

GEFÖRDERT VOM



PREVIEW-GIS

Inhalt

1	Einleitung.....	1
2	Bedienung von PREVIEW-GIS	2
3	Konzept: Ebenen-Systematik.....	5
4	Ebene Gesamtrisiko.....	6
5	Ebene Bauwerke: Vulnerabilität.....	8
6	Ebene Industrie	14
7	Ebene Bevölkerung.....	17
8	Integration in den Status Quo des Instandhaltungsmanagements.....	23
9	Schlusswort und Beteiligte	27
	Anhang: Glossar.....	28

1 Einleitung

1.1 Das Projekt

Das Verbundprojekt PREVIEW¹ wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Programms „Forschung für die zivile Sicherheit“ gefördert und hat sich zum Ziel gesetzt, die Resilienz der Wasserstraßeninfrastruktur in Deutschland zu erhöhen. Zu diesem Zweck erforschte das Projektkonsortium (vgl. S. 27) die möglichen Auswirkungen des Versagens kritischer Bauwerke der Wasserverkehrsinfrastruktur auf andere Verkehrsinfrastrukturen, auf die Logistik, auf Anrainerindustrien sowie auf die Bevölkerung der angrenzenden Regionen im Rahmen eines ganzheitlichen Risikomanagement-Ansatzes.

Schadensauswirkungen und Konsequenzen wurden anhand der drei Sicherheitsszenarien Naturereignisse, technisches oder menschliches Versagen und feindselig gesinnte Angriffe analysiert. Dabei wird erstmalig die Gesamtheit der Gefährdungen für die Bevölkerung sowie für den Verkehr und die Wirtschaft analysiert. Aus den daraus resultierenden Erkenntnissen entstehen Krisenpläne, um diesen Gefährdungen wirkungsvoll entgegenzutreten zu können.

1.2 PREVIEW-GIS

Die Ergebnisse des Projekts fließen in ein Simulationsmodell ein, welches mögliche Gefahrenlagen am Beispiel des Westdeutschen Kanalnetzes darstellt. PREVIEW-GIS ist das GIS-basierte Tool zum Monitoring der Bauwerks-Resilienz dar. Er umfasst die Geodaten der wasserbaulichen Infrastrukturelemente am Westdeutschen Kanalnetz sowie Daten zur Resilienzbewertung. Das Instrument kann Entscheidungsträgern eine Unterstützung hinsichtlich einer risikobasierten Priorisierung von Instandsetzungsmaßnahmen bieten. Die Funktionalität und Bedienung wird dazu ab Seite 2 erklärt, die Beschreibung der Grundlage der Risikoermittlung folgt ab Seite 6.

Die aktuelle Implementierung umfasst

- (1) einen Datensatz² über das komplette Westdeutsche Kanalnetz mit generierten Werten, um die Leistungsfähigkeit und das Potential des Tools im Sinne einer umfassenden Maßnahmen-Priorisierung beispielhaft zu demonstrieren;
- (2) einen Datensatz² mit Realdaten einzelner Bauwerke des Westdeutschen Kanalnetzes, für die bereits Realdaten erhoben wurden, um die Betrachtung auf einzelbauwerklicher Ebene zu veranschaulichen.

Die Datensätze beinhalten Daten zu den einzelnen Bauwerken, welche Bauwerks-Daten, Geodaten und ermittelte Risiko-Werte umfassen. Zum Projektabschluss ist keine weitere Versionierung geplant, dies wird der Verwertung der Projektergebnisse und weiteren anschließender Arbeiten überlassen.

¹ Mehr Informationen und Aktuelles zum Projekt: www.preview-projekt.de

² Daten zu den einzelnen Bauwerken: Bauwerks-Daten, Geodaten und ermittelte Risiko-Werte

2 Bedienung von PREVIEW-GIS

Nachfolgend wird der Aufbau von PREVIEW-GIS erläutert und die technischen Details skizziert.

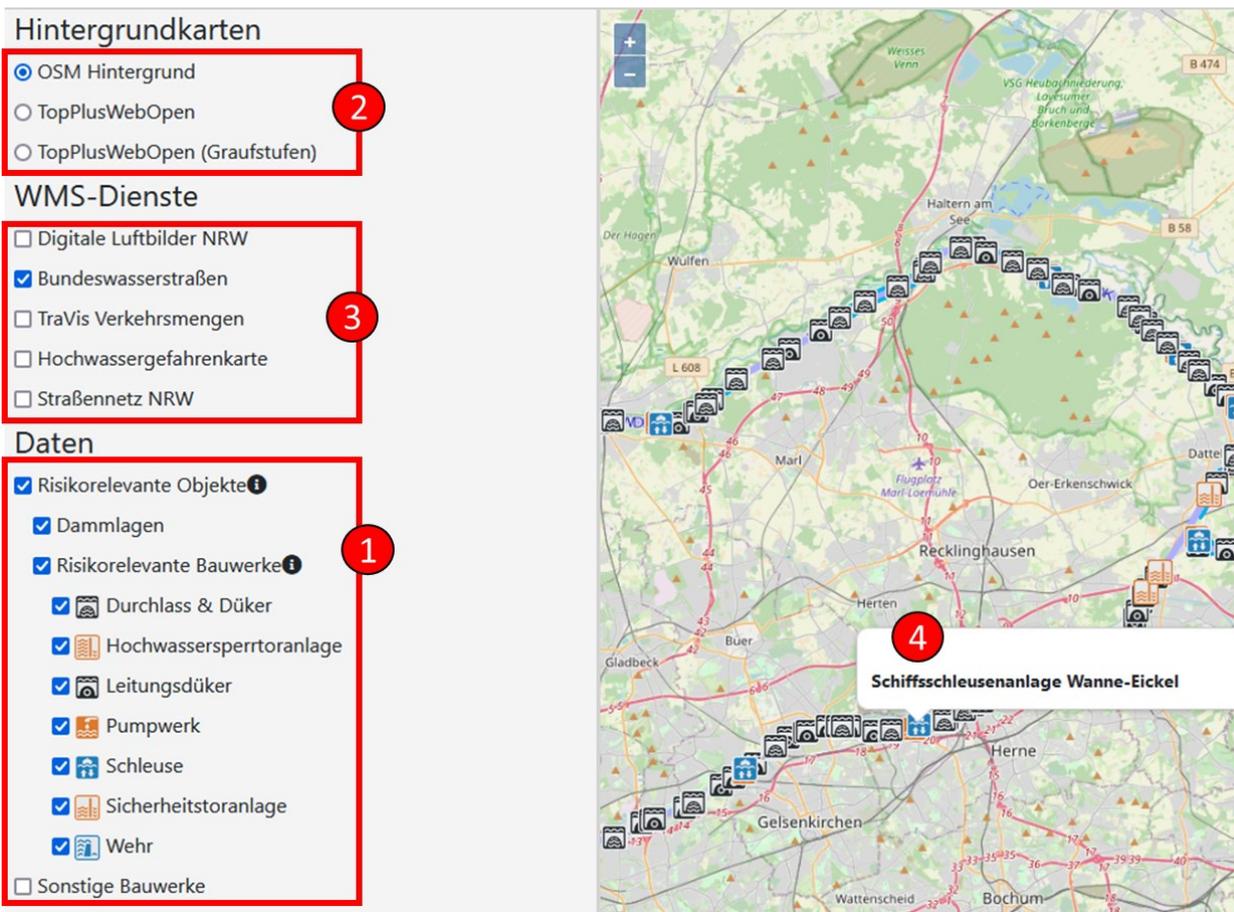
2.1 Risikobasierte Instandhaltungsstrategie

PREVIEW-GIS dient der Darstellung von Infrastrukturbauwerken mitsamt ihrem Risikostatus. Dies zielt darauf ab, Entscheidungsträger ein Monitoring der Bauwerks-Resilienz zu ermöglichen.

2.1.1 Bauwerke

Die Bauwerke umfassen alle wasserbaulichen Infrastrukturbauwerke, welche in der Modellregion des Westdeutschen Kanalnetzes verortet sind. Dies umfasst primär Dammlagen, Durchlässe und Düker, Hochwassersperrtoranlagen, Leitungsdüker, Pumpwerke, Schleusen, Sicherheitstoranlagen sowie Wehre. Diese sogenannten Risikorelevanten Bauwerke, vgl. Bild 1, (1), haben eine besondere Bedeutung für die Funktionalität des Kanalnetzes und werden daher hinsichtlich ihres Risikos bewertet. Weiter („Sonstige“) Bauwerke (1) umfassen z.B. Liegestellen, welche keine besondere risikotechnische Relevanz aufweisen, aber auch Brücken, da diese meist außerhalb der Zuständigkeit des Entscheidungsträgers der wasserbaulichen Infrastruktur liegen.

Die Bauwerke können ebenso wie verschiedene Hintergrundkarten (2) und weitere Daten-Visualisierungen (3) im linken Menüfeld von PREVIEW-GIS ausgewählt werden, um die verorteten Bauwerke auf der Karte ein- bzw. auszublenden. Ein Mouse-Over (4) ermöglicht zudem einen schnellen Überblick über die örtlichen Bauwerke.



Hintergrundkarten

- OSM Hintergrund
- TopPlusWebOpen
- TopPlusWebOpen (Graufstufen)

WMS-Dienste

- Digitale Luftbilder NRW
- Bundeswasserstraßen
- TraVis Verkehrsmengen
- Hochwassergefahrenkarte
- Straßennetz NRW

Daten

- Risikorelevante Objekte ⓘ
- Dammlagen
- Risikorelevante Bauwerke ⓘ
-  Durchlass & Düker
-  Hochwassersperrtoranlage
-  Leitungsdüker
-  Pumpwerk
-  Schleuse
-  Sicherheitstoranlage
-  Wehr
- Sonstige Bauwerke

Schiffsschleusenanlage Wanne-Eickel

Bild 1: Überblick PREVIEW-GIS

2.1.2 Risikobewertung

Durch Auswahl (Klick) eines spezifischen Bauwerks erhält der Bediener mehr Informationen über das Bauwerk und seine Risikobewertung (5). Dazu zählen insbesondere die Bezeichnung des Bauwerks sowie die Funktionen, welche ein Bauwerk basierend auf seiner Objektkategorie erfüllt.

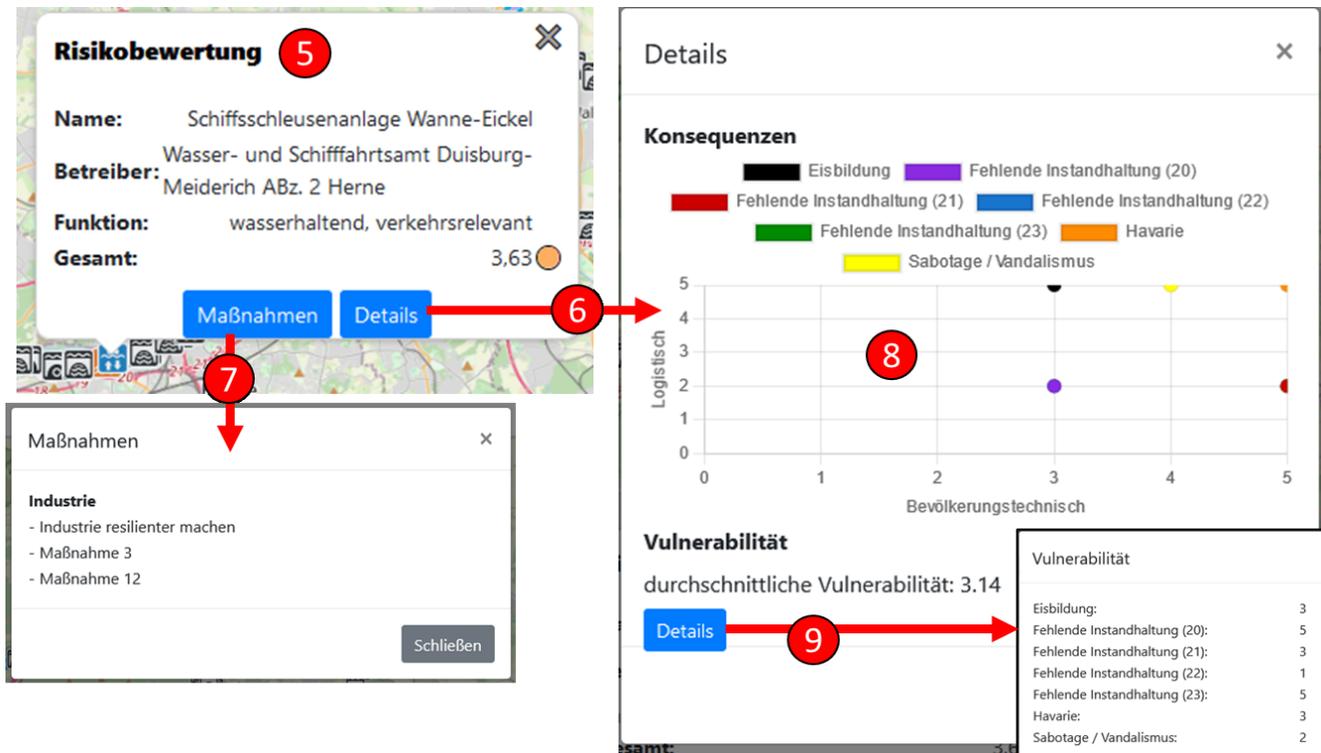


Bild 2: Risikobewertung Bauwerk

Weitere Schaltflächen führen zu einem Pop-Up zur Visualisierung der Details zur Risikoermittlung (6) sowie zu einem Pop-Up der Auflistung möglicher Resilienz-steigernder Maßnahmen (7). Die Detail-Darstellung umfasst ein Diagramm zur Gegenüberstellung logistischer und bevölkerungstechnischer Risiken spezifischer Szenarien (8). Zudem wird die durchschnittliche Vulnerabilität dargestellt, wozu wiederum eine Szenario-spezifische Erläuterung verfügbar ist (9).

Aus diesen Detail-Darstellungen wird das Gesamtrisiko eines Bauwerks ermittelt (Näheres zur Berechnung ab Seite 6) und farblich visualisiert (10).

2.1.3 Priorisierung

Die Risiko-Bewertung eines einzelnen Bauwerks ist dabei aufschlussreicher, wird sie im Verhältnis zu den weiteren Bauwerken im System betrachtet. Hierzu kann über das Drop-Down-Menü (11) die Darstellung verschiedener Daten ausgewählt werden. Im Mittelpunkt dabei steht die Risikokategorie *Gesamtrisiko*.

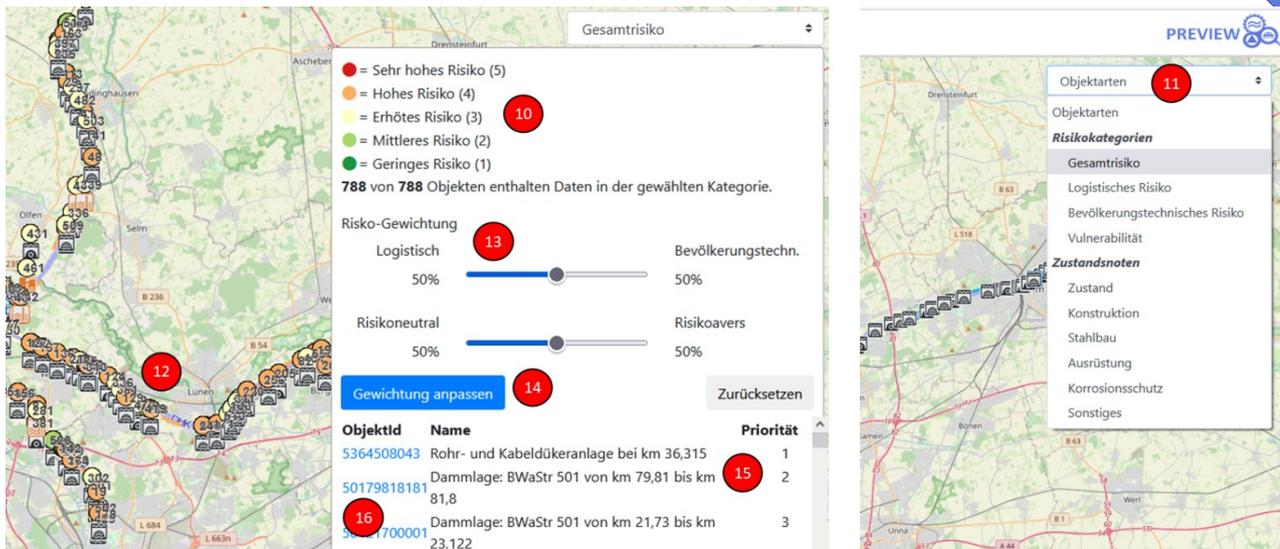


Bild 3: Layer und Priorisierung

Die Auswahl dieser Kategorie erlaubt die Darstellung aller Risikorelevanten Objekte im System mit ihrer farblichen Zuordnung zu ihrer Risiko-Kategorie (12 bzw. 10). Über Schieberegler (13) kann eine Anpassung der Gewichtung (siehe Details zur Berechnung) vorgenommen werden, welche über den Button „Gewichtung anpassen“ (14) bestätigt werden muss.

Es resultiert die risikobasierte Priorisierung von Bauwerken (15), welche Gegenstand potentieller Instandhaltungsmaßnahmen sind. Die Auflistung enthält die Objekt-ID, Bezeichnung und Priorität der jeweiligen Infrastrukturelemente. Durch Klick auf die Objekt-ID (16) navigiert das GIS-Tool direkt zum jeweiligen Bauwerk, was die direkte Sichtung der Detail-Daten und somit eine schnelle Entscheidungsunterstützung ermöglicht.

2.2 Technische Details

Die Anwendung basiert vollständig auf opensource Komponenten zur Bereitstellung und Visualisierung von Geodaten über das Internet. Hierbei kommt die offene Javascript Bibliothek OpenLayers zum Einsatz, welche es ermöglicht, Geodaten im Webbrowser plattformunabhängig darzustellen. Dabei sind clientseitig keine weiteren Voraussetzungen notwendig, sofern ein Webbrowser installiert ist. Als Webanwendung wird PREVIEW-GIS über einen Webserver (z.B. Apache, Nginx) bereitgestellt und bietet innerhalb der Fortführung die Möglichkeit die Inhalte im Internet zu veröffentlichen.

Die Geodaten werden filebasiert im GeoJSON-Format abgelegt, sodass die Anwendung direkt darauf zugreifen kann. Bei einer Veröffentlichung sind hier weitere Schritte zu berücksichtigen, um insbesondere dem Datenschutz gerecht zu werden. Es empfiehlt sich daher, die Daten in eine räumliche Datenbank zu importieren und die Bereitstellung der Daten über entsprechende Schnittstellen und ein PHP-Backend zu realisieren. Dies bietet insbesondere den Vorteil, dass Datenzugriffe nach speziellen Vorgaben bzw. Zugriffsrechten geregelt werden können.

Da die Anwendung im Status Quo als Demonstrator keine Bearbeitung der Geodaten direkt über den Webbrowser ermöglicht, sind Änderungen am Datensatz direkt im GIS vorzunehmen und die Dateien entsprechend auszutauschen. Im Falle der Weiterentwicklung existieren weitere Möglichkeiten, auch die Bearbeitung direkt im Browser zu ermöglichen.

3 Konzept: Ebenen-Systematik

Die Ermittlung der Risikobewertung, die in PREVIEW-GIS visualisiert wird, basiert auf einem Verständnis von Risiko als interdisziplinäre Risiko-Kette (Bild 4). Auslöser dabei ist prinzipiell ein Ereignis, das eine Gefahr für ein System darstellt. Dieses reagiert wiederum in Abhängigkeit seiner Vulnerabilität mit einer Systemantwort, welche sich zudem in Abhängigkeit seiner Kritikalität mit Konsequenzen äußert, welche sich in Form potentieller Funktionsausfälle niederschlagen.

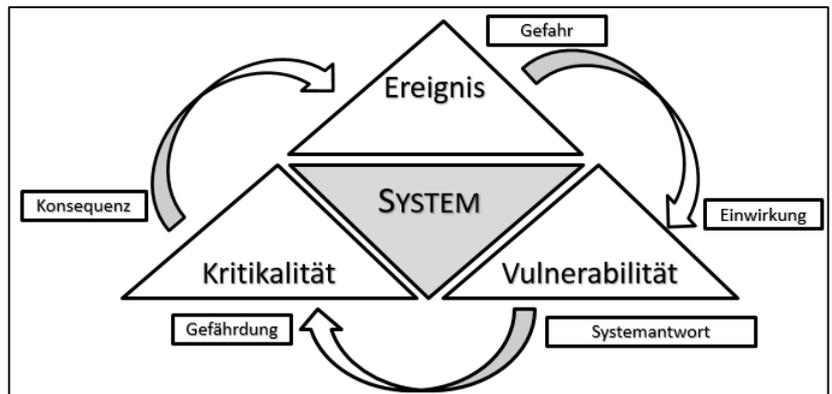


Bild 4: Prozesskette Risiko

Diese Prozesskette kann auf unterschiedlichen Ebenen (Bild 5) ablaufen und führt dazu, dass sich auslösende Szenarien, wie beispielsweise menschlich-technisches Versagen als unterlassene Instandhaltung, im System fortpflanzen. Das System besteht dabei aus den Ebenen Bauwerk, Kanalnetz, Industrie und Bevölkerung. Für genauere Ausführungen hierzu sei auf den Artikel „Ebenensystem zur Resilienzbewertung kritischer Verkehrsinfrastrukturen am Beispiel der Wasserstraßen“³ verwiesen.

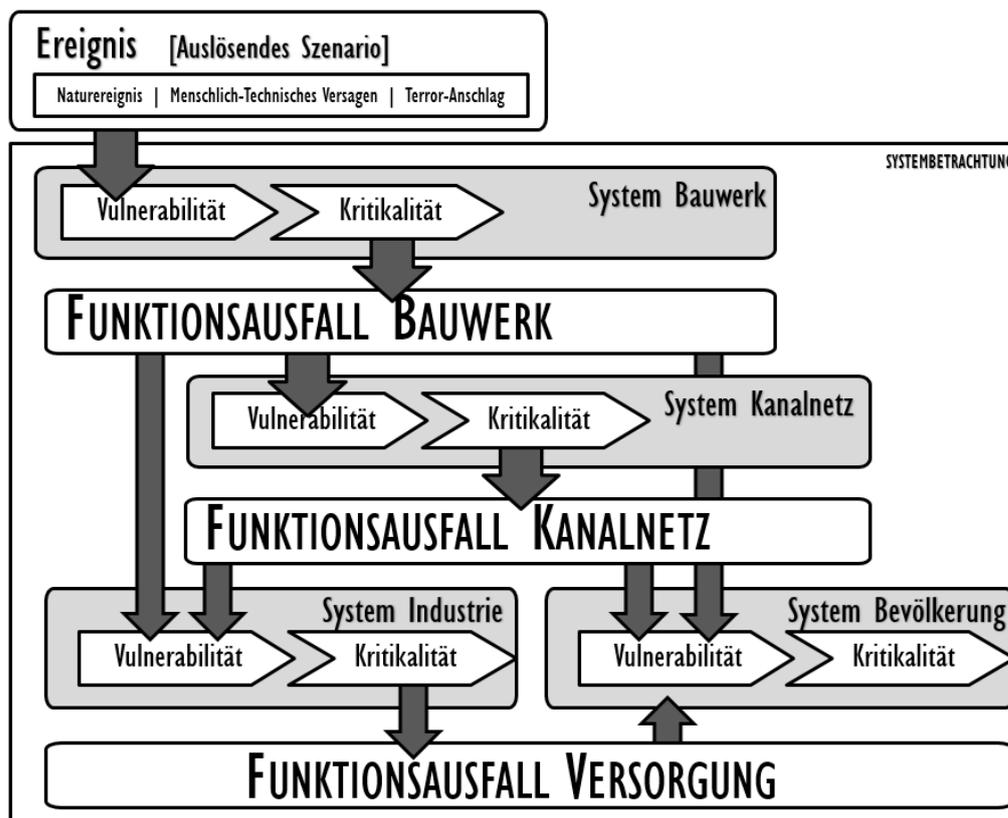


Bild 5: Ebenen-Systematik

³ Wehrle, R., Wiens, M., Schultmann, F., Akkermann, J. und Bödefeld, J. (2020): Ebenensystem zur Resilienzbewertung kritischer Verkehrsinfrastrukturen am Beispiel der Wasserstraßen. Bautechnik (97), S. 395-403. <https://doi.org/10.1002/bate.202000006>

4 Ebene Gesamtrisiko

4.1 Ablauf der Risiko-Bewertung

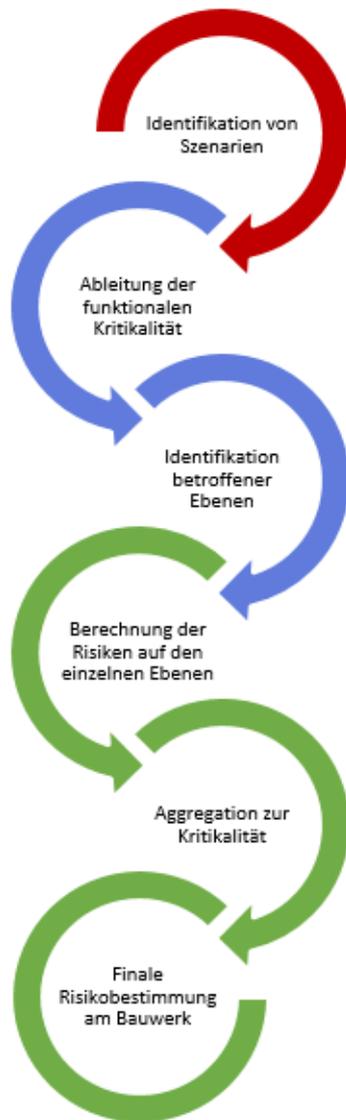


Bild 7: Ablauf Risikobewertung

Die Grundlage der Risiko-Bewertung bildet die zuvor skizzierte Ebenen-Systematik. Daraus abgeleitet erfolgt zunächst die Identifikation potentieller Szenarien für Objektkategorien und daraus abgeleitet für einzelne Bauwerke (siehe dazu bspw. (8) im Abschnitt „Risikobasierte Instandhaltungsstrategie“).

Anschließend werden die funktionalen Kritikalitäten abgeleitet, d.h. welche Funktionen ein Bauwerk im Normalzustand erfüllt und welche Funktionen daraus resultierend im gesamten Verkehrsnetz bei Versagen des Bauwerks eingeschränkt werden könnten (Bild 6).

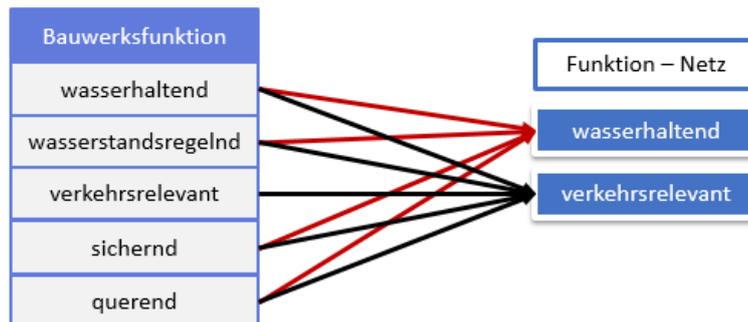


Bild 6: Funktionen der Bauwerke

Daraus werden die betroffenen Ebenen identifiziert. Ist die wasserhaltende Funktion potentiell gefährdet, so sind die Systeme Industrie und Bevölkerung betroffen. Ist hingegen nur die verkehrsrelevante Funktion bedroht, erfolgt eine Risikoermittlung nur für die Systemebene Industrie.

Die Risikoermittlung der einzelnen Ebenen wird in den nachfolgenden Abschnitten erläutert. Dabei zielt der Abschnitt „Ebene Bauwerk“ auf die Ermittlung der bauwerkstechnischen Vulnerabilität ab. Die Abschnitte „Ebene Industrie“ und „Ebene Bevölkerung“ erläutern die Bewertung der Konsequenzen im Schadensfall für die jeweiligen Systemebenen.

Die Aggregation zur Kritikalität nach Konsequenzen erfolgt anschließend über eine zweistufige Gewichtung, welche durch Einbezug der Vulnerabilität zur finalen Risikobestimmung am Bauwerk führt.

4.2 Risiko-Aggregation

Die beschriebene Aggregation erfolgt über j Szenarien je Bauwerk i und jeweils die Risikoebenen Industrie und Bevölkerung gemäß folgender Formel in Anlehnung an Hodges-Lehmann⁴⁵:

$$Risiko_i = \alpha * \sum_j u_{ij} p_{ij} + (1 - \alpha) * \max\{u_{ij}\} \tag{1}$$

Der linke Teil der Berechnung dient der Schutzziel-Priorisierung, d.h. es wird eine Gewichtung zwischen Industrie und Bevölkerung ermittelt, die auf der Szenario-spezifischen, bauwerksimmanenten Vulnerabilität des Bauwerks basiert mit der mit β gewichteten Bewertung der Risiken der Schutzziele Industrie bzw. Bevölkerung:

$$u_{i,j} = \beta * Risiko_{Industrie,i,j} + (1 - \beta) * Risiko_{Bevölkerung,i,j} \tag{2}$$

Und der gewichteten Vulnerabilität als Annäherung der Eintrittswahrscheinlichkeit:

$$p_{i,j} = \frac{Vulnerabilität_{i,j}}{V_{max} * j_{max,i}} \tag{3}$$

Der rechte Teil der Formel zur Risikoermittlung ergänzt die Bewertung um eine pessimistische Abschätzung, welche den Worst-Case und damit die maximale Risikobewertung betrachtet.

Die Werte zu Vulnerabilität und Risiko werden dabei im Wertebereich [0;5] ermittelt, woraus $V_{max} = 5$ resultiert. Die Werte für $\alpha, \beta \in [0; 1]$ können vom Entscheidungsträger festgelegt werden, wobei $\alpha = 1$ (risikoneutral, siehe Bild 3, S.4) der rein ausgewogenen und gleich-gewichteten Berücksichtigung der verschiedenen Schadensszenarien der Bauwerke entspricht, und $\alpha = 0$ (risikoavers) nur das Worst-Case Szenario in der Berechnung berücksichtigt. Der Wert von β kennzeichnet die Schutzziel-Priorisierung, wobei $\beta = 1$ (siehe Bild 3, S.4, Regler Logistik vs. Bevölkerung) nur das industrielle Risiko berücksichtigt und ein Wert von $\beta = 0$ alleinig das Risiko für die Bevölkerung betrachtet. Eine beispielhafte Berechnung für ein exemplarisches, fiktives Bauwerk, zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1: Risikoberechnung Rechenbeispiel

Szenario	Vulnerabilität	VuIn (p _{i,j})	Risiko Bev.	Risiko Ind.	u _{i,j}	u _{i,j} * p _{i,j}	max{u _j }	Risiko
S1	0.58	0.02	3.48	2.96	3.33	0.08	3.33	2.11
S2	4.18	0.17	2.20	3.47	2.57	0.43		
S3	3.39	0.14	1.41	0.92	1.27	0.17		
S4	4.33	0.17	3.32	2.29	3.02	0.52		
S5	2.92	0.12	3.43	2.17	3.06	0.36		
		alpha	0.69					
		beta	0.29					

⁴ Hodges, J. L., Lehmann, E. L. (1952): The Use of Previous Experience in Reaching Statistical Decision, Annals of Mathematics Studies (23), S. 396 – 407.

⁵ Turskis, Z., Zavadskas, E.K., Peldschus, F. (2009): Multi-criteria Optimization System for Decision Making in Construction Design and Management. Engineering Economics (61).

5 Ebene Bauwerke: Vulnerabilität

Nachfolgend wird der Übergang vom auslösenden Szenario hin zur Auswirkung auf die wasserbaulichen Infrastrukturelemente erläutert.

5.1 Bauwerke

Das Westdeutsche Kanalnetz (WDKN) ist eine künstlich angelegte Wasserstraße, überwiegend bestehend aus Kanalseitendämmen, Schleusen und Wehranlagen. Speisungspumpwerke regulieren den Wasserstand in Verbindung mit den Flüssen Lippe, Rhein und Ruhr. Düker, Durchlässe sowie eine Vielzahl von verschiedenen Brücken queren das Kanalnetz. Am Dortmund-Ems-Kanal (DEK) werden mit Kanalbrücken Flüsse und auch eine Straße überquert. Entlang des Kanalnetzes ermöglichen Sicherheitstoranlagen einen sicheren Kanalbetrieb. Es werden in dem Forschungsprojekt hiervon nur die systemrelevanten Bauwerke betrachtet, siehe [Tabelle 2](#). Bei der Bestandsaufnahme aller relevanten Bauwerkstypen wurden „Bauwerkssteckbriefe“ angelegt. Es wurden hierin Ausfallszenarien und mögliche Konsequenzen auf das Kanalnetz definiert. Als systemrelevant gelten Bauwerke, die für die Sicherheit des Netzes aufgrund ihrer Funktion, siehe [Tabelle 2](#), oder ihrer Ausfallkonsequenz relevant sind. Die Ausfallkonsequenzen beziehen sich auf ökonomische, soziale, ökologische und strukturelle Konsequenzen.⁶

Tabelle 2: systemrelevante Bauwerksarten des Westdeutschen Kanalnetzes (WDKN).

	Objektart-ID	Bauwerksarten	Funktionen				
			wasserhaltend	Wasserstandsregelnd	Verkehrsrelevant	sichernd	querend
1	111	Kanalseitendamm	x		x		
2	112	Kanalbrücken	x		x		
3	213	Wehranlagen	x	x	x		
4	221	Speisungspumpwerksanlagen		x	x		
5	232	Hochwassersperrtoranlagen	x			x	
6	233	Sicherheitstoranlagen	x			x	
7	311	Schiffsschleusenanlagen	x		x		
8	510	Brückenanlagen					x
9	535	Durchlassanlagen	x				x
10	537	Dükeranlagen	x				x

5.2 Sicherheitsszenarien

Je höher die Vulnerabilität der Bauwerke gegenüber den betrachteten Gefährdungen ist, desto wahrscheinlicher ist ein Ausfall. Im Zuge einer Auswertung historischer Schadensfälle und Sperrungen im Zeitraum von 2002 bis 2019 wurde die Relevanz der entsprechend für kritische Infrastrukturen (KRITIS) definierten Bedrohungslagen: TERRORISTISCHER ANGRIFF (KRIEGERISCHE HANDLUNG), NATUREREIGNISSE und MENSCHLICHES/TECHNISCHES VERSAGEN analysiert. Hierbei konnten Bauwerksausfälle aufgrund von Instandsetzungsarbeiten und/oder Erhaltungsschäden sowie Havarien, die zur Sicherheitsszenariengruppe MENSCHLICHES/TECHNISCHES VERSAGEN gezählt werden können, als maßgeblich bezogen auf die Funktion der Wasserbauwerke identifiziert werden. Der bautechnische Zustand der Bauwerke spielt demnach eine entscheidende Rolle für die Beurteilung des Ausfallrisikos.⁷

⁶ Schmidt-Bäumler, H. (2019), Maintenance Management Without Using Probabilistic Methods? Step 1: Decision Preparation, *PIANC Smart Rivers Conference*, Lyon

⁷ Akkermann, J.; Weiler, S. (2020) Vulnerabilität von Verkehrswasserbauwerken. *Bautechnik* (97), S. 377–386. <https://doi.org/10.1002/bate.202000009>

Für die Betrachtung der Vulnerabilität auf Bauwerksebene wurden für alle betrachteten Objektarten verschiedene Szenarien aus der Betrachtung der historischen Schadensfälle an Wasserstraßen und eines Experteninterviews definiert und bewertet. In **Tabelle 3** wird exemplarisch die prinzipielle Korrelation zwischen den auslösenden Sicherheitsszenarien und den Konstruktionselementen für das Ruhrwehr Duisburg dargestellt. Während die Sicherheits-Szenario-Klassen SzK für die Bedrohung menschliches/technisches Versagen als logisch gleichbedeutend zu den Schadensklassen SKB der Bauwerksinspektion angesehen werden können, wird für die anderen Sicherheitsszenarien zunächst nur eine generelle Relevanz festgestellt. In der weiteren Betrachtung wird sodann festgelegt, in welcher Qualität eine Schadensklasse SKB durch ein zusätzliches Ereignis ΔSzK ggf. beeinträchtigt wird. Hierbei wird die Effizienzanalyse Methode *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) verwendet.⁸ Die Methode ermöglicht mit der Berechnung der euklidischen Abstände zwischen zwei definierten Alternativen eine Bewertung der Szenarien⁹.

- nur Substanzschaden SK_B aus Bauwerksinspektion (= Szenario *Instandsetzungstau*)

$$SzK = SK_B ; 0 \leq SK \leq 4 \tag{4}$$

- und/oder Überlagerung Substanzschäden SK_B mit weiteren Szenarien ΔSzK_i

$$SzK = SK_B + \sum_{i=0}^n \Delta SzK_i \cdot W_i \quad 0 \leq SzK \leq 5 \tag{5}$$

mit: W_i Einfluss des Szenarios im betrachteten Bauteilbereich, $0 \leq W_i \leq 1$.

Die logische Verbindung der Szenarien wird hierfür in Fehlerbäumen definiert.¹⁰ Durch die Definition möglicher Korrelationen und die Zuweisung zu einzelnen Konstruktionselementen, die ggf. bereits geschädigt sind, ergeben sich nach Formel (5) angepasste Werte für die Sicherheits-Szenario-Klassen SzK, siehe **Bild 8**.

Tabelle 3: Korrelation Sicherheitsszenarien mit Konstruktionselementen beim Ruhrwehr Duisburg.

Objektgruppe		Auslösende Szenarien												
		menschliches / technisches (Bauwerks-) Versagen						Naturereignisse				terroristischer Angriff		
		Schäden nach MSV												
Wehre	Konstruktions-elemente	Konstruktion	Stahlbau	Ausrüstung	Korrosionsschutz	Sonstiges	Unfall/Havarie	Starkregen	Eis	Erdbeben	Bergsenkung	Sabotage	Cyberangriff	Kriegerische Angriffe
Ruhrwehr Duisburg	Pfeiler	1-4	o	1-4	o	1-4	1-4	o	x	x	x	x	o	x
	Wehrverschluss	o	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	x	x	x	x	x	o	x
	Wehrsteg	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	1-4	o	o	x	x	x	o	x
	Anlagentechnik	o	o	1-4	o	1-4	1-4	o	o	o	o	x	x	x

⁸ Peters, M. L. und Zelewski, S. (2007) TOPSIS als Technik zur Effizienzanalyse, WIST (WIST - Wirtschaftswissenschaftliches Studium) (1), Heft 1, S. 9-15.

⁹ Akkermann, J. und Weiler, S. (2020) Vulnerabilität von Verkehrswasserbauwerken. Bautechnik (97), S. 377–386. <https://doi.org/10.1002/bate.202000009>

¹⁰ Baker J., Schubert, M. und Faber, M. (2006) On the assessment of robustness, Structural Safety, S. 14.

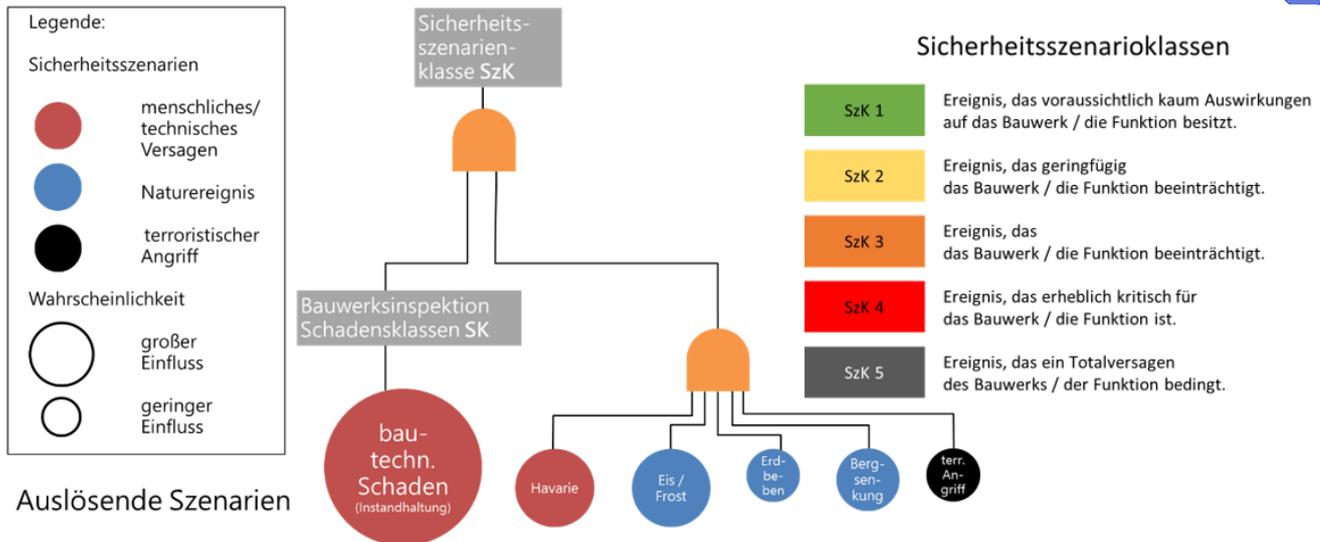


Bild 8: Ermittlung der Sicherheits-Szenario-Klassen SzK.

5.3 Robustheit

Die als Bauwerksrobustheit definierte, strukturelle Leistungsfähigkeit der Bauwerke, auf ein bestimmtes Schadensausmaß mehr oder weniger sensitiv zu reagieren, kann als entscheidender Faktor für die Beurteilung der bautechnischen Vulnerabilität angesehen werden ¹¹. Das anhand von Schleusenbauwerken entwickelte System der Robustheitsbewertung für Verkehrswasserbauwerke führt nach Optimierungen zu den in [Tabelle 4](#) dargestellten Robustheitskriterien, die als bauwerksimmanent, d. h. vom tatsächlichen Ausmaß von Schäden unabhängig angesehen werden können ¹².

Tabelle 4: Robustheitskriterien

Robustheitskriterium	Unterkriterium	Erläuterungsbeispiel
RK1 Auslastungsgrad	Konstruktionsnachweise Geotechnische Nachweise	Bauteilbemessungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) und GZG geotechnische Standsicherheitsnachweise
RK2 Lastumlagerung	Alternativer Lastpfad Redundanz auf Strukturebene	Statisch unbestimmtes System Lastumlagerung auf Baugrund
RK3 Verformungsfähigkeit	Duktilität, Rotationsfähigkeit Ankündigungsverhalten	Verringerung von Zwangsauswirkungen Lastumlagerungsmöglichkeit
RK4 Nutzungsintensität	Lasthöhe im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) Belastungszyklen	Ermüdungsfestigkeit Mechanische Abnutzung
RK5 Instandsetzungsaufwand	Nutzungsbeeinträchtigung Erreichbarkeit Maßnahme	Trockenlegung, Sperrung Bauwerk Baubehelfe, Abgrabungen

¹¹ Akkermann, J., Weiler, S., Bödefeld, J. und Meier, J., (2018) Die Bauwerksrobustheit im Kontext eines risikobasierten Erhaltungsmanagements, *Beton- und Stahlbetonbau*, S. 10, <https://doi.org/10.1002/best.201800057>

¹² Akkermann, J. und Suhm, M., (2021) FuE-Abschlussbericht - Robustheit von Verkehrswasserbauwerken, (nicht veröffentlicht), Karlsruhe

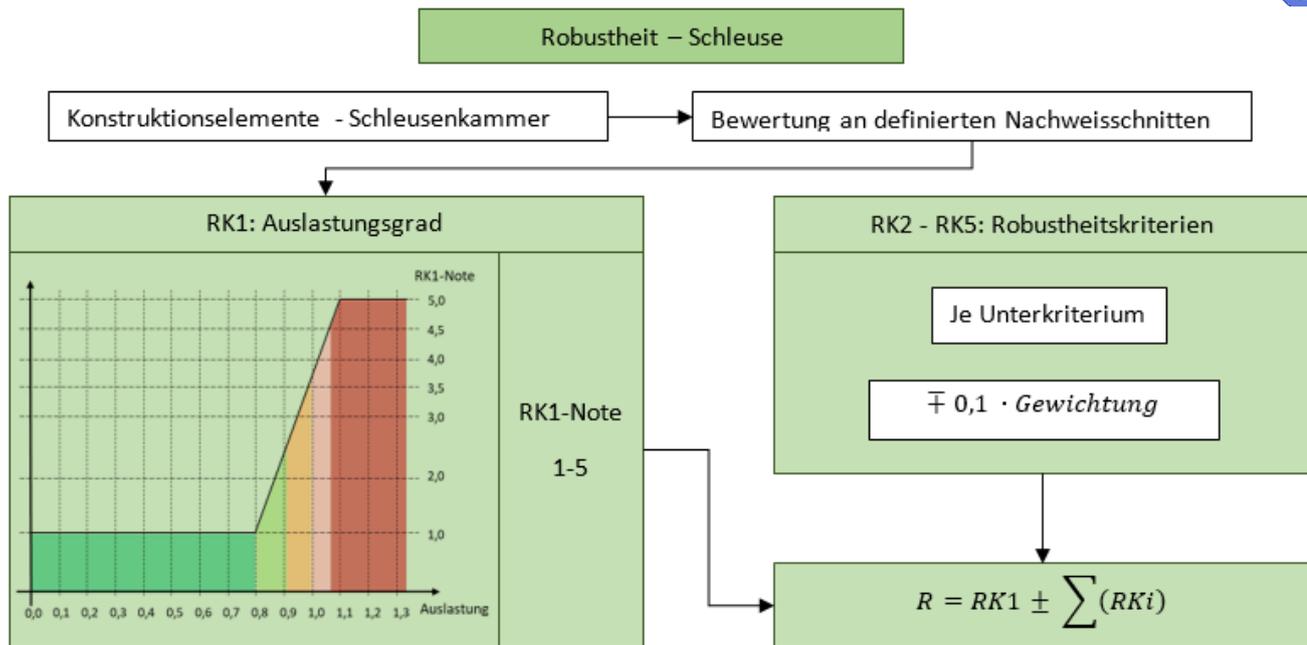


Bild 9: Ablauf der Robustheitsbewertung

Bild 9 zeigt das Vorgehen zur Ermittlung der Robustheit. Die einzelnen Bauwerke werden in Konstruktionselemente untergliedert. Die Bewertung erfolgt an definierten Nachweisschnitten, es werden die entsprechenden bautechnischen Nachweise (z.B. zur Tragfähigkeit) geführt, mit den Auslastungsgraden wird die Note RK1 ermittelt. Diese Note wird mit den weiteren Robustheitskriterien RK2 – RK5 in den jeweiligen Unterkriterien auf- bzw. abgewertet.¹³ Als maßgebende Robustheitsnote je Konstruktionselement wird die schlechteste Note herangezogen.

5.4 Vulnerabilität

Vulnerabilität wird oftmals als Antonym von Robustheit angesehen. Da im vorliegenden System die Robustheit als systemimmanent definiert wurde, die Vulnerabilität aber auch von der Gefährdungsart abhängt, kann die Vulnerabilität von Bauwerken anhand der Verbindung aus deren Robustheit mit den Sicherheits-Szenario-Klassen beurteilt werden¹⁴.

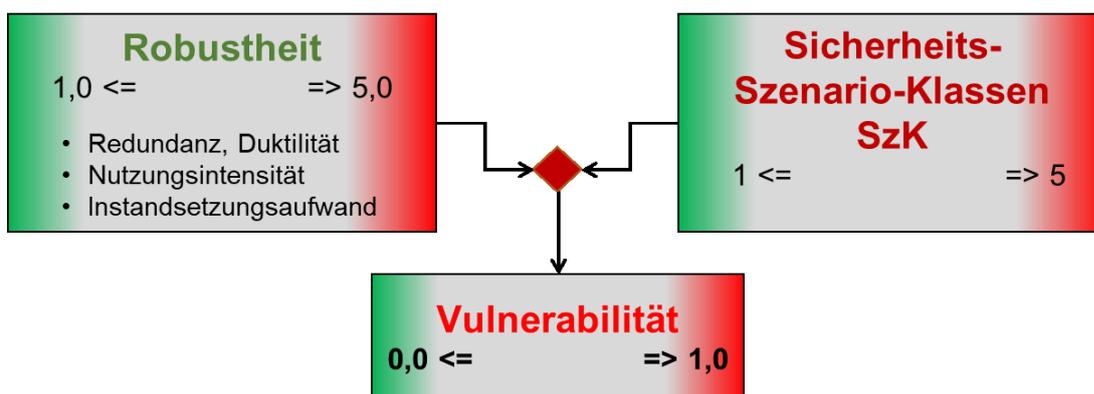


Bild 10: Vulnerabilität als Kombination aus Robustheit und Sicherheits-Szenario-Klassen.

Zur Ermittlung der Vulnerabilität werden mit TOPSIS die Robustheitswerte (Kriterium 1) der Konstruktionselemente mit den SzK-Werten (Kriterium 2) für dieses Konstruktionselement kombiniert. Die

¹³ Akkermann, J. und Suhm, M., (2021) Abschlussbericht - Robustheit von Verkehrswasserbauwerken, (nicht veröffentlicht), Karlsruhe

¹⁴ Akkermann, J. und Weiler, S. (2020) Vulnerabilität von Verkehrswasserbauwerken. Bautechnik 97, H. 6, S. 377–386.

<https://doi.org/10.1002/bate.202000009>

zwei Kriterien werden mit einem paarweisen Vergleich gewichtet, hierbei werden die SzK-Werte als bedeutender eingestuft. In dem weiteren Verfahren wird für jedes Konstruktionselement das euklidische Abstandsmaß zwischen der Best-Case und Worst-Case Alternative bestimmt, diese sind mit der Definition der höchsten bzw. niedrigsten Vulnerabilität definiert. Für jedes Konstruktionselement eines Objektes wird diese Vulnerabilität bestimmt. Die Gesamtvulnerabilität ergibt sich aus der Betrachtung der höchsten Vulnerabilität aller Konstruktionselemente des Objektes, siehe Bild 11.

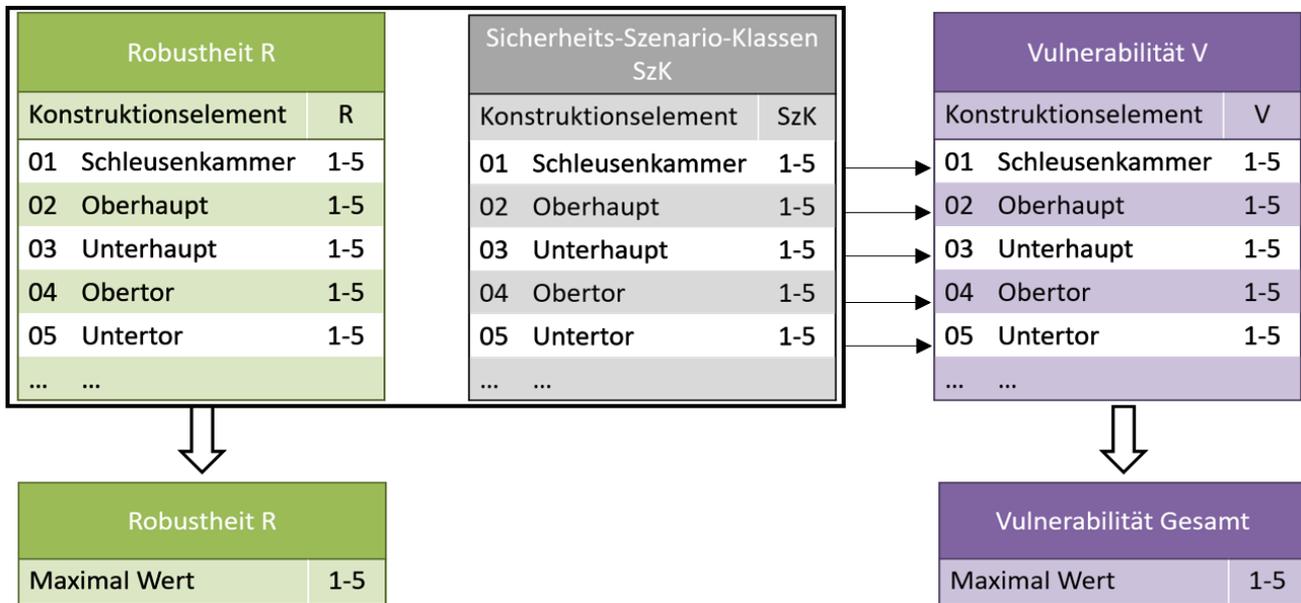


Bild 11: Berechnungsablauf der Vulnerabilität.

Die ermittelten Vulnerabilitätswerte zeigen die qualitativen Versagenswahrscheinlichkeiten je betrachtetem Sicherheitsszenario. Die maximal ermittelten Vulnerabilitätskennwerte von beispielhaften Schiffsschleusenanlagen am WDKN sind in Bild 12 dargestellt. Die beiden Schleusenkammern der Schiffsschleusenanlage Gelsenkirchen haben jeweils die höchste Vulnerabilität. Dies liegt an der niedrigen Robustheit der Obertore, sie sind beide statisch (rechnerisch) überlastet. Auch die Bausubstanz beider Tore ist in einem schlechten Zustand. In Kombination mit dem Szenario einer Havarie an diesen Toren ergibt sich die hohe Sicherheits-Szenario-Klasse. Beide Kennwerte verbunden ergeben somit die höchste Vulnerabilität für beide Toranlagen.

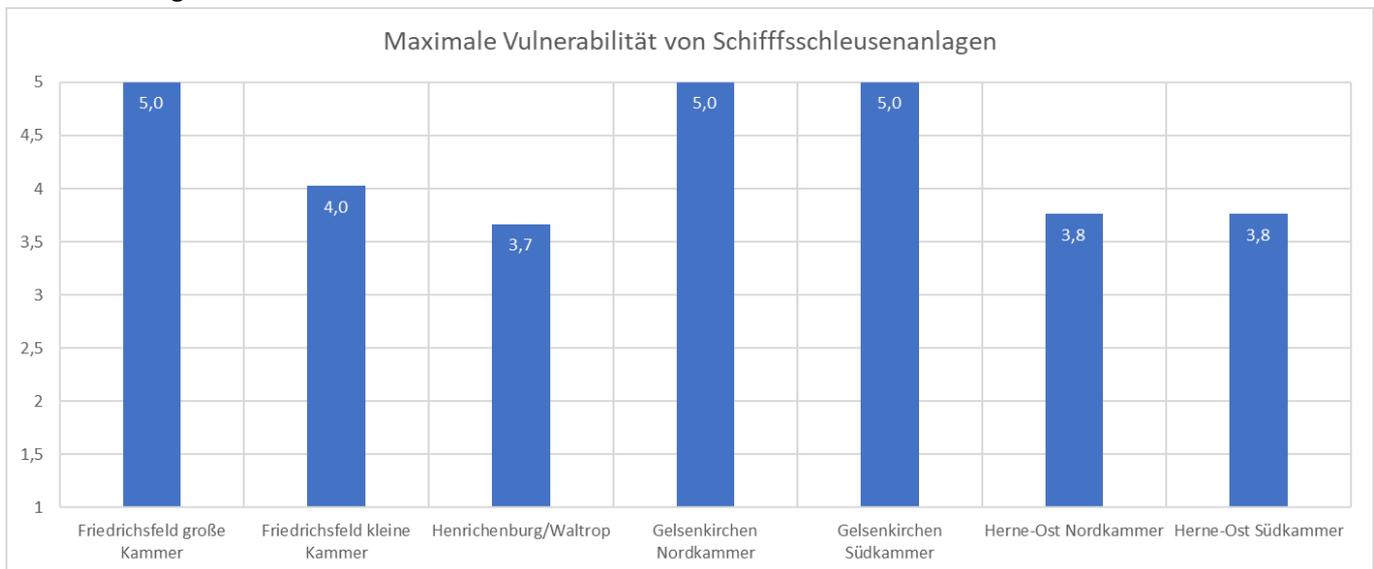


Bild 12: Vulnerabilität von Schiffsschleusenanlagen.

Ein Ausfall von Kanalseitendämmen kann die Bevölkerung und die Industrie direkt betreffen. Es wurden hierzu einzelne Kanalabschnitte untersucht; auch hier gibt es Abschnitte, in denen die statische (rechnerische) Standsicherheit nicht nachgewiesen werden kann. Dies hat eine niedrige Robustheit dieser Abschnitte zur Folge. Die Kombination mit den Sicherheitsszenarien „Windwurf“ (Ausreißen des Dammbewuchses) oder „Versagen eines Bauwerks im Kanalseitendamm“ bedingt eine hohe Vulnerabilität.

Diese berechneten Kennwerte ermöglichen neue Bewertungsmethoden im Erhaltungsmanagement. Zum einen wird mit diesen Kennwerten auf Bauwerksebene bereits die Möglichkeit geschaffen, vulnerable Bereiche zu erkennen und so gezielte Maßnahmen ergreifen zu können – beispielsweise bauliche Instandsetzungen, um diese Vulnerabilität zu verringern. Zum anderen wird mit der Weitergabe dieser Kennwerte in das Ebenen-System die Möglichkeit geschaffen, um das Gesamtrisiko eines Bauwerksausfalls auf die Bevölkerung und/oder die Industrie zu ermitteln.

6 Ebene Industrie

Die Kritikalität der Wasserbauwerke trifft auf die Vulnerabilität der Industrie: Eine Vielzahl von Unternehmensstandorten sind auf das Kanalnetz für ihre Ver- und Entsorgung von Rohstoffen und Gütern angewiesen. Die Vulnerabilität der Industrien ist unter anderem davon abhängig, ob der Standort über eine andere Route per Schiff oder Verkehrsverlagerung erreichbar wäre und ob Sicherheitsbestände existieren.

Die Kritikalität der Ebene Industrie drückt sich in wirtschaftlichen Verlusten durch beispielsweise erhöhte Transportkosten oder Produktionsausfällen aus. Im Falle von versorgungsrelevanten Gütern könnte auch die Versorgungssicherheit der Bevölkerung beeinträchtigt sein. Dies ist im Falle des Westdeutschen Kanalnetzes aber nicht der Fall, weil die Rohöl-/Mineralölversorgung über Pipelines stattfindet, siehe Bild 14, und die anderen versorgungsrelevanten Güter über die Straße transportiert werden¹⁵.



Bild 13: Lage von Pipelines und Raffinerien für Mineralöl (mwv.de)

6.1 Das Westdeutsche Kanalnetz als pulsierende Verkehrsader

Das Westdeutsche Kanalnetz ermöglicht es, Schiffe von Berlin bis zum Schwarzen Meer zu fahren. Heutige Güterverkehre mit dem Binnenschiff zu und vom Westdeutschen Kanalnetz fließen über den Unterrhein zu den niederländischen Seehäfen. Das Kanalnetz wurde zu Beginn des 20. Jahrhunderts fortlaufend erweitert, um das Wachstum des Ruhrgebiets und den daraus resultierenden Material- und Produktabsatzbedarf bewältigen zu können. Neben dem Rhein ist es der am zweitstärksten befahrene Binnenwasserweg mit einem jährlichen Güterverkehrsaufkommen von mehr als 30 Millionen Tonnen – genug, um ein bis zwei Millionen LKWs zu befüllen.

Das Wachstum des Ruhrgebiets und den daraus resultierenden Material- und Produktabsatzbedarf bewältigen zu können. Neben dem Rhein ist es der am zweitstärksten befahrene Binnenwasserweg mit einem jährlichen Güterverkehrsaufkommen von mehr als 30 Millionen Tonnen – genug, um ein bis zwei Millionen LKWs zu befüllen.



Bild 14: Tankmotorschiff an der Schleuse Duisburg-Meiderich, daneben das Ruhrwehr (wikimedia).

Das Binnenschiff selbst ist bezogen auf die Transportintensität der nachhaltigste Verkehrsträger mit den geringsten Externalitäten wie Lärm und Personenschäden¹⁶. In Anbetracht dessen, dass es EU-weite Förderungen für die eher kapitalärmere Schifffahrtsbranche gibt, um die meist Jahrzehnte alten Motoren zu erneuern oder gar zu elektrifizieren, ist für den Träger ein weiteres Nachhaltigkeitspotential gegeben. Daher

¹⁵ Einschätzung von assoziierten Partnern, Befragung von Stakeholdern (u.a. Raffinerien und BMWi Referat IIA5 - Ölmärkte, Krisenvorsorge), siehe auch Kapitel 7.1

¹⁶ European Court of Auditors, 2015. *Inland waterway transport in Europe: no significant improvements in modal share and navigability conditions since 2001*. [online] Luxembourg: Publications Office of the European Union. Available at: <<http://dx.publications.europa.eu/10.2865/824058>> [Accessed 17 Oct. 2019]

ist es nicht verwunderlich, dass dem Binnenschiff neben der Schiene eine tragende Rolle zur Erreichung der Klimaziele im Verkehrssektor zukommt und dafür in den nächsten Jahren verstärkt in die Wasserweginfrastruktur investiert wird. Diese Investitionen, wie sie im Masterplan Binnenschifffahrt dargestellt wurden, kommen gut voran¹⁷ und sind nötig, um die Schiffbarkeit des Westdeutschen Kanalnetzes zu gewährleisten. Denn häufig kommt es hier aufgrund von Schäden oder Instandhaltungsmaßnahmen an der Infrastruktur zur Unterbrechung der Verkehre wie in Kapitel 6.3. beschrieben.

6.2 Rolle der Binnenschifffahrt für die Industrie im Ruhrgebiet

Vor allem die Bau-, Chemie- und Energieindustrie sind aufgrund dessen Massenleistungsfähigkeit bei geringen Kosten pro Tonne im Besonderen auf die Versorgung mit dem Binnenschiff angewiesen. Auch ist das Binnenschiff für Massengüter und Schwergut sehr geeignet; zu ersterem gehören 25 Tonnen schwere Stahlbrammen und zu letzterem hunderte Tonnen schwere Maschinen. Beides wird im Ruhrgebiet in signifikanten Mengen produziert. Bild 15 zeigt die größten Binnenhäfen am Kanalnetz.

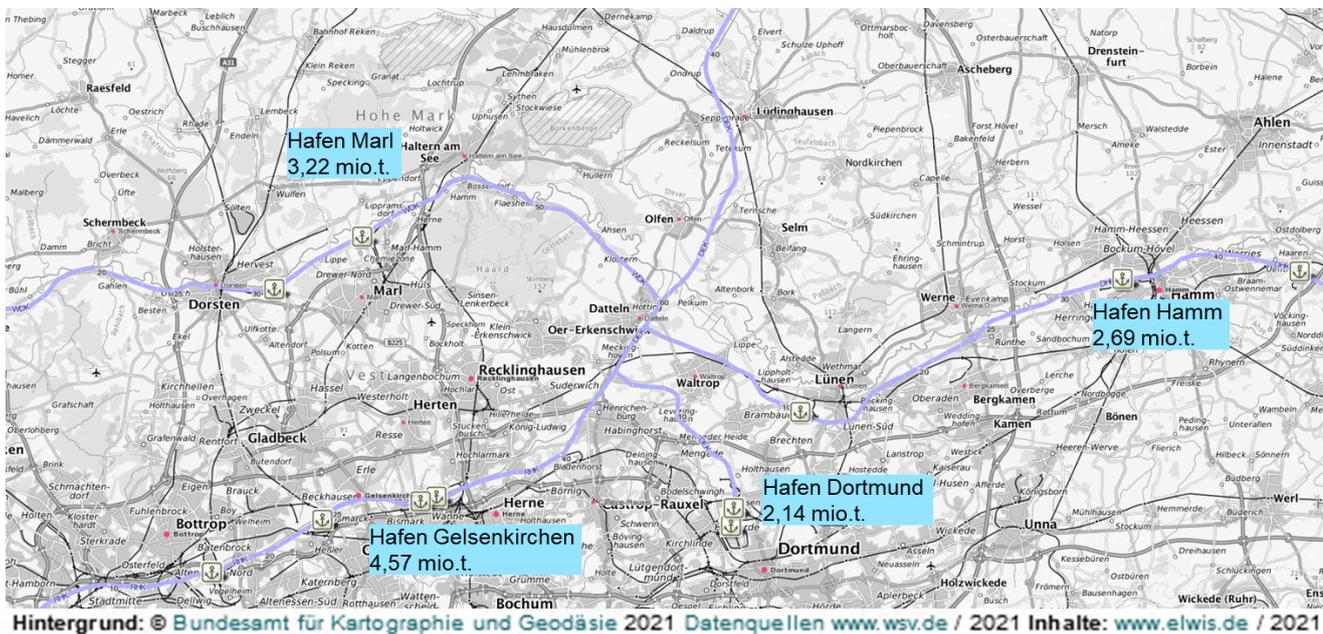


Bild 15: Darstellung des WDKN mit den größten Häfen und ihrem Güterumschlag mit dem Binnenschiff (2019).

Güterverkehre über das Binnenschiff sind nur bedingt und unter hohen Kosten kurzfristig auf andere Verkehrsträger verlagerungsfähig, und so sind die genannten Industrien von der Verfügbarkeit der Wasserwege inklusive ihrer Transportkapazitäten abhängig. Ein prominentes Beispiel für die Kosten, die bei Nicht-Verfügbarkeit dieser Transportkapazitäten anfallen können, hatte die BASF AG in Ludwigshafen beziffert – dort schlug das Rheinniedrigwasser 2018 mit einem Schaden von 245 Millionen Euro in die Bilanz.¹⁸ In einem Kanalnetz, welches mittels Schleusen stufengeführt wird, ist Niedrigwasser zwar ein geringfügiges Problem, dafür führen Instandhaltungsmaßnahmen, Unfälle oder Naturereignisse zum Ausfall: Eine zweiwöchige Nichtbefahrbarkeit des Datteln-Hamm-Kanals 2012 wegen Eisbildung drückte die Bilanz des Chemiekonzerns Evonik in Marl.

Die Projektpartner in PREVIEW haben Auswirkungen von Versorgungsunterbrechungen, die auf die Wasserwegverkehrsinfrastruktur zurückführbar ist, untersucht.

¹⁷ Bundesverkehrsministerium. *Masterplan Binnenschifffahrt, 2019*. ebs. *Statusbericht zum Masterplan, 2021*. Available at: <<https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/WS/masterplan-binnenschifffahrt.html>> [Accessed 01 Oct. 2021]

¹⁸ Reuters. *BASF says it has prepared for any repeat of low Rhine water levels* - Reuters. [online] Available at: <www.reuters.com/article/us-basf-results-rhine/basf-says-it-has-prepared-for-any-repeat-of-low-rhine-water-levels-idUSKCN1S90LZ> [Accessed 4 Aug. 2019]

6.3 Analyse von Versorgungsunterbrechungen im Westdeutschen Kanalnetz

Eine Verfügbarkeitsanalyse des Westdeutschen Kanalnetzes auf Basis historischer Daten, die sich in den archivierten Nachrichten für die Binnenschiffer (NfB) finden, wurde durchgeführt.¹⁹ Diese Untersuchung bot einen ersten Indikator für die Resilienz des Transportnetzwerkes im Westdeutschen Kanalsystem, da sich hieraus neben der Häufigkeit der Unterbrechung („Mean Time Between Failure“) auch die Dauer der Wiederherstellung der Schiffbarkeit („Mean Time To Repair“) ableiten lässt. Das Ergebnis: Die Bauwerke waren über 95% der Zeit verfügbar, also nicht von Sperrungen betroffen. Unter Berücksichtigung der Bauwerksposition im Netzwerk erhöht sich die Verfügbarkeit der Wasserwege, um beliebige Zielorte zu erreichen, zusätzlich: Durch die Parallelität des Datteln-Hamm-Kanals und des Rhein-Herne-Kanals kann zum Beispiel ein Zielort hinter einer Versorgungsunterbrechung, wie etwa einer Schleusensperrung auf einem der Kanäle immer noch über den Dortmund-Ems-Kanal erreicht werden. Der Fahrweg wäre dann allerdings erheblich länger.

Die Mehrkosten durch das Umleiten von Verkehren bis hin zur Verlagerung von Verkehren auf LKWs zur Erreichung der Häfen im Westdeutschen Kanalnetz wurde mit einem Kostenmodell und einem Routingmodell basierend auf dem statistisch erfassten Güterverkehrsaufkommen und Kostensätzen sowie dem „Traveling Purchaser Problem“-Ansatz modelliert.²⁰ Das Ergebnis: Absolut fallen im Westdeutschen Kanalnetz tägliche Kosten im Bereich von unter 100.000€ an. Die relativen Mehrkosten im Gesamtsystem bei Unterbrechung der Schiffbarkeit einzelner Kanalabschnitte reicht von wenigen Prozent bis hin zu 30% Mehrkosten im Falle einer kompletten Sperrung der Eingangsschleusen des Rheins. Mehrkosten für die Belieferung einzelner Häfen im Falle einer kompletten Verkehrsverlagerung auf die Straße sind etwa 300% höher. Die Vulnerabilität von Industriestandorten gegenüber von Versorgungsunterbrechungen wird über den Netzwerkcharakter maßgeblich beeinflusst. Dass die Schiffbarkeit eines Kanalabschnitts komplett nicht gegeben ist, kommt aber selten vor. Häufiger sind Abschnitte nur teilweise befahrbar, wenn beispielsweise nur eine von zwei Schleusenammern in Betrieb ist. Dadurch kann es zu Verzögerungen kommen, wenn Schiffe eine Warteschlange bilden, weil die Verkehrsflusskapazität verringert wurde; diese zeitlichen Mehrkosten sind für das Gesamtsystem jedoch marginal. [Bild 15](#) skizziert die Kanäle und Schleusen, zwischen denen sich Häfen als Umschlagpunkt befinden.

¹⁹ Johannes Gast und Rebecca Wehrle. Application of the Concept of Supply Chain Reliability for an Availability Assessment of Inland Waterway Systems. September 2019. <https://doi.org/10.17863/CAM.45875>

²⁰ Tom Binsfeld. „Bi-Objective Green Multimodal Transportation Model - a Case Study from the West-German Canal System.“ Research Project of Centrale Supélec, 2020. [Available on request]

7 Ebene Bevölkerung

7.1 Einleitung zum bevölkerungstechnischen Risiko

Die Ebene der Bevölkerung untersucht die Risiken für die Bevölkerung, die sich aus einem Bauwerksschaden ergeben können. Diese Ebene wird daher nur relevant, wenn an einem Bauwerk ein relevanter Schaden durch ein auslösendes Szenario herbeigeführt wird und dieser Schaden zu einer für die Bevölkerung relevanten Gefährdung führt, was aus einer Störung der wasserhaltenden Funktion resultiert.

Bei der Betrachtung der Relevanz einer Gefährdung wurden die grundsätzlich vorhandenen Gefahrenabwehrkapazitäten berücksichtigt. Aufgrund der gesetzlichen Regelungen in den Bundesländern stehen in Deutschland flächendeckend leistungsfähige Feuerwehren sowie Rettungsdienste sehr kurzfristig zur Verfügung (vgl. Bild 17).

Gefährdungen in Folge eines Bauwerksschadens wurden in der Ebene Bevölkerung nicht berücksichtigt, sofern die standardmäßig vorhandenen Kapazitäten der örtlichen Gefahrenabwehr für die Einsatzbewältigung ausreichen.

Um die identifizierten potenziellen Gefährdungen hinsichtlich ihrer Relevanz zu bewerten, wurden Literaturstudien, Expertengespräche, Workshops und einfache Methoden der Risikoanalyse²¹ angewandt. Gemäß dieser Untersuchung haben viele Gefährdungen in Folge eines Bauwerksschadens keine Relevanz für die Ebene

Bevölkerung. Das bedeutet, es besteht keine unmittelbare Gefahr für die körperliche Unversehrtheit von Mensch oder Tier bzw. für Sachwerte sowie die Umwelt, die einen sofortigen Einsatz erforderlich macht.

Als besonders kritische Bauwerke für die Bundeswasserstraßen wurden beispielsweise die zahlreichen Schleusen in den Schifffahrtskanälen identifiziert. Tritt an einer Schleuse ein Schaden ein, der die Funktionstüchtigkeit der Schleuse beeinträchtigt und Schleusungsvorgänge verzögert oder gar verhindert, hat dies enorme Auswirkungen für die Ebene Industrie. Für die Bevölkerung besteht jedoch zunächst keine Auswirkung - aufgrund der langen Transportzeiten werden mittels der Binnenschifffahrt keine Güter wie kurzfristig benötigte Medizingüter, Lebensmittel oder Vergleichbares transportiert. Zwar sind Beeinträchtigungen der Bevölkerung mittelfristig möglich, z.B. durch eine Verknappung an Massengütern (z.B. Kraftstoff), dies führt allerdings zu keinem Einsatz der Gefahrenabwehr.

Unter diesen Voraussetzungen haben sich für die Ebene der Bevölkerung primär zwei Bauwerkstypen als relevant herausgestellt. Dies sind **Kanalseitendämme** sowie **Düker- bzw. Durchlassanlagen**. Ferner wurden Schiffsschleusenanlagen und Kanalbrücken untersucht.

7.2 Für diese Ebene relevante Bauwerke

Kanalseitendämme sind überall dort anzutreffen, wo sich der Wasserspiegel der Kanalhaltung oberhalb des Geländeneiveaus der Umgebung befindet. Damit das Wasser in der Kanalhaltung bleibt und nicht einfach herausfließt, gibt es die Kanalseitendämme. Das bedeutet aber auch, dass das Wasser bei einer schweren Beschädigung des Damms mit teilweise oder vollständigem Versagen nicht mehr gehalten werden kann. Eine

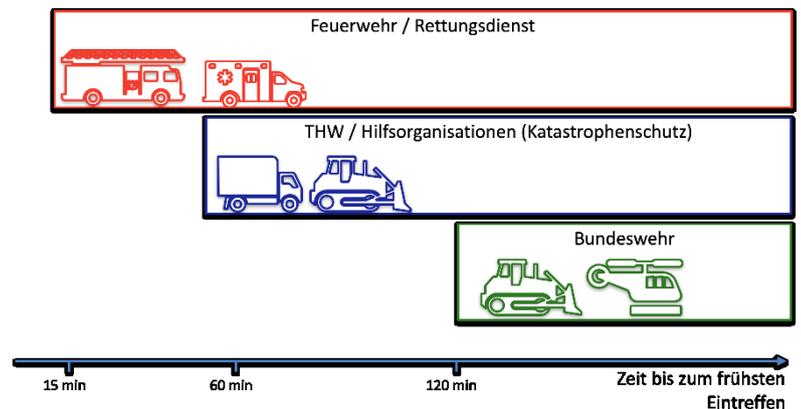


Bild 16: Die zeitliche Verfügbarkeit der Einheiten im Bevölkerungsschutz.

²¹ Hüttelmaier, T.; Käser, B.; Akkermann, J.; Weiler, S. (2019): Mehrdimensionale Risiken und Gefährdungen durch Instandsetzungsstau bei Verkehrsinfrastrukturen. Resilienz kritischer Verkehrsinfrastrukturen am Beispiel der Wasserstraßen (PREVIEW). In: Bevölkerungsschutz (4), S. 28-33. Hg. von Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, Bonn 2019.

Flutwelle mit anschließender Überflutung könnte die Folge eines solchen Kanalseitendammsbruchs sein, wie das Unglück von Katzwang am Main-Donau-Kanal im Jahr 1979 unter Beweis stellte²².

Düker sind Rohrleitungen, die zur Querung der Kanalhaltung genutzt werden. Mit ihrer Hilfe werden Kabel und Leitungen (Strom, Internet, Telefon ...) oder gasförmige sowie flüssige Medien von einer auf die andere Seite des Kanals unter der Kanalhaltung hindurchgeführt. Durchlässe haben ebenfalls eine querende Funktion, besitzen jedoch einen offenen Querschnitt und stehen somit nicht unter Druck. Eine relevante Gefährdung für die Bevölkerung kann in zwei Fällen entstehen:

- (1) Ein Düker führt einen Gefahrstoff, z.B. Rohöl, Diesel oder chemische Erzeugnisse, die in Folge eines Bauwerksschadens freigesetzt werden. Vor allem in Wohngebieten kann dies ernsthafte Konsequenzen nach sich ziehen. Doch auch in unbewohnten Gebieten sind die Auswirkungen, allen voran eine mögliche Umweltverschmutzung, nicht zu unterschätzen.
- (2) Ein Düker oder Durchlass versagt und in dieser Folge ist nur noch ein verringerter oder gar kein Durchfluss mehr möglich. Gerade bei Dükern/Durchlässen, die Fließgewässer oder Regenwasser führen, kann diese reduzierte Kapazität zu einem Rückstau und Überflutungen führen. Dies tritt vor allem im Zusammenhang mit Starkregenereignissen auf.

Im Fall von Schiffsschleusenanlagen besteht eine für die Ebene Bevölkerung relevantes Ereignis dann, wenn eine Schleuse so beschädigt wird (z.B. durch einen Schiffsanprall), dass das Wasser des Oberwassers durch die Schleuse nicht mehr gehalten werden kann und sich ins Unterwasser entleert. Bei Kanalbrücken kann eine Gefährdung für die Bevölkerung dann entstehen, wenn das Wasser der Kanalhaltung durch eine Schädigung unkontrolliert in den durch die Brücke gequerten Bereich ausfließt und sich von dort ausbreitet. Dies geschah beispielsweise an der Kanalbrücke Lippe des Dortmund-Ems-Kanals in Olfen²³.

7.3 Kanalseitendämme

In PREVIEW wurde der Fokus auf die Risikoanalyse des Bruchs eines Kanalseitendamms als Schadensszenario mit der größten Auswirkung für die Bevölkerung gelegt. Zunächst hat eine provisorische Risikoabschätzung stattgefunden. Hierfür sind die in der Wasserstraßendatenbank der Wasserstraßenschifffahrtsverwaltung (WADABA) vorhandenen Daten zu den Dammabschnitten im Westdeutschen Kanalnetz verwendet worden.

Für ein mögliches Schadensausmaß dienten die Dammhöhe sowie die Objektkategorien im Umfeld als Indikatoren. Für die Eintrittswahrscheinlichkeit wurde die Erfüllung der Standsicherheitskriterien für Dämme²⁴ sowie das Vorhandensein von Bauwerken im Damm als Indikator verwendet. Anhand der Bewertung wurden mehrere Dammabschnitte ausgewählt, die exemplarisch einer detaillierten Untersuchung zugeführt wurden. Anders als bei der provisorischen Risikoabschätzung wurden für die detaillierte Risikoanalyse die Risikofaktoren Gefährdung, Exposition und Vulnerabilität verwendet.

Um die Intensität der resultierenden Überflutung und die sich daraus ergebende Gefährdung beurteilen zu können, wurde für jedes der Fallbeispiele ein Dammsbruch simuliert. Mit Hilfe von hydrodynamisch-numerischen 2D-Modellierungen konnten der Bruch sowie die Überflutung ermittelt werden. Als relevante Parameter für die Überflutung wurden zuvor die Überflutungsfläche, die Überflutungstiefe sowie die Fließgeschwindigkeiten des Wassers bestimmt. In [Bild 17](#) ist das auf eine Karte übertragene Simulationsergebnis der Überflutung für eines der Fallbeispiele dargestellt.

²² Odenwald, B. (2009): Vom Schadensfall am ESK zum MSD 2010. In: BAW (Hg.): Aktueller Stand und Herausforderungen der Geotechnik im Verkehrswasserbau. Bundesanstalt für Wasserbau. Karlsruhe (BAW-Kolloquium), S. 27-38.

²³ Herten, M.; Dornecker, E. (2009): Vom DEK zur Lippe - Wasser auf Abwegen. In: BAW (Hg.) Aktueller Stand und Herausforderungen der Geotechnik im Verkehrswasserbau. Bundesanstalt für Wasserbau. Karlsruhe (BAW-Kolloquium), S. 39-46.

²⁴ BAW (Hg.) (2011): BAWMerkblatt: Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD). Bundesanstalt für Wasserbau. Karlsruhe.

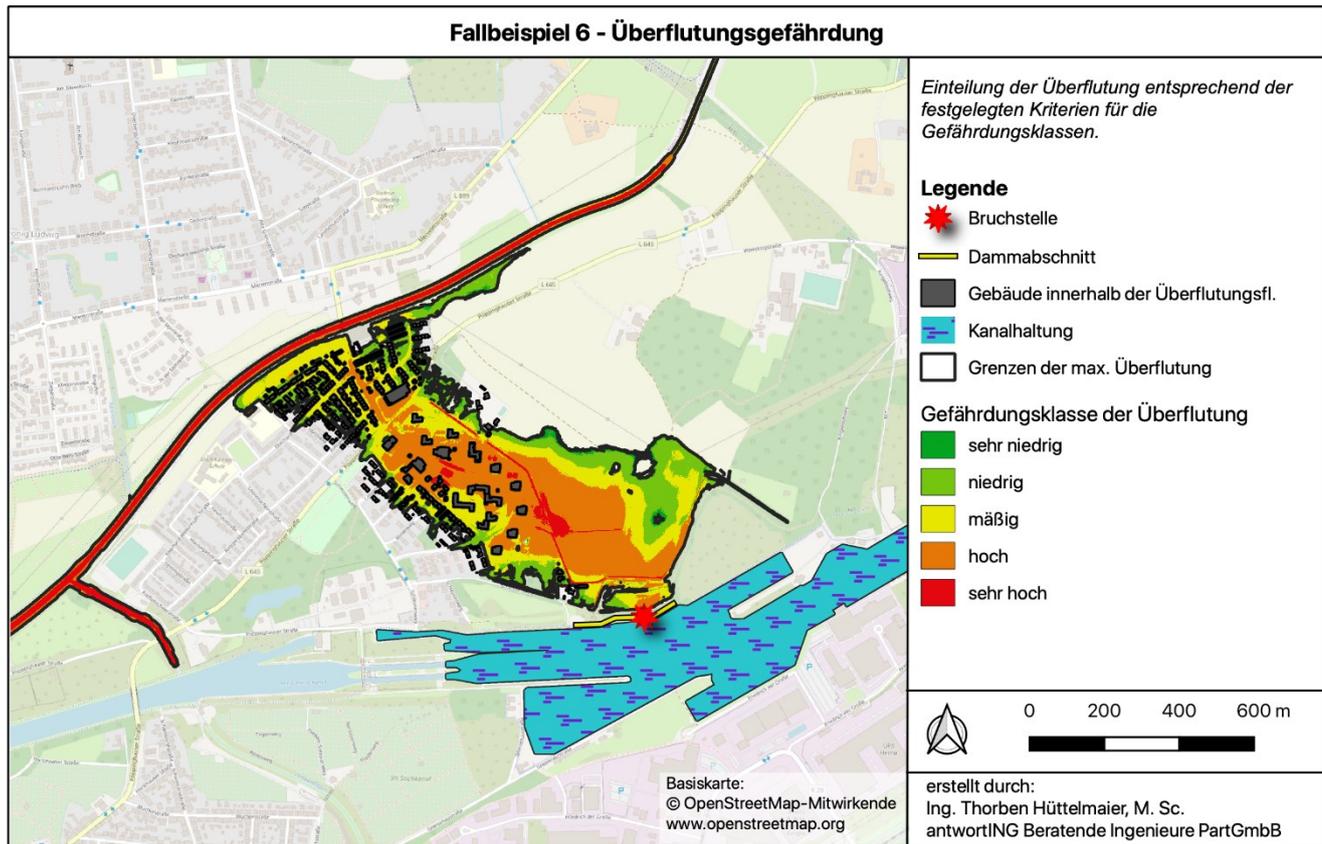


Bild 17: Darstellung der Überflutung und Bewertung der Gefährdungsklasse auf Basis festgelegter Kriterien für eines der Fallbeispiele.

Die Modellierungsergebnisse und Informationen zu maximalen Überflutungstiefen sowie dem maximalen Produkt aus Überflutungstiefe und Fließgeschwindigkeit (DV-Produkt) wurden genutzt, um die Gefährdung der Überflutung zu bewerten (vgl. Bild 17). Im Rahmen der Simulation zeigte sich, dass im Umfeld des Bruchs befindliche Fließgewässer häufig den bevorzugten Überflutungsweg darstellen. Das reale Ereignis an der Kanalbrücke in Olfen im Jahr 2005 mit Abfluss der freigesetzten Wassermassen über die Lippe stellte dies anschaulich unter Beweis²⁵.

Mit Hilfe von räumlichen Analysen wurden sowohl die in der Überflutungsfläche befindlichen Gebäude als auch die Anzahl der im Bereich der Überflutungsfläche lebenden Personen identifiziert und deren Exposition sowie Vulnerabilität untersucht²⁶.

Das Produkt aus den drei Risikofaktoren Gefährdung, Exposition und Vulnerabilität ergibt das Risiko. Für eine einheitliche Darstellung wurde dieses Risiko im Anschluss einer der fünf im PREVIEW-GIS dargestellten Risikoklassen mit Kennwert 1 (sehr gering) bis 5 (sehr hoch) zugeordnet.

7.4 Düker, Durchlässe, Kanalbrücken und Schiffsschleusen

Der Prozess der geschilderten Risikoanalyse für die Kanalseitendämme, insbesondere der hydraulischen Modellierung der Überflutung mit der Datenaufbereitung und Operationalisierung ist sehr aufwendig und ressourcenintensiv. Aus diesem Grund wurde für die Analyse der Düker, Durchlässe, Kanalbrücke und Schiffsschleusen ein weniger aufwändiges Verfahren angewendet. Statt den Stoffaustritt ressourcenintensiv zu modellieren, erfolgte für Düker, Durchlässe und Kanalbrücken eine Umkreisanalyse mit einem Radius von

²⁵ Herten, M.; Dornecker, E. (2009): Vom DEK zur Lippe - Wasser auf Abwegen. In: BAW (Hg.) Aktueller Stand und Herausforderungen der Geotechnik im Verkehrswasserbau. Bundesanstalt für Wasserbau. Karlsruhe (BAW-Kolloquium), S. 39-46.

²⁶ Hüttelmaier, T.; Weber, B.; Fekete, A. (2021): Szenarioorientierte Risikoanalysen für die Bedarfsplanung der Gefahrenabwehr. Analyse des Bruchs eines Kanalseitendamms mittels Geoinformationssystem. BRANDSchutz, 75. Jahrgang, Januar 2021, S. 14-19, Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart 2021.

zwei Kilometern. Auf diese Art und Weise kann ein Vergleich auf Basis eines idealisierten Risikos zwischen verschiedenen Dükern/Durchlässen/Kanalbrücken erfolgen.

Für die Schiffsschleusenanlagen wurde kein kreisförmiger Bereich betrachtet. Im Fall eines Schadens wird das Oberwasser in das Unterwasser fließen und sich seinen Weg zunächst über die untere Kanalhaltung bahnen. In Abhängigkeit der Wassermenge und der Umgebungsbedingungen wird das Wasser auf seinem Weg seitlich über die Begrenzung der Kanalhaltung treten. Für die Analyse wurden die Bereiche innerhalb von 300 Metern zu beiden Seiten der Kanalhaltung jeweils bis zur folgenden Schiffsschleuse betrachtet.

Als Schutzgüter wurden für die Analysen die in der Umgebung befindlichen Bauwerke sowie die betroffenen Flächen auf Basis der Flächennutzungsart untersucht. Die Bauwerke und Flächennutzung wurden hinsichtlich ihrer Vulnerabilität, sowohl gegenüber Wasser als auch gegenüber Gefahrstoffen (sofern relevant), sowie ihrer Kritikalität bewertet. Zusätzlich ist die Personendichte innerhalb des Radius als Korrekturfaktor herangezogen worden. Für die Kanalbrücken wurde zusätzlich eine Korrektur (Risikoreduktion) vorgenommen, wenn diese Gewässer queren. Der Schaden an der Kanalbrücke Lippe in Olfen hat gezeigt, dass die freigesetzten Wassermassen über die Lippe abgeführt wurden und größere Schäden daher ausblieben.

Kritikalität und Vulnerabilität wurden im Fall der Düker, Durchlässe, Kanalbrücken und Schiffsschleusen mittels einer Risikomatrix nach dem „Round Out“-Verfahren zum Risiko verknüpft. In Bild 18 ist eine beispielhafte Darstellung enthalten.

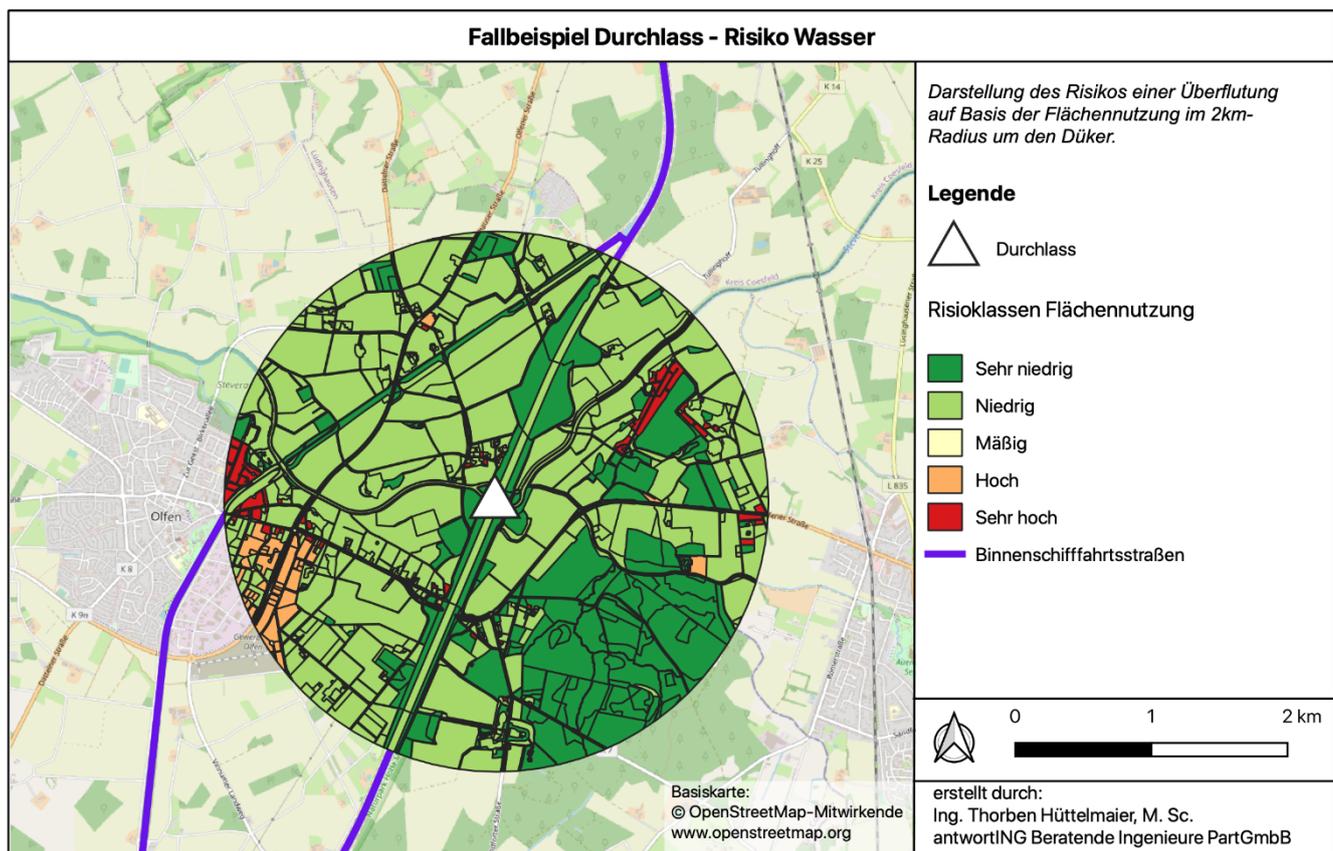


Bild 18: Darstellung des Überflutungsrisikos am Beispiel eines Durchlasses.

7.5 Weitere Verwendung der Ergebnisse - Maßnahmen und Schutzziele

Die Untersuchungen verdeutlichen, wie flexibel verschiedene Methoden der Risikoanalyse in Abhängigkeit der vorhandenen Daten sowie verfügbaren Ressourcen einsetzbar sind. Sowohl für die detaillierte Risikoanalyse der Dämme als auch für die Betrachtung der Düker und Durchlässe wurde die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens nicht berücksichtigt, da diese in der Bauwerksebene Berücksichtigung findet.

Die ermittelten Werte dienen einem relativen Vergleich der Bauwerke eines Bauwerkstyps untereinander. Sie sind weniger als absoluter Kennwert geeignet. Eine Einstufung in die höchste Risikoklasse bedeutet demnach nicht, dass das bewertete Ereignis sicher eintreten wird und ein entsprechender Schaden zu erwarten ist. Eine Priorisierung von Instandsetzungsmaßnahmen ist auf Basis der Bewertung der Risiken allerdings sinnvoll.

Auch unabhängig des Bauwerkszustands können Maßnahmen notwendig oder sinnvoll sein, um Risiken zu reduzieren. Diese sind in Abhängigkeit einer Einzelfallbetrachtung der Bauwerke und relevanten Gefährdungen zu bestimmen. In der Regel wird es sich dabei um präventive Maßnahmen handeln. Dazu zählen neben der bereits angesprochenen Instandsetzung und -haltung der Bauwerke unter anderem ein technischer Hochwasserschutz, ein natürlicher Wasserrückhalt, eine angepasste Stadtplanung oder die Vorplanung von abwehrenden Maßnahmen auf Basis von Einsatzkonzepten.

Inwiefern Maßnahmen relevant sind, kann auf Basis von (individuell festzulegenden) Schutzziele bewertet werden. Es muss unterschieden werden zwischen der Entwicklung von Schutzziele und der Festlegung von Schutzziele. In der Entwicklung werden quantitative und qualitative Parameter ausgesucht, die das Schadensausmaß beschreiben. In der darauffolgenden Festlegung werden diesen Parametern Werte (quantitative Parameter) oder Beschreibungen (qualitative Parameter) zugeordnet, mit denen das Schadensausmaß begrenzt werden soll (vgl. [Bild 19](#)).

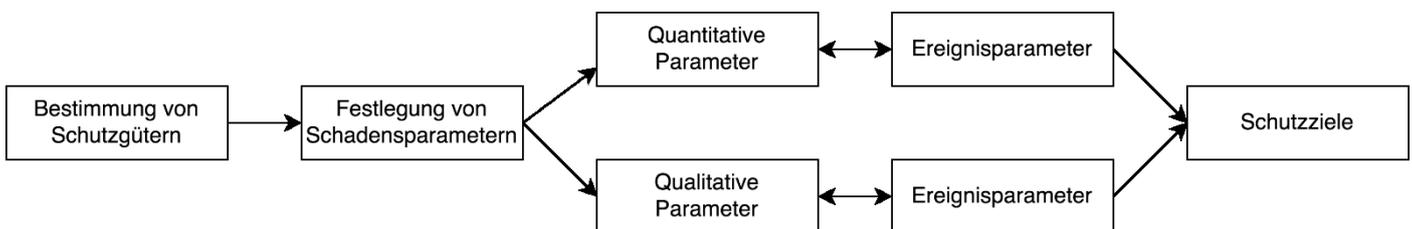


Bild 19: Vorgehen bei der Entwicklung und Festlegung von Schutzziele.

Grundsätzlich müssen Schutzziele gesellschaftlich und politisch ausgehandelt werden. Die Erhöhung eines Schutzziele geht immer mit Kosten, Aufwand und Veränderungen einher. Daher hängt es von der individuellen Risikoakzeptanz einer Gemeinschaft ab, welches Restrisiko sie als akzeptabel empfindet und welche Ressourcen sie zur Minimierung dieses Risikos einsetzen will.

Das Schadensausmaß beschreibt Schäden an Schutzgütern. Die Schäden an den Schutzgütern können durch quantitative und qualitative Parameter beschrieben werden, zum Beispiel *Höhe des Sachschadens in Euro* oder *Vertrauensverlust staatlicher Institutionen*. Um festzustellen wie sich ein Ereignis auf das Schadensausmaß auswirkt, müssen diese Schadensparameter mit Ereignisparametern verknüpft werden. Ereignisparameter können ebenfalls quantitativ oder qualitativ sein. Für die spätere Festlegung von Schutzziele eignen sich quantifizierbare Ereignisparameter besser, da auf ihrer Basis (technische) Maßnahmen mit klar definierbaren Zielen geplant werden können und kein Spielraum für Interpretationen entsteht. Für die Entwicklung von Schutzziele müssen demnach die folgenden Schritte durchgeführt werden (siehe auch [Bild 19](#)):

1. Bestimmung von Schutzgütern
2. Festlegung von Schadensparametern
3. Verknüpfung der Schadensparameter mit Ereignisparametern

Die für den Bruch eines Kanalseitendamms in PREVIEW beispielhaft entwickelten Parameter sind in [Tabelle 5](#) dargestellt.

Tabelle 5: Zusammenhänge zwischen Schadensparametern und Ereignisparametern.

Schadensparameter	Ereignisparameter
Schutzgut Mensch	
Anzahl der Toten	<ul style="list-style-type: none"> Mittlerer maximaler Flutpegel in m Überflutungsgeschwindigkeit in m/s
Anzahl der Verletzten	
Schutzgut Tiere	
Anzahl der getöteten Tiere	<ul style="list-style-type: none"> Mittlerer maximaler Flutpegel in m Überflutungsgeschwindigkeit in m/s
Anzahl der verletzten Tiere	
Schutzgut Sachwerte	
Schäden durch Zerstörung	<ul style="list-style-type: none"> Mittlerer Flutpegel in m Überflutungsfläche in m^2 Überflutungsdauer in h
Schäden durch Betriebsunterbrechung	
Schutzgut Umwelt	
Zerstörte Fläche	<ul style="list-style-type: none"> Überflutete Fläche in m^2

Zwischen allen dargestellten Ereignisparametern bestehen mehr oder weniger stark ausgeprägte Interdependenzen. Für die Schutzzielentwicklung am relevantesten ist der Zusammenhang zwischen der Überflutungsfläche und dem mittleren maximalen Flutpegel. Wird die Überflutungsfläche reduziert, steigt der mittlere maximale Flutpegel. Wird sie vergrößert, sinkt er. Das führt spätestens bei der Umsetzung von Maßnahmen zu Konflikten, die im Folgenden durch eine Priorisierung der Ereignisparameter gelöst werden sollen.

1. Mittlerer Flutpegel
2. Überflutungsgeschwindigkeit
3. Überflutungsfläche
4. (Überflutungsdauer)

Der mittlere Flutpegel hat die höchste Priorität, da er mit sechs von acht Schadensparametern zusammenhängt, die auch die beiden wichtigsten Schutzgüter Mensch und Tier umfassen. Darüber hinaus ist das Schadensausmaß aller anderen Ereignisparameter von ihm abhängig und er ist einfach zu quantifizieren. An zweiter Stelle folgt die mittlere Überflutungsgeschwindigkeit, da die Schadensparameter der Schutzgüter Mensch und Tier von ihr abhängen. Die mittlere Überflutungsfläche steht an dritter Stelle. Grund dafür ist, dass von ihr die Schadensparameter der beiden geringer priorisierten Schutzgüter Sachwerte und Umwelt abhängen. Die Überflutungsdauer hat die geringste Priorität, da sie sich nur auf zwei von acht Schadensparametern auswirkt.

Für die Schutzziel festlegung wurde in PREVIEW zwischen quantitativen Schutzzielen - getrennt nach bebauten und unbebauten Gebieten - sowie qualitativen Schutzzielen unterschieden. Die quantitativen Schutzziele sind in [Tabelle 6](#) dargestellt.

Tabelle 6: Quantitative Schutzziele für den Bruch eines Kanalseitendamms

Quantitative Schutzziele		
Parameter	Bebaute Gebiete	Unbebaute Gebiete
Begrenzung des mittleren maximalen Flutpegels	0,5 Meter	Szenario-/ Gebietsabhängig
Begrenzung der maximalen Überflutungsgeschwindigkeit	1 m/s	1,5 m/s
Begrenzung der überfluteten Fläche auf ein Minimum	Szenario-/ Gebietsabhängig	Szenario-/ Gebietsabhängig

Als qualitative Schutzziele wurden festgelegt:

- Frühzeitige Warnung der Bevölkerung
- Selbstrettung der Betroffenen ermöglichen
- Ausbreitung der Überflutung verhindern
- Evakuierungs-, Rettungs- und Schutzmaßnahmen ermöglichen

8 Integration in den Status Quo des Instandhaltungsmanagements

Das Ziel des Demonstrators PREVIEW-GIS ist die einheitliche und gleichartige Bewertung aller Parameter über die verschiedenen vorhandenen Bauwerkstypen und die unterschiedlichen Ebenen der Betrachtung hinweg. Zudem wird eine explizite Beschreibung der Vulnerabilität und der Kritikalität verfolgt.

Ergänzend verfolgt die BAW als beratende Behörde der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) im Rahmen des PREVIEW-Projekts einen tieferehenden, ganzheitlichen Ansatz für einzelne Bauwerkstypen bzw. Systeme von Bauwerkstypen. Dazu konzentrierte sich die Arbeit der BAW auf die Entwicklung von ganzheitlichen Methoden für die Entscheidungsfindung im Wasserstraßeninfrastrukturmanagement und die Anwendung dieser Methoden auf relevante Fallstudien des Westdeutschen Kanalnetzes, um ihre praktische Anwendung zu demonstrieren. Dabei werden die Eigenheiten der Bauwerkstypen bzw. Systeme von Bauwerkstypen und alle vorhandenen Informationen berücksichtigt.

Da das Szenario "technisch/menschliches Versagen" vorherrscht, zielen die entwickelten Methoden insbesondere auf die Verbesserung der Entscheidungsfindung im Instandhaltungsmanagement.

Das Design der Methoden ergibt sich aus den folgenden Anforderungen:

1. Die Methoden sollen die aktuellen Herausforderungen im Infrastruktur- und Instandhaltungsmanagement angehen. Diese sind:
 - Erhöhung der Objektivität des Entscheidungsprozesses durch Integration von analytischem und intuitivem Denken;
 - Erhöhung der Transparenz und des Verständnisses des Entscheidungsprozesses und dadurch Förderung integrativer, verantwortlicher und vertrauenswürdiger Entscheidungen.
2. Die Methoden sollten das volle Potenzial der bei der BAW verfügbaren Daten ausschöpfen. Bei den verfügbaren Daten handelt es sich sowohl um quantitative als auch um qualitative Daten. Beispiele für qualitative Daten sind nominale Daten und ordinale Daten, während quantitative Daten durch diskrete und kontinuierliche Daten dargestellt werden. Die Daten können von Experten erfragt oder in Primär- und Sekundärdatenbanken gesammelt werden:
 - Primärdatenbanken wie WSVPruf und WADABA wurden mit dem Ziel entwickelt, die Instandhaltung und das Infrastrukturmanagement zu unterstützen;
 - Sekundärdatenbanken wie Elwis und Travis sind nicht für das Infrastrukturmanagement gedacht, könnten aber dennoch wichtige Informationen liefern.

Bei der Entwicklung von Methoden spielt auch das Konzept des Risikos in Infrastruktursystemen eine wichtige Rolle, da es zusammen mit dem Konzept der Vulnerabilität und Kritikalität, mit dem es eng verbunden ist, ein wichtiges Entscheidungskriterium darstellt. Risiko ist definiert als die Wahrscheinlichkeit, dass bei einem bestimmten auslösenden Ereignis unerwünschte Folgen eintreten. Infrastruktursysteme bestehen jedoch aus einer Hierarchie interagierender Teilsysteme, von denen jedes mehrere Zustände, Funktionen, Datenbanken, Kosten und Beteiligte aufweist und durch ein nichtlineares Verhalten gekennzeichnet ist. Die Risikobewertung von Infrastruktursystemen ist daher ein komplexer Prozess, insbesondere die Definition von Ausfallszenarien und die Quantifizierung der Wahrscheinlichkeit und der Folgen eines Ausfalls. Daher sollte die Entwicklung der Methoden auch die Risikobewertung und die risikobasierte Instandhaltungsplanung vereinfachen.

Die Methodik basiert auf der multikriteriellen Entscheidungsanalyse. Dabei handelt es sich um eine Sammlung von formalen Ansätzen, die darauf abzielen, mehrere Kriterien explizit zu berücksichtigen, um Einzelpersonen oder Gruppen bei der Erkundung wichtiger Entscheidungen zu unterstützen. Die multikriterielle Entscheidungsanalyse bietet eine Hilfe zur Entscheidungsfindung, indem sie die folgenden Ziele verfolgt: 1) Integration von objektiven Messungen und Werturteilen; 2) Verdeutlichung und Bewältigung der Subjektivität bei der Entscheidungsfindung, insbesondere bei der Auswahl der Kriterien und ihrer relativen Bedeutung; 3) Erhellung von Kontroversen und Überwindung schwieriger Kompromisse, z. B. durch Förderung der Entwicklung neuer Alternativen; 4) Verbesserung des Lernens und des Verständnisses der Entscheidungsträger für das Entscheidungsproblem und somit Förderung der Erkundung neuer Möglichkeiten; 5) Bereitstellung einer Struktur für das Entscheidungsproblem, die als Fokus und Sprache für die Diskussion dient.

Trotz ihrer Vorteile hat die multikriterielle Entscheidungsanalyse derzeit eine begrenzte Akzeptanz und Verbreitung unter Infrastrukturbetreibern und in Behörden, Organisationen und Institutionen wie der BAW und der WSV. Darüber hinaus hat sie den Nachteil, dass sie nicht geeignet ist, die große Menge an Daten zu verarbeiten, die heutzutage in den verschiedenen Phasen der Instandhaltung und des Infrastrukturmanagements gesammelt werden.

Im Gegensatz zur multikriteriellen Entscheidungsanalyse sind die Techniken der Künstlichen Intelligenz und des Data Mining besonders geeignet, um mit großen Mengen komplexer Daten umzugehen. Diese Techniken unterstützen analytische Entscheidungen auf operativer Ebene, die sich auf die Tiefe der Informationen, rationales Denken und logische Schlussfolgerungen stützen. Staatliche Einrichtungen sind jedoch mit zweideutigen Situationen konfrontiert, die auf widersprüchliche Interessen von Interessengruppen und politischen Entscheidungsträgern zurückzuführen sind, sowie mit Situationen, für die es keinen Präzedenzfall gibt.

Daher zielten die entwickelten Methoden nicht nur darauf ab, den praktischen Wert und die Verbreitung der multikriteriellen Entscheidungsanalyse zu erhöhen, sondern auch darauf, sie mit Techniken der künstlichen Intelligenz und des Data Mining zu integrieren. Die Integration soll datengetriebene Entscheidungen fördern und eine Vereinfachung des Entscheidungsprozesses ermöglichen, indem entscheidungsrelevante Daten sinnvoll genutzt werden können.

Die Entwicklung der integrierten Methoden folgt einem systematischen Prozess, in dem der Umfang der Entscheidungsfindung, der Umfang der Integration, die Begründung der Integration und der typologische Ansatz berücksichtigt und geklärt werden. Bei der Anwendung der multikriteriellen Entscheidungsanalyse und ihrer Integration mit Techniken der künstlichen Intelligenz ist es besonders wichtig, die Problematik zu klären, die das Entscheidungsproblem charakterisiert. Beispiele für mögliche Problematiken sind Auswahl-, Sortier-, Rangfolge-, Beschreibungs-, Gestaltungs- und Portfolio-Problematiken.

Da die WSV und die BAW mit einem zunehmenden Stau an kritischen Instandhaltungsmaßnahmen zu tun haben, ist die Priorisierung von Instandhaltungsmaßnahmen bzw. von instandhaltungsrelevanten Objekten, die beide durch eine Ranking-Problematik gekennzeichnet sind, ein wiederkehrender Bereich von Entscheidungsprozessen in der Instandhaltung.

Zu den Objekten, an denen die Instandhaltung priorisiert werden sollte, gehören insbesondere Schleusen, Dämme, Durchlässe, Rohrleitungen, Pumpen und Kanalbrücken. Diese Objekte zeichnen sich durch unterschiedliche Merkmale aus, wie z. B. strukturelle Eigenschaften und Funktionen, die auch die verfügbaren Informationen und den Umfang der Entscheidungsanalyse bestimmen. Daher ergibt sich die Gestaltung der Methodik aus dem Zusammenspiel von drei Faktoren, wie in [Bild 20](#) dargestellt:

1. Der Umfang des Infrastrukturmanagements;
2. Die Eigenschaften der Infrastruktursysteme;
3. Die verfügbaren qualitativen und quantitativen Daten.

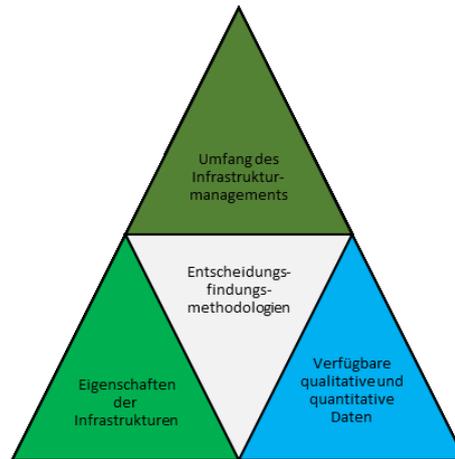


Bild 20: Hauptfaktoren, die das Design der Entscheidungsfindungsmethoden für das Infrastruktur- und Instandhaltungsmanagement beeinflussen.

Die Entwicklung der Methoden und ihre Anwendung auf das Management der Infrastrukturen des Westdeutschen Kanalnetzes wurde durch Visualisierungswerkzeuge wie kognitive Karten, Flussdiagramme und Einflussdiagramme unterstützt. Da die Ergebnisse der Analysen, die mit Hilfe von künstlicher Intelligenz und Data-Mining-Techniken gewonnen wurden, sowie die Ergebnisse der multikriteriellen Entscheidungsanalyse, oft eine geographische Bedeutung haben, wurden sie insbesondere auf GIS-Karten visualisiert, wie Bild 22 zeigt. Die Ergebnisse einer Clusteranalyse auf der Grundlage baulichen Eigenschaften, die für das Schleusensystem durchgeführt wurde, zeigt Bild 22, während Bild 23 die Ergebnisse der Risikobewertung des Dammsystems zeigt. Visualisierungswerkzeuge sind eine wertvolle Hilfe bei der Verbesserung der Kommunikation nicht nur zwischen den Projektpartnern, sondern auch mit den Projektbeteiligten.

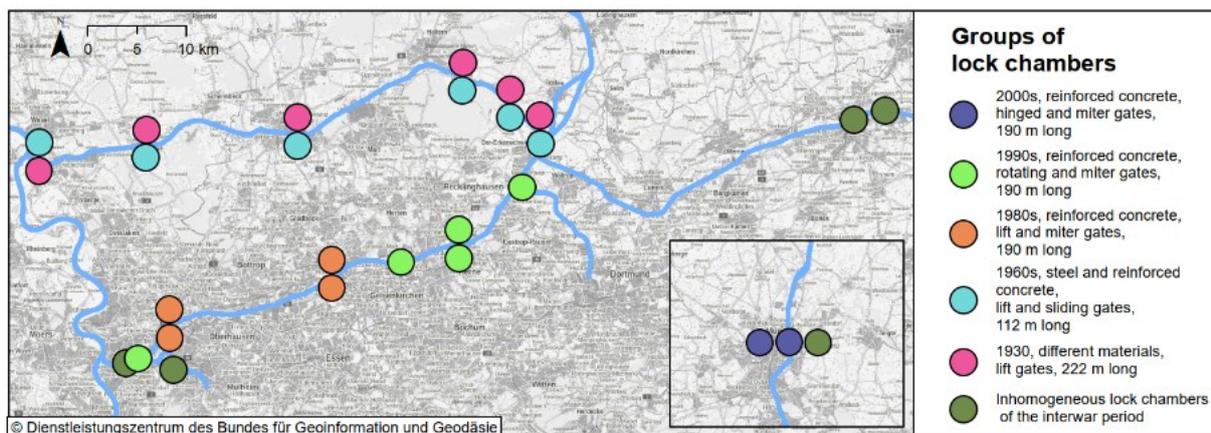


Bild 21: GIS-Karte, die die Klassifizierung der Schleusenkammern des Westdeutschen Kanalnetzes zeigt, die durch eine Clusteranalyse der strukturellen Merkmale der Kammern gewonnen wurde.

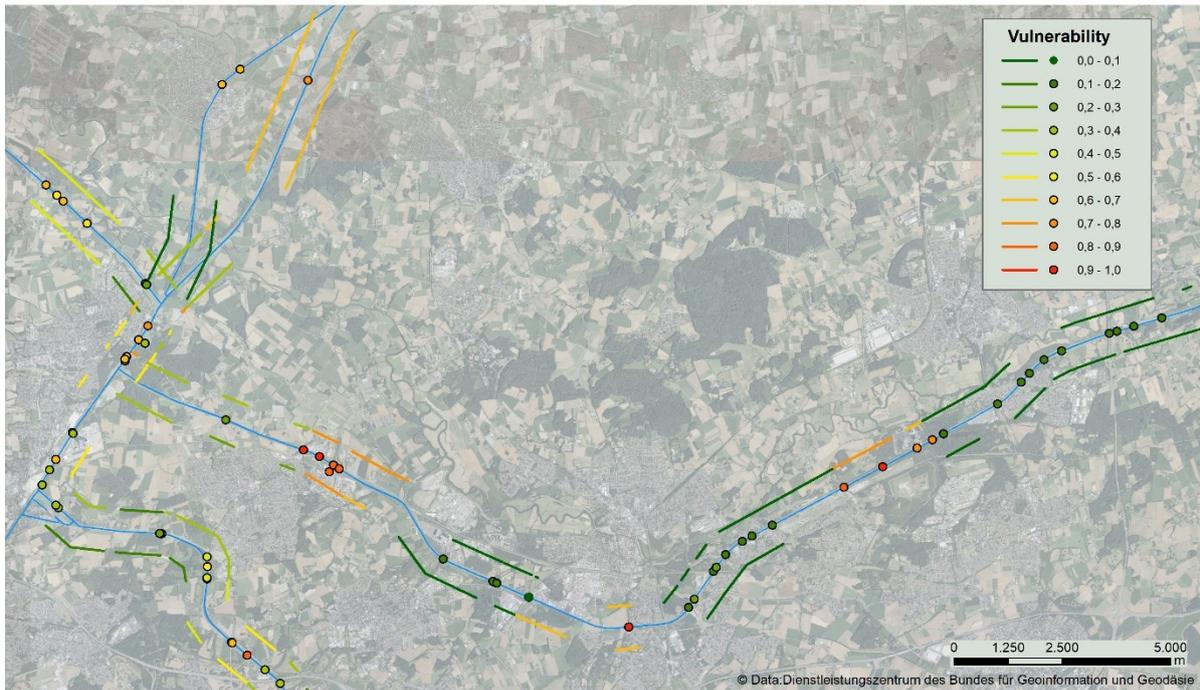


Bild 22: GIS-Karte, die das Ergebnis der Vulnerabilitätsanalyse des Dammsystems mit Hilfe der multikriteriellen Entscheidungsanalyse zeigt.

9 Schlusswort und Beteiligte

Die zuletzt entwickelten Methoden und Visualisierungsmöglichkeiten im Abschnitt 8 *Integration in den Status Quo des Instandhaltungsmanagements* ermöglichen eine Ergänzung von PREVIEW-GIS, um die Integration einer ganzheitlichen Methodik zur Risikobewertung. Dabei kann die Methodenevaluation von der interdisziplinären Systematik der Ebenen-basierten Risikoermittlung profitieren und umgekehrt. Letzteres beinhaltet den Vorteil einer

- (1) interaktiven, web-basierten GIS-Darstellung
- (2) der Integration interdisziplinärer Daten und Expertenwissens aus Logistik und Bevölkerungsschutz sowie
- (3) einer Schutzzielpriorisierung, welche durch den Entscheidungsträger angepasst werden kann.

Die Nachteile, welche sich daraus ergeben, liegen in

- (1) der Schwierigkeit, Schutzziele gegeneinander zu priorisieren,
- (2) Bauwerke über Objektkategorien hinweg miteinander zu vergleichen,
- (3) dem Aufwand zur Einzelbauwerklichen Betrachtung sowie
- (4) der strikt getrennten Betrachtung von Vulnerabilität und Kritikalität, die in der Realität oft schwer nachvollziehbar ist.

Durch die Berücksichtigung der vorangehend beschriebenen Methodenentwicklung können diese Nachteile größtenteils überwunden werden, müssen aber in weiteren Arbeiten in die Vorteile von PREVIEW-GIS integriert werden, um ein bestmögliches Resultat als Grundlage einer Risikobasierten Instandsetzungspriorisierung erzielen zu können.



*Priv.-Doz. Dr. Marcus Wiens
Rebecca Wehrle*



*Prof. Dr.-Ing. Jan Akkermann
Simon Weiler*



*Benjamin Käser
Thorben Hüttelmaier*



*Wendelin Groß
Johannes Gast*



*Dr.-Ing Jörg Bödefeld
Dr.-Ing. Francesca Marsili*

Anhang: Glossar

Gefahr/Gefährdung (Hazard)

Definition UN/ISDR (2002) (The United Nations Office for Disaster Risk Reduction; Bezug auf „natural hazards“):
 “A potentially damaging physical event, phenomenon and/or human activity, which may cause the loss of life or injury, property damage, social and economic disruption or environmental degradation. “

Kritikalität (einer Kritischen Infrastruktur)

Definition des BBK (Lenz 2009, S. 42):

„Relatives Maß für die Bedeutsamkeit einer Kritischen Infrastruktur in Bezug auf die Konsequenzen, die eine Störung oder ein Funktionsausfall für die Versorgungssicherheit der Gesellschaft mit wichtigen Gütern und Dienstleistungen hat.“

Resilienz

Definition der Psychologie (Ursprung des Begriffs; tw. Wikipedia):

„Physische und psychische Widerstandsfähigkeit, die es ermöglicht, Krisen zu bewältigen und sie durch Rückgriff auf persönliche und sozial vermittelte Ressourcen als Anlass für Entwicklungen zu nutzen. Mit Resilienz verwandt sind Entstehung von Gesundheit (Salutogenese), Widerstandsfähigkeit (Hardiness), Bewältigungsstrategie (Coping) und Selbsterhaltung (Autopoiesis).“

Definition im Bereich der Krisen- und Systemforschung sowie der nachhaltigen Entwicklung (vgl. z.B. Gaillard 2010):

„Fähigkeit eines Systems, interne und externe Risiken durch Anpassungsstrategien zu absorbieren und sich mit geeigneten Bewältigungsstrategien von den negativen Konsequenzen zu erholen.“

Risiko

Definition interdisziplinär (v.a. in der Sicherheits- und Katastrophenforschung):

Das Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadensereignisses und den (negativen) Konsequenzen/Schäden (Risiko = Eintrittswahrscheinlichkeit x Schaden).

Definition UN/ISDR (2002) (The United Nations Office for Disaster Risk Reduction; Bezug auf „natural hazards“):
 “The probability of harmful consequences, or expected losses (deaths, injuries, property, livelihoods, economic activity disrupted or environment damaged) resulting from interactions between natural or human induced hazards and vulnerable conditions.“

Definition Ökonomie, insb. im Bereich der (Finanz)Marktanalyse, Portfoliotheorie:

Risiko beschreibt die Unsicherheit einer Variablen (z.B. Marktpreis, Absatzmengen, Zinshöhe etc.) und wird daher oft mit Hilfe von Schwankungsmaßen (insb. Varianz) gemessen.

Vulnerabilität

Definition BBK (The United Nations Office for Disaster Risk Reduction):

„Anfälligkeit eines Objekts oder eines Systems gegenüber einer spezifischen Gefahr mit einer bestimmten Ereignisstärke.“ (Lenz 2009)

Definition UN/ISDR (2002) (The United Nations Office for Disaster Risk Reduction, Bezug auf „natural hazards“):
 “A set of conditions and processes resulting from physical, social, economic, and environmental factors, which increase the susceptibility of a community to the impact of hazards.“