

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Bold, Steffen; Pfeiffer, Ekkehard

Analyse und Management des Hochwasserrisikos im Emschergebiet

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103908>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Bold, Steffen; Pfeiffer, Ekkehard (2004): Analyse und Management des Hochwasserrisikos im Emschergebiet. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Risiken bei der Bemessung und Bewirtschaftung von Fließgewässern und Stauanlagen. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 27. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 191-206.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Analyse und Management des Hochwasserrisikos im Emschergebiet

Steffen Bold, Ekkehard Pfeiffer

Eine wasserwirtschaftliche und gesetzliche Aufgabe der Emschergenossenschaft ist die schadlose Ableitung des Hochwasserabflusses. Diese Forderung stellt in einem Gebiet mit über 100 Pumpwerken, ca. 340 km² Poldergebieten, Deichhöhen von bis zu 10 m und einem Bebauungsgrad von über 50% eine beträchtliche Herausforderung dar. Im Zuge der Umgestaltung des Emschersystems von der offenen Abwasserableitung zu einem modernen geschlossenen unterirdischen Entwässersystem mit anschließender ökologischer Verbesserung der Bachläufe ist es deshalb sinnvoll, ein Risikomanagement parallel einzuführen und zu verfolgen.

Zu diesem Zweck werden in einem ersten Schritt potenzielle Schwachstellen der geplanten und vorhandenen wasserwirtschaftlichen Anlagen im System (Pumpwerke, Deiche, Rückhaltebecken, Brücken) mit Hilfe von Gefahren-, Zuverlässigkeits- und Ereignisablaufanalysen identifiziert und die entsprechenden Versagenswahrscheinlichkeiten sowie das sich daraus ergebende Überflutungsmaß und Schadenspotenzial berechnet. Auf Basis dieser Informationen werden anschließend Handlungsempfehlungen zur Reduzierung des Risikos gegeben, die beim Umbau des Emschersystems berücksichtigt werden können.

Erste Ergebnisse einer Pilotstudie zeigen, dass die angewandte Methodik, basierend auf einer hydrologischen Gebietsmodellierung, einer hydrodynamischen Kanalnetzsimulation sowie 1- und 2-Dimensionalen Strömungsmodellen in Verbindung mit einem Geographischen Informationssystem, sehr gut geeignet ist, das Überflutungsmaß sowie den daraus resultierenden Schaden zu ermitteln. Die daraus gefolgerten Handlungsempfehlungen konnten darüber hinaus bereits in die laufenden Planungen integriert werden und stellen somit einen integralen Bestandteil des Hochwasserschutzes dar.

1 Einleitung

Das Abklingen der Bergsenkungen ermöglicht die seit 1990 laufende Planung zur Umgestaltung des Emschersystems von der offenen Abwasserableitung zu einem modernen geschlossenen unterirdischen Entwässersystem mit anschließender ökologischer Verbesserung der Bachläufe. Dieses Umbauprogramm,

welches die ökologischen und ökonomischen Herausforderungen vor dem Hintergrund irreversibler Veränderungen im Einzugsgebiet berücksichtigen muss, umfasst ein Investitionsvolumen von ca. 4,4 Mrd. Euro. Eine wasserwirtschaftliche und gesetzliche Aufgabe der Emschergenossenschaft ist die schadlose Ableitung des Hochwasserabflusses. Diese Forderung stellt in einem Gebiet mit über 100 Pumpwerken, ca. 340 km² Poldergebieten, Deichhöhen von bis zu 10 m und einem Bebauungsgrad von über 50% eine beträchtliche Herausforderung dar. Bei der Neugestaltung des Entwässerungssystems ist es deshalb sinnvoll, ein Risikomanagement, welches die methodische und zielstrebige Analyse und Handhabung von Gefährdungssituationen zum Ziel hat, parallel einzuführen und zu verfolgen. Risiken müssen demnach quantifiziert und in der Planung minimiert werden, um eine wirtschaftliche Abwägung von Maßnahmen des Hochwasserschutzes zu erreichen.

2 Das Emschergebiet

Das 865 km² große Emschergebiet wird im Norden durch das Einzugsgebiet der Lippe und im Süden durch das der Ruhr begrenzt. Die Emscher ist ein rechtsseitiger Nebenfluss des Rheins. Sie entspringt südöstlich von Dortmund in Holzwickede und mündet nach 84,8 km Fließweg bei Dinslaken in den Rhein (Abb. 1). Die Emscher entwässert nördliche Randbereiche des Bergischen Landes und des Sauerlandes sowie Teile des rechtsniederrheinischen Tieflandes. Das Gewässersystem ist überwiegend durch ein schwaches Gefälle und eine geringe Wasserführung gekennzeichnet (*Emschergenossenschaft, 2002*). Das Emschergebiet ist heute durch eine hohe Besiedelungsdichte mit einem mehr als 50 %igen Bebauungsgrad und einem Versiegelungsanteil von 20 % geprägt. Mit einer durchschnittlichen Bevölkerung von 2.800 Einwohnern pro km² stellt es das am dichtesten besiedelte Gebiet in Nordrhein-Westfalen dar.

Mit dem nach 1860 zunehmenden Vorrücken des Bergbaus in die Emscherniederung nahmen die Probleme der dauerhaft zu hohen Grundwasserstände und der häufigen Überflutungen zu. Die Verhältnisse verschlimmerten sich mit zunehmender Industrialisierung und fortschreitender Bergbautätigkeit weiter. Um die wirtschaftliche Entwicklung des Emschergebietes nicht weiter zu gefährden, entstand um 1900 ein Entwurf zur Regelung der Vorflut und der Abwasserreinigung sowie einer Verlegung der Emschermündung nach Norden. Durch Bergsenkungen auf Grund der Bergbauaktivitäten der letzten Jahrhunderte verfügen

ca. 38 % des Einzugsgebiets über keine natürliche Vorflut und müssen deshalb künstlich über ca. 100 Pumpwerke entwässert werden.



Abbildung 1: Übersicht über das Emschereinzugsgebiet

Die Begradigung und Tieferlegung der Emscher sowie das technisch ausgebaute Sohlschalenprofil bilden die Grundlage des heutigen Systems der offenen Schmutzwasserläufe im Emschergebiet.

3 Vorgehensweise

Wie in Abbildung 2 dargestellt, kann ein belastbares Risikomanagement erst nach eingehender Analyse und Bewertung des Risikos durchgeführt werden.

3.1 Risikoanalyse

In Risikoanalysen wird das Risiko R aus Hochwasser oder Anlagenversagen sowohl qualitativ als auch quantitativ ermittelt. Gemäß *DIN VDE 3100 Teil 2 (1987)* wird hierbei das Risiko als Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit des zum Schaden führenden Ereignisses H und der zu erwarteten monetären Schadenshöhe S definiert.

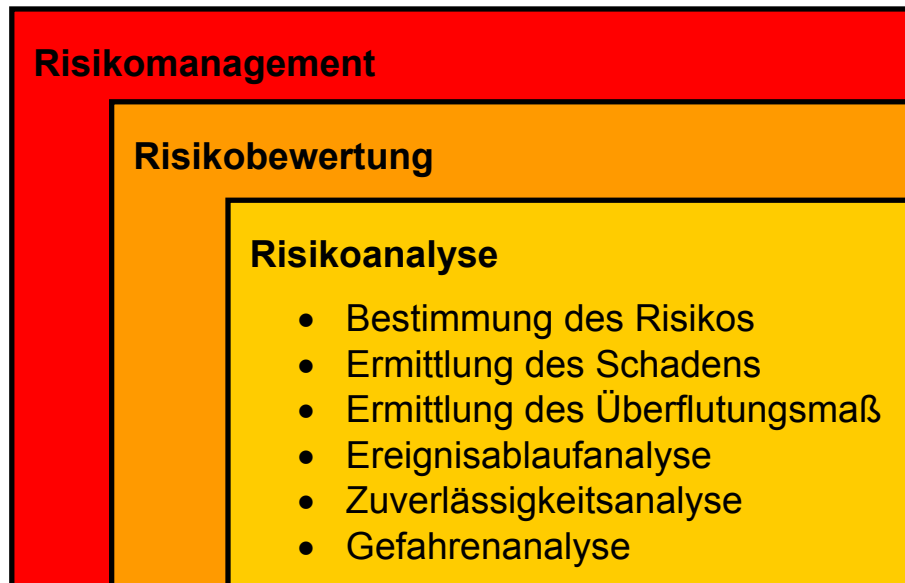


Abbildung 2: Allgemeine Vorgehensweise zum Management von Hochwasserrisiken

3.1.1 Ermittlung der Eintrittshäufigkeit

Die Durchführung einer Risikoanalyse umfasst zunächst die Analyse der wasserbaulichen Anlagen (z.B. Deiche, Schutzmauern, Durchlässe, Rückhaltebecken), der technischen Einrichtungen (z.B. Pumpwerke einschließlich der erforderlichen Infrastruktur), der Bemessungsgrundlagen und der Betriebsweisen der einzelnen Anlagen und technischen Einrichtungen mit dem Ziel der Ermittlung von Ereignissen und/oder Zuständen, die grundsätzlich zu Überflutungen führen können (**Gefahrenanalyse**). Einbezogen in diese Untersuchungen werden dabei auch Ereignisse und Zustände, die zu einer Erhöhung der Gefahrenmomente führen können. Dazu gehören z.B. die Analyse von Kreuzungsbauwerken wie Brücken und Durchlässe hinsichtlich einer möglichen Verlegung durch Treibgut. Diese Analyse kann mit Hilfe der Ausfalleffektanalyse nach *DIN 25448 (1990)* durchgeführt werden und dient der qualitativen Bewertung von Ausfällen/Versagen einzelner Komponenten im System.

Für die Ursachen solcher Ereignisse und Zustände werden anschließend erwartete Eintrittshäufigkeiten bzw. Wahrscheinlichkeiten quantitativ im Zuge einer **Zuverlässigkeitsanalyse** ermittelt. Die dafür erforderlichen Daten können dabei auf drei verschiedenen Wegen bereitgestellt werden:

- Auswertung der anlagenspezifischen Daten/Beobachtungen
- Sind die anlagenspezifischen und/oder komponentenspezifischen Daten unvollständig oder statistisch unzureichend, so kann auf generische Daten zurückgegriffen werden (Zuverlässigkeitsdaten, die auf Betriebserfahrungen in anderen aber vergleichbaren Anlage beruhen).
- Wenn die beiden zuvor genannten Wege nicht zum Erfolg führen, so können die Zuverlässigkeitsdaten nur durch Expertenurteil (Engineering judgement) geschätzt werden.

Zur Untersuchung des komplexen Ausfallverhaltens von Komponenten und Teilsystemen wird die Fehlerbaumanalyse (*DIN 25424 Teil 1 und 2, 1981 und 1990*) angewendet, mit dem Zweck der Ermittlung der logischen Verknüpfungen von Komponenten- oder Teilsystemausfällen, die zu einem unerwünschten Ereignis führen.

In einer darauf folgenden **Ereignisablaufanalyse** (*DIN 25419, 1985*) werden schließlich mögliche Ereignisabläufe/Szenarien definiert, für die die jeweiligen Hochwasserfolgen im darauf folgenden Schritt bestimmt werden

3.1.2 Berechnung der Überschwemmungsflächen und –höhen

Voraussetzung für die Ermittlung von Überschwemmungsflächen ist die Erarbeitung hydrologischer und hydraulischer Modelle zur Berechnung von Einstauvolumina und Wasserspiegellagen. Zum Einsatz kommt dabei einerseits das hydrologische Gebietsmodell NASIM (*Hydrotec, 2003*) andererseits das hydraulische 1-D Strömungsmodell JABRON (*Hydrotec, 2002*).

Um Einstauvolumina bzw. Wasserstände bestimmter Jährlichkeit zu erhalten, wird das hydrologische Gebietsmodell mit Modellregen entsprechender Jährlichkeit belastet, die ggf. mit Hilfe des hydraulischen 1-D Strömungsmodells in Wasserstände umgerechnet werden. Wegen der überwiegend kleinräumigen Einzugsgebietsbetrachtung von $< 20 \text{ km}^2$ in den Nebenläufen der Emscher treten nur begrenzt Wasservolumina auf, die nicht ausreichen, um die Poldergebiete vollständig zu füllen. Dagegen führt das oft weit verzweigte Kanalnetz zu einer komplexen Überschwemmungsfläche, weil es nach dem Prinzip der kommunizierenden Röhren Senken oder Polder verbinden kann. In solchen Fällen fließt das Wasser trotz topographischen Barrieren durch das Kanalnetz in tiefer gelegene Gebiete. Nur durch die Verschneidung eines digitalen Geländemodells, generiert aus den Daten einer Laserscanner-Befliegung mit einer Auflösung von $2 \times 2 \text{ m}$ und einer vertikalen Genauigkeit $< 20 \text{ cm}$, mit dem Kanalnetz und den ermittelten Einstauvolumina im geographischen Informationssystem (ArcGIS,

ESRI, 2001), können an den betroffenen Stellen die kleinräumigen Überschwemmungsgebiete parzellenscharf ermittelt werden. Als Ergebnis dieses Bearbeitungsschrittes erhält man eine Überschwemmungsgebietskarte, die sowohl die betroffenen Flächen und Objekte darstellt als auch deren Einstauhöhen.

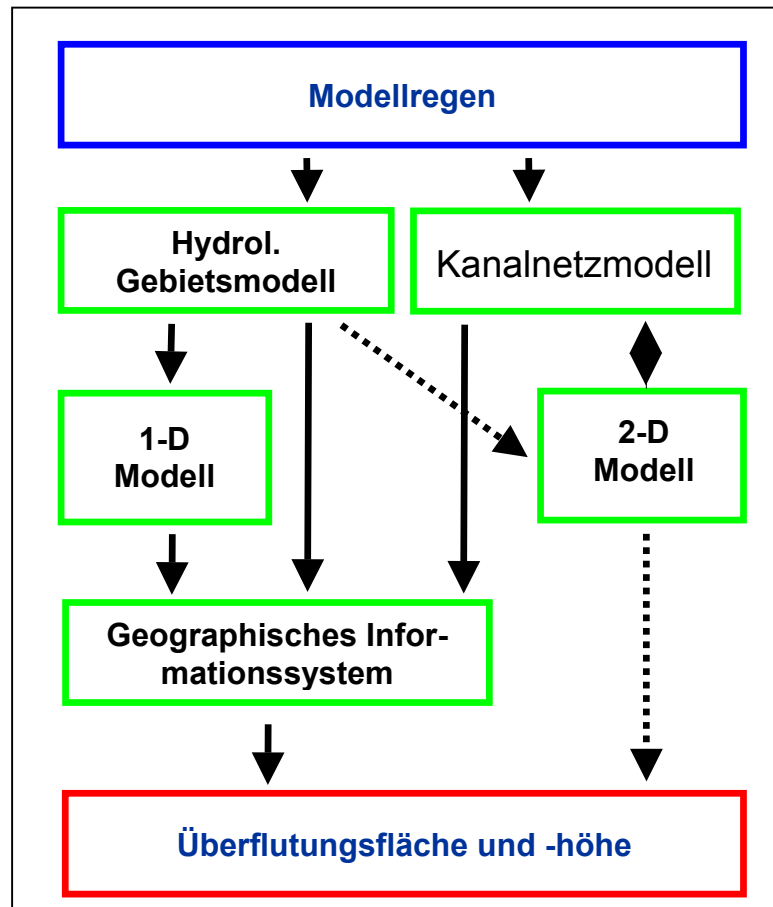


Abbildung 3: Vorgehensweise zur Bestimmung der Überflutungsfläche und -höhe. : → Bisherige Vorgehensweise; -.-> : Geplante Vorgehensweise

Um dem dynamischen Verhalten eines Überflutungsprozesses besser gerecht werden zu können, wird derzeit in einer Studie getestet, in wie weit unter zu Hilfenahme von 2-D Strömungsmodellen, die ggf. direkt mit einem Kanalnetzmodell (z.B. Mouse, *DHI*, 2003) gekoppelt sind, das Überflutungsausmaß evtl. genauer und schneller bestimmt werden kann.

3.1.3 Schadensberechnung

Die Vorgehensweise zur Ermittlung der Schadenspotenziale hängt von der Größe des Untersuchungsraumes ab. Dabei werden folgende Unterscheidungen getroffen:

- Ist der Untersuchungsraum lokal begrenzt, z.B. eine Gemeinde oder einzelne, kleine Überflutungsgebiete, so wird der mikroskalige Ansatz zur Ermittlung der Schadenspotenziale gewählt, bei dem mit auf Flurstücksebene erhobenen Nutzungsdaten gearbeitet wird.
- Ist der Untersuchungsraum regional begrenzt, z.B. ein Flussgebiet oder Flussabschnitt, so wird der mesoskalige Ansatz zur Ermittlung der Schadenspotenziale gewählt, bei dem größere Flächennutzungseinheiten über die Flächennutzung gebildet werden (z.B. eine Flur) und bei dem Daten aus der Wirtschaftsstatistik und aus dem Liegenschaftskataster verwendet werden.
- Ist der Untersuchungsraum überregional, z.B. großräumige Flussgebiete, so wird der makroskalige Ansatz zur Ermittlung der Schadenspotenziale gewählt, bei dem sehr große Flächennutzungseinheiten über die Flächennutzung gebildet werden (z. B. Gemarkungen, Gemeinden) und bei dem ebenfalls Daten aus der Wirtschaftsstatistik und aus dem Liegenschaftskataster verwendet werden.

Hinsichtlich der Abschätzung des monetären Wertes der Gebäude wird der Wiederbeschaffungspreis nach dem Bruttoprinzip zugrunde gelegt. Bezüglich Einzelheiten zu Bewertungsverfahren für Vermögenswerte für vergleichbare Untersuchungen wird auf *Kiese und Leineweber* verwiesen (2001). Die Schadenspotenziale im Dienstleistungsbereich und verarbeitenden Gewerbe im Betrachtungsraum sind entweder durch eine Detailerhebung in den einzelnen Objekten oder aber durch Anwendung von geeigneten Statistiken zu ermitteln. Eine Erhebung der Daten über die Bruttowertschöpfung für das Untersuchungsgebiet aus den relevanten Daten des Statistischen Jahrbuches Nordrhein-Westfalen 2000 wäre zu ungenau und würde ein falsches Bild wiedergeben. Die Schadenspotenziale der öffentlichen Infrastrukturen bleiben in der vorliegenden Untersuchung unberücksichtigt, da mit den vorliegenden Datengrundlagen bzw. Auswertungs-kapazitäten z.B. mögliche Oberflächen- und Kanalschäden nicht bestimmt werden können. Dasselbe gilt für die Nachsorgekosten. Die objektspezifischen Schadenspotenziale wurden für die untersuchten Ereignisabläufe/Szenarien in eine Datenbank überführt. Zukünftig wird auch der Strukturwandel im Einzugsgebiet mitberücksichtigt werden, da über die Nutzungsdauer der Hochwasser-schutzanlage dadurch gänzlich andere Schadenspotenziale entstehen können. Ein wesentlicher und sehr aufwendiger Punkt der Risikoanalyse stellt die Erhebung der zutreffenden Schadensfunktion (Abhängigkeit des Schadens von der Überschwemmungshöhe) für Objekte sehr unterschiedlicher Schadensklassen dar. Hierbei stützt sich die Emschergenossenschaft auf die Erhebung einer

Hochwasser-Schadensdatenbank, die ca. 3600 detailliert aufgenommenen Versicherungsfälle aus abgewickelten Hochwasserschäden enthält (*Schmidtke, 1999*). Zum Schluss kann das Risiko, welches definiert war aus Eintrittswahrscheinlichkeit mal Schadenshöhe für jedes Szenario bestimmt werden.

3.2 Risikobewertung und -management

Bei der Bewertung der ermittelten Risiken im Rahmen der vorliegenden Untersuchung zur Hochwassergefährdung sind hinsichtlich der Risikoformel zwei Kriterien heranzuziehen, die sich aus den zuvor dargelegten Überlegungen ableiten lassen:

Kriterium 1, das sogenannte *indifferente Kriterium*, das von den Risiko-Isolinien $R = H * S = \textit{konstant}$ ausgeht. Der Entscheidung ist die Überlegung zugrunde zu legen, dass je häufiger ein Ereignis auftritt, umso geringere Schadensauswirkungen sind zugelassen.

Kriterium 2 trägt dem Gedanken der *Verhältnismäßigkeit der Mittel* Rechnung. Der Entscheidung ist die Überlegung zugrunde zu legen, dass eine Güterabwägung zwischen dem getroffenen bzw. geplanten Aufwand der Schadensvorsorge (Hochwasserschutz) und den zu erwartenden Schäden, verursacht durch die n-jährlichen Hochwasser, erfolgen muss.

Dementsprechend werden die Eintrittshäufigkeit H [1/a] und die mögliche Schadenshöhe S [€] für die einzelnen Szenarien/Ereignisabläufe in einem H-S-Diagramm in doppelt logarithmischer Darstellung zusammengefasst. Mit diesem Bewertungsmaßstab werden die Ergebnisse der einzelnen Szenarien/Ereignisabläufe beurteilt und geprüft, ob ggf. durch geeignete Maßnahmen eine Verringerung der Häufigkeit eines Ereignisses oder eine Minderung des Schadensausmaßes zu erreichen ist. Ebenfalls dargestellt wird eine „Akzeptanzlinie“. Hierbei handelt es sich um eine Risiko-Isolinie, welche das H-S-Diagramm in einen Bereich des „akzeptablen Risikos“ und einen Bereich des „nicht akzeptablen Risikos“ unterteilt. Die Akzeptanzlinie sollte jedoch nur als grobe Orientierungshilfe zur Beurteilung des Risikos betrachtet werden. Auch lässt sich die Lage der Akzeptanzgeraden nicht nach objektiven Kriterien bestimmen, sondern ist das Ergebnis eines bestenfalls intersubjektiv nachvollziehbaren Abwägungsprozesses. Es muss auch darauf hingewiesen werden, dass eine einfache H-S-Darstellung ethische Aspekte der intangiblen Schäden unberücksichtigt lässt.

4 Erste Ergebnisse einer Pilotstudie

Aufbauend auf der in Kapitel 3 beschriebenen Vorgehensweise hat die Em-schergenossenschaft bachlaufbezogene Untersuchungen zum Risikomanagement eingeführt. Nachfolgend werden erste Ergebnisse einer Pilotstudie für ein Nebenlaufeinzugsgebiet dargestellt, die in Zusammenarbeit mit dem rheinisch-westfälischen TÜV Anlagentechnik erarbeitet wurden.

4.1 Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit

Basierend auf langjährigen Betriebserfahrungen, ersten hydraulischen Berechnungen und einer direkten Begehung aller technischer und wasserwirtschaftlicher Anlagen im Piloteinzugsgebiet konnten im Rahmen einer **Gefahrenanalyse** mehrere potenzielle Schwachstellen identifiziert werden. Beispielhaft wird die folgende Vorgehensweise für ein Pumpwerk sowie einen in unmittelbarer Nähe dazu befindlichen Deich dargestellt, beides Anlagen, die zuvor als Schwachstellen ausgewiesen wurden.

Für diese Anlagen muss im Rahmen einer **Zuverlässigkeitsanalyse** sowohl die Versagenswahrscheinlichkeit des Pumpwerks als auch die Wahrscheinlichkeit eines Deichbruches ermittelt werden:

Pumpwerk

Auf Grund der komplexen Wechselwirkungen der technischen Komponenten eines Pumpwerks stellt die Fehlerbaumanalyse ein geeignetes Mittel dar, die Versagenswahrscheinlichkeit einer solchen Anlage abschätzen zu können. Dazu werden alle Möglichkeiten eines Pumpwerkstotalausfalls in ihrer logischen Verknüpfung dargestellt. Im vorliegenden Beispiel konnten fünf Ursachen für einen Pumpwerkstotalausfall identifiziert werden (Abb. 4):

- Stromausfall
- Überflutung des Pumpwerks entweder durch direkten Zufluss aus der Kanalisation, der die Pumpwerksleistung übersteigt, oder auf Grund von „Fremdzufluss“ wie z.B. eines Deichbruchs
- Verlegung des Pumpwerkseinlaufs
- Defekt aller Pumpen, d.h. Defekt von Pumpe 1 und Pumpe 2
- Menschliches Versagen

Für diese Ereignisse müssen nun Eintrittswahrscheinlichkeiten abgeschätzt werden, um das Risiko eines Ausfalls quantifizieren zu können.

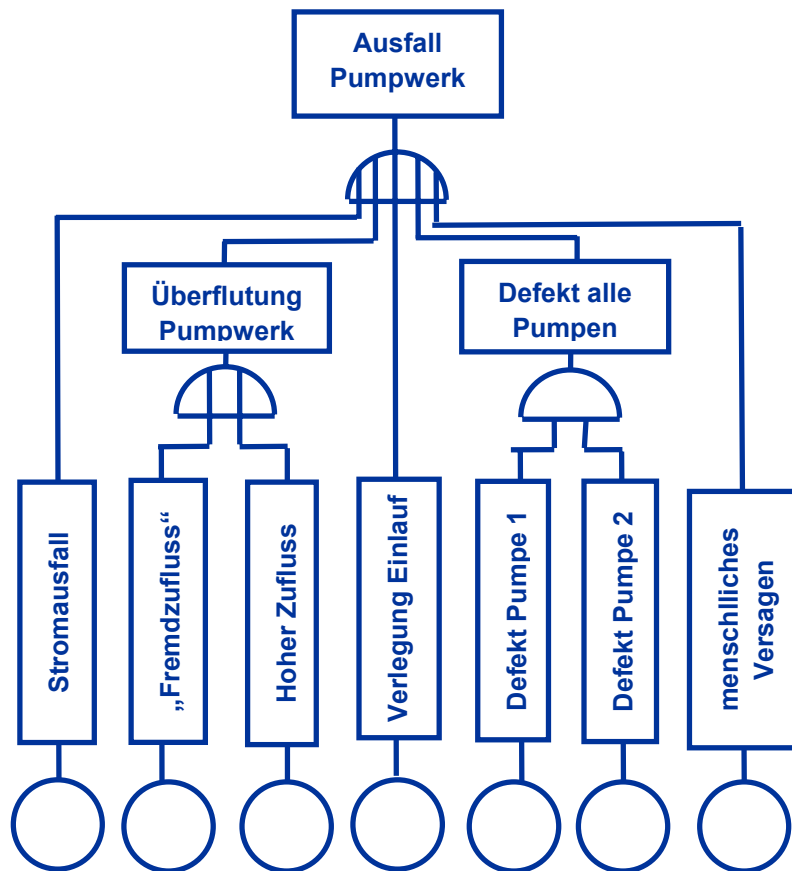


Abbildung 4: Fehlerbaumanalyse für einen Pumpwerksausfall

Basierend auf Betriebsaufzeichnungen, generischen Daten sowie einer Untersuchung zur Versorgungssicherheit des Pumpwerks, wurde die Ausfallwahrscheinlichkeit des Pumpwerks zu $P(PW) = 6.5E-05$ berechnet. Unberücksichtigt bleibt dabei jedoch die Wahrscheinlichkeit eines menschlichen Versagens. Darüber hinaus kann der Ausfall auf Grund einer Überflutung des Pumpwerks nur ereignisabhängig berechnet werden und muss deshalb iterativ im Zuge der Überflutungsberechnung durchgeführt werden.

Deichbruch

Im Gegensatz zur Bestimmung der Versagenswahrscheinlichkeit einer technischen Einrichtung wie z.B. ein Pumpwerk, lassen sich quantitative Aussagen über die Wahrscheinlichkeit eines Deichbruchs $P(DB)$ nur sehr schwer treffen. Möglich Ursachen sowie beispielhafte Eintrittswahrscheinlichkeiten liefert z.B. *Wolff (1999)*. Nach dieser Untersuchung kann die Versagenswahrscheinlichkeit

als Funktion des Wasserstands (W) und anderer Wahrscheinlichkeitsparameter X_i beschrieben werden:

$$(1) P(DB) = f(W, X_1, X_2, \dots, X_n)$$

Der zitierten Studie zufolge besitzt diese Funktion einen sigmoidalen Verlauf, wobei die Wahrscheinlichkeit eines Deichversagens bei niedrigem Wasserstand gering ist, mit höheren Wasserständen jedoch schnell ansteigt. Eine direkte Übertragung der von *Wolff (1999)* ermittelten Funktionen zwischen Versagenswahrscheinlichkeit und Wasserstand ist jedoch nicht möglich, da im Emschergebiet vor allem Waschbergedeiche mit dazu deutlich unterschiedlichem Aufbau und Eigenschaften vorherrschen. Die Wahrscheinlichkeit eines Deichbruchs wird deshalb für diese Pilotstudie mit

$$(2) P(DB) = \begin{cases} 0 & \text{für } W \leq W_{bordvoll} \\ 1 & \text{für } W > W_{bordvoll} \end{cases}$$

angenommen.

Gleichung 2 liegt die langjährige Betriebserfahrung der Emschergenossenschaft zugrunde, dass bei Waschbergedeichen die Gefahr eines Versagens auch bei hohen Wasserständen als sehr gering eingestuft werden kann. Da jedoch ein Großteil der Deiche (wie auch im Beispielfall) nicht überströmsicher ausgebaut ist, wird in einer worst-case Betrachtung angenommen, dass ein überströmen des Deichs ($W > W_{bordvoll}$) zwangsläufig zu einem Deichbruch führt.

In einer **Ereignisablaufanalyse** werden nun Szenarien ausgehend von einem auslösenden Ereignis (Hochwasserabfluss) definiert und die Eintrittswahrscheinlichkeit dafür berechnet. Im Rahmen der Pilotstudie wurden so für den Bereich der beiden potentiellen Schwachstellen 5 Szenarien/Ereignisabläufe untersucht, wobei die Vorgehensweise beispielhaft an einem Szenario verdeutlicht werden soll:

„Bei einem HQ_{100} ($P(HQ_{100}) = 1.0E-2$) kommt es bei gleichzeitigem Pumpwerksausfall zu einem Deichversagen.“

Für die Bestimmung der Szenarioeintrittswahrscheinlichkeit muss zuerst die Ereignisunabhängigkeit geprüft, beziehungsweise bedingte Wahrscheinlichkeiten berechnet werden. Anhand einer 1D-Wasserspiegellagenberechnungen konnte

gezeigt werden, dass bei einem HQ_{100} der Deich (Bemessungshochwasser $BHQ = 50$ a) überströmt wird. Gemäß Gleichung 2 ergibt sich somit eine (bedingte) Deichversagenswahrscheinlichkeit von $P(DB|HQ_{100}) = 1$. Zur Berechnung der Wahrscheinlichkeit eines Pumpwerksausfalls müssen im Rahmen der Überflutungsflächenausweisung nun zwei Fälle untersucht werden:

- Ein Einstau des Pumpwerks aufgrund des HQ_{100} und des Deichbruchs führt nicht zu einem Pumpwerksausfall, d.h. ein Pumpwerksausfall ist unabhängig von einem HQ_{100} und eines Deichbruchs. Die bedingte Wahrscheinlichkeit eines Versagens ergibt sich somit zu $P(PW|HQ_{100} \cap DB) = P(PW) = 6.5E-05$.
- Ein Einstau des Pumpwerks aufgrund des HQ_{100} und des Deichbruchs führt zu einem Pumpwerksausfall. Die bedingte Wahrscheinlichkeit eines Pumpwerksausfall ergibt sich somit zu $P(PW|HQ_{100} \cap DB) = 1$.

Durch die Unabhängigkeit der Einzelereignisse bzw. durch die Verwendung bedingter Wahrscheinlichkeiten berechnet sich die Szenarioeintrittswahrscheinlichkeit $P(\text{Szenario})$ nach:

$$(3) P(\text{Szenario}) = P(HQ_{100}) * P(DB | HQ_{100}) * P(PW | HQ_{100} \cap DB)$$

Dementsprechend ergeben sich für die beiden Fälle Ereigniseintrittswahrscheinlichkeiten von $6.5E-7 \text{ a}^{-1}$ bzw. $1.0E-2 \text{ a}^{-1}$

4.2 Berechnung des Schadens

Grundlage für die Berechnung des Schadens ist die Bestimmung der maximalen Überflutungsfläche und –höhe. In Abbildung 5 ist die Überschwemmungsfläche für das in Kapitel 4.1 definierte Szenario dargestellt. Bei maximalen Einstautiefen von bis zu 4 m wird auch das erhöht liegende Pumpwerk ca. 1 m eingestaut. Nicht nur wegen dieses Einstaus, sondern auch wegen der zu erwartenden hohen Fließgeschwindigkeit ist ein Ausfall bzw. eine starke Beschädigung des Pumpwerks hochwahrscheinlich. Die Eintrittswahrscheinlichkeit für dieses Szenario kann somit nach Kapitel 4.1 mit $1.0E-2 \text{ a}^{-1}$ angegeben werden. In Abbildung 5 wird darüber hinaus deutlich, dass dem Kanalnetz eine besondere Bedeutung zu kommt. Obwohl es sich nach dem Höhenmodell bei den Gebieten nördlich und südlich des Gewässers um unabhängige Polder handelt, kommt es alleine aufgrund des Kanalnetzes zu einem Einstau des nördlichen Polders mit Überflutungshöhen bis zu 1.5 m.

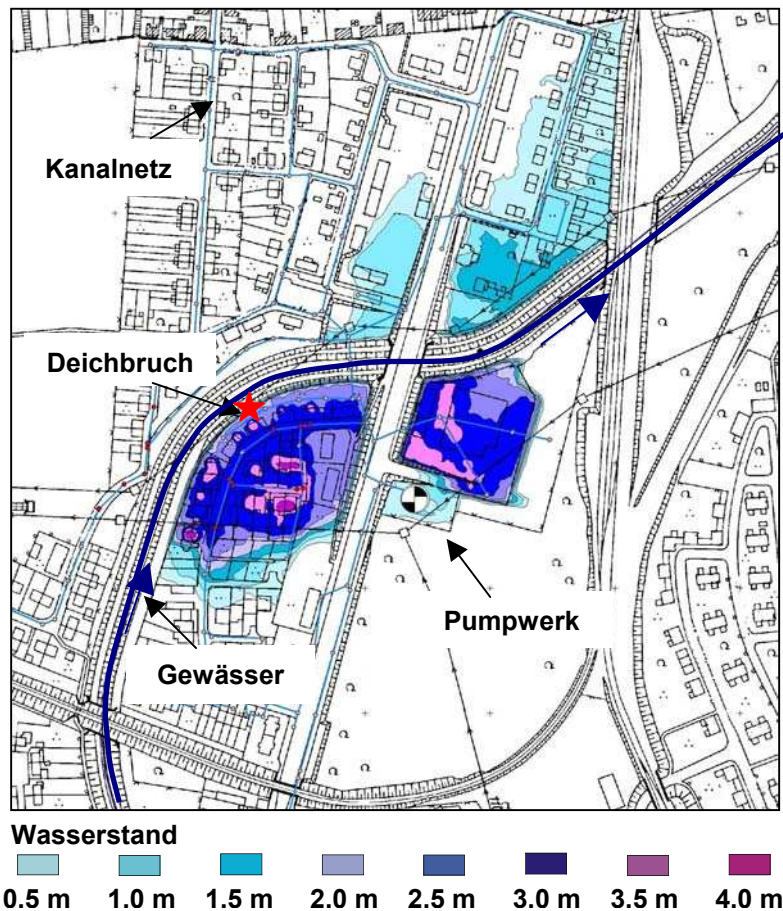


Abbildung 5: Überflutungsfläche bei einem HQ₁₀₀ mit gleichzeitigem Deichbruch und Pumpwerksausfall

Basierend auf diesen Ergebnissen wurde für jedes überflutete Objekt der durchschnittliche Vermögenswert sowie aus der Überflutungshöhe mit Hilfe einer Schadensfunktion der tatsächliche Schaden ermittelt. Für das oben beschriebene Szenario ergibt sich so ein Schaden von ca. 700.000 € (ohne Pumpwerks- und Deichertüchtigung).

4.3 Risikobewertung und -management

Für die einzelnen Szenarien/Ereignisabläufe sind die Eintrittswahrscheinlichkeit H [a^{-1}] und die mögliche Schadenshöhe S [€] ermittelt worden. Die einzelnen Ergebnisse sind in einem H - S -Diagramm in doppelt logarithmischer Darstellung zusammengefasst (Abb. 6). Zur Bewertung kann die so genannte Akzeptanzlinie hinzugezogen werden, die dem Gedanken der Verhältnismäßigkeit Rechnung trägt und Betriebs- und Investitionskosten mitberücksichtigt. Da bei einer Risikoanalyse eine Reihe von Annahmen getroffen werden müssen, wird ein entsprechender Ermessensspielraum um die Akzeptanzlinie definiert.

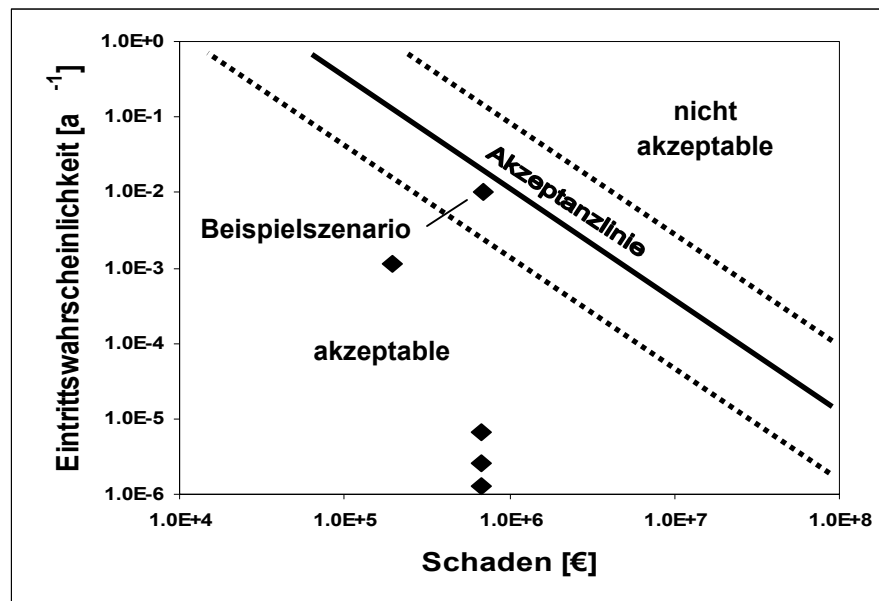


Abbildung 6: Hochwasserrisiko der berechneten Szenarien

Aus Abbildung 6 wird deutlich, dass die Risiken aller Szenarien mit Ausnahme des Beispielszenarios deutlich im akzeptablen Bereich liegen. Für dieses im Übergangsbereich liegende Szenario wurden Maßnahmen untersucht, da für diesen Ereignisablauf darüber hinaus durch Einstauhöhen von bis zu 4 m eine ernsthafte Bedrohung für die Leib und Leben besteht. Die daraus resultierenden Handlungsempfehlungen (überströmbare Auslegung des Deichs, Reduzierung der Abflüsse im Gewässer durch parallelen Q_{\max} -Kanal, Gewährleistung der Einstausicherheit des Pumpwerks) konnten teilweise bereits in die laufenden Planungen integriert werden und stellen somit einen integralen Bestandteil des Hochwasserschutzes dar.

5 Fazit

Im Rahmen einer Pilotstudie konnten potenzielle Schwachstellen der geplanten und vorhandenen wasserwirtschaftlichen Anlagen in einem Nebenlauf Einzugsgebiet der Emscher (Pumpwerke, Deiche, Rückhaltebecken, Brücken) mit Hilfe von Gefahren-, Zuverlässigkeits- und Ereignisablaufanalysen identifiziert und die entsprechenden Versagenswahrscheinlichkeiten sowie das sich daraus ergebende Überflutungsausmaß und Schadenspotenzial berechnet werden. Die aus der Pilotstudie gefolgerten Handlungsempfehlungen konnten bereits in die laufenden Planungen integriert werden und stellen somit einen integralen Bestandteil des Hochwasserschutzes dar. Durch die vergleichbaren Analysen der Hoch-

wasserschutzeinrichtungen kann darüber hinaus eine wirtschaftliche Abwägung von Maßnahmen zum Hochwasserschutzes im Rahmen des Emscherumbaus erreicht werden.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass die angewandte Methodik, basierend auf einer hydrologischen Gebietsmodellierung, einer hydrodynamischen Kanalnetzsimulation sowie eines 1- Dimensionalen Strömungsmodell in Verbindung mit einem Geographischen Informationssystem, sehr gut geeignet ist, das Überflutungsmaß sowie den daraus resultierenden Schaden zu ermitteln. Um jedoch der Dynamik des Überflutungsprozesses besser gerecht werden zu können, wird zukünftig untersucht, in wie weit eine direkte Kopplung eines 2-D Strömungsmodells mit dem Kanalnetzmodell zu genaueren Überflutungsflächen und -höhen führt. Erste Ergebnisse dazu stehen in Kürze zur Verfügung.

6 Literatur

- DHI (2003): MOUSE, User Guide Mouse 2003, DHI Water & Environment, Horsholm, Dänemark 2003
- DIN 25419 (1985): Ereignisablaufanalyse: Verfahren, graphische Symbole und Auswertung, Beuth Verlag, Berlin 1985
- DIN 25424, Teil1 (1981): Fehlerbaumanalyse: Methoden und Bildzeichen, Beuth Verlag, Berlin 1981
- DIN 25424, Teil 2 (1990): Fehlerbaumanalyse: Handrechenverfahren zur Auswertung eines Fehlerbaums, Beuth Verlag, Berlin 1990
- DIN 25448 (1990): Ausfalleffektanalyse (Fehler Möglichkeits- und Einfluss-Analyse), Beuth Verlag, Berlin 1990
- DIN VDE 3100, Teil 2 (1987): Allgemeine Leitsätze für das sicherheitsgerechte Gestalten technischer Erzeugnisse; Begriffe der Sicherheitstechnik; Grundbegriffe, Beuth Verlag, Berlin 1987
- Emschergenossenschaft (2002): Flussgebietsplan Emscher, Emschergenossenschaft, Essen 2002
- ESRI (2001): What is ArcGIS, ESRI, Redlands, USA 2001.
- Gesellschaft für Reaktorsicherheit (1980): Deutsche Risikostudie, Kernkraftwerke, Fachband 3, Zuverlässigkeitsgrößen und Betriebserfahrungen, Verlag TÜV Rheinland, Köln 1980
- Hydrotec (2003): Niederschlag-Abfluss-Modell NASIM, Version 3.2, Hydrotec GmbH Aachen 2003
- Hydrotec (2002): JABRON 6.2, Benutzerhandbuch, Hydrotec GmbH Aachen 2002
- Kiese, M. und B. Leineweber (2001): Risiko einer Küstenregion bei Klimaänderun. Ökonomische Bewertung und räumliche Modellierung des Schadenspotenzials in der Unterweserregion. Hannoversche Geographische Arbeitsmaterialien, 25, Universität Hannover, Abteilung Wirtschaftsgeographie, Hannover 2001

- Schmidtke, R.F. (1999): Hochwasserschadenspotenziale. Internationales Symposium „Extreme Naturereignisse und Wasserwirtschaft – Niederschlag und Abfluss“, Heft 5, S. 127-138, 1999
- Wolff, T.F. (1999): Evaluating the reliability of existing levees. In: U.S. Army Corps of Engineers: Risk-based analysis in geotechnical engineering for support of planning studies, ETL 1110-2-556, Appendix B, 1999

Autoren:

Dipl.-Hydr. Steffen Bold

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.Ing. Ekkehard Pfeiffer

Emscher-genossenschaft/Lippeverband
Technisches Hochwassermanagement
Königswall 29
D 44137 Dortmund

Emscher-genossenschaft/Lippeverband
Technisches Hochwassermanagement
Königswall 29
D 44137 Dortmund

Tel.: ++49 – 231 – 9151240
Fax: ++49 – 231 – 9151149
E-Mail: steffen.bold@eglv.de

Tel.: ++49 – 231 – 9151279
Fax: ++49 – 231 – 9151149
E-Mail: epfeiffe@eglv.de