungen, Minimierung von Schäden an der Infrastruktur, verbesserte Vorhersage von Hochwasserereignissen und Einleitung von präventiven Maßnahmen. Zu den technischen Maßnahmen zählen beispielsweise Deiche, Rückhaltebecken, Pumpwerke und Warn-Apps. Bei den natürlichen Maßnahmen liegt der Fokus auf der Wiederherstellung natürlicher Wasserrückhalteflächen, die die Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens erhöhen soll. Beispiel dafür ist die Renaturierung der Flüsse und die Wiederaufforstung der Uferzonen. Ein weiterer Aspekt, der sich durch die natürlichen Maßnahmen

positiv auf die Umwelt auswirkt, ist die Erhöhung der Biodiversität, wodurch diese Maßnahmen auch den Aspekt der Nachhaltigkeit beinhalten.

Die Einbeziehung von betroffenen Personen liefert Hinweise auf mögliche lokale Schwachstellen, die auch bereits bei bestehenden Hochwasserschutzmaßnahmen auftreten können. Praxisnahe Lösungen können somit auch durch das Miteinbeziehen von Ideen aus der Bevölkerung entwickelt werden und zu einer Verbesserung der nachhaltigen Hochwasserschutzkonzepte führen. Soziale und wirtschaftliche Faktoren spielen auch eine Rolle und können in Bezug zueinander gesetzt werden. Vermehrte Abwanderungen aus den betroffenen Gebieten können aufgrund von sozialen Aspekten wie psychologische Belastungen und der Verschlechterung der Lebensqualität durch lokal häufiger auftretende Hochwasserereignisse entstehen und die Wirtschaft vor Ort schwächen. Aus der wirtschaftlichen Perspektive beispielsweise aus Sicht des Einzelhandels entstehen somit nicht nur hohe Kosten im Bereich Schadensbewältigung und präventive Maßnahmen, sondern auch mögliche finanzielle Verluste durch Abwanderungen von lokalen Kunden. Des Weiteren ist die wirtschaftliche Existenz durch die wiederholten Hochwasserereignisse gefährdet. Aus ökonomischer Sicht sind vor allem Hilfsprogramme und Versicherungen wichtig, die die Finanzierung von Schutzmaßnahmen und Schadensregulierungen unterstützen. Langfristig gesehen, sollen diese finanzierbar und sozial gerecht sein und in der Maßnahmenplanung mitaufgegriffen werden. Insgesamt ist die Berücksichtigung von sozialen und ökonomischen Faktoren für die Maßnahmenplanung wichtig, wurden in dieser Arbeit allerdings nicht ausführlich analysiert. Grund dafür ist, dass soziale und wirtschaftliche Auswirkungen komplex sind und langfristige Untersuchungen notwendig sind, um diese erfassen zu können. Diese beiden Aspekte können in weiteren Studien nochmal genauer betrachtet und miteinander verglichen werden, um die Auswirkungen in den Bereichen detaillierter herauszuarbeiten und somit deren Einfluss auf Hochwasserschutzkonzepte miteinzubeziehen.

Nichtsdestotrotz kann man festhalten, dass jedes Hochwassergebiet spezifische Herausforderungen aufweist, die es in der Maßnahmenplanung zu berücksichtigen gilt. Ein Beispiel dafür ist die Stadt Velbert Langenberg, die verschiedene Restriktionen bei der Maßnahmenplanung zu berücksichtigen hat. Zum einen ist sie von drei Bergen umgeben, durch die kontinuierlich Hangwasser ins Tal geleitet wird und zum anderen weist sie direkte Bebauungen in Flussnähe auf. Die Bebauung in Flussnähe ist geprägt durch Versiegelung und Flussbegradigung, die auch durch den umschlossenen Flussverlauf durch Mauern verdeutlicht wird. Die Möglichkeiten des Hochwasserschutzes vor allem in Bezug auf natürliche Maßnahmen sind somit stärker begrenzt als in den anderen Teilgebieten. Anhand dieses Beispiels wird deutlich, dass Hochwasserschutzmaßnahmen

nur dann langfristig erfolgreich sind, wenn die spezifischen Bedingungen des betroffenen Gebietes berücksichtigt und in dem Maßnahmenplan angepasst werden.

Insgesamt kann man im weiteren Verlauf auch langfristige Umweltfolgen analysieren, die unter anderem die Qualität des Bodens und des Wassers betreffen und deren Entwicklung durch Hochwasser aufzeigen. Des Weiteren kann der Einsatz von Technologien dazu beitragen die Hochwasserschäden zum Beispiel mit Drohnen besser zu erfassen. Eine weitere Möglichkeit wäre die Nutzung von GIS, durch die beispielsweise einzelne Planungen visuell herausgestellt werden können. Vergleichende Studien sind ebenfalls sinnvoll, um Hochwasseranalysen aus anderen Städten und deren Übertragbarkeit mit den betroffenen Städten am Deilbach zu vergleichen. Einzelne Konzepte, wie das Konzept der Schwammstadt zeigen auch Lösungsansätze auf, die langfristig zu einer Verbesserung der Resilienz in Bezug auf Hochwasserereignisse führen und als Leitfaden für eigene Hochwasserschutzziele verwendet werden können. Diese aufgeführten Aspekte dienen dazu Maßnahmenpläne zu optimieren und effektive Hochwasserschutzmaßnahmen umzusetzen. Dies ist wichtig, da aufgrund der zunehmenden Niederschläge und anthropogenen Einflüsse wie Versiegelungen in Flussnähe die Hochwasserereignisse zunehmen. Deutlich wird dies auch durch den URI-Effekt, der den Niederschlag begünstigt. Dies spiegelt sich auch bei den Hauptnaturkatastrophen wider, die im 21. Jahrhundert die Überschwemmungen bilden. Das führt im Weiteren auch zu der Überlegung, ob die Bewertung der HQ-Ereignisse noch zeitgemäß ist oder es diese zu überarbeiten gilt. Festhalten kann man allerdings, dass der Hochwasserschutz besonders in Städten, die an Gewässer grenzen verstärkt werden sollte, um Schäden bei Hochwasser zu minimieren und die Resilienz in den betroffenen Gebieten zu steigern. Die Häufigkeit der Überschwemmungen führt zu einem erhöhten Risiko in diesen Bereichen und somit zu einem schnellen Handlungsbedarf.

Quellenverzeichnis

AKAY, S., ÖZCAN, O., SANLI, F., GÖRÜM, T., ŞEN, Ö., & BAYRAM, B. (2020): UAV-based evaluation of morphological changes induced by extreme rainfall events in meandering rivers. *PLoS ONE*, 15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241293>.

AKBAR, M., & ALDRICH, D. (2018): Social capital's role in recovery: evidence from communities affected by the 2010 Pakistan floods. *Disasters*, 42 3, 475-497 . <https://doi.org/10.1111/disa.12259>.

AKKERMANN, M. (2004): Beurteilung des Einflusses einer angepassten Ackernutzung auf den Hochwasserabfluss. <https://www.repo.uni-hannover.de/bitstream/handle/123456789/6358/389682268.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [09.09.2024]

ALABBAD, Y., MOUNT, J., CAMPBELL, A., & DEMIR, I. (2021): Assessment of transportation system disruption and accessibility to critical amenities during flooding: Iowa case study. *The Science of the total environment*, 793, 148476. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148476>.

BAKER, C. (2014): Breakdowns of accountability in the face of natural disasters: The case of Hurricane Katrina. *Critical Perspectives on Accounting*, 25, 620-632. <https://doi.org/10.1016/J.CPA.2014.02.005>.

BMEL (HRSG.) (2022): Bericht zur Hochwasserkatastrophe 2021: Katastrophenhilfe, Wiederaufbau und Evaluierungsprozesse. https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Landwirtschaft/bericht-hochwasserkatastrophe.pdf?__blob=publication-File&v=4 [31.05.2024]

BMUV (HRSG.) (2007): Richtlinie 2007/60/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken. Amtsblatt der Europäischen Union. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Binnengewasser/richtlinie_management_hochwasserrisiken.pdf [17.10.2024]

BPB (HRSG.) (2023): Nach der Flut an der Ahr 2021 – Wiederaufbau und Aufarbeitung. <https://www.bpb.de/kurz-knapp/hintergrund-aktuell/522893/nach-der-flut-an-der-ahr-2021/> [28.06.2024]

BRASSEUR, GUY P.; JACOB, D. & SCHUCK-ZÖLLER, S. (HRSG.)(2023): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. 2te Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin / Heidelberg.

BRÁZDIL, R., KUNDZEWICZ, Z., & BENITO, G. (2006): Historical hydrology for studying flood risk in Europe. *Hydrological Sciences Journal*, 51, 739 – 764.

BREIDA, M., ALAMI YOUNSSI, S., OUAMMOU, M., BOUHRIA, M., & HAFSI, M. (2020): Pollution of Water Sources from Agricultural and Industrial Effluents: Special Attention to NO₃⁻, Cr(VI), and Cu(II). *IntechOpen*. doi: 10.5772/intechopen.86921

CHARRUA, A., PADMANABAN, R., CABRAL, P., BANDEIRA, S., & ROMEIRAS, M. (2021): Impacts of the Tropical Cyclone Idai in Mozambique: A Multi-Temporal Landsat Satellite Imagery Analysis. *Remote. Sens.*, 13, 201. <https://doi.org/10.3390/rs13020201>.

CUNHA, N. S., MAGALHÃES, M., DOMINGOS, T., ABREU, M. M., & KÜPFER, C. (2017): The land morphology approach to flood risk mapping: An application to Portugal. *Journal of environmental management*, 193, 172-187.

- CRAWFORD, S. E., BRINKMANN, M., OUELLET, J. D., LEHMKUHL, F., REICHERTER, K., SCHWARZBAUER, J., BELLANOVA, P., LETMATHE, P., BLANK, L. M., WEBER, R., BRACK, W., VAN DONGEN, J. T., MENZEL, L., HECKER, M., SCHÜTTRUMPF, H., & HOLLERT, H. (2022): Remobilization of pollutants during extreme flood events poses severe risks to human and environmental health. *Journal of hazardous materials*, 421, 126691. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126691>
- DIDONÉ, E. J., MINELLA, J. P. G., TIECHER, T., ZANELLA, R., PRESTES, O. D., & EVRARD, O. (2021): Mobilization and transport of pesticides with runoff and suspended sediment during flooding events in an agricultural catchment of Southern Brazil. *Environmental science and pollution research international*, 28(29), 39370–39386. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13303-z>
- DINIUS, S. (1981): Public Perceptions in Water Quality Evaluation. *Journal of The American Water Resources Association*, 17, 116-121. <https://doi.org/10.1111/J.1752-1688.1981.TB02594.X>.
- DOMINICZAK, M. (2016): About Human Habitats. *Clinical chemistry*, 62 12, 1686-1687 . <https://doi.org/10.1373/CLINCHEM.2015.253153>.
- EUR-LEX. (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:32000L0060> [15.09.2024]
- EARTH ECLIPSE (HRSG.) (2024): Types, Sources, Effects and Solutions of Wastewater on Our Environment. <https://eartheclipse.com/environment/pollution/wastewater-types-sources-effects-solutions.html> [15.09.2024]
- FOLKESON, L., BÆKKEN, T., BRENČIČ, M., DAWSON, A., FRANÇOIS, D., KUŘÍMSKÁ, P., LEITÃO, T., ROMAN LIČBINSKÝ, R. & VOJTĚŠEK, M. (2009): Sources and Fate of Water Contaminants in Roads. In: Dawson, A. (eds) *Water in Road Structures. Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering*, vol 5. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8562-8_6
- GARCÍA-GARCÍA, J., RUIZ-ROMERA, E., MARTÍNEZ-SANTOS, M., & ANTIGÜEDAD, I. (2019): Temporal variability of metallic properties during flood events in the Deba River urban catchment (Basque Country, Northern Spain) after the introduction of sewage treatment systems. *Environmental Earth Sciences*, 78, 1-16.
- GEERDINK, R., HURK, R., & EPEMA, O. (2017): Chemical oxygen demand: Historical perspectives and future challenges. *Analytica chimica acta*, 961, 1-11 . <https://doi.org/10.1016/j.aca.2017.01.009>.
- GRAMS, C., BINDER, H., PFAHL, S., PIAGET, N., & WERNLI, H. (2014): Atmospheric processes triggering the central European floods in June 2013. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14, 1691-1702. <https://doi.org/10.5194/NHESS-14-1691-2014>.
- HOLLERT, H., HAAG, I., DÜRR, M., WETTERAUER, B., HOLTEY-WEBER, R., KERN, U., WESTRICH, B., FÄRBER, H., ERDINGER, L. & BRAUNBECK, T. (2003): Untersuchungen zum ökotoxikologischen Schädigungspotenzial und Erosionsrisiko von kontaminierten Sedimenten in staugeregelten Flüssen. *UWSF - Z Umweltchem Ökotox* 15, 5–12. <https://doi.org/10.1007/BF03038668>
- HUDSON, P., THIEKEN, A., & BUBECK, P. (2020): The challenges of longitudinal surveys in the flood risk domain. *Journal of Risk Research*, 23, 642 - 663. <https://doi.org/10.1080/13669877.2019.1617339>.

IKSE (HRSG.)(2004): Dokumentation des Hochwassers vom August 2002 im Einzugsgebiet der Elbe. Magdeburg.

IZYDORCZYK, G., MIKULA, K., SKRZYPCZAK, D., MOUSTAKAS, K., WITEK-KROWIAK, A., & CHOJNACKA, K. (2021): Potential environmental pollution from copper metallurgy and methods of management. *Environmental research*, 111050 .
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111050>.

LEITÃO, T., ROMAN LIČBINSKÝ, R. & VOJTĚŠEK, M. (2009): Sources and Fate of Water Contaminants in Roads. In: Dawson, A. (eds) *Water in Road Structures. Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering*, vol 5. Springer, Dordrecht.
https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8562-8_6

LIANG, X., & XIE, Z. (2001): A new surface runoff parameterization with subgrid-scale soil heterogeneity for land surface models. *Advances in Water Resources*, 24, 1173-1193. [https://doi.org/10.1016/S0309-1708\(01\)00032-X](https://doi.org/10.1016/S0309-1708(01)00032-X).

LIN, J., HE, X., LU, S., LIU, D., & HE, P. (2020): Investigating the influence of three-dimensional building configuration on urban pluvial flooding using random forest algorithm. *Environmental research*, 110438 .

LIU, Y., & SMEDT, F. (2005): Flood Modeling for Complex Terrain Using GIS and Remote Sensed Information. *Water Resources Management*, 19, 605-624.

LOAGUE, K., HEPPNER, C., EBEL, B., & VANDERKWAAK, J. (2010): The quixotic search for a comprehensive understanding of hydrologic response at the surface: Horton, Dunne, Dunton, and the role of concept-development simulation. *Hydrological Processes*, 24.
<https://doi.org/10.1002/hyp.7834>.

LOC, H., PARK, E., CHITWATKULSIRI, D., LIM, J., YUN, S., MANEECHOT, L., & PHUONG, D. (2020): Local rainfall or river overflow? Re-evaluating the cause of the Great 2011 Thailand flood. *Journal of Hydrology*, 589, 125368. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125368>.

LÜBKEN, U. (2007): „Der große Brückentod “ Überschwemmungen als infrastrukturelle Konflikte im 19. und 20. Jahrhundert. *Saeculum*, 58(1), 89-114.

MANANDHAR, B., CUI, S., WANG, L., & SHRESTHA, S. (2023): Post-Flood Resilience Assessment of July 2021 Flood in Western Germany and Henan, China. *Land*.
<https://doi.org/10.3390/land12030625>.

MISHRA, V., & SHAH, H. (2018): Hydroclimatological Perspective of the Kerala Flood of 2018. *Journal of the Geological Society of India*, 92, 645-650.
<https://doi.org/10.1007/s12594-018-1079-3>.

MÜLLER, A. (1998): The flood in the Oder River 1997 — impact on water quality. *Deutsche Hydrographische Zeitschrift* 50 (1998).

MINISTERIUM FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN (MULNV) (2021): Hochwasserrisikomanagementplanung in NRW. Hochwasserrisiko und Maßnahmenplanung Velbert. https://flussgebiete.nrw.de/system/files/atoms/files/hwrm_nrw_steckbrief_velbert.pdf [06.01.2025]

NGUYEN, B., MINH, D., AHMAD, A., & NGUYEN, Q. (2020): The Role Of Relative Slope Length In Flood Hazard Mapping Using Ahp And Gis (Case Study: Lam River Basin, Vietnam). *GEOGRAPHY, ENVIRONMENT, SUSTAINABILITY*.
<https://doi.org/10.24057/2071-9388-2020-48>.

- OKAMURA, M., BHANDARY, N., MORI, S., MARASINI, N., & HAZARIKA, H. (2015): Report on a reconnaissance survey of damage in Kathmandu caused by the 2015 Gorkha Nepal earthquake. *Soils and Foundations*, 55, 1015-1029. <https://doi.org/10.1016/J.SANDF.2015.09.005>.
- OVERKAMP, S. (2021): Extremhochwasser in Velbert. <https://geodaten-velbert.de/hochwasser/> [08.11.2024]
- PATT, H. & JÜPNER, R. (2020): Hochwasser-Handbuch. Auswirkungen und Schutz. Springer Verlag. 3.Auflage.
- SAVENIJE, H. (2004): The importance of interception and why we should delete the term evapotranspiration from our vocabulary. *Hydrological Processes*, 18. <https://doi.org/10.1002/hyp.5563>.
- SCHENK, J. (2023): Bis zu 500 Liter Regen! Nach Rekordbränden droht Griechenland ein Jahrhundert-Hochwasser. FOCUS online. <https://weather.com/de-DE/wetter/ausland/news/2023-09-05-bis-zu-500-liter-regen-nach-rekordbränden-droht-griechenland-ein> [30.05.2024]
- SEBASTIAN, A., GORI, A., BLESSING, R., WIEL, K., & BASS, B. (2019): Disentangling the impacts of human and environmental change on catchment response during Hurricane Harvey. *Environmental Research Letters*, 14.
- SEERS, K. (2011): Qualitative data analysis. *Evidence Based Nursing*, 15, 2 - 2. <https://doi.org/10.1136/ebnurs.2011.100352>.
- SEIBERT, S.P. & AUERSWALD, K. (2020): Wellenablauf – wie sich Abflusswellen aufbauen und wie der Scheitel gemindert werden kann. In: Hochwasserminderung im ländlichen Raum. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg.
- Stadt Velbert (o.J.): Hochwasserrisikomanagement. <https://www.velbert.de/rathaus-politik/umwelt-und-klimaschutz/klimaanpassung/hochwasserschutz/risikomanagement> [04.02.2025]
- STATISTA (HRSG.) (2024): Anzahl der Naturkatastrophen weltweit in den Zeiträumen 1980 bis 1999 und 2000 bis 2019. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1222072/umfrage/anzahl-naturkatastrophen/> [30.05.2024]
- STEINBRICH, A. & WEILER, M. & LEISTERT, H. (2015): Alles RoGeR? Modellierung von Sturzfluten aufgrund von Starkniederschlägen. In: Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung. 10.14617/for.hydrol.wasbew.35.15.
- STEPHENS, W., WILT, G., LEHNERT, E., MOLINARI, N., & LEBLANC, T. (2020): A Spatial and Temporal Investigation of Medical Surge in Dallas–Fort Worth During Hurricane Harvey, Texas 2017. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 14, 111 - 118. <https://doi.org/10.1017/dmp.2019.143>.
- TAYLOR, M., & LITTLE, J. (2013): Environmental impact of a major copper mine spill on a river and floodplain system. *Anthropocene*, 3, 36-50. <https://doi.org/10.1016/J.ANCENE.2014.02.004>.
- TEICHMANIS, L. (2024): „Jahrhundert-Hochwasser“ in China: Mehr als 127 Millionen Menschen bedroht“. Joyn. <https://www.prosieben.de/serien/newstime/news/jahrhundert-hochwasser-in-china-mehr-als127-millionen-menschen-bedroht-362171> [30.05.2024]

- THE WORLD COUNTS (HRSG.) (2024): The environmental impact of furniture. <https://www.theworldcounts.com/challenges/consumption/other-products/environmental-impact-of-furniture> [15.09.2024]
- THIEKEN, A., BESSEL, T., KIENZLER, S., KREIBICH, H., MÜLLER, M., PISI, S., & SCHRÖTER, K. (2016): The flood of June 2013 in Germany: how much do we know about its impacts?. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16, 1519-1540. <https://doi.org/10.5194/NHESS-16-1519-2016>.
- TRUEDINGER, A., JAMSHED, A., SAUTER, H., & BIRKMANN, J. (2023): Adaptation after Extreme Flooding Events: Moving or Staying? The Case of the Ahr Valley in Germany. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su15021407>.
- U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE (2022): Soil infiltration: Soil health guide. Natural Resources Conservation Service. <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Soil%20Infiltration.pdf>
- ULBRICH, U., BRÜCHER, T., FINK, A., LECKEBUSCH, G., KRÜGER, A., & PINTO, J. (2003): The central European floods of August 2002: Part 1 – Rainfall periods and flood development. *Weather*, 58. <https://doi.org/10.1256/WEA.61.03A>.
- VAN EMMERIK, T. H. M. (2024): The impact of floods on plastic pollution. *Global Sustainability*, 7, e17. doi:10.1017/sus.2024.14
- VIGIAK, O., GRIZZETTI, B., UDIAS-MOINELO, A., ZANNI, M., DORATI, C., BOURAOU, F., & PISTOCCHI, A. (2019): Predicting biochemical oxygen demand in European freshwater bodies. *The Science of the Total Environment*, 666, 1089 - 1105. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.252>.
- VÖLKER, C., FRIEDRICH, T., KLEESPIES, M.W., MARG, O. & SCHIWY, S. (2023): “The toxic substance has killed all ducks”: framing of chemical risks related to the 2021 summer flood in German news media. *Environ Sci Eur* 35, 83. <https://doi.org/10.1186/s12302-023-00789-2>
- WASSMER, J., MERZ, B., & MARWAN, N. (2024): Resilience of transportation infrastructure networks to road failures. *Chaos*, 34 1. <https://doi.org/10.1063/5.0165839>.
- WELT-NACHRICHTENSENDER (HRSG.)(2024): BRASILIEN:“Beispiellose Katastrophe!“ Schlimmstes Hochwasser seit 80 Jahren- Mindestens 39 Tote! <https://www.youtube.com/watch?v=14m73uB20lg> [30.05.2024]
- WIELAND (HRS.) (O.J.): Effizienter, zuverlässiger und nachhaltiger – unser Versprechen für erfolg. <https://www.wieland.com/de/ueber-uns/das-unternehmen/wieland-auf-einen-blick> [08.11.2024]
- ZENKER, M., BUBECK, P., & THIEKEN, A. (2024): Always on my mind: indications of post-traumatic stress disorder among those affected by the 2021 flood event in the Ahr valley, Germany. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. <https://doi.org/10.5194/nhe-24-2837-2024>.
- ZHENGHUI, X., FENGGE, S., XU, L., QINGCUN, Z., ZHEN-CHUN, H., & YUFU, G. (2003): Applications of a surface runoff model with horton and dunne runoff for VIC. *Advances in Atmospheric Sciences*, 20, 165-172. <https://doi.org/10.1007/S00376-003-0001-Z>.

Fragebogen zum Hochwasserereignis Juli 2021 - Sturmtief Bernd

Kreis/Kommune: Stadt Velbert

☐ Keine Betroffenheit bei diesem Ereignis

1. Ausdehnung und Art des Ereignisses

1.1. Wo fand das Ereignis statt? Können Sie zuordnen, ob es sich um Überflutungen durch Flusshochwasser oder durch Sturzfluten aus Starkregen handelte?

☐ Ausuferungen durch Flusshochwasser ☐ Überflutungen durch Verklausungen an Durchlässen beeinflusst
Bitte geben Sie das/die Gewässer und den Bereich (z.B. Ortslagen, Straßen, Fluss-km) an:

☐ Sturzflut aus Starkregen ☐ Überflutungen durch Verklausungen an Durchlässen beeinflusst
Bitte geben Sie den Bereich (z.B. Ortslagen, Straßen) an:

☒ Differenzierung zwischen Flusshochwasser und Starkregen nicht möglich ☐ Überflutungen durch Verklausungen an Durchlässen beeinflusst
Bitte geben Sie den Bereich (z.B. Ortslagen, Straßen) an:

Velbert Neviges und Velbert Langenberg
s. Anlage

1.2. Entsprach das abgelaufene Ereignis den Darstellungen in den Hochwassergefahrenkarten oder Starkregenkarten?

☐ Ja, es entsprach dem ☐ HQhäufig ☐ HQ100 ☒ HQextrem ☐ Starkregenkarte
☐ Nein ☐ Es gibt keine Hochwassergefahrenkarte

Bei „Nein“ bitte Abweichungen erläutern:

1.3. Vorhandene Daten zum Ereignis

Können Sie noch weitere Informationen zur Art und Ausdehnung zur Verfügung stellen?

☒ Geoinformationen (z.B. shapefiles) ☒ Hochwassermarken (Geschwemmsellinien)
☒ Fotos ☒ Videos
☒ Karten/Skizzen/Screenshots ☒ Einsatzorte der Gefahrenabwehr (Feuerwehr, THW, etc.)
☒ sonstiges

Die Daten sollten möglichst Angaben zu Ort und Zeit enthalten und können bei Bedarf in eine Online-Plattform hochgeladen werden:
<https://membox.nrw.de/index.php/s/XSxiQPhWGvalvIX> Passwort: hwrn2022

Bitte ergänzen Sie bei Datei-Bezeichnungen den Namen der Kommune/des Kreises, damit eine Zuordnung möglich ist.

Weitere Anmerkungen können Sie hier eintragen:

Vorhandene Dateien wurden in die Online-Plattform hochgeladen (Fotos, Videos, Karten, Luftbilder, Geoinformationen, Einsatzorte).

2. Sind durch das Ereignis Schäden entstanden?

- ☐ Es sind keine Schäden entstanden
☒ Es sind folgende Schäden aufgetreten:

☐ Personen (z.B. Anzahl der Verletzten)

☒ Wohnbebauung (z.B. Anzahl betroffener Gebäude, geschätzter Schaden (€), räumlicher Bezug etc.)

Im Langenberger Denkmalbereich sind 45 Baudenkmäler sowie 55 Objekte betroffen. In Velbert-Nevigis sind 10 Denkmäler an der Weinbergstraße betroffen. 208 Privatpersonen (Mieter) sowie 103 Unternehmer haben in Velbert einen Antrag auf Soforthilfe gestellt, jeweils mit Schwerpunkt Langenberg, Schadenssummen sind nicht bekannt.

☒ Industrie- und Gewerbegebiete (z.B. Anzahl der betroffenen Anlagen/Gebäude, geschätzter Schaden (€), räumlicher Bezug etc.)

Die Gewerbegebiete Siebeneicker Straße, Donnenbergerstr., Sambeck und Ziegeleiweg waren durch ihre räumliche Nähe zu Hardenberger Bach und Deilbach betroffen. Der größte Schaden entfällt auf die Wieland-Werke in Langenberg und wird auf 50-100 Mio. Euro geschätzt.

☒ Infrastruktureinrichtungen (z.B. Krankenhäuser, überregionale Straßen, Anlagen am Gewässer wie Brücken, geschätzter Schaden (€) etc.)

Asphaltemeuerung, Reparaturen/Instandsetzungen, Schlammabfuhr/Entsorgung (530.000€), (Trink-)Wasser- und Energieversorgung (750.000 €), Entsorgungseinrichtungen (1.600 €), Gewässeranlagen (96.130 €), kommunale Straßen, Wege, Plätze und Brücken (175.650 €), Kinder- und Jugendhilfe (2.000 €)

☒ Sonstiges (z.B. Gewässer- oder Bodenverunreinigungen durch Heizöl o.ä.)

Feuerwehr, Rettungsdienst, Katastrophenschutz (215.625 €), Schulen (2.500 €), Denkmäler (1.000.000 €), Religiöse Einrichtungen (75.000 €), Grünflächen (4.500 €), Sportstätten (50.000 €), Sonstiges (725.000 €)

3. Amtliche Vorhersagen und Warnungen sowie weitere Meldungen

Haben Sie Meldungen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) empfangen oder eigenständig abgerufen?

☒ ja ☐ nein

Haben Sie die Hydrologischen Lageberichte des LANUV erhalten oder über das Portal HYGON (Hydrologische Rohdaten Online) des LANUV eigenständig abgerufen?

☐ ja ☐ nein

Haben Sie die Entwicklung der Wasserstände an Gewässerpegeln über das Portal HYGON des LANUV verfolgt?

☐ ja ☐ nein

Haben Sie Meldungen von Wasserverbänden erhalten, z. B. über Wasserstände an Pegeln oder den Betrieb von Stauanlagen?

☐ ja ☐ nein

Haben Sie die Entwicklung der Wasserstände an Gewässerpegeln über Portale der Wasserverbände verfolgt?

☐ ja ☐ nein

Weitere Anmerkungen (z.B. Anregungen zur Verbesserung der Hochwasservorhersage oder der Meldewege):

Die Feuerwehr Velbert hat ihre Informationen ausschließlich über die Kreisleitstelle sowie über NINA und die WarnApp des DWD empfangen.
 Die Kreisleitstelle Mettmann sowie das Amt für Bevölkerungsschutz des Kreises Mettmann haben eine Anfrage der Stadt Velbert im gegebenen Zeitrahmen nicht beantworten können. Entsprechend ist hier unklar ob weitere Informationen abgerufen wurden.

4. Konsequenzen aus dem Ereignis

4.1 Welche Maßnahmen wurden bereits ergriffen bzw. werden zukünftig geplant?

4.1.1 Maßnahmen des technischen Hochwasserschutzes inkl. baulich-technischer Maßnahmen am Gewässer (z.B. Wiederherstellung von Brücken, Durchlässen, Ufern, Böschungen, Wegen etc.)

Die Infrastruktur der Technischen Betriebe Velbert ÄoR wurde und wird wiederhergestellt.

4.1.2 Weitere Vorsorge (organisatorisch-technische Maßnahmen sowie Untersuchen/Analysen/Planungen)

Beauftragung eines Hochwasserschutzkonzeptes für Dellbach und Hardenberger Bach

4.2 Hat sich die Überflutungsgefährdung aus Ihrer Sicht verändert? Sollten weitere Gewässer als Risikogewässer (Voraussetzung: Betroffenheit von min. 20 Gebäuden in einem zusammenhängenden Gebiet) eingestuft werden?

Ob eine Einstufung des Felderbachs als Risikogewässer sinnvoll ist, wird im Rahmen des Hochwasserschutzkonzeptes geprüft. Hier wird ggf. ein Antrag der Stadt Hattingen unterstützt.

4.3 Was würden Sie bezogen auf ein künftiges Ereignis verändern?

Maßnahmen des baulichen Hochwasserschutzes verbessern. Hierzu müssen die Rahmenbedingungen durch die Landes- und Bundesregierung verändert werden, da zur Zeit die Planungsverläufe viel zu lang sind. Des Weiteren muss durch o.g. die Finanzierung gesichert werden.

4.4 Haben Sie darüber hinaus Anmerkungen?

Vielen Dank für Ihre Informationen!

Bitte nennen Sie stellvertretend für Ihre Institution einen Ansprechpartner mit Kontaktdaten.

Thomas Geißler
Fachbereich 3, Stadtentwicklung, Stadterneuerung und Umwelt
Thomasstr. 1, Raum: 072, 42551 Velbert
Telefon: 02051/26-2779 / thomas.geissler@velbert.de

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die Arbeit selbständig angefertigt, außer den im Quellen- und Literaturverzeichnis sowie in den Anmerkungen genannten Hilfsmitteln keine weiteren benutzt und alle Stellen der Arbeit, die anderen Werken dem Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, unter Angabe der Quellen als Entlehnung kenntlich gemacht habe.


Unterschrift

Text der Versicherung bei Druckversion (Vorschlag):

Hiermit erkläre ich, **Lucie Grieving**
dass die beiliegende Druckversion meiner Master-/Bachelor- / Master of Education-Arbeit
in Inhalt und Form der per E-Mail am **09.02.2025** als PDF eingereichten Arbeit identisch ist.

Datum

09.02.2025

Unterschrift

