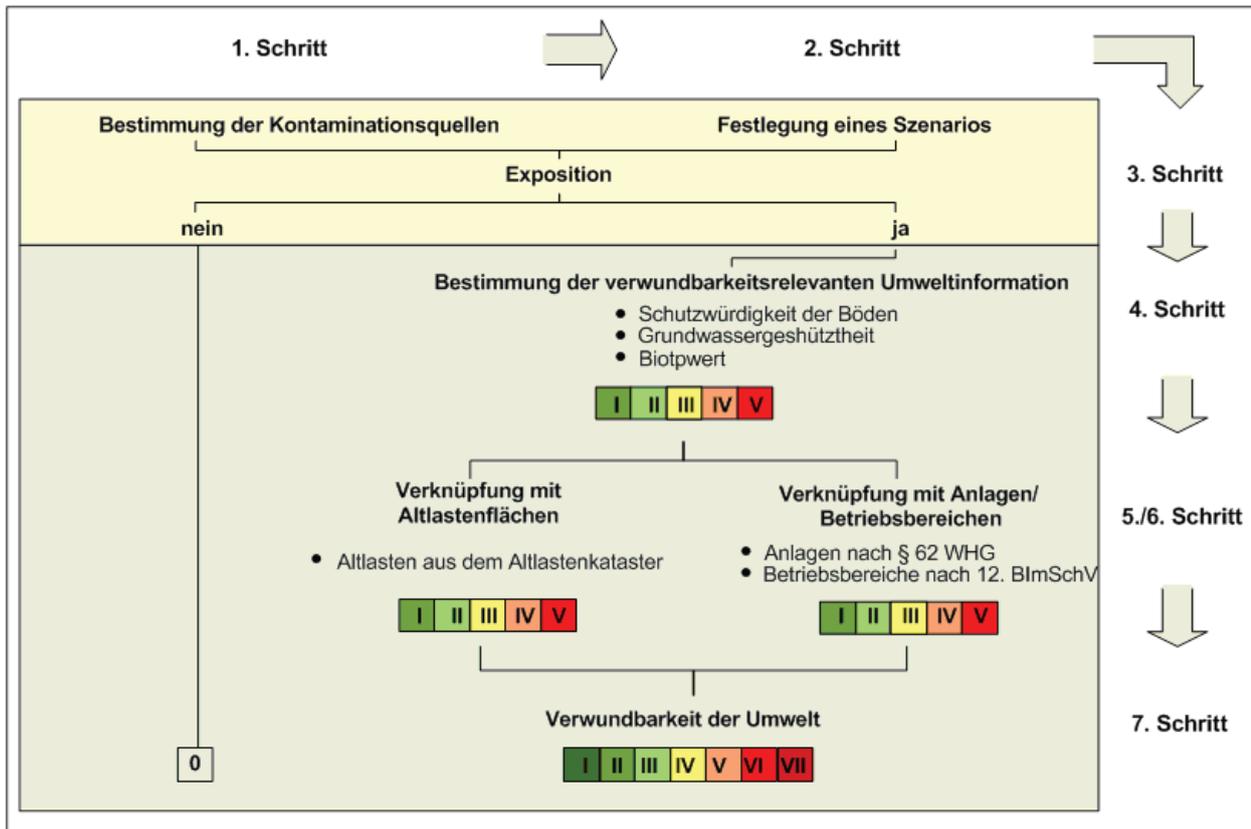


# HALLESCHES JAHRBUCH FÜR GEOWISSENSCHAFTEN



**KATHLEEN MEISEL**

**Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber  
Hochwasserereignissen – eine Untersuchung auf  
kommunaler Ebene**

**BEIHEFT 27**



**HALLE (SAALE) 2012**



# HALLESCHES JAHRBUCH FÜR GEOWISSENSCHAFTEN

Herausgeber

Institut für Geowissenschaften und Geographie  
der Martin - Luther Universität Halle-Wittenberg

G. BORG K. FRIEDRICH M. FRÜHAUF  
C. GLÄSSER H. HEINISCH W. KÜHLING C. LEMPP  
H. PÖLLMANN K.-H. SCHMIDT W. THOMI P. WYCISK

Schriftleitung

D. MERTMANN T. DEGEN S. STÖBER

---

## BEIHEFT 27

Halle (Saale) 2012

Institut für Geowissenschaften und Geographie  
der Martin - Luther Universität Halle-Wittenberg



## **Titelbild / Frontpage**

Schematische Darstellung des Verfahrens zur Ermittlung der Umweltverwundbarkeit gegenüber Hochwasserereignissen.

### **Anschrift von Herausgebern und Schriftleitung:**

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg  
Institut für Geowissenschaften und Geographie  
Von Seckendorff - Platz 3/4  
D-06120 Halle (Saale)  
Tel.:  
e-mail: [hjg@geo.uni-halle.de](mailto:hjg@geo.uni-halle.de)

### **Schriftleitung:**

D. Mertmann T. Degen S. Stöber

---

**ISSN 2193-1313**

© 2012 im Selbstverlag des Institut für Geowissenschaften und Geographie der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg  
Alle Rechte vorbehalten

# Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Hochwasserereignissen – eine Untersuchung auf kommunaler Ebene.

KATHLEEN MEISEL

<sup>1</sup>INSTITUT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN & GEOGRAFIE, MARTIN-LUTHER-UNIVERSITÄT, VON-SECKENDORFF-PLATZ 3-4, 06120 HALLE (SAALE)

**Schlüsselwörter:** Hochwasserereignisse, GIS-basierte Bestimmung der Umweltverwundbarkeit

**Keywords:** Flood events, GIS-based calculation of environmental vulnerability

## Zusammenfassung

Bedingt durch den globalen Klimawandel werden Hochwasserereignisse mit hoher Wahrscheinlichkeit intensiver und häufiger. In jüngster Zeit werden für einen gezielten Hochwasserschutz zunehmend Verwundbarkeitsanalysen durchgeführt. Meist steht dabei die Verwundbarkeit der Gesellschaft im Fokus. Diese Arbeit widmet sich der Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Hochwasserereignissen. Betrachtet wird ausschließlich die Verwundbarkeit gegenüber potenziellen Schadwirkungen aus ungesicherten Kontaminationsquellen. Es wird ein Verfahren vorgestellt, mit dem unter Anwendung der Systemtheorie diese Verwundbarkeit in urbanen Räumen ermittelt werden kann. Dieses wissenschaftlich hergeleitete Verfahren wird danach in einen Praxisleitfaden, der eine GIS-basierte Schritt für Schritt-Anleitung zur Bestimmung der Umweltverwundbarkeit darstellt, überführt. Da dieses Verfahren auf Daten basiert, die üblicherweise in den Kommunen vorliegen, ist eine Übertragbarkeit auf alle Kommunen gegeben.

## Abstract

Due to global climate change, there is a high probability that flood events will become more acute and more frequent. In recent times, vulnerability analyses have increasingly been carried out for targeted flood protection. Generally, the vulnerability of society is the focus in such analyses. This study addresses the vulnerability of the environment to flood events. It exclusively examines vulnerability regarding potential harmful effects from insecure sources of contamination. A method is presented by which this vulnerability in urban spaces can be determined using system theory. This scientifically derived method then leads into practical guidelines that represent GIS-based, step-by-step instructions for calculating environmental vulnerability. Since this method is based on data that is generally available in municipalities, it is possible to apply it to all municipalities.

## 1. Danksagung

Das Forschungsprojekt, innerhalb dessen die Promotion entstand, startete bereits im September 2006. Seit dem sind nun fast 5 Jahre vergangen, in denen bedingt durch Elternzeit und Arbeitswechsel die Promotion zeitweise ruhte. Ich möchte mich vor allen bei denen bedanken, die diese Arbeit in der ganzen Zeit treu begleitet haben und jederzeit für Fragen und Diskussionen zur Verfügung standen. Mein besonderer Dank für diese Unterstützung gilt deshalb Professor Dr. Wilfried Kühling und Dr. Christian Hildmann. Neben den inhaltlichen Anregungen, waren es auch viele persönliche Gespräche, die dazu geführt haben, dass ich mich in dem Fachgebiet Raum- und Umweltplanung sehr wohl und deshalb auch zusätzlich motiviert gefühlt habe.

Daneben gilt mein Dank vor allem meinem Mann und meinen Eltern, die mich stets motiviert haben, die Promotion zur Vollendung zu bringen und die mir gerade nach Ablauf der Projektlaufzeit soviel Freiraum geschaffen haben neben den Herausforderungen des Alltages die Promotion auch abzuschließen.

Mein Dank gilt auch den Kollegen der UNU – Institute for Environment and Human Security, mit deren Hilfe und Zusammenarbeit die vorliegende Arbeit innerhalb des Forschungsverbundes erst inhaltlich soweit reifen konnte. Hier sind vor allem Susanne Lenz, Susanne Krings und Jörn Birkmann zu nennen. Claudia Bach möchte ich dafür danken, dass sie mir, als es um die Veröffentlichungen der Projektinhalte ging, formal unter die Arme gegriffen hat. Die unkomplizierte Zusammenarbeit hat sehr viel Spaß gemacht.

Ich möchte mich auch bei denen bedanken, die die Datengrundlage für die Promotion geliefert haben, zum einen in Form der Experteninterviews und zum anderen durch Übergabe von digitalen Umweltdaten. Hier sind das Umweltamt der Landeshauptstadt Dresden, das Umwelt- und Verbraucherschutzamt der Stadt Köln, das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, die Bezirksregierung Köln und das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen zu erwähnen. Mein besonderer Dank gilt den Mitarbeitern der benannten Institutionen, die sich bei den Experteninterviews sehr viel Zeit genommen und sich die Mühe gemacht haben mit mir zu diskutieren. Die geführten Gespräche waren für den Entwicklungsprozess dieser Arbeit ganz essentiell.

<b>Inhalt</b>	V
Abkürzungsverzeichnis	VI
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Zielsetzung	1
1.3 Untersuchungsgebiete	2
2 Theorie	2
2.1 Verwundbarkeitskonzepte	2
2.1.1 Der Begriff Verwundbarkeit	2
2.1.2 Konzept der Verwundbarkeit	3
2.2 Systemtheorie & Kybernetik	7
3 Anwendung der theoretischen Grundlagen	10
3.1 Anwendung der Verwundbarkeitskonzepte	10
3.2 Anwendung der Systemtheorie & Kybernetik	12
3.3 Definition des Begriffes Umwelt	13
3.4 Definition der Verwundbarkeit der Umwelt	15
4 Methodische Grundlagen	16
4.1 Angewandte methodische Techniken	16
4.1.1 Literaturrecherche	16
4.1.2 Experteninterviews	17
4.1.3 Kriterien/Indikatoren	18
4.1.4 Bewertungsverfahren (Verfahren der logischen Verknüpfung)	18
4.2 Datengrundlagen	19
5 Herleitung des Verfahrens zur Bestimmung der Verwundbarkeit in Kommunen	20
5.1 Verwundbarkeitskonzept	20
5.2 Verwundbarkeitsmodell	22
5.3 Systemmodell	22
5.4 Bewertung & Aggregation	26
5.4.1 Bestimmung der verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation	26
5.4.2 Bewertung der Schadwirkung potenzieller Kontaminationsquellen	31
5.4.3 Bestimmung der Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Altlasten	32
5.4.4 Bestimmung der Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Anlagen/Betriebsbereiche	32
5.4.5 Bestimmung der Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Kontaminationsquellen	33
5.5 Kommunale Vergleichsindikatoren	35
6 Bestimmung der Verwundbarkeit der Umwelt in Kommunen gegenüber Hochwasserereignissen am Beispiel von Köln	35
6.1 Verfahren zur Ermittlung der Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Hochwasserereignissen	35
6.1.1 Ablaufschema	36
6.1.2 Verwundbarkeitsklassen	37
6.1.3 Durchführung der Verwundbarkeitsabschätzung	37
6.2 Betrachtung der Verwundbarkeit einzelner Umweltbereiche	54
6.2.1 Ermittlung der Verwundbarkeit des Bodens und des Grundwassers gegenüber der Kontamination durch Altlasten	55
6.2.2 Ermittlung der Verwundbarkeit des Bodens und der Biotope gegenüber Kontaminationen aus Anlagen/Betriebsbereichen	57

7	Handlungsempfehlungen zur Reduktion der Verwundbarkeit	65
8	Schlussbetrachtung	71
	Abbildungsverzeichnis	74
	Literaturverzeichnis	76

## Abkürzungsverzeichnis

<b>Abkürzung</b>	<b>Erklärung</b>
Abb.	Abbildung
AG	Aktiengesellschaft
ARGE	Arbeitsgemeinschaft für die Reinhaltung der Elbe
ARL	Akademie für Raumforschung und Landesplanung
BBC	Borgardi, Birkmann, Cardona
BBK	Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe
BBodSchV	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung
BMI	Bundesministerium des Innern
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BUND	Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V.
d. h.	das heißt
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
et al.	et alii, et aliae
EU	Europäische Union
f, ff	folgende
GIS	Geoinformationssystem
HdUVP	Handbuch der Umweltverträglichkeitsprüfung
HQ	höchste Abflussmenge innerhalb eines Beobachtungszeitraums
i. d. R	in der Regel
ISDR	International Strategy for Disaster Reduction
l.	links
LfUG	Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie
m.	Mitte
r.	rechts
u.a.	unter anderem
UNDP	United Nations Development Programme
UVPG	Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung
VAwS	Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen
vgl.	vergleiche
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation

Hochwasser stellt für viele Kommunen in Deutschland eine ernst zu nehmende Gefahr dar. Bedingt durch den globalen Klimawandel werden solche Ereignisse mit hoher Wahrscheinlichkeit intensiver und häufiger. In den letzten Jahrzehnten konzentrierte sich der Hochwasserschutz auf bauliche Maßnahmen wie Dämme oder mobile Schutzanlagen. Extreme Hochwasser wie das Elbehochwasser 2002 konnten jedoch durch diese Maßnahmen nicht gestoppt werden. Die Schadensbilder sind bekannt: betroffene Menschen verloren oder bangten um ihr Hab und Gut oder sogar um ihr Leben. Gebäude und kulturelle Werte wurden zerstört. Um bei Hochwasserereignissen gezielter zu handeln und um diesen Ereignissen besser vorbeugen zu können, werden zunehmend Verwundbarkeits- bzw. Risikoanalysen durchgeführt. Bei den Konzepten der Verwundbarkeit wird i. d. R. über die Exposition, die spezifische Anfälligkeit und Bewältigungsmöglichkeiten der im Fokus stehenden Schutzobjekte eine Abschätzung deren individuellen Verwundbarkeit vorgenommen, die im Vergleich zum baulichen Hochwasserschutz an den Schutzobjekten selbst ansetzt und somit einen gezielten Hochwasserschutz ermöglichen soll. Bisher blieben diese Konzepte jedoch sehr abstrakt und theoretisch.

Mit dem Ziel, die bestehenden sehr abstrakt bzw. überregional formulierten Verwundbarkeitskonzepte für urbane Räume zu operationalisieren und damit eine Grundlage für Entscheidungsträger in Politik und Planung für einen verbesserten Hochwasserschutz vor Ort zu liefern, wurde 2006 ein Forschungs-vorhaben mit dem Titel „Indikatoren zur Abschätzung von Vulnerabilität und Bewältigungspotenzialen am Beispiel von wasserbezogenen Naturgefahren in urbanen Räumen“ vom Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) in Auftrag gegeben. Unter der Federführung des Institute for Environment and Human Security (UNU-EHS) und unter Beteiligung der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR), der Hochwasserschutzzentrale Köln, der Stadt Köln und des Umweltamtes der Landeshauptstadt Dresden wurden für die Bereiche Kritische Infrastrukturen, Bevölkerung/Soziales, Wirtschaft und Umwelt Kriterien bzw. Indikatoren zur Bestimmung der Verwundbarkeit in urbanen Räumen abgeleitet und für die Städte Köln und Dresden beispielhaft angewendet. Als Resultat des Forschungsprojektes erschien 2010 in der Schriftenreihe des BBK „Praxis im Bevölkerungsschutz“ ein Leitfaden für die praktische Anwendung in Kommunen und 2011 in der Schriftenreihe des BBK „Forschung im Bevölkerungsschutz“ der Forschungsendbericht (BBK 2010; BBK 2011).

Als Grundlage für die eingereichte Arbeit dienten die von der Autorin vorgenommenen Untersuchungen zur Verwundbarkeit der Umwelt innerhalb des genannten Forschungsprojektes. Der Bereich Umwelt wurde für das Forschungsprojekt als zu untersuchender Schlüsselbereich ausgewiesen, da der Frage, ob das Hochwasser an sich zu Schäden in der un bebauten Landschaft und den dort lebenden Tiere und Pflanzen führt, welche Auswirkungen Kontaminationen dort haben, nur wenige Arbeiten nachgehen und wenn dann in sehr sektoraler und eingegrenzter Weise (z. B. Böhme et al 2005, Geller et al 2004, LfUG 2004, Müller & Yahya 1992, Yahya 1995). Der Fokus bisheriger Forschungsprojekte, die die Verwundbarkeit gegenüber Naturereignissen zum Thema hatten, lag auf der Bevölkerung und dem Siedlungsbereich (z. B. Bankoff 2003, Blaikie et al 1994, Cannon et al 2005, Cutter et al 2000 & 2003, Wisner et al 2004).

Aus diesem Grund widmet sich die vorliegende Arbeit dem Versuch die Auswirkungen eines Hochwassers auf die Umwelt zu beschreiben und ein Verfahren zu entwickeln, mit dem die Verwundbarkeit der Umwelt über konkrete Kriterien auf kommunaler Ebene abgeschätzt werden kann.

## 1.2 Zielsetzung

In der vorliegenden Arbeit soll vor dem beschriebenen Hintergrund zunächst ermittelt werden, ob und in

welchen Fällen die Umwelt gegenüber Hochwasserereignissen verwundbar ist. Im Falle einer bestehenden Verwundbarkeit, besteht das Ziel darin ein Verfahren zu entwickeln, dass die bestehenden abstrakten Verwundbarkeitskonzepte soweit über Kriterien operationalisiert, dass die Verwundbarkeit der Umwelt auf kommunaler Ebene abgeschätzt werden kann. Das Verfahren soll dennoch so abstrakt sein, dass es in jeder Kommune angewendet werden kann. Die Kommunen sollen mit diesem Verfahren ein Instrument an die Hand bekommen, mit dem sie gezielt Hochwasserschutz zur Vorbeugung von Umweltschäden betreiben können.

Dabei besteht das Ziel darin, auf der einen Seite ein transparentes, relativ einfaches nachvollziehbares Instrument für Kommunen (auch kleinere Kommunen mit schlechterer Datenbasis) zu entwickeln, auf der anderen Seite soll dieses Instrument ausgehend von dem genannten Ziel methodisch wissenschaftlich abgeleitet werden. Diese Ableitung von konkreten Kriterien bzw. Indikatoren zur Bestimmung der Verwundbarkeit der Umwelt auf kommunaler Ebene soll mit Hilfe einer systemischen Herangehensweise durchgeführt werden. Eine solche Herangehensweise beruht auf den Grundlagen der Systemtheorie. Demnach soll das möglicherweise verwundbare Verhalten der Umwelt gegenüber einem Hochwasserereignis nicht isoliert und als lineare Kausalkette, sondern als Reaktion eines komplexen und vernetzten Wirkungsgefüge betrachtet werden (siehe 2.2). Daneben soll die systemische Herangehensweise auch dazu dienen, Handlungsempfehlungen zur Reduktion der Verwundbarkeit der Umwelt abzuleiten.

### 1.3 Untersuchungsgebiete

Als Fallbeispiele einer kleinräumigen Betrachtung der Verwundbarkeit der Umwelt dienen die Kommunen Dresden und Köln. Da Köln in den Jahren 1993, 1995 schwer von Rheinhochwassern und Dresden 2002 schwer vom Elbehochwasser betroffen waren, bestand in diesen Kommunen ein großes allgemeines Interesse darin ihre Verwundbarkeit zu ermitteln. Da Dresden zudem Kontaminationen mit schwerwiegenden Folgen für Grundwasser und Boden befürchtete, waren die Kommunen auch im Speziellen an einem Verfahren zur Abschätzung der Verwundbarkeit der Umwelt interessiert. Die folgende Abbildung zeigt beide Städte unter Hochwassereinfluss (siehe Abb. 1).

## 2 Theorie

### 2.1 Verwundbarkeitskonzepte

Um die bestehenden abstrakten oder überregional formulierten Verwundbarkeitskonzepte mit dem Ziel ein Verfahren zur Abschätzung der Verwundbarkeit der Umwelt auf kommunaler Ebene zu entwickeln, zu operationalisieren, sollen im nachfolgenden Abschnitt 2.1.1 zunächst unterschiedliche Definitionen des Begriffes der Verwundbarkeit und im Abschnitt 2.1.2 verschiedene Verwundbarkeitskonzepte vorgestellt und erläutert werden.

#### 2.1.1 Der Begriff Verwundbarkeit

Der in der Forschungslandschaft verwendete Begriff „vulnerability“ wird in Standardwörterbüchern nicht eindeutig übersetzt. Als Übersetzungen werden Vulnerabilität, Verwundbarkeit, Verletzbarkeit, Anfälligkeit, Ungeschützttheit, Schwachstelle, aber auch Schadenpotenzial angegeben. In der vorliegenden Arbeit wird durchgehend der Begriff Verwundbarkeit verwendet.

Es gibt in der Literatur sehr viele verschiedene Definitionen der Verwundbarkeit. Es ist ein Paradox, dass einerseits das Ziel besteht Verwundbarkeit messen zu wollen, aber andererseits Verwundbarkeit nicht einheitlich und präzise definiert ist (Birkmann, 2006: 11). Häufig wird der Begriff mit Anfälligkeit gleichgesetzt (EU Kommission, 2007; BMI 2008: 43). Nach aktuellen Forschungsansätzen greift dieses Verständnis aber zu

kurz. Demnach zählen neben Aspekten der Anfälligkeit auch Aspekte des Bewältigungspotenzials und der Exposition zur Verwundbarkeit (Birkmann 2006, 2008; Bohle 2001; Cardona et al 2005). Die bekanntesten Definitionen stammen zum einen von der International Strategy for Disaster Reduction (ISDR) 2004, in der Verwundbarkeit folgendermaßen definiert wird: Verwundbarkeit stellt sich durch die von den physischen, sozialen, ökonomischen und ökologischen Faktoren und Prozesse bestimmte Bedingungen dar, welche die Anfälligkeit einer Gemeinschaft gegenüber der Auswirkung einer Gefahr erhöhen. Eine andere bekannte Definition stammt vom United Nations Development Programme (UNDP) 2004, welche Verwundbarkeit als die menschlichen Bedingungen oder Prozesse, die aus den physischen, sozialen, ökonomischen und ökologischen Faktoren resultieren, welche die Wahrscheinlichkeit und das Ausmaß eines Schadens durch die Einwirkung einer gegebenen Gefahr bestimmt, definiert.

Diese Definitionen sind allerdings auf die Verwundbarkeit der Gesellschaft abgestellt. Da in der vorliegenden Arbeit der Fokus der Verwundbarkeitsbetrachtungen auf der Umwelt liegt, sollten speziell bestehende Definitionen einer Umweltverwundbarkeit vorgestellt werden. So wird z. B. in Villa & McLeod eine Begriffserklärung vorgenommen. Sie definieren die Umweltverwundbarkeit als Unfähigkeit eines Ökosystems Stresseinflüsse über die Dauer der Zeit zu tolerieren (Villa & McLeod, 2002: 338).

In diesem Abschnitt sollten nur einige Definitionen zur Verwundbarkeit allgemein und zur Verwundbarkeit der Umwelt im Speziellen vorgestellt werden. Die auf die Zielstellung der vorliegenden Arbeit angepasste Definition des Begriffes der Verwundbarkeit der Umwelt wird im Abschnitt 3.3 vorgenommen.

### 2.1.2 Konzept der Verwundbarkeit

Das Konzept der Verwundbarkeit gegenüber Naturgefahren ist ein relativ neues, interdisziplinäres sowie transdisziplinäres Konzept innerhalb der Risiko- und Katastrophenforschung. Das Verwundbarkeitskonzept hat sich aus den Sozialwissenschaften entwickelt und war die Antwort auf die reine gefahren-orientierte Wahrnehmung in den 70iger Jahren. Seit den 80er Jahren wurden Verwundbarkeitskonzepte dennoch stark von gefahren-orientierten Vorhersagestrategien basierend auf technischen Eingriffen zum Schutz dominiert (Birkmann, 2006: 11ff). Danach gab es verschiedene Diskussionslinien, die folgend anhand einiger Beispiele erläutert werden sollen.

#### Doppelstruktur der Verwundbarkeit nach Bohle

Bohle gliedert die Verwundbarkeit in eine interne und externe Verwundbarkeit. Die interne Verwundbarkeit besteht in der Fähigkeit die Auswirkungen eines Ereignisses zu bewältigen, ihnen zu widerstehen und sich zu erholen. Die externe Verwundbarkeit beinhaltet die Exposition gegenüber einer Gefahr, also das Ausgesetzt-



Abb. 1 Die Städte Köln (l.) und Dresden (m.) unter Wasser. Große Öllachen treiben im Hochwasser in Dresden im Stadtteil Laubegast (r.) (Bundesarchiv Köln; Dönitz; Böhme et al., 2005:30)

sein gegenüber externen Stressfaktoren. Wobei hier die Exposition die Bedeutung des reinen Ausgesetztsein als räumliche Definition übersteigt, es steht auch für soziale und institutionelle Eigenschaften einer Gesellschaft, die die Schutzlosigkeit erhöhen und damit potentiell das Schadensausmaß erhöhen (siehe Abb. 2). Besonders in den Sozialwissenschaften wird diese Doppelstruktur betont. Zum einen sind Gemeinschaften einer Gefahr ausgesetzt, zum andern besitzen sie die Bewältigungskapazität mit dieser Gefahr und dem Ereignis fertig zu werden. Ist die Bewältigungskapazität gering, können also die Gemeinschaften dem Ereignis nicht oder nur gering widerstehen, besteht eine hohe Verwundbarkeit. Damit betont das Verwundbarkeitskonzept die Verwundbarkeit als nachteilige schädliche Auswirkungen auf den Menschen und die soziale Umwelt auf ein von außen kommendes Ereignis oder Veränderung (Birkmann, 2006:19; Bohle 2001). Das bedeutet, dass der Mensch bzw. die Gemeinschaft und das Ereignis z. B. die globalen Umweltveränderungen wie zunehmende Hochwasser als getrennte Systeme betrachtet werden.

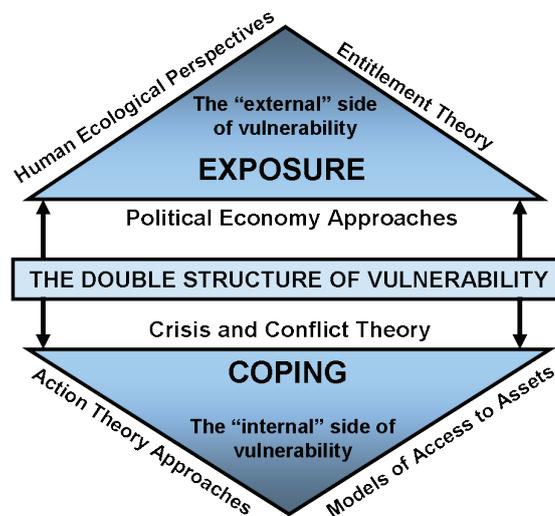


Abb. 2 Doppelstruktur nach Bohle (Birkmann, 2006: 19)

### Verwundbarkeitskonzept nach Turner et al.

Turner et al. haben ein breiteres Verständnis von Verwundbarkeit. Entstanden ist das Konzept aus der Nachhaltigkeitsforschung, in der die Fragen „Wer und was ist wo verwundbar gegenüber sich verändernden Umweltbedingungen und gesellschaftlichen Bedingungen. Was kann getan werden um die Verwundbarkeit zu reduzieren und wie können widerstandsfähigere und belastbare Gesellschaften entwickelt werden?“ im Fokus standen. Dabei ist die Verwundbarkeit des Mensch-Umwelt-Systems, also die Wechselwirkungen zwischen sozialen und ökologischen Bedingungen ein Kernpunkt der Nachhaltigkeitsforschungen (Birkmann, 2006: 26f; Turner et al, 2003: 8076f).

Das Konzept verdeutlicht, dass die Verwundbarkeit nicht nur in der Exposition von Gefahren oder Störungen besteht, sondern auch in der Anfälligkeit und Belastbarkeit exponierter Systeme. Die Exposition umfasst das Ausgesetztsein von Menschen, Firmen oder Staaten (verschiedene Ebenen möglich). Die Anfälligkeit beinhaltet die sozioökonomischen Eigenschaften sowie die ökologischen Bedingungen. Die Belastbarkeit umfasst sowohl die bestehende Bewältigungskapazität (z. B. die eigenen Möglichkeiten der Bevölkerung, staatlichen Maßnahmen), als auch die Reaktion auf Störungen (Todesfälle, wirtschaftliche Produktion, Beeinträchtigungen der Ökosystemfunktionen) und die Anpassungsstrategien (verändertes Verhalten der Bevölkerung, veränderte staatlichen Maßnahmen) (Turner et al, 2003: 8076f). Das Konzept ist raumübergreifend: es bildet die lokale, regionale und internationale Ebene ab, wobei deutlich wird, dass die Störungen konkret auf der lokalen Ebene wirken. Es wird auch deutlich, dass auf der lokalen Ebene Methoden entwickelt werden müssen, um die Verwundbarkeit zu ermitteln. Mit dem Konzept wird auch betont, dass die gesellschaftlichen und ökologischen Bedingungen die Störungen ergeben (im Gegensatz zum Konzept von Bohle, in dem die Störungen von außen kommen) und gleichzeitig die verschiedenen Anfälligkeiten und Belastbarkeiten der Bevölkerung,

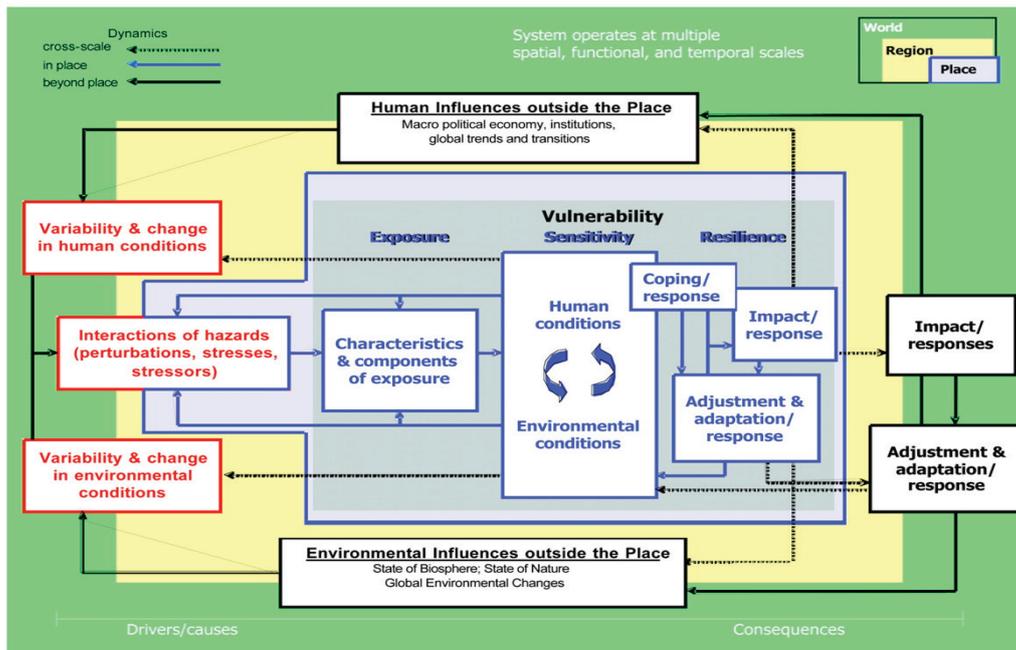


Abb. 3 Verwundbarkeitskonzept nach Turner et al. (2002: 8076)

der Wirtschaft, der Institutionen, der natürlichen Ressourcen und ihren Umweltfunktionen bestimmen (siehe Abb. 3) (Turner et al., 2003: 8076ff).

### BBC-Rahmenkonzept

Die Abb. 4 stellt das BBC-Konzept dar. Mit diesem Rahmenkonzept wird versucht, die Thematik der Verwundbarkeit in das Nachhaltigkeitskonzept zu integrieren. Es basiert auf einem Regelkreiskonzept, da z. B. mit vorsorgenden Maßnahmen (Versicherungen, Frühwarnsysteme und Katastrophen-management) die Verwundbarkeit gesenkt werden kann. Mit der Möglichkeit des Modells auf die Größe der Verwundbarkeit Einfluss zu nehmen, wird die Bedeutung der Verwundbarkeit als ein dynamischer Prozess betont (Birkmann, 2006, 35).

Das Konzept kann für verschiedene Gefahrentypen und die demgegenüber verwundbaren Bereiche soziales Umfeld, Wirtschaft und Umwelt angewendet werden. Die Bereiche entsprechen den drei Dimensionen der Nachhaltigkeit. Für diese drei Dimensionen sollte zunächst die Verwundbarkeit getrennt ermittelt werden. Der Fokus des Konzeptes liegt zwar auf der sozialen und ökonomischen Verwundbarkeit, dennoch war es den Autoren Bogardi, Birkmann und Cardona in Anlehnung an Turner et al. wichtig, die Umwelt als Lebensgrundlage der Menschheit zu integrieren. Die Umwelt stellt hierbei nicht nur die Sphäre dar, aus der die Naturgefahr stammt, sondern sie ist selbst gegenüber dem Ereignis verwundbar, vor allem dann, wenn es sich um Natur-Technik-Gefahren handelt, wenn z. B. eine Überschwemmung zu technischen Havarien führt und damit die natürlichen Ressourcen gefährdet (Birkmann, 2006, 35ff).

Im BBC-Framework wird zwischen Exposition, Verwundbarkeit und Bewältigungskapazität unterschieden. Auf der einen Seite bestehen die exponierten und verwundbaren Elemente und auf der anderen Seite deren Bewältigungskapazitäten, wobei sich die beiden Seiten teilweise überlappen. So kann z. B. im sozialen Bereich ein fehlendes soziales Netzwerk als höhere Verwundbarkeit betrachtet werden, gleichzeitig könnten fehlende soziale Netzwerke auch als mangelnde Bewältigungskapazität interpretiert werden (Birkmann, 2006, 35ff). Im Gegensatz zu den bereits erläuterten Konzepten wird in diesem Konzept die Verwundbarkeit eher als Anfälligkeit betrachtet, die neben der Exposition und der Bewältigungskapazität steht.

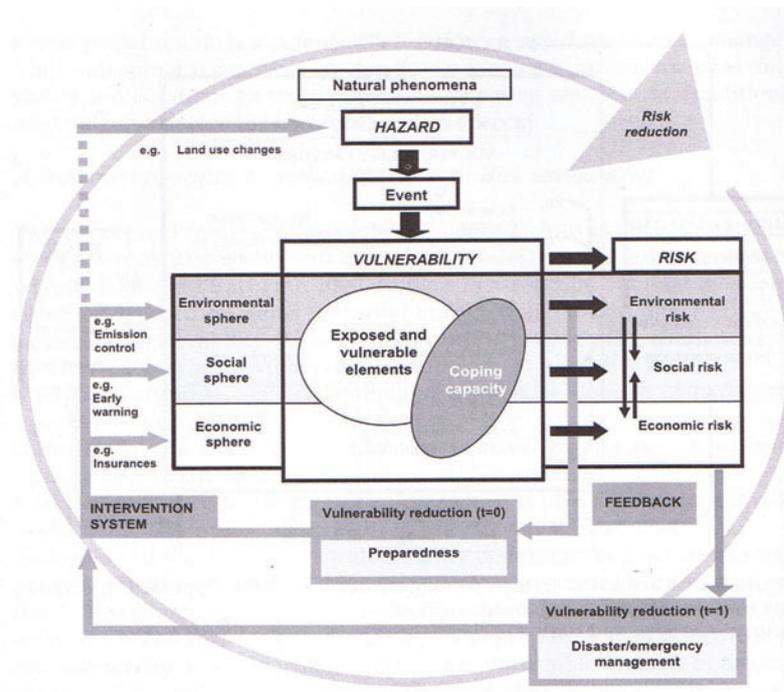


Abb. 4 BBC-Konzept (Birkmann, 2006: 35)

### Konzept der Verwundbarkeit der Umwelt nach Villa & McLeod

In diesem Konzept geht es allgemein um die Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber äußeren Einflüssen. Das Konzept stellt ein Verfahren bzw. einen methodischen Rahmen dar, mit dem Indikatoren entwickelt werden können, um die Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber äußeren Einflüssen auf Ebene von Staaten zu bestimmen und somit eine Vergleichbarkeit herzustellen. Die beiden Autoren begreifen die Verwundbarkeit der Umwelt als ein gesamtes System von Faktoren, die die Umwelt beeinflussen bzw. beeinträchtigen. Sie haben versucht, den methodischen Rahmen so abstrakt wie möglich zu formulieren, um einen großen Bereich möglicher Situationen und Systemkonzeptualisierungen abzudecken (Villa & McLeod, 2002: 336f).

Der methodische Rahmen beinhaltet im Wesentlichen drei Arbeitsschritte, die zur Ermittlung der Umweltverwundbarkeit durchgeführt werden müssen. Das sind die Erstellung des

- Verwundbarkeitsmodells
- Systemmodells
- Mathematischen Modells.

Innerhalb des Verwundbarkeitsmodells wird der Begriff der Verwundbarkeit in Abstimmung mit der Zielsetzung definiert und konkretisiert. Villa & McLeod definieren die Verwundbarkeit als Einschätzung der Unfähigkeit eines Ökosystems Stresseinflüsse über die Dauer der Zeit zu tolerieren. Sie unterteilen die Verwundbarkeit in eine innere und eine äußere Verwundbarkeit. Die innere Verwundbarkeit beinhaltet die innere ausgedrückte und die innere potenzielle Verwundbarkeit. Die innere ausgedrückte Verwundbarkeit umfasst den „Gesundheitszustand“ des Ökosystems und beschreibt wie intakt das betrachtete Ökosystem ist. Die innere potenzielle Verwundbarkeit bezieht sich auf die Fähigkeit des Systems sich nach Einfluss von Stressfaktoren wieder zu erholen. Die äußere Verwundbarkeit wird unterteilt in die ausgedrückte äußere Verwundbarkeit und die potenzielle äußere Verwundbarkeit. Die ausgedrückte äußere Verwundbarkeit beinhaltet die Exposition zu Stressfaktoren. Die potenzielle äußere Verwundbarkeit bezieht sich auf die Gefährdung, also auf die Wahrscheinlichkeit der Wirkung von Stressfaktoren (Villa & McLeod, 2002: 337f).

Das Systemmodell beschreibt die hierarchische Zerlegung eines Systems in seine Bestandteile, die Identifikation der wesentlichen Systemkomponenten und die Ableitung von Indikatoren. Durch eine hierarchische Zerlegung und die Ableitung von Indikatoren ist es möglich, verschiedene Systeme, die vor der Zerlegung nicht vergleichbar waren, vergleichbar zu machen. Die Zerlegung muss dabei so erfolgen, dass zum einen das gesamte komplexe Wirkungsgefüge des Systems wiedergegeben und dass es zum anderen so abstrakt gehalten wird, dass es nicht nur die ortstypische Situation wiedergibt, sondern auch auf andere Systeme übertragen werden kann. Die Erstellung eines Systemmodells an sich unterstützt den Prozess alle Komponenten und Wechselwirkungen eines Systems zu identifizieren (Villa & McLeod, 2002: 339).

Das mathematische Modell dient der Bewertung der Indikatoren und deren Aggregation zu einer Verwundbarkeitsaussage. Für die Bewertung ist eine Bewertungsskala notwendig, die zum einen genug Bewertungsstufen aufweist um den gesamten Wertebereich abzudecken und zum anderen eine verbale Beschreibung der Stufen noch ermöglicht. Die Bewertungsskala sei so zu wählen, dass die Begründ- und Erklärbarkeit für politische Entscheidungsträger nachvollziehbar ist. Daneben ist darauf zu achten, dass für eine erfolgreiche Aggregation, die Indikatoren einer gleichartigen Skalierung über die erlaubten Skalierungen bedürfen. Vor der Aggregation der Indikatoren müssen diese noch gewichtet werden. Die Gewichtung kann über die einzelne Betrachtung der Indikatoren und dessen Bedeutung im Gesamtkontext oder durch eine paarweise Gegenüberstellung vorgenommen werden. Villa & McLeod empfehlen die Gewichtung durch Expertenteams durchführen zu lassen (Villa & McLeod, 2002: 340ff).

### **Fazit**

Die Verwundbarkeitskonzepte sind sehr abstrakt formuliert. Sie sind aus verschiedenen Motivationen heraus entstanden (z. B. globaler Wandel, Verknüpfung der Vulnerabilität mit der Nachhaltigkeit). Die Definitionen und Konzepte von Verwundbarkeit sollten entsprechend der Zielstellung angepasst und konkretisiert werden. Die Zielstellung kann auf verschiedene Ebenen (z. B. national, regional, lokal) oder auf verschiedene Anwendungen (z. B. Methodenentwicklung, Anwendung in Staaten/Kommunen) abgestellt sein. Demnach sollten die Definitionen und das Konzept gewählt werden, die den Ansprüchen am ehesten gerecht werden. Aus diesem Grund werden die Bestrebungen, die verschiedenen Ansätze und Konzepte in einem universellen Konzept zu vereinigen wie z. B. in Füssel 2007 für die vorliegende Arbeit als nicht erstrebenswert erachtet. Das der vorliegenden Arbeit zugrunde gelegte Konzept der Verwundbarkeit wird im Abschnitt 3.1 erläutert. In diesem Abschnitt sollten zunächst die bestehenden Konzepte vorgestellt werden.

## **2.2 Systemtheorie & Kybernetik**

Da wie in Abschnitt 1.2 erwähnt, das Verfahren zur Bestimmung der Verwundbarkeit der Umwelt auf kommunaler Ebene auf systemische Art und Weise hergeleitet werden soll, wird in diesem Abschnitt die dafür zugrunde gelegte Systemtheorie in ihren Grundsätzen erläutert.

Der Name Systemtheorie wurde von Ludwig von Bertalanffys ins Leben gerufen, mit der Idee eines universellen, interdisziplinären Forschungsansatzes, der neben physikalischen und biologischen auch soziale Phänomene erklären soll (Krieger, 1998: 8). Das Wort System leitet sich aus dem griechischen „to systeme“ ab und bedeutet „etwas Zusammengeselltes, Geordnetes“ (Krieger, 1998: 12).

Die Unterscheidung bzw. die Differenz sind der Grundsatz des systemtheoretischen Diskurses. Systeme entstehen durch Unterscheidung. Unterscheidung bedeutet Abgrenzung. Zur Bildung eines Systems müssen also Elemente gegenüber anderen abgegrenzt werden. Dabei bilden Elemente, die bereits untereinander in Beziehung stehen und durch deren Ordnung eine Steuerung von Operationen und Prozessen ausgeübt werden kann, ein System. Die Abgrenzung erfolgt dort, wo zwischen Elementen keine oder nur sehr geringe Beziehungen bestehen. Durch die Abgrenzung eines Systems bildet alles das, was außerhalb des Systems liegt, die Umwelt.

Das System unterscheidet sich somit von seiner Umwelt. Die Umwelt bezieht sich immer individuell auf das System. Sie ist also immer nur die Umwelt, in Bezug auf ein bestimmtes System (Krieger, 1998: 11ff).

Mit der Entstehung des Systems ist eine Reduktion von Komplexität verbunden. Vor der Systembildung sind alle Elemente gleich (Urstoff). In diesem Urstoff kann jedes Element mit jedem anderen verknüpft werden. Er enthält deshalb die absolute Komplexität. Die Gleichwahrscheinlichkeit aller möglichen Verbindungen unter den Elementen wird als Chaos oder Entropie des Urstoffes bezeichnet. Die Abgrenzung eines Systems, die mit einer Selektion von Elementen, deren Verknüpfung und Steuerung einhergeht, bedeutet die Reduktion von Komplexität (Krieger, 1998:13). Allerdings kann Komplexität nur durch Herstellung von Komplexität reduziert werden. Die system-interne Komplexität, die bei der Abgrenzung von Systemen gebildet wird, ist aber immer weniger komplex als ihre Umwelt (Luhmann, 1967: 115).

Nach Luhmann sind Systeme immer funktional. Systeme sind Lösungen zur Reduktion von Komplexität (Luhmann, 1984: 47). Das bedeutet, dass der Grund dafür, dass es Systeme gibt, der ist, ein Problem zu lösen. Damit sind Systeme funktionale Gebilde und die Systemtheorie eine funktionalistische und nicht eine kausal erklärende Theorie (Krieger, 1998: 18).

Die von Systemen gebildete Ordnung aus der Unordnung kann als Selbstorganisation oder Emergenz bezeichnet werden. Die Ordnung eines Systems bedeutet, dass die Elemente des Systems auf Grund ihrer Eigenschaften relationiert, also miteinander verknüpft sind. Diese Ordnung kann auch als Organisation oder Struktur bezeichnet werden, die die Prozesse im System steuert (Krieger, 1998: 19f; Malik, 2006: 83). Ordnung bedeutet aber auch, dass Systeme auch Subsysteme beinhalten können, die hierarchisch geordnet sind (Jantsch, 1992: 65).

Systeme können ihre Struktur verändern und somit auf Störungen, einschränkende Bedingungen oder Impulse der Umwelt reagieren. Diese Lernfähigkeit wird als Anpassung an die Umwelt oder als Viabilität bezeichnet. Einige Systemtheoretiker sprechen aber von Strukturkopplung zwischen Systemen und der Umwelt. Passen sich Systeme über veränderte Strukturen nicht an die Veränderungen der Umwelt an, werden sie eliminiert. Sind Strukturänderungen radikal, so dass die komplette Organisation des Systems, also seine Identität betroffen ist, spricht man von Evolution (Krieger, 1998, S. 39ff). Bei der Evolution steigt die Komplexität der Struktur und der Funktion innerhalb des Systems (Laszlo, 1998: 61). Sie führt zur Differenzierung (Jantsch, 1992: 65).

Die Prozesse eines Systems zielen darauf ab, immer wieder einen Zustand zu erreichen, nämlich den Soll- oder Zielwert. Das System operiert immer nur so lange, bis dieser Zielwert erreicht ist. In diesem Sinne werden Systeme als zielgerichtet oder teleonomisch bezeichnet. Da Systemoperationen nur solange unternommen werden bis der Zielwert erreicht ist, das System also stabil in einem Gleichgewicht gehalten wird, werden diese System homöostatische Systeme genannt. Der Begriff der Selbsterhaltung oder Homöostase wurde von Walter Cannon 1939 geprägt. Er bezog sich dabei auf einen präzisen Regelungsmechanismus warmblütiger Tiere. Trotz der sich ändernden Bedingungen der Umgebung, halten sie ihre Körpertemperatur ebenso ihren Blutdruck konstant (Laszlo, 1998: 48). Dieses Regelkreisprinzip wird als kybernetische Selbststeuerung bezeichnet (Krieger, 1998: 26).

Das Forschungsgebiet der Kybernetik wurde von Norbert Wiener 1948 ins Leben gerufen. Kernelemente der Kybernetik ist die Analyse der Selbstregulation in lebenden Organismen und Maschinen, während sich die Systemtheorie allgemein auf die Interaktionen und Wechselwirkungen zwischen den Komponenten eines Systems konzentriert (Possekkel, 1999: 10f). Wiener hat als Beispiel der Kybernetik als erster die Rückkopplungsschleife eines Thermostates, der die Raumtemperatur reguliert, beschrieben. Die Raumtemperatur wird gleichmäßig gehalten, in dem im Thermostat die gewünschte Temperatur gespeichert ist

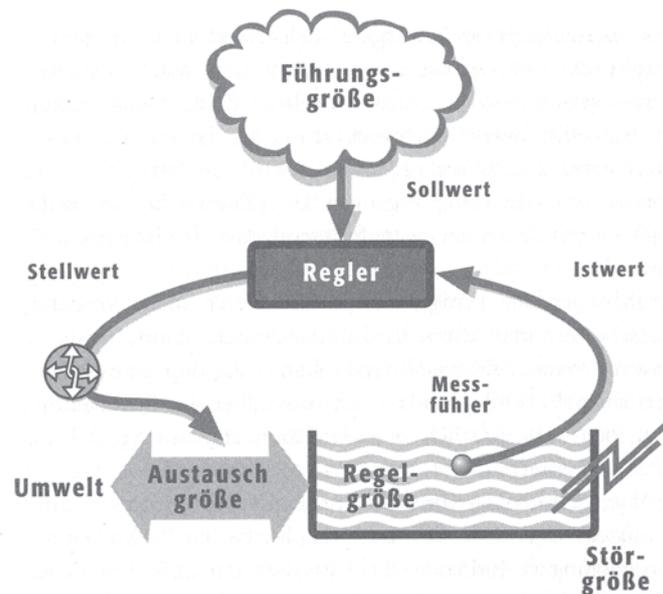


Abb. 5 Klassischer Regelkreis mit den gängigen kybernetischen Bezeichnungen (Vester, 2004: 43)

und bei Absinken der Raumtemperatur unter den gespeicherten Zielwert eine Apparatur die Zufuhr von Öl zur Beheizung erhöht bis die gewünschte Temperatur erneut erreicht wird (Wiener, 1961: 96f). Die kybernetische Selbststeuerung stellt sich in folgendem beschriebenen Regelkreis dar (siehe Abb. 5). Der Regelkreis besteht aus den Komponenten: Störgröße, Messfühler, Regelgröße, Istwert, Regler, Führungsgröße, Sollwert, Stellglied.

Der Regler misst über den Messfühler den momentanen Zustand der Regelgröße, den Istwert. Ist der Zustand durch einen Störfaktor verändert, weicht also der Istwert von einem von der Führungsgröße definierten Sollwert ab, gibt der Regler eine entsprechende Anweisung an ein Stellglied, die Störung zu beheben, d. h. den Istwert auf den gewünschten Sollwert zu „regeln“. Auf diese Weise ist das System mit sich selbst rückgekoppelt. Ein System, das nach dem Prinzip des Regelkreises funktioniert, ist somit in der Lage auftretende Störungen aufzufangen und selbstregulierend auszugleichen (Vester 2004: 43, 154f, Malik, 2006: 118). Über diesen beschriebenen negativen Rückkopplungsprozess stabilisiert sich das System nach der aufgetretenen Störung wieder (Krieger, 1998: 26; Malik, 2006: 384; Laszlo, 1998: 56; Moser, 2001: 216). Ein Beispiel für einen Regelkreis stellt der Mechanismus des Dichtestresses dar. Dieser sorgt dafür, dass rasch wachsende Populationen sich von einem gewissen Grenzwert ab selbst drastisch wieder auf eine geringere und damit überlebensfähige Dichte reduzieren. Auch das Gleichgewicht zwischen Raubtier und Beute wird durch selbstregulierende, die so genannte negative Rückkopplung in einem systemerträglichen Bereich gehalten (Vester, 2004: 72ff). Negative Rückkopplung steht für gegenläufige Rückkopplung und bedeutet, dass ein gemessener erhöhter Wert durch diese Kopplung verringert wird. Ein System benutzt die Rückmeldung über Erfolg oder Misserfolg dazu sein Verhalten derart zu korrigieren, dass es dem Zielwert näher kommt und es schließlich erreicht. Eine positive Rückkopplung bedeutet dagegen, dass sich ein erhöhter Wert durch die Kopplung weiter erhöht bzw. die Differenz zwischen Ist-Wert und Soll-Wert größer wird, sich das System also weiter aufschaukelt (Vester, 2004: 155; Malik, 2006: 385).

Bei der Betrachtung von realen Systemen ist es für Vester wichtig, die Störungen nicht auszuschalten, sondern sie gerade in ein System mit einzubeziehen. Als Beispiel dafür, führt er an, dass ohne frühen Kontakt mit Krankheitserregern sich das menschliche Immunsystem nicht entwickeln kann (Vester, 2004: 33). Es liegt also nah, in einem Regelkreis die Störung schon mit zu integrieren. Die Lebensfähigkeit eines Systems bzw. die Fähigkeit eines Systems zu überleben, richtet sich vorwiegend nach deren Fähigkeit zur kybernetischen

Selbststeuerung (Vester, 2004: 25f, 49). Das Paradigma des kybernetischen Systems ist nach Malik der lebende Organismus, der sich in ständiger Interaktion mit seiner Umwelt entwickelt, lernt und zu seinem Fließgleichgewicht mit seiner Umwelt kommt. Für Malik (2006: 80) sind Systeme demnach lebensfähig, wenn sie die Eigenschaften adaptiv, lernfähig und selbstregulierend besitzen. Systeme werden ständig mit der Komplexität der Umwelt konfrontiert. Das System ist laufend gezwungen sich mit seiner Umwelt und den von ihr ausgehenden Einflüssen, die sich in Art, Zahl und Intensität immer wieder verändern können, auseinander zu setzen, um seine Struktur, seine Funktionsweise und seine Identität aufrecht erhalten zu können (Malik, 2006: 170).

Nach Vester ist es für die Gesellschaft wichtig, über das lineare Denken hinweg zu kommen, die Komplexität bzw. die vernetzten Zusammenhänge der Welt zur Kenntnis zu nehmen und sie zu nutzen, um nachhaltig und evolutionär sinnvoll handeln zu können. Erst mit der Bereitschaft vernetzt zu denken, können systemimmanente Wirkungsbeziehungen deutlich werden, die vermutlich bei anderen Ansätzen, die der Komplexität des realen Geschehens nicht gerecht werden, unentdeckt blieben (Vester, 2004: 18ff, 37). Für Moser (2001: 48, 53) sind systembezogene Betrachtungen ebenfalls notwendig, um komplexe Sachverhalte praktisch vorstellbar und methodisch handhabbar zu machen. Sie ermöglichen die praktische Vorstellung von komplexen Wirkungsgefügen.

Das Problem liegt jedoch darin, dass für eine Systemerfassung jene Daten genutzt werden, die vorhanden sind. Das müssen aber nicht die Daten sein, die ein System repräsentieren. Zudem können qualitative Daten häufig nicht quantitativ erfasst werden und fehlen bei der Beschreibung von Systemen, das dazu führt, dass das System nicht richtig, sondern verzerrt abgebildet wird (Vester, 2004: 18ff).

Wie die Grundlagen der Systemtheorie auf die zu untersuchende Zielstellung angewendet werden, wird im Abschnitt 3.2 erläutert.

## 3 Anwendung der theoretischen Grundlagen

### 3.1 Anwendung der Verwundbarkeitskonzepte

Die im Abschnitt 2.1.2 vorgestellten und erläuterten Konzepte werden nun in diesem Kapitel hinsichtlich ihrer Eignung für die der Arbeit zugrunde liegenden Zielstellung geprüft.

Das Verwundbarkeitskonzept nach Bohle ist für die Ermittlung der Verwundbarkeit der Umwelt aufgrund der sozialen Ausrichtung wenig geeignet. Hier werden die Menschen und seine Bewältigungskapazitäten gegenüber Naturgefahren in den Vordergrund gestellt. Zudem werden die betroffene Gemeinschaft und das Naturereignis als getrennte Systeme aufgefasst, d. h. das Naturereignis wird nicht als Folge menschlichen Handelns angesehen.

Der Vorteil des Verwundbarkeitskonzeptes nach Turner et al. im Vergleich zur Doppelstruktur nach Bohle besteht darin, dass die Mensch-Umwelt-Beziehungen berücksichtigt und als Rückkopplung betrachtet werden. Dennoch liegt auch bei diesem Konzept der Fokus auf der sozialen Gemeinschaft. Die Umwelt an sich als verwundbare Komponente bleibt jedoch unberücksichtigt. Das Konzept eignet sich somit nicht für die Ermittlung der Umweltverwundbarkeit gegenüber Hochwasserereignissen, wobei der Aspekt der Mensch-Umwelt-Rückkopplung für die vorliegende Arbeit als Grundlage angewendet werden kann.

Das BBC-Konzept betont die Dynamik der Verwundbarkeit durch das zugrunde gelegte Regelkreiskonzept. Dass zudem die Mensch-Umwelt-Rückkopplung sowie die Umwelt als verwundbarer Bereich betrachtet werden, macht das Konzept für die vorliegende Arbeit interessant. Die Definition der Verwundbarkeit wird

jedoch von der Autorin als nicht zutreffend empfunden und deshalb nicht übernommen.

Der methodische Rahmen von Villa & McLeod zur Ermittlung der Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Einflüssen ist geeignet, die Umweltverwundbarkeit gegenüber Hochwasserereignissen zu bestimmen. Obwohl das abstrakt formulierte Konzept darauf abzielt, Indikatoren auf nationaler Ebene zu entwickeln, kann es jedoch auch angewendet werden, um Kriterien auf kommunaler Ebene abzuleiten. Während der methodische Rahmen übernommen wird, erfolgt jedoch eine eigene Definition der Verwundbarkeit der Umwelt (vgl. Kapitel 3.4). Das Verfahren von Villa & McLeod wird zudem innerhalb der vorliegenden Arbeit erweitert und verändert. Zum einen wird vor die Erstellung des Verwundbarkeits-, des System- und des mathematischen Modells, die Erarbeitung eines Verwundbarkeitskonzeptes gestellt. Innerhalb des Verwundbarkeitskonzeptes muss zunächst geprüft werden, ob überhaupt eine Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Hochwasserereignissen vorliegt. Ist das nicht der Fall so erübrigt sich eine Ermittlung der Verwundbarkeit. Besteht eine Verwundbarkeit der Umwelt, so stellt das Verwundbarkeitskonzept das gesamte Verfahren zur Ermittlung der Verwundbarkeit abstrakt dar, d. h. es umfasst abstrakt formuliert die Verfahrensschritte, mit denen eine Verwundbarkeitsaussage der Umwelt gegenüber Hochwasserereignissen generiert werden kann. Zum anderen erfolgt eine Erweiterung um einen vierten Verfahrensschritt. Dieser besteht darin, Handlungsempfehlungen zur Reduktion der Verwundbarkeit zu geben. Zudem erscheint es für das Projekt nicht sinnvoll, die Bewertung der Kriterien/Indikatoren und deren Zusammenführung zur Umweltverwundbarkeitsaussage als mathematisches Modell zu bezeichnen. Dieser Schritt wird einfach mit ‚Bewertung und Aggregation‘ betitelt (siehe Abb. 6).

Im Zuge der Erstellung des Verwundbarkeitsmodells soll der Begriff der Verwundbarkeit für den gegebenen Untersuchungsgegenstand, in dem Fall die Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Hochwasserereignissen, konkretisiert werden. Das Systemmodell konkretisiert thematisch die abstrakte Darstellung des Verwundbarkeitsmodells, d. h. es stellt die Komponenten der Verwundbarkeit im Wirkungsgefüge dar. Hierbei werden die wesentlichen Elemente des Systems ‚Umwelt‘, genauer gesagt ‚Umweltverwundbarkeit gegenüber Hochwasserereignissen‘ und die untereinander bestehenden Beziehungen dargestellt. Im Systemmodell wird aufgezeigt, wie sich die Umwelt vor, während und nach einem Hochwasser verhält. Es ist der Versuch, diese ‚Realität‘ abstrakt und vereinfacht abzubilden. Die Erstellung eines Systemmodells führt zu einem vertieften Systemverständnis, das wiederum dazu führt, dass die Definition der Verwundbarkeit und damit

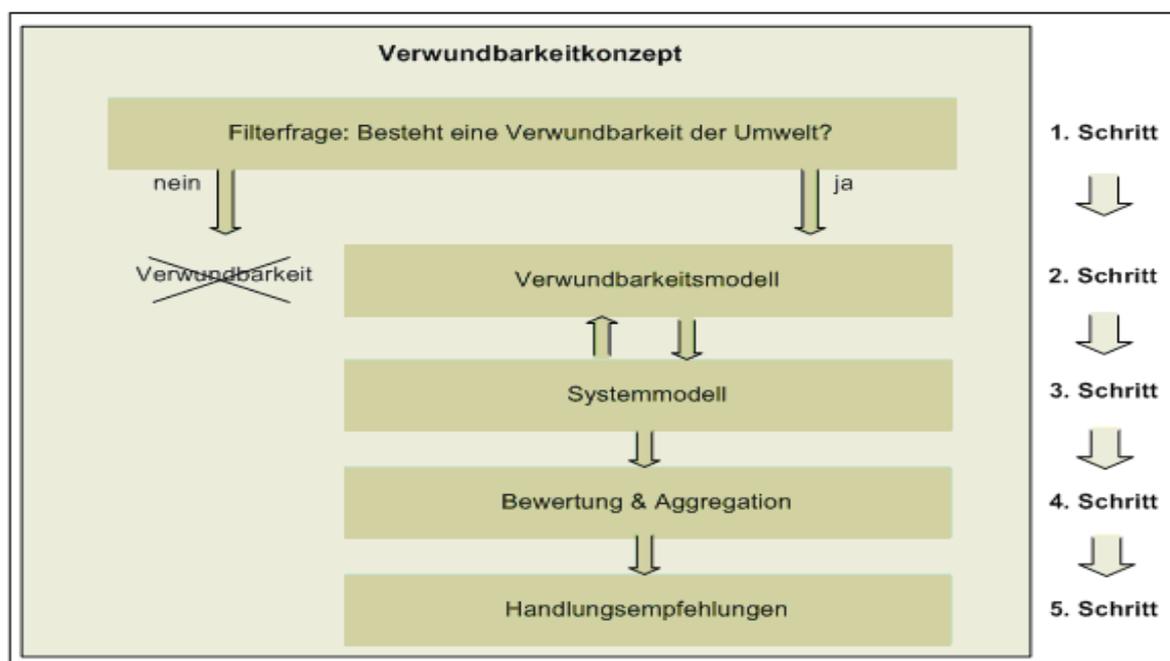


Abb. 6 Methodischer Rahmen zur Ermittlung der Umweltverwundbarkeit

das Verwundbarkeitsmodell iterativ angepasst werden kann. Zudem ist ein vertieftes Systemverständnis die Voraussetzung für die Ableitung der systemrelevanten Kriterien/Indikatoren. Diese Kriterien/Indikatoren repräsentieren das gesamte System. Es wird zudem deutlich, welche Systemelemente mit dem Ziel der Reduktion der Verwundbarkeit verändert werden müssen. Im Zuge der Bewertung und Aggregation werden die abgeleiteten Kriterien/Indikatoren hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Verwundbarkeit bewertet, gewichtet und zu einer Verwundbarkeitsaussage aggregiert. Die anschließend zu formulierenden Handlungsempfehlungen ergeben sich im Wesentlichen aus dem Schritt der Erstellung des Systemmodells. Hier wird aus der Systemanalyse Handlungsbedarf deutlich.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass für die vorliegende Arbeit zum einen die Einschätzung des Umweltbereichs als an sich verwundbarer Bereich, die Mensch-Umwelt-Rückkopplung sowie der Regelkreisgedanke des BBC-Konzeptes genutzt werden kann, da dies einer systemischen Herangehensweise gemäß der Systemtheorie entspricht und zum anderen der methodische Rahmen von Villa & McLeod unter den erläuterten angepassten Bedingungen für die Arbeit übernommen werden kann.

### 3.2 Anwendung der Systemtheorie & Kybernetik

Wie die in Abschnitt 2.2 erläuterte Systemtheorie und die Kybernetik innerhalb der vorliegenden Arbeit als Grundlage für die Ermittlung der Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Hochwasserereignissen angewendet werden kann, wird in diesem Abschnitt aufgeführt.

Besteht das Ziel darin, die Verwundbarkeit der Umwelt zunächst zu ermitteln, um sie dann auf ein akzeptables Maß zu reduzieren, empfiehlt es sich die Umwelt als System zu betrachten und deren Verwundbarkeit in einem abstrakten Verwundbarkeitsmodell und konkret in einem Systemmodell darzustellen. Erst mit der Erstellung von Verwundbarkeits- und Systemmodellen, also der Darstellung der wesentlichen Schlüsselgrößen (=Systemelementen) mit ihren Beziehungen untereinander, werden systemimmanente Wirkbeziehungen deutlich, die vermutlich bei anderen Ansätzen, die der Komplexität des realen Geschehens nicht gerecht werden, unentdeckt blieben. Gerade das Erkennen sämtlicher Wirkungsbeziehungen ist beim Ableiten von Kriterien zur Bestimmung der Verwundbarkeit als auch bei der Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Reduktion der Verwundbarkeit notwendig. Hingegen könnten infolge sektoraler Sichtweisen empfohlene Maßnahmen zu unbeabsichtigten negativen Nebenwirkungen führen, wenn sie die Systemzusammenhänge nicht umfassend berücksichtigen (Vester, 2004: 37). Da Ereignisse wie ein Hochwasser und die Reaktion darauf komplexe Sachverhalte darstellen, ist die Abbildung solcher komplexen Sachverhalte in Form von (System) Modellen notwendig und die Grundlage für die Ableitung von Indikatoren zur Ermittlung des Ausmaßes der Reaktionen auf ein Ereignis sowie für die Bewertung dieser Indikatoren (Kühling, 2000: 55).

Das zu erstellende Verwundbarkeits- und das Systemmodell stellen kybernetische Regelkreise dar, d. h. sie basieren auf ineinander greifende Regelkreise, die über Rückkopplung der vernetzten Systemelemente die Verwundbarkeit der Umwelt steuern. In dem vorliegenden Fall stellt die Verwundbarkeit die Regelgröße und das Hochwasserereignis die Störgröße in dem System ‚Umwelt‘ bzw. ‚Umweltverwundbarkeit gegenüber Hochwasserereignissen‘ dar. Nach einem Hochwasserereignis wird anhand des Schadensausmaßes ersichtlich wie verwundbar das System ist. Hat nämlich das Hochwasser tatsächlich zu einer Störung mit Schäden in der Umwelt geführt, so zeigt der Istwert eine hohe Verwundbarkeit an. Wird diese Verwundbarkeit nicht von der Gesellschaft akzeptiert, weil sie für sie negative Folgen hat (z. B. Beeinträchtigung von Umweltfunktionen bzw. Ökosystemdienstleistungen vgl. Kapitel 3.4), wird als Reaktion auf diesen Schaden eine Führungsgröße definiert. In diesem Fall ist das ein ‚Sollwert der Verwundbarkeit‘. Über Gesetze, Richtlinien und Handlungsempfehlungen werden Vorgaben darüber gemacht, wie dieser Sollwert erreicht werden kann, während der Stellwert in der Praxis für die Umsetzung dieser Vorgaben (z. B. Verbot bestimmter Nutzungen, von den Kontaminationsgefahren für die Umwelt ausgehen können) sorgt (Kühling, 2000:56).

Neben diesem beschriebenen Regelkreis existiert noch ein anderer Regelkreis, der ohne den Eingriff des Menschen funktioniert: Die Umwelt hält sich nach der „Registrierung“ von Schäden durch Anpassungsstrategien selbstregulierend stabil. So werden sich beispielsweise Arten, die auf trockenen Standorten leben, zurückziehen, während Feuchte liebende Arten die Landschaft besiedeln. Sind Populationszahlen durch ein Hochwasserereignis zurückgegangen, kann ein verändertes Fortpflanzungsverhalten dazu führen die Populationsschwankung wieder auszugleichen (Heinken, 2001: 123f; Bozena et al, 2001: 41ff; Landesamt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 1999: 13ff). Dieser Regelkreis wird allerdings im Folgenden nicht weiter betrachtet (siehe 3.4).

### 3.3 Definition des Begriffes Umwelt

Wie unter Kapitel 3.2 beschrieben, wird die Umwelt als System nach den Grundlagen der Systemtheorie verstanden. Um ein Verfahren zur Ermittlung der Umweltverwundbarkeit zu entwickeln, muss der Begriff Umwelt neben der Festlegung eines Systemverständnisses für das Forschungsprojekt genau definiert und eindeutig abgegrenzt werden.

Dafür erschien es zunächst sinnvoll, die Gesetzgebung und deren Definitionen von Umwelt oder ähnlichen Begriffen wie Natur, Naturschutz zu Rate zu ziehen. Unter den Zielen des Naturschutzes wird nach dem Bundesnaturschutzgesetz folgendes verstanden: „Natur und Landschaft sind auf Grund ihres eigenen Wertes und als Lebensgrundlagen des Menschen auch in Verantwortung für die künftigen Generationen im besiedelten und unbesiedelten Bereich so zu schützen, zu pflegen, zu entwickeln und, soweit erforderlich, wiederherzustellen...“. Dabei sind die biologische Vielfalt, die Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushaltes einschließlich der Regenerationsfähigkeit und nachhaltigen Nutzungsfähigkeit der Naturgüter, die Vielfalt, Eigenart und Schönheit sowie der Erholungswert von Natur und Landschaft auf Dauer zu sichern (§ 1 BNatSchG). Nach dem Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) wird unter dem Begriff Umwelt neben den Tieren, den Pflanzen, der biologischen Vielfalt, dem Boden, dem Wasser, der Luft, dem Klima und der Landschaft, auch der Mensch und seine Gesundheit, die Kulturgüter und sonstige Sachgüter sowie die Wechselwirkung zwischen den Schutzgütern verstanden (§ 2 UVPG). Der Mensch und dessen Gesundheit, die Kultur- und Sachgüter sowie die Eigenart, die Schönheit und der Erholungswert von Natur und Landschaft sollen für das Forschungsprojekt allerdings ausgeschlossen werden, da diese Aspekte je in eigenen Forschungsprojekten untersucht werden könnten bzw. untersucht werden und so den Rahmen der vorliegenden Arbeit sprengen würden. Wesentlich scheint die Aussage, dass die Umwelt bzw. Natur und Landschaft als Lebensgrundlage des Menschen und hinsichtlich ihres Eigenwertes betrachtet werden muss. Die Lebensgrundlagen des Menschen können relativ einfach benannt werden. Hierzu zählen z. B. das Vorhandensein von fruchtbaren, qualitativ hochwertigen Böden zum Anbau von Nahrungsmitteln oder das Vorhandensein von sauberem Wasser für die Trinkwassergewinnung. Ohne diese ‚Leistungen‘ bzw. ‚Funktionen‘, die die Umwelt für die Menschen erbringt bzw. erfüllt, könnte dieser nicht überleben. Hinter dem ‚Eigenwert-Konzept‘ verbirgt sich, dass die Natur um ihrer selbst willen zu schützen ist, d. h. auch ohne dass sie dem Menschen nützlich ist. In der folgenden Betrachtung wird allerdings um den Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht zu sprengen und in der Argumentation nicht den roten Faden zu verlieren der Fokus ausschließlich auf die Natur und Landschaft als Grundlage der menschlichen Existenz gelegt. Bei der Betrachtung der Umwelt innerhalb des Projektes sollte der Fokus allerdings nicht auf die einzelnen Komponenten wie Tiere, Pflanzen, Boden, Wasser etc. wie im Gesetzestext beschrieben, gelegt werden, sondern stärker auf die Funktionsfähigkeit des Naturhaushaltes sowie die Regenerations- und Nutzungsfähigkeit der Naturgüter, die auf den Wechselwirkungen innerhalb dieser einzelnen Komponenten beruht. Genau diese Wechselwirkungen ermöglichen u. a. den Erhalt der Bodenfruchtbarkeit und die Bereitstellung von sauberem Wasser.

In einem zweiten Ansatz sollten zur Definition des Begriffes Umwelt die Aussagen aus wissenschaftlichen Literaturquellen herangezogen werden. Bastian & Schreiber (1994: 39ff) verwenden den Begriff

‚Landschaft‘ bzw. ‚Landschaftsfunktionen‘, um die Umwelt zu beschreiben. Sie betonen mit dem von ihnen verwendeten Begriff ‚Landschaftsfunktionen‘ die für den Menschen notwendige funktionale Bewertung der Landschaftsstrukturen. Da der Mensch die Naturräume teilweise seit Jahrhunderten zum Erhalt seiner Lebensgrundlagen nutzt, ist es nur logisch, dass die Autoren sie hinsichtlich ihrer Funktionsfähigkeit bewerten. Sie unterscheiden Produktionsfunktionen (ökonomische Funktionen), Regulationsfunktionen (ökologische Funktionen) und Lebensraumfunktionen (soziale Funktionen). Unter den Produktionsfunktionen verstehen die beiden Autoren zusammengefasst die Verfügbarkeit erneuerbarer Ressourcen, unter den Regulationsfunktionen die Regulation von Stoffkreisläufen und Energieflüssen wie die Filter-, Puffer- und Transformatorfunktion des Bodens, die Grundwasserneubildung, die Selbstreinigung von Oberflächengewässern, den Temperatúrausgleich oder die Regulation der Organismenpopulationen und unter den Lebensraumfunktionen psychologische und humanökologische Funktionen, aber auch die Informations- und Erholungsfunktion. Im Millennium Ecosystem Assessment (2005: 5) wird von Ökosystemdienstleistungen gesprochen, da Ökosysteme für sie Funktionen und Güter bereitstellen, die für das menschliche Wohlergehen unverzichtbar sind. Ökosystemdienstleistungen werden hier in vorsorgende Ökosystemdienstleistungen wie Nahrung, Trinkwasser oder Brennholz, in regulierende Ökosystemdienstleistungen wie die Klimaregulation, die Wasserspeicherung oder die Bestäubung, in kulturelle Ökosystemdienstleistungen wie ästhetischer Wert, Erholung, regionale Identität und in die erhaltenden Ökosystemdienstleistungen wie die Bodenbildung, die Nährstoffkreisläufe und die Primärproduktion eingeteilt. Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) greift das Konzept des Millennium Ecosystem Assessment auf und spricht ebenfalls von Ökosystemdienstleistungen. Hier werden die erhaltenden Ökosystemdienstleistungen als Basisdienstleistungen bezeichnet (BMU 2008). Costanza et al. unterscheiden zwischen Umweltfunktionen und Ökosystemdienstleistungen, wobei sich die Umweltfunktionen auf die Systemeigenschaften und die Prozesse im Ökosystem beziehen und die Ökosystemdienstleistungen den menschlichen Nutzen aus diesem Umweltfunktionen darstellen (Costanza et al., 1997: 253). Für das Forschungsprojekt wurden die Überlegungen bzgl. der ‚Landschaftsfunktionen‘, ‚Umweltfunktionen‘ und ‚Ökosystemdienstleistungen‘ von Bastian & Schreiber, vom Millennium Ecosystem Assessment, vom BMU und Costanza et al. aufgenommen und als Umweltfunktionen bzw. Ökosystemdienstleistungen bezeichnet.

Unter dem Begriff Umwelt werden also resultierend aus den Gesetzestexten und den wissenschaftlichen Literaturquellen folgende Umweltfunktionen bzw. Ökosystemdienstleistungen als Lebensgrundlage für den Menschen im besiedelten und unbesiedelten Bereich verstanden:

- Erhalt der Filter-, Puffer- und Transformatorfunktionen des Bodens verbunden mit intakten Nährstoff- und Wasserkreisläufen als Voraussetzung für den Erhalt der Bodenfruchtbarkeit wiederum als Voraussetzung für die Existenz von Kultur- und Wildpflanzen wiederum als Voraussetzung der Nahrungssicherung (Bodenfunktion)
- Erhalt der Grundwasserneubildung verbunden mit der Sicherstellung der Grundwasserqualität als Voraussetzung für die Sicherstellung der Trinkwassergewinnung, die Versorgung des Bodens und der Pflanzen mit Wasser und die Speisung der oberirdischen Gewässer (Grundwasserfunktion)
- Sicherstellung eines ausreichenden Oberflächenabflusses verbunden mit dem Erhalt der Oberflächenqualität und dem Erhalt der Kühlfunktion als Voraussetzung für die Trinkwassergewinnung und die Stabilisierung des lokalen Klimas (Oberflächenfunktion)
- Stabilisierung des (lokalen) Klimas (z. B. über den Erhalt von Kühlrippen) als Voraussetzung für den Erhalt der Bodenfunktion, Oberflächen-, Grund-, Arten- und Biotopschutzfunktion und damit der Lebensraumfunktion des Menschen (Klimaregulationsfunktion)
- Erhalt von (limnischen und terrestrischen) Lebensräumen als Voraussetzung für den Erhalt von Lebensgemeinschaften zur Sicherung des Genpools, zur Gewährleistung der Sauerstoffproduktion, der Bestäubung von Pflanzen, der Bodenbildung und der Bodenfruchtbarkeit, der Grundwasserneubildung, der Grundwas-

serqualität und der Oberflächenwasserqualität und anderer Prozesse (Arten- und Biotopschutzfunktion).

### 3.4 Definition der Verwundbarkeit der Umwelt

Nachdem im vorigen Abschnitt 3.3 der Begriff Umwelt für die vorliegende Arbeit definiert wurde, muss nun als Voraussetzung der Ermittlung der Umweltverwundbarkeit definiert werden, was unter der Verwundbarkeit der Umwelt zu verstehen ist. D. h. es muss bestimmt werden, ob und wie die Umweltfunktionen bzw. Ökosystemdienstleistungen durch ein Hochwasserereignis beeinträchtigt werden können und damit potenziell verwundbar sind.

Ausgehend von den innerhalb des Forschungsprojektes erhobenen Expertenmeinungen<sup>1</sup>, der in der Literatur geäußerten Meinungen (vgl. u. a. Siepe, 2006: 156; Roth, 2000; Weitlander, 2002) und der eigenen Einschätzung ist die Umwelt gegenüber den reinen Überschwemmungsprozessen mit wenigen Ausnahmen (s. u.) nicht verwundbar. Hochwasser wird in der Literatur und in den Äußerungen der befragten Experten als natürlicher Prozess in Auenlandschaften bezeichnet. Überschwemmungen sind sogar eine notwendige Voraussetzung für den Erhalt des Lebensraums der Aue. Nach einem Hochwasserereignis ändert sich zwar die Abflussmenge des Oberflächenwassers, die Versickerung in das Grundwasser, der Grundwasserspiegel und die Zusammensetzung von Lebensgemeinschaften, der Boden kann abgetragen werden und mitgeführtes Material wird sedimentiert, aber die Vorgänge gehören zu einer natürlichen Auendynamik (Siepe, 2006: 156, Roth, 2000 Weitlander, 2002). Die Umweltfunktionen bzw. Ökosystemdienstleistungen werden dadurch eher kurz- bis mittelfristig, aber nicht nachhaltig beeinträchtigt. Die Lebensgrundlage des Menschen schlechthin ist nicht gefährdet.

Anders sind die Fälle zu beurteilen, in denen z. B. stark gefährdete Arten lange Zeiträume brauchen um wieder ihre ursprünglichen Lebensräume zu besiedeln oder es bedingt durch die großen Abflussmengen während eines Hochwasserereignisses zur Eintiefung des Oberflächenwassers und damit langfristig zur Absenkung des Grundwasserspiegels kommt oder aber Erosionsprozesse in der Aue die Aue für den Menschen ebenfalls langfristig nicht mehr landwirtschaftlich nutzbar machen lassen. Diese Prozesse gehören ebenfalls zu einer natürlichen Auendynamik. Dennoch erfolgt eine nachhaltige Beeinträchtigung der Art- und Biotopschutzfunktion, der Grundwasser- und der Bodenfunktion. Im weiteren Verlauf der Arbeit werden diese natürlichen, aber dennoch die Umweltfunktionen bzw. Ökosystemdienstleistungen beeinträchtigenden Prozesse nicht weiter betrachtet, um den Rahmen der Dissertation zu wahren und sich nicht inhaltlich zu sehr zu zerstreuen.

Anders sind die von den menschlichen Nutzungen ausgehenden Gefährdungen infolge eines Hochwassers wie z. B. die Schadstoffausbreitung von unzureichend gesicherten Kontaminationsquellen zu bewerten. Zu den potenziellen Kontaminationsquellen zählen in Anlehnung an Warm & Köppke 2007 die Anlagen nach § 62 WHG (Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen) und die Betriebsbereiche nach der 12. BImSchV (Störfallbetriebe). In der folgenden Betrachtung werden Anlagen nach § 62 WHG und die die Betriebsbereiche nach der 12. BImSchV nur noch als Anlagen/Betriebsbereiche bezeichnet. Dieser Ansatz wurde zur Bearbeitung der Forschungsfrage um die Altlasten erweitert, da von ihnen laut Expertenmeinungen und anderen Veröffentlichungen ebenfalls eine potenzielle Schädigung auf die Umwelt ausgehen kann (Landeshauptstadt Dresden 2005; Marre et al. 2005). Es verbleiben nur wenige weitere Kontaminationsquellen, die nicht unter die drei genannten Kategorien fallen. So könnten beispielsweise auch landwirtschaftliche Nutzflächen oder Bahntrassen, von denen Agrochemikalien bzw. Chemikalien gespült werden als potenzielle Kontaminationsquellen betrachtet werden. Diese sollen aber unberücksichtigt bleiben, zum einen um das Verfahren zur Ermittlung der Umweltverwundbarkeit zu vereinfachen. Zum anderen werden in der Literatur

---

<sup>1</sup> Siehe Kapitel 4.1.2

und in den Experteninterviews die Anlagen nach § 62 WHG, die Betriebsbereiche nach der 12. BImSchV und die Altlasten als die potenziellen Hauptkontaminationsquellen bei einem Hochwasser angeführt. Diese Kontaminationsquellen können zu Kontaminationen in der Umwelt führen und die oben aufgeführten Umweltfunktionen bzw. Ökosystemdienstleistungen beeinträchtigen. Von den aufgeführten Funktionen bzw. Dienstleistungen in der Definition des Umweltbegriffes werden durch potenzielle Kontaminationsprozesse speziell die Bodenfunktion (im Besonderen die Bodenfruchtbarkeit), die Grundwasserfunktion (im Besonderen die Grundwasserqualität), die Oberflächenwasserfunktion (im Besonderen die Oberflächenwasserqualität) und die Arten- und Biotopschutzfunktion beeinträchtigt. Das (lokale) Klima bzw. die Klimaregulationsfunktion wird über Kontaminationen infolge eines Hochwassers nicht beeinträchtigt und deshalb im Folgenden nicht weiter berücksichtigt. Die Menschen sind auf die Umweltfunktionen bzw. Ökosystemdienstleistungen angewiesen. Ein Ausfall bzw. eine Einschränkung über eine längere Zeit wäre für die Sicherung der Lebensgrundlagen, auch die künftiger Generationen vgl. § 1 BNatSchG bedrohlich.

Die Voraussetzung für eine mögliche Schadwirkung auf die Umwelt und damit für die Existenz einer Umweltverwundbarkeit sind also die nach der innerhalb der vorliegenden Arbeit vorgenommenen Definition im Überschwemmungsgebiet liegenden potenziellen Kontaminationsquellen. Die Umwelt ist damit nur in den Einfluss- bzw. Ausbreitungsbereichen der Schadstoffe aus den potenziellen Kontaminationsquellen verwundbar. Wie bereits erwähnt, werden die nachhaltigen Beeinträchtigungen der Umweltfunktionen bzw. Ökosystemdienstleistungen infolge der natürlichen Auendynamik wie der längerfristige Verlust von Lebensräumen gefährdeter Arten, die Absenkung des Grundwasserspiegels über die Eintiefung des Flussbettes und die Erosionsprozesse im weiteren Verlauf der Arbeit nicht mehr berücksichtigt.

Mit der Bestimmung eines Verwundbarkeitskonzeptes, der Festlegung wie die Systemtheorie auf die Zielstellung angewendet werden soll und der Definition des Umwelt- und des Umweltverwundbarkeitsbegriffes müssen im folgenden Kapitel 4 noch die methodischen Grundlagen festgelegt werden um die Voraussetzung für die Ableitung des Verfahrens zur Ermittlung der Umweltverwundbarkeit im Kapitel 5 zu schaffen.

## **4 Methodische Grundlagen**

### **4.1 Angewandte methodische Techniken**

Nachdem im Kapitel 2 die theoretischen Grundlagen vorgestellt und im Kapitel 3 die Anwendung dieser Grundlagen für die vorliegende Arbeit erläutert wurden, werden in diesem Abschnitt die methodischen Grundlagen zur Generierung des gewünschten Verfahrens zur Ermittlung der Umweltverwundbarkeit vorgestellt.

Für die Erarbeitung und Durchführung des Verfahrens zur Ermittlung der Umweltverwundbarkeit gegenüber Hochwasserereignissen wurden primäre und sekundäre Literaturquellen ausgewertet, Experteninterviews durchgeführt und auf die Nutzung von Indikatoren/Kriterien und Bewertungsverfahren zurückgegriffen.

#### **4.1.1 Literaturrecherche**

Es gibt nur wenige Literaturquellen, die sich konkret mit den Auswirkungen des Hochwassers auf die Umwelt beschäftigen. Zwar kann für das Einzugsgebiet der Elbe und speziell für den Raum Dresden auf einige wenige Publikationen zurückgegriffen werden, doch zur Bearbeitung des Fallbeispiels Köln standen keine Quellen dieser Art zur Verfügung. Der Problemzusammenhang gilt daher als bislang wenig bearbeitet.

### 4.1.2 Experteninterviews

Die Experteninterviews erfolgten als mündliche Befragung in Form qualitativer Interviews. Die Interviewpartner waren relevante Akteure aus den Beispielkommunen Köln und Dresden. Die Durchführung qualitativer Interviews wurde deshalb als Methode gewählt, da sie sich immer dann anbietet, wenn es um die Erschließung neuen Wissens wie z. B. die Aufdeckung von Zusammenhängen, Strukturen und Abläufen geht (Pohl, 1998: 98; Diekmann, 1996: 444). Besteht das Ziel darin, ein genaueres Abbild der Realität zu gewinnen, sollte die Befragung so offen und flexibel wie möglich gehalten werden (Pohl, 1998: 102). Da es im Bereich Umwelt darum ging, neues Wissen über die Abläufe bei einem Hochwasser zu akquirieren, d. h. die Geschehen im Hochwasserfall zu rekonstruieren und abzubilden, um die wesentlichen verwundbaren Aspekte zu identifizieren, wurden die qualitativen Interviews in offener Form durchgeführt. Dabei wurde nur ein Gesprächsleitfaden mit thematischen Schwerpunkten verwendet, welche angepasst an den Gesprächsverlauf, ohne feste Reihenfolge, abgefragt wurden. So bestand genügend Freiheit für neue bisher nicht bedachte Aspekte (Diekmann, 1996: 450). Unter den Verfahren der qualitativen Interviews eignete sich das problemzentrierte Interview, welches sich auf einen Problemschwerpunkt fokussiert - in dem konkreten Fall die Folgen eines Hochwassers (Mayring, 1999: 50). Folgende Themenschwerpunkte wurden in den Interviews abgefragt:

- Auswirkungen des Hochwassers auf die Umwelt im Allgemeinen
- Auswirkungen auf Boden, Wasser, Lebensräume und Arten
- Existenz von Umweltverwundbarkeit
- Existenz von Verwundbarkeit der einzelnen Umweltmedien, Lebensräume und Arten
- Bedeutung potenzieller Kontaminationsquellen und deren Sicherheit.

Die Auswahl der Akteure wurde mit der Zielsetzung getroffen, möglichst viele Akteure bzw. Repräsentanten im Bereich Umwelt, die in Verbindung mit dem Hochwasser und seinen Folgen standen, zu interviewen. In Dresden wurden 17 Experteninterviews geführt. Als Experten wurden Mitarbeiter der Ressorts Boden, Grundwasser und Altlasten, Oberflächenwasser, Naturschutz und Landschaftspflege der folgenden Behörden und Verbände ausgewählt<sup>2</sup>:

- Mitarbeiter des Umweltamtes der Landeshauptstadt Dresden
  - ein Mitarbeiter der Stadtökologie
  - ein Mitarbeiter im Bereich Grundwasser und Altlasten
  - drei Mitarbeiterinnen des Abfall- und Bodenschutzes (in einem Interview)
  - ein Mitarbeiter der Gewässer- und Bodenpflege
  - eine Mitarbeiterin im Bereich Oberflächenwasser
  - eine Mitarbeiterin, zuständig für VAWS-Anlagen<sup>3</sup>
  - zwei Mitarbeiter im Naturschutz (in einem Interview)
- Mitarbeiter des Staatlichen Umweltfachamtes Radebeul
  - ein Mitarbeiter im Bereich Ober- und Grundwasser
  - eine Mitarbeiterin im Bereich Naturschutz und Landschaftspflege
  - ein Mitarbeiter im Bereich Boden und Altlasten
- Mitarbeiter des Landesamtes für Umwelt und Geologie
  - ein Mitarbeiter des Referates Landschaftspflege und Artenschutz
  - ein Mitarbeiter des Referates Bodenschutz
  - die Gewässergüterreferentin

---

<sup>2</sup> Die Befragung fand vor der Funktionalreform statt, so dass einige Behörden mit der oben beschriebenen Formulierung nicht mehr existieren.

<sup>3</sup> Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen

- eine Mitarbeiterin des Referates Grundwasser und Altlasten
- ein Mitarbeiter des Landeshochwasserzentrums
- ein Mitarbeiter des Umweltforschungszentrums Halle-Leipzig
- ein Mitglied der Ortsgruppe des Umweltverbandes Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e. V. (BUND)

In Köln sollte analog zu Dresden verfahren werden. Leider war das Interesse, an den Experteninterviews teilzunehmen, geringer. So konnte beispielsweise auch kein Mitglied eines Umweltverbandes für ein Interview gewonnen werden. Insgesamt wurden 12 Interviews geführt. Befragt wurden:

- Mitarbeiter des Umwelt- und Verbraucherschutzamtes Köln
  - drei Mitarbeiter der Abteilung Boden- und Grundwasserschutz
  - ein Mitarbeiter der Unteren Landschaftsbehörde
  - ein Mitarbeiter der Abteilung Immissionsschutz, Wasser- und Abfallwirtschaft
- Mitarbeiter der Bezirksregierung Köln
  - ein Mitarbeiter des Dezernates Wasserwirtschaft und Gewässerschutz
  - ein Mitarbeiter des Dezernates Natur- und Landschaftsschutz
  - ein Mitarbeiter des Dezernates Abfallwirtschaft (einschließlich anlagenbezogener Umweltschutz)
- Mitarbeiter des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
  - ein Mitarbeiter der Abteilung Bodenschutz und Altlasten
  - ein Mitarbeiter der Abteilung Naturschutz und Landschaftspflege
  - ein Mitarbeiter der Abteilung Wasserwirtschaft und Gewässerschutz
  - ein Mitarbeiter der RheinEnergie AG

Die Interviews dienten als Grundlage bei der Bearbeitung der vier bereits vorgestellten Verfahrensschritte. Die Expertenmeinungen verhalfen mit zu einem Verständnis darüber, was Umweltverwundbarkeit bedeutet und was es umfasst. Die Interviews bildeten neben der Literaturrecherche die wesentliche Grundlage für die Erstellung eines Systemmodells und die Ableitung von Handlungsempfehlungen. Sie trugen auch mit zur Bewertung und Gewichtung, der aus dem Systemmodell abgeleiteten Kriterien/Indikatoren bei. Auf eine ausführliche qualitative Auswertung der Interviews soll hier aber verzichtet werden, da dadurch kein Informationsmehrgewinn entstehen würde. Die mitgeschnittenen Interviews und deren Transkription befinden sich im Anhang auf CD gebrannt (siehe A.1).

### 4.1.3 Kriterien/Indikatoren

Um die Verwundbarkeit auf der kommunalen Ebene konkret bestimmen zu können, müssen Kriterien/ Indikatoren der Verwundbarkeit nach dem in 3.1 beschriebenen Verfahren abgeleitet werden. Der Prozess von einem abstrakten Ziel zu handhabbaren Größen nennt sich Operationalisierung. Im Zuge der Operationalisierung werden Indikatoren entwickelt, die objektive/quantitative Sachverhalte anzeigen und erfassbar machen. Dabei ist es wichtig, eine überschaubare und transparente Auswahl relevanter Indikatoren vorzunehmen, welche die Situationen, also sämtliche Wechselwirkungen innerhalb eines Systems abbilden und auch Wertungen zulassen. Sie müssen repräsentativ für die Beschreibung bestimmter Wirkweisen eines Systems sein, d. h. sie müssen das gesamte System, das die verwundbare Umwelt darstellt, widerspiegeln. Die Kriterien/Indikatoren sollten nachvollziehbar, vergleichbar, weitestgehend objektiv, reproduzierbar und kontrollierbar sein (Kühling; 2000: 55; Scholles, 2008a: 320; Bastian & Schreiber, 1994: 52).

### 4.1.4 Bewertungsverfahren (Verfahren der logischen Verknüpfung)

Um mit Hilfe der abgeleiteten Kriterien/Indikatoren zu einer Aussage der Verwundbarkeit zu kommen, ist

eine Bewertung notwendig, da sich Messgrößen ohne Bewertungsmaßstäbe nicht im Hinblick auf eine formulierte Zielstellung beurteilen lassen. Problematisch ist dabei die große Bandbreite möglicher Beurteilungen, da in den Bewertungsprozess sowohl wissenschaftliche Aussagen wie auch gesellschaftliche Entscheidungen mit einfließen (Kühling, 2000: 58). Wenn zwei oder mehrere Größen (in dem Fall: Kriterien) zu einer gemeinsamen Aussage (in dem Fall: Verwundbarkeitsaussage) zusammengeführt werden sollen und diese Größen eine ordinale Skalierung aufweisen (siehe Kapitel 5.3), dann darf methodisch gesehen nur das Verfahren der logischen Verknüpfung angewendet werden (Bachfischer, 1978: 100; Scholles, 2008b: 409, 411; ARL, 1998: 156). Bei ordinal skalierten Größen stellen die Ausprägungen Wertstufen in einer Rangfolge dar, z. B. sehr gering, gering,... sehr hoch. Diesen verbal formulierten Wertstufen sind i. d. R. römische Ziffern I, II, III, IV, V zugeordnet. Dennoch dürfen sie nicht arithmetisch über Addition oder Multiplikation zur gewünschten Zielaussage zusammengeführt werden. Formal dürfen sie nur ‚logisch verknüpft‘ werden. Zur Durchführung von logischen Verknüpfungen wird in der Literatur u. a. die Verwendung von Präferenzmatrizen vorgeschlagen. Dabei werden zwei zu verknüpfende Größen mit ihren rangskalierten Ausprägungen gegenübergestellt (siehe Abb. 7).

Die jeweiligen Ausprägungen, also die Wertstufen der Größen logisch zu verknüpfen, bedeutet, sich anhand logischer Gesichtspunkte zu überlegen, was das Ergebnis aus der Zusammenführung z. B. der Wertstufe ‚gering‘ (I) der einen Größe mit der Wertstufe ‚mittel‘ (III) der anderen Größe sein könnte. Für die Verknüpfung zweier Größen nach logischen Gesichtspunkten in einer Präferenzmatrix gibt es kein einheitliches oder standardisiertes Verfahren. Es liegt im Ermessen des jeweiligen Bearbeiters dies logisch und nachvollziehbar zu entscheiden. Um diese Entscheidungen bei der Zusammenführung der Kriterien zur gewünschten Verwundbarkeitsaussage zu vereinfachen, wurde von der Autorin ein Verfahren unter Anwendung der Präferenzmatrix entwickelt. Dabei wird den bereits vorliegenden ordinalen Ausprägungen der verwundbarkeitsrelevanten Kriterien mit Hilfe einer funktionalen Darstellung fachlich begründet, je ein ordinaler Verwundbarkeitswert zugeteilt. Diese Verwundbarkeitswerte werden dann zusammengeführt. Diese Herangehensweise lehnt sich an die Nutzenfunktionen innerhalb der Nutzwertanalyse an. Die Nutzwertanalyse stellt ein Bewertungsverfahren dar, das der vergleichenden Bewertung von Entscheidungsalternativen oder Projekten dient. Als Entscheidungsgrundlage dienen die Gesamtnutzen der jeweiligen Alternativen. Die Gesamtnutzen ergeben sich aus einzelnen Nutzwerten. Diese werden nach Aufstellung eines detaillierten Zielsystems, der Ableitung von Kriterien und der Zuordnung einer Nutzenfunktion je Kriterium bestimmt (Bechmann, 1989: 3, 11, 19).

		Größe 1			
		I	II	III	IV
Größe 2	I				
	II				
	III				
	IV				
	V				

Abb. 7 Beispiel einer leeren Präferenzmatrix

Eine genaue Beschreibung wird bei der Durchführung des Bewertungsverfahrens in Kapitel 5.4 gegeben.

## 4.2 Datengrundlagen

Um konkret die Verwundbarkeit der Umwelt der Kommunen Köln und Dresden gegenüber Hochwasser zu ermitteln, müssen Kriterien herangezogen werden, die zum einen wissenschaftlich fundiert und gerechtfertigt sind, zum andern müssen für diese Kriterien auch auf kommunaler Ebene Daten zur Verfügung stehen. Die notwendigen Daten wurden in digitaler Form von der Landeshauptstadt Dresden, dem Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie/ Landeshochwasserzentrum<sup>4</sup>, der Stadt Köln und der Bezirksregierung Köln übergeben. Aus Datenschutzgründen bzw. auf Grund des ausdrücklichen Wunsches des Umweltamtes der Landeshauptstadt Dresden dürfen die Ergebnisse der Verwundbarkeitsermittlung in dieser Arbeit nicht für Dresden dargestellt werden, so dass das Verfahren zur Ermittlung der Verwundbarkeit nur am Beispiel von Köln (siehe Kapitel 6) dargestellt wird.

Mit den in diesem Kapitel vorgestellten methodischen Grundlagen der Literaturrecherche, den durchgeführten Experteninterviews, der Ableitung von Kriterien und dem Bewertungsverfahren der logischen Verknüpfung sowie der existierenden Datenbasis ist die letzte notwendige Grundlage für die Herleitung eines Verfahrens zur Ermittlung der Verwundbarkeit der Umwelt (siehe Kapitel 5) geschaffen.

# 5 Herleitung des Verfahrens zur Bestimmung der Verwundbarkeit in Kommunen

## 5.1 Verwundbarkeitskonzept

Auf Basis der in den Kapiteln 2, 3, 4 vorgestellten Theorie, dessen Anwendung für die vorliegende Arbeit und der gewählten methodischen Grundlagen wird in diesem Kapitel zunächst abstrakt, anwendbar für jede Kommune, ein Verfahren zur Bestimmung der Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Hochwasserereignissen hergeleitet.

Wie bereits in 3.1 erwähnt, stellt das Verwundbarkeitskonzept die Vorgehensweise zur Ermittlung der Umweltverwundbarkeit gegenüber Hochwasserereignissen abstrakt dar. Innerhalb des Projektverlaufes wurde es immer wieder zurückgreifend durch neue gewonnene Erkenntnisse ergänzt, verändert und angepasst. Das Verwundbarkeitskonzept besteht aus zwei Arbeitsschritten: der vorab geschalteten Expositionsanalyse als Filter für die eigentliche Verwundbarkeitsanalyse und der Verwundbarkeitsanalyse, die die vier bereits benannten Verfahrensschritte umfasst (siehe Abb. 8).

### Expositionsanalyse

Da eine Umweltverwundbarkeit bei Hochwasserereignissen gemäß der innerhalb der Arbeit getroffenen Definition nur gegenüber Kontaminationen besteht, ist die Exposition von potenziellen Kontaminationsquellen im betrachteten Überschwemmungsgebiet die Voraussetzung für die eigentliche Verwundbarkeitsanalyse. Liegen keine potenziellen Kontaminationsquellen im Überschwemmungsgebiet, wird die Umwelt infolge eines Hochwassers auch nicht kontaminiert, wodurch sich eine Verwundbarkeitsanalyse erübrigt. Die Umwelt der betrachteten Kommune wäre damit nicht gegenüber Überschwemmungen verwundbar.

Dazu sollten von der Kommune zunächst ein oder mehrere Überschwemmungsgebiete definiert werden.

---

<sup>4</sup>Bezeichnung der Behörde zum Zeitpunkt der Übergabe der Daten. Nach der Funktionalreform besteht eine andere Bezeichnung. Das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie und das Landeshochwasserzentrum wurden u. a. unter dem jetzigen Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie vereint.

Erst mit der Festlegung dieser Überschwemmungsgebiete kann die Umweltverwundbarkeit gegenüber Kontaminationen konkret ermittelt werden. Für Kommunen, die an einem Fließgewässer liegen und für die Schäden durch ein Hochwasser zu erwarten sind, ist die Ausweisung von rechtlich festgesetzten Überschwemmungsgebieten (entspricht einem HQ 100, also einem Hochwasser, das statistisch alle 100 Jahre eintreten wird) ohnehin vom Gesetzgeber vorgeschrieben (vgl. § 76 WHG). Es empfiehlt sich aber darüber hinaus ein weiteres Hochwasserszenario größerer Jährlichkeit zu betrachten, um auch im Falle des Eintritts dieses Extremereignisses vorbereitet zu sein. Die Ermittlung der Umweltverwundbarkeit ist demnach an die Festlegung des Überschwemmungsgebiets, also der Exposition, und die Betrachtung der darin liegenden potenziellen Kontaminationsquellen gekoppelt.

Die Expositionsanalyse erfolgt durch die Kommune und ist somit auf die Fläche innerhalb der Stadtgrenzen beschränkt. Es besteht jedoch die Möglichkeit, dass potenzielle Kontaminationsquellen direkt hinter der Stadtgrenze liegen und mit der Ausbreitung der Schadstoffe in Fließrichtung die angrenzende Kommune bedrohen. Daher empfiehlt sich eine Zusammenarbeit benachbarter Kommunen bei der Bestimmung der Umweltverwundbarkeit.

**Verwundbarkeitsanalyse**

Die Verwundbarkeitsanalyse umfasst das nachfolgend beschriebene Verwundbarkeitsmodell (siehe Abschnitt 5.2), die im Abschnitt 5.3 beschriebene Systemmodellerstellung, die im Abschnitt 5.4 erläuterte Bewertung und Aggregation der aus dem Systemmodell abgeleiteten Kriterien/Indikatoren und die Ableitung von Handlungsempfehlungen (siehe Kapitel 7). Das Ergebnis der Verwundbarkeitsanalyse ist eine Einschätzung der Verwundbarkeit in den Wertstufen von I (besonders gering verwundbar) bis VII (besonders hoch verwundbar).

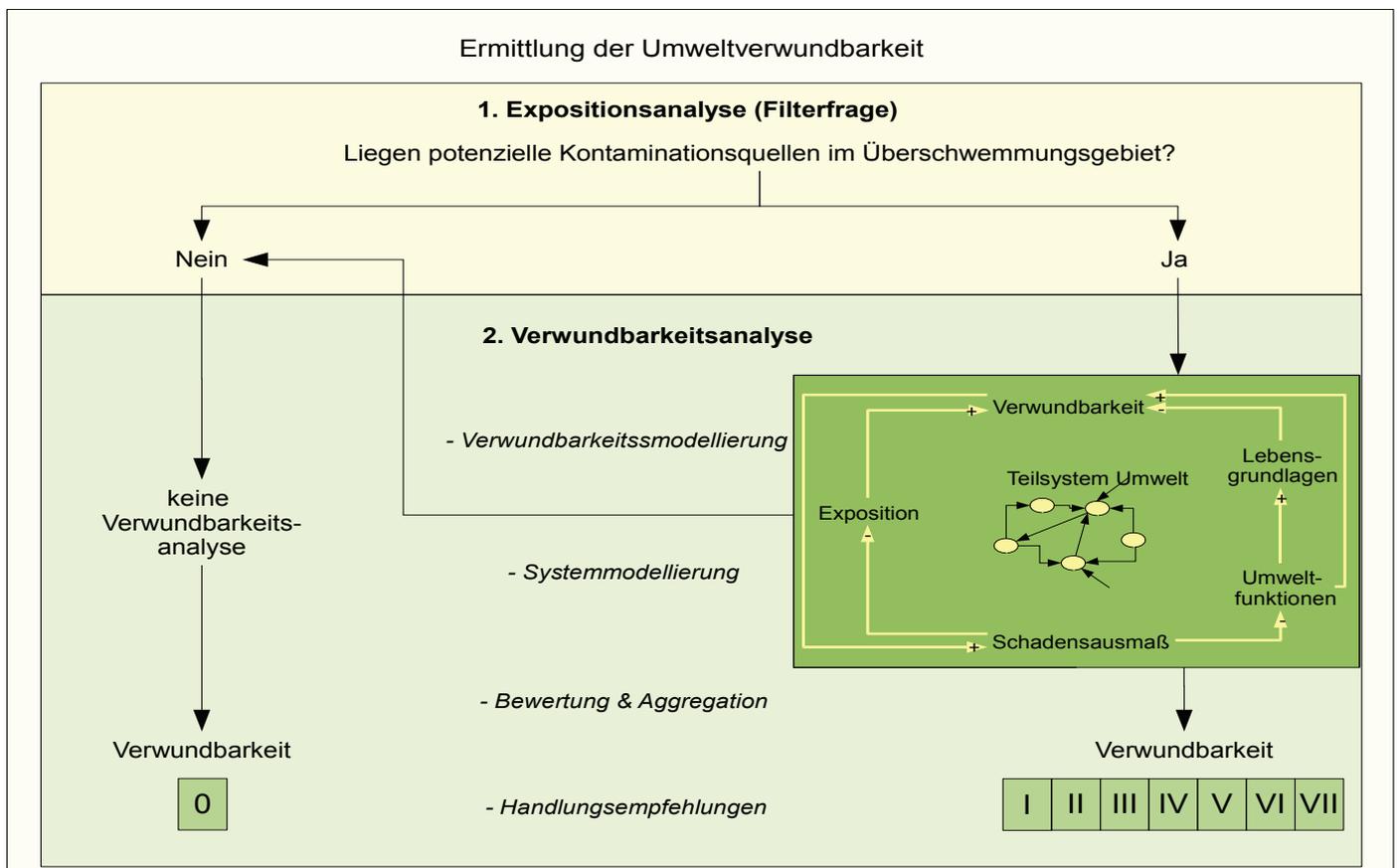


Abb. 8 Darstellung des Verwundbarkeitskonzeptes

## 5.2 Verwundbarkeitsmodell

Im Rahmen der Erstellung des Verwundbarkeitsmodells wird der Begriff der Verwundbarkeit für den gegebenen Untersuchungsgegenstand, in dem Fall die Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Hochwasserereignissen, konkretisiert. Es geht bei der Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Kontaminationen um potenzielle Beeinträchtigungen von Umweltfunktionen bzw. Ökosystem-dienstleistungen und damit um die Bedrohung der menschlichen Lebensgrundlagen (vgl. Kapitel 3.4). Im Begriff der Umweltfunktionen bzw. Ökosystemdienstleistungen ist die Anfälligkeit und die Bewältigungskapazität, wie sie in anderen Verwundbarkeitskonzepten definiert sind, enthalten (vgl. Abschnitt 2.1.2). Werden die Umweltfunktionen in einem hohen Maß erfüllt, (hier gleichzusetzen mit einer relativ intakten Umwelt), besteht einerseits eine hohe Anfälligkeit. Das bedeutet, dass bei einer Kontamination ein hohes Schädigungspotenzial bzw. ein hohes Potenzial an Qualitäts- und damit Funktionsverlust besteht. Eine hochgradige Erfüllung der Umweltfunktionen steht andererseits gleichzeitig für ein großes Puffervermögen und damit eine hohe Bewältigungskapazität, diesen potenziellen Schaden bzw. Funktionsverlust über Selbstorganisation wieder auszugleichen. Grundsätzlich bedeutet eine Kontamination aber immer einen Eingriff in die Umwelt. Umweltfunktionen bzw. Ökosystemdienstleistungen werden beeinträchtigt. Die Schäden, die beispielsweise durch eine Kontamination mit Schwermetallen oder schwer abbaubaren organischen Schadstoffen entstehen, sind nicht immer vollständig auszugleichen. In anderen Fällen bedarf es einer bestimmten Zeitspanne der Regeneration, in der aber die Umweltfunktionen auch nur eingeschränkt erfüllt werden. Damit stehen intakte Umweltfunktionen insgesamt für eine hohe Verwundbarkeit.

Wie bereits beschrieben, ist die Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Kontamination laut Definition innerhalb der Arbeit aber ausschließlich an den Wirkungsbereich der Schadstoffe aus den potenziellen Kontaminationsquellen gebunden. Dieser Wirkungsbereich beschränkt sich laut Festsetzung innerhalb des Projektes für die Altlasten nur auf die Altlastenfläche (siehe Erläuterung dazu in 5.4.2). Bei den Anlagen/Betriebsbereichen wurden drei Zonen unterschiedlicher Schadintensität um die Schadquelle definiert (vgl. 5.4.4).

Das Verwundbarkeitsmodell stellt nach der unter Kapitel 2 beschriebenen Systemtheorie einen Regelkreis dar (siehe Abb. 9). Es zeigt, dass intakte Umweltfunktionen eine hohe Verwundbarkeit der Umwelt implizieren. Die Verwundbarkeit gegenüber Kontaminationen existiert nur, wenn potenzielle Kontaminationsquellen im definierten Überschwemmungsgebiet liegen. Sie reduziert sich stark, wenn nur wenige mit geringer Schädigung im Überschwemmungsgebiet exponiert sind. Die Verwundbarkeit, die sich aus dem Maß der Erfüllung der Umweltfunktionen verschnitten mit dem Einflussbereich der Schädigungen und verknüpft mit der Intensität der Schädigung von potenziellen Kontaminationsquellen ergibt, bestimmt das Schadensmaß. Ein großer Schaden führt zu einer reduzierten Erfüllung der Umweltfunktionen und damit zu einer zunehmenden Bedrohung der Lebensgrundlagen. Die gefährdeten Lebensgrundlagen erhöhen wiederum die Verwundbarkeit der Gesellschaft. Gleichzeitig werden, wie die Erfahrungen in der Praxis zeigen, bei einer geringen Erfüllung der Umweltfunktionen (hier gleichzusetzen mit einer degradierten Umwelt), also einem tatsächlich aufgetretenen Schaden, rechtliche Grundlagen erlassen, um die potenziellen Kontaminationsquellen im Überschwemmungsgebiet zu sichern oder zu vermeiden. Werden die Rechtsetzungen umgesetzt, wäre die Verwundbarkeit stark reduziert. Bei einem nächsten Hochwasserereignis fiel demnach der Schaden geringer aus, was zum Erhalt der Umweltfunktionen und damit der Lebensgrundlagen beitrüge. Eine Verlagerung der potenziellen Kontaminationsquellen aus dem Überschwemmungsgebiet würde über die Vermeidung der Exposition zu einer Verwundbarkeit von Null führen.

## 5.3 Systemmodell

Für die nachfolgenden Ausführungen zur Systemmodellierung gelten die in Kapitel 2 und 3.2 beschriebenen Grundlagen der Allgemeinen Systemtheorie und im Besonderen die Kybernetik nach Vester (2004).

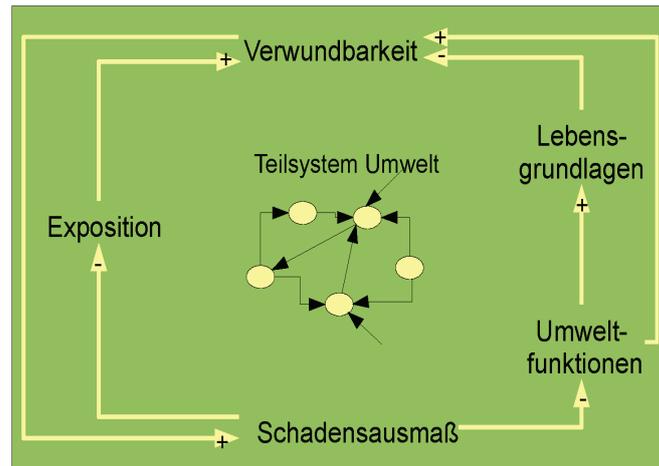


Abb. 9 Darstellung des Verwundbarkeitsmodells

Das Systemmodell stellt die thematische Konkretisierung der abstrakten Darstellung des Verwundbarkeitsmodells, d. h. es stellt die Komponenten der Verwundbarkeit im Wirkungsgefüge, dar. Hierbei werden die wesentlichen Elemente des Systems ‚Umwelt‘, genauer gesagt ‚Umweltverwundbarkeit gegenüber Hochwasserereignissen‘ und die untereinander bestehenden Beziehungen dargestellt. Im Systemmodell wird aufgezeigt, wie sich die Umwelt vor, während und nach einem Hochwasser verhält. Es ist der Versuch, diese ‚Realität‘ abstrakt und vereinfacht abzubilden. Es muss aber betont werden, dass es aufgrund der Komplexität der ökosystemaren Prozesse und einer weitgehenden Unkenntnis über das genaue Geschehen in der Umwelt nach einem Hochwasser das Systemmodell nur ein Versuch ist, die Wirklichkeit darzustellen. Die Erstellung eines Systemmodells führt zu einem vertieften Systemverständnis, das dazu führt, auch die tatsächlich systemrelevanten Kriterien/Indikatoren abzuleiten. Diese Kriterien/Indikatoren repräsentieren das gesamte System. Zudem gibt die dargestellte Stärke der Wirkbeziehungen (repräsentiert durch die Pfeilstärken) im Systemmodell eine Orientierung bei der Gewichtung der abgeleiteten Kriterien für die Zusammenführung zu einer Verwundbarkeitsaussage. Darüber hinaus werden aus dem abgebildeten Sachzusammenhang die ersten abstrakten Handlungsempfehlungen sichtbar. Es wird deutlich, welche Systemelemente mit dem Ziel der Reduktion der Verwundbarkeit verändert werden müssen.

Das nachfolgend dargestellte Systemmodell stellt im Wesentlichen eine Regelschleife, mit der über negative Rückkopplungen die Sicherheit potenzieller Kontaminationsquellen, damit die Umweltfunktionen und damit die Verwundbarkeit gegenüber Kontamination infolge eines Hochwassers reguliert wird, dar (siehe Abb. 10). Aus dem Systemmodell wird deutlich, dass von den menschlichen Nutzungen in der Aue bzw. durch damit ggf. einhergehende unzureichende Sicherung potenzieller Kontaminationsquellen Gefahren für die Umwelt ausgehen. Damit gefährdet der Mensch im Hochwasserfall über die möglicherweise durch sein Handeln ausgelösten Kontaminationen der Umwelt, die sich in den degradierten Boden-, Grundwasser-, Oberflächenwasser-, Arten- und Biotopschutzfunktionen widerspiegeln, seine eigenen Lebensgrundlagen. Bekommt die Gesellschaft das zu spüren und/oder messen Behörden kritische Werte im Boden, Grund- und Oberflächenwasser leitet sie Maßnahmen für eine Erhöhung der Sicherheit der potenziellen Kontaminationsquellen ein, um die Umweltfunktionen und damit ihre Lebensgrundlagen in Zukunft zu erhalten. An den ein- und ausgehenden Wirkungen des Systemelementes<sup>5</sup> ‚Sicherheit potenzieller Kontaminationsquellen‘ wird deren Dominanz ersichtlich. Das Systemmodell macht damit auch klar, dass die Verwundbarkeit der Umwelt erst aus einer unzureichenden Sicherung der potenziellen Kontaminationsquellen resultiert.

<sup>5</sup> Repräsentiert durch die zum diesem Systemelement führenden und von diesem Element ausgehenden Pfeilen

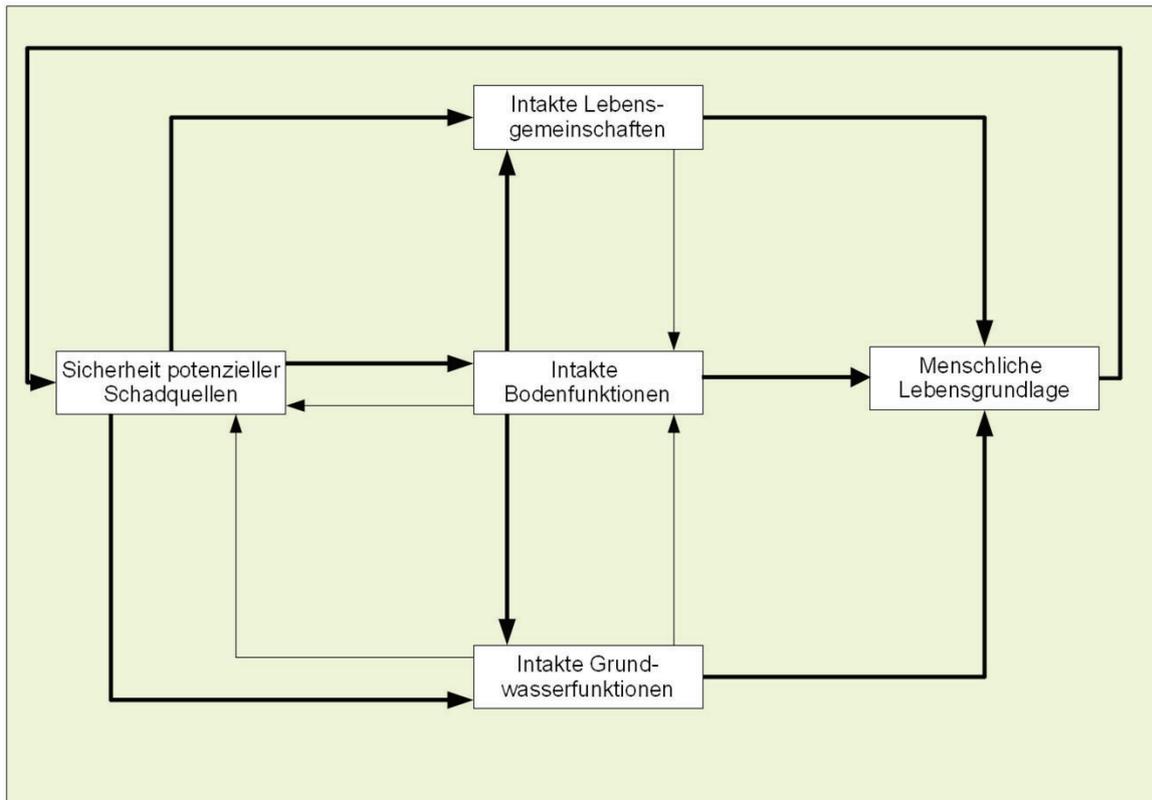


Abb. 10 Darstellung des Systemmodells

Zunächst werden die Schadwirkungen ausgehend von den Altlasten im Systemmodell betrachtet. Über den ansteigenden Grundwasserspiegel im Hochwasserfall können Altlasten remobilisiert werden und den Boden und bei erneut sinkenden Grundwasserspiegel nach einem Hochwasserereignis das Grundwasser kontaminieren. Es ist aber auch vorab möglich, dass infolge der erhöhten Niederschläge, die zu dem Hochwasser führten, verstärkte Versickerungsprozesse einsetzen, die eine Auswaschung der Schadstoffe aus unzureichend gesicherten Altlasten in den Boden und das Grundwasser bewirken. Über den Bodenpfad können so pflanzliche und tierische Lebensgemeinschaften bedroht werden. Über den Zwischenabfluss im Boden und den Grundwasserpfad kann zudem das Oberflächenwasser kontaminiert werden. Auch hier besteht die Gefahr, dass aquatische Lebensgemeinschaften beeinträchtigt werden. Da im Oberflächenwasser, gerade innerhalb der Fließgewässer nach einem Schadstoffeintrag rasch Verdünnungseffekte einsetzen und für Fließgewässer gegenüber Kontaminationen innerhalb eines kleinen Untersuchungsgebietes wie den Kommunen keine spezifischen Verwundbarkeitsunterschiede festzumachen sind, bleiben Aussagen zum Oberflächenwasser im Systemmodell und damit bei der Verwundbarkeitsermittlung der Umwelt unberücksichtigt. Über die anderen drei Informationen (intakte Lebensgemeinschaften, Boden- und Grundwasserfunktionen), die in die Umweltverwundbarkeit eingeflossen sind, können jedoch auch Rückschlüsse für das Oberflächenwasser gezogen werden (Geller et al., 2005; ARGE, 2003; Müller & Yahya, 1992).

Neben den Altlasten müssen auch die Wirkungen ausgehend von den Anlagen nach § 62 WHG und den Betriebsbereichen nach der 12. BImSchV im Systemmodell berücksichtigt werden. Trifft die Hochwasserwelle auf unzureichend gesicherte Anlagen nach § 62 WHG und Betriebsbereiche nach 12. BImSchV, kann es zum Stoffaustrag aus den Anlagen und Betriebsbereichen kommen. Je nach Transportkraft des abfließenden Hochwassers und Eigenschaften der freigesetzten Schadstoffe kommt es in Stromrichtung zur Ablagerungen der Schadstoffe. Daraus können sich direkt Belastungen für den Boden oder Lebensgemeinschaften ergeben. Über den Bodenpfad besteht die Möglichkeit, dass die Belastungen über Versickerung an das Grundwasser oder über Nährstoffaufnahme an die Pflanzen und Tiere weitergeleitet werden (Geller et al., 2005; Müller &

Yahya, 1992).

Eine Beeinträchtigung der Grundwasserfunktion und der Bodenfunktion durch Kontamination aus den Altlasten und den Anlagen/Betriebsbereichen nach § 62 WHG und nach der 12. BImSchV kann zur Gefährdung der menschlichen Lebensgrundlagen führen, da die freigesetzten Schadstoffe über das Grundwasser in das Trinkwasser und über die Aufnahme aus dem Boden in die Kulturpflanzen in die Nahrungskette gelangen können. Daneben kann über die Kontamination des Bodens die Bodenfruchtbarkeit reduziert und damit direkt die menschlichen Lebensgrundlage gefährdet werden (Geller et al., 2005).

Wie bereits beschrieben, besteht die Gefahr, dass über kontaminierte Böden die Tiere und Pflanzen und deren Lebensräume und damit die Arten- und Biotopschutzfunktion beeinträchtigt werden. Rückgekoppelt bedeuten Schäden in den Lebensräumen und den darin lebenden Lebensgemeinschaften beispielsweise in den Lebensgemeinschaften der Bodenorganismen infolge von Kontamination eine Einschränkung der Bodenfunktionen.

Wird über Messungen festgestellt, dass die Boden- oder Grundwasserqualität unter bestimmte Schwellenwerte gesunken ist oder die Lebensgrundlagen (z. B. Nahrung, Trinkwasser) kontaminiert sind, dann werden Maßnahmen gefordert und auch formuliert, um die Kontaminationsquellen zu sichern oder zu vermeiden<sup>6</sup>. Mit einer höheren Sicherheit der potenziellen Kontaminationsquellen geht eine geringe Verwundbarkeit einher. Werden potenzielle Kontaminationsquellen vermieden, so sind weniger Umweltflächen von potenzieller Kontamination betroffen. Sie sind damit nach der gewählten Definition nicht verwundbar.

### **Abgeleitete Verwundbarkeitskriterien**

Aus dem Systemmodell konnten Kriterien der Umweltverwundbarkeit abgeleitet werden<sup>7</sup>.

Diese Kriterien sollten sich nicht nur aus dem Sachzusammenhang ergeben und damit wissenschaftlich begründet sein. Sie sollten auch zur Vergleichbarkeit in anderen Kommunen (auch kleineren) z. B. aus der Erstellung des Landschaftsplanes oder eines Umweltberichtes zur Verfügung stehen. Damit sind die abgeleiteten Kriterien das Resultat des Anspruches, zum einen ein einfaches transparentes, aber dennoch wissenschaftlich fundiertes Verfahren der Verwundbarkeitsermittlung zu entwickeln und zum anderen auf bereits vorhandene Daten zuzugreifen.

Für die Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Hochwasserereignissen in einer Kommune ist zunächst, wie bereits beschrieben, das Vorhandensein von potenziellen Kontaminationsquellen im Überschwemmungsgebiet Voraussetzung. In dem Einflussbereich dieser potenziellen Schadwirkungen sind Böden, Grund- und Oberflächenwasser-, Arten- und Biotopschutzfunktionen bedroht. Wie oben bereits erwähnt, lässt sich jedoch für das Oberflächenwasser keine spezifische Verwundbarkeit ermitteln. Damit wird die Verwundbarkeit der Kommune über die Bodenfunktion, die Grundwasserfunktion und die Arten- und Biotopschutzfunktion, die im Einflussbereich potenzieller Kontaminationsquellen erfüllt werden, ermittelt.

Die in den Kommunen vorhandenen Daten über die Schutzwürdigkeit der Böden könnte die Verwundbarkeit

---

<sup>6</sup> Dieser Aspekt wurde in Dresden nach dem Hochwasser 2002 im Zusammenhang mit den ausgelaufenen Öltanks deutlich – das rechtlich festgesetzte Überschwemmungsgebiet wurde neu ausgewiesen. Danach wurden die dort angesiedelten Gewerbe und Industriebranche als auch Privatpersonen kontaktiert und über die Vorschriften der VAWS informiert.

<sup>7</sup> Für den Bereich Umwelt ist es nicht sinnvoll, Indikatoren im Sinne von Messgrößen wie z. B. pH-Wert oder Humusgehalt abzuleiten. Um die Verwundbarkeit genau zu ermitteln, müssten eine Reihe von speziellen Messgrößen verknüpft werden. Zum einen werden diese Größen z. T. in Kommunen gar nicht erhoben, zum anderen wäre das Verfahren der Verknüpfung und der Aggregation der vielen Messgrößen sehr umständlich und schwer nachvollziehbar. Aus diesem Grund sollten wenige Kriterien die Verwundbarkeit des dargestellten Gesamtsystems widerspiegeln.

gegenüber dem Verlust der Funktionsfähigkeit von Böden widerspiegeln. So stünde ein sehr schutzwürdiger Boden aufgrund der Gefahr bei Kontamination seine vorhandenen, noch relativ intakten Bodenfunktionen nur eingeschränkt oder gar nicht mehr zu erfüllen, für eine hohe Verwundbarkeit. Die Verwundbarkeit gegenüber dem Verlust von Grundwasserfunktionen könnte über die Größe der natürlichen Grundwassergeschüttheit dargestellt werden. Eine geringe natürliche Grundwassergeschüttheit wäre mit einer hohen Verwundbarkeit gleichzusetzen, da in dem Fall die Schadstoffe relativ ungehindert zum Grundwasser vordringen können. Der Biotopwert macht Aussagen darüber, wie wertvoll die Lebensräume von Lebensgemeinschaften sind. Auch wenn der Biotopwert nicht in jedem Fall den Grad der Erfüllung der Arten- und Biotopfunktion repräsentiert (z. B. wird ein Gebüsch mit geringerem Biotopwert mehr zur Bodenbildung beitragen als ein wertvoller eingestufte Trockenrasen), so soll er im Folgenden, um das Verfahren für die Kommunen handhabbar zu gestalten, dennoch als Indikator für die Arten- und Biotopfunktion dienen. Es ist generell davon auszugehen, dass wertvolle Biotope auch Lebensgemeinschaften beherbergen, die die Funktionen der Sicherung des Genpools, der Sauerstoffproduktion, der CO<sub>2</sub>-Aufnahme, der Bestäubung, der Bodenbildung etc. sehr gut erfüllen. Wertvolle Biotope stünden demnach für eine hohe Verwundbarkeit, da in diesen Fällen der Funktionsverlust sehr groß wäre.

Im Folgenden sind die aus dem Systemmodell abgeleiteten und i. d. R. in den Kommunen als Daten vorliegenden verwundbarkeitsrelevanten Kriterien aufgeführt.

- Schutzwürdigkeit des Bodens
- Natürliche Grundwassergeschüttheit
- Biotopwert

Diese drei Kriterien repräsentieren die verwundbarkeitsrelevanten Umwelteigenschaften. Werden diese Umwelteigenschaften zusammengeführt, ergibt sich die verwundbarkeitsrelevante Umweltinformation. Erst die räumliche Verschneidung der verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation mit den Ausbreitungsräumen der potenziellen Schadwirkungen und die Verknüpfung mit der Intensität der Schadwirkung ergibt die zu ermittelnde Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Kontaminationen (siehe Abb. 11)

## 5.4 Bewertung & Aggregation

Um zu einer Verwundbarkeitsaussage zu kommen, müssen zunächst die verwundbarkeitsrelevanten Kriterien hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Verwundbarkeit bewertet und zur verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation zusammengeführt werden. Im nächsten Schritt erfolgt die Bewertung der Schadwirkungen der potenziellen Kontaminationsquellen. Die so abgestuften Schadintensitäten sollten auch hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Verwundbarkeit bewertet werden. In einem letzten Schritt wird dann die verwundbarkeitsrelevante Umweltinformation mit den unterschiedlich starken Schadwirkungen zur Umweltverwundbarkeit aggregiert.

Die Zusammenführung der Kriterien zur verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation und die Aggregation zur Umweltverwundbarkeit erfolgt über das Verfahren der ‚logischen Verknüpfung‘ (vgl. Kapitel 4.1.4).

### 5.4.1 Bestimmung der verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation

Zunächst wird die Bewertung der verwundbarkeitsrelevanten Kriterien und die Verknüpfung zur verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation über die logische Verknüpfung erläutert. Vor der Durchführung der logischen Verknüpfung muss man sich der Bedeutung der einzelnen verwundbarkeitsrelevanten Kriterien für die Verwundbarkeit, wie bereits in 5.3 angedeutet, bewusst werden. Nach eigener Meinung und der Meinung der befragten Experten steht eine hohe Schutzwürdigkeit des Bodens für eine sehr hohe Verwundbarkeit, da

davon auszugehen ist, dass diese Böden noch sehr gut ihre Umweltfunktion, also ihre Bodenfunktionen erfüllen. Eine Kontamination würde einen großen Eingriff in die Bodenfunktionen darstellen. Böden mit geringer Schutzwürdigkeit leisten dagegen kaum oder gar keinen Beitrag zur Erhaltung der Bodenfunktion. Sie werden als sehr gering verwundbar eingestuft. Sind die Grundwasserleiter durch mächtige und bindige Bodenkörper überdeckt, was einer sehr hohen oder hohen natürlichen Grundwassergeschüttheit entspricht, dann ist von einer sehr geringen Verwundbarkeit gegenüber Kontamination auszugehen. Ist das Grundwasser dagegen nur gering oder sehr gering durch den überlagernden Bodenkörper geschützt, ist von einer sehr hohen Verwundbarkeit auszugehen. Ein hoher bzw. sehr hoher Biotopwert steht für eine sehr hohe Verwundbarkeit, da Biotopwert beider Wertstufen noch gut bzw. sehr gut ihre Umweltfunktion, also ihre Arten- und Biotopschutzfunktionen erfüllen. Es ist davon auszugehen, dass Kontaminationsprozesse Eingriffe in die Lebensräume, damit in die Lebensgemeinschaften und somit einen Funktionsverlust bedeuten würden. Für die vorliegende Arbeit wird trotz der in 5.3 formulierten Bedenken davon ausgegangen, dass Biotopwert mit geringem oder sehr geringem Wert dagegen kaum oder gar keinen Beitrag zum Erhalt der Arten- und Biotopschutzfunktion leisten. Sie können als sehr gering verwundbar eingeschätzt werden. Diese beschriebenen Zusammenhänge zwischen den verwundbarkeitsrelevanten Kriterien und der Verwundbarkeit bilden die Grundlage für die logische Verknüpfung. Die Grundlagen des Verfahrens der logischen Verknüpfung wurden in Kapitel 4.1.4 beschrieben. Wie dort bereits erwähnt, wird den in den Kommunen vorliegenden ordinalen Ausprägungen der verwundbarkeitsrelevanten Kriterien mit Hilfe einer funktionalen Darstellung (in Anlehnung an die Nutzenfunktionen der Nutzwertanalyse) fachlich begründet, je ein Verwundbarkeitswert zugeteilt. Aus der Zusammenführung der drei Verwundbarkeitswerte der Kriterien ergibt sich die verwundbarkeitsrelevante Umweltinformation. In den Funktionen wird die gerade beschriebene Bedeutung des jeweiligen Kriteriums für die Verwundbarkeit dargestellt. Sie zeigt also wie sich die Verwundbarkeit mit steigender Rangfolge der Ausprägungen des Kriteriums verändert.

Für die Darstellung der Funktion sollte zunächst festgelegt werden, wie viele Wertstufen die verwundbarkeitsrelevante Umweltinformation aufweisen soll. Danach richtet sich auch die Anzahl der Wertstufen der Verwundbarkeit im Funktionsdiagramm. Bezüglich der Anzahl der Wertstufen zeigen Erfahrungen, dass Ordinalskalen nicht mehr als 5-7 Stufen haben sollten (Bachfischer, 1978: 178). Die Anzahl der Wertstufen sollte sich nach dem Sachverhalt richten. Je genauer ein Sachverhalt wissenschaftlich untersucht ist, je besser also die Datengrundlage ist, desto mehr Klassen können gegründet werden. Neun Klassen stellen allerdings die Obergrenze dar, da der Mensch darüber hinaus nicht mehr differenzieren kann (Scholles, 2008b: 411). Bei nur

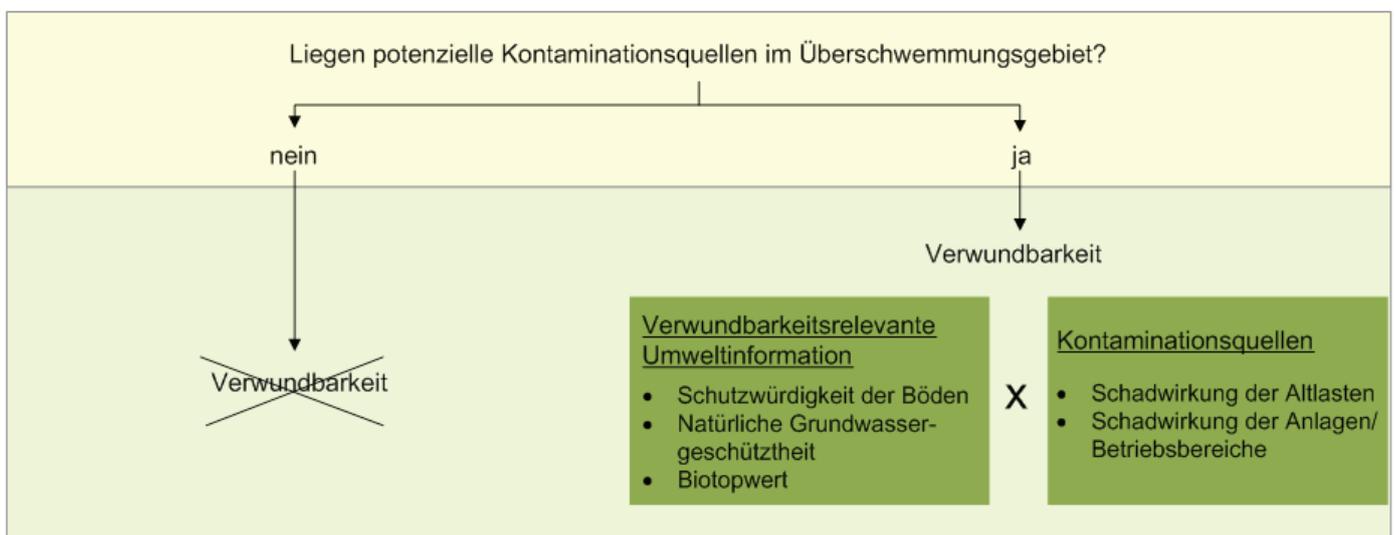


Abb. 11 Konkretisierung des Verwundbarkeitsbegriffes

drei Klassen besteht allerdings die Gefahr, dass die Aussagekraft des Ergebnisses zu gering ist. Innerhalb des Forschungsprojektes wird zur Darstellung der verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation eine fünfstufige Darstellung der Ergebnisse angestrebt. Zum einen wird so im Vergleich zur dreistufigen Bewertung von gering über mittel bis hoch eine höhere Aussagekraft des Ergebnisses erzielt, zum anderen ist eine stärkere Differenzierung als in fünf Klassen durch die vorhandene Datenbasis nicht sinnvoll. Allerdings sollte in den Kommunen die gleiche Anzahl der Klassen zur Darstellung der Verwundbarkeit gewählt werden, um einen Vergleich mit anderen Kommunen zu ermöglichen.

Demnach stellt das Funktionsdiagramm die Verwundbarkeit in fünf Wertstufen dar. Die Anzahl der Ausprägungen des jeweiligen Kriteriums richtet sich nach der in den Kommunen vorliegenden Wertabstufung. Der abgebildete Zusammenhang – das entspricht dem generellen Verlauf der Funktion – zwischen dem jeweiligen Kriterium und der Verwundbarkeit im Funktionsdiagramm wird von der Autorin auf Basis der Experteninterviews festgelegt. Da in jeder Kommune eine andere Anzahl an Ausprägungen der Kriterien vorliegen, muss der Funktionsverlauf gestaucht (weniger Ausprägungen als in Beispielverläufen Abb. 12, Abb. 13 und Abb. 14) oder gestreckt werden (mehr Ausprägungen als im Beispielverläufen). Im folgenden Beispiel wird der Zusammenhang zwischen dem Biotopwert und der Verwundbarkeit dargestellt (siehe Abb. 12).

Bei diesem Beispiel weist der Biotopwert fünf Ausprägungen (I-V) auf. Der Verlauf zeigt, dass ein sehr geringer und geringer Biotopwert (Ausprägung I und II) vorwiegend für sehr geringe Verwundbarkeiten (vorwiegend Wertstufe I), während hohe und sehr hohe Biotopwerte (Ausprägungen IV und V) für eine vorwiegend sehr hohe Verwundbarkeit (vorwiegend Wertstufe V) steht (siehe Erläuterungen zur Bedeutung des Kriteriums Biotopwertes für die Verwundbarkeit in 5.3 und oben). Damit ist der Verlauf der Funktion nicht linear. Linearität hieße, dass mit zunehmender Rangfolge der Ausprägung des Kriteriums auch die Verwundbarkeitswertstufen entsprechend steigen. Das würde bedeuten, dass die Ausprägung ‚sehr gering‘ für eine sehr geringe Verwundbarkeit, die Ausprägung ‚gering‘ für eine geringe Verwundbarkeit usw. ständen. Der Übergang der Funktion von geringer zu hoher Verwundbarkeit (Wertstufe II zu Wertstufe IV) ist durch einen Sprung gekennzeichnet.

Die anderen Kriterien ‚Schutzwürdigkeit des Bodens‘ und ‚Grundwassergeschützttheit‘ weisen basierend auf

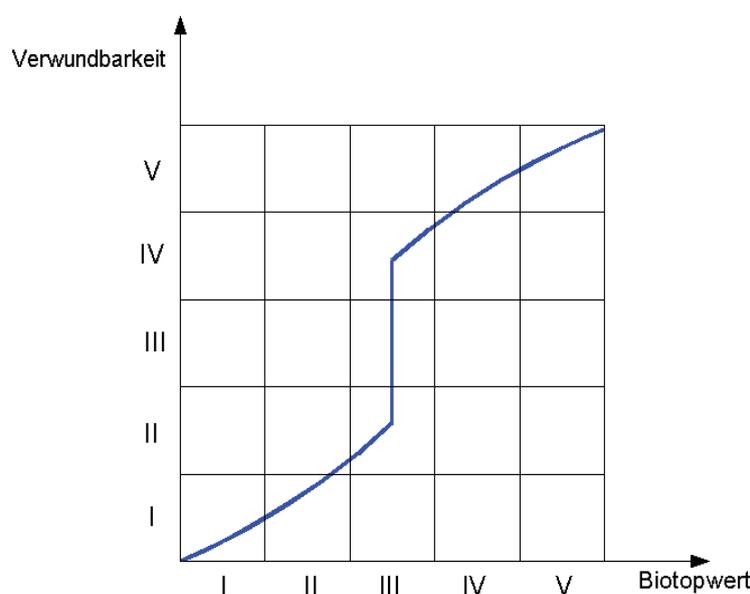


Abb. 12 Beispiel eines funktionalen Zusammenhangs zwischen dem Biotopwert und der Verwundbarkeit

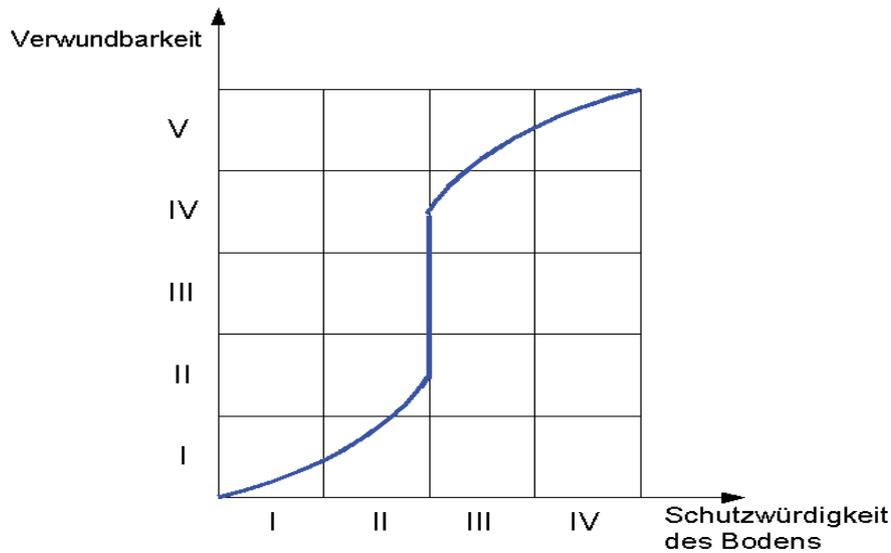


Abb. 13 Beispiel eines funktionalen Zusammenhanges zwischen der Schutzwürdigkeit der Böden und der Verwundbarkeit.

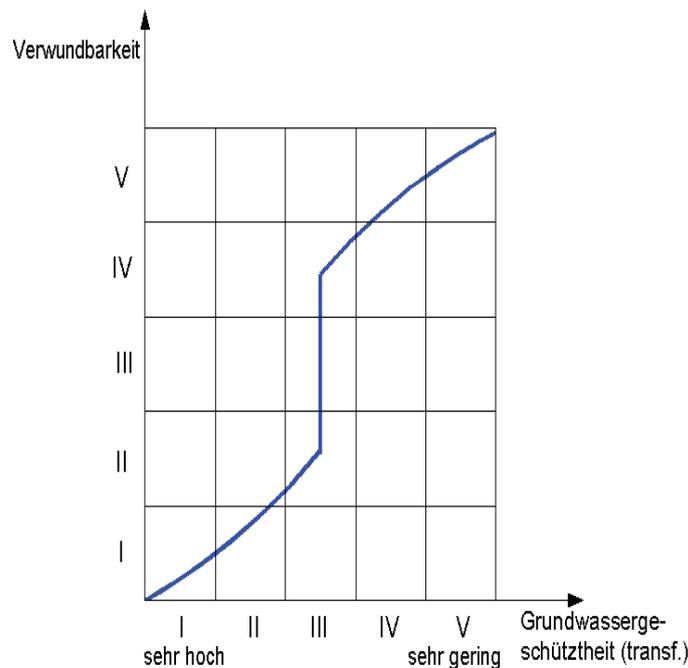


Abb. 14 Beispiel eines funktionalen Zusammenhanges zwischen der Grundwassergeschüttheit und der Verwundbarkeit

den in 5.3 und den oben beschriebenen Zusammenhängen zwischen diesen Kriterien und der Verwundbarkeit ebenfalls diesen skizzierten, nichtlinearen Verlauf auf (siehe Abb. 13 und Abb. 14).

Für jede Ausprägung der verwundbarkeitsrelevanten Kriterien kann nun aus den Funktionsverläufen eine Verwundbarkeitsstufe (= Verwundbarkeitswert) abgelesen werden. Für die Verknüpfung der Verwundbarkeitsstufen der drei Kriterien sollte die Gewichtung der Kriterien klar sein. Aus dem Systemmodell lässt sich erkennen, dass sie gleichermaßen die Umwelt bzw. die Umweltfunktionen repräsentieren. Aus diesem Grund ist keine Gewichtung der Kriterien notwendig. Es muss allerdings betont werden, dass diese Annahme auf Basis des generellen Systemmodells und nur deshalb so generell getroffen wird, um das Verfahren für die Kommunen einfach, transparent und handhabbar zu gestalten. Es steht natürlich jeder Kommune frei für bestimmte Standorte konkrete Umweltqualitätsziele zu formulieren und für diese konkreten Fälle zu entscheiden, wie die

verwundbarkeitsrelevanten Kriterien zu gewichten sind.

Für die logische Verknüpfung in der Präferenzmatrix muss überlegt werden, was das Ergebnis aus beiden abgelesenen Verwundbarkeitswerten ist. Ein geringer Verwundbarkeitswert (Wertstufe II) und ein hoher Verwundbarkeitswert (Wertstufe IV) werden bei Gleichgewichtung der beiden Kriterien eine mittlere Verwundbarkeitsstufe (Wertstufe III) zum Ergebnis haben. Das Ergebnis wird in das entsprechende Feld der Präferenzmatrix eingetragen.

Es kann aber auch vorkommen, dass der Funktionsverlauf zwei Wertstufen der Verwundbarkeit schneidet. So sind für die Ausprägung ‚geringer Biotopwert‘ (Ausprägung II) die Wertstufen sehr geringe und geringe Verwundbarkeit (Wertstufen I und II) abzulesen (siehe Abb. 12). Da sich aber der Funktionsverlauf eher in der Wertstufe sehr geringe Verwundbarkeit (Wertstufe I) befindet, würde man I/II ablesen, d. h. für eine Verknüpfung würde die Wertstufe ‚sehr geringe Verwundbarkeit‘ mehr Gewicht als die Wertstufe ‚geringe Verwundbarkeit‘ bekommen. Im Fall des mittleren Biotopwertes (Ausprägung III) verläuft der Funktionsgraph durch die Verwundbarkeitsstufen II-IV. Hierbei ist die dominierende Wertstufe III der Verwundbarkeit anzunehmen. Die logische Verknüpfung zweier Kriterien in der Präferenzmatrix ist dann beendet, wenn für jede Kombinationsmöglichkeiten aus den Ausprägungen der beiden Kriterien ein Ergebnis in die Präferenzmatrix eingetragen ist. Für die logische Verknüpfung der verwundbarkeitsrelevanten Kriterien ‚Schutzwürdigkeit der Böden‘, ‚Grundwassergeschüttheit‘ und ‚Biotopwert‘ zur verwundbarkeits-relevanten Umweltinformation können zunächst nur zwei Kriterien in der Präferenzmatrix gegenübergestellt und verknüpft werden, z. B. die ‚Schutzwürdigkeit der Böden‘, und die ‚Grundwassergeschüttheit‘ (siehe Abb. 15). Für die Umsetzung im GIS können ohnehin maximal zwei Kriterien zusammengeführt werden.

Für das Zwischenergebnis aus der Verknüpfung der ‚Schutzwürdigkeit der Böden‘ mit der ‚Grundwassergeschüttheit‘ muss ebenfalls die Bedeutung für die Verwundbarkeit in Form einer Funktion dargestellt werden. Da das Zwischenergebnis aus den beiden Einzelkriterien resultiert, besteht der gleiche generelle funktionale Zusammenhang zwischen dem Zwischenergebnis und der Verwundbarkeit wie zwischen den Einzelkriterien und der Verwundbarkeit (siehe Abb. 16).

Für die Verknüpfung mit dem noch ausstehenden Kriterium ‚Biotopwert‘ gilt das gleiche beschriebene Prinzip. Für die entsprechenden zu verknüpfenden Ausprägungen des Zwischenergebnisses und des Biotopwertes in der Präferenzmatrix sind die Verwundbarkeitswerte aus den beiden Funktionsverläufen abzulesen und nach

		Schutzwürdigkeit des Bodens			
		I	II	III	IV
Grundwassergeschüttheit (transf.)	I	I	I	III	III
	II	I	I	III	III
	III	II	II	IV	IV
	IV	III	III	V	V
	V	III	III	V	V

Abb. 15 Beispiel einer Präferenzmatrix aus der Schutzwürdigkeit der Böden und der Grundwassergeschüttheit

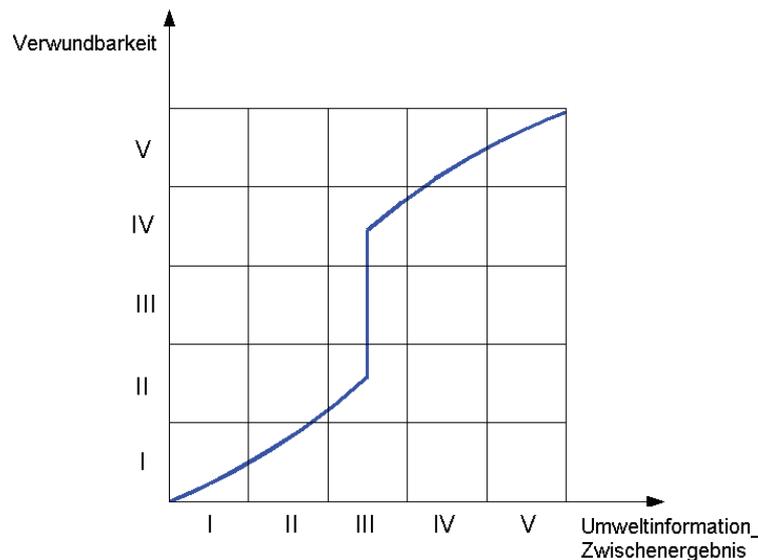


Abb. 16 Beispiel eines funktionalen Zusammenhanges zwischen dem Umweltinformation-Zwischenergebnis und der Verwundbarkeit

eigenem Ermessen logisch zusammenzuführen. Mit den in dieser Präferenzmatrix eingetragenen Verwundbarkeitswerten sind die Wertstufen der verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation ermittelt, d. h. die Wertstufen in der Präferenzmatrix der beiden Größen ‚Zwischenergebnis‘ und dem ‚Biotopwert‘ entsprechen den Wertstufen der verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation.

Das Verfahren der logischen Verknüpfung lässt sich i. d. R. in jedem Geoinformationssystem (GIS) umsetzen und darstellen. Die genauen Arbeitsschritte sind im nachfolgenden Auszug aus dem bereits veröffentlichten Praxisleitfaden siehe Kapitel 6 genau beschrieben (vgl. BBK, 2010).

#### 5.4.2 Bewertung der Schadwirkung potenzieller Kontaminationsquellen

Da eine Umweltverwundbarkeit nur in dem Einflussbereich potenzieller Kontaminationsquellen besteht, muss die verwundbarkeitsrelevante Umweltinformation mit den potenziellen Kontaminationsquellen verschnitten und der Intensität der Schadwirkung verknüpft werden. Dazu muss die Schadwirkung der potenziellen Kontaminationsquellen zunächst bewertet werden.

Da die Ausbreitung der Schadstoffe aus Altlasten während und nach dem Hochwasserereignis im Boden und angestiegenem Grundwasser nachweislich vorwiegend vertikal und weniger horizontal verläuft, werden ausschließlich die auf und unter der Fläche der Altlast befindlichen Umweltausschnitte mit ihren Wertabstufungen der verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation betrachtet. Die Ausbreitung der Schadstoffe im Grundwasserleiter in Fließrichtung nach dem Absinken des Grundwasserspiegels im Fall des Schadstoffeintrages in das Grundwasser wird, mit dem Ziel das Verfahren möglichst einfach zu halten, nicht mit berücksichtigt<sup>8</sup>. Aus demselben Grund bleiben Fälle wie das mit Dioxinen kontaminierte Spittelwasser im Raum Bitterfeld, das elbabwärts zu Kontaminationen in der Aue geführt hat, unberücksichtigt. Nur für die Umweltausschnitte innerhalb der Altlastenflächen besteht eine Umweltverwundbarkeit gegenüber einer möglichen Kontamination. In dem Verfahren wird das Schadstoffpotenzial ausgehend von Altlasten nicht weiter bewertet, da aus den betrachteten Beispielmunicipien Köln und Dresden mit der Begründung des Datenschutzes keine genaueren Informationen zum Schadstoffinventar der einzelnen Altlastenflächen übergeben wurden. Das bedeutet, dass

<sup>8</sup> Sind Schadstoffe aus Altlasten ins Grundwasser gelangt, verbreiten sich die Schadstoffe natürlich über Jahrzehnte mit der Strömungsrichtung des Grundwassers. Da aber zur Vereinfachung des Verfahrens keine Grundwasserströmungsmodellierung eingesetzt werden soll und ein einsetzender Verdünnungseffekt im Grundwasser auch berechnet werden müsste, wird nur die unmittelbare Gefahr am Eintragsort betrachtet.

es für die Gefährdung durch Altlasten keine Abstufungen der Schadintensität gibt. Möchte eine Gemeinde die Verwundbarkeit der Umwelt genauer ermitteln, kann sie beispielsweise die nach der Bundes- Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) geforderte Detailuntersuchung dazu nutzen, das Schadpotenzial einer Altlastenfläche in ordinaler Rangskalierung zu bewerten.

Für die Schadwirkung ausgehend von Anlagen/Betriebsbereiche lässt sich feststellen, dass mit zunehmender Entfernung von der potenziellen Schadquelle Verdünnungseffekte in der Hochwasserwelle einsetzen, so dass sich die potenzielle Schadwirkung abschwächt. Dargestellt wird dies über die Festlegung von drei Zonen um die potenzielle Schadquelle (siehe 5.4.4). Den Zonen werden Wertstufen von I-III unterschiedlicher Schadintensitäten zugeordnet. So ist in der unmittelbar an die Schadquelle angrenzenden Zone die potenzielle Schadintensität am höchsten. Sie bekommt beispielsweise den Wert I (hohe Schadwirkung) zugeordnet.

### 5.4.3 Bestimmung der Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Altlasten

Die Verwundbarkeitsaussage gegenüber potenziellen Kontaminationen durch Altlasten erhält man über die Verschneidung der Altlastenflächen mit den Umweltflächen, auf denen Daten zur verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation vorliegen. Wie bereits erwähnt, sind dabei nur die bewerteten Umweltflächen innerhalb der Altlastenflächen verwundbar. Die Höhe der Umweltverwundbarkeit richtet sich aufgrund der fehlenden Information zu unterschiedlichen Schadintensitäten innerhalb der Altlastenflächen nur nach der vorliegenden Wertabstufung der verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation. Ein Umweltausschnitt innerhalb der Altlastenflächen ist also sehr verwundbar, wenn dort eine sehr hohe Wertstufe der verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation vorliegt. Die Verschneidung der Altlastenflächen mit der verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation kann in einem GIS umgesetzt werden (siehe Kapitel 6.1.3).

Es ist darüber hinaus natürlich auch möglich, Altlastenverdachtsflächen mit im Verfahren zu berücksichtigen. Ist das von den Kommunen gewünscht, so sind im Folgenden, wenn von Altlasten die Rede ist, immer neben den Altlastenflächen auch die Altlastenverdachtsflächen gemeint.

### 5.4.4 Bestimmung der Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Anlagen/ Betriebsbereiche

Im Gegensatz zu dem gerade beschriebenen Prozess der Ermittlung der Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber den potenziellen Schadwirkungen aus Altlasten erfolgt im Falle einer potenziellen Kontamination durch Anlagen/Betriebsbereichen neben der Verschneidung des Einflussbereiches der Schadwirkung (dargestellt durch drei Zonen) mit den Umweltflächen, auf denen die verwundbarkeitsrelevante Umweltinformation erhoben werden kann, auch eine Verknüpfung der Wertstufen der Schadwirkung mit den Wertstufen der verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation.

Die Zonen bzw. die Distanzen unterschiedlicher Schadwirkung wurden mit Hilfe von Expertengesprächen festgelegt. Obwohl eine Schadwirkung nur in Fließrichtung auftreten kann, werden zur Vereinfachung des Verfahrens für die Kommunen Puffer mit einem einheitlichen Abstand um die Kontaminationsquellen erzeugt. Das bedeutete, dass sich das kontaminierte Hochwasser in der Aue ausgehend von der Kontaminationsquelle auch hangaufwärts ausbreitet. Dem ist natürlich nicht so. Es konnte aber innerhalb des Rahmens der Dissertation kein einfaches Verfahren, das auch in den Kommunen mit schlechterer Datenlage angewendet werden kann, entwickelt werden, dass die tatsächliche Ausbreitungsfähne der Schadstoffe darstellt. Die reale Ausbreitungsfähne der Schadstoffe in Fließrichtung kann nicht ohne Zuhilfenahme anderer Programme dargestellt werden. Auch ist es nicht wissenschaftlich korrekt für alle Schadstoffe dieselben Distanzen unterschiedlicher Schadwirkung anzunehmen. Je nach Schadstoffart müssten andere Distanzen definiert werden. Da es aber auch hier darum geht den Kommunen ein möglichst einfaches und handhabbares Verfahren an die Hand zu geben, unterblieb diese Differenzierung.

Nach der Verknüpfung sind jene Umweltausschnitte, die zugleich eine sehr hohe Wertstufe der verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation aufweisen und im unmittelbaren Einflussbereich einer Anlage oder eines Betriebsbereiches liegen, sehr verwundbar gegenüber potenziellen Kontaminationen ausgehend von Anlagen und Betriebsbereichen. Die Verknüpfung erfolgt ebenfalls unter Zuhilfenahme von Funktionen und in Form der Präferenzmatrix. Dabei müssen der Zusammenhang zwischen der verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation und der endgültig darzustellenden Verwundbarkeit und zwischen der Schadintensität der potenziellen Kontaminationsquellen und der endgültig darzustellenden Verwundbarkeit abgebildet werden. Da sich die verwundbarkeitsrelevante Umweltinformation aus den drei Kriterien zusammensetzt, die jeweils den beschriebenen nicht-linearen Verlauf aufweisen, nimmt auch der Zusammenhang zwischen der verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation und der endgültig darzustellenden Verwundbarkeit den nicht-linearen Verlauf an (siehe Abb. 17).

Der Zusammenhang zwischen der Schadwirkung ausgehend von Anlagen/Betriebsbereichen und der Verwundbarkeit ist linear, da angenommen wird, dass sich die Schadwirkung über die definierten Zonen gleichmäßig abschwächt (siehe Abb. 18).

Die Verknüpfung der verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation mit der Schadwirkung der potenziellen Kontaminationsquellen in der Präferenzmatrix verläuft nach dem gleichen bereits beschriebenen Prinzip der logischen Verknüpfung. Es wurden für jede Ausprägung beider Größen die Verwundbarkeitswerte abgelesen und nach eigenem Ermessen in die entsprechenden Felder der Präferenzmatrix eingetragen (siehe Abb. 19). Diese bereits erarbeitete Präferenzmatrix kann in jeder Kommune übernommen werden, die den Vorschlag der fünfstufigen Darstellung der verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation und der dreistufigen Darstellung der Schadwirkung angenommen haben.

Diese Präferenzmatrix wird für die Umsetzung im GIS benötigt. Die Umsetzung im GIS ist im Kapitel 6.1.3 beschrieben.

#### 5.4.5 Bestimmung der Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Kontaminationsquellen

Es ist davon auszugehen, dass sich die schädlichen Auswirkungen und damit die gesamte hochwasserbedingte Umweltverwundbarkeit bei einer Überlagerung der potenziellen Schadwirkungen ausgehend von den unterschiedlichen Kontaminationsquellen erhöhen. Liegt beispielsweise der Einflussbereich einer Anlage nach §

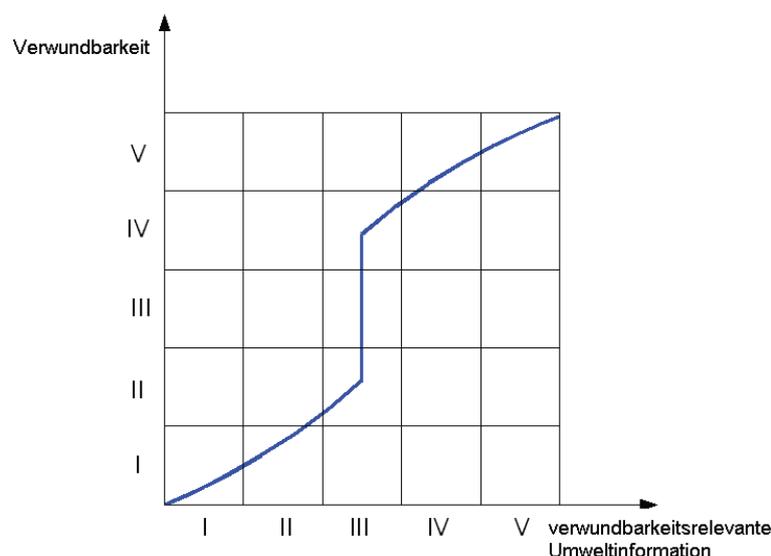


Abb. 17 Funktionale Zusammenhang zwischen der verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation und der Verwundbarkeit

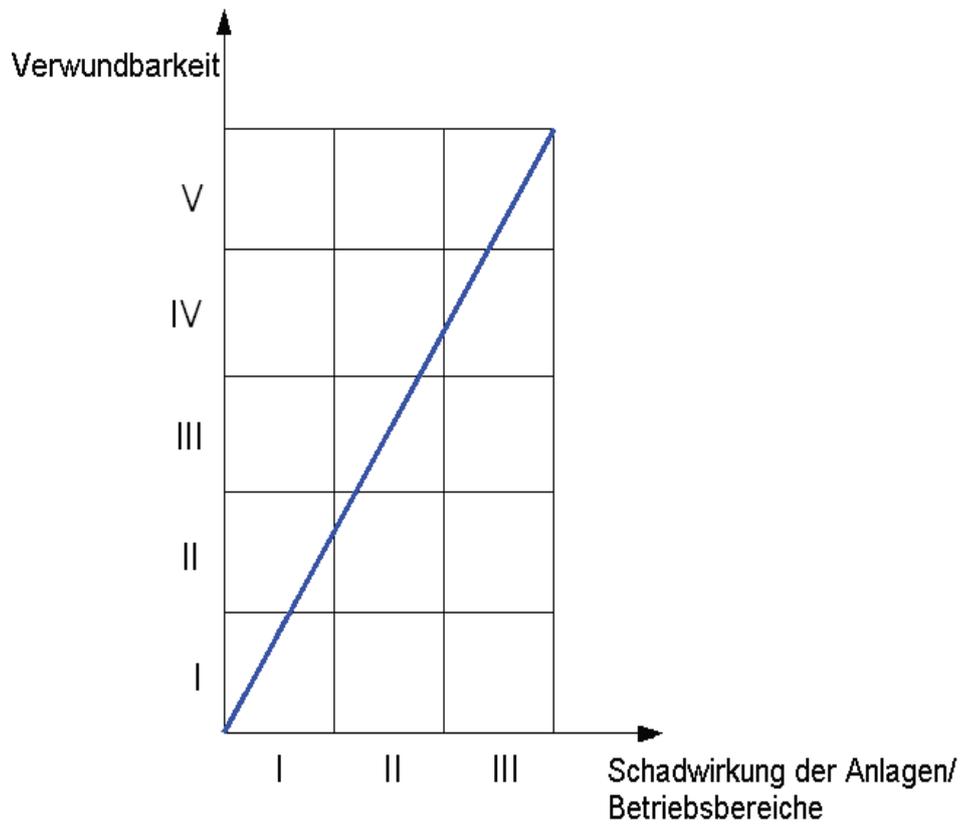


Abb. 18 Funktionale Zusammenhang zwischen der Schadwirkung von Anlagen/Betriebsbereichen und der Verwundbarkeit

Schadwirkung der Anlagen/  
Betriebsbereiche (Pufferzonen)

		I	II	III
verwundbarkeitsrelevante Umweltinformation	I	I	II	III
	II	I	II	III
	III	II	III	IV
	IV	III	IV	V
	V	III	IV	V

Abb. 19 Präferenzmatrix aus der verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation und der Schadwirkung ausgehend von Anlagen/Betriebsbereichen (Pufferzonen)

62 WHG, dargestellt durch die Pufferzonen, über einer Altlastfläche, so wird die Verwundbarkeit des sich dort befindlichen Umweltausschnittes gesteigert. Dazu muss zunächst die Umweltverwundbarkeit gegenüber der potenziellen Kontamination aus Altlasten mit der Umweltverwundbarkeit gegenüber der potenziellen Kontamination gegenüber Anlagen nach § 62 WHG / Betriebsbereiche nach der 12. BImSchV verknüpft werden. Dabei entstehen zwei Fälle. Für den Fall, dass eine Umweltfläche nur durch eine Altlast oder nur durch eine Anlage oder einen Betriebsbereich gefährdet ist, wird die bereits die in 5.4.3 bzw. 5.4.4 ermittelte Verwundbarkeitsaussage übernommen. Ist eine Umweltfläche gleichzeitig durch eine potenzielle Schädigung aus Altlasten und Anlagen/Betriebsbereichen gefährdet, erhöht sich der Mittelwert beider Verwundbarkeitsabstufungen um zwei Wertstufen. Im GIS wird dieser Schritt wie in 6.1.3 beschrieben, umgesetzt.

Mit diesem Verfahrensschritt ist das Verfahren zur Bestimmung der Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Kontaminationsprozessen infolge eines Hochwasserereignisses abgeschlossen. Da die einzelnen Verfahrensschritte abstrakt formuliert sind, kann jede Kommune, vorausgesetzt sie verfügt über die notwendigen Daten und ein GIS, mit diesem hergeleiteten Verfahren ihre individuelle Verwundbarkeit ermitteln. Um den Ablauf des Verfahrens zu verdeutlichen, wird im folgenden Kapitel 6 dieses anhand des Beispiels Köln durchgeführt.

## 5.5 Kommunale Vergleichsindikatoren

Um verschiedene Kommunen hinsichtlich ihrer Umweltverwundbarkeit vergleichen zu können, genügen allerdings die in den vorigen Abschnitten des Kapitels 5 vorgenommenen Ausführungen zur Bestimmung der Verwundbarkeit nicht. Es müssen direkt messbare relative Größen bemüht werden. Diese lassen sich aus der kartographischen Darstellung der verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation nach der Verschneidung und Verknüpfung mit den potenziellen Kontaminationsquellen ermitteln. Folgende Indikatoren könnten dazu herangezogen werden:

### Indikator der Exposition

- Anteil der durch potenzielle Kontaminationsquellen gefährdeten Umweltflächen, für die die verwundbarkeitsrelevante Umweltinformation vorliegt, gemessen an allen im definierten Überschwemmungsgebiet exponierten Umweltflächen, für die die verwundbarkeitsrelevante Umweltinformation vorliegt

### Indikator der verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation

- Anteil der Umweltflächen, für die die verwundbarkeitsrelevante Umweltinformation vorliegt, mit Wertstufen je I-V, gemessen an allen exponierten Umweltflächen, für die die verwundbarkeitsrelevante Umweltinformation vorliegt

### Indikator der Umweltverwundbarkeit gegenüber Kontaminationsquellen

- Anteil der endgültigen Verwundbarkeitsflächen mit Wertstufen je I-VII gemessen an allen exponierten endgültigen Verwundbarkeitsflächen im definierten Überschwemmungsgebiet

Da diese Indikatoren auf relativen Größen basieren, sich also auf die je vorhandenen Daten beziehen, ist die Vergleichbarkeit in Kommunen trotz unterschiedlicher Datenlage gesichert.

## 6 Bestimmung der Verwundbarkeit der Umwelt in Kommunen gegenüber Hochwasserereignissen am Beispiel von Köln

### 6.1 Verfahren zur Ermittlung der Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Hochwasserereignissen

Das im vorigen Kapitel wissenschaftlich abgeleitete abstrakte Verfahren zur Ermittlung der Verwundbarkeit

der Umwelt wird in diesem Kapitel Schritt für Schritt beschrieben und anhand der Kommune Köln angewendet. Die verfahrensschrittgenaue Anleitung zur Bestimmung der Verwundbarkeit erfolgt in Form eines Leitfadens (siehe Abschnitt 6.1.3).

Für die Ermittlung der Verwundbarkeit der Umwelt ist neben den in den vorigen Kapiteln beschriebenen Daten auch das Vorhandensein eines GIS in der Kommune notwendig. Zwar besitzen die GIS grundsätzlich die gleichen Funktionen, dennoch wird im Folgenden die Verfahrensprozedur anhand der Software ArcGIS 9.1 erläutert.

### 6.1.1 Ablaufschema

Das Ablaufschema in Abb. 20 illustriert das vorgeschlagene konkrete Vorgehen bei der Verwundbarkeitsermittlung.

Nach einer Überprüfung des Vorhandenseins möglicher Kontaminationsquellen in der Kommune, ist zunächst die Festlegung eines Hochwasserszenarios vorzunehmen. Dieser Schritt bildet die Grundlage für das weitere Vorgehen – alle folgenden Schritte und die am Ende ermittelten Ergebnisse beziehen sich stets auf das ausgewählte Szenario. Im nächsten Schritt ist eine Expositionsanalyse durchzuführen, d. h. nur wenn innerhalb des betrachteten Überschwemmungsgebietes potenzielle Kontaminationsquellen liegen, muss das Verfahren weitergeführt werden. In diesem Fall müssen dann die verwundbarkeitsrelevanten Eigenschaften der Umwelt betrachtet werden. Im Anschluss wird in einem zweistufigen Verfahren, in dem diese verwundbarkeitsrelevanten Umwelteigenschaften sowohl mit den Schadwirkungen ausgehend von Altlasten als auch mit der

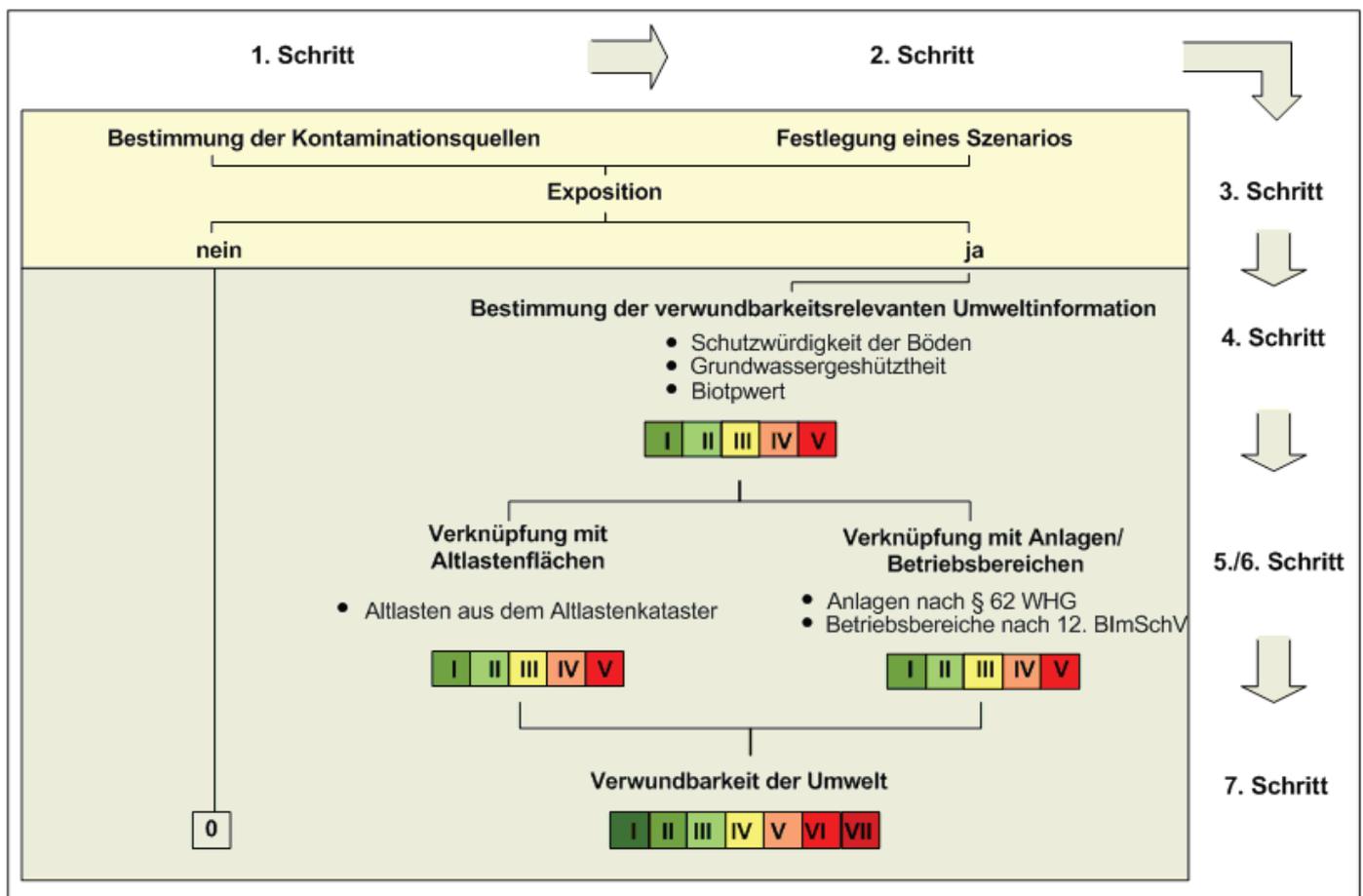


Abb. 20 Schematische Darstellung des Verfahrens zur Ermittlung der Umweltverwundbarkeit gegenüber Hochwasserereignissen

Schadwirkung aus Anlagen/Betriebsbereichen verknüpft werden, die Verwundbarkeit der Umwelt bestimmt. Neben der Ermittlung der hochwasserbedingten Umweltverwundbarkeit insgesamt kann es sinnvoll sein, Einzelbetrachtungen vorzunehmen. So könnte betrachtet werden, inwieweit schutzwürdige Böden oder wertvolle Biotope infolge eines Hochwassers von den potenziell schädlichen Auswirkungen der Anlagen/Betriebsbereichen betroffen wären. Weiterhin empfiehlt es sich zu untersuchen, an welchen Stellen speziell das Grundwasser oder schutzwürdige Böden von einem möglichen Schadstoffaustrag aus Altlasten bedroht sein könnten. Es könnte weiterhin untersucht werden, ob von Altlasten bedrohtes Grundwasser im Einflussbereich von Trinkwasserschutzgebieten liegt. Zu diesen Einzelbetrachtungen werden im vorliegenden Auszug aus dem Leitfaden in Kapitel 6.2 einzelne Beispiele aufgeführt.

### 6.1.2 Verwundbarkeitsklassen

Im Laufe des Verfahrens erfolgt eine Einstufung der betroffenen Umweltausschnitte zunächst in eine 5-stufige, später in eine 7-stufige Verwundbarkeitskala. Die Klasseneinteilung ergibt sich dabei aus den einzelnen Verfahrensschritten und gibt eine graduelle Verwundbarkeitsabstufung wieder.

### 6.1.3 Durchführung der Verwundbarkeitsabschätzung

Im Folgenden wird Schritt für Schritt eine Anleitung zur Durchführung des Verfahrens zur Ermittlung der Verwundbarkeit der Umwelt gegeben. Diese Anleitung ist als eine Art Praxisleitfaden für die Kommunen zu verstehen. Bei der Beschreibung der einzelnen Verfahrensschritte wird versucht, eine einheitliche Gliederung (Information, zu adressierende Frage, Arbeitsschritt(e), Beispiel(e), Hinweise zum Umgang mit Datenlücken) einzuhalten.

#### 1. Schritt: Bestimmung und Verortung der Kontaminationsquellen

Zu Beginn der Verwundbarkeitsabschätzung sollte zunächst überprüft werden, ob sich mögliche Kontaminationsquellen innerhalb der betrachteten Kommune befinden.

Frage: Gibt es in Ihrer Kommune Anlagen nach § 62 g WHG, Betriebsbereiche nach 12. BImSchV und/oder Altlastenflächen? Wenn ja, sind die Standorte dieser möglichen Kontaminationsquellen bekannt?

Arbeitsschritt: Überprüfen Sie, ob sich in Ihrer Kommune eine oder mehrere der genannten Kontaminationsquellen befinden. Sollte es keine solchen auf dem Gebiet ihrer Kommune geben, so erübrigen sich alle weiteren Verfahrensschritte und das Verfahren endet mit dem besten möglichen Ergebnis. Sollten jedoch Kontaminationsquellen in Ihrer Kommune existieren, so beginnen Sie mit dem Aufbau eines GIS, indem Sie ein neues View öffnen. Als Kartengrundlage sollten neben den administrativen Grenzen einige Informationen, welche die Orientierung erleichtern (beispielsweise Gebäudegrundrisse und Verkehrswege) verwendet werden. Fügen Sie die Standorte bzw. Flächen aller potentiellen Kontaminationsquellen als ein neues Thema in das GIS ein.

Zum Umgang mit Datenlücken: Liegen Ihnen keine Informationen über Anlagen/Betriebsbereiche in der Kommune vor, so sollten Sie sich an die genehmigende Behörde (z. B. Bezirksregierungen) wenden. Besitzt die Kommune kein Altlastenkataster, so kann sie in der Regel auf das der Regierungsbezirke oder des Landes zurückgreifen. Sollten die Daten zu den Anlagen/Betriebsbereichen nicht in getrennten Datensätzen vorliegen, so können diese auch zusammengenommen als Thema ‚Anlagen + Betriebsbereiche‘ abgespeichert und weiterverwendet werden. Sollten zusätzlich Informationen zu Altlastenverdachtsflächen vorliegen, so bietet sich entweder die Möglichkeit, diese als eine zusätzliche Kontaminationsquelle zu behandeln und analog zu den Altlastenflächen zu verfahren, oder die beiden Themen zu einem gemeinsamen Thema ‚Altlasten- und Altlastenverdachtsflächen‘ zusammenzuführen. Im Zweifelsfall sollten diese Flächen wie Altlasten behandelt

werden, damit möglicherweise vorhandene Gefahren nicht unberücksichtigt bleiben. Dieser Schritt wird im GIS über den ‚Union‘-Befehl ausgeführt.

## **2. Schritt: Festlegung eines Hochwasserszenarios**

Unter einem Hochwasserszenario wird im Folgenden die Annahme eines Hochwasserereignisses mit einem bestimmten Überschwemmungsgebiet verstanden. Es bestimmt die Randbedingungen, unter denen das Verfahren zur Ermittlung der Verwundbarkeit durchgeführt wird. Mit der Festlegung des Szenarios wird also der Geltungsbereich der Verwundbarkeit definiert. In der Regel werden Szenarien als HQ-Szenarien angegeben. Diese beschreiben ein Hochwasserereignis mit einem bestimmten statistischen Wiederkehrintervall. In Flusstälern bietet es sich an, das HQ-100 Szenario zu wählen, da dieses ohnehin nach § 76 WHG bereits vorliegen müsste oder in Kürze zu erstellen sein wird. Sollte dies nicht der Fall sein, so kann auch ein bestimmter Pegelstand, ein vergangenes Hochwasserereignis oder ein anderes HQ-Szenario gewählt werden. Entscheidend ist aber, dass das Szenario kartographisch, am besten in Form eines GIS, dargestellt werden kann.

## **3. Schritt: Bestimmung der Exposition von Kontaminationsquellen gegenüber Hochwasser**

Mit diesem Schritt entscheidet sich noch einmal, ob die weitere Durchführung des Verfahrens zur Ermittlung der hochwasserbedingten Umweltverwundbarkeit für Ihre Kommune sinnvoll ist. Wenn sich ergibt, dass tatsächlich potenzielle Kontaminationsquellen innerhalb des Überschwemmungsgebiets des im 2. Schritt definierten Hochwasserszenarios bzw. der -szenarien liegen, so sollte das Verfahren unbedingt weitergeführt werden. Sollte dies nicht der Fall sein, besteht keine Umweltverwundbarkeit gegenüber dem angenommenen Hochwasserereignis. Dies bedeutet, dass die Verwundbarkeitsabschätzung für die Kommune an dieser Stelle mit dem besten möglichen Ergebnis beendet ist.

Frage: Liegen potenzielle Kontaminationsquellen innerhalb des Überschwemmungsgebiets des von Ihnen definierten Hochwasserszenarios?

Arbeitsschritt: Öffnen Sie ein View, in dem die Überschwemmungsgebiete des von Ihnen gewählten Hochwasserszenarios dargestellt werden. Fügen Sie die potenziellen Kontaminationsquellen als Themen hinzu. Überprüfen Sie, ob eine oder mehrere potenzielle Kontaminationsquellen im Überschwemmungsgebiet des Hochwasserszenarios liegen.

Überlagern Sie dazu das Thema ‚Administrative Grenzen‘ mit den Themen ‚Überschwemmungsgebiet Szenario 1 (2,3,...)‘, ‚Altlasten‘ sowie ‚Anlagen/Betriebsbereiche‘. Um ein Überblick zu bekommen, können Sie zunächst einfach im View schauen, ob potenzielle Kontaminationsquellen im Überschwemmungsgebiet liegen. Reicht Ihnen diese Abschätzung nicht aus, können Sie unter Nutzung der GIS-Funktion ‚Clip‘ wie folgt vorgehen:

Verwenden Sie ‚Überschwemmungsgebiet Szenario 1 (2,3,...)‘ als Schablone für die Clip-Funktion und schneiden Sie auf diesem Weg alle exponierten Kontaminationsquellen aus den anderen Themen aus. Die so entstandenen Themen können als ‚exponierte Altlasten Szenario 1 (2,3,...)‘, ‚exponierte Anlagen Szenario 1 (2,3,...)‘ und ‚exponierte Betriebsbereiche Szenario 1 (2,3,...)‘ bezeichnet werden. Die Attributtabelle der neuen Themen enthalten die Informationen zu den exponierten Kontaminationsquellen. Ist die Attributtabelle leer, so liegen keine Kontaminationsquellen im Überschwemmungsgebiet.

Sollten Sie keine getrennten Themen erhalten, sondern mit dem Thema ‚Anlagen + Betriebsbereiche‘ gearbeitet haben, so verfahren Sie mit diesem genauso und erzeugen Sie so das Thema ‚Anlagen + Betriebsbereiche Szenario 1 (2,3,...)‘.

Sollte sich im Überschwemmungsgebiet vom einem oder mehreren Szenarien keine Kontaminationsquelle

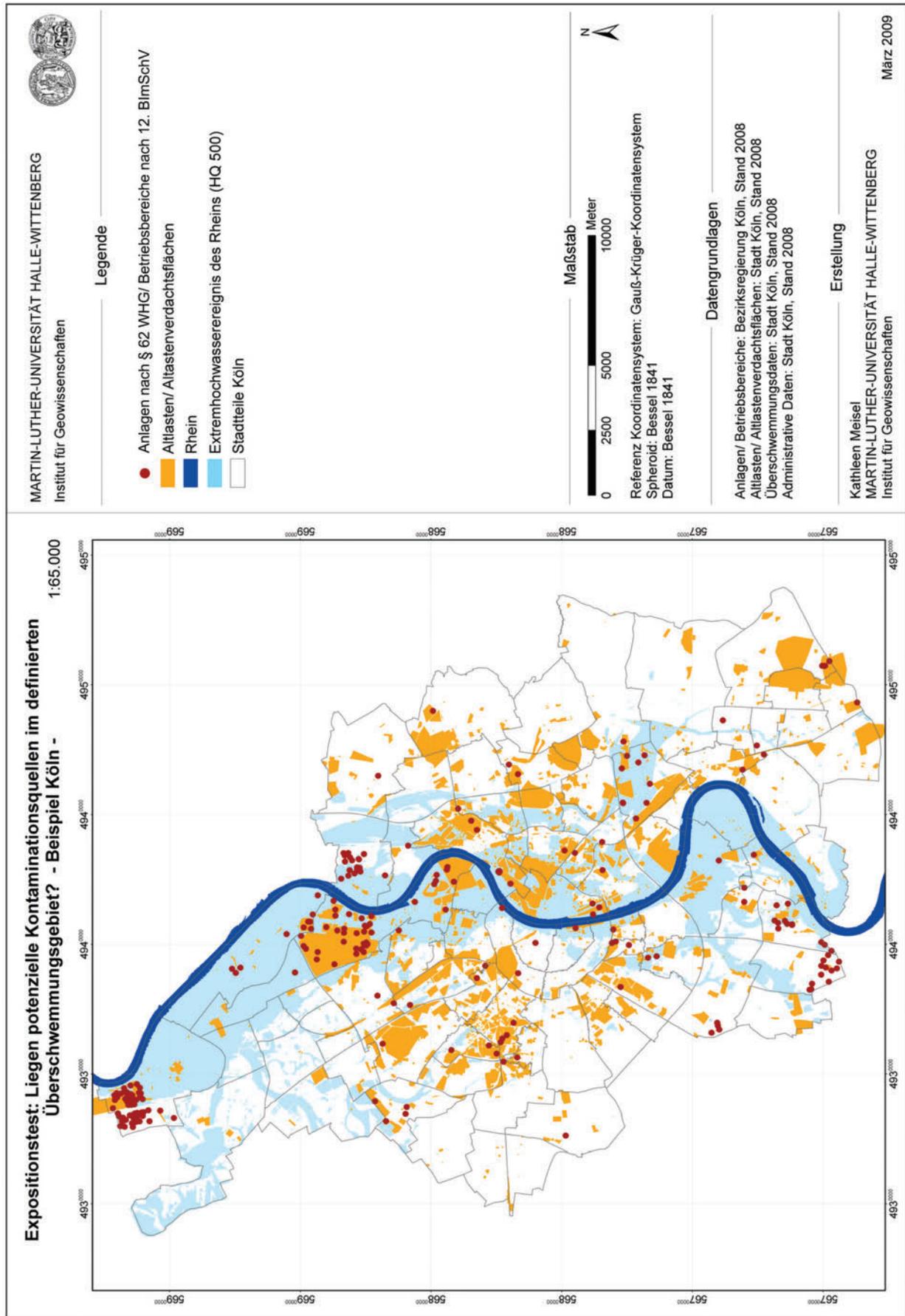


Abb. 21 Expositionstest

befinden, so kann für dieses Szenario die Verwundbarkeitsabschätzung der Umwelt mit dem Ergebnis einer nicht vorhandenen Verwundbarkeit beendet werden. Für dieses Szenario liegt keine Verwundbarkeit vor. Für alle weiteren muss das Verfahren fortgesetzt werden.

Beispiel: Dargestellt wird der Schritt anhand der Stadt Köln für ein festgelegtes Extremhochwasserszenario von HQ-500 (siehe Abb. 21). Da potenzielle Kontaminationsquellen im Überschwemmungsgebiet liegen, besteht eine hochwasserbedingte Verwundbarkeit der Umwelt und die Verwundbarkeitsabschätzung wird fortgesetzt. Besonders in den Kölner Stadtbezirken Chorweiler, Nippes und Mühlheim im Norden bzw. Norden bis Mitte von Köln häufen sich im definierten Überschwemmungsgebiet die potenziellen Kontaminationsquellen. Verantwortlich dafür sind im nördlichen Stadtbezirk Chorweiler die Industrie- und Gewerbegebiete (u. a. Teststrecke von Ford), im südlich angrenzenden Stadtbezirk Nippes vor allem die Fordwerke, im rechtsrheinisch angrenzenden Stadtbezirk Mühlheim der Bayer-Chemiepark und im südlich gelegenen linksrheinischen Stadtteil Niehl (gehört mit zum Stadtbezirk Nippes) das Niehler Hafengelände.

Zum Umgang mit Datenlücken: Es wurden keine neuen Informationen einbezogen, sondern bereits vorhandene miteinander in Verbindung gebracht. Sollten bis zu diesem Schritt keine Datenlücken aufgetreten sein, so ist auch dieser Schritt problemlos durchführbar.

#### **4. Schritt: Bestimmung der verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation**

Sollte sich bei der Durchführung des 3. Verfahrensschrittes gezeigt haben, dass sich potentielle Kontaminationsquellen innerhalb des Überschwemmungsgebiets des (oder der) von Ihnen betrachteten Szenarios (Szenarien) befinden, so gilt es in einem nächsten Schritt, die verwundbarkeitsrelevante Umweltinformation zu bestimmen. Diese ergibt sich aus den verwundbarkeitsrelevanten Eigenschaften der Umwelt. Die drei Kriterien sollten in den entsprechenden Themen bereits klassifiziert (= rangskaliert) vorliegen (z. B. sehr geringe, geringe, mittlere, hohe und sehr hohe Grundwassergeschüttheit). Diese Kriterien können, sofern es die Datenlage zulässt, für die gesamte Gemeindefläche in einem GIS räumlich dargestellt werden. Sollte zu einem späteren Zeitpunkt ein anderes Überschwemmungsgebiet gewählt werden, können die Flächen, für die die Daten zu verwundbarkeitsrelevanten Umwelteigenschaften vorliegen, jederzeit damit verschnitten werden.

Über eine logische Verknüpfung der Daten, bei dem jedes Kriterium gleich stark gewichtet wird, werden in diesem Verfahrensschritt Aussagen zur verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation erzeugt. Das Verfahren der logischen Verknüpfung unter Nutzung von funktionellen Zusammenhängen und Präferenzmatrizen (=Verknüpfungsmatrizen) lässt sich wie im folgenden Abschnitt beschrieben, in der Regel in jedem GIS umsetzen.

Arbeitsschritt: Laden Sie die umweltrelevanten Kriterien ‚Schutzwürdigkeit der Böden‘, ‚Grundwassergeschüttheit‘ und ‚Biotopwert‘ als Themen in ein neues View des GIS ein. Die Kriterien können somit in ihren Ausprägungen ‚sehr gering‘, ‚gering‘ u. s. w. räumlich dargestellt werden. Für die nächsten Arbeitsschritte benötigen Sie die von Ihnen erarbeiteten Präferenzmatrizen. Im ersten Schritt der logischen Verknüpfung in Ihrem GIS bedienen Sie sich dem ‚Vereinigung- bzw. Union‘-Befehl des Werkzeugkastens und wählen dort die beiden zu verknüpfenden Kriterien, also die ‚Schutzwürdigkeit der Böden‘ und die ‚Grundwassergeschüttheit‘ aus. Mit Ausführen dieses Befehls wird automatisch ein neues Thema erstellt, welches Sie beispielsweise ‚Umweltinformation\_Zwischenergebnis‘ nennen. In der dazugehörigen Attributtabelle dieses Themas erscheinen die Datensätze beider Kriterien. Erzeugen Sie in dieser Tabelle eine neue Spalte. Nun nutzen Sie in der Attributtabelle das Abfragefenster. Dort müssen Sie nacheinander jede Kombinationsmöglichkeit der Ausprägungen beider Kriterien abfragen, z. B. Schutzwürdigkeit = I AND Grundwassergeschüttheit = II. Werden die abgefragten Datensätze markiert, muss in das markierte Feld der neuen Spalte das entsprechende Ergebnis aus der Präferenzmatrix eingetragen werden. Der Schritt

ist beendet, wenn alle Felder der neuen Spalte ausgefüllt sind. Nun können Sie sich das neue Thema ‚Umweltinformation\_Zwischenergebnis‘ klassifiziert nach der neuen Spalte im View anzeigen lassen. Für die Verknüpfung dieses Zwischenergebnisses mit dem dritten verwundbarkeitsrelevanten Kriterium ‚Biotopwert‘ gehen sie analog vor, d. h. Sie nutzen den ‚Vereinigung- bzw. Union‘-Befehl, wählen die beiden Themen ‚Umweltinformation\_Zwischenergebnis‘ und ‚Biotopwert‘ aus, legen in der Attributtabelle des neuen Themas, welches als ‚Verwundbarkeitsrelevante Umweltinformation‘ bezeichnet wird, eine neue Spalte an. Fragen Sie nacheinander jede Kombinationsmöglichkeit der Ausprägungen der beiden Themen ab und tragen Sie die entsprechenden Ergebnisse aus der Präferenzmatrix in die Felder der neuen Spalte ein. Sind alle Ergebnisse eingetragen, können Sie sich im View das neue Thema ‚Umweltinformation‘ klassifiziert nach der neuen Spalte anzeigen lassen. Sie sehen die räumliche Verbreitung der Wertstufen ‚sehr gering‘, ‚gering‘, ‚mittel‘, ‚hoch‘ und ‚sehr hoch‘ der verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation.

Beispiel: Zunächst werden die verwundbarkeitsrelevanten Eigenschaften ‚Grundwassergeschützttheit‘, ‚Schutzwürdigkeit der Böden‘ und der ‚Biotopwert‘ als Themen im GIS am Beispiel Köln dargestellt. In Köln weist die Grundwassergeschützttheit fünf Ausprägungen (I-V), die Schutzwürdigkeit der Böden vier Ausprägungen (I-IV) und der Biotopwert drei Ausprägungen (I-III) auf (siehe Abb. 22).

Nachfolgend werden für das Beispiel Köln die Funktionen, die die Bedeutung der verwundbarkeitsrelevanten Eigenschaften für die Verwundbarkeit verdeutlichen, sowie die Verknüpfungsmatrizen dargestellt. Da die verwundbarkeitsrelevanten Eigenschaften ‚Schutzwürdigkeit des Bodens‘ und ‚Grundwassergeschützttheit‘ in Köln in der gleichen Anzahl an Ausprägungen wie in den dargestellten Beispielfunktionen vorliegen, müssen die Funktionsverläufe weder gestreckt noch gestaucht werden. Sie können so wie sie sind zum Ablesen der Verwundbarkeitswerte übernommen werden (siehe Abb. 23 und Abb. 24). Für das Beispiel Köln wurde bereits die logische Verknüpfung beider Größen zum Zwischenergebnis ‚Umweltinformation\_Zwischenergebnis‘ vorgenommen, so dass sich die in Abb. 25 dargestellte Präferenzmatrix als Vorlage für die Arbeitsschritte im GIS ergibt.

Da in Köln der Biotopwert nur 3 Ausprägungen aufweist, muss der Verlauf im Vergleich zum Beispielverlauf in Abb. 12, wie in Abb. 26 dargestellt, gestaucht werden. Die Verknüpfung aus den beiden Größen ‚Umweltinformation\_Zwischenergebnis‘ und dem ‚Biotopwert‘ wurde ebenfalls für das Beispiel Köln bereits vorgenommen (Abb. 27, Abb. 28).

Als Ergebnis der Verknüpfungen kann eine Karte der verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation, hier für das Beispiel Köln, dargestellt werden (siehe Abb. 29). Die vielen weißen Flächen in der Abb. 29 weisen daraufhin, dass hier aufgrund fehlender Daten zu den Kriterien keine verwundbarkeitsrelevante Umweltinformation erhoben werden konnte. Die Kriterien als auch die Umweltinformation wurden zunächst für das gesamte Stadtgebiet von Köln dargestellt. Soll die Information als Grundlage für die Verwundbarkeitsermittlung dienen, kann sie jederzeit mit dem definierten Überschwemmungsgebiet überschritten werden. Werden die in 5.5 definierten Vergleichsindikatorenwerte für die verwundbarkeitsrelevante Umweltinformation herangezogen, so stellt sich das Ergebnis wie folgt dar:

verwundbarkeitsrelevante Umweltinformation:	sehr gering (I)	0 %
	gering (II)	42 %
	mittel (III)	44 %
	hoch (IV)	13 %
	sehr hoch (V)	1 %

Bei der verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation sind die Wertstufen der geringen und mittleren Verwundbarkeit dominierend. Ca. 14% der Flächen, für die die verwundbarkeitsrelevante Umweltinformation

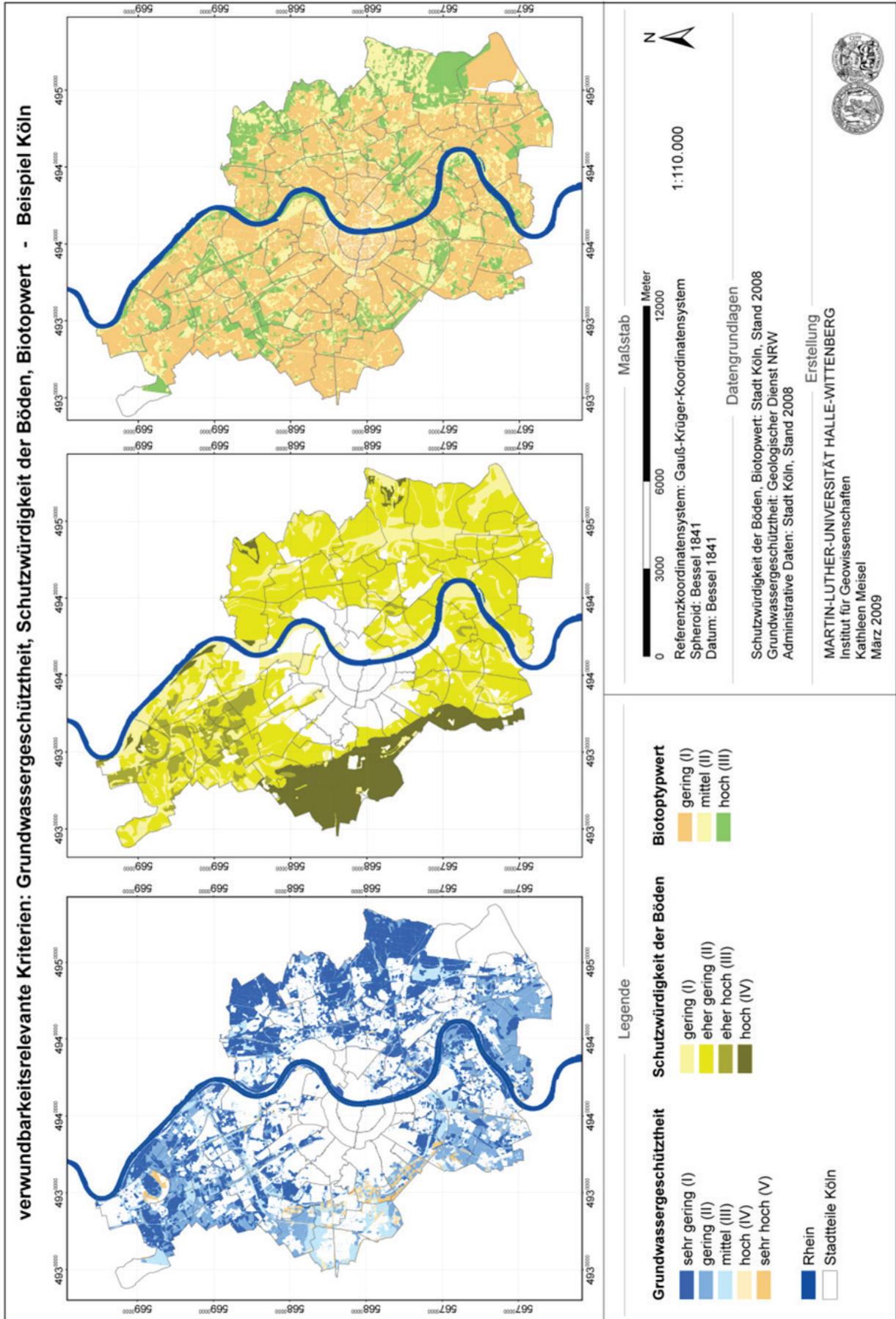


Abb. 22 Verwundbarkeitsrelevante Kriterien: Grundwassergeschüttheit, Schutzwürdigkeit der Böden, Biotopwert

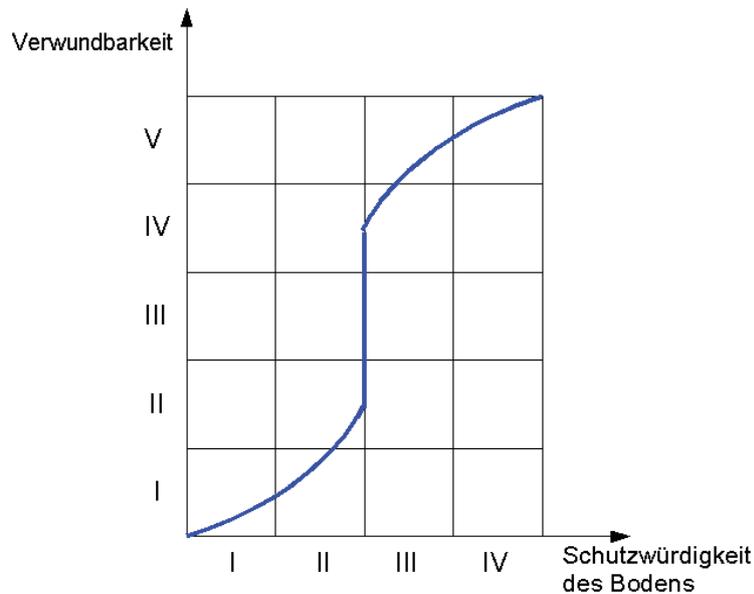


Abb. 23 Funktionaler Zusammenhang zwischen der Schutzwürdigkeit der Böden und der Verwundbarkeit

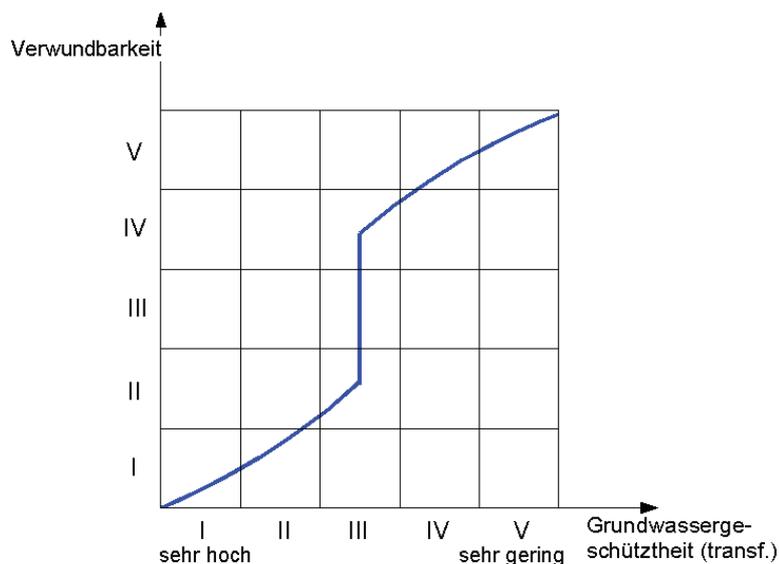


Abb. 24 Funktionaler Zusammenhang zwischen der Grundwassergeschüttheit und der Verwundbarkeit

vorliegen, weisen hohe und sehr hohe Wertstufen auf, d. h. hier werden die Umweltfunktionen noch gut bzw. sehr gut erfüllt (siehe Abb. 29). Diese wertvollen Umweltausschnitte gilt es zu bewahren. Es fällt auf, dass gerade Auennahe Bereich eine hohe Wertstufe aufweisen. Diese Ausschnitte, sollten nicht neuen potenziellen Kontaminationsquellen ausgesetzt werden (siehe Handlungsempfehlungen in Kapitel 7).

Zum Umgang mit Datenlücken: Die Schutzwürdigkeit der Böden kann, sofern sie nicht vorliegt, aus verschiedenen Parametern erzeugt werden. Ist die ‚Naturnähe‘ erfasst, so können besondere Bodenfunktionen wie Lebensraum-, Regel- und Archivfunktion zu Aufwertungen der Naturnähe und damit zum Ergebnis der Schutzwürdigkeit führen. Es besteht auch die Möglichkeit, über die Einschätzung der Erfüllung der Kriterien ‚Archivfunktion‘, ‚Biotopentwicklung‘ und ‚Fruchtbarkeit/Regelungsfunktion‘ die ‚Schutzwürdigkeit‘ zu generieren. Fehlen Aussagen zur Grundwassergeschüttheit, so können diese ebenfalls über verschiedene in der Literatur beschriebene Verfahren generiert werden. Eine Möglichkeit bietet das Hölting-Verfahren, was auf Sickerwasserberechnungen beruht (Hölting et al., 1995). Ein einfacheres Verfahren stellt die Verknüpfung der

		Schutzwürdigkeit des Bodens			
		I	II	III	IV
Grundwassergeschüttheit (transf.)	I	I	I	III	III
	II	I	I	III	III
	III	II	II	IV	IV
	IV	III	III	V	V
	V	III	III	V	V

Abb. 25 Präferenzmatrix aus der Schutzwürdigkeit der Böden und der Grundwassergeschüttheit

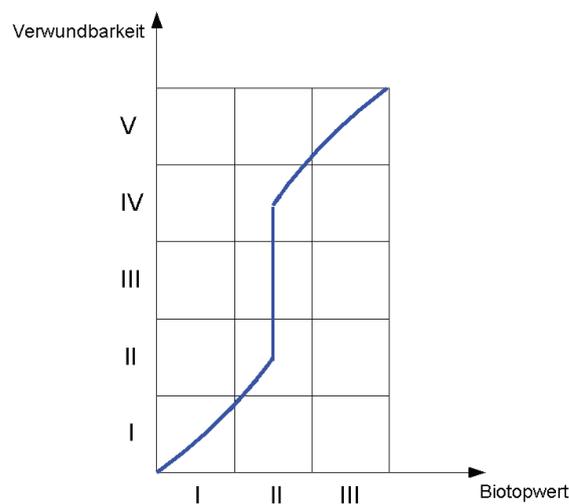


Abb. 26 Funktionaler Zusammenhang zwischen dem Biotopwert und der Verwundbarkeit

Daten von Mächtigkeit und Durchlässigkeit der dem Grundwasser überlagernden Bodenschichten dar. Liegt für die Kommune keine Biotopbewertung vor, so sollte sie diese auf Grundlage der Biotoptypenkartierung vornehmen. Alle drei Informationen sind für die Ermittlung der Umweltverwundbarkeit essentiell und sollten, wenn nicht vorhanden, selbst über die bereits angesprochenen Verfahren erzeugt werden.

Möglich ist es auch, dass die verwundbarkeitsrelevante Umweltinformation wie am Beispiel von Köln ersichtlich, nicht flächenhaft dargestellt werden kann, da die einzelnen Datensätze zur ‚Schutzwürdigkeit der Böden‘, zur ‚Grundwassergeschüttheit‘ und zum ‚Biotopwert‘ nicht für die gesamte Fläche der Kommune vorliegen. Es ist häufig der Fall, dass im innerstädtischen Bereich die Stadtböden nicht kartiert sind. Somit können keine Aussagen zur ‚Schutzwürdigkeit des Bodens‘ gemacht werden. ‚Weiße Flecken‘ auf der Karte bedeuten, dass hier keine Informationen zu den Umwelteigenschaften vorliegen. Es gilt zu beachten, dass diese Flächen dennoch potentiell eine hohe und aufgrund der Informationslage unentdeckte Verwundbarkeit aufweisen können, würden die fehlenden Daten zur Umweltinformation mit den Schadwirkungen ausgehend von den potenziellen Kontaminationsquellen verknüpft.

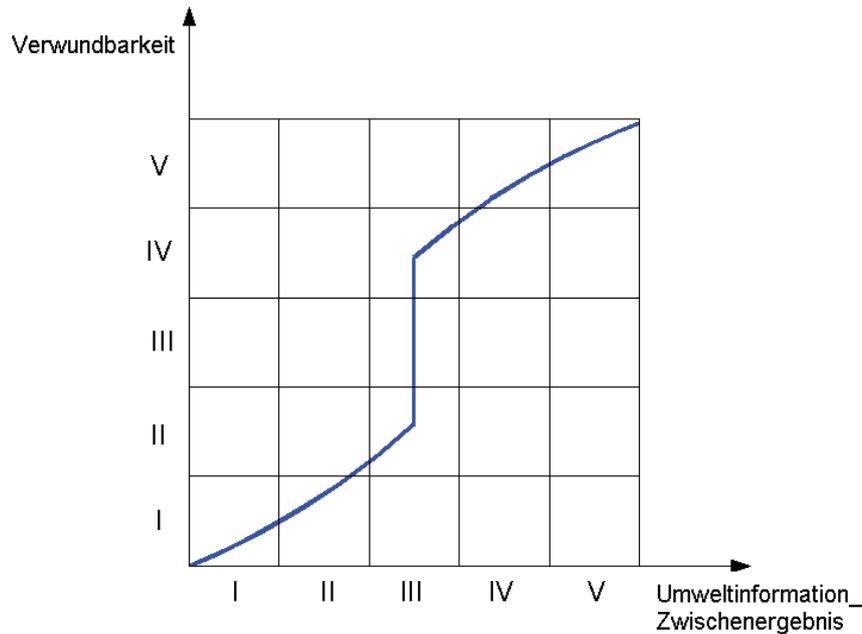


Abb. 27 Funktionaler Zusammenhang zwischen dem Umweltinformation-Zwischenergebnis und der Verwundbarkeit

		Biotopwert		
		I	II	III
Umweltinformation_Zwischenergebnis	I	I	II	III
	II	I	II	III
	III	II	III	IV
	IV	III	IV	V
	V	III	IV	V

Abb. 28 Präferenzmatrix aus dem Biotopwert und dem Umweltinformation\_Zwischenergebnis

**5. Schritt: Bestimmung der Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Altlasten**

Nach der Identifizierung der relevanten Umwelteigenschaften im vorangegangenen Verfahrensschritt, sollen diese nun zunächst mit den Altlastenflächen, kombiniert werden. Die Umweltverwundbarkeit gegenüber Kontaminationen von Altlastenflächen ergibt sich aus der Verschneidung der Umweltflächen, für die die verwundbarkeitsrelevante Umweltinformation vorliegt, mit den potenziellen Kontaminationswirkungen von Altlasten.

Da die Ausbreitung der Schadstoffe aus Altlasten wie bereits beschrieben im und nach dem Hochwasserereignis im Boden und angestiegenem Grundwasser vorwiegend vertikal verläuft, werden bei der Verwundbarkeit der entsprechenden Umweltflächen ausschließlich die auf und unter der Altlastenfläche befindlichen Biotope, Böden bzw. Bodenschichten und das Grundwasser betrachtet (siehe Abschnitt 5.4.2). Allein für die

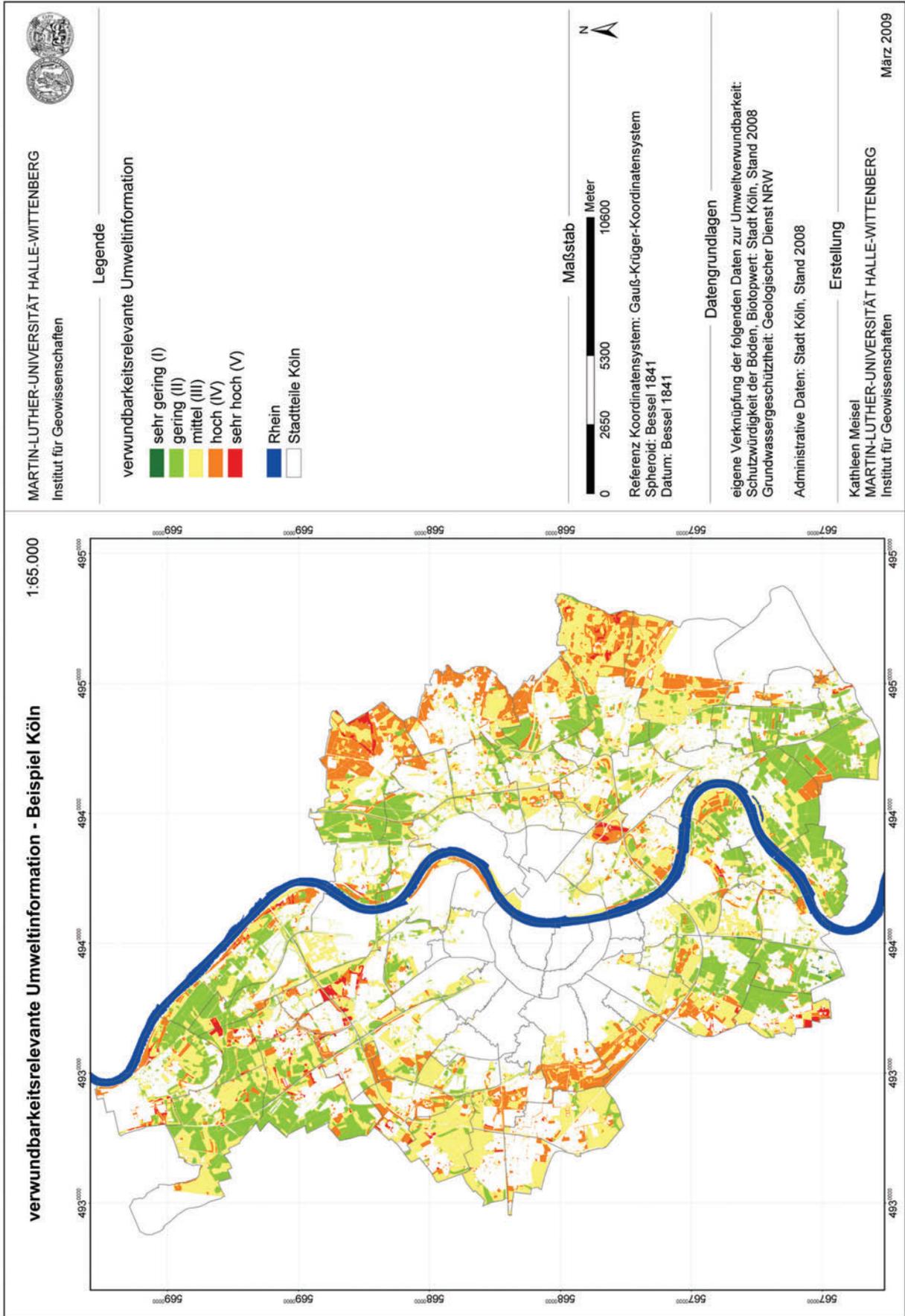


Abb. 29 Verwundbarkeitsrelevante Umweltinformation

Umweltausschnitte innerhalb der Altlastenflächen besteht aus diesem Grund potentiell eine Verwundbarkeit gegenüber einer möglichen Kontamination. Ein Umweltausschnitt ist dabei sehr verwundbar, wenn dort eine Altlastenfläche auf eine sehr hohe Wertstufe der verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation (aus Verfahrensschritt 4) trifft.

In dem vorgestellten Verfahren wird das Schadstoffpotenzial ausgehend von Altlasten nicht weiter differenziert, da von den Kommunen keine genaueren Informationen zum Schadstoffinventar der einzelnen Altlastenflächen übergeben wurden. Sollten sie die Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Schädwirkungen aus Altlasten genauer ermitteln wollen, kann beispielsweise die nach der Bundes- Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) geforderte Detailuntersuchung dazu genutzt werden, das schädliche Potenzial einer Altlastenfläche in ordinaler Rangskalierung zu bewerten und mit der verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation aus dem Verfahrensschritt 4 zu verknüpfen.

Frage: Welche Flächen sind gegenüber der Kontamination ausgehend von Altlasten verwundbar?

Arbeitsschritt: Stellen Sie die ‚Verwundbarkeitsrelevante Umweltinformation‘ sowie die ‚Altlasten‘ in einem neuen View dar. Ergänzen Sie diese um das Überschwemmungsgebiet des von Ihnen gewählten Hochwasserszenarios (Thema ‚Überschwemmungsgebiet Szenario 1 (2,3...‘). Verwenden Sie die Altlastenflächen als Schablone und schneiden Sie über die ‚Ausschneiden- bzw. Clip‘-Funktion die betroffenen Umweltbereiche aus dem Thema ‚Verwundbarkeitsrelevante Umweltinformation‘ aus. Speichern Sie diese Flächen in einem neuen Thema ab und benennen Sie dieses mit ‚Umweltverwundbarkeit gegenüber Altlasten‘. Nun schneiden Sie auf demselben Weg die unter Annahme Ihres Hochwasserszenarios von Überschwemmung betroffenen Flächen aus dem Thema ‚Umweltverwundbarkeit gegenüber Altlasten‘ aus, indem Sie das von Ihnen gewählte Überschwemmungsgebiet als Schablone verwenden. Als Ergebnis erhalten Sie die Umweltausschnitte, die unter Annahme des von Ihnen festgelegten Szenarios gegenüber einer potenziellen Kontamination ausgehend von den Altlasten verwundbar sind.

Beispiel: In der Karte (siehe Abb. 30) wurde am Beispiel Kölns die Verwundbarkeit gegenüber den Altlastenflächen dargestellt. Durch zusätzliches Verschneiden der Altlastenflächen mit dem Überschwemmungsgebiet bei einem Extremhochwasserereignis (HQ-500 Szenario) werden nur die verwundbaren Umweltflächen gegenüber Einträgen aus Altlasten bei einem Extremhochwasserereignis dargestellt. Wegen flächenhaft fehlenden Informationen zu den verwundbarkeitsrelevanten Kriterien, sind die dargestellten Flächen, die gegenüber Altlasten potenziell verwundbar sind, nicht vollständig. Eine Interpretation für die Stadt Köln ist deshalb schwierig. Der Rückschluss ausgehend von der Karte, dass es nur wenige Umweltbereiche gibt, die mittel bis sehr hoch verwundbar sind, ist nicht zulässig.

Zum Umgang mit Datenlücken: Wie bereits erwähnt, gilt es zu bedenken, dass die Informationen zu potentiell verwundbaren Umweltflächen gegenüber Altlasten nicht unbedingt vollständig sind. Hinter den bläulich dargestellten Überschwemmungsgebieten auf der Karte können sich Umweltflächen mit hoher Umweltverwundbarkeit verbergen. Aufgrund fehlender Daten zu den einzelnen Kriterien können aber an diesen Stellen keine Aussagen zur Verwundbarkeit gemacht werden. Das ist beispielsweise in Köln der Fall, wo der Untergrund im innerstädtischen Bereich nicht flächendeckend hinsichtlich der Schutzwürdigkeit der Böden und der Grundwassergeschüttheit kartiert ist. Folglich können an diesen Stellen auch keine Aussagen zur Umweltverwundbarkeit gegenüber Altlasten getroffen werden. Die Zuverlässigkeit der Aussage ist also in hohem Maße abhängig von der Qualität und Vollständigkeit der zur Verfügung stehenden Daten.

## **6. Schritt: Bestimmung der Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Stoffen aus den Anlagen/ Betriebsbereichen**

Nach Berücksichtigung der Altlasten sollen nun die übrigen Kontaminationsquellen, die Anlagen/ Betriebsbereiche betrachtet werden. Hierfür gilt, dass diejenigen Umweltausschnitte gegenüber einer

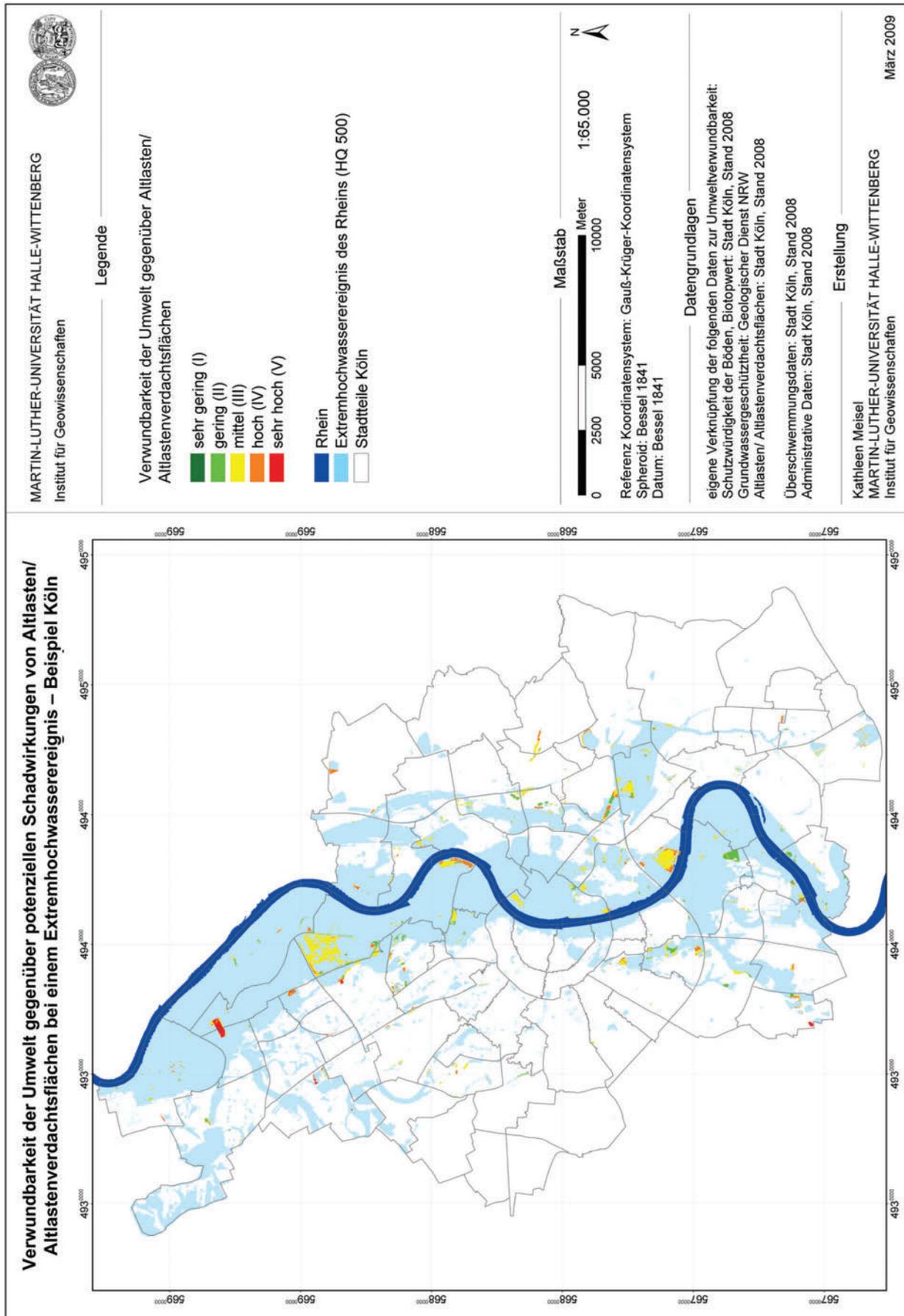


Abb. 30 Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Altlasten/Altlastenverdachtsflächen

möglichen Kontamination verwundbar sind, die im Einflussbereich eines möglichen Schadstoffaustrags aus den angesprochenen Anlagen und Betriebsbereichen liegen. Dabei ist die abnehmende Schädwirkung der in der Hochwasserwelle gelösten Schadstoffe mit zunehmender Entfernung von den Anlagen und Betriebsbereichen zu beachten (siehe Abschnitt 5.4.4).

Es sind diejenigen umgebenden Umweltausschnitte gegenüber potenziellen Kontaminationen sehr verwundbar, die zum einen eine sehr hohe Wertstufe hinsichtlich der verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation aufweisen und zum anderen im unmittelbaren Einflussbereich einer Anlage oder eines Betriebsbereiches liegen.

Frage: Welche Flächen sind gegenüber der Kontamination mit Stoffen aus Anlagen/Betriebsbereiche verwundbar?

Arbeitsschritt: Stellen Sie die ‚Verwundbarkeitsrelevante Umweltinformation‘ sowie die ‚Anlagen‘ und die ‚Betriebsbereiche‘ in Ihrem GIS dar. Ergänzen Sie die Darstellung um das gewählte Hochwasserszenario (Überschwemmungsgebiet Szenario 1,2,3...). Sollten die Anlagen und die Betriebsbereiche in getrennten Themen vorliegen, so vereinigen Sie beide über den ‚Vereinigungs- bzw. Union‘-Befehl. Mit dem Ausführen dieses Befehls wird automatisch ein neues Thema erstellt, welches sowohl die Anlagen als auch die Betriebsbereiche enthält. Benennen Sie dieses Thema als ‚Anlagen + Betriebsbereiche‘. Sollten die Themen nie getrennt vorgelegen haben, so verwenden Sie das bereits bestehende Thema weiter.

Erzeugen Sie nun aus dem so entstandenen Thema ‚Anlagen + Betriebsbereiche‘ über den Befehl ‚Multiple Ring Buffer‘ ein neues Thema, welches mit ‚Kontaminationswirkung der Anlagen + Betriebsbereiche‘ bezeichnet wird. Es sollten 3 Pufferzonen mit den Distanzen 170 m, 245 m und 300 m<sup>9</sup> vom Standort der Kontaminationsquelle aus entstehen. Mit Hilfe des ‚Dissolve ALL‘ Befehls lassen sich alle Pufferzonen mit gleichem Abstand zur Kontaminationsquelle zusammenfassen. Den auf diesem Weg entstandenen Bereichen ordnen Sie in der Attributtabelle des Themas Wertigkeiten der schädlichen Auswirkung zu. Allen Bereiche innerhalb einer Distanz von 170 m kommt eine hohe (Wertstufe III), den Bereichen in einer Distanz zwischen 170 m und 245 m eine mittlere (Wertstufe II) und den Bereichen in einer Distanz zwischen 245 m und 300m eine geringe Schädwirkung der Kontaminationen (Wertstufe I) zu.

Nun gilt es die auf diesem Weg ermittelten Expositionsflächen mit den ‚Verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformationen‘ zu verknüpfen. Um die Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Schädwirkungen aus Anlagen/Betriebsbereiche zu ermitteln, müssen Sie die Themen ‚Kontaminationswirkung der Anlagen + Betriebsbereiche‘ und das Thema ‚Verwundbarkeitsrelevante Umweltinformation‘ logisch verknüpfen. In diesem Fall müssen Sie die Funktionsverläufe nicht mit Rücksicht auf Ihre spezifische Datenlage anpassen, also stauchen oder strecken, denn die Zusammenhänge zwischen der verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation und der Verwundbarkeit sowie zwischen der Kontaminationsintensität, dargestellt über die Pufferzonierung, und der Verwundbarkeit stehen fest. Damit liegt Ihnen die in Abb. 31 aufgezeigte Präferenzmatrix bereits vor. Für die logische Verknüpfung im GIS müssen Sie lediglich die Werte aus dieser Matrix übernehmen.

Verknüpfen Sie in Ihrem GIS über den ‚Vereinigungs- bzw. Union‘-Befehl das Thema ‚Kontaminationswirkung

---

<sup>9</sup> Die Distanzen abgestufter Schädwirkung wurden mit Hilfe von Expertengesprächen festgelegt. Obwohl eine Schädwirkung nur in Fließrichtung auftreten kann, werden zur Vereinfachung des Verfahrens Puffer mit einem einheitlichen Abstand um die Kontaminationsquellen erzeugt. Die tatsächliche Ausbreitungsfahne der Schadstoffe um die Kontaminationsquelle in Fließrichtung kann nicht ohne Zuhilfenahme anderer Programme dargestellt werden.

		Schadwirkung der Anlagen/ Betriebsbereiche (Pufferzonen)		
		I	II	III
verwundbarkeitsrelevante Umweltinformation	I	I	II	III
	II	I	II	III
	III	II	III	IV
	IV	III	IV	V
	V	III	IV	V

Abb. 31 Präferenzmatrix aus der verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation und den Schädwirkungen der Anlagen/Betriebsbereichen (Pufferzonen)

der Anlagen und Betriebsbereiche' mit dem Thema ‚Verwundbarkeitsrelevante Umweltinformation‘. Damit entsteht automatisch ein neues Thema, das die Datensätze beider Themen enthält (benannt als ‚Umweltverwundbarkeit gegenüber Anlagen + Betriebsbereichen‘). Verfahren Sie nun wie in Arbeitsschritt 4 beschrieben weiter: Legen Sie in der Attributtabelle des neuen Themas eine neue Spalte an. Fragen Sie dann im Abfragefenster alle Kombinationsmöglichkeiten der Ausprägungen beider Themen ab und tragen Sie in die neuen Felder der markierten Datensätze jeweils die entsprechenden Werte aus der Präferenzmatrix ein. Ist die neue Spalte vollständig gefüllt, können Sie sich im View das neue Thema klassifiziert nach der neuen Spalte anzeigen lassen. Im Ergebnis erscheinen die Umweltausschnitte, die gegenüber der Schädwirkung aus den Anlagen und den Betriebsbereichen verwundbar sind. Dabei werden nur die Umweltausschnitte innerhalb der Pufferzonen dargestellt. Das so entstandene Thema wird ‚Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Anlagen + Betriebsbereichen‘ benannt.

Nun verschneiden Sie über den ‚Ausschneiden- bzw. Clip‘-Befehl das Überschwemmungsgebiet des von Ihnen definierten Szenarios mit den innerhalb der Pufferzonen liegenden verwundbaren Umwelflächen. Als Ergebnis erhalten Sie das Thema ‚Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Anlagen + Betriebsbereichen Szenario 1 (2,3,...)‘

Beispiel: In der abgebildeten Karte (siehe Abb. 32) ist das Ergebnis aus der Verknüpfung der verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation mit den potenziellen Kontaminationswirkungen ausgehend von den Anlagen/Betriebsbereichen und der Verschneidung mit dem Überschwemmungs-gebiet eines Extremhochwassers (HQ-500) dargestellt. Auch hier ist eine Interpretation der räumlichen Darstellung schwierig, da aufgrund flächenhaft fehlender Information zu den einzelnen verwundbarkeitsrelevanten Kriterien die verwundbarkeitsrelevante Umweltinformation nicht vollständig abgebildet werden kann. Die Aussage, die aus der Karte gezogen werden kann, dass der Kölner Norden rechts- und linksrheinisch, also die dort angesiedelten Industrie- und Gewerbegebiete im Stadtbezirk Chorweiler, Nippes und Mühlheim ihre Umgebung potenziell im Hochwasserfall gefährden und so zu mittleren bis sehr hohen Verwundbarkeiten führen, ist zwar zulässig, aber sehr wahrscheinlich nicht vollständig.

Zum Umgang mit Datenlücken: Wie bereits erwähnt, gilt es zu bedenken, dass Informationen zu potenziell

verwundbaren Umweltflächen gegenüber der Kontamination mit Stoffen aus relevanten Anlagen/Betriebsbereichen nicht vollständig sein müssen. Im hier angeführten Beispiel der Stadt Köln erscheinen deshalb in der Karte nur vereinzelt verwundbare Flächen.

## **7. Schritt: Bestimmung der Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Kontaminationen im Hochwasserfall**

Es ist davon auszugehen, dass sich die schädlichen Auswirkungen und damit die gesamte hochwasserbedingte Umweltverwundbarkeit bei einer Überlagerung der Schadwirkungen ausgehend von den unterschiedlichen Kontaminationsquellen erhöht. Liegt beispielsweise der Einflussbereich einer Anlage nach § 62 WHG, über einer Altlastenfläche, so wird die Verwundbarkeit des sich dort befindlichen Umweltausschnittes gesteigert.

Frage: Überlagern sich die Umweltausschnitte, die gegenüber potenziellen Schadwirkungen aus Altlasten und aus den Anlagen/Betriebsbereichen verwundbar sind?

Arbeitsschritt: Stellen Sie die Themen ‚Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Altlasten‘ (Ergebnis aus Verfahrensschritt 5) und ‚Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Anlagen + Betriebsbereichen‘ (Ergebnis aus Verfahrensschritt 6) in einem neuen View dar, und prüfen Sie ob eine Überlagerung vorliegt.

Falls zu erkennen ist, dass es zu Überlagerungen kommt, so verknüpfen Sie beide Themen (‚Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Altlasten‘ und ‚Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Anlagen + Betriebsbereichen‘) über den ‚Vereinigung- bzw. Union‘-Befehl. Dabei entsteht ein neues Thema, das Sie als ‚Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Kontaminationen‘ bezeichnen. Erstellen Sie in der Attributtabelle des auf diesem Weg entstandenen Themas eine neue Spalte, in welche die Verknüpfungsergebnisse aller Kombinationsmöglichkeiten eingetragen werden.

In der Attributtabelle des so entstandenen Themas sind grundsätzlich zwei Fälle möglich. Entweder liegen die Umweltausschnitte, die gegenüber der Kontamination von Altlasten bzw. von Anlagen/Betriebsbereichen verwundbar sind, nicht übereinander, sondern nebeneinander (in diesen Fällen werden die Verwundbarkeitsabstufungen der beiden Themen 1:1 in das neue Feld übertragen), oder sie überlagern sich. In diesen Fällen wird der Mittelwert aus beiden Verwundbarkeitsabstufungen um zwei Klassen erhöht und in das neue Feld eingetragen. Damit geht die bisher 5-stufige Bewertung in eine 7-stufige Bewertung über. Liegt für beide Themen der Wert I vor, so werden diesen Datensätzen nun in der vereinten Attributtabelle der Wert III zugeordnet. Das neue Thema ‚Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Kontaminationen‘ wird nun über die neue Spalte klassifiziert. Die neu erzeugten sieben Wertstufen der hochwasserbedingten Umweltverwundbarkeit unter Berücksichtigung aller potenziellen Schadwirkungen könnte folgendermaßen verbal beschrieben werden: ‚besonders gering verwundbar‘ - ‚sehr gering verwundbar‘ - ‚gering verwundbar‘ - ‚mittel verwundbar‘ - ‚hoch verwundbar‘ - ‚sehr hoch verwundbar‘ - ‚besonders hoch verwundbar‘. Somit sind im GIS die nach ihrer Verwundbarkeit abgestuften Umweltausschnitte innerhalb der Altlastenverdachtsflächen und Pufferzonen um die Anlagen/Betriebsbereiche ersichtlich. Es handelt sich dabei um jene Umweltausschnitte, die bei dem von Ihnen definierten Hochwasserszenario gegenüber einer möglichen Kontamination ausgehend von potenziellen Kontaminationsquellen verwundbar sind.

Beispiel: Als Ergebnis der Durchführung der Arbeitsschritte kann nun in einem GIS die hochwasserbedingte Verwundbarkeit der Umwelt unter Berücksichtigung aller potenzieller Kontaminationsquellen dargestellt werden. Beispielhaft ist das hier für die Stadt Köln bei einem Extremhochwasserereignis (HQ-500) erfolgt (siehe Abb. 33).

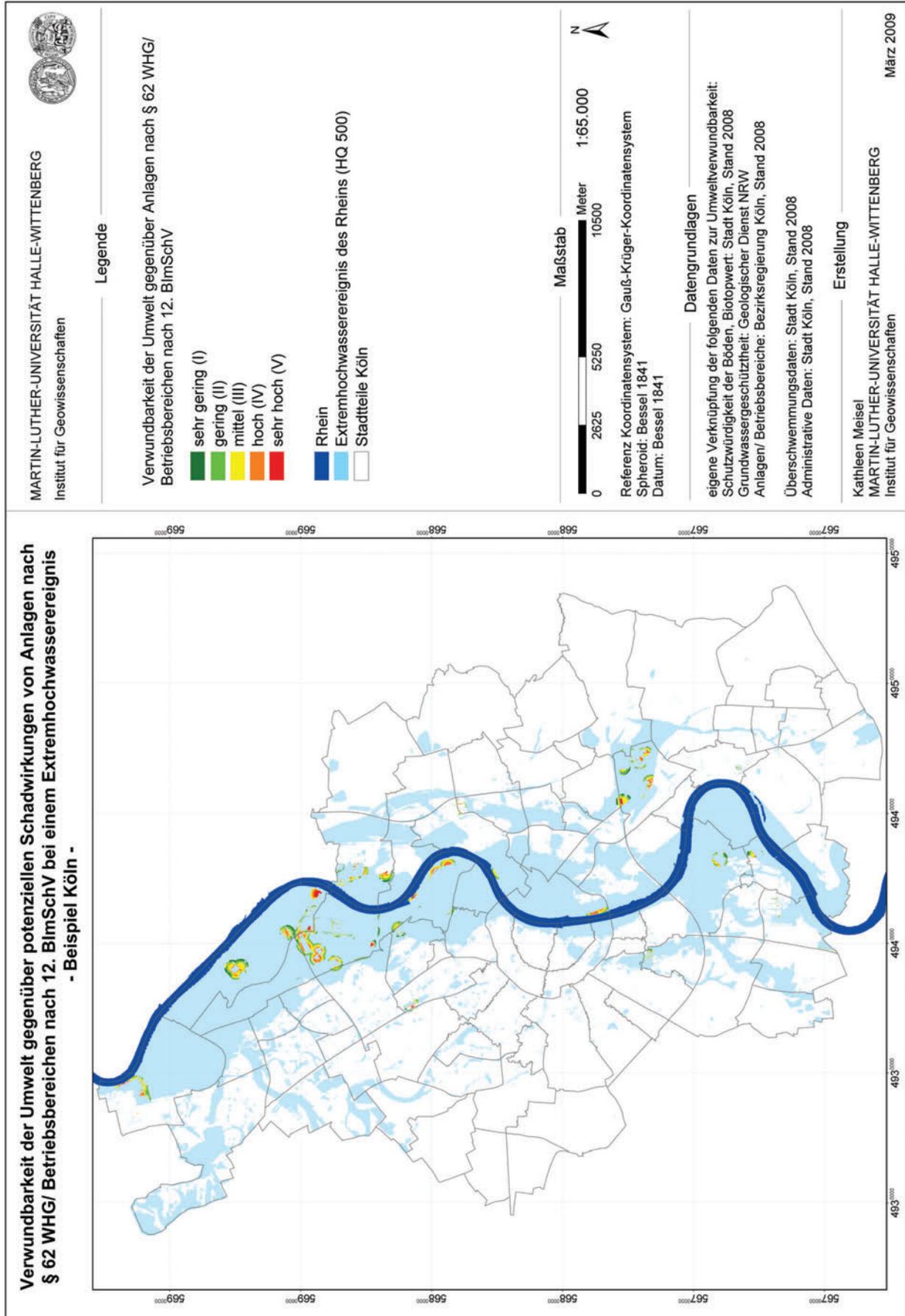


Abb. 32 Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Anlagen/Betriebsbereichen

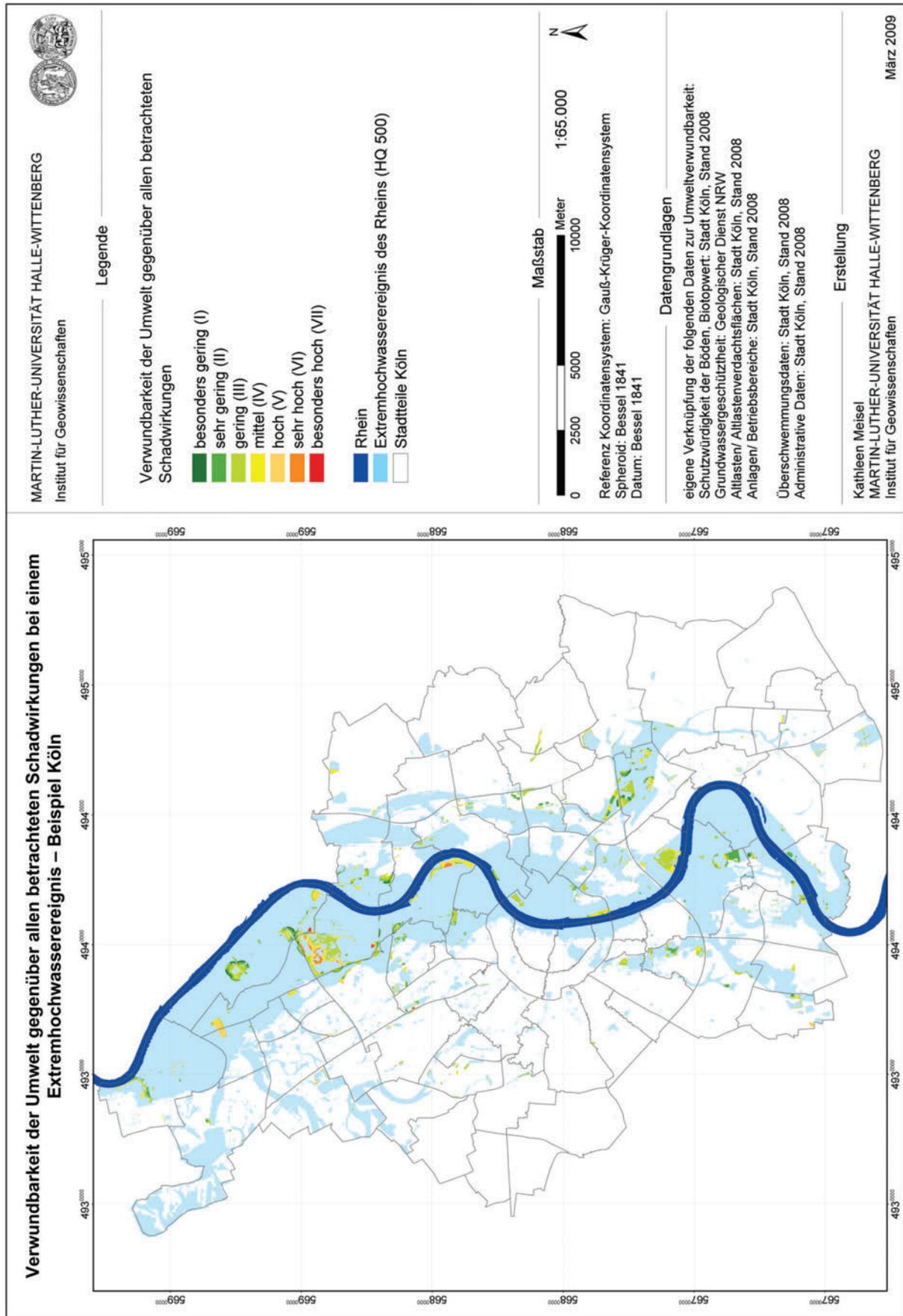


Abb. 33 Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber allen betrachteten Kontaminationsquellen (=Verwundbarkeit der Umwelt)

Wie bereits im Verfahrensschritt 5 und 6 erläutert, ist die Interpretation der Abb. 33 schwierig. Auch hier führen fehlende Informationen der verwundbarkeitsrelevanten Kriterien zu Darstellungslücken. Es ist sehr wahrscheinlich, dass verwundbare Umweltbereiche nicht in der Karte erscheinen. Ansonsten fallen in der Darstellung der Karte (Abb. 33) erneut die verwundbaren Umweltbereiche im und um die Kontaminationsquellen (Industrie- und Gewerbegebiete) in den Stadtbezirken Chorweiler, Nippes und Mühlheim im Norden und auch im Stadtbezirk Porz rechtsrheinisch im Süden von Köln auf.

In den im Abschnitt 5.5 definierten Vergleichsindikatorenwerte für die Umweltverwundbarkeit gegenüber Kontaminationsquellen ausgedrückt, heißt das:

Umweltverwundbarkeit gegenüber Kontaminationsquellen: besonders gering (I)	3 %
sehr gering (II)	19 %
gering (III)	45 %
mittel (IV)	20 %
hoch (V)	9 %
sehr hoch (VI)	2 %
besonders hoch (VI)	1 %.

Es lässt sich feststellen, dass der überwiegende Teil der Flächen sehr gering, gering und mittel verwundbar sind. Dennoch sind ca. 12 % hoch bis besonders hoch verwundbar. Hier besteht Handlungsbedarf. Die Verwundbarkeit lässt sich hier nur über die Sicherung oder Vermeidung der potenziellen Kontaminationsquellen reduzieren (siehe Handlungsempfehlungen in Kapitel 7)

Zum Umgang mit Datenlücken: Auch hier besteht die Möglichkeit, dass Flächen, die in der Realität verwundbar gegenüber potenziellen Kontaminationen sind, auf Grund fehlender Informationen in den einzelnen Themen, nicht dargestellt werden. Diese Problematik ist bei der Interpretation der Karten zu beachten (s. o.).

Mit dem Verfahrensschritt 7 ist das im Kapitel 5 hergeleitete Verfahren zur Bestimmung der Verwundbarkeit gegenüber Hochwasserereignissen für Kommunen abgeschlossen. Die kartographischen Darstellungen und die Auswertung der Vergleichsindikatorenwerte können nun den Kommunen als Grundlage dafür dienen Maßnahmen zur Reduktion der Verwundbarkeit zu ergreifen (siehe Kapitel 7). Über die Ermittlung der generellen Umweltverwundbarkeit hinaus könnten Kommunen jedoch nach Interesse weitere Verwundbarkeitsermittlungen durchführen. Diese werden im folgenden Abschnitt erläutert.

## 6.2 Betrachtung der Verwundbarkeit einzelner Umweltbereiche

Je nach Interessenslage können über die Ermittlung der hochwasserbedingten Umweltverwundbarkeit hinaus Einzelbetrachtungen bestimmter Umweltbereiche und Kontaminationsquellen durchgeführt werden. Im Folgenden werden daher beispielhaft zusätzliche Möglichkeiten, die vorhandenen Themen zu nutzen und ggf. sinnvoll durch weitere Informationen zu ergänzen, aufgeführt. Dabei kann untersucht werden, an welchen Stellen und zu welchem Grad der Boden, das Grundwasser oder Biotope durch potenzielle Kontaminationen aus den genannten Kontaminationsquellen beeinträchtigt werden können bzw. wie verwundbar diese sind.

Wie bereits beim Verfahren der Ermittlung der hochwasserbedingten Umweltverwundbarkeit erwähnt, wird die Verwundbarkeit der Umwelt durch die verwundbarkeitsrelevanten Eigenschaften der Umwelt beeinflusst. Soll nun die Boden-, die Grundwasser- und die Biotopverwundbarkeit einzeln ermittelt werden, müssen die verwundbarkeitsrelevanten Boden-, Grundwasser- und Biotopinformationen, die sich aus den einzelnen verwundbarkeitsrelevanten Boden-, Grundwasser- und Biotopeigenschaften ergeben, berücksichtigt werden. Die verwundbarkeitsrelevante Bodeneigenschaft wird durch das Kriterium der Schutzwürdigkeit der Böden, die

verwundbarkeitsrelevante Grundwassereigenschaft durch das Kriterium der Grundwassergeschüttheit und die verwundbarkeitsrelevante Biotopeigenschaft durch das Kriterium des Biotopwertes repräsentiert. Dabei können, wie in Kapitel 5.4.1 dargelegt, sehr schutzwürdige Böden, sehr wertvolle Biotope und sehr gering geschützte Grundwasserbereiche als sehr verwundbar interpretiert werden.

Bei der Verschneidung der verwundbarkeitsrelevanten Bodeninformation und der verwundbarkeits-relevanten Grundwasserinformation mit den potenziellen Kontaminationswirkungen von Altlastenflächen wird nur die Wertabstufung der Boden- und der Grundwasserinformationen (= Wertabstufung der Schutzwürdigkeit der Böden und der Grundwassergeschüttheit) innerhalb der Altlasten betrachtet, da für die vorliegende Arbeit davon ausgegangen wird, dass nur hier eine unmittelbare Gefahr einer möglichen Kontamination besteht (siehe Abschnitt 5.4.2). Die Höhe der Verwundbarkeit richtet sich in dem Fall nur nach der Höhe der Schutzwürdigkeit der Böden bzw. der Grundwassergeschüttheit. Wie im Zusammenhang mit Verfahrensschritt 4 beschrieben, kann die Gemeinde Detailuntersuchungen nach BBodSchV nutzen, um die potenzielle Schädigung ausgehend von Altlasten differenzierter zu bewerten und somit die Höhe der Verwundbarkeit genauer zu ermitteln.

Bei der Verknüpfung der Kontaminationswirkung aus Anlagen und Betriebsbereichen beispielsweise mit der verwundbarkeitsrelevanten Boden- bzw. Biotopinformation, werden nicht nur die Wertabstufungen des Kriteriums ‚Schutzwürdigkeit der Böden‘ und des Kriteriums ‚Biotopwert‘ innerhalb des durch die Pufferzonen dargestellten Einflussbereiches betrachtet. Vielmehr erfolgt hier zusätzlich eine logische Verknüpfung der abgestuften Schädigungen um die Anlagen/Betriebsbereiche mit den unterschiedlichen Wertabstufungen der verwundbarkeitsrelevanten Boden- und Biotopinformation. Somit ist die Höhe der Verwundbarkeit nicht nur von der Höhe der Schutzwürdigkeit des Bodens und der Biotopwerte abhängig, sondern auch von der Intensität der Schädigungen der Anlagen/Betriebsbereiche.

Auch eine Überlagerung mit den menschlichen Nutzungen könnte für die Kommune interessant sein. So könnte sie beispielsweise untersuchen, ob sich im Bereich der Trinkwasserschutzgebiete Altlastenflächen befinden und ob an diesen Stellen das Grundwasser nur gering geschützt ist und somit eine große Gefahr für die Trinkwasserversorgung ausgehend von Altlasten besteht.

### **6.2.1 Ermittlung der Verwundbarkeit des Bodens und des Grundwassers gegenüber der Kontamination durch Altlasten**

Wie in Kapitel 5.3 beschrieben, stellen Altlastenflächen im Fall ihrer Überflutung eine Gefahr für den Boden und das Grundwasser dar. Eine sehr hohe Verwundbarkeit besteht dort, wo sehr schutzwürdige Böden und sehr gering geschütztes Grundwasser räumlich mit Altlastenflächen zusammentreffen. Befindet sich das potentiell gefährdete Grundwasser im Bereich von Trinkwasserschutzgebieten so entsteht eine Gefahr für die Versorgung der Bevölkerung mit sauberem Trinkwasser. Die Verwundbarkeit des Grundwassers hinsichtlich der Trinkwassergewinnung ist dort am größten, wo sehr gering geschütztes Grundwasser innerhalb der Altlastenflächen auf eine Kernschutzzone der Trinkwasserschutzgebiete trifft.

#### **Verwundbarkeit des Bodens gegenüber Kontaminationen aus Altlasten**

Frage: Wo und zu welchem Grad ist der Boden im Hochwasserfall gegenüber Kontaminationen aus Altlastenflächen verwundbar?

Arbeitsschritt: Stellen Sie das Überschwemmungsgebiet des von Ihnen gewählten Hochwasserszenarios (‚Überschwemmungsgebiet Szenario 1,2,3,...‘) in Ihrem GIS dar. Ergänzen Sie die Darstellung, um die Themen ‚Schutzwürdigkeit des Bodens‘ und ‚Altlasten‘. Schneiden Sie mit Hilfe des ‚Ausschneiden- bzw.

Clip'-Befehls die Altlastenflächen aus dem Thema ‚Schutzwürdigkeit des Bodens‘ aus, so dass nur noch die Bodenausschnitte innerhalb der Altlastenflächen mit den jeweiligen Wertabstufungen angezeigt werden. Nun verwenden Sie das Überschwemmungsgebiet des von ihnen festgelegten Hochwasserszenarios als Schablone und schneiden Sie damit alle unter Annahme des Szenarios betroffenen Flächen aus dem neu entstandenen Thema aus. Als Ergebnis erhalten Sie die Bodenausschnitte, die bei Eintritt des von Ihnen definierten Szenarios gegenüber einer potenziellen Kontamination ausgehend von den Altlasten verwundbar sind. Das auf diesem Weg entstandene Thema kann als ‚Bodenverwundbarkeit durch Altlasten Szenario 1 (2,3,...)‘ bezeichnet werden.

Beispiel: Die folgende Karte (siehe Abb. 34) veranschaulicht den gerade beschriebenen Arbeitsschritt. Hier sind die innerhalb der Altlasten- bzw. Altlastenverdachtsflächen liegenden Abstufungen der ‚Schutzwürdigkeit des Bodens‘ bei Annahme eines HQ-100 Szenarios dargestellt. Wie bei den vorigen kartographischen Darstellungen müssen diese Abbildung aufgrund fehlender Informationen zur Schutzwürdigkeit des Bodens mit Vorsicht interpretiert werden. Die Altlastenflächen im Stadtbezirk Nippes im Norden bis Mitte von Köln und die dadurch verursachten verwundbaren Bodenbereiche fallen erneut auf.

Zum Umgang mit Datenlücken: Auch hier ist zu beachten, dass einige in der Realität verwundbare Bodenabschnitte durch die lückenhaft vorliegenden Informationen des Themas ‚Schutzwürdigkeit der Böden‘ nicht auf den Karten angezeigt werden könnten. Für die Stadt Köln ist dies beispielsweise gerade im innerstädtischen Bereich der Fall. Bei der Interpretation der Darstellungen ist aus diesem Grund Vorsicht geboten.

### **Verwundbarkeit des Grundwassers gegenüber Kontaminationen aus Altlasten**

Frage: Wo und zu welchem Grad ist das Grundwasser im Hochwasserfall gegenüber Kontaminationen aus Altlastenflächen verwundbar?

Arbeitsschritt: Verfahren Sie analog zur Verschneidung des Themas ‚Schutzwürdigkeit des Bodens‘ im vorangegangenen Schritt mit dem Thema ‚Grundwassergeschüttheit‘. Das so entstandene Thema sollte ‚Grundwasserverwundbarkeit durch Altlasten Szenario 1 (2,3,...)‘ benannt werden.

Beispiel: Die Karte (siehe Abb. 35) zeigt am Beispiel der Stadt Köln wie die Grundwassergeschüttheit innerhalb der potenziellen Schadwirkung ausgehend von Altlasten bei einem Hochwasser mit einer 100-jährlichen Wiederkehrwahrscheinlichkeit (HQ-100) ausgeprägt ist.

Zum Umgang mit Datenlücken: Auch hier gilt es zu beachten, dass lückenhaft vorliegende Informationen im Thema ‚Grundwassergeschüttheit‘ zu einer unvollständigen Darstellung führen können. Dies ist im Fall der Stadt Köln zu beobachten. Dadurch ist die Aussage, dass in Köln vorwiegend gering bis sehr geringe Grundwasserverwundbarkeiten vorliegen wie es aus der Karte (siehe Abb. 35) abzulesen ist, nicht zulässig.

### **Verwundbarkeit des Trinkwassers gegenüber Kontaminationen aus Altlasten**

In diesem Arbeitsschritt soll ermittelt werden, inwiefern sich Trinkwasserschutzgebiete mit Altlastenflächen überlagern. Dieser Schritt dient dazu herauszufinden, ob und wenn ja, an welchen Stellen, das Trinkwasser durch eine Kontamination aus Altlasten gefährdet sein könnte. Die Trinkwasserverwundbarkeit wird über die Verknüpfung der bereits im vorangehenden Schritt ermittelten Grundwasserverwundbarkeit innerhalb der Altlastenflächen mit den Schutzzonen der Trinkwasserschutzgebiete ermittelt. Sie benötigen also ein neues GIS-Thema, welches die Trinkwasserschutzgebiete darstellt, im Folgenden als Thema ‚Trinkwasserschutzgebiete‘ bezeichnet. Eine Trinkwasserverwundbarkeit besteht dann, wenn sich Trinkwasserschutzgebiete tatsächlich innerhalb von Altlastenflächen befinden. Die Verwundbarkeit des Trinkwassers ist dort sehr hoch, wo eine sehr geringe Grundwassergeschüttheit innerhalb von Altlastenflächen auf die Trinkwasserschutzzone mit den höchsten Schutzauflagen trifft.

Frage: Wo und zu welchem Grad ist das Trinkwasser im Hochwasserfall gegenüber Kontaminationen aus Altlastenflächen verwundbar?

Arbeitsschritt: Stellen Sie das Thema ‚Grundwasserverwundbarkeit durch Altlasten Szenario 1 (2,3,...)‘ sowie das Thema ‚Trinkwasserschutzgebiete‘ in einem neuen View dar. Überprüfen Sie, ob sich Trinkwasserschutzgebiete mit den Altlastenflächen bzw. mit den bereits klassifizierten Gebieten zur Grundwasserverwundbarkeit überlagern (vgl. Schritt 3). Ist dies der Fall, so liegt eine potentielle Gefährdung des Grundwassers vor.

Zur näheren Betrachtung sollten Sie zunächst das Thema ‚Trinkwasserschutzgebiete‘ klassifiziert nach den Schutzzonen I, II, III im View darstellen, bzw. eine entsprechende Klassifizierung vornehmen. Zur Ermittlung der Grundwasserverwundbarkeit müssen nun die klassifizierten Trinkwasserschutzgebiete mit der Grundwasserverwundbarkeit gegenüber potenziellen Schadwirkungen von Altlasten nach dem Prinzip der logischen Verknüpfung verknüpft werden. Dazu müssen Sie den in Abb. 36 dargestellten feststehenden Funktionsverlauf zwischen der Schutzzonierung und der Verwundbarkeit verwenden. Passen Sie den in Abb. 37 dargestellten Funktionsverlauf zwischen der Grundwassergeschütztheit und der Verwundbarkeit auf Ihre Anzahl der Ausprägungen der Grundwassergeschütztheit an. Tun Sie dies, indem Sie den Verlauf stauchen oder strecken und aus den beiden Verläufen für alle Ausprägungen der beiden Größen die Verwundbarkeitswerte ablesen, um diese nach Ihrem Ermessen zusammenzuführen und in die Präferenzmatrix aus den beiden Größen einzutragen. Im GIS setzen Sie die logische Verknüpfung nach dem gleichen Prinzip, wie in Schritt 4 beschrieben, um. Nachdem Sie beide Themen über den ‚Vereinigung- bzw. Union‘-Befehl zu einem neuen Thema, das als ‚Grundwasserverwundbarkeit‘ benannt wird, verknüpft haben, fügen Sie zunächst in der dazugehörigen Attributtabelle eine neue Spalte ein. Grundsätzlich werden in der Attributtabelle zwei Fälle deutlich. Zum einen liegen die Grundwasserbereiche innerhalb der Altlastenflächen und die Trinkwasserschutzgebiete nebeneinander, überlagern sich also nicht. In diesen Fällen besteht keine Grundwasserverwundbarkeit, da die Trinkwasserversorgung nicht unmittelbar von potenziellen Schadwirkungen ausgehend von Altlasten gefährdet ist. In diese Datensätze tragen Sie in die neue Spalte keinen Wert ein - die Spalte bleibt an diesen Stellen leer. In anderen Fällen überlagern sich die Abstufungen der Grundwasserverwundbarkeit innerhalb der Altlastenflächen mit den Trinkwasserschutzgebieten, was auf eine Grundwasserverwundbarkeit hinweist. In den entsprechenden Datensätzen werden die Ergebnisse der von Ihnen erstellten Präferenzmatrix in die neue Spalte eingegeben.

Das neue Thema ‚Grundwasserverwundbarkeit‘ wird nun über das neue Feld klassifiziert. Da bei fehlender Überlagerung keine Wertzuweisung erfolgt, sehen Sie nur die für die Trinkwasserversorgung wesentlichen Grundwasserbereiche innerhalb des von Ihnen gewählten Hochwasserszenarios, die gegenüber möglichen Kontaminationen ausgehend von Altlasten verwundbar sind.

Beispiel: Nachfolgend werden die Funktionsverläufe, die den Zusammenhang der einzelnen zu verknüpfenden Themen mit der Verwundbarkeit verdeutlichen, dargestellt (siehe Abb. 36, Abb. 37). Es werden zur Veranschaulichung die Daten der Stadt Köln genutzt. Die Präferenzmatrix zur Verknüpfung der Themen der klassifizierten Trinkwasserschutzzonierung und der Grundwassergeschütztheit ist in Abb. 38 zu sehen. Die Verknüpfungsergebnisse beider Themen werden in die Attributtabelle des neuen Themas eingetragen. Im View wurde das bei der Verknüpfung neu entstandene Thema nach der neuen Spalte klassifiziert. Das Ergebnis der Verknüpfung ist in Abb. 39 dargestellt.

Zum Umgang mit Datenlücken: Es gilt zu beachten, dass lückenhaft vorliegende Informationen zur ‚Grundwassergeschütztheit‘ zu einer unvollständigen Darstellung der Grundwasserverwundbarkeit führen. Deshalb ist eine Interpretation der Abb. 39 schwierig. Die wenigen dargestellten verwundbaren Flächen müssen nicht vollständig sein.

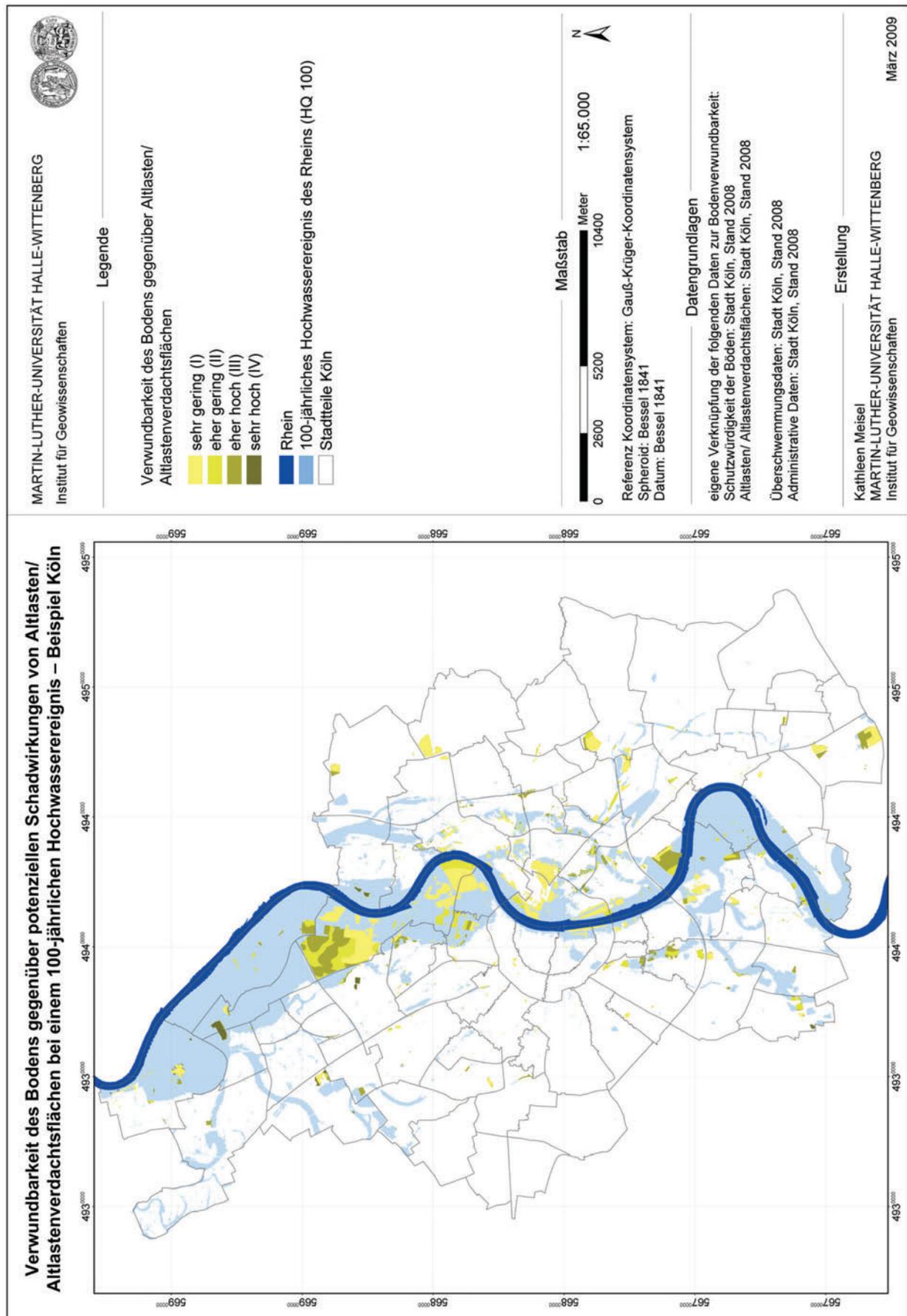


Abb. 34 Verwundbarkeit des Bodens gegenüber Altlasten/Altlastenverdachtsflächen

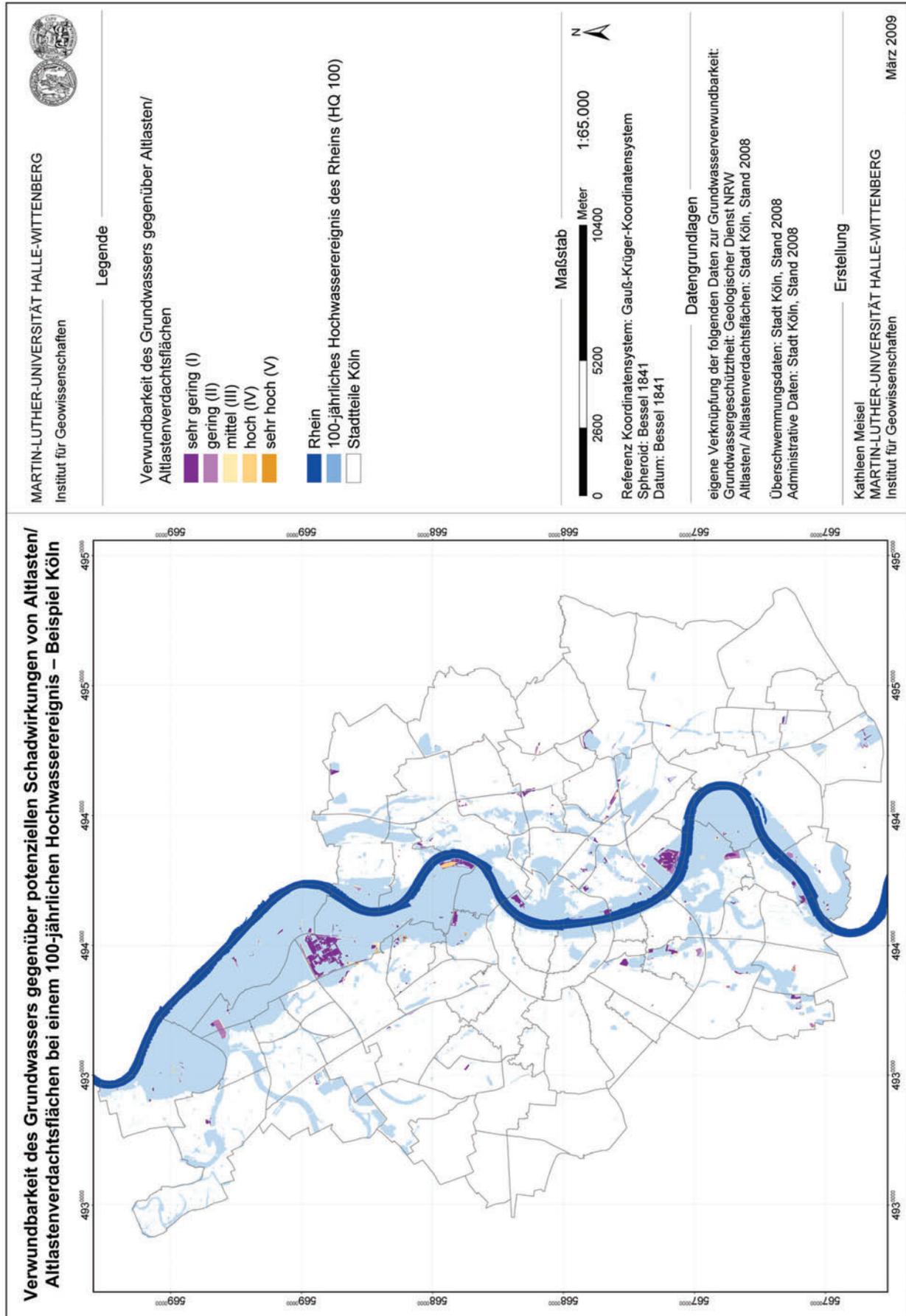


Abb. 35 Verwundbarkeit des Grundwassers gegenüber Altlasten/Altlastenverdachtsflächen

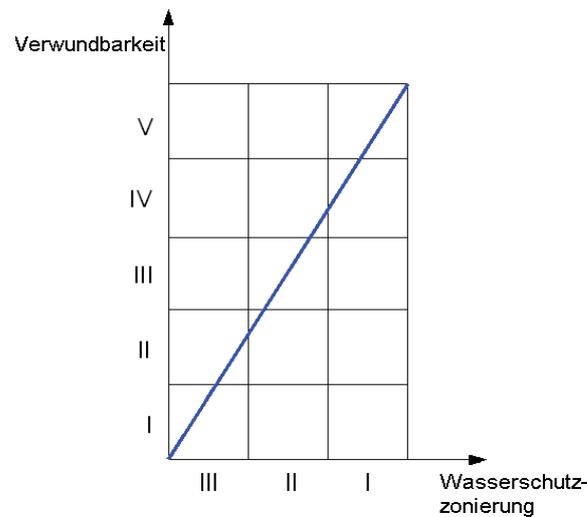


Abb. 36 Funktionaler Zusammenhang zwischen der Trinkwasserschutzzonierung und der Verwundbarkeit

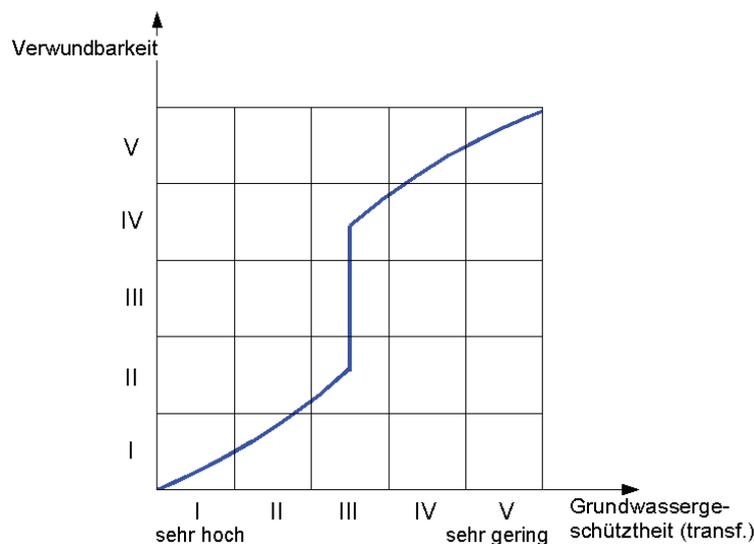


Abb. 37 Funktionaler Zusammenhang zwischen der Grundwassergeschüttheit und der Verwundbarkeit

## 6.2.2 Ermittlung der Verwundbarkeit des Bodens und der Biotope gegenüber Kontaminationen aus Anlagen/Betriebsbereichen

Erfolgt eine Schadstofffreisetzung aus Anlagen/Betriebsbereichen, so findet je nach Transportkraft des Hochwassers und Stoffeigenschaften der freigesetzten Schadstoffe eine Kontamination der Umgebung statt. Diese Schadstoffe können direkt die Böden und Lebensgemeinschaften gefährden. Über den Pfad der Nährstoff- bzw. Nahrungsaufnahme kann ein weiterer Schadstofftransfer an die pflanzlichen und tierischen Lebensgemeinschaften erfolgen. Eine sehr hohe Verwundbarkeit besteht dort, wo sehr schutzwürdige Böden und wertvolle Biotope innerhalb des Einflussbereichs der genannten Kontaminationsquellen (innerhalb der in Schritt 6 beschriebenen Pufferzonen) liegen.

		Wasserschutzzonierung		
		III	II	I
Grundwassergeschüttheit (transf.)	I	I	II	III
	II	I	II	III
	III	II	III	IV
	IV	III	IV	V
	V	III	IV	V

Abb. 38 Präferenzmatrix aus der Trinkwasserschutzzonierung und der Grundwassergeschüttheit

### Verwundbarkeit des Bodens gegenüber einer möglichen Kontamination aus Anlagen/ Betriebsbereichen

Die Bodenverwundbarkeit gegenüber potenziellen Schadwirkungen ausgehend von Anlagen/ Betriebsbereichen wird über die Verschneidung bzw. Verknüpfung der verwundbarkeitsrelevanten Bodeninformation, welche dem Thema ‚Schutzwürdigkeit des Bodens‘ entspricht, mit den Anlagen und Betriebsbereichen (Thema ‚Anlagen + Betriebsbereiche‘) ermittelt. Die Höhe der Verwundbarkeit ergibt sich aus der Höhe der Schutzwürdigkeit des Bodens und der Intensität der Kontaminationswirkung (Pufferzonen).

Frage: Wo ist der Boden im Hochwasserfall gegenüber Kontaminationen von Anlagen/Betriebsbereichen verwundbar?

Arbeitsschritt: Stellen Sie das Überschwemmungsgebiet des von Ihnen gewählten Hochwasserszenarios in einem neuen View des GIS dar. Ergänzen Sie die Darstellung um die Themen ‚Schutzwürdigkeit des Bodens‘ sowie ‚Anlagen + Betriebsbereiche‘. Die drei Pufferzonen unterschiedlicher Kontaminationsintensität haben Sie bereits angelegt (vgl. Schritt 6). Um eine Übersicht darüber zu erhalten, an welchen Stellen der Boden durch die potenziellen Schadwirkungen der Kontaminationsquellen gefährdet ist, können Sie sich nur die Bodenausschnitte, differenziert nach ihrer Schutzwürdigkeit, innerhalb des Einflussbereiches der Anlagen und Betriebsbereiche anzeigen lassen. Dazu schneiden Sie mit Hilfe des ‚Ausschneiden- bzw. Clip‘-Befehls die Einflussbereiche der Kontaminationsquellen, repräsentiert durch die Pufferzonen im Thema ‚Kontaminationswirkung der Anlagen + Betriebsbereiche‘, aus dem Thema ‚Schutzwürdigkeit des Bodens‘ aus. Dabei wird deutlich, ob und wenn ja, wo bei Eintritt des angenommenen Szenarios (1, 2, 3,...) sehr schutzwürdige Böden von den potenziell schädlichen Auswirkungen der Kontaminationsquellen bedroht sind.

Wollen Sie zudem den Grad der Verwundbarkeit dieser Bodenausschnitte genau ermitteln, führen Sie eine logische Verknüpfung der beiden Themen ‚Kontaminationswirkung der Anlagen + Betriebsbereiche‘ mit der ‚Schutzwürdigkeit der Böden‘ durch. Dazu müssen Sie den in Abb. 40 dargestellten feststehenden

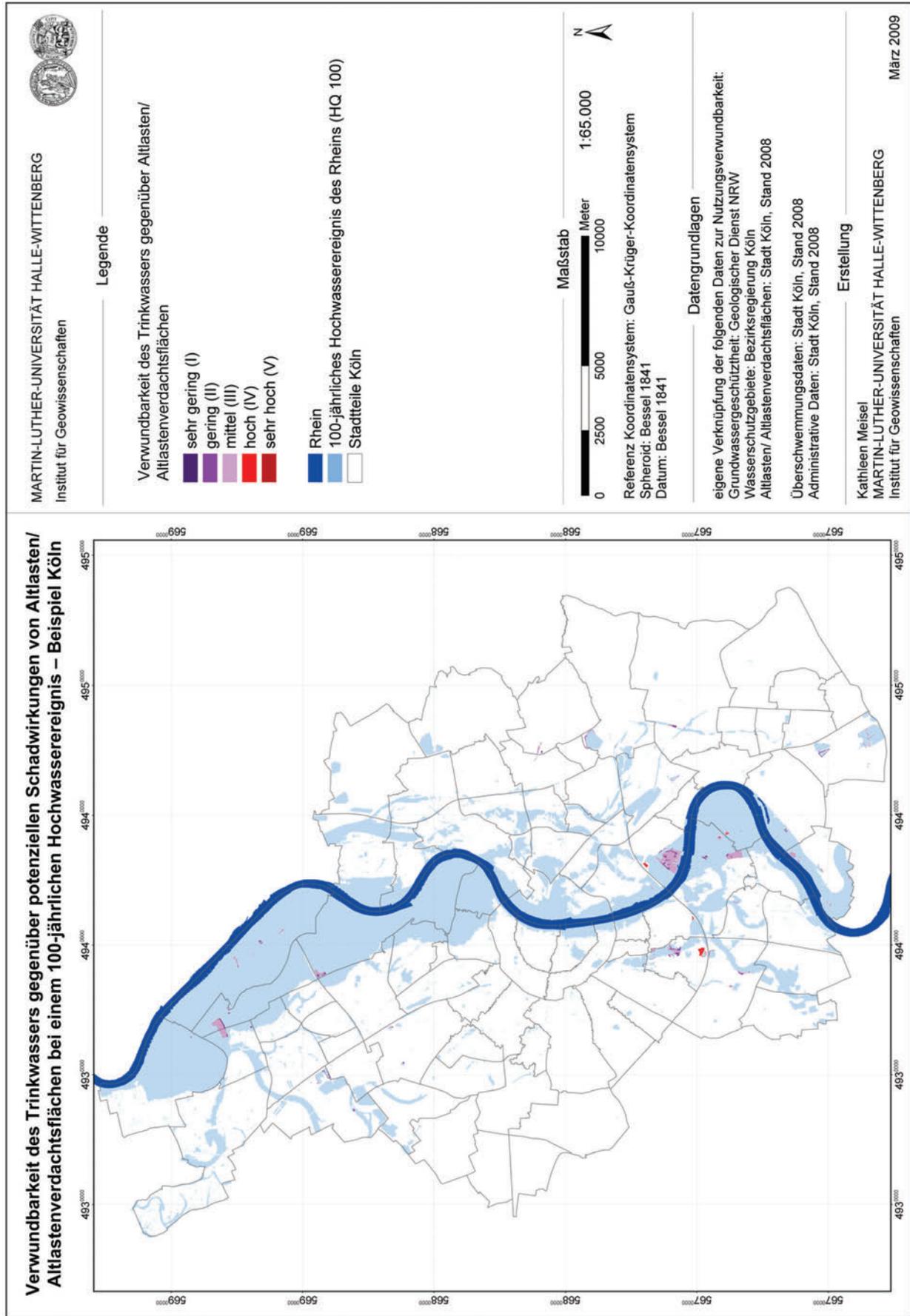


Abb. 39 Verwundbarkeit des Trinkwassers gegenüber Altlasten/Altlastenverdachtsflächen

Funktionsverlauf zwischen der Kontaminationswirkung (Pufferzonen) und der Verwundbarkeit verwenden. Passen Sie den in Abb. 41 dargestellten Funktionsverlauf zwischen der Schutzwürdigkeit des Bodens und der Verwundbarkeit auf Ihre Anzahl der Ausprägungen der Schutzwürdigkeit des Bodens an. Das tun Sie, indem Sie den Verlauf stauchen oder strecken und aus den beiden Verläufen für alle Ausprägungen der beiden Größen die Verwundbarkeitswerte ablesen, um diese nach Ihrem Ermessen zusammenzuführen und in die Präferenzmatrix aus den beiden Größen einzutragen. Nun erfolgt die Umsetzung der logischen Verknüpfung im GIS. Nachdem Sie beide Themen über den ‚Vereinigung- bzw. Union‘-Befehl zu einem neuen Thema, verknüpft haben, fügen Sie zunächst in der dazugehörigen Attributtabelle eine neue Spalte ein. Im Abfragefenster der Attributtabelle fragen Sie nun wieder alle Kombinationsmöglichkeiten der Ausprägungen beider Größen ab und tragen die entsprechenden Werte aus Ihrer Präferenzmatrix in die neue Spalte der jeweils abgefragten und markierten Datensätze. Nun können Sie sich im View über die Klassifikation der neuen Spalte des verknüpften Themas die unterschiedlichen Verwundbarkeitsstufen des Bodens gegenüber der Schädigung ausgehend von Anlagen/Betriebsbereichen anzeigen lassen.

Dann verschneiden Sie über den ‚Ausschneiden- bzw. Clip‘-Befehl das Überschwemmungsgebiet mit den innerhalb der Pufferzonen liegenden verwundbaren Bodenflächen. Als Ergebnis erhalten Sie die Bodenausschnitte, die bei Eintritt des von Ihnen definierten Hochwasserszenarios gegenüber einer potenziellen Kontamination ausgehend von den Anlagen und Betriebsbereichen verwundbar sind.

Beispiel: Zunächst sind die Funktionsverläufe, die die Abhängigkeit der Verwundbarkeit zum einen von der Intensität der Kontaminationswirkung (Pufferzonen) und zum anderen von der Schutzwürdigkeit des Bodens zeigen, für das Beispiel Köln dargestellt (Abb. 40 und Abb. 41). Die Präferenzmatrix beider Größen ist bereits erarbeitet (siehe Abb. 42). Die Kartendarstellungen finden sich in den Abb. 43 und Abb. 44.

Zum Umgang mit Datenlücken: Es gilt zu bedenken, dass lückenhaft vorliegende Informationen im Thema ‚Schutzwürdigkeit des Bodens‘ zu einer unvollständigen Darstellung der Bodenverwundbarkeit im Einflussbereich der potenziellen Kontaminationsquellen führt. Bei der Interpretation der graphischen Darstellung ist deshalb Vorsicht geboten.

### **Verwundbarkeit der Biotope gegenüber einer möglichen Kontamination von Anlagen/ Betriebsbereichen**

Die Biotopverwundbarkeit gegenüber potenziellen Schädigungen ausgehend von Anlagen/ Betriebsbereichen wird über die Verschneidung der verwundbarkeitsrelevanten Biotopinformation, welche dem Thema ‚Biotopwert‘ entspricht, mit den Anlagen und Betriebsbereichen ermittelt.

Frage: Wo sind Biotope im Hochwasserfall gegenüber Kontaminationen von Anlagen/Betriebsbereichen verwundbar?

Arbeitsschritt: Stellen Sie das Überschwemmungsgebiet des von Ihnen gewählten Hochwasserszenarios (Szenario 1,2,3,...) in einem neuen View Ihres GIS dar. Laden Sie dazu das Thema ‚Biotopwert‘ sowie die bereits zu einem gemeinsamen Thema vereinten Anlagen und Betriebsbereiche mit den in drei Pufferzonen dargestellten Einflussbereichen (Thema ‚Kontaminationswirkung der Anlagen + Betriebsbereiche‘) ein.

Um eine Übersicht darüber, ob und wenn ja, an welchen Stellen die Biotope einschließlich der in ihnen zu findenden Lebensgemeinschaften durch die Kontaminationen aus Anlagen/Betriebsbereichen potentiell gefährdet sind, zu gewinnen, können Sie sich die Biotope, differenziert nach ihrem Biotopwert, innerhalb der Einflussbereiche von Anlagen und Betriebsbereichen anzeigen lassen. Dazu schneiden Sie über den ‚Ausschneiden- bzw. Clip‘-Befehl die Einflussbereiche, repräsentiert durch die Pufferzonen, aus dem Thema ‚Biotopwert‘ aus.

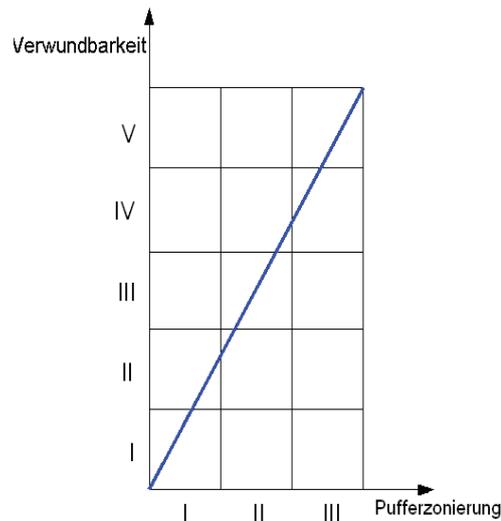


Abb. 40 Funktionaler Zusammenhang zwischen der Pufferzonierung und der Verwundbarkeit

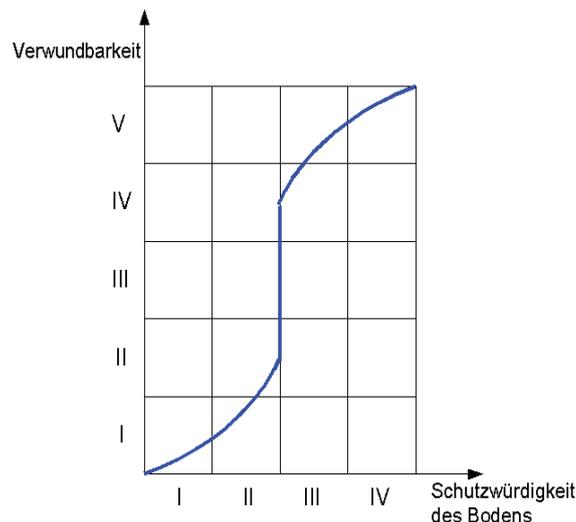


Abb. 41 Funktionaler Zusammenhang zwischen der Schutzwürdigkeit der Böden und der Verwundbarkeit

Wenn Sie anschließend über den ‚Ausschneiden- bzw. Clip‘-Befehl das Ergebnis zusätzlich mit dem von Ihnen definierten Überschwemmungsgebiet verschneiden, sehen Sie die Biotope incl. der Lebensgemeinschaften, die innerhalb der Überschwemmungsflächen durch potenzielle Kontaminationen ausgehend von Anlagen und Betriebsbereichen verwundbar sind. Dabei wird ersichtlich, wo sehr wertvolle Biotope von einer potenziellen Schädigung bedroht sind.

Analog zum Verfahren, das im vorangegangenen Kapitel für die Bodenverwundbarkeit beschrieben ist, können Sie zur Verfeinerung der Verwundbarkeitsaussage die unterschiedlichen Intensität der Kontaminationen, repräsentiert durch die Pufferzonen, um die Anlagen/Betriebsbereiche mit der Höhe des Biotopwertes verknüpfen.

Beispiel: Die folgende Karte (siehe Abb. 45) zeigt die Biotope einschließlich ihrer Lebensgemeinschaften, differenziert nach ihrem Biotopwert, die innerhalb des Einflussbereiches der Anlagen und Betriebsbereiche bei einem 100-jährlichen Hochwasser (HQ-100) liegen. Dies entspricht der Biotopverwundbarkeit gegenüber

Schadwirkung der Anlagen/  
Betriebsbereiche (Pufferzonen)

		I	II	III
Schutzwürdigkeit des Bodens	I	I	II	III
	II	I	II	III
	III	III	IV	V
	IV	III	IV	V

Abb. 42 Präferenzmatrix aus der Schadwirkung der Anlagen/Betriebsbereiche (Pufferzonen) und der Schutzwürdigkeit der Böden

Kontaminationen ausgehend von Anlagen nach § 62 WHG und Betriebsbereichen nach der 12. BImSchV. Wie die Karte veranschaulicht, gibt es ein Hotspot an verwundbaren Biotopen im Norden von Köln in den Stadtbezirken Chorweiler und Nippes bedingt durch die dort befindlichen Industrie- und Gewerbegebiete. Es handelt sich jedoch vorwiegend um Umweltbereiche mit geringer Verwundbarkeitswertstufe.

Zum Umgang mit Datenlücken: Bei der Interpretation ist Vorsicht geboten, wenn die Biotopbewertung aufgrund einer unvollständigen Biotopkartierung nicht flächendeckend gegeben ist.

Haben Kommunen über die differenzierte Betrachtung der Umweltverwundbarkeit Interesse daran weitere Ihnen zur Verfügung stehenden Daten zu Verwundbarkeitsaussagen zur verknüpfen, so steht es ihnen natürlich frei dies zu tun. Die in diesem Kapitel vorgenommenen Anleitungen zur Durchführung der Verwundbarkeitsermittlung sind als abstrakter Leitfaden zu verstehen, der für jede Kommune anwendbar sein soll, auch in Kommunen mit schlechterer Datenlage. Vor allem ist er als Grundlage dafür gedacht, Handlungsbedarf im Fall hoher Verwundbarkeiten im Bereich der Umwelt abzuleiten. Auch dies sollte jede Kommune individuell erarbeiten. Generell abzuleitende Handlungsempfehlungen werden im folgenden Kapitel beschrieben.

## 7 Handlungsempfehlungen zur Reduktion der Verwundbarkeit

Es ist davon auszugehen, dass die Ermittlung der Verwundbarkeit der Umwelt für Kommunen nur dann interessant erscheint, wenn sie daraus auch Handlungsbedarf ableiten kann oder sie die Ergebnisse in anderer Art und Weise verwerten kann. Da sich die Situationen in den Kommunen unterscheiden werden, können in diesem Kapitel nur generelle Handlungsempfehlungen gegeben werden.

Wie bereits erwähnt, ergeben sich erste allgemeine Handlungsempfehlungen aus der Analyse des Systemmodells, z. T. aber auch aus den direkten Vorschlägen und Anregungen der Experten. Aus den Wirkbeziehungen zwischen den wesentlichen Schlüsselgrößen des Systems ‚Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Hochwasserereignissen‘ im Systemmodell wird deutlich, an welcher Stelle, also an welchen Schlüsselgrößen,

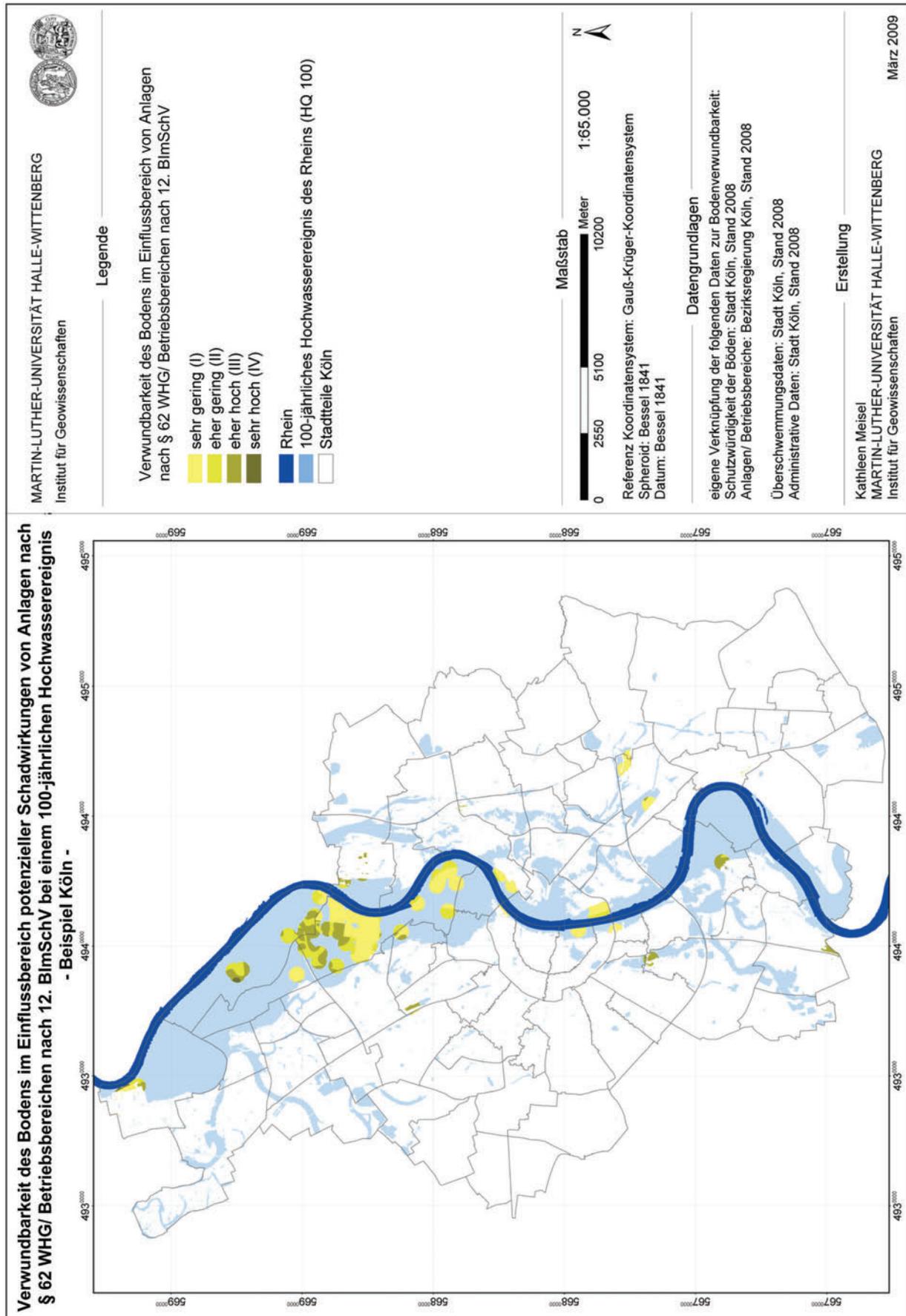


Abb. 43 Bodenbereiche, differenziert nach ihrer Schutzwürdigkeit, die innerhalb des Einflussbereiches der Anlagen/ Betriebsbereiche bei einem 100-jährlichen Hochwasser (HQ-100) liegen

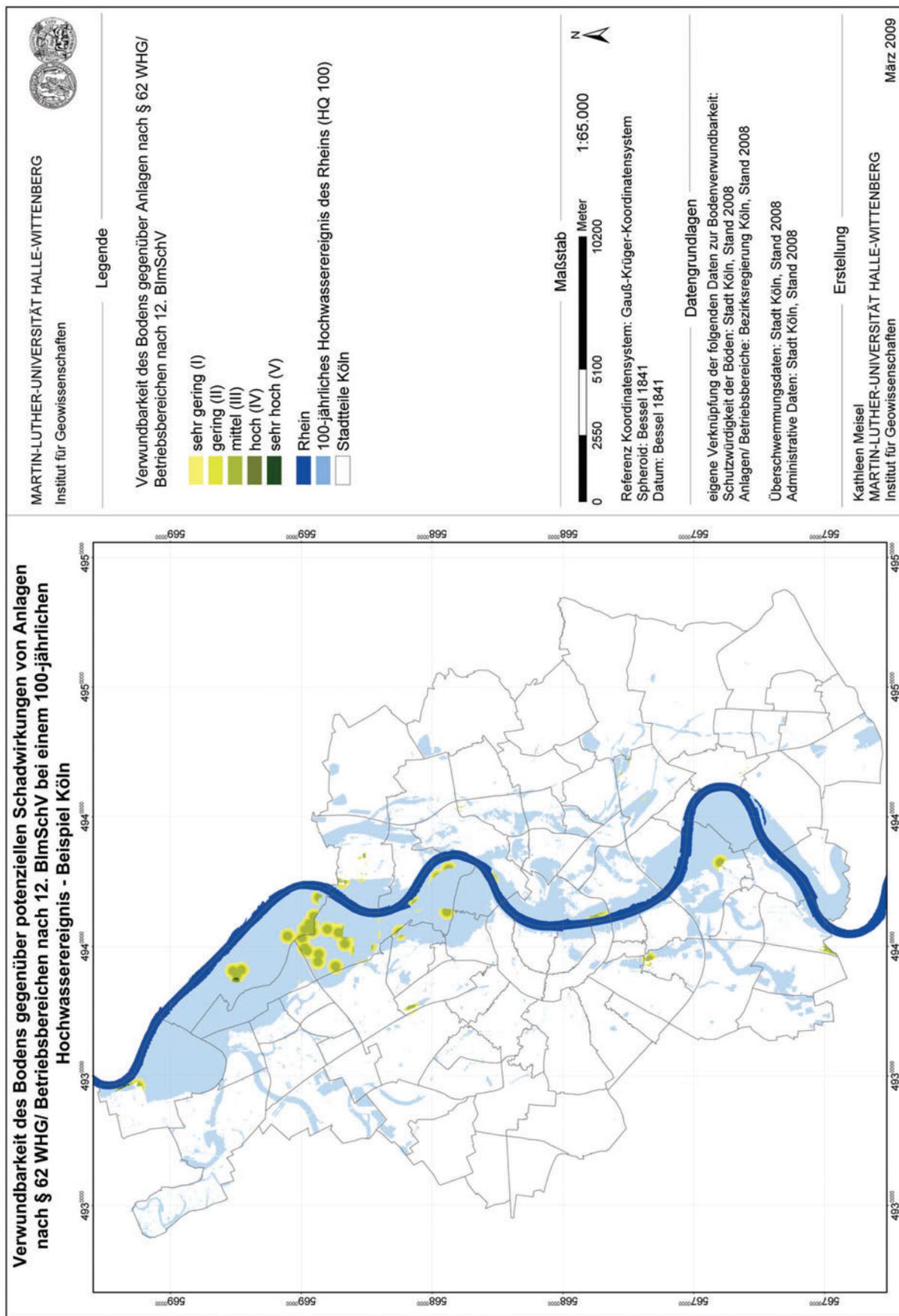


Abb. 44 Grad der Verwundbarkeit dieser Bodenbereiche über die Verknüpfung der Schutzwürdigkeit der Böden mit den unterschiedlichen Schadwirkungen

angepackt werden muss, um die Verwundbarkeit zu reduzieren.

Zunächst wird den Kommunen dringend empfohlen, mit den benachbarten Kommunen bei der Durchführung der Verwundbarkeitsanalyse zusammenzuarbeiten bzw. sich abzustimmen, da die potenziellen Schadwirkungen, die die Voraussetzung für die Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Hochwasserereignissen darstellen, nicht an Gemeindegrenzen enden. Die Zusammenarbeit der Kommunen sollte sich auch über die Ermittlung der Verwundbarkeit hinaus auf die folgend vorgeschlagenen Handlungsempfehlungen zur Minderung der Umweltverwundbarkeit erstrecken.

Wie erwähnt, wird aus dem Systemmodell die dominante Rolle des Systemelementes ‚Sicherheit potenzieller Kontaminationsquellen‘ ersichtlich. Es wird auch deutlich, dass es keine Umwelt-verwundbarkeit gäbe, fiele dieses Systemelement weg. Deshalb beschränken sich die Handlungsempfehlungen im Wesentlichen auf die Vermeidung bzw. stärkere Sicherung dieser Kontaminationsquellen. Es bestehen zwar bereits Gesetze und Verordnungen, die den Umgang mit den potenziellen Kontaminationsquellen regeln. Dennoch existieren Lücken im bestehenden Recht, so dass Gefahren für die Umwelt bestehen.

Bestimmungen über den Hochwasserschutz von Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (§ 62 WHG-Anlagen) trifft das Wasserhaushaltsgesetz des Bundes, die ländereigenen Wassergesetze und Verordnungen. In dem bis zur Novellierung 2009 und weiteren Änderung des Wasserhaushaltsgesetz zum 11.9.2010 geltenden alten Wasserhaushaltsgesetz wurden Anforderungen zur Sicherung der Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen für die Überschwemmungsgebiete (ehemals § 31 b WHG) und für die überschwemmungsgefährdeten Gebiete (ehemals § 31 c WHG) getroffen. Diese Anforderungen sollten in den Landesgesetzen konkretisiert werden. Diese verwiesen auf genauere Bestimmungen in den ländereigenen Verordnungen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen. In der Regel bestanden genaue Sicherheitsvorschriften für die Anlagen im rechtlich festgesetzten Überschwemmungsgebiet nach dem ehemaligen § 31 b WHG – also für jene Gebiete, die bei einem 100-jährlichen Hochwasser überflutet werden. Für die nach dem ehemaligen § 31 c beschriebenen überschwemmungsgefährdeten Gebiete – jene Gebiete, die bei einem größeren Hochwasser als einem 100-jährlichen Hochwasser oder einem Deichversagen überschwemmt werden – werden in den Ländern entweder keine oder nur Bestimmungen mit einem großen Interpretationsspielraum getroffen. Das bedeutet, dass nur für Anlagen zum Umgang mit wassergefährdeten Stoffen im rechtlich festgesetzten Überschwemmungsgebiet klare Hochwasserschutzanforderungen gelten. Anlagen in überschwemmungsgefährdeten Gebieten können im Hochwasserfall eine Gefahr für die Umwelt darstellen, da ihre Sicherung gar nicht oder nur sehr schwammig geregelt wurde. Nach der Novellierung 2009 und weiteren Änderung des Wasserhaushaltsgesetzes zum 11.9.2010 gibt es nun keine Unterscheidung mehr in Überschwemmungsgebiete und überschwemmungsgefährdeten Gebieten. Es müssen von den Ländern nur noch Überschwemmungsgebiete ausgewiesen werden. Der Begriff der überschwemmungsgefährdeten Gebiete taucht nicht mehr auf. Somit sind nun auch die zwar schwammigen, aber dennoch existenten Hochwasserschutzanforderungen für Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen in überschwemmungsgefährdeten Gebieten verschwunden. Hier wird ein großer Handlungsbedarf von der Autorin gesehen. Um eine Gefährdung für die Umwelt zu vermeiden, sollte rechtlich nachgebessert werden. Die Sicherheitsauflagen dürfen nicht nur für ein 100-jährliches Hochwasser gelten.

Trotz der konkreten Hochwasserschutzanforderungen in den rechtlich festgesetzten Überschwemmungsgebieten darf jedoch dennoch nicht von einer hundertprozentigen Sicherheit der Anlagen ausgegangen werden. Zum einen sind rechtlich keine Umsetzungsfristen für die geforderten Auflagen vorgesehen, zum anderen fehlen in den Behörden die Kapazitäten, die Umsetzung der Anforderungen zu kontrollieren. So lässt sich vermuten, dass einige Anlagen, wenn kein eigenes Interesse des Anlagenbetreibers an der Sicherheit besteht, unzureichend gegenüber einem potenziell auftretenden Hochwasser gesichert sind. Demnach wird empfohlen, Umsetzungsfristen in den Genehmigungs- oder Nachrüstungsbescheiden der Behörden an die

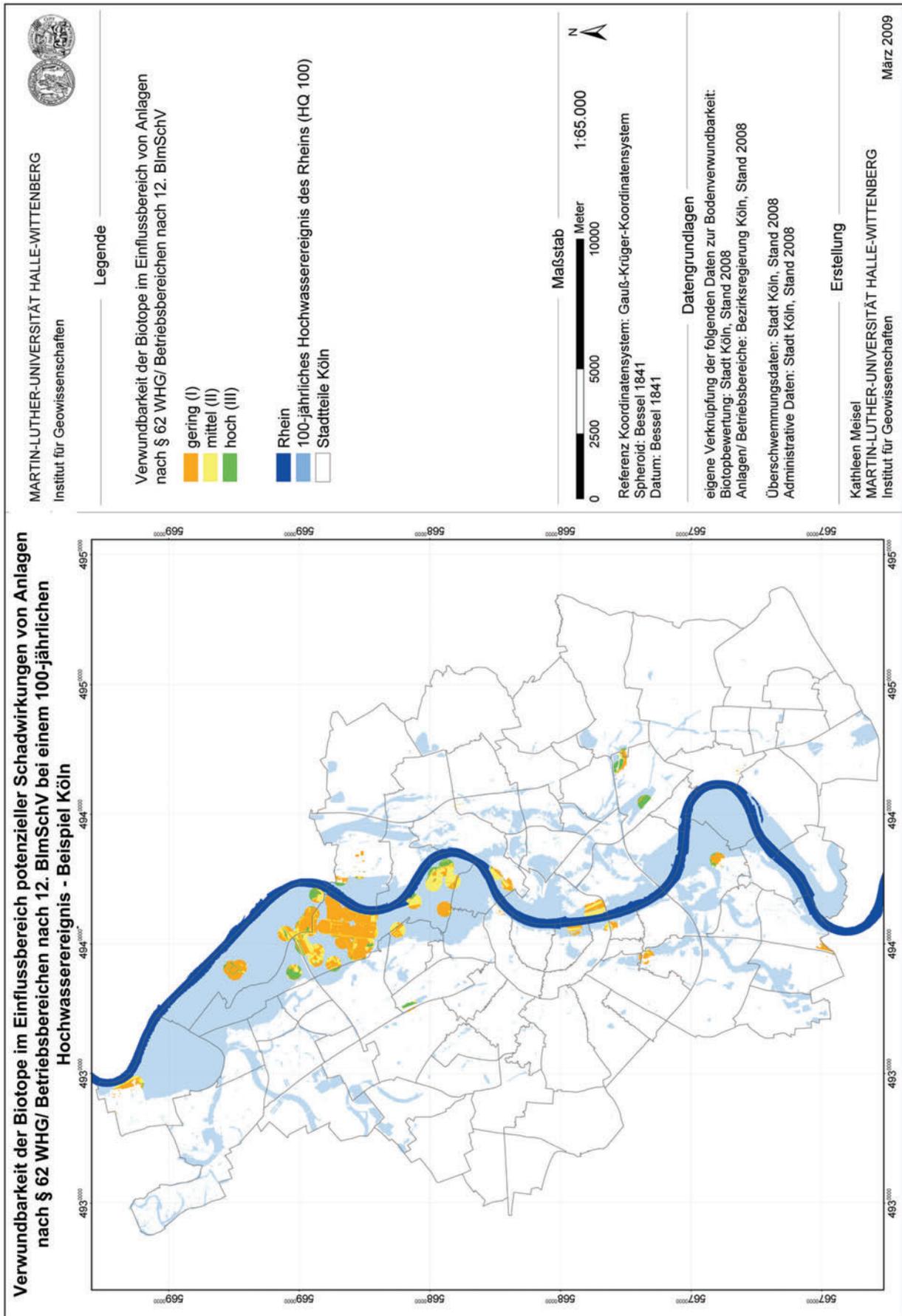


Abb. 45 Verwundbarkeit der Biotope gegenüber Anlagen/Betriebsbereichen

Anlagenbetreiber zu verankern. Darüber hinaus sollte der Anlagenbetreiber aufgefordert sein, bis zum Ablauf der Umsetzungsfrist eine Meldung an die Behörde zu machen, in dem er anzeigt, welche Maßnahmen zum Hochwasserschutz er getroffen hat. Es sollte auch im Interesse des Betreibers liegen, einen Hochwasserschaden, der mit Kosten verbunden ist, zu vermeiden. Die Behörde sollte darüber hinaus stichpunktartig Kontrollen der Umsetzung durchführen. Wurden die geforderten Auflagen nicht realisiert, sollten Geldbußen eine abschreckende Wirkung erzielen. Zudem sollten Anlagenbetreiber, die den rechtlichen Bestimmungen nicht nachgegangen sind auch keinen Anspruch auf irgendeine Form der Wiederaufbauhilfe nach einem Hochwasser haben.

Die Regelungen zum Hochwasserschutz von Störfallbetrieben sind sehr vage und ausschließlich in der 12. Bundesimmissionsschutzverordnung geregelt. Demnach muss der Betreiber die notwendigen Schutzvorkehrungen treffen, um einen Störfall, der durch ein Hochwasser ausgelöst werden könnte, zu verhindern (§ 3 I 12. BImSchV). Der Gesetzgeber lässt jedoch offen, für welche Betriebe das gilt. In der Regel fordern die Genehmigungsbehörden die Schutzvorkehrungen nicht nur von Störfallbetrieben, die in einem rechtlich festgesetzten Überschwemmungsgebiet liegen, sondern auch von denen, die bei einem 200 jährlichen Hochwasser betroffen sein könnten. Eine feste Regelung besteht dazu nicht. Es liegt im Ermessensspielraum der Genehmigungsbehörden. Anders als beim Wasserrecht sind über § 16 der 12. BImSchV Kontrollen bzw. das Betreiben eines Systems zur Überwachung der Sicherheitsauflagen rechtlich verankert. Als Alternative für die vorgeschlagenen Handlungsempfehlungen innerhalb des Wasserrechtes könnte so ein Überwachungssystem auch als Vorbild für das Wasserrecht dienen. Durch den Ermessensspielraum der Genehmigungsbehörden ist jedoch nicht auszuschließen, dass von einigen Störfallbetrieben bei einem größeren Hochwasserereignis als einem 100 Jährlichen eine Gefahr für die Umwelt ausgeht. Aus diesem Grund sollte entweder eine Nachbesserung in der 12. BImSchV erfolgen, in der konkret die Schutzanforderungen auch für seltenere als 100 jährliche Hochwasser formuliert werden oder die Genehmigungsbehörden in den Gemeinden oder Regierungspräsidien stimmen sich auf eine einheitliche Vorgehensweise ab, so dass die geforderten Schutzvorkehrungen Betriebe auch bei einem potenziellen Extremhochwasser absichern.

Es ist zudem ein großes Problem, das sowohl im Wasser- als auch im Immissionsschutzrecht eine drohende Gefahr, die ausschließlich von einem ansteigenden Grundwasserspiegel resultiert, nicht mit berücksichtigt wird. Auch außerhalb von rechtlich festgesetzten Überschwemmungsgebieten können gelagerte wasser- bzw. umweltgefährdende Stoffe über den Grundwasserdruck freigesetzt werden. Mit Hilfe von Grundwassermodellierung sollten jene Bereiche ausgewiesen werden, die zwar nicht vom oberflächlichen Hochwasser jedoch von hoch anstehendem Grundwasser bedroht werden könnten. Hier gilt es ebenfalls, Sicherheitsanforderungen für die Anlagen und Störfallbetriebe rechtlich festzusetzen.

Da die Sicherheit von Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen und Störfallbetrieben in den Überschwemmungsgebieten und den grundwassergefährdeten Gebieten nicht nur von den technischen Hochwasserschutzvorkehrungen abhängt, sondern auch von der menschlichen Fähigkeit, die richtigen Entscheidungen zu treffen, sollte es bei weiteren Planungen in Erwägung gezogen werden, Genehmigungen in Überschwemmungs- oder grundwassergefährdeten Gebieten zu versagen. Des Weiteren sollten Behörden die Betreiber von Anlagen und Betrieben mit dem Hinweis auf die Vermeidung von Eigen- und Fremdschäden anregen, wasser- bzw. umweltgefährdende Stoffe aus dem Überschwemmungs- und grundwassergefährdeten Gebiete auszulagern.

Für den Bereich der Altlasten bestehen bezüglich eines Hochwassers keine gesonderten Anforderungen. Sie unterliegen den allgemeinen Bestimmungen der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung. Es ist aber denkbar und empfehlenswert, dass bei der Untersuchung, Bewertung und der Sanierung von Altlastenverdachtsflächen bzw. Altlasten mit berücksichtigt wird, wo Altlasten auf sehr verwundbare Umwelträumen treffen, d. h. an welchen Stellen die Altlastenflächen einen besonders großen Schaden in der Umwelt anrichten

können. Werden von den Kommunen die im Leitfaden beschriebenen Einzelbetrachtungen durchgeführt, so wird auch ersichtlich, an welchen Stellen der Boden oder das Grund- bzw. das Trinkwasser von Schädwirkungen aus Altlasten gefährdet werden könnten. Somit könnten die Verwundbarkeitsermittlungen eine Grundlage für die Priorisierung bei der Altlasten-sanierung sein.

Das Verfahren zur Ermittlung der Umweltverwundbarkeit könnte analog dazu dienen, beispielsweise eine Verlagerung oder den Rückbau von bestehenden Anlagen nach § 62 WHG oder Betriebsbereichen nach der 12. BImSchV in Überschwemmungs- oder grundwassergefährdeten Gebieten zu priorisieren. Sollte eine Verlagerung oder der Rückbau nicht durchsetzbar sein, könnte sich die Behörde bei Genehmigungs- oder Nachrüstungsbescheiden jedoch mit der Höhe der Sicherheitsanforderungen mit an der Umweltverwundbarkeit orientieren.

Auf jeden Fall sollte die Karte der verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation als Grundlage für weitere räumliche Planungen verwendet werden. Unabhängig von den Auswirkungen im Hochwasserfall könnte man über die Karte der verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation ableiten, an welchen Stellen keine weiteren Siedlungs-, Gewerbe- und Industrieausweisungen erfolgen sollten. So könnten die erzeugten Karten die Grundlagen für Stellungnahmen bei Vorhabensplanungen sein. Die Ergebnisse könnten zudem bei der Aktualisierung des Landschaftsplanes oder Umweltberichte verwendet werden.

Konkrete Handlungsempfehlungen können Kommunen erst dann aussprechen, wenn sie das Verfahren zur Ermittlung der Verwundbarkeit durchgeführt und flächengenaue Aussagen zur Umweltverwundbarkeit vorliegen haben. Erst dann können die Kommunen entscheiden, in welchen Gebieten die Verwundbarkeit akzeptabel ist und in welchen sie über zu ergreifende Maßnahmen reduziert werden muss.

## 8 Schlussbetrachtung

Es ist unbestritten, dass Hochwasser eine Gefahr für Kommunen darstellt. Es ist zudem bedingt durch den globalen Klimawandel sehr wahrscheinlich, dass die Gefahr zunehmen wird. Neben den Überlegungen den Hochwasserschutz zu optimieren, muss natürlich in erster Linie versucht werden, die Ursachen zu beheben. Ursachenforschung und das Ableiten von Maßnahmen zur Reduktion der Anzahl von Hochwasserereignissen waren allerdings nicht Inhalt dieser Arbeit. In der vorliegenden Arbeit wurde der Fokus darauf gelegt, die Verwundbarkeit der Umwelt, so sie existiert, zu beschreiben und zu ermitteln, um einen gezielten Hochwasserschutz zu betreiben.

Auf der Grundlage von den bestehenden und sehr abstrakt formulierten Verwundbarkeitskonzepten und der Anwendung der Systemtheorie und der Kybernetik wurde von der Autorin ein Verfahren hergeleitet, mit dem die Verwundbarkeit der Umwelt auf kommunaler Ebene bestimmt werden kann. Die Erstellung von Konzepten der Verwundbarkeit gegenüber Naturgefahren ist eine relativ junge Disziplin in der Forschungslandschaft. Sie wurden entwickelt, um im Gegensatz zu dem sehr technisch orientierten Hochwasserschutz an exponierten Schutzobjekten anzusetzen, deren spezifischen Anfälligkeiten und Bewältigungspotenzialen zu bestimmen und so deren spezifische Schutzmöglichkeiten vor Naturgefahren zu optimieren. Es ist jedoch unbestritten, dass der bauliche Hochwasserschutz neben diesen neuen Ansätzen bestehen bleiben muss.

Mit der Anwendung der Systemtheorie und der Kybernetik bei der Entwicklung eines Verfahren zur Ermittlung der Umweltverwundbarkeit in Kommunen soll gewährleistet werden, dass die wesentlichen Größen, die das betrachtete System beeinflussen und steuern, identifiziert werden. Erst eine realitätsnahe Abbildung des betrachteten Systems ermöglicht die Ableitung derjenigen Kriterien, die dann in deren Zusammenführung Verwundbarkeitsaussagen zulassen, die der Realität nahe kommen. Auch wenn das System ,Verwundbarkeit

der Umwelt gegenüber Hochwasserereignissen auf kommunaler Ebene' dargestellt in einem Systemmodell als nicht so komplex erscheint als würde für die Ableitung der wesentlichen Kriterien der Systemtheorieansatz und die Erarbeitung eines Systemmodells benötigt, so ist doch eine systemische Herangehensweise wie in den Abschnitten 2.2 und 3.2 beschrieben als Grundlage für jedes Projektvorhaben zu empfehlen. Nach Ansicht der Autorin ist eine systemische Herangehensweise die Voraussetzung dafür, eine vorliegende Fragestellung/Problem in seiner Ganzheit zu durchdringen und zu verstehen. Ohne diesen Ansatz bleibt zu bezweifeln, dass die „richtigen“ Antworten/Lösungen gefunden werden.

Wird die Umwelt, wie sie in Abschnitt 3.3 definiert wird, als Schutzobjekt, welches die Lebensgrundlagen des Menschen bereitstellt, betrachtet, lässt sich feststellen, dass sie gegenüber den reinen Hochwassermassen nicht verwundbar ist und demnach auch nicht geschützt werden muss. Sie besitzt Regelungsmechanismen, die zur Anpassung und zur Erholung führen. Ausnahmen von dieser Annahme stellen die in 3.3 formulierten Fälle dar (z. B. Einwanderung sehr seltener Arten über sehr lange Zeiträume nach dem Hochwasserereignis oder gar nicht, dauerhafte Absenkung des Grundwassers infolge der Eintiefung des Oberflächenwassers in das Gewässerbett, Erosionsprozesse, die die Bewirtschaftung der Aue unmöglich werden lassen). Diese Prozesse gehören zwar auch zur natürlichen Auendynamik, sind aber auch mit Verwundbarkeiten verbunden, weil die Erholung nur sehr langfristig oder gar nicht erfolgt. Diese Fälle wurden jedoch nicht in der Arbeit berücksichtigt.

Befinden sich allerdings innerhalb der Überschwemmungsgebiete Kontaminationsquellen, wie sie in 3.3 festgelegt sind, dann ist auch die Umwelt gegenüber diesen Kontaminationsquellen, von denen im Hochwasserfall Gefahr ausgeht, verwundbar. Die Voraussetzung für die Verwundbarkeit ist innerhalb der vorliegenden Arbeit also das Vorhandensein von Kontaminationsquellen im Überschwemmungsgebiet.

Über ein Verwundbarkeitskonzept, dass das Verfahren zur Ermittlung der Umweltverwundbarkeit auf kommunaler Ebene zunächst abstrakt dargestellt, über das Verwundbarkeits- und das Systemmodell (auf Grundlage der Systemtheorie und der Kybernetik) aus dem die systemrelevanten Verwundbarkeitskriterien abgeleitet werden und über ein Bewertungsverfahren basierend auf der logischen Verknüpfung können Verwundbarkeitsaussagen auf kommunaler Ebene generiert werden. Aus der Systemanalyse werden darüber hinaus erste allgemeine Handlungsempfehlungen sichtbar. Erst die Analyse vor Ort, also die Ermittlung der Verwundbarkeit an einem konkreten Beispiel, kann konkrete Handlungsempfehlungen hervorbringen.

Neben dieser wissenschaftlichen Herleitung des Verfahrens zur Ermittlung der Umweltverwundbarkeit wird in Kapitel 6 dieses Verfahren konkret für die Umsetzung in Kommunen beschrieben und für das Beispiel Köln angewendet. Aufgrund von ausdrücklichen Wünschen der Stadt Dresden flossen allerdings die Untersuchungen zur Verwundbarkeit in der Stadt Dresden nicht mit in die Arbeit ein. So konnten zwischen den von Hochwassern betroffenen Kommunen Köln und Dresden keine Vergleiche vorgenommen werden. Im Kapitel 6 werden die konkreten Arbeitsschritte, die zur gewünschten Verwundbarkeitsaussage führen in einem GIS erläutert. Mit dieser Handreichung sollte jede Kommune in der Lage sein, relativ einfach und transparent die Verwundbarkeit der Umwelt zu bestimmen. Mit diesem Ziel wurde eine enge Zusammenarbeit mit zwei Kommunen angestrebt. Die Kommunen Dresden und Köln haben Entwürfe des Praxisleitfadens getestet und weitere Anregungen gegeben. Natürlich können die Kommunen dieses Verfahren an die ortstypischen Bedingungen anpassen und verändern. Dieser Praxisleitfaden wurde bereits im Oktober 2010 veröffentlicht. Bisher sind der Autorin leider keine Rückmeldungen bekannt.

Neben den generellen aus dem Systemmodell ableitbaren Handlungsempfehlungen, die in erster Linie darauf abzielen, die Ursache der Verwundbarkeit zu mindern bzw. zu beseitigen, in dem weitere Genehmigungen von potenziellen Kontaminationsquellen in Überschwemmungsgebieten erschwert oder versagt werden bzw. bestehende Anlage besser gesichert werden oder im Fall von Altlasten saniert werden, weist die Autorin auch

Möglichkeiten aus, die innerhalb des Verfahrens zur Bestimmung der Verwundbarkeit gewonnen Information für andere Planungen zu nutzen (z. B. Priorisierung der Altlastensanierung, Genehmigung/Planung raumbedeutsamer Vorhaben).

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Die Städte Köln (l.) und Dresden (m.) unter Wasser. Große Öllachen treiben im Hochwasser in Dresden im Stadtteil Laubegast (r.)	3
Abb. 2	Doppelstruktur nach Bohle	4
Abb. 3	Verwundbarkeitskonzept nach Turner et al.	5
Abb. 4	BBC-Konzept	6
Abb. 5	Klassischer Regelkreis mit den gängigen kybernetischen Bezeichnungen	9
Abb. 6	Methodischer Rahmen zur Ermittlung der Umweltverwundbarkeit	11
Abb. 7	Beispiel einer leeren Präferenzmatrix	19
Abb. 8	Darstellung des Verwundbarkeitskonzeptes	21
Abb. 9	Darstellung des Verwundbarkeitsmodells	23
Abb. 10	Darstellung des Systemmodells	24
Abb. 11	Konkretisierung des Verwundbarkeitsbegriffes	27
Abb. 12	Beispiel eines funktionalen Zusammenhanges zwischen dem Biotopwert und der Verwundbarkeit	28
Abb. 13	Beispiel eines funktionalen Zusammenhanges zwischen der Schutzwürdigkeit der Böden und der Verwundbarkeit	29
Abb. 14	Beispiel eines funktionalen Zusammenhanges zwischen der Grundwassergeschüttheit und der Verwundbarkeit	29
Abb. 15	Beispiel einer Präferenzmatrix aus der Schutzwürdigkeit der Böden und der Grundwassergeschüttheit	30
Abb. 16	Beispiel eines funktionalen Zusammenhanges zwischen dem Umweltinformation-Zwischenergebnis und der Verwundbarkeit	31
Abb. 17	Funktionale Zusammenhang zwischen der verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation und der Verwundbarkeit	33
Abb. 18	Funktionale Zusammenhang zwischen der Schadwirkung von Anlagen/Betriebsbereichen und der Verwundbarkeit	34
Abb. 19	Präferenzmatrix aus der verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation und der Schadwirkung ausgehend von Anlagen/Betriebsbereichen (Pufferzonen)	34
Abb. 20	Schematische Darstellung des Verfahrens zur Ermittlung der Umweltverwundbarkeit gegenüber Hochwasserereignissen	36
Abb. 21	Expositionstest	39
Abb. 22	Verwundbarkeitsrelevante Kriterien: Grundwassergeschüttheit, Schutzwürdigkeit der Böden, Biotopwert	42
Abb. 23	Funktionaler Zusammenhang zwischen der Schutzwürdigkeit der Böden und der Verwundbarkeit	43
Abb. 24	Funktionaler Zusammenhang zwischen der Grundwassergeschüttheit und der Verwundbarkeit	43
Abb. 25	Präferenzmatrix aus der Schutzwürdigkeit der Böden und der Grundwassergeschüttheit	44
Abb. 26	Funktionaler Zusammenhang zwischen dem Biotopwert und der Verwundbarkeit	44

Abb. 27	Funktionaler Zusammenhang zwischen dem Umweltinformation_Zwischen- ergebnis und der Verwundbarkeit	45
Abb. 28	Präferenzmatrix aus dem Biotopwert und dem Umweltinformation-Zwischen- ergebnis	45
Abb. 29	Verwundbarkeitsrelevante Umweltinformation	46
Abb. 30	Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Altlasten/Altlastenverdachtsflächen	48
Abb. 31	Präferenzmatrix aus der verwundbarkeitsrelevanten Umweltinformation und den Schadwirkungen der Anlagen/Betriebsbereichen (Pufferzonen)	50
Abb. 32	Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber Anlagen/Betriebsbereichen	52
Abb. 33	Verwundbarkeit der Umwelt gegenüber allen betrachteten Kontamination- quellen (=Verwundbarkeit der Umwelt)	53
Abb. 34	Verwundbarkeit des Bodens gegenüber Altlasten/Altlastenverdachtsflächen	58
Abb. 35	Verwundbarkeit des Grundwassers gegenüber Altlasten/Altlastenverdachts- flächen	59
Abb. 36	Funktionaler Zusammenhang zwischen der Trinkwasserschutzzonierung und der Verwundbarkeit	60
Abb. 37	Funktionaler Zusammenhang zwischen der Grundwassergeschützttheit und der Verwundbarkeit	60
Abb. 38	Präferenzmatrix aus der Trinkwasserschutzzonierung und der Grundwasserge- schützttheit	61
Abb. 39	Verwundbarkeit des Trinkwassers gegenüber Altlasten/Altlastenverdachts- flächen	62
Abb. 40	Funktionaler Zusammenhang zwischen der Pufferzonierung und der Verwun- dbarkeit	64
Abb. 41	Funktionaler Zusammenhang zwischen der Schutzwürdigkeit der Böden und der Verwundbarkeit	64
Abb. 42	Präferenzmatrix aus der Schadwirkung der Anlagen/Betriebsbereiche (Puffer- zonen) und der Schutzwürdigkeit der Böden	65
Abb. 43	Bodenbereiche, differenziert nach ihrer Schutzwürdigkeit, die innerhalb des Einflussbereiches der Anlagen/Betriebsbereiche bei einem 100-jährlichen Hochwasser (HQ-100) liegen	66
Abb. 44	Grad der Verwundbarkeit dieser Bodenbereiche über die Verknüpfung der Schutzwürdigkeit der Böden mit den unterschiedlichen Schadwirkungen	67
Abb. 45	Verwundbarkeit der Biotope gegenüber Anlagen/Betriebsbereichen	69

## Literaturverzeichnis

- Akademie für Raumforschung und Landesplanung ARL (Hrsg.) (1998): Methoden und Instrumente räumlicher Planung. Hannover.
- Arbeitsgemeinschaft für die Reinhaltung der Elbe ARGE (2003): Gewässergütebericht der Elbe. Hamburg.
- Bachfischer, R. (1978): Die ökologische Risikoanalyse – eine Methode zur Integration natürlicher Umweltfaktoren in der Raumplanung. Dissertation an der TU München.
- Bankoff, G. (2003). *Cultures of Disaster: Society and natural hazards in the Philippines*. London, Routledge, Curzon.
- Bastian, O. & K.-F. Schreiber (Hrsg.) (1994): Analyse und ökologische Bewertung der Landschaft, Jena, Stuttgart.
- Bechmann, A. (1989): Nutzwertanalyse. In: Storm, Ch. & T. Bunge (Hrsg.): *Handbuch der Umweltverträglichkeitsprüfung (HdUVP)*, Bd. A3555, 1989.
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I. & B. Wisner. (1994). *At Risk: Natural hazards, People's vulnerability, and disasters*. London, Routledge.
- Birkmann, J. (2008): Globaler Umweltwandel, Naturgefahren, Vulnerabilität und Katastrophenresilience. Notwendigkeit der Perspektivenerweiterung in der Raumplanung. In: *Raumforschung und Raumordnung*, 66 (1), 5-22.
- Birkmann, J. (2006): Indicators and Criteria for Measuring Vulnerability: Theoretical Bases and Requirements. In: Birkmann J. (Hrsg.): *Measuring Vulnerability to Natural Hazards – Towards Disaster Resilient societies*. Tokyo, New York, Paris 9-54.
- Böhme, M.; Krüger, F.; Ockenfeld, K. & W. Geller (Hrsg.) (2005): Schadstoffbelastung nach dem Elbe-Hochwasser 2002. Eine Kurz-Darstellung der Fakten und Hilfen zu deren Bewertung. Magdeburg, abrufbar unter: <http://www.ufz.de/data/HWBroschuere2637.pdf>, abgerufen am 10.01.2011.
- Bohle, H.-G. (2001): Vulnerability and Critically: Perspectives from Social Geography. IHPD Update 2/2001. Newsletter of the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change, 1-7.
- Bozema, S. & P. Cudlin (2001): Flood impacts on vegetation communities. In: *Ekologia*, Vol. 20, No. 1, S. 38-46.
- Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) (Hrsg.) (2010): Abschätzung der Verwundbarkeit gegenüber Hochwasserereignissen auf kommunaler Ebene. In: *Praxis im Bevölkerungsschutz*, Bd. 4.
- Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) (Hrsg.) (2011): Indikatoren zur Abschätzung von Vulnerabilität und Bewältigungspotenzialen am Beispiel von wasserbezogenen Naturgefahren in urbanen Räumen. In: *Forschung im Bevölkerungsschutz*, Bd. 13.
- Bundesarchiv Köln, B 422 Bild 0086, abrufbar unter: <http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/811332>, abgerufen am 10.01.2011
- Bundesministerium des Innern (BMI) (2008): Schutz Kritischer Infrastrukturen – Risiko und Krisenmanagement. Leitfaden für Unternehmen und Behörden. Berlin.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (Hrsg.) (2008): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Berlin.
- Cardona, O. D.; Hurtado, J. E.; Chardon, A. C.; Moreno, A. M.; Prieto, S. D.; Velasquez, L. S. & G. Duque (2005): Indicators of disaster risk and risk management. Program for Latin America and the Caribbean. Summary Report for World Conference on Disaster Reduction, IBD/IDEA Program for Indicators for Disaster Risk Management, National University of Colombia, abrufbar unter [www.iadb.org/int/DRP/Ing/Red6/Docs/IDEAR06-05eng.pdf](http://www.iadb.org/int/DRP/Ing/Red6/Docs/IDEAR06-05eng.pdf), abgerufen am 21.12.2010.
- Cannon, T., Twigg, J. et al. (2005). *Social Vulnerability, Sustainable Livelihoods and Disasters*, Report to DFID Conflict and Humanitarian Assistance Department (CHAD) and Sustainable Livelihoods Support Office. London, DFID: 63.
- Costanza, R.; d'Arge, R.; de Groot, R.; Farber, S.; Grasso, M.; Hannon, B.; Limburg, K.; Naeem, S.; O'Neill,

- R. V.; Paruelo, J.; Raskin, R. G.; Suttonkk, P. & M. van den Belt (1997): The value of the world's ecosystem services and natural capital. In: *Nature*, Vol. 387, p. 253-260.
- Cutter, S. L., Mitchell, J. T. et al. (2000): "Revealing the Vulnerability of People and Places: A Case Study of Georgetown County, South Carolina." *Annals of American Geographers* 90(4): 713-737.
- Diekmann, A. (1996): *Empirische Sozialforschung. Grundlagen, Methoden, Anwendung*, 2. Aufl., Hamburg.
- Dönitz, S. (o.J.): Foto vom überschwemmten Dresden, In: *Grundlagen Wetter und Klima*, abrufbar unter: [http://www.luftrettung-hamburg.de/html/wetter\\_grundlagen.html](http://www.luftrettung-hamburg.de/html/wetter_grundlagen.html), abgerufen am 10.01.2011.
- Füssel, H.-M. (2007): Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research. In *Global Environmental Change* 75 (3), 301-329.
- Geller, W., Ockenfeld, K., Böhme, M. & A. Knöchel (Hrsg.) (2004): *Schadstoffbelastung nach dem Elbe-Hochwasser 2002. Endbericht des Ad-hoc Projekts*, Magdeburg.
- Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung in der Fassung der Bekanntmachung vom 24. Februar 2010 (BGBl. I S. 94), das durch Artikel 11 des Gesetzes vom 11. August 2010 (BGBl. I S. 1163) geändert worden ist.
- Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz, BNatSchG) vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542).
- Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushaltes (Wasserhaushaltgesetz, WHG) vom 27. Juli 1957 (BGBl. I S. 1110, 1386), in der Neufassung vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585).
- Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen (Stand 2008): *Digitale Daten zur Grundwassergeschüttheit*.
- Heinken, A. (2001): *Vegetationsentwicklung von Auengrünland nach Wiederüberflutung*. Diss. Berlin.
- Hölting, B.; Haertle, T.; Hohberger, K.-H.; Nachtigall, K.; Villinger, E.; Weinzierl, W. & Wroebel, J.-P. (1995): Konzept zur Ermittlung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung. - *Geologisches Jahrbuch C* 63, S. 5-24.- Hrsg.: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Geologische Landesämter der Bundesrepublik Deutschland, Hannover.
- International Strategy for Disaster Reduction (ISDR) (2004): *Living with Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives*. Genave.
- Jantsch, E. (1992): *Die Selbstorganisation des Universums. Vom Urknall zum menschlichen Geist*. München.
- Kommission der Europäischen Gemeinschaft (EU Kommission) (2007): *Grünbuch der Kommission an den Rat, das Europäische Parlament, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen, „Anpassung an den Klimawandel in Europa – Optionen für Maßnahmen der EU“*, vom 29.06.2007, KOM (2007) 354.
- Krieger, D. J. (1998): *Einführung in die allgemeine Systemtheorie*. 2. Aufl., Paderborn.
- Kühling, W. (2000): *Zur Operationalisierung des Prinzips der Nachhaltigkeit – Schritte zu einem Nachhaltigkeitsmanagement*. In: Zabel, H.-U. [Hrsg.]: *Sustainability als interdisziplinäre Herausforderung*. Halle, S. 53-64.
- Landeshauptstadt Dresden (Hrsg.) (2005): *Auswirkungen des Hochwassers 2002 auf das Grundwasser*. Dresden
- Landesamt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1999): *Auswirkungen der ökologischen Flutungen des Polder Altenheim. Ergebnisse des Untersuchungsprogramms 1993-1996*, Bd. 9, 1. Aufl. Freiburg.
- Laszlo, E. (1998): *Systemtheorie als Weltanschauung. Eine ganzheitliche Version für unsere Zeit*. München.
- Luhmann, N. (1984): *Soziale Systeme. Grundriss einer allgemeinen Theorie*. Frankfurt am Main.
- Luhmann, N. (1967): *Soziologie als Theorie sozialer Systeme*. In: *Soziologische Aufklärung* 1.
- Malik, F. (2006): *Strategie des Managements komplexer Systeme. Ein Beitrag zur Management-Kybernetik evolutionärer Systeme*, 9. Aufl., Bern, Stuttgart, Wien
- Marre, D.; Walther, W. & K. Ulrich (2005): Einfluss des Hochwassers auf die Grundwasser-Beschaffenheit in Dresden. In: *Grundwasser – Zeitschrift der Fachsektion Hydrologie* 3/2005, 146-156.
- Mayring, P. (1999): *Einführung in die qualitative Sozialforschung*, 4. Aufl., Weinheim.
- Millenium Ecosystem Assessment (2003): *Ecosystems and Human Well-Being. A Framework for Assesment. Summary*, abrufbar unter: <http://www.milleniumAbschätzung.org/documents/document.48.aspx.pdf>, ab-

gerufen am 28.09.2009

- Moser, S. (2001): Komplexe Konstruktionen – Systemtheorie, Konstruktivismus und empirische Literaturwissenschaft. Dissertation. Wiesbaden.
- Müller, G. & A. Yahya (1992) Schadstoffbelastung in Böden von Hochwasserüberflutungsflächen des Rheins – Literaturstudie und Zusammenstellung vorhandener Untersuchungen. LA Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz (Hrsg.): Materialien zum Hochwasserschutz am Rhein.
- Pohl, J. (1998): Qualitative Verfahren. In: Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.): Methoden und Instrumente der räumlichen Planung. Handbuch. Hannover, 95-108.
- Possek, A.K. (1999): Living with the Unexpected. Linking Disaster Recovery to Sustainable Development. Springer: New York, Heidelberg, Berlin 1999.
- Roth, J. (2000): Hochwasser an der Elbe begünstigt die Natur, abrufbar unter: [http://www.eco-world.de/scripts/basics/econews/basics.prg?a\\_no=1965](http://www.eco-world.de/scripts/basics/econews/basics.prg?a_no=1965), abgerufen am 07.01.2011.
- Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG) (2004): Ereignisanalyse. Hochwasser August 2002 in den Osterzgebirgsflüssen. Dresden.
- Scholles, F. (2008a): Analysemethoden: Messung, Indikation. In: Fürst, D. & F. Scholles (Hrsg.): Handbuch, Theorien und Methoden der Raum- und Umweltplanung. Dortmund, 409-414.
- Scholles, F. (2008b): Bewertungsmethoden: Der Relevanzbaum. In: Fürst, D. & F. Scholles (Hrsg.): Handbuch, Theorien und Methoden der Raum- und Umweltplanung. Dortmund.
- Siepe, A. (2006): Dynamische Überflutungen am Oberrhein: Entwicklungs-Motor für die Auwald-Fauna. In: WSG Baden-Württemberg 10, 149-158.
- Stadt Köln (Stand 2008): Digitale Daten zu den kommunalen administrativen Informationen, zu Altlasten/Altlastenverdachtsflächen, zur Schutzwürdigkeit der Böden, zum Biotopwert, zu Anlagen nach § 62 WHG und Betriebsbereichen nach der 12. BImSchV, Überschwemmungsdaten.
- Turner, B. L.; Kasperson, R. E.; Matson, P. S.; Mc Carthy, J. J.; Corel, R. W.; Christensen, L; Eckley, N., Kasperson, J. X.; Luers, A.; Martello, M. L., Polsky, C., Pulsipher, A. & A. Schiller (2003): A framework for vulnerability analysis in sustainability science. In: Proceedings of the National Academy of Science, 100 (14); S. 8074-8079.
- United Nations Development Programme (UNEP) (2004): Reducing Disaster Risk: A Challenge for Development. A Global Report. New York.
- Vester, F. (2004): Die Kunst vernetzt zu denken. Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität. Ein Bericht an den Club of Rome. 4. Aufl., München.
- Villa, F. & H. McLeod (2002): Environmental Vulnerability Indicators for Environmental Planning and Decision-Making. Guidelines and Applications. In: Environmental Management 29 (3), 335-348.
- Warm, H.-J. & K.-E. Köppke (2007): Schutz vor neuen und bestehenden Anlagen und Betriebsbereichen gegen natürliche, umgebungsbedingte Gefahrenquellen, insbesondere Hochwasser (Untersuchung vor- und nachsorgender Maßnahmen), Berlin.
- Weitlander, W. (2002): Hochwasser schadet der Natur nicht. Überflutungen gehören zur Dynamik des Naturgeschehens, abrufbar unter: [http://www.innovations-report.de/html/berichte/umwelt\\_naturschutz/bericht-12165.html](http://www.innovations-report.de/html/berichte/umwelt_naturschutz/bericht-12165.html), abgerufen am 07.01.2011.
- Wiener, N. (1961): Cybernetics or control and communication in the animal and the machine, 2. Aufl., Cambridge.
- Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I. (2004). At Risk: Natural hazards, people's vulnerability and disasters. 2nd edition, London, Routledge.
- Yahya, A. (1995): Schadstoffbelastungen in Böden von Polderflächen am Rhein; 35. Darmstädter Wasserbauliches Kolloquium, Wasserbau-Mitteilungen, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft; TH-Darmstadt.
- Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Störfall-Verordnung, 12. BImSchV), in der Fassung der Bekanntmachung vom 8. Juni 2005 (BGBl. I S. 1598)



