

Texte

42
07

ISSN
1862-4804

Schutz von neuen und bestehenden Anlagen und Betriebsbereichen gegen natürliche, umgebungsbedingte Gefahrenquellen, insbesondere Hochwasser (Untersuchung vor- und nachsorgender Maßnahmen)

**Umwelt
Bundes
Amt**



Für Mensch und Umwelt

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 203 48 362
UBA-FB 001047



**Schutz von neuen und bestehenden
Anlagen und Betriebsbereichen gegen
natürliche, umgebungsbedingte
Gefahrenquellen, insbesondere
Hochwasser (Untersuchung vor- und
nachsorgender Maßnahmen)**

von

Dipl.-Ing. Hanns-Jürgen Warm

Warm engineering, Freilassing

Dr. rer. nat. Karl-Erich Köppke

Ingenieurbüro Dr. Köppke, Bad Oeynhausen

unter Mitarbeit von

Prof. Dr. W.B. Krätzig

Dr.-Ing. H. Beem

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3326.pdf>
verfügbar.

Die in der Studie geäußerten Ansichten
und Meinungen müssen nicht mit denen des
Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 14 06
06813 Dessau-Roßlau
Tel.: 0340/2103-0
Telefax: 0340/2103 2285
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet III 1.2
Roland Fendler

Dessau-Roßlau, Oktober 2007

1. Berichtsnummer UBA-FB-001047	2.	3.
4. Titel des Berichts Schutz von neuen und bestehenden Anlagen und Betriebsbereichen gegen natürliche, umgebungsbedingte Gefahrenquellen, insbesondere Hochwasser (Untersuchung vor- und nachsorgender Maßnahmen)		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Dipl.-Ing. Warm, Hanns-Jürgen Dr.rer.nat. Dipl.-Ing. Köppke, Karl-Erich		8. Abschlussdatum Mai 2007
		9. Veröffentlichungsdatum
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Warm engineering ibw@warm-engineering.com Mittlere Feldstraße 1 83395 Freilassing		10. UFOPLAN – Nr. 203 48 362
		11. Seitenzahl 657
		12. Literaturangaben 244
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau		13. Tabellen u. Diagramme 28
		14. Abbildungen 202
15. Zusätzliche Angaben		
16. Kurzfassung An konkreten Beispielen in verschiedenen Modellregionen in NRW, Sachsen und Sachsen-Anhalt wurde untersucht, wie Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen nach § 19g WHG, Betriebsbereiche, die der 12. BImSchV unterliegen, sowie Anlagen zur Lagerung von brennbaren Gasen in der Praxis vor Hochwasser geschützt werden. Für Betriebsbereiche wurden darüber hinaus auch die Gefahrenquellen Erdbeben, Sturm und Bergsenkungen näher untersucht. Auf Basis der Untersuchungen in den Modellregionen, der Analyse der rechtlichen Anforderungen sowie dem gegenwärtigen Stand der Technik bzw. Sicherheitstechnik wurden zahlreiche Vorschläge zur Fortschreibung des relevanten Umweltrechts und der Regelwerke erarbeitet, um die Sicherheit der betrachteten Anlagenarten und Betriebsbereiche zu verbessern.		
17. Schlagwörter Hochwasser, Überschwemmungsgebiet, überschwemmungsgefährdetes Gebiet, Sturm, Erdbeben, Bergsenkung, Störfallverordnung, VAWS-Anlage, Betriebsbereich, Hochwasserschutz, Sicherheitstechnik, Alarm- und Gefahrenabwehrplanung		
18. Preis	19.	20.

1. Report No. UBA-FB-001047	2.	3.
4. Report Title Safety of new and existing facilities and establishments against natural environmental hazards, especially flood		
5. Author(s), Family Name(s), First Name Dipl.-Ing. Warm, Hanns-Jürgen Dr.rer.nat. Dipl.-Ing. Köppke, Karl-Erich		8. Report Date May 2007
6. Performing Organisation (Name, Address) Warm engineering ibw@warm-engineering.com Mittlere Feldstr. 1 83 395 Freilassing Ingenieurbüro Dr. Köppke dr.koeppke@t-online.de Elisabethstr. 31 32545 Bad Oeynhausen		9. Publication Date
		10. UFOPLAN – Ref. No. 203 48 362
		11. No. of Pages 657
		12. No. of References 244
7. Sponsoring Agency (Name, Address) Federal Environment Agency Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau		13. No. of Tables, Diagr. 28
		14. No. of Figures 202
15. Supplementary Notes		
16. Abstract In different model areas in North Rhine-Westphalia, Saxony and Saxony-Anhalt the protection against flood was investigated for facilities for handling substances constituting a hazard to water according to § 19g Water Management Act, establishments according to the Major Accidents Ordinance and storage tanks for inflammable gases. Moreover the impacts caused by storm, earthquake and mining settlement were also regarded for establishments. On the basis of the results of the investigations in the model areas, the analysis of the legal requirements and the analysis of the state-of-the-art numerous proposals were elaborated to develop the relevant environmental regulations and standards to improve the safety of the regarded plants and establishments.		
17. Keywords flood, flood planes, flood-prone zones, storm, earthquake, mining settlement, Major Accidents Ordinance, Facilities for Handling Substances Constituting a Hazard to Water, establishment, flood protection, safety technique, emergency management		
18. Price	19.	20.

5 Hochwassermanagement zur Gefahrenabwehr und Gefahrenminimierung

Ein nachhaltiges Hochwassermanagement setzt ein abgestimmtes vorbeugendes Handeln sowie Maßnahmen zur effektiven Gefahrenabwehr voraus. Die entsprechenden Stichworte sind gemäß den „Leitlinien für einen zukunftsweisenden Hochwasserschutz“ der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser [LAWA,1995]:

- Hochwasservorsorge
- Technischer Hochwasserschutz
- Einsatzplanung für den Ereignisfall

Diese Begriffe sind in der **Abbildung 5.1** näher aufgeschlüsselt.

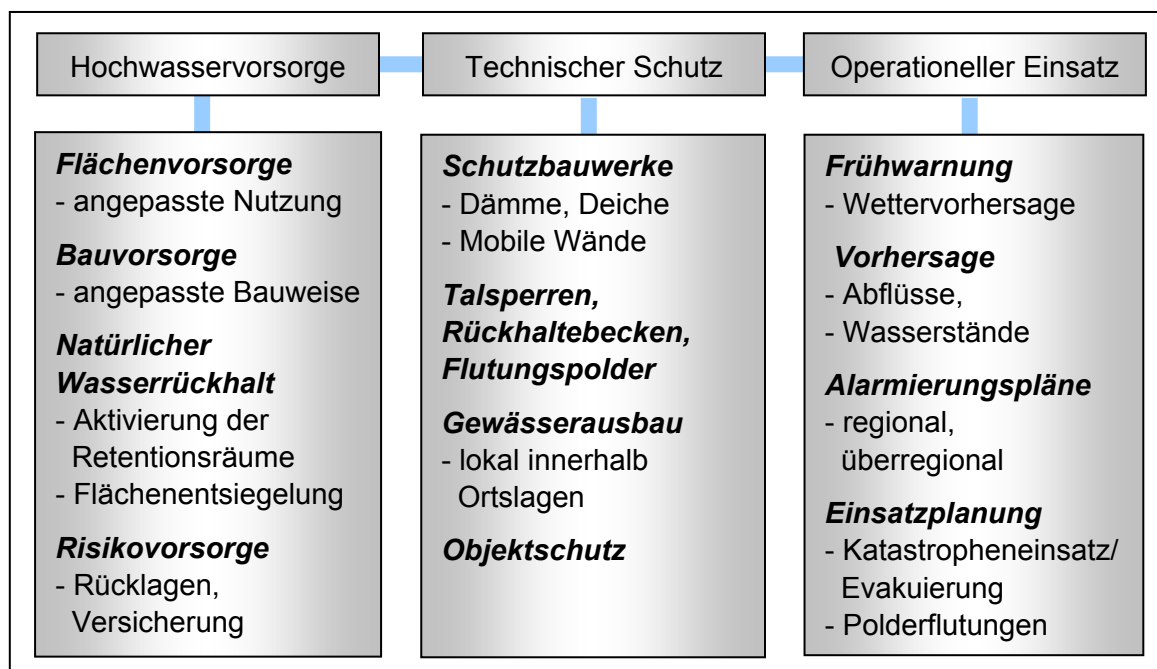


Abbildung 5.1: Teilstrategien eines nachhaltigen Hochwassermanagements („3-Säulen-Konzept“)

Das übergeordnete Ziel dieses sogenannten „3-Säulen-Konzeptes“ (Abbildung 5.1) ist es, schädigende Auswirkungen von Hochwasserereignissen zu vermindern. Der technische Hochwasserschutz (z.B. Deiche) spielt hierbei traditionell eine zentrale Rolle, kann aber Schäden nur bis zum Bemessungshochwasser verhindern. Die Hochwasservorsorge (z.B. durch angepasste Flächennutzung und Bauweisen) und die Einsatzplanung für den Ereignisfall (Verhaltensvorsorge) gehen darüber hinaus

und tragen dazu bei, Schäden auch bei extremeren, nicht vorhersagbaren Ereignissen (z.B. Deichversagen) zu vermindern. Die LAWA hat bezogen auf dieses 3-Säulen-Konzept ihre Empfehlungen zur Umsetzung der Leitlinien für einen zukunftsweisenden Hochwasserschutz konkretisiert [LAWA, 2004]. Diese beschränken sich jedoch im Wesentlichen auf die behördlichen Aufgaben. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens stehen jedoch konkret Anlagen, die der Störfall-Verordnung unterliegen sowie VAwS-Anlagen, im Mittelpunkt der Untersuchungen.

Mit dem Blickwinkel eines Betreibers (anlagenbezogener Ansatz) lässt sich das 3-Säulen-Konzept für den Schutz vor hochwasserbedingten Schäden schematisch etwa wie folgt konkretisieren (**Abbildung 5.2**).

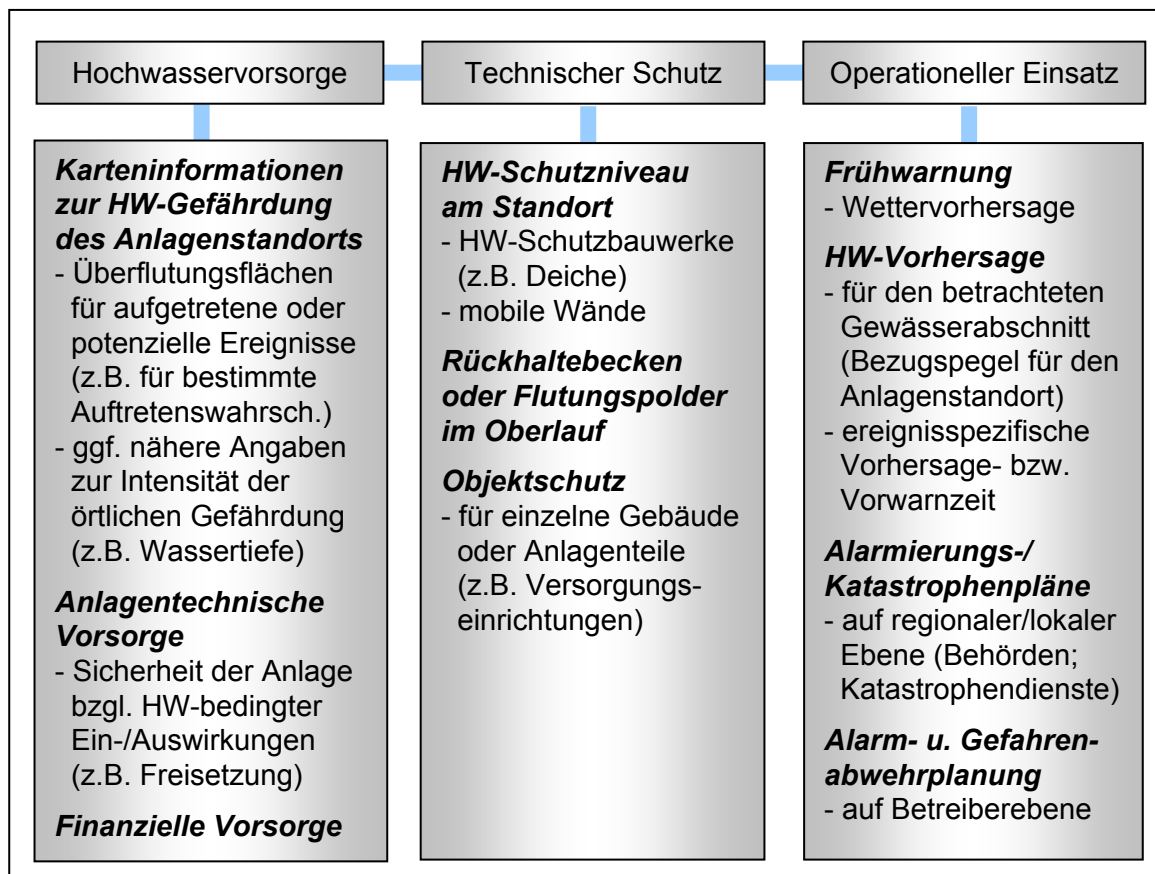


Abbildung 5.2: Wesentliche Elemente des „3-Säulen-Konzepts“ aus der Sicht des Betreibers einer bestehenden Anlage (skizzenhaft)

Es ist hervorzuheben, dass in einem solchen „anlagenbezogenen Gesamtkonzept“ (Abbildung 5.2) sowohl die behördlichen als auch die betrieblichen Maßnahmen des Hochwassermanagements zusammenspielen müssen, wobei auch das mögliche Versagen von Schutzmaßnahmen einzubeziehen ist. Die Bedeutung einzelner Ele-

mente eines solchen Konzepts ist vom einzelnen Standort abhängig. Als entscheidende Elemente sind zu nennen:

- Detailinformationen zur Hochwassergefährdung des Standorts (vor allem Karten)
- Verständnis der Möglichkeiten und Grenzen des technischen HW-Schutzes (Frage des „Restrisikos“ am Standort bzw. der Anlage)
- Koordiniertes und kooperatives Handeln zwischen Anlagenbetreibern und Behörden im Hinblick auf die Gefahrenabwehr im Ereignisfall

Für alle behördlichen und betrieblichen Maßnahmen müssen Planungsgrundlagen geschaffen werden. In diesem Kapitel werden beispielhaft die zur Verfügung stehenden Methoden und Verfahren dargestellt, die zu einer Verbesserung des Hochwasserschutzes bzw. der Anlagensicherheit beitragen können. Insbesondere die steigende Leistungsfähigkeit der Rechner ermöglicht es, verschiedene Szenarien mit einer zunehmenden Informationsdichte zu simulieren. Die Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet hat in den letzten Jahren beeindruckende Fortschritte zu verzeichnen. Es wird dargestellt, wie die Behörden diese neuen Möglichkeiten nutzen, um damit auch präzisere Informationen den Anwohnern und Anlagenbetreibern zur Verfügung stellen zu können. Grundsätzlich ist es auch denkbar, dass die Unternehmen direkt die neuen technischen Möglichkeiten selbst nutzen, um die betrieblichen Maßnahmen zum Hochwasserschutz zu verbessern.

Für eine möglichst wirksame Gefahrenabwehr ist auf der einen Seite eine ganzheitliche Flussgebietsbetrachtung mit den daraus abzuleitenden Maßnahmen zum Hochwasserschutz entlang eines Flussgebietes erforderlich (regionale Betrachtung), auf der anderen Seite benötigen Anlagenbetreiber von den Behörden Informationen, um ihre Anlagen optimal schützen zu können (lokale Betrachtung).

Abbildung 5.3 veranschaulicht den Weg von den vorhandenen Informationsquellen und getroffenen Annahmen (Input-Daten) über die rechnergestützten Berechnungsverfahren hin zu den Entscheidungsträgern (Behörden und Anlagenbetreiber). Diese müssen dann im Sinne des 3-Säulen-Konzeptes geeignete Maßnahmen entwickeln und durchsetzen.

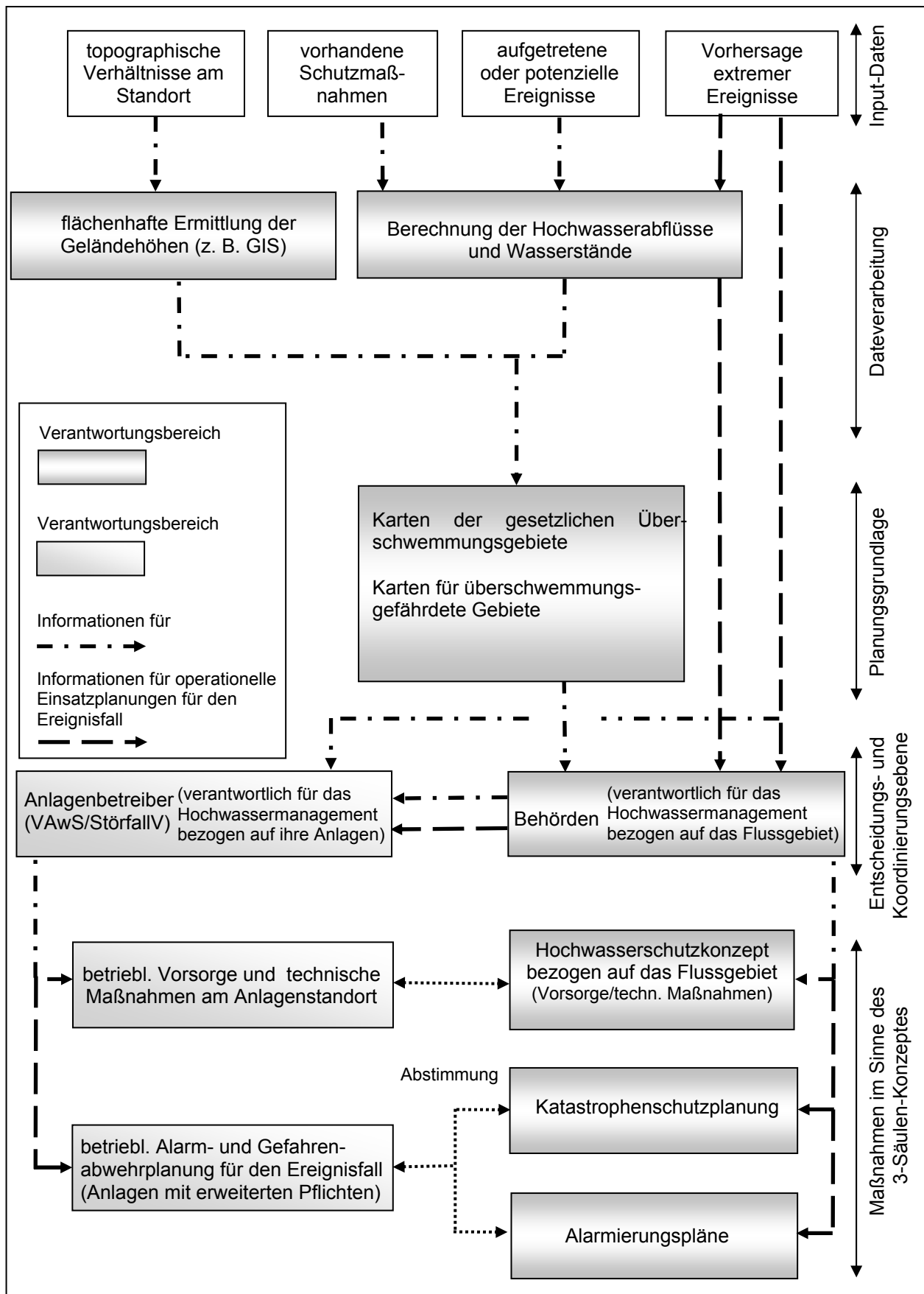


Abbildung 5.3: Schema zur Umsetzung des 3-Säulen-Konzeptes

In der Abbildung 5.3 wird zwischen Informationen, die als Planungsgrundlage für technische Maßnahmen erarbeitet werden, und Informationen, die zur Gefahrenabwehr im Ereignisfall dienen, unterschieden. Während der Zeithorizont zur Realisierung von technischen Maßnahmen, z.B. für den Deichbau oder der Schaffung von Retentionsräumen, eher langfristig anzusetzen ist, sind im Ereignisfall die operativen Maßnahmen zur Gefahrenabwehr kurzfristig durchzuführen. Darüber hinaus sind die unterschiedlichen Verantwortungsbereiche von Behörden und Anlagenbetreibern farblich abgesetzt.

Eine zentrale Aufgabe des Hochwassermanagements ist die Berechnung des Hochwasserabflusses sowie der Wasserspiegellagen entlang eines Flusslaufs. Diese Berechnungen sind nicht nur ein wesentliches Element zur Planung technischer Maßnahmen, sondern auch ein Hilfsmittel zur Gefahrenerkennung im Ereignisfall. In diesem Fall stellen die Niederschlagsvorhersage sowie die Messung aktueller Pegelstände weitere wichtige Elemente zur Vorhersage von Extremereignissen dar.

Gegenwärtig betreibt der Deutsche Wetterdienst für Mitteleuropa ein Wettermodell mit einem Raster von 7 km. Der nächste Schritt ist für die Einführung einer Version mit einer Maschenweite von 2,8 km. Insbesondere im Gebirge mit dem Wechsel von Berg und Tal auf kurzen Distanzen bedeutet dies einen erheblichen Fortschritt. Allerdings befindet sich das engmaschigere Vorhersagemodell derzeit noch in der Erprobung. Vom DWD wird betont, dass hundertprozentige richtige Vorhersagen extremer Regenfälle bislang mit keinem Modell erreichbar sind [VDI nachrichten, 2005]. Eine Verknüpfung von Niederschlag und Abflussmengenberechnung ist zudem noch nicht flächendeckend verfügbar.

Die Grenzen von Überschwemmungsgebieten und überschwemmungsgefährdeten Gebieten werden durch eine Verknüpfung der berechneten Wasserstände mit den Geländehöhen (topografische Daten) ermittelt. Dieses erfolgt in der Regel mit Hilfe von GIS-gestützten Hochwassersimulationssystemen [Oberle u. Nestmann, 2003]. Die hieraus entstehenden Hochwassergefahrenkarten bilden eine wesentliche Planungsgrundlage für die behördlichen und betrieblichen Entscheidungsträger. Dabei muss zwischen Karten, in denen die rechtsverbindlichen Überschwemmungsgebiete ausgewiesen sind (meist für HQ_{100}), und Karten, in denen überschwemmungsgefährdete Gebiete dargestellt sind, unterschieden werden.

Die Behörden müssen für ihren Verantwortungsbereich im Sinne des 3-Säulen-Konzeptes ein Hochwasserschutzkonzept erarbeiten und umsetzen. Darüber hinaus stellen sie den Anlagenbetreibern Informationen, insbesondere das Kartenmaterial,

zur Verfügung, damit diese die notwendigen technischen und organisatorischen Maßnahmen zum Schutz der Betriebsbereiche und Anlagen planen und realisieren können. Hierzu zählt nicht nur Objektschutz, sondern auch der organisatorische Ablauf im Rahmen der Erstellung von Alarm- und Gefahrenabwehrplänen. Allerdings sind letztere nur für Betriebsbereiche zu erstellen, die den erweiterten Pflichten entsprechend der Störfall-Verordnung unterliegen. Die betrieblichen Alarm- und Gefahrenabwehrpläne sind mit den Alarmierungsplänen und Katastrophenschutzplänen der Behörden für den Ereignisfall abzustimmen und zu erproben. In den folgenden Abschnitten werden einzelne Bausteine des Hochwassermanagements bezüglich ihrer Möglichkeiten und Grenzen näher erläutert.

5.1 Kurzdarstellung wasserwirtschaftlicher Grundbegriffe

Für wasserwirtschaftliche Fragestellungen sind die mittleren und extremen Hochwasser wichtig, verknüpft mit der Frage bis zu welchem Grad sie beherrschbar sind. Besonders in kleinen und mittleren Einzugsgebieten kann das Hochwasser durch anthropogene Einflüsse wie die Zunahme von Versiegelungsflächen, Vergrößerung der hydraulischen Kapazität des natürlichen oder künstlichen Entwässerungsnetzes verstärkt werden. Der Gewässerausbau erfolgte im Zuge der Umgestaltung des Gewässers zur Optimierung der Nutzungen oder zu einer gewässernahen Nutzung der Talflächen und steht im Konflikt zu der Aktivierung natürlicher Speicherräume.

Wesentliche Merkmale von Hochwasserereignissen sind [Patt, 2001]:

- der Scheitelwasserstand bzw. -abfluss als wichtigstes Ordnungsmerkmal für Bemessungsaufgaben und zur Schätzung des Schadenspotenzials,
- die Hochwasserabflusssumme zur Dimensionierung von Hochwasserschutzräumen,
- die Hochwasserdauer, die als Überschreitungsdauer von Wasserständen für die Sicherheit von Deichen und Böschungen oder als Überflutungsdauer von Nutzflächen kritisch werden kann, sowie
- die Laufzeit, die als Indikator für Vorwarnzeiten und als Zusatzinformation zur Auswahl der Art einer Hochwasserschutzanlage herangezogen wird (**Abbildung 5.1.1**).

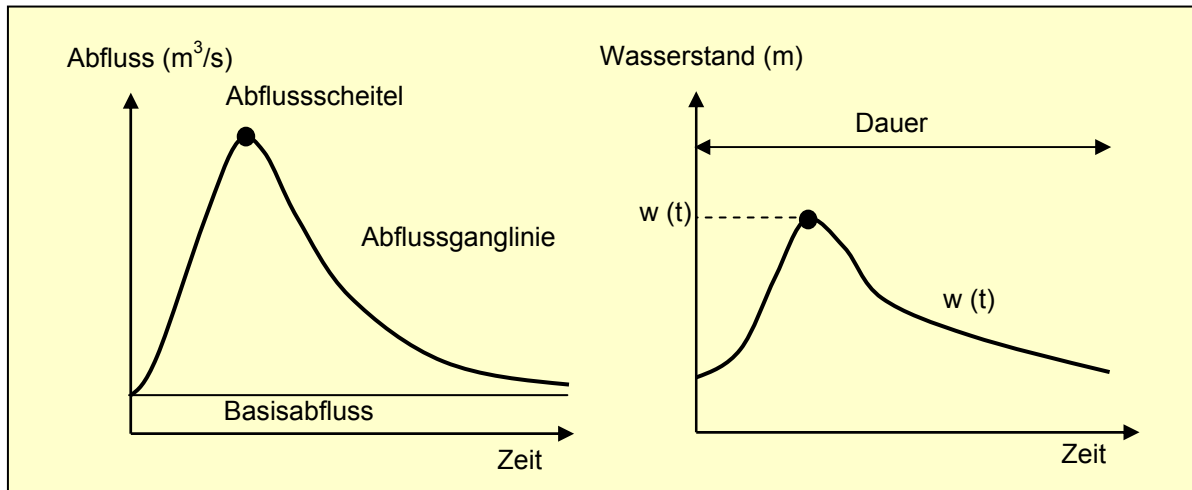


Abbildung 5.1.1: Abflussganglinie und Wasserstandganglinie einer Hochwasserswelle

Bei bekannten Flussprofilen lassen sich auch die Strömungsgeschwindigkeiten errechnen.

5.2 Auswertung statistischer Daten

Für verschiedene wasserwirtschaftliche Aufgaben ist die Kenntnis extremer Belastungen wichtig, weil diese für die Auslegung von technischen und organisatorischen Maßnahmen zur sicheren Beherrschung von Hochwassergefahren benötigt werden. Um aus Abflussbeobachtungen und weiteren hydrologischen Informationen über das Einzugsgebiet auf extreme Hochwasser zu schließen, gibt es im Prinzip zwei Ansätze: stochastische, die auf Zeitreihen beruhen, und deterministische, die auf Niederschlag-Abfluss-Modellen aufbauen.

Die Kenntnis der Scheitelwerte einiger großer Hochwasserabläufe wird bereits seit langem benutzt, um extreme Zustände abzuschätzen bzw. vorherzusagen. Statistische Auswertungen werden systematisch mit Beginn der regelmäßigen Wasserstandsbeobachtungen, die bei uns bis in das 18. Jahrhundert zurückreichen, durchgeführt. Zur Ermittlung einer Jährlichkeit wird der n-jährliche Scheitelwert aufgefasst als die Summe des mittleren Hochwassers und eines Streuungsmaßes, das um einen Sicherheitsfaktor vergrößert wird. Dieser Faktor wird aus der zugrunde gelegten mathematischen Verteilungsfunktion in Abhängigkeit von der Überschreitungswahrscheinlichkeit des untersuchten Hochwasserereignisses und dem Schiefemaß ge-

wonnen. Anhand von beobachteten Extremwerten einer Region kann er aber auch empirisch abgeschätzt werden.

Da alle Verfahren letztlich in einer Anpassung der empirischen und theoretischen Verteilung münden, liegt die Anwendungsproblematik dieser Verfahren in den Messwertkollektiven. Hierbei sind nicht nur Langzeitanalysen der Pegelraten erforderlich, sondern der Blick ist auch auf Trends zu richten, die sich infolge von Veränderungen im Einzugsgebiet oder im Niederschlagsverhalten ergeben könnten.

Die folgenden Auswertungen sollen diese Aussagen beispielhaft belegen. Während die Langzeitanalyse (**Abbildung 5.2.1**) einen fallenden Trend aufweist (s. schwarze Linie), ergibt die Berechnung der Zeitreihe der letzten Jahrzehnte (**Abbildung 5.2.2**) eine steigende Tendenz für den Bemessungsabfluss.

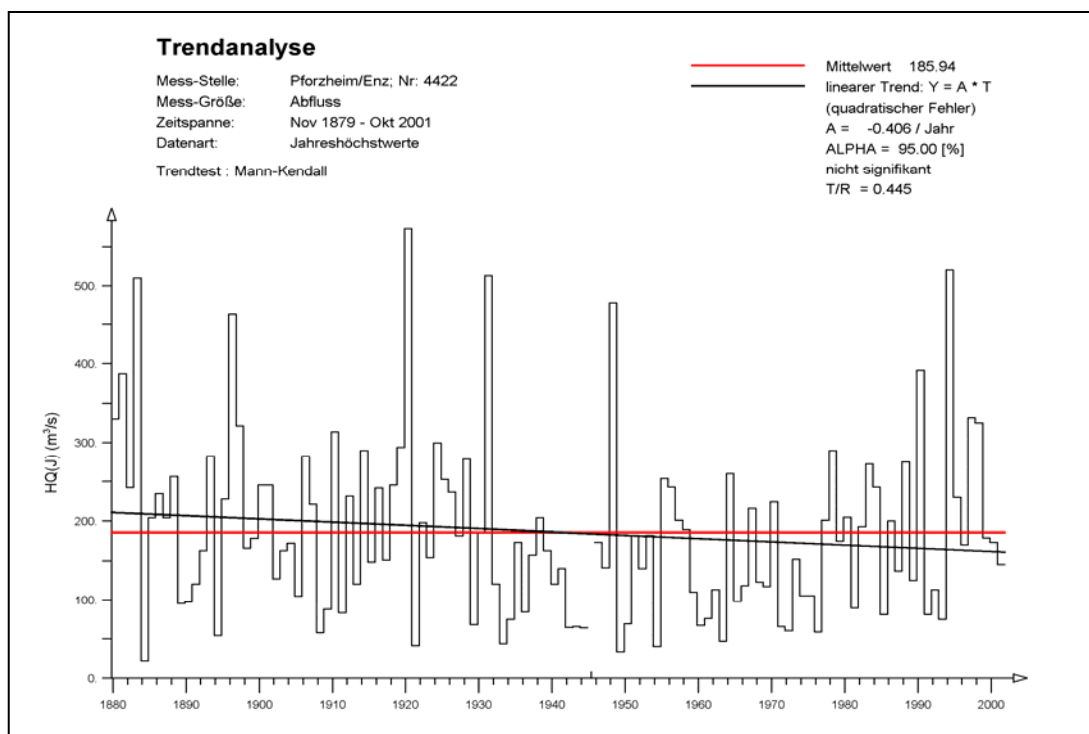


Abbildung 5.2.1: Trendanalyse für die Jahresreihe 1879-2001, Pegel Pforzheim/Enz

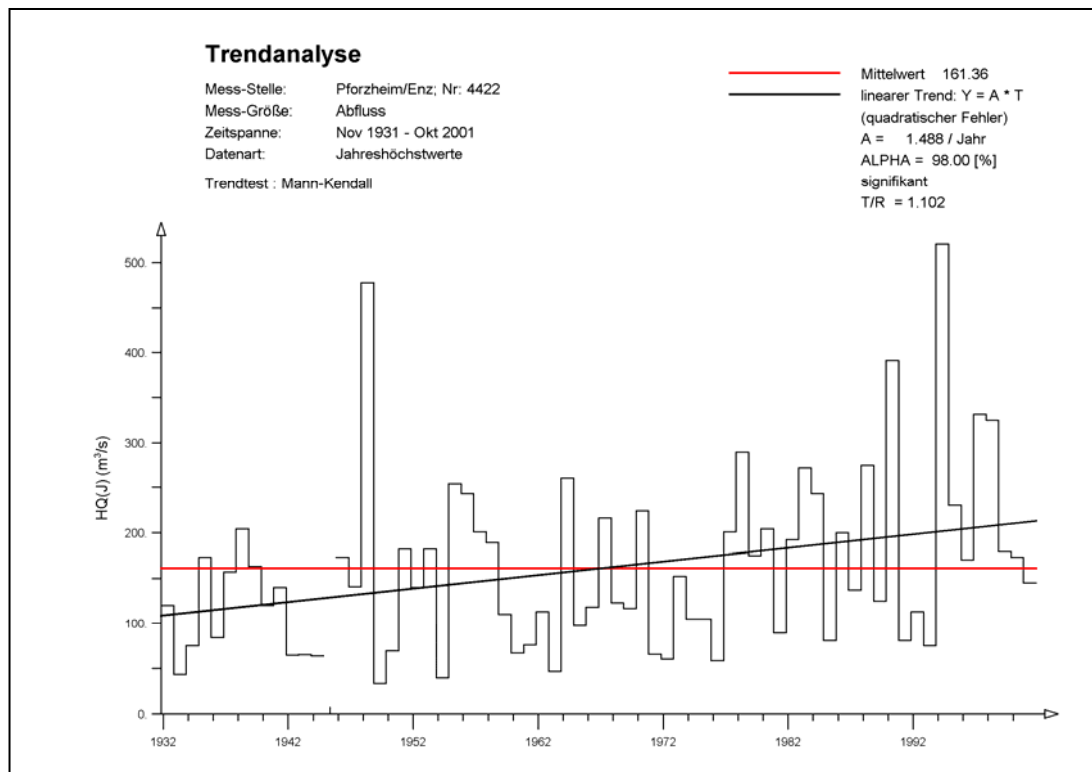


Abbildung 5.2.2: Trendanalyse für die Jahresreihe 1931-2001, Pegel Pforzheim/Enz

Diese Ergebnisse sollen exemplarisch auf die Problematik bei der Auswertung von diesbezüglichen Daten hinweisen. Um diese Bemessungsgrundlagen abzusichern, sind je nach der Größe des Einzugsgebietes dementsprechend aufwändige statistische Analysen erforderlich.

Insgesamt ist festzustellen, dass die Ableitung von Trends grundsätzlich schwierig ist. Darüber hinaus werden bei der Berechnung eines Hochwasserereignisses die Unsicherheiten der Ergebnisse in der Regel nicht angegeben.

5.3 Hochwassersimulationssysteme

Planungsgrundlage für eine wirksame Hochwasservorsorge ist zunächst die möglichst genaue Vorhersage des zu erwartenden Hochwasserablaufes und damit die Gefahrenquellenbeschreibung. Voraussetzung hierfür wiederum ist die Kenntnis der Einzugsgebietscharakteristik zur Simulation des zu erwartenden Abflussgeschehens. Neben den meteorologischen und hydrologischen Daten sind hierbei die flussbaulichen und hydraulischen Gegebenheiten zu erfassen.

In den letzten Jahren wurden Methoden entwickelt, die den Einsatz von räumlich und zeitlich hochaufgelösten Simulationsmodellen als Grundlage der Entscheidungsfindung im Rahmen der Hochwasservorsorge ermöglichen. Hierzu stehen ein- und zweidimensionale mathematische Modelle zur Berechnung der Strömungsparameter (Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten) als Bemessungsgrundlagen für die Hochwasserschutzplanungen zur Verfügung.

Weiterhin besteht die Möglichkeit, diese Modellentwicklungen für Vorhersagen auch im operationellen Einsatz während des Ablaufes eines Hochwasserereignisses einzusetzen. Bisher liegen die dafür erforderlichen Berechnungen aber nur für ausgewählte Flusssysteme in praxistauglicher, den Anforderungen der Entscheidungsträger angepasster Form vor. Ohne die möglichst genaue Kenntnis der zu erwartenden Entwicklung beim Ablauf eines Hochwasserereignisses, ist jedoch eine effektive Schadensabwehr kaum möglich.

Während beispielsweise der Ablauf der Hochwasserwellen am Oberrhein und deren weitere Entwicklung nach Unterstrom aufgrund der sehr guten Kenntnis der Einzugsgebietscharakteristik und des umfassenden Messnetzes gut vorhergesagt werden kann, waren die Bedingungen an der Elbe beim Ereignis vom August 2002 ungünstiger, da auch sehr kleine Teileinzugsgebiete davon betroffen waren. Insbesondere für kleinere Einzugsgebiete mit steilen Gewässerläufen mit Wildbachcharakter sind Vorhersagen ohnehin Grenzen gesetzt, da hierbei der Zeitfaktor bis zum Eintreffen einer Hochwasserwelle eine ganz wesentliche Eingangsgröße darstellt. Bei Hochwasserereignissen, die in wenigen Stunden entstehen und das betroffene Gebiet durchlaufen, z.B. Weißeritz/Dresden oder Müglitz/Dohna, kann der Schutz nur vorbeugender Natur sein, d.h., die Schutzmaßnahmen müssen vorher festgelegt und realisiert werden. Sie müssen also greifen, bevor das Ereignis abläuft, weil keine Zeit bleibt, um ad hoc noch einen wirksamen Schutz aufzubauen.

Zur Bewertung, Optimierung und Umsetzung nachhaltiger Schutzkonzepte bedarf es daher Werkzeuge, die es den Entscheidungsträgern ermöglichen, die Entstehung und den Ablauf eines Hochwasserereignisses im Flusslauf mitsamt seinen Auswirkungen in Abhängigkeit der spezifischen Randbedingungen im Einzugsgebiet zu simulieren bzw. zu prognostizieren.

Prinzipiell stehen zur Simulation der das Hochwasserabflussgeschehen bestimmenden hydrologischen und hydraulischen Prozesse eine Vielzahl von Berechnungsverfahren zur Verfügung. Zur Aufbereitung und Visualisierung der notwendigen Datengrundlagen haben Geographische Informationssysteme (GIS) eine weite Verbreitung

gefunden [Oberle u. Nestmann, 2003]. Als Grundlage wasserwirtschaftlicher Planungen werden zum Nachweis der Hochwasserneutralität einer Baumaßnahme, der Wirksamkeit eines Polderbauwerkes oder der Ausweisung von Überschwemmungsflächen computergestützte Hochwassersimulationen durchgeführt. Zielsetzung dabei ist, die Analyse der Hochwassersituation durch den Einsatz wissenschaftlich fundierter Verfahren praxisgerecht zu ermöglichen. Verfahren, die im operativen Einsatz im Hochwasserfall eingesetzt werden können, bieten den Entscheidungsträgern vor Ort optimale Möglichkeiten. Die hierzu erforderlichen Systembausteine sind aus **Abbildung 5.3.1** zu ersehen.



Abbildung 5.3.1: Systembausteine für den Einsatz beim Hochwassermanagement

Zur Simulation und Beurteilung der Hochwasserabflüsse werden instationäre Berechnungen mit hydrodynamisch-numerischen Verfahren durchgeführt. Hierbei können je nach der Komplexität der Strömungsverhältnisse sowohl 1-dimensionale als auch 2-dimensionale Berechnungsverfahren zum Einsatz kommen. Eindimensionale (1D) Modelle betrachten die Strömung nur in Hauptfließrichtung und liefern über den Strömungsquerschnitt bzw. über Teile des Querschnittes gemittelte Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten. Für die Untersuchung großer Flussabschnitte bieten sie

sich an, wenn nur die Wasserstände von Interesse sind, da die Rechenzeiten in der Größenordnung von wenigen Minuten liegen und damit sehr kurz sind.

Zweidimensionale tiefengemittelte Verfahren ermöglichen einen detaillierten Einblick in die Strömungsverhältnisse und kommen aufgrund der rasanten Leistungssteigerung der zur Verfügung stehenden Prozessoren seit einigen Jahren immer weiter in das Blickfeld der praxisorientierten Modellanwendung. Der Einsatz eines zweidimensionalen Verfahrens ist dann notwendig, wenn sich die Strömung nicht auf 1D-Verhältnisse reduzieren lässt, oder wenn z.B. detaillierte Kenntnisse der Fließgeschwindigkeiten auf ausgedehnten Vorlandflächen gewonnen werden sollen. Die Berechnungszeiten liegen zwar je nach Größe und Auflösung des Modellgebietes immer noch im Bereich einiger Stunden bis Tage. Die Qualität der Ergebnisse eröffnet aber sehr gute Beurteilungsmöglichkeiten.

Wegen der steigenden Verfügbarkeit hochaufgelöster Informationen zur Geländetopographie und Bewuchssituation über flugzeuggestützte Aufnahmeverfahren, ist die Anwendung 2-dimensionaler Simulationsmethoden immer dann sinnvoll, wenn Informationen über die Fließgeschwindigkeiten im Untersuchungsgebiet benötigt werden. Zur optimalen Modellwahl sowie zur Modellgenauigkeit können jedoch keine pauschalen Aussagen getroffen werden. Eine zielführende Auswahl der Modellierungsmethode ist nur durch eine fachlich fundierte Betrachtung der individuellen Rahmenbedingungen möglich und basiert auf folgenden Kriterien:

- Strömungscharakteristik des Untersuchungsgebietes: überwiegend eindimensionale oder mehrdimensionale Strömungsverhältnisse
- Zielgröße: Wasserstand und/oder Fließgeschwindigkeit und Abfluss
- Gebietsgröße und vorhandene Datengrundlagen zur Topographie.

Durch den Einsatz eines Geographischen Informationssystems (GIS) können durch Verschneidung des Geländemodells mit einem Wasserspiegellängsprofil Überschwemmungsflächen bzw. -grenzen ermittelt und durch Überlagerung digitaler topographischer Karten anschaulich präsentiert werden (vgl. **Abbildung 5.3.2**).

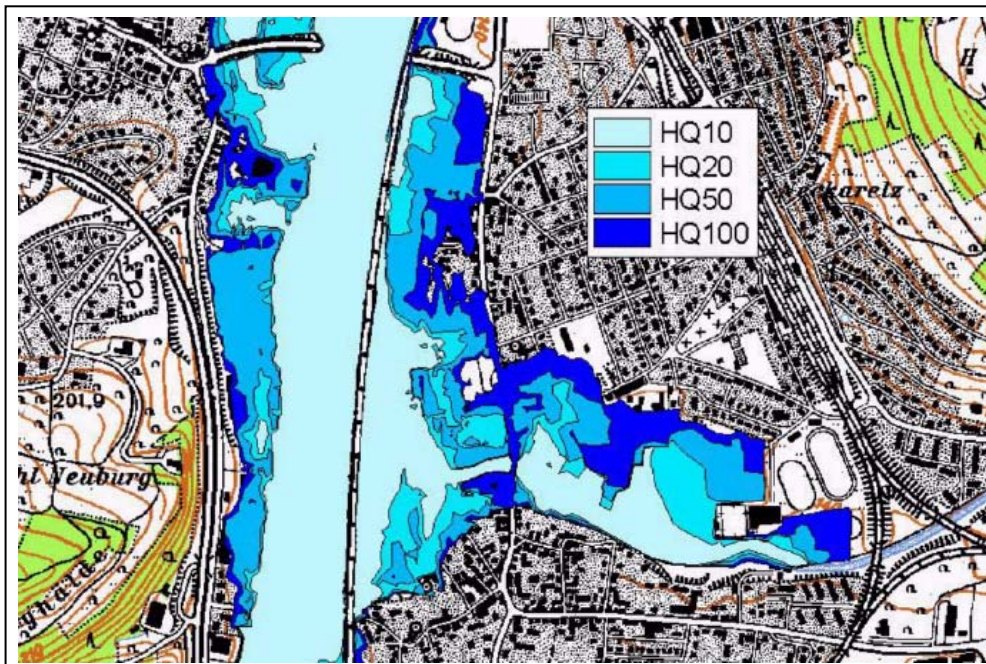


Abbildung 5.3.2: Überlagerung der errechneten Überschwemmungsflächen im GIS mit der topographischen Karte [IKONE, 2002]

Neben den topographischen Höheninformationen werden weitere hochwasserrelevante Datensätze, wie z.B. Geschwemmsellinien, abflusswirksame Bereiche, rechtskräftige Überschwemmungsgebiete und Bauwerksinformationen digitalisiert. Verknüpfungen zu Luftbildern verschiedener Hochwasserereignisse ergänzen den Geodatenbestand.

Um aus den berechneten Wasserspiegellängsprofilen Überflutungsflächen zu generieren, wird zunächst ein Raster der Gewässeroberfläche erzeugt. Durch Differenzenbildung zwischen dem Geländeeraster und dem Raster der Gewässeroberfläche erhält man ein Differenzenraster. Alle Zellen mit positivem Wert liegen über dem Wasserspiegel, alle negativen Felder sind überstaut (**Abbildung 5.3.3**).

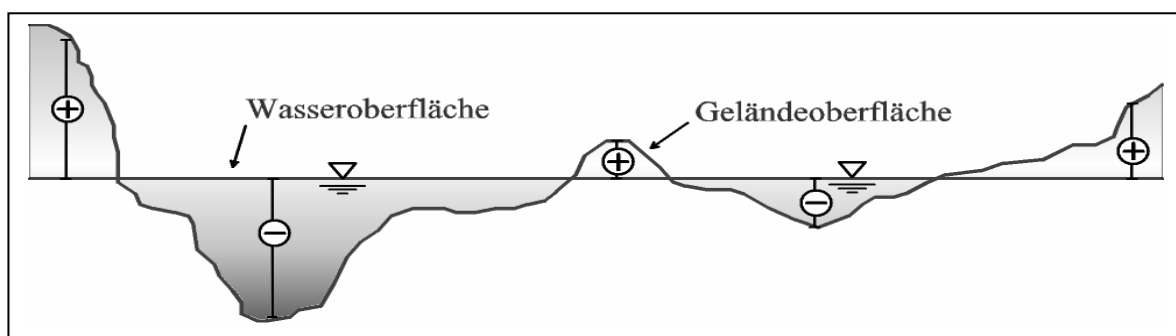


Abbildung 5.3.3: Differenzenbildung zwischen dem Raster der Geländeoberfläche und dem Raster einer Wasserspiegellage

Aus dem Differenzenraster eines Abflusszustandes lassen sich über eine Abfolge mehrerer GIS-Funktionalitäten letztlich die Überschwemmungsgrenzen berechnen (siehe **Abbildung 5.3.4**).

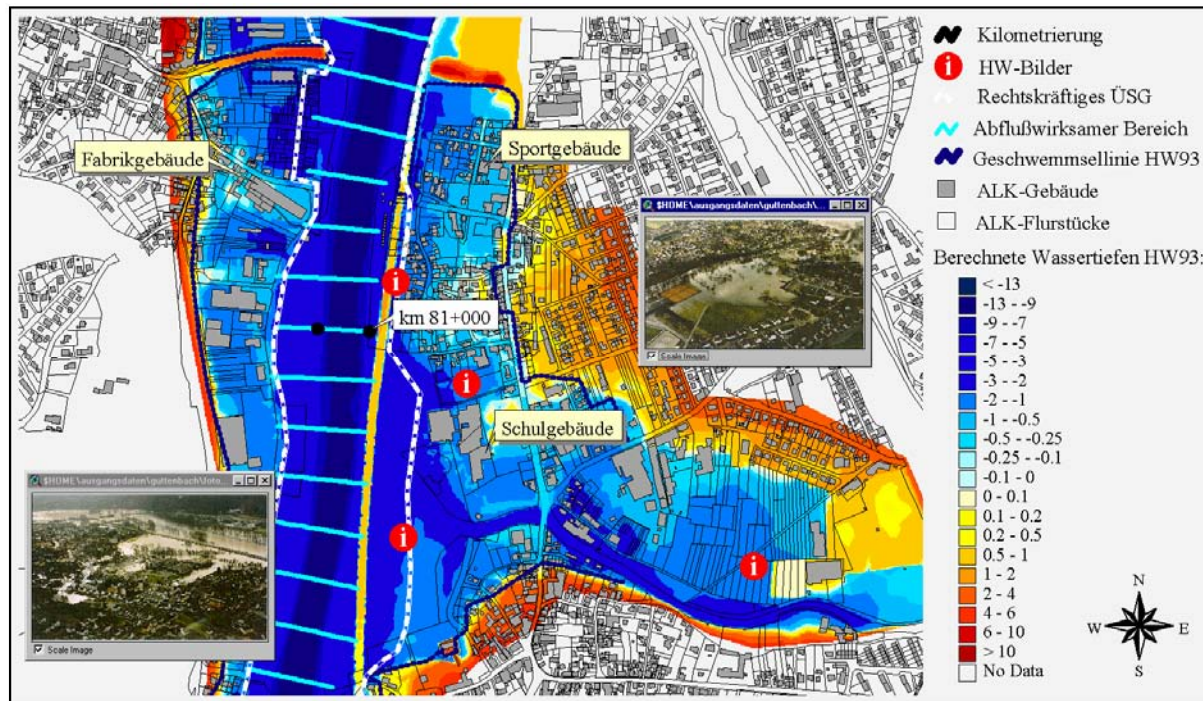


Abbildung 5.3.4: Exemplarische Darstellung der Überlagerung hochwasserrelevanter Daten

5.4 Erarbeitung von Gefahrenkarten

Gefahrenkarten sind Ergebnisse der Hochwassersimulationen und stellen eine wesentliche Grundlage für die Hochwasservorsorge, den technischen Hochwasserschutz sowie für den operationellen Einsatz entsprechend dem 3-Säulen-Konzept in Abbildung 7.2 dar. Derartige Karten werden am Rhein schon seit Jahren erarbeitet und sind für Nordrhein-Westfalen auf der Internetseite des Landesumweltamtes abrufbar (www.lua.nrw.de). Dort sind flächendeckend für NRW alle Überflutungsflächen für ein HQ_{100} ausgewiesen. Eine Ausnahme bilden die Flächen am Rhein. Hier wurde ein 500-jährliches Hochwasser als Bemessungsgrundlage angesetzt.

Darüber hinaus hat z.B. die Stadt Köln (Amt für Stadtentwässerung) Überflutungskarten für ihr Stadtgebiet für die Pegelstände 11,30 m, 11,90 m und 12,50 m jeweils bezogen auf den Pegel Köln herausgegeben. Derartige Karten bilden eine der wich-

tigsten Grundlagen zur Erarbeitung eines Hochwasserschutzkonzeptes (**Abbildungen 5.4.1 und 5.4.2**).

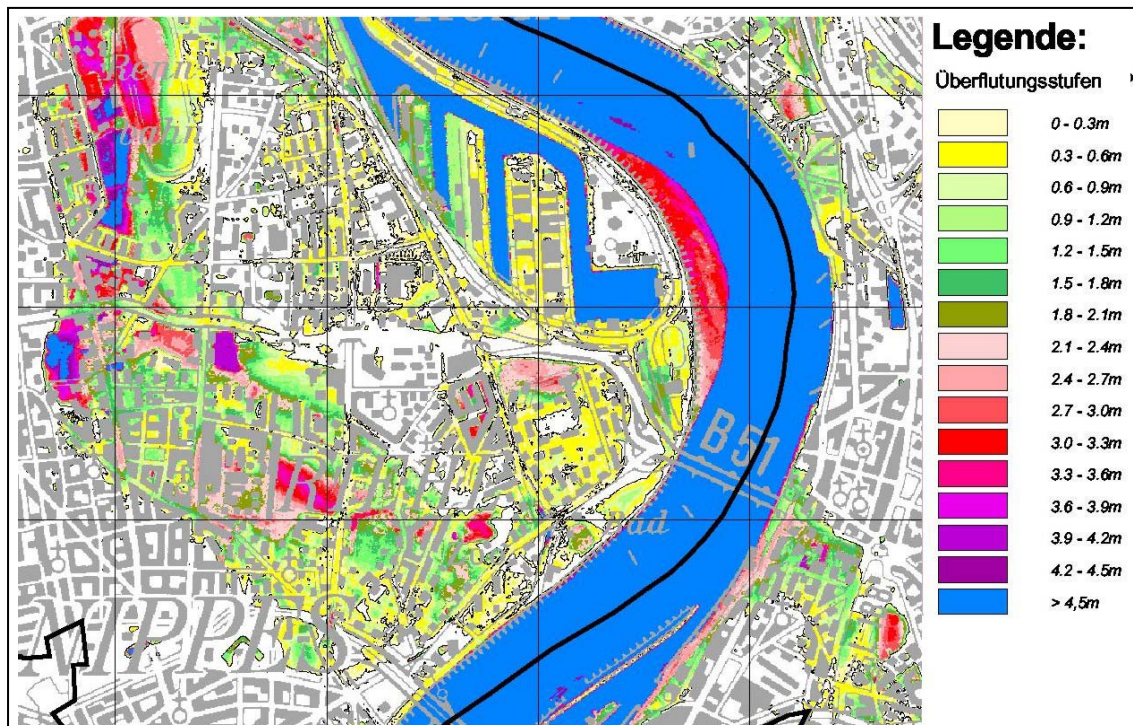


Abbildung 5.4.1: Ausschnitt der Überflutungskarte für ein Stadtgebiet in Köln (11,30 m Pegel Köln)

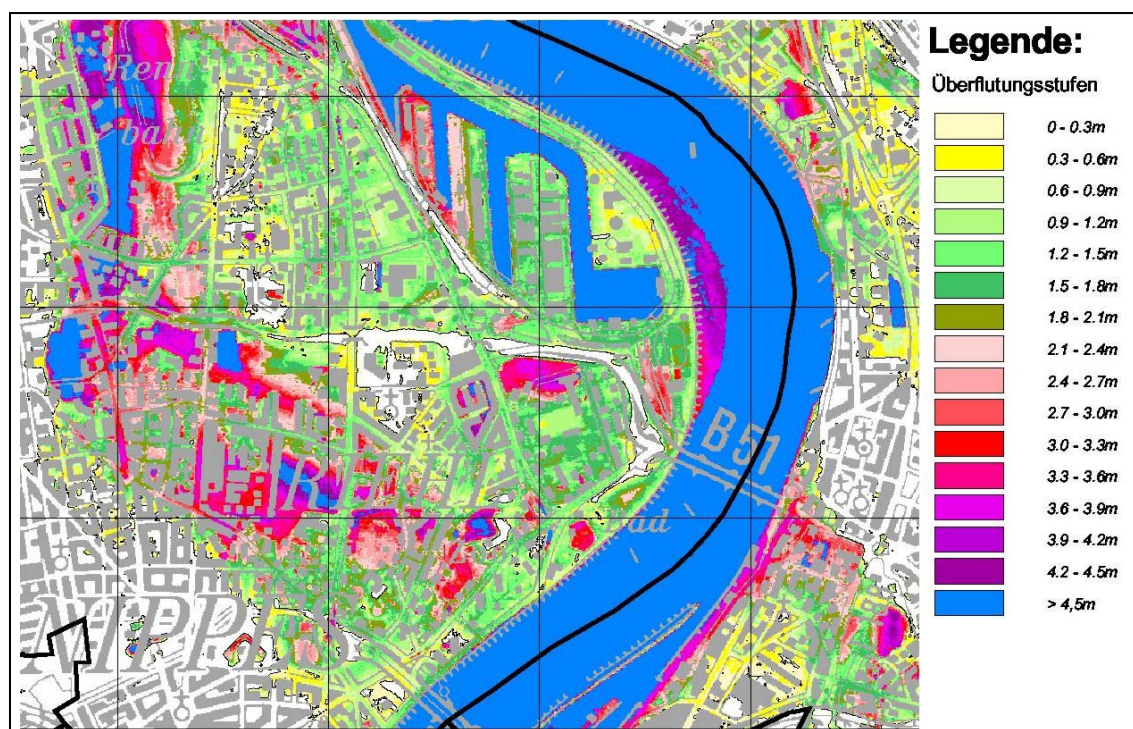


Abbildung 5.4.2: Ausschnitt der Überflutungskarte für ein Stadtgebiet in Köln (12,50 m Pegel Köln)

Mit Hilfe der Karten können sich Bürger (z.B. als Bauherr oder Anwohner) sowie ansässige Industrie und Gewerbe bzgl. der Gefahr durch Hochwasser informieren. Sie erhalten die notwendigen Informationen, um ihrerseits Vorsorge bei der Bauplanung, dem Objektschutz sowie der Risikovorsorge mittels Hochwasserversicherung durchführen zu können. Zudem dienen die Gefahrenkarten in Verbindung mit den Diensten der Hochwasservorhersagezentrale als präzise Grundlage zur Ausarbeitung von Alarm- und Einsatzplänen sowie zur Organisation von Einsatzkräften während eines Ereignisses.

Die Gefahrenkarten geben jedoch keine Auskunft über die lokalen Strömungsverhältnisse, so dass eine Gefährdung eines Objektes bzw. einer Anlage durch Treibgut oder Eisgang nicht abgeschätzt werden kann. In Sachsen werden in jüngster Zeit Gefahrenkarten erarbeitet, in denen besonders schutzbedürftige Objekte (z.B. Kraftwerke, Krankenhäuser sowie Betriebsbereiche) markiert sind.

5.5 Visualisierung von Hochwasserereignissen am Beispiel des Neckars

Im Folgenden werden die Einsatzmöglichkeiten des Simulationssystems sowie mögliche Inhalte und Darstellungsformen von Gefahren- bzw. Szenarienkarten am Beispiel der Stadt Offenau am Neckar dargelegt. Die Ortslage der Gemeinde Offenau liegt im Neckartal bei Fluss-km 98 (Unterstrom Kocher- und Jagst-Mündung). Aufgrund der topographischen Randbedingungen werden die flussnahen Bebauungen bereits ab HQ_{10} überschwemmt.

Das von den Fachleuten ausgearbeitete Schutzkonzept umfasst die Realisierung eines ca. 2 km langen Dammbauwerkes (Schutzgrad: HQ_{100}). Der Schutzdamm wird von vier Dammscharten unterbrochen, die im Hochwasserfall mit mobilen Elementen geschlossen werden sollen. Als Basis der Alarm- und Einsatzplanung wurde in Zusammenarbeit mit der Hochwasser-Vorhersage-Zentrale Baden-Württemberg ein Vorhersagepegel eingerichtet. Die Abflusskurve des Pegels wurde rechnerisch ermittelt.

Parallel zur technischen Schutzlösung bis HQ_{100} setzt die Gemeinde auf Aufklärung der Bevölkerung, um sie für das verbleibende Restrisiko durch Versagen der Schutzeinrichtung bzw. Dammüberströmung zu sensibilisieren. Hierzu werden detaillierte Hochwassergefahrenkarten veröffentlicht, die gleichzeitig der örtlichen Feuerwehr als

Grundlage ihrer Alarm- und Einsatzplanung im Katastrophenfall dienen sollen. Die Herausforderung beim Kartenentwurf liegt in der Integration aller für diese Zielanwendungen notwendigen Informationen in einer praxisbezogenen übersichtlichen Darstellungsform.

Bei der Auswahl der Inhalte und graphischen Gestaltung ist zu beachten, dass es auch dem „fachfremden“ Bürger mit wenig Erfahrung in der Interpretation einer Kartendarstellung ermöglicht wird, die für ihn wichtigen Informationen zu erhalten. Auch ist zu beachten, dass die Einsatzkräfte die Karten auch in extremen Situationen, z.B. im mobilen Einsatz bei extremer Wetterlage und Dunkelheit, nutzen müssen.

In enger Zusammenarbeit mit der Gemeinde und der Gewässerdirektion wurden folgende Anforderungen an die Karteninhalte bzw. das Kartenformat erarbeitet:

- Ausweisung potenzieller Überschwemmungsflächen mit Angabe der Überflutungstiefen (Kartentyp I) und Auftretenswahrscheinlichkeit⁷ HQ₁₀-HQ₂₀₀ (Kartentyp II) unter Berücksichtigung ausgewählter Versagens-Szenarien
- Klassifizierung der Überflutungstiefe in 5 Intervallen mit blauer Farbabstufung
- Darstellung der nicht überfluteten Bereiche mit Angabe der Höhendifferenzen zur Wasserspiegellage zur Identifikation geeigneter Standorte für Leitzentrale, Notzelt, Lagerplätze, Bürgerinformation, etc. im Katastrophenfall
- Einbeziehung des Vorhersagepegels der Hochwasser-Vorhersage-Zentrale Baden-Württemberg als Bezugssystem
- Integration der Überschwemmungsgrenze des Extremhochwassers von 1824 (ermittelt auf Basis historischer Hochwassermarken und des aktuellen DGM) ohne Angabe einer Auftretenswahrscheinlichkeit
- Verweis auf die Scheitelwasserstände abgelaufener HW-Ereignisse im Erinnerungszeitraum der ansässigen Bevölkerung
- Darstellung der Bebauungen und Straßenzüge
- Ausweisung neuralgischer Punkte (Trafostation, Pumpwerke etc.)
- Kartenmaßstab M > 1:5.000 (Flurstücksschärfe)
- Kartenformat DIN A 2 - laminiert (für den mobilen Einsatz geeignet).

⁷ Die Auftretenswahrscheinlichkeit bezieht sich auf die Abflussmenge des Neckars, nicht auf die Versagenswahrscheinlichkeit der Anlage

Zur Ermittlung der potenziellen Überflutungsflächen bei Versagen der Schutzeinrichtung wurden die Flächen hinter der Schutzanlage mit den errechneten Wasserständen an der Versagensstelle verschnitten. Diese Vorgehensweise ist aufgrund der vorliegenden topographischen Begebenheiten und des geringen Füllvolumens zulässig.

In den **Abbildungen 5.5.1** und **5.5.2** sind zwei der insgesamt neun Gefahrenkarten als Ergebnis der Bedarfsanalyse exemplarisch dargestellt. Im Kartentyp I sind die Überflutungstiefen der jeweiligen Abfluss-/Versagens-Szenarien in einer auf die wesentlichen Tiefenintervalle reduzierten Klassifizierung abgebildet. Im Kartentyp II sind die Überflutungsflächen bzw. deren Anschlaglinien für HQ_{10} bis HQ_{200} aufgetragen. Um eine Verwechslung mit den Tiefenrastern zu vermeiden, wurde eine andere Farbabstufung gewählt. Der Bezug zu den Wasserständen am Vorhersagepegel wurde graphisch über die Darstellung einer Pegellatte umgesetzt. Zudem sind in der Karte die Anschlaglinie des Hochwassers 1824, Standorte historischer Hochwassermarken und die Lage des Vorhersagepegels eingetragen.

Die Darstellungen ermöglichen auch einem ungeübten Betrachter sowie den Einsatzkräften im Katastrophenfall ohne zusätzliche textliche Erläuterungen die Beantwortung u.a. folgender Fragestellungen:

- Auf welches Szenario bezieht sich die Darstellung? (Pegelwasserstand, Abflussmenge, Jährlichkeit, Versagensstelle)
- In welcher Relation steht das Ereignis zu den vergangenen (bekannten) Hochwässern?
- Muss mit einer Überströmung der Anlage gerechnet werden?
- Welche Bebauungen und Infrastrukturen sind mit welcher Intensität gefährdet?
- An welchen neuralgischen Stellen kann eine Ausbreitung der Überflutung (z.B. durch Sandsackbarrieren) verhindert werden?
- Welche Bereiche sind mit Fahrzeugen erreichbar? Wo ist der Einsatz von Booten erforderlich?
- Welche Flächen liegen deutlich über Wasserspiegelniveau und können z.B. als Lagerplatz für die Güterräumung genutzt werden?

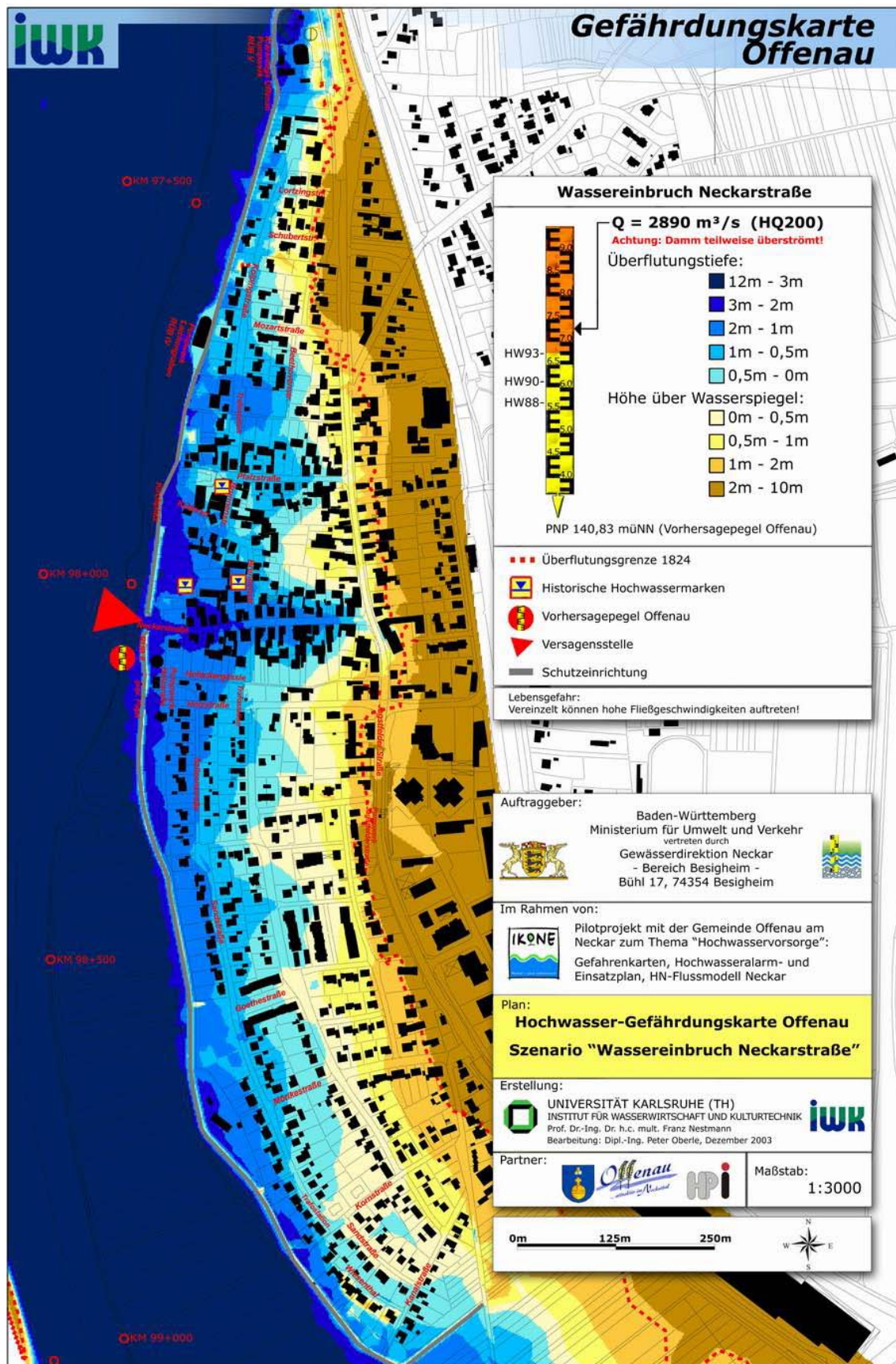


Abbildung 5.5.1: Hochwassergefahrenkarten als Ergebnis der Pilotstudie Offenau, Typ I: Überflutungstiefen

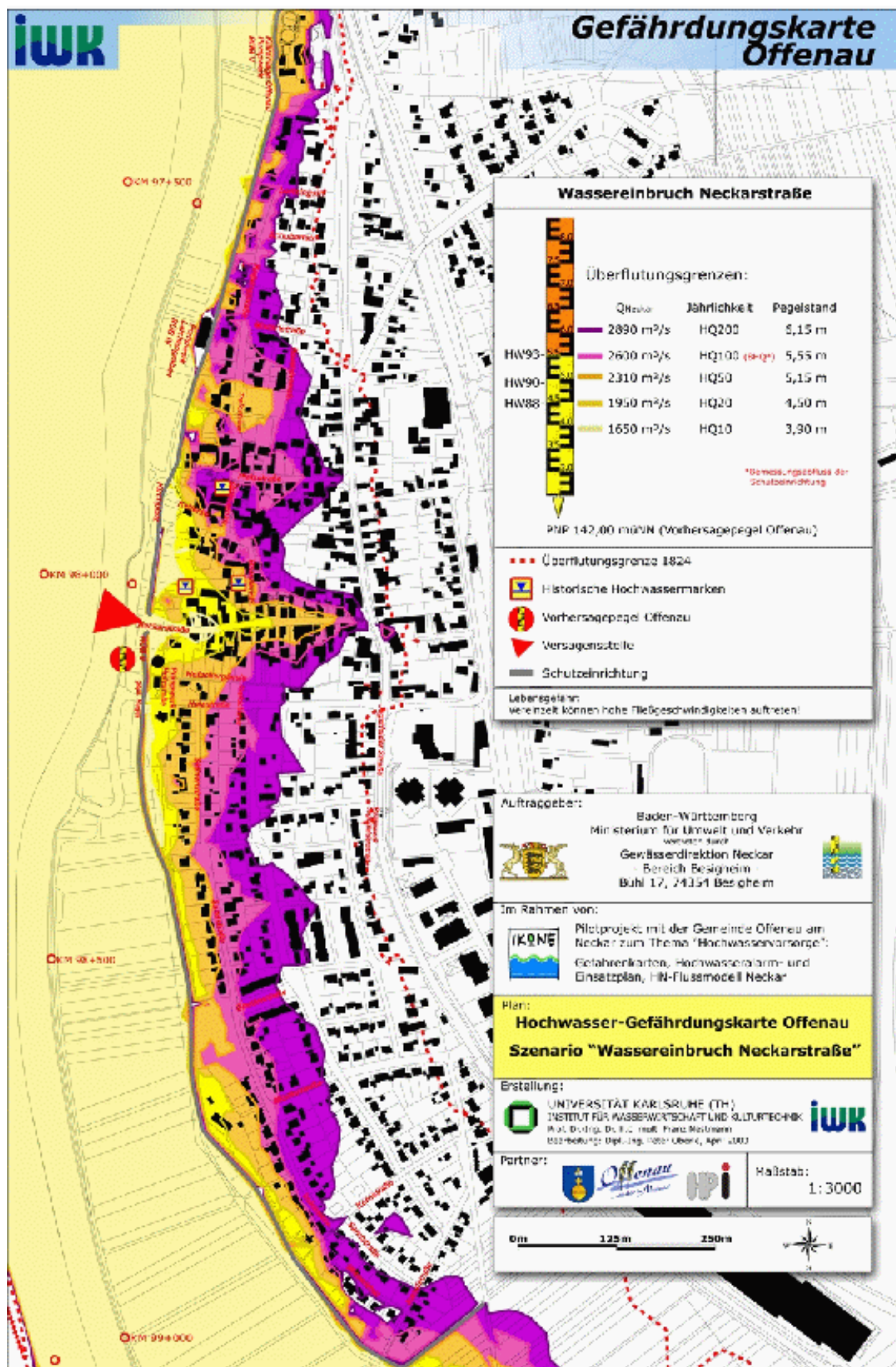


Abbildung 5.5.2: Hochwassergefahrenkarten als Ergebnis der Pilotstudie Offenau, Typ II: Überflutungsgrenzen

Die Karten wurden in DIN A 2 im Maßstab M 1:3.000 gedruckt und in laminierter Form an die Gemeinde übergeben. Das kompakte Format und die wasserfeste Druckform ermöglichen die Nutzung im mobilen Einsatz.

5.6 Einsatz von dreidimensionalen Visualisierungstechniken

Die bisherige Erfahrung hat gezeigt, dass der Einsatz moderner Visualisierungstechniken mit 3D-Animationen die Ergebnisdarstellung nachhaltig unterstützt. Dreidimensionale Ansichten und Animationen bieten eine sehr realitätsnahe Möglichkeit, z.B. die Ausbreitung einer Hochwasserwelle innerhalb einer Ortslage zu visualisieren und somit die vom möglichen Hochwasserereignis ausgehende Gefahr bewusst zu machen (**Abbildung 5.6.1**). Die Möglichkeit des dreidimensionalen Navigierens durch die Geodatenbestände ist zudem auch hilfreich bei der Plausibilisierung der topographischen Fluss-Vorland-Daten und der Bewertung von Interpolationsverfahren.

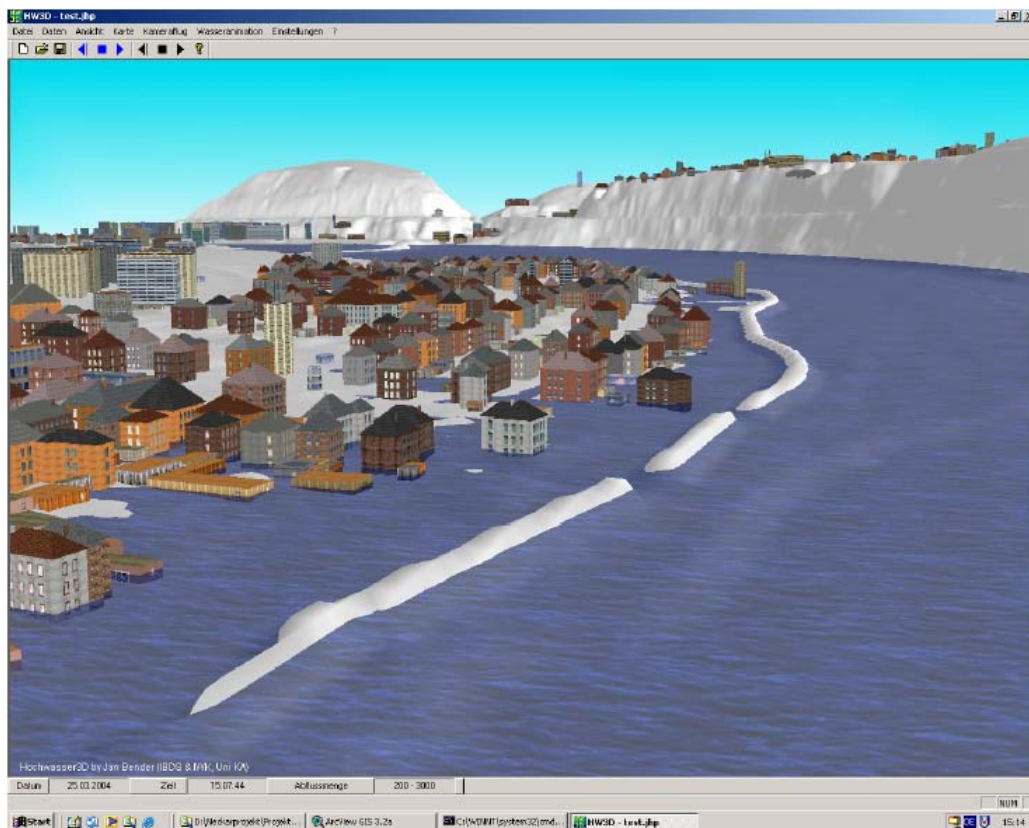


Abbildung 5.6.1: Dreidimensionale Ergebnisdarstellung

Da die Bearbeitungs- und Rechenzeiten zur Erstellung einer realitätsnahen Filmsequenz enorm hoch sind und bei größerer Datenmenge bzw. Modellauflösung eine

Echtzeitsimulation nicht möglich ist, wurde vom Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik in Zusammenarbeit mit dem Institut für Betriebs- und Dialogsysteme der Universität Karlsruhe ein neues Visualisierungswerkzeug entwickelt [Bender u. Oberle, 2003].

Dieses ist mit dem GIS-Arbeitsplatz kompatibel und gibt den Anwendern die Möglichkeit einer interaktiven Navigation durch beliebig große Geodatenbestände sowie der Erstellung realitätsnaher Hochwasseranimationen. Aufgrund der enormen Menge an hochaufgelösten Geoinformationen (1x1m-Raster, Texturdaten) werden dynamische Reduktionsalgorithmen eingesetzt („Continuous Level Of Detail“) und ein sogenannter „Kachelmanager“ entwickelt, der alle Eingangsdaten in gleichgroße quadratische Kacheln unterteilt, die während der Navigation sukzessive geladen werden.

Somit kann das Ansteigen und Abschwellen eines Hochwassers simuliert werden [DKKV, 2003b]. Zur Analyse der gefährdeten Objekte werden automatisch Gebäudemodelle generiert und lagegenau auf die Geländeoberfläche übertragen. Diese der Realität sehr nahe kommenden Filmsequenzen eröffnen neue Einblicke in den Ablauf eines Hochwassers (**Abbildung 5.6.2**).

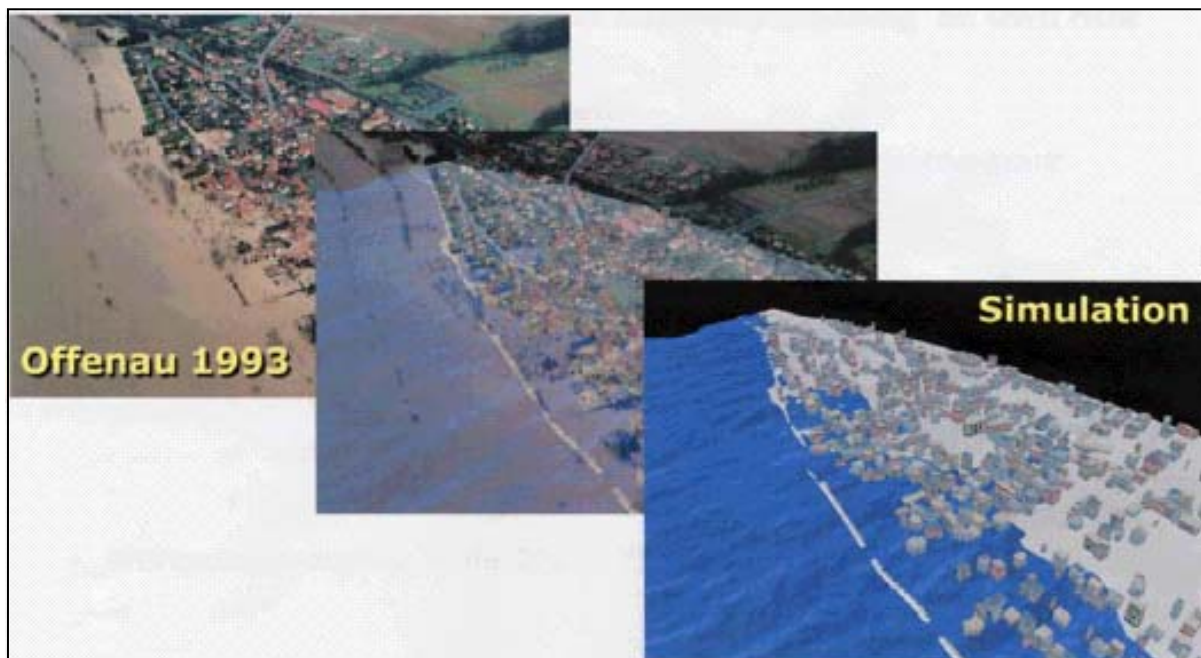


Abbildung 5.6.2: Interaktive 3D-Echtzeit-Navigation durch Geodatenbestände zur Hochwassersimulation

Die Berechnung der lokalen Strömungsgeschwindigkeiten ist theoretisch möglich. Allerdings sind hierfür leistungsstarke Rechner erforderlich. Zudem ist der Programieraufwand erheblich und kann daher allenfalls nur für ein räumlich sehr begrenztes Gebiet vorgenommen werden. Bei der Betrachtung von Einzelgewerken ist zu beachten, in wie weit das Strömungsbild schon durch vorgelagerte Gebäude oder Anlagen verändert wurde. Es ist somit grundsätzlich zu unterscheiden, ob eine Anlage in einem „freien Feld“ oder zwischen einer Bebauung errichtet wurde. Mit zunehmender Komplexität der Geländeformation einschließlich der Bebauung stößt die Berechnung lokaler Strömungsgeschwindigkeiten an ihre Grenzen. Denkbar sind Untersuchungen mit maßstabsgetreuen Modellen im Versuchskanal, die jedoch sehr aufwendig und kostenintensiv sind und daher nur im Rahmen von Forschungsvorhaben durchgeführt werden können.

5.7 Vorhersage und Vorwarnzeit

Neben den Gefahrenkarten sind für Behörden, Anwohner und Anlagenbetreiber im Ereignisfall vor allem die Vorhersage der Wasserstände und die Vorwarnzeit von entscheidender Bedeutung. Eine zuverlässige Vorhersage setzt allerdings neben einem ganz erheblichen Messaufwand zur Erfassung der Niederschlags- und Abflussdaten auch die genaue Kenntnis der geometrischen Daten des Abflussquerschnittes voraus, um den Wellenablauf im Flussbett zuverlässig berechnen zu können.

Für große Einzugsgebiete, wie den Rhein oder die Elbe, ist je nach Lage am Fluss eine große Vorlaufzeit gegeben. In diesen Fällen kann auch mit relativ einfachen Maßnahmen Schutz gewährleistet werden, wie z.B. durch temporäres Verschließen von Öffnungen, durch die Wasser in Gebäude eindringen könnte, Aufbau mobiler Schutzsysteme, Abtransport gefährdeter Güter sowie durch Bereitstellung von Geräten. Aufbauend auf den Vorhersagen für den Pegel Maxau am Rhein und in Verbindung mit den Vorhersagen für die Zuflüsse, war beim Hochwasser vom Januar 1995 schon mehrere Tage vorher klar, auf welchen hohen Anstieg der Welle man sich in Köln und am Niederrhein einrichten konnte.

Die Möglichkeiten der Vorwarnung hängen jedoch ganz entscheidend von der Lage am Gewässer ab. Das Hochwasser, das im August 2002 u.a. in Dohna an der Müglitz eintrat und zu großen Schäden führte, verdeutlicht beispielhaft die Problematik einer Vorhersage praktisch ohne Vorwarnzeit (**Abbildung 5.7.1**).



Abbildung 5.7.1: Hochwasserschäden in Dohna an der Müglitz (August 2002)

Von der Quelle bis zur Mündung überwindet die Müglitz auf einer Länge von 49 km eine Höhendifferenz von über 500 Metern. Die hieraus resultierende hohe Abflussgeschwindigkeit hat zur Folge, dass die Vorwarnzeit in Dohna maximal nur ca. 2 Stunden beträgt. Aufgrund der direkten zeitlichen Koppelung von Niederschlag und Abfluss konnten nur wenige vorbeugende Maßnahmen ergriffen werden.

Eine möglichst große Vorwarnzeit kann in den Regionen des Osterzgebirges deshalb nur über 2 Wege erreicht werden:

- Bau von Regenrückhaltebecken (Beispiel: Lauensteinbecken)
- möglichst präzise Wettervorhersage

In einem Kooperationsvorhaben der Länder Bayern und Baden-Württemberg sowie des Deutschen Wetterdienstes sind schon Modelle im Einsatz, die eine Simulation des Wasserhaushalts in Abhängigkeit regionaler Klimaszenarien ermöglichen (www.kliwa.de) [Hennegriff et. al., 2006]. Die Zusammenführung von meteorologischen Informationen mit der Berechnung von Hochwasserwellen bewirkt eine wesentliche Verlängerung der Vorwarnzeit.

Aus den Erfahrungen im August 2002 hat Sachsen mittlerweile ein Frühwarnsystem im Internet eingerichtet (www.umwelt.sachsen.de), mit dessen Hilfe sich die Betroffenen sehr viel schneller informieren können. Einen Einblick über den Umfang des

Messnetzes und den Datenpool der Hochwasservorhersage in Sachsen vermittelt
Abbildung 5.7.2.

Durch Anwahl der einzelnen Messpunkte werden die aktuellen Daten (Pegel, Durchfluss in m^3/s und Tendenzen) für den Benutzer angezeigt. Niederschlagsmengen werden nicht angegeben. Auch werden andere Informationen aus anderen Ländern nicht berücksichtigt. Nordrhein-Westfalen ist an das zentrale Hochwassermeldezentrum in Mainz angeschlossen und kann unter der Internetadresse „www.hochwasser-rlp.de“ abgefragt werden.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass die frühzeitige Warnung vor Unwettern mittlerweile durch jeden Wettervorhersagedienst erfolgt. Hierzu zählen neben Angaben zu Windgeschwindigkeiten auch erwartete Niederschlagsmengen. Letztere lassen Rückschlüsse auf mögliche Hochwassergefahren zu (Zusammenführung von meteorologischen Informationen mit der Berechnung von Hochwasserwellen). Man kann davon ausgehen, dass mit möglicherweise wenigen Ausnahmen, z.B. im Erzgebirge, von einer ausreichenden Vorwarnzeit ausgegangen werden kann.

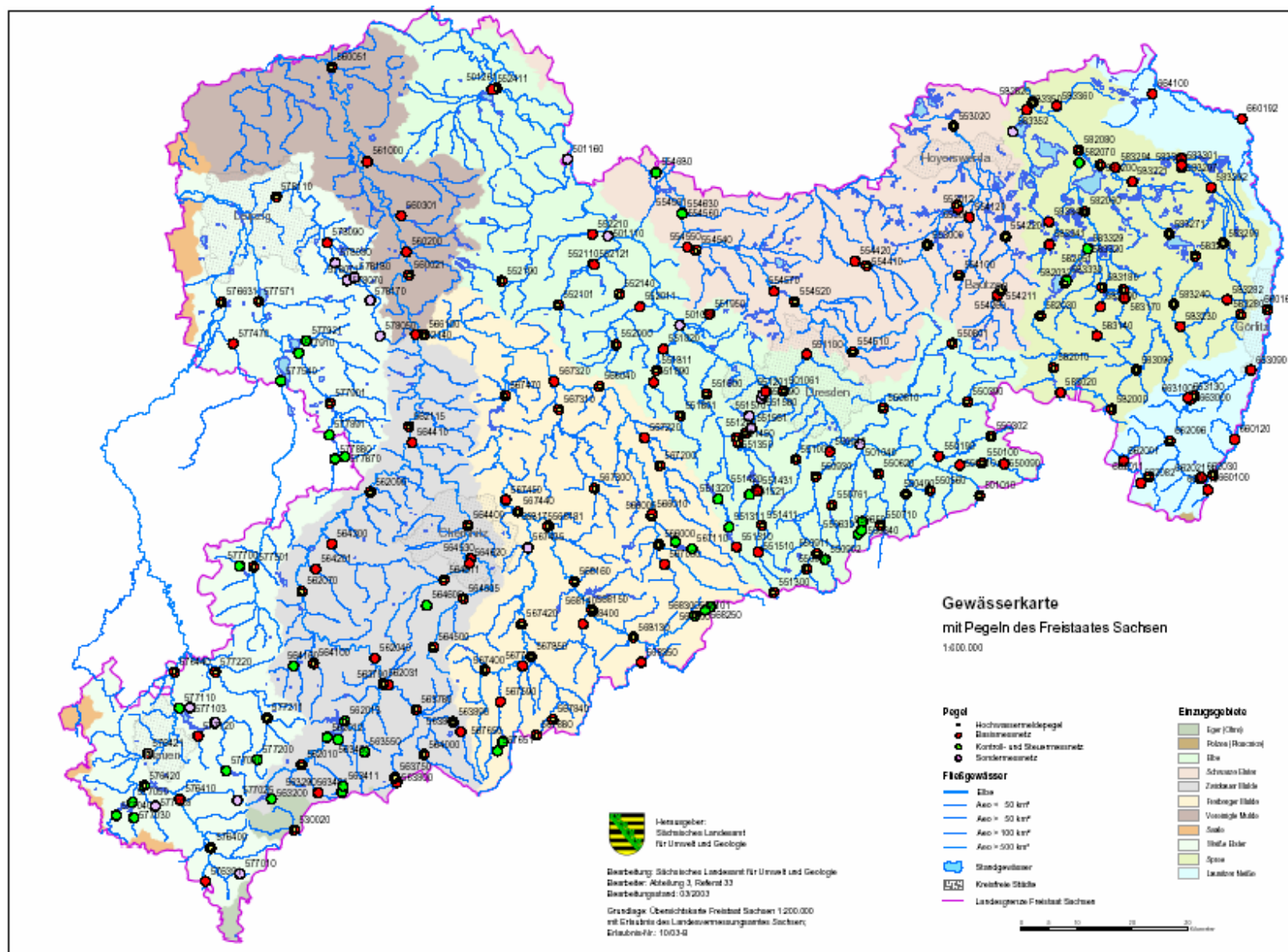


Abbildung 5.7.2: Hochwasserinformations- und -managementsystem am Landesamt für Umwelt und Geologie in Sachsen

5.8 Zusammenfassung und Vorschläge zum Hochwassermanagement

Das 3-Säulenkonzept aus Hochwasservorsorge, technischem Schutz und operationellen Einsatz gilt als allgemeingültiges Prinzip eines umfassenden Hochwassermanagements. Bislang wurde dieses Prinzip eher aus wasserbaulicher Sicht sowie aus dem Blickwinkel der zuständigen Behörden konkretisiert. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde das 3-Säulenprinzip aus der betrieblichen Sicht erläutert. Hierbei wurde ein Schwerpunkt auf die Darstellung der Verantwortungsbereiche sowie auf das Zusammenspiel von behördlichen und betrieblichen Aufgaben gelegt, weil hier, wie die Untersuchungsergebnisse in den Modellregionen sowie die Auswertung zahlreicher Informationsschriften ergeben haben, keine systematische Darstellung bislang vorgelegt wurde.

Neben einer Kurzerläuterung wasserbaulicher Grundbegriffe wurde die Erarbeitung von Gefahrenkarten herausgearbeitet, weil diese ein zentrales Instrument für ein wirksames Hochwassermanagement sind. Darüber hinaus wurde der Stand der Technik von Simulationsverfahren im Überblick erläutert

Die bislang erarbeiteten Gefahrenkarten dienen dazu, Überschwemmungsgebiete und überschwemmungsgefährdete Gebiete in Abhängigkeit vom jeweils angesetzten Bemessungshochwasser zu kennzeichnen. Darüber hinaus können die lokalen Wassertiefen in verstärkt untersuchten Gebieten, wie z.B. für die Stadt Köln, abgelesen werden. Strömungsgeschwindigkeiten, um die Gefahren durch Treibgut oder Eisgang besser beurteilen zu können, sind in der Regel nicht angegeben, weil der für die bebauten Bereiche erforderliche Rechenaufwand extrem hoch ist. Hier besteht ein Forschungsbedarf, um die Aussagekraft von Gefahrenkarten vor allem für Gebirgstäler noch relevant zu verbessern. In jedem Fall sollten in den Gefahrenkarten besonders schutzbedürftige Anlagen gekennzeichnet werden, wie dies in Sachsen und teilweise auch in NRW schon praktiziert wird.