universität wien

MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

GIS-gestützte Weiterentwicklung der Projektbewertung von Maßnahmen des Hochwasserrisikomanagements in Österreich

verfasst von | submitted by

Martin Wenk BSc MA

angestrebter akademischer Grad | in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Master of Science (MSc)

Wien | Vienna, 2025

Studienkennzahl lt. Studienblatt | Degree programme code as it appears on the student record sheet:	UA 066 856
Studienrichtung lt. Studienblatt | Degree programme as it appears on the student record sheet:	Masterstudium Kartographie und Geoinformation
Betreut von | Supervisor:	Ass.-Prof. Mag. Dr. Andreas Riedl

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis ..... **i**

Abbildungsverzeichnis ..... **iv**

Tabellenverzeichnis ..... **vi**

Abkürzungsverzeichnis ..... **viii**

Kurzfassung/Abstract ..... **x**

Vorwort ..... **xi**

1 Einleitung **1**

2 Grundlagen der Arbeit **6**

2.1 Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen im Allgemeinen 6

2.1.1 Formen der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung 6

2.1.2 Kosten-Nutzen-Untersuchung 7

2.1.3 Kosten-Wirksamkeits-Analyse 9

2.2 Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen im Hochwasserrisikomanagement 11

2.2.1 Hochwasserrisiko 11

2.2.2 Hochwasserrisikomanagement 12

2.2.3 Stellung und Arten von Wirtschaftlichkeitsbewertungen im Hochwasserrisikomanagement 14

2.2.4 Nutzen / Wirksamkeiten im Hochwasserrisikomanagement 18

2.2.5 Kategorisierung von Nutzen / Wirksamkeiten 20

2.2.6 Nutzen durch verhinderte direkte, tangible Schäden 21

2.2.7 Nutzen durch verhinderte direkte, intangible Schäden 25

2.2.8 Nutzen durch verhinderte Wertschöpfungsunterbrechungen 25

2.2.9 Nutzen durch verhinderte indirekte Schäden 27

2.2.10 Sekundärwirkungen 28

2.2.11 Kosten im Hochwasserrisikomanagement 29

3 Wirtschaftlichkeitsbewertung im Hochwasserrisikomanagement in Österreich 30

3.1 Rechtliche Verankerung 30

3.2 Aktuelle Bestimmungen und Richtlinien 31

3.2.1 Aktuelle Schadensanalyse 32

3.2.2 Aktuelle Kostenanalyse 34

3.2.3 Bestimmung der ökonomischen Effizienz 35

3.2.4 Bewertung weiterer Projektwirkungen 38

3.2.5 Abschließende Bewertung 38

4 Methoden 39

4.1 Basisdaten 39

4.1.1 Basisdaten zu Hochwassergefahren 40

4.1.2 Basisdaten zu Schutzgütern 41

4.1.3 Zusammenfassung der verwendeten Basisdaten 45

4.2 Programmsetup und Datenverarbeitung 46

4.3 Ermittlung der Auswirkungen auf Schutzgüter 47

4.3.1. Betroffene Flächennutzungen 47

4.3.2. Betroffene Bevölkerung und Wertschöpfungsverluste 48

4.3.3. Schadensermittlung für den Gebäudebestand 49

4.3.4. Schadensermittlung für Straßeninfrastruktur 50

4.3.1 Schadensermittlung für Bahnstrecken 52

4.3.2 Schadensermittlung für Brückenbauwerke 53

4.3.3 Schadensermittlung für Landwirtschaft 54

4.3.4 Schadensermittlung für Sonstige Flächennutzungen 54

4.4 Wirtschaftlichkeitsbewertung 55

4.5 Evaluierung der Ergebnisse 55

5 Ergebnisse 57

5.1 Vergleich der Qualität der Input-Daten 57

5.2 Betroffene Flächennutzungen 59
5.3 Betroffene Bevölkerung 61
5.4 Schäden am Gebäudebestand 62
5.4.1 Gebäudeschäden – HWS Ritzing 63
5.4.2 Gebäudeschäden – HWS Gösselsdorfer Seebach 64
5.4.3 Gebäudeschäden – HWS St. Ulricher Bach 66
5.5 Wertschöpfungsverluste 67
5.6 Schäden an Verkehrsinfrastruktur 69
5.6.1 Verkehrsinfrastruktur – Straße 69
5.6.2 Verkehrsinfrastruktur – Bahn 71
5.6.3 Schäden an Brückenbauwerken 72
5.7 Schäden in der Landwirtschaft 73
5.8 Schäden an Sonstigen Flächennutzungen 74
5.9 Wirtschaftlichkeitsbewertung / Zusammenführung 78
5.10 Darstellung der Ergebnisse 82
6 Diskussion und Handlungsempfehlungen 84
6.1 Input-Daten und bestehende Datenlücken 84
6.2 Automatisierte Ableitung von Schäden 88
6.3 Wirtschaftlichkeitsbewertung und Ergebnisdarstellung 92
6.4 Aufbau eines Produktivsystems 94
6.5 Weiterführende Handlungsempfehlungen 96
7 Resümee & Ausblick 98
Quellenverzeichnis 99
Anhang - Datenbeschreibungen 107
Anhang - Python-Skripte 111

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kreislauf des Hochwasserrisikomanagements in Österreich (aus WENK und NEUHOLD 2020: 3)..... 14

Abbildung 2: Stellung der KNU im Hochwasserrisikomanagement (Eigene Darstellung, 2025 inspiriert durch MECHLER et al. 2008: 9) 15

Abbildung 3: (a) beispielhafte Überschreitungswahrscheinlichkeitskurve ohne Maßnahme, (b) Überschreitungswahrscheinlichkeitskurve mit Maßnahme (Eigene Darstellung, 2025) 19

Abbildung 4: Basisdaten Hochwassergefährdung (Eigene Darstellung, 2025) 41

Abbildung 5: Datenüberblick GIP/Funktionsklassen (Eigene Darstellung, 2025) 44

Abbildung 6: Diagramm zum Zusammenhang zwischen Schadensausmaß und Wassertiefe für Straßen (basierend auf HUIZINGA et al. (2017))..... 52

Abbildung 7: Ausschnitt aller Gebäudedatensätze aus dem Untersuchungsgebiet Ritzing..... 58

Abbildung 8: Betroffene Gebäude und Überflutungsflächen in Ritzing (Ohne-Fall)..... 63

Abbildung 9: Beispiel für erhöhten Gebäudeeingang Gebäudes im Gefährdungsbereich (Quelle: Google Street View, 46°37'09.4"N 14°37'54.4"E) 65

Abbildung 10: Überflutungsbild, Gebäude und Adresspunkte im Bereich Feriendorf Rutar Lido..... 65

Abbildung 11: Landwirtschaftliche Nutzflächen innerhalb der HQ300-Überflutungsfläche (Ohne-Fall) - Fallbeispiel St. Ulricher Bach..... 74

Abbildung 12: Sonstige Flächennutzungen innerhalb der HQ300-Überflutungsfläche (Ohne-Fall) – Fallbeispiel HWS Ritzing 75

Abbildung 13: Überflutungsflächen Gösselsdorfer Seebach bei HQ300 (Ohne-Fall) mit betroffenem Sportareal 76

Abbildung 14: Visuelle Aufbereitung der Ergebnisse am Beispiel des Factsheets für betroffene Flächennutzungen..... 83

Abbildung 15: Anteile monetär bewerteter, erwarteter Schäden in KNUs (n=40) 2017-2020 (Eigene Darstellung, 2025)..... 87

Abbildung 16: Visuelle Zusammenfassung der ermittelten Gebäudeschäden 89

Abbildung 17: Durchschnittlicher Anfangsschaden und B-Wert in KNUs (n=40) 2017-2020 (Eigene Darstellung, 2025)..... 90

Abbildung 18: Schadenserwartungsfunktionen für Mit-Fall und Ohne-Fall im Vergleich - Fallbeispiel Gösselsdorfer Seebach 92

Abbildung 19: Skizze für ein Produktivsystem, das automatisierte Ansätze mit einer gutachterlichen Qualitätssicherung verschränkt (Eigene Darstellung, 2025) 95

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verfahren der Wirtschaftlichkeitsbewertung im Hochwasserrisikomanagement (verändert nach MECHLER et al. 2014: 7) 17

Tabelle 2: Kategorisierung von Schäden durch Hochwasser mit Beispielen je Kategorie (verändert nach MERZ et al. 2010: 1699; MEYER et al. 2013: 1354) 21

Tabelle 3: Berücksichtigte Schäden nach der Richtlinie für Kosten-Nutzen-Untersuchungen (Eigene Darstellung, 2025) 32

Tabelle 4: Kalkulationsbeispiel zur Bestimmung der jährlichen Schadenserwartungswerte nach der aktuellen Herangehensweise in Österreich (Eigene Darstellung, 2025) 36

Tabelle 5: Kalkulationsbeispiel zur Diskontierung und Ermittlung des Netto-Nutzens nach der aktuellen Herangehensweise in Österreich (Eigene Darstellung, 2025) 37

Tabelle 6: Relevante Daten im Kontext von Wirtschaftlichkeitsbewertung im Bereich von Naturgefahren (verändert nach MECHLER et al. 2008: 12) 39

Tabelle 7: Verwendete Basisdaten, Quellen und Qualitätskriterien 46

Tabelle 8: Gutachterlich erstellte KNUs, die für die Evaluierung der Modell-Ergebnisse herangezogen wurden 56

Tabelle 9: Beziehung zwischen den unterschiedlichen Gebäudedatensätzen und dem Gebäude- und Wohnungsregister 59

Tabelle 10: Betroffene Flächennutzungen - HWS Ritzing (Angaben in m²) 60

Tabelle 11: Betroffene Flächennutzungen - HWS Gösselsdorfer Seebach (Angaben in m²) 60

Tabelle 12: Betroffene Flächennutzungen vor und nach Maßnahmenumsetzung - HWS St. Ulricher Bach (Angaben in m²) 61

Tabelle 13: Betroffene Bevölkerung - Gegenüberstellung Modell-Ergebnisse und Vergleichsdaten (Angaben in Personen) 62

Tabelle 14: Schäden am Gebäudebestand (Angaben in €) Fallbeispiel Ritzing für den Ohne-Fall 64

Tabelle 15: Schäden am Gebäudebestand (Angaben in €) Fallbeispiel Gösselsdorfer Seebach für den Ohne-Fall 66

Tabelle 16: Schäden am Gebäudebestand (Angaben in €) Fallbeispiel St. Ulricher Bach für den Ohne-Fall 67

Tabelle 17: Wertschöpfungsverluste (Ohne-Fall) - Fallbeispiel Ritzing 68

Tabelle 18: Wertschöpfungsverluste (Ohne-Fall) - Fallbeispiel Gösselsdorfer Seebach.. 68

Tabelle 19: Wertschöpfungsverluste (Ohne-Fall) - Fallbeispiel St. Ulricher Bach 68

Tabelle 20: Reinigungskosten (Angaben in €) für Straßeninfrastruktur im Vergleich (Ohne-Fall)..... 70

Tabelle 21: Erfasste Straßensegmente (in lfm) (Ohne-Fall)..... 70

Tabelle 22: Ermittelte Reparaturkosten (Angaben in €) für Straßeninfrastruktur (Ohne-Fall) 71

Tabelle 23: Schäden an Bahninfrastruktur - Fallbeispiel Gösselsdorfer Seebach..... 71

Tabelle 24: Ermittelte Schäden (Angaben in €) an Brückenbauwerken (Ohne-Fall)..... 72

Tabelle 25: Schäden (Angaben in €) in Land- und Forstwirtschaft (Ohne-Fall)..... 73

Tabelle 26: Schadenssummen (Angaben in €) an Sonstigen Flächennutzungen (Ohne-Fall) im Vergleich 77

Tabelle 27: Gesamtschaden (Angaben in €) HWS Ritzing (Ohne-Fall) 78

Tabelle 28: Gesamtschaden (Angaben in €) Gösselsdorfer Seebach (Ohne-Fall) 79

Tabelle 29: Gesamtschaden (Angaben in €) St. Ulricher Bach (Ohne-Fall)..... 80

Tabelle 30: Schadenserwartungswerte der Fallbeispiele, Modell-Ergebnisse und Vergleichsdaten (Angaben in €/a) 81

Tabelle 31: Projektkostenbarwert Projektnutzenbarwert, Kapitalwert und Nutzen-Kosten-Verhältnis im Vergleich..... 82

Tabelle 32: Festgelegte Basisdaten und ihre Zuordnung zu den Analysebestandteile..... 86

Abkürzungsverzeichnis

ASFINAG	Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft
AW	Abweichung
BEV	Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen
BML	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft
B-Wert/B-Faktor	Schaden in 1.000€ bei 1 Meter Wassertiefe ohne Smin
CSV	Comma-separated values
DFB	Durchführungsbestimmungen zu den technischen Richtlinien Wasserbau
DKM	Digitale Katastralmappe
DLM	Digitales Landschaftsmodell
DOM	Digitales Oberflächenmodell
EPSG	European Petroleum Survey Group Geodesy
EU	Europäische Union
GIP	Graphenintegrations-Plattform
GIS	Geographisches Informationssystem
GWRII	Gebäude- und Wohnungsregister
HQ100	Hochwasser mit einer jährlichen Auftretenswahrscheinlichkeit von 1/100
HQ30	Hochwasser mit einer jährlichen Auftretenswahrscheinlichkeit von 1/30
HQ300	Hochwasser mit einer jährlichen Auftretenswahrscheinlichkeit von 1/30
HWS	Hochwasserschutz
INVEKOS	Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem
KNU	Kosten-Nutzen-Untersuchung
KWA	Kosten-Wirksamkeits-Analyse
MGI	Militärgeographischen Institutes
NKV	Nutzen-Kosten-Verhältnis
NWG	Nicht-Wohngebäude
ÖBB	Österreichische Bundesbahn
ÖG	öffentliche Gebäude
OGD	Open Government Data

ÖNACE	Nomenclature générale des activités économiques dans les communautés européennes
OSM	OpenStreetMap
Smin	Anfangsschaden in Euro
TRL-WB	Technische Richtlinie für den Wasserbau
VD	Vergleichdaten
WBFG	Wasserbautenförderungsgesetz
WBG	Wohngebäude
WKO	Wirtschaftskammer Österreich

Kurzfassung/Abstract

Eine Bewertung der Effizienz ist für bauliche Projekte des Hochwasserrisikomanagements gesetzlich vorgeschrieben. Dazu werden die Kosten eines Projektes seinen Nutzen beziehungsweise seinen Wirkungsdimensionen gegenübergestellt. Während die Kosten eines Projektes auf Basis von Kostenschätzungen oder Angeboten von Baufirmen in der Regel einfacher erfasst werden können, ist die Ableitung der Nutzen mit dem aktuell in Österreich in Anwendung befindlichen Instrumentarium nur mit einem erheblichen zeitlichen Aufwand und projektbezogenen Erhebungen möglich. Die vorliegende Arbeit zeigt das Weiterentwicklungspotenzial in Richtung Automatisierung und Standardisierung der Methodik sowie der verwendeten Basisdaten auf. Potenzial liegt vor allem in der Verwendung von österreichweit verfügbaren, räumlichen Datensätzen und deren automatisierter Verarbeitung. Indem eine Anpassung der Methodik an den Stand der Technik erfolgt, lässt sich die Treffsicherheit und Objektivität der Wirtschaftlichkeitsbewertung erhöhen. Diese Methoden werden in der vorliegenden Thesis prototypisch in Form einer GIS-basierten Bewertungsumgebung implementiert. Die Überführung in ein Produktivsystem, das von der Verwaltung eingesetzt wird, kann zu einer nutzerunabhängigen Bewertung der ökonomischen Effizienz von Projekten des Hochwasserrisikomanagements beitragen, ermöglicht Einsparungen von Staatsausgaben durch einen höheren Grad an Automatisierung sowie Standardisierung und erlaubt durch gezielte Erweiterungen eine verstärkte Bewertung von intangiblen Wirkungsdimensionen wie ökologischen Zielsetzungen.

In Austria, the assessment of economic efficiency is a legal requirement for a variety of infrastructure projects. This also applies to structural measures in the framework of flood risk management. For this purpose, the costs of a project are compared with its benefits and its dimensions of impact. While the costs of a project can be assessed quite easily for example, based on offers from the companies carrying out the construction work, the assessment of benefits with the instruments currently used in Austria is only possible with a considerable expenditure of time and project-related field work. Based on international examples, this thesis emphasises the potential for further development towards automation and standardization. Especially the use of available or readily derivable spatial data sets available throughout Austria shows potential for further development. By adapting the methodology to the state of the art, the accuracy of the economic evaluation can additionally be increased. In this thesis, the aforementioned assessment methods are prototypically implemented within a GIS-based evaluation environment. The transfer into a productive system used by administrative bodies can contribute to a user-independent evaluation of the efficiency of measures that reduce flood risks, enables savings in government expenditure through a higher degree of standardization and allows an enhanced evaluation of intangible impact dimensions like ecological objectives.

Vorwort

Die vorliegende Arbeit ist inspiriert durch meine Arbeit im Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft (BML) und auch eng mit dieser verknüpft. Tatsächlich habe ich mich über die Betrauung mit der Evaluierung der Kosten-Nutzen-Untersuchung in der Abteilung Hochwasserrisikomanagement als Aufgabenfeld sehr gefreut, da sich schon auf den ersten Blick das Potenzial für Adaptierungen gezeigt hat. Die vorliegende Arbeit beleuchtet diese Weiterentwicklung vor einem wissenschaftlichen Hintergrund. Die Rückkopplung mit Fachliteratur stellt in meiner beruflichen Tätigkeit immer wieder einen Impuls dar, bestehende Regelungen zu hinterfragen. Der viel zitierte Dialog zwischen Wissenschaft und Verwaltung (wie auch Politik) ist in meiner Wahrnehmung daher auch entscheidend für Innovation im öffentlichen Sektor. In diesem Sinn möchte ich mich bei meinem Vorgesetzten Dr. Heinz Stiefelmeyer bedanken, der auch Auseinandersetzungen, die teils über das nötige Erfüllungsmaß hinausgehen, ermöglicht und forciert.

Dank gilt natürlich auch meinen Kolleginnen und Kollegen – sowohl in meiner Abteilung sowie auch bei der Bundeswasserbauverwaltung in den Bundesländern Burgenland, Kärnten und Tirol – die sich für Diskussionen und Ergebnisbesprechungen Zeit genommen haben. Da die Richtlinie und Methodik der *Kosten-Nutzen-Untersuchung im Schutzwasserbau,* wie sie aktuell heißt, zuletzt 2009 maßgeblich überarbeitet wurde, besteht ein breiter Erfahrungsschatz mit dem aktuellen Instrumentarium, der bei einer Weiterentwicklung auf keinen Fall vernachlässigt werden sollte.

Abschließend, aber nicht zuletzt, möchte ich mich bei Eva Dutzler bedanken, die mit mir erneut den Prozess der Erarbeitung einer Master-Arbeit durchlebt hat, der zweifelsohne mit gewissen Höhen und Tiefen verbunden ist.

1 Einleitung

Zielgerichtete Finanzierungen und Förderungen von Maßnahmen durch den Staat können wesentlich zum Wohlstand einer Gesellschaft beitragen – dies gilt auch für Maßnahmen des Hochwasserrisikomanagements. Um eine effektive Allokation von Ressourcen zu gewährleisten gibt es eine Reihe von etablierten Instrumenten. Am häufigsten kommen Kosten-Nutzen-Untersuchungen (KNU) zur Bewertung der rein monetären Effektivität von Maßnahmen sowie Kosten-Wirksamkeits-Analysen (KWA), in die auch andere, nicht-monetarisierbare Effekte einfließen, zum Einsatz. Kosten-Nutzen-Untersuchungen haben in der Schutzwasserwirtschaft eine lange Tradition. Schon 1936 verpflichtete der Flood Control Act die U.S. Army Corps of Engineers für Schutzwasserbauten und für Aushübe in Hafenanlagen KNUs durchzuführen (vgl. BOARDMAN et al. 2014: 22). Auch in anderen Ländern sind KNUs im Schutzwasserbau und mittlerweile im Hochwasserrisikomanagement seit Jahrzehnten rechtlich verankert. Daraus ergibt sich ein breiter Erfahrungsschatz und eine Vielfalt an Methoden.

Motivation, Problemstellung und Zielsetzung der Arbeit

Auch in Österreich werden – vorgegeben durch das Wasserbautenforderungsgesetz – Kosten-Nutzen-Untersuchungen für bauliche Maßnahmen zum Hochwasserschutz durchgeführt. Die aktuell in Österreich in Anwendung befindliche Methodik zur Kosten-Nutzen-Untersuchung wurde 2009 zuletzt grundlegend überarbeitet (siehe BML 2009) und basiert auf einer tabellarischen Erfassung von Kosten und Nutzen durch Ziviltechnikerinnen und -techniker, die mit der Planung von technischen Anlagen zum Hochwasserschutz betraut sind. Auch wenn die unterschiedlichen Dimensionen der Nutzen eines Projektes (verhinderte Schäden an bspw. Gebäuden, Infrastruktur usw.) und die damit verbundenen Attribute (bei Gebäuden beispielsweise Gebäudetyp, Erhaltungszustand oder Unterkellerung) definiert sind, gibt die zugehörige Richtlinie nur bedingt vor, wie diese Daten zu erheben und zu bewerten sind.

Aufgrund eingeschränkter Datenzugänglichkeit und -verfügbarkeit für die ausführenden Planerinnen und Planer müssen viele räumliche Daten und Attribute nach wie vor im Rahmen von Vor-Ort-Begehungen erhoben werden, um den geforderten Detailierungsgrad erfüllen zu können. So tragen Kosten-Nutzen-Untersuchungen in Österreich nicht nur maßgeblich zu den Planungskosten im Hochwasserrisikomanagement bei, sondern sind auch in gewissem Maß in ihrer Reliabilität eingeschränkt, da unterschiedliche Grundlagen verwendet werden und auch die ökonomischen Basisannahmen ariiert werden. Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten ist eine stärkere Standardisierung, die mittels der Bereitstellung von Bewertungen, welche auf einen homogenen Bestand an Eingangsdaten zurückgreift und damit ein objektives Ergebnis liefert, anzustreben.

Primäre Zielsetzung der Arbeit ist es, einen Vorschlag für ein Produktivsystem zu entwickeln, das einerseits auf einen homogenen Datenbestand zur Wirtschaftlichkeitsbewertung zurückgreift und andererseits ein vergleichbare Tiefe der

Analyse ermöglicht wie die aktuell in Anwendung befindliche Methodik. Basis für diese Zielsetzung ist, dass sich neben den verfügbaren Datensätzen und den unterschiedlichen Möglichkeiten, diese automatisiert zu verarbeiten, seit 2009 – dem Zeitpunkt der letzten methodischen Überarbeitung der Kosten-Nutzen-Untersuchung in Österreich – auch der Forschungsstand verändert. Insbesondere bei der Hochwasserrisikobewertung kann mittlerweile auf eine Vielzahl von unterschiedlichen Methoden zurückgegriffen werden. Im Umkehrschluss gilt dies auch für jene Schäden, die durch eine technische Hochwasserschutzmaßnahme verhindert werden – also die Reduktion des Risikos. Diese Entwicklungen im Stand der Technik werden ebenso in der Arbeit aufgegriffen, wie jene der Automatisierung.

Eine gezielte Weiterentwicklung der ökonomischen Bewertung von Maßnahmen des Hochwasserrisikomanagements in Österreich kann dazu beitragen, Investitionen nachhaltiger zu tätigen, den Mitteleinsatz zu priorisieren und weiters Schäden in Folge von Hochwasser noch weiter zu reduzieren. Zusätzlich eignet sich eine Adaption der Bewertung auch, um aufzeigen, welche Wirkung zusätzlich für nicht-monetarisierbare Schutzgüter und andere (gesetzliche) Zielvorgaben erreicht werden kann. Dazu sollen einerseits die Freiheitsgrade bei der Dateneingabe verringert werden, um ein möglichst homogenes Ergebnis über alle ökonomischen Bewertungen hinweg zu ermöglichen und andererseits Methoden gefunden werden, die über alle Projektkategorien (Kleinmaßnahmen vs. Großprojekte) und Prozessintensitäten (großflächige Überflutungen mit geringer Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit vs. Schluchtstrecken mit reißender Strömung) hinweg robuste Ergebnisse liefern. Die Arbeit wurde im Kontext einer Tätigkeit in der Abteilung I/6 - Hochwasserrisikomanagement im Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft (BML) erstellt und soll in weiterer Folge erste Anhaltspunkte für die tatsächliche Neugestaltung der Wirtschaftlichkeitsbewertung für Maßnahmen des Hochwasserrisikomanagements liefern.

Relevanz der Themenstellung

Da jede technische Maßnahme zum Schutz vor Hochwasser darauf abzielt das Risiko zu reduzieren (=Wirkung des Projektes) und entsprechende Maßnahmen in den meisten wohlfahrtsstaatlich geprägten Ländern staatlich gefördert werden, gibt es eine breite fachliche Auseinandersetzung. Dabei ist festzuhalten, dass im wissenschaftlichen Diskurs meist Teilbereiche, die bei einer Bewertung der Effizienz von Projekten entscheidend sind, behandelt werden. Als Beispiele seien hier die Modellierung und Erfassung von Auswirkungen von Hochwasser auf Gebäude und Infrastruktur, d.h. die physische Vulnerabilität (siehe FUCHS et al. 2018), oder die in der Praxis mit vielen Herausforderungen behaftete Erfassung von sozialer (siehe BURTON et al. 2018) oder wirtschaftlicher Vulnerabilität (siehe THALER & JONGMAN 2018) genannt. Aber auch auf übergeordneter Ebene findet eine wissenschaftliche Auseinandersetzung mit der Bewertung von ökonomischer Effizienz im Naturgefahrenmanagement statt. Besonders hervorzuheben sind dabei die Arbeiten von MECHLER et al. (2008, 2014, 2016), die beispielsweise die Problembereiche der Risikobewertung aufgrund von fehlenden sowie unzureichend genauen Daten, die Herausforderungen, die mit der Erfassung von indirekten und intangiblen Kosten

verbunden sind, sowie die isolierte Betrachtung von Einzelmaßnahmen im Vergleich zu einer systemischen Betrachtung von Maßnahmen eines Wirkungsgefüges diskutieren. Eine Zusammenfassung des wissenschaftlichen Wissenstandes bezüglich der Nutzenbewertung liefern MEYER et al. (2013). Insbesondere hinsichtlich der Schadensbewertung für den Gebäudebestand gibt es unterschiedliche Methoden, die aus der wissenschaftlichen Literatur ableitbar sind. Ein prominentes Beispiel für die Bewertung von Schäden am Gebäudebestand (sowohl für Wohngebäude als auch Nicht-Wohngebäude) liefert die Arbeitsgruppe Hochwasserrisiko und Klimaanpassung vom Helmholtz-Zentrum für Geoforschung basierend auf Erhebungen nach Hochwasser-Ereignissen in Deutschland (vgl. APEL et al. 2008, THIEKEN et al. 2008 oder KREIBICH et al. 2010). Die meisten dieser Studien sind jedoch vor dem Hintergrund nationaler Rahmenbedingungen verfasst. Eine anwendungsorientierte Aufarbeitung vor den österreichischen Rahmenbedingungen liegt bisher nicht vor.

Ein weiteres Problem ergibt sich, wenn methodische Heterogenitäten in den Bewertungsverfahren auftreten. Diese Uneinheitlichkeit insbesondere hinsichtlich der verwendeten Basisdaten und der getroffenen Aussagen zu Schadensmerkmalen und -größen ist jedoch in der aktuell in Anwendung befindlichen Methodik in Österreich zu beobachten. MECHLER et al. (2014) stellen dazu generell fest, dass Unterschiede in verwendeten Datenquellen oder auch der Bewertungsanätze zu abweichenden Ergebnissen in Wirtschaftlichkeitsbewertungen führen. Fehlt eine entsprechende Standardisierung in der Datenbasis, ist ein Vergleich der Ergebnisse unterschiedlicher Bewertungen nicht oder nur eingeschränkt möglich, was in weiterer Folge auch zu verzerrten Investitionsentscheidungen führen kann.

Angesichts dieser Herausforderungen besteht ein klarer Bedarf an einer Verbesserung der österreichischen KNU-Methodik. Die vorliegende Arbeit adressiert diesen Bedarf, indem eine GIS-gestützte Methodik entwickelt wird. Durch die Nutzung flächendeckend verfügbarer Datensätze und automatisierter Analyseprozesse wird eine höhere Vergleichbarkeit und Objektivität der Bewertungsergebnisse erreicht.

Definition der Forschungsfragen

Basierend auf den beschriebenen Zielsetzungen und der genannten Problemstellung lässt sich die erste Forschungsfrage der Arbeit ableiten, die auf die verfügbaren Datenquellen für eine entsprechende Wirtschaftlichkeitsbewertung im österreichischen Kontext fokussiert ist:

> *Welche flächendeckend für Österreich verfügbaren Datenquellen eignen sich für die standardisierte Einbettung in eine automatisierte, GIS-basierte Wirtschaftlichkeitsbewertung von Maßnahmen des Hochwasserrisikomanagements?*

Basierend auf einer eingehenden Analyse der bereits angewandten und anderen bestehenden Methoden soll des Weiteren evaluiert und im Kontext der geltenden Rahmenbedingungen, insbesondere der gesetzlichen Grundlagen und Zielvorgaben, geprüft werden, welche Methoden anwendbar sind. Als Auswahlkriterium soll dabei auch die technische

Umsetzbarkeit berücksichtigt werden, die auf Basis der prototypischen Umsetzung des Systems abschließend beurteilt wird. Die zweite Forschungsfrage lässt sich also wie folgt formulieren:

> *Welche Methoden können für eine automatisierte, GIS-basierte Wirtschaftlichkeitsbewertung von Maßnahmen des Hochwasserrisikomanagements herangezogen werden und mittels welcher Ansätze lassen sich diese Methoden implementieren?*

Methodische Vorgehensweise

Grundlage der Arbeit stellt eine Analyse der bestehenden Methoden zur Schadensbewertung im Hochwasserrisikomanagement sowie der in Anwendung befindlichen Kosten-Nutzen-Untersuchung in Österreich dar. Darauf aufbauend werden relevante Basisdaten identifiziert und dargestellt, die als Grundlage für die Bewertung dienen. Dabei werden sowohl hochwasserrelevante GIS-Daten als auch räumliche Datensätze aus den Bereichen Gebäude, Betroffene, Flächennutzung, Infrastruktur und Verkehr einbezogen, um möglichst alle relevanten Schadenskategorien abbilden zu können. Diese Daten werden in weiterer Folge in ein einheitliches Referenzsystem und eine gemeinsame Geodatenstruktur gebracht, um einheitliche Analysen durchführen zu können.

Im nächsten Schritt wird ein GIS-gestütztes Modell entwickelt, das eine automatisierte Bewertung in den definierten Schadenskategorien ermöglicht. Durch die Nutzung von detaillierten Daten aus Abflussuntersuchungen (insbesondere hoch aufgelöste Wassertiefen-Klassen) und dem umfangreichen Katalog an Daten zu den Schutzgütern kann eine umfassende Risikobewertung durchgeführt werden. Die darauf aufbauende Wirtschaftlichkeitsbewertung folgt der in Anwendung befindlichen Kosten-Nutzen-Untersuchung und ermöglicht eine (teil-)automatisierte Ableitung eines Nutzen-Kosten-Verhältnisses. Das System setzt dabei auf die Verbindung von ArcGIS Pro mit Python. Dieses Software-Setup wurde insbesondere hinsichtlich der Überführung in ein Produktivsystem gewählt, da die Marktdurchdringung trotz Open-source-Alternativen wie QGIS insbesondere im Segment der Ziviltechnikerinnen und Ziviltechniker, die in Folge Anwender des Systems sind, hoch ist.

Die entwickelte Methodik wird in drei Fallbeispielen zur Anwendung gebracht. Um eine Evaluierung der erzielten Ergebnisse zu ermöglichen, wurden dazu Regionen ausgewählt, für die im Rahmen einer Maßnahmenplanung bereits Kosten-Nutzen-Untersuchungen durchgeführt wurden. So kann auch die Kosten-Seite der Analyse, für die eine technische Maßnahmenplanung durchgeführt werden muss und die nicht automatisiert werden kann, abgedeckt werden und in die definierten Fallbeispiele einfließen. Die Fallbeispiele orientieren sind daran, dass sie unterschiedliche Prozessdynamiken bei Hochwasser-Ereignissen abdecken, an der grundsätzlichen Datenverfügbarkeit der Gefährdungsinformation sowie dass sie von unterschiedlichen Planerinnen bzw. Planern bearbeitet wurden. So können möglichst unterschiedliche Aspekte der Herangehensweise beleuchtet werden.

Gliederung der Arbeit

Die vorliegende Arbeit setzt sich einleitend mit dem generellen Konzept und der Theorie, die Kosten-Nutzen-Untersuchungen und ähnlichen Verfahren zu Grunde liegen, auseinander. Um die Rahmenbedingungen für Weiterentwicklungen abzustecken, wird einerseits auf die rechtliche Verankerung der KNU im österreichischen Hochwasserrisikomanagement eingegangen und die aktuelle Herangehensweise aufgezeigt. Basierend auf der theoretischen Auseinandersetzung wird eine Methodik präsentiert, wie die Wirtschaftlichkeitsbewertung von Maßnahmen des Hochwasserrisikomanagements von Projekten in Österreich – basierend auf GIS-gestützten Skripten – weiterentwickelt werden kann. Im darauffolgenden Kapitel werden die Ergebnisse dargestellt, die mit den erarbeiteten Skripts für die drei Fallbeispiele erzielt werden konnten. Dabei ist das Kapitel nach den einzelnen Schutzgut-Kategorien gegliedert. Zu Beginn werden betroffene Flächennutzungen und betroffene Bevölkerung dargestellt. In weiterer Folge Schäden am Gebäudebestand, Wertschöpfungsverluste, Schäden an Verkehrsinfrastrukturen, Schäden an der Landwirtschaft sowie Schäden in der Landwirtschaft. In den letzten Abschnitten des Ergebnis-Kapitels werden die Ergebnisse der einzelnen Schadenskategorien zu einer Wirtschaftlichkeitsbewertung zusammengeführt. Das Folgekapitel diskutiert die erzielten Ergebnisse und stellt Handlungsempfehlungen vor. Die Arbeit endet mit einem Resümee und Ausblick.

2 Grundlagen der Arbeit

Zu Beginn der Arbeit sollen zentrale Begriffe definiert und der Stand des Wissens zusammengefasst werden. Diese liefern die Basis für die darauffolgenden Kapitel und schaffen ein grundlegendes Verständnis. Zunächst erfolgt eine Auseinandersetzung mit dem theoretischen Hintergrund.

2.1 Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen im Allgemeinen

Zu Beginn der Arbeit ist es wichtig grundlegende Konzepte und Verfahren der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung im generellen darzustellen. In diesem Abschnitt wird – losgelöst von der Naturgefahr Hochwasser – ein Überblick über ökonomische Bewertungsmethoden gegeben. Insbesondere werden in Folge drei unterschiedliche Verfahren – die Kosten-Nutzen-Untersuchung, die Kosten-Wirksamkeits-Analyse sowie die Multikriterielle Entscheidungsanalyse – vorgestellt.

Die meisten Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsuntersuchung lassen sich als konsistenten, objektiven, transparenten und weitgehend nutzerunabhängigen Prozess beschreiben, der eingesetzt wird, um die Konsequenzen einer Maßnahme beziehungsweise von Entscheidung zu evaluieren. Dazu werden die Kosten, die auftreten, wenn eine Maßnahme umgesetzt wird, den Nutzen beziehungsweise Wirksamkeiten oder Effekten dieser Maßnahme gegenübergestellt (vgl. DREZE und STERN 1987: 909). Entsprechende Verfahren verfolgen die Zielsetzung eine Grundlage für rationale Investitionsentscheidungen zu liefern und diese nachvollziehbar zu dokumentieren. Der Deutsche Bundesrechnungshof führt sieben Qualitätskriterien von Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen an. Es muss (1) ***Konformität*** mit den gesetzlichen Rahmenbedingungen bestehen, (2) eine ***transparente Methode*** zum Einsatz kommen, die auch für Dritte nachvollziehbar ist, (3) ***Objektivität*** bezüglich der getroffenen Annahmen sowie der monetären und nicht-monetären Faktoren gegeben sein, (4) eine ***Vergleichbarkeit der Ergebnisse*** möglich sein, (5) ***Vollständigkeit*** bezüglich der relevanten Faktoren und Alternativen bestehen, (6) ***(Umsetzungs-)Risiken*** sachgerecht berücksichtigt werden sowie (7) ***Wirtschaftlichkeit*** der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung (im Sinne der Verhältnismäßigkeit) gegeben sein (vgl. BUNDESRECHNUNGSHOF 2007: 131f).

2.1.1 Formen der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

Wirtschaftlichkeitsuntersuchung lassen sich in einzelwirtschaftliche Verfahren und in gesamtwirtschaftliche Verfahren unterteilen. Einzelwirtschaftliche Verfahren beziehen sich isoliert auf einzelne Wirkungs- bzw. Verwaltungsbereiche ohne stringenten Kontext zu anderen Sektoren. Diese Verfahren sind nicht für die angestrebten Zielsetzungen der vorliegenden Arbeit geeignet und seien deswegen an dieser Stelle nur zur Vollständigkeit erwähnt. Gesamtgesellschaftliche oder auch gesamtwirtschaftliche Verfahren eignen sich als Methode, wenn von einer Methode eine breitere Wirkung zu erwarten ist (vgl. ANDREE

2011: 19). Innerhalb der gesamtwirtschaftlichen Verfahren kann zwischen monetären und nicht-monetären Verfahren unterschieden werden. Monetäre Verfahren messen dabei die Effekte einer Maßnahme in Geldeinheiten, im Rahmen dieser Arbeit wird aus dieser Gruppe die Kosten-Nutzen-Untersuchung thematisiert. Nicht-monetäre Verfahren liefern in der Regel ein Ergebnis in Form von vorab festgelegten Bewertungspunkten oder innerhalb einer Bewertungsskala (bspw. Kosten-Wirksamkeits-Analyse sowie Multikriterielle Entscheidungsanalyse).

Grundsätzlich können Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen auch basierend auf dem Zeitpunkt ihres Einsatzes klassifiziert werden. Dabei kann zwischen drei unterschiedlichen Formen unterschieden werden. *Ex ante* Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen werden im Vorfeld eines Projektes durchgeführt, um eine Entscheidung für oder gegen eine konkrete Maßnahme zu treffen. *In media res* Analysen sind als begleitende Maßnahme nützlich, um zu evaluieren, ob eine Maßnahme weitergeführt werden soll und unterstützen die begleitende Erfolgskontrolle. *Ex post* Untersuchungen werden nach einer Maßnahme durchgeführt, um Wissen über Maßnahmen und Investitionen zu generieren und zu evaluieren. (vgl. BOARDMAN et al. 1994: 69)

2.1.2 Kosten-Nutzen-Untersuchung

In einer idealtypischen Kosten-Nutzen-Untersuchung (KNU) werden unter Kosten und Nutzen alle Faktoren subsummiert, die eine Gesellschaft in ihrer Gesamtheit betreffen. Dazu werden möglichst alle Kosten und Nutzen einer Maßnahme erfasst. Diese reichen von direkten Nutzen bis hin zu Nutzen, die aus den Konsequenzen einer Maßnahme entstehen. Es muss somit das gesamte Wirkungssystem betrachtet werden. Der *soziale* Nettonutzen ergibt sich in weiterer Folge aus der Differenz zwischen *sozialen* Nutzen und *sozialen* Kosten, wobei die erfassten Größen bei der KNU immer in monetären Einheiten abgebildet werden (vgl. BOARDMAN et al. 2014: 2ff). KNUs stellen die Wirkung einer Maßnahme basierend auf dem Nettogegenwartswert (=Nutzen minus Kosten), dem Kosten-Nutzen-Verhältnis (=Nutzen durch Kosten) oder auf Basis der Internen-Zinsfuß-Methode (durchschnittliche jährliche Rendite) dar (vgl. MECHLER 2003: 46). Die durchschnittliche jährliche Rendite sollte jedoch nicht als alleiniges Auswahlkriterium herangezogen werden (vgl. PEARCE et al. 2006: 17ff). Das grundlegende Rational von Kosten-Nutzen-Untersuchungen liegt in der Idee, dass Handlungen und Maßnahmen, deren sozialer Nutzen größer sind als deren Kosten, grundsätzlich wünschenswert und ausführungswürdig sind (vgl. SEN 2000: 934). Die aktuell in Österreich in Anwendung befindliche Methodik der Kosten-Nutzen-Untersuchung entspricht diesem Typus der Wirtschaftlichkeitsbewertung.

PEARCE et al. (2006: 51ff) wie auch BOARDMAN et al. (2014: 6) unterteilen Kosten-Nutzen-Untersuchungen bezüglich ihres Ablaufes in zehn Teilschritte. Diese Teilschritte sind vor allem für eine strukturierte Betrachtung einer KNU und den Vergleich von unterschiedlichen Ansätzen von Relevanz.

1. **Festlegung von Varianten**: Es werden die Varianten festgelegt, die einem Vergleich unterzogen werden sollen. Wobei aus einer Vielzahl von Alternativen maximal sechs Varianten ausgewählt werden sollen. Diesen Varianten sind ihre jeweiligen Kosten basierend auf Marktpreisen zuzuordnen. Die Aufrechterhaltung des Status quo fließt in der Regel als eigenständige (Null-)Variante ein.
2. **Abgrenzung der Untersuchung:** In diesem Schritt wird zum einen entschieden wessen Kosten und Nutzen in die Analyse einfließen sollen. Das sogenannte „Standing" kann auch im Endergebnis abgebildet werden, um einen Ausgleich zwischen Nettogewinnern und Nettoverlierern zu ermöglichen. Dabei sind Doppelerfassungen von Effekten zu vermeiden. Die betrachteten Vernetzungen können von einem lokalen bis zu einem globalen Betrachtungsmaßstab reichen.
3. **Auswirkungsdimensionen identifizieren:** Um Nutzen und Kosten abschätzen zu können, müssen allen Dimensionen, auf die eine Maßnahmen Auswirkungen zeigt, identifiziert werden. Diese Auswirkungen können unter Umständen auch komplexe Pfade aufweisen und erstrecken sich über den ganzen Lebenszyklus einer Maßnahme.
4. **Quantifizierung von potenziellen Auswirkungen für die Lebenszeit eines Projektes:** Die Quantifizierung von Auswirkungen stellt einen der Kernbereiche der Analyse dar. Diese Bewertung muss sich stets auf die Lebensdauer eines Projektes beziehen und systemische Zusammenhänge berücksichtigen. Aufgrund der Einzigartigkeit, der Komplexität und einer teilweise langen Lebensdauer von Maßnahmen kann jedoch ein großer Unsicherheitsbereich entstehen. Dieser Unsicherheitsbereich lässt sich nicht vermeiden, muss aber in jedem Fall in entsprechender Form dargestellt und kommuniziert werden.
5. **Monetarisierung aller Auswirkungen:** Allen abgeschätzten Auswirkungen wird in einem nächsten Schritt ein Geldwert zugeordnet. Insbesondere intuitiv leicht erfassbare Auswirkungen sind oftmals schwer monetarisierbar (bspw. Wert eines verhinderten Todesfalls). Dieser Schritt unterscheidet die KNU maßgeblich von den später genannten Verfahren.
6. **Abzinsung (=Diskontierung) von Nutzen (und Kosten):** Da der Nutzen (und teilweise auch die Kosten) einer Maßnahme vor allem in der Zukunft liegt, muss dieser auf heutige Werte rückgerechnet werden. Neben der Abzinsung sollten auch Inflation sowie relative Preisveränderungen Berücksichtigung finden.
7. **Berechnung des Nettonutzens jeder Variante**: Aus Kosten und Nutzen jeder Alternative lässt sich der Kapitalwert oder ein Kosten-Nutzen-Verhältnis errechnen.
8. **Sensitivitätsanalyse:** Vor der abschließenden Bewertung der Resultate sollte eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt werden. Diese zeigt die Unsicherheiten in den Ergebniswerten auf. Diese Unsicherheiten können unterschiedliche Quellen aufweisen, wie die unterschiedlichen getroffenen Modellannahmen, aber auch aus Einschätzungen der Bearbeiterin oder des Bearbeiters resultieren. Die Unsicherheiten sind variantenspezifisch, sollten für jede untersuchte Variante eigenständig beurteilt werden und können das Endergebnis signifikant beeinflussen.

9. **Beschreibung der nicht-monetarisierbare Wirkungen:** Wenn bei einzelnen Varianten von entscheidenden, nicht-monetarisierbare Wirkung auszugehen ist, werden diese in der Regel verbal beschrieben.
10. **Handlungsempfehlungen ableiten:** Abschließend wird auf Basis des Kosten-Nutzen-Verhältnisses und der zugehörigen Sensitivitätsanalyse eine Empfehlung für eine Variante ausgesprochen.

Wie auch die zehn beschriebenen Schritte wiedergeben, dient die KNU einer Evaluierung von unterschiedlichen Varianten einer Maßnahme. Übergeordnetes Ziel ist die Allokation von Ressourcen mittels KNUs effizienter, treffsicherer und nachvollziehbarer zu gestalten. Liefert eine Maßnahme einen Nettonutzen, so ist der Ausgleich von Schlechterstellungen von Entitäten im Sinne der Pareto Effizienz durch Kompensationen möglich (vgl. BRENT 2006: 7ff; BOARDMAN et al. 2014: 29).

Obwohl die Verwendung von KNUs weitverbreitet und etabliert ist, gibt es eine Reihe an allgemeinen Kritikpunkten und Limitationen im Verfahren. Zum einen wird die Monetarisierung sämtlicher Nutzen als kritisch eingestuft, da gerade im Kontext von ökologischen Maßnahmen eine monetäre Bewertung von Nutzen (bspw. Erholungsfunktionen oder andere Ökosystemdienstleistungen sowie intangible Werte) teilweise nur schwer möglich und teilweise auch nicht zielführend ist (vgl. BATEMAN et al. 2003: 2ff). Zum anderen beziehen sich KNUs nur auf die allokative Effizienz einer Maßnahme und blenden somit Effekte aus, die erwünscht sind, aber keine Wertschöpfung im klassischen Sinne erzielen oder für die Kausalitäten nicht vollständig nachvollzogen werden können. Es werden somit Maßnahmen mit direktem Nutzen bevorzugt (vgl. BOARDMAN et al. 2014: 42). Da im Kontext von Investitionen in Infrastrukturprojekte (bspw. Brücken, Dämme, Autobahnen) der Großteil der Effekte nachvollziehbar monetarisierbar ist, findet die KNU in diesem Bereich verstärkte Anwendung (vgl. WEIMER 2008: 2).

2.1.3 Kosten-Wirksamkeits-Analyse

Aufgrund des reinen Fokus auf monetäre Effizienz hat sich eine Anzahl an alternativen Verfahren zur KNU etabliert. Eine Alternative zur KNU stellt die Kosten-Wirksamkeits-Analyse (KWA) dar. Im Gegensatz zur KNU werden bei der KWA Kosten und Nutzen nicht ausschließlich in monetären Werten ausgedrückt. Nicht-monetarisierbare Konsequenzen werden erfasst und mittels einem Wirksamkeitswert dargestellt. Das Hauptaugenmerk der KWA zielt auf Wirksamkeit ab und nicht auf Wirtschaftlichkeit. Dazu müssen die Ziele, die mit der geplanten Maßnahme erreicht werden sollen, vorab festgelegt werden. Eine Herausforderung stellt die Gewichtung der einzelnen Effektivitätskennwerte in der Entscheidungsfindung dar. Wie häufig bei der KNU wird das Bewertungsergebnis als Kosten-Wirksamkeits-Verhältnis (=Wirksamkeit durch Kosten) abgebildet, wobei es durchaus üblich ist einzelne Effekte eigenständig darzustellen, da sie aufgrund von unterschiedlichen Einheiten nur bedingt miteinander kombiniert werden können (vgl. LEVIN 1995: 381ff). Das dadurch entstehende Verhältnis zwischen Kosten und Wirksamkeit kann

auch ebenso gelesen werden (vgl. PEARCE et al. 2006: 274). Also beispielsweise als Kosten (in Euro) pro geschützte Einwohnerin oder Einwohner.

Einsatz findet die KWA verstärkt in jenen Sektoren der öffentlichen Hand, in denen Maßnahmen gesetzt werden, deren Effekte nur unzureichend monetär abgebildet werden können, wie im Bereich Bildung oder im Gesundheitssystem. Aber auch im Umweltbereich, beispielsweise zur Beurteilung von Maßnahmen zur Zielerreichung der EU-Wasserrahmenrichtlinie, kann die KWA Anwendung finden (vgl. BALANA et al. 2011: 1029f).

Folgende Bearbeitungsschritte gibt ANDREE (2011: 234ff) für die KWA an [modifiziert um eine Vergleichbarkeit zu Abschnitt 2.1.2 zu ermöglichen]. Es werden dabei einige Unterschiede, aber auch Gemeinsamkeiten zur KNU deutlich:

1. **Darstellung der Nebenbedingungen & Abgrenzung**: Im ersten Schritt werden jene Bedingungen erfasst, die notwendig sind, um Ziele überhaupt erreichen zu können. Zudem sollte eine Abgrenzung des Betrachtungsfeldes vorgenommen werden.
2. **Analyse der Ziele:** Die Ziele, die mittels der Maßnahmen erreicht werden sollen, müssen vollständig und ohne Widersprüche erfasst werden.
3. **Festlegung von Varianten:** Es werden die Varianten festgelegt, die einem Vergleich unterzogen werden sollen. Diese Varianten müssen sich eignen den definierten Zielen und Nebenbedingungen gerecht zu werden. Diesen Varianten sind ihre jeweiligen Kosten basierend auf Marktpreisen zuzuordnen.
4. **Quantifizierung von potenziellen Auswirkungen für die Lebenszeit eines Projektes:** In diesem Schritt werden die Wirksamkeiten der Varianten analysiert. Für jede Zielsetzung muss ein passender Wirkungsmaßstab entwickelt werden. Die Teilauswirkungen der Maßnahmen auf diesen Wirkungsmaßstäben muss in weiterer Folge quantifiziert werden.
5. **Abzinsung (=Diskontierung) von Wirksamkeiten (und Kosten):** Da auch bei der KWA die Wirksamkeiten und Kosten zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallen, ist eine Abzinsung durchzuführen, um eine Vergleichbarkeit herzustellen.
6. **Berechnung der Wirksamkeiten jeder Variante:** Aus Kosten und Wirksamkeit basierend auf den definierten Wirksamkeitsmaßstäben jeder Alternative lassen sich für jede Wirkung Kosten-Wirksamkeits-Verhältnisse errechnen.
7. **Sensitivitätsanalyse:** Vor der abschließenden Bewertung der Resultate sollte auch bei der KWA eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt werden. Diese zeigt die Unsicherheiten in den Ergebniswerten auf.
8. **Handlungsempfehlungen ableiten:** Abschließend wird auf Basis der Analyseergebnisse eine Empfehlung für eine Variante ausgesprochen.

Hauptkritikpunkte an der KWA beziehen sich vor allem auf die Aussagekraft der Ergebnisse in der Entscheidungsfindung. So muss bewusstgemacht werden, dass die Auswahl der Zielkriterien und der Wirkungsmaßstäbe einen signifikanten Einfluss auf das vermittelte Gesamtbild hat. Oftmals ist der Kriterienkatalog nicht vollständig und führt so zu einem

verzerrten Bild. Zudem verzerrt die bewusste (bei der Zusammenfassung zu einem Nutzwert) oder unbewusste (bei der Einzeldarstellung der Wirkungen) Gewichtung der Erfüllung der Zielkriterien die Entscheidungsfindung (vgl. ANDREE 2011: 236). Ein weiterer Kritikpunkt bezieht sich darauf, dass mittels KWA – indem Effektivität aufgezeigt wird – nur eine Auswahl zwischen unterschiedlichen Varianten getroffen werden kann und das Verfahren nicht geeignet ist nachzuweisen, ob eine Maßnahme überhaupt einen Nettogewinn erzielt, sondern nur deren Wirkung auf die definierten Zieldimensionen (vgl. PEARCE et al. 2006: 35). Durch die zukünftigen Weiterentwicklungen der Bewertungsansätze in der Wirtschaftlichkeitsbewertung im österreichischen Hochwasserrisikomanagement und durch die Inklusion von zusätzlichen nicht-monetären Zieldimensionen, wäre eine Weiterentwicklung der KNU in Richtung KWA möglich.

2.2 Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen im Hochwasserrisikomanagement

Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen nehmen im Management von Hochwasserrisiken einen besonderen Stellenwert ein. Kosten-Nutzen-Untersuchungen sind das am häufigsten eingesetzte Entscheidungsinstrument für ökonomische Bewertungen von strukturellen Hochwasserschutzmaßnahmen (vgl. MECHLER et al. 2014: 11). Aber auch andere Verfahren der Wirtschaftlichkeitsbewertung gewinnen zunehmend an Bedeutung. Das folgende Unterkapitel stellt kurz einleitend Hochwasserrisiko als Konzept und Hochwasserrisikomanagement als Prozess für den Umgang mit Gefahr und Risiko dar. In weiterer Folge wird auf die Stellung der Wirtschaftlichkeitsbewertung im Hochwasserrisikomanagement eingegangen. Um Kosten und Nutzen bzw. Wirksamkeiten beurteilen zu können, ist ein differenzierter Blick auf die unterschiedlichen Schäden, die aufgrund von Hochwasser entstehen können, notwendig. Auch in Hinblick auf Bewertungsmöglichkeiten werden unterschiedliche Schäden, die durch eine Maßnahme verhindert oder reduziert werden können, in diesem Kapitel dargestellt.

2.2.1 Hochwasserrisiko

Risiko ist ein vielschichtiges Konzept. Aus diesem Grund existieren weder eine universelle Definition noch eine Standardisierung der Erfassung von Risiko (vgl. ETKIN 2016: 57). Nachdem insbesondere Hochwasserrisiko für die vorliegende Arbeit einen entscheidenden Stellenwert einnimmt, ist jedoch eine Annäherung an den Begriff entscheidend. Nachdem die Arbeit einen quantitativen Zugang zu Risiko verfolgt, liefert der folgende, vielzitierte Definitionsansatz für spezifisches Risiko – also das Risiko von einem einzelnen Betrachtungselement – nach der United Nations Disaster Relief Organization einen guten Anhaltspunkt:

„*Risiko gibt den erwarteten Verlust aufgrund eines bestimmten Naturphänomens an und kann als Funktion sowohl der Naturgefahr als auch der Vulnerabilität definiert werden.*“ (übersetzt nach UNDRO 1980: 5)

In Form einer Pseudogleichung lässt sich spezifisches Risiko (R_S) als Produkt einer Gefahr (H) und der Vulnerabilität (V) eines Objektes gegenüber dieser Gefahr ausdrücken:

$$R_S = H * V \ (1) \qquad (1)$$

Bezieht sich nun eine Analyse des Hochwasserrisikos auf einen Raumausschnitt oder ein Gefahrenereignis, muss das spezifische Risiko für alle exponierten Elemente (E) ermittelt werden. Dabei können exponierte Elemente unterschiedlichster Art Berücksichtigung finden wie die betroffene Bevölkerung, Gebäude, Infrastruktur oder Naturdenkmäler. Je nach Zielsetzung kann ein Gesamtrisiko (R_T) aggregiert werden, indem alle relevanten exponierten Elemente in Verbindung mit ihrem spezifischen Risiko Berücksichtigung finden (vgl. ALEXANDER 1999: 7). Oben genannte Gleichung lässt sich somit wie folgt erweitern:

$$R_T = (E)\ (R_S) = (E)\ (H * V) \qquad (2)$$

Das Risiko einer Naturgefahr ist daher eine zusammengesetzte Funktion der Merkmale eines Ereignisses und der Personen, Schutzgüter oder Vermögenswerte, die dem Ereignis ausgesetzt sind, beschrieben durch die Vulnerabilität gegenüber der Gefahr (vgl. WISNER et al. 2014: 49).

Wie oben angeführt, kann Risiko nur mittels der Variable Vulnerabilität (V) definiert werden. Von einem systemtheoretischen Blickwinkel können Naturgefahren zu einer Veränderung des Funktionsniveaus oder des Ausgangszustandes führen und verändern so das Systemgefüge. Vulnerabilität bezeichnet die Prädisposition eines physischen, ökonomischen, politischen oder sozialen Systems oder Objektes durch ein destabilisierendes Phänomen Schaden zu nehmen. Vulnerabilität kann im Kontext von Naturgefahren als interner Risikofaktor eines exponierten Systems oder Objektes verstanden werden, der die Anfälligkeit für Schäden wiedergibt (vgl. CARDONA 2010: 37). Wird Vulnerabilität als Variable im Rahmen von quantitativen Risikoanalysen eingesetzt, so wird sie in der Regel über das Intervall [0, 1] abgebildet, wobei der Wert 1 einer gänzlichen Zerstörung und der Wert 0 einer Schadensresistenz – also keinem auftretenden Schaden entspricht (vgl. FUCHS et al. 2018: 33). Der Wertebereich dazwischen bildet den Grad der Betroffenheit ab. Wird dieser Wert – beispielweise im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsbewertung – mit dem Zweitwert eines Objektes multipliziert, lässt sich der ökonomische Schaden bestimmen.

2.2.2 Hochwasserrisikomanagement

Lange haben sich Maßnahmen zum Schutz vor Hochwasser primär auf technische Umsetzungen, vor allem die Regulierung von Flüssen durch harte Verbauungen, bezogen. Im Laufe der Zeit haben zusätzlich Retentionsbecken, die den Scheitelabfluss reduzieren, an Bedeutung gewonnen. In den letzten Jahrzehnten hat sich der Umgang mit Hochwasser maßgeblich hin zu einem Management von Hochwasserrisiken verändert. Diese Veränderung basiert nach MERZ et al. (2010: 510ff) primär auf drei Grundsteinen:

1. **Umgang mit Hochwasser unterschiedlicher Jährlichkeiten:** Verschiedene Hochwasserereignisse (bspw. Donauhochwasser 2002) haben gezeigt, dass technische Lösungen an ihre Grenzen stoßen und zudem ein Restrisiko (Überlast- oder Versagensfall) immer bestehen bleibt. Der Fokus darf somit nicht nur auf dem Bemessungsereignis für technische Anlagen (bspw. HQ_{100}) ruhen, sondern muss eine Vielzahl von Hochwasserereignissen unterschiedlicher Jährlichkeiten berücksichtigen, auch jene, die über das Bemessungsereignis hinausgehen.
2. **Risikobasierte Entscheidungsfindung:** Statt politischen Entscheidungen müssen Abschätzungen des Hochwasserrisikos und die Kosten von unterschiedlichen Varianten, die sich eignen das Risiko zu reduzieren, im Sinne einer nachhaltigen und transparenten Ressourcenverwendung die Basis für Entscheidungen bilden.
3. **Integraler Umgang mit Hochwasser:** Obwohl technische Maßnahmen das Hochwasserrisiko maßgeblich reduzieren können, müssen sie mit Maßnahmen anderer Sektoren wie des Katastrophenschutzes, der Raumplanung, der Versicherungswirtschaft, der Bewusstseinsbildung oder der Landwirtschaft kombiniert werden, um eine bestmögliche Risikoreduktion zu erreichen.

Hochwasserrisikomanagement kann als kontinuierlicher Prozess verstanden werden, der auf einer weitgehend holistischen Analyse der Gesellschaft, Bewertungen des Hochwasserrisikos sowie Maßnahmen zur Anpassung an dieses Hochwasserrisiko basiert. Statt auf einzelne Ereignisse mit Maßnahmen zu reagieren, zielt das Hochwasserrisikomanagement drauf ab, vorausschauend zu agieren (vgl. SCHANZE 2006: 4f). Um den Prozess greifbarer zu machen, hat sich in der Praxis die Darstellung und Maßnahmengliederung in einen zyklischen Risikokreislauf bewährt (siehe Abbildung 1).

In der Vorsorge, auf der besonderer Fokus liegen sollte, werden Maßnahmen gesetzt (beispielsweise die Freihaltung von hochwassergefährdeten Bereichen durch die Raumplanung), die das Entstehen von neuen Hochwasserrisiken unterbinden. Für bestehende risikobehaftete Siedlungen werden Schutzkonzepte erarbeitet, die jedoch über die Errichtung von technischen Anlagen hinausgehen (beispielsweise mittels der Wiederherstellung von Retentionsräumen oder Aufweitungen des Gerinnequerschnitts). Durch gezielte Information, Kommunikation und Bildungsinitiativen soll das Bewusstsein und die Eigenverantwortung der Bevölkerung gestärkt werden. Katastrophenschutzpläne, Prognosemodelle und Frühwarnsysteme unterstützen sowohl die Bevölkerung als auch Entscheidungsträgerinnen und -träger frühzeitig zu reagieren. Nach einem Ereignis sorgen Sofortmaßnahmen und Instandsetzungen zu einer Wiederherstellung des Schutzniveaus und einer effektiven Bewältigung. Ereignisdokumentationen können genutzt werden, um Vorsorge- und Schutzkonzepte anzupassen und aus einem Ereignis zu lernen (vgl. BML 2016: 28; LAWA 2019: 16).



Abbildung 1: Kreislauf des Hochwasserrisikomanagements in Österreich (aus WENK und NEUHOLD 2020: 3)

2.2.3 Stellung und Arten von Wirtschaftlichkeitsbewertungen im Hochwasserrisikomanagement

Wie skizziert, wird im Hochwasserrisikomanagement das Ziel angestrebt die nachteiligen Folgen von Hochwasser für die Gesellschaft zu reduzieren. Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen nehmen dabei einen besonderen Stellenwert ein, da durch entsprechende Verfahren aufgezeigt werden kann, ob – je nach Zieldefinition – der Mitteleinsatz gerechtfertigt ist.

Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen lassen sich im Rahmen des Hochwasserrisikomanagements wie in Abbildung 2 dargestellt verorten. Die ökonomische Bewertung ist dabei eingebettet in das zyklische Risikomanagement. Aufbauend auf identifizierten (Hochwasser-)Gefahren werden Risiken für verschiedene Schutzgüter unter Berücksichtigung des *Status quo* bewertet. Übersteigt das ermittelte Risiko ein akzeptiertes Maß, so werden in der Regel Maßnahmen definiert, die geeignet sind, das Risiko zu reduzieren. Durch dieses Management von Risiken findet eine Anpassung statt, ein Restrisiko bleibt jedoch bestehen. Diese Risikobewertung wird von der Bewertung der Effektivität oder der Ermittlung von Wirksamkeiten flankiert, indem die Reduktion der potenziell nachteiligen Folgen quantifiziert wird und den Kosten unterschiedlicher Maßnahmenvarianten gegenübergestellt wird (vgl. MECHLER et al. 2008: 9ff).

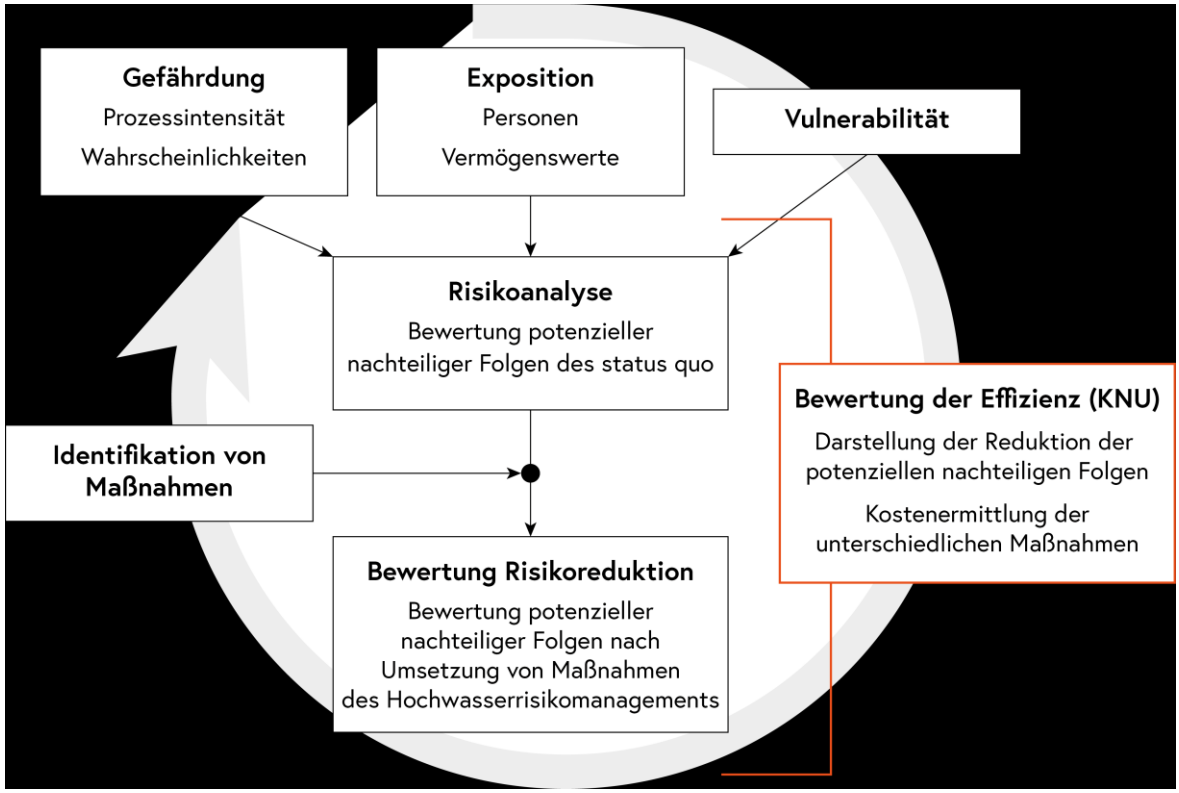


Abbildung 2: Stellung der KNU im Hochwasserrisikomanagement (Eigene Darstellung, 2025 inspiriert durch MECHLER et al. 2008: 9)

Eine nachvollziehbare und objektive Abschätzung von Schadenserwartungswerten muss im Kontext von Hochwasser auf dem Risikoansatz beruhen und von exponierten Personen und Vermögenswerten, deren Vulnerabilität, der Intensität eines Prozesses sowie der Bestimmung der räumlichen Verteilung der zugehörigen Eintrittswahrscheinlichkeiten ausgehen (vgl. KRAMER 1995: 65f). Die Prozessintensität hat einen maßgeblichen Einfluss, da Objekte gegenüber unterschiedlichen Prozessdynamiken auch unterschiedlich vulnerabel sind.

Detaillierte vorausschauende Ansätze zur Abschätzung der Wirkung (Nutzen) einer Maßnahme haben sich gegenüber pragmatischen, rückblickenden Methoden, die ausschließlich vergangene Schadensereignisse als Entscheidungsbasis heranziehen, durchgesetzt, da realistischere Ergebnisse erreicht werden. Vorausschauende, wahrscheinlichkeits-basierte Ansätze sind jedoch mit einem erheblichen Arbeitsaufwand verbunden, da eine Risikoabschätzung für die gesamte Lebensdauer einer Maßnahme erfolgen sollte. Über die Lebensdauer einer Maßnahme können sich jedoch auch die Rahmenbedingungen einer Maßnahme ändern, so nimmt die Berücksichtigung von potenziellen Treibern des Risikos (Klimawandel, Abwanderung, Urbanisierung/Bevölkerungswachstum, technische Innovation usw.) einen entscheidenden Stellenwert ein (vgl. KULL et al. 2013: 378f).

Um ein nachhaltiges Management der Risiken zu betreiben, werden geeignete Maßnahmen beziehungsweise Varianten zur Risikoreduktion identifiziert und deren Errichtungs- sowie

Erhaltungskosten erfasst. Nutzenseitig wird die Wirkung der Maßnahme, welche die Reduktion der nachteiligen humanitären, ökologischen und ökonomischen Folgen anstrebt, erfasst (vgl. KULL et al. 2013: 378). Je nach Zielsetzung und Projektart kommen unterschiedliche Verfahren der Entscheidungsunterstützung zum Einsatz. Nach MECHLER et al. (2014: 7) lassen sich die in Abschnitt 2.1 in theoretischer Form beschriebenen Verfahren im Hochwasserrisikomanagement (sie Zusammenfassung in Tabelle 1) anwenden. Neben den Anwendungsbereichen gibt die Tabelle auch Chancen und Herausforderungen, welche mit der Anwendung der unterschiedlichen Methoden im Hochwasserrisikomanagement einhergehen, wieder. Die Ermittlung von Kosten und Nutzen/Wirksamkeiten ist dabei vom eingesetzten Verfahren weitgehend unabhängig und wird aus diesem Grund in den anschließenden Unterkapiteln aggregiert beschrieben.

Tabelle 1: Verfahren der Wirtschaftlichkeitsbewertung im Hochwasserrisikomanagement (verändert nach MECHLER et al. 2014: 7)

	Chancen	Herausforderungen	Anwendungsfeld
KNU **Kosten-Nutzen-Untersuchung**	(Standardisiertes) Verfahren mit strikten Rahmenbedingungen auf Grundlage eines Vergleichs von Kosten und Nutzen	Erfordernis der Monetarisierung aller Wirkungen; Schwierigkeiten bei der Bewertung von intangiblen Wirkungen (bspw. Wert eines Menschenlebens)	Bewertung genau spezifizierter Projekte mit hoher Widerstandsfähigkeit und wirtschaftlichem Nutzen
KWA **Kosten-Wirksamkeits-Analyse**	Zielvorgaben können festgelegt werden und nur Kosten werden verglichen. Intangible Wirkungen müssen nicht monetarisiert werden	Zielvorgaben müssen konsensual definiert und anerkannt werden	Bewertung genau spezifizierter Projekte mit hohen intangiblen Wirkungen (bspw. Schutz von Menschenleben), die in jedem Fall Berücksichtigung finden sollen

Bei Kosten-Nutzen-Untersuchungen im Hochwasserrisikomanagement wird in der Regel die Differenz oder das Verhältnis zwischen Investitionsvolumen und dem verhinderten Schaden beziehungsweise dem reduzierten Risiko für jede bewertete Variante dargestellt (vgl. JONKMAN et al. 2004: 100). Eine Maßnahme reduziert als direkte Wirkung für ihre Lebensdauer den durchschnittlichen jährlichen Schadenserwartungswert. Auf die Grundlagen der Kosten-Nutzen-Untersuchung bezogen, kann von einer ökonomischen Effizienz ausgegangen werden, wenn die Reduktion des Schadenserwartungswertes im Hinblick auf die Lebensdauer einer Maßnahme die Investkosten der Maßnahme übersteigt. Basierend auf den Details einer Maßnahme und dem Kosten-Nutzen-Verhältnis können Maßnahmen in weiterer Folge verglichen werden (vgl. MECHLER et al. 2014: 11). Um den gesamtgesellschaftlichen Anforderungen einer Kosten-Nutzen-Untersuchung gerecht zu werden ist die Berücksichtigung aller Kosten und Nutzen, die für die Gesellschaft entstehen, erforderlich.

Diese Betrachtung der monetär bewertbaren Effekte einer Maßnahme, auch Projektnutzenbarwert genannt, lässt sich um Wirksamkeiten erweitern. Über diese können unterschiedliche (politisch) gewünschte Zielsetzungen positiv berücksichtigt werden. Im Rahmen des Hochwasserrisikomanagements können Zielsetzungen von anderen wasserbezogenen Politiken (wie die Erfüllung der EU-Wasserrahmenrichtlinie), Angelegenheiten des Naturschutzes oder schlichtweg der menschlichen Gesundheit angeführt werden. Sollen diese Aspekte Berücksichtigung finden, so müssen sie durch entsprechende ökonomische Methoden monetarisiert werden. Als Alternative kann die

KWA angeführt werden, die es ermöglicht auch nicht-monetarisierte Wirkungen zu berücksichtigen.

Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsbewertung im Kontext von Hochwasser sind gemäß der im einführenden Abschnitt dargelegten Klassifikation in der Regel ex-ante Analysen zur Unterstützung von Entscheidungsträgerinnen und -träger (vgl. MEYER et al. 2013: 1352). Obwohl sich das Instrument auch für *in media res* und *ex post* Anwendung eignet. Das bedeutet, dass die Verfahren primär im Zuge der Projektplanung eingesetzt werden, aber auch für das Monitoring und die abschließende Evaluierung eingesetzt werden können.

Eine weitere Möglichkeit der Klassifikation von Hochwasserrisikobewertungen ist bezüglich ihres Betrachtungsmaßstabes. Mesoskalige Ansätze analysieren Schäden basierend auf Landnutzungskategorien, die mit spezifischen Gütern oder ökonomischen Sektoren in Verbindung gebracht werden. Mikroskalige Ansätze analysieren (potenzielle) Schäden auf einem Objektlevel. Es werden dabei Einzelobjekte (wie zum Beispiel ein einzelnes Wohnhaus oder eine Produktionsstätte) betrachtet. Mikroskalige eignen sich vor allem für lokale Beurteilungen beispielsweise auf der Ebene einzelner Projekte (vgl. KREIBICH et al. 2010: 1303). Der Vollständigkeit sind Ansätze auf der Makroebene genannt, die sich auf Ebene von Gemeinden, Regionen oder Nationen anzusiedeln sind und daher für Projektbewertungen, die auf lokale Daten zurückgreifen müssen, ungeeignet sind (vgl. MERZ et al. 2010: 1699).

Im Sinne einer systemorientierten Perspektive muss der Untersuchungsraum so gewählt werden, dass auch Effekte, die über den direkten Wirkungsbereich einer Maßnahme hinausgehen, abgebildet werden. Im Kontext von Wasserbauten sind insbesondere Effekte für Ober- sowie Unterlieger zu berücksichtigen (vgl. DIXON et al. 1989: 17ff).

2.2.4 Nutzen / Wirksamkeiten im Hochwasserrisikomanagement

Aus einem Hochwasser-Ereignis können für eine Gesellschaft unterschiedliche nachteilige Konsequenzen entstehen. Einerseits humanitäre Effekte wie Todesopfer oder verletzte Personen, des Weiteren ökologische Folgen, wie der Verlust von Habitaten oder Schäden am Ökosystem sowie ökonomische Folgen. Die Reduktion dieser nachteiligen Folgen von Hochwasser ist das primäre Ziel von Maßnahmen des Hochwasserrisikomanagements und kann als deren Nutzen beziehungsweise Wirksamkeit zusammengefasst werden.

Veranschaulicht werden kann die Risikoreduktion mittels Schaden-Frequenz-Kurven. Dazu wird auf der x-Achse die Auftretenswahrscheinlichkeit (als Inverse der Jährlichkeit) und auf der y-Achse der Schaden, den ein jeweiliges Ereignis verursacht, dargestellt. Abbildung 3 (a) stellt exemplarisch eine Situation ohne gesetzte Maßnahme dar. Ab einem HQ5 treten Schäden auf und für HQ30, HQ100 und HQ300 liegen Aussagen zu den erwarteten Schäden vor. Aus diesen Punkten kann eine Kurve konstruiert werden, die als Annäherung verstanden werden kann. Mit der Fläche unter der Kurve kann eine Annäherung an das Gesamtrisiko (R_{ges}) errechnet werden. Wird eine Maßnahme gesetzt, die bis zu einem

HQ100 eine Ausuferung und damit ein Hochwasser bis zu diesem Bemessungswert verhindert, so verändert sich das Gesamtrisiko. Wie in Abbildung 3 (b) gezeigt, findet eine Risikoreduktion um die Fläche R_{red} statt (vgl. KINGMA et al. 2020: o.S.). Wobei der erwartete Schaden von Ereignissen, die über das Bemessungsereignis hinausgehen, nach Maßnahmenumsetzung durchaus ansteigen kann, da beispielsweise eine Verdichtung von Werten in diesem Restrisikobereich stattfindet (vgl. FUCHS et al. 2015: 2135ff) oder es infolge des bereits lange bekannten Damm-Effektes („levee effect“) zu einer falschen Wahrnehmung von Sicherheit und damit zu einem geringeren Bewusstsein für Hochwasser kommt (vgl. WHITE 1945, 206ff).

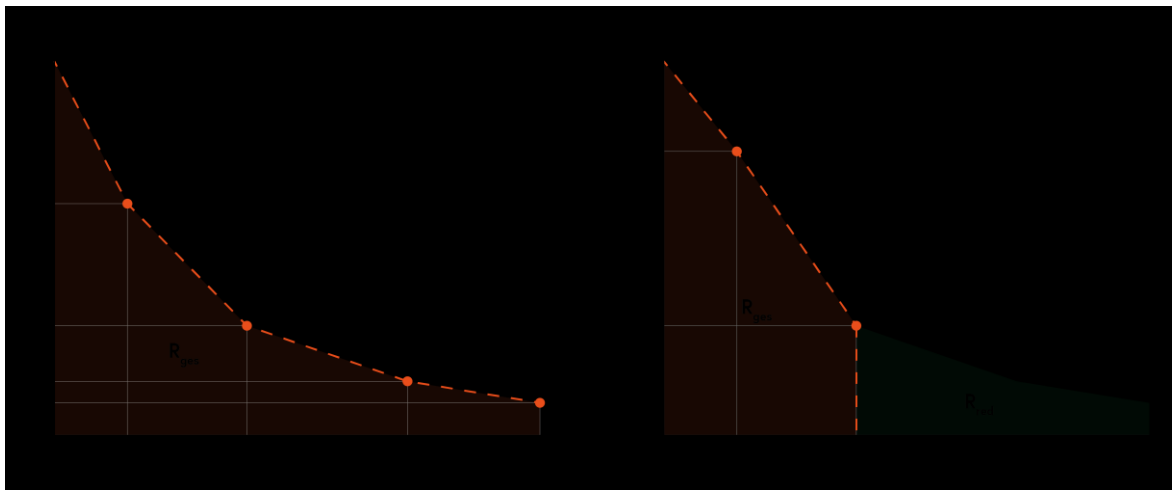


Abbildung 3: (a) beispielhafte Überschreitungswahrscheinlichkeitskurve ohne Maßnahme, (b) Überschreitungswahrscheinlichkeitskurve mit Maßnahme (Eigene Darstellung, 2025)

Die Zuordnung von einem konkreten Schadensausmaß zu verschiedenen Hochwasserszenarien kann zudem unter Berücksichtigung der Eintrittswahrscheinlichkeiten der Ereignisse dazu genutzt werden Schadenswahrscheinlichkeiten zu berechnen. Mittels Integralgleichung (siehe Formel 3) kann in weiterer Folge aus der konstruierten Funktion die mittlere jährliche Schadenserwartung (SE) errechnet werden (vgl. DEHNHART et al. 2008: 56). Dazu wird die Schadenfunktion (S(P)) für den Bereich zwischen dem Hochwasserereignis, ab dem ein Schaden zu erwarten ist (P_0) und dem Extremereignis (betrachtetes Ereignis mit der geringsten Wahrscheinlichkeit HQ_{extrem}), integriert.

$$SE = \int_{P_0}^{P_k} S(P) * dP \tag{3}$$

Vereinfacht lässt sich der jährliche Schadenserwartungswert auch mittels numerischer Integration ermitteln, indem unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Intervalle eine gewichtete Summation erfolgt. Wird die Risikoveränderung verglichen, die sich aus unterschiedlichen Varianten (mit Maßnahme/ohne Maßnahme) ergibt, lassen sich so die direkten Effekte errechnen. Wird diese Risikoreduktion, unter Berücksichtigung der notwendigen Abzinsung, den Projektkosten gegenübergestellt, kann eine Abwägung der Investitionsentscheidung durchgeführt werden. (vgl. MECHLER et al. 2008, 16)

2.2.5 Kategorisierung von Nutzen / Wirksamkeiten

Die potenziell nachteiligen Folgen von Hochwasser lassen sich in direkte und indirekte Schäden sowie in jene Schäden, die durch die Unterbrechung von Wertschöpfung entstehen, untergliedern (vgl. MECHLER 2003: 45). Zusätzlich kann zwischen tangiblen, also Schäden, die direkt monetarisierbar sind, und intangiblen Schäden, also Schäden, die nicht direkt bezüglich ihrer ökonomischen Wertigkeit beurteilt werden können, da sie nicht auf Märkten gehandelt werden, differenziert werden. Indirekte Schäden sind bezüglich ihrer Erfassung komplexer, da sie Effekte auf längen Zeitskalen haben, stärkere Kaskadeneffekte auftreten und sie auch fernab der betroffenen Fläche auftreten können (vgl MERZ et al. 2010: 1699; MEYER et al. 2013: 1353). Intangible Nutzendimensionen können entweder als Wirksamkeiten ausgedrückt werden oder über ökonomische Ansätze (beispielsweise *willingness to pay*) in monetäre Einheiten überführt werden. Auf diese Methoden soll jedoch in dieser Arbeit nicht eingegangen werden.

Tabelle 2 gibt einen Überblick über diese Unterscheidung und nennt für die möglichen Merkmalsausprägung Schadensbeispiele. Im folgenden Abschnitt wird auf theoretischer Ebene sowie auf Basis von Beispielen auf die Charakteristika und die Erfassung der unterschiedlichen Schäden eingegangen, wobei eine strikte Trennung zwischen den Schadenskategorien teilweise nur eingeschränkt möglich ist und Überlappungen auftreten. Die Einteilung ist an der Terminologie ausgerichtet, die im Projekt „Costs of Natural Hazards“ (CONHAZ) entwickelt wurde (vgl. MEYER et al. 2013: 1352).

Tabelle 2: Kategorisierung von Schäden durch Hochwasser mit Beispielen je Kategorie (verändert nach MERZ et al. 2010: 1699; MEYER et al. 2013: 1354)

	Tangible Schäden	**Intangible Schäden**
Direkte Schäden	Physische Schäden an: - Gebäuden - kritischer Infrastruktur - privaten Besitztümern - Kulturgütern - Landwirtschaftlichen Kulturen und Böden Ausgaben für Evakuierungen und Notfallmedizin	Todesfälle Gesundheitliche Auswirkungen (physisch) Umweltschäden (bspw. durch eingetragene Stoffe) Verlust von Memorabilia
Wertschöpfungs-unterbrechungen	Unterbrechung von Produktion aufgrund beschädigter Produktionsanlagen Unterbrechung von Dienstleistungen aufgrund unterbrochener Erreichbarkeiten	Unterbrechung von Ökosystemdienstleistungen
Indirekte Schäden	Induzierte Produktionsverluste von Zulieferern von direkt betroffenen Betriebs- und Produktionsstätten Unterbrechung von öffentlichen Dienstleistungen außerhalb der überfluteten Bereiche Unterbrechungen in Verkehr und Transport	Verlust von Vertrauen in Entscheidungsträgerinnen und -träger Gesundheitliche Auswirkungen (psychisch) Gesteigerte Vulnerabilität der Bevölkerung nach einem Ereignis

2.2.6 Nutzen durch verhinderte direkte, tangible Schäden

Direkte Schäden treten durch den direkten Kontakt beziehungsweise das direkte Einwirken von Hochwasser auf. Direkte, tangible Schäden manifestieren sich dabei als monetär direkt bewertbare Schäden an (menschengeschaffenen) physischen Strukturen wie Gebäuden, Infrastrukturen oder Kulturgütern (vgl. MEYER et al. 2013: 1353).

Für die Analyse und die Bewertung von physischen Schäden im Rahmen von quantitativen Betrachtungsweisen haben sich Vulnerabilitätsfunktionen bewährt. Im Vergleich zu Vulnerabilitätsmatrizen oder -indikatoren, die vor allem in Regionen mit geringer Datenverfügbarkeit Einsatz finden (vgl. MALGWI et al. 2020: 2082f), erlauben sie eine

quantitative Herangehensweise, bei der die Intensität eines Ereignisses mit den erwarteten Auswirkungen in Beziehung gesetzt wird (vgl. FUCHS et al. 2018: 40ff). Eine Vielzahl von unterschiedlichen Studien (vgl. SMITH 1981: 36; BÜCHELE et al. 2006: 494ff) identifiziert die Wassertiefe als maßgeblichsten Faktor für das Schadensausmaß von fluvialem Hochwasser. Ein großer Teil der Schadensfunktionen basiert aus diesem Grund auf der Wassertiefe als Intensitätsmerkmal, wobei zusätzliche Variablen (beispielsweise Fließgeschwindigkeit, Überflutungsdauer, Kontaminierung oder Sedimentfracht) zu einer Qualitätssteigerung führen können, aber auch zu einer Heterogenität zwischen den unterschiedlichen Modellen führen (vgl. MERZ et al. 2010: 1707; GERL et al. 2016: 18). Die Verknüpfung von Prozessintensitäten mit Schadenserwartungswerten hat dabei für Flusshochwasser lange Tradition (vgl. MCBEAN et al. 1988: 635).

Schadensfunktionen können, je nach Datengrundlage und Zielsetzung, eine unterschiedliche Zielgröße haben. Absolute Schadensfunktionen liefern Aussagen über den ökonomischen Schaden in monetären Einheiten. Relative Schadensfunktionen drücken den Schaden als Faktor aus, der den anteiligen Wertverlust angibt. Um eine Aussage über den monetären Schaden treffen zu können, muss dieser Faktor mit dem Wert des Objektes in Beziehung gesetzt werden (vgl. KREIBICH et al. 2010: 1304). Relative und absolute Schadensfunktionen haben in der Praxis einen vergleichbaren Stellenwert (vgl. GERL et al. 2016: 18).

In der Regel werden entsprechende Funktionen aus empirisch erhobenen Daten, die nach einem Hochwasserereignis erhoben werden, abgeleitet. Als weiteres Verfahren wird eine synthetische Konstruktion durch ex-ante Analysen eingesetzt *("Welcher Schaden wäre bei einer Wassertiefe von einem Meter zu erwarten?"*) (vgl. APEL et al. 2008: 82).

Die Auswahl einer passenden Vulnerabilitätskurve ist sowohl vom Prozesstyp als auch von der zu bewertenden Objekt- oder Wertkategorie abhängig. Beispielsweise sind asphaltierte Straßen gegenüber fluvialem Hochwasser weniger vulnerabel als gegenüber Erdbeben, Schotterstraßen hingegen können aber durch Hochwasser signifikante Schäden nehmen und sind resistenter gegenüber Erdbeben. Das Beispiel verdeutlicht, wie wichtig der sensible Umgang mit Vulnerabilitätskurven ist. Vulnerabilität kann in diesem Kontext als Konsequenz eines Ereignisses mit einer bestimmten Intensität verstanden werden (vgl. PAPATHOMA-KÖHLE 2016: 1780).

Mittels Vulnerabilitätskurven kann somit verschiedenen Hochwasserszenarien für die Kategorie direkte, tangible Schäden ein konkretes Schadenausmaß – wie in Abschnitt 2.2.4 dargestellt – zugeordnet werden, indem unterschiedliche Schutzgüter bewertet werden. Aller Regel nach werden dabei vor allem Schäden an Gebäuden (Wohngebäude sowie Nicht-Wohngebäude) sowie an Infrastrukturen bewertet. Bei der Ermittlung von monetären Werten von Objekten und Gütern sind sowohl die Charakteristika eines Gutes als auch der regionale ökonomische Kontext miteinzubeziehen (vgl. JONGMAN et al. 2012: 3733).

Nutzen durch verhinderte direkte, tangible Schäden an Gebäuden

Die Auseinandersetzung mit der Schadensanfälligkeit von Gebäuden gegenüber Hochwasser ist vergleichsweise detailliert erforscht. Wie beschrieben, wird bei quantitativen Analysen dazu in der Regel die einwirkende Prozessintensität mit dem erwarteten Schaden in Beziehung gesetzt. Die Fähigkeit von Gebäuden einer Gefährdung unterschiedlichen Grades zu widerstehen ist aber zu Teilen auch abhängig von den physischen Charakteristika dieser Strukturen, wobei das Alter, die Konstruktionsweise, vorhandene Unterkellerungen, bereits gesetzte Vorsichtsmaßnahmen oder auch die Lage des Objektes in Relation zur Gefahr einen maßgeblichen Einfluss haben können (vgl. MERZ et al. 2010: 1708; MAZZORANA et al. 2014: 3832ff). Unterschiedliche Modelle ziehen auch unterschiedliche Eingangsgrößen heran. Aufgrund der Fülle an verschiedenen Ansätzen sollen an dieser Stelle nur einige, etablierte Herangehensweisen genannt werden.

Die einfachste Herangehensweise ist Wassertiefe und Schaden am Gebäude in eine direkte Beziehung zu setzen, da eine hohe Korrelation zwischen Wassertiefe und Gebäudeschaden besteht, die für andere Intensitätsparameter (Fließgeschwindigkeit oder Strömungskraft) noch nicht ausreichend in dieser Aussagekraft nachgewiesen ist (vgl. KREIBICH et al. 2009: 1685). Jeder Wassertiefe wird dazu ein Schadensgrad oder Wertverlust – je nachdem ob ein absoluter oder relativer Ansatz gewählt wird – zugeordnet. In der Regel kann diese Verknüpfung basierend auf Wassertiefenklassen erfolgen, wie in der Herangehensweise von Baden-Württemberg (vgl. ZEISLER & PFLÜGNER 2019: 82), was eine gestufte Funktion ergibt, die für bestimmte Überflutungstiefen-Klassen (beispielweise zwischen 10 und 15cm) den gleichen Schadensgrad ergibt. Die Beziehung zwischen Schadensgrad und Wassertiefe kann aber auch als kontinuierliche Beziehung ausgedrückt werden. Diese Herangehensweise wählt beispielweise das Tool FloRiAn in Anlehnung an die Methodik des Rheinatlas (KUTSCHERA et al. 2016: 17). Im Modell EconoMe kommen drei aus Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit kombinierte Intensitätsklassen zum Einsatz, die mit vordefinierten Richtwerten unterschiedlicher Gebäudetypen zu einem Schadensempfindlichkeitswert kombiniert werden (vgl. WINKLER et al. 2009: 26).

Das Kriterium der Wassertiefe wird in einigen Modellen – beispielhaft sei hier das Modell FLEMOps für die die Ermittlung von potenziellen Hochwasserschäden an privaten Gebäuden genannt – um weitere schadensbeeinflussende Variablen erweitert. Neben der Wassertiefe wird auch der Gebäudetyp, die Qualität des Wohngebäudes, die Kontaminierung des Wassers sowie gesetzte Maßnahmen der Eigenvorsorge beurteilt. Dabei wird eine gestufte Schadensfunktion eingesetzt, die basierend auf der Wassertiefe am Gebäude den relativen Schaden ermittelt. Die anderen Variablen werden als Faktoren in das Ergebnis eingerechnet (vgl. THIEKEN et al. 2008: 317). Die Kontaminierung mit Öl, Chemikalien oder Abwässern kann einen maßgeblichen Einfluss auf die Schadenssumme sowohl bei Wohngebäuden als auch bei Gewerbe und Industrie nach sich ziehen und sollte, wenn möglich, bei der Risikoanalyse Berücksichtigung finden. Beispielsweise folgend dem Hochwasser in Sachsen 2002 waren die Schäden an Betriebsgebäuden, die von Kontaminierungen betroffen waren, zwischen 18 und 47% höher als an Gebäuden ohne Kontaminierung (vgl. KREIBICH et al. 2010: 1305). Mittels multipler linearer Regression

konnte der Einfluss ähnlicher Variablen – insbesondere von Heizsystemen – auf das Schadensausmaß auch für Hochwasserschäden in Dänemark nachgewiesen werden (vgl. SVENNINGSEN et al. 2020: 11f). Neben FLEMOps bietet FLEMOcs (vgl KREIBICH et al. 2010) die Möglichkeit die Abschätzung von Schäden an Gebäuden des kommerziellen Sektors durchzuführen.

Multiparametrisierte Modelle werden in der Regel als genauer eingestuft, da eine größere Anzahl von Parametern abgebildet wird, die einen Einfluss auf das Schadensbild haben, wobei die Anforderung an die Input-Daten mit zunehmender Komplexität steigt (vgl. MEYER et al. 2013: 1366).

Nutzen durch verhinderte direkte, tangible Schäden an Infrastruktur

Methoden für die Abschätzung von Schäden an Infrastrukturen sind, im Vergleich zu jenen Methoden, die sich mit Schäden an Gebäuden auseinandersetzen, für längere Zeit in einem geringeren Ausmaß weiterentwickelt worden (vgl. JONGMAN et al. 2012: 3733; GERL et al. 2016: 18). Einen guten Überblick in Form einer Meta-Studie geben HABERMANN und HEDEL (2018).

Für jene Infrastrukturen, die in einem Gebäude untergebracht sind (bspw. Schulen, Krankenhäuser, Altersheime, Bahnhöfe, Kläranlagen uvm.), können die bereits beschriebenen Methoden zur Ermittlung von direkten Schäden herangezogen werden, wobei die Ermittlung von Vulnerabilität und Wert dieser Gebäude eine Sonderstellung einnimmt und oftmals im Einzelfall durch Expertenbeurteilung zu ermitteln ist (vgl. EZELL 2007: 571).

Auch die Ermittlung von direkten Schäden an linearer Ver- und Entsorgungsinfrastruktur sowie Verkehrsinfrastrukturen kann über vulnerabilitätsbezogene Ansätze erfolgen. Wobei als direkte, tangible Schäden jene Kosten erfasst werden müssen, die für die Aufräumarbeiten, Sperren sowie Umleitungen und die Wiederherstellung der Funktionalität aufgewendet werden müssen. Bei fluvialem Hochwasser ist dabei insbesondere eingebrachtes Sediment, das entfernt werden muss, zu berücksichtigen sowie Schäden an der Struktur selbst (vgl. WINTER et al. 2016: 1427).

Anders als bei Gebäuden kann für das Verkehrsnetz eine deutlichere Korrelation zwischen Fließgeschwindigkeit und strukturellem Schaden nachgewiesen werden (vgl. KREIBICH et al. 2009: 1686), wobei in der Praxis aufgrund der Datenverfügbarkeit dennoch vor allem Wassertiefen als Eingangsgrößen für Schadensfunktionen herangezogen werden (vgl. HABERMANN & HEDEL 2018: 428; HUIZINGA et al. 2017). Neben der Prozessintensität können zusätzlich die Konstruktionsweise und der Erhaltungszustand eines Straßensegmentes maßgeblichen Einfluss auf die potenziellen Schäden haben. Insbesondere die Oberflächenbeschaffenheit sowie die Ausführung und der Zustand der Anschüttung können für Schäden ausschlaggebend sein (vgl. KREIBICH et al. 2009: 1686). Einen Sonderfall stellen Brückenbauwerke dar, da eine Ableitung von generellen Schadensfunktionen nur bedingt möglich ist. Durch die Vielzahl von unterschiedlichen Konstruktionsweisen und Sicherheitsstandards sowie der hohen Prozessintensitäten im Flussschlauch sind unterschiedlichste Schadensbilder möglich werden (vgl. HABERMANN & HEDEL 2018: 426;). Schäden entstehen dabei vor allem durch Unterkolkung der

Brückenstützen oder Widerlager, die maßgeblich mit den auftretenden Fließgeschwindigkeiten einhergehen (vgl. LAURSEN 1984: 224).

Aufgrund der geringeren Auseinandersetzung besteht für lineare Infrastrukturen eine vergleichsweise überschaubare Anzahl an Schadensfunktionen und es werden verstärkt Einheitskosten pro Längensegment zur Schadensermittlung eingesetzt (vgl. MERZ et al. 2010: 1711).

2.2.7 Nutzen durch verhinderte direkte, intangible Schäden

In die Kategorie der direkten, intangiblen Schäden fallen direkte Auswirkungen auf Bereiche, die nicht als Vermögensgegenstände verstanden werden können. Im Kontext von Hochwasser sind vor allem die direkten Auswirkungen auf das menschliche Leben und die menschliche Gesundheit (Todesfälle), der Verlust von Memorabilien sowie Schäden an Umwelt und Kulturgütern zu nennen (vgl. MERZ et al. 2010: 1699).

Für die Abschätzung der Anzahl von Todesfällen im Rahmen von Hochwasserrisikoanalysen bestehen unterschiedliche Methoden und Kalkulationsansätze, die in der Regel auf Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit basieren. Komplexere Ansätze beziehen zusätzliche Variablen beispielsweise Evakuierungswahrscheinlichkeiten und -raten oder die Anzahl der einstürzenden Bauten mit ein (vgl. JONKMAN 2007: 169ff). Im internationalen Vergleich finden sich daran anschließend unterschiedliche Ansätze zur monetären Bewertung von Todesfällen, als Beispiel sei der Beitrag des Menschen zum Bruttosozialprodukt genannt. Im österreichischen Hochwasserrisikomanagement wird das menschliche Leben als höchstes zu schützendes Gut angesehen und ist Hauptkriterium für die Ausweisung von Gebieten mit potenziell signifikantem Hochwasserrisiko (vgl. BML 2018: 7). Von einer monetären Bewertung wird jedoch Abstand genommen.

Weitaus facettenreichen und auch komplexer ist die Erfassung von anderen direkten physischen Auswirkungen auf das menschliche Leben, die nicht zum Tod führen. Diese weisen eine große Bandbreite (von leichten Traumata bis hin zu dauerhafter Invalidität) und eine starke Abhängigkeit von den geographischen und demographischen Gegebenheiten auf und lassen sich nur schwer durch standardisierte Herangehensweisen abbilden, monetär lassen sich diese Fälle über Kosten für Versorgung/Berufsunfähigkeit/Invalidität abbilden (vgl. DU et al. 2010: 268f).

2.2.8 Nutzen durch verhinderte Wertschöpfungsunterbrechungen

Hochwasser-Katastrophen beeinflussen in Bezug auf Wertschöpfungsketten vor allem die Angebotsseite. Durch Produktionsunterbrechungen manifestieren sich Ereignisse als Engpässe in der Produktion von betroffenen Betrieben und breiten sich über Produktionsverknüpfungen in andere Sektoren und Produktionen aus. Für Abschätzungen von Wertschöpfungsunterbrechungen durch Hochwasser-Katastrophen können ökonomische Input-Output-Modelle herangezogen werden, welche diese Abhängigkeiten abbilden können. Diese Ansätze eignen sich in der Regel jedoch primär für kleinmaßstäbige,

volkswirtschaftliche Abschätzungen oder Schadensbeurteilungen nach einem Hochwasserereignis und stoßen bei lokalen Betrachtungen an ihre Grenzen (vgl. MENDOZA-TINOCO et al. 2017: 657).

Die Betroffenheit von Betrieben kann sich auf unterschiedliche Art ergeben. Einerseits können Betriebe selbst direkt betroffen sein, andererseits können deren Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter betroffen sein (direkte Betroffenheit durch Hochwasser oder Hinderung der Anreise durch unterbrochene Infrastruktur) und hochwasserbedingt ausfallen. Des Weiteren kann auch eine Betroffenheit von Zulieferern zu Betriebsunterbrechungen führen, da Lieferengpässe entstehen. Dementsprechend hoch sind die Komplexität und die Unsicherheit in Abschätzungen von Wertschöpfungsunterbrechungen a priori. Maßgeblichen Einfluss auf die entstehenden Schäden hat die organisatorische Leistungsfähigkeit eines Betriebes sowie auch die Branche – in Sektoren, in denen die Produktion durch andere Betriebe substituiert werden kann, fallen Schäden beispielsweise geringer aus (vgl. DEHNHARDT et al. 2008: 52).

Für die Annäherung an Wertschöpfungsunterbrechungen bieten sich folgende Verfahren an: (1) mittels Versicherungssummen von Versicherungen für Betriebsunterbrechungen, diese sind jedoch nur schwer zugänglich und sind auf jene Betriebe mit entsprechender Versicherung beschränkt (vgl. MERZ et al. 2010: 1713), (2) Anwendung von sektorspezifischen Referenzwerten pro Tag und Beschäftigtem sowie (3) mittels Annahme eines fixierten Prozentsatzes der direkten Schäden als Schadenswert für indirekte Schäden (bspw. 55% bei der Rapid Appraisal Method) (vgl. MEYER et al. 2013: 1352).

Neben der wirtschaftlichen Produktion kann es zu einer Beeinträchtigung von Ökosystemleistungen – insbesondere von Produktionsfunktionen und kulturellen Funktionen – kommen. Überflutete Bereiche können beispielsweise nicht mehr für Erholung und Freizeit genutzt werden. Durch Maßnahmen des Hochwasserrisikomanagements können diese Unterbrechungen gemindert werden, jedoch ist auch die Erfassung des Wertes von Ökosystemleistungen komplex (vgl. PEARCE et al. 2006: 169), da es sich um intangible Auswirkungen handelt und der Wert einiger Ökosystemleistungen nur über indirekte ökonomische Ansätze ermittelt werden kann.

Wertschöpfungsunterbrechungen, die nur eine lokale Ausprägung haben und beispielsweise von einer Nachbarregion kompensiert werden können, sind aus volks- bzw. gesamtgesellschaftlicher Sicht nicht im Rahmen einer ökonomischen Bewertung zu berücksichtigen. Im strikten Sinne einer Kosten-Nutzen-Untersuchung muss bei Wertschöpfungsunterbrechungen somit eine Überregionalität gegeben sein (vgl. ZEISLER & PFLÜGNER 2019: 25). Geht man von einer sehr breiten räumlichen und zeitlichen Perspektive aus, so gleichen sich Wertschöpfungsunterbrechungen gesamtgesellschaftlich aus, haben jedoch beispielweise durch Umsiedelung von Betrieben, veränderten Migrationsströmen, veränderten Immobilienwerten usw. eine lokale bzw. regionale Ausprägung (vgl. MERZ et al. 2010: 1712).

2.2.9 Nutzen durch verhinderte indirekte Schäden

Indirekte, tangible Schäden in Folge von Hochwasser stehen in enger Verbindung mit Wertschöpfungsunterbrechungen. Insbesondere können Produktionsverluste bei Zulieferern von direkt betroffenen Betriebs- und Produktionsstätten auftreten, da deren Nachfrage sinkt. Des Weiteren können Unterbrechung von öffentlichen Dienstleistungen außerhalb der überfluteten Bereiche zu indirekten Schäden führen.

Ganz maßgebliche Schadenssummen können durch Unterbrechungen in Verkehr, Transport und Infrastruktur entstehen. Infrastrukturen nehmen in der Schadensbewertung eine Sonderstellung ein, da strukturelle Schäden (siehe 2.2.6) in Folge von Hochwasser in der Regel gering sind, sich jedoch maßgebliche indirekte Schäden daraus ergeben, dass Infrastrukturen durch ein Ereignis unterbrochen sind – als Beispiele sind die eingeschränkte Erreichbarkeit von Orten oder Stromausfälle zu nennen. Der daraus resultierende Schaden ergibt sich aus der Dauer, in der eine Infrastruktur nicht nutzbar ist, und den Personen, die auf das System angewiesen sind. In der Regel führt das Überschreiten einer gewissen Prozessintensität (Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit) zu einer Veränderung der Funktionsfähigkeit (vgl. MURDOCH et al. 2018: 9ff).

Zieht man den Straßenverkehr als Beispiel heran, so treten Einschränkungen in der Befahrbarkeit schon bei geringen Wassertiefen (bei 40 cm, bei zunehmender Fließgeschwindigkeiten bereits ab 20 cm) auf. Intensitäten, die zu einem Aufschwimmen oder einem Versatz von Fahrzeugen führen, sind mittlerweile im Rahmen einer Vielzahl von experimentellen Studien untersucht worden (vgl. SMITH et al. 2019: 13). In der Regel werden Straßenabschnitte schon vor Erreichen entsprechender Wasserstände gesperrt. Das Ausmaß der indirekten Schäden, die sich aus nicht-befahrbaren Straßen ergeben, ist einerseits maßgeblich geprägt von der Konfiguration des Straßennetzes. Insbesondere in bergigen Regionen, in denen aus topographischen Gründen Redundanzen im Verkehrsnetz zum Teil fehlen, können Unterbrechungen dazu führen, dass ganze Talschaften nicht mehr erreichbar sind (vgl. RUPI et al. 2015: 397). Andererseits ist die Nachfrage nach der Nutzung der entsprechenden Verbindungen entscheidend. Quantitative Aussagen über die Anzahl der (durch eine Unterbrechung nicht möglichen) Nutzungen und qualitative Aussagen über die unterschiedlichen Nutzergruppen (Pendlerinnen und Pendler für Beruf oder Bildung; Warentransporte) können herangezogen werden, um detaillierte Abschätzungen der potenziellen Schäden zu treffen. Oftmals übersteigen indirekte Schäden, die durch Unterbrechung der Infrastrukturen auftreten und damit negative Auswirkungen auf Gebiete haben, welche fernab der direkt betroffenen Örtlichkeit liegen (=Vulnerabilitätsschatten), die direkten Schäden selbst (vgl. WINTER et al. 2016: 1425).

Entscheidend sind darüber hinaus auch die Abhängigkeiten von Infrastrukturen untereinander, so setzen beispielsweise Verkehrs- und Bahnampeln eine funktionierende Stromversorgung voraus (vgl. MURDOCH et al. 2018: 13). Kommt es zu einer Unterbrechung des Stromnetzes, kann auch der Verkehr nicht im gewohnten Maß aufrechterhalten werden. Diese Abhängigkeiten sind jedoch komplex und schwer in Modelle zu integrieren.

Indirekte, intangible Schäden treten aufgrund von psychischer Belastung sowie Traumatisierung auf. Auch der Vertrauensverlust in Politik und Verwaltung stellt ein

Beispiel für diese Schadenskategorie dar (vgl. MERZ et al. 2010: 1699). Die Komplexität der Erfassung dieser Schäden ist ebenfalls entsprechend hoch.

2.2.10 Sekundärwirkungen

Neben den verhinderten Schäden können Maßnahmen des Hochwasserrisikomanagements auch eine breite Palette von positiven und negativen Nebeneffekten haben, die in der Regel als Sekundärwirkungen abgebildet werden. In der Regel handelt es sich um Auswirkungen, die über die primäre Zielsetzung – die Reduktion von Hochwasserrisiken – hinausgehen. Als Beispiele lassen sich die Reaktivierung von Auenlandschaften, morphologische und ökologische Verbesserungen durch den Rückbau von harten Verbauungen, Entlastungen oder Verschärfungen für Unterlieger, neue Nutzungspotenziale für Tourismus und Erholung (durch die Errichtung von Zugänglichkeiten zum Wasser, Badestellen oder begleitenden Radwegen), Wertsteigerungen von geschützten Nutz- und Wohnflächen, politischer Popularitätsgewinn, oder die Schaffung neuer oder der Verlust bestehender Habitate nennen. Aufgrund der Vielfältigkeit dieser Sekundärwirkungen ist eine gesamtheitliche Erfassung kaum möglich (vgl. DEHNHARDT et al. 2008: 52) und der Fokus muss basierend auf Zielsetzungen und Prioritäten auf Teilbereiche gelegt werden.

Vor allem zwei Gruppen nehmen im Hochwasserrisikomanagement einen wichtigen Stellenwert ein. Den ersten Bereich stellen Maßnahmenwirkungen dar, welche die Zielerreichung angrenzender Politikbereiche, wobei hier insbesondere ökologische Aspekte im Kontext der EU-Wasserrahmenrichtlinie zu nennen sind, unterstützen (vgl. WHARTON & GILVEAR 2007: 143ff). In den zweiten Bereich fällt die immer stärkere multifunktionale Wirkung von Maßnahmen vor allem von Projekten in besiedelten oder siedlungsnahen Bereichen. Durch die Wiederherstellung von naturnaher Flussräume werden beispielsweise Erholungs- und Freizeitmöglichkeiten geschaffen, die Wirkungen reichen jedoch auch bis zu zusätzlichen Wertschöpfungsmöglichkeiten (Nutzung von Retentionsräumen als Anbauflächen oder Konstruktion Mischformen aus Damm- und Gewerbebauwerken) (vgl. VOORENDT 2015: 4).

Für die Erfassung dieser Wirkungen eignen sich qualitative Konzepte (vgl. BML 2009: 22ff), Bewertungen mittels eines Ansatzes, der auf (monetarisierbaren) Ökosystemdienstleistungen beruht (vgl. VERMAAT et al. 2015: 131) sowie Ansätze, die auf ein vorab festgelegtes Aufschlagssystem zurückgreifen, das (politischen) Zielsetzungen folgt.

Ein entscheidender Vorteil der Berücksichtigung von Sekundärwirkungen ist, dass systematische Zusammenhänge besser abgebildet werden können und der Fokus von rein technischen Lösungen auch hin zu alternativen Konzepten gelenkt wird (vgl. DEHNHARDT et al. 2008: 68). Diese Zielsetzung entspricht auch den Planungsgrundsätzen des österreichischen Hochwasserrisikomanagements (vgl. BML 2015: 15).

2.2.11 Kosten im Hochwasserrisikomanagement

Wie bei den Schäden durch Hochwasser kann kostenseitig zwischen direkten Kosten und indirekten Kosten unterschieden werden. Je nach Maßnahmentypus haben diese einen unterschiedlichen Stellenwert. Bei baulichen Projekten im Hochwasserrisikomanagement handelt es sich um Realinvestitionen mit einer langen Wirkungsdauer (=Lebensdauer einer Maßnahme), deren direktes Gesamtinvestitionsvolumen sich in der Errichtungsphase in eine Gründungsinvestition und in anschließende, laufende Investitionen aufteilen lässt. In den zweiten Bereich fallen laufende Instandhaltungen wie die Räumung von Retentionsbecken oder die Wartung von technischen Anlagenteilen, aber auch anlassbezogene Investitionen wie die Wiederherstellung von Schadstellen als Sofortmaßnahme nach einem Hochwasserereignis. Auch Planungskosten und Kosten für Grundablösen sind den direkten Kosten einer Maßnahme zuzurechnen (vgl. JONKMAN et al. 2004: 100). Auch wenn breites Einverständnis darüber besteht, dass die Kosten einer Maßnahme einfacher zu ermitteln sind als deren Nutzen, ist auch die Kostenseite mit maßgeblichen Unsicherheiten behaftet und wird in vielen Fällen vor der Projektumsetzung unterschätzt (vgl. PEARCE et al. 2006: 18). Eine einfache Abschätzung der direkten Kosten kann durch Angebote von Firmen und Unternehmen erreicht werden.

Hinzukommen, wenn eine gesamtheitliche Perspektive verfolgt wird, weitere Kosten für die Risikoanpassung – beispielsweise für Früh- und Vorwarnsystem, Kosten für begleitende Informationsprogramme und Risikokommunikation, finanzielle Anreize für Anpassungen (beispielsweise über Wohnbauförderung) sowie der Risikotransfer (vgl. MEYER et al. 2013: 1360f). Während die Darstellung von direkten Kosten, da sie auf Marktpreisen beruhen, gängige Praxis ist, werden indirekte Kosten in vielen Fällen nur sehr eingeschränkt dargestellt. Sie können sowohl bei der Errichtung und als auch im gesamten Lebenszyklus einer Maßnahme auftreten. Beispielsweise können Evakuierungen zu Produktionsunterbrechungen führen, Bauwerke das ästhetische Erscheinungsbild der Landschaft beeinflussen (vgl. BOUWER et al. 2014: 7), entgangene Nutzungsmöglichkeiten entstehen sowie Umweltschäden durch die Bauausführung oder Veränderungen des Grundwasserspiegels auftreten (vgl. DEHNHARDT et al. 2008: 50). Wie auch indirekte Schäden sind indirekte Kosten schwer zu erfassen und umfassende Ansätze für deren Bewertung sind nur bedingt verfügbar. Zudem ist deren Erfassung mit einem hohen Aufwand verbunden, der aufgrund von beschränkten Budgets in der Regel nicht betrieben wird (vgl. BOUWER et al. 2014: 8).

3 Wirtschaftlichkeitsbewertung im Hochwasserrisikomanagement in Österreich

Im folgenden Kapitel wird auf Wirtschaftlichkeitsbewertungen im Hochwasserrisikomanagement in Österreich eingegangen. Dazu wird zu Beginn der geltende rechtliche Rahmen, der sich aus der Gesetzgebung und den darauf aufbauenden erlassenen Richtlinien ergibt, dargelegt. In weiterer Folge wird konkret auf die *Richtlinie zur Kosten-Nutzen-Untersuchung im Schutzwasserbau* und deren Umsetzung in der Praxis eingegangen. Um die derzeitige Herangehensweise nachvollziehbarer darzustellen, wird anhand eines Bewertungsbeispiels auf den Prozess, die erforderlichen Daten und bestehende Herausforderungen eingegangen. Das Kapitel schließt mit einer Reflexion über die Herausforderungen und aktuelle Problembereiche.

3.1 Rechtliche Verankerung

Die wirkungsorientierte Folgenabschätzung bei Regelungsvorhaben und sonstigen Vorhaben ist in Österreich gesetzlich verankert und verfolgt das in Kapitel 2.1.2 beschriebene Maximalprinzip einer effektiven und effizienten öffentlichen Verwaltung sowie das Ziel der Evaluierung von Rechtssetzungen und Vorhaben (vgl. SEIWALD et al. 2011: 11). Entsprechende wirkungsorientierte Folgenabschätzungen werden in der Regel für einzelne Budgetpositionen oder entsprechend große Projekte durchgeführt.

Projekte im österreichischen Hochwasserrisikomanagement sind rechtlich im Bundesgesetz über die Förderung des Wasserbaues aus Bundesmitteln (Wasserbautenförderungsgesetz 1985 – WBFG) verankert. In diesem Gesetz sind Kosten-Nutzen-Untersuchungen gefordert, deren Detailierungsgrad und Betrachtungsmaßstab über die wirkungsorientierte Folgenabschätzung hinausgeht. Wobei festgehalten wird, dass die tatsächlichen Festlegungen zur KNU nach § 3 Abs. 2 Z 3 WBFG in den technischen Richtlinien festzulegen sind: *„Die im Abs. 1 Z 1 genannten technischen Richtlinien haben Bestimmungen zu enthalten über Kosten-Nutzen-Untersuchungen zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit bei Maßnahmen mit erheblichem finanziellen Umfang oder volkswirtschaftlich weitreichenden Auswirkungen.“*

In den technischen Richtlinien für den Wasserbau gemäß § 3 Abs. 2 WBFG (kurz: TRL-WB) in der aktuell gültigen Fassung von 2023 (siehe BML 2023) werden die Rahmenbedingungen von Wirtschaftlichkeitsanalysen für Projekte im Hochwasserrisikomanagements konkreter beschrieben: *„Wirtschaftlichkeitsanalysen dienen dazu, die Wirtschaftlichkeit schutzwasserbaulicher Maßnahmen mit erheblichem finanziellem Umfang oder volkswirtschaftlich weitreichenden Auswirkungen zu untersuchen bzw. nachzuweisen. Sie stellen wesentliche Grundlagen für eine nachvollziehbare Variantenentscheidung dar. In jedem Generellen Projekt ist daher mittels Kosten-Nutzen-Untersuchung die Wirtschaftlichkeit der Varianten und Maßnahmen zu beurteilen und nachzuweisen. Dabei ist ausschließlich die Richtlinie für die Kosten-Nutzen-*

Untersuchungen im Schutzwasserbau des BMLFUW […], die die Standardisierung für derartige Arbeiten darstellt, anzuwenden."

Die Durchführungsbestimmungen zu den technischen Richtlinien für den Wasserbau (kurz: DFB) in der Fassung von 2024 (siehe BML 2024) konkretisieren die Festlegungen der TRL-WB und legen den Grenzwert, ab dem für eine Maßnahme eine KNU erforderlich ist, mit 110.000 € (=erheblicher finanzieller Umfang) fest: *„Werden in einem GE-RM, einer Vorstudie oder in einem Generellen Projekt keine Variantenuntersuchungen einschließlich WBW durchgeführt, ist dieser Nachweis (Varianten inkl. WBW) gesondert, gemäß den Richtlinien für die Wirtschaftlichkeitsbewertung im Wasserbau des BML, vor der Ausfertigung des Detailprojekts zu führen und darzustellen. Eine WBW ist bei Maßnahmen mit einem Kostenerfordernis unter 110.000 Euro nicht erforderlich.".*

Der konkrete Anwendungsbereich, Verfahrensgrundsätze sowie die Bewertungsgrundlagen und -durchführung werden aufbauend auf den Festlegungen aus der TRL-WB und den Durchführungsbestimmungen in der Richtlinie zu Kosten-Nutzen-Untersuchungen im Schutzwasserbau - KNU gemäß § 3 Abs. 2 Z 3 WBFG geregelt.

3.2 Aktuelle Bestimmungen und Richtlinien

Um den Ausgangspunkt für die Weiterentwicklung der ökonomischen Bewertung von Projekten darzustellen, soll in diesem Abschnitt auf die aktuelle Richtlinie zur Kosten-Nutzen-Untersuchung im Schutzwasserbau (siehe BML 2009) eingegangen werden. Alle Unterabschnitte des Punkts 3.2 beziehen sich auf diese Richtlinie. Im Sinne der Leserlichkeit wird auf Einzelzitate verzichtet.

Ziel der Richtlinie ist die Sicherstellung der Transparenz, Nachvollziehbarkeit und Vergleichbarkeit von Kosten-Nutzen-Untersuchungen im Hochwasserrisikomanagement. Eine Kosten-Nutzen-Untersuchung ist im Rahmen aller schutzwasserwirtschaftlichen Grundsatzkonzepte, Gewässerentwicklungskonzepten, Generellen Projekten sowie Detailprojekten mit Gesamtbaukosten von über 110.000 € durchzuführen. Gemäß TRL-WB sind der Bewertung zumindest die drei charakteristischen Hochwasserereignisse HQ30, HQ100 sowie HQ300 zu Grunde zu legen. Diese können, um die Schadenskurve detaillierter abzubilden, um weitere Jährlichkeiten ergänzt werden.

Die aktuelle Herangehensweise beinhaltet zwei unterschiedliche Teilbilanzen. Teilbilanz 1 umfasst alle monetär erfassbaren Wirkungen einer Maßnahme und entspricht den Abschnitt 2.1.2 dargelegten Grundlagen einer Kosten-Nutzen-Untersuchung und versucht alle gesamtgesellschaftlich relevanten Effekte in Form von monetären Nettowerten zu berücksichtigen. Diese wird um die Teilbilanz 2 ergänzt, welche monetär nicht direkt erfassbare Wirkungen in qualitativen Kategorien oder Beschreibungen darstellt. Werden die aktuell berücksichtigten Wirkungen gemäß der in Abschnitt 2.2.5 dargestellten Kategorisierung eingeteilt, ergibt sich folgendes Bild (siehe Tabelle 3). Neben den in der

Tabelle genannten Schäden, finden ökologische Aspekte sowie außerökonomische soziokulturelle Effekte positive Berücksichtigung in Teilbilanz 2.

Tabelle 3: Berücksichtigte Schäden nach der Richtlinie für Kosten-Nutzen-Untersuchungen (Eigene Darstellung, 2025)

	Tangible Schäden	**Intangible Schäden**
Direkte Schäden	Wohngebäude Nicht-Wohngebäude Öffentliche Gebäude Straßen und Brücken Bahn Kraftfahrzeuge Ver- und Entsorgungsinfrastruktur Wasserbauliche Anlagen Land- und Forstwirtschaft Andere Flächennutzungen (Sport, Freizeit, Park, Friedhöfe ua.)	Personengefährdung (physisch und psychisch) Umweltschäden (bspw. durch eingetragene Stoffe)
Wertschöpfungs-unterbrechungen	Wertschöpfungsverluste basierend auf Wirtschaftssektoren Ausfall von Straßenmaut Fremdenverkehr	
Indirekte Schäden		Prosperitätsschäden, Standortsicherung (Auswirkungen eines Hochwassers auf die Wirtschaftskraft einer Region)

3.2.1 Aktuelle Schadensanalyse

Bei den wesentlichsten Nutzungen (insbesondere Gebäude und Infrastruktur) kommen zur Ableitung der Schäden aktuell Schadensfunktionen zum Einsatz. Im Rahmen der Analyse ist der Zeitwert eines Objektes anzusetzen. Wohngebäude, Einzelhandel und Kleingewerbe sollen über statistisch basierte Schadensfunktionen abgebildet werden. Große Gewerbebetriebe sowie Sonder- und Industrieobjekte können durch objektspezifische Schadensfunktionen im Detail in die Bewertung einfließen, diese Funktionen sind jedoch nicht näher spezifiziert. Neben den direkten Schäden an Sachwerten sollen Wertschöpfungsverluste abgebildet werden. Diese entgangenen selbstständigen und unselbstständigen Einkommen, die in Folge des zeitweiligen Ausfalles von Wirtschaftsaktivitäten entstehen, werden über Ausfalltage und einen branchenspezifischen

Wertschöpfungsverlust ermittelt. Ähnliche Annahmen werden für touristische Wertschöpfungsverluste getroffen.

Schäden an Gebäuden

Der Ermittlung von Schäden an Wohngebäuden wird eine Funktion zu Grunde (siehe Formel 4) gelegt, die auf dem sogenannten Anfangsschaden, einem nutzungsspezifischen Schadensfaktor des Gebäudes sowie der Wassertiefe basiert. Der Anfangsschaden soll jene Schäden abbilden, die schon bei minimalen Überflutungen auftreten.

$$S = S_{\min} + 1000 * B * \sqrt{W} \qquad (4)$$

S Schaden in Euro

S_{min} Anfangsschaden in Euro

B nutzungsspezifischer Faktor: Schaden in 1.000 € bei 1 Meter Wassertiefe ohne S_{min}

W Wassertiefe in Meter über Fußbodenoberkante

Für jedes betroffene Stockwerk ist eine eigene Schadensfunktion aufzustellen. Bezüglich Datenquellen verweist die Richtlinie auf Angaben aus dem GWRII und gibt Grenzwerte zur Unterscheidung von Gebäudekategorien fest.

Maßgeblichen Einfluss auf das Bewertungsergebnis hat vor allem der nutzungsspezifische Faktor B. Die Richtlinie sieht vor, dass der B-Faktor entweder aus Schadenserhebungen von abgelaufenen Ereignissen (spezifische B-Faktoren) oder aus Schadenserhebungen im Projektgebiet (Ableitung von B-Faktoren aus Wassertiefe und aufgenommenen Schäden) ermittelt wird. Zusätzlich können das Alter, die Bau- und Ausstattungsqualität, eine geringe Vorwarnzeit, ein schneller Wasseranstieg, eine lange Einstaudauer, besonders hohe Dynamik oder Kontaminierung im B-Faktor Berücksichtigung finden. Diese Faktoren werden jedoch individuell bei jedem Projekt neu festgelegt.

Solange bei Nicht-Wohngebäuden eine belastbare Ableitung von B-Faktoren möglich ist, wird nach der Richtlinie analog Formel 1 eingesetzt. Nur falls entsprechender Faktor nicht ermittelt werden kann (beispielsweise bei Großhandel, Industrie, Lager- und Sondergebäuden), kommen objektspezifische Einzelerhebungen zur Anwendung.

Für Betriebsstätten muss zudem der relevante Wirtschaftszweig, die Anzahl an Beschäftigten sowie die Ausfalltage im Hochwasserfall angegeben werden, um Wertschöpfungsverluste zu ermitteln.

Schäden an Verkehrs-. Ver- und Entsorgungsinfrastruktur

Aktuell werden Schäden an Verkehrswegen einschließlich Brücken, sonstigen Verkehrswegen und der linearen Infrastruktur für Ver- und Entsorgung nicht mittels statistischen Schadensfunktionen ermittelt. Die Richtlinie hält fest, dass die Vulnerabilität der zu beurteilenden Infrastruktur mit der zuständigen Institution abzuklären ist, wobei auch eine individuelle Einschätzung durch die Bearbeiterin oder den Bearbeiter im jeweiligen Formblatt erfolgen kann. Ebensolche Einschätzungen sollen für die Kostenermittlung aus Verkehrsunterbrechungen getroffen werden, wobei die Dauer der Betroffenheit, die

Auslastung des Verkehrsweges sowie die Länge der Umleitungsstrecke Berücksichtigung finden soll.

Eine eigenständige Betrachtung erfahren Kraftfahrzeuge, deren betroffene Anzahl über eine Bestimmung der Abstellplätze für Personenkraftfahrzeuge kategorisiert nach Überflutungstiefe abgeschätzt wird, wobei bei der Schadensermittlung ein Wertverlust von 50% des Zeitwertes angenommen wird.

Alle weiteren Infrastrukturen (Brücken, Leitungen, Masten der Energieversorgung und Telekommunikation, Gasleitungen, Leitungen der Wasserver- und -entsorgung) sind mit vorgegebenen Richtwerten oder mit projektbezogen Abschätzungen zu beurteilen.

Schäden an Flächennutzungen

Landwirtschaftliche Schäden werden basierend auf den Flächenkategorien (1) Grünland, (2) Ackerland, (3) Sonderkulturen und (4) sonstige Nutzflächen beurteilt. Für Grünland wird im Hochwasserfall ein Ertragsverlust von 2.841 €/ha, für Ackerland ein Ertragsverlust von 3.788 €/ha angenommen. Ertragsverluste auf Sonderkulturen und sonstigen Nutzflächen sind individuell zu beurteilen. Schäden an forstlichen Nutzflächen werden nicht standardgemäß aufgenommen. Werden diese beurteilt, ist eine entsprechende Begründung anzugeben.

Schäden an anderen Nutzungen wie Grünanlagen, Sportplätzen, Friedhöfen, Campingplätzen uä.) sind nach der Richtlinie im Einzelfall zu beurteilen, da von einer großen Schwankungsbreite der Vulnerabilität ausgegangen wird. In der Praxis haben sich jedoch Einheitspreise durchgesetzt, die für Grünland- und Gartennutzungen bei 1,2 €/m² liegen und bei allen anderen Nutzungsformen bei 2,3 €/m².

Weitere beurteilte Schäden

Neben den oben beschriebenen Schäden werden zudem Schäden an wasserbaulichen Anlagen und am Gewässer geschätzt, die aufgrund des Alters und des Erhaltungszustandes der Anlagen im Einzelfall beurteilt werden müssen. Diese Kosten betreffen vor allem Sofort- und Räumungsmaßnahmen und die Wiederherstellung von schutzwasserwirtschaftlichen Bauten.

Über das Formblatt Fremdenverkehr werden zusätzliche Ausgaben von Touristinnen und Touristen erfasst, die nicht durch die Wertschöpfungsverluste abgedeckt werden. Dazu wird von durchschnittlichen Tagesausgaben pro Person ausgegangen.

3.2.2 Aktuelle Kostenanalyse

Bei der Kostenermittlung werden Herstellungskosten, Reinvestitionskosten sowie Instandhaltungs- und Betriebskosten berücksichtigt. Die Herstellungskosten umfassen alle Kosten, die initial bei einer Maßnahme anfallen. Sie beinhalten Planungskosten, Baukosten und Ausgaben, die für Ablösen von Grundstücken ausbezahlt werden. Alle Herstellungskosten basieren auf den Kostenschätzungen der Planerin oder des Planers. Reinvestitionskosten sind für alle Anlagenteile anzunehmen, deren Lebensdauer geringer ist

als die Gesamtlebensdauer der Maßnahme. Für die Instandhaltung und den Betrieb der Maßnahme sind jährliche Ausgaben von 0,5% der Baukosten anzunehmen.

3.2.3 Bestimmung der ökonomischen Effizienz

Wie auch in Abschnitt 2.2.4 dargestellt, wird aktuell aus den Schadensabschätzungen ein Schadenserwartungswert je für den Ohne-Fall und für den Mit-Fall (nach Umsetzung der Maßnahme) errechnet und gegenübergestellt. Dazu wird die Differenz der Integrale der zwei unterschiedlichen Schadenswahrscheinlichkeitsfunktionen berechnet. Es wird die Annahme getroffen, dass bis zum Schutzniveau der Maßnahme (in der Regel HQ_{100}) Schäden gänzlich ausgeschaltet werden können. Jene Schäden, die auftreten, wenn das Bemessungsereignis überschritten wird (verbleibende Schadenserwartung), bleiben gänzlich erhalten und werden als unveränderlich angenommen.

Tabelle 4 verdeutlicht die Herangehensweise anhand eines Berechnungsbeispiels. Das Beispiel zieht vier Szenarien mit unterschiedlichen Jährlichkeiten (J_n) für die Berechnung heran. Wobei das wahrscheinlichste Szenario (a=8) den Ausuferungsbeginn kennzeichnet. Das bedeutet bei Ereignissen mit einem geringeren Abfluss treten keinerlei Schäden auf. Die Jährlichkeit eines Ereignisses lässt sich auch als Überschreitungswahrscheinlichkeiten ($1/a = P_i$) ausdrücken, also als jene statistische Wahrscheinlichkeit, dass der zu Grunde liegende Abflusswert in einem Jahr überschritten wird. Da die zu integrierende Schadensfunktion anhand einer handhabbaren Anzahl an Stützpunkten (=herangezogene Hochwasserszenarien) konstruiert wird, kann eine vereinfachte Integration erfolgen. Dazu wird die Breite der flächenbestimmenden Rechtecke (ΔP_i) aus der Differenz der Überschreitungswahrscheinlichkeiten und die Höhe aus dem Mittel der Schadenserwartungswerte zweier benachbarter Szenarien ($1/2(S_i\text{-}1 + S_i)$) ermittelt. Werden die Flächen (ΔSE, in €/a), die sich aus den zwei beschriebenen Werten ergeben, kumuliert, so ergibt sich der jährliche Schadenserwartungswert (€/a) für den Fall ohne Maßnahme. Werden nur die Schäden betrachtet, die sich durch Hochwasser über dem Bemessungsereignis (im Beispiel HQ_{100}) ergeben, wird der jährliche Schadenserwartungswert für den Mit-Fall errechnet. Die Differenz zwischen den zwei Ergebniswerten ist der Erwartungswert der Schadensminderung pro Jahr (im Berechnungsbeispiel 402.500 €/a) und zeigt die monetäre Wirkung der Maßnahme auf.

Tabelle 4: Kalkulationsbeispiel zur Bestimmung der jährlichen Schadenserwartungswerte nach der aktuellen Herangehensweise in Österreich (Eigene Darstellung, 2025)

Ohne-Fall						**Mit-Fall**	
J_n **a**	P_i 1/a	ΔP_i 1/a	S_i €	$1/2(S_i\text{-}1 + S_i)$ €	ΔSE €/a	S_i €	ΔSE €/a
8	0,125						
30	0,033	0,092	5.000.000	2.500.000	230.000		
100	0,010	0,023	10.000.000	7.500.000	172.500		
300	0,003	0,007	15.000.000	12.500.000	87.500	15.000.000	87.500
∞	0,000	0,003	15.000.000	15.000.000	45.000	15.000.000	45.000
Schadenserwartung (€/a)					535.000	**Schadenserwartung (€/a)**	132.500

Im abschließenden Schritt der Bestimmung der ökonomischen Effizienz (=Teilbilanz 1) werden Kosten und Nutzen für den Untersuchungszeitraum (kalkulatorische Lebensdauer der Maßnahme, wird in der Regel bei flussbaulichen Maßnahmen mit 80 Jahren angesetzt) gegenübergesellt. Kosten und Nutzen, die in der Zukunft liegen werden, wie auch in Abschnitt 2.1.2 beschrieben, diskontiert. Nach den gültigen Richtlinien wird dazu ein kalkulatorischer Zinssatz von 3,5% angenommen. Tabelle 5 führt auf Basis des Erwartungswerts der Schadensminderung das Kalkulationsbeispiel fort (im Sinne der Übersichtlichkeit wird eine Lebensdauer von 20 Jahren angenommen), indem Kosten für Errichtung, Reinvestition und Instandhaltung eingesetzt werden und eine Diskontierung durchgeführt wird. Als diskontierter Netto-Nutzen ergibt sich für das Beispiel ein Betrag von 2.982.356 €. Wie einleitend beschrieben kann anhand der Kapitalwerte der Nutzen einer Maßnahme auch als Nutzen-Kosten-Verhältnis ausgedrückt werden. Im vorliegenden Beispiel beträgt dieses 1,95. Da der Wert über 1 liegt, wäre von einer monetär belegten Wirtschaftlichkeit auszugehen. Eine Zusammenstellung dieser Ergebnisse stellt den Abschluss der Bestimmung der monetären Effizienz im aktuellen Bewertungsinstrument dar.

Tabelle 5: Kalkulationsbeispiel zur Diskontierung und Ermittlung des Netto-Nutzens nach der aktuellen Herangehensweise in Österreich (Eigene Darstellung, 2025)

	Jahr	Kosten €	Nutzen €	Diskontierte Kosten €	Diskontierte Nutzen €	Diskontierter Netto-Nutzen €
Lebensdauer	2020	1.000.000	402.500	1.000.000	402.500	-597.500
	2021	1.000.000	402.500	966.184	388.889	-577.295
	2022	1.000.000	402.500	933.511	375.738	-557.773
	2023	15.000	402.500	13.529	363.032	349.503
	2024	15.000	402.500	13.072	350.755	337.684
	2025	15.000	402.500	12.630	338.894	326.265
	2026	15.000	402.500	12.203	327.434	315.231
	2027	15.000	402.500	11.790	316.361	304.571
	2028	15.000	402.500	11.391	305.663	294.272
	2029	15.000	402.500	11.006	295.327	284.321
	2030	15.000	402.500	10.634	285.340	274.706
	2031	15.000	402.500	10.274	275.691	265.416
	2032	100.000	402.500	66.178	266.368	200.189
	2033	15.000	402.500	9.591	257.360	247.769
	2034	15.000	402.500	9.267	248.657	239.390
	2035	15.000	402.500	8.953	240.248	231.295
	2036	15.000	402.500	8.651	232.124	223.474
	2037	15.000	402.500	8.358	224.275	215.916
	2038	15.000	402.500	8.075	216.690	208.615
	2039	15.000	402.500	7.802	209.363	201.560
	2040	15.000	402.500	7.538	202.283	194.744
	Summe	**3.355.000**	**8.452.500**	**3.140.636**	**6.122.992**	**2.982.356**

Herstellungskosten Reinvestitionskosten Instandhaltungs- und Betriebskosten

3.2.4 Bewertung weiterer Projektwirkungen

Neben der ökomischen Effizienz werden weitere Projektwirkungen (=Teilbilanz 2) dargestellt. Diese Projektwirkungen werden nicht monetär bewertet, sondern lediglich qualitativ beschrieben und abschließend auf Basis von Kategorien bewertet. Betrachtet werden dabei vor allem folgende vier Dimensionen:

1. **Beurteilung der Personengefährdung:** Es soll dargestellt werden, inwiefern im Ereignisfall eine Gefahr für Leib und Leben besteht und welche psychischen und sozialen Auswirkungen zu erwarten sind. Dazu wird für das Projekt eine Anzahl an potenziell Betroffenen angegeben und erwartete Auswirkungen beschrieben.
2. **Monetär nicht bewertete oder bewertbare ökonomische Nutzen:** In diese Kategorie fallen die Vermeidung von Prosperitätsschäden sowie Auswirkungen auf den Wirtschaftsstandort.
3. **Außerökonomische soziokulturelle Effekte:** In diese Kategorie fallen Auswirkungen auf die Lebensqualität, den Erholungswert und Kulturgüter.
4. **Ökologische Aspekte:** Sollen insbesondere eine Verbesserung der ökologischen Situation, verbleibende Beeinträchtigungen oder Verschlechterungen beschreiben.

Abschließend wird jede Dimension nach den Kategorien „gering“, „mittel“ und „hoch“ sowie „positiv“ und „negativ“ bewertet.

3.2.5 Abschließende Bewertung

Abschließend wird die ökonomische Effizienz mit den sonstigen Projektwirkungen zusammengeführt und die bewertete Maßnahme beurteilt. Dabei ist festzustellen, ob ein Projekt gesamtgesellschaftlich als vorteilhaft zu beurteilen ist. Die Richtlinie hält dazu fest, dass keine ökonomische Effizienz gegeben sein muss, um ein Projekt im Sinne einer gesamtheitlichen Betrachtung – vorrangig aufgrund der weiteren Projektwirkungen (=Teilbilanz 2) – positiv zu beurteilen. Wobei angeführt wird, dass das Kostendeckungsdefizit (Differenz zwischen errechnetem Nutzen-Kosten-Faktor und dem Wert 1) durch die Teilbilanz 2 gerechtfertigt ist. Bei Projekten mit einem Nutzen-Kosten-Faktor kleiner gleich 0,5 sind jedoch in jedem Fall kostengünstigere Alternativen zu prüfen.

4 Methoden

Das folgende Kapitel stellt die eingesetzten Methoden der Arbeit dar. Dazu werden die theoretisch beschriebenen Inhalte aus den Kapiteln 2 und 3 auf Basis von konkreten Methoden und Modellen umgesetzt. Im Sinne der Lesbarkeit findet sich der Programmtext (beispielsweise Python-Codes) zu den einzelnen Blöcken im Anhang der Arbeit. Auf diesen wird basierend auf Linienangaben referenziert. Zu Beginn des Blockes werden die herangezogenen Basisdaten hinsichtlich ihrer Quelle und unterschiedlicher Qualitätskriterien beschrieben. Darauf aufbauend wird die Überlagerung von Daten zur Exposition und Daten zur Gefährdung thematisiert. Jene Funktionen und Kalkulationsansätze, die für eine Ermittlung von Wirksamkeiten und Nutzen herangezogen werden, sind im Anschluss daran beschrieben. Das Kapitel schließt mit der Methodik, die für die Zusammenführung aller Ergebnisse im Sinne einer Wirtschaftlichkeitsbewertung eingesetzt wurde, sowie der Herangehensweise, die für die Evaluierung der Ergebnisse eingesetzt wird.

4.1 Basisdaten

Wirtschaftlichkeitsbewertung von Maßnahmen des Hochwasserrisikomanagements sind wie beschrieben nicht standardisiert. So kommen auch unterschiedlichste Basisdaten zum Einsatz. Auf allgemeiner Ebene sind diese – gemeinsam mit kritischen Punkten und möglichen Datenquellen – in Tabelle 6 zusammengefasst. Da die Erhebung sehr zeitintensiv sein kann, wenn keine Datensätze verfügbar sind (vgl. MECHLER et al. 2008: 12), liegt der Fokus der Darstellung auf österreichweit, flächendeckend verfügbaren Datensätzen.

Tabelle 6: Relevante Daten im Kontext von Wirtschaftlichkeitsbewertung im Bereich von Naturgefahren (verändert nach MECHLER et al. 2008: 12)

Daten	mögliche Datenquellen	kritische Punkte
Hochwassergefahren	wissenschaftliche Publikationen, Ereignisdokumentationen, Verwaltungsbehörden u.Ä.	Wetter- und Klimadaten oft nur eingeschränkt verfügbar, Klimawandel oft nicht repräsentiert
Schutzgüter	statistische Behörden, private Firmen, Verwaltung	Anforderungen an Aktualität und Lagegenauigkeit
Vulnerabilität der Schutzgüter	spezialisierte Reports, wissenschaftliche Publikationen, Verwaltung	In der Regel nicht auf die regionalen Rahmenbedingungen angepasst verfügbar, oftmals Annäherung basierend auf anderen Quellen, hoher Erhebungsaufwand

4.1.1 Basisdaten zu Hochwassergefahren

Analysen zur Hochwassergefährdung liefern Abschätzungen über die Ausdehnung (Anschlagslinien und Polygone von Hochwasserüberflutungsflächen) und die Intensität des Hochwassers innerhalb dieser Fläche für bestimmte Jährlichkeiten (vgl. APEL et al. 2008: 82). In Österreich ist die Herangehensweise, dass in beobachteten Einzugsgebieten in der Regel Auswertungen von Pegelmessungen und in unbeobachteten Einzugsgebieten Niederschlags-Abfluss-Untersuchungen als Input für den angesetzten Abfluss herangezogen werden. Basierend auf Geländeinformationen (in der Regel hochaufgelöste Laserscans mit nachvermessenem Flussschlauch sowie eingefügten Brücken, Durchlässen und Einbauten) können detaillierte hydrodynamische Simulationen erstellt werden, die den flächenhaften Hochwasserabfluss nachbilden. Verschiedene hydrologische Bemessungswerte können herangezogen werden, um Szenarien mit unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit zu modellieren. Um ein umfassendes Bild über die Hochwassergefährdung zu gewinnen, wird in der Regel je ein Szenario mit einer hohen, einer mittleren und einer geringen Wahrscheinlichkeit berechnet (vgl. BML 2022: 10ff).

Da durch die Standardisierung von Abflussuntersuchungen und Gefahrenzonenplanungen eine sehr hohe Qualität und parzellenscharfe Aussagen zu Gefährdung und Hochwasserintensitäten erreicht werden (vgl. BML 2022: 10ff) und solche Gutachten eine Voraussetzung für die Umsetzung von Maßnahmen darstellen, findet im Rahmen dieser Arbeit keine detaillierte Auseinandersetzung mit der Erstellung sowie den damit verbundenen Unsicherheiten statt. Für weiterführende Informationen zu hydrologischen Fragestellungen und Unsicherheiten sei auf das Standardwerk von MANIAK (2017) verwiesen.

Um den Nutzen einer Maßnahme festzustellen, muss in den Input-Daten die Veränderung des Überflutungsbildes erfasst werden. Dazu muss je eine Modellierung basierend auf dem Ist-Zustand durchgeführt werden und eine Modellierung, welche die gesetzten Maßnahmen berücksichtigt. Diese Modellierungen werden im Rahmen der Projektplanung im Wirkungsbereich der Bundeswasserbauverwaltung von der ausführenden Zivilingenieurin oder dem ausführenden Zivilingenieur erstellt, um auch wasserrechtlichen Anforderungen (bspw. Verschlechterungsgebot) gerecht zu werden (vgl. §12 Wasserrechtsgesetz 1959).

Abbildung 4 gibt einen Überblick über die Daten, die je für den Ist-Zustand sowie den Zustand nach Umsetzung der Maßnahme notwendig sind. Die Szenarien HQ30, HQ100 und HQ300 werden als Polygone abgebildet. Zusätzliche Szenarien können verwendet werden, um Zwischenschritte (insbesondere Szenarien mit hoher Wahrscheinlichkeit wie HQ5) besser abzubilden. Wassertiefen werden als Input-Daten für die Schadensbewertung als zusammengefasste Wassertiefen-Klassen (je 10-cm Klassen; numerisches Attribut T_KLASSE) in das Modell eingespeist. Fließgeschwindigkeiten analog dazu als Fließgeschwindigkeiten Polygone (0,1 m/s-Klassen; numerisches Attribut V_KLASSE).

Die Daten zur Hochwassergefährdung wurden aus den jeweiligen in Abschnitt 4.5 beschriebenen Vergleichsuntersuchungen übernommen.

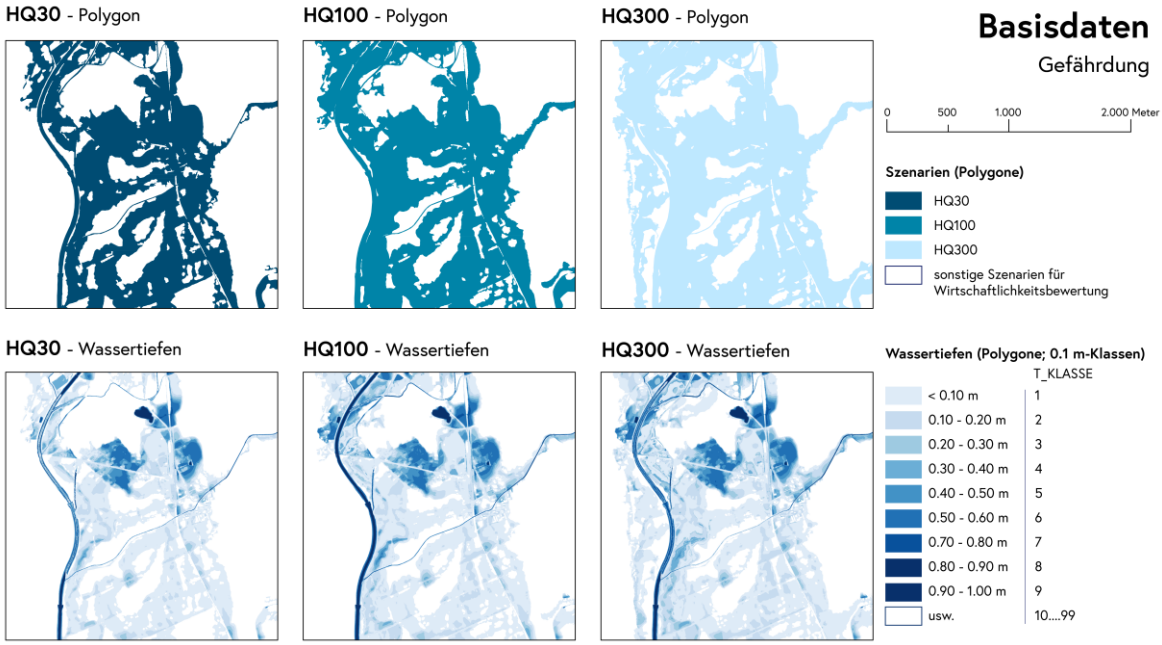


Abbildung 4: Basisdaten Hochwassergefährdung (Eigene Darstellung, 2025)

4.1.2 Basisdaten zu Schutzgütern

Wie im theoretischen Rahmen dargestellt, stellen Schäden am Gebäudebestand sowie an Verkehr und Infrastruktur die maßgeblichsten Anteile am direkten Schaden dar. Insbesondere für diese Schutzgüter ist es daher entscheidend möglichst aussagekräftige Basisdaten zu identifizieren. Im folgenden Kapitel werden alle im Rahmen der Arbeit analysierten Basisdatensätze aufgeführt. Die Festlegung der final verwendeten Datensätze wird in Abschnitt 5 beschrieben und begründet.

Basisdaten zu betroffenen Personen und Gebäudebestand

In Österreich existieren unterschiedliche (amtliche) Datensätze, die Daten über den Gebäudebestand beinhalten, jedoch unterschiedliche Aussagen ermöglichen.

Gebäude- und Wohnungsregister (GWRII)

Bereits im Rahmen einer Machbarkeitsstudie wurde die Verwendung des GWRII im österreichischen Hochwasserrisikomanagement aufgrund der Tagesaktualität, der umfassenden Attribute, welche sich für eine Risikoanalyse eignen, sowie der unaggregierten räumlichen Auflösung der Daten, positiv bewertet (vgl. FUCHS und ZISCHG 2013: 27f). Seitdem findet der Datensatz auch bei der flächendeckend für Österreich durchgeführten Vorläufigen Risikobewertung im Rahmen der Umsetzung der Hochwasserrichtlinie zur Ableitung der potenziell betroffenen Bevölkerung Anwendung (vgl. BML 2018: 13f).

Das Gebäude- und Wohnungsregister weist eine Vielzahl von unterschiedlichen Attributen auf. Diese sind in Handbuch Teil C, Anhang 2 des Handbuches zum GWRII (siehe STATISTIK AUSTRIA 2020) dokumentiert. Vor dem in Abschnitt 2.2.6 dargelegten

theoretischen Hintergrund wird eine Auswahl an Attributen, die strukturelle Gebäudemerkmale sowie Merkmale der Gebäudeausstattung und -nutzung wiedergeben und die für die Arbeit als relevant erachtet werden, herangezogen, um ökonomische Schäden beurteilen zu können. Insbesondere die Kategorisierung der Gebäude nach Nutzung, die Anzahl der Haupt- und Nebenwohnsitze, die Geschosszahl, die enthaltenen Flächensummen, die Bauperiode und -weise sowie Aussagen zu Wärmeversorgung und Abwasserentsorgung können Schadensanalysen unterstützen. Eine detaillierte Beschreibung der verwendeten Attribute des Datensatzes und deren Ausprägungen findet sich in Anhang 1.

Eine signifikante Einschränkung des Datensatzes im Rahmen von lokalen Analysen stellt die punktuelle Verortung dar. Eine Zuordnung zu einem Gebäudegrundriss kann nur über eine räumliche Verschneidung mit anderen Datensätzen erfolgen, da eine direkte attributive Zuordnung nicht möglich ist. Eine attributive Relation besteht nur zwischen dem GWRII und dem Datensatz Digitales Landschaftsmodell – Bauwerke, wobei eine Zuordnung des GWRII-Punktes zu einem Gebäude stattfindet, wenn der Bauwerkspunkt weniger als 1 m außerhalb des Bauwerkspolygons liegt (vgl. BEV 2025a). Die enthaltene Relation entspricht somit einem Intersect zwischen den beiden Datensätzen.

Digitale Katastralmappe (DKM)

Die digitale Katastralmappe des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen beinhaltet den grafischen Datenbestand des österreichischen Katasters. Der amtliche Datensatz wird auf Basis der Katastralmappe von den zuständigen Vermessungsämtern geführt und beinhaltet neben der Lage der Grundstücke auch unterschiedliche Nutzungsklassen sowie ihre Grenzen, die nach der Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft, Familie und Jugend über die Angabe und Definition der Benützungsarten und Nutzungen im Grenzkataster (BGBl. II Nr. 116/2010) geregelt sind. Unter anderem können so Gebäude oder andere flächenhafte Schutzgüter gefiltert werden. Da die Klassifikation der Benutzungsarten in der DKM sehr detailliert ist, werden die Daten für die Anwendung im Rahmen dieser Arbeit in übergeordnete Nutzungskategorien überführt. Die entsprechende Zuordnung der Klassen ist in Anhang 2 der Arbeit enthalten.

Weiterführende Attribute, die sich für die Schadensanalyse eignen (wie beispielsweise Gebäudeattribute), sind im Datensatz nicht enthalten. Nur mittels räumlicher Verschneidung der digitalen Katastralmappe und des GWRII können den Grundrissen die entsprechenden Attribute zugeordnet werden.

Digitales Landschaftsmodell - Bauwerke

Als Alternative zur DKM können die Bauwerke aus dem Digitalen Landschaftsmodell (DLM) des BEV (vgl. BEV 2025a) angeführt werden, die seit 2023 zum kostenfreien Download zur Verfügung stehen. Dieser Layer wird aus einer Kombination von automatisierter Landcover-Klassifizierung und der DKM zum Befliegungszeitpunkt erzeugt. Dazu werden geometrische Übereinstimmungen zwischen der Landcover-Klassifizierung und den DKM-Gebäuden in den DLM-Bauwerksbestand übernommen und um andere Objekte unter Einbeziehung der aktuellen DOMs, Landcover-Daten und GWRII-Gebäudepunkte überprüft und modelliert. (vgl. BEV 2025a)

Es ist demnach davon auszugehen, dass der Datensatz zum Aktualisierungszeitpunkt eine höhere Abdeckung aufweist als die DKM. Jedoch entsteht zwischenzeitlich eine Abweichung zwischen Daten- und Naturstand, da die Daten flächenhaft in einem 3-jährigen Zyklus aktualisiert werden.

OpenStreetMap

Die Daten aus OpenStreetMap (OSM) entstammen aus einem kollaborativen Projekt zur Erstellung einer homogenen, frei zugänglichen und weltweiten Datenbasis. OSM basiert auf dem Prinzip des Crowdsourcing, bei dem von unterschiedlichen Nutzerinnen und Nutzern geographische Daten erfasst, überprüft und aktualisiert werden. Ein zentrales Merkmal von OSM ist seine offene Lizenz, die es Nutzerinnen und Nutzern, die Daten kostenlos zu verwenden, solange die Quelle angegeben wird. (vgl. OSM 2025)

Der Download der Daten erfolgt über die Seite Geofabrik (https://download.geofabrik.de/), wobei insbesondere der im Download enthaltene Layer gis_osm_buildings von Interesse ist. Dieser enthält den in der OSM erfassten Gebäudebestand und bietet somit eine Alternative zu den oben beschriebenen Daten aus DKM und DLM.

Trotz der vielen Vorteile (dezentrale Aktualisierung, offene Lizenz, einfacher Datenzugang) geht die Verwendung mit gewissen Herausforderungen einher. Durch die unterschiedlichen Datenerfasserinnen und -erfasser entstehen Inkonsistenzen in den Daten, regionale Unterschiede in der Vollständigkeit der Daten. Insbesondere im ländlichen Raum sind Datenlücken zu beobachten. Gerade in diesen Räumen werden jedoch auch Maßnahmen des Hochwasserrisikomanagements umgesetzt.

Regionalstatistischer Raster

Nachdem der GWRII keine Aussagen zu Beschäftigtenzahlen trifft, müssen für ebensolche Aussagen zusätzliche Daten herangezogen werden. Der Datensatz, der Aussagen über die Anzahl an Beschäftigten trifft und eine hohe räumliche Auflösung aufweist, ist der Regionalstatistische Raster der Statistik Austria (siehe STATISTIK AUSTRIA 2023). Das regionalstatistische Raster bildet Österreich flächendeckend in regelmäßigen Erfassungszellen ab. Je nach Paket werden Aussagen aus der Registerzählung oder aus der Abgestimmten Erwerbsstatistik basierend auf diesen Rasterzellen aggregiert. Da im Rahmen der Arbeit möglichst detaillierte Aussagen getroffen werden sollen, sind insbesondere die Rastergrößen 100 m und 250 m interessant, wobei bei der Rastergröße 100 m nur generelle Fallzahlen abgebildet werden und die Rastergröße 250 m auch Merkmale zu den Fallzahlen abbildet. Der Datensatz wird kommerziell vermarktet und ist auch für Verwaltungseinheiten nicht frei zugänglich, was auch den Zugang und die Arbeit mit dem Datensatz erschwert.

Einerseits liegt im Datenbestand des BML ein Datensatz mit einer Rastergröße von 250 m vor, der Aussagen zur Anzahl von Beschäftigten getrennt nach ÖNACE-Sektoren (siehe WKO 2025) und zur Anzahl an Arbeitsstätten enthält. Der zweite Datensatz mit einer Auflösung von 125 m enthält nur die kumulierte Zahl an Beschäftigten und Arbeitsstätten. Die Datenaktualität ist nur mehr eingeschränkt gegeben, da sich die Daten auf die Abgestimmte Erwerbsstatistik 2001 beziehen. Dennoch können exemplarische Analysen durchgeführt werden, um Stärken und Schwächen in der Verwendung des Datensatzes zu analysieren.

Basisdaten zu Verkehr und Infrastruktur

Graphenintegrationsplattform (GIP.gv.at)

Basisdaten zum Bereich Verkehrsinfrastruktur liegen für Österreich in Form der Daten der Graphenintegrationsplattform (GIP.gv.at) in einem sehr hohen Detailierungsgrad und einer hohen Aktualität vor. Der Datensatz wird in Kooperation zwischen Bund, Ländern sowie Infrastrukturbetreiberinnen (ASFINAG, ÖBB) geführt und stellt ein Referenzsystem für alle Verkehrsarten (von motorisiertem Verkehr bis Fußgänger) dar. Die Daten werden seit 2016 als Open Government Data (OGD) veröffentlicht.

Da es sich um einen Datensatz handelt, der für Verwaltungsaufgaben herangezogen wird, gilt als Mindeststandard, dass von den Betreiberinnen zumindest das gesamte öffentliche Straßennetz sowie Eisenbahnstrecken in einem Erfassungsmaßstab von mindestens 1:2.000 im Datensatz geführt werden müssen (vgl. ÖVDAT 2019: 24f).

Insbesondere der Subdatensatz GIP.EDGE wird im Rahmen der Arbeit verwendet. Er umfasst Straßenabschnitte und deren attributive Beschreibung. Um geplante und bewilligte Projekte auszuschließen wurde ein Filter angewandt, um nur bereits errichtete Abschnitte monetär zu bewerten. In weiterer Folge können die Funktionsklassen genutzt werden, um jene Straßen- und Wegeklassen auszuwählen, die für die Wirtschaftlichkeitsbewertung relevant sind. Basierend auf den aktuell herangezogenen Klassen ergibt sich die Re-Klassifikation, die in Anhang 3 angeführt ist. Jene Funktionsklassen, denen der Wert -99 zugeordnet wurde, haben im Rahmen der durchgeführten Wirtschaftlichkeitsbewertung keine Relevanz und enthalten das untergeordnete Wegenetz.

Neben detaillierten Informationen und Verkehrsachsen werden Brücken, Tunnel und andere Kunstbauten in einem eigenen Subdatensatz als Verortungsobjekte abgebildet (vgl. ÖVDAT 2019: 45). Dieser Datensatz kann vor allem für die Identifikation von gefährdeten Brücken herangezogen werden, die aufgrund ihrer Exposition und ihren hohen Errichtungskosten einen besonderen Stellenwert im Hochwasserrisikomanagement haben. Abbildung 5 gibt einen Überblick über den Detailierungsgrad der GIP-Datensätze.

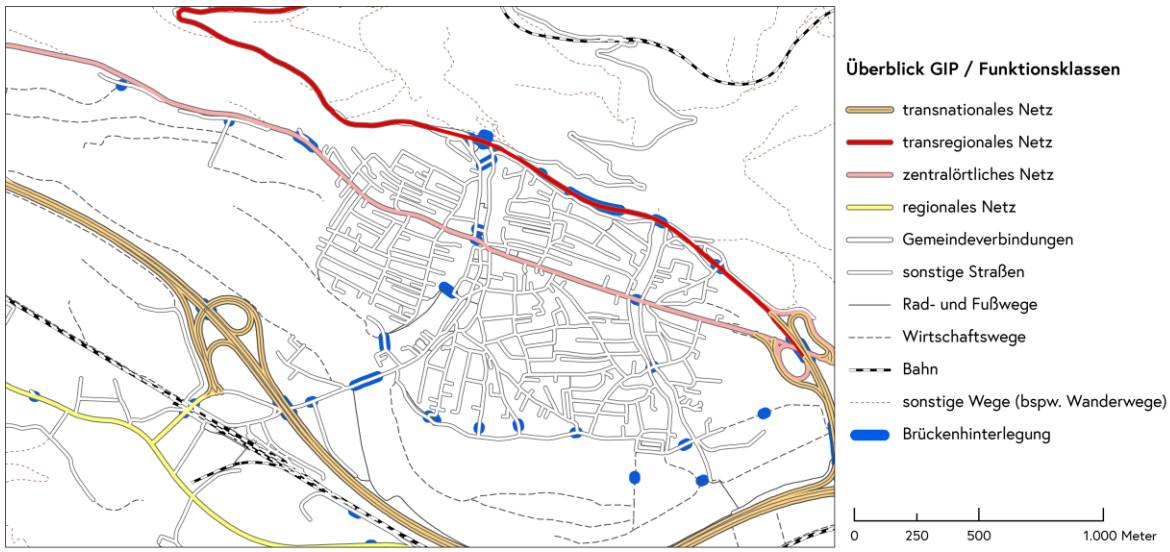


Abbildung 5: Datenüberblick GIP/Funktionsklassen (Eigene Darstellung, 2025)

Sonstige relevante Basisdaten

Digitales Landschaftsmodell – Gebietsnutzung

Neben den Bauwerken bietet das Digitale Landschaftsmodell mit dem Layer zu den Gebietsnutzungen einen weiteren relevanten Input-Datensatz für die Wirtschaftlichkeitsbewertung. Dabei wird im Datensatz zwischen Schutzgebieten, Flächen von Freizeiteinrichtungen, Verkehrseinrichtungen und Flächen von Sonderbetriebsanlagen unterschieden. (vgl. BEV 2025b)

Innerhalb dieser Sub-Layer wird zwischen unterschiedlichen Nutzungsformen ausdifferenziert, wobei insbesondere die Nutzungsformen innerhalb des Datensatzes „GEB_3200_Freizeit_F“ einen besonderen Stellenwert für die vorliegende Arbeit einnehmen, da sie hinsichtlich der Kategorisierung jener Klassifikation entsprechen, die auch aktuell in der Kosten-Nutzen-Untersuchung zur Anwendung kommt. Die Auswahl der Kategorien und ihre Weiterverarbeitung wird bei der Beschreibung des entsprechenden Skriptes erläutert (siehe Abschnitt 4.3.1).

INVEKOS Schläge Österreich

Für die Analyse zu betroffenen landwirtschaftlichen Nutzungen stellt das Integrierte Verwaltungs- und Kontrollsystem – INVEKOS eine detaillierte Grundlage dar. Bei INVEKOS handelt es sich um ein EU-weit verwendetes System, mit dem die Umsetzung der Gemeinsamen Agrarpolitik in den EU-Mitgliedstaaten gemonitort wird (vgl. BML 2025). Die darin enthaltenen Daten, die auszugsweise über OGD als Stichtagstagen zur Verfügung stehen, bilden auf Ebene der Schläge die angebauten Kulturen ab. Dieser Datensatz ist Grundlage für die Auszahlung von Förderungen und durchläuft strengen Qualitätskontrollen. Als Schlag wird eine zusammenhängende Fläche bezeichnet, auf der eine einheitliche Kultur angebaut wird (vgl. OGD 2025). Nachdem die erfassten Schlagnutzungen sehr detailliert sind, werden sie basierend auf ihren Codes zu Hauptklassen, die an den Anfordernissen der Kosten-Nutzen-Untersuchung orientiert sind, zusammengefasst. Entscheidend ist dabei die Unterscheidung von landwirtschaftlichen Nutzflächen, Grünland-Nutzungen, Sonderkulturen, sonstigen landwirtschaftlichen Nutzflächen sowie Aufforstungsbereichen, da für diese Klassen von einem unterschiedlichen Schadensausmaß ausgegangen werden muss.

4.1.3 Zusammenfassung der verwendeten Basisdaten

Die oben beschriebenen Datensätze decken den größten Teil der in der Kosten-Nutzen-Untersuchung vordefinierten Schadenskategorien ab. Der Fokus liegt dabei auf amtlichen, österreichweit verfügbaren Datensätzen, die möglichst aktuell gehalten werden und deren Nutzung (innerhalb der Verwaltungsaufgaben) möglichst kostenfrei erfolgen kann. Die oben beschriebenen Datensätze werden nach diesen definierten Qualitätskriterien in Tabelle 7 zusammengefasst.

Tabelle 7: Verwendete Basisdaten, Quellen und Qualitätskriterien

Datensatz	Aktualisierung	Kosten	Quelle
Gefahreninformationen	bei weiteren Planungsschritten	hoch	ausführendes Planungsbüro, auf Projektebene verfügbar
Gebäude- und Wohnungsregister	tagesaktuell	keine	Statistik Austria
Digitale Katastralmappe	tagesaktuell	hoch	BEV
Digitales Landschaftsmodell	Zyklisch (~3 Monate)	keine	BEV
OpenStreetMap	tagesaktuell	keine	Verschiedene, bspw. https://download.geofabrik.de
Regionalstatistischer Raster – Paket Arbeitsstätten	10 Jahre basierend auf Registerzählungen	hoch	Statistik Austria
INVEKOS	jährlich	kein	AMA über data.gv.at

4.2 Programmsetup und Datenverarbeitung

Grundsätzlich wurden alle GIS-bezogenen Verarbeitungsschritte im Rahmen der vorliegenden Arbeit in der Software ArcGIS Pro (Version 2.8.3) des Herstellers ESRI durchgeführt. Die erstellten Python-Scripts greifen dazu auf die ArcPy-Bibliothek der Software zu und laufen auf der genannten Software-Version. Im Vergleich zu ArcGIS Map und den früheren ESRI-Produkten verwendet ArcGIS Pro Python 3 und stellt durch den Python Package Manager eine einfache Möglichkeit bereit, andere Bibliotheken einzubinden und aktuell zu halten (vgl. ESRI 2025). Die GIS-Skripte werden in der Regel über ArcGIS Pro Python-Notebooks ausgeführt, da einige Befehle auf Layer-Funktionen zugreifen, die voraussetzen, dass die Applikation ArcGIS Pro geöffnet ist. Als ergänzender Python-Editor wurde Sublime Text eingesetzt, insbesondere für jene Skripte, die keine GIS-Funktionalitäten beinhalten und lediglich für die Erstellung von Diagrammen und Bewertungsbögen eingesetzt wurden. Neben ArcPy wurden weitere Python-Bibliotheken verwendet, um die entsprechenden Ergebnisse zu erzeugen. Insbesondere hervorzuheben ist dabei die Bibliothek matplotlib 3.5 (MATPLOTLIB 2025) für die Erstellung von Diagrammen, die Bibliothek PyFPDF 1.7 (PYFPDF 2025) für die Erstellung von PDF-Dokumenten sowie die Standardbibliotheken Pandas 1.4.0 (PANDAS 2025) für den Import und die Manipulation von CSV-Tabellen und NumPy 1.22.0 (NUMPY 2025).

Alle Daten zu den Schutzgütern werden in einer gemeinsamen Geodatenbank geführt und können dort – beispielsweise bei Vorliegen eines neuen Auszuges des GWRII – zentral aktualisiert werden. Alle projektbezogenen Daten zur Hochwassergefährdung (siehe

Abschnitt 4.1.1) werden in eigenen Geodatenbanken geführt. In einer Ergebnisdatenbank werden zusätzlich alle Ergebnisse abgelegt. Da nahezu alle herangezogenen, österreichweiten Datensätze im Referenzsystem MGI/Austria Lambert (EPSG:31287) (vgl. EPSG 2025) vorliegen, wird dieses Referenzsystem für sämtliche Datensätze verwendet und Datensätze mit anderen Projektionen wurden in vorbereitenden Schritten entsprechend reprojiziert.

Die Skripten zur GIS-Bewertung finden sich im Anhang der Arbeit. Die Skripten sind modular aufgebaut, um einzelne Bewertungen und Arbeitsschritte getrennt voneinander ausführen zu können. Zu Beginn werden bei jedem Skript die verwendeten Bibliotheken importiert. Im Anschluss werden die entsprechenden Ordner festgelegt und der Projektname sowie die Wahrscheinlichkeiten der betrachteten Szenarien als Liste (diese kann in Zukunft beispielsweise aus einer Formulareingabe einer graphischen Oberfläche übernommen werden) definiert. Diese Skriptabschnitte werden in Folge nicht erneut beschrieben. Alle GIS-Skripten sind so ausgeführt, dass eine beliebige Anzahl an Szenarien bewertet werden kann, um die Flexibilität zu erhalten und Sonderfälle abzubilden.

Da die Daten zur Hochwassergefährdung aus unterschiedlichen Quellen stammen und hinsichtlich ihrer Qualität heterogen sind, findet im ersten Skript (Anhang 4) vor der Verarbeitung der Daten eine Prüfung statt, ob alle benötigten Datensätze in der Datenbank vorliegen sowie ob die Attribute zu Wassertiefen in den entsprechenden Datensätzen und im richtigen Datenformat vorhanden sind.

4.3 Ermittlung der Auswirkungen auf Schutzgüter

Für vorausschauende Projekte liegen keine tatsächlichen Schadensdaten vor. Daher muss auf bestehende Schadensfunktionen (siehe auch 2.2.6) zurückgegriffen werden. Je nach Schutzgutkategorie sind wie beschrieben die Verletzlichkeiten höchst unterschiedlich, daher müssen auch unterschiedliche Methoden zur Schadensermittlung und Schadenfunktionen zum Einsatz kommen.

4.3.1. Betroffene Flächennutzungen

Auch wenn die übergeordnete Darstellung der betroffenen Flächennutzungen nicht unmittelbar in die Wirtschaftlichkeitsbewertung einfließt, liefert sie eine Zusammenfassung der Projektwirkung auf die Flächennutzung und wurde aus diesem Grund auch als Skript (siehe Anhang 5) umgesetzt. Als Basisdaten werden dazu die Nutzflächen der DKM herangezogen und je für den Mit- und Ohne-Fall mit den Überflutungsszenarien verschnitten. Basierend auf neun übergeordneten Nutzungskategorien werden Flächensummen erzeugt. Um zu gewährleisten, dass die in der Tabelle enthaltenen Kategorien bei jeder Analyse gleichbleiben, ist eine entsprechende Schlüsseltabelle hinterlegt, an welche die Ergebnisse gejoint werden. Die so entstehenden Tabellen werden im CSV-Format exportiert.

Die zwei entstehenden CSV-Tabellen stellen den Input für das entsprechende Fact Sheet dar. Das Skript zur Erstellung des Fact Sheets unter Einsatz der Bibliotheken matplotlib und pyFPDF ist in Anhang 6 enthalten. Das Skript wurde so programmiert, dass die definierten Funktionen möglichst auch für die Erstellung der Fact Sheets zu den anderen Schutzgütern herangezogen werden können. Aufgrund des Fokus der vorliegenden Arbeit auf Geodatenverarbeitung wurde das Skript nur für dieses Fact Sheet erstellt.

4.3.2. Betroffene Bevölkerung und Wertschöpfungsverluste

Die Ermittlung der betroffenen Bevölkerung für Detailanalysen stellt einen komplexen Prozess dar. Eine einfache räumliche Abfrage der betroffenen Adresspunkte aus dem GWRII ist für Überblicksdarstellungen der Expositionen zwar geeignet, stößt bei Detailbetrachtungen jedoch an Grenzen (BML 2018: 13ff). Vor diesem Hintergrund wird in der Arbeit eine Methodik angewandt, um durch räumliche Verschneidung der Adresspunkte mit den vorhandenen Gebäudegrundrissen ein genaueres Ergebnis zu erzielen. Das Skript für die Ermittlung der potenziell Betroffenen (Summe aus Hauptwohnsitzen und Nebenwohnsitzen) ist in Anhang 7 enthalten. Das Skript kann dabei alle beschriebenen Datensätze für Gebäudegrundrisse verarbeiten. Ziel des Skriptes ist es die direkt potenziell Betroffenen (basierend auf Hauptwohnsitzen und Nebenwohnsitzen) zu ermitteln. Gleichzeitig bildet die Analyse – neben der Auswertung der potenziell Betroffenen – auch die Grundlage für die Auswertung der Wertschöpfungsverluste (siehe Abschnitt 5.5).

Zu Beginn des Skripts sind alle Arbeitsschritte enthalten, die für die Verschneidung zwischen GWRII und den Gebäudegrundrissen notwendig sind. Diese müssen für die unterschiedlichen Fallbeispiele in der Regel nur einmal beziehungsweise nur nach Aktualisierung einer der Datensätze durchgeführt werden. Entsprechend dem modularen Aufbau sind sie aber ins zugehörige Skript integriert. Dazu werden zu Beginn die österreichweiten Datensätze auf das Untersuchungsgebiet geclippt. Im nächsten Schritt werden alle Einträge im GWRII identifiziert, die innerhalb oder im Umkreis von fünf Metern zu einem Gebäudegrundriss liegen und als Datensatz abgespeichert. Alle weiteren Einträge (Distanz zu Gebäudegrundriss größer als fünf Meter) werden als eigener Datensatz geführt. Für den Ohne-Fall wird dann die vordefinierte Basistabelle so aufbereitet, dass alle notwenigen Felder vorhanden sind. Um die Qualität besser einstufen zu können, wird erhalten, ob die ermittelten Betroffenen von Adresspunkten mit Zuordnung zu einem Gebäude stammen oder nicht.

In der folgenden for-Schleife findet die Verschneidung der Überflutungsflächen einerseits mit jenen Adressen, die keinem Gebäudegrundriss zugeordnet werden konnten, sowie den Gebäuden statt. Dazu wird bei den Adressen ohne Geometriebezug ein Buffer von einem Meter (im Sinne einer fiktiven Gebäudegröße) zur Anwendung gebracht. Bei Gebäudegrundrissen wird ein Buffer von einem Meter angewandt, um Unschärfen/Heterogenitäten in den Geometrien auszugleichen.

Darauffolgend werden jene Gebäude ermittelt, deren Gebäudekategorie (gemäß gdaeigenschaft; siehe Anhang 1) auf eine wirtschaftliche Nutzung hinweist. Basierend auf

diesen ausgewählten Gebäuden werden jene Zellen aus dem regionalstatistischen Raster ausgewählt, um Aussagen über die betroffenen Arbeitsplätze abzuleiten. Dies folgt einem pragmatischen Ansatz, da im regionalstatistischen Raster nur aggregierte Aussagen zu Arbeitsstätten und Beschäftigtenzahlen enthalten sind. Basierend auf der ermittelten Anzahl der Arbeitsstätten aus dem GWRII (= Gebäude mit wirtschaftlicher Nutzung) wird die Anzahl der Beschäftigten dementsprechend gewichtet, falls diese von der Anzahl der Arbeitsstätten im regionalstatistischen Raster abweicht (siehe Codezeile 78).

Wertschöpfungsverluste werden in der aktuellen Methodik durch die Angabe der betroffenen Beschäftigten pro Wirtschaftszweig erfasst. Dazu wird (gemäß Abschnitt 3.2.1) ein branchenspezifischer Wertschöpfungsverlust pro Person und Tag angenommen, der auf einer Sonderauswertung der Leistungs- und Strukturstatistik 2012 basiert. Diese liefert pro Bundesland für alle ÖNACE-Gruppen eine Aussage über die durchschnittliche Wertschöpfung. Diese Einteilung der Beschäftigten ist mit keiner der vorliegenden Datenquellen replizierbar. Das verwendete regionalstatistische Raster beinhaltet lediglich Anzahlen der Arbeitsstätten und Beschäftigten. Das Raster ist zwar auch mit dem Paket Arbeitsstätten (beinhaltet Beschäftigte nach Wirtschaftsabschnitt der Arbeitsstätte (ÖNACE 2008)) erhältlich, ist jedoch kostenpflichtig und steht für die gegenständliche Arbeit nicht zur Verfügung. Um dennoch eine Aussage über Wertschöpfungsverluste treffen zu können, werden die errechneten, betroffenen Beschäftigten mit den über alle ÖNACE-Gruppen gemittelten Wertschöpfungsverlusten aus der Sonderauswertung der Leistungs- und Strukturstatistik 2012 multipliziert.

Die ermittelten Betroffenen werden nach ihrer Datenquelle und ihrer Kategorie aufsummiert und an die vorbereitete Tabelle gejoint. Abschließend wird die Tabelle als CSV-Tabelle exportiert. Im darauffolgenden Skript-Teil wird der beschriebene Prozess für den Ohne-Fall wiederholt.

4.3.3. Schadensermittlung für den Gebäudebestand

Das Skript zur Ermittlung der Schäden am Gebäudebestand (siehe Anhang 8) beinhaltet zu Beginn alle Festlegungen von Variablen und Funktionen, auf die das Skript in weiterer Folge zugreift. Der angenommene B-Wert sowie der S_{min}-Wert (Definition siehe 3.2.1) müssen für das jeweilige Fallbeispiel an dieser Stelle eingegeben werden. Die Funktionen S_{min}Ke und BWertKe liefern für Gebäude mit Untergeschossen die definierten B-Werte sowie die S_{min}-Werte, die für Kellergeschosse angesetzt werden. Abschließend wird mit der Funktion GEBKATfu der Gebäudebestand anhand des Attributs gdaeigenschaft (siehe Anhang 1) in Wohngebäude (Wert=1), Nicht-Wohngebäude (Wert=2) sowie öffentliche Gebäude (Wert=3) eingeteilt.

Ähnlich wie beim Skript zur Ermittlung der betroffenen Bevölkerung findet dann eine Verschneidung zwischen Gebäudegrundrissen und den Adresspunkten statt. Dazu werden in beiden Skripten die gleichen Parameter für die Verschneidung angesetzt (5 Meter Suchradius). Alle Adresspunkte außerhalb des Suchradius werden als Punkte in der Analyse weiterberücksichtigt.

Für alle Szenarien werden im Hauptteil des Skriptes mittels for-Schleife für den Ohne-Fall zunächst die Adresspunkte, die keinem Gebäudegrundriss zugeordnet werden konnten, mit den Überflutungsflächen verschnitten – in weiterer Folge die Gebäudeumrisse (die durch die vorhergehenden Analyseschritte attributiv den jeweiligen GWRII-Einträgen zugeordnet werden können). Bei beiden Analysen werden identische Einträge (basierend auf der originären Objekt-ID) bereinigt, um Doppelzählungen zu vermeiden. Zusätzlich wird den Geometrien durch einen Spatial Join die maximale Wassertiefenklasse (innerhalb eines Suchradius von 0,3 Metern) zugeordnet. Nach Auswahl der betroffenen Objekte wird basierend auf den definierten Variablen S_{min} und B-Wert (für Gebäude und Keller) und den zugeordneten Wassertiefen der potenzielle Schaden errechnet. Abschließend werden die betroffenen Gebäude nach ihrer Gebäudekategorie in die drei beschriebenen Grobklassen (Wohngebäude, Nicht-Wohngebäude und öffentliche Gebäude) zusammengefasst und der Schaden für die jeweilige Kategorie aufsummiert. Die Ergebnisse werden an eine vorbereitete, standardisierte Schlüsseltabelle gejoint.

Der oben beschriebene Prozess wird im Anschluss mittels for-Schleife für den Mit-Fall wiederholt. Wobei der Prozess nahezu ident ist, außer dass die Überflutungsflächen sowie die Wassertiefen für den Mit-Fall zur Anwendung kommen. Auch diese Ergebnisse werden an eine Schlüsseltabelle gejoint und in Folge als CSV-Tabelle exportiert.

4.3.4. Schadensermittlung für Straßeninfrastruktur

Die Schadensermittlung an Straßeninfrastrukturen beinhaltet wie auch in den aktuellen Regelwerken der Kosten-Nutzen-Untersuchung drei unterschiedliche Komponenten: (1) eine flächenbasierte Analyse von Reinigungs- oder Räumungskosten sowie (2) eine längenbasierte Analyse der Reparaturkosten. Die beiden Analyse-Komponenten folgen einer etwas anderen Logik und sind daher zwar im gleichen Berechnungsskript enthalten, jedoch jeweilig in einem eigenen Code-Block mit jeweils eigenem Output.

Zur Schadensermittlung für Straßen (Skript siehe Anhang 9) werden die Daten aus der GIP zu Beginn entsprechend den Analyse-Anforderungen vorbereitet. Dazu werden verschiedene Operationen durchgeführt, um die GIP-Daten so zu filtern, dass nur mehr schadensrelevante Kategorien (hochrangiges Straßennetz „KAT_WB“ zwischen 1 und 5) enthalten sind. Des Weiteren werden aus den linienhaften Daten durch die Erstellung von Puffern um Straßen (GIP_Streets_BUF) und Brücken (GIP_BRI_BUF) entsprechende Polygone errechnet, um in weiterer Folge flächenbezogene Aussagen zu treffen. Dazu wird das Attribut WIDTH der GIP verwendet, das die spezifische Breite eines Segmentes beinhaltet. Zusätzlich werden die Brücken aus den Daten extrahiert (BRL_TYP = 5002) und mit den Breiten der zugehörigen Straßensegmente verschnitten.

Analyse der Reinigungs- und Räumungskosten

Hochwasser kann aufgrund der zu Grunde liegenden Prozesse sehr unterschiedliche Auswirkungen auf Straßen haben. Entscheidend ist dabei insbesondere der Feststoffgehalt,

der darüber entscheidet, ob eine Straße ausschließlich gereinigt werden muss (=Ablagerung von Feinsedimenten) oder ob eine Räumung (=Ablagerung von Geschiebe) notwendig ist. Dies ist abhängig von dem sogenannten Leitprozess, der in der Gefahrenzonenplanung und damit schon vor der Maßnahmenplanung festgelegt werden muss. Das Skript greift auf diese Unterscheidung zu und je nach Leitprozess werden entweder Reinigungs- oder Räumungskosten kalkuliert. Je nach Leitprozess greift das Skript je auf eine andere Schlüsseltabelle zu, in der jeweils die unterschiedlichen Schadenssätze enthalten sind. Zu Beginn werden die notwendigen Ergebnisfelder in der Tabelle angelegt. In einem weiteren Schritt wird basierend auf einer Verschneidung der gebufferten Straßensegmente mit den jeweiligen Überflutungsflächen die betroffene Straßenfläche ermittelt. Mittels Kategorie-basierter Summenstatistik werden die Daten aggregiert, an die Schlüsseltabelle gejoined und mit den hinterlegten m²-basierten Schadenswerten zu einer Schadenssumme verrechnet. Abschließend wird die Tabelle als CSV-Tabelle exportiert. Der gleiche Prozess wird im Anschluss für den Mit-Fall auf gleiche Weise prozessiert.

Analyse der Reparaturkosten

Zur Ermittlung der Reparaturkosten musste ein Ansatz gewählt werden, der von der bisher in der KNU verankerten Methodik abweicht. Die bisherige Herangehensweise greift auf eine Einschätzung der Schadensanfälligkeit ausgewählter Straßensegmente durch die planende Person zurück. Welche Segmente dabei ausgewählt wurden und wie die Verletzlichkeit abgeleitet wurde, ist nicht nachvollziehbar und daher auch nicht automatisiert reproduzierbar. Um dennoch Aussagen zu treffen, wurde die Methodik so definiert, dass sie auf einer international anerkannten Methodik beruht und auf die Arbeiten von HUIZINGA et al. (2017) und die vom JRC publizierten Hintergrunddokumente und Datengrundlagen (JRC 2025) zurückgreift. In dieser Veröffentlichung ist, vergleichbar zur Herangehensweise zu den Schäden am Gebäudebestand, eine eigene Schadensfunktion für Straßeninfrastrukturen im europäischen Raum enthalten. Die Funktion ist basierend auf acht Stützstellen für Wassertiefen bis zu 5 Metern definiert. Um eine kontinuierliche Bewertung zu ermöglichen, wurde aus den Wertepaaren eine Funktion abgeleitet. Die xy-Werte sowie die daraus resultierende Funktion werden aus Abbildung 6 ersichtlich. Um eine möglichst treffsichere Trendlinie für die Schadensfunktion zu erhalten, wurde eine Polynomfunktion vierten Grades gewählt ($y = -0{,}0017x^4 + 0{,}0267x^3 - 0{,}1622x^2 + 0{,}556x + 0{,}0027$, wobei y dem Schadensausmaß und x der Wassertiefe (in m) entspricht).

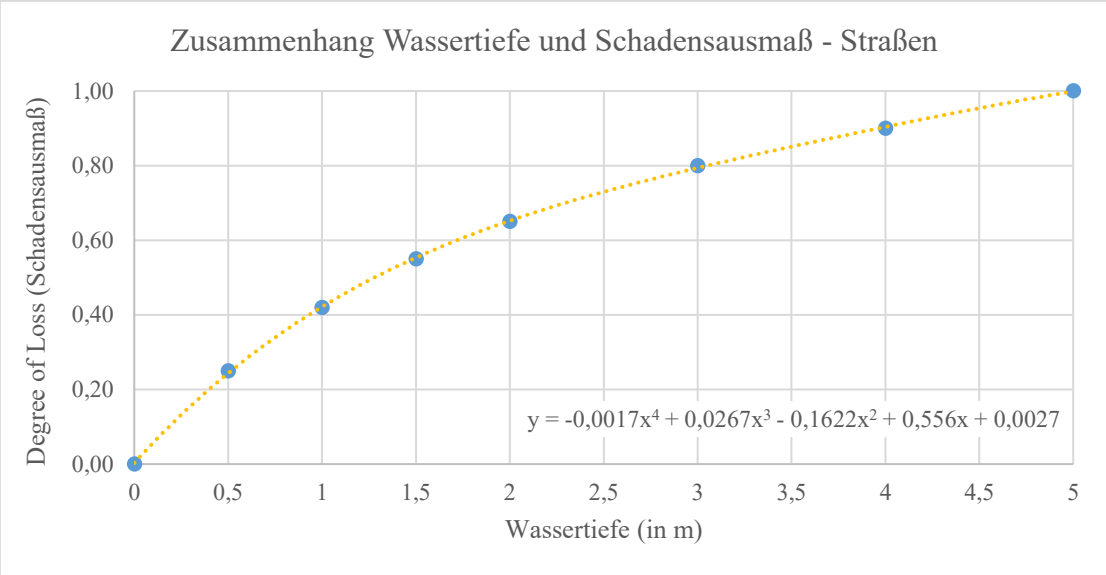


Abbildung 6: Diagramm zum Zusammenhang zwischen Schadensausmaß und Wassertiefe für Straßen (basierend auf HUIZINGA et al. (2017))

Im Skript werden zur Anwendung der Schadensfunktion die Straßensegmente mit den Wassertiefen verschnitten (Intersect), um mit der Schadensfunktion das Schadensausmaß zu bestimmen. Im nächsten Schritt wird das Schadensausmaß mit den Richtwertkosten (pro lfm), die nach Straßenklasse ausdifferenziert sind, und der Geometrielänge multipliziert. Im Skript passiert dies über die definierte Funktion Repkosten, in der die von der Straßenklasse abhängigen Richtwerte hinterlegt sind. Basierend auf den Straßenklassen werden Summenstatistiken errechnet und an die Schlüsseltabelle gejoined. Der beschriebene Vorgang wird zuerst für den Ohne-Fall durchlaufen, dann für den Mit-Fall. Die Ergebnisse werden als CSV-Dateien exportiert.

4.3.1 Schadensermittlung für Bahnstrecken

Für die Schadensermittlung an den Bahnstrecken (siehe Skript in Anhang 10) werden zunächst alle Bahnstrecken aus der GIP (Bahntrassen Hauptnetz, Ergänzungsnetz sowie Anschlussbahnen) mit aufrechtem Baustatus ausgewählt. Ähnlich wie bei den Schäden an der Straßeninfrastruktur sieht die aktuelle Methodik zur Kosten-Nutzen-Untersuchung eine Unterscheidung zwischen (1) Reinigungs- und Räumungskosten, (2) Reparaturkosten sowie (3) Pauschalen für Begutachtung, Betriebsbehinderungen sowie monetäre Verluste aufgrund von Streckensperren vor. Die Anzahl der Sperrtage je Szenario müssen vorab als Liste definiert werden (basierend auf der Komplexität der Wiederherstellungsmaßnahmen und der Dauer der Überflutung).

Da alle Analysen längenbasiert sind, können alle Schadensdimensionen in der gleichen for-Schleife abgearbeitet werden. Zu Beginn wird die Schlüsseltabelle geladen, in weiterer Folge werden die notwendigen Felder angelegt. Durch einen Intersect zwischen den Überflutungsflächen je Szenario mit den ausgewählten Bahnstrecken aus der GIP, können

die potenziell betroffenen Bahnstrecken identifiziert werden. Basierend auf Summenstatistiken wird die betroffene Länge je Kategorie und die damit verbundenen Reinigungs- und Räumungskosten sowie die Reparaturkosten errechnet. Basierend auf den angegebenen Sperrtagen wird der Tagessatz für Sperrtage (Pauschale von 51.839 € pro Tag), Schadenssätze für Betriebsbehinderungen für Überwachungsfahrten (2.291 € pro Tag) und Langsamfahren (4.009 € pro Tag) sowie eine Pauschale für die Schadensfeststellung (2.004 € pro Ereignis) aufsummiert. Im letzten Schritt wird eine CSV-Datei mit den gesammelten Ergebnissen erstellt. Dieser methodische Ansatz wird je für den Ohne- wie den Mit-Fall berechnet.

Die drei Fallbeispiele, die in der gegenständlichen Arbeit zur Evaluierung verwendet wurden, beinhalten keine betroffenen Bahnstrecken, daher kann kein direkter Vergleich zwischen Modell-Ergebnissen und Vergleichsdaten erfolgen. Der Ergebnisteil stellt die Analyseergebnisse daher nur exemplarisch dar.

4.3.2 Schadensermittlung für Brückenbauwerke

Wie bei den Reparaturkosten für Straßenabschnitte ist die Schadensermittlung für Brückenbauwerke stark abhängig von der Einstufung durch die planende Person, die die Kosten-Nutzen-Untersuchung durchführt. So wird jedem identifizierten Brückenbauwerk basierend auf lokaler Expertise eine individuelle Verletzlichkeit zugeordnet, die aufgrund der variierenden Intensität zusätzlich abhängig vom betrachteten Ereignis ist. Insbesondere ist dabei der bestehende Freibord entscheidend (vertikaler Abstand zwischen Bauwerksunterkante und dem Wassersiegel). Der Freibord liegt jedoch nicht strukturiert als Daten vor und kann aus den verwendeten Daten nicht abgeleitet werden. Vor diesem Hintergrund werden die Brückenbauwerke pragmatisch beurteilt, wobei schon aufgrund der Methodik mit signifikanten Verzerrungen zu rechnen ist.

Das Bewertungsskript für Brückenbauwerke ist in Anhang 11 enthalten. Als Grundparameter wird ein einheitlicher, flächenbezogener Schadensfaktor (2.288,4 €/m²) für alle Brücken eingesetzt (aus der aktuellen KNU-Methodik) und eine vereinfachte getClass-Funktion verwendet. Diese Funktion leitet aus der Wassertiefe einen Schadensfaktor ab (0,1 bei 1 m Wassertiefe, 0,2 bei 1-2 m Wassertiefe und 0,4 bei allen Werten darüber).

Zu Beginn des Skriptes werden die Daten für die Analyse aufbereitet. Dazu werden aus dem Brunnel-Datensatz die Brücken (BRL_TYP=5002) ausgewählt. Nachdem der Brunnel-Datensatz der GIP keine Breitenangaben enthält, wird die Breite des nächstliegenden Straßensegmentes auf das Brücken-Objekt übertragen. Basierend auf der Maximalausdehnung der Überflutungsflächen (HQ300 Ohne-Fall und HQ300 Mit-Fall) werden alle Brücken ausgewählt, die zumindest von einem Szenario betroffen sind. Mittels for-Schleifen für den Ohne-Fall und anschließend den Mit-Fall, werden die Brückenbauwerke mit den Wassertiefenklassen verschnitten. Mittels Summenstatistik wird die betroffene Brückenfläche und die maximal erreichte Wassertiefe im Bereich des Brückenobjektes erfasst. Basierend auf der maximalen Wassertiefe wird über die getClass-

Funktion die Vulnerabilität des Objektes pragmatisch abgeleitet. Die Werte werden an den Hauptdatensatz (Betroffene Brückenobjekte im Untersuchungsgebiet) gejoined. In einer eigenen for-Schleife findet die Berechnung der Schadenswerte (Multiplikation der Reparaturkosten, der Fläche sowie der Verletzlichkeit) statt. Abschließend wird eine Summenstatistik zur Aggregation der Schadenswerte erstellt und in einer CSV-Datei zusammengefasst.

4.3.3 Schadensermittlung für Landwirtschaft

Die Analyse der landwirtschaftlichen Schäden basierend auf den klassifizierten INVEKOS-Daten (siehe Anhang 12) ist vergleichsweise einfach. Die landwirtschaftlichen Nutzflächen werden dabei in einer for-Schleife durch jedes Szenario auf die Ausdehnung der Überflutungsflächen geclippt und basierend auf der vorab definierten, zusammenfassenden Kategorie „LANDWIRT_KAT“ hinsichtlich ihrer Flächen aufsummiert. In der geladenen Schlüsseltabelle werden in Folge die notwendigen Felder für die Flächensumme sowie den Schaden angelegt. Basierend auf den hinterlegten Schadenswerten aus der Schlüsseltabelle und den ermittelten Flächensummen, wird der Schaden pro landwirtschaftliche Kategorie errechnet. Die Tabelle wird in Folge als CSV-Datei exportiert. In weiterer Folge werden die oben beschriebenen Schritte auf für alle Szenarien des Mit-Falls durchgeführt.

4.3.4 Schadensermittlung für Sonstige Flächennutzungen

Wie im Abschnitt 3.2.1 beschrieben, werden neben Gebäude- und Infrastrukturschäden aktuell auch Schäden an Flächennutzungen beurteilt. Davon sind vor allem Schäden an Gärten und Grünräumen, Campingplätzen, Sport- und Freizeitanlagen sowie Friedhöfen umfasst. Das entsprechende Skript (siehe Anhang 13) führt in einem ersten Schritt die Garten- und Grünflächen aus der Digitalen Katastralmappe mit den relevanten Gebietsnutzungen aus dem Digitalen Landschafsmodell zusammen. Dazu werden Bäder, Golfplätze, Sportplätze, Stadien, Sportanlagen und Tierparks zur Kategorie Sport- und Freizeitflächen zusammengefasst. Die Kategorien Campingplätze, Parks sowie Friedhöfe werden jeweils als eigene Kategorie erhalten (siehe def sonstFLcode). Das Skript beinhaltet die Zusammenführung der Datensätze zu einem österreichweiten Datensatz. Dieser Teil des Skripts muss dementsprechend nur einmal ausgeführt werden bzw. nur im Falle einer Datenaktualisierung.

Das weitere Skript folgt einer einfachen Verschneidung der Überflutungsflächen für alle enthaltenen Hochwasserszenarien (je als for-Schleife für Ohne- und Mit-Fall) mit dem erzeugten Datensatz. Im Anschluss werden die Flächen nach den festgelegten Hauptkategorien zu einer Summenstatistik aggregiert. Die Flächenstatistik wird an eine strukturell vordefinierte Tabelle gejoint. Basierend auf den definierten Einheitsschadenssätzen werden für die betroffenen Flächen Schäden abgeschätzt. Abschließend werdend die Ergebnistabellen als CSV-Dateien exportiert.

4.4 Wirtschaftlichkeitsbewertung

Nachdem alle Schadensaussagen ermittelt wurden, werden diese zur Wirtschaftlichkeitsbewertung zusammengeführt. In einem ersten Schritt werden dazu alle Subtabellen zusammengeführt und als Schadenstabellen erfasst. Diese gibt die Schäden nach den bewerteten Szenarien und der bewerteten Hauptschadenskategorien wieder. Basierend auf den in Abschnitt 3.2.3 beschriebenen Ansätzen werden die analysierten Szenarien als Stützstellen verwendet, um eine Schadenskurve für den Mit-Fall sowie den Ohne-Fall zu konstruieren.

Daraus wird der jährliche Schaden für den Mit-Fall und den Ohne-Fall errechnet. Die Differenz (Ohne-Fall – Mit-Fall) ergibt den jährlichen verhinderten Schaden, der – ebenso wie die Angaben zu den Kosten der Maßnahme – in die Diskontierung und die Ermittlung des Netto-Nutzens einfließen. Diese Methodik aus der aktuellen Kosten-Nutzen-Untersuchung sowie die dabei getroffenen ökonomischen Annahmen (beispielweise Abzinsung) wird unverändert in die vorliegende Arbeit übernommen, um die Vergleichbarkeit in den Fallbeispielen zu gewährleisten. Außerdem geht eine Auseinandersetzung mit den ökonomischen Rahmenbedingungen über den Rahmen der vorliegenden Arbeit hinaus. Die Details der Herangehensweise sind in Abschnitt 3.2.3 beschrieben. Basierend auf dieser Beschreibung wurde ein Excel-Formular verwendet, in das die ermittelten Werte übertragen wurden.

4.5 Evaluierung der Ergebnisse

Das Fehlen von Vergleichsdaten aus abgelaufenen Ereignissen stellt in der Risikobewertung ein gängiges Problem dar, das in der Regel durch Expertenabschätzungen oder durch den Vergleich von unterschiedlichen Schadensmodellen oder Methoden gelöst wird (vgl. MERZ et al. 2010: 1717). Diese bestehende Limitation trifft auch auf die vorliegende Arbeit zu, da detaillierte Daten zu Schäden bei abgelaufenen Hochwasser-Ereignissen in Österreich auf einzelne Fallbeispiele limitiert sind.

Vor diesem Hintergrund werden die erzielten Ergebnisse mit bereits durchgeführten, gutachterlich erstellten Kosten-Nutzen-Untersuchungen gegenübergestellt. So können (1) die unterschiedlichen Nutzen-Kategorien bezüglich ihrer Größenordnung verglichen werden, (2) Abweichungen zwischen gutachterlichen Annahmen und den Bewertungsergebnissen der automatisierten Herangehensweise verglichen werden und (3) Herausforderungen sowohl in der gutachterlichen Arbeit als auch in der Verwendung der österreichweiten Daten identifiziert werden. Die Abweichungen zwischen den gutachterlich ermittelten Schadenswerten und den Schadenswerten, welche sich aus der automatisierten Bewertung ergeben, werden im Ergebnisteil gegenübergestellt.

Insbesondere wurden drei Beispiele für die Gegenüberstellung herangezogen, da für diese Beispiele auch die notwendigen Gefährdungsinformationen (siehe Abschnitt 4.1.1) in der geforderten Qualität und Attribuierung vorliegen. Das Vorliegen der notwendigen

Basisdaten der Gefährdungsinformationen (insbesondere in kleinteiligen Klassen vorhandene Wassertiefen-Polygone) war ein entscheidendes Auswahlkriterium für die Fallbeispiele. Darüber hinaus sind alle drei Fallbeispiele hinsichtlich ihrer Maßnahmen auf Retentionsmaßnahmen fokussiert. Diese weisen somit auch eine schadensreduzierende Wirkung für den HQ300-Fall auf. Dieser bleibt in der aktuellen Methodik weitgehend unberücksichtigt, was zu maßgeblichen Verzerrungen führen kann (siehe Abschnitt 6.3).

Die folgende Tabelle 8 fasst die drei Beispiele zusammen, wobei auch das Ergebnis dieser Kosten-Nutzen-Untersuchungen dargestellt wird.

Tabelle 8: Gutachterlich erstellte KNUs, die für die Evaluierung der Modell-Ergebnisse herangezogen wurden

Projektname	Erstellungsjahr	Region	KNU-Faktor
KNU Hochwasserschutz Ritzing	2021	Gemeinde Ritzing, Bezirk Oberpullendorf (BGLD)	1,40
KNU Hochwasserschutz GP Gösselsdorfer Seebach	2019	Gemeinden Ebendorf & Kühnsdorf, Bezirk Völkermarkt (KTN)	2,24
KNU Hochwasserschutz GP St. Ulricher Bach – Variante 1	2019	Gemeinde Feldkirchen, Bezirk Feldkirchen	0,71

5 Ergebnisse

Das folgende Kapitel fasst die Ergebnisse zusammen, die mit den in Kapitel 4 beschriebenen Basisdaten und Methoden erzielt wurden und stellt diese Ergebnisse den gutachterlich durchgeführten Kosten-Nutzen-Untersuchungen gegenüber. Besonderer Fokus liegt dabei auf Abweichungen zwischen den Ergebnissen und einer Darstellung der Hintergründe für diese Abweichungen. Für die strukturierte Analyse wird dabei insbesondere auf den Ist-Zustand, also den Fall ohne Maßnahmenumsetzung fokussiert. Dieser Fall bildet das Schadenspotenzial ab, das durch die Maßnahmen verhindert werden kann und ist damit essenziell. Vorangestellt ist dem Kapitel eine kurze Zusammenschau zur Verwendung der beschriebenen Basisdaten zu den Schutzgütern (siehe Abschnitt 4.1.2).

5.1 Vergleich der Qualität der Input-Daten

Für die meisten notwendigen Aussagen (insbesondere nicht-aggregierte Daten zu Betroffenen) sowie das multimodale Verkehrsnetz liegen in Österreich detaillierte und meiste alternativenlose, amtliche Datenquellen vor. Dies betrifft vor allem die Graphenintegrations-Plattform (GIP) sowie die Daten des Gebäude- und Wohnungsregisters. Diese werden aufgrund der umfangreichen Auseinandersetzungen in anderen Studien (vgl. FUCHS UND ZISCHG 2013; BML 2018) hier nicht weiter analysiert. Unsicherheiten bestehen jedoch bezüglich der Nutzung der unterschiedlichen Aussagen zu den Gebäudegrundrissen. Wie in Abschnitt 4.1.2 beschrieben; konnten dafür drei unterschiedliche Datenquellen identifiziert werden: die Digitale Katastralmappe (DKM, 4,213 Mio. Einträge), die Gebäude aus dem Digitalen Landschaftsmodell (DLM, 4,428 Mio. Einträge) sowie die OpenStreetMap (OSM, 4,227 Mio. Einträge). Betrachtet man ausschließlich die Anzahl der Einträge wäre somit das DLM zu bevorzugen.

Für die vorliegende Arbeit ist insbesondere die Relation zwischen den punktuellen Daten aus dem Gebäude- und Wohnungsregister (GWRII) sowie dem jeweiligen Gebäudedatensatz entscheidend. Dabei können unterschiedliche Relationen zwischen den adressbezogenen Punktdaten sowie den Gebäudegrundrissen auftreten: (1) Adresspunkt liegt innerhalb eines Gebäudegrundrisses und lässt sich somit direkt zuordnen, (2) Adresspunkt liegt innerhalb einer spezifizierten Suchdistanz zu einem Gebäudegrundriss, (3) es liegt ein Adresspunkt vor, jedoch kein Gebäudegrundriss sowie (4) es liegt ein Gebäudegrundriss vor aber kein Adresspunkt. Diese Relationen sind auch in Abbildung 7 hervorgehoben.

Ebenso vermittelt Abbildung 7 einen Eindruck der unterschiedlichen Gebäudedatensätze anhand eines Raumausschnitts aus dem Untersuchungsgebiet des HWS Ritzing. Die Bauwerke aus dem DLM sowie die OpenStreetMap vermitteln den besten Abdeckungsgrad. Die DKM ist geometrisch in vielen Bereichen mit dem DLM ident (wird bei der Erstellung als Input verwendet). Einige Gebäude, die in der DKM enthalten sind, sonst aber in keinem anderen Datensatz sind, sind nur bedingt treffsicher und weisen Gebäude aus, die im Orthofoto nicht (mehr) ersichtlich sind. Hinsichtlich der Aktualität bestehen in allen

Datensätzen vergleichbare Herausforderungen. Das neu errichtete Gebäude für betreutes Wohnen (im zentralen Bildbereich) ist noch in keinem der Datensätze enthalten. Hier ist noch der vorherige Bestand in allen drei Datensätzen eingetragen.

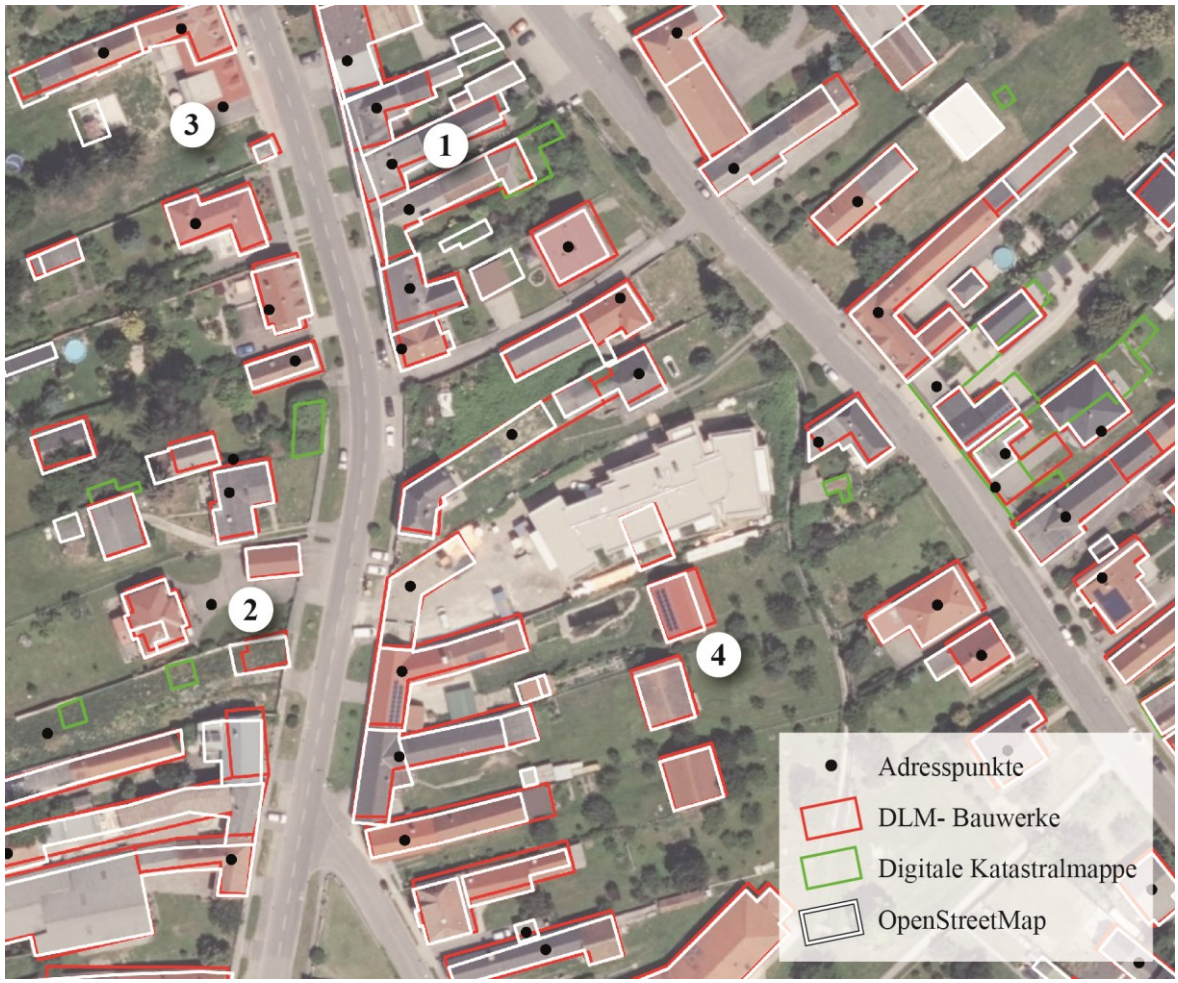


Abbildung 7: Ausschnitt aller Gebäudedatensätze aus dem Untersuchungsgebiet Ritzing

Wertet man die Beziehung zwischen den Gebäudegrundrissen und den Adresspunkten aus dem GWRII strukturiert für Gesamtösterreich aus, so ergeben sich die in Tabelle 9 dargestellten Relationen. Die höchste Überschneidung zeigen die Bauwerke des Digitalen Landschaftsmodells mit dem GWRII. Nahezu 84% der Adresspunkte aus dem GWRII liegen direkt in einem Gebäudegrundriss der DLM. Wertet man zudem den Umgebungsbereich der Gebäudegrundrisse (Suchradius von 5 m) mit aus, so kann der Wert auf eine Abdeckung von fast 92% gesteigert werden. Ähnlich gute Werte erreichen die Gebäudepolygone aus der OpenStreetMap, etwas schlechter schneiden die Gebäudegrundrisse aus der Digitalen Katastralmappe ab. Große Qualitätsunterschiede zwischen den Datensätzen sind jedoch nicht ersichtlich.

Tabelle 9: Beziehung zwischen den unterschiedlichen Gebäudedatensätzen und dem Gebäude- und Wohnungsregister

	Anteil GWRII-Einträge in Gebäudegrundrissen	Anteil GWRII-Einträge in Gebäudegrundrissen mit 5 m-Suchradius
Digitales Landschaftsmodell - Bauwerke	83,97%	91,93%
Digitale Katastralmappe	81,84%	88,78%
OpenStreetMap	83,78%	91,71%

Im Vergleich zu allen anderen Datensätzen bietet der Behördenauszug aus der Digitalen Katastralmappe jedoch den großen Vorteil, dass den einzelnen Grundrissen Grundstücksnummern zugeordnet sind, die in der Analyse eine entscheidende Rolle spielen, daher wird die DKM für alle folgenden Analysen als Ausgangsdatensatz festgelegt. Wobei alle Analyse-Schritte so aufgebaut sind, dass auch Aussagen jener Adresspunkte, die außerhalb des 5 m-Suchradius liegen, erhalten bleiben.

Eine weitere Steigerung der Genauigkeit wäre durch eine Fusion der Gebäude-Datensätze möglich. Ergänzt man die Bauwerke der DKM mit jenen Gebäuden aus dem DLM und der OSM (Überführung aller Gebäudegrundrisse aus dem OSM-Datensatz und dem DLM, welche die Gebäudegrundrisse aus der DKM nicht berühren) ist eine Steigerung des Überscheidungsgrades auf 85,40% sowie bei einem Suchradius von fünf Metern auf 93,96% möglich. Aufgrund der vergleichsweise geringen Steigerung der Genauigkeit wurde dieser Ansatz jedoch nicht weiterverfolgt.

5.2 Betroffene Flächennutzungen

Die Analyse der betroffenen Flächennutzungen fließt nicht unmittelbar in die Wirtschaftlichkeitsbewertung ein, ist jedoch eine wichtige Analyse, um die flächenbasierte Wirkung eines Projektes zu veranschaulichen. Die Ergebnisse geben dabei immer die aktuell betroffenen Flächennutzungen (Ohne-Fall) wieder. Insbesondere hinsichtlich der verwendeten Kategorisierungen in den Eingangsdaten ergeben sich augenscheinlich Unterschiede zwischen den modellhaft ermittelten Ergebnissen und der Vergleichsdaten.

Tabelle 10 gibt die Ergebnisse für das Fallbeispiel HWS Ritzing wieder. Gebäudeflächen selbst wurden in den Vergleichsdaten nicht erfasst und können daher nicht verglichen werden. Bezüglich der erfassten Betriebsflächen, der Verkehrsflächen, der landwirtschaftlichen Flächen sowie dem Wald und Forst kommt es zwar zu Abweichungen, diese liegen jedoch in einem akzeptablen Schwankungsbereich. Augenscheinlichere Abweichungen entstehen bei HQ30 und HQ100 hinsichtlich der erfassten Bauland- und Gartenflächen sowie der siedlungsbezogenen Nutzungen. In den Vergleichsdaten sind große Flächen als siedlungsbezogene Nutzungen (in der Unterkategorie Sport- und Freizeitflächen) erfasst. Im Detail wird auf diese Problemstellung noch im Abschnitt 5.8 eingegangen.

Tabelle 10: Betroffene Flächennutzungen - HWS Ritzing (Angaben in m²)

HWS Ritzing	Modell			Vergleichsdaten		
Kategorie	**HQ30**	**HQ100**	**HQ300**	**HQ30**	**HQ100**	**HQ300**
Gebäudeflächen	682	867	1.024	k.A.	k.A.	k.A.
Betriebsflächen	406	461	660	550	550	550
Bauland / Gärten	24.379	38.263	49.087	36.879	49.974	51.808
Verkehrsflächen	23.569	33.552	43.160	29.117	39.196	42.710
Siedlungsbezogene Nutzung	12	16	30	17.276	34.546	61.639
Landwirtschaftliche Flächen	115.586	208.447	279.750	128.822	219.381	240.784
Wald und Forst	7.864	8.753	9.995	4.665	5.133	6.200

Auch beim Fallbeispiel Gösselsdorfer Seebach werden signifikante Abweichungen deutlich. In den Vergleichsdaten sind keine Gebäude-, Betriebs- und Baulandflächen erfasst. In nahezu allen anderen Kategorien weichen die Ergebnisse voneinander ab, wobei die erfassten Verkehrsflächen sowie siedlungsbezogenen Nutzungen noch weitgehend vergleichbar sind. Insbesondere hinsichtlich landwirtschaftlicher Nutzflächen sowie Wald und Forst bestehen große Abweichungen.

Tabelle 11: Betroffene Flächennutzungen - HWS Gösselsdorfer Seebach (Angaben in m²)

HWS Seebach	Modell			Vergleichsdaten		
Kategorie	**HQ30**	**HQ100**	**HQ300**	**HQ30**	**HQ100**	**HQ300**
Gebäudeflächen	1.165	1.940	2.089	k.A.	k.A.	k.A.
Betriebsflächen	18.764	23.270	24.468	k.A.	k.A.	k.A.
Bauland / Gärten	20.168	38.980	44.304	k.A.	k.A.	k.A.
Verkehrsflächen	26.221	39.535	44.823	21.918	26.145	29.196
Siedlungsbezogene Nutzung	31.534	41.748	49.668	34.731	57.090	72.896
Landwirtschaftliche Flächen	573.688	1.054.092	1.177.000	487.141	284.822	291.755
Wald und Forst	32.410	88.335	110.336	17.571	7.810	9.472

In der Kosten-Nutzen-Untersuchung für den St. Ulricher Bach sind keine Nutzflächen erfasst, daher liegen keine Vergleichsdaten vor. Anhand dieses Beispiels soll jedoch der Nutzen eines Vorher-Nachher-Vergleiches der betroffenen Flächennutzungen verdeutlicht

werden. Tabelle 12 stellt die betroffenen Flächen vor der Maßnahme und nach der Maßnahme gegenüber. Insbesondere für Wahrscheinlichkeiten, bei denen der technische Schutz eine Wirkung zeigt (HQ30 und HQ100), wird die betroffene Gebäude-, Betriebs-, Bauland und Verkehrsfläche (=maßgebliche Schutzgüter) maßgeblich reduziert. Betroffene Flächen im landwirtschaftlichen Bereich bleiben bestehen und im Wald-Bereich werden sogar neue Bereiche überflutet.

Tabelle 12: Betroffene Flächennutzungen vor und nach Maßnahmenumsetzung - HWS St. Ulricher Bach (Angaben in m²)

HWS St. Ulricher Bach	Modell (Ohne-Fall)			Modell (Mit-Fall)		
Landnutzung	**HQ30**	**HQ100**	**HQ300**	**HQ30**	**HQ100**	**HQ300**
Gebäudeflächen	2.027	2.404	2.515	225	237	386
Betriebsflächen	8.199	8.975	9.443	1.392	1.639	2.383
Bauland / Gärten	40.112	47.252	49.242	321	387	14.692
Verkehrsflächen	18.891	22.726	23.793	2.274	3.363	7.646
Siedlungsbezogene Nutzung	8.289	9.750	9.793	0	0	1.838
Landwirtschaftliche Flächen	320.898	374.661	391.433	135.026	184.761	250.844
Wald und Forst	0	0	0	508	1.103	2.151

5.3 Betroffene Bevölkerung

Die Ermittlung der direkt, potenziell betroffenen Bevölkerung (=Hauptwohnsitze + Nebenwohnsitze) ergibt für nahezu jedes ausgewertete Szenario höhere Werte als in den ursprünglichen Kosten-Nutzen-Untersuchungen ermittelt wurden. Insbesondere beim Fallbeispiel Ritzung werden hier große Abweichungen deutlich. Beim HQ30 liegen die ermittelten Werte um 106,7% höher als in den Vergleichsdaten, beim HQ100 um 66,3% und beim HQ300 um 59,7%. Für die Beispiele Gösselsdorfer Seebach und St. Ulricher Bach sind die Ergebnisse wesentlich robuster. Am Gösselsdorfer Seebach kommt es im Modell lediglich zu einer leichten Verschiebung der Betroffenheit, im Modell ist bereits bei einem HQ100 eine größere Anzahl an Personen betroffen. Am St. Ulricher Bach liegen alle Schwankungen innerhalb einer akzeptablen Bandbreite (max. 10,6% Abweichung beim HQ30).

Tabelle 13: Betroffene Bevölkerung - Gegenüberstellung Modell-Ergebnisse und Vergleichsdaten (Angaben in Personen)

	HQ30			HQ100			HQ300		
	Modell	VD	AW	Modell	VD	AW	Modell	VD	AW
Ritzing	124	60	106,7	153	92	66,3	198	124	59,7
Gösselsdorfer Seebach	54	50	8,0	101	80	26,3	107	95	12,6
St. Ulricher Bach	177	160	10,6	211	200	5,5	211	215	-1,9

VD = Vergleichsdaten; AW= Abweichung des Modellergebnisses von den Vergleichsdaten (in %)

Da in den Vergleichdaten keine Erfassungsmethode für die potenziell betroffenen Personen angegeben wurde, können keine Schlüsse gezogen werden, welche Aussagen treffsicherer sind. Ein Erklärungsansatz ist, dass eine durchschnittliche Haushaltsgröße pro Wohngebäude angenommen wurde, so kann es zu einer Unterschätzung kommen. Gleichzeitig ist nicht dokumentiert, ob in den Vergleichsdaten ebenso Nebenwohnsitzmeldungen berücksichtigt wurden. Blendet man die Angaben zu den Nebenwohnsitzen beispielweise im Fallbeispiel Ritzig im Modell aus, reduzieren sich die Abweichungen deutlich (beispielweise beim HQ30 auf 51,7%).

5.4 Schäden am Gebäudebestand

Wie in Kapitel 2.2.6 dargestellt, nehmen Schäden an Gebäuden sowohl in der Theorie als auch in der Bewertungspraxis den höchsten Stellenwert ein, da die monetären Schäden an Gebäuden im Hochwasserfall in der Regel vergleichsweise hoch und methodisch gut erforscht sind sowie nur geringe Abhängigkeiten zu anderen Schäden bestehen (wenige Kaskaden-Effekte). Aus diesem Grund ist es besonders bedeutend für die Kategorien Wohngebäude sowie Nicht-Wohngebäude bzw. öffentliche Gebäude verlässliche Datenquellen und Bewertungsmethoden zu identifizieren. Der verfolgte Analyseansatz betrachtet die Gebäudekategorien getrennt voneinander, da sie in der Schadensanalyse differenziert zu behandeln sind. Dazu wird zwischen Wohngebäuden, Nicht-Wohngebäuden und öffentlichen Gebäuden unterschieden. Für die Vergleichsrechnungen wurden die ökonomischen Annahmen (gemittelte S_{min}-Werte sowie B-Werte) aus den Vergleichsdaten übernommen.

5.4.1 Gebäudeschäden – HWS Ritzing

Beim Fallbeispiel HWS Ritzing wird – wie aus Tabelle 14 ersichtlich wird – ein sehr stimmiges Ergebnis (in Zusammenschau mit den Vergleichsdaten) erzielt. Insbesondere die ermittelten Schäden an Wohngebäuden weichen nur geringfügig voneinander ab (Ohne-Fall HQ30: -1,3%, HQ100: -2,2% und HQ300: -6,5%). Auch die Anzahl der betroffenen Gebäude sind zwischen Modell und Vergleichsdaten in vergleichbarer Höhe (Schwankungsbereich von ±10%). Dies liegt insbesondere an der guten Datenlage in Ritzing (betroffene Gebäude siehe Abbildung 8) und den geringen Zuordnungsfehlern zwischen DKM und GWRII (siehe dazu auch Abbildung 7).

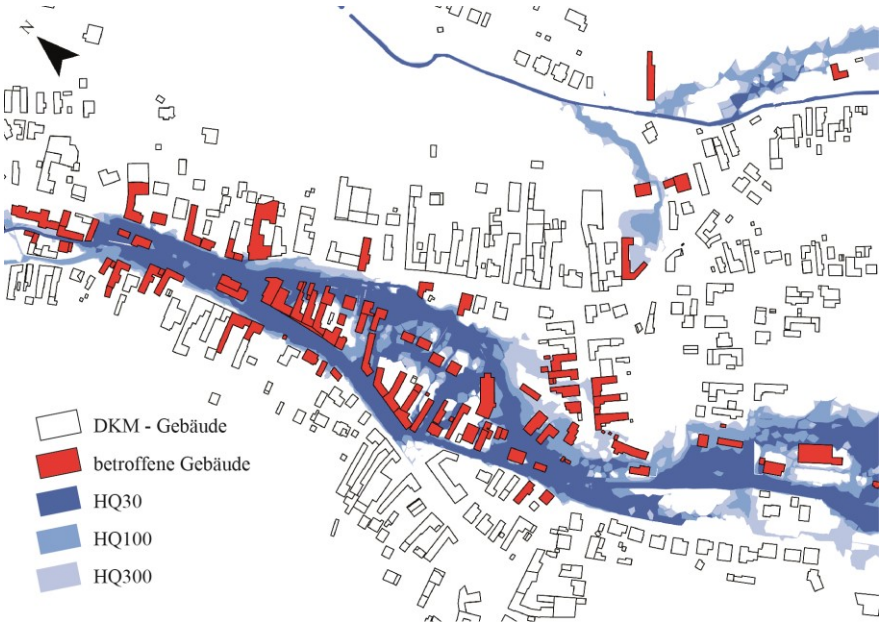


Abbildung 8: Betroffene Gebäude und Überflutungsflächen in Ritzing (Ohne-Fall)

Die Schäden an Nicht-Wohngebäuden werden durch das Modell etwas unterschätzt (Ohne-Fall HQ30: -6,5%, HQ100: -19,2% und HQ300: -8,9%). Im Untersuchungsgebiet sind dabei vier betroffene Nicht-Wohngebäude (Installateur, Bank, Beherbergungsbetrieb sowie ein Lebensmitteleinzelhändler) vorhanden. Diese wurden in der gutachterlichen Bearbeitung mit hohen, individuell festgelegten Anfangsschäden und wassertiefenabhängigen Schäden belegt. Beispielsweise aufgrund von Lagerräumen im Keller des Lebensmitteleinzelhändlers. Diese Details sind in den Input-Daten nur unzureichend erfasst und es wird aufgrund der Methodik nur mit gemittelten Anfangsschäden gerechnet.

Die öffentlichen Gebäude, die in Ritzing erfasst wurden, sind das Feuerwehrhaus sowie die Volksschule, wobei die Gebäude-Schäden in dieser Schadenskategorie von untergeordneter Bedeutung sind (hier besteht Handlungsbedarf aufgrund des erhöhten Personenrisikos bzw. der Bedeutung als kritischer Infrastruktur).

Tabelle 14: Schäden am Gebäudebestand (Angaben in €) Fallbeispiel Ritzing für den Ohne-Fall

Ritzing	HQ30			HQ100			HQ300		
	Modell	VD	AW	Modell	VD	AW	Modell	VD	AW
WGB	1.435.356	1.454.115	-1,3	2.046.702	2.092.177	-2,2	2.748.832	2.940.243	-6,5
NWG	588.636	629.275	-6,5	669.358	828.855	-19,2	810.256	889.682	-8,9
ÖG	26.732	25.000	6,9	32.657	36.000	-9,3	37.007	42.000	-11,9

VD=Vergleichsdaten, AW=Abweichung des Modellergebnisses von den Vergleichsdaten (in %), WGB=Wohngebäude, NWG=Nicht-Wohngebäude, ÖG=Öffentliche Gebäude

5.4.2 Gebäudeschäden – HWS Gösselsdorfer Seebach

Das Fallbeispiel Gösseldorfer Seebach zeigt wesentlich deutlichere Abweichungen zwischen Modell-Ergebnissen und Vergleichsdaten. Alle Ergebnisse sind in Tabelle 15 zusammengefasst. Insbesondere im Bereich der Wohngebäude kommt es zu wesentlich größeren Schadenswerten in der Modell-Bewertung. Insbesondere bei Ereignissen mit hoher Wahrscheinlichkeit ist die Differenz hoch (Ohne-Fall: HQ30: 108,9%, HQ100:42,3% und HQ300: 28,7%). Die großen Abweichungen sind dabei vor allem mit einem Parameter begründbar, der in der automatisierten Bewertung nicht abgebildet werden kann. In den Vergleichsdaten wird für jedes Gebäude die Höhe der ersten Fußbodenoberkante über dem Gelände (in m) erfasst. Um diesen Wert wird die Wassertiefe am Gebäude abgemindert. Im Fallbeispiel Gösselsdorfer Seebach sind diese Werte zum Teil sehr hoch (bis zu 2 Metern, durchschnittlich 36 cm), was auf hochgesetzte Eingänge in diese Gebäude spricht. Ein Beispiel stellt das Gebäude in Kühnsdorf im Überflutungsbereich des Gösseldorfer Seebaches, das in Abbildung 9 dargestellt ist. Diese Objekte werden – bis die Wassertiefe die angenommene Fußbodenoberkante erreicht – in den Vergleichsdaten nicht als gefährdet angenommen. Je geringer die Wahrscheinlichkeit des Szenarios ist, desto größer wird seine Intensität. Damit steigt auch die Wassertiefe an und der oben beschriebene Effekt wird zum HQ300 hin ausnivelliert.

Betrachtet man die Nicht-Wohngebäude kehrt sich die Art der Verzerrung um. Während die ermittelten Schadenssummen mit einer Abweichung von 3,0% bei HQ30 gering ausfallen, so steigt die Differenz bei HQ100 und HQ300 deutlich an und es kommt zu einer Unterschätzung des Modells. Betrachtet man die ermittelten Nicht-Wohngebäude im Detail so wird in der automatisierten Herangehensweise eine Anzahl von 26 Objekten ausgewiesen. Im Kontrast dazu enthalten die Vergleichsdaten in Summe 129 Objekte. Die Objekte in den Vergleichsdaten enthalten eine Vielzahl von Nebengebäuden, Garagen, Geräteschuppen und Pseudo-Bauwerke wie Glashäuser. Diese sind in den GWRII-Daten nur bedingt erfasst bzw. in vielen Fällen beim Hauptobjekt der Adresse mitberücksichtigt.



Abbildung 9: Beispiel für erhöhten Gebäudeeingang Gebäudes im Gefährdungsbereich (Quelle: Google Street View, 46°37'09.4"N 14°37'54.4"E)

Betrachtet man ausschließlich Nicht-Wohngebäude mit hochwertigen Nutzungen, wie die Betriebsgebäude der Campingplätze sowie die Nahversorger und Gasthäuser in den Ortsgebieten, sind die Aussagen treffsicherer, wobei auch die Limitationen der Aussagen, die mit den GWRII-Daten getroffen werden können, ersichtlich werden. Verdeutlich werden kann dies anhand von Abbildung 10, die einen Ausschnitt aus dem Gefährdungsbereich des Gösselsdorfer Seebachs im Bereich Feriendorf Rutar Lido zeigt. Das gesamte Feriendorf wird dabei in insgesamt sieben Einträgen im Gebäude- und Wohnungsregister abgebildet, gliedert sich aber alleine aufgrund der unterschiedlichen Betriebsgebäude (Hotel, Restaurant, Markt, Wachhaus, Lager, Garage, Werkstatt, u.Ä.) in sehr unterschiedliche Gebäudeanlagen. Hinzu kommen zahlreiche Mobil-Heime und Ferienunterbringungen, die weder im GWRII noch in der DKM in all ihren Details enthalten sind, aber in den Vergleichsdaten mit potenziellen Schäden versehen wurden.

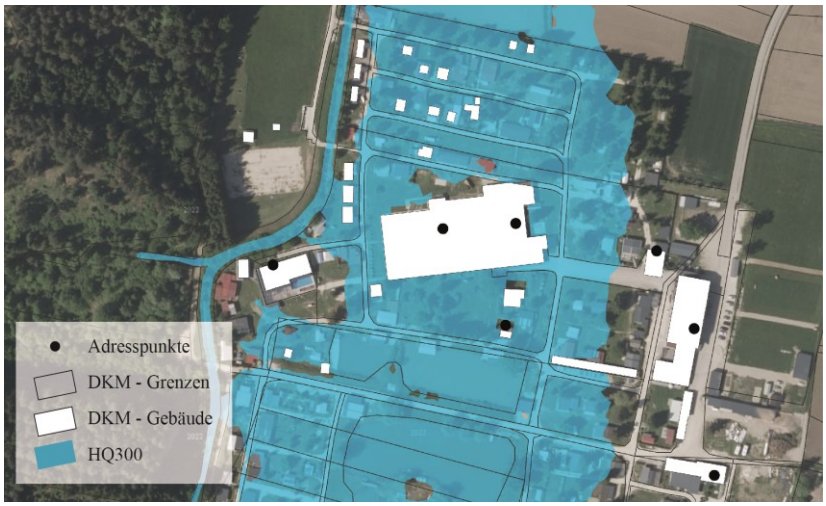


Abbildung 10: Überflutungsbild, Gebäude und Adresspunkte im Bereich Feriendorf Rutar Lido

Öffentliche Gebäude wurden in den Vergleichsdaten nicht erfasst. Im Modell ist ein öffentliches Gebäude betroffen, das einer Rettungsorganisation zugeordnet werden kann, jedoch relativ neu errichtet wurde und unter Umständen zum Zeitpunkt der Erstellung der Vergleichsdaten noch nicht errichtet war.

Tabelle 15: Schäden am Gebäudebestand (Angaben in €) Fallbeispiel Gösselsdorfer Seebach für den Ohne-Fall

Gösselsd.	**HQ30**			**HQ100**			**HQ300**		
	Modell	VD	AW	Modell	VD	AW	Modell	VD	AW
WGB	463.705	221.992	108,9	706.327	496.293	42,3	803.925	624.512	28,7
NWG	149.554	145.135	3,0	192.906	337.345	-42,8	215.207	573.449	-62,5
ÖG	0	0	0,0	0	0	0,0	12348	0	x

VD=Vergleichsdaten, AW=Abweichung des Modellergebnisses von den Vergleichsdaten (in %), WGB=Wohngebäude, NWG=Nicht-Wohngebäude, ÖG=Öffentliche Gebäude

5.4.3 Gebäudeschäden – HWS St. Ulricher Bach

Beim dritten Fallbeispiel, dem HWS St. Ulricher Bach, kommt es zu höheren Schäden im Bereich der Wohngebäude im Modell. Die Nicht-Wohngebäude liefern ein sehr ausgewogenes Bild. Die Ergebnisse im Detail werden aus Tabelle 16 ersichtlich.

Im Falle eines HQ30 im Ohne-Fall liegen die Modell-Ergebnisse für Schäden an Wohngebäuden um 26% über den Vergleichsdaten. Bei Szenarien mit geringeren Wahrscheinlichkeiten sinken die Abweichungen (HQ100: 15,9% und HQ300 17,6%), liegen jedoch dennoch deutlich über den Vergleichsdaten. Betrachtet man die Absolutzahl der betroffenen Objekte so sind in den Modell-Daten 73 Wohngebäude bei einem HQ300 (Ohne-Fall) als potenziell betroffen erfasst. In den Vergleichsdaten wurden für das gleiche Szenario 72 Wohngebäude als schadensrelevant erfasst. Die Anzahl der ermittelten Wohngebäude ist somit sehr ausgeglichen. Wie beim Fallbeispiel Gösselsdorf reduziert sich jedoch der Gebäudeschaden durch die angesetzten, höher liegenden Fußbodenoberkanten, die in den Vergleichsdaten angesetzt wurden (Maximalwert 70 cm, Mittelwert 26 cm), die den Schaden reduzieren. Hinzu kommen fünf Neubauten (Errichtungsjahre 2018 und 2019), bei denen unklar ist, ob diese in den Vergleichsdaten schon erfasst sind.

Betrachtet man die Schäden an Nicht-Wohngebäude kommt es nur zu geringen Abweichungen (Ohne-Fall: HQ30: -3,1%, HQ100: 1,3% und HQ300: -2,1%), auch wenn in den Vergleichsdaten deutlich mehr Nebengebäude (mit abgeminderten Schäden und daher kaum relevant für den Gesamtschaden) erfasst sind als im Modell-Ergebnis. Die entscheidenden Betriebe vor Ort (Gasthaus und Pension) sind in beiden Datensätzen enthalten.

Das Modell erfasst zwei betroffene öffentliche Gebäude: den Kindergarten und die Volksschule, wobei in den Vergleichsdaten wiederum kein öffentliches Gebäude erfasst ist.

Der Kindergarten wurde in den Vergleichsdaten zwar erfasst, jedoch als Nicht-Wohngebäude und ist somit einer abweichenden Kategorie zugeordnet. Die Volksschule ist nur randlich bzw. im Bereich eines Nebengebäudes von Hochwasser betroffen. Eine Nicht-Erfassung wäre in diesem Fall somit ebenfalls legitim.

Tabelle 16: Schäden am Gebäudebestand (Angaben in €) Fallbeispiel St. Ulricher Bach für den Ohne-Fall

St. Ulrich	HQ30			HQ100			HQ300		
	Modell	VD	AW	Modell	VD	AW	Modell	VD	AW
WGB	1.073.667	852.226	26,0	1.284.232	1.108.116	15,9	1.320.006	1.122.457	17,6
NWG	167.662	173.017	-3,1	183.181	180.845	1,3	188.901	192.999	-2,1
ÖG	22.497	0	x	28.717	0	x	28.717	0	x

VD=Vergleichsdaten, AW=Abweichung des Modellergebnisses von den Vergleichsdaten (in %), WGB=Wohngebäude, NWG=Nicht-Wohngebäude, ÖG=Öffentliche Gebäude

5.5 Wertschöpfungsverluste

Die Ermittlung der Wertschöpfungsverluste folgt aufgrund der bestehenden Daten-Defizite (siehe Abschnitt 4.3.2) einem pragmatischen Ansatz. Wie beschrieben werden die ermittelten Beschäftigten mit der gemittelten Wertschöpfung pro Person und Tag sowie den durchschnittlichen Ausfalltagen multipliziert. Als durchschnittlicher Wertschöpfungsverlust pro Tag wird für das burgenländische Beispiel (HWS Ritzing) ein Mittelwert von 299,0 € und für die beiden Beispiele aus Kärnten (HWS Gösselsdorfer Seebach und HWS St. Ulricher Bach) ein Mittelwert von 354,7 € angenommen. Dieser Referenzwert entstammt der aktuellen Methodik der KNU und wird im Sinne der Vergleichbarkeit übernommen. Ebenso aus den Vergleichsdaten übernommen wurden die Angaben zu den Ausfalltagen pro Szenario.

Tabelle 17 stellt die ermittelten Wertschöpfungsverluste für das Fallbeispiel Ritzing dar. Auffällig ist, dass die Anzahl der automatisiert ermittelten Beschäftigen (12 Beschäftigte bei allen Szenarien im Ohne-Fall) den Vergleichsdaten sehr gut entspricht (11 Beschäftigte bei allen Szenarien im Ohne-Fall). Die Wertschöpfungsverluste aus dem Modell weichen dennoch deutlich von den Vergleichsdaten ab (bspw. +48% bei HQ100), da die betroffenen Sektoren (insbesondere Sektor Handel betroffen), die in den Vergleichsdaten für die betroffenen Beschäftigten angegeben wurden, eine unterdurchschnittliche Wertschöpfung erzielen und somit unter dem Mittelwert liegen, die im Modell verwendet wurden.

Tabelle 17: Wertschöpfungsverluste (Ohne-Fall) - Fallbeispiel Ritzing

Ritzing	Modell			Vergleichsdaten	
	Beschäftigte	Gemittelte Ausfallstage	Wertschöpfungs-verlust (in €)	Beschäftigte	Wertschöpfungs-verlust (in €)
HQ30	12	1,25	4.485	11	2.771
HQ100	12	2,25	8.073	11	5.427
HQ300	12	3,25	11.661	11	8.083

Ähnliche Verzerrungen treten auch beim Fallbeispiel Gösselsdorfer Seebach auf (siehe Tabelle 18 für Details). Auch bei diesem Fallbeispiel bewegen sich die Abweichungen in den ermittelten Beschäftigten (außer HQ30) in einem akzeptablen Rahmen. Die Wertschöpfungsverluste liegen dennoch in den Modelldaten deutlich über den Vergleichsdaten, da in den Vergleichsdaten nahezu alle Beschäftigten im Bereich Beherbergung und Gastronomie (angenommener Wertschöpfungsverlust: 115 €/Tag) erfasst wurden.

Tabelle 18: Wertschöpfungsverluste (Ohne-Fall) - Fallbeispiel Gösselsdorfer Seebach

Gösselsd.	Modell			Vergleichsdaten	
	Beschäftigte	Gemittelte Ausfallstage	Wertschöpfungs-verlust (in €)	Beschäftigte	Wertschöpfungs-verlust (in €)
HQ30	15	12	63.846	8	16.159
HQ100	31	12	131.948	25	60.208
HQ300	31	12	131.948	31	81.286

Im Fallbeispiel St. Ulricher Bach kommt es schon bei der Anzahl der Beschäftigten zu signifikanten Abweichungen zwischen Modell und Vergleichsdaten (siehe Tabelle 19). Für alle Szenarien wurden im Modell lediglich drei Beschäftigte ermittelt, während in den Vergleichsdaten 15 Beschäftigte erfasst sind. Dementsprechend hoch sind auch die Unterschiede in den ermittelten Wertschöpfungsverlusten.

Tabelle 19: Wertschöpfungsverluste (Ohne-Fall) - Fallbeispiel St. Ulricher Bach

St. Ulrich.	Modell			Vergleichsdaten	
	Beschäftigte	Gemittelte Ausfallstage	Wertschöpfungs-verlust (in €)	Beschäftigte	Wertschöpfungs-verlust (in €)
HQ30	3	10	10.641	15	29.403
HQ100	3	12	12.769	15	35.284
HQ300	3	15	15.962	15	44.105

Vergleicht man die drei Beispiele untereinander fällt zudem eine große Streuung bei der Anzahl der angesetzten Ausfalltage auf. Während im Fallbeispiel Ritzing eine sehr kurze Ausfallsdauer angesetzt wurde, ist diese bei den anderen Beispielen deutlich länger.

5.6 Schäden an Verkehrsinfrastruktur

Da die Schadensermittlung für Verkehrsinfrastruktur umfangreiche Analysen beinhaltet, werden diese getrennt für Straßeninfrastruktur, Bahninfrastruktur und Brückenbauwerke dargestellt.

5.6.1 Verkehrsinfrastruktur – Straße

Basierend auf der Methodik der Kosten-Nutzen-Untersuchung sind einerseits Räumungs- und Reinigungskosten sowie andererseits Reparaturkosten für Straßen anzusetzen. Die Räumungskosten folgen einer flächenbezogenen Betrachtung, die Reparaturkosten einer längen-basierten Betrachtung, daher unterscheiden sich auch die Analyseansätze.

Räumungs- und Reinigungskosten für Straßen

Wie beschrieben beinhaltet die Methodik für die Schadensermittlung an Straßeninfrastrukturen eine Unterscheidung zwischen Reinigungskosten und Räumungskosten. In allen drei Fallbeispielen wurden aufgrund des Hochwasserprozesses Reinigungskosten angesetzt. Tabelle 20 fasst die ermittelten Reinigungskosten sowie deren Vergleichsdaten zusammen. Wie aus der Tabelle deutlich wird, liegen alle Schadenswerte bei den Fallbeispielen Gösselsdorfer Seebach und St. Ulricher Bach in einem Schwankungsbereich von ±10%. Diese Abweichung liegt in einem akzeptablen Schwankungsbereich. Kleinere Unterschiede bestehen in der Erfassung von Straßen mit privaten Eigentümern (beispielsweise der Straßen innerhalb des Campingplatz Areals), diese sind in der GIP nicht so detailliert erfasst. Zudem bestehen kleinere Verschiebungen zwischen den Straßenkategorien, so sind beispielsweise im Fallbeispiel Gösselsdorfer Seebach im Modell größere Flächenanteile den Landesstraßen zugeordnet und in den Vergleichsdaten den Gemeindestraßen. Aufgrund der identen angesetzten Schadenswerte wirken sich diese Verschiebungen jedoch nicht auf das Ergebnis aus.

Im Fallbeispiel Ritzing liefert das Modell-Ergebnis deutlich höhere Werte (Ohne-Fall: HQ30: +49,2%, HQ100: 62,5% und HQ300: 95,3%). Betrachtet man die Straßenkategorien, die in den Vergleichsdaten erfasst wurden, wird deutlich, dass nur Landesstraßen und Gemeindestraßen erfasst wurden. Das sonstige Wegenetz, das jedoch beispielsweise im Ohne-Fall HQ100 in den Modell-Ergebnissen 52,8% der Schäden beiträgt, wurde in den Vergleichsdaten nicht erfasst. Vergleicht man nur die Schadenssumme der anderen Straßenkategorien sind auch die Ergebnisse für Ritzing vergleichbar. Die fehlende Erfassung der sonstigen Straßen führt in jedem Fall zu einer Unterschätzung des Gesamtschadens.

Tabelle 20: Reinigungskosten (Angaben in €) für Straßeninfrastruktur im Vergleich (Ohne-Fall)

	HQ30			HQ100			HQ300		
	Modell	VD	AW	Modell	VD	AW	Modell	VD	AW
Ritzing	43.855	29.398	49,2	63.891	39.308	62,5	83.593	42.794	95,3
Gösselsdorfer Seebach	49.406	53.623	-7,9	67.162	63.965	5,0	75.532	71.429	5,7
St. Ulricher Bach	47.341	43.401	9,1	57.564	53.334	7,9	60.185	56.123	7,2

VD=Vergleichsdaten, AW=Abweichung des Modellergebnisses von den Vergleichsdaten (in %)

Reparaturkosten für Straßen

Während die Ermittlung der Räumungskosten, unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Perspektiven der Erfassung, sehr treffsicher ist, kommt es bei der Ermittlung der Reparaturkosten zu signifikanten Abweichungen. Dies liegt einerseits an der unterschiedlichen Methodik (siehe Abschnitt 4.3.4), andererseits an der Heterogenität in den Vergleichsdaten. Einfach verdeutlichen lässt sich dieses Problem an den erfassten Lauflängen der Straßensegmente, für die Reparaturkosten angesetzt wurden (siehe Tabelle 21). Im Fallbeispiel Ritzing wurden nur jene Segmente mit einem hohen Grad an Verletzlichkeit/Gefährdung erfasst, daher sind in den Vergleichsdaten nur jeweils zweistellige Laufmeteranzahlen für Reparaturkosten erfasst. Für diese wird zwar eine vergleichsweise hohe Vulnerabilität angesetzt (beispielweise bei einem HQ300: 0,7 – was nahezu einer vollkommenen Zerstörung entspricht), großräumigere Effekte bleiben jedoch unberücksichtigt. Im Modell wird die definierte Schadensfunktion (siehe Abschnitt 4.3.4) auf das gesamte Straßennetz angewandt. Diese Herangehensweise wurde nahezu ident auch beim Fallbeispiel Gösselsdorfer Seebach zur Anwendung gebracht, wobei die erfassten Lauflängen im Modell deutlich größer ausfallen. Im Fallbeispiel St. Ulricher Bach wurden keine Reparaturkosten für Straßen angesetzt.

Tabelle 21: Erfasste Straßensegmente (in lfm) (Ohne-Fall)

	HQ30		HQ100		HQ300	
	Modell	VD	Modell	VD	Modell	VD
Ritzing	1.717	25	2.344	55	3.033	70
Gösselsdorfer Seebach	2.257	1.855	3.090	2.299	3.488	2.044
St. Ulricher Bach	2.295	X	2.763	X	2903	X

VD=Vergleichsdaten

Berechnet man für die beschriebenen Lauflängen mit den jeweiligen Ansätzen den Gesamtschaden, so stellen sich die ermittelten Schäden wie in Tabelle 22 dar. Aufgrund der geringen erfassten Längen fallen die Schadenssummen im Fallbeispiel Ritzing in den Vergleichsdaten sehr gering aus. Das Fallbeispiel Gösselsdorfer Seebach ist dahingehend

aussagekräftigt, dass zwar die erfassten Längen im Modell (siehe Tabelle 21) zwar deutlich größer sind, die Schadenssumme jedoch deutlich unter den Vergleichsdaten (Ohne-Fall: HQ30: -19,7%, HQ100: -42,4, HQ300: -54,6) liegt. Die angenommene Verletzlichkeit in den Vergleichsdaten liegt somit signifikant über der verwendeten Schadensfunktion nach HUIZINGA et al. (2017). Im Fall des St. Ulricher Baches liegen keine Vergleichsdaten vor.

Tabelle 22: Ermittelte Reparaturkosten (Angaben in €) für Straßeninfrastruktur (Ohne-Fall)

	HQ30			HQ100			HQ300		
	Modell	VD	AW	Modell	VD	AW	Modell	VD	AW
Ritzing	38.322	4.837	692,3	82.657	17.737	366,0	114.885	31.605	263,5
Gösselsdorfer Seebach	69.702	86.824	-19,7	129.605	22.5129	-42,4	163.645	360.549	-54,6
St. Ulricher Bach	57.748	0	X	81578	0	X	97.858	0	X

VD=Vergleichsdaten, AW=Abweichung des Modellergebnisses von den Vergleichsdaten (in %)

5.6.2 Verkehrsinfrastruktur – Bahn

Hinsichtlich Bahninfrastrukturen führt nur durch das Untersuchungsgebiet des Fallbeispiels Gösselsdorfer Seebach aktuell eine Bahnlinie (zusätzlich ist dort die Koralmbahn im Bau). Diese Strecke, die in der GIP als Ergänzungsnetz ausgewiesen ist, verläuft jedoch auf einer hochliegenden Bahntrasse und es ist auch im HQ300-Fall von keiner Betroffenheit auszugehen. Das Modell gibt jedoch den Teil der Bahntrasse aus, der auf einer Brücke verläuft (aufgrund der ausgewiesenen Überflutungsfläche unter der Brücke). Diese Kosten werden nicht in die abschließende Wirtschaftlichkeitsbewertung einbezogen, da sie das Ergebnis verzerren würden. Exemplarisch soll jedoch der Analyse-Output angeführt werden. Tabelle 23 fasst dieses Ergebnis für das HQ30-Ereignis für den Ohne-Fall zusammen. Insgesamt sind fünf Meter der Bahnstrecke „betroffen“, woraus Reinigungs- und Reparaturkosten abgeleitet werden. Basierend auf den angesetzten Sperrtagen werden die Kosten ermittelt, die sich für die Sperre sowie andere Betriebseinschränkungen ergeben.

Tabelle 23: Schäden an Bahninfrastruktur - Fallbeispiel Gösselsdorfer Seebach

	HQ30					
	Reinigungs-kosten	Reparatur-kosten	Betroffene Laufmeter	Sperr-tage	Sperrkosten und Betriebseinschränkungen	Gesamt-kosten
Ergänzungs-netz	396	23.598	5	2	118.282	142.276

5.6.3 Schäden an Brückenbauwerken

Wie schon im Methodik-Teil beschrieben (siehe Abschnitt 4.3.4) ist die Aussagekraft der automatisierten Schadensbewertung für Brückenbauwerke limitiert, da die notwenigen Daten (Freibord, Bauweise, Brückenklasse, Brückenzustand) nicht als gesamtheitlicher Datensatz zur Verfügung stehen, um Schäden daraus abzuleiten. Ein Abgleich der basierend auf der GIP erfassten Brückenbauwerke und jener Bauwerke, die im Vergleichsdatensatz enthalten sind, gibt jedoch Auskunft über den Deckungsgrad zwischen GIP-Daten und den Vergleichsdaten.

In Ritzing sind in der GIP insgesamt neun Brücken enthalten, die als betroffen identifiziert werden konnten. Dies entspricht auch den Vergleichsdaten, die eine Schadensbewertung für insgesamt zehn Brücken beinhalten. Die identifizierten Brückenbauwerke sind ident mit den Modelldaten. Eine Hauseinfahrt ist in der GIP nicht enthalten. Am Gösselsdorfer Seebach enthält die GIP insgesamt sechs Brücken, die eine Überschneidung mit den Überflutungsflächen aufweisen. Die Vergleichsdaten beinhalten sieben Brücken und einen Steg. Der genannte Steg sowie eine Brücke innerhalb des Camping-Areals sind nicht in der GIP enthalten. Bei der Analyse für das Fallbeispiel HWS St. Ulricher Bach wurden in den Modelldaten keine Brückenbauwerke erfasst. Der Bach ist aktuell in großen Teilen des Siedlungsraumes unterirdisch verrohrt, daher sind nur wenige relevante Brückenbauwerke im Untersuchungsraum vorhanden. Eine bestehende Brücke liegt im Randbereich in der Überflutungsfläche und wird daher vom Modell ausgegeben. Die ermittelten Schäden an diesem Bauwerk spielen jedoch nur eine untergeordnete Rolle.

Die Identifikation der Brücken mit dem GIP-Subdatensatz Brunnel ist somit grundsätzlich als verlässlich einzustufen. Eine automatisierte Schadensbewertung weicht jedoch wesentlich von den Vergleichsdaten ab, da für die Schadensbewertung entscheidende Parameter nicht datentechnisch abgebildet sind. Tabelle 24 stellt die Modell-Ergebnisse und die Vergleichsdaten gegenüber und zeigt die großen Abweichungen auf, wobei Abweichungen sowohl in die positive als auch in negative Richtung auftreten. Eine Veränderung der angesetzten pragmatischen Vulnerabilitätsabschätzung (siehe Abschnitt 4.3.2) würde das Resultat nicht generell verbessern, sondern das Ergebnis nur auf gewisse Fallbeispiele eichen.

Tabelle 24: Ermittelte Schäden (Angaben in €) an Brückenbauwerken (Ohne-Fall)

	HQ30			**HQ100**			**HQ300**		
	Modell	VD	AW	Modell	VD	AW	Modell	VD	AW
Ritzing	257.345	110.987	131,9	291.966	355.618	-17,9	341.634	446.239	-23,4
Gösselsdorfer Seebach	356.373	130.439	173,2	478.627	168.197	184,6	572.760	205.956	178,1
St. Ulricher Bach	1.171	0	X	1.352	0	X	1.393	0	X

VD=Vergleichsdaten, AW=Abweichung des Modellergebnisses von den Vergleichsdaten (in %)

5.7 Schäden in der Landwirtschaft

Schäden in der Landwirtschaft treten in allen drei Untersuchungsgebieten auf. Diese stellen auf der einen Seite entscheidende Retentionsräume dar, da sie durch den Rückhalt von Wasser die Schäden insbesondere in Siedlungsbereichen reduzieren, können jedoch – je nach Überflutungszeitpunkt – ebenfalls signifikante Schäden durch Hochwasser verzeichnen. Eine Gegenüberstellung der modellhaft ermittelten Schäden und den Vergleichsdaten wird aus Tabelle 25 ersichtlich.

Tabelle 25: Schäden (Angaben in €) in Land- und Forstwirtschaft (Ohne-Fall)

	HQ30			HQ100			HQ300		
	Modell	VD	AW	Modell	VD	AW	Modell	VD	AW
Ritzing	19.127	24.401	-22	36.470	41.554	-12	49.978	45.608	-10
Gösselsdorfer Seebach	81.368	28.200	189	149.196	36.386	310	165.817	38.966	326
St. Ulricher Bach	46.030	19.012	142	53.011	24.846	113	55.472	26.679	108

VD=Vergleichsdaten, AW=Abweichung des Modellergebnisses von den Vergleichsdaten (in %)

Beim Fallbeispiel Ritzing weist das Modell große Flächen mit landwirtschaftlicher Intensivnutzung (Ohne-Fall: HQ30: 9 ha, HQ100: 18 ha, HQ300: 25 ha) als betroffen aus. Drüber hinaus erfasst das Modell kleinere Flächen (rund 1 ha) Grünland. In den Vergleichsdaten werden alle enthaltenen landwirtschaftlichen Flächen (Ohne-Fall: HQ30: 13 ha, HQ100: 22 ha und HQ300: 24 ha) als landwirtschaftliche Nutzflächen (Ackerland) eingestuft, Grünland wird für das Untersuchungsgebiet in den Vergleichsdaten nicht angegeben. Die Abweichungen im Fallbeispiel Ritzing entstehen somit primär durch die abweichenden Flächensummen (beispielweise ist die angegebene betroffene landwirtschaftliche Nutzfläche in den Vergleichsdaten deutlich größer) und die vorliegenden betroffenen Kategorien sind durchaus vergleichbar.

Das Fallbeispiel Gösselsdorfer Seebach zeigt im Modell einen bedeutenden Anteil an landwirtschaftlicher Nutzfläche (rund 80% der Gesamtfläche der INVEKOS-Flächen, die im Untersuchungsgebiet erfasst sind) und Grünland-Nutzungen (Ohne-Fall: HQ30: 54 ha, HQ100: 100 ha, HQ300: 111 ha). In den Vergleichsdaten werden im Vergleich dazu ausschließlich Grünlandnutzungen erfasst (Ohne-Fall: HQ 30: 25 ha, HQ100: 32 ha, HQ300: 34 ha). Somit ist die Flächensumme in den Vergleichsdaten deutlich kleiner als in den Modell-Ergebnissen. Zusätzlich sind die Flächen in den Vergleichsdaten in einer Kategorie mit einem geringen Schadenswert erfasst. Dadurch liegen die abgeschätzten Schadenswerte im Modell deutlich über jenen der Vergleichsdaten.

Auch die Ergebnisse für das Fallbeispiel St. Ulricher Bach weisen für die Schäden im Bereich der Landwirtschaft deutliche Abweichungen zwischen Modell-Ergebnissen und Vergleichsdaten auf. Das Modell-Ergebnis gibt einen hohen Anteil für landwirtschaftliche Nutzflächen (rund 75%), Grünland-Flächen und auch kleinere Flächen Sonderkulturen (nur

rund 0,1 ha, Weinreben im Ortsgebiet) aus. Diese Verteilung wird auch aus Abbildung 11 ersichtlich, wobei auch ein Abgleich mit aktuellen Orthofotos erfolgte. Die meisten Nutzungsformen sind dabei eindeutig zuordenbar. Die erfassten landwirtschaftlichen Flächen haben dabei im Modell ein Gesamtausmaß von 30 ha bei HQ30, 34 ha bei HQ100 und 36 ha bei HQ300. In den Vergleichsdaten sind wiederum alle landwirtschaftlichen Flächen ausschließlich als Grünland (Ohne-Fall: HQ30: 13 ha, HQ100: 18 ha, HQ300: 19 ha) erfasst. Es kommt somit zu ähnlichen Verzerrungen wie beim Fallbeispiel Gösselsdorfer Seebach und die ermittelte Schadenssumme basierend auf dem Modell liegt deutlich über den Vergleichsdaten.



Abbildung 11: Landwirtschaftliche Nutzflächen innerhalb der HQ300-Überflutungsfläche (Ohne-Fall) - Fallbeispiel St. Ulricher Bach

5.8 Schäden an Sonstigen Flächennutzungen

Auch wenn Schäden an Sonstigen Flächennutzungen nur einen untergeordneten Beitrag zum Gesamtschaden leisten (beispielsweise 3% im Fall des HWS Ritzing), zeigen insbesondere die Ergebnisse für diese Schadenskategorie den Bedarf für Homogenisierung hinsichtlich der Eingangsdaten auf. Nachdem bei jedem Fallbeispiel unterschiedliche Flächennutzungen ausschlaggebend sind (bzw. je einige Kategorien gar nicht vorkommen), werden die Ergebnisse primär textlich beschrieben. Abweichungen in den erfassten Flächennutzungen wurden zudem mit aktuellen Orthofotos abgeglichen.

Beim Fallbeispiel HWS Ritzing gibt das Modell für Sonstige Flächennutzungen lediglich Flächen für die Kategorie Gärten- und Grünflächen (Ohne Fall: HQ30: 2,9 ha, HQ100: 3,8 ha, HQ300: 5,9 ha) aus. Diese Flächensummen liegen zudem deutlich über den in den Modelldaten erfassten Flächensummen (Bei HQ30: 83,6%, bei HQ100: 99,0% und bei

HQ300: 191,6%). In den Vergleichsdaten wurden jedoch im Gegenzug große Flächen in der Kategorie Sport- und Freizeitflächen (Ohne-Fall: HQ30: 0,8 ha, HQ100: 4,2 ha und HQ300: 10,2 ha) erfasst, die im Modell nicht aufscheinen. Das führt, aufgrund des fast doppelt so hoch angesetzten Einheitsschadens, zu einer maßgeblichen Differenz im Gesamtschaden für Sonstige Flächennutzungen beim Fallbeispiel HWS Ritzing. Abbildung 12 gibt einen Überblick über das bewertete Gebiet und die betroffenen Flächen, wobei jene Flächen, die basierend auf dem Modell als Grün- oder Gartenflächen ausgewiesen wurden, zusätzlich hervorgehoben sind. Im Orthofoto sind diese eindeutig als Grünflächen erkennbar. Sport- und Freizeitflächen werden im gesamten hochwassergefährdeten Gebiet nicht augenscheinlich.

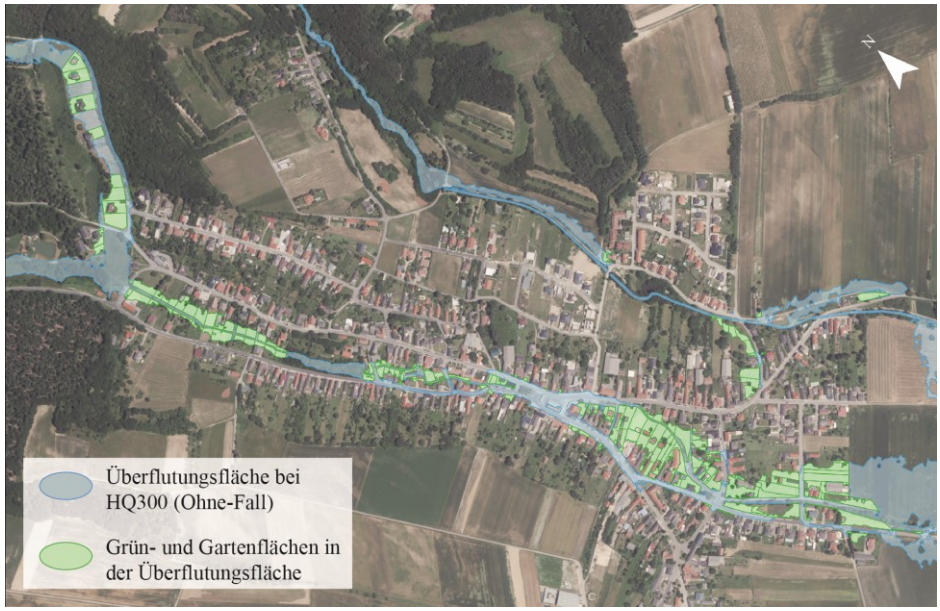


Abbildung 12: Sonstige Flächennutzungen innerhalb der HQ300-Überflutungsfläche (Ohne-Fall) – Fallbeispiel HWS Ritzing

Beim Fallbeispiel HWS Gösselsdorfer Seebach wurden in der ursprünglichen Kosten-Nutzen-Untersuchung ausschließlich Campingplatz-Flächen erfasst. Diese sind ebenfalls in den Modelldaten enthalten, wobei die Flächenbilanzen im Ohne-Fall maßgeblich voneinander abweichen (HQ30: erfasste Fläche im Modell um 34,4% größer, HQ100: Modell-Fläche um -0,4% kleiner, HQ300: Modellfläche um 39,9% kleiner). Das Modell weist darüber hinaus auch maßgebliche Gärten- und Grünflächen (Ohne-Fall: HQ30: 2,4 ha, HQ100: 4,6 ha und HQ300: 5,3 ha) aus. Flächen der entsprechenden Kategorie wurden in den Vergleichsdaten nicht erfasst. Im Ohne-Fall ist ab einem HQ300 auch ein Sportplatz-Areal mit mehreren Tennis-Plätzen betroffen, das in den Vergleichsdaten nicht abgebildet ist, im Modell jedoch treffsicher ausgewiesen wird. Das betroffene Sport-Areal wird aus Abbildung 13 ersichtlich und ist attributiv im Digitalen Landschaftsmodell detailliert erfasst.



Abbildung 13: Überflutungsflächen Gösselsdorfer Seebach bei HQ300 (Ohne-Fall) mit betroffenem Sportareal

Beim Fallbeispiel HWS St. Ulricher Bach wurde in den Vergleichsdaten nur die betroffene Friedhofsfläche erfasst. Diese ist auch in der automatisierten Auswertung beinhaltet. Die Flächensummen der Friedhofsflächen sind dabei absolut vergleichbar und weichen bei allen Szenarien nur um rund 10% voneinander ab. Wie auch beim Fallbeispiel HWS Gösselsdorfer Seebach wurden am St. Ulricher Bach keine Grün- oder Gartenflächen in den Vergleichsdaten erfasst. Das Modell weist diese Flächen basierend auf dem Input aus den Flächennutzungen aus der Digitalen Katastralmappe aus, wodurch es zu maßgeblichen Abweichungen insbesondere in der Schadensbilanz für die Sonstigen Flächennutzungen bei diesem Fallbeispiel kommt.

Die Schadenssummen für den Ohne-Fall für alle Fallbeispiel sind in Tabelle 26 zusammengefasst. Beim Fallbeispiel HWS Ritzing führt das Modell zu einer geringen Schadenssumme für HQ100 und HQ300, da in den Vergleichsdaten, wie beschrieben, große Flächenanteile einer Kategorie mit einem höheren Einheitsschaden zugeordnet wurden. Bei den beiden anderen Fallbeispielen liegen die ermittelten Schadenssummen (insb. beim HWS St. Ulricher Bach), aufgrund der fehlenden Erfassung von Grünflächen in den Vergleichsdaten, deutlich höher.

Tabelle 26: Schadenssummen (Angaben in €) an Sonstigen Flächennutzungen (Ohne-Fall) im Vergleich

	HQ30			HQ100			HQ300		
	Modell	VD	AW	Modell	VD	AW	Modell	VD	AW
HWS Ritzing	29.255	24.641	19	38.263	61.468	-38	58.904	123.280	-52
HWS Gösselsdorfer Seebach	263.548	76.391	245	34.6514	127.674	171	397.036	224.218	77
HWS St. Ulricher Bach	51.947	3.359	1.447	60.607	3.498	1.633	63.018	3.521	1.690

VD = Vergleichsdaten; AW= Abweichung des Modellergebnisses von den Vergleichsdaten (in %)

5.9 Wirtschaftlichkeitsbewertung / Zusammenführung

Im letzten Schritt werden die Ergebnisse in Form einer Wirtschaftlichkeitsbewertung zusammengeführt, wobei entscheidend ist, dass die Methodik an der aktuellen KNU-Methodik ausgerichtet ist, um die Vergleichbarkeit zu wahren. Zunächst wird aus allen Schadenssummen ein Gesamtschaden berechnet. Diese Zusammenfassungen sind in den Tabelle 27, Tabelle 28 und Tabelle 29 dargestellt.

Tabelle 27: Gesamtschaden (Angaben in €) HWS Ritzing (Ohne-Fall)

Ritzing	**Modell**			**Vergleichsdaten**		
	HQ30	HQ100	HQ300	HQ30	HQ100	HQ300
Wohngebäude	1.435.356	2.046.702	2.748.832	1.454.115	2.092.177	2.940.243
Nicht-Wohngebäude	588.636	669.358	810.256	629.275	828.855	889.682
Öffentliche Gebäude	26.732	32.657	37.007	25.000	36.000	42.000
Wertschöpfungsverluste	4.485	8.073	11.661	2.771	5.427	8.082
Straßenschäden	82.177	146.548	198.478	34.236	57.046	74.400
Brückenbauwerke	257.345	291.966	341.634	110.988	355.618	446.239
Sonstige Infrastrukturschäden	0	0	0	22.093	45.472	62.065
Wasserbauliche Anlagen	0	0	0	17.550	23.400	28.910
Landwirtschaft	19.127	36.470	49.978	24.401	41.554	45.608
Sonstige Flächennutzungen	29.255	38.263	58.904	24.641	61.468	123.280
Fremdenverkehr	0	0	0	0	0	0
Gesamtschaden	**2.443.113**	**3.270.037**	**4.256.750**	**2.345.070**	**3.547.017**	**4.660.509**

Tabelle 28: Gesamtschaden (Angaben in €) Gösselsdorfer Seebach (Ohne-Fall)

Gösselsdorfer Seebach	Modell			Vergleichsdaten		
	HQ30	HQ100	HQ300	HQ30	HQ100	HQ300
Wohngebäude	463.705	706.327	803.925	221.992	496.293	624.512
Nicht-Wohngebäude	149.554	192.906	215.207	145.135	337.345	573.449
Öffentliche Gebäude	0	0	12.348	0	0	0
Wertschöpfungsverluste	63.846	131.948	131.948	16.159	60.208	81.286
Straßenschäden	119.108	196.767	239.177	140.448	289.094	431.978
Brückenbauwerke	356.373	478.627	572.760	130.439	168.198	205.957
Sonstige Infrastrukturschäden	0	0	0	0	0	0
Wasserbauliche Anlagen	0	0	0	0	0	0
Landwirtschaft	81.368	149.196	165.817	28.200	36.386	38.966
Sonstige Flächennutzungen	263.548	346.514	397.036	76.391	127.674	224.218
Fremdenverkehr	0	0	0	1.646	2.469	3.292
Gesamtschaden	**1.497.502**	**2.202.285**	**2.538.218**	**760.410**	**1.517.666**	**2.183.658**

Tabelle 29: Gesamtschaden (Angaben in €) St. Ulricher Bach (Ohne-Fall)

St.Ulrich	Modell			Vergleichsdaten		
	HQ30	HQ100	HQ300	HQ30	HQ100	HQ300
Wohngebäude	1.073.667	1.284.232	1.320.006	852.226	1.108.116	1.122.457
Nicht-Wohngebäude	167.662	183.181	188.901	173.017	180.845	192.999
Öffentliche Gebäude	22.497	28.717	28.717	0	0	0
Wertschöpfungsverluste	10.641	12.769	15.962	29.403	35.284	44.105
Straßenschäden	105.089	139.142	158.043	43.402	53.335	56.124
Brückenbauwerke	1.171	1.352	1.393	0	0	0
Sonstige Infrastrukturschäden	0	0	0	0	0	0
Wasserbauliche Anlagen	0	0	0	0	0	0
Landwirtschaft	46.030	53.011	55.472	19.012	24.846	26.679
Sonstige Flächennutzungen	51.947	60.607	63.018	3.359	3.498	3.521
Fremdenverkehr	0	0	0	0	0	0
Gesamtschaden	**1.478.704**	**1.763.011**	**1.831.512**	**1.120.418**	**1.405.923**	**1.445.885**

Aus den angeführten Schadenstabellen wird ersichtlich, dass in den Modellergebnissen keine Ergebnisse für sonstige Infrastrukturschäden (Leitungskataster, geparkte Autos), wasserbauliche Anlagen und Fremdenverkehr enthalten sind. Für diese Aussagen liegen keine Basisdaten vor, daher können diese auch nicht bewertet werden. Diese Kostenkategorien leisten jedoch nur einen sehr überschaubaren Beitrag zu den Gesamtschäden und haben damit nur beschränkten Einfluss auf das Gesamtergebnis.

Aus der Gesamtschadenssumme für den Ohne-Fall sowie auch für den Mit-Fall wurde in weiterer Folge ein jährlicher Schadenserwartungswert (€/Jahr) berechnet. Diese Berechnung basiert grundsätzlich auf der Methodik, die in Abschnitt 3.2.3 dargestellt sind. Eine entscheidende Variable, die bis zu diesem Zeitpunkt der Analyse noch keine Rolle gespielt hat, ist der sogenannte Ausuferungsbeginn. Jenes Ereignis, bis zu dem keine Schäden auftreten. Der Ausuferungsbeginn ist in den Fallbeispielen unterschiedlich definiert und wird aus den Vergleichsdaten übernommen. In Ritzing wird eine Ausuferung ab dem HQ12, am Gösselsdorfer Seebach eine Ausuferung ab dem HQ1 und am St. Ulricher Bach eine Ausuferung ab dem HQ5 angenommen.

In der bisherigen KNU ist eine pragmatische Vereinfachung zur Anwendung gekommen. Der Mit-Fall wurde dabei nicht eigenständig mit seinen Schäden beurteilt, es wurde lediglich der Schadenswert für HQ30 und H100 auf Null gesetzt und der HQ300-Schadenswert wurde

für den Mit-Fall übernommen. Für die modellhaft durchgeführten Analysen wurden, wie auch in der Methodik beschrieben, alle Szenarien des Mit-Falles nach der gleichen Methodik wie der Ohne-Fall bearbeitet und bewertet. Daher kommt es auch in den Restrisiko-Werten zu Abweichungen. Alle zusammengefassten jährlichen Schadenserwartungswerte sowie die Werte aus den Vergleichsdaten werden aus Tabelle 30 ersichtlich.

Tabelle 30: Schadenserwartungswerte der Fallbeispiele, Modell-Ergebnisse und Vergleichsdaten (Angaben in €/a)

	Modell			**Vergleichsdaten**		
	Ohne-Fall	Mit-Fall	Reduktion	Ohne-Fall	Mit-Fall	Reduktion
HWS Ritzing	167.010	32.138	134.871	170.261	42.893	127.368
HWS Gösselsdorfer Seebach	791.219	206.259	584.960	413.726	19.617	394.109
HWS St. Ulricher Bach	179.132	6.535	172.598	137.168	14.326	122.842

Die Werte der Schadensreduktion (€/a) sind die entscheidende Eingangsgröße für die abschließende Ermittlung des Nutzen-Kosten-Verhältnisses. In einem ersten Schritt wird aus den Werten der Schadensreduktion der Projektnutzenbarwert errechnet. Dazu wird die Lebensdauer der Projekte (in der Regel 80 Jahre) verwendet, um den monetären Nutzen der Maßnahme zu diskontieren. Nach den gültigen Richtlinien wird dazu ein kalkulatorischer Zinssatz von 3,5% angenommen. Aus einer Abzinsungsreihe kann ein Diskontierungsfaktor ermittelt werden. Dieser liegt bei einer Lebensdauer von 80 Jahren und einem Zinssatz von 3,5% bei 26,7. Das Produkt aus jährlichem Schadensreduktionswert (aus Tabelle 30) und dem Diskontierungsfaktor ergibt den Projektnutzenbarwert. Der Projektkostenbarwert wurde aus den Vergleichsdaten übernommen. Die Differenz aus Projektnutzenbarwert und Projektkostenbarwert ergibt den Kapitalwert einer Maßnahme, die in Summe den monetären, gesamtgesellschaftlichen Vorteil einer Maßnahme ausdrückt. Um eine Vergleichbarkeit über unterschiedliche Maßnahmen herzustellen, wird zudem das Nutzen-Kosten-Verhältnis ermittelt. Das Endergebnis dieser Analysen wird aus Tabelle 31 ersichtlich.

Tabelle 31: Projektkostenbarwert Projektnutzenbarwert, Kapitalwert und Nutzen-Kosten-Verhältnis im Vergleich

	Projekt-kosten-barwert (€)	Projektnutzenbarwert (€)		Kapitalwert (€)		Nutzen-Kosten-Verhältnis	
		Modell	VD	Modell	VD	Modell	VD
HWS Ritzing	2.429.842	3.607661	3.406.932	1.177.819	977.090	1,48	1,40
HWS Gösselsdorfer Seebach	4.713.126	1.558.5181	10541938	10.872.056	5.828.812	3,31	2,24
HWS St. Ulricher Bach	4.659.851	4.611.760	3285878	-48.091	-1.373.973	0,99	0,71

VD = Vergleichsdaten

Wie aufgrund der vorhergehenden Kapitel zu erwarten war, liegt das Modell-Endergebnis für das Fallbeispiel Ritzing sehr nahe an dem Ergebnis aus den Vergleichsdaten. Mit einem NKV von 1,48 im Modell und einem Wert von 1,40 in den Vergleichsdaten liegen die Ergebniswerte sehr nahe aneinander. Stärker ist die Abweichung bei den anderen beiden Fallbeispielen. Die modellhafte Bewertung des Fallbeispiels Gösselsdorfer Seebach fällt deutlich positiver aus als in den Vergleichsdaten (3,31 im Modell; 2,24 in den Vergleichsdaten), wobei bei beiden Analysen von einem sehr hohen monetären gesellschaftlichen Nutzen der Maßnahme ausgegangen werden kann. Das Fallbeispiel St. Ulricher Bach ist ausgehend von den Vergleichsdaten das einzige Fallbeispiel mit einer Gesamtbewertung unter Eins hinsichtlich des NKVs (wert von 0,71). Der Wert der modellhaften Analyse liegt zwar deutlich höher, doch dennoch knapp unter dem Grenzwert von Eins (Modell-Ergebnis von 0,99).

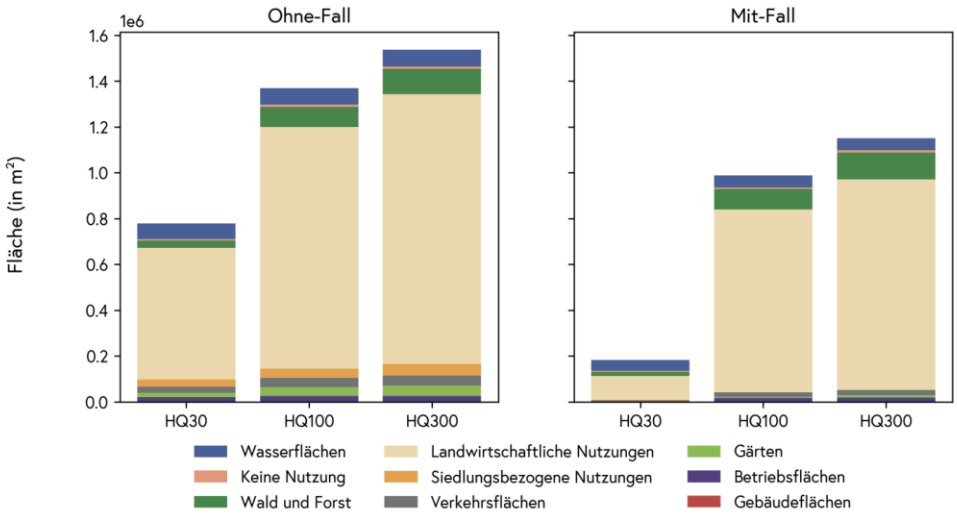
5.10 Darstellung der Ergebnisse

Durch die Erstellung von Factsheets zu den einzelnen Schutzgütern ist eine andere Kommunikation der Ergebnisse möglich, da diese leichter verständlich sind und auch leichter zugänglich als eine reine Excel-Tabelle. Abbildung 14 verdeutlicht das am Beispiel des Factsheets für betroffene Flächennutzungen. So kann beispielsweise bei linearen Schutzmaßnahmen schnell aufgezeigt werden, dass sich nicht nur die Flächen der betroffenen hochwertigen Nutzungen verringern, sondern auch potenzielle Retentionsräume ausgeschaltet werden. Diese können grundsätzlich für jede der Analysen erzeugt werden, da diese je ein standardisiertes Endergebnis aufweisen. Die Ergebnistabellen können über Python-Skripts schnell in standardisierte Factsheets umgewandelt werden.

Flächennutzungen nach Szenarien

Bundesministerium
Landwirtschaft, Regionen
und Tourismus

Nutzungen der überfluteten Flächen



Betroffene Flächen nach aktuellem Stand (Ohne-Fall, in m²)

Kategorie	HQ30	HQ100	HQ300
Gebaeudeflaechen	1165	1940	2089
Betriebsflaechen	18764	23270	24468
Garten	20168	38980	44304
Verkehrsflaechen	26221	39535	44823
Siedlungsbezogene Nutzung	31534	41748	49668
Landwirtschaftliche Flaechen	573688	1054092	1177000
Wald und Forst	32410	88335	110336
keine Nutzung	7547	10070	11509
Wasserflaeche	67124	70839	72941

Betroffene Flächen mit Schutzmassnahmen (Mit-Fall, in m²)

Kategorie	HQ30	HQ100	HQ300
Gebaeudeflaechen	18	63	179
Betriebsflaechen	691	17203	18383
Garten	280	5387	10128
Verkehrsflaechen	6371	18302	23119
Siedlungsbezogene Nutzung	550	760	1129
Landwirtschaftliche Flaechen	104469	797525	918389
Wald und Forst	18817	90444	117396
keine Nutzung	5552	6824	9658
Wasserflaeche	46772	51266	53227

KWA Seebach

Abbildung 14: Visuelle Aufbereitung der Ergebnisse am Beispiel des Factsheets für betroffene Flächennutzungen

6 Diskussion und Handlungsempfehlungen

Da Mittel für den Schutz vor Hochwasser oder allgemein Naturgefahren nicht unbegrenzt sind, liefern Wirtschaftlichkeitsbewertungen eine entscheidende Möglichkeit zur Abschätzung der Wirkung von Investitionen in Schutzinfrastruktur. So kann die Treffsicherheit von Investitionen erhöht werden, wenn öffentliche Mittel in wirtschaftlich und gesamtgesellschaftlich positive Projekte fließen. Essenziell ist dabei die Verwendung einer homogenen sowie einer vergleichbaren Methodik. Die vorliegende Arbeit stellt dafür einen Ansatz vor, wie österreichweit verfügbare Geodaten genutzt werden können, um Wirtschaftlichkeitsbewertungen im Hochwasserrisikomanagement treffsicherer zu gestalten.

6.1 Input-Daten und bestehende Datenlücken

Die erste Auseinandersetzung mit dem Thema und die grundlegenden Möglichkeiten einer Automatisierung sind stark abhängig von den verfügbaren Daten, ihrer Qualität sowie ihrer Aktualität. Die ersten Arbeitsschritte der Arbeit waren daher insbesondere von der folgenden Forschungsfrage geleitet:

> *Welche flächendeckend für Österreich verfügbaren Datenquellen eignen sich für die standardisierte Einbettung in eine automatisierte, GIS-basierte Wirtschaftlichkeitsbewertung von Maßnahmen des Hochwasserrisikomanagements?*

Dazu konnten für die unterschiedlichen Schadenskategorien unterschiedliche Basisdaten identifiziert und hinsichtlich ihrer Nutzung erprobt werden. Aufgrund des hohen Schadenanteils des Gebäudebestandes an den Gesamtschäden bei Auftreten eines Hochwasser-Ereignisses ist diese Schadenskategorie besonders entscheidend. Durch die Verschneidung der unterschiedlichen verfügbaren Gebäude-Datensätze (DKM, DLM, OSM) und deren Verschneidung mit dem punktuell verorteten Gebäude- und Wohnungsregister (GWRII) konnte ein Datensatz generiert werden, der einerseits die notwendige räumliche Abgrenzung (parzellenscharfe Gebäude) wie auch die notwendigen Attribute (u.a. Gebäudekategorie) aufweist. Insbesondere die Kombination von Digitaler Katastralmappe und GWRII liefert eine gute Grundlage für die durchgeführten Analysen. Es handelt sich dabei um abgesicherte, amtliche Datenquellen mit einer einheitlichen Methodik in allen Regionen Österreichs, die mittels nachvollziehbarer Dokumentation beschrieben sind. So können durch die Auswahl des Datensatzes Benachteiligungen einzelner Regionen (beispielsweise Gebiete, in denen OSM-Daten lückig sind) ausgeschlossen werden, was hinsichtlich der Wirkung der Wirtschaftlichkeitsbewertungen als Finanzierungsvoraussetzung entscheidend ist. Die verwendete Kombination ist insbesondere bei Wohngebäuden treffsicher, bei Nicht-Wohngebäuden kann es zu Verzerrungen kommen, da oftmals ganze Areale nur durch einen einzelnen Adresspunkt repräsentiert sind, aber zahlreiche Gebäude umfassen (wie auch am Beispiel Feriendorf Rutar Lido beim Fallbeispiel Gösselsdorfer Seebach aufgezeigt werden konnte).

Informationen, auf die in der aktuellen Methodik der Kosten-Nutzen-Untersuchung zurückgegriffen wird und die in den GWRII-Daten nicht enthalten sind, betreffen die Höhe der ersten Fußbodenoberkante über dem Gelände (in m). Diese wird aktuell verwendet, um hochwasserangepasstes Bauen abzubilden. Im Rahmen von Hochwasser-Ereignissen wird jedoch immer wieder deutlich, dass strukturelle Schäden je nach Bautyp und Material auch auftreten, wenn Gebäude nur eingestaut sind, ohne dass Wasser ins Gebäude eindringt. Dies betrifft vor allem Fertigteilhäuser mit Holzkonstruktionen bei längerem Wasserstand direkt am Gebäude. Diese Aussage ist daher vernachlässigbar, führt jedoch bei den Fallbeispielen (insbesondere am Gösselsdorfer Seebach) zu abweichenden Aussagen bezüglich des Gesamtschadens.

Auch die anderen Schadenskategorien konnten mit guten Datenquellen nachgeführt werden. Im Verkehrsbereich ist dabei insbesondere die Graphenintegrationsplattform (GIP) zu nennen, für landwirtschaftliche Schäden der INVEKOS-Datensatz sowie für sonstige Flächenschäden das Digitale Landschaftsmodell (DLM) in Kombination mit den Nutzflächen der DKM. Diese beinhalten oft vergleichbare (und teilweise noch deutlich feiner aufgelöste) Attribute wie in der aktuellen Methodik zur Anwendung kommen.

Ein Bereich, in dem die Aussagemöglichkeiten von österreichweitverfügbaren Datensätzen nur bedingt dem Detailgrad der aktuell in Anwendung befindlichen Kosten-Nutzen-Methodik entspricht, ist der Bereich der Wertschöpfungsverluste. Das verwendete regionalstatistische Raster der Statistik Austria beinhaltet lediglich die Anzahlen der Arbeitsstätten und Beschäftigten ab. Das Raster ist zwar auch mit dem Paket Arbeitsstätten (beinhaltet Beschäftigte nach Wirtschaftsabschnitt der Arbeitsstätte (ÖNACE 2008)) erhältlich, ist jedoch kostenpflichtig und steht für die gegenständliche Arbeit nicht zur Verfügung. Aktuell werden die betroffenen Beschäftigten und die Ausfallstage objektweise ermittelt, diese Datenschärfe kann keiner der identifizierten Datensätze liefern, da auch das Paket Arbeitsstätten in einem gewissen Ausmaß aggregiert. Trotz der vorliegenden Aggregation der Daten und der pragmatischen Ermittlung der Beschäftigten sowie der Wertschöpfungsverluste über einen gemittelten Schadenswert pro Ausfallstag liefern die Daten vergleichsweise gute Ergebnisse. Eine weitere Optimierungsmöglichkeit bei der Analyse der Wertschöpfungsmethodik ist eine Standardisierung der angenommenen Ausfallstage. Die angenommenen Ausfallstage der betroffenen Betriebe haben eine große Auswirkung auf die Schadenssumme. In den analysierten Fallbeispielen wurden die Ausfallstage sehr unterschiedlich angegeben (bei HQ100: Ritzing 2,25 Tage; bei beiden anderen Beispielen 12 Tage). Eine nachvollziehbare Methodik zur Ermittlung dieser Ausfalltage würde zusätzlich zur Vergleichbarkeit der einzelnen Wirtschaftlichkeitsbewertungen beitragen.

Für einige untergeordnete Schadenskategorien konnten keine österreichweit verfügbaren Datensätze identifiziert werden, weshalb sie in der Methodik nicht weiter definiert wurden. Dies betrifft im Bereich der Infrastruktur Umleitungskosten und Entgang von Mauteinnahmen, Sperren an Flugbetriebseinrichtungen und Schifffahrtseinrichtungen, Schäden an geparkten Kraftfahrzeugen, Ver- und Entsorgungsinfrastruktur (Strom, Gas, Telekommunikation, Wasser und Abwasser) sowie wasserbauliche Anlagen. Insbesondere die Versorgungs- und Entsorgungsinfrastruktur kann bei Hochwasser-Ereignissen große

Schäden nehmen, eine Einbindung in die Schadensanalyse ist daher essenziell. Dies kann vor allem durch Aussagen aus dem lokalen Leitungskataster erfolgen. Diese Datensätze werden jedoch, auch wenn es eigene Geodatenstandards für den Leitungskataster gibt, nicht zentral gesammelt.

Tabelle 32: Festgelegte Basisdaten und ihre Zuordnung zu den Analysebestandteile

Schadenskategorie	Datensatz	Anmerkung
Gebäudebestand	DKM	ermöglicht durch Grundstücksnummern eine treffsichere Zuordnung der GWRII-Daten, trotz laufender Akualisierung bestehen tlw. Lücken (trifft jedoch auf alle getesten Datensätze zu)
	GWRII	steht nur für verwaltungsinterne Aufgaben zur Verfügung
Wertschöpfungsverluste	Regional-statistischer Raster	Datensatz hat erhebliche Kosten und wird nur im Rahmen der Registerzählungen aktualisiert
Straßen- und Brückenschäden	GIP	hohe Abdeckung der Daten mit laufender Aktualisierung
Infrastrukturschäden an Ver- und Entsorgung	X	Leitungskataster wird aktuell noch nicht zentral gesammelt, Einbindung von lokalen Datensätzen wäre jedoch möglich
Wasserbauliche Anlagen	X	dzt. Besteht kein wasserbaulicher Anlagen-Kataster, dieser befindet sich im Moment im Aufbau und könnte in Folge eingebunden werden
Landwirtschaft	INVEKOS	Datensatz ermöglicht deutlich genauere Aussagen als in der aktuellen KNU gefordert sind, insbesondere hinsichtlich Sonderkulturen
Sonstige Flächennutzungen	DLM	Subdatensatz Gebietsnutzung ermöglicht deutlich genauere Aussagen als in der aktuellen KNU gefordert sind
Fremdenverkehr	X	Aussagen zu Hotels in Schadensanalyse für Gebäudebestand enhalten, Nächtigungszahlen und Betten sind über Statostik Austria auf Gemeindeebene verfügbar (räumliche Auflösung entspricht nicht den Anforderungen)

Wertet man durchgeführte KNUs aus (siehe Abbildung 15), zeigt sich, dass vor allem Schäden am gesamten Gebäudebestand sowie an Verkehr und Infrastruktur maßgeblich sind. Diese Schadenskategorien können mit den vorliegenden Daten gut abgedeckt werden. Die zu Grunde liegenden Daten der Darstellung (wie auch von Abbildung 17) sind in Anhang 14 enthalten.

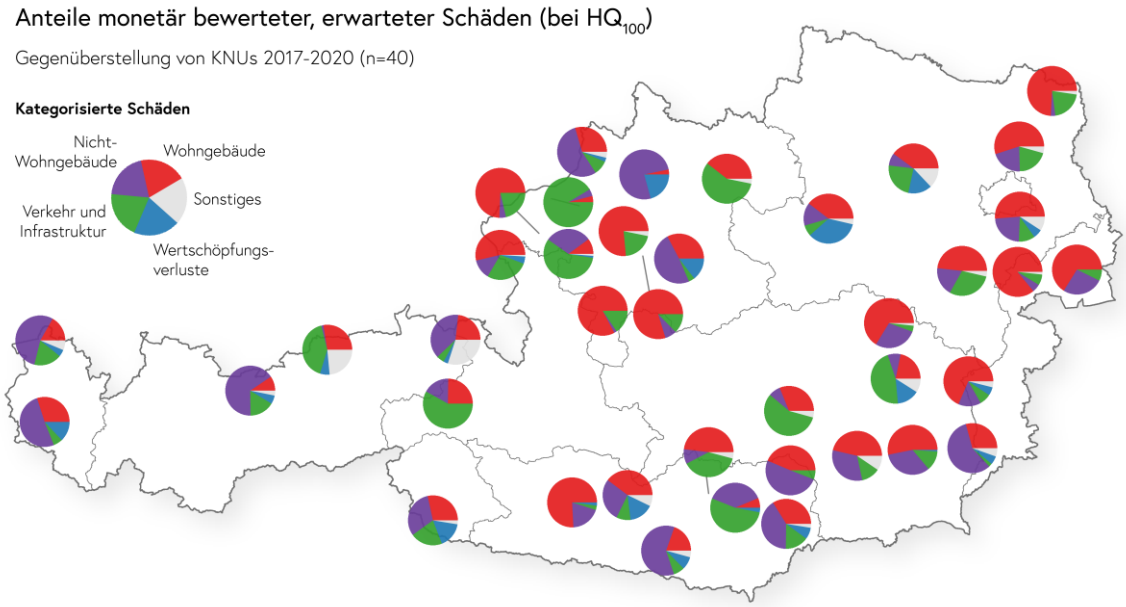


Abbildung 15: Anteile monetär bewerteter, erwarteter Schäden in KNUs (n=40) 2017-2020 (Eigene Darstellung, 2025)

Hervorzuheben ist, dass die vorliegende Arbeit auf Daten der Mikroebene fokussiert ist. Für einige Aussagen würden auch Daten auf einer Mesoebene vorliegen, wie beispielweise flächendeckende Landnutzungsdaten oder aggregierte Aussagen zu Siedlungs- und Wirtschaftsräumen. Bei Verwendung dieser Daten entsteht jedoch ein Skalenproblem, da die Aussagen über die Gefährdung (Hochwasseranschlagslinien und Prozessintensitäten) in einer parzellenscharfen Auflösung ermittelt werden. Bei der Verschneidung von Daten auf der Mesoebene mit diesen parzellenscharfen Gefahreninformationen können starke Verzerrungen auftreten (vgl. THIEKEN et al. 2008: 317), da bei klassifizierten Landnutzungsdaten eine Gleichverteilung der Werte in der Fläche angenommen wird. Innerhalb der gleichen Landnutzungsklasse kann zudem die Wertedichte sehr heterogen sein, wodurch Über- und Unterschätzungen auftreten (vgl. JONGMAN et al. 2012: 3748). Für lokale Betrachtungen müssen somit Mikrodaten herangezogen werden, die Wertigkeiten genau abgrenzen. Diese Forderung nach detaillierten Daten für lokale Beurteilungen von Maßnahmen wird sowohl in der Literatur gefordert (vgl. APEL et al. 2008: 81), zeigt sich aber auch in den Ergebnissen der Arbeit beispielweise in der Bewertung der Wertschöpfungseffekte, die auf aggregierte Daten zugreift und diese mit den Aussagen aus dem GWRII versucht in ihrer Auflösung zu verfeinern. Eine Erfassung der Beschäftigten direkt auf Gebäude- oder Adressebene würde jedoch die Aussagekraft deutlich steigern.

Der gewählte Ansatz der Arbeit setzt somit deutlich auf stark standardisierte, flächendeckend verfügbare Datensätze. Der große Vorteil ist, dass dadurch eine hohe Abdeckung der unterschiedlichen Regionen Österreichs gegeben ist und ein hoher Grad an Automatisierung ermöglicht wird. Durch teilweise auftretenden Defiziten in den Daten (fehlende Gebäudegrundrisse, keine direkte Zuordenbarkeit von Adresspunkten zu

Gebäudegrundrissen, fehlende Attribute in den Input-Daten) können natürlich Verzerrungen im Vergleich zu detaillierten Vor-Ort-Erhebungen auftreten. Diese haben jedoch den Nachteil, dass sie kostenintensiv sind und eine Tendenz zu Subjektivität insbesondere durch abweichende Klassifikation (beispielsweise von unterschiedlichen Nutzungsformen) aufweisen. Die Vergleichsdaten sind oftmals spezifischer, jedoch deutlich weniger systematisch als die verwendeten Input-Daten.

Bei allen verwendeten Daten handelt es sich zudem um GIS-Daten, die mit wenig Aufwand in ein gemeinsames Referenzsystem überführt werden können. Dies spricht auch für eine GIS-basiertes Bewertungssystem. Aktuell erfolgt die Erfassung aller Kosten und Nutzen mittels Excel-Sheet. Räumliche Datensätze, so diese den einzelnen Planerinnen und Planern überhaupt vorliegen, müssen dazu in dieses Format überführt und in der Regel händisch eingegeben werden. Dieses Vorgehen erhöht durch den vorliegenden Medien-Bruch die Fehler-Anfälligkeit und schränkt zudem die Weiterverarbeitung der Ergebnisse ein.

6.2 Automatisierte Ableitung von Schäden

Basierend auf den identifizierten Input-Daten wurden für die hauptsächlichen Schadenskategorien Modelle erstellt, die aus den Input-Daten potenzielle Schadenswerte ableiten. Im Fokus der steht dabei die folgende Fragestellung:

> *Welche Methoden können für eine automatisierte, GIS-basierte Wirtschaftlichkeitsbewertung von Maßnahmen des Hochwasserrisikomanagements herangezogen werden und mittels welcher Ansätze lassen sich diese Methoden implementieren?*

Dabei orientiert sich die Methodik der Arbeit deutlich an den Verfahren, die derzeit im Rahmen der Kosten-Nutzen-Untersuchung zur Anwendung kommen, und setzt diese mit den Input-Daten in Form von Python-Skripten aufbauend auf den ArcGIS Pro Bibliotheken um. Dabei können die Berechnungsansätze teilweise direkt aus der KNU übernommen werden (beispielsweise für Schäden an landwirtschaftlichen Flächen oder den sonstigen Flächennutzungen), teilweise sind jedoch auch alternative Ansätze notwendig, da die Methodik nicht standardisierte Ansätze enthält, die auf eine gutachterliche Einschätzung im Zuge der Bearbeitung zurückgreifen (betrifft beispielsweise die Reparaturkosten für Straßen). Zur Bewertung der Modell-Ergebnisse werden die Vergleichsdaten aus den definierten Fallbeispielen herangezogen.

Verdeutlicht man die Abweichungen zwischen Modell und Vergleichsdaten (siehe Abbildung 16), indem man die abgeschätzten Schadenssummen der automatisierten Methodik in Form einer visuellen Zusammenfassung gegenüber stellt, werden die Abweichungen deutlich. Für den Vergleich wird das Verhältnis zwischen dem Schaden aus dem Modell mit dem Schaden aus der gutachterlichen Untersuchung als Prozentsatz ausgedrückt und gibt somit die prozentuale Abweichung des Modell-Ergebnisses vom gutachterlichen Ergebnis an. Insbesondere für das Fallbeispiel Ritzing wurde über alle Gebäudekategorien hinweg ein sehr homogenes Ergebnis erzielt. Bei den beiden anderen

Fallbeispielen (Gösselsdorfer Seebach und St. Ulricher Bach) liegen die Schäden an Wohngebäuden im Modell deutlich über jenen in den Vergleichsdaten, da das Modell die Wassertiefe am Gebäude nicht um die Höhe der ersten Fußbodenoberkante abmindert. Aufgezeigt werden konnte auch, dass die Anzahl der potenziell betroffenen Gebäude weniger Abweichungen aufweist als der ermittelte Schaden.

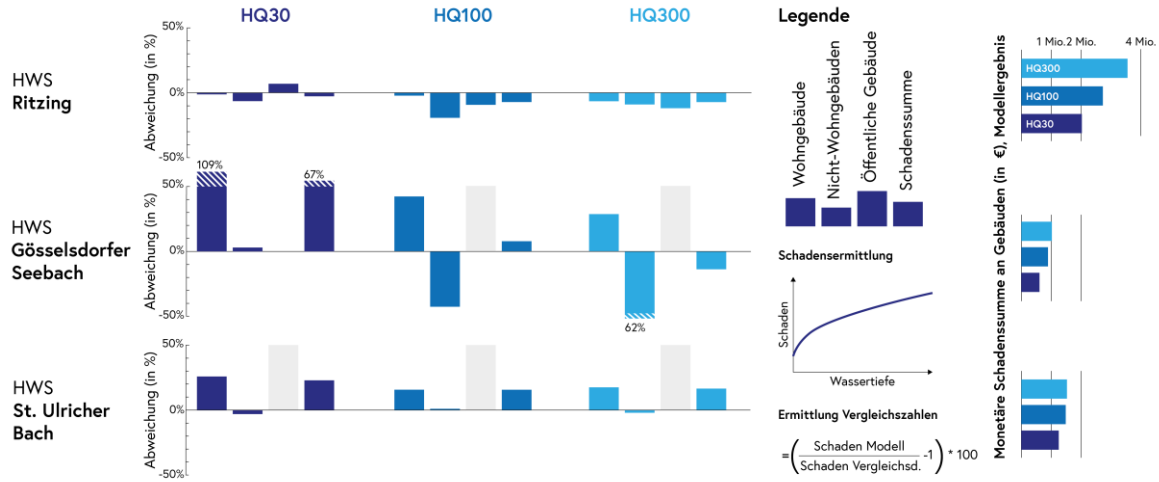


Abbildung 16: Visuelle Zusammenfassung der ermittelten Gebäudeschäden

Im Vergleich zu den Wohngebäuden werden die Schäden an Nicht-Wohngebäuden in der automatisierten Schadensermittlung tendenziell unterschätzt. Durch die durchgeführten Vor-Ort-Erhebungen kann lokale Expertise in die Schadensbewertung für einzelne Betriebe miteinfließen. Es gibt zwar in der Literatur (siehe insbesondere KREIBICH et al. 2010) nach Wirtschaftszweigen differenzierte Schadensfunktionen, diese sind jedoch in ihrer praktischen Anwendung limitiert, da die Differenzierung der Nutzungen innerhalb des Gebäudes (bspw. Lager, Ausstattung, Einrichtung, Maschinen) nur unzureichend in den Daten abgebildet ist.

Eine weitere Herausforderung in der Automatisierung der Schadensbewertung für den Gebäudebereich ist die aktuell in Anwendung befindliche Schadensfunktion (theoretischer Hintergrund siehe 2.2.6). Die Schadensfunktion basiert dabei auf Wassertiefe, Anfangsschaden und B-Wert und hat als Zielgröße einen monetären Schadenswert und ist somit eine absolute Schadensfunktion (vgl. GERL et al. 2016: 18). Die Herausforderung in der Anwendung ist, dass die Wertigkeiten der bewerteten Gebäude bereits in die Funktion einfließen müssen. Durch unterschiedliche Ansätze bei der Datenerfassung und -eingabe kommt es derzeit zu sehr unterschiedlichen Bewertungsgrundlagen. Diese Unterschiede in der Bewertung lassen sich durch eine Zusammenschau der Eingangsparameter von unterschiedlichen Kosten-Nutzen-Untersuchungen (n=40, durchgeführt zwischen 2017 und 2020) darstellen. Abbildung 17 stellt die Grundlagen für die Schadensbewertung an Wohngebäuden in diesen KNUs dar. Sowohl der Anfangsschaden als auch der angesetzte B-Wert variieren deutlich, wobei kein erklärendes räumliches Muster (bspw. Stadt-Land-Differenzen) erkennbar ist. Die Richtlinie sieht vor, dass der B-Faktor entweder aus Schadenserhebungen von abgelaufenen Ereignissen (spezifische B-Faktoren) oder aus Schadenserhebungen im Projektgebiet (Ableitung von B-Faktoren aus Wassertiefe und

aufgenommenen Schäden) ermittelt wird, dies führt zu unterschiedlichen Ansätzen und Problemen, da teilweise auch keine aufgezeichneten Hochwasser-Ereignisse vorliegen. Mittels stärkerer Standardisierung der Vorgehensweise kann eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleistet werden. Voraussetzung dafür sind passende Eingangsdaten sowie eine darauf abgestimmte Methodik.

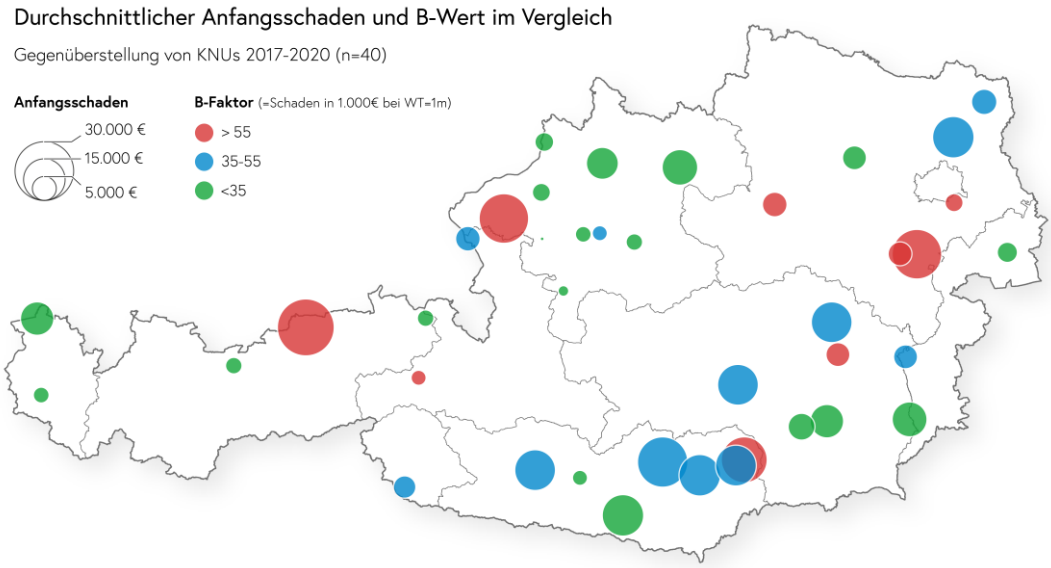


Abbildung 17: Durchschnittlicher Anfangsschaden und B-Wert in KNUs (n=40) 2017-2020 (Eigene Darstellung, 2025)

Basierend auf den durchgeführten Analysen und den Attributen der verfügbaren Input-Daten kann die Vergleichbarkeit durch die Anwendung einer relativen Schadensfunktion deutlich gesteigert werden. Relative Schadensfunktionen drücken den Schaden als Faktor aus, der Wertverlust wiedergibt. Um eine Aussage über den monetären Schaden treffen zu können, muss dieser Faktor mit dem Wert des Objektes in Beziehung gesetzt werden (vgl. KREIBICH et al. 2010: 1304). So kann die Schadensermittlung von der Ermittlung der Wertigkeit entkoppelt werden. Der Wert eines Gebäudes kann dabei einfach aus den verfügbaren Attributen aus dem GWRII abgeschätzt werden (insbesondere Fläche, Bauperiode, Baumaterial). Die Schadensfunktion kann mehrere Parameter beinhalten wie Wassertiefe, aber auch Gebäudeattribute, die zu erhöhten Schadenswerten führen können (beispielsweise Ölheizungen) (vgl. THIEKEN et al. 2009: 318). Die Möglichkeiten, die sich aus den Attributen, die im GWRII erfasst sind, hinsichtlich der Schadensanalyse ergeben, gehen weit über das in der vorliegenden Arbeit erzielte Ausmaß hinaus und sollten in jedem Fall weiter beleuchtet werden. Dazu wird der Aufbau einer strukturierten Sammlung von Schadensdaten, die insbesondere auch Daten zur Exposition, Prozessintensität und der Vulnerabilität beinhalten, empfohlen. Diese Datenerhebung muss im Rahmen von Ereignisdokumentationen forciert werden, um die Entwicklung, Kalibrierung und Validierung von empirisch gestützten Schadensfunktionen für einen österreichischen Kontext voranzutreiben (vgl. MEYER et al. 2013: 1362). Wie in Kapitel 2.1 dargestellt, sollen Wirtschaftlichkeitsbewertungen ein möglichst objektiver und nutzerunabhängiger Prozess

sein. Durch den Aufbau der entsprechenden Datenbasis und der gesamtheitlichen Anwendung der erhaltenen relativen Schadensfunktionen kann die Objektivität sowie die Reliabilität deutlich gesteigert werden.

Insbesondere anhand der Analysen der Schäden an den Schutzgütern Infrastruktur, Landwirtschaft und Sonstigen Flächennutzungen zeigen sich die Stärken der erreichten Standardisierung deutlich. Dies betrifft insbesondere die nachvollziehbare Kategorisierung innerhalb der Schutzgutkategorien (Rangordnung der Straßen, Differenzierung der landwirtschaftlichen Nutzung, Zuordnung zu Kategorien der Flächennutzungen). Als Beispiel sollen zunächst die in Abschnitt 5.8 beschriebenen Ergebnisse verwendet werden. Bei den Schäden an Sonstigen Flächennutzungen wurde in den Vergleichsdaten der betrachteten Fallbeispiele Grünflächen sehr unterschiedlich erfasst. Teilweise wurden diese Flächen gar nicht berücksichtigt, teilweise wurden sie in einer abweichenden Kategorie (Sport- und Freizeitflächen) mit einem höheren Einheitsschaden erfasst. Nachdem die Datengrundlage der Vergleichsdaten nur unzureichend bekannt ist, können keine direkten Schlüsse auf den Ursprung dieser Verzerrungen gezogen werden. Genau definierte Input-Daten mit einer nachvollziehbaren Kategorisierung und einer standardisierten Verarbeitung können dieser Heterogenität jedoch von Beginn an vorbeugen. Mit dem konstruierten Datensatz, der auf Digitale Katastralmappe (DKM des BEV) und die Gebietsnutzungen aus dem Digitalen Landschaftsmodells (DLM des BEV) zugreift, kann diese Standardisierung erreicht werden ohne Einbußen in der Detailliertheit der Kategorisierung zu erleiden.

Ähnlicher Sachverhalt gilt für die Erfassung von Infrastrukturschäden. Insbesondere hinsichtlich der Erfassung des niederrangen Straßennetzes (sonstigen Straßen) weisen die Fallbeispiele große Unterschiede auf, die zu einer Unterschätzung des Gesamtschadens führen können, falls diese Straßen nicht ausreichend berücksichtigt werden. Die Verwendung der GIP mit genau definierten Klassen und einer homogenen Erfassung dieser Klassen in den Input-Daten kann eine Vergleichbarkeit über die einzelnen Fallbeispiele gewährleisten.

Eine Schadenskategorie, bei der die automatisierte Schadensbewertung deutliche Grenzen aufzeigt, sind Brückenbauwerke. Diese können ohne Vor-Ort-Wissen nicht ausreichend beurteilt werden. Direkte Schäden an massiv ausgeführten Straßenbrücken entstehen vor allem durch die Unterkolkung der Widerlager, durch Korrosion von Bauwerksteilen oder durch Druckabfluss aufgrund von angelagertem Material. Die Abbildung aller dieser Versagens- und Schadensmechanismen ist nur mit sehr detaillierten Aussagen zur Konstruktionsweise in Zusammenschau mit Daten zum Zustand der Brücke möglich (vgl. KIM et al. 2017: 2ff; AHAMED et al. 2020: 1494). Diese Aussagen fehlen im verwendeten GIP-Datensatz. Somit kann für diese entscheidende Subkategorie des Infrastrukturschadens nur eine sehr unsichere Aussage getroffen werden. Hier ist eine Einstufung der Verletzlichkeit der Brückenbauwerke basierend auf Konstruktionsweise und Zustand durch Fachkundige unerlässlich, um die Aussagekraft steigern zu können.

Im Gesamteffekt kann durch die definierten, automatisierten Ansätze der Bewertungsaufwand deutlich reduziert werden. Teilweise werden dadurch jedoch individuelle Besonderheiten nicht vollständig erfasst (siehe Beschreibungen zu Schäden an Nicht-Wohngebäuden), was zu pauschaleren Bewertungen führt. Die definierten Prozesse

sind auf in sich konsistente und wiederholbare Ergebnisse ausgerichtet, während die Vergleichsdaten oft eine stärkere subjektive Einschätzung enthalten.

6.3 Wirtschaftlichkeitsbewertung und Ergebnisdarstellung

Die Zusammenfassung der ermittelten Schadenswerte zu einer Wirtschaftlichkeitsbewertung im Sinne einer Kosten-Nutzen-Untersuchung stellt den abschließenden Teil der Methodik dar, wobei die ökonomischen Grundsätze (bspw. Zinssatz und Abzinsung) der aktuellen Methodik entsprechen, da eine Evaluierung dieser Aussagen über den Rahmen der vorliegenden Arbeit hinausgeht.

Einen deutlichen Unterschied gibt es dennoch in der Methodik. Die bisherige KNU-Methode verfolgt hinsichtlich der Berücksichtigung des Mit-Falls eine pragmatische Vereinfachung. Der Mit-Fall wird dabei nicht eigenständig mit seinen Schäden beurteilt, es wird lediglich der Schadenswert für HQ30 und HQ100 auf Null gesetzt und der HQ300-Schadenswert des Ohne-Falls wird für den Mit-Fall übernommen, wodurch es zu signifikanten Verzerrungen und einer falschen Einschätzung des Restrisikos kommen kann. Durch den hohen Grad der Automatisierung kann mit der dargestellten Methodik auch das Schadensbild für alle Szenarien des Mit-Falls ohne Zusatzaufwand ermittelt werden. Die daraus resultierenden Unterschiede werden am Beispiel Gösselsdorfer Seebach aus Abbildung 18 ersichtlich. Dabei zeigt sich eindeutig, dass die Form der Schadenskurve für den Mit-Fall aus dem Modell deutlich von der Schadenskurve für den Mit-Fall, die auf die beschriebene pragmatische Methode ermittelt wurde, abweicht. Dabei wird der Schaden für die Jährlichkeiten bis zum Schnittpunkt der Kurven (ca. HQ170) in den Vergleichsdaten unterschätzt und darüber unterschätzt.

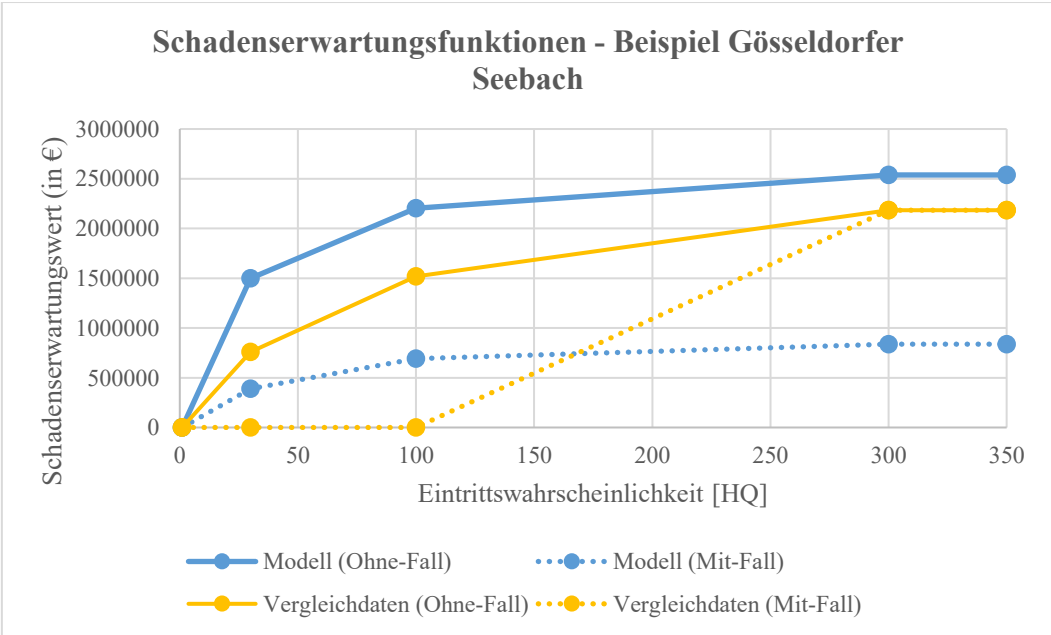


Abbildung 18: Schadenserwartungsfunktionen für Mit-Fall und Ohne-Fall im Vergleich - Fallbeispiel Gösselsdorfer Seebach

Insbesondere wenn die beschriebene Methodik für den Vergleich von unterschiedlichen Umsetzungsvarianten verwendet wird, ist die Auseinandersetzung mit dem Restrisiko ganz entscheidend, da unterschiedliche technische Lösungen unterschiedliche Überlast- und Versagensfälle aufweisen. Durch die realitätsnahe Ermittlung der Schäden für den Mit-Fall, wie in der vorgeschlagenen Methode, wird Maßnahmen mit geringeren Restrisiken (insbesondere naturnahe Maßnahmen und Retentionsmaßnahmen) Rechnung getragen. Technische Lösungen verfolgen dabei generell nicht die Zielsetzung den Gesamtschaden gänzlich zu reduzieren, da dies einen Verlust von Retentionsräumen und eine Verschlechterung für Unterlieger bedeuten kann, und sind daher auf Siedlungsräume fokussiert (vgl. BML, 2023: 20). Daher ist es auch nicht plausibel, dass bei Ereignissen mit höherer Wahrscheinlichkeit zu keinerlei Schäden mehr kommt. Die aktuelle Herangehensweise ist auf eine Risikoreduktion bis zum Bemessungsereignis fokussiert. Schäden, die sich durch die unterschiedlichen Restrisiken (HQ300) ergeben, werden unzureichend analysiert. Diese Herangehensweise ist vor allem deshalb nicht zeitgemäß, da unterschiedliche Maßnahmentypen sehr unterschiedliche Auswirkungen auf das Restrisiko haben können (siehe auch ZEISLER & PFLÜGNER 2019: 37). Zudem haben unterschiedliche Maßnahmen auch unterschiedliche Auswirkungen auf die Dynamik der weiteren Entwicklung des Restrisikos. Während der beschriebene „Damm-Effekt“ zu einer drastischen Zunahme des Restrisikos führt, können andere Maßnahmen (beispielsweise Absiedelungen) das Restrisiko dauerhaft reduzieren. Die vorgeschlagene Methodik kann diese Unterschiede in Maßnahmenvarianten abbilden.

Generell sind vor dem theoretischen Hintergrund einige Prozesse der aktuell angewandten Methodik zu hinterfragen, so geht die Literatur davon aus, dass Wertschöpfungsunterbrechungen, die nur eine lokale Ausprägung haben und beispielsweise von einer Nachbarregion kompensiert werden können, aus volks- bzw. gesamtgesellschaftlicher Sicht nicht im Rahmen einer ökonomischen Bewertung zu berücksichtigen sind. Im strikten Sinne einer Kosten-Nutzen-Untersuchung muss bei Wertschöpfungsunterbrechungen somit eine Überregionalität gegeben sein (vgl. ZEISLER & PFLÜGNER 2019: 25). Untersuchungen mittels Input-Output-Modellen zeigen zudem, dass der Anteil von indirekten Schäden an der Gesamtschadenssumme von der Größe eines Ereignisses abhängig ist. Während kleinere Ereignisse im Verhältnis geringere indirekte Schadenssummen verursachen, steigen diese mit der Größe eines Ereignisses an (vgl. HALLEGATTE 2008: 793). Diese Effekte der Überregionalität werden in der aktuellen Methode nicht bewertet, sind jedoch auch in der Praxis sehr komplex in der Anwendung, da vor diesem Hintergrund ganze Wertschöpfungsketten berücksichtigt werden müssten. Hochwasserrisiken betreffen dabei zudem verschiedene Aspekte wie Umweltauswirkungen, soziale Auswirkungen, Infrastrukturschäden und ökonomische Verluste. Die Interaktionen zwischen diesen Aspekten können sehr komplex sein und sind nur sehr schwer zu modellieren.

Sieht man die Grundsätze der Methodik als gesetzt an – auf dieser basieren auch viele internationale Tools zur Wirtschaftlichkeitsbewertung im Naturgefahrenmanagement wie FloRiAn der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins (siehe KUTSCHERA et al. 2016), das Schweizer Modell EconoMe (siehe WINKLER et al. 2009) oder das amerikanische Modell HAZUS der Federal Emergency Management Agency (vgl. FEMA 2025) – liefert

die automatisierte Methodik, die im Rahmen der Arbeit vorgeschlagen wird, eine robuste Annäherung an ein Assessment durch Expertinnen und Experten. Trotz abweichender Gesamtbewertungen zwischen Modell-Ergebnissen und Vergleichsdaten führen alle drei Fallbeispiele aus fördertechnischer Sicht zum gleichen Ergebnis. Die Fallbeispiele Gösselsdorfer Seebach sowie Ritzing sind aus monetärer Sicht gesamtgesellschaftlich vorteilhaft, das Fallbeispiel St. Ulricher Bach erreicht auch im Modell-Ergebnis den Grenzwert von eins knapp nicht.

Neben dem grundlegenden Modell beinhaltet die Arbeit auch einen Vorschlag zur plakativeren Kommunikation der Ergebnisse in Form von Factsheets. So kann das Bewertungsergebnis an Entscheidungsträgerinnen und -träger aber auch die breite Bevölkerung kommuniziert werden. Entscheidungen für oder gegen bestimmte Maßnahmen werden dadurch deutlich nachvollziehbarer, wobei darin die Kernaufgabe von Wirtschaftlichkeitsbewertungen zu sehen ist. Eine bisher untergeordnete Rolle können Wirtschaftlichkeitsbewertungen jedoch auch als Instrument der Bewusstseinsbildung spielen, wobei dabei insbesondere auf ansprechende Visualisierungen Wert gelegt werden muss. Die im Rahmen der Arbeit erzeugten Factsheets stellen einen ersten Schritt in diese Richtung dar. Denkbar ist die Verwendung entsprechender Visualisierungen auch bei der Bewusstseinsbildung für Objektschutzmaßnahmen im Rahmen der Eigenvorsorge (vgl. UNTERLERCHER 2019: 22ff), um die Risikoreduktion durch ein getätigtes Investment nachvollziehbar darzustellen.

Entscheidend in der Kommunikation von Ergebnissen der Wirtschaftlichkeitsbewertung ist insbesondere der Kapitalwert (in €) einer Maßnahme, der die monetäre Gesamtbilanz (also den gesellschaftlichen Vorteil einer Maßnahme) angibt. Insbesondere wenn sowohl die Kosten und Nutzen von verglichenen Varianten variieren, kann es basierend auf der alleinigen Darstellung des Nutzen-Kosten-Verhältnisses zur Präferenz von Projekten mit einem geringeren Kapitalwert kommen (vgl. PEARCE et al. 2006: 68ff). Wird der Projektnutzen als Kapitalwert angegeben, entspricht dies einer absoluten, wird er als NKV angeführt einer relativen Darstellung. Beide Werte sollten daher für eine bessere Entscheidungsfindung gleichwertig dargestellt werden, wobei der Kapitalwert hervorzuheben ist. Aktuell dominiert die Darstellung des NKV in der Kommunikation.

Ausgeklammert wurden aufgrund des Umfangs die Sekundäreffekte, die in Teilbilanz 2 (siehe auch Abschnitt 0) erfasst sind. Diese folgen aktuell einer rein verbalen Beschreibung. In weiterer Zukunft sollten nachvollziehbare Methoden für diese Sekundärwirkungen in den Fokus rücken. Dazu können unterschiedliche Variablen und Methoden verwendet werden, die beispielsweise soziale Vulnerabilität (siehe SEEBAUER et al., 2024), ökologische Auswirkungen und Folgen (siehe BATEMAN et al. 2003: 2ff) oder die Auswirkungen auf kritische Infrastrukturen (siehe MURDOCK et al. 2018) bewerten.

6.4 Aufbau eines Produktivsystems

Basierend auf den analysierten Basisdaten und den entwickelten Skripten zur automatisierten Schadensbewertung wird deutlich, dass einerseits durch die homogenen

Klassifizierungen und der eingehaltenen Standards der Input-Daten die Vergleichbarkeit zwischen den einzelnen Wirtschaftlichkeitsbewertungen deutlich gesteigert werden. Durch die umfassende Berücksichtigung aller Schutzgüter wird zudem die Treffsicherheit der Analysen erhöht. Dennoch wird deutlich, dass ein gewisses Maß an Fachkenntnis und lokalem Wissen (beispielweise bei der Bewertung von Brückenbauwerken oder der Ergänzung von Daten aus dem Leitungskataster) notwendig sind. Im Sinne eines Produktivsystems, welches beide Welten vereint, wurde eine Systemskizze entworfen. Das System wird überblicksmäßig in Abbildung 19 dargestellt. Grundstein dafür ist ein webbasiertes Portal mit Anbindung an eine Geodatenbank mit definierten Nutzerinnen und Nutzern und einem Rollensystem. Planende steigen mit ihrem Zugang in das Webportal ein und können dort eine neue Wirtschaftlichkeitsbewertung für ein Projekt anlegen, wobei in diesem ersten Schritt insbesondere die Projektgrunddaten (Projektname, EDV-Kennzahl des Projektes u.Ä.) sowie das Betrachtungsgebiet (basierend auf einer Auswahl aus der Gemeindeliste Österreichs) definiert werden. Die Definition des Betrachtungsgebietes wird genutzt, um eine Download-Anfrage im Portal zu stellen. In der verknüpften Datenbank wird auf den aktuellen Stand der Basisdaten zugegriffen. Die Anfrage löst einen Clip auf das definierte Betrachtungsgebiet aus und stellt die geclippten Daten dem Planer oder der Planerin als Geodaten-Download zur Verfügung. Im nächsten Schritt fließt die Expertise der Planenden in den Prozess ein. In einem standardisierten GIS-Projektfile werden Projektkosten in einer vorgefertigten Tabelle angegeben, Gefahrendaten der einzelnen Szenarien für den Mit-Fall sowie den Ohne-Fall ergänzt, zusätzliche Angaben zu Schutzgutdaten und Aussagen zur Verletzlichkeit eingespielt und die über die Schnittstelle zur Verfügung gestellten Daten werden auf ihre Vollständigkeit geprüft. In diesem Schritt können zudem beispielweise Gebäude ergänzt werden, die im Basisdatenbestand fehlen.

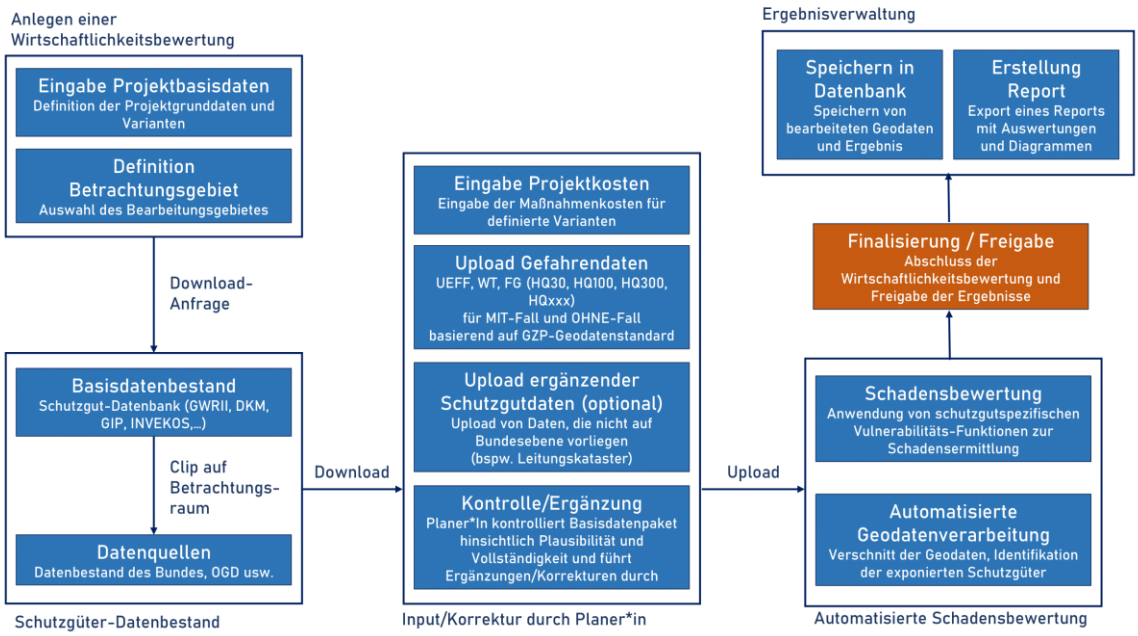


Abbildung 19: Skizze für ein Produktivsystem, das automatisierte Ansätze mit einer gutachterlichen Qualitätssicherung verschränkt (Eigene Darstellung, 2025)

Das Geodatenpaket wird in Folge wieder hochgeladen. Der Upload löst den Bewertungsprozess aus, der serverseitig durchgeführt werden kann. Bei erfolgreicher Verarbeitung der Daten kann die Wirtschaftlichkeitsbewertung freigegeben werden. Die Ergebnisse werden in der Datenbank gespeichert und basierend auf den Bewertungsergebnissen werden Factsheets erstellt und als Report exportiert.

Der beschriebene Prozess ermöglicht in dieser Form die Verwendung der bestehenden Daten und sieht eine Qualitätssicherung durch eine qualifizierte Person durch, die im Rahmen der Qualitätssicherung auch alle weiteren Angaben zum Projekt eingeben kann. Der Grad der Automatisierung wird so deutlich erhöht und der personelle Aufwand auf die notwendigen Schritte reduziert, bei gleichzeitiger Steigerung der Qualität der Ergebnisse.

6.5 Weiterführende Handlungsempfehlungen

In Rückkoppelung mit dem theoretischen Hintergrund werden – neben der beschriebenen methodischen Weiterentwicklung – auch weitere Anpassungen in der Herangehensweise zur Wirtschaftlichkeitsbewertung empfohlen. Entscheidend für einen treffsicheren Prozess sollten Wirtschaftlichkeitsbewertungen stärker als Prozess verstanden werden, der sich von der Planungsidee bis zur finalen Evaluierung der Maßnahme erstecken sollte (vgl. BOARDMAN et al. 1994: 69). Aktuell werden Kosten-Nutzen-Untersuchungen nur zu einem Stichtag durchgeführt, wobei sowohl der Nutzen (bspw. aufgrund der Siedlungsentwicklung in einer Gemeinde) als auch die Kosten (bspw. Veränderungen der Baukosten aufgrund von Preisgleitung) einer hohen Dynamik unterliegen. Um dem idealtypischen Ablauf von Wirtschaftlichkeitsbewertungen (vgl. PEARCE et al. 2006: 51ff, ANDREE 2011: 234ff) Rechnung zu tragen, sollte der Prozess insbesondere schon bei der Festlegung von Varianten zum Einsatz kommen, um faktenunterstütze Variantenentscheidungen treffen zu können. Jedoch auch zur Evaluierung von abgeschlossenen Projekten kann eine Aktualisierung der Wirtschaftlichkeitsbewertung mit Abschluss des Projektes wertvolle Schlüsse für eine gesamtökonomische Aussage und Lehren für die Zukunft ermöglichen. Die im vorigen Abschnitt vorgeschlagene Lösung ermöglicht die Umstellung auf ein dynamisches System mit Datenbanklösung. So können Bewertung auch über Planungsphase von Maßnahmen hinaus zur begleitenden Erfolgskontrolle weitergeführt werden sowie nach dem Abschluss der Maßnahme zur Evaluierung herangezogen werden. So können die verschiedensten Stärken von Wirtschaftlichkeitsbewertungen genutzt werden (vgl. MECHLER et al 2008: 6).

Neben der technischen Ausgestaltung der Wirtschaftlichkeitsbewertung ist es darüber hinaus entscheidend den fachlichen Fokus der Bewertung zu evaluieren. Integratives Hochwasserrisikomanagement braucht insbesondere integrative Bewertungsmechanismen, welche die Wirkungen einer Maßnahme auch im Kontext des gesamten Flusseinzugsgebietes bewerten. Entscheidungsträgerinnen und -träger tendieren dazu jenes Schutzkonzept auszuwählen, das den besten Kosten-Nutzen-Faktor (oder Kosten-Wirksamkeits-Faktor) aufweist. Daher ist es wichtig, dass in die Bewertung – neben ökonomischen Gesichtspunkten – die Erreichung der unterschiedlichsten Zielsetzungen (bspw. ökologische Grundsätze) und die grundlegenden wasserwirtschaftlichen Zielsetzungen (Retention vor Linearbauwerken (siehe BML 2023)) einfließen und eine

Gegenüberstellung aller relevanter Alternativen stattfindet (vgl. JONKMAN et al. 2004: 110). Diese werden nach der aktuellen Herangehensweise nur sehr eingeschränkt abgebildet. Vor allem aus wasserwirtschaftlicher Perspektive positive Effekte von technischem Rückhalt und teilweise negative Effekte von klassischen linearen Regulierungsmaßnahmen wie der Verlust von natürlichen Retentionsräumen (vgl. DEHNHARDT et al. 2008: 64ff) werden in klassischen Ansätzen nur bedingt herausgearbeitet.

Eine große Herausforderung stellt aus fachlicher Sicht die Dynamik, die sich durch Klimawandel sowie auch durch den demographischen Wandel ergibt, dar. Diese Effekte werden in aktuellen Herangehensweisen nicht abgedeckt und steigern die Komplexität in der Erfassung des langfristigen Nutzens. Nach den aktuellen Ansätzen werden jährliche Schadenerwartungswerte lediglich in die Zukunft extrapoliert und negieren klimatische und gesellschaftliche Veränderungen (vgl. MEYER et al. 2013: 1364; KULL et al. 2013: 378). Für eine Berücksichtigung dieser Dynamik ist aktuell die Datenlage noch nicht gegeben, da diese Aussagen auf einer lokalen Ebene zum Teil noch schwer zu bewerten sind. Während in einigen Regionen von einer Abnahme von Hochwasser zu rechnen ist, könnten andere Regionen in Zukunft stärker betroffen sein (vgl. BLÖSCHL et al. 2019: 108ff). Ein homogener Ab- oder Zuschlag ist vor diesem Hintergrund nicht zielführend. Dennoch dürfen diese Auswirkungen nicht außer Acht gelassen werden. Insbesondere bei besonders langfristigen oder langlebigen Maßnahmen nimmt die Unsicherheit zu (vgl. MECHLER et al. 2008: 7).

7 Resümee & Ausblick

Im Rahmen der Arbeit wird aufgezeigt, dass eine Vielzahl der Nutzen, die im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsbewertung im Hochwasserrisikomanagement abgebildet werden, durch eine Automatisierung basierend auf flächendeckend für Österreich verfügbaren Daten abgebildet werden können. Aufgrund der gesetzlichen Rahmenbedingungen bestehen in Österreich viele Basisdaten mit einer hohen räumlichen Auflösung und einer hohen Qualität. An dieser Stelle sind beispielhaft der Gebäude- und Wohnungsregister (GWRII) sowie die Daten der Graphenintegrations-Plattform (GIP) zu nennen. Diese und weitere Datenquellen können nach einer strukturierten Homogenisierung (Qualitätssicherung, gemeinsames Referenzsystem, Überführung in eine Datenbank) in eine gemeinsame GIS-Umgebung integriert werden. Bewertungsalgorithmen in Form von Python-Skripts eignen sich als technische Umsetzung für eine Verschneidung von Gefährdungsinformation und Schutzgut-Daten zur Ableitung von Schäden.

Mit den herangezogenen Daten und dem entwickelten Analyseansatz kann aufgezeigt werden, dass die (teil-)automatisierte, GIS-basierte Ermittlung der Nutzen von Maßnahmen im Hochwasserrisikomanagement auf jeden Fall weiterverfolgt werden sollte. Insbesondere die Ermittlung von Schäden an Wohngebäuden, Flächennutzungen und Verkehrsinfrastrukturen liefert robuste und zuverlässige Ergebnisse. Dies liegt vor allem an den Daten, die für diese Bereiche flächendeckend für Österreich vorliegen. Bei Betriebs- und Industriegebäuden stoßen automatisierte Verfahren, aufgrund der Unabhängigkeit zwischen Gebäudeattributen und Wertigkeiten, an ihre Grenzen. Diesbezüglich müssen in Zukunft weitere Daten in die Wirtschaftlichkeitsbewertung einfließen (dies könnte beispielsweise durch die Zusammenarbeit mit Versicherungen erreicht werden) oder eine gezielte Qualitätssicherung in diesen Wirkungsdimensionen erfolgen, die durch ein entsprechendes Produktivsystem erfolgen kann. Darüber hinaus entscheidet die Qualität der Input-Daten über das Ergebnis. In jenen Bereichen, wo Datenlücken vorliegen, treten verzerrte Ergebnisse auf und die Qualitätsanforderungen können nur mittels manueller Nachbearbeitung erfüllt werden. Für manche Schadensdimensionen ist nach dem aktuellen Datenstand keine Automatisierung möglich, da die Grundlagendaten nicht zentral gesammelt werden. Insbesondere ist hier das Leitungsnetz für Ver- und Entsorgung zu nennen, das in vielen Gemeinden zwar durch einen digitalen Leitungskataster erfasst ist, jedoch nicht in einem bundesweiten Datensatz zusammengefasst wird. Solche Daten könnten mittels definierter Schnittstellen in Zukunft in das Modell eingebracht werden.

Schwerpunkt der künftigen Arbeiten in diesem Bereich sollte auf jenen Schritten liegen, die zu zusätzlicher Objektivität und Standardisierung führen. Insbesondere zu nennen ist der Aufbau eines Produktivsystems für die Wirtschaftlichkeitsbewertung aufbauend auf den identifizierten Basis-Datensätzen. Durch eine zusätzliche ökonomische Evaluierung der Basisannahmen sowie die Inkludierung weiterführender Sekundärwirkungen (Ökologie, Erholungsfunktion, u.Ä.) kann die Treffsicherheit der Wirtschaftlichkeitsbewertung im österreichischen Hochwasserrisikomanagement maßgeblich erhöht werden und Investitionen der öffentlichen Hand treffsicherer eingesetzt werden.

Quellenverzeichnis

AHAMED, T., DUAN J. G. und JO H. (2020): Flood-fragility analysis of instream bridges – consideration of flood hydraulics, geotechnical uncertainties, and variable scour depth. – In: Structure and Infrastructure Engineering 17(11), 1494-1507.

ALEXANDER D. E. (1999): Natural disasters. – Dordrecht.

ANDREE U. (2011): Wirtschaftlichkeitsanalyse öffentlicher Investitionsprojekte: Investitionen sicher und zuverlässig planen. – Freiburg.

APEL H., ARONICA G.T., KREIBICH H. und THIEKEN A.H. (2009): Flood risk analyses –how detailed do we need to be? – In: Nat Hazards 49, 79-98.

BALANA B.B., VINTEN A. und SLEE B. (2011): A review on cost-effectiveness analysis of agri-environmental measures related to the EU WFD: Key issues, methods, and applications. – In: Ecological Economics 70, 1021-1031.

BATEMAN I.J., LOVETT A. und BRAINARD J. (2003): Applied Environmental Economics. A GIS Approach to Cost-Benefit-Analysis. – Cambridge.

BEV (2025a): Beschreibung Digitales Landschaftsmodell - Bauwerk, bezogen unter: https://data.bev.gv.at/download/DLM/DLM_20230125/Datenbeschreibung_gpkg_DLM_8000_BAUWERK.pdf (Zugriff: 26.01.2025)

BEV (2025b): Beschreibung Digitales Landschaftsmodell - Gebietsnutzung, bezogen unter: https://www.bev.gv.at/dam/jcr:bfedfcab-9711-4bb1-80d1-be7db6ccdee2/Datenbeschreibung_shp_DLM_3000_GEBIETSNUTZUNG.pdf (Zugriff: 26.01.2025)

BLÖSCHL G., HALL J., VIGLIONE A., PERDIGÃO R.A., PARAJKA J., MERZ B., LUN D., ARHEIMER B., ARONICA G.T., BILIBASHI A., BOHÁČ M., BONACCI O., BORGA M., ČANJEVAC I., CASTELLARIN A., CHIRICO G.B., CLAPS P., FROLOVA N., GANORA D., GORBACHOVA L., GÜL A., HANNAFORD J., HARRIGAN S., KIREEVA M., KISS A., KJELDSEN T.R., KOHNOVÁ S., KOSKELA J.J., LEDVINKA O., MACDONALD N., MAVROVA-GUIRGUINOVA M., MEDIERO L., MERZ R., MOLNAR P., MONTANARI A., MURPHY C., OSUCH M., OVCHARUK V., RADEVSKI I., SALINAS J.L., SAUQUET E., ŠRAJ M., SZOLGAY J., VOLPI E., WILSON D., ZAIMI K. und ŽIVKOVIĆ N. (2019): Changing climate both increases and decreases European river floods. – In: Nature 573, 108-111.

BML (vormals: BMLFUW) (2009): Kosten-Nutzen-Untersuchungen im Schutzwasserbau. – Wien.

BML (vormals: BMLFUW) (2016): Nationaler Hochwasserrisikomanagementplan 2015. – Wien.

BML (vormals: BMNT) (2018): EU-Hochwasserrichtlinie. Bericht zur Umsetzung in Österreich: Vorläufige Bewertung des Hochwasserrisikos. – Wien.

BML (2022): Technische Richtlinie für die Gefahrenzonenplanungen im Wasserbau. – Wien.

BML (2023): Technische Richtlinien für den Wasserbau (TRL-WB 23). – Wien.

BML (2024): Durchführungsbestimmungen zu den technischen Richtlinien für den Wasserbau (TRL-WB 23). – Wien.

BML (2025): Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem – INVEKOS, bezogen unter: https://info.bml.gv.at/themen/landwirtschaft/gemeinsame-agrarpolitik-foerderungen/nationaler-strategieplan/direktzahlungen-ab-2023/invekosinvekosgis.html (Zugriff: 26.01.2025)

BOARDMAN A., MALLERY W. und VINNIG A. (1994): Learning from Ex Ante/Ex Post Cost-Benefit Comparisons: The Coquihalla Highway Example. – In: Socio-Economic Planning Sciences 28 (2), 69-84.

BOARDMAN A., GREENBERG D., VINNIG A. und WEIMER D. (2014): Cost-Benefit Analysis. Concepts and Practice. – Essex.

BOUWER L.M., PAPYRAKIS E., POUSSIN J., PFURTSCHELLER C. und THIEKEN A.H. (2014): The Costing of Measures for Natural Hazard Mitigation in Europe. – In: Natural Hazards Review 15 (4), 1-10.

BRENT R.J. (2006): Applied Cost–Benefit Analysis. Second Edition. – Cheltenham.

BRÜNDL M. (2009) Risikokonzept für Naturgefahren. Leitfaden. – Bern.

BUNDESRECHNUNGSHOF (2007): Bemerkungen 2007 zur Haushalts- und Wirtschaftsführung des Bundes. –Bonn.

BÜCHELE B., KREIBICH H., KRON A., THIEKEN A.H., IHRINGER J., OBERLE P., MERZ B., und NESTMANN F. (2006): Flood-risk mapping: contributions towards an enhanced assessment of extreme events and associated risks. – In: Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 6, 485-503.

BURTON C., RUFAT S. und TATE E. (2018): Social Vulnerability. In: FUCHS S. und Thaler T. (Hrsg.): Vulnerability and Resilience to Natural Hazards. – Cambridge, 53-81.

CASPARI P. (2007): Leitfaden für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen bei der Vorbereitung, Planung und Durchführung von Baumaßnahmen. – Berlin.

CARDONA O. (2010): The Need for Rethinking the Concepts of Vulnerability and Risk from a Holistic Perspective. A Necessary Review and Criticism for Effective Risk Management. – In: BANKOFF G., FRERKS G. und HILHORST D. (Hrsg.): Mapping vulnerability. Disasters, development, and people. – London und Sterling, 37-51.

DEHNHARDT A., HIRSCHFELD J., DRÜNKLER D., PESCHOW U., ENGEL H. und HAMMER M. (2008): Kosten-Nutzen-Analyse von Hochwasserschutzmaßnahmen. – Dessau-Roßlau.

DE MOEL H. und AERTS J.C. (2011): Effects of uncertainty in land use, damage models and inundation depth on flood damage estimates. – In: Nat Hazards 58, 407-425.

DIXON J.A., TALBOT L.M. und LE MOIGNE G.J.-M. (1989): Dams and the Environment. Considerations in World Bank Projects. – Washington.

DU W., FITZGERALD G.J., CLARK M. und HOU X. (2010): Health Impacts of Floods. – In: Prehospital and Disaster Medicine 25 (3), 265-272.

DREZE J. und STERN N. (1987): The Theory of Cost-Benefit Analysis. – In: AUERBACH A.J. und FELDSTEIN J. (Hrsg.): Handbook of Public Economics, Vol. II. – Amsterdam, 909-989.

EPSG (2023): EPSG:31287 – Austria Lambert, bezogen unter: https://epsg.io/31287 (Zugriff: 26.01.2025)

ESRI (2025): Python in ArcGIS Pro, bezogen unter: https://pro.arcgis.com/de/pro-app/latest/arcpy/get-started/installing-python-for-arcgis-pro.htm (Zugriff: 26.01.2025)

ETKIN D. (2016): Disaster theory. An interdisciplinary approach to concepts and causes. – Amsterdam und Boston.

EZELL B.C. (2007): Infrastructure Vulnerability Assessment Model (I-VAM). – In: Risk Analysis 27 (3), 571-583.

FEMA (2025): Hazus, bezogen unter: https://www.fema.gov/flood-maps/products-tools/hazus (Zugriff: 03.01.2025)

FISCHER O., SCHMIDT-THRÖ G., SCHNEIDER F. und WAKOLBINGER F. (2013): Kosten-Nutzen-Analyse für langlebige Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen. – München.

FUCHS, S. und ZISCHG, A. (2013): Verwendung des Gebäude- und Wohnungsregisters (GWR II) im Rahmen der Hochwasser-Risikoanalyse. IAN Report 156. – Institut für Alpine Naturgefahren, Universität für Bodenkultur, Wien.

FUCHS S., KEILER M. und ZISCHG A. (2015): A spatiotemporal multi-hazard exposure assessment based on property data. – In: Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 15, 2127-2142.

FUCHS S., FRAZIER T. und SIEBENECK L. (2018): Physical Vulnerability. – In: FUCHS S. und THALER T. (Hrsg.): Vulnerability and Resilience to Natural Hazards. – Cambridge, 32-52.

GERL T., KREIBICH H., FRANCO G., MARECHAI D. und SCHRÖTER K. (2016): A Review of Flood Loss Models as Basis for Harmonization and Benchmarking. – In: PLoS ONE 11(7), 1-22.

HABERMANN, N. und HEDEL, R. (2018): Damage functions for transport infrastructure. – In: International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment 9(4/5), 420-434.

HALLEGATTE S. (2008): An Adaptive Regional Input-Output Model and its Application to the Assessment of the Economic Cost of Katrina. – In: Risk Analysis 28 (3), 779-799.

HUIZINGA, J., DE MOEL, H., SZEWCZYK, W. (2017): Global flood depth-damage functions. Methodology and the database with guidelines. – Publications Office of the European Union, Luxembourg

JONGMAN B., KREIBICH H., APEL H., BARREDO J.I., BATES P.D., FEYEN L., GERICKE A., NEAL J., AERTS J.C. und WARD P.J. (2012): Comperative flood damage model assessment: towards a European approach. – In: Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 12, 3733-3752.

JONKMAN S.N., BRINKHUIS-JAK M. und KOK M. (2004): Cost benefit analysis and flood damage mitigation in the Netherlands. – In: HERON 49 (1), 95-111.

JONKMAN, S.N. (2007): Loss of life estimation in flood risk assessment. Theory and applications. – Delft.

JRC (2025): Global flood depth-damage functions: Methodology and the database with guidelines, bezogen unter: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC105688 (Zugriff: 03.01.2025)

KRAMER R.A. (1995): Advantages and Limitations of Benefit-Cost Analysis for Evaluating Investments in Natural Disaster Mitigation. – In: MUASINGHE M. und CLARKE C. (Hrsg.): Disaster Prevention for Sustainable Development. Economic and Policy Issues. – Washington, 61-76.

KIM H., SIM S.-H., LEE J., LEE Y.-J. und KIM J.-M. (2017): Flood fragility analysis for bridges with multiple failure modes. – In: Advances in Mechanical Engineering 9(3),1-11.

KINGMA N.C., VAN WESTEN C. und DOPHEIDE E. (2020): Cost-benefit analysis for disaster reduction measures. – In: VAN WESTEN C. (Hrsg.): Caribbean Handbook on Risk Information Management, bezogen unter: http://www.charim.net/methodology/64 (Zugriff: 11.02.2025).

KREIBICH H., PIROTH K., SEIFERT I., MAIWALD H., KUNERT U., SCHWARZ J., MERZ B. und THIEKEN A.H. (2009): Is flow velocity a significant parameter in flood damage modelling? – in: Natural Hazards and Earth System Sciences (NHESS) 9 (5), 1679-1692.

KREIBICH H., SEIFERT I., MERZ B. und THIEKEN A.H. (2010): Development of FLEMOcs - A new model for the estimation of flood losses in companies. – In: Hydrol. Sci. J. 55 (8), 1302-1314.

KULL D., MECHLER R. und HOCHRAINER-STIEGLER S. (2013): Probabilistic cost-benefit analysis of disaster risk management in a development context. – In: Disasters 37 (3), 374-400.

KUTSCHERA G., BOTTERHUIS T., ZETHOF M. und STIJNEN J. (2016): Instrument und Methode zum Nachweis der Änderung bzw. Reduzierung des Hochwasserrisikos. –Koblenz.

LAURSEN E.M. (1984): Assessing Vulnerability of Bridges to Floods. – In: Transportation Research Records 950, 222-229.

LAWA (2019): Empfehlungen zur Aufstellung, Überprüfung und Aktualisierung von Hochwasserrisikomanagementplänen. – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser, Jena.

LEVIN H. M. (1995): Cost-effectiveness Analysis. – In: CARNOY M. (Hrsg.): International Encyclopaedia of Economics of Education. – Oxford, 381- 386.

MALGWI M.B., FUCHS S. und KEILER M. (2020): A generic physical vulnerability model for floods: review and concept for data-scare regions. – In: Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 20, 2067-2090.

MANIAK U. (2017): Hydrologie und Wasserwirtschaft: Eine Einführung für Ingenieure. – Berlin und Heidelberg.

MATPLOTLIB (2025): Matplotlib: Visualization with Python, bezogen unter: https://matplotlib.org/ (Zugriff: 03.01.2025)

MAZZORANA B., SIMONI S., SCHERER C., GEMS B., FUCHS S. und KEILER M. (2014): A physical approach on flood risk vulnerability of buildings. – In: Hydrol. Earth Syst. Sci. 18, 3817-3836.

MCBEAN E.A., GORRIE J., FORTIN M., DING J. und MOULTON R. (1988): Adjustment Factors for Flood Damage Curves. – In: J. Water Resour. Plann. Management 114 (6), 635-646.

MECHLER R. (2003): Natural Disaster Risk and Cost-Benefit Analysis. – In: KREIMER A., ARNOLD M. und CARLIN A. (Hrsg.): Building Safer Cities. The Future of Disaster Risk. – Washington, 45-56.

MECHLER R. und THE RISK TO RESILIENCE STUDY TEAM (2008): The Cost-Benefit Analysis Methodology. From Risk to Resilience Working Paper No. 1. – Nepal.

MECHLER R., CZAJKOWSKI J., KUNREUTHER H., MICHEL-KERJAN E., BOTZEN W., KEATING A., MCQUISTAN C., COOPER N. und O'DONNELL I. (2014): Making Communities More Resilient. The Role of Cost Benefit Analysis and Other Decision-Support Tools in Disaster Risk Reduction. – Zürich.

MECHLER R. (2016): Reviewing estimates of the economic efficiency of disaster risk management: opportunities and limitations of using risk-based cost–benefit analysis. – In: Natural Hazards 81, 2121–2147.

MENDOZA-TINOCO D., GUAN D., ZENG Z., XIA Y. und SERRANO A. (2017): Flood footprint of the 2007 floods in the UK: The case of the Yorkshire and The Humber region. – In: Journal of Cleaner Production 168, 655-667.

MERZ B., KREIBICH H., SCHWARZE R. und THIEKEN A. (2010): Review article. "Assessment of economic flood damage". – In: Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 10, 1697-1724.

MEYER V., PRIEST S. und KUHLICKE C. (2012): Economic evaluation of structural and non-structural flood risk management measures. Examples from the Mulde River. – In: Nat Hazards 62, 301-324.

MEYER V., BECKER N., MARKANTONIS V., SCHWARZE R., VAN DEN BERGH J.C., BOUWER L.M., BUBECK P., CIAVOLA P., GENOVESE E., GREEN C., HALLEGATTE S., KREIBICH H., LEQUEUX Q., LOGAR I., PAPYRAKIS E., PFURTSCHELLER C., POUSSIN J., PRZYLUSKI V., THIEKEN A.H. und VIAVATTENE C. (2013): Review article: Assessing the costs of natural hazards. State of the art and knowledge gaps. – In: Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 13, 1351-1373.

MURDOCK H.J., DE BRUIJN K. M. und GERSONIUS B. (2018): Assessment of Critical Infrastructure Resilience to Flooding Using a Response Curve Approach. – In: Sustainability 10 (3470), 1-22.

NUMPY (2025): NumPy, bezogen unter: https://numpy.org/ (Zugriff: 03.01.2025)

NUMPY (2025): NumPy, bezogen unter: https://numpy.org/ (Zugriff: 03.01.2025)

OGD (2025): INVEKOS Schläge Österreich 2022, bezogen unter: https://www.data.gv.at/katalog/dataset/ama_invekosschlgesterreich2022 (Zugriff: 03.01.2025)

OSM (2025): OpenStreetMap stellt Kartendaten für tausende von Webseiten, Apps und andere Geräte zur Verfügung, bezogen unter: https://www.openstreetmap.org/about (Zugriff: 03.01.2025)

PANDAS (2025): pandas, bezogen unter: https://pandas.pydata.org/ (Zugriff: 03.01.2025)

PAPATHOMA-KÖHLE M. (2016): Vulnerability curves vs. vulnerability indicators: application of an indicator-based methodology for debris-flow hazards. In: Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 16, 1771-1790.

PEARCE D., ATKINSON G. und MOURATO S. (2006): Cost-Benefit Analysis and the Environment. Recent developments. – Paris.

PyFPDF (2025): FPDF for Python, bezogen unter: https://pyfpdf.readthedocs.io/en/latest/ (Zugriff: 03.01.2025)

RUPI F., BERNARDI S., ROSSI G. und DANESI A. (2015): The evaluation of road network vulnerability in mountainous areas: A case study. – In: Networks and Spatial Economics 15(2), 397-411.

SCHANZE J. (2006): Flood risk management. A basic framework. – In: SCHANZE J., ZEMAN E. und MARSALEK J. (Hrsg.): Flood Risk Management. Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures. – Dordrecht, 1-20.

SEEBAUER S., THALER T., WENK M. (2024): Soziale Gerechtigkeit in Wirtschaftlichkeitsbewertungen im Hochwasser-Risikomanagement. Endbericht an den Klima- und Energiefonds. Wien.

SEN A.K. (2000): The discipline of cost-benefit analysis. – In: Journal of Legal Studies 29 (S2), 931-952.

SEIWALD J., GEPPL M. und THALLER A. (2011): Handbuch Wirkungsorientierte Steuerung. Unser Handeln erzeugt Wirkung. – Bundesministerin für Frauen und Öffentlichen Dienst im Bundeskanzleramt Österreich (Hrsg.), Wien.

SHREVE C.M. und KELMAN I. (2014): Does mitigation save? Reviewing cost-benefit analyses of disaster risk reduction. – In: International Journal of Disaster Risk Reduction 10, 213-235.

SMITH D.I. (1981): Actual and potential flood damage: a case study from urban Lismore, NSW, Australia. – In: Applied Geography 1 (1), 31-39.

SMITH G.P., MODRA B.D. und FELDER S. (2019): Full-scale testing of stability curves for vehicles in flood waters. – In: Journal of Flood Risk Management 12 (S2), 1-15.

STATISTIK AUSTRIA (2020): Adress GWR online – Handbuch Teil C, Anhang 2. – Statistik Austria, Wien.

STATISTIK AUSTRIA (2025): Regionalstatistisches Datenangebot, bezogen unter: https://www.statistik.at/services/tools/services/regionales/regionalstatistisches-datenangebot (Zugriff: 03.01.2025)

SVENNINGSEN L, BAY L., DOEMGAARD M.L., HALSNAES K., KASPERSEN P.S. und LARSEN M.D. (2020): Beyond the stage-damage function: Estimating the economic damage on residential buildings from storm surges. – In: Natural Hazards and Earth System Sciences. Preprint nhess-2020-30, 1-24.

THALER T. und JONGMAN B. (2018): Economic Vulnerability. – In: FUCHS S. und THALER T. (Hrsg.): Vulnerability and Resilience to Natural Hazards. – Cambridge, 82-97.

THIEKEN A.H., OLSCHEWSKI A., KREIBICH H., KOBSCH S. und MERZ B. (2008): Development and evaluation of FLEMOps - a new Flood Loss Estimation MOdel for the private sector. – In: PROVERBS D., BREBBIA C.A. und PENNING-ROWSELL E. (Hrsg.): Flood Recovery, Innovation and Response. – Southampton und Boston, 315-324.

UNDRO (1980): Natural disasters and vulnerability analysis. – Office of the United Nations Disaster Relief Co-ordinator, Geneva.

UNTERLERCHER M. (2019): Eigenvorsorge bei Oberflächenabfluss. Ein Leitfaden für Planung, Neubau und Anpassung. – Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, Wien.

VERMAAT J.E., WAGTENDONK A.J., BROUWER R., SHEREMET O., ANSINK E., BROCKHOFF T., PLUG M., HELLSTEN S., AROVIITA J., TYLEC L., GIELCZEWSKI M., KOHUT L., BRABEC K., HAVERKAMP J., POPPE M., BÖCL K., COERSSEN M., SEGERSTEN J. und HERING D. (2015): Assessing the societal benefits of river restoration using the ecosystem services approach. – In: Hydrobiologia 769, 121-135.

VOORENDT M.Z. (2015): Examples of multifunctional flood defences. Working Report. – Delft.

WEIMER D. (2008): Introduction: Cost-Benefit Analysis and Public Policy. – In: WEIMER D. (Hrsg.): Cost-Benefit Analysis and Public Policy. – New Jersey, 2-6.

WENK M. und NEUHOLD C. (2020): Bin ich hochwassergefährdet? Die Hochwassergefahren- und -risikokarten geben dazu Auskunft! – Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, Wien.

WHARTON G. und GILVEAR D.J. (2007): River restoration in the UK: Meeting the dual needs of the European union water framework directive and flood defence? In: International Journal of River Basin Management 5 (2), 143-154.

WHITE G.F. (1945): Human Adjustment to Floods. A Geographical Approach to the Flood Problem in the United States. – Dissertation, University of Chicago, Chicago.

WINKLER C., GAUDERON A. und BRÜNDL M. (2009): Risikokonzept für Naturgefahren. Teil B: Anwendung des Risikokonzepts: Prozess Hochwasser. – Bern.

WINTER M. G., SHEARER B., PALMER D., PEELING D., HARMER C. und SHARPE J. (2016): The Economic Impact of Landslide and Floods on the Road Network. – In: Procedia Engineering 142, 1425-1434.

WISNER B., BLAIKIE P., CANNON T. und DAVIS I. (2014): At Risk II: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters (2nd ed.). – Hoboke.

WKO (2025): ÖNACE - Klassifikation der Wirtschaftstätigkeiten, bezogen unter: https://www.wko.at/service/zahlen-daten-fakten/oenace.html (Zugriff: 03.01.2025)

ZEISLER P. und PFLÜGNER W. (2019): Arbeitshilfe zur Bewertung von Hochwasserschutzmaßnahmen in Baden-Württemberg. – Land Baden-Württemberg, Wiesbaden und München.

Anhang - Datenbeschreibungen

Anhang 1: Attribut-Beschreibung des Adressdatensatzes GWR II

Feldname	Beschreibung	Ausprägungen
status	Kodierter Status	[0] aktiv
		[1] inaktiv
		[2] nie existent
gdaeigenschaft	Gebäudeeigenschaft klassifiziert nach Haupteigenschaft	[01] Gebäude mit einer Wohnung
		[02] Gebäude mit 2 oder mehr Wohnungen
		[03] Wohngebäude für Gemeinschaften
		[04] Hotels und ähnliche Gebäude
		[05] Bürogebäude
		[06] Groß- und Einzelhandelsgebäude
		[07] Gebäude des Verkehrs- und Nachrichtenwesens
		[08] Industrie- und Lagergebäude
		[09] Gebäude für Kultur- und Freizeitzwecke sowie das Bildungs- und Gesundheitswesen
		[10] landwirtschaftliches Nutzgebäude
		[11] freistehende Privatgarage
		[12] Kirchen, sonstige Sakralbauten
		[13] Pseudobaulichkeit
		[14] sonstiges Bauwerk
ANZPERSHWS	Anzahl der gemeldeten HWS	numerischer Wert
ANZPERSNWS	Anzahl der gemeldeten NWS	numerischer Wert
anzgescho	Anzahl der oberirdischen Geschoße	numerischer Wert
anzgeschu	Anzahl der unterirdischen Geschoße	numerischer Wert
BETR	Anzahl der gemeldeten HWS + NWS	numerischer Wert

Anhang 2: Re-Klassifikation der Digitalen Katastralmappe (DKM) für die Ermittlung der Landnutzung in der Überflutungsfläche

NUTZUNGSART	Fläche in km²	Übergeordnete Kategorien
Gebäude	726,55	Gebäudeflächen
Gebäude (rechtlich Wald)	0,00	
Gebäudenebenfläche	63,43	
Gebäudenebenfläche (rechtlich Wald)	0,00	
Abbaufläche, Halde oder Deponie	141,57	Betriebsflächen

NUTZUNGSART	Fläche in km²	Übergeordnete Kategorien
Abbaufläche, Halde oder Deponie (rechtlich Wald)	2,63	
Betriebsfläche	657,45	
Betriebsfläche (rechtlich Wald)	0,36	
Garten	1813,60	Gärten
Garten (rechtlich Wald)	0,14	
Parkplatz	42,40	Verkehrsflächen
Parkplatz (rechtlich Wald)	0,00	
Schienenverkehrsanlage	90,75	
Straßenverkehrsanlage	1674,28	
Straßenverkehrsanlage (rechtlich Wald)	0,35	
Straßenverkehrsanlage (rechtlich Weingarten)	0,00	
Verkehrsrandfläche	274,12	
Verkehrsrandfläche (rechtlich Wald)	0,42	
Freizeitfläche	247,21	siedlungsbezogene Nutzungen
Freizeitfläche (rechtlich Wald)	0,34	
Friedhof	21,36	
Friedhof (rechtlich Wald)	0,02	
Acker, Wiese oder Weidefläche	23933,40	landwirtschaftliche Nutzungen
Acker, Wiese oder Weidefläche (rechtlich Wald)	6,68	
Acker, Wiese oder Weidefläche (rechtlich Weingarten)	0,12	
Alpe	7182,86	
Alpe (rechtlich Wald)	3,11	
Dauerkulturanlage oder Erwerbsgarten	155,41	
Dauerkulturanlage oder Erwerbsgarten (rechtlich Wald)	0,07	
Weingarten	476,17	
Weingarten (rechtlich Wald)	0,00	
Forststraße	252,68	Wald und Forst
Wald	36135,30	
Wald (rechtlich nicht Wald)	6,78	
Wald (rechtlich Weingarten)	0,00	

NUTZUNGSART	Fläche in km²	Übergeordnete Kategorien
Fels- und Geröllfläche	4861,34	keine Nutzung
Fels- und Geröllfläche (rechtlich Wald)	0,01	
Feuchtgebiet	154,97	
Feuchtgebiet (rechtlich Wald)	0,01	
Gletscher	363,08	
Krummholzfläche	1024,81	
vegetationsarme Fläche	1291,81	
vegetationsarme Fläche (rechtlich Wald)	1,11	
verbuschte Fläche	876,98	
verbuschte Fläche (rechtlich Wald)	3,42	
verbuschte Fläche (rechtlich Weingarten)	0,00	
fließendes Gewässer	664,13	Wasserflächen
fließendes Gewässer (rechtlich Wald)	0,04	
Gewässerrandfläche	130,51	
Gewässerrandfläche (rechtlich Wald)	0,15	
stehendes Gewässer	597,09	
stehendes Gewässer (rechtlich Wald)	0,08	

Anhang 3: Re-Klassifikation der Funktionsklassen des Verkehrsdatensatzes GIP

FRC_ID	NAME	KAT_WB
0	000 - Straßen des transnationalen Netzes	1
1	001 - Straßen des transregionalen Netzes	2
2	002 - Straßen des zentralörtlichen Netzes	3
3	003 - Straßen des regionalen Netzes	3
4	004 - Gemeindeverbindungen	4
5	005 - Straßen des innerörtlichen Netzes	4
6	006 - Sammelstraßen	4
7	007 - Straßen der internen Erschließung	5
8	008 - Sonstige Straße	5

FRC_ID	NAME	KAT_WB
10	010 - Rad-/Fußweg	-99
11	011 - Wirtschaftsweg	-99
12	012 - Sonstiger Weg	-99
20	020 - Bahntrasse Hauptnetz	6
21	021 - Bahntrasse Ergänzungsnetz	7
22	022 - Bahntrasse Anschlussbahn, Verbindungsgleis, sonstiges Gleis	8
24	024 - Straßenbahntrasse	-99
25	025 - U-Bahn-Trasse	-99
31	031 - Fähre	-99
45	045 - Treppe	-99
46	046 - Rolltreppe	-99
47	047 - Aufzug	-99
48	048 - Rampe für den nichtmotorisierten Verkehr	-99
98	098 - Betriebsumkehr	-99
99	099 - Betriebsweg	-99
101	101 - Fußweg ohne Anzeige	-99
102	102 - Fußwegpassage	-99
103	103 - Seilbahn und Sonstige	-99
105	105 - Almaufschließungsweg	-99
106	106 - Forstaufschließungsweg	-99
107	107 - Gebäudezufahrt	-99
115	115 - Friedhofsweg	-99
200	200 - Singletrail (MTB)	-99
300	300 - Wanderweg	-99
301	301 - Bergweg	-99

Anhang - Python-Skripte

Anhang 4: Skript zur Prüfung der Datenvollständigkeit

```
# -*- coding: utf-8 -*-
# ---------------------------------------------------------------------------
# Stand: 2024-12-27
# Beschreibung: Skript zur Prüfung der Eingangsdaten
# ---------------------------------------------------------------------------

# ---------------IMPORT DER VERWENDETEN BIBLIOTHEKEN--------------------
import arcpy
import os

# ----FESTLEGUNG DER EINGANGSPARAMETER UND VERZEICHNISSE-----------------
arcpy.env.workspace = "D:/KNU_Beispiele/goesselsdorfer/Seebach_LAM.gdb"
basidatenGDB = "D:/KNU_Analyse/EXPO_DB.gdb/"
ErgebnisGBD = "D:/KNU_Analyse/ERGEBNIS_DB.gdb/"
TempGBD = "D:/KNU_Analyse/TEMP.gdb/"
TempO = "D:/KNU_Analyse/TEMP/"
sr = arcpy.SpatialReference("D:/KNU_Analyse/MGI_Austria_Lambert.prj")
os.chdir(TempO)

PrjName = "Seebach"
scenarios =[30,100,300]
scenarios.sort()

# ---------------PRÜFUNG AUF VORHANDENE DATEN---------------------------
datasets = arcpy.ListFeatureClasses()
for anno in scenarios:
    if 'UFHQ' + str(anno) + "_OHNE" not in datasets:
        print('Ueberflutungsflaechenlayer für Szenario ' + str(anno) + '
(OHNE-FALL) fehlt!')
    if 'UFHQ' + str(anno) + "_MIT" not in datasets:
        print('Ueberflutungsflaechenlayer für Szenario ' + str(anno) + '
(MIT-FALL) fehlt!')
    if 'WT' + str(anno) + "_OHNE" not in datasets:
        print('Wassertiefen-Layer für Szenario mit der Jährlichkeit ' +
str(anno) + ' (OHNE-FALL) fehlt!')
    if 'WT' + str(anno) + "_MIT" not in datasets:
        print('Wassertiefen-Layer für Szenario mit der Jährlichkeit ' +
str(anno) + ' (MIT-FALL) fehlt!')

# -------------------PRÜFUNG DER ATTRIBUTE WASSERTIEFE-----------------
WTdatasets = arcpy.ListFeatureClasses("WT*")
for ds in WTdatasets:
    fieldList = arcpy.ListFields(ds, "T_KLASSE")
    fieldCount = len(fieldList)
    if (fieldCount == 0):
        print('Wassertiefen-Attribut im Layer ' + str(ds) + ' fehlt!')
    for ent in fieldList:
        if ent.type == 'String':
            print('Wassertiefen-Attribut im Layer ' + str(ds) + ' ist als
String gespeichert! Dieses ist als Zahlen-Wert abzuspeichern!')
```

Anhang 5: Skript zur Verschneidung der betroffenen Landnutzungen

```
# -*- coding: utf-8 -*-
# ----------------------------------------------------------------------
# Stand: 2024-12-27
# Beschreibung: Skript zur Verschneidung der betroffenen Landnutzungen
# Ergebnis ersetzt Registerkarte "Flächennutzungen"
# ----------------------------------------------------------------------

# ---------------IMPORT DER VERWENDETEN BIBLIOTHEKEN-------------------
import arcpy
import numpy as np

# ----FESTLEGUNG DER EINGANGSPARAMETER UND VERZEICHNISSE---------------
arcpy.env.workspace                                                    =
"D:/KNU_Beispiele/KNU_Kleinhoeflein/Kleinhoeflein_lam.gdb"
basidatenGDB = "D:/KNU_Analyse/EXPO_DB.gdb/"
ErgebnisGBD = "D:/KNU_Analyse/ERGEBNIS_DB.gdb/"
TempGBD = "D:/KNU_Analyse/TEMP.gdb/"
TempO = "D:/KNU_Analyse/TEMP/"
sr = arcpy.SpatialReference("D:/KNU_Analyse/MGI_Austria_Lambert.prj")

PrjName = "Seebach"
scenarios =[30,100,300]
scenarios.sort()


# -VERSCHNEIDUNG UEBERFLUTUNGSFLAECHEN UND NUTZUNGSKLASSEN (OHNE FALL)--
arcpy.Clip_analysis(basidatenGDB  +  "DKM_NUTZFL",  "UG",  ErgebnisGBD  +
"DKM_NUTZFL_UG")
arcpy.conversion.TableToTable(TempGBD    +    "NFLbase",    ErgebnisGBD,
"NFL_ohne_stats")

for uef in scenarios:
    arcpy.Clip_analysis(ErgebnisGBD + "DKM_NUTZFL_UG", "UFHQ" + str(uef)
+ "_OHNE", ErgebnisGBD + "NFL_" + str(uef))
    arcpy.Statistics_analysis(ErgebnisGBD + "NFL_" + str(uef), ErgebnisGBD
+ "NFLstat_" + str(uef), [["Shape_Area", "SUM"]], "LN_Kat")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "NFLstat_" + str(uef), "HQ" +
str(uef), "LONG")
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "NFLstat_" + str(uef),
"HQ" + str(uef), "!SUM_Shape_Area!", "PYTHON3", "")
    arcpy.JoinField_management(ErgebnisGBD + "NFL_ohne_stats", "LN_Kat",
ErgebnisGBD + "NFLstat_" + str(uef), "LN_Kat", ["HQ" + str(uef)])

arcpy.TableToTable_conversion(ErgebnisGBD  +  "NFL_ohne_stats",  TempO,
"NFL_ohne_stats.csv")

# -VERSCHNEIDUNG UEBERFLUTUNGSFLAECHEN UND NUTZUNGSKLASSEN (MIT-FALL)---
arcpy.conversion.TableToTable(TempGBD    +    "NFLbase",    ErgebnisGBD,
"NFL_mit_stats")

for uef in scenarios:
    arcpy.Clip_analysis(ErgebnisGBD + "DKM_NUTZFL_UG", "UFHQ" + str(uef)
+ "_MIT", ErgebnisGBD + "NFL_" + str(uef) + "MIT")
    arcpy.Statistics_analysis(ErgebnisGBD  +  "NFL_"  +  str(uef)  +  "MIT",
ErgebnisGBD  +  "NFLstat_"  +  str(uef)  +  "MIT",  [["Shape_Area",  "SUM"]],
"LN_Kat")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "NFLstat_" + str(uef) + "MIT",
"HQ" + str(uef), "LONG")
```

```
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "NFLstat_" + str(uef) +
"MIT", "HQ" + str(uef), "!SUM_Shape_Area!", "PYTHON3", "")
    arcpy.JoinField_management(ErgebnisGBD + "NFL_mit_stats", "LN_Kat",
ErgebnisGBD + "NFLstat_" + str(uef) + "MIT", "LN_Kat", ["HQ" + str(uef)])

arcpy.TableToTable_conversion(ErgebnisGBD + "NFL_mit_stats", TempO,
"NFL_mit_stats.csv")
```

Anhang 6: Skript zur Erstellung eines Fact Sheets der betroffenen Landnutzungen

```
# -*- coding: utf-8 -*-
# ------------------------------------------------------------------------
# Stand: 2024-12-27
# Beschreibung: Skript zur Erstellung eines Fact-Sheets der betroffenen
Landnutzungen
# ------------------------------------------------------------------------

# ---------------IMPORT DER VERWENDETEN BIBLIOTHEKEN--------------------

import matplotlib.pyplot as plt
from fpdf import FPDF
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

class PDF(FPDF):

    #-----------------------FUNKTION FÜR KOPFZEILE-----------------------
--
    def header(self):
        self.add_font("EuropaB",                                        '',
r'c:\WINDOWS\Fonts\EuropaAustriaBold.ttf', uni=True)
        self.set_font("EuropaB", "", 20)
        self.set_fill_color(40,74,110)
        self.set_text_color(256,256,256)
        self.cell(0, 19, "Flächennutzungen nach Szenarien", 0, ln=1,
align="C", fill=True)
        self.image('BMLLogo.png', x = 172, y = 4, w = 40)
        self.ln(10)

    #-----------------------FUNKTION FÜR FUSSZEILE-----------------------
--
    def footer(self):
        self.add_font("EuropaLI",                                       '',
r'c:\WINDOWS\Fonts\EuropaAustriaLightItalic.ttf', uni=True)
        self.set_y(-15)
        self.set_font("EuropaLI", "", 10)
        self.cell(0, 5, "KWA " + Projektname, border=False, ln=1,
align="C")

    #-------------------FUNKTION FÜR NEUE SEITE UND MARGINS-------------
----
    def set_info(self):
        self.set_margins(0,-1,0)
        self.add_page()
```

```
    #--------------------FUNKTION ZUR POSITIONIERUNG GRAPH---------------
----
    def set_graph(self, location, title):
        self.set_xy(location[0],location[1]-14)
        self.cell(0, 19, title, 0, 1,"C")
        self.image('temp_plot.png', location[0], location[1], w = 180, h
= 0)

    #--------------------FUNKTION ZUR TABELLENERSTELLUNG-----------------
--
    def create_table(self, title, df_data, location, headers = False):
        # title übergibt den Titel der Tabelle
        # df_data ist ein pandas dataframe mit den Tabellendaten
        # die header-Option kann eingesetzt werden, um die ursprünglichen
Spaltenbezeichnungen zu überschreiben
        # location gibt die XY-Position der Tabelle im PDF an
        if headers == False:
            headers = ['Kategorie', 'HQ30', 'HQ100', 'HQ300']

        gap_w = 1 # Abstand zwischen den Zellen
        font_size = 8   # Schriftgröße den Einträge
        title_size = 14 # Schriftgröße der Tabellenüberschift
        cell_hight = 4.5  # Zellenhöhe
        line_width = .25 # Stärke der Trennlinie
        col_w = [60,25] # Spaltenbreite, der ersten Spalte sowie aller
folgenden

        self.set_xy(location[0], location[1]-10)
        self.set_line_width(line_width+.25)
        self.set_fill_color(217,226,226)
        self.set_text_color(0,0,0)
        self.add_font("EuropaB",                                        '',
r'c:\WINDOWS\Fonts\EuropaAustriaBold.ttf', uni=True)
        self.add_font("EuropaR",                                        '',
r'c:\WINDOWS\Fonts\EuropaAustriaRegular.ttf', uni=True)

        self.set_font("EuropaB", "", title_size)
        self.cell(120, 8, ' '+title, 0, ln=1, align="L" )
        self.set_font("EuropaB", "", font_size)
        self.set_x(location[0])
        # Schreiben der Überschrift
        for jj in headers:
            if jj == headers[0]:
                self.cell(col_w[0], cell_hight, ' '+str(jj), 'B', ln=0,
align="L" )
                self.cell(gap_w, cell_hight, '', 0, ln=0, align="L" )
            elif jj == headers[-1]:
                self.cell(col_w[1],  cell_hight,  str(jj),  'B',  ln=1,
align="R" )
            else:
                self.cell(col_w[1],  cell_hight,  str(jj),  'B',  ln=0,
align="R")
                self.cell(gap_w, cell_hight, '', 0, ln=0, align="R" )
        self.cell(100, line_width + .25,'',0,1)
        self.set_font("EuropaR", "", font_size)
        self.set_line_width(line_width)

        # Schreiben der Dateneinträge
        for index, row in df_data.iterrows():
```

```
            self.set_x(location[0])
            self.cell(col_w[0], cell_hight, ' '+str(row[2]), 'B', ln=0,
align="L" , fill= True)
            self.cell(gap_w, cell_hight, '', 0, ln=0, align="L" )
            self.cell(col_w[1], cell_hight, str(row[3])+' ', 'B', ln=0,
align="R" )
            self.cell(gap_w, cell_hight, '', 0, ln=0, align="R" )
            self.cell(col_w[1], cell_hight, str(row[4])+' ', 'B', ln=0,
align="R" )
            self.cell(gap_w, cell_hight, '', 0, ln=0, align="R" )
            self.cell(col_w[1], cell_hight, str(row[5])+' ', 'B', ln=1,
align="R" )


#------------------FUNKTION FÜR ERSTELLUNG DIAGRAMME---------------------
-----
def create_graphs(data_1, data_2, graph_colors, legend_labels, x_label =
False):
    # date_1 ist PandasDF des ersten Diagramms
    # data_2 ist PandasDF des zweiten Diagramms
    # graph_colors übergibt eine Liste mit Digrammfarben
    # x_label verändert die Beschriftung der XAchsen
    plt.rcParams['font.family'] = 'sans-serif'
    plt.rcParams['font.sans-serif'] = 'Europa Austria'
    fig, plot = plt.subplots(1, 2, figsize=(9, 4), dpi=300, sharey=True)
    x_label = ['HQ30', 'HQ100', 'HQ300']

    # Erzeugen des ersten Subplots
    bottom = [0,0,0]
    bottom = np.array([0,0,0])
    for index, row in data_1.iterrows():
        row = list(row[3:])
        if index == 0:
            plot[0].bar(x_label, row, color=graph_colors[index], label =
legend_labels[index])
        else:
            plot[0].bar(x_label,        row,        bottom=        bottom,
color=graph_colors[index], label = legend_labels[index])
        bottom = bottom + np.array(row)
    plot[0].title.set_text('Ohne-Fall')
    plot[0].plot(1, 1)

    # Erzeugen des zweiten Subplots
    bottom = [0,0,0]
    for index, row in data_2.iterrows():
        row = list(row[3:])
        if index == 0:
            plot[1].bar(x_label, row, color=graph_colors[index], label =
legend_labels[index])
        else:
            plot[1].bar(x_label,        row,        bottom=        bottom,
color=graph_colors[index], label = legend_labels[index])
        bottom = bottom + np.array(row)
    plot[1].title.set_text('Mit-Fall')
    plot[1].plot(1, 1)

    # Erstellung Legende und Achsenbeschriftungen
    handles, labels = plot[0].get_legend_handles_labels()
```

```
    fig.legend(handles[::-1],          labels[::-1],          loc='lower
center',bbox_to_anchor=(0.5, -0.15),frameon=False, ncol=3)
    fig.supylabel('Fläche (in m²)')
    fig.savefig('temp_plot.png',dpi=300, bbox_inches = "tight")



#--------------------AUFBAU DES DOKUMENTES-----------------------
Projektname = 'Seebach'

# Diagrammfarben als HEX
Gebaudeflachen = '#B84746'
Betriebsflachen = '#523F7F'
Garten = '#8BBA55'
verkehrsflachen = '#6F7371'
siedlungsbezogene_nutzung =  '#E3A04D'
landwirtschaftliche_nutzung = '#EAD7AD'
wald_und_forst = '#47854A'
keine_nutzung = '#DF987A'
wasserflachen = '#485F98'
# Erstellung einer Liste aus den Farben
graph_colors = [Gebaudeflachen ,Betriebsflachen ,Garten ,verkehrsflachen
,siedlungsbezogene_nutzung  ,landwirtschaftliche_nutzung  ,wald_und_forst
,keine_nutzung ,wasserflachen]
# Legende des Diagramms
legend_labels = ['Gebäudeflächen',
                 'Betriebsflächen',
                 'Gärten',
                 'Verkehrsflächen',
                 'Siedlungsbezogene Nutzungen',
                 'Landwirtschaftliche Nutzungen',
                 'Wald und Forst',
                 'Keine Nutzung',
                 'Wasserflächen',
                 ]

# Einlesen der CSVFiles
df_ohne = pd.read_csv( "NFL_ohne_stats.csv", sep=';')
df_mit = pd.read_csv("NFL_mit_stats.csv", sep=';')

# Erzeugen des Diagrammplots
create_graphs(df_ohne,df_mit,graph_colors, legend_labels)

# Einrichten des PDFDokuments
pdf_ = PDF('P','mm','Letter')
pdf_.set_info()

# Platzierung des Diagramms
pdf_.set_graph([11,31], 'Nutzungen der überfluteten Flächen')

# Erstellung erste Tabelle
table_1_header = "Betroffene Flächen nach aktuellem Stand (Ohne-Fall)"
ohne_header = ['Kategorie (in m²)', 'HQ30', 'HQ100', 'HQ300']
pdf_.create_table(table_1_header, df_ohne, [21, 147], ohne_header)

# Erstellung zweite Tabelle
table_2_header = "Betroffene Flächen mit Schutzmassnahmen (Mit-Fall)"
mit_header = ['Kategorie (in m²)', 'HQ30', 'HQ100', 'HQ300']
pdf_.create_table(table_2_header, df_mit, [21, 210], mit_header)
```

```
# Speichern des PDFs
pdf_.output("landnutzungen.pdf")
```

Anhang 7: Skript zur Ermittlung der betroffenen Bevölkerung

```
# -*- coding: utf-8 -*-
# ------------------------------------------------------------------------
# Stand: 2025-12-27
# Beschreibung: Skript zur Ermittlung von direkt betroffenen Personen
# Ergebnis ersetzt Registerkarte "Bevölkerung, Beschäftigte"
# ------------------------------------------------------------------------

# ---------------IMPORT DER VERWENDETEN BIBLIOTHEKEN--------------------
import arcpy
import numpy as np
import os

#----FESTLEGUNG DER EINGANGSPARAMETER UND VERZEICHNISSE-----------------
arcpy.env.workspace                                                    =
"D:/KNU_Beispiele/StUlricherBachGP/StUlricherBach_LAM.gdb"
# arcpy.env.workspace = "D:/KNU_Beispiele/KNU_Ritzing/Ritzing_lam.gdb"
# arcpy.env.workspace = "D:/KNU_Beispiele/goesselsdorfer/Seebach_LAM.gdb"
basidatenGDB = "D:/KNU_Analyse/EXPO_DB.gdb/"
ErgebnisGBD = "D:/KNU_Analyse/ERGEBNIS_DB.gdb/"
TempGBD = "D:/KNU_Analyse/TEMP.gdb/"
TempO = "D:/KNU_Analyse/TEMP/"
sr = arcpy.SpatialReference("D:/KNU_Analyse/MGI_Austria_Lambert.prj")
os.chdir(TempO)
PrjName = "Seebach"
scenarios =[30,100,300]
scenarios.sort()

#--------------VORBEREITUNG DER DATEN ZU BETROFFENEN und GEBÄUDEN-------
#--------------ZUSCHNEIDEN DER BASISDATEN AUF UNTERSUCHUNGSGEBIET-------
arcpy.Clip_analysis(basidatenGDB + "ADRESSEN_2020", "UG", ErgebnisGBD +
"ADRESSEN_2020_UG")
arcpy.Clip_analysis(basidatenGDB + "DKM_Gebaeude", "UG", ErgebnisGBD +
"GEB_U")
arcpy.Clip_analysis(basidatenGDB + "StatRaster125m", "UG", ErgebnisGBD +
"STAT_RAS_UG")
arcpy.Dissolve_management(ErgebnisGBD + "GEB_U", ErgebnisGBD + "GEB_UG",
"GSTID", "", "MULTI_PART", "DISSOLVE_LINES")


#------IDENTIFIKATION JENER GWRII-EINTRÄGE MIT RÄUMLICHEM DKM-BEZUG-----
arcpy.Near_analysis(ErgebnisGBD + "ADRESSEN_2020_UG", ErgebnisGBD +
"GEB_UG", search_radius="5 Meters", location="NO_LOCATION",
angle="NO_ANGLE", method="PLANAR")
arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "GEB_UG", field_name="NEARID",
field_type="LONG", field_is_nullable="NULLABLE",
field_is_required="NON_REQUIRED")
arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "GEB_UG", "NEARID",
"!OBJECTID!", "PYTHON3")
arcpy.MultipartToSinglepart_management(ErgebnisGBD + "GEB_UG",
ErgebnisGBD + "GEB_UG_SP")
arcpy.Select_analysis(ErgebnisGBD + "ADRESSEN_2020_UG", ErgebnisGBD +
"ADRESSEN_2020_UG_OG", where_clause="NEAR_DIST=-1")
```

```
arcpy.Select_analysis(ErgebnisGBD + "ADRESSEN_2020_UG", ErgebnisGBD +
"ADRESSEN_2020_UG_MG", where_clause="NEAR_DIST>=0")

#-------------LAYER-UMWANDLUNG UM SPÄTERE JOINS ZU ERMÖGLICHEN----------
arcpy.MakeFeatureLayer_management(ErgebnisGBD + "ADRESSEN_2020_UG_OG",
"ADRESSEN_2020_UG_OG_Layer")
arcpy.MakeFeatureLayer_management(ErgebnisGBD + "ADRESSEN_2020_UG_MG",
"ADRESSEN_2020_UG_MG_Layer")
arcpy.MakeFeatureLayer_management(ErgebnisGBD + "GEB_UG_SP", "GEB_Layer")
arcpy.MakeFeatureLayer_management(ErgebnisGBD + "STAT_RAS_UG",
"STAT_RAS_UG")

#-----VERSCHNEIDUNG UEBERFLUTUNGSFLAECHEN UND BETROFFENE (OHNE-FALL)----
arcpy.TableSelect_analysis(TempGBD + "BETR_Base", ErgebnisGBD + "BETR_O",
'')
#---------VORBEREITUNG VON FELDERN IN DER ZUSAMMENFASSUNGSTABELLE-------
for uef in scenarios:
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD +"BETR_O", "MG" + str(uef),
"LONG")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD +"BETR_O", "OG" + str(uef),
"LONG")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD +"BETR_O", "SUM" + str(uef),
"LONG")
    arcpy.management.AssignDefaultToField(ErgebnisGBD +"BETR_O", "MG" +
str(uef), 0)
    arcpy.management.AssignDefaultToField(ErgebnisGBD +"BETR_O", "OG" +
str(uef), 0)
    arcpy.management.AssignDefaultToField(ErgebnisGBD +"BETR_O", "SUM" +
str(uef), 0)
arcpy.MakeTableView_management(ErgebnisGBD +"BETR_O", "BETR_O")

#------VERSCHNEIDUNG VON ÜBERFLUTUNGSFLÄCHEN MIT GWRII UND STAT-RASTER--
for uef in scenarios:
    Selection_OG =
arcpy.SelectLayerByLocation_management("ADRESSEN_2020_UG_OG_Layer",
"INTERSECT", "UFHQ" + str(uef) + "_OHNE", search_distance="3 Meters",
selection_type="NEW_SELECTION")
    arcpy.CopyFeatures_management(Selection_OG, ErgebnisGBD + "BETRo_OG_"
+ str(uef))
    arcpy.DeleteIdentical_management(ErgebnisGBD + "BETRo_OG_" +
str(uef), ["objnr"])
    Selection_MG = arcpy.SelectLayerByLocation_management("GEB_Layer",
"INTERSECT", "UFHQ" + str(uef) + "_OHNE", search_distance="0 Meters",
selection_type="NEW_SELECTION")
    arcpy.CopyFeatures_management(Selection_MG, ErgebnisGBD + "BETR_MG_"
+ str(uef))
    arcpy.AddJoin_management("ADRESSEN_2020_UG_MG_Layer", "NEAR_FID",
ErgebnisGBD + "BETR_MG_" + str(uef) , "NEARID", "KEEP_COMMON")
    arcpy.CopyFeatures_management("ADRESSEN_2020_UG_MG_Layer",
ErgebnisGBD + "ADR_select_MG" + str(uef))
    arcpy.RemoveJoin_management("ADRESSEN_2020_UG_MG_Layer")
    arcpy.DeleteIdentical_management(ErgebnisGBD + "ADR_select_MG" +
str(uef), ["ADRESSEN_2020_UG_MG_objnr"])
    #------AUSWAHL JENER EINTRÄGE MIT WIRTSCHAFTLICHEN NUTZUNGEN--------
    arcpy.Merge_management([ErgebnisGBD + "BETRo_OG_" +
str(uef),ErgebnisGBD + "ADR_select_MG" + str(uef)], ErgebnisGBD +
"BETR_GBD_OHNE" + str(uef), field_mappings='objnr "objnr" true true false
8 Double 0 0 ,First,#,BETRo_OG_30,objnr,-1,-
1,ADR_select_MG30,ADRESSEN_2020_UG_MG_objnr,-1,-1;status "status" true
```

```
true false 4 Long 0 0 ,First,#,BETRo_OG_30,status,-1,-
1,ADR_select_MG30,ADRESSEN_2020_UG_MG_status,-1,-1;gdaeigenschaft
"gdaeigenschaft" true true false 4 Long 0 0
,First,#,BETRo_OG_30,gdaeigenschaft,-1,-
1,ADR_select_MG30,ADRESSEN_2020_UG_MG_gdaeigenschaft,-1,-1;anzpershws
"anzpershws" true true false 4 Long 0 0 ,First,#,BETRo_OG_30,anzpershws,-
1,-1,ADR_select_MG30,ADRESSEN_2020_UG_MG_anzpershws,-1,-1;anzpersnws
"anzpersnws" true true false 4 Long 0 0 ,First,#,BETRo_OG_30,anzpersnws,-
1,-1,ADR_select_MG30,ADRESSEN_2020_UG_MG_anzpersnws,-1,-1;anzgescho
"anzgescho" true true false 4 Long 0 0 ,First,#,BETRo_OG_30,anzgescho,-
1,-1,ADR_select_MG30,ADRESSEN_2020_UG_MG_anzgescho,-1,-1;anzgeschu
"anzgeschu" true true false 4 Long 0 0 ,First,#,BETRo_OG_30,anzgeschu,-
1,-1,ADR_select_MG30,ADRESSEN_2020_UG_MG_anzgeschu,-1,-1;flueberbaut
"flueberbaut" true true false 8 Double 0 0
,First,#,BETRo_OG_30,flueberbaut,-1,-
1,ADR_select_MG30,ADRESSEN_2020_UG_MG_flueberbaut,-1,-1;flnetto "flnetto"
true true false 8 Double 0 0 ,First,#,BETRo_OG_30,flnetto,-1,-
1,ADR_select_MG30,ADRESSEN_2020_UG_MG_flnetto,-1,-1;flwohn "flwohn" true
true false 8 Double 0 0 ,First,#,BETRo_OG_30,flwohn,-1,-
1,ADR_select_MG30,ADRESSEN_2020_UG_MG_flwohn,-1,-1;bauperiode
"bauperiode" true true false 4 Long 0 0 ,First,#,BETRo_OG_30,bauperiode,-
1,-1,ADR_select_MG30,ADRESSEN_2020_UG_MG_bauperiode,-1,-1;abwasser
"abwasser" true true false 2147483647 Text 0 0
,First,#,BETRo_OG_30,abwasser,-1,-
1,ADR_select_MG30,ADRESSEN_2020_UG_MG_abwasser,-1,-1;waermesystem
"waermesystem" true true false 4 Long 0 0
,First,#,BETRo_OG_30,waermesystem,-1,-
1,ADR_select_MG30,ADRESSEN_2020_UG_MG_waermesystem,-1,-1;brennart
"brennart" true true false 4 Long 0 0 ,First,#,BETRo_OG_30,brennart,-1,-
1,ADR_select_MG30,ADRESSEN_2020_UG_MG_brennart,-1,-1;bauweise "bauweise"
true true false 2147483647 Text 0 0 ,First,#,BETRo_OG_30,bauweise,-1,-
1,ADR_select_MG30,ADRESSEN_2020_UG_MG_bauweise,-1,-1')
    arcpy.analysis.Select(ErgebnisGBD + "BETR_GBD_OHNE" +
str(uef),ErgebnisGBD + "BETR_GBD_G_OHNE" + str(uef), "gdaeigenschaft = 4
Or gdaeigenschaft = 5 Or gdaeigenschaft = 6 Or gdaeigenschaft = 7 Or
gdaeigenschaft = 8")
    #---PRAGMATISCHE ANALYSE ZUR ABLEITUNG VON BETROFFENEN BESCHÄFTIGTEN-
----
    Selection_BESCH =
arcpy.SelectLayerByLocation_management("STAT_RAS_UG", "INTERSECT",
ErgebnisGBD + "BETR_GBD_G_OHNE" + str(uef))
    arcpy.CopyFeatures_management(Selection_BESCH, ErgebnisGBD +
"BETR_DIR_OHNE" + str(uef))
    arcpy.analysis.SpatialJoin(ErgebnisGBD + "BETR_DIR_OHNE" + str(uef),
ErgebnisGBD + "BETR_GBD_G_OHNE" + str(uef), ErgebnisGBD +
"BETR_DIR_OHNE_J_" + str(uef))
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "BETR_DIR_OHNE_J_" +
str(uef), "BETRBESCH", "LONG")
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "BETR_DIR_OHNE_J_" +
str(uef), "BETRBESCH", "!FZ_BESCH! if !Join_Count! >= !FZ_AST! else
math.ceil(!Join_Count!/!FZ_AST!*!FZ_BESCH!)", "PYTHON3")
    arcpy.Statistics_analysis(ErgebnisGBD + "BETR_DIR_OHNE_J_" +
str(uef), ErgebnisGBD + "BETR_BESCH_stat" + str(uef), "BETRBESCH SUM", "")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "BETR_BESCH_stat" + str(uef),
"JOIN", "TEXT")
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "BETR_BESCH_stat" +
str(uef), "JOIN", '"BESCH"')
    arcpy.AddJoin_management("BETR_O", "JOIN", ErgebnisGBD +
"BETR_BESCH_stat" + str(uef), "JOIN", "KEEP_COMMON")
```

```
    arcpy.CalculateField_management("BETR_O", "OG" + str(uef), "0 if
!BETR_BESCH_stat" + str(uef) + ".SUM_BETRBESCH! is None else
!BETR_BESCH_stat" + str(uef) + ".SUM_BETRBESCH!", "PYTHON3", "")
    arcpy.RemoveJoin_management ("BETR_O")
    #---STATISTIK BETROFFENE HWS NACH GWRII MIT GEBÄUDE-ZUORDNUNG-------
    arcpy.Statistics_analysis(ErgebnisGBD + "ADR_select_MG" + str(uef),
ErgebnisGBD + "ADR_MG_stat" + str(uef), "ADRESSEN_2020_UG_MG_anzpershws
SUM", "")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "ADR_MG_stat" + str(uef),
"JOIN", "TEXT")
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "ADR_MG_stat" +
str(uef), "JOIN", '"HWS"')
    arcpy.AddJoin_management("BETR_O", "JOIN", ErgebnisGBD +
"ADR_MG_stat" + str(uef) , "JOIN", "KEEP_COMMON")
    arcpy.CalculateField_management("BETR_O", "MG" + str(uef), "0 if
!ADR_MG_stat" + str(uef) + ".SUM_ADRESSEN_2020_UG_MG_anzpershws! is None
else !ADR_MG_stat" + str(uef) + ".SUM_ADRESSEN_2020_UG_MG_anzpershws!",
"PYTHON3", "")
    arcpy.RemoveJoin_management ("BETR_O")
    #----STATISTIK BETROFFENE NWS NACH GWRII MIT GEBÄUDE-ZUORDNUNG------
    arcpy.Statistics_analysis(ErgebnisGBD + "ADR_select_MG" + str(uef),
ErgebnisGBD + "ADR_MG_stat" + str(uef), "ADRESSEN_2020_UG_MG_anzpersnws
SUM", "")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "ADR_MG_stat" + str(uef),
"JOIN", "TEXT")
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "ADR_MG_stat" +
str(uef), "JOIN", '"NWS"')
    arcpy.AddJoin_management("BETR_O", "JOIN", ErgebnisGBD +
"ADR_MG_stat" + str(uef) , "JOIN", "KEEP_COMMON")
    arcpy.CalculateField_management("BETR_O", "MG" + str(uef), "0 if
!ADR_MG_stat" + str(uef) + ".SUM_ADRESSEN_2020_UG_MG_anzpersnws! is None
else !ADR_MG_stat" + str(uef) + ".SUM_ADRESSEN_2020_UG_MG_anzpersnws!",
"PYTHON3", "")
    arcpy.RemoveJoin_management ("BETR_O")
    #----STATISTIK BETROFFENE HWS NACH GWRII OHNE GEBÄUDE-ZUORDNUNG-----
    arcpy.Statistics_analysis(ErgebnisGBD + "BETRo_OG_" + str(uef),
ErgebnisGBD + "ADR_OG_stat" + str(uef), "anzpershws SUM", "")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "ADR_OG_stat" + str(uef),
"JOIN", "TEXT")
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "ADR_OG_stat" +
str(uef), "JOIN", '"HWS"')
    arcpy.AddJoin_management("BETR_O", "JOIN", ErgebnisGBD +
"ADR_OG_stat" + str(uef), "JOIN", "KEEP_COMMON")
    arcpy.CalculateField_management("BETR_O", "OG" + str(uef), "0 if
!ADR_OG_stat"+str(uef) + ".SUM_anzpershws! is None else
!ADR_OG_stat"+str(uef) + ".SUM_anzpershws!", "PYTHON3", "")
    arcpy.RemoveJoin_management ("BETR_O")
    #---STATISTIK BETROFFENE NWS NACH GWRII OHNE GEBÄUDE-ZUORDNUNG------
    arcpy.Statistics_analysis(ErgebnisGBD + "BETRo_OG_" + str(uef),
ErgebnisGBD + "ADR_OG_stat" + str(uef), "anzpersnws SUM", "")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "ADR_OG_stat" + str(uef),
"JOIN", "TEXT")
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "ADR_OG_stat" +
str(uef), "JOIN", '"NWS"')
    arcpy.AddJoin_management("BETR_O", "JOIN", ErgebnisGBD +
"ADR_OG_stat" + str(uef), "JOIN", "KEEP_COMMON")
    arcpy.CalculateField_management("BETR_O", "OG" + str(uef), "0 if
!ADR_OG_stat"+str(uef) + ".SUM_anzpersnws! is None else
!ADR_OG_stat"+str(uef) + ".SUM_anzpersnws!", "PYTHON3", "")
```

```
    arcpy.RemoveJoin_management ("BETR_O")
arcpy.conversion.TableToTable("BETR_O", ErgebnisGBD, "BETR_OHNE")

#------SUMMENBILDUNG NACH KATEGORIE UND SZENARIO---------
for uef in scenarios:
    expression = "!OG" + str(uef) + "!+!MG" + str(uef) + "!"
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD+"BETR_OHNE",    "SUM"    +
str(uef), expression, "PYTHON3", "")

arcpy.conversion.TableToTable(ErgebnisGBD    +    "BETR_OHNE",    TempO,
"BETR_OHNE.csv")

#-----VERSCHNEIDUNG UEBERFLUTUNGSFLAECHEN UND BETROFFENE (MIT-FALL)-----
#--------GLEICHE METHODIK WIE OHNE_FALL, DAHER NICHT AUSKOMMENTIERT-----
arcpy.TableSelect_analysis(TempGBD + "BETR_Base", ErgebnisGBD + "BETR_M",
'')

for uef in scenarios:
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD  +"BETR_M",  "MG"  +  str(uef),
"LONG")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD  +"BETR_M",  "OG"  +  str(uef),
"LONG")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD  +"BETR_M",  "SUM"  +  str(uef),
"LONG")
    arcpy.management.AssignDefaultToField(ErgebnisGBD  +"BETR_M",  "MG"  +
str(uef), 0)
    arcpy.management.AssignDefaultToField(ErgebnisGBD  +"BETR_M",  "OG"  +
str(uef), 0)
    arcpy.management.AssignDefaultToField(ErgebnisGBD +"BETR_M", "SUM" +
str(uef), 0)
arcpy.MakeTableView_management(ErgebnisGBD +"BETR_M", "BETR_M")

for uef in scenarios:
    Selection_OG                                                    =
arcpy.SelectLayerByLocation_management("ADRESSEN_2020_UG_OG_Layer",
"INTERSECT",  "UFHQ"  +  str(uef)  +  "_MIT",  search_distance="3  Meters",
selection_type="NEW_SELECTION")
    arcpy.CopyFeatures_management(Selection_OG, ErgebnisGBD + "BETRm_OG_"
+ str(uef))
    arcpy.DeleteIdentical_management(ErgebnisGBD    +    "BETRm_OG_"    +
str(uef), ["objnr"])
    Selection_MG   =   arcpy.SelectLayerByLocation_management("GEB_Layer",
"INTERSECT",  "UFHQ"  +  str(uef)  +  "_MIT",  search_distance="0  Meters",
selection_type="NEW_SELECTION")
    arcpy.CopyFeatures_management(Selection_MG, ErgebnisGBD + "BETRm_MG_"
+ str(uef))
    arcpy.AddJoin_management("ADRESSEN_2020_UG_MG_Layer",     "NEAR_FID",
ErgebnisGBD + "BETRm_MG_" + str(uef) , "NEARID", "KEEP_COMMON")
    arcpy.CopyFeatures_management("ADRESSEN_2020_UG_MG_Layer",
ErgebnisGBD + "ADRm_select_MG" + str(uef))
    arcpy.RemoveJoin_management ("ADRESSEN_2020_UG_MG_Layer")
    arcpy.DeleteIdentical_management(ErgebnisGBD  +  "ADRm_select_MG"  +
str(uef), ["ADRESSEN_2020_UG_MG_objnr"])

    arcpy.Merge_management([ErgebnisGBD       +       "BETRm_OG_"       +
str(uef),ErgebnisGBD  +  "ADRm_select_MG"  +  str(uef)],  ErgebnisGBD  +
"BETR_GBD_MIT" + str(uef) , field_mappings='objnr "objnr" true true false
8        Double        0        0        ,First,#,BETRm_OG_30,objnr,-1,-
1,ADRm_select_MG30,ADRESSEN_2020_UG_MG_objnr,-1,-1;status  "status"  true
```

```
true false 4 Long 0 0 ,First,#,BETRm_OG_30,status,-1,-
1,ADRm_select_MG30,ADRESSEN_2020_UG_MG_status,-1,-1;gdaeigenschaft
"gdaeigenschaft" true true false 4 Long 0 0
,First,#,BETRm_OG_30,gdaeigenschaft,-1,-
1,ADRm_select_MG30,ADRESSEN_2020_UG_MG_gdaeigenschaft,-1,-1;anzpershws
"anzpershws" true true false 4 Long 0 0 ,First,#,BETRm_OG_30,anzpershws,-
1,-1,ADRm_select_MG30,ADRESSEN_2020_UG_MG_anzpershws,-1,-1;anzpersnws
"anzpersnws" true true false 4 Long 0 0 ,First,#,BETRm_OG_30,anzpersnws,-
1,-1,ADRm_select_MG30,ADRESSEN_2020_UG_MG_anzpersnws,-1,-1;anzgescho
"anzgescho" true true false 4 Long 0 0 ,First,#,BETRm_OG_30,anzgescho,-
1,-1,ADRm_select_MG30,ADRESSEN_2020_UG_MG_anzgescho,-1,-1;anzgeschu
"anzgeschu" true true false 4 Long 0 0 ,First,#,BETRm_OG_30,anzgeschu,-
1,-1,ADRm_select_MG30,ADRESSEN_2020_UG_MG_anzgeschu,-1,-1;flueberbaut
"flueberbaut" true true false 8 Double 0 0
,First,#,BETRm_OG_30,flueberbaut,-1,-
1,ADRm_select_MG30,ADRESSEN_2020_UG_MG_flueberbaut,-1,-1;flnetto
"flnetto" true true false 8 Double 0 0 ,First,#,BETRm_OG_30,flnetto,-1,-
1,ADRm_select_MG30,ADRESSEN_2020_UG_MG_flnetto,-1,-1;flwohn "flwohn" true
true false 8 Double 0 0 ,First,#,BETRm_OG_30,flwohn,-1,-
1,ADRm_select_MG30,ADRESSEN_2020_UG_MG_flwohn,-1,-1;bauperiode
"bauperiode" true true false 4 Long 0 0 ,First,#,BETRm_OG_30,bauperiode,-
1,-1,ADRm_select_MG30,ADRESSEN_2020_UG_MG_bauperiode,-1,-1;abwasser
"abwasser" true true false 2147483647 Text 0 0
,First,#,BETRm_OG_30,abwasser,-1,-
1,ADRm_select_MG30,ADRESSEN_2020_UG_MG_abwasser,-1,-1;waermesystem
"waermesystem" true true false 4 Long 0 0
,First,#,BETRm_OG_30,waermesystem,-1,-
1,ADRm_select_MG30,ADRESSEN_2020_UG_MG_waermesystem,-1,-1;brennart
"brennart" true true false 4 Long 0 0 ,First,#,BETRm_OG_30,brennart,-1,-
1,ADRm_select_MG30,ADRESSEN_2020_UG_MG_brennart,-1,-1;bauweise "bauweise"
true true false 2147483647 Text 0 0 ,First,#,BETRm_OG_30,bauweise,-1,-
1,ADRm_select_MG30,ADRESSEN_2020_UG_MG_bauweise,-1,-1')
    arcpy.analysis.Select(ErgebnisGBD + "BETR_GBD_MIT" +
str(uef),ErgebnisGBD + "BETR_GBD_G_MIT" + str(uef), "gdaeigenschaft = 4 Or
gdaeigenschaft = 5 Or gdaeigenschaft = 6 Or gdaeigenschaft = 7 Or
gdaeigenschaft = 8")

    Selection_BESCH =
arcpy.SelectLayerByLocation_management("STAT_RAS_UG", "INTERSECT",
ErgebnisGBD +"BETR_GBD_G_MIT" + str(uef))
    arcpy.CopyFeatures_management(Selection_BESCH, ErgebnisGBD +
"BETR_DIR_MIT" + str(uef))
    arcpy.analysis.SpatialJoin(ErgebnisGBD + "BETR_DIR_MIT" + str(uef),
ErgebnisGBD + "BETR_GBD_G_MIT" + str(uef), ErgebnisGBD + "BETR_DIR_MIT_J_"
+ str(uef))
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "BETR_DIR_MIT_J_" + str(uef),
"BETRBESCH", "LONG")
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "BETR_DIR_MIT_J_" +
str(uef), "BETRBESCH", "!FZ_BESCH! if !Join_Count! >= !FZ_AST! else
math.ceil(!Join_Count!/!FZ_AST!*!FZ_BESCH!)", "PYTHON3")
    arcpy.Statistics_analysis(ErgebnisGBD + "BETR_DIR_MIT_J_" + str(uef),
ErgebnisGBD + "BETR_BESCHm_stat" + str(uef), "BETRBESCH SUM", "")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "BETR_BESCHm_stat" +
str(uef), "JOIN", "TEXT")
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "BETR_BESCHm_stat" +
str(uef), "JOIN", '"BESCH"')
    arcpy.AddJoin_management("BETR_M", "JOIN", ErgebnisGBD +
"BETR_BESCHm_stat" + str(uef), "JOIN", "KEEP_COMMON")
```

```
    arcpy.CalculateField_management("BETR_M", "OG" + str(uef), "0 if
!BETR_BESCHm_stat" + str(uef) + ".SUM_BETRBESCH! is None else
!BETR_BESCHm_stat" + str(uef) + ".SUM_BETRBESCH!", "PYTHON3", "")
    arcpy.RemoveJoin_management ("BETR_M")

    arcpy.Statistics_analysis(ErgebnisGBD + "ADRm_select_MG" + str(uef),
ErgebnisGBD + "ADRm_MG_stat" + str(uef), "ADRESSEN_2020_UG_MG_anzpershws
SUM", "")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "ADRm_MG_stat" + str(uef),
"JOIN", "TEXT")
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "ADRm_MG_stat" +
str(uef), "JOIN", '"HWS"')
    arcpy.AddJoin_management("BETR_M", "JOIN", ErgebnisGBD +
"ADRm_MG_stat" + str(uef) , "JOIN", "KEEP_COMMON")
    arcpy.CalculateField_management("BETR_M", "MG" + str(uef), "0 if
!ADRm_MG_stat" + str(uef) + ".SUM_ADRESSEN_2020_UG_MG_anzpershws! is None
else !ADRm_MG_stat" + str(uef) + ".SUM_ADRESSEN_2020_UG_MG_anzpershws!",
"PYTHON3", "")
    arcpy.RemoveJoin_management ("BETR_M")

    arcpy.Statistics_analysis(ErgebnisGBD + "ADRm_select_MG" + str(uef),
ErgebnisGBD + "ADRm_MG_stat" + str(uef), "ADRESSEN_2020_UG_MG_anzpersnws
SUM", "")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "ADRm_MG_stat" + str(uef),
"JOIN", "TEXT")
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "ADRm_MG_stat" +
str(uef), "JOIN", '"NWS"')
    arcpy.AddJoin_management("BETR_M", "JOIN", ErgebnisGBD +
"ADRm_MG_stat" + str(uef) , "JOIN", "KEEP_COMMON")
    arcpy.CalculateField_management("BETR_M", "MG" + str(uef), "0 if
!ADRm_MG_stat" + str(uef) + ".SUM_ADRESSEN_2020_UG_MG_anzpersnws! is None
else !ADRm_MG_stat" + str(uef) + ".SUM_ADRESSEN_2020_UG_MG_anzpersnws!",
"PYTHON3", "")
    arcpy.RemoveJoin_management ("BETR_M")

    arcpy.Statistics_analysis(ErgebnisGBD + "BETRm_OG_" + str(uef),
ErgebnisGBD + "ADRm_OG_stat" + str(uef), "anzpershws SUM", "")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "ADRm_OG_stat" + str(uef),
"JOIN", "TEXT")
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "ADRm_OG_stat" +
str(uef), "JOIN", '"HWS"')
    arcpy.AddJoin_management("BETR_M", "JOIN", ErgebnisGBD +
"ADRm_OG_stat" + str(uef), "JOIN", "KEEP_COMMON")
    arcpy.CalculateField_management("BETR_M", "OG" + str(uef), "0 if
!ADRm_OG_stat"+str(uef) + ".SUM_anzpershws! is None else
!ADRm_OG_stat"+str(uef) + ".SUM_anzpershws!", "PYTHON3", "")
    arcpy.RemoveJoin_management ("BETR_M")

    arcpy.Statistics_analysis(ErgebnisGBD + "BETRm_OG_" + str(uef),
ErgebnisGBD + "ADRm_OG_stat" + str(uef), "anzpersnws SUM", "")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "ADRm_OG_stat" + str(uef),
"JOIN", "TEXT")
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "ADRm_OG_stat" +
str(uef), "JOIN", '"NWS"')
    arcpy.AddJoin_management("BETR_M", "JOIN", ErgebnisGBD +
"ADRm_OG_stat" + str(uef), "JOIN", "KEEP_COMMON")
    arcpy.CalculateField_management("BETR_M", "OG" + str(uef), "0 if
!ADRm_OG_stat"+str(uef) + ".SUM_anzpersnws! is None else
!ADRm_OG_stat"+str(uef) + ".SUM_anzpersnws!", "PYTHON3", "")
```

```
    arcpy.RemoveJoin_management ("BETR_M")

arcpy.conversion.TableToTable("BETR_M", ErgebnisGBD, "BETR_MIT")

for uef in scenarios:
    expression = "!OG" + str(uef) + "!+!MG" + str(uef) + "!"
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD+"BETR_MIT",    "SUM"    +
str(uef), expression, "PYTHON3", "")

arcpy.conversion.TableToTable(ErgebnisGBD    +    "BETR_MIT",    TempO,
"BETR_MIT.csv")
```

Anhang 8: Skript zur Ermittlung der Gebäudeschäden

```
# -*- coding: utf-8 -*-
# ---------------------------------------------------------------------
# Stand: 2024-12-26
# Beschreibung: Skript zur Ermittlung von Schäden an Wohngebäuden, Nicht-
Wohngebäuden und öffentlichen Gebäuden
# Ergebnis ersetzt Registerkarten "Wohngebäude", "Nicht-Wohngebäude" und
"Öffentliche Gebäude"
# ---------------------------------------------------------------------

# ---------------IMPORT DER VERWENDETEN BIBLIOTHEKEN--------------------
import arcpy
import numpy as np

arcpy.env.overwriteOutput = True
# ----FESTLEGUNG DER EINGANGSPARAMETER UND VERZEICHNISSE----------------
arcpy.env.workspace = "D:/KNU_Beispiele/goesselsdorfer/Seebach_LAM.gdb"
basidatenGDB = "D:/KNU_Analyse/EXPO_DB.gdb/"
ErgebnisGBD = "D:/KNU_Analyse/ERGEBNIS_DB.gdb/"
TempGBD = "D:/KNU_Analyse/TEMP.gdb/"
TempO = "D:/KNU_Analyse/TEMP/"
sr = arcpy.SpatialReference("D:/KNU_Analyse/MGI_Austria_Lambert.prj")

scenarios =[30,100,300]
scenarios.sort()

Smin_value=15500
BWert_value=29

SminK_def= """def SminKe(anzgeschu):
    if anzgeschu == 0:
        return 0
    else:
        return 6900"""

BWertK_def= """def BWertKe(anzgeschu):
    if anzgeschu == 0:
        return 0
    else:
        return 12"""

gebKAT_def= """def GEBKATfu(gdaeigenschaft):
    if (gdaeigenschaft == 1) or (gdaeigenschaft == 2):
        return 1
```

```
    elif (gdaeigenschaft == 4) or (gdaeigenschaft == 5) or (gdaeigenschaft
== 6) or (gdaeigenschaft == 7) or (gdaeigenschaft == 8) or (gdaeigenschaft
==  10)  or  (gdaeigenschaft  ==  11)  or  (gdaeigenschaft  ==  13)  or
(gdaeigenschaft == 14):
        return 2
    elif (gdaeigenschaft == 9) or (gdaeigenschaft == 12) or (gdaeigenschaft
== 3):
        return 3"""

# --------------VORBEREITUNG DER DATEN ZU BETROFFENEN und GEBÄUDEN------
arcpy.Clip_analysis(basidatenGDB + "ADRESSEN_2020", "UG", ErgebnisGBD +
"ADRESSEN_2020_UG")
arcpy.Clip_analysis(basidatenGDB + "DKM_Gebaeude", "UG", ErgebnisGBD +
"DKM_GEB_U")
arcpy.Dissolve_management(ErgebnisGBD  +  "DKM_GEB_U",  ErgebnisGBD  +
"DKM_GEB_UG", "GSTID", "", "MULTI_PART", "DISSOLVE_LINES")

arcpy.Near_analysis(ErgebnisGBD  +  "ADRESSEN_2020_UG",  ErgebnisGBD  +
"DKM_GEB_UG",    search_radius="5    Meters",    location="NO_LOCATION",
angle="NO_ANGLE", method="PLANAR")
arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD          +          "DKM_GEB_UG",
field_name="NEARID",   field_type="LONG",   field_is_nullable="NULLABLE",
field_is_required="NON_REQUIRED")
arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD  +  "DKM_GEB_UG",  "NEARID",
"!OBJECTID!", "PYTHON3")
arcpy.MultipartToSinglepart_management(ErgebnisGBD    +    "DKM_GEB_UG",
ErgebnisGBD + "DKM_GEB_UG_SP")
arcpy.Select_analysis(ErgebnisGBD  +  "ADRESSEN_2020_UG",  ErgebnisGBD  +
"ADRESSEN_2020_UG_OG", where_clause="NEAR_DIST=-1")
arcpy.Select_analysis(ErgebnisGBD  +  "ADRESSEN_2020_UG",  ErgebnisGBD  +
"ADRESSEN_2020_UG_MG", where_clause="NEAR_DIST>=0")

arcpy.MakeFeatureLayer_management(ErgebnisGBD  +  "ADRESSEN_2020_UG_OG",
"ADRESSEN_2020_UG_OG_Layer")
arcpy.MakeFeatureLayer_management(ErgebnisGBD  +  "ADRESSEN_2020_UG_MG",
"ADRESSEN_2020_UG_MG_Layer")
arcpy.MakeFeatureLayer_management(ErgebnisGBD     +     "DKM_GEB_UG_SP",
"DKM_GEB_Layer")

# -----VERSCHNEIDUNG UEBERFLUTUNGSFLAECHEN UND GEBÄUDE (OHNE-FALL)------

arcpy.conversion.TableToTable(TempGBD    +    "GebBase",    ErgebnisGBD,
"Geb_ohne_stats")

for uef in scenarios:
    Selection_OG                                                        =
arcpy.SelectLayerByLocation_management("ADRESSEN_2020_UG_OG_Layer",
"INTERSECT", "UFHQ" + str(uef) + "_OHNE", search_distance="3 Meters",
selection_type="NEW_SELECTION")
    arcpy.CopyFeatures_management(Selection_OG, ErgebnisGBD + "BETRo_OG_"
+ str(uef))
    arcpy.DeleteIdentical_management(ErgebnisGBD    +    "BETRo_OG_"    +
str(uef), ["objnr"])
    arcpy.analysis.SpatialJoin(ErgebnisGBD      +      "BETRo_OG_"      +
str(uef),"WT"+str(uef)+"_OHNE",ErgebnisGBD     +     "BETRo_OGwt_"     +
str(uef),join_operation="JOIN_ONE_TO_ONE",join_type="KEEP_ALL",match_opt
ion="INTERSECT",search_radius="5 Meters",distance_field_name="")
```

```
    Selection_MG                                                    =
arcpy.SelectLayerByLocation_management("DKM_GEB_Layer",      "INTERSECT",
"UFHQ"    +    str(uef)    +    "_OHNE",    search_distance="0.3    Meters",
selection_type="NEW_SELECTION")
    arcpy.CopyFeatures_management(Selection_MG, ErgebnisGBD + "BETR_MG_"
+ str(uef))
    arcpy.analysis.SpatialJoin(ErgebnisGBD      +      "BETR_MG_"      +
str(uef),"WT"+str(uef)+"_OHNE",ErgebnisGBD      +      "BETR_MGwt_"      +
str(uef),join_operation="JOIN_ONE_TO_ONE",join_type="KEEP_ALL",
field_mapping='NEARID    "NEARID"    true    true    false    4    Long    0
0,First,#,BETR_MG_'+str(uef)+',NEARID,-1,-1;T_Klasse "T_Klasse" true true
false     4     Long     0     0,Max,#,WT'+str(uef)+'_OHNE,T_Klasse,-1,-
1,',match_option="INTERSECT",search_radius="0.3
Meters",distance_field_name="")
    arcpy.AddJoin_management("ADRESSEN_2020_UG_MG_Layer",     "NEAR_FID",
ErgebnisGBD + "BETR_MGwt_" + str(uef) , "NEARID", "KEEP_COMMON")
    arcpy.CopyFeatures_management("ADRESSEN_2020_UG_MG_Layer",
ErgebnisGBD + "ADR_select_MG" + str(uef))
    arcpy.RemoveJoin_management("ADRESSEN_2020_UG_MG_Layer")
    arcpy.DeleteIdentical_management(ErgebnisGBD   +   "ADR_select_MG"   +
str(uef), ["ADRESSEN_2020_UG_MG_objnr"])
    arcpy.Merge_management([ErgebnisGBD      +      "BETRo_OGwt_"      +
str(uef),ErgebnisGBD   +   "ADR_select_MG"   +   str(uef)],   ErgebnisGBD   +
"BETR_GBD_OHNE"  +  str(uef),  field_mappings='status  "status"  true  true
false    4    Long    0    0,First,#,BETRo_OGwt_'+str(uef)+',status,-1,-
1,ADR_select_MG'+str(uef)+',ADRESSEN_2020_UG_MG_status,-1,-
1;gdaeigenschaft   "gdaeigenschaft"   true   true   false   4   Long   0
0,First,#,BETRo_OGwt_'+str(uef)+',gdaeigenschaft,-1,-
1,ADR_select_MG'+str(uef)+',ADRESSEN_2020_UG_MG_gdaeigenschaft,-1,-
1;anzpershws    "anzpershws"    true    true    false    4    Long    0
0,First,#,BETRo_OGwt_'+str(uef)+',anzpershws,-1,-
1,ADR_select_MG'+str(uef)+',ADRESSEN_2020_UG_MG_anzpershws,-1,-
1;anzpersnws    "anzpersnws"    true    true    false    4    Long    0
0,First,#,BETRo_OGwt_'+str(uef)+',anzpersnws,-1,-
1,ADR_select_MG'+str(uef)+',ADRESSEN_2020_UG_MG_anzpersnws,-1,-
1;anzgescho    "anzgescho"    true    true    false    4    Long    0
0,First,#,BETRo_OGwt_'+str(uef)+',anzgescho,-1,-
1,ADR_select_MG'+str(uef)+',ADRESSEN_2020_UG_MG_anzgescho,-1,-
1;anzgeschu    "anzgeschu"    true    true    false    4    Long    0
0,First,#,BETRo_OGwt_'+str(uef)+',anzgeschu,-1,-
1,ADR_select_MG'+str(uef)+',ADRESSEN_2020_UG_MG_anzgeschu,-1,-
1;flueberbaut   "flueberbaut"   true   true   false   8   Double   0
0,First,#,BETRo_OGwt_'+str(uef)+',flueberbaut,-1,-
1,ADR_select_MG'+str(uef)+',ADRESSEN_2020_UG_MG_flueberbaut,-1,-
1;flnetto    "flnetto"    true    true    false    8    Double    0
0,First,#,BETRo_OGwt_'+str(uef)+',flnetto,-1,-
1,ADR_select_MG'+str(uef)+',ADRESSEN_2020_UG_MG_flnetto,-1,-1;flwohn
"flwohn"       true       true       false       8       Double       0
0,First,#,BETRo_OGwt_'+str(uef)+',flwohn,-1,-
1,ADR_select_MG'+str(uef)+',ADRESSEN_2020_UG_MG_flwohn,-1,-1;bauperiode
"bauperiode"       true       true       false       4       Long       0
0,First,#,BETRo_OGwt_'+str(uef)+',bauperiode,-1,-
1,ADR_select_MG'+str(uef)+',ADRESSEN_2020_UG_MG_bauperiode,-1,-
1;abwasser   "abwasser"   true   true   false   2147483647   Text   0
0,First,#,BETRo_OGwt_'+str(uef)+',abwasser,0,2147483647,ADR_select_MG'+s
tr(uef)+',ADRESSEN_2020_UG_MG_abwasser,0,2147483647;waermesystem
"waermesystem"       true       true       false       4       Long       0
0,First,#,BETRo_OGwt_'+str(uef)+',waermesystem,-1,-
1,ADR_select_MG'+str(uef)+',ADRESSEN_2020_UG_MG_waermesystem,-1,-
```

```
1;brennart "brennart" true true false 4 Long 0
0,First,#,BETRo_OGwt_'+str(uef)+',brennart,-1,-
1,ADR_select_MG'+str(uef)+',ADRESSEN_2020_UG_MG_brennart,-1,-1;bauweise
"bauweise" true true false 2147483647 Text 0
0,First,#,BETRo_OGwt_'+str(uef)+',bauweise,0,2147483647,ADR_select_MG'+s
tr(uef)+',ADRESSEN_2020_UG_MG_bauweise,0,2147483647;BETR "BETR" true true
false 4 Long 0 0,First,#,BETRo_OGwt_'+str(uef)+',BETR,-1,-
1,ADR_select_MG'+str(uef)+',ADRESSEN_2020_UG_MG_BETR,-1,-1;T_Klasse
"T_Klasse" true true false 4 Long 0
0,First,#,BETRo_OGwt_'+str(uef)+',T_Klasse,-1,-
1,ADR_select_MG'+str(uef)+',BETR_MGwt_'+str(uef)+'_T_Klasse,-1,-1')
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "BETR_GBD_OHNE" + str(uef),
"SminK", "LONG")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "BETR_GBD_OHNE" + str(uef),
"BWertK", "LONG")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "BETR_GBD_OHNE" + str(uef),
"Smin", "LONG")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "BETR_GBD_OHNE" + str(uef),
"BWert", "LONG")

    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "BETR_GBD_OHNE" +
str(uef), "SminK", "SminKe(!anzgeschu!)", "PYTHON3", SminK_def)
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "BETR_GBD_OHNE" +
str(uef), "BWertK", "BWertKe(!anzgeschu!)", "PYTHON3", BWertK_def)
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "BETR_GBD_OHNE" +
str(uef), "Smin", Smin_value, "PYTHON3")
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "BETR_GBD_OHNE" +
str(uef), "BWert", BWert_value, "PYTHON3")

    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "BETR_GBD_OHNE" + str(uef),
"SCHADEN" + str(uef), "FLOAT")
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "BETR_GBD_OHNE" +
str(uef), "SCHADEN" + str(uef),
"(!SminK!+1000*!BWertK!*math.sqrt(1))+(!Smin!+1000*!BWert!*math.sqrt(!T_
Klasse!*0.1-0.05))", "PYTHON3")

    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "BETR_GBD_OHNE" + str(uef),
"GEBKAT", "LONG")
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "BETR_GBD_OHNE" +
str(uef), "GEBKAT", "GEBKATfu(!gdaeigenschaft!)", "PYTHON3", gebKAT_def)

    arcpy.analysis.Statistics(ErgebnisGBD + "BETR_GBD_OHNE" + str(uef),
ErgebnisGBD + "BETR_GBD_OHNE_STAT" + str(uef),
statistics_fields="SCHADEN"+str(uef)+" SUM", case_field="GEBKAT")

    arcpy.JoinField_management(ErgebnisGBD + "Geb_ohne_stats", "GEBKAT",
ErgebnisGBD + "BETR_GBD_OHNE_STAT" + str(uef), "GEBKAT",
["SUM_SCHADEN"+str(uef)])

arcpy.TableToTable_conversion(ErgebnisGBD + "Geb_ohne_stats", TempO,
"GEB_ohne_stats.csv")

# -----VERSCHNEIDUNG UEBERFLUTUNGSFLAECHEN UND BETROFFENE (MIT-FALL)----
arcpy.conversion.TableToTable(TempGBD + "GebBase", ErgebnisGBD,
"Geb_mit_stats")

for uef in scenarios:
    Selection_OG =
arcpy.SelectLayerByLocation_management("ADRESSEN_2020_UG_OG_Layer",
```

```
"INTERSECT", "UFHQ" + str(uef) + "_MIT", search_distance="3 Meters",
selection_type="NEW_SELECTION")
    arcpy.CopyFeatures_management(Selection_OG, ErgebnisGBD + "BETRm_OG_"
+ str(uef))
    arcpy.DeleteIdentical_management(ErgebnisGBD + "BETRm_OG_" +
str(uef), ["objnr"])
    arcpy.analysis.SpatialJoin(ErgebnisGBD + "BETRm_OG_" +
str(uef),"WT"+str(uef)+"_MIT",ErgebnisGBD + "BETRm_OGwt_" +
str(uef),join_operation="JOIN_ONE_TO_ONE",join_type="KEEP_ALL",match_opt
ion="INTERSECT",search_radius="5 Meters",distance_field_name="")

    Selection_MG =
arcpy.SelectLayerByLocation_management("DKM_GEB_Layer", "INTERSECT",
"UFHQ" + str(uef) + "_MIT", search_distance="0.3 Meters",
selection_type="NEW_SELECTION")
    arcpy.CopyFeatures_management(Selection_MG, ErgebnisGBD + "BETRm_MG_"
+ str(uef))
    arcpy.analysis.SpatialJoin(ErgebnisGBD + "BETRm_MG_" +
str(uef),"WT"+str(uef)+"_MIT",ErgebnisGBD + "BETRm_MGwt_" +
str(uef),join_operation="JOIN_ONE_TO_ONE",join_type="KEEP_ALL",
field_mapping='NEARID "NEARID" true true false 4 Long 0
0,First,#,BETR_MG_'+str(uef)+',NEARID,-1,-1;T_Klasse "T_Klasse" true true
false 4 Long 0 0,Max,#,WT'+str(uef)+'_OHNE,T_Klasse,-1,-
1,',match_option="INTERSECT",search_radius="0.3
Meters",distance_field_name="")
    arcpy.AddJoin_management("ADRESSEN_2020_UG_MG_Layer", "NEAR_FID",
ErgebnisGBD + "BETRm_MGwt_" + str(uef) , "NEARID", "KEEP_COMMON")
    arcpy.CopyFeatures_management("ADRESSEN_2020_UG_MG_Layer",
ErgebnisGBD + "ADR_selectm_MG" + str(uef))
    arcpy.RemoveJoin_management("ADRESSEN_2020_UG_MG_Layer")
    arcpy.DeleteIdentical_management(ErgebnisGBD + "ADR_selectm_MG" +
str(uef), ["ADRESSEN_2020_UG_MG_objnr"])
    arcpy.Merge_management([ErgebnisGBD + "BETRm_OGwt_" +
str(uef),ErgebnisGBD + "ADR_selectm_MG" + str(uef)], ErgebnisGBD +
"BETR_GBD_MIT" + str(uef), field_mappings='status "status" true true false
4 Long 0 0,First,#,BETRm_OGwt_'+str(uef)+',status,-1,-
1,ADR_select_MG'+str(uef)+',ADRESSEN_2020_UG_MG_status,-1,-
1;gdaeigenschaft "gdaeigenschaft" true true false 4 Long 0
0,First,#,BETRm_OGwt_'+str(uef)+',gdaeigenschaft,-1,-
1,ADR_select_MG'+str(uef)+',ADRESSEN_2020_UG_MG_gdaeigenschaft,-1,-
1;anzpershws "anzpershws" true true false 4 Long 0
0,First,#,BETRm_OGwt_'+str(uef)+',anzpershws,-1,-
1,ADR_select_MG'+str(uef)+',ADRESSEN_2020_UG_MG_anzpershws,-1,-
1;anzpersnws "anzpersnws" true true false 4 Long 0
0,First,#,BETRm_OGwt_'+str(uef)+',anzpersnws,-1,-
1,ADR_select_MG'+str(uef)+',ADRESSEN_2020_UG_MG_anzpersnws,-1,-
1;anzgescho "anzgescho" true true false 4 Long 0
0,First,#,BETRm_OGwt_'+str(uef)+',anzgescho,-1,-
1,ADR_select_MG'+str(uef)+',ADRESSEN_2020_UG_MG_anzgescho,-1,-
1;anzgeschu "anzgeschu" true true false 4 Long 0
0,First,#,BETRm_OGwt_'+str(uef)+',anzgeschu,-1,-
1,ADR_select_MG'+str(uef)+',ADRESSEN_2020_UG_MG_anzgeschu,-1,-
1;flueberbaut "flueberbaut" true true false 8 Double 0
0,First,#,BETRm_OGwt_'+str(uef)+',flueberbaut,-1,-
1,ADR_select_MG'+str(uef)+',ADRESSEN_2020_UG_MG_flueberbaut,-1,-
1;flnetto "flnetto" true true false 8 Double 0
0,First,#,BETRm_OGwt_'+str(uef)+',flnetto,-1,-
1,ADR_select_MG'+str(uef)+',ADRESSEN_2020_UG_MG_flnetto,-1,-1;flwohn
"flwohn" true true false 8 Double 0
```

```
0,First,#,BETRm_OGwt_'+str(uef)+',flwohn,-1,-
1,ADR_select_MG'+str(uef)+',ADRESSEN_2020_UG_MG_flwohn,-1,-1;bauperiode
"bauperiode"       true       true       false       4       Long       0
0,First,#,BETRm_OGwt_'+str(uef)+',bauperiode,-1,-
1,ADR_select_MG'+str(uef)+',ADRESSEN_2020_UG_MG_bauperiode,-1,-
1;abwasser    "abwasser"    true    true    false    2147483647    Text    0
0,First,#,BETRm_OGwt_'+str(uef)+',abwasser,0,2147483647,ADR_select_MG'+s
tr(uef)+',ADRESSEN_2020_UG_MG_abwasser,0,2147483647;waermesystem
"waermesystem"       true       true       false       4       Long       0
0,First,#,BETRm_OGwt_'+str(uef)+',waermesystem,-1,-
1,ADR_select_MG'+str(uef)+',ADRESSEN_2020_UG_MG_waermesystem,-1,-
1;brennart     "brennart"     true     true     false     4     Long     0
0,First,#,BETRm_OGwt_'+str(uef)+',brennart,-1,-
1,ADR_select_MG'+str(uef)+',ADRESSEN_2020_UG_MG_brennart,-1,-1;bauweise
"bauweise"      true      true      false      2147483647      Text      0
0,First,#,BETRm_OGwt_'+str(uef)+',bauweise,0,2147483647,ADR_select_MG'+s
tr(uef)+',ADRESSEN_2020_UG_MG_bauweise,0,2147483647;BETR "BETR" true true
false     4     Long     0     0,First,#,BETRm_OGwt_'+str(uef)+',BETR,-1,-
1,ADR_select_MG'+str(uef)+',ADRESSEN_2020_UG_MG_BETR,-1,-1;T_Klasse
"T_Klasse"       true       true       false       4       Long       0
0,First,#,BETRm_OGwt_'+str(uef)+',T_Klasse,-1,-
1,ADR_select_MG'+str(uef)+',BETRm_MGwt_'+str(uef)+'_T_Klasse,-1,-1')
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "BETR_GBD_MIT" + str(uef),
"SminK", "LONG")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "BETR_GBD_MIT" + str(uef),
"BWertK", "LONG")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "BETR_GBD_MIT" + str(uef),
"Smin", "LONG")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "BETR_GBD_MIT" + str(uef),
"BWert", "LONG")

    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "BETR_GBD_MIT" +
str(uef), "SminK", "SminKe(!anzgeschu!)", "PYTHON3", SminK_def)
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "BETR_GBD_MIT" +
str(uef), "BWertK", "BWertKe(!anzgeschu!)", "PYTHON3", BWertK_def)
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "BETR_GBD_MIT" +
str(uef), "Smin", Smin_value, "PYTHON3")
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "BETR_GBD_MIT" +
str(uef), "BWert", BWert_value, "PYTHON3")

    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "BETR_GBD_MIT" + str(uef),
"SCHADEN" + str(uef), "FLOAT")
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "BETR_GBD_MIT" +
str(uef), "SCHADEN" + str(uef),
"(!SminK!+1000*!BWertK!*math.sqrt(1))+(!Smin!+1000*!BWert!*math.sqrt(!T_
Klasse!*0.1-0.05))", "PYTHON3")

    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "BETR_GBD_MIT" + str(uef),
"GEBKAT", "LONG")
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "BETR_GBD_MIT" +
str(uef), "GEBKAT", "GEBKATfu(!gdaeigenschaft!)", "PYTHON3", gebKAT_def)

    arcpy.analysis.Statistics(ErgebnisGBD + "BETR_GBD_MIT" + str(uef),
ErgebnisGBD + "BETR_GBD_OHNE_STAT" + str(uef),
statistics_fields="SCHADEN"+str(uef)+" SUM", case_field="GEBKAT")

    arcpy.JoinField_management(ErgebnisGBD + "Geb_mit_stats", "GEBKAT",
ErgebnisGBD + "BETR_GBD_OHNE_STAT" + str(uef), "GEBKAT",
["SUM_SCHADEN"+str(uef)])
```

```
arcpy.TableToTable_conversion(ErgebnisGBD + "Geb_mit_stats", TempO,
"Geb_mit_stats.csv")
```

Anhang 9: Skript zur Ermittlung der Schäden an Straßen

```
# -*- coding: utf-8 -*-
# ------------------------------------------------------------------------
# Stand: 2024-07-21
# Beschreibung: Skript zur Ermittlung von Schäden an Straßeninfrastruktur
(Reinigungskosten, Reperaturkosten, Brücken)
#    Ergebnis    ersetzt    Teile    der    Registerkarte    "Ver-    und
Entsorungsinfrastruktur"
# ------------------------------------------------------------------------
import arcpy
import numpy as np

#--------FESTLEGUNG DER EINGANGSPARAMETER UND VERZEICHNISSE-------------
arcpy.env.workspace = "D:/KNU_Beispiele/KNU_Ritzing/Ritzing_lam.gdb"
basidatenGDB = "D:/KNU_Analyse/EXPO_DB.gdb/"
ErgebnisGBD = "D:/KNU_Analyse/ERGEBNIS_DB.gdb/"
TempGBD = "D:/KNU_Analyse/TEMP.gdb/"
TempO = "D:/KNU_Analyse/TEMP/"
sr = arcpy.SpatialReference("D:/KNU_Analyse/MGI_Austria_Lambert.prj")
PrjName = "Seebach"
scenarios =[30,100,300]
scenarios.sort()
Leitprozess = 1 #Übernahme der Leitprozessfestlegung aus GZP-Definition
DOM_LPAKT_L_KATEGO


#-----------VORBEREITUNG DER EINZELNEN SUBDATENSÄTZE------------------
arcpy.Clip_analysis(basidatenGDB + "GIP_linknetz", "UG", ErgebnisGBD +
"GIP_U")
arcpy.Select_analysis(ErgebnisGBD + "GIP_U", ErgebnisGBD + "GIP_UG",
"BAUSTATUS = 5")
arcpy.Select_analysis(ErgebnisGBD + "GIP_UG", ErgebnisGBD + "GIP_Streets",
"KAT_WB >= 1 And KAT_WB <= 5")
arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "GIP_Streets", "WIDTH_N",
"FLOAT")
arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "GIP_Streets", "WIDTH_N",
"0 if !WIDTH! <= 0 else !WIDTH!")
arcpy.analysis.Buffer(ErgebnisGBD + "GIP_Streets", ErgebnisGBD +
"GIP_Streets_BUF", "WIDTH_N", "FULL", "FLAT", "LIST", "KAT_WB", "PLANAR")


#-FLÄCHENBASIERTE ANALYSE DER REINIGUNGS- ODER RÄUMUNGSKOSTEN OHNE-FALL-
#-----AUSWAHL DER ANZUSETZENDEN KOSTEN BASIEREND AUF DEM LEITPROZESS----
if Leitprozess == 1:
    arcpy.conversion.TableToTable(TempGBD + "STR_REIN_BASE", ErgebnisGBD,
"STR_REIN_O")
else:
    arcpy.conversion.TableToTable(TempGBD + "STR_RAEUM_BASE",
ErgebnisGBD, "STR_REIN_O")

#------------VORBEREITEN BASISTABELLE UND NOTWENDIGE FELDER-------------
for uef in scenarios:
```

```
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "STR_REIN_O", "BETR_FL" +
str(uef), "LONG")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "STR_REIN_O", "REINK" +
str(uef), "LONG")
    arcpy.management.AssignDefaultToField(ErgebnisGBD + "STR_REIN_O",
"REINK" + str(uef), 0)
    arcpy.management.AssignDefaultToField(ErgebnisGBD + "STR_REIN_O",
"BETR_FL" + str(uef), 0)
arcpy.MakeTableView_management(ErgebnisGBD +"STR_REIN_O",
"STR_REIN_OHNE")
#----VERSCHEIDUNG UND SUMMENSTATISIK DER BETROFFENEN FLÄCHE-------------
for uef in scenarios:
    arcpy.Clip_analysis(ErgebnisGBD + "GIP_Streets_BUF", "UFHQ" + str(uef)
+ "_OHNE", ErgebnisGBD + "STR_BUF_OHNE" + str(uef))
    arcpy.analysis.Statistics(ErgebnisGBD + "STR_BUF_OHNE" + str(uef),
ErgebnisGBD + "STR_BUF_OHNE_stat" + str(uef), "geom_Area SUM", "KAT_WB")
    arcpy.AddJoin_management("STR_REIN_OHNE", "KAT_WB", ErgebnisGBD +
"STR_BUF_OHNE_stat" + str(uef), "KAT_WB", "KEEP_COMMON")
    arcpy.CalculateField_management("STR_REIN_OHNE", "BETR_FL" +
str(uef), "0 if !STR_BUF_OHNE_stat"+str(uef)+".SUM_geom_Area! is None else
!STR_BUF_OHNE_stat"+str(uef)+".SUM_geom_Area!", "PYTHON3")
    arcpy.CalculateField_management("STR_REIN_OHNE", "REINK" + str(uef),
"0 if !STR_BUF_OHNE_stat"+str(uef)+".SUM_geom_Area! is None else
!STR_BUF_OHNE_stat"+str(uef)+".SUM_geom_Area!*!STR_REIN_O.REINIGUNGSK!",
"PYTHON3")
    arcpy.RemoveJoin_management ("STR_REIN_OHNE")
arcpy.conversion.TableToTable("STR_REIN_OHNE", ErgebnisGBD,
"STR_REIN_OHNE")
arcpy.conversion.TableToTable(ErgebnisGBD + "STR_REIN_OHNE", TempO,
"BETR_REIN_OHNE.csv")

#-------FLÄCHENBASIERTE ANALYSE DER REINIGUNGSKOSTEN MIT-FALL----------
#----AUSWAHL DER ANZUSETZENDEN KOSTEN BASIEREND AUF DEM LEITPROZESS-----
if Leitprozess == 1:
    arcpy.TableSelect_analysis(TempGBD + "STR_REIN_BASE", ErgebnisGBD +
"STR_REIN_M", '')
else:
    arcpy.TableSelect_analysis(TempGBD + "STR_RAEUM_BASE", ErgebnisGBD +
"STR_REIN_M", '')
#------------VORBEREITEN BASISTABELLE UND NOTWENDIGE FELDER-------------
for uef in scenarios:
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "STR_REIN_M", "BETR_FL" +
str(uef), "LONG")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "STR_REIN_M", "REINK" +
str(uef), "LONG")
    arcpy.management.AssignDefaultToField(ErgebnisGBD + "STR_REIN_M",
"REINK" + str(uef), 0)
    arcpy.management.AssignDefaultToField(ErgebnisGBD + "STR_REIN_M",
"BETR_FL" + str(uef), 0)
arcpy.MakeTableView_management(ErgebnisGBD +"STR_REIN_M", "STR_REIN_MIT")
#-----VERSCHEIDUNG UND SUMMENSTATISIK DER BETROFFENEN FLÄCHE------------
for uef in scenarios:
    arcpy.Clip_analysis(ErgebnisGBD + "GIP_Streets_BUF", "UFHQ" + str(uef)
+ "_MIT", ErgebnisGBD + "STR_BUF_MIT" + str(uef))
    arcpy.analysis.Statistics(ErgebnisGBD + "STR_BUF_MIT" + str(uef),
ErgebnisGBD + "STR_BUF_MIT_stat" + str(uef), "geom_Area SUM", "KAT_WB")
    arcpy.AddJoin_management("STR_REIN_MIT", "KAT_WB", ErgebnisGBD +
"STR_BUF_MIT_stat" + str(uef), "KAT_WB", "KEEP_COMMON")
```

```
    arcpy.CalculateField_management("STR_REIN_MIT", "BETR_FL" + str(uef),
"0   if   !STR_BUF_MIT_stat"+str(uef)+".SUM_geom_Area!   is   None   else
!STR_BUF_MIT_stat"+str(uef)+".SUM_geom_Area!", "PYTHON3")
    arcpy.CalculateField_management("STR_REIN_MIT", "REINK" + str(uef),
"0   if   !STR_BUF_MIT_stat"+str(uef)+".SUM_geom_Area!   is   None   else
!STR_BUF_MIT_stat"+str(uef)+".SUM_geom_Area!*!STR_REIN_M.REINIGUNGSK!",
"PYTHON3")
    arcpy.RemoveJoin_management ("STR_REIN_MIT")
arcpy.conversion.TableToTable("STR_REIN_MIT",                ErgebnisGBD,
"STR_REIN_MIT")
arcpy.conversion.TableToTable(ErgebnisGBD   +   "STR_REIN_MIT",   TempO,
"BETR_REIN_MIT.csv")

#------LÄNGENBASIERTE ANALYSE DER REPARATURKOSTEN OHNE-FALL-------------
#---DEFINITION DER REPERATURKOSTEN NACH STRAßENKATEGORIEN---------------
repkosten_str_def= """def Repkosten(KAT_WB, DoL, ShapeLength):
    if KAT_WB == 1:
        return DoL*ShapeLength*3150
    elif KAT_WB == 2:
        return DoL*ShapeLength*859
    elif KAT_WB == 3:
        return DoL*ShapeLength*645
    elif KAT WB == 4:
        return DoL*ShapeLength*645
    else:
        return DoL*ShapeLength*15"""

#------------VORBEREITEN BASISTABELLE UND NOTWENDIGE FELDER-------------
arcpy.TableSelect_analysis(TempGBD   +   "STR_REP_BASE",   ErgebnisGBD   +
"STR_REP_O", '')
for uef in scenarios:
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD  +  "STR_REP_O",  "BETR_LEN"  +
str(uef), "LONG")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD   +   "STR_REP_O",   "REPK"   +
str(uef), "LONG")
    arcpy.management.AssignDefaultToField(ErgebnisGBD   +   "STR_REP_O",
"REPK" + str(uef), 0)
    arcpy.management.AssignDefaultToField(ErgebnisGBD   +   "STR_REP_O",
"BETR_LEN" + str(uef), 0)
arcpy.MakeTableView_management(ErgebnisGBD +"STR_REP_O", "STR_REP_OHNE")

#---VERSCHEIDUNG, SCHADENSFUNKTION DER BETROFFENEN SEGMENTE-------------
for uef in scenarios:
    arcpy.analysis.Intersect("WT"  +  str(uef)  +  "_OHNE;"+  ErgebnisGBD  +
"GIP_Streets", ErgebnisGBD + "STR_WT_OHNE"+ str(uef), "ALL", None, "LINE")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD   +   "STR_WT_OHNE"+   str(uef),
"DoL", "FLOAT")
    #DEFINITION DER SCHADENSFUNKTION BASIEREND AUF DER WASSERTIEFE NACH
EU-LEITFADEN
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD      +      "STR_WT_OHNE"+
str(uef), "DoL", "(-0.0017) * !WT_cm!**4 + (0.0267) * !WT_cm!**3 - (0.1622)
* !WT_cm!**2 + 0.556 * !WT_cm! + 0.0027", "PYTHON3")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD   +   "STR_WT_OHNE"+   str(uef),
"RepKosten", "LONG")
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD      +      "STR_WT_OHNE"+
str(uef),   "RepKosten",   "Repkosten(!KAT_WB!,   !DoL!,   !Shape_Length!)",
"PYTHON3", repkosten_str_def)
```

```
    arcpy.analysis.Statistics(ErgebnisGBD + "STR_WT_OHNE"+ str(uef),
ErgebnisGBD + "STR_REP_OHNE_stat" + str(uef), "Shape_Length SUM; RepKosten
SUM", "KAT_WB")
    arcpy.AddJoin_management("STR_REP_OHNE", "KAT_WB", ErgebnisGBD +
"STR_REP_OHNE_stat" + str(uef), "KAT_WB", "KEEP_COMMON")
    arcpy.CalculateField_management("STR_REP_OHNE", "BETR_LEN" +
str(uef), "0 if !STR_REP_OHNE_stat"+str(uef)+".SUM_Shape_Length! is None
else !STR_REP_OHNE_stat"+str(uef)+".SUM_Shape_Length!", "PYTHON3")
    arcpy.CalculateField_management("STR_REP_OHNE", "REPK" + str(uef), "0
if !STR_REP_OHNE_stat"+str(uef)+".SUM_RepKosten! is None else
!STR_REP_OHNE_stat"+str(uef)+".SUM_RepKosten!", "PYTHON3")
    arcpy.RemoveJoin_management ("STR_REP_OHNE")
arcpy.conversion.TableToTable("STR_REP_OHNE", ErgebnisGBD,
"STR_REP_OHNE")
arcpy.conversion.TableToTable(ErgebnisGBD + "STR_REP_OHNE", TempO,
"BETR_REP_OHNE.csv")

#-------LÄNGENBASIERTE ANALYSE DER REPARATURKOSTEN MIT-FALL-------------
#------------VORBEREITEN BASISTABELLE UND NOTWENDIGE FELDER-------------
arcpy.TableSelect_analysis(TempGBD + "STR_REP_BASE", ErgebnisGBD +
"STR_REP_M", '')
for uef in scenarios:
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "STR_REP_M", "BETR_LEN" +
str(uef), "LONG")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "STR_REP_M", "REPK" +
str(uef), "LONG")
    arcpy.management.AssignDefaultToField(ErgebnisGBD + "STR_REP_M",
"REPK" + str(uef), 0)
    arcpy.management.AssignDefaultToField(ErgebnisGBD + "STR_REP_M",
"BETR_LEN" + str(uef), 0)
arcpy.MakeTableView_management(ErgebnisGBD +"STR_REP_M", "STR_REP_MIT")

#---VERSCHEIDUNG, SCHADENSFUNKTION DER BETROFFENEN SEGMENTE-------------
for uef in scenarios:
    arcpy.analysis.Intersect("WT" + str(uef) + "_MIT;"+ ErgebnisGBD +
"GIP_Streets", ErgebnisGBD + "STR_WT_MIT"+ str(uef), "ALL", None, "LINE")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "STR_WT_MIT"+ str(uef),
"DoL", "FLOAT")
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "STR_WT_MIT"+ str(uef),
"DoL", "(-0.0017) * !WT_cm!**4 + (0.0267) * !WT_cm!**3 - (0.1622) *
!WT_cm!**2 + 0.556 * !WT_cm! + 0.0027", "PYTHON3")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "STR_WT_MIT"+ str(uef),
"RepKosten", "LONG")
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "STR_WT_MIT"+ str(uef),
"RepKosten", "Repkosten(!KAT_WB!, !DoL!, !Shape_Length!)", "PYTHON3",
repkosten_str_def)
    arcpy.analysis.Statistics(ErgebnisGBD + "STR_WT_MIT"+ str(uef),
ErgebnisGBD + "STR_REP_MIT_stat" + str(uef), "Shape_Length SUM; RepKosten
SUM", "KAT_WB")
    arcpy.AddJoin_management("STR_REP_MIT", "KAT_WB", ErgebnisGBD +
"STR_REP_MIT_stat" + str(uef), "KAT_WB", "KEEP_COMMON")
    arcpy.CalculateField_management("STR_REP_MIT", "BETR_LEN" + str(uef),
"0 if !STR_REP_MIT_stat"+str(uef)+".SUM_Shape_Length! is None else
!STR_REP_MIT_stat"+str(uef)+".SUM_Shape_Length!", "PYTHON3")
    arcpy.CalculateField_management("STR_REP_MIT", "REPK" + str(uef), "0
if !STR_REP_MIT_stat"+str(uef)+".SUM_RepKosten! is None else
!STR_REP_MIT_stat"+str(uef)+".SUM_RepKosten!", "PYTHON3")
    arcpy.RemoveJoin_management ("STR_REP_MIT")
arcpy.conversion.TableToTable("STR_REP_MIT", ErgebnisGBD, "STR_REP_MIT")
```

```
arcpy.conversion.TableToTable(ErgebnisGBD + "STR_REP_MIT", TempO,
"BETR_REP_MIT2.csv")
```

Anhang 10: Skript zur Ermittlung der Schäden an Bahnanlagen

```
# -*- coding: utf-8 -*-
# ------------------------------------------------------------------------
----
# Stand: 2024-07-21
# Beschreibung: Skript zur Ermittlung von Schäden an Bahninfrastruktur
(ausgenomen Betriebsgebäude)
#    Ergebnis    ersetzt    Teile    der    Registerkarte    "Ver-    und
Entsorungsinfrastruktur"
# ------------------------------------------------------------------------
----
import arcpy
import numpy as np

#---FESTLEGUNG DER EINGANGSPARAMETER UND VERZEICHNISSE------------------
arcpy.env.workspace = "D:/KNU_Beispiele/goesselsdorfer/Seebach_LAM.gdb"
basidatenGDB = "D:/KNU_Analyse/EXPO_DB.gdb/"
ErgebnisGBD = "D:/KNU_Analyse/ERGEBNIS_DB.gdb/"
TempGBD = "D:/KNU_Analyse/TEMP.gdb/"
TempO = "D:/KNU_Analyse/TEMP/"
sr = arcpy.SpatialReference("D:/KNU_Analyse/MGI_Austria_Lambert.prj")
PrjName = "Seebach"
scenarios =[30,100,300]
scenarios.sort()
Sperrtage_ohne = [2,2,4]
Sperrtage_mit = [0,0,4]

#-------------VORBEREITUNG DER EINZELNEN SUBDATENSÄTZE------------------
arcpy.Clip_analysis(basidatenGDB + "GIP_linknetz", "UG", ErgebnisGBD +
"GIP_BA")
arcpy.Select_analysis(ErgebnisGBD + "GIP_BA", ErgebnisGBD + "GIP_BA_UG",
"BAUSTATUS = 5")
arcpy.Select_analysis(ErgebnisGBD + "GIP_BA_UG", ErgebnisGBD + "GIP_BAHN",
"KAT_WB = 6 Or KAT_WB = 7 Or KAT_WB = 8")

#------ANALYSE DER REINIGUNGSKOSTEN  (LÄNGENBASIERT) OHNE-FALL----------
#------------VORBEREITEN BASISTABELLE UND NOTWENDIGE FELDER-------------
arcpy.TableSelect_analysis(TempGBD + "BAHN_REIN_REP_BASE", ErgebnisGBD +
"BAHN_REIN_O", '')

Listenposition = 0
for uef in scenarios:
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "BAHN_REIN_O", "REINK" +
str(uef), "LONG")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "BAHN_REIN_O", "REPK" +
str(uef), "LONG")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "BAHN_REIN_O", "BETR_LNG" +
str(uef), "LONG")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "BAHN_REIN_O", "SPERRTAGE" +
str(uef), "LONG")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "BAHN_REIN_O", "SPERRK_BB" +
str(uef), "LONG")
    arcpy.management.AssignDefaultToField(ErgebnisGBD + "BAHN_REIN_O",
"SPERRTAGE" + str(uef), 0)
```

```
    arcpy.management.AssignDefaultToField(ErgebnisGBD + "BAHN_REIN_O",
"REINK" + str(uef), 0)
    arcpy.management.AssignDefaultToField(ErgebnisGBD + "BAHN_REIN_O",
"REPK" + str(uef), 0)
    arcpy.management.AssignDefaultToField(ErgebnisGBD + "BAHN_REIN_O",
"BETR_LNG" + str(uef), 0)
    arcpy.management.AssignDefaultToField(ErgebnisGBD + "BAHN_REIN_O",
"SPERRK_BB" + str(uef), 0)
    arcpy.CalculateField_management("BAHN_REIN_O", "SPERRTAGE" +
str(uef), Sperrtage_ohne[Listenposition] , "PYTHON3")
    Listenposition+= 1
arcpy.MakeTableView_management(ErgebnisGBD +"BAHN_REIN_O",
"BAHN_REIN_OHNE")

#----VERSCHEIDUNG UND SUMMENSTATISIK DER BETROFFENEN LÄNGEN-------------
for uef in scenarios:
    arcpy.Clip_analysis(ErgebnisGBD + "GIP_BAHN", "UFHQ" + str(uef) +
"_OHNE", ErgebnisGBD + "GIP_BAHN_OHNE" + str(uef))
    arcpy.analysis.Statistics(ErgebnisGBD + "GIP_BAHN_OHNE" + str(uef),
ErgebnisGBD + "GIP_BAHN_OHNE_stat" + str(uef), "geom_Length SUM",
"KAT_WB")
    arcpy.AddJoin_management("BAHN_REIN_OHNE", "KAT_WB", ErgebnisGBD +
"GIP_BAHN_OHNE_stat" + str(uef), "KAT_WB", "KEEP_COMMON")
    arcpy.CalculateField_management("BAHN_REIN_OHNE", "BETR_LNG" +
str(uef), "0 if !GIP_BAHN_OHNE_stat"+str(uef)+".SUM_geom_Length! is None
else !GIP_BAHN_OHNE_stat"+str(uef)+".SUM_geom_Length!", "PYTHON3")
    arcpy.CalculateField_management("BAHN_REIN_OHNE", "REINK" + str(uef),
"0 if !GIP_BAHN_OHNE_stat"+str(uef)+".SUM_geom_Length! is None else
!GIP_BAHN_OHNE_stat"+str(uef)+".SUM_geom_Length!*!BAHN_REIN_O.REINIGUNGS
K!", "PYTHON3")
    arcpy.CalculateField_management("BAHN_REIN_OHNE", "REPK" + str(uef),
"0 if !GIP_BAHN_OHNE_stat"+str(uef)+".SUM_geom_Length! is None else
!GIP_BAHN_OHNE_stat"+str(uef)+".SUM_geom_Length!*!BAHN_REIN_O.REPERATURK
!", "PYTHON3")
    arcpy.CalculateField_management("BAHN_REIN_OHNE", "SPERRK_BB" +
str(uef), "0 if !GIP_BAHN_OHNE_stat"+str(uef)+".SUM_geom_Length! is None
else
!BAHN_REIN_O.SPERRTAGE"+str(uef)+"!*51839+!BAHN_REIN_O.SPERRTAGE"+str(ue
f)+"!*(2291+4009)+2004", "PYTHON3")
    arcpy.RemoveJoin_management ("BAHN_REIN_OHNE")
arcpy.conversion.TableToTable("BAHN_REIN_OHNE", ErgebnisGBD,
"BAHN_REIN_OHNE")
arcpy.conversion.TableToTable(ErgebnisGBD + "BAHN_REIN_OHNE", TempO,
"BAHN_SCHADEN_OHNE.csv")

#-------ANALYSE DER REINIGUNGSKOSTEN (LÄNGENBASIERT) MIT-FALL----------
arcpy.TableSelect_analysis(TempGBD + "BAHN_REIN_REP_BASE", ErgebnisGBD +
"BAHN_REIN_M", '')

Listenposition = 0
for uef in scenarios:
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "BAHN_REIN_M", "REINK" +
str(uef), "LONG")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "BAHN_REIN_M", "REPK" +
str(uef), "LONG")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "BAHN_REIN_M", "BETR_LNG" +
str(uef), "LONG")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "BAHN_REIN_M", "SPERRTAGE" +
str(uef), "LONG")
```

```
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "BAHN_REIN_m", "SPERRK_BB" +
str(uef), "LONG")
    arcpy.management.AssignDefaultToField(ErgebnisGBD + "BAHN_REIN_M",
"SPERRTAGE" + str(uef), 0)
    arcpy.management.AssignDefaultToField(ErgebnisGBD + "BAHN_REIN_M",
"REINK" + str(uef), 0)
    arcpy.management.AssignDefaultToField(ErgebnisGBD + "BAHN_REIN_M",
"REPK" + str(uef), 0)
    arcpy.management.AssignDefaultToField(ErgebnisGBD + "BAHN_REIN_M",
"BETR_LNG" + str(uef), 0)
    arcpy.management.AssignDefaultToField(ErgebnisGBD + "BAHN_REIN_M",
"SPERRK_BB" + str(uef), 0)
    arcpy.CalculateField_management("BAHN_REIN_M", "SPERRTAGE" +
str(uef), Sperrtage_mit[Listenposition] , "PYTHON3")
    Listenposition+= 1
arcpy.MakeTableView_management(ErgebnisGBD +"BAHN_REIN_M",
"BAHN_REIN_MIT")

#----VERSCHEIDUNG UND SUMMENSTATISIK DER BETROFFENEN LÄNGEN-------------
for uef in scenarios:
    arcpy.Clip_analysis(ErgebnisGBD + "GIP_BAHN", "UFHQ" + str(uef) +
"_MIT", ErgebnisGBD + "GIP_BAHN_MIT" + str(uef))
    arcpy.analysis.Statistics(ErgebnisGBD + "GIP_BAHN_MIT" + str(uef),
ErgebnisGBD + "GIP_BAHN_MIT_stat" + str(uef), "geom_Length SUM", "KAT_WB")
    arcpy.AddJoin_management("BAHN_REIN_MIT", "KAT_WB", ErgebnisGBD +
"GIP_BAHN_MIT_stat" + str(uef), "KAT_WB", "KEEP_COMMON")
    arcpy.CalculateField_management("BAHN_REIN_MIT", "BETR_LNG" +
str(uef), "0 if !GIP_BAHN_MIT_stat"+str(uef)+".SUM_geom_Length! is None
else !GIP_BAHN_MIT_stat"+str(uef)+".SUM_geom_Length!", "PYTHON3")
    arcpy.CalculateField_management("BAHN_REIN_MIT", "REINK" + str(uef),
"0 if !GIP_BAHN_MIT_stat"+str(uef)+".SUM_geom_Length! is None else
!GIP_BAHN_MIT_stat"+str(uef)+".SUM_geom_Length!*!BAHN_REIN_M.REINIGUNGSK
!", "PYTHON3")
    arcpy.CalculateField_management("BAHN_REIN_MIT", "REPK" + str(uef),
"0 if !GIP_BAHN_MIT_stat"+str(uef)+".SUM_geom_Length! is None else
!GIP_BAHN_MIT_stat"+str(uef)+".SUM_geom_Length!*!BAHN_REIN_M.REPERATURK!
", "PYTHON3")
    arcpy.CalculateField_management("BAHN_REIN_MIT", "SPERRK_BB" +
str(uef), "0 if !GIP_BAHN_MIT_stat"+str(uef)+".SUM_geom_Length! is None
else
!BAHN_REIN_M.SPERRTAGE"+str(uef)+"!*51839+!BAHN_REIN_M.SPERRTAGE"+str(ue
f)+"!*(2291+4009)+2004", "PYTHON3")
    arcpy.RemoveJoin_management ("BAHN_REIN_MIT")
arcpy.conversion.TableToTable("BAHN_REIN_MIT", ErgebnisGBD,
"BAHN_REIN_MIT")
arcpy.conversion.TableToTable(ErgebnisGBD + "BAHN_REIN_MIT", TempO,
"BAHN_SCHADEN_MIT.csv")
```

Anhang 11: Skript zur Schadensermittlung für Brückenbauwerke

```
# -*- coding: utf-8 -*-
# ------------------------------------------------------------------------
# Stand: 2025-01-10
# Beschreibung: Skript zur Ermittlung von Schäden an Straßeninfrastruktur
(Reinigungskosten, Reperaturkosten, Brücken)
#    Ergebnis    ersetzt    Teile    der    Registerkarte    "Ver-    und
Entsorungsinfrastruktur"
# ------------------------------------------------------------------------
```

```
import arcpy
import numpy as np

#----FESTLEGUNG DER EINGANGSPARAMETER UND VERZEICHNISSE-----------------
arcpy.env.workspace = "D:/KNU_Beispiele/goesselsdorfer/Seebach_LAM.gdb"
basidatenGDB = "D:/KNU_Analyse/EXPO_DB.gdb/"
ErgebnisGBD = "D:/KNU_Analyse/ERGEBNIS_DB.gdb/"
TempGBD = "D:/KNU_Analyse/TEMP.gdb/"
TempO = "D:/KNU_Analyse/TEMP/"
sr = arcpy.SpatialReference("D:/KNU_Analyse/MGI_Austria_Lambert.prj")
PrjName = "Seebach"
scenarios =[30,100,300]
scenarios.sort()
Leitprozess = 1 #Übernahme der Leitprozessfestlegung aus GZP-Definition
DOM_LPAKT_L_KATEGO

#-----ÜBERFÜHRUNG DER WASSERTIEFENKLASSEN IN ZAHLENWERTE---------------
#for uef in scenarios:
#   arcpy.AddField_management("WT"+str(uef)+"_MIT", "WT_cm", "FLOAT")
#        arcpy.CalculateField_management("WT"+str(uef)+"_MIT",   "WT_cm",
"!T_Klasse! *  0.1- 0.05")
#for uef in scenarios:
#   arcpy.AddField_management("WT"+str(uef)+" OHNE", "WT_cm", "FLOAT")
#       arcpy.CalculateField_management("WT"+str(uef)+"_OHNE",   "WT_cm",
"!T_Klasse! *  0.1- 0.05")

#-------------VORBEREITUNG DER EINZELNEN SUBDATENSÄTZE-----------------
arcpy.Clip_analysis(basidatenGDB + "GIP_linknetz", "UG", ErgebnisGBD +
"GIP_U")
arcpy.Select_analysis(ErgebnisGBD + "GIP_U", ErgebnisGBD + "GIP_UG",
"BAUSTATUS = 5")
arcpy.Select_analysis(ErgebnisGBD + "GIP_UG", ErgebnisGBD + "GIP_Streets",
"KAT_WB >= 1 And KAT_WB <= 5")
arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD    +    "GIP_Streets",    "WIDTH_N",
"FLOAT")
arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "GIP_Streets", "WIDTH_N",
"0 if !WIDTH! <= 0 else !WIDTH!")

arcpy.Clip_analysis(basidatenGDB + "GIP_Brunnel", "UG", ErgebnisGBD +
"GIP_B")
arcpy.Select_analysis(ErgebnisGBD + "GIP_B", ErgebnisGBD + "GIP_BR",
"BRL_TYP = 5002")
arcpy.analysis.Near(ErgebnisGBD + "GIP_BR", ErgebnisGBD + "GIP_Streets",
search_radius = "100 Meters", field_names="NEAR_FID; NEAR_DIST")
arcpy.management.JoinField(ErgebnisGBD    +    "GIP_BR",    "NEAR_FID",
ErgebnisGBD + "GIP_Streets", "OBJECTID", "WIDTH_N")
arcpy.analysis.Buffer(ErgebnisGBD + "GIP_BR", ErgebnisGBD + "GIP_BRI_BUF",
"WIDTH_N", "FULL", "FLAT", "NONE", "", "PLANAR")


#----FLÄCHENBASIERTE ANALYSE FÜR BRÜCKEN MIT- UND OHNE-FALL-------------
Bride_vul_def = """
def getClass(WT):
    if WT <= 1:
        return 0.1
    if WT > 1 and WT <= 2:
        return 0.2
    else:
        return 0.4"""
```

```
#-AUSWAHL ALLER BRÜCKEN DIE ZUMINDEST VON EINEM SZENARIO BETROFFEN SIND-
arcpy.management.MakeFeatureLayer("GIP_BRI_BUF", "BRI_BUF_LYR")
arcpy.management.Merge(["UFHQ300_MIT", "UFHQ300_OHNE"], ErgebnisGBD +
"UFHQ300_MIT_OHNE")
arcpy.management.SelectLayerByLocation("BRI_BUF_LYR", "INTERSECT",
"UFHQ300_MIT_OHNE", "", "NEW_SELECTION", "NOT_INVERT")
arcpy.CopyFeatures_management("BRI_BUF_LYR", ErgebnisGBD + "BETR_BRI")
arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "BETR_BRI", "REPKOSTEN", "FLOAT")
arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "BETR_BRI", "REPKOSTEN",
"2288.4", "PYTHON3") #WERT MUSS EVALUIERT WERDEN!

for uef in scenarios:
    arcpy.analysis.Intersect("WT" + str(uef) + "_OHNE;"+ ErgebnisGBD +
"GIP_BRI_BUF", ErgebnisGBD + "BRI_WT_OHNE"+ str(uef), "ALL", None,
"INPUT")
    arcpy.analysis.Statistics(ErgebnisGBD + "BRI_WT_OHNE"+ str(uef),
ErgebnisGBD + "BRI_WT_OHNE_ZSFG"+ str(uef), [["WT_cm", "MAX"],
["Shape_Area", "SUM"]], "SDE_ID")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "BRI_WT_OHNE_ZSFG"+ str(uef),
"BETR_OHNE_"+ str(uef), "LONG")
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "BRI_WT_OHNE_ZSFG"+
str(uef), "BETR_OHNE_"+ str(uef), "1", "PYTHON3")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "BRI_WT_OHNE_ZSFG"+ str(uef),
"Vuln_OHNE_"+str(uef), "FLOAT")
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "BRI_WT_OHNE_ZSFG"+
str(uef), "Vuln_OHNE_"+str(uef), "getClass(float(!MAX_WT_cm!))",
"PYTHON3", Bride_vul_def)
    arcpy.AlterField_management(ErgebnisGBD + "BRI_WT_OHNE_ZSFG"+
str(uef), "MAX_WT_cm", "MAX_WT_OHNE_"+ str(uef), "MAX_WT_OHNE_"+ str(uef))
    arcpy.AlterField_management(ErgebnisGBD + "BRI_WT_OHNE_ZSFG"+
str(uef), "SUM_Shape_Area", "BETR_FL_OHNE_"+ str(uef), "BETR_FL_OHNE_"+
str(uef))
    arcpy.management.JoinField(ErgebnisGBD + "BETR_BRI", "SDE_ID",
ErgebnisGBD + "BRI_WT_OHNE_ZSFG"+ str(uef), "SDE_ID", "BETR_OHNE_"+
str(uef)+";MAX_WT_OHNE_"+ str(uef)+";VULN_OHNE_"+
str(uef)+";BETR_FL_OHNE_"+ str(uef))

for uef in scenarios:
    arcpy.analysis.Intersect("WT" + str(uef) + "_MIT;"+ ErgebnisGBD +
"GIP_BRI_BUF", ErgebnisGBD + "BRI_WT_MIT"+ str(uef), "ALL", None, "INPUT")
    arcpy.analysis.Statistics(ErgebnisGBD + "BRI_WT_MIT"+ str(uef),
ErgebnisGBD + "BRI_WT_MIT_ZSFG"+ str(uef), [["WT_cm", "MAX"],
["Shape_Area", "SUM"]], "SDE_ID")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "BRI_WT_MIT_ZSFG"+ str(uef),
"BETR_MIT_"+ str(uef), "LONG")
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "BRI_WT_MIT_ZSFG"+
str(uef), "BETR_MIT_"+ str(uef), "1", "PYTHON3")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "BRI_WT_MIT_ZSFG"+ str(uef),
"Vuln_MIT_"+str(uef), "FLOAT")
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "BRI_WT_MIT_ZSFG"+
str(uef), "Vuln_MIT_"+str(uef), "getClass(float(!MAX_WT_cm!))",
"PYTHON3", Bride_vul_def)
    arcpy.AlterField_management(ErgebnisGBD + "BRI_WT_MIT_ZSFG"+
str(uef), "MAX_WT_cm", "MAX_WT_MIT_"+ str(uef), "MAX_WT_MIT_"+ str(uef))
    arcpy.AlterField_management(ErgebnisGBD + "BRI_WT_MIT_ZSFG"+
str(uef), "SUM_Shape_Area", "BETR_FL_MIT_"+ str(uef), "BETR_FL_MIT_"+
str(uef))
```

```
    arcpy.management.JoinField(ErgebnisGBD + "BETR_BRI", "SDE_ID",
ErgebnisGBD + "BRI_WT_MIT_ZSFG"+ str(uef), "SDE_ID", "BETR_MIT_"+
str(uef)+";MAX_WT_MIT_"+ str(uef)+";VULN_MIT_"+ str(uef)+";BETR_FL_MIT_"+
str(uef))

Fields_ohne = ""
Fields_mit = ""
for uef in scenarios:
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "BETR_BRI",
"SCHADEN_OHNE_"+str(uef), "FLOAT")
    calc = "!BETR_FL_OHNE_"+str(uef)+"! * !Vuln_OHNE_"+str(uef)+"! *
!REPKOSTEN!"
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "BETR_BRI",
"SCHADEN_OHNE_"+str(uef), calc, "PYTHON3")
    Fields_ohne += "SCHADEN_OHNE_"+str(uef)+" SUM;"

    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "BETR_BRI",
"SCHADEN_MIT_"+str(uef), "FLOAT")
    calc2 = "!BETR_FL_MIT_"+str(uef)+"! * !Vuln_MIT_"+str(uef)+"! *
!REPKOSTEN!"
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "BETR_BRI",
"SCHADEN_MIT_"+str(uef), calc2, "PYTHON3")
    Fields_mit += "SCHADEN_MIT_"+str(uef)+" SUM;"
expr_ohne = Fields_ohne[:-1]
expr_mit = Fields_mit[:-1]

arcpy.analysis.Statistics(ErgebnisGBD + "BETR_BRI", ErgebnisGBD +
"BETR_BRI_OHNE", expr_ohne)
arcpy.analysis.Statistics(ErgebnisGBD + "BETR_BRI", ErgebnisGBD +
"BETR_BRI_MIT", expr_mit)
arcpy.conversion.TableToTable(ErgebnisGBD + "BETR_BRI_OHNE", TempO,
"BETR_BRI_OHNE.csv")
arcpy.conversion.TableToTable(ErgebnisGBD + "BETR_BRI_MIT", TempO,
"BETR_BRI_MIT.csv")
```

Anhang 12: Skript zur Ermittlung von Schäden in der Landwirtschaft

```
# -*- coding: utf-8 -*-
# ----------------------------------------------------------------------
# Stand: 2025-01-07
#    Beschreibung:    Skript    zur    Ermittlung    von    betroffenen,
landwirtschaftlichen Nutzflächen
# Ergebnis ersetzt Registerkarte "Landwirtschaft"
# ----------------------------------------------------------------------

# -------IMPORT DER VERWENDETEN BIBLIOTHEKEN------------------------
import arcpy

# ----FESTLEGUNG DER EINGANGSPARAMETER UND VERZEICHNISSE---------------
arcpy.env.workspace = "D:/KNU_Beispiele/goesselsdorfer/Seebach_LAM.gdb"
basidatenGDB = "D:/KNU_Analyse/EXPO_DB.gdb/"
ErgebnisGBD = "D:/KNU_Analyse/ERGEBNIS_DB.gdb/"
TempGBD = "D:/KNU_Analyse/TEMP.gdb/"
TempO = "D:/KNU_Analyse/TEMP/"
sr = arcpy.SpatialReference("D:/KNU_Analyse/MGI_Austria_Lambert.prj")

scenarios =[30,100,300]
scenarios.sort()
```

```
# -VERSCHNEIDUNG UEBERFLUTUNGSFLAECHEN UND INVEKOS (OHNE-FALL)--
arcpy.Clip_analysis(basidatenGDB + "INVEKOS", "UG", ErgebnisGBD + "LANDWIRT")
arcpy.conversion.TableToTable(TempGBD + "Landwirtbase", ErgebnisGBD, "Landwirt_ohne_stats")

for uef in scenarios:
    arcpy.Clip_analysis(ErgebnisGBD + "LANDWIRT", "UFHQ" + str(uef) + "_OHNE", ErgebnisGBD + "LANDWIRT_ohne_" + str(uef))
    arcpy.Statistics_analysis(ErgebnisGBD + "LANDWIRT_ohne_" + str(uef), ErgebnisGBD + "LAND_ohne_stat_" + str(uef), [["Shape_Area", "SUM"]], "LANDWIRT_KAT")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "LAND_ohne_stat_" + str(uef), "HQ" + str(uef), "LONG")
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "LAND_ohne_stat_" + str(uef), "HQ" + str(uef), "!SUM_Shape_Area!", "PYTHON3", "")
    arcpy.JoinField_management(ErgebnisGBD + "Landwirt_ohne_stats", "LANDWIRT_KAT", ErgebnisGBD + "LAND_ohne_stat_" + str(uef), "LANDWIRT_KAT", ["HQ" + str(uef)])
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "Landwirt_ohne_stats", "HQ" + str(uef) + "_SCHADEN", "LONG")
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "Landwirt_ohne_stats", "HQ" + str(uef) + "_SCHADEN", "0 if !HQ" + str(uef)+"! is None else !HQ" + str(uef)+"!*!Schadenswert!/10000", "PYTHON3", "")

arcpy.TableToTable_conversion(ErgebnisGBD + "Landwirt_ohne_stats", TempO, "Landwirt_ohne_stats.csv")

arcpy.conversion.TableToTable(TempGBD + "Landwirtbase", ErgebnisGBD, "Landwirt_mit_stats")

# -VERSCHNEIDUNG UEBERFLUTUNGSFLAECHEN UND INVEKOS (MIT-FALL)--

for uef in scenarios:
    arcpy.Clip_analysis(ErgebnisGBD + "LANDWIRT", "UFHQ" + str(uef) + "_MIT", ErgebnisGBD + "LANDWIRT_mit_" + str(uef))
    arcpy.Statistics_analysis(ErgebnisGBD + "LANDWIRT_mit_" + str(uef), ErgebnisGBD + "LAND_mit_stat_" + str(uef), [["Shape_Area", "SUM"]], "LANDWIRT_KAT")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "LAND_mit_stat_" + str(uef), "HQ" + str(uef), "LONG")
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "LAND_mit_stat_" + str(uef), "HQ" + str(uef), "!SUM_Shape_Area!", "PYTHON3", "")
    arcpy.JoinField_management(ErgebnisGBD + "Landwirt_mit_stats", "LANDWIRT_KAT", ErgebnisGBD + "LAND_mit_stat_" + str(uef), "LANDWIRT_KAT", ["HQ" + str(uef)])
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "Landwirt_mit_stats", "HQ" + str(uef) + "_SCHADEN", "LONG")
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "Landwirt_mit_stats", "HQ" + str(uef) + "_SCHADEN", "0 if !HQ" + str(uef)+"! is None else !HQ" + str(uef)+"!*!Schadenswert!/10000", "PYTHON3", "")

arcpy.TableToTable_conversion(ErgebnisGBD + "Landwirt_mit_stats", TempO, "Landwirt_mit_stats.csv")
```

Anhang 13: Skript zur Ermittlung von Schäden an Sonstigen Flächennutzungen

```
# -*- coding: utf-8 -*-
# ---------------------------------------------------------------------------
# Stand: 2025-01-10
#  Beschreibung: Skript zur Ermittlung von betroffenen, sonstigen
Flächennutzungen
# Ergebnis ersetzt Registerkarte "Sonstige Flächennutzungen"
# ---------------------------------------------------------------------------


# -----------IMPORT DER VERWENDETEN BIBLIOTHEKEN-----------------------
import arcpy

#-FESTLEGUNG DER EINGANGSPARAMETER UND VERZEICHNISSE--------------------
arcpy.env.workspace = "D:/KNU_Beispiele/goesselsdorfer/Seebach_LAM.gdb"
basidatenGDB = "D:/KNU_Analyse/EXPO_DB.gdb/"
ErgebnisGBD = "D:/KNU_Analyse/ERGEBNIS_DB.gdb/"
TempGBD = "D:/KNU_Analyse/TEMP.gdb/"
TempO = "D:/KNU_Analyse/TEMP/"
sr = arcpy.SpatialReference("D:/KNU_Analyse/MGI_Austria_Lambert.prj")

PrjName = "Seebach"
scenarios =[30,100,300]
scenarios.sort()


sonstFL_def= """def sonstFLcode(F_CODE):
    if (F_CODE == 3201) or (F_CODE == 3202) or (F_CODE == 3203) or (F_CODE
== 3204) or (F_CODE == 3205) or (F_CODE == 3211) or (F_CODE == 3221) or
(F_CODE == 3231):
        return 2
    elif F_CODE == 3212:
        return 3
    elif F_CODE == 3214:
        return 4
    elif F_CODE == 3241:
        return 5"""

# --ERZEUGUNG BASISDATENSATZ "NUTZFL" AUS "DKMNUTZFL" UND "DLMFLAECHEN"-
#      arcpy.analysis.Select(basidatenGDB      +"DKM_NUTZFL",basidatenGDB
+"DKM_GAERTEN",where_clause="NUTZUNGSART = 'Garten'")
#   arcpy.AddField_management(basidatenGDB   +"DKM_GAERTEN",   "SONST_FL",
"LONG")
#       arcpy.CalculateField_management(basidatenGDB       +"DKM_GAERTEN",
"SONST_FL", "1", "PYTHON3", "")
#    arcpy.AddField_management(basidatenGDB    +    "GEB_3200_FREIZEIT_F",
"SONST_FL", "LONG")
#  arcpy.CalculateField_management(basidatenGDB  +  "GEB_3200_FREIZEIT_F",
"SONST_FL", "sonstFLcode(!F_CODE!)", "PYTHON3", sonstFL_def)
#   arcpy.Merge_management([basidatenGDB   +"DKM_GAERTEN",basidatenGDB   +
"GEB_3200_FREIZEIT_F"], basidatenGDB + "NUTZFL")

# --VERSCHNEIDUNG UEBERFLUTUNGSFLAECHEN UND NUTZUNGSKLASSEN (OHNE-FALL)-
arcpy.Clip_analysis(basidatenGDB   +   "NUTZFL",   "UG",   ErgebnisGBD   +
"SONST_FLN")
arcpy.conversion.TableToTable(TempGBD   +   "SonsFLNbase",   ErgebnisGBD,
"SonsFLN_ohne_stats")
```

```
for uef in scenarios:
    arcpy.Clip_analysis(ErgebnisGBD + "SONST_FLN", "UFHQ" + str(uef) +
"_OHNE", ErgebnisGBD + "SONST_FLNo_" + str(uef))
    arcpy.Statistics_analysis(ErgebnisGBD + "SONST_FLNo_" + str(uef),
ErgebnisGBD + "SONST_FLN_stat_" + str(uef), [["Shape_Area", "SUM"]],
"SONST_FL")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "SONST_FLN_stat_" + str(uef),
"HQ" + str(uef), "LONG")
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "SONST_FLN_stat_" +
str(uef), "HQ" + str(uef), "!SUM_Shape_Area!", "PYTHON3", "")
    arcpy.JoinField_management(ErgebnisGBD + "SonsFLN_ohne_stats",
"SONST_FL", ErgebnisGBD + "SONST_FLN_stat_" + str(uef), "SONST_FL", ["HQ"
+ str(uef)])
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "SonsFLN_ohne_stats", "HQ" +
str(uef) + "_SCHADEN", "LONG")
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "SonsFLN_ohne_stats",
"HQ" + str(uef) + "_SCHADEN", "0 if !HQ" + str(uef)+"! is None else !HQ"
+ str(uef)+"!*!RichtwertProQM!", "PYTHON3", "")

arcpy.TableToTable_conversion(ErgebnisGBD + "SonsFLN_ohne_stats", TempO,
"SonsFLN_ohne_stats.csv")

# --VERSCHNEIDUNG UEBERFLUTUNGSFLAECHEN UND NUTZUNGSKLASSEN (MIT-FALL)--
arcpy.conversion.TableToTable(TempGBD + "SonsFLNbase", ErgebnisGBD,
"SonsFLN_mit_stats")

for uef in scenarios:
    arcpy.Clip_analysis(ErgebnisGBD + "SONST_FLN", "UFHQ" + str(uef) +
"_MIT", ErgebnisGBD + "SONST_FLNm_" + str(uef))
    arcpy.Statistics_analysis(ErgebnisGBD + "SONST_FLNm_" + str(uef),
ErgebnisGBD + "SONST_FLN_stat_" + str(uef), [["Shape_Area", "SUM"]],
"SONST_FL")
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "SONST_FLN_stat_" + str(uef),
"HQ" + str(uef), "LONG")
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "SONST_FLN_stat_" +
str(uef), "HQ" + str(uef), "!SUM_Shape_Area!", "PYTHON3", "")
    arcpy.JoinField_management(ErgebnisGBD + "SonsFLN_mit_stats",
"SONST_FL", ErgebnisGBD + "SONST_FLN_stat_" + str(uef), "SONST_FL", ["HQ"
+ str(uef)])
    arcpy.AddField_management(ErgebnisGBD + "SonsFLN_mit_stats", "HQ" +
str(uef) + "_SCHADEN", "LONG")
    arcpy.CalculateField_management(ErgebnisGBD + "SonsFLN_mit_stats",
"HQ" + str(uef) + "_SCHADEN", "0 if !HQ" + str(uef)+"! is None else !HQ"
+ str(uef)+"!*!RichtwertProQM!", "PYTHON3", "")

arcpy.TableToTable_conversion(ErgebnisGBD + "SonsFLN_mit_stats", TempO,
"SonsFLN_mit_stats.csv")
```

Anhang 14: Hinsichtlich Schäden und Anfangsschäden/B-Werten analysierte Kosten-Nutzen-Untersuchungen

			Schaden bei HQ100 (in €)					
Name (Gewässer / Gemeinde)	Anfangs-schaden	B-Wert	**Wohngebäude**	**Nicht-Wohngebäude**	**Verkehr**	**Wert-schöpfung**	**Sonstige**	**NKV**
KNU Haselbach & Grießelbach / Weidring	2.500	32	3.096.653	**5.202.908**	**667.942**	**406.875**	**4.002.330**	**0,58**
KNU Gurk / Gurk	22.432	47	2.019.750	**407.000**	**1.600.726**	**5.646**	**173.758**	**0,73**
KNU Kobenzbach / Kobenz	14.613	42	453.962	**110.560**	**829.818**	**3.816**	**60.373**	1,08
KNU Große und Kleine Erlauf / Wieselburg	5.252	68	4.432.193	1.674.566	796.312	3.850.258	**413.379**	**1,02**
KNU Görtschitz / Eberstein	15.000	37	291.145	**1.757.100**	**2.470.591**	**143.549**	**12.120**	**0,78**
KNU Schwechat / Zwölfaxing	2.768	74	5.702.579	**2.563.603**	**1.160.832**	**658.299**	**1.025.586**	**1,39**
KNU Piesting / Wöllersdorf	21.667	103	27.218.618	**1.715.952**	**2.160.034**	**97.679**	**548.003**	**1,73**
KNU Freßnitzbach / Krieglach	14.766	42	2.057.302	874.197	118.857	7.679	**53.170**	**11,74**
KNU Riegerbach / Radenthein	2.000	30	4.420.415	**3.097.213**	**1.030.843**	**1.760.126**	**792.437**	**0,74**
KNU Möll / Möllbrücke	14.500	41	8.539.485	2.175.397	324.047	236.000	**85.475**	**1**
KNU Lavant / Frantschach	18.404	56	1.249.006	1.435.594	169.060	14.534	**0**	**1,04**
KNU Mattig / Pfaffstätt	21.500	95	1.468.943	84.200	419.737	4.004	**14.589**	**1,02**
KNU Prambach /Eferding	9.000	30	1.028.071	24.905.302	215.644	6.812.620	**131.709**	**9,22**
KNU Gurten / Mehrnbach	2.889	31	160.151	190.106	3.787.057	5.686	**36.552**	**1,9**
KNU Gasenbach / Gasen	5.000	80	1.121.323	429.834	2.384.192	754.404	**462.435**	**1,86**
KNU Pladenbach / St. Georgen bei Salzburg	5.500	36	1.592.416	380.000	825.573	132.826	**35.033**	**1,12**

KNU Lindachbach / Laakirchen	2.000	46	1.076.056	98.925	171.120	0	**2.025**	**2,13**
KNU Rajacher Bach / Velden am Wörther See	15.125	31	1.479.756	4.620.500	535.870	620.484	**336.035**	**1,2**
KNU Oberlochauerbach und Kugelbeerbach / Lochau	10.000	10	988.766	3.209.000	1.058.464	255.936	**382.411**	**3,14**
KNU Stögersbach / Grafenschachen	5.000	42	3.449.249	739.108	374.146	274.494	**187.691**	**1,72**
KNU Auenbach /Wolfsberg	14.500	41	917.355	1.111.754	406.981	199.549	**72.020**	**1,35**
KNU Freudenthaler Ache und Dürre Sprenzl / Frankenmarkt	10	20	594.061	1.754.000	3.354.290	79.507	**68.964**	**1,34**
KNU Piesting / Waldegg	5.000	80	4.486.441	1.731.000	2.763.174	60.219	**325.257**	**1,43**
KNU Feistritz / Fürstenfeld	10.638	30	4.377.100	8.651.518	351.271	787.970	**823.957**	**1,1**
KNU Krems / Kirchdorf an der Krems	2.459	28	30.266.742	44.932.165	3.643.600	13.496.620	**903.202**	**1,04**
KNU Petersbach / Graz	10.000	15	4.517.968	2.786.885	1.076.031	93.159	**58.596**	**1,75**
KNU Traisen / Traismauer	5.000	25	2.696.452	540.000	1.597.132	1.050.406	**875.577**	**1,62**
KNU Inn / Schärding	3.043	24	5.897.344	10.902.440	1.835.813	535.468	**783.788**	**0,96**
KNU Kriechbach / Regau	2.200	28	269.232	0	71.333	0	**11.737**	**1,43**
KNU Villgratenbach / Heinfels	4.500	43	7.192.475	8.084.309	5.331.088	4.205.950	**642.592**	**1,11**
KNU Gusen / Engerwitzdorf	11.000	18	103.345	1.000	150.581	0	**8.285**	**0,61**
KNU Mühlbach / Hitzendorf	6.500	13	218.503	150.921	57.456	0	**44.394**	**1,03**
KNU Einerkanal / Podersdorf	3.500	25	207.916	83.241	23.047	2.004	**250**	**1,18**
KNU Radaubach / Bad Ischl	970	28	378.291	8.000	71.000	1.437	**4.400**	**1,65**

KNU Salzach / Stuhlfelden	2.000	77	606.603	411.725	1.415.812	3.676	**13.515**	**1,02**
KNU Seebach / Seefeld in Tirol	2.375	29	395.772	2.674.486	665.842	226.939	**122.986**	**0,97**
KNU Seeache / Achenkirch	28.625	78	750.327	38.518	1.133.667	164.716	**643.204**	**2,17**
KNU Alvier / Bürs	2.200	20	9.847.345	16.765.000	1.917.154	4.283.972	**22.763**	**9,98**
KNU Rußbach / Kreuttal	15.000	40	1.740.493	645.980	637.154	23.598	**137.147**	**1**
KNU Eselbach / Hauskirchen	5.800	36	1.779.918	72.000	497.882	0	**55.034**	1,85