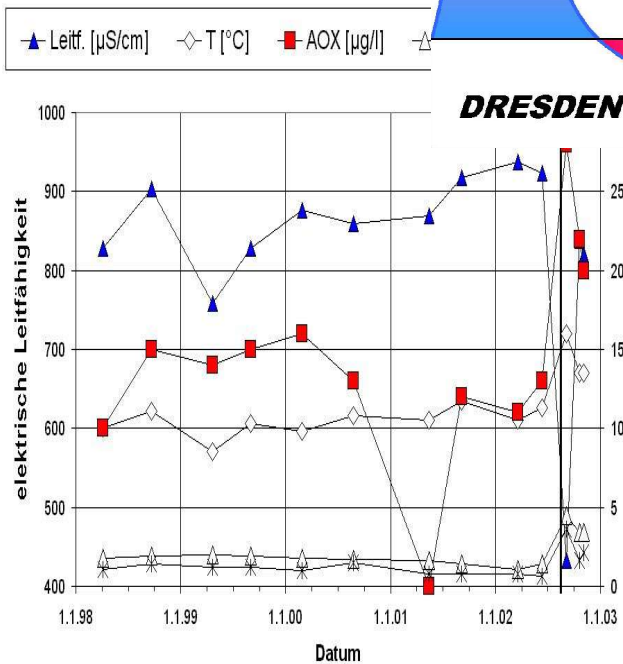
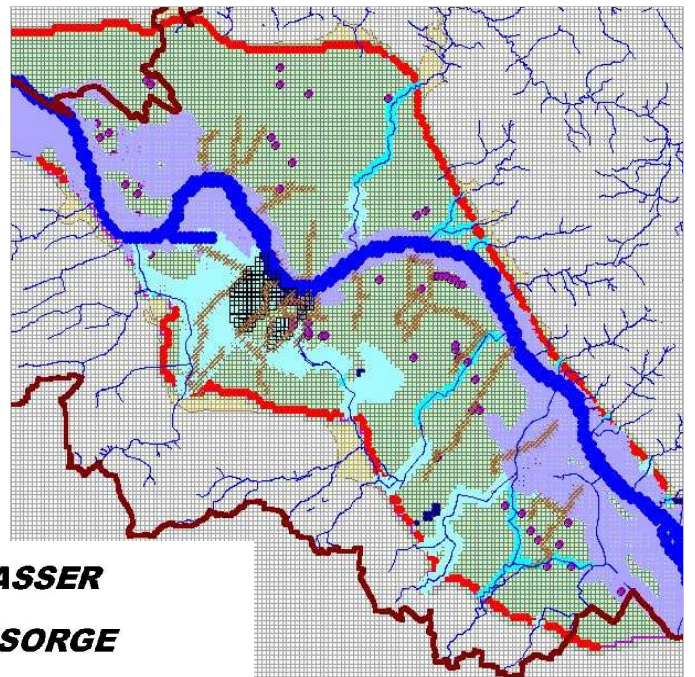




Auswirkungen des Hochwassers 2002 auf das Grundwasser

Forschungsbericht



Auswirkungen des Hochwassers 2002
auf das Grundwasser

Forschungsbericht

Inhalt

Vorwort	5	3.3.3 Auswirkungen von Altlasten	34
1 Einführung	7	3.3.4 Gefährdungspotenzial auf Grund defekter Kanalisation	37
2 Problemstellung Hochwasser und hohes Grundwasser	9	3.3.5 Abfallmanagement, Schlammablagerungen und Schlamm Entsorgung	39
2.1 Das Hochwasserereignis August 2002	9	4 Grundhochwassermanagement für Dresden	43
2.1.1 Das Hochwasserereignis in Sachsen	9	4.1 Schutzzieldiskussion und -vorschläge	43
2.1.2 Stadtgebiet Dresden	10	4.1.1 Tiefbaupotenziale	44
2.2 Auswirkungen hoher Grundwasserstände im Stadtgebiet von Dresden	10	4.1.2 Schutzzieldefinition	45
2.2.1 Bauwerke und Bauleitplanung	10	4.2 Handlungsempfehlungen für Dresden	47
2.2.2 Grundwasserbeschaffenheit und Altlasten	11	4.2.1 Technischer Hochwasserschutz	47
2.2.3 Kanalisation	12	4.2.2 Hochwasser-Flächenmanagement	48
2.2.4 Abfälle und Schlämme	12	4.2.3 Hochwasservorsorge	49
2.3 Trinkwasserversorgung	12	5 Verallgemeinerungen für den grundwasserbezogenen Hochwasserschutz	55
3 Ergebnisse	15	5.1 Wirkungen von Hochwasser auf das Grundwasser	55
3.1 Die Auswirkungen des Hochwassers auf die Grundwasserdynamik	15	5.1.1 Grundwasserdynamik	55
3.1.1 Entwicklung der Grundwasserstände	15	5.1.2 Grundwasserbeschaffenheit	56
3.1.2 Ursachen höchster Grundwasserstände	16	5.2 Gefahren für das Grundwasser durch Hochwasser	56
3.1.3 Minimale Grundwasserflurabstände	17	5.2.1 Grundwasserdynamik	56
3.1.4 Gefahrenpotenziale	19	5.2.2 Grundwasserbeschaffenheit	57
3.1.5 Unterirdische Speicherung	20	5.3 Hochwasserbedingte Gefahren, die von Grundwasser ausgehen	57
3.1.6 Wirkung der Kanalisation	21	5.4 Grundwasserbezogene Handlungsstrategien	57
3.2 Modellierung der Grundwasserdynamik	23	5.4.1 Technischer Hochwasserschutz	57
3.2.1 Modellansatz	23	5.4.2 Flächenmanagement	58
3.2.2 Modellaufbau und -kalibrierung	24	5.4.3 Hochwasservorsorge	58
3.2.3 Modellierungsergebnisse	29	6 Offene Fragestellungen	59
3.2.4 Wirkungen von Hochwasserschutzmaßnahmen auf das Grundwasser	31	6.1 Grundwasserdynamik	59
3.2.5 Regenwasserversickerung	32	6.2 Grundwasserbeschaffenheit	60
3.3 Die Auswirkungen des Hochwassers auf die Grundwasserbeschaffenheit	32	6.3 Grundwasser im Kontext der Hochwasservorsorge	60
3.3.1 Untersuchungsskalen	32	7 Zusammenfassung	61
3.3.2 Einflüsse der Überflutung auf den Aquifer	33	Literatur und Quellen	65
		Projektbeteiligte	69

Vorwort

Im Sommer 2002 wurde Sachsen von einem der verheerendsten Hochwasserereignisse seit Beginn der Aufzeichnungen betroffen. Wie viele andere Städte im Elbeeinzugsgebiet wurde auch Dresden in weiten Teilen des Stadtgebietes überflutet. Mit aller Kraft hat sich dabei auch das sonst meist im verborgenen bleibende Grundwasser in das Bewusstsein der Dresdner zurückgemeldet.

Durch die Überlagerung der Starkniederschläge vom 12./13.08.2002 und der anschließenden Hochwässer der Elbe und ihrer Nebenflüsse stieg der Grundwasserspiegel binnen Stunden extrem – in der Innenstadt an einigen Punkten bis fast an die Erdoberfläche – an. Die Keller nicht nur der historischen Bauten liefen in unerwartetem Tempo voll. In großen Stadtgebieten im Dresdner Osten, in Kaditz-Mickten und Cossebaude staute sich das Grundwasser.

Glücklicherweise ist es in Dresden durch das Grundwasser nur begrenzt zu Schäden an der Statik von Gebäuden gekommen. Rechtzeitig war vor dem Auspumpen der Keller ohne Berücksichtigung des jeweiligen Grundwasserstandes gewarnt worden.

Auch in Zukunft können uns solche Hochwasserereignisse treffen. Langfristige Klimaprognosen warnen sogar vor einem künftig gehäufteren Auftreten extremer Niederschläge. Die Landeshauptstadt Dresden beschloss daher, nicht nur das Hochwasserereignis von 2002 zu analysieren, sondern auch zukunftsfähige Strategien für Extremereignisse zu entwickeln. Aus eigener Kraft wäre dies bei der aktuellen Finanzsituation nur begrenzt möglich gewesen.

Die Stadt Dresden beantragte deshalb in Zusammenarbeit mit dem Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V. und unterstützt durch das Sächsische Staatsministerium für Um-

welt und Landwirtschaft beim Bundesministerium für Bildung und Forschung ein Ad-hoc-Projekt. Dieses wurde aufgrund der hervorragenden Zusammenarbeit zwischen Stadt, Freistaat und Fördermittelgeber innerhalb kürzester Zeit bewilligt.

So konnten zwischen Oktober 2002 und Oktober 2004 im Rahmen des Projektes "Auswirkungen der August-Hochwasser-Ereignisse 2002 auf die Tal-Grundwasser-Körper im Raum Dresden – Lösungsansätze und Handlungsempfehlungen" Fragen der Grundwasserstandsdynamik und der Grundwasserbeschaffenheitsentwicklung analysiert und Handlungsansätze für die künftige Bewältigung derartiger Ereignisse entwickelt werden.

Dieser Bericht fasst die Ergebnisse des Forschungsprojektes zusammen. Er stellt eine Grundlage für den Umgang mit Hochwasser im Grundwasser nicht nur in der Stadt Dresden sondern auch für andere betroffene Kommunen dar und soll dazu beitragen, mit den Problemen des Grund-Hochwassers besser umgehen zu können.

Für die Förderung des Vorhabens danken wir dem Bundesministerium für Forschung und Bildung und für die engagierte Mitwirkung allen an der Bearbeitung Beteiligten.



Dirk Hilbert
Bürgermeister für Wirtschaft

1. Einführung

Die Hochwasserereignisse im August 2002 gehörten zu den schwersten seit Beginn der Aufzeichnungen. Zahlreiche Städte und Kommunen im Elbeinzugsgebiet waren betroffen. In der Landeshauptstadt Dresden kam es zudem durch das Elbe-Hochwasser, die vorangegangenen Starkniederschläge und die dadurch ausgelösten Überflutungen der Elbenebenflüsse innerhalb kürzester Zeit zu einem Anstieg der Grundwasseroberfläche um bis zu sechs Meter auf ein zuvor nicht beobachtetes Niveau an. Nach dem Hochwasser galt es neben dem Wiederaufbau der zerstörten Infrastruktur und der Wohn- und Betriebsgebäude auch, die Folgen des Ereignisses für den Tal-Grundwasserkörper abzuschätzen, der eine erhebliche Rolle für den urbanen Naturhaushalt, die Vorfluter im Stadtgebiet und die Trinkwasserversorgung Dresdens spielt.

Grundsätzlich musste von kurz- und mittelfristigen Hochwasserfolgen für den Tal-Grundwasserleiter ausgegangen werden, die sich in den nachfolgend genannten Schwerpunkten zusammenfassen ließen:

- Auswirkungen auf die Grundwasserdynamik im urbanen Tal-Grundwasserleiter mit möglichen Schädenswirkungen auf Bauwerke in der Folge des Hochwassers,
- Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit in der Folge stark ansteigender Grundwasserstände,
- von Altlasten, Schlämmen und Sedimenten bewirkte mögliche Grundwasserschäden sowie
- von undichten Abwasserkanälen ausgehende Gefährdungspotentiale.

Unter Federführung der Landeshauptstadt Dresden als Zuwendungsempfänger des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), unterstützt durch das Sächsische Staatsministerium

für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL) sowie begleitet von den Fachbehörden wurden diese Fragestellungen aufgegriffen und im Rahmen eines Ad-hoc-Forschungsvorhabens untersucht.

Ziel des Projektes war die exemplarische Bewertung von Schäden für einen unter urbanen Räumen genutzten Grundwasserkörper nach Menge und Beschaffenheit in der Folge von extremen Hochwasserereignissen mit ausgedehnten Überflutungsarealen. Die Forschungsergebnisse sollten neben unmittelbar für die Landeshauptstadt Dresden nutzbaren Handlungsempfehlungen auch verallgemeinerbare Aussagen für die Beeinträchtigung von Tal-Grundwasserleitern in vergleichbaren urbanen Gebieten im Freistaat Sachsen und in anderen Gebieten Deutschlands liefern.

Die wissenschaftlich-technischen Arbeitsziele orientierten sich an den in erster Auswertung der Hochwasserereignisse im August 2002 erkannten Defiziten im Stadtgebiet von Dresden. Die aufgezeigte inhaltliche Gliederung der Fragestellungen wurde in eine Projektstruktur mit insgesamt sechs Arbeitspaketen transformiert (s. Abb. 1). Die Be-

arbeitung des Projektes erfolgte durch insgesamt zehn Kooperationspartner aus vorwiegend Dresdner Wissenschaftseinrichtungen und Wirtschaftsunternehmen (s. Projektbeteiligte).

Parallel dazu wurden im Rahmen des Projektverbundes „Hochwassernachsorge Grundwasser Dresden“ beim Landesamt für Umwelt und Geologie, Referat Grundwasser und Altlasten und beim StUFA Radebeul, Referat Grundwasser (jetzt Regierungspräsidium Dresden, Umweltfachbereich) aus Landesmitteln finanzierte Projekte durchgeführt. Die Vorbereitung und Durchführung dieser Projekte erfolgte in enger Abstimmung mit dem Forschungsprojekt, so dass ein zeitnaher Daten- und Ergebnisaustausch zwischen den landesfinanzierten Projekten und dem bundesfinanzierten Forschungsprojekt stattfinden konnte.

Die Ergebnisse der Bearbeitung werden in dieser Broschüre zusammenfassend dargestellt. Daneben liegen für jedes Arbeitspaket separate umfangreiche Ergebnisberichte vor, die im Umweltamt der Landeshauptstadt Dresden eingesehen oder ausgeliehen werden können.

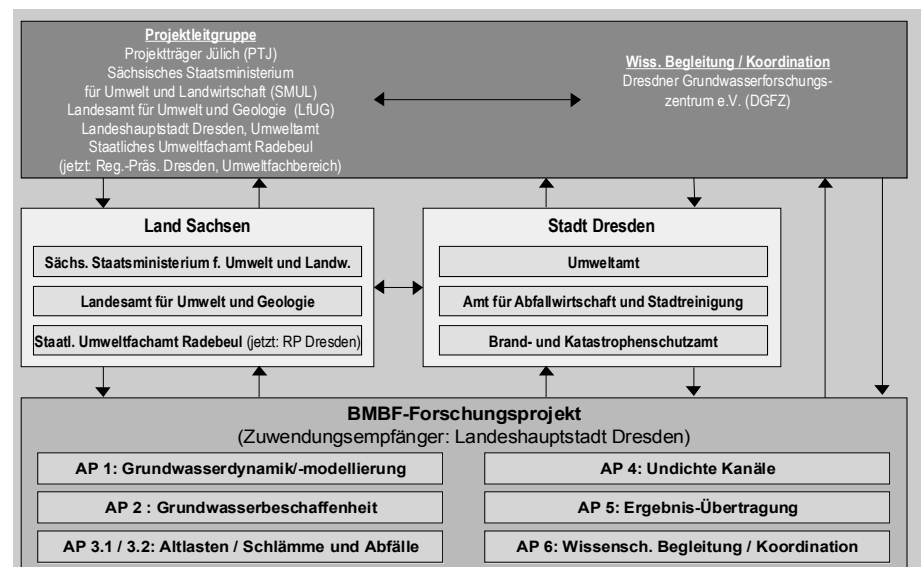


Abb. 1: Projektstruktur

2. Problemstellung

Hochwasser und hohes Grundwasser

■ 2.1 Das Hochwasserereignis August 2002

Im August 2002 kam es im oberen Elbeeinzugsgebiet auf Grund einer sogenannten Vb-Wetterlage zu einer extremen meteorologischen Situation, die in weiten Teilen Mittelsachsens zu extremen Hochwasserereignissen führte. Das Tiefdruckgebiet „Ilse“ brachte am 11.08.2002 feucht-warme Luftmassen mit großräumigen Starkniederschlägen vom Mittelmeer über den Balkan in das Elbeeinzugsgebiet. So kam es vom 11. bis 13.08.2002 zu extrem hohen Niederschlägen sowohl im böhmischen als auch im sächsischen Teil des Elbeeinzugsgebietes. In Sachsen wurden flächendeckend zwischen 50 und 200 mm/d Niederschlag registriert. Im Verlaufe dieses Niederschlagsereignisses wurden neue Rekordwerte der 24-stündigen Niederschlagssummen gemessen (Tabelle 1).

Im Vergleich zu den mehrjährigen Normalwerten wiesen Monatssummen des Niederschlags im August 2002 die 2- bis 3-fache Menge auf. Allein das Gebietsmittel für Sachsen betrug mit 208 mm Niederschlag 265 % des Vergleichswertes (LfUG 2003).

Durch diese flächendeckenden ergiebigen Niederschläge kam es ab dem 12.08.2002 zu extremen Hochwässern im Elbeeinzugsgebiet. Diese wirkten sich in Sachsen zunächst als kurzfristig wirkende Sturzfluten an den Gewässern, die das Erzgebirge entwässern, aus. In der darauffolgenden Woche kam es zu einer extremen Staufflut der Elbe

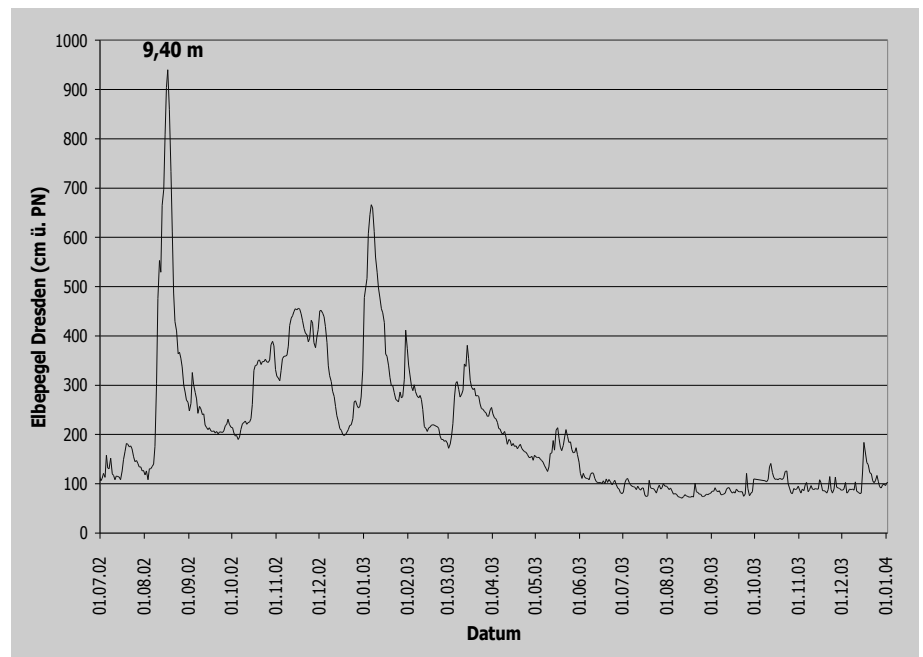


Abb. 2: Ganglinie der Elbe (01. 07. 2002 bis 01. 01. 2004)

durch die aus dem böhmischen Teil des Elbeeinzugsgebietes nachfließenden Wassermassen. Diese führten zu dem Extremhochwasser der Elbe mit einem Höchststand am Pegel Dresden von 9,40 m am 17.08.2002 (Abb. 2).

2.1.1 Das Hochwasserereignis in Sachsen

Auf Grund der beschriebenen Vb-Wetterlage ist es nördlich des Erzgebirgskammes im Zeitraum 11. bis 13.08.2002 zu Extremhochwässern an allen Vorflutern zwischen Elbe und Zwickauer Mulde gekommen. Besonders betroffen waren die Gewässer des Osterzgebirges. Deren Hochwässer im August 2002 sind in einer eingehenden Ereignisanalyse dokumentiert (LfUG 2004). Eine Gesamtdarstellung der

Tabelle 1: Niederschlagshöhen in Zinnwald und Dresden (Quelle: LfUG 2003)

Messpunkt	24-h-Niederschlag (mm)	Monatsniederschlag (mm) August 2002
Zinnwald	312	770
Dresden (Klotzsche)	158	233

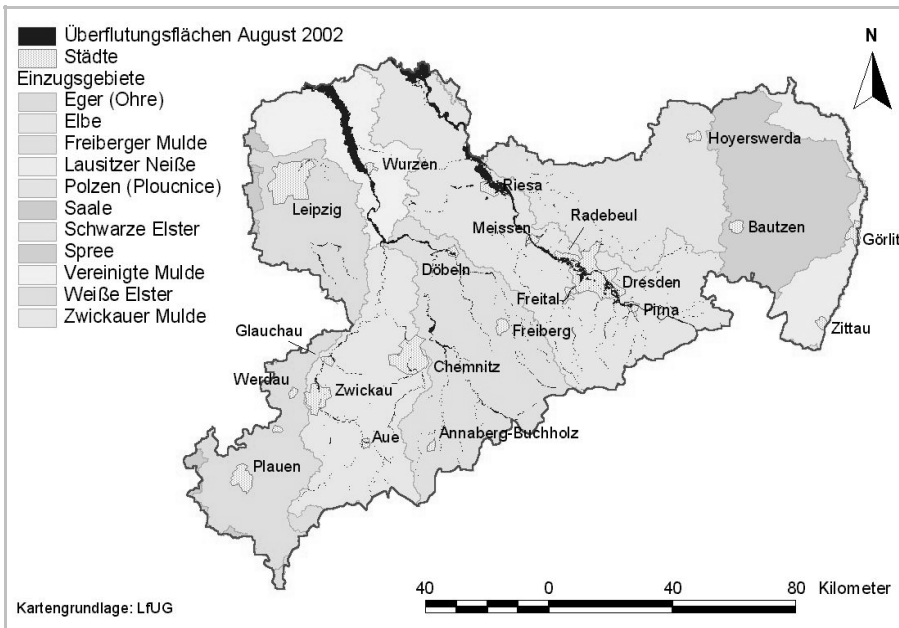


Abb. 3: Überflutungsflächen in Sachsen, Augusthochwasser 2002

Überflutungsflächen in Sachsen zeigt Abb. 3. Die Überflutungsfläche betrug insgesamt 460 km².

In Sachsen kamen durch die Unwetter und Überflutungen 20 Menschen ums Leben; der gemeldete Gesamtschaden belief sich auf insgesamt 8,6 Mrd. €. Für landeseigene Liegenschaften wurde ein Anteil von 16 % der Schadenssumme auf die Wirkung von hohem Grundwasser zurückgeführt (Huber et al. 2003) (s. Abb. 4).

2.1.2 Stadtgebiet Dresden

Im Stadtgebiet von Dresden kam es insgesamt zu einer Überflutungsfläche von 30,13 km². Davon entfallen 31,5 % auf die Überflutung durch die Sturzfluten der Weißeritz, Lockwitz und Gewässer II. Ordnung (s. Tabelle 2 und Anlage 1). In der Landeshauptstadt Dresden kam es am 13.08.2002 zum Übertritt der Weißeritz im Ortsamtsbereich Plauen und in der Folge dessen zur Überflutung der Bahngleise und des Hauptbahnhofs so-

wie weiter Teile des Ortsamtsbereiches Altstadt. Außerdem führten die Lockwitz und der Kaitzbach sowie weitere Gewässer II. Ordnung zu flächenhaften Überschwemmungen im Süden und Südosten der Stadt.

2.2 Auswirkungen hoher Grundwasserstände im Stadtgebiet von Dresden

2.2.1 Bauwerke und Bauleitplanung

Durch Grundwasserhochstände sind vor allem in den Bereichen, wo die bislang gemessenen Höchstwasserstände weit überschritten werden, Bauwerke betroffen, die auf die bislang ermittelten Höchststände des Grundwassers ausgelegt sind. Im Hochwasserfall können sich solche schadenswirksame Grundwasserstände außerdem in relativ kurzer Zeit einstellen.

So kam es in Dresden beispielsweise am katholischen St. Benno-Gymnasium am 16./17. August 2002 zu einem extremen Anstieg des Grundwassers, der die Standsicherheit des Gebäudes massiv gefährdete, obwohl für die Sporthalle mit ihrem 3,60 m unter Geländeoberfläche liegenden Hallenfußboden zu Zeit der Planung des Gebäudes ein Abstand zum Höchstgrundwasserstand mit 50-jährlicher Wiederkehrwahrscheinlichkeit von über 1 m galt. Der mittlere Grundwasserstand war unter Einbeziehungen von Messwerten bei 3 m unter Hallenfußboden festgelegt worden. Dennoch kam es zu einem Grundwasseranstieg, im Mittel mit etwa 4 cm/h auf ca. 180 cm über Hallenfußbodenniveau (Abb. 5a), der zum Zeitpunkt des maximalen Grundwasserstandes einen Auftrieb der Fußbodenplatte von ca. 14,7 kN/m² bewirkte (Beyer 2003). Nur durch eine gezielte Belastung des Hallenfußbodens konnte ein Totschaden am Bauwerk verhindert werden (s. Abb. 5b).

Analoge Situationen traten in der Altmarkt Galerie mit historischem Keller (Bodendenkmal) und im Hotel Hilton auf. An diesen Objekten lagen um fast 3 m höhere Grundwasserstände als der Bemessungswasserstand vor. Auch hier konnte nur durch gezielte Flutung und Belastung der Bodenplatte eine Havariesituation verhindert werden (UBV 2003).

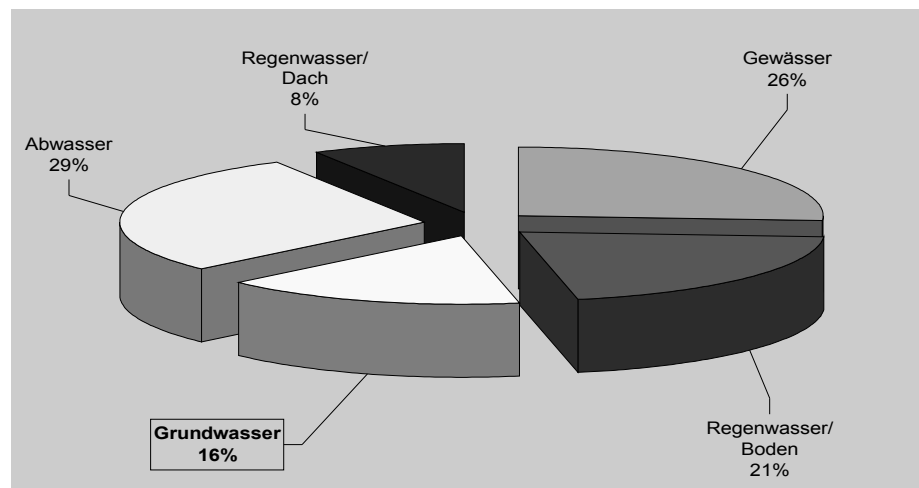
Die Problematik dieser Wirkungen hoher Grundwasserstände auf Gebäude führt zu der Fragestellung, wie unterirdische Gefahrenpotenziale zu ermitteln und zu bewerten sind. Bisher gibt es für den unterirdischen Raum keine entsprechende Methodik, wie sie für Überflutungen in Form von Schadenspotenzial- und Gefahrenkarten z. B. von Egli entwickelt wurden (IKSR 2002).

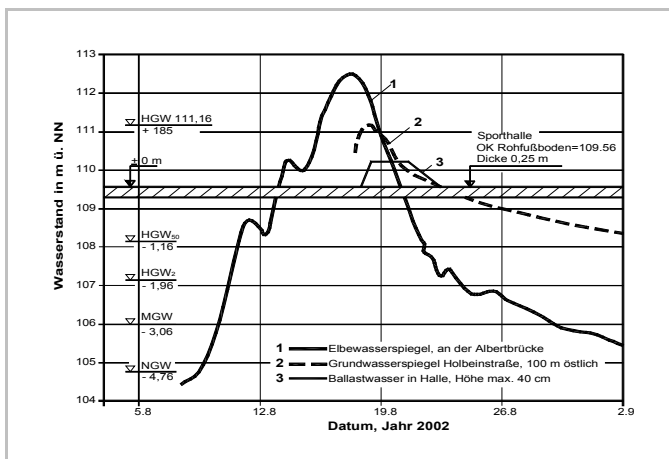
Für die Landeshauptstadt Dresden waren im Weiteren angesichts der eingestellten höchsten Grundwasserstände

Tabelle 2: Überflutungsflächen im Stadtgebiet von Dresden im August 2002 (nach GIS-Daten, Umweltamt Dresden)

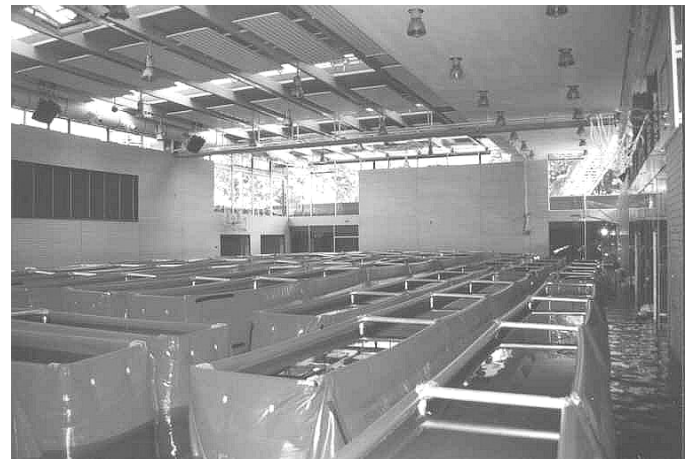
Gewässer	Überflutungsfläche (km ²)
Elbe	20,64
Weißeritz	5,61
Lockwitz und Gewässer II. Ordnung	3,88

Abb. 4: Hochwasserschäden nach Herkunft des Wassers auf Liegenschaften des Freistaates Sachsen (Quelle: Huber et al. 2003)





a)



b)

Abb. 5: Grundwasserbedingter Auftrieb und Bauwerkssicherung am St. Benno Gymnasium
 a) Elbe- und Grundwasserganglinie im Verhältnis zum Niveau des Hallenfußbodens (Quelle: Beyer, 2003);
 b) Bauwerkssicherung mittels Quick-Dämme Foto: <http://www.benno-gym.de>

einige Fragen der Bauleitplanung auf weitere Verwendbarkeit zu prüfen, z. B.:

- Bisheriger Ansatz zur zulässigen Anzahl von Tiefgeschosse in der Innenstadt oder analog dicht bebauten Gebieten,
- Zulässiger Grundwasseraufstau infolge von Tiefbebauung,
- Zulässigkeit der Versickerung von Niederschlagswasser.

2.2.2 Grundwasserbeschaffenheit und Altlasten

Im Hochwasserfall sind Einflüsse auf die Beschaffenheit eines Grundwassers möglich oder zu erwarten, die sich auf diffus und punktuell wirkende Ursachen zurückführen lassen:

- Veränderungen des Grundwassers durch eindringendes Wasser aus dem Fließgewässer in den Untergrund,
- Überflutung von Landflächen, Ablagerung von Stoffen, die eventuell zeitverzögert aus dem Boden ausgewaschen und zum Grundwasser hin verlagert werden, und
- Anstieg des Grundwassers in Bereiche, die bislang im ungesättigten Bereich lagen. Dadurch können Stoffe mobilisiert und transportiert werden.

Die beschriebenen Wirkungspfade diffuser und punktueller Beschaffenheitsveränderungen sind in Abb. 6 dargestellt.

Bei extremen Grundwasserschwankungen, wie sie beim Hochwasserereignis in Dresden zu beobachten waren, ist auch im Zusammenhang mit Punktbelastungen im Untergrund mit einer Schadstoffmobilisierung und -verfrachtung zu rechnen. In Abhängigkeit von

der Art, der Menge und der Verteilung der Schadstoffe lassen sich die folgenden Schadensszenarien ableiten:

■ Kontamination in der ungesättigten Zone

In diesem Fall liegt bisher keine Grundwasserverunreinigung vor. Mit dem Anstieg des Grundwasserspiegels wird aber die kontaminierte Zone erreicht und somit eine Mobilisierung der Schadstoffe ermöglicht. Beim Absinken des Grundwasserspiegels ist dann eine vertikale Schadstoffverlagerung zu erwarten (s. Abb. 6).

■ Kontamination in der gesättigten Zone

Bei Vorliegen einer Schadstoffphase, die z. B. eine geringere Dichte als das Wasser aufweist (LNAPL - (Light Non Aqueous Phase Liquid)), ist durch Grundwasseranstieg mit einer erheblichen vertikalen Schadstoffverlagerung in die bisher nicht belastete ungesättigte Zone zu rechnen und nach Rückgang der Grundwasserstände können die Kontaminationen in der ungesättigten Zone noch lange anhalten (smear zone).

■ Änderung der Grundwasser-Fließrichtung

Lokal ist zumindest kurzfristig mit veränderten Grundwasserfließrichtungen zu rechnen. Dies gilt insbesondere für den Nahbereich der hochwasserführenden Flüsse, da hier eine Infiltration des Oberflächenwassers in den Aquifer erfolgt. In diesem Fall ist zusätzlich zur vertikalen eine horizontale Schadstoffverlagerung zu erwarten.

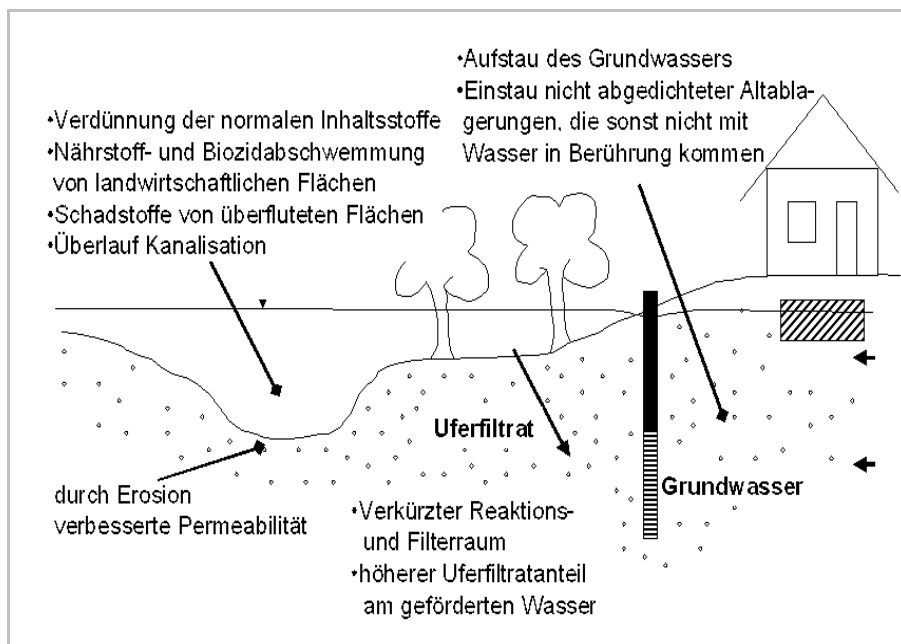
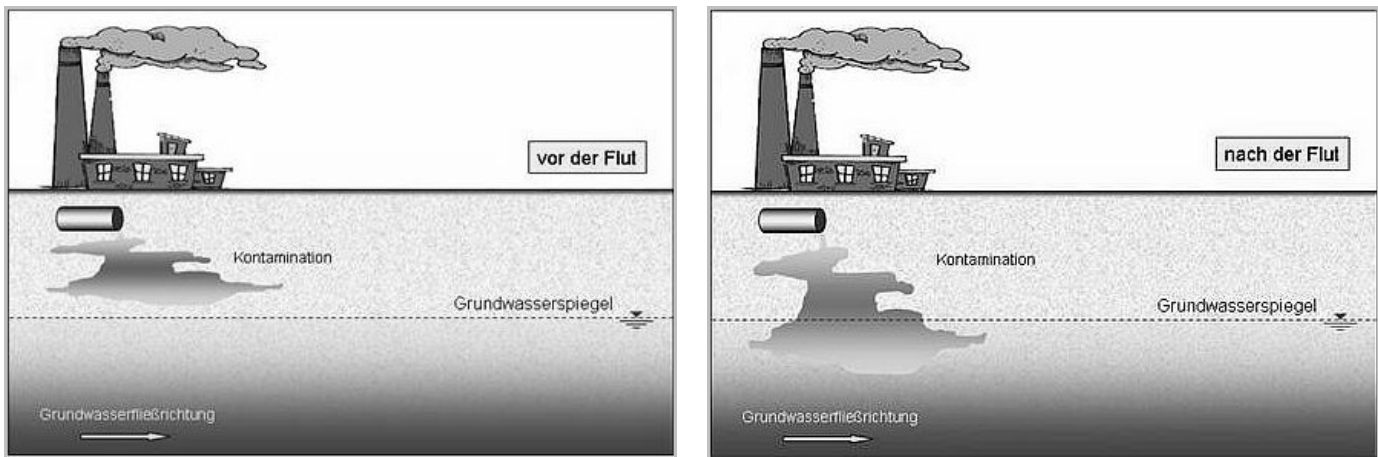


Abb. 6: Mögliche Stoffeintragspfade in den Grundwasserleiter bei Hochwasser (nach Walther & Marre 2004)



a) b)
Abb. 7 Kontamination in der ungesättigten Zone, dargestellt sind die Situationen a) vor der Flut b) nach Rückgang des Hochwassers

Neben der aufgezeigten Schadstoffverfrachtung sind im Zusammenhang mit dem Hochwasserereignis möglicherweise zusätzlich Veränderungen in den Milieubedingungen im Hinblick auf mikrobiologische Abbauprozesse zu beachten. Diese Änderungen hängen ursächlich mit der Infiltration von Oberflächenwasser zusammen, da damit auch ein Eintrag von Sauerstoff, organischem Material und/oder Nährstoffen verbunden sein kann. Bekanntermaßen beschleunigt ein erhöhter Sauerstoffgehalt auf der einen Seite z. B. den biologischen Abbau von Kohlenwasserstoffen, kann aber auf der anderen Seite auch die Metabolisierung chlorierter organischer Substanzen verhindern. Außerdem können sich mit der Fällung von Fe(III) und Mn(II) sowie der Verbesserung der Löslichkeit von Schwermetallen anorganische Stoffumwandlungsprozesse vollziehen.

2.2.3 Kanalisation

Der Kanalisation kommt unter Hochwasserbedingungen eine besondere Rolle hinsichtlich des Wassertransports zu (Abb. 8). Durch extreme Druckverhältnisse ist andererseits die auf drucklosen Betrieb ausgelegte Kanalisation gefährdet. So kam es im Verlauf des



Hochwassers 2002 im Stadtgebiet von Dresden zu Schäden an der Kanalisation, die zu einem Stoffeintrag in das Grundwasser führen konnten.

Somit waren durch die Untersuchung der Wechselbeziehungen zwischen Entwässerungsnetz und Grundwasser, Aussagen zur Situation während und nach den Hochwasserereignissen im August 2002 sowie generelle Aussagen zur Rolle der Kanalisation während extremer Hochwassersituationen zu machen.

Von besonderem Interesse sind dabei die Auswirkungen des Austritts von Abwasser in den Boden (Exfiltration) und deren Gefahrenpotenzial für den Grundwasserleiter, die Verteilung eingedrungene Oberflächenwassers im Kanalnetz sowie der Zutritt von Grundwasser in das Kanalnetz (Infiltration) während extremer Hochwasserereignisse und die damit verbundene Beeinflussung hydrodynamischer Verhältnisse im Bereich des Tal-Grundwasserkörpers (Drainage), wobei die Absenkung des GW-Spiegels von besonderem Interesse ist. Die Untersuchungen zur Wirkung der Kanalisation bei extremen Hochwässern beinhaltete deshalb folgende Schwerpunkte:

- Beurteilung des Schadenspotenzials für den Grundwasserleiter durch eine erhöhte Exfiltration von Abwasser infolge der Hochwasserereignisse,
- Ermittlung der Drainageleistung der Kanalisation während extremer Hochwasserereignisse und
- Implementierung der Kanalisation als technologische Schicht in das hydrodynamische Grundwassermodell (Arbeitspaket 1).

Abb. 8: Austritt von Kanalwasser am Terrassenufer Dresden

2.2.4 Abfälle und Schlämme

Als sekundäre Schadensquelle für die Beschaffenheit des Grundwassers mussten auch die hochwasserbedingten Schlämme und Abfälle gesehen werden, die im Stadtgebiet anfielen und kurzfristig abgelagert wurden. Für die Schadenswirksamkeit von Schlämmen wurde ein Forschungsprojekt am Umweltforschungszentrum Halle-Leipzig durchgeführt, auf dessen Ergebnisse auch für den Stadtbereich zurückgegriffen werden konnte (Geller et al. 2003). Das von den Abfällen ausgehende Gefahrenpotenzial für das Grundwasser war auf Grund von Stoffstrombilanzen und einer Beurteilung der Zwischen- und Ablagerungsflächen zu beurteilen.

2.3 Trinkwasserversorgung

Die Auswirkungen des Hochwassers auf die Trinkwasserfassungen war nicht explizite Fragestellung des Forschungsprojektes. Aussagen zu Einwirkungen des Hochwassers auf Trinkwasserfassungen finden sich in Strauch et al. (2004), Lewis et al. (2004), Wricke et al. (2003) und Krüger & Nitzsche (2003), die hier reflektiert werden sollen. Als zwei grundlegende Problemkreise bezüglich der Trinkwasserversorgungssicherheit im Hochwasserfall zeigen sich durch die genannten Untersuchungen die Sicherung der Rohwasserbeschaffenheit und die Technische Versorgungssicherheit.

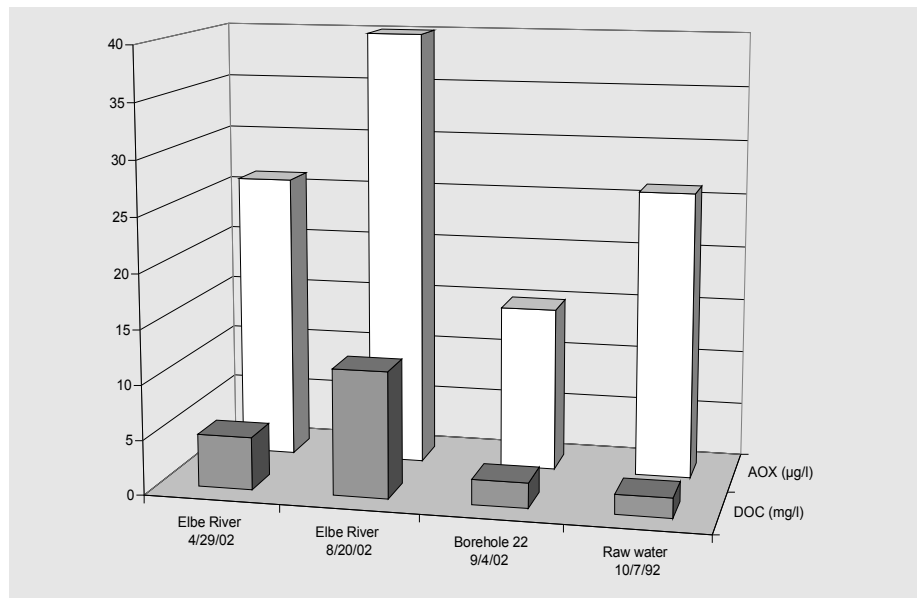
Sicherung der Rohwasserbeschaffenheit

Als Hauptprobleme der Güteverschlechterung stellt sich im Wesentlichen die Trübung und der Anstieg der mikrobiologischen Belastung – vor allem in gewässernahen Fassungsanlagen – her-

aus. Durch Einsatz von Flockungsmitteln und einer erhöhten Konzentration an Chlor konnten diese Beeinträchtigungen beherrscht werden (Wricke et al. 2003). Für den Schutz des Rohwassers ist entscheidend, ob die ablaufenden Mischungs-, Sorptions- und Umsetzungsprozesse im Grundwasserleiter und in der ihn abdeckenden Bodenzone wirksam genug sind, um Schadstoffbelastungen ausreichend abfangen zu können. Der Problematik der Schutzfunktion von Bodenschichten und des Grundwasserleiters, einer Belastung des Grundwassers durch Überstau entgegenzuwirken und insbesondere pathogene Keime zu fixieren bzw. abzubauen, widmeten sich die Untersuchungen von Strauch et al. (2004). Sie wurden an zwei Fassungsstandorten des Einzugsgebietes der Mulde (Canitz/Thallwitz) und der Elbe (Torgau-Ost) durchgeführt. Im Frühjahr und Herbst 2003 wurden an beiden Standorten Bodenproben bis in 1,20 m Tiefe auf Schwermetalle und pathogene Keime untersucht. Im Ergebnis der Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass die Stoßbelastung durch das Hochwasser zu keiner nachhaltigen Gefährdung der Sedimentauflage hinsichtlich anorganischer Belastungen durch Verfrachtung und Ablagerung belasteter Schlämme aus dem Oberlauf von Mulde und Elbe geführt hat. Teilweise zeigten sich auf Referenzstandorten sogar höhere Belastungen als auf den Überflutungsflächen. Auch die mikrobiologischen Untersuchungen an den Sedimenten aus dem Überschwemmungsgebiet der Elbe und Mulde zeigten keine signifikanten Belastungen durch coliforme Bakterien und Enterokokken an. Da an den Standorten die Auelehmschicht bis zu 2 m mächtig ausgebildet ist, wird die Wahrscheinlichkeit einer Grundwassergefährdung als gering eingeschätzt.

Diese Einschätzung wird durch Krüger & Nitzsche (2003) gestützt, die sowohl für Brunnen als auch für die Rohwasserqualität keine signifikanten Erhöhungen von DOC und AOX ausweisen, obwohl diese Parameter im Elbewasser während der Überflutung einen signifikanten Anstieg zeigten (s. Abb. 9). Die angegebenen Konzentrationen von DOC und AOX bewegten sich auch nach dem Hochwasser im Langzeit-Schwankungsbereich.

Für die Wasserwerke in Dresden liegen keine Angaben zur Rohwasserqualität während des Hochwasserereignisses vor, allerdings sind die Wasserwerke Hosterwitz und Tolkewitz durch Überflutung der Brunnen bzw. der technischen Anlagen im kritischen Zeitraum außer Betrieb gewesen. Das



Wasserwerk Tolkewitz konnte bereits nach 4 Wochen wieder in Betrieb genommen werden, was darauf hinweist, dass die Wasserqualität zu diesem Zeitpunkt gewährleistet war (Lewis et al. 2004).

Lediglich für eine Fassung nördlich von Meißen wurde eine Belastung mit abwassertypischen Spurenstoffen (EDTA) angegeben, die im Rohwasser vor dem Hochwasser nicht nachzuweisen war (HGN 2003).

Technische Versorgungssicherheit

Die Gewährleistung der Versorgungssicherheit mit Trinkwasser war wesentlich von der Betroffenheit technischer Anlagen abhängig, da ein nicht unwesentlicher Anteil der Gefährdung bzw. Ausfälle der Wasserversorgung auf den Ausfall von EMSR-Technik zurückzuführen war (Wricke et al. 2003, Krüger & Nitzsche 2003). Dabei konnte es sowohl zu Überflutungen von EMSR-Anlagen in Gebäuden und Trafo-Anlagen im Bereich von Brunnen als auch zum Ausfall von Brunnenanlagen durch Überflutung von Klemmstellen sowie zur Überflutung der Brunnen kommen, die daraufhin stark verschlammten wurden (Wricke et al. 2003). Ein zusätzliches Gefahrenpotenzial kann im Auftrieb von Gebäuden und technischen Anlagen durch ansteigendes Grundwasser liegen. Im Stadtbereich von Dresden war davon jedoch kein Trinkwasserwerk betroffen, da die Betriebsanlagen des WW Tolkewitz hoch genug liegen und im WW Hosterwitz das Oberflächenwasser eher eingedungen ist, so dass eine gezielte Flutung nicht vorgenommen werden konnte (Lewis et al. 2004).

Abb. 9: DOC und AOX-Konzentrationen der Elbe und des Rohwassers (aus Krüger & Nitzsche 2003)

3. Ergebnisse

■ 3.1 Die Auswirkungen des Hochwassers auf die Grundwasserdynamik

3.1.1 Entwicklung der Grundwasserstände

In der Folge der Flutereignisse bildeten sich im gesamten Elbtalgrundwasserleiter Grundwasserstände aus, die die bis dahin bekannten höchsten Grundwasserstände (HHW_{GW}) teilweise bei weitem überstiegen. Ausgewählte Schnittführungen quer zum Streichen des Elbtals zeigen die räumliche Entwicklung der Grundwasserstände im unmittelbaren Zeitraum nach dem Hochwasser (Abb. 10).

Die Entwicklung der Grundwasserdynamik im Großraum Dresden während und nach den August-Hochwasserereignissen wurde durch mehrere Untersuchungen dokumentiert (LH DD 2002; DGC 2003a; DGC 2003b; UBV/DGC/GFI 2004a; BGD 2003; HGN 2003). Im Zeitraum August 2002 bis Dezember 2003 wurden die Messungen an insgesamt 274 Messstellen durchgeführt. Im Ergebnis entstanden Grundwasserstands- und Grundwasserflurabstands-Isohypsen für 4 Stichtage im Zeitraum 18.08.2002 bis 09.09.2002 sowie für die Stichtagsmessungen Mai 2003 und September 2003.

In Abb. 11 sind die höchsten im Zeitraum August bis September 2002 gemessenen Grundwasserstände über dem Zustand vor der Flut (im Folgenden: Vor-Flut-Zustand) dargestellt. Bezugsgröße für den Vor-Flut-Zustand ist das HHW des Grundwassers an den Messstellen, an denen das HHW durch eine

längere Messreihe gesichert vorlag. Anderenfalls wurde der letzte vor der Flut gemessene Grundwasserstand als Vor-Flut-Messwert zugrunde gelegt. Die Verteilung der Grundwasserhöhen über dem Vor-Flut-Zustand geht aus dem Histogramm in Abb. 13 hervor. Von diesen Messstellen lagen über 90 % mit ihrem Maximum über dem bisherigen HHW, 86 % der Grundwasserstände lagen bis zu 3 m über dem bisherigen HHW. Damit stellte sich ein Extremzustand der Grundwasserstände ein, wie er in Anlage 2 als Karte der minimalen Grundwasserflurabstände dargestellt ist. Zum Vergleich sind in Anlage 3 die Grundwasserflurabstände bei mittlerem Hochwasser des Grundwassers dargestellt.

Die punktuelle Betrachtung der höchsten Grundwasserstände gibt allerdings die zeitliche Dimension, in der sich die Wasserstände eingestellt und gehalten haben, nicht wieder. Zwar hat sich in 85 % der gemessenen Messstellen der maximale Wasserstand be-

reits im August 2002 eingestellt, eine Auswertung der Grundwasserganglinien bis Ende 2003 zeigte jedoch, dass sich erhöhte Wasserstände auch in elbferneren Gebieten des quartären Grundwasserleiters bis in das Jahr 2003 hinein vorgeherrscht haben (s. Abb. 12).

Die Entwicklung des Grundhochwassers zeigte sich im Stadtgebiet von Dresden regional differenziert und war in weiten Bereichen durch einen nur sehr langsamen Rückgang der Grundwasserstände gekennzeichnet.

Die Bereiche, in denen ein langsames Rückgehen der Grundwasserstände zu verzeichnen war, sind überwiegend vorflutern und liegen mehr als 1 km vom Vorfluter entfernt. In Abb. 12 sind die Messstellen mit dem Zeitraum des Eintritts des höchsten Wasserstandes dargestellt.

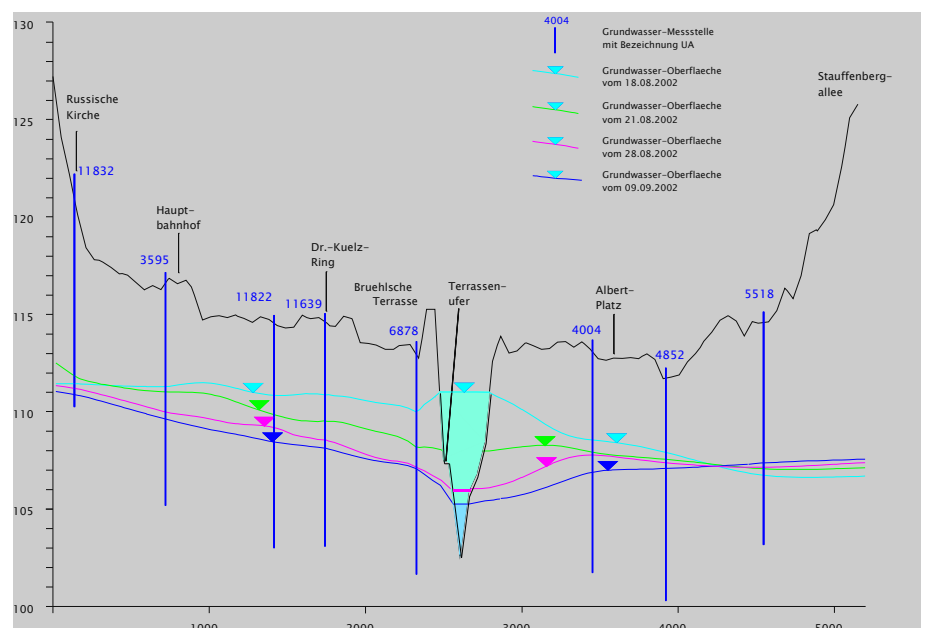


Abb. 10: Profil der Grundwasserstandsentwicklung, quer zum Elbtalstreichen (DGC 2003a)

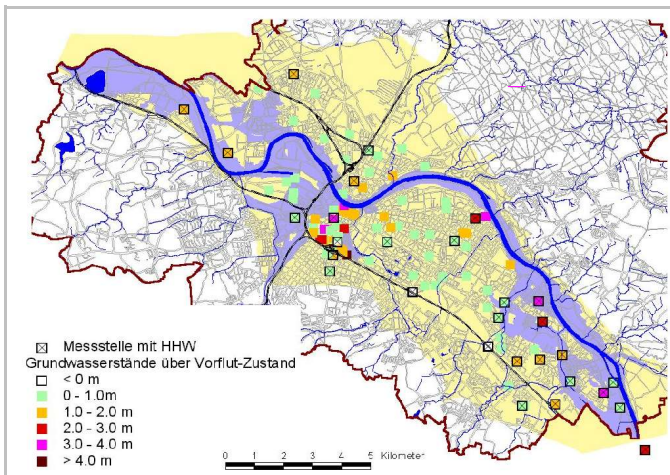


Abb. 11: Höchste Grundwasserstände August/September 2002 im Vergleich zu den bisherigen HHW des Grundwassers in Dresden

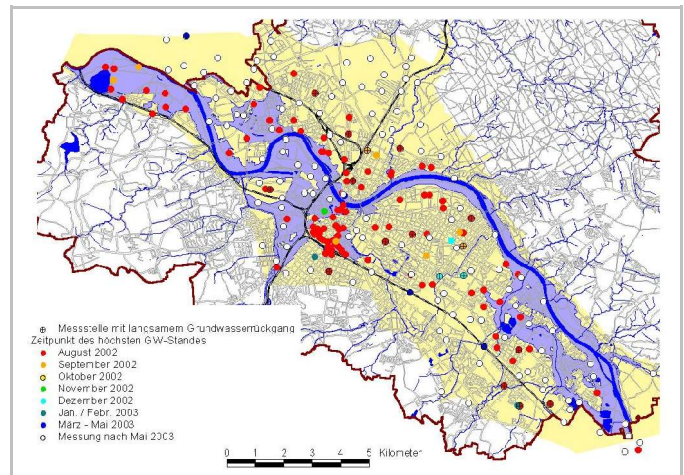


Abb. 12: Zeitpunkt des maximalen Grundwasserstandes nach dem Augusthochwasser 2002 in Dresden (nach GFI 2004)

3.1.2 Ursachen höchster Grundwasserstände

Der Grundwasseranstieg auf ein Niveau, das bis dahin noch nicht gemessen wurde, kann auf folgende Ursachen zurückgeführt werden, die sich in ihrer Wirkung überlagerten und dadurch nicht vollständig voneinander abgrenzbar sind:

- Starkniederschlagsereignis am 12./13.08.2002,
- Überflutung der Weißeritz und südlichen Stadtgewässer am 13.08.2002 im Stadtgebiet von Dresden,
- Rückstau in der Abwasserkanalisation und geflutete Fernwärmeleitungen,
- Überflutung der Elbe mit Höchststand am 17.08.2002 im Stadtgebiet von Dresden und den angrenzenden Gebieten,
- durch aufgefüllte Absenkungstrichter hohe Ausgangswasserstände im Grundwasser,
- Speisung aus dem liegenden Kreide-GWL.

Die Wirkung der einzelnen Ursachen auf den Grundwasserstand widerspiegelt

sich in ganz unterschiedlichen Gangliniencharakteristika, wie sie in Abb. 14 bis Abb. 17 dargestellt sind.

Anhand des zeitlichen Vergleichs zwischen Eintritt des Scheitels des Elbehochwassers und dem Scheitel der Grundwasserganglinie ist erkennbar, welchem Überschwemmungsereignis das Eintreten des Grundwasserhochstandes zuzuordnen ist. Die elbferne Messstelle am Hauptbahnhof (Abb. 14) zeigt eine deutliche Beeinflussung durch das Überflutungsereignis der Weißeritz und durch die Starkniederschläge im Stadtgebiet. Die Beeinflussung durch das Elbehochwasser ist in der elbnäheren Messstelle am Pegel Wallstraße erkennbar (Abb. 15).

Inwieweit die Speisung aus dem liegenden Kreide-GWL als weitere Ursache für den Grundwasseranstieg angesehen werden kann, wird unterschiedlich diskutiert. In einer Messstelle auf dem Gelände des Dresdner Grundwasserforschungszentrum auf der Südhöhe Dresdens wurde mittels Datenlogger in der Zeit vom 12.08. bis 14.08.2002 ein Anstieg des Grundwasserspiegels um ca. 5 m gemessen. Die Messstelle zeigt

auch einen starken Anstieg des Grundwassers am Jahresende 2002 mit ähnlich hohen Wasserständen wie im August. Dies ist ebenfalls auf eine niederschlagsreiche Periode zurückzuführen, die zu einem weiteren Elbehochwasser um die Jahreswende 2002/2003 führte.

Ein ähnliches Verhalten des Grundwassers wird von DGC (2003b) von einer weiteren Kreide-Messstelle im Südwesten der Stadt Dresden beschrieben. In dieser Untersuchung werden an einzelnen Ganglinien die unterschiedlichen Ursachen für den Grundwasseranstieg detailliert beschrieben. Dass diese Speisung auch Auswirkungen auf den quartären GWL hat, kann durch den sprunghaften Anstieg des Grundwasserstandes in der Messstelle an der Russischen Kirche im Zeitraum 13. bis 15.08.2002 vermutet werden, da die Wirkung der Weißeritz-Überschwemmung nicht bis in diesen Bereich anzunehmen ist.

Auf Grundwasserhaushaltlicher Berechnungen im Bereich Coswig (Huhle 1987, zit. in HGN 2003) wird der Anteil des aus dem kretazischen Grundwasserleiter zuströmenden Wassers jedoch nur auf 1 % der durchschnittlichen Grundwasserneubildung geschätzt.

Tendenziell zeigte sich im linkselbischen ein stärkerer Anstieg als im rechtselbischen Stadtgebiet. Im rechtselbischen Gebiet sind die Grundwasserstände außerdem tendenziell später angestiegen. Die Ursachen werden darin gesehen, dass hier die Überflutungen geringflächiger waren. Elbfernere Messstellen zeigen außerdem einen langsameren Rückgang der Grundwasserstände als elbnähere Messstellen. Dies konnte an Messstellen am Botanischen Garten und am Grunauer

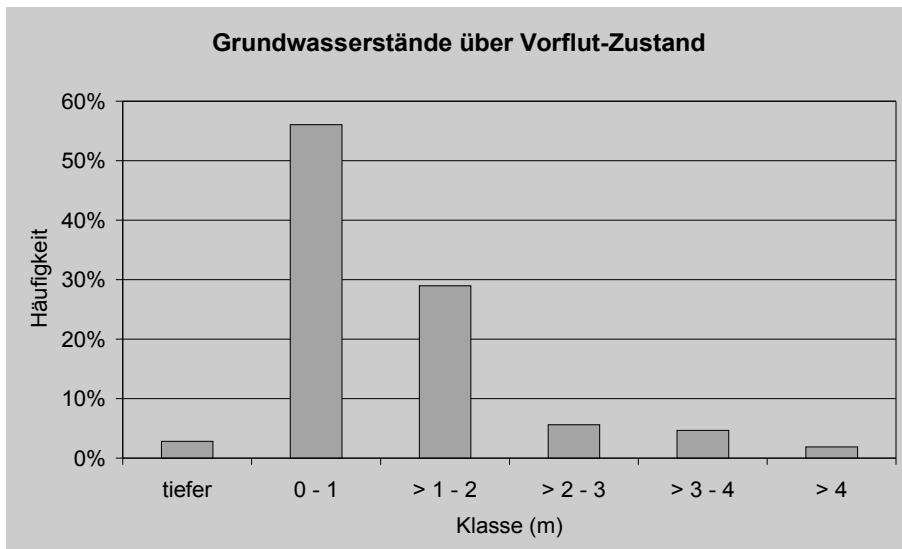


Abb. 13: Verteilung höchster Grundwasserstände, bezogen auf HHW bzw. Vor-Flut-Zustände

Weg festgestellt werden (Abb. 16 und Abb. 17).

Die Auswertung langer Grundwasserstands-Reihen im Raum Coswig – Meißen zeigte, dass die in den vergangenen Jahren weitgehend zum Abschluss gekommene Auffüllung von Absenkungstrichtern ehemaliger Uferfiltratfassungen die Auswirkungen des Hochwassers auf das Grundwasser mit bestimmt (HGN 2003). So hat das Hochwasser, das auf die weitgehend aufgefüllten Absenkungstrichter im Aquifer wirkte, zu einer weiteren Aufhöhung der Grundwasseroberfläche und somit zu den bekannten Grundhochwässern geführt.

Der Verlauf des Grundhochwassers im Stadtgebiet von Dresden lässt sich unter Berücksichtigung der verschiedenen Ursachen wie folgt zusammenfassen (nach Lewis et al. 2004) (s. a. Abb. 18):

- Grundwasserneubildung durch Niederschläge und Infiltration aus den Nebengewässern 12./13.08.2002,
- Infiltration und Anhebung des Grundwasserspiegels durch Hochwasser und Überflutung der Elbe bis ca. 28.08.2002,
- Langfristiger Potenzialausgleich bis in das weitere Hinterland bis Ende 2002,
- Grundwasserneubildung durch Niederschläge Ende 2002 / 1. Quartal 2003,
- Normalisierung bis Ende 2003.

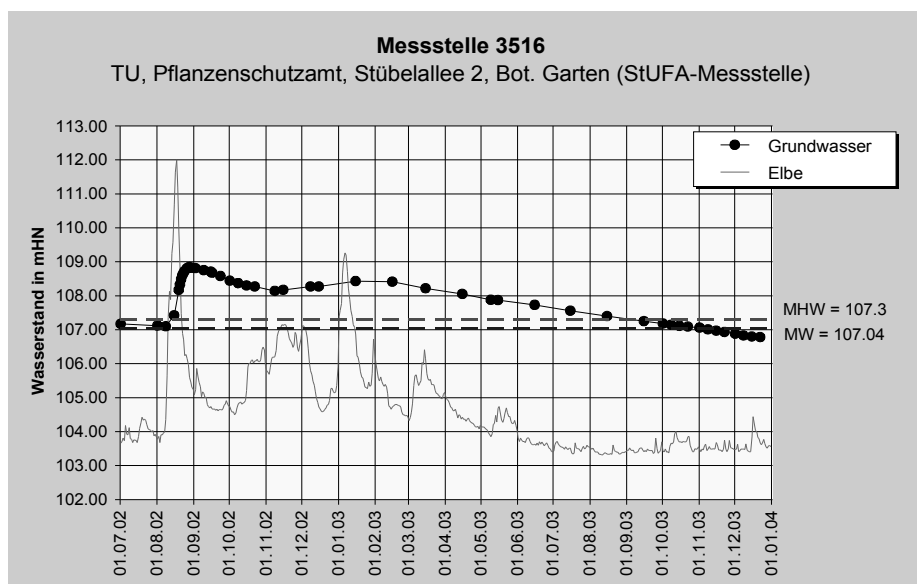
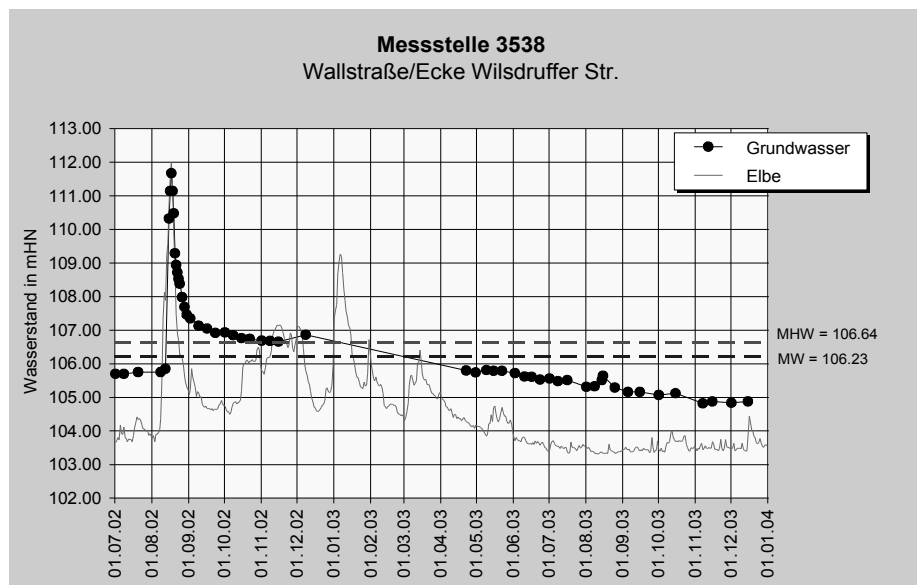
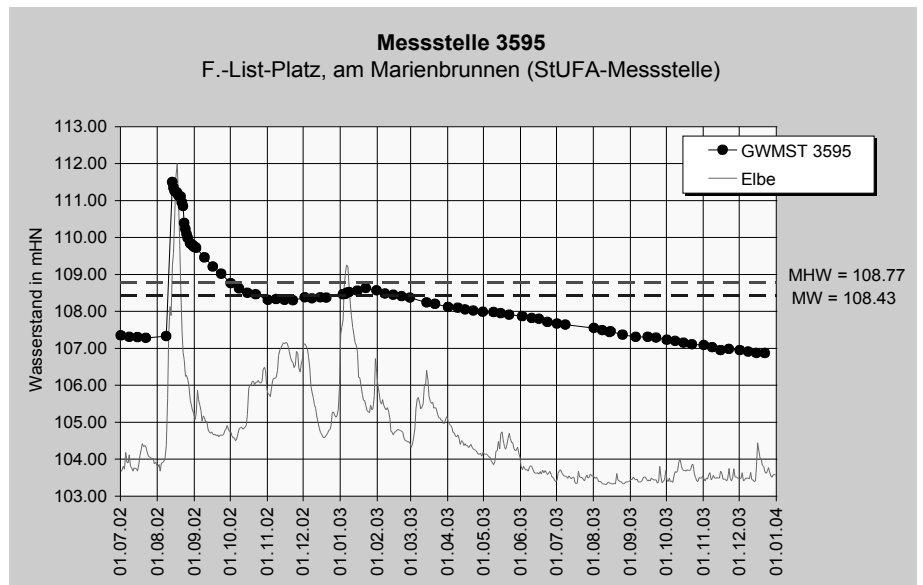
3.1.3 Minimale Grundwasserflurabstände

Die Prozesse des Grundwasseranstieges verliefen durch die sich überlagernden Speisungsprozesse teilweise sehr schnell, so dass ein Messintervall von 1 Tag nicht ausreichte, um die Dynamik und damit auch die höchsten anzunehmenden Wasserstände abzubilden. Außerdem konnten die Messkampagnen während der Hochwasserereignisse erst sukzessive in Gang gesetzt werden, so dass nur an einem geringen Teil der Messstellen der wirkliche Grundwasserhöchststand erfasst wurde (s. DGC 2003a). Aus

Abb. 14: Grundwasserganglinie einer elbfernen Messstelle. Der Scheitel der GW-Ganglinie zeigt die Speisung durch Niederschlag und Überschwemmung der Weißeritz (Quelle: DGC 2003a)

Abb. 15: Grundwasserganglinie einer elbnahen Messstelle. Der Scheitel der GW-Ganglinie zeigt den Einfluss der Elbe auf das Grundwasser. (Quelle: DGC 2003a)

Abb. 16: Grundwasserganglinie einer elbfernen Grundwassermessstelle (Quelle: DGC 2003a)



diesem Grunde wurden die maximalen Wasserstände an den Messstellen, an denen der Scheiteldurchgang nicht erfasst werden konnte, durch Extrapolation ermittelt (GFI 2004). Daraus wurde die Karte der minimalen Grundwasserflurabstände (Anlage 2) erstellt.

Grundlage der Bearbeitung waren Grundwasserstandsdaten an 274 Punkten vom Beginn des Hochwassers am 13.08.2002 bis zum 31.12.2003. Dabei wurden sowohl Messstellen in Elbnähe mit starken Grundwasserstandsschwankungen als auch weiter entfernte mit flachen Anstiegen einbezogen. Die gesamte Datengrundlage setzt sich aus drei Teilabschnitten zusammen. Grundwasserstände vom 13.08.2002 bis zum 08.12.2002 wurden im Auftrag der Landeshauptstadt Dresden und – vorrangig im Zeitraum des Hochwassers – durch unentgeltliche Hilfe verschiedener Ingenieurbüros ermittelt. Die Daten des mittleren Datenbereichs (Dezember

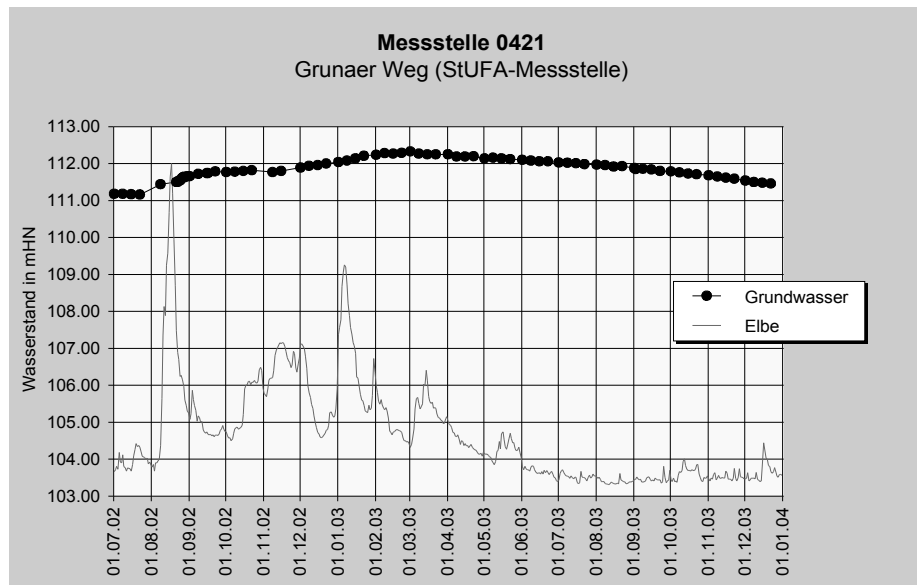


Abb. 17: Ganglinie der elbfernen Grundwasser-messstelle Grunaer Weg (Quelle: DGC 2003a)

Abb. 18: Grundwasserdynamik, beeinflusst durch Vorfluter und Neubildung im Hinterland, am Beispiel des Seegrabens bei Radebeul (nach HGN 2003)

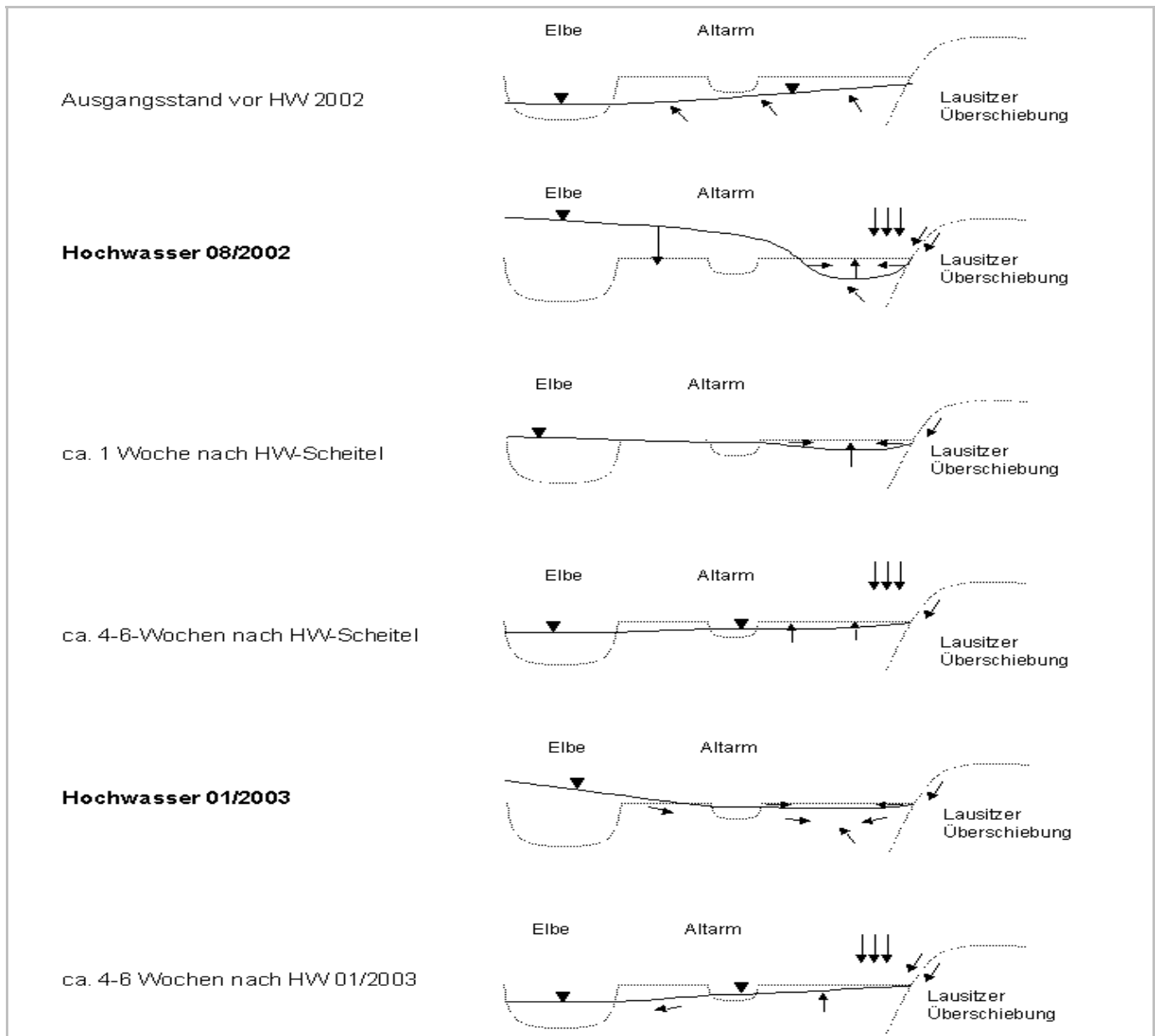


Tabelle 3: Messungen der Grundwasserstände nach dem Auguthochwasser 2002

Zeitraum	Anzahl der Messstellen	Kleinste Messintervall	Datenquelle
13.08.2002 – 08.12.2002	157	täglich	DGC (2003a)
01.12.2002 – 30.09.2003	24	8-täglich	StUFA Rb (2004)
01.07.2003 – 31.12.2003	242	monatlich	UBV/DGC/GFI (2004a)

2002 bis 30.09.2003) stammen vom Staatlichen Umweltfachamt Radebeul, Ref. Grundwasser. Für den Zeitraum Juli 2003 bis Ende 2003 wurden die Grundwasserstände im Auftrag der Landeshauptstadt Dresden ermittelt und dem Projekt zur Verfügung gestellt (s. Tabelle 3). Nur wenige der Ganglinien zeigen den realen Höchststand. In 7 der 274 Messstellen sind Datenlogger eingebaut, wovon 4 den genauen Gang des Grundhochwassers widerspiegeln.

Nach der Einteilung der Grundwasserstandsdaten in verschiedene Ganglinientypen zeigte sich, dass etwa die Hälfte der Ganglinien auf Grund ihrer Unvollständigkeit nicht zur Bewertung der Grundwasserhöchststände herangezogen werden konnte. Insgesamt wurden an 30 Messstellen (11 % der Daten) neue Grundwasserhöchststände ermittelt.

Je nach Anstieg der Ganglinien ergaben sich Differenzen von 0,07 ... 3,16 m. Die höchste Differenz mit 3,16 m trat am Schlossbrunnen Br. 2 auf. Auf Grund der durch Absenkungsmaßnahmen beeinflussten Verhältnisse ist dieser Wert jedoch nicht repräsentativ. Die meisten Abweichungen (45 %) der extrapolierten Grundwasserhöchststände zu den gemessenen lagen zwischen 0,25 und 0,5 m. Die Differenzen sind in Abb. 19 als Differenzen zwischen gemessenen und extrapolierten maximalen Grundwasserständen dargestellt. Eine Verteilung der Wasserstandsdifferenzen ist in Abb. 20 dargestellt.

Für die Messstellen, an denen keine ergänzenden Aussagen über Grundwasserhöchststände möglich waren, wurde - resultierend aus der Verteilung der Differenzen (Abb. 20) - zur Ausweisung der höchsten erreichten Wasserstände auf den höchsten gemessenen Wasserstand ein Sicherheitsaufschlag von 0,30 m gegeben.

Im Ergebnis der Ganglinienanalysen stellten sich zwei Schwerpunktgebiete heraus. Im Altstadtbereich wurden die höchsten Abweichungen festgestellt. Dies resultiert aus teilweise extrem großen Gradienten des Anstiegs. Im Ortsamt Leuben wurden Grundwasserhöchststände auf Grund des groben Messrhythmus unterschätzt. Hier treten die Differenzen vor allem dadurch auf, dass erst nach Rückgang des Elbe-Hochwassers die Messungen aufgenommen wurden.

3.1.4 Gefahrenpotenziale

Ausgehend von den Grundwasserflurabständen, die sich im Zeitraum August 2002 bis Dezember 2003 in Dresden eingestellt haben, wurden im Rahmen des Projektes Grundlagen für eine Methodik gelegt, die es gestattet, für den unterirdischen Raum Gefahrenpotenziale auszuweisen (Sommer 2004).

Dazu wurde das „Schweizer Modell“ der Hochwasser-Schadenspotenziale (IKSR 2002) für den unterirdischen Raum modifiziert. Die Bewertung der unterirdischen Gefahrenpotenziale beruht auf einer Matrix aus Intensität und Dauer des Grundhochwassers (Abb. 21). Dahinter steht die Überlegung, dass Grundwasser im Hochwasserfall sowohl durch seine Höhe (Grundwasserflurabstand) als auch durch die Geschwindigkeit des möglichen Schadenseintritts (maximale Anstiegsrate) gefahrenwirksam ist. Auf Grund der Dynamik des Grundwassers und der zur Verfügung stehenden Daten wurden die Gefahrenstufen als Funktion

aus Intensität und Dauer des Grundhochwassers ermittelt. Die Methodik hat gegenüber der Betrachtung der minimalen Flurabstände den Vorteil, dass mit den Werten der maximalen Anstiegsrate und der Dauer des Grundhochwassers dessen zeitliche Komponente Berücksichtigung findet.

Intensität

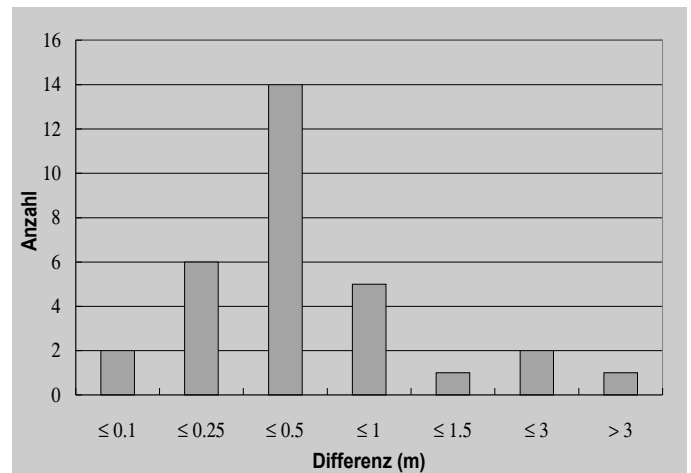
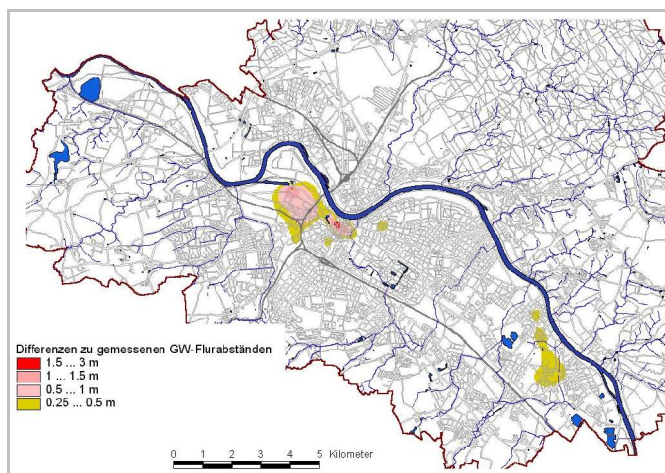
Die schadenswirksame Intensität von Grundhochwasser wird als eine Funktion aus höchsten Wasserständen bzw. minimalen Grundwasserflurabständen und Geschwindigkeit des Anstiegs des Grundwassers angenommen (Abb. 22). Dahinter steht die Überlegung, dass Grundwasser im Hochwasserfall sowohl durch seine Höhe (Grundwasserflurabstand) als auch durch die Geschwindigkeit des möglichen Schadenseintritts (maximale Anstiegsrate) gefahrenwirksam ist. Die Intensität ergibt sich somit aus der Beziehung:

$$I = \frac{\tan \alpha_{\max}}{GWFA_{\min}}$$

$\tan \alpha_{\max}$... maximale Anstiegsrate des GW (m/d)
 $GWFA_{\min}$... minimaler Grundwasserflurabstand (m)
 I ... Intensität (1/d)

Abb. 19: Differenzen zwischen gemessenen und extrapolierten Grundwasserhöchstständen

Abb. 20: Verteilung der Differenzen zwischen gemessenen und extrapolierten Grundwasserhöchstständen



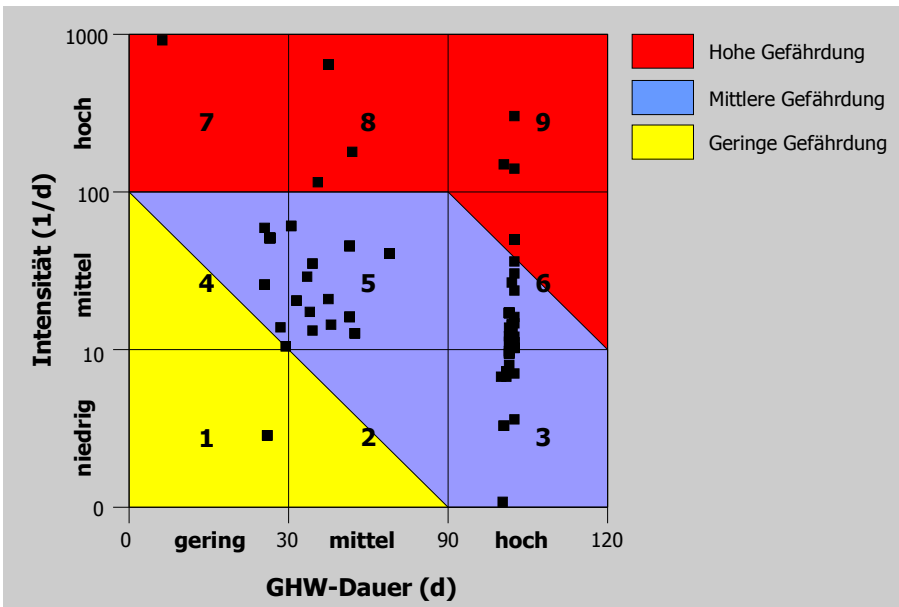


Abb. 21: Zuordnung der Messstellen in Gefahrenklassen für unterirdische Gefahrenpotenziale

Dauer des Grundhochwassers

Für Grundwasserganglinien gibt es keine, in dem Maße wie für das Oberflächenwasser, statistisch abgesicherten Wiederkehrintervalle und damit Wahrscheinlichkeiten. Deshalb wurde mit der „Grundhochwasser-Dauer“ ein analoges Kriterium für die Gefahrenbeurteilung verwendet. Die Dauer von Grundhochwasser kann einen entscheidenden Einfluss auf unterirdische Bausubstanz haben.

Als Grundhochwasser werden dabei die Wasserstände definiert, die über dem mittleren höchsten Grundwasserstand (MHGW) an einer Grundwassermessstelle liegen. Für die Ermittlung der Dauer des Grundhochwassers konnten im Stadtgebiet von Dresden somit mindestens die Messstellen des staatlichen Messnetzes herangezogen werden, wenngleich deren MHGW auf unterschiedlich langen Messreihen beruhen.

Mit dieser Methode konnte im Stadtgebiet von Dresden für insgesamt 29 Messstellen die Intensität und die Dauer des Grundhochwassers direkt bestimmt werden.

Mit der Bestimmung der Gefahrenklassen an Grundwassermessstellen liegt zunächst ein punktueller Wert für die Gefahrenbeurteilung vor. Um den Gefahrenklassen Flächen zuzuordnen, wurden um die Messstellen Thiesen-Polygonen gebildet und den Polygonen die an der jeweiligen Messstelle ermittelte Gefahrenklasse zugeordnet.

Die geologischen Gegebenheiten im Untergrund müssen bei diesem Verfahren unberücksichtigt bleiben. Anderer-

seits lässt sich entsprechend der vorliegenden Punktdaten die Flächeninformation beliebig verdichten.

In Abb. 23 ist die Karte der unterirdischen Gefahrenpotenziale dargestellt. Verglichen mit den Grundwasserflurabstandskarten konnten mit der Gefahrenpotenzialkarte plausible Problemreflexionen erzielt werden. Für den rechtseibischen Teil zwischen Pillnitz und dem Waldschlösschen konnte keine sinnvolle Bewertung vorgenommen werden, da zur Auswertung geeignete Messwerte hier fehlten.

Die Ausweisung der Gefahrenpotenziale anhand gemessener Grundwasserstände stellt einen ersten Versuch dar, grundwasserbedingte, unterirdische Gefahrenpotenziale flächenhaft darzustellen. Die Aussagegenauigkeit für die nach der beschriebenen Methode ausgewiesenen Gefahrenpotenziale ist vor allem durch die räumliche Verteilung der Messstellen, die eine detaillierte

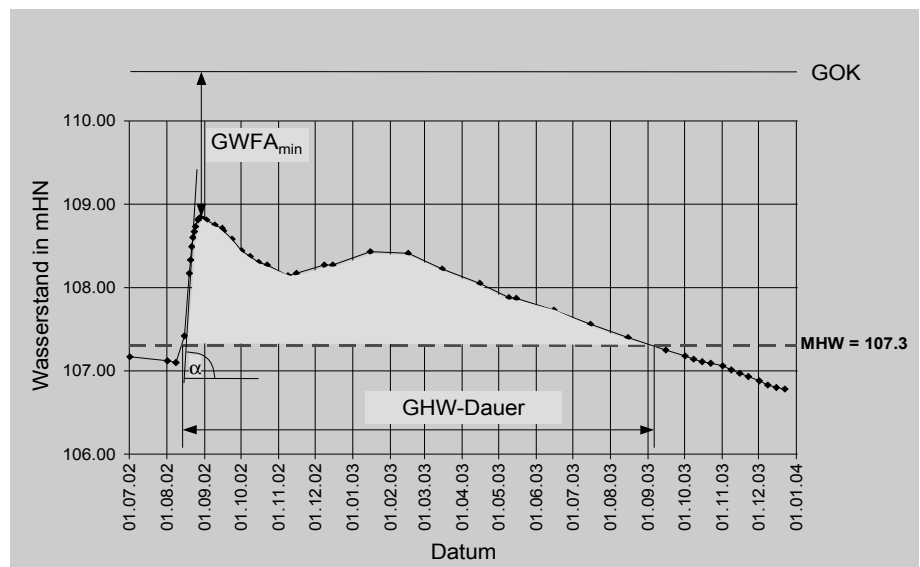
raum-zeitliche Auswertung der Grundwasserstände mit dem Hochwasserereignis erlauben, begrenzt. Eine Verknüpfung dieses methodischen Ansatzes mit den Szenarien-Rechnungen der Grundwassermodellierung kann hier zu räumlich differenzierteren Ergebnissen führen. Außerdem kann diese Methode auch auf berechnete Hochwasserszenarien bezogen werden, so dass das unterirdische Gefahrenpotenzial für unterschiedliche hydrologische Systemzustände ermittelt werden kann.

3.1.5 Unterirdische Speicherung

Die Betrachtung des Durchganges einer Hochwasserwelle, wie sie auch mit der Anwendung zweidimensionaler Strömungsmodellierung abgebildet wird, geht für den Untergrund des fließenden Gewässers in aller Regel von einem dichten Gerinne aus und lässt die Versickerungsleistung der überfluteten Flächen unberücksichtigt (Aigner et al. 2003). Gerade für die anzustrebenden Retentionsflächen (Auen) in den Ober- und Mittelläufen der Flüsse muss der Anteil der Versickerung in den Versickerungsflächen und in den vorflutnahen Speisungsflächen (Einzugsgebietsflächen) auf die Minderung des Abflusses mit berücksichtigt werden. Versickerungsflächen und vorflutnahe Speisungsflächen werden additiv nachfolgend als Versickerungsflächen bezeichnet. Es gilt deshalb, die Versickerungsleistung und damit die Retentionswirkung des Auengrundwasserleiters im Falle der Stadt Dresden aber auch des urbanen Grundwasserleiters abzuschätzen.

Für die Abschätzung des Einflusses der Grundwasserspeicherung auf Q_{max}

Abb. 22: Ermittlung der Parameter für die Gefahrenstufen an einer GW-Ganglinie



und H_{\max} eines Hochwasserereignisses bestehen grundsätzlich drei Herangehensweisen, die in Sommer (2004) näher beschrieben werden.

- Ermittlung der Speicherauffüllung des Grundwasserleiters aus der mittleren Versickerungsleistung von Auflächen (flächenhafte Versickerungsleistung).
- Ermittlung der Speicherauffüllung des Grundwasserleiters aus der zeitbezogenen Auswertung der Grundwasseranstiege (Ganglinienauswertung).
- Ermittlung der Speicherauffüllung durch Volumenbetrachtung nach Ubell (1987).

Stellt man – bei allen Ungenauigkeiten – die errechneten Speichervolumina der drei Berechnungsmethoden gegenüber, zeigen sich durchaus vergleichbare Ergebnisse (Tabelle 4).

Die Methoden der Ganglinienauswertung und der Volumenabschätzung nach U_{BELL} unterschätzen das Speichervolumen, da die Wasserspeicherung in der Aerationzone bei dieser Methode unberücksichtigt bleibt. Der höhere Wert bei der Methode nach U_{BELL} resultiert daraus, dass als Anfangszustand das MW des Grundwassers angenommen wurde, die Grundwasserstände zu Beginn der Flut durch vorangegangene Niederschläge aber über MW gelegen haben.

Insgesamt kann nach diesen Berechnungen von einem mittleren gespeicherten Wasservolumen von ~ 4,5 Mio m³/d für den Zeitraum von 7 Tagen ausgegangen werden. Das entspricht einer Menge von ~ 50 m³/s und somit ~ 1 % der Durchflussmenge der Elbe zum Zeitpunkt des Hochwassers.

3.1.6 Wirkung der Kanalisation

Die ungewollte Abführung von Grundwasser in Schmutz- und Mischwasserkanälen (Infiltration, s. Kap. 2.2.3) kann zur Grundwasserabsenkung im Stadtgebiet führen. Diese Absenkung kann bis zu einem gewissen Niveau durchaus als positiv betrachtet werden, da der Bauwerksdurchfeuchtung und damit einer verstärkten Schimmelbildung und hygienischen Problemen entgegengewirkt

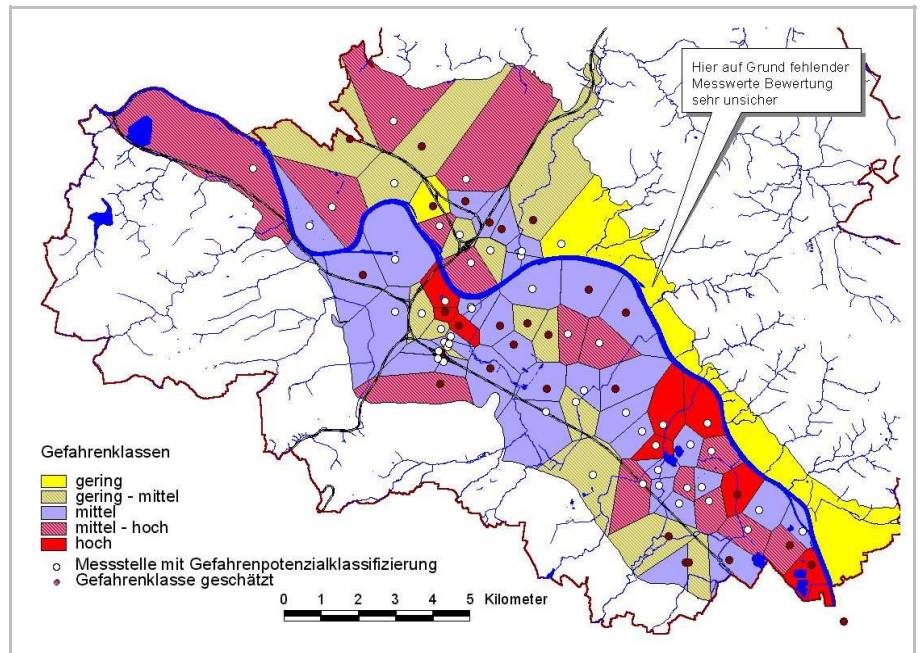


Abb. 23 Karte der unterirdischen Gefahrenpotenziale. Einbezogen sind Messstellen mit einem ausgewiesenen MHW_{GW} und mit Schätzwerten des GWH.

wird. Für die Siedlungsentwässerung kann die Infiltration von Grundwasser in die Kanalisation hingegen ein Problem darstellen, da der Wirkungsgrad der abwassertechnischen Anlagen mit zunehmendem Fremdwasseranteil sinkt und die Kosten der Abwasserableitung und -behandlung ansteigen (Decker 1998; Kroiss & Prendel 1996; Michalska & Pecher 2000). Die möglichen negativen Auswirkungen einer Infiltration von Grundwasser und daraus folgender Absenkung der Grundwasserspiegel wie z. B. die verminderte Speisung oberirdischer Gewässer und die Störung der Vegetation seien hier nur genannt und sind für den Hochwasserfall nicht relevant. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde eine Bilanzierung der Grundwasserinfiltration in die städtische Kanalisation vorgenommen (Krebs et al. 2004). Inwiefern maximale Grundwasserstände durch Drainierung abgemindert werden, ist dabei von besonderem Interesse, da die Kanalisation im Katastrophenfall eine Schutzfunktion übernimmt, der negative Auswirkungen der Grundwasserinfiltration untergeordnet werden müssen.

Der Einfluss des Grundwassers auf Schmutz- und Mischwasserkanäle, d. h. Kanalabschnitte deren Sohlenniveau unter

dem Grundwasserspiegel liegen und damit Kontakt mit dem Grundwasser haben, beträgt bei Mittelwasser ca. 3 - 7 % der betrachteten Kanalnetzlänge. Es handelt sich um elbnahe und sehr tief liegende Sammelkanäle des städtischen Abwassersystems (Abb. 24a). Einen Eindruck der Situation während erhöhter Grundwasserstände vermittelt Abb. 24b. Während des Hochwassers 2002 kamen ca. 55 % des Kanalnetzes mit Grundwasser in Berührung. Dies spiegelt sich auch in der Menge des Zulaufes in die Kläranlage wider, die in Abb. 25 gemeinsam mit dem Anteil der im Grundwasser liegenden Kanalisation aufgetragen ist. Dies verdeutlicht die Wirkung der Kanalisation als Drainageelement.

Aus diesen Untersuchungen und entsprechenden Modellierungen der Abflussanteile in der Kanalisation konnten für die Modellierung der Grundwasserströmung Parameter für die Berücksichtigung der Wirkung der Kanalisation bereitgestellt werden. Als Modell zur Beschreibung der Infiltration von Grundwasser in die Kanalisation wurde dabei der Leakage-Ansatz gewählt. Das Leakage-Modell findet als hydrologischer Ansatz bei der Nachbildung des natürlichen Wasseraustauschs zwischen Aquifer und Oberflächengewässern eine breite Anwendung. Die Infiltration von Grundwasser in Oberflächengewässer ist in dem Modell von der Fläche der Gewässersohle, der Potenzialdifferenz zwischen Gewässer- und Grundwasserspiegellage und einem Leakage-Faktor, der als integraler Parameter die Eigenschaften der Übergangsschicht beschreibt, abhängig (Han 1997). Die

Tabelle 4: Vergleich der Abschätzungen des Speichervolumens im Grundwasserleiter

Methode der Abschätzung	Speichervolumen (m ³ /d)
flächenhafte Versickerung	ca. 5 Mio
Ganglinienauswertung	3,14 Mio
Volumenabschätzung (nach Ubell 1987)	ca. 5,6 Mio

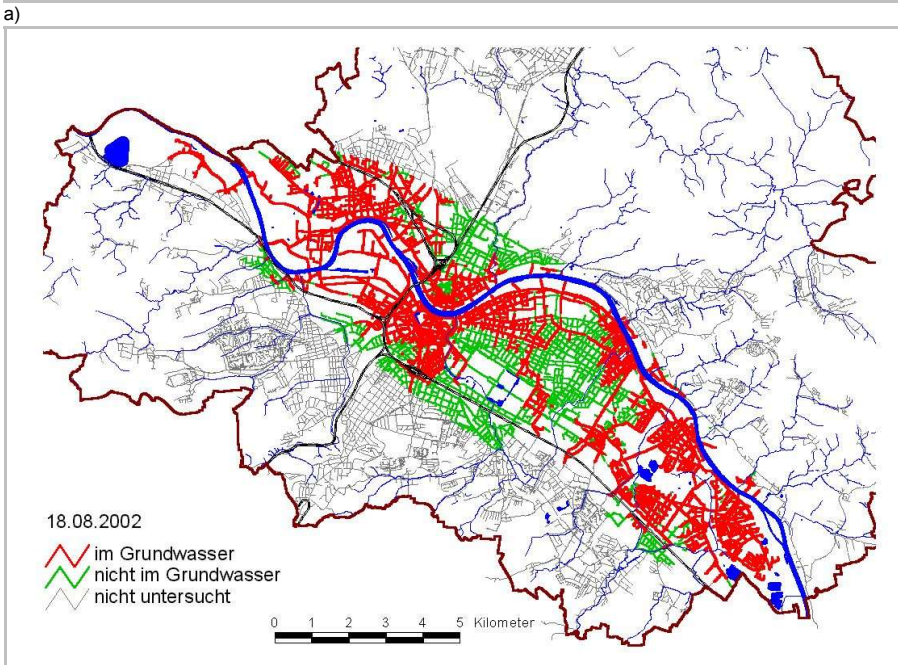
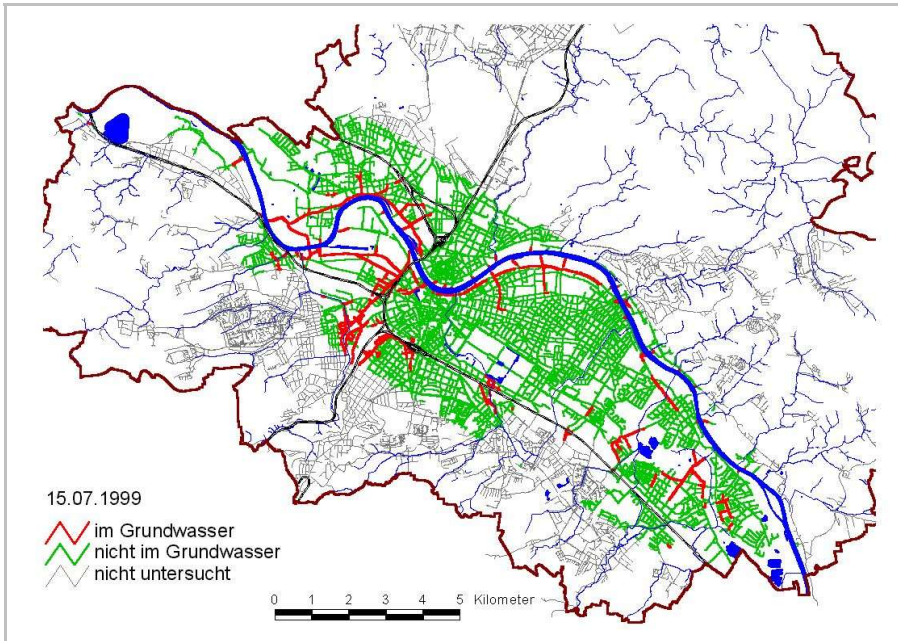


Abb. 24: Einfluss verschiedener Grundwasserhöhen auf die Kanalisation.
a) Mittelwasser; b) Hochwasser

Übertragung des Ansatzes auf Kanalnetze ist jedoch nicht direkt möglich. Nach der Modelltheorie müsste ein Kanal bei Grundwasserständen über Scheitelhöhe unter Vollfüllung stehen bzw. um den Kanal müsste eine Absenkung des Grundwasserstandes auf Kanalwasserstand zu verzeichnen sein. In der Realität ist dem aber nicht so. Dennoch konnte von Gustafsson (2000) festgestellt werden, dass der Modellansatz in modifizierter Form zufriedenstellende Ergebnisse bei der Nachbildung von Infiltrationsprozessen in Kanalnetze erbringt. Die Simulation von Infiltrationsraten kann demnach nach folgender Gleichung erfolgen.

$$Q_{\text{Infiltration,K}} = k_L \cdot A \cdot (h_G - h_{WS})$$

(für $h_{WS} < h_G$)

- $Q_{\text{Infiltration,K}}$... Infiltration in den Kanal (m^3/s)
- A ... durch Grundwasser benetzte Fläche des Kanals (m^2)
- h_{WS} ... Wasserspiegel im Kanal (m. ü. HN)
- h_G ... Grundwasserspiegelhöhe (m. ü. HN)
- k_L ... Leakage-Faktor (s^{-1})

Statt des von Abwasser benetzten Umfangs der Kanalsole wird die von Grundwasser benetzte Oberfläche der Kanalleitung herangezogen.

Zur Verifizierung des kalibrierten Modellansatzes wurden folgende Betrachtungen durchgeführt.

- Bewertung der Größenordnung der Leakage-Faktoren durch Vergleich mit k_f Werten in natürlichen Einzugsgebieten,
- Vergleich simulierter und bilanzierter Infiltrationen von 1995 - 2003 für unterschiedliche Einzugsgebiete.

Die ermittelten Leakage-Faktoren liegen mit $1,36 - 2,96 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ in einer plausiblen Größenordnung. Untersuchungen in einem natürlichen Einzugsgebiet (Mohrlock & Jirka 2001) ergaben Faktoren in der Größenordnung zwischen 10^{-7} und 10^{-4} s^{-1} .

Das Ergebnis der Kalibrierung und Verifizierung ist in Abb. 26 dargestellt. Anhand dieser Abbildung kann festgestellt werden, dass sich das Infiltrationspotenzial der Kanäle infolge der Hochwasserereignisse 2002 nicht maßgeblich verändert hat. Die kalibrierten Leakage-Faktoren der Jahre 1995 - 1999 ermöglichten auch für 2003 eine gute Nachbildung der Infiltration.

Die Drainageleistung der Kanalisation im Betrachtungsgebiet beträgt unter Trockenwetterbedingungen ca. 17.000 bis

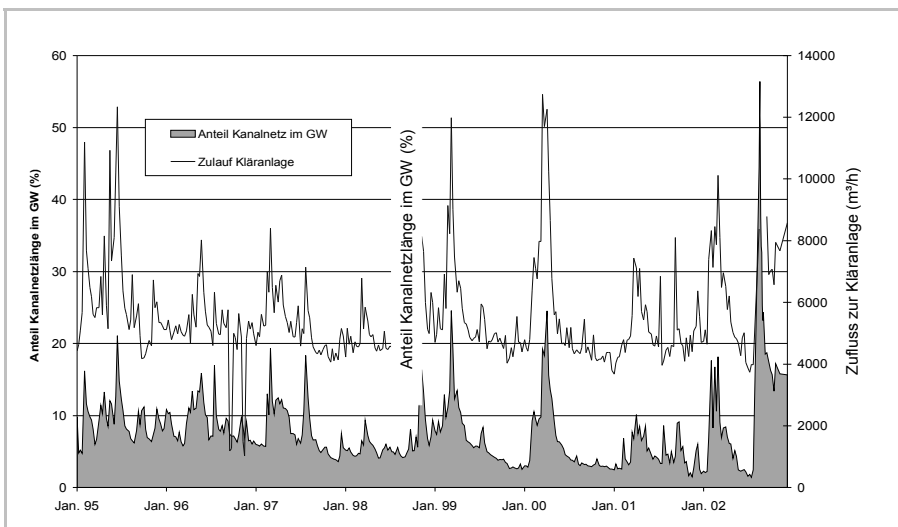


Abb. 25: Anteil der im Betrachtungsgebiet im Grundwasser befindlichen Kanalnetzlänge und Zuflüsse zur Kläranlage Dresden-Kaditz

18.000 m³/h, wobei der reale Wert wahrscheinlich niedriger liegt, da lokale Überlastungen der Kanalisation nicht berücksichtigt werden konnten. Wird der Wert von 18.000 m³/h auf die Fläche des Betrachtungsgebietes von 70 km² bezogen, so ergibt sich bei einem angenommenen Porenvolumen des Grundwasserleiters von ca. 30 % (Mutschmann & Stimmelmayer 2002) eine Absenkung des Grundwasserspiegels von 2 cm. Dies gilt für den Tag mit der maximalen Infiltration. Für den Zeitraum von ca. 16 Tagen (Zeitspanne des HW-Ereignisses im August 2002) kann eine mittlere Infiltration von ca. 9.000 m³/h angenommen werden. Dies entspricht einer Grundwasserabsenkung von ca. 16 cm in 16 Tagen. Vor dem Hintergrund eines schnellen Anstiegs des Grundwasserspiegels um ca. 2-3 m innerhalb von 48 h hat demnach die Kanalisation als Drainage eine nur geringe dämpfende Wirkung auf den Grundwasseranstieg während extremer Hochwasserereignisse.

Konkrete Aussagen zur lokalen Drainagewirkung sind dabei nicht möglich, da diese von Wasserständen in den Kanälen und daher von einer hydrodynamische Berechnung des Kanalnetzes abhängen. Je nach Randbedingungen kann aber davon ausgegangen werden, dass die Abführung von Grundwasser lokal von Bedeutung sein kann. Dies müsste vor dem Hintergrund von strategischen Planungen und der Einbeziehung der Kanalisation zur Abführung von Grundwasser im Bereich von zu schützenden Arealen geklärt werden.

Aussagen zur Langzeitwirkung der Kanalisation als Drainage sind feststellbar. Bilanzierungen der Infiltration von September 2002 bis Februar 2003 (6 Monate) ergeben eine Infiltration von ca. 3000 m³/h und damit eine theoretische Absenkung des Grundwasserspiegels um 0,6 m auf das gesamte Betrachtungsgebiet gerechnet. Hier muss jedoch beachtet werden, dass eine zweite Hochwasserwelle zum Jahreswechsel 2002/2003 zur Erhöhung der Infiltrationsraten beitrug. Wird dieser Einfluss aus den Betrachtungen heraus gerechnet, so ergibt sich eine Grundwasserinfiltration im Betrachtungsgebiet von ca. 1.500 - 2.000 m³/h. Die Abminderung des Grundwasserspiegels würde ent-

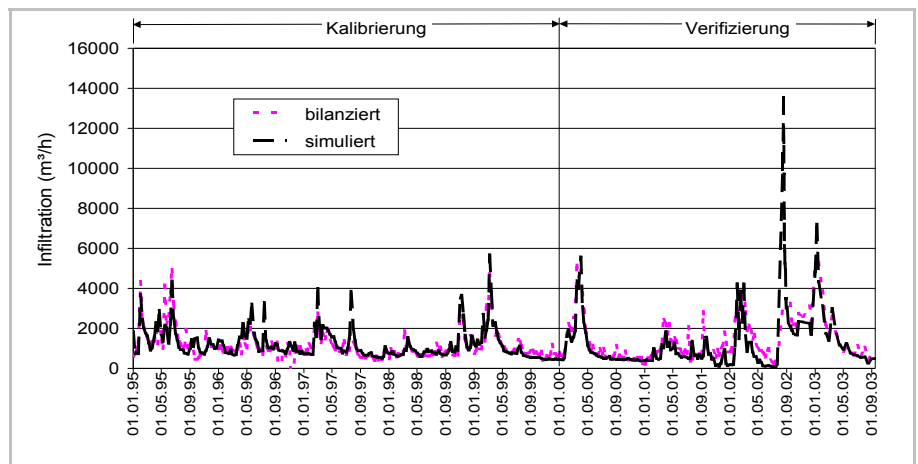


Abb. 26: Simulierte und bilanzierte Infiltrationsraten im Stadtgebiet Dresden anhand von Messungen im Zulauf der Kläranlage Dresden-Kaditz (ZUL VK)

sprechend ca. 0,3 – 0,4 m innerhalb von 6 Monaten ergeben. Lokal kann die Absenkung des Grundwasserspiegels allerdings ein Vielfaches der für 70 km² berechneten Grundwasserabsenkung betragen.

■ 3.2 Modellierung der Grundwasserdynamik

3.2.1 Modellansatz

Ausgangssituation

Die Ertüchtigung des Grundwasserströmungsmodells Dresden war ein zentrales Element des Forschungsprojektes und soll in diesem Abschnitt dargestellt werden. Detaillierte Beschreibungen und weitergehende Szenarienberechnungen finden sich in UBV/DGC/GFI (2004b).

Die Grundwassermodellierung im Raum Dresden kann auf eine relativ lange Tradition zurückblicken. Erste (noch elektro-analoge) Modelle wurden bereits Ende der 60er Jahre zur Lösung von unterirdischen Strömungsproblemen in der Dresdner Innenstadt aufgebaut. Der Aufbau großräumiger Modelle, die zum damaligen Zeitpunkt hauptsächlich der Altlastenerkundung und der Bebauungsplanung dienten, begann etwa 1991/92. Die Abb. 27 gibt einen Überblick über die wesentlichen im Stadtgebiet Dresden vorhandenen Grundwassermodelle.

Für das Grundwassermodell Innenstadt Dresden wurde erstmals eine objektorientierte Datenlogistik aufgebaut, die die Daten unabhängig vom Modellraster konsequent entsprechend ihrer Kategorie verwaltet (Tabelle 5).

Für das Modell Dresden Südost lagen ASCII-Daten in der Form vor, dass Rechtswert, Hochwert und Z ausgegeben werden, wobei Z den jeweiligen Parameter wie die Grundwasserneubildung, k_r -Wert oder Liegendhöhen der Modellschichten repräsentiert.

Darüber hinaus existieren im Stadtgebiet von Dresden weitere Grundwassermodelle, die jedoch vorwiegend zur Lösung von objektspezifischen Aufgaben erarbeitet wurden. Sämtliche Modelle umfassen jeweils lediglich einen Teil des Elbtal-Grundwasserleiters des Dresdner Stadtgebietes. Auch die geologische Auflösung ist in den Modellen unterschiedlich qualifiziert abgebildet.

Problemstellung

Die Defizite der vorhandenen Grundwassermodelle im Stadtgebiet für die mit dem Forschungsprojekt zu lösenden Aufgaben bestanden in folgenden Punkten:

- Die territoriale Ausdehnung umfasst nicht den gesamten grundhochwassergefährdeten Bereich der Elbtalwanne im Stadtgebiet von Dresden → Territoriale Erweiterung.
- Es war keine gemeinsame geologisch/technologische Datenbasis vorhanden → Aufbau eines Konverters, der aus einer einheitlichen Primärdatenbasis für verschiedene Simulatoren modelladäquate Datensätze bereitstellt.
- Die Kopplung Grundwasser - Oberflächenwasser berücksichtigte keine automatische Integration von Überflutungsgebieten → Verbesserung

Tabelle 5: Datenkategorien für das Grundwassermodell

Kategorie	Inhalt
Flächendaten (Polygone)	Modellgebiet, Hydrotope, Standgewässer, Kiestagebaue, Gebäude
Liniendaten	Gewässer, Kanalisation, Strecken
Punktendaten	Bohrungen, Brunnen, Kanalschächte, z. T. teufenorientierter Zuordnung von Parametern

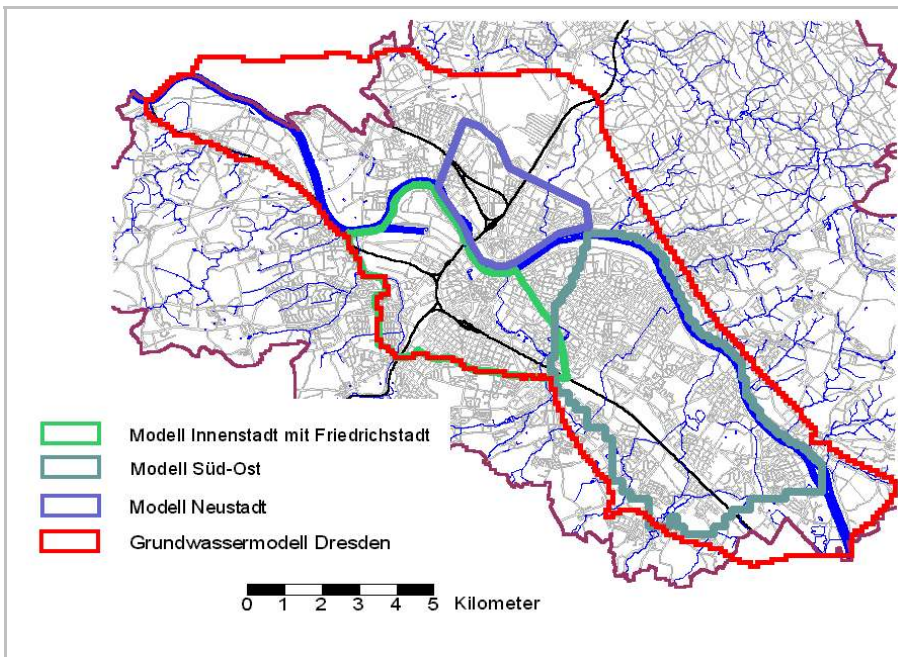


Abb. 27: Grundwassermodelle im Stadtgebiet von Dresden – Grundlagen für das Gesamtmodell „Grundwassermodell Dresden“

der Kopplung mit dem Oberflächenwasser.

- Der bisherige Bemessungsfall war ein aus den Hochwasserereignissen des 19. und 20. Jahrhunderts abgeleitetes Szenario (Hüllkurve) → Implementierung der Erfahrungen des Hochwasserereignisses 08/2002 in Bemessungsszenario (Scheitelpunkt des Hochwasserabflusses, Überflutungsgebiete usw.).
- Keine umfassende Berücksichtigung von „Kurzschlussströmungen“ z. B. über unterirdische Medien, die zu der aus den Ganglinien des Hochwasserereignisses August 2002 (vgl. Kap. 2.5) ersichtlichen sprunghaften Ausbreitung der Grundhochwasserwellen führten → Implementierung der technologischen Schicht (Kanalisation).
- Pre- und Postprocessing entsprach im Wesentlichen dem Standard von 1996 → Anpassung des Pre- und Postprocessing an den aktuellen, auf dem Markt verfügbaren Softwarestandard (ArcView, Spatial Analyst, Visual MODFLOW und GMS in aktueller Version).

Die Verknüpfung der beim Aufbau des Grundwasserströmungsmodells für die Stadt Dresden zum Einsatz kommenden Software-Bausteine ist in Abb. 28 dargestellt. Mit der Entwicklung eines Konverters (Programmpaket GMS) sollte es ermöglicht werden, einen einheitlichen Modelldatenspeicher, der dezentral gepflegt werden kann, aufzubauen.

Außerdem ist eine weitgehende Unabhängigkeit vom später eingesetzten Simulationsprogramm gegeben.

3.2.2 Modellaufbau und -kalibrierung

Auf der Grundlage einer aktualisierten Objektdatenbank der Bohrungen erfolgte der Aufbau des geologischen Strukturmodells im GMS (Groundwater Modelling System). Dieses System bietet die Möglichkeiten, dreidimensionale Modelle aus schichtbezogenen, diskreten Daten aufzubauen und mit geeigneten Werkzeugen zu visualisieren. Um die Bearbeitung und Aktualisierung des geologischen Modells in GMS zu automatisieren und effektiver zu gestalten, um einen Export in verschie-

dene Simulationsprogramme zu ermöglichen und um die Bauwerke automatisiert in das Strömungsmodell überführen zu können, wurde ein Konverter GMSconvert entwickelt (s. Abb. 29).

Das Modellgebiet für die Landeshauptstadt Dresden umfasst die gesamte Ausdehnung des quartären Grundwasserleiters und wurde in horizontaler Richtung in ein Gitternetz von 100 m × 100 m aufgeteilt. Das Modell verfügt bei einer vertikalen Teilung in 9 Modellschichten über insgesamt 108.126 aktive Elemente.

Der Liegendstauer des quartären Grundwasserleiters wird im gesamten Modellgebiet durch den kretazischen Plänermergel gebildet, der im Hangenden bindig zersetzt ist. Die Abb. 30 zeigt eine Schnittdarstellung aus dem hydrogeologischen Strukturmodell.

Hydrogeologisches Strukturmodell

Im Rahmen der Projektbearbeitung war der Kenntnisstand der in den letzten Jahren überarbeiteten Geologischen Karte des Freistaates Sachsen (GK 25) im Modell zu berücksichtigen. Aus einem Pool von insgesamt 2.240 Bohrungen des FIS Hydrogeologie des LfUG wurden dazu auf jeder Elbseite zunächst rund 150 Bohrungen ausgewählt, die als repräsentativ für ein bestimmtes Areal gelten konnten. Darüber hinaus standen die 858 bereits für das hydrogeologische Rahmengauteachten Dresden-Innenstadt (UBV-JP 1996) bearbeiteten Bohrungen zur Verfügung, deren stratigrafische Einordnung an die aktuelle Nomenklatur anzupassen war. Die Arbeiten konnten vor allem durch eine intensive Zusammenarbeit mit dem Referat Hydrogeologie des LfUG auf den aktuellen geologischen Stand gebracht werden.

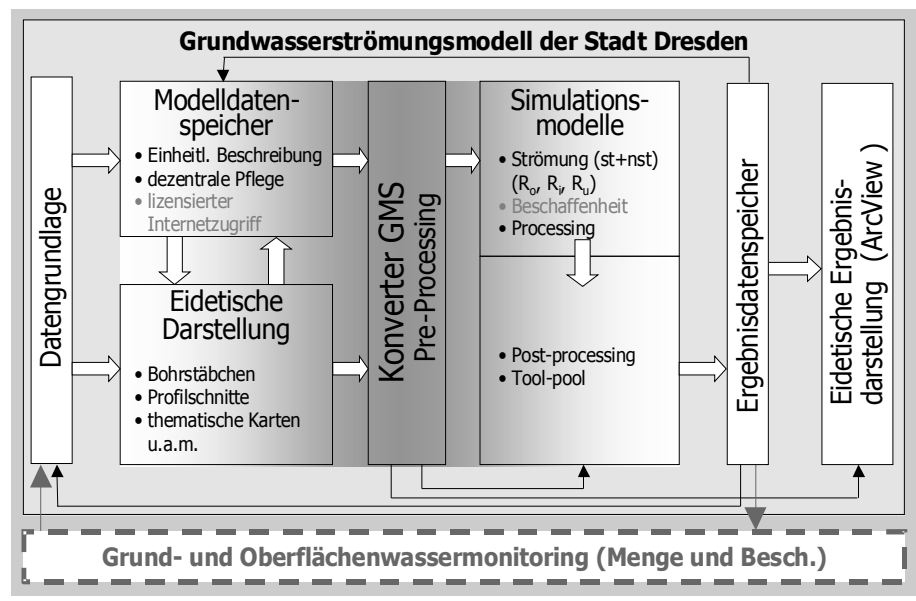


Abb. 28: Verknüpfungen zwischen den Software-Komponenten des Grundwassermodells der Stadt Dresden

Insgesamt wurden zur Modellbildung 1.158 Aufschlüsse bearbeitet.

Die stratigrafischen Komplexe bzw. die aus diesen abgeleiteten Modelleinheiten wurden mit den Schichtgrenzen in den Schichtenverzeichnissen zur Deckung gebracht. Die stratigrafische Einordnung erfolgte grundsätzlich in Wahrung der der Neukartierung zugrunde liegenden geologischen Vorstellungen. Damit entspricht das Modell bezüglich der Quartärgeologie dem neuesten geologischen Kenntnisstand.

Auf der Grundlage eines geologischen Normalprofils wurden die Schichten nach Analyse deren räumlicher Verteilung und Abfolge zu neun Modellgrundwasserleitern approximiert (Tabelle 6).

Hydrogeologisches Parametermodell

Ausgehend von der Parameterbelegung eines im Auftrag der Landeshauptstadt Dresden erstellten Grundwassermodells (UBV-JP 1996; UBV-JP 1998) wurden die Durchlässigkeitsbeiwerte auf die Modellschichten des Grundwassermodells übertragen. Außerdem wurden die in Tabelle 9 aufgeführten Pumpversuchsergebnisse zur Zuweisung der Durchlässigkeitsparameter herangezogen.

In das Parametermodell gingen zusätzlich geologisch-genetische Überle-

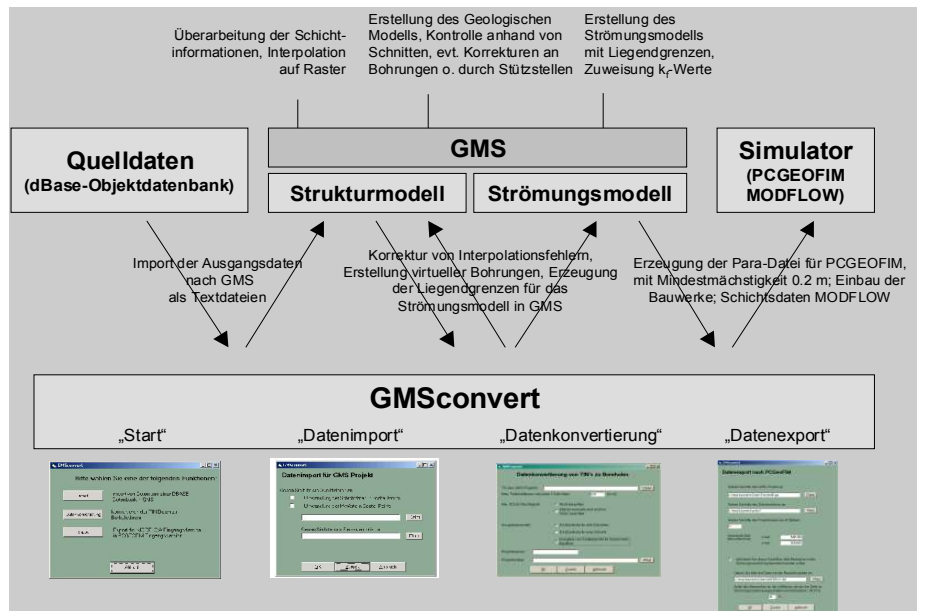
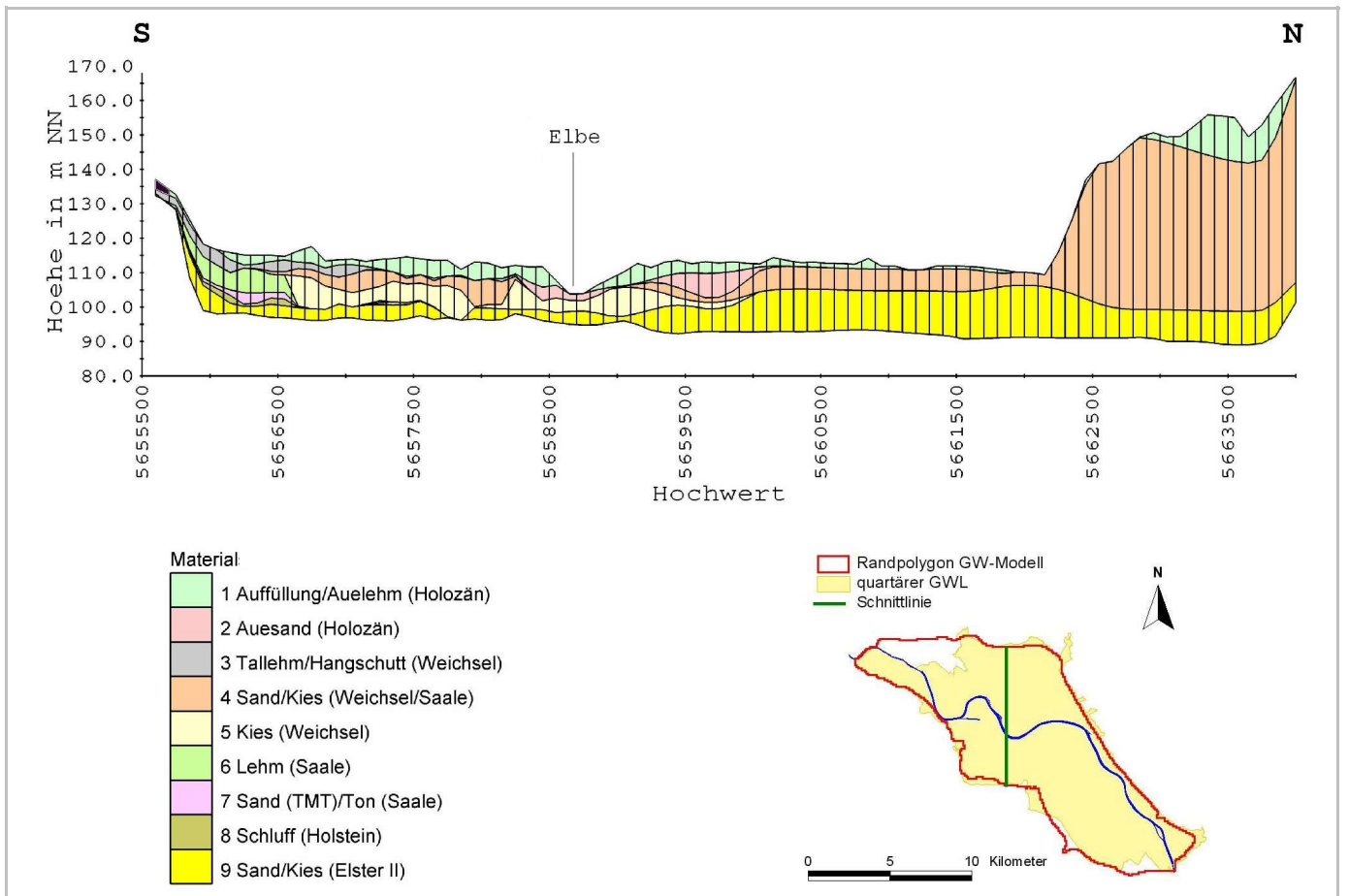


Abb. 29: Schematische Darstellung der Funktionsweise des GSMconvert Dresden mit den einzelnen Bearbeitungsschritten

Abb. 30: Hydrogeologisches Strukturmodell (N-S-Modellschnitt, erzeugt mit GMS)



Geologische Schicht ¹	Modell-Schicht	Petrographie	Stratigraphie	Bemerkung
1	1	Auffüllung	Holozän	
2a	1	Auelehm	Holozän	
2b	1	Torf, Mudden	Holozän	
3	2	Fein- bis Grobsande	Holozän	Auesand
4a	3	Tallehme	Weichselkaltzeit	
4b	3	Hangschutt	Weichselkaltzeit	
5	4	Grob- bis Mittelsand	Weichselkaltzeit	TNT ²
6	4	Fein- bis Grobkies	Weichselkaltzeit	TNT
7	4	Fein- bis Grobkies	Weichselkaltzeit	TNT
8	5	Mittel- bis Grobkies	Weichselkaltzeit	TNT
9 (alt)	6	Lehm	Warthe-Stadium	
9a (neu)	4	Sand		HNT ³
9b (neu)	4	Sand		HNT
10a	4	Fein- bis Mittelkies	Drenthe-Stadium	TMT ⁴
10b	7	Grobsand und Kies	Drenthe-Stadium	TMT
10/1	4	Sand		glazifluviatil
10/2	7	Ton und Schluff		glazilimnisch
11	8	Schluff und Faulschlamm	Holstein-Interstadial	
12	9	Grobsand bis Grobkies	Elster-II-Spätglazial	TMT
13	10	Festgestein (Pläner, vereinz. Rotliegendes)	Kreide, Paläozoikum	

Tabelle 6

Tabelle 9

Modell-schicht	Initialbelegung			Belegung nach Kalibrierung		
	Min	Arith. Mittel	Max	Min	Arith. Mittel	Max
1	$2.00 \cdot 10^{-06}$	$1.66 \cdot 10^{-04}$	$2.00 \cdot 10^{-04}$	$2.00 \cdot 10^{-06}$	$1.66 \cdot 10^{-04}$	$2.00 \cdot 10^{-03}$
2	$3.50 \cdot 10^{-04}$	$4.73 \cdot 10^{-04}$	$5.00 \cdot 10^{-04}$	$3.50 \cdot 10^{-04}$	$4.73 \cdot 10^{-04}$	$5.00 \cdot 10^{-04}$
3	$1.00 \cdot 10^{-05}$	$1.00 \cdot 10^{-05}$	$1.00 \cdot 10^{-05}$	$1.00 \cdot 10^{-05}$	$1.00 \cdot 10^{-05}$	$1.00 \cdot 10^{-05}$
4	$9.00 \cdot 10^{-04}$	$1.23 \cdot 10^{-03}$	$1.90 \cdot 10^{-03}$	$1.20 \cdot 10^{-04}$	$1.20 \cdot 10^{-03}$	$5.90 \cdot 10^{-03}$
5	$8.00 \cdot 10^{-04}$	$1.51 \cdot 10^{-03}$	$8.40 \cdot 10^{-03}$	$1.00 \cdot 10^{-04}$	$1.87 \cdot 10^{-03}$	$2.94 \cdot 10^{-03}$
6	$1.00 \cdot 10^{-05}$	$1.50 \cdot 10^{-05}$	$2.10 \cdot 10^{-05}$	$1.00 \cdot 10^{-05}$	$1.50 \cdot 10^{-05}$	$2.10 \cdot 10^{-05}$
7	$2.00 \cdot 10^{-06}$	$3.64 \cdot 10^{-04}$	$5.00 \cdot 10^{-04}$	$2.00 \cdot 10^{-06}$	$3.64 \cdot 10^{-04}$	$5.00 \cdot 10^{-04}$
8	$2.00 \cdot 10^{-05}$	$2.00 \cdot 10^{-05}$	$2.00 \cdot 10^{-05}$	$2.00 \cdot 10^{-05}$	$2.00 \cdot 10^{-05}$	$2.00 \cdot 10^{-05}$
9	$6.30 \cdot 10^{-04}$	$2.51 \cdot 10^{-03}$	$5.40 \cdot 10^{-03}$	$2.50 \cdot 10^{-04}$	$2.63 \cdot 10^{-03}$	$5.40 \cdot 10^{-03}$

Ort	K _r -Wert ¹ (n·10 ⁻³ m/s)	T-Wert ² (n·10 ⁻³ m ² /s)	Bemerkung
Hotel Dresdner Hof	1,1	10,5	jetzt Hilton
Semperoper	1,3	9,9	
Polizei-präsidium	1,4	17,0	1981, ET=18 m
Kulturpalast	1,6	22,7	1981
Arnhold-Bad	1,5	18,0	1977, ungenaue Werte
ehemaliges Centrum-warenhause	< 0,1 bis 2,5	0,2 bis 22,3	
Ammonhof	0,6 bis 0,9	4,8 bis 7,8	1995, n _e =0,25
Rosenstraße Br. 3, Br. 4	1,5 bis 1,7	3,8 bis 6,5	1991
Rosenstraße Br. 5, Br. 6	< 0,1	< 0,1 ¹	1991
Sächsischer Landtag	1,7	20,4	1995

Tabelle 7

Tabelle 8

Randbedingung	Erläuterung
Grundwasserneubildung	Berechnet durch LfUG nach der klimatischen Wasserbilanz, Wertebereich von 0 ... 244 mm/a
Zufluss aus Hangbereichen	Basiswert: 0,032 m ³ /min/Element angepasst durch Kalibrierung: 0 ... 0,1 m ³ /min/Element
nordwestl. und südöstlicher Modellrand	Randbedingung 1. Art (konstante Spiegelhöhe) auf der Basis der Messwerte

Tabelle 6: Modellschichten

- Gemäß geologischem Normalprofil
- Tiefere Niederterrasse (hochweichselkaltzeitlich)
- Höhere Niederterrasse (frühweichselkaltzeitlich)
- Tiefere Mittelterrasse (spätelsterkaltzeitlich,frühsaalekaltzeitlich)

Tabelle 7: Zusammenstellung von Pumpversuchsergebnissen im Modellgebiet nach HGN (1986), UBV-JP (1996) u.a.

- Originalangaben einheitlich auf eine Stelle nach dem Komma gerundet
- Angabe repräsentiert nicht die gesamte Mächtigkeit des Grundwasserleiters

Tabelle 8: Unveränderliche Randbedingungen des Grundwassermodells Dresden

Tabelle 9: Belegung des Durchlässigkeitsbeiwerte (Gebirgsdurchlässigkeiten ohne Implementierung der technologischen Schicht) (k_r (m/s)) vor und nach der Kalibrierung

gungen und die Modellkalibrierung ein. Die Tabelle 9 zeigt die Parameterbelegung zu Beginn und zum Abschluss der Modellkalibrierung. Auf Grund der hydrogeologischen Situation im quartären Elbtalgrundwasserleiter waren einige Besonderheiten in der Umsetzung zum Parametermodell zu berücksichtigen. So beinhaltet beispielsweise die Modellschicht 7 Drenthe-stadiale Sande und Kiese sowie den „Bändertons von Albertstadt“. Diese Schichten kommen nicht gleichzeitig vor und wurden deshalb zu einem Modellgrundwasserleiter zusammengefasst. Die Parameterbelegung erfolgt entsprechend der Verbreitungskontur des Bändertons von Albertstadt (Huhle & Grunke 1987, Huhle 1991), indem in diesem die Durchlässigkeit mit $2 \cdot 10^{-6}$ m/s belegt wurde.

Randbedingungen

Die Grundwasserneubildung, der Zustrom aus dem Kreide-Grundwasserleiter (Hangbereiche) und die Zuflüsse über die quer zum Elbtal liegenden nördlichen und südlichen Ränder wurden als zeitlich unveränderliche Randbedingungen eingesetzt (Tabelle 8).

Ein Leakage über den Pläner wurde nicht implementiert, da der Zustrom weniger 10 % der GWN beträgt und in der räumlichen Differenzierung nicht quantifizierbar ist. Zu diesen unveränderlichen Randbedingungen sowie den Randbedingungen Gewässer und Entnahmen (Brunnen) mussten zusätzlich die hochwasserbedingten Randbedingungstypen „Überflutungsflächen“, „Kanalisation“ und „Keller von Gebäuden“ eingeführt werden.

Randbedingung

Typ „Überflutungsflächen“

Die im Modellgebiet befindlichen Überflutungsflächen wurden als Randbedingung dritter Art in das Modell implementiert. Für eine Randbedingung dritter Art ist ein Übergangswiderstand zwischen dem in der Randbedingung formulierten Potenzial und dem Modellelement vorzugeben. Als vorzugebende Sohlhöhe wurde die in der Modellgeometrie implementierte Geländeoberkante der Rasterelemente eingeführt. Über die Gleichsetzung des Minimalwasserstandes „HMIN“ in den Randbedingungsstammdaten mit der Sohlhöhe wird sichergestellt, dass bei in den Bewegungsdaten vorgegebenen Potentialen unterhalb der Sohlhöhe das Randbedingungs-element außer Betrieb gesetzt wird, so dass diese Randbedingungen tatsächlich nur bei Überflutung wirken kann (vgl. Abb. 31a).

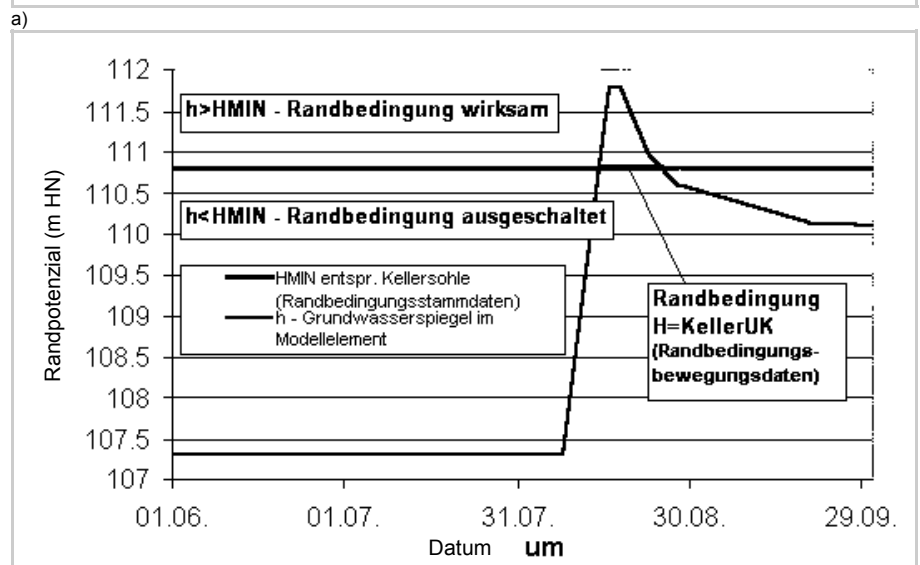
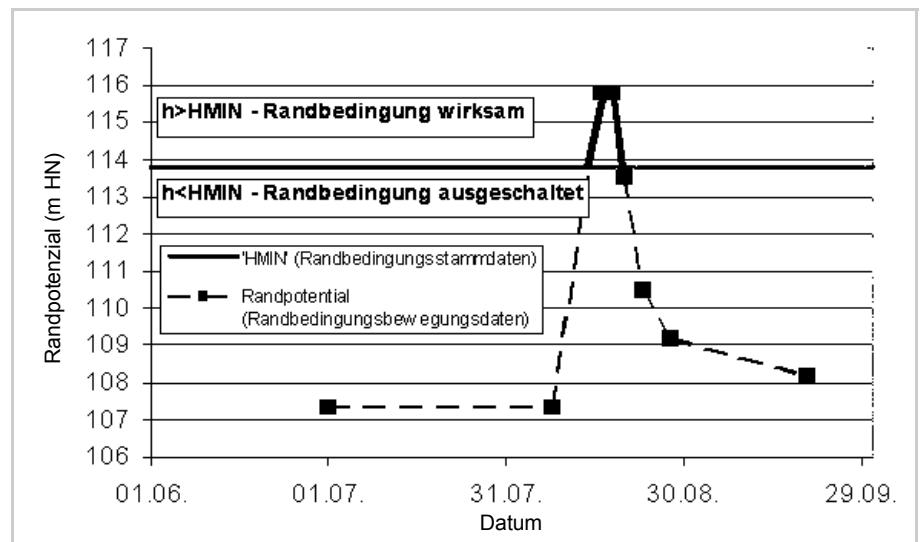


Abb. 31: Schema zur Wirksamkeit der Randbedingung
a) Typ „Überflutungsfläche“ und „Kanal“
b) Typ „Keller“.

Als „HMIN“ wird angesetzt: RB-Typ „Überflutungsfläche“: Geländeoberkante;
RB-Typ „Kanal“: Rohrsohle; RB-Typ „Kanalisation“: Kellersohle.

Randbedingung

Typ „Kanalisation“

Die Implementierung der unterirdischen Medien spielt als Faktor für die hydraulische Leitfähigkeit im Grundwassermodell eine herausragende Rolle. Da diese für die Erächtigung des Grundwassermodells bis zur Oberkante Gelände berücksichtigt werden müssen, ist infolge der hohen Dichte der Kanalisation die Berücksichtigung der einzelnen Medien praktisch nicht möglich. Aus diesem Grunde wurde auf zwei Wegen die Wirkung der Kanalisation in das Modell implementiert.

Zum einen wird als Konzept die summarische Approximation der Wirksamkeit der technogenen Schicht im geohydraulischen Parametermodell verfolgt. Den Ausgangspunkt bildet die im Simulationsprogramm implementierte Abbildung des k_r -Wert-

Tensors und die Bildung von gerichteten und gewichteten Durchlässigkeiten. Die Belegung des k_r -Wertes mit Parametern der Gesteinsdurchlässigkeit und hydraulischen Parametern der unterirdischen Infrastruktur erfolgt für jedes Modellelement (REV) durch Aufteilung desselben in Subelemente, die entsprechend der zu betrachtenden Richtung gewichtet arithmetisch (in der Dimensionsnormalen) bzw. gewichtet reziprok (in Dimensionsrichtung) gemittelt werden. Für den Übergangswiderstand aus der Kanalisation in den Grundwasserleiter wurde ein durch die Arbeitsgruppe des AP 4 ermittelter Leakage-Faktor von $2 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ angesetzt. Der Leakage-Ansatz wurde dabei für die Implementierung in das hydrodynamische Grundwassermodell in folgender Weise vereinfacht:

- Der Wasserstand im Kanal wird vernachlässigt. Als Bezugshöhe wird die Kanalsole angenommen. Die Potenzialdifferenz zum Grundwasserstand wird somit zwischen Grundwasserspiegel und Kanalsole gebildet.
- Statt der benetzten Kanaloberfläche wird bei Grundwassereinfluss (Grundwasserstand über Kanalsole) die gesamte Kanaloberfläche als infiltrationsaktive Fläche angesetzt.
- Das Kanalprofil wird als Kreisprofil mit einem Durchmesser entsprechend der Profilhöhe der Kanäle angenommen.
- Der Leakage-Faktor wird als mittlerer Wert für alle Haltungen genutzt.

Für ausgewählte Bereiche wird außerdem mit der Randbedingung vom Typ „Kanal“ die über unterirdische Medien übertragenen „Kurzschlussströmungen“ zwischen Oberflächenwasser/Überflutungsflächen und dem Grundwasserleiter abgebildet (Abb. 32). Die bereits mit der Grundwasserneubildung implementierte Exfiltration aus dem Rohrnetz ist davon vollkommen separat und zeitunabhängig. Diese getrennte Abbildung ist zulässig, da der aus der gewöhnlichen Exfiltration von Abwasser aus dem Kanalnetz resultierende Input in den Grundwasserleiter mindestens zwei Größenordnungen über der Exfiltrationsrate liegt. Die Implementierung der Kanalisation erfolgte ebenfalls als Randbedingung 3. Art (Typ „Kanal“) (Abb. 31a). Nach dieser Methode wurden zusätzlich 90 km Kanalisation als Randbedingung 3. Art implementiert.

■ Randbedingung Typ „Keller“

Keller von Gebäuden wurden dynamisch als Randbedingung 3. Art implementiert, um den Einfluss des während des Hochwassers erfolgten Kellerauspumpens auf das Grundwasserregime abbilden zu können (s. Abb. 31b).

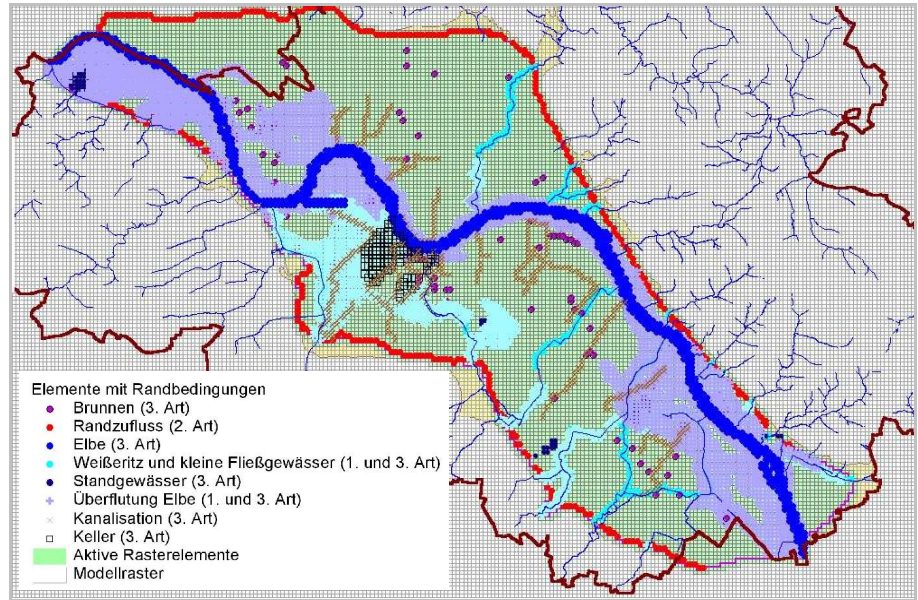


Abb. 32: Dynamische Randbedingungen im Grundwassermodell Dresden

Implementierung von Bebauung und Infrastruktur in das Grundwassermodell

In die Modellgeometrie sind insgesamt 626 im GIS nach der Gründungstiefe differenziert erfasste Gebäude implementiert; darüber hinaus wurden 50.649 über das gesamte Stadtgebiet erfasste Gebäude mit einer pauschalen Gründungstiefe von 3,50 m belegt und in das Modell integriert. Zusätzlich wurden 123 Gebäudekeller zur Nachbildung des Kellerauspumpens während des Hochwasserereignisses als Randbedingung 3. Art (Typ „Keller“) implementiert. Dies erfolgte jedoch nur für eine Auswahl an Gebäuden im beobachteten Altstadtgebiet. Für sämtliche, mit dem GIS Kanal erfassten Daten zur Kanalisation (1.827 km) sind richtungsabhängige Felder für den k_f -Wert erzeugt worden. Zusätzlich wurden 90 km Kanalisation nach der oben beschriebenen Methode als Randbedingung 3. Art implementiert.

Eine Darstellung der wichtigsten Randbedingungen zeigt Abb. 32.

Modellkalibrierung

Die Modellkalibrierung erfolgte in drei Schritten. In einem ersten Schritt erfolgte die Modellkalibrierung mit stationärem Ansatz, die instationäre Kalibrierung auf Mittelwasserverhältnisse wurde dann in einem zweiten Arbeitsschritt durchgeführt. Als dritter Schritt folgte die Kalibrierung auf das Hochwasserereignis 2002.

Die stationäre Kalibrierung des Modells erfolgte gegenüber dem für \pm MW-Verhältnisse zutreffenden, mit 347 Messwerten belegten Hydroisohypsenplan September 2003 (Mittelwasserkalibrierung). Für die instationäre Kalibrierung wurde die „hydrologische Vorgeschichte“ der Elbe einbezogen (Abb. 33a) sowie gegen die zum Zeitpunkt des Hochwasserscheitels am 18.08.2002 herrschenden Grundwasser-

Abb. 33: Als Randbedingung Elbe zur Modellkalibrierung implementierte hydrologische Vorgeschichte
 a) instationäre Kalibrierung Mittelwasser;
 b) instationäre Kalibrierung auf das Hochwasser 2002
 blau: reale Elbeganglinie
 rot: approximierte Modellganglinie

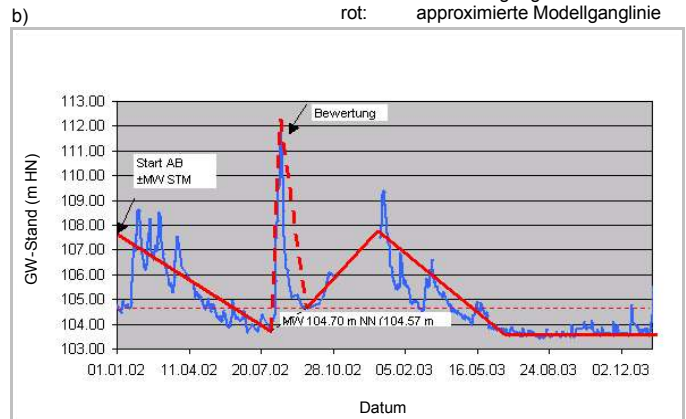
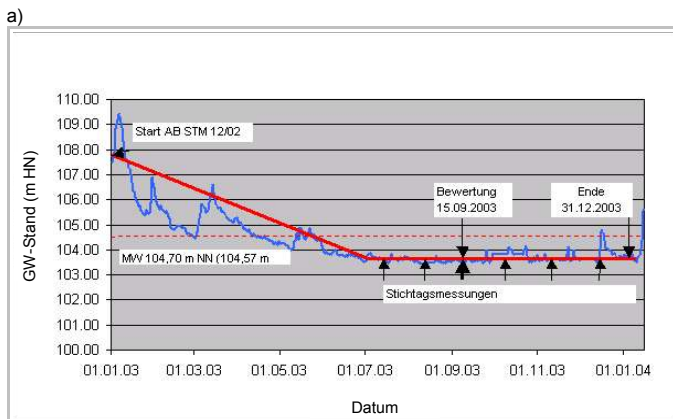


Tabelle 10: Objekte mit aktivem Hochwasserschutz vor Grundwasser (Hochwasserentlastungsbrunnen) (nach DGC 2003)

Objekt	Anzahl Brunnen	Förderrate Modell (m ³ /min)	Eigentümer
Sächsischer Landtag	3	ca. 40,3	SIB (Landeseigentum)
Semperoper	9		SIB (Landeseigentum)
Schloss / Johanneum	4		SIB (Landeseigentum)
Ständehaus	3		SIB (Landeseigentum)
Frauenkirche	1		Stiftung Frauenkirche
Coselpalais	2		Privateigentum
Hotel Bellevue	4	Privateigentum	
Altmarkt-Galerie	1	ca. 3	ECE (Privateigentum)
Seidnitz-Center	3	ca. 2,5	SEC (Privateigentum)

stände (Hochwasserkalibrierung) unterzogen.

Mit der instationären Modellkalibrierung „Hochwasser“ wurde das Modell auf die im Zusammenhang mit diesem Ereignis aufgemessenen Wasserstände und Ganglinien hin kalibriert und gleichzeitig das Realszenario des Hochwasserereignisses August 2002 nachgebildet.

Die Anfangsbedingung wurde auf den 15.12.2001 gelegt. Für diese wurden die \pm MW-Verhältnisse repräsentierenden Wasserstände der Stichtagsmessung 2000 eingelesen, da für 2001 keine umfassende Stichtagsmessung verfügbar war. Die hydrologische Vorgeschichte des Elbwasserstandes wurde zu der in Abb. 33b dargestellten Ganglinie approximiert. Die Bewertung erfolgte für den Zeitpunkt 18.08.2002 (einen Tag nach dem Scheitelpunkt des Hochwasserereignisses).

3.2.3 Modellierungsergebnisse

Szenarienbeschreibung

Ausgehend von den geplanten Schutzmaßnahmen und bestimmten hydrologisch-meteorologischen Situationen wurden Szenarien zusammengestellt, die die Wirkung von Hochwasserereignissen auf das Grundwasser über verschiedene Wirkungspfade abbilden. Als Kriterien für die Szenarien gelten:

- Hydrologisch-Meteorologische Situation:
 - Wasserstand der Elbe,
 - Wasserführung der Gewässer I. und II. Ordnung im Stadtgebiet Dresden,
 - Grundwasserneubildung,
 - Ausgangswasserstand des Grundwassers,
- Bauliche Randbedingungen:
 - Tiefbebauung,
 - Schutzmaßnahmen an der Elbe,
 - Wirkung von Hochwasserentlastungsanlagen für Grundwasser (s. Tabelle 10 und Abb. 35),
 - Schutzmaßnahmen an Weißeritz und Lockwitz (Gew. I. O.),
 - Sicherung der Kanalisation gegen eindringendes Elbewasser.

Als Bemessungshochwasserszenario wurde ein Bemessungswasserstand der Elbe mit einem Scheitel bei 9,24 m (HQ₁₀₀) am Pegel Dresden angesetzt. Dieses vom SMUL für Dresden festge-

setzte „Bemessungshochwasser“ ergab sich aus hydrologischen Berechnungen der Technischen Universität Dresden mit einem Wiederkehrintervall von 100 a. Hierfür wurde aus einem entsprechenden GIS-Polygonthema der Überflutungsfläche der Elbe eine Randbedingung 3. Art erzeugt. Als Ganglinie wurde das August-Hochwasserereignis 2002 verwendet und an der als HW₁₀₀ am Pegel Dresden ermittelten Höhe 9,24 m abgeschnitten. Die räumliche Ausdehnung der Überflutungsfläche unterscheidet sich von der während des August-Hochwassers 2002 real aufgetretenen Kontur, da die für das Bemessungshochwasser konstruierte Überflutungsfläche keinerlei Maßnahmen zur Abwehr der Überflutung (temporäre Eindeichungen, Sandsackbarrieren usw.) berücksichtigt. Für die Lockwitz und die Gewässer II. Ordnung wurde ein HQ₁₀₀, für die Weißeritz ein HQ₂₀₀ angesetzt. Der Ausgangs-Grundwasserstand war außerdem als extrem hoch anzusetzen.

Mit diesem Bemessungshochwasser wurde in einem Szenario die Wirkung des Hochwasserereignisses auf das Grundwasser ohne Schutzmaßnahmen (Szenario D031) und mit den Schutzmaßnahmen (Szenario D032) untersucht. Als wesentliche Schutzmaßnahme gegen Oberflächenwasser in der Innenstadt wurde eine mobile Hochwasserschutzwand Hasenberg – Terrassenufer – Carolabrücke – Bahndamm Friedrichstadt angesetzt. Für den Objektschutz wurden die in Tabelle 10 genannten Hochwasserentlastungsbrunnen in der Innenstadt berücksichtigt.

Zur Prüfung der Ansätze zur Bauleitplanung war vor allem die Tiefbebauung in die Betrachtung einzubeziehen. Dabei wurden vier Fälle unterschieden:

- die geplanten Bauungen sind noch nicht realisiert;
- die geplanten Gebiete sind mit den

genehmigten Geschosstiefen bebaut;

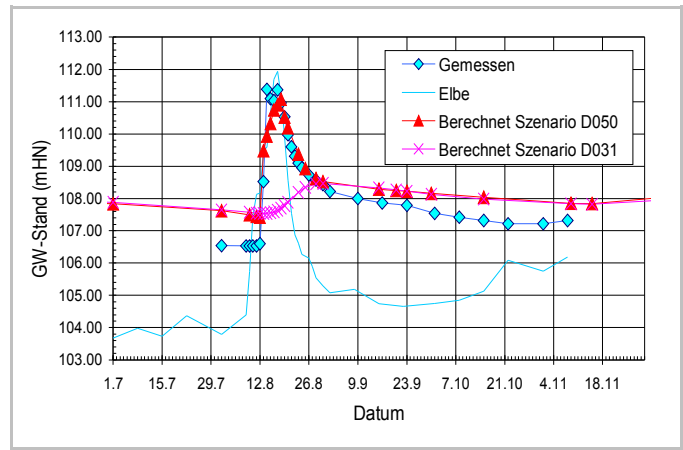
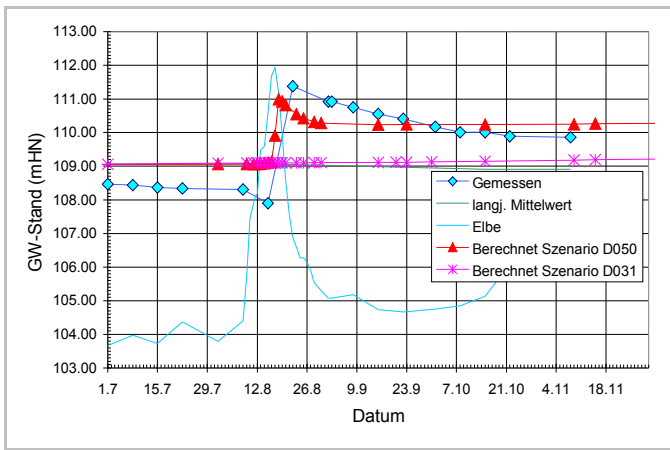
- die geplanten Gebiete sind jeweils um ein Tiefgeschoss reduziert bebaut bzw.
- um ein Tiefgeschoss erweitert bebaut¹.

Die Darstellung und Bewertung der Modellszenarien erfolgt mittels „synoptischer“ Hydroisohypsen- und Grundwasserflurabstandspläne, d. h. es wird der jeweils höchste nach dem Hochwasserereignis aufgetretene Grundwasserstand dokumentiert. Diese Verfahrensweise ist infolge der z. T. sehr hohen zeitlichen Verzögerung des Grundhochwassers gegenüber der dieses erregenden Hochwasserwelle im Vorfluter erforderlich. Hierfür wurde die Postprocessing-Routine HMAX zur Ermittlung der höchsten Grundwasserstände aus den berechneten Ganglinien entwickelt.

Bemessungshochwasser ohne Schutzmaßnahmen (Szenario D031)

Die berechneten Hydroisohypsen der maximalen Grundwasserstände für das Hochwasserereignis und 6 Monate ergeben Grundwasserflurabstände, wie sie in Anlage 6 dargestellt sind. Es zeigt sich eine signifikant geringere Ausdehnung des Grundhochwassers gegenüber dem Ereignis im August 2002, die sich auf einen Streifen von ca. 500 m entlang der Elbe und in den Niederungsgebieten der alten Elbarme, des Osttrageheges und Cossebaude erstreckte. In der Innenstadt überschreitet das vom Grundhochwasser signifikant beeinflusste Gebiet nicht den Dr.-Külz-Ring. Die Ursache für diesen wesentlichen Unterschied zum realen Hochwasser August 2002 besteht in der dem August-Hochwasser 2002 vorausgegangenem und im Bemessungshochwasserszenario nicht angesetzte Überflutung durch Weißeritz, Lockwitzbach und Gewässer II. Ord-

¹ Dies ist nach gültiger Bauleitplanung nur mit Ausnahme genehmigung nach Einzelfallprüfung und entsprechenden hydraulischen Nachweisen möglich.



a)

b)

Abb. 34: Berechnungsergebnisse Bemessungsszenario ohne Schutzmaßnahmen (Szenario D031)

a) Messstelle 11639
(49486565 – Dr.-Külz-Ring)

b) Messstelle 11832
(49484014 – Russische Kirche)

Szenario D050: Nachberechnung August-Hochwasser 2002

nung. Die in Abb. 34 dargestellten Ganglinien dokumentieren diese Aussage.

Während das reale und mit dem Kalibrierszenario nachsimulierte Hochwasserereignis vom August 2002 mit der vorausgehenden Überflutung durch Weißeritz, Lockwitzbach und Gewässer II. Ordnung im Bereich Dr.-Külz-Ring zu einem Peak über 111 m HN führte (Szenario D050 in Abb. 34a, würde bei einem rein Elbe-induzierten (9,24 m) Grundhochwasser in diesem Bereich der erst nach 10 Tagen auftretende Scheitel den Wert 109 m HN nicht überschreiten.

Die in Abb. 34b dargestellte Ganglinie der Messstelle Russische Kirche zeigt für dieses Szenario nur einen sehr verzögerten Anstieg des Grundwasserstandes um wenige Dezimeter, d. h. praktisch keine Reaktion auf das Elbhochwasser.

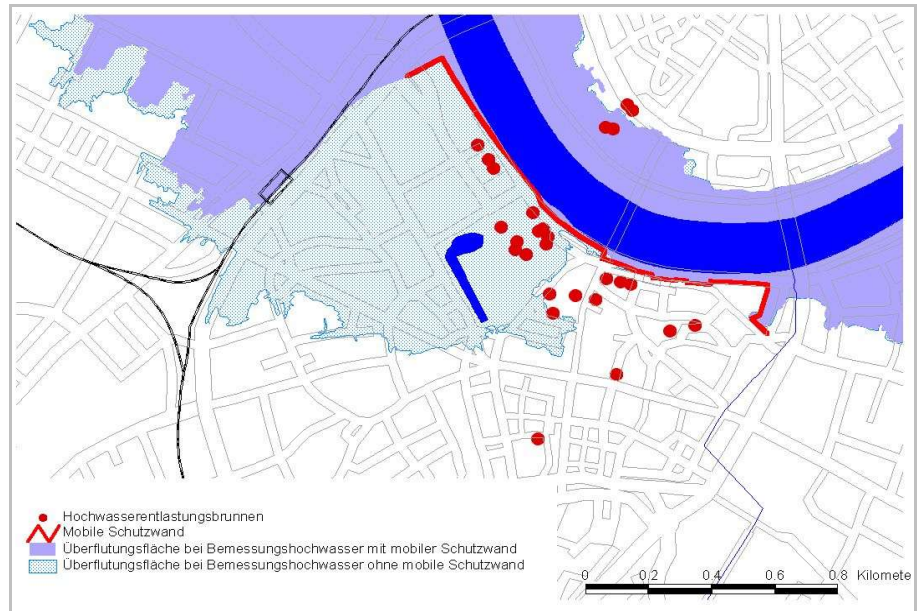


Abb. 35: Innenstadt Dresden – Überflutungsflächen als Randbedingungen mit und ohne Schutzmaßnahmen

Bemessungshochwasser mit Schutzmaßnahmen (Szenario D032)

Die synoptisch für den Zeitraum von einem halben Jahr nach der Hochwasserwelle errechneten Grundwasserflurabstände des Bemessungshochwasserszenarios mit Schutzmaßnahmen sind in Anlage 7 dargestellt. Für den Innenstadtbereich zeigen sich minimale Grundwasserflurabstände von mehr als zwei Metern. Die berechneten Hydroisohypsen der maximalen Grundwasserstände bis 6 Monate nach dem Hochwasserereignis zeigen die Wirksamkeit der zwei zu realisierenden Maßnahmen „Mobile Schutzwand Terrassenufer“ und „Hochwasserentlastungsbrunnen“, die für die Innenstadt zu einer flächenhaften Abminderung des Grundhochwasserscheitels um bis zu

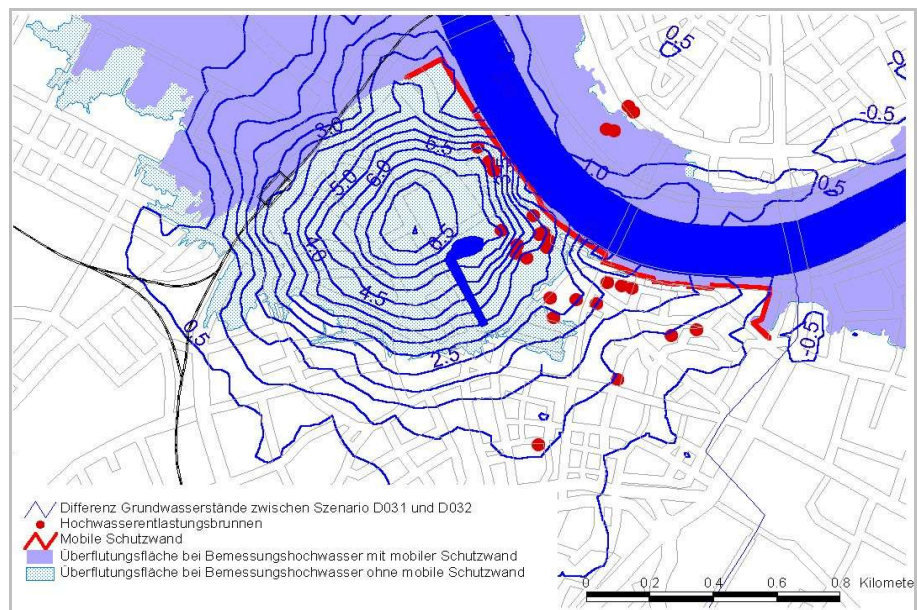


Abb. 36: Differenzenplan der berechneten Grundwasserstände zwischen Szenario mit Schutzmaßnahmen und ohne Schutzmaßnahmen (bei Bemessungshochwasser)

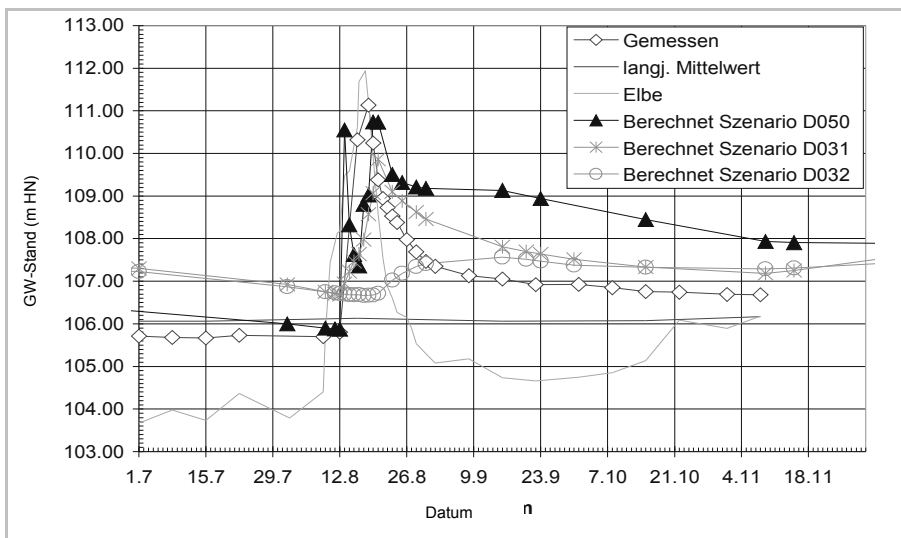


Abb. 37: Grundwasserstandsentwicklung an der Messstelle 3538 (Wallstr./Wilsdruffer Str.) Szenario D032: Bemessungshochwasser mit Schutzmaßnahmen.

zwei Metern und im Bereich des Zwingers bis über 6 m gegenüber dem Szenario ohne Schutzmaßnahmen führt. Die Wirkung dieser Maßnahmen erstreckt sich auf eine Fläche von 3,3 km² im Innenstadtbereich der Altstadt (s. Abb. 36). Die in Abb. 37 dargestellten Grundwasserganglinien verdeutlichen diese Aussage. Während beim Bemessungshochwasser ohne Schutzmaßnahmen (Szenario D031) die Wasserstände im Bereich der Wilsdruffer Straße einen dem realen August-Hochwasser 2002 nahekommenden Scheitelpunkt aufweisen, wird mit den untersuchten komplexen Schutzmaßnahmen eine Dämpfung des Hochwasserscheitels auf Werte unterhalb 108 m HN erreicht (s. Abb. 37, Szenario 032).

Aus den Berechnungen ergibt sich die Schlussfolgerung, dass die Schutzmaßnahmen im Zusammenhang zu realisieren sind und Wirkung sowohl hinsichtlich der oberflächigen Überflutung als auch des Grundhochwassers haben.

3.2.4 Wirkungen von Hochwasserschutzmaßnahmen auf das Grundwasser

Setzt man die Berechnungsergebnisse bezüglich der sich einstellenden Grundwasserstände mit und ohne Schutzmaßnahmen in Bezug zu der in den betroffenen Gebieten vorhandenen Bausubstanz, können die gefährdungsmindernden Wirkungen der Schutzmaßnahmen ermittelt werden.

Ein Verschnitt zwischen der Grundwasser Oberfläche und den Gründungstiefen der Gebäude der Innenstadt zeigt bei dem Szenario Bemessungshochwasser mit Schutzmaßnahmen (D032), dass der überwiegende Teil des Zwingers, die Semperoper und die Hof-

kirche bei diesem Szenario nicht vom Grundhochwasser betroffen sein werden. Mit diesen Berechnungen wird deutlich, dass ein Schutz der historischen Innenstadt von Dresden gegen Überflutung gleichzeitig ein Schutz gegen Grundhochwasser darstellen kann.

Die Abb. 38 stellt eine summarische Gefährdungsbewertung für die untersuchten Szenarien D031 und D032 im Innenstadtbereich (Altstadt) gegenüber, wobei die dargestellten Gefährdungsklassen aus der Differenz zwischen Gründungsordinate und dem maximalen vom Hochwasserereignis induzierten Grundwasserspiegel berechnet wurde.

Diese Ergebnisse wurden durch statistische Aufarbeitung des GIS-Verschnitts der Grundwasser Oberfläche mit den Gründungsordinaten, bezogen auf die Gebäudegrundfläche, berechnet.

Bezogen auf die Gebäudegrundflächen mindern sich die durch die Schutz-

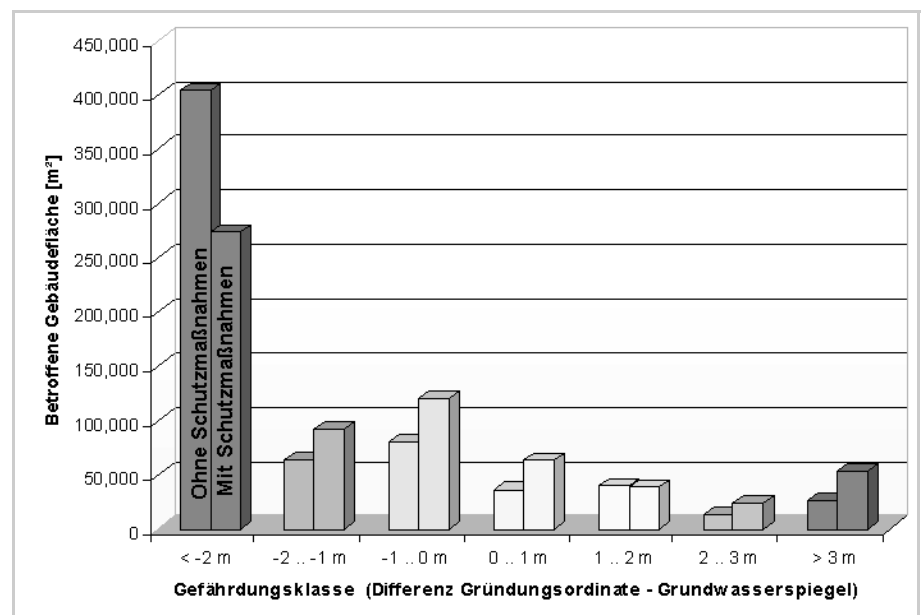
maßnahmen auftretenden Gefährdungsklassen mit negativer Differenz zwischen Gründungsordinate und Grundwasserspiegel im Innenstadtbereich (Altstadt) um 11 %.

Die Berechnungsergebnisse der Szenarien des Bemessungshochwassers sowohl mit als auch ohne Schutzmaßnahmen an der Elbe, jedoch ohne Überflutung der Weißeritz, machen deutlich, dass dem Schutz vor einem erneuten Ausbrechen der Weißeritz bzw. einem Übertritt aus der Friedrichstadt in die Altstadt auch im Hinblick auf die sich einstellenden Grundwasserstände höchste Priorität einzuräumen ist.

Die Berechnungen haben außerdem gezeigt, dass ein effektiver Betrieb der Hochwasserentlastungsbrunnen nur im Verbund der Anlagen möglich ist. Außerdem erzielen die Objektschutzanlagen auch einen flächenhaften Schutz, der sich auf Objekte erstreckt, die nicht unmittelbar mit Hochwasserschutzbrunnen versehen sind.

Auf Grund dieser Ergebnisse wird deshalb die Prüfung einer ähnlichen Verfahrensweise für die Bereiche Schloss Pillnitz, Laubegast, Leuben, Kleinzschachwitz, Sporbitz sowie Ostragehege und Flutrinne vorgeschlagen (Lewis et al. 2004).

Abb. 38: Verteilung der Gefährdungsklassen (Differenz Gründungsordinate und Grundwasserspiegel) nach dem simulierten Hochwasserereignis mit Abwehrmaßnahmen (Szenario D032) und ohne Schutzmaßnahmen (Szenario D031) auf die Gebäudegrundfläche im Innenstadtbereich (Altstadt)



3.2.5 Regenwasserversickerung

Durch die Landeshauptstadt Dresden wurde in Anlehnung ATV-DVWK (2002) ein Praxisratgeber erarbeitet, in dem Grundlagen und praktische Hinweise zur naturnahen Regenwasserbewirtschaftung dargelegt sind (LH DD 2004). Darin wird die Stadtfläche in 5 Gebietstypen eingeteilt, die sich in den Anteilen der Wasserhaushaltskomponenten Verdunstung, (oberirdischer) Abfluss und Grundwasserneubildung (Versickerung) unterscheiden. Für die Überflutungsbereiche im Elbtal ist vor allem der Gebietstyp V relevant, mit mittleren Grundwasserflurabständen von < 2 m. Im Bereich des quartären Tal-Grundwasserleiters, der von Grundhochwasser betroffen war, dominieren im Übrigen die Gebietstypen III und IV. Diese werden charakterisiert durch mittlere Flurabstände von > 2 m und unterscheiden sich voneinander durch den Bedeckungsgrad mit bindigen Deckschichten. Für beide Gebietstypen werden als bevorzugte Maßnahmen zur Eingriffsminimierung bei geeigneter Durchlässigkeit Mulden- und Flächenversickerung bzw. für Gebietstyp III (aue- und tallehmbedeckte Gebiete) „vernetzte Mulden-Rigolen-Elemente mit Ableitung über Versenkungsschacht“ (S. 11) vorgeschlagen. Durch die Hochwasserereignisse 2002 stellte sich die Frage, ob dieses Konzept der naturnahen Regenwasserbewirtschaftung für die Stadt Dresden modifiziert werden muss. Aus ATV-DVWK (2002) ist für die Beurteilung der Möglichkeiten zur Regenwasserbewirtschaftung unter dem Aspekt hochwasserinduzierter Grundhochwässer das Kriterium des Grundwasserflurabstandes das entscheidende. Als weiteres wesentliches Kriterium unter Hochwasserbedingungen ist die Änderung der Grundwasserfließrichtung anzusehen. Beide Kriterien werden im Folgenden betrachtet, wobei in der flächenhaften Auswertung die Gebietstypeneinteilung in der Stadt Dresden unberücksichtigt geblieben ist. Insofern stellen die Ausführungen Ergänzungen zu LH DD (2004) dar.

Für den Grundwasserflurabstand wird in ATV-DVWK (2002) in Bezug auf Versickerungsschächte ausgewiesen, dass der „Abstand zwischen der Oberkante der Filterschicht und dem mittleren höchsten Grundwasserstand i. d. R. 1,5 m nicht unterschreiten darf“ (S. 28). Damit ist auf Grund unterschiedlicher Baugrößen der Versickerungsanlagen kein eindeutiger Bezug zum absoluten Grundwasserflurabstand möglich. Um dennoch Aussagen für die beiden Systeme Mulden-Rigolen und Versickerungs-

schacht treffen zu können und flächenmäßige Darstellung des Kriteriums Grundwasserflurabstand zu ermöglichen, wurde mit der mittleren Bautiefe einer Mulde von 0,5 m und bei Versickerungsschächten von 2 m gerechnet, und der mittlere geringste Grundwasserflurabstand (GWFA_{MHW}) von 2 m für Mulden-Systeme bzw. 3,5 m für Versickerungsschächte als Grenzkriterium angesetzt. Für die Grundwasserfließrichtung wird nach ATV-DVWK (2002) darauf hingewiesen, dass diese und die Fließgeschwindigkeit des Grundwassers „von großer Bedeutung“ sind. Als Maß für die Fließrichtungsänderung kann der Winkel α zwischen den Vektoren der Fließgeschwindigkeiten des Grundwassers zwischen Mittelwasser- und Hochwasserzustand herangezogen werden. Liegt der Winkel im Bereich $90 \leq \alpha < 270$ zeigt dies eine Änderung des Richtungssinns und damit eine Fließrichtungsumkehr an. Für die Landeshauptstadt Dresden wurden für diese Bewertungen die Stichtagsmessungen vom November 2000 und die Messung vom 18.08.2002 herangezogen und daraus die Fließrichtungsänderung ermittelt.

Im Ergebnis beider Kriterien entstand eine Karte, die das Potenzial naturnaher Niederschlagsversickerungen unter Einbeziehung des Hochwassers ausweist (s. Anlage 5).

3.3 Die Auswirkungen des Hochwassers auf die Grundwasserbeschaffenheit

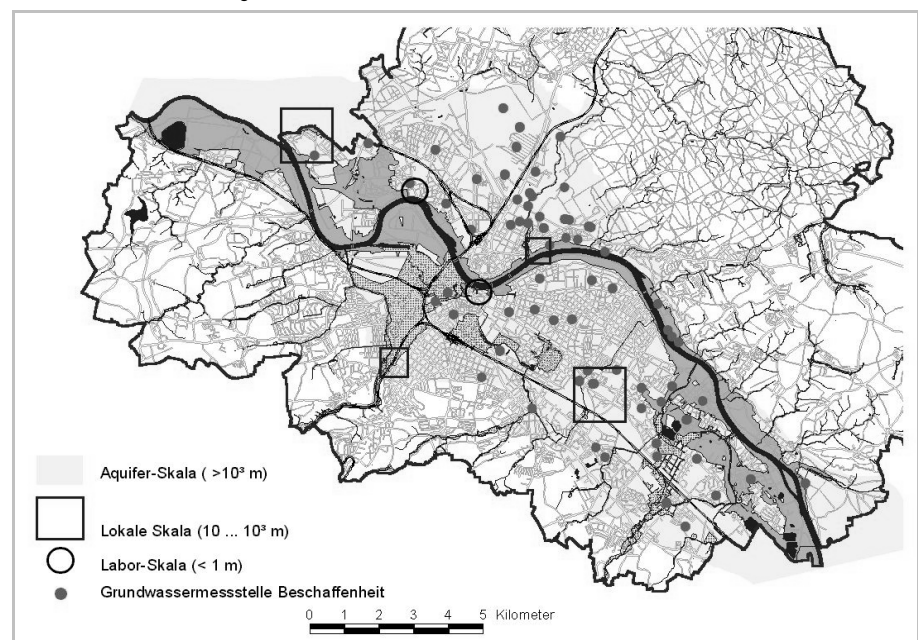
3.3.1 Untersuchungsskalen

Die Untersuchungen zur Grundwasserbeschaffenheit wurden innerhalb des Forschungsprojektes auf drei Skalenebenen durchgeführt, die gleichzeitig auf spezifische Wirkungspfade abzielen, wie sie in Abb. 39 dargestellt sind.

■ Aquifer-Skala

Eine flächendeckende Beprobung des Grundwassers in drei Messkampagnen nach dem Flutereignis (Herbst 2002, Frühjahr 2003, Herbst 2003) hatte die Gesamtbetrachtung der Beschaffenheitsveränderungen im quartären Aquifer Dresdens zum Ziel. Die Aquifer-Skala stellt gleichzeitig die umfassendste Skala der Untersuchungen dar und wurde durch Marre et al. (2004) (Arbeitspaket 2) bearbeitet. Die Untersuchungen geben einen integralen Überblick über die Beschaffenheitsentwicklung des Grundwassers nach dem Hochwasser 2002, um einen möglichen diffusen Eintrag in das Grundwasser ermitteln zu können, unabhängig von den Quellen der Beschaffenheitsveränderungen. In die Auswertungen wurden Ergebnisse vorangegangener, durch die Landeshauptstadt Dresden veranlasster Untersuchungen (LH DD 1992, 1993; Dittrich et al. 1993; Grischek et al. 1996) einbezogen. Damit war es möglich, die Beschaffenheitsveränderungen im Dresdner Tal-Grundwasserleiter in der Folge des Hoch-

Abb. 39: Untersuchungsskalen zu Beschaffenheitsveränderungen im Grundwasser



wassers 2002 in einen größeren zeitlichen Rahmen zu stellen. Die möglichen Auswirkungen von Abfall- und Schlammablagerungen sowie die Wirksamkeit eines effizienten Abfallmanagements im Hochwasserfall war Untersuchungsgegenstand von Bilitewski & Wagner (2004) (Arbeitspaket 3.2) und erstreckte sich ebenfalls auf die gesamte Aquifer-Skala.

Lokale Skala

Lokale Untersuchungen zu punktuellen Einträgen an Altlastenstandorten wurden durch Hüßers et al. (2004) (Arbeitspaket 3.1) vorgenommen. Inhalt war die Recherche der Altlastenstandorte (Punktquellen) in Bezug zum Grundwasserflurabstand vor und nach der Flut, sowie der Daten, die in der Folge der Flut zur Grundwasserbeschaffenheit aufgenommen wurden. Dabei wird von verschiedenen Szenarien der Beschaffenheitsveränderungen durch aufsteigendes Grundwasser an einer Altlast ausgegangen. Die punktuellen Einträge durch undichte Kanalisation waren Gegenstand der Untersuchungen von Krebs et al. (2004) (Arbeitspaket 4). Hier wurden auf der Grundlage von Technikums-Untersuchungen Modellrechnungen zum potenziellen Stoffeintrag unter verschiedenen hydraulischen Bedingungen an konkreten Schadensstandorten vorgenommen. Der lokalen Skala sind die Untersuchungen im Auftrag des StUFA Radebeul zuzuordnen, die die Auswirkungen des Hochwassers auf die Grundwasserbeschaffenheit an Schwerpunkten der Altlastenbehandlung im Amtsbereich des StUFAs zum Inhalt hatten (BGD 2003; M&S 2003).

Laborskala

Exemplarische, standortbezogene Prozess-Untersuchungen im Labormaßstab am Sediment für Aussagen zum Stoffaustausch und zur Stoffumwandlung bei der Exfiltration von Kanalwasser durch defekte Kanalisation (Krebs et al. 2004) stellen die dritte Untersuchungs-Skala dar. Mittels eines dreistufigen Säulenversuches wurden Szenarien des Stoffeintrages in das Grundwasser bei unterschiedlichen hydraulischen Zuständen im Kanal und im Grundwasserleiter simuliert. Die Ergebnisse waren Grundlage für die o.g. Modellrechnungen zum potenziellen Stoffeintrag. Den Labor-Untersuchungen zum Stoffeintrag sind auch die Eluat-Analysen an drei Proben von Flutschlämmen zuzuordnen

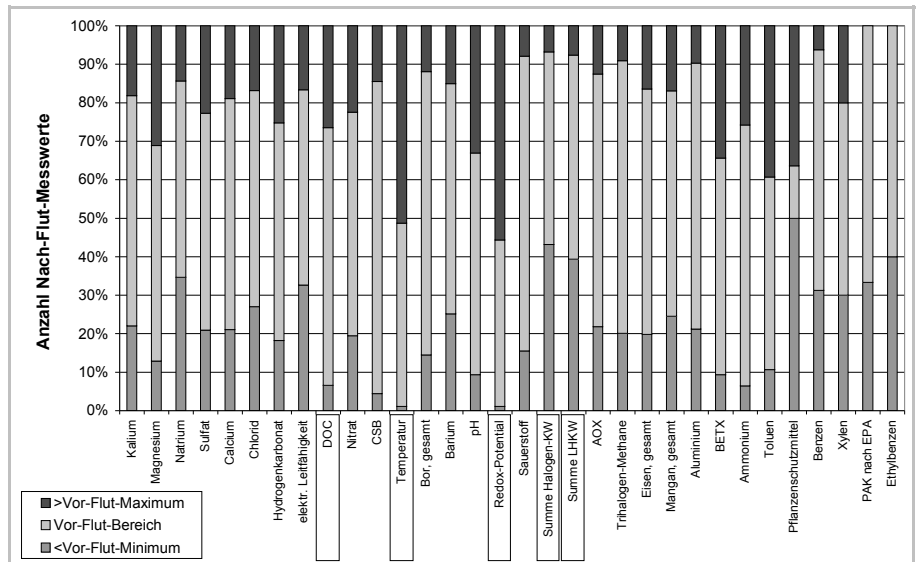


Abb. 41: Alle nach dem Hochwasser gemessenen Werte im Vergleich zum Vor-Flut-Schwankungsbereich an der jeweiligen Messstelle (mit mindestens 5 Vor-Flut-Messungen)

(Bilitewski & Wagner 2004, Arbeitspaket 3.2). Diese wurden in Ergänzung zu den Schlamm-Untersuchungen des LfUG und des UFZ (Geller et al., 2003) durchgeführt.

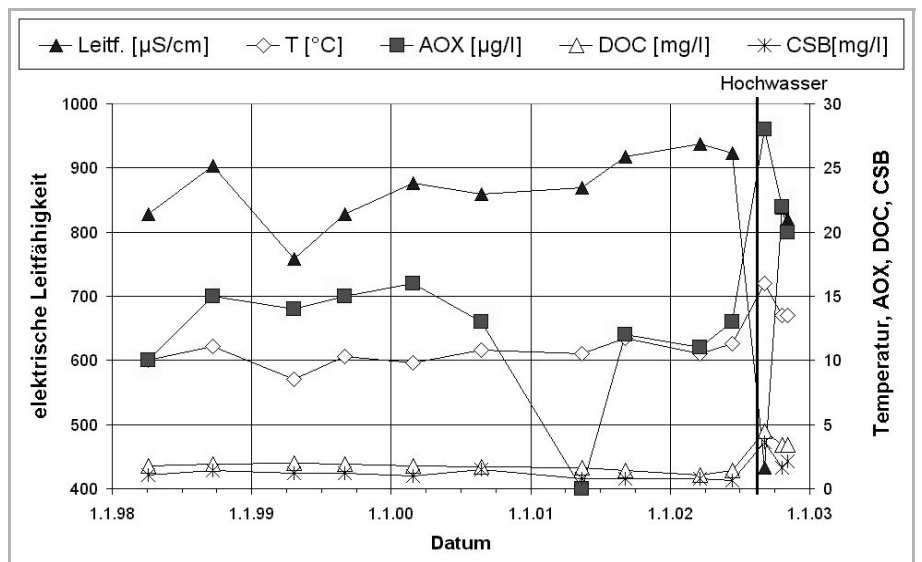
3.3.2 Einflüsse der Überflutung auf den Aquifer

Um den Einfluss des Hochwassers auf die Beschaffenheit des Grundwassers darzustellen, eignet sich vor allem der Vergleich der nach dem Hochwasser erzielten Messwerte (Nach-Flut-Messwerte) der verschiedenen Parameter mit den Schwankungsbereichen, die diese Parameter in den einzelnen Messstellen vor dem Hochwasser aufwiesen (Vor-Flut-Schwankungsbereiche, bezogen auf 4½ Jahre vor dem Hochwasser). Dabei müssen zwei Sachverhalte beachtet

werden. Zunächst können nur Messstellen verglichen werden, für die auch Messwerte vor dem Hochwasser vorliegen. Darüber hinaus ist der Vor-Flut-Schwankungsbereich auch abhängig von der Anzahl der Messwerte, auf die er aufbaut. Je weniger Messwerte in ihn einfließen, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass Nach-Flut-Messwerte außerhalb des Schwankungsbereiches liegen. Zur Absicherung einer entsprechenden Repräsentanz wurden nur Messstellen in die Betrachtungen einbezogen, die Schwankungsbereiche auf der Grundlage von mindestens 5 Vor-Flut-Messungen aufweisen (Marre et al. 2004). Dafür qualifizieren sich 286 von 416 nach dem Hochwasser vorgenommenen Beprobungen. Näher betrachtet wurden die in Abb. 41 gekennzeichneten Parameter.

Auffällig sind Veränderungen bei **Redox-Potenzial** und **Temperatur**, die einen eindeutigen Trend aufwiesen: 56 % bzw. 51 % der Werte liegen über

Abb. 40: Entwicklung mehrerer Parameter in einer Messstelle auf den Tolkewitzer Wiesen vor und nach dem Hochwasser.



den Vor-Flut-Maxima, 1 % unter den Vor-Flut-Minima. Bei den Werten für **LHKW** und alle **halogenierten Kohlenwasserstoffe** liegen ca. 40 % der Messwerte unterhalb der Vor-Flut-Minima, nur weniger als 10 % der Werte liegen oberhalb der Vor-Flut-Maxima. Beide Phänomene können durch die Infiltration größerer Mengen Niederschlags- und Oberflächenwasser verstärkt worden sein. Bei den halogenierten Kohlenwasserstoffen und den LHKW trat offensichtlich ein Verdünnungseffekt ein. Anlage 8 zeigt die Gegenüberstellung der LHKW-Konzentrationen vor und nach der Flut im Teufenbereich unter 8,5 m. Dargestellt ist auf der Anlage 8 auch die Gegenüberstellung für **Sulfat** im oberen Teufenbereich des Aquifers. Die erkennbare Zunahme der Sulfatkonzentrationen im Frühjahr 2003 gegenüber dem Frühjahr 2002 ist offensichtlich auf den Kontakt des Grundwassers mit unterirdischer Bausubstanz zurückzuführen. Die **DOC**-Konzentrationen weisen mit 33 % relativ wenige Abweichungen vom Vor-Flut-Schwankungsbereich auf. Hier ist der Trend eindeutig: 26 % gehen über die Vor-Flut-Maxima hinaus, 7 % bleiben unterhalb der Vor-Flut-Minima. Dies wird auf in den Aquifer eingedringenes Oberflächenwasser zurückgeführt.

Neben den rein statistischen Veränderungen ließen sich an einigen Messstellen auch anhand von Zeitreihen hochwasserbedingte Beschaffenheitsveränderung darstellen. Ein Beispiel für kurzzeitige Veränderungen ist in Abb. 40 für eine Messstelle auf den Tolkewitzer Wiesen zu sehen. Die Parameter elektrische Leitfähigkeit, Temperatur, AOX, DOC und CSB zeigen direkt nach dem Hochwasser (Messung im September 2002) extreme Veränderungen. Be-

Tabelle 11: Zuordnung der Altstandorte nach ihren Grundwasserflurabständen; vor und nach den Hochwasserereignissen

Grundwasserflurabstand	Anzahl der Standorte	
	Zuordnung nach SALKA	Zuordnung nach dem Hochwasser 2002
< 2 m	2	57
2 – 5 m	63	69
5 – 10 m	155	94
10 – 20 m	6	6
> 20 m	20	20

reits bei der nächsten Messung im Oktober 2002 haben sich die Parameter schon wieder ein gutes Stück normalisiert (AOX, Temperatur und DOC) oder befinden sich schon (fast) wieder in ihrem üblichen Schwankungsbereich (elektrische Leitfähigkeit, CSB). Diese Messstelle war im Jahr 2003 trocken gefallen, so dass eine weitere Entwicklung leider nicht vorliegt. Auf Grund ihrer großen Nähe zur Elbe ist bei dieser Messstelle denkbar, dass die Veränderung durch die kurzzeitige Umkehr der Grundwasserströmung verursacht wurde und dass die Messstelle im September 2002 noch stark durch Wasser beeinflusst wurde, das während des Hochwassers von der Elbe oder den überfluteten Flächen aus in den Aquifer infiltrierte. Bereits im Oktober könnte das Elbe-Wasser durch die erneute Umkehr der Strömungsrichtung im Grundwasser bereits wieder weitgehend zur Elbe zurückgedrängt worden sein. Die immer noch abweichenden Werte für Temperatur oder DOC ließen sich dadurch erklären, dass das Grundwasser in diesem Bereich stark von unter den überfluteten Flächen infiltriertem Oberflächenwasser beeinflusst ist.

3.3.3 Auswirkungen von Altlasten

Mittels einer Recherche wurden zunächst die durch das Elbehochwasser betroffenen Altlasten im Stadtgebiet Dresdens ermittelt. Dies wurde flächendeckend mit Hilfe des Sächsischen Altlastenkatasters (SALKA) durchgeführt und erfolgte unter zweierlei räumlichen Kriterien:

- Altlasten in unmittelbarer Nähe von Elbe und Weißeritz überschwemmten Bereichen,
- Altlasten im Stadtgebiet von Dresden, in dem der Tal-Grundwasserleiter verbreitet ist (potenzielle Betroffenheit durch angestiegenes Grundwasser).

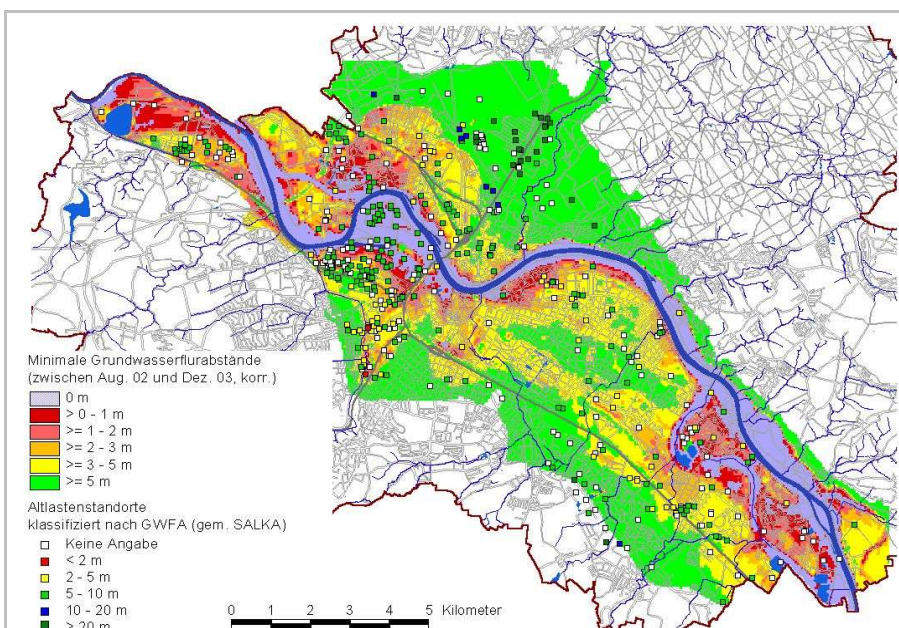
Damit sollten getrennt die durch unmittelbare Einwirkung von Oberflächenwasser beeinflussten Standorte und die lediglich durch erhöhten Grundwasserstand betroffenen Standorte erfasst werden. Unter den letztgenannten Standorten sollten auf der Basis der vorhandenen Daten zur Tiefe der Kontamination diejenigen ermittelt werden, die durch den erhöhten Grundwasserstand mit Grundwasser in Kontakt gekommen sind. Je nach Schadstoffinventar und Kontaktzeit könnte es hier zu einer Verunreinigung des Grundwassers gekommen sein. Mit Unterstützung des Landesamtes für Geologie, Abt. Grundwasser, wurden alle Altlastenstandorte in den genannten zwei Bereichen des Stadtgebietes Dresdens ermittelt. Bezüglich der für die Zielstellung der Untersuchung entscheidenden Information zur Kontaminationstiefe und dem Abstand zum Grundwasserleiter wurden die beiden verfügbaren Angaben

- Sohllage zum Grundwasser und
- GW-Flurabstand

herangezogen.

Ermittelt wurde damit der Abstand von der Kontaminationssohle (unterster bekannter/geschätzter Punkt) zur Grundwasseroberfläche. Die Höhe der Grundwasseroberfläche konnte nur nach

Abb. 42: Altstandorte (klassifiziert nach Grundwasserflurabständen gem. SALKA) und minimale Grundwasserflurabstände zwischen August 2002 und Dezember 2003



Standortdaten (Angabe der Grundwasserflurabstände) abgeschätzt werden.

Die Abb. 42 zeigt eine kartenmäßige Darstellung aller Altstandorte im Bereich des quartären Aquifers. Die Standorte sind klassifiziert nach ihrem Grundwasserflurabstand gemäß der Eintragung im Altlastenkataster SALKA. Berücksichtigt man jedoch die wesentlich geringeren Grundwasserflurabstände zwischen August 2002 und Dezember 2003, so liegt eine erhebliche Anzahl von Altstandorten in den zwei Gruppen mit geringen Grundwasserflurabständen (siehe Tabelle 11).

Im Zuge der Standortrecherche wurden alle in der Zeit während und nach dem August-Hochwasser erhobenen Grundwasser-Untersuchungen zusammengestellt. Auf der Grundlage dieser Daten sollten erste Trends und verallgemeinernde Aussagen abgeleitet und anschließend durch nähere Betrachtung ausgewählter Standorte die Auswirkungen des HW-Ereignisses auf kontaminierte Standorte herausgearbeitet werden. Im Folgenden sind die Ergebnisse am Beispiel zweier Standorte dargestellt.

Beispielstandort LHKW-Verunreinigung

Durch den langjährigen Betrieb einer ehemaligen chemischen Reinigung wurde eine LHKW-Kontamination verursacht. Die bisherigen Untersuchungsergebnisse lassen vermuten, dass auf dem Gelände bzw. im Grundwasser LHKW in Phase existieren (bis zu 280.000 mg/l Tetrachlorethen). In den entnommenen Bodenluftproben auf dem ehemaligen Betriebsgelände wurden 1998 bis zu einer Tiefe von 4 m unter Geländeoberkante Konzentrationen zwischen 23 mg/m³ und 25.000 mg/m³ LHKW nachgewiesen. Die natürliche (ungestörte) Grundwasserfließrichtung ist zur Elbe gerichtet.

Bei Hochwässern in der Elbe wird insbesondere in ufernahen Bereichen die Fließrichtung umgekehrt. Bereits seit 1993 war zu beobachten, dass sich die Schadstofffahne im Grundwasser in Richtung Elbe ausbreitet. Der Grundwasserleiter im Abstrom bis zur Elbe ist gegenwärtig auf einer Länge von ca. 1,8 km und 0,5 km Breite und in seiner gesamten Mächtigkeit kontaminiert, wie aus Untersuchungen im Jahre 2001 und 2003 hervorgeht.

Im Jahr 2003 wurde im Auftrag des StUFA Radebeul eine Studie an diesem Standort bearbeitet, durch die die Veränderungen der Altlastensituation im Untersuchungsgebiet durch die Ein-

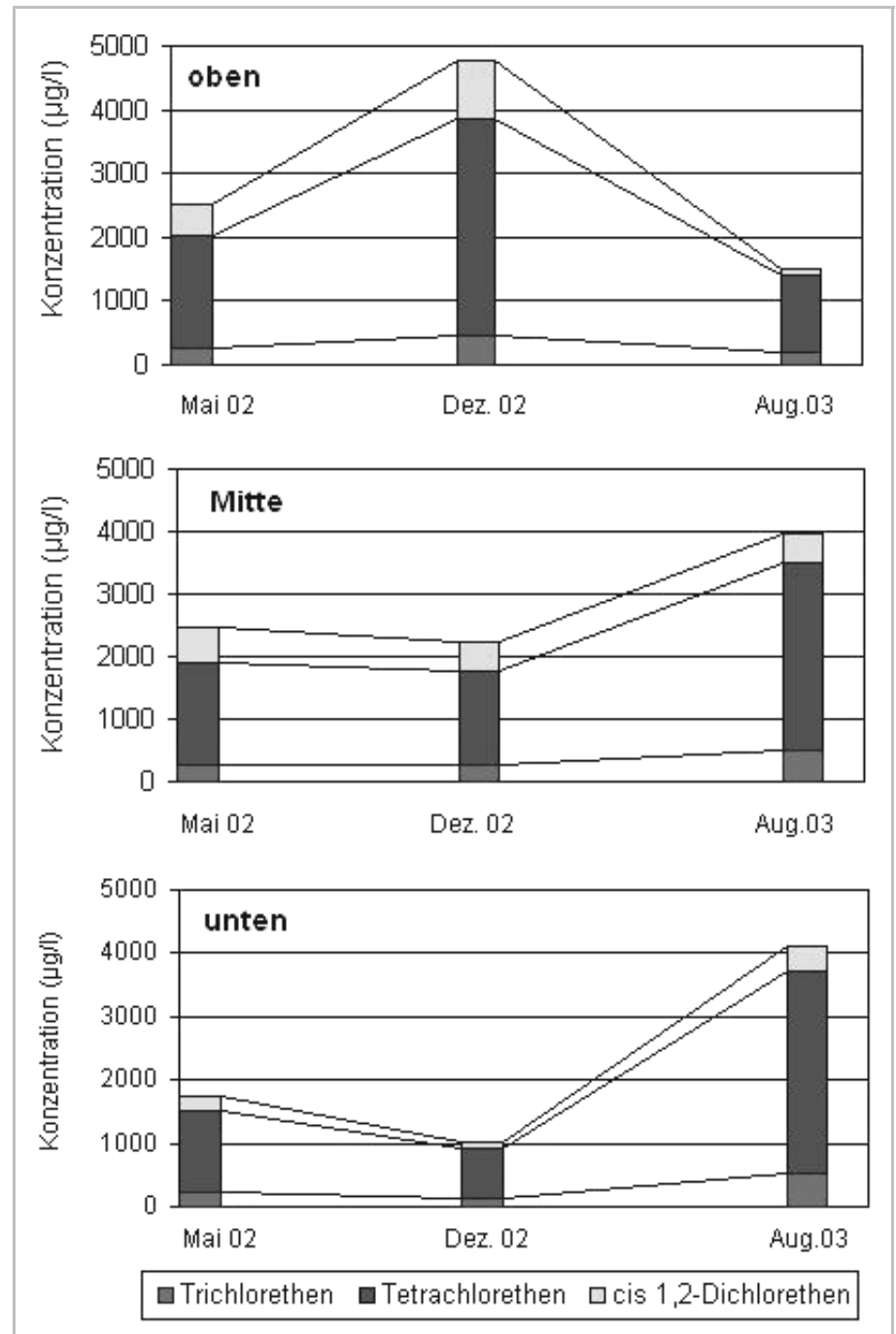


Abb. 43: Entwicklung der LHKW-Konzentration einer Messstelle im Abstrombereich eines LHKW-Standortes

wirkungen des Elbehochwassers untersucht wurden (BGD 2003).

Bei diesen Untersuchungen wurde die bekannte hohe LHKW-Kontamination des Grundwassers im Abstrom des Standortes wiederum nachgewiesen, die im Wesentlichen aus Tri- und Tetrachlorethen besteht. Neben den genannten Hauptkontaminanten war im unmittelbaren Abstrombereich des Standortes als wesentliches Abbauprodukt cis-1,2-Dichlorethen nachweisbar. Von dort aus wird es entsprechend der Grundwasserfließrichtung in Richtung Elbe transportiert. Vinylchlorid, das sich häufig unter anaeroben Verhältnissen als stabiles Zwischenprodukt anreichert, wurde deshalb erwartungsgemäß nur im

unmittelbaren Abstrombereich der Schadstoffquelle gefunden (max. 20 µg/l), im mittleren und unteren Bereich der Schadstofffahne scheinen die weitgehend aeroben Bedingungen im Grundwasserleiter einen weiteren Abbau von cis-1,2-Dichlorethen zu ermöglichen. Dessen erhöhte Konzentration im elbnahen Bereich kann ein Hinweis auf die hier verbesserten Bedingungen für den biologischen Abbau von Tetrachlorethen sein.

Infolge der Hochwasserereignisse und deren Auswirkungen auf das Grundwasser waren folgende Veränderungen der Grundwasserkontamination nachweisbar (s.a. Abb. 43):

- Durch erhöhte Grundwasserstände und eine höhere Fließgeschwindigkeit kam es zur Zunahme der Schadstofffreisetzung aus dem Quellbereich (z. T. im ungesättigten Bereich). Im oberen Grundwasserbereich wurden deshalb erhöhte Schadstoffkonzentrationen nachgewiesen.
- Durch das Elbehochwasser und die erhöhte Grundwasserneubildung kam es zu erhöhtem Druck im unteren Grundwasserbereich, so dass im unmittelbaren Abstrombereich der Schadstoffquelle eine vertikale Verlagerung der Schadstofffahne nach oben zu beobachten war. Der Vergleich der GW-Analysen an einer Messstelle (3-fach-MS), die ca. 700 m vom Schadherd entfernt liegt, ergab, dass für den oberen Filterbereich ein deutlicher Anstieg der LHKW-Konzentration nach dem Hochwasser (Dez. 2002) zu verzeichnen war. Im unteren Filterbereich war dagegen eine stark zurückgegangene LHKW-Konzentration zu beobachten. Diese Effekte wurden an mehreren Messstellen gefunden und sprechen dafür, dass durch die Auswirkungen der Hochwasserereignisse eine vertikale Verlagerung der Schadstofffahne im Grundwasser stattgefunden hat.
- Verminderter Abbau von Tri- und Tetrachlorethen zu cis-1,2-Dichlorethen. Geringere Anteile dieses Hauptabbauproduktes zeigten sich nach den Hochwasserereignissen an einigen Messstellen nahe der Kontaminationsquelle.

Lediglich lokal wirksame Veränderungen wurden bezüglich der Salzkonzentrationen (z. B. Sulfat- und Calciumkonzentrationen) durch oberflächennahe Altablagerungen von Bauschutt nachgewiesen, die bei den erhöhten Grundwasserständen mobilisiert wurden.

Beispielstandort MKW-Schaden

Bei diesem Standort handelt es sich um eine ehemalige Tankstelle, die im Nahbereich des Hauptvorfluters Elbe liegt. Der Abstand beträgt ca. 250 m. Auf Grund des Höhenunterschiedes des Grundstückes zur Elbe befindet sich die Fläche jedoch nicht im überfluteten Bereich. Der Standort wies eine Verunreinigung an Mineralölkohlenwasserstoffen und BTEX auf. In den 90er Jahren erfolgte eine Sanierung der Schadstoffquelle durch Aushub von kontaminiertem Material bis in eine Tiefe von 5 bis 6 m u. GOK. Im Grundwasserschwankungsbereich verblieb eine Restbelastung. Daraufhin erfolgte im Zeitraum von 1997 bis 2000 eine Bodenluftabsaugung und in der Zeit von 1998 bis 2001 eine Grundwasserförderung zur Entfernung der noch vorhandenen Kontamination. Das Grundwasser weist im allgemeinen eine Fließrichtung nach Süden zum Hauptvorfluter Elbe auf. Durch das Hochwasserereignis wurde am 20.08.2002 ein Grundwasseranstieg an der GWMS P 6 von etwa 3,90 m gemessen. Mit dem ansteigenden Grundwasser war gleichzeitig eine Änderung der Grundwasserfließrichtung von Süd nach Nordnordwest verbunden, was eine Umkehrung der Fließrichtung bedeutete. Bei einer Stichtagsmessung im Februar 2003 hatte sich das ursprüngliche Fließregime wieder eingestellt. Lediglich der Grundwasserstand war noch um etwa 1 m erhöht, bezogen auf den Wert vor dem Hochwasserereignis. Bei der letzten Beprobung der GWMS vor dem Hochwasserereignis lagen die Konzentrationen im Schadenszentrum bei 540 µg/l für MKW und 1.090 µg/l für BTEX.

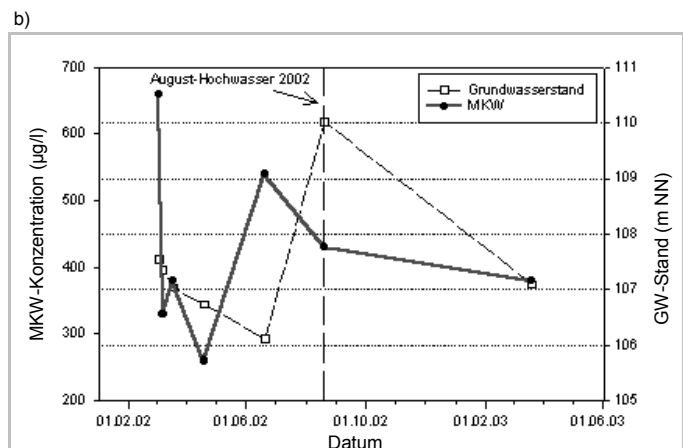
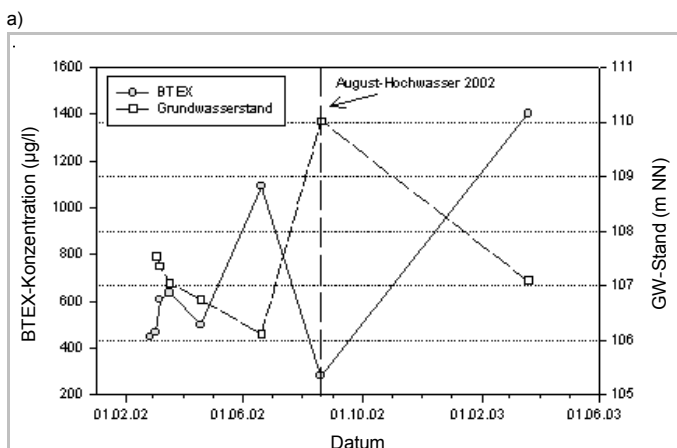
Die Abb. 44 zeigt die Konzentrationsentwicklung der BTEX und MKW in der zentralen Grundwassermessstelle für den Zeitraum von Februar 2002 bis Februar 2003. Mit dem ansteigenden Grundwasser ging im Schadenszentrum die BTEX-Konzentration zurück. Mit dem

fallenden Grundwasserspiegel stieg anschließend der Schadstoff-Gehalt wieder an. Für die Mineralölkohlenwasserstoffe wurde dagegen dieser Effekt nicht gemessen. Die Konzentration veränderte sich trotz der Fluktuation des Grundwasserstandes nur geringfügig und scheint nicht dem Trend des Grundwasserspiegels zu folgen (s. Abb. 44). In den übrigen Messstellen wurde keine Veränderung im Schadstoffniveau bestimmt.

Der Grundwasseranstieg von etwa 3,90 m ist auf die Nähe des Standortes zur Elbe zurückzuführen. Die sinkenden BTEX-Gehalte, die mit ansteigendem Grundwasser gemessen wurden, deuten auf Verdünnungseffekte hin. Dieser Effekt ist bei den Mineralölkohlenwasserstoffen allerdings nicht so eindeutig ausgeprägt. Wie die Ganglinie für die MKW zeigt, unterliegt deren Konzentration zwar erheblichen Schwankungen, aber ein Zusammenhang mit dem Grundwasserstand ist nicht zu erkennen. Nach Sichtung der Literatur und Bewertung der vorliegenden Standortdaten aus dem Stadtgebiet von Dresden können die folgenden Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Die in der Problemanalyse dargestellten Szenarien (siehe Kap. 2.2.2) wurden bei der anschließend durchgeführten Bearbeitung ausgewählter Standorte aus dem Stadtgebiet Dresden im Wesentlichen auch vorgefunden. Überwiegend handelt es sich dabei um Kontaminationen der ungesättigten und der gesättigten Zone. Diesem Standorttyp kommt auf Grund der Verunreinigung des Schutzgutes Grundwasser bei der Altlastenbearbeitung naturgemäß eine bedeutende Rolle zu.

Abb. 44: BTEX- und MKW-Konzentrationen und Grundwasserganglinie im Schadenszentrum eines MKW-Schadensstandortes im Zeitraum von Februar 2002 bis Februar 2003
 a) BTEX
 b) MKW



- Der ansteigende Grundwasserspiegel hat zu einer Kontamination von bisher nicht belastetem Wasser geführt.
- Eine horizontale Verlagerung hat nur in einem begrenzten Ausmaß stattgefunden, vertikale Verlagerungen wurden in mehreren Fällen nachgewiesen.
- Durch die Hochwasserereignisse sind jedoch keine grundlegenden Veränderungen der Alllastensituation in Dresden eingetreten, wenngleich laufende Sanierungsmaßnahmen behindert wurden (Stromausfall, nicht für den Überflutungsfall ausgelegt).
- Langfristig ergibt sich für den überwiegenden Teil der Fälle keine neue Gefahrenlage für die betroffenen Schutzgüter.

3.3.4 Gefährdungspotenzial auf Grund defekter Kanalisation

Abwasserexfiltration aus schadhafte Kanalisationen stellt ein multiples Gefährdungspotenzial für die Schutzgüter Boden und Grundwasser dar (An et al., 2003; Eiwirth & Hötzl 1996). Die Gefährdung besteht neben den Kontaminationen durch organische Kohlenstoffverbindungen, Stickstoff- und Phosphorverbindungen in dem Eintrag von Schwermetallen, pharmazeutischen Stoffen, Mikroorganismen und Krankheitserregern (Ellis 2001). Im Rahmen des Projektes sollte die Gefährdung für den Grundwasserleiter bewertet werden. Dafür sind Untersuchungen zur Exfiltration maßgebend. Abschätzungen zur Exfiltration sind im Rahmen des Forschungsprojektes auf der Basis von Literaturdaten, Bilanzen und Modellrechnungen erfolgt (Krebs et al. 2004). Es

wird eingeschätzt, dass im Betrachtungsgebiet maximal 10 % des Trockenwetterabflusses durch Exfiltration aus den Abwasserkanälen austreten.

Schwerpunkte der Exfiltration werden bei Mittelwasserverhältnissen in Haupt- und Abfangkanälen vermutet (min. 65 % der gesamten Exfiltration). Während der Hochwasserereignisse ging der Einfluss der

Abfangkanäle deutlich zurück (<1 %). Aus Hauptkanälen exfiltrierten während des Hochwassers mindestens 51 % des Abwassers, aus Nebenkanälen maximal 49 %. Des Weiteren konnte anhand von Modellrechnungen abgeleitet werden, dass es während der Hochwasserereignisse zu einer kurzzeitigen starken Zunahme der Exfiltration im Stadtgebiet kam. Abwasserkanäle, die im Schwankungsbereich des Grundwassers liegen, stellen demnach durch den Austritt von Abwasser direkt in das Grundwasser oder durch die geringe Mächtigkeit der ungesättigten Zone während Trockenwetterperioden das größte Gefährdungspotenzial für den Grundwasserleiter dar.

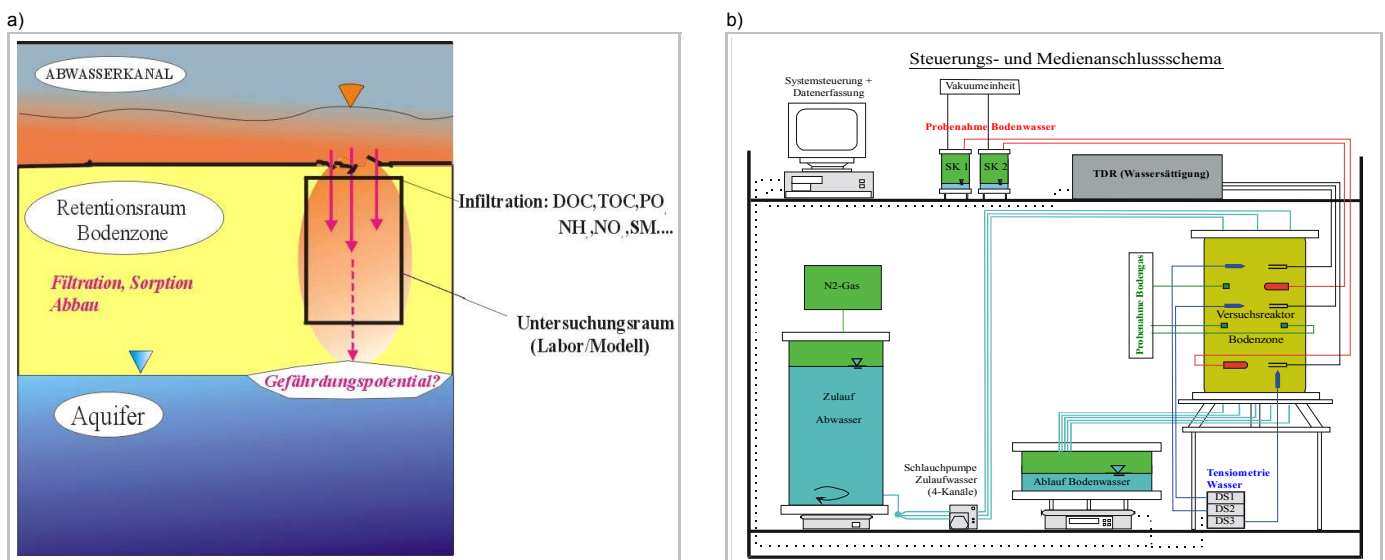
Ausgehend von den ermittelten Exfiltrationsraten erfolgten anschließend Untersuchungen zum Schadstofftransport aus einer lokal undichten Kanalisation durch die Aerationzone bis zum Grundwasserkörper um exemplarisch hochwasserbedingte Kanalschadensfälle bezüglich des Kontaminationsrisikos zu bewerten. Für diese typische Aufgabenstellung der Sickerwasserprognose galt es den Quellterm (druckgradientengesteuerte Exfiltration von Abwasser aus beschädigten Kanalleitungen in die Aerationzone) und den Transportterm (Schadstoffmigration in der Aerationzone mit dem Sickerwasser in Wechselwirkung mit der Feststoffmatrix und der Gasphase unter Berücksichtigung von Sorption, Verflüchtigung

und chemisch-mikrobiellem Umsatz) in Abhängigkeit realistischer Randbedingungen zu quantifizieren (s. Abb. 45a).

Grundlage für die Erstellung/Validierung eines Prozessmodells zur Simulation des Sickerabwasser-Transports in der Aerationzone bis zum Grundwasserleiter bildete ein Säulenversuch (s. Abb. 45b). Dieser fand in 3 Stufen statt und dauerte insgesamt 13 Wochen. In Stufe 1 wurde die Bodensäule kontinuierlich mit geringer Exfiltrationsrate (ungesättigt, simulierter Trockenwetterabfluss) beaufschlagt. Stufe 2 beinhaltete eine Abwasser-Schwallbeschickung mit ca. 8-stündiger Exfiltration und nachfolgender ca. 3-tägiger Ruheperiode (Sättigungswechsel, simulierte Kurz-Regenereignisse). In Stufe 3 wurde wieder ein kontinuierliches Regime mit erhöhter Exfiltrationsrate (gesättigt, simulierte Lang-Regenereignisse bzw. Hochwasser-Leckage des Kanals) gefahren. Eine eingehende Versuchsbeschreibung findet sich in Krebs et al. (2004).

Anhand der Messergebnisse wurden Hydraulik, Stofftransport und Stoffumsatz für das Modell kalibriert. Für diese Modellierung wurde das Programmsystem HYDRUS-2D verwendet. Nach der Modellvalidierung am Säulenversuch (kalibrierte Modellparameter) erfolgten Berechnungen von 3 relevanten Szenarien (für jeweils 2 Kanalstrecken mit erfassten Schäden) zur Bewertung des Gefährdungspotenzials infolge Exfiltration aus undichten Abwasserkanälen für den GWL unter der Stadt Dresden.

Abb. 45 Schadstofftransport
a) in der Aerationzone
b) Aufbau der Versuchsanlage zur Abwässerversickerung aus undichten Kanälen in Grundwasserleitern



Untersuchungen der Stofftransport- und Umsatzprozesse

Grundlage der Identifikation von Stofftransport- und Stoffumsatzprozessen war die Überwachung und modellgestützte Identifikation der ungesättigten Abwasser-Strömungsdynamik in der Bodensäule. Die Bilanzierung aller Stoffflüsse in der Bodensäule wurde zur Qualitätssicherung der Identifikation von Stofftransport- und -umsatzprozessen herangezogen.

Zur Prozessüberwachung der Stoffumsätze wurden die feste, die aquatische und die Gasphase beprobt. Die Beprobung von Milieu-, C- und N-Parametern erfolgte prozessorientiert. Die P-Verbindungen, Schwermetalle/Kationen sowie die Bodenluft wurden in jeder Versuchsstufe exemplarisch bestimmt. Die Kornsummenlinien, die TOC-Beladung sowie die mikrobiologischen Parameter am Feststoff wurden vor und nach dem Versuch teufengerecht bilanziert. Die Entwicklung der Messparameter wurde für jeweils alle 3 Stufen beschrieben und zugehörige Transport- und Stoffumsatzprozesse erörtert. Die Bodensäule wurde als Zwei-Zonen-Reaktor charakterisiert. Während in den obersten 0,15 m dominant ein Rückhalt (v. a. Filtration und biologischer Abbau) von org. C-Verbindungen des exfiltrierenden Abwassers stattfand, erfolgte im unteren Teil (> 0,15 m u. GOK) vor allem ein (vom hydraulischen Regime abhängiger) Umsatz von NH₄ zu NO₂/NO₃. Die Ergebnisse sollen im Folgenden exemplarisch am Transport und Umsatz von Ammonium dargestellt werden.

Die Zulaufkonzentrationen lagen während der gesamten Versuchsdauer bei 30-60 mg/l für NH₄-N sowie je <1 mg/l für NO₂-N und NO₃-N. Im stationären Endzustand der Versuchsstufe 1 wurden Ablaufkonzentration von 10 mg/l für

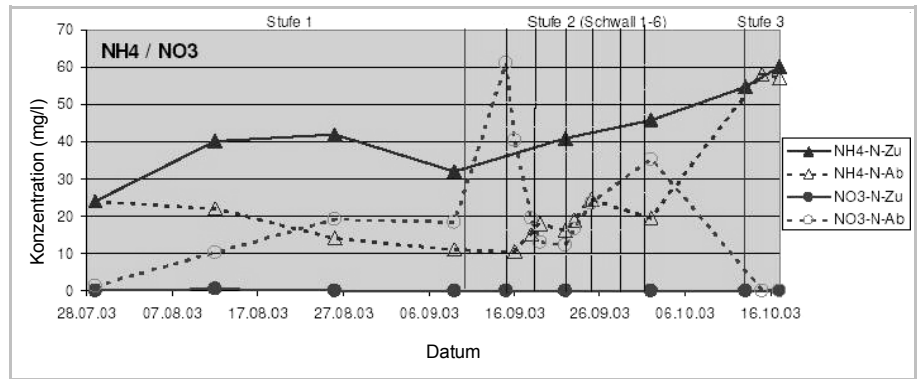


Abb. 46: Zu- und Ablaufkonzentrationen für N-Parameter während des Säulenversuches zur Abwasserfiltration aus undichten Kanälen.

NH₄-N und 20mg/l für NO₃-N gemessen. Die NO₂-N Konzentration im Ablauf stieg vor Beginn des Einsetzens einer effektiven Nitrifikation kurzzeitig an (16 mg/l) und fiel danach auf stationäre Werte von 2 mg/l ab. Die Ablaufwerte von NO₂-N und NO₃-N reflektierten nach einer anfänglichen Anpassungsperiode von ca. 20 Tagen einen unvollständigen Nitrifikationsprozess (ca. 10 mg/l NH₄-N im Ablauf, stationärer Endzustand).

In Stufe 2 wurde am Anfang (Schwall Nr. 1) ein NO₃-N Peak von 61 mg/l gemessen, der bei den nachfolgenden Schwallen zwischen 12 und 23 mg/l lag. Die NO₂-N Konzentration lag bei 3 - 8 mg/l. Die NH₄-N Ablauf-Konzentration lag bei 24 mg/l gegen Ende der Stufe 2. Der hohe NO₃-Peak am Anfang (16.9.) entstand daher, dass zunächst in der 6-tägigen Ruheperiode zwischen Stufe 1 und 2 ein vollständiger mikrobieller Umsatz des NH₄ im immobilen Porenwasser und am Feststoff bei unlimitierter O₂-Versorgung über die Bodenluft stattfand und nachfolgend mit der ersten hydraulischen Schwallbelastung in Stufe 2 eine „Ausspülung“ (Verdrängung) des immobilen Wassers mit hoher NO₃-N Beladung induziert wurde. Die nachfolgenden Schwallperioden belegten die Abhängigkeit der NO₃-Bildung

von der Stagnationsdauer des Bodenwassers. Die schwankenden NO₂-Konzentrationen sowie die kontinuierliche Erhöhung der NO₃-Konzentrationen nach Schwall Nr. 2 belegten eine Adaptierung der in-situ Biozönose und Stabilisierung der Nitrifikation unter den veränderten Hydraulik- und Milieubedingungen (Ehbrecht & Luckner 2004).

In Stufe 3 entsprachen die Zulaufkonzentrationen praktisch den Ablaufkonzentrationen. (NH₄-N ca. 60 mg/l; NO₂/NO₃-N je <2 mg/l), d. h. der N-Stoffumsatz brach infolge hoher hydraulischer Belastung und fehlender O₂-Versorgung über die jetzt inkohärente Bodengasphase zusammen. Die Dynamik der Zu- und Ablaufkonzentrationen für NH₄ und NO₃ sind für den gesamten Untersuchungszeitraum in Abb. 46 zusammengefasst.

Modellierung der Exfiltration

Für zwei bekannt gewordene Exfiltrationsstandorte der Stadt Dresden (Lokalmaßstab, Kanallängen > 10² m) wurden jeweils 3 verschiedene Szenarien berechnet (Tabelle 12). Die Szenarien sollten die Spannweite potenzieller Grundwasserleiter-Gefährdungen (Stoffeintragsfrachten) unter Berücksichtigung der Einwirkungsdauer abgrenzen. Da die geschätzten Exfiltrations-Volumenströme mit Unschärfen behaftet sind und ebenfalls nicht genau bekannt ist, welche Teillängen der Kanalsole exfiltrationswirksam beschädigt sind, wurde für jedes Szenario ein flächenhafter Schaden ([a] gesamte Kanalsole exfiltrationswirksam) und ein quasi-punktueller Schaden ([b] über 10 % der Kanalsole Exfiltration) betrachtet. Diese Betrachtungen grenzten für typische Kanal-Ablusssituationen die relevanten Gefährdungspotenziale für den Grundwasserleiter weiter ein.

Nachfolgend sollen an einem Beispiel-Standort mit quasi-punktuellm Eintrag [b] die Ergebnisse der Szenarienrechnungen beispielhaft für NH₄-N beschrieben werden. Die Beschreibungen zum Modellaufbau und zur Prozesspa-

Tabelle 12: Überblick Modellszenarien Exfiltration an Kanalschäden

Szenario	Schadensfall
Szenario 1 [a/b]	<ul style="list-style-type: none"> - hochbelastetes Abwasser - geringmächtige Arealationszone - hohe Abwasser-Exfiltrationsraten (Mischwasser-Abfluss) → gemittelte langfristige Hochlast-Exfiltration (mehrere Monate)
Szenario 2 [a/b]	<ul style="list-style-type: none"> - hochbelastetes Abwasser - mächtige Arealationszone - geringe Abwasser-Exfiltrationsraten (Trockenwetter-Abfluss) → gemittelte langfristige Normallast-Exfiltration (mehrere Monate)
Szenario 3 (Hochwasserszenario)	<ul style="list-style-type: none"> - geringkontaminiertes Abwasser - geringmächtige Arealationszone - sehr hohe Abwasser-Exfiltrationsraten (Starkregen-Mischwasserabfluss) → kurzfristige Maximallast-Exfiltration (mehrere Tage)

rametrisierung der Gefährdungssimulation Kanalexfiltration werden in Krebs et al. (2004) beschrieben.

Die Simulationsergebnisse des Ammonium-Transports für den Beispiel-Standort sind in Abb. 47 dargestellt. In der Gegenüberstellung der Szenarien 1b und 2b (je punktuelle Exfiltration) wurde die hohe Sensitivität des Abstands Grundwasser-Kanalsohle $\Delta Z_{\text{GW-KS}}$ auf den Ammoniumeintrag in den Grundwasserleiter ersichtlich. In Szenario 1b ($\Delta Z_{\text{GW-KS}} = 0,20 \text{ m}$) würde infolge weitgehenden Fehlens der tieferen Boden-Reaktorzone für den NH_4 -Umsatz im Vergleich zu Szenario 2b ($\Delta Z_{\text{GW-KS}} = 0,63 \text{ m}$) eine drastische Reduzierung des im Boden umsetzbaren (rückhaltbaren) Anteils am Ammonium-Exfiltrationsstrom von ca. 55 % auf ca. 15 % erfolgen. Bei gleicher Zulaufkonzentration, Exfiltrationsdauer und Kanallänge ergäben sich im Exfiltrationsbereich Ammonium-Konzentrationen von 34 mg/l gegenüber 21 mg/l in Szenario 2b. Bei einer 6-fach höheren hydraulischen Beaufschlagung der Bodenzone während Szenario 1b würde eine 12-fach höhere Ammonium-Stoffmasse in den GWL eingetragen.

In einem Szenario 2a wurde das Leistungspotenzial der Bodenzone bezüglich Rückhalt der Exfiltrations-Stofffrachten bei idealisiert-homogener Versickerung demonstriert. NH_4 -Exfiltrationen bei Trockenwetterabfluss im Kanal könnten demnach in der Bodenzone nahezu vollständig (88 %) zu NO_3 umgesetzt werden. Das Hochwasserszenario 3 bewirkte trotz des extrem hohen Exfiltrations-Wasserstromes und des vollständigen Zusammenbrechens des NH_4 -Umsatzes in der Bodenzone infolge der geringen NH_4 -N-Konzentration im Exfiltrat (1,3 mg/l) und der kurzen Dauer dieses Szenarios (1 Tag) sowohl einen nur untergeordneten kumulativen Gesamteintrag von Ammonium in den GWL als auch eine nur geringfügig erhöhte lokale NH_4 -Konzentration (1,3 mg/l).

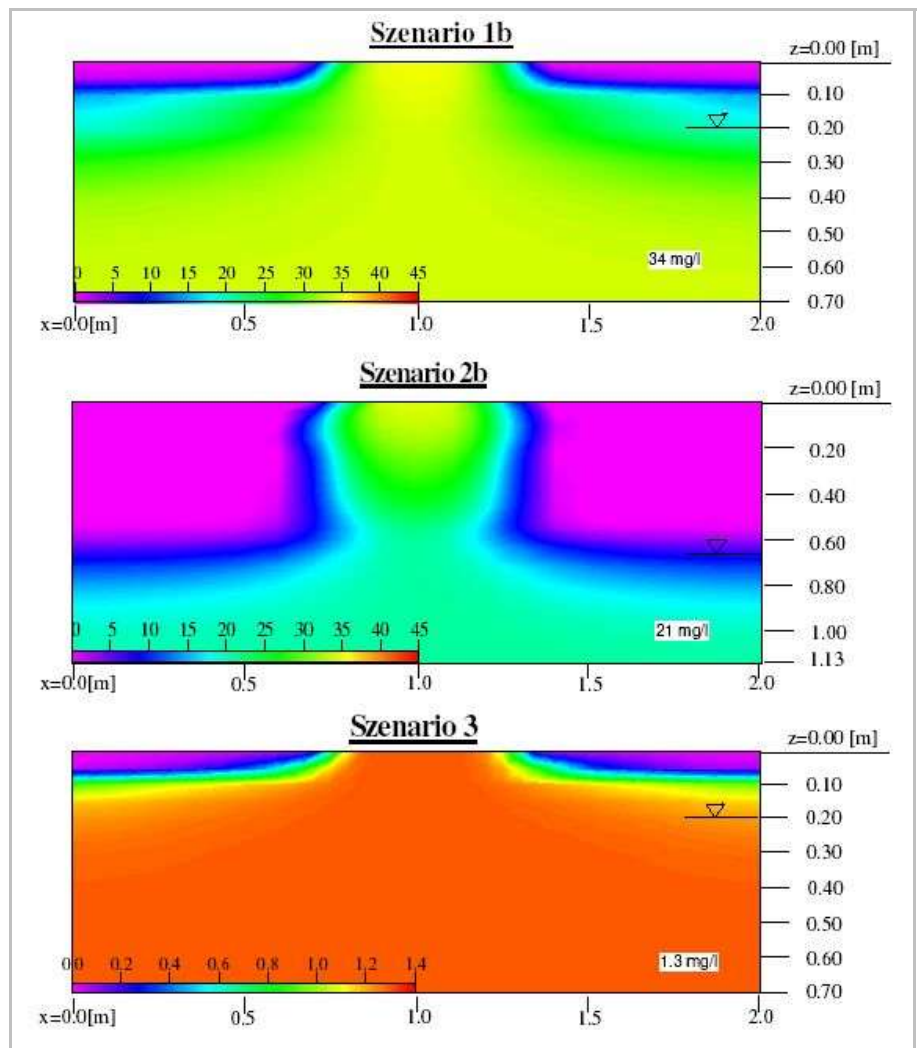


Abb. 47: NH_4 -N-Konzentrationen [mg/l] an einem Kanalschaden mit punktuellm Eintrag

3.3.5 Abfallmanagement, Schlickablagerungen und Schlamm Entsorgung

3.3.5.1. Entsorgungswege und Stoffstrombilanz

Herangehensweise

Grundlage der Bearbeitung dieser Fragestellungen war die Erfassung der vorliegenden Informationen über Mengen und Orte der Entstehung und Entsorgung flutbedingter Abfälle im Stadtgebiet Dresden. Im Projekt wurden nur die drei wesentlichen Hochwasserabfallfraktionen Sperrmüll¹, Schlamm und Sand(säcke) betrachtet. Die Ergebnisse sind ausführlich in Bilitewski & Wagner (2004) dargestellt.

Die Datenrecherche umfasste folgende Einrichtungen:

- Amt für Abfallwirtschaft und Stadtreinigung der Landeshauptstadt Dresden (nachfolgend Abfallamt),
- Entsorgungsunternehmen,
- Ortsämter der vom Hochwasser betroffenen Stadtteile,

- Zweckverband Abfallwirtschaft Oberes Elbtal,
- Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie,
- Brand- und Katastrophenschutzamt der Landeshauptstadt Dresden,
- Feuerwehr.

Aufgrund der katastrophengebundenen Prioritätensetzung während des Hochwasserereignisses erfolgte die Dokumentation der Abfallströme nicht in dem Umfang, wie sie bei der regulären Entsorgung üblich bzw. vorgeschrieben ist. Angaben der Transport- und Entsorgungsnachweise fehlten oft oder waren ungenau.

Entsorgungsleistungen wurden auf unterschiedlicher Basis abgerechnet (Tonnage, Einsatzstunde, Container) und mussten zum Zwecke der Auswertung auf die Masse als einheitliche Bezugsgröße umgerechnet werden, was auf Grund unterschiedlicher Dichten bzw. Arbeitsleistungen zu Unsicherheiten führt. Eine detailliertere Datenauswertung (bspw. auf Basis der einzelnen an Sammlung und Transport betei-

1 Der Begriff Sperrmüll wird im Bericht synonym für die Begriffe Sperrabfall und sperrige Abfälle aus Haushalten verwendet. Wenn nicht extra aufgeführt, beinhaltet „Sperrmüll“ auch Schwemmgut.

ligten Unternehmen) war daher im Rahmen der Recherche nicht möglich bzw. sinnvoll. Insbesondere konnten deshalb keine konkreten Mengenangaben für bestimmte Teilgebiete, sondern nur verbale Aussagen hierzu recherchiert werden.

■ Abfallmengen und -fraktionen

Während und unmittelbar nach dem August-Hochwasser erfolgte eine komplexe Form der Abfallsammlung, von der Abholung vor Ort bis hin zur Möglichkeit der Selbstanlieferung auf Deponien und Wertstoffhöfen. Insbesondere bei Schlamm, Schadstoffen, kontaminierten Abfällen, verdorbenen Lebensmitteln und toten Tieren ist eine schnelle und fachgerechte Entsorgung sehr wichtig, um Gesundheitsschäden zu vermeiden. Für die Annahmestellen wurden i. d. R. erweiterte Öffnungszeiten eingerichtet. Der Anteil der Selbstanlieferungen an der Gesamtmenge ist nicht bekannt. Dieser wird aber gegen-

Tabelle 13: Gesamt mengen der zu betrachtenden Hochwasserabfallfraktionen

Abfallfraktion	Menge [t]
Sperrmüll/ Schwemmgut	77.856
Sand(säcke)	29.000
Schlamm	34.903
SUMME	141.759

über der Straßensammlung und Containerabfuhr als relativ gering eingeschätzt. Die recherchierten Mengen der zu betrachtenden Hauptfraktionen Sperrmüll, Sand und Schlamm sind in Tabelle 13 zusammenfassend dargestellt. Die Angaben basieren auf Angaben der einzelnen Entsorgungseinrichtungen.

Weitere Fraktionen fielen demgegenüber nur in geringen Mengen an, beispielsweise Bauschutt mit ca. 1.181 t und Schadstoffe mit ca. 219 t (LH DD 2003). Bei den Recherchen wurden keine Hinweise entdeckt, dass es nennenswerte Probleme bei der Entsorgung dieser Fraktionen gegeben hat.

Vereinzelt angefallener (öl)kontaminierter Sand und Schlamm wurde dafür zugelassenen Anlagen angedient. Die Einzelmengen dieser kontaminierten Fraktionen konnten nicht recherchiert werden und sind in der jeweiligen Gesamtmenge an Sand und Schlamm ent-

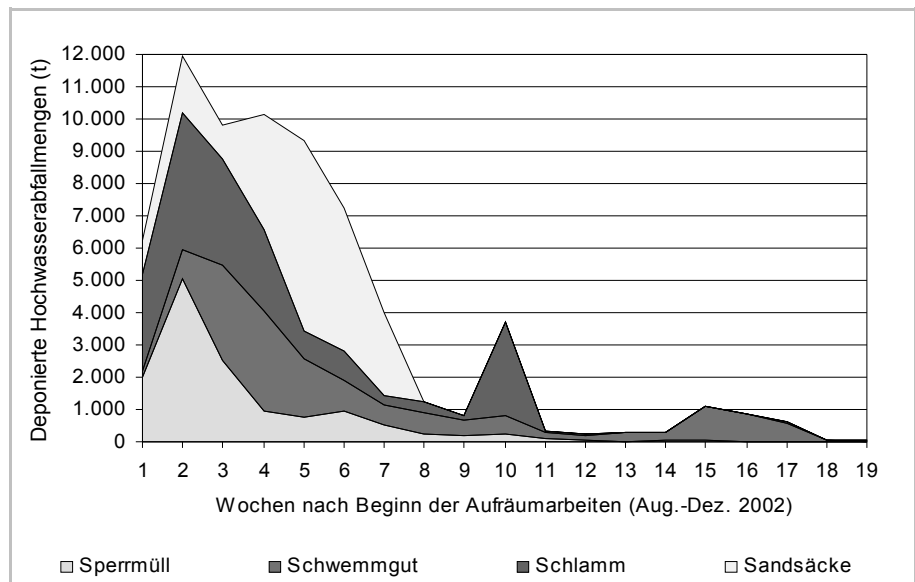


Abb. 48: Einbau der Hochwasserabfälle auf der Deponie Radeburger Straße

halten. Von der recherchierten Gesamtmenge wurden 99,7 % an Entsorgungseinrichtungen im Gebiet der Stadt Dresden geliefert, lediglich 0,3 % der Abfälle wurden – nur bis zum Zeitpunkt der Öffnung der Deponie Radeburger Straße in Dresden – an Deponien des Abfallzweckverbandes Oberes Elbtal geliefert. Dabei muss beachtet werden, dass die Gebiete rund um Dresden ebenfalls durch die Flut geschädigt und die Entsorgungseinrichtungen entsprechend überlastet waren. Der Zweckverband Abfallwirtschaft Oberes Elbtal gibt in der Abfallbilanz 2002¹ für seine Verbandsgebiete ohne die Landeshauptstadt Dresden (Landkreise Meißen, Sächsische Schweiz, Riesa-Großenhain und Weißeritzkreis), welche alle vom Hochwasser 2002 betroffen waren, 162.532 t Schwemmgut und Sperrmüll sowie 120.000 t Baurestmassen und Schlämme an (ZAOE 2003). Entsorgungslogistik und -einrichtungen aus dem Umland Dresdens konnten daher kaum für die

Hochwasserabfallentsorgung 2002 in Anspruch genommen werden. Die Standorte der Entsorgungsanlagen im Stadtgebiet Dresden sind in Abb. 59 (s. S. 53) dargestellt.

In Abb. 42 ist der Einbau der Hochwasserabfälle in die Deponie Radeburger Straße im zeitlichen Verlauf nach dem Hochwasser dargestellt. Sperrmüll und Schwemmgut wurden getrennt erfasst. Der Peak beim Einbau der Hochwasserschlämme in der 10. Woche ist auf die Beräumung eines Zwischenlagers am Seidnitzer Weg zurückzuführen. Die nach der Hauptberäumung angelieferten Schwemmgutmengen stammen überwiegend aus den beräumten Kleingartenanlagen und Elbwiesen. Teilweise wurden an der Deponie auch geringe Mengen an Metallteilen und Schadstoffen aussortiert und entsprechend entsorgt. An die Deponie Radeburger Straße wurden 48 % der Gesamthochwasserabfallmenge geliefert. Ohne die hochwasserbedingte zwischenzeitliche Wiederzulassung der Deponie Radeburger Straße wäre die Entsorgung der Hochwasserabfälle innerhalb des Dresdener Stadtgebietes nicht möglich und die Logistik und die finanziellen Belastungen wesentlich schwieriger zu bewältigen gewesen.

Sand und Schlamm

Insgesamt fielen durch verwendete Sandsäcke 29.000 t Sand an. Stichprobenartige Untersuchungen konnten keine Belastungen nachweisen. Von dem Sand wurden 70 % auf der Deponie Radeburger Straße im Deponiebau – z. B. für den Bau von Randwällen oder Auflagern für Deponieentgasungssysteme – verwertet. Die anderen 30 % wurden im Rahmen der bergbaulichen Rückverfüllung von ehemaligen Ziegeleigruben

¹ Für die Landeshauptstadt Dresden wurden in der Abfallbilanz 2002 des ZAOE nur die auf den Deponien Radeburger Straße, Gröbern und Kleincotta angelieferten Hochwasserabfallmengen angegeben.

Die Deponie Radeburger Straße war bereits seit Mai 2001 für die Ablagerung von Siedlungsabfällen geschlossen. Aufgrund der Hochwasserkatastrophe wurde auf Antrag der Landeshauptstadt Dresden ab dem 22. August 2002 der Einbau von Hochwasserabfällen befristet vom Regierungspräsidium Dresden genehmigt. Da sich die Kellerberäumungen wegen des noch hohen Grundwasserstandes verzögerten, und die Beräumung der Elbwiesen und Kleingartenanlagen noch nicht abgeschlossen war, wurde der Einbau von mineralischen Hochwasserabfällen bis zum 31. Dezember 2002 und von Schwemmgut/Sperrmüll bis zum 30. April 2003 genehmigt.

Tabelle 14: Abschätzung des Verlaufs der Sperrmüll-entsorgung

im Süden Dresdens verwertet. Die Ablagerung auf diesen Standorten, die im Gegensatz zu den Hausmülldeponien nach Bergrecht genehmigt und betrieben werden, gilt als Verwertung im Rahmen der bergbaulichen Rückverfüllung. Über eine nennenswerte Wiederverwendung von Sand außerhalb von Deponiebaumaßnahmen ist nichts bekannt. Von den 34.903 t Schlamm wurden 54 % auf der Deponie Radeburger Straße abgelagert, 46 % gelangten in die bergbauliche Rückverfüllung. Zum fachgerechten Einbau von Schlamm muss dieser in stichfester Form vorliegen, deshalb wurde Schlamm teilweise erst zur Trocknung zwischengelagert.

Sperrmüll und Schwemmgut

Von den 77.856 t Sperrmüll/Schwemmgut wurden 60 % an Sortieranlagen geliefert, 38 % wurden direkt auf der Deponie Radeburger Straße deponiert, kleinere Mengen wurden an eine Kompostieranlage sowie an Deponien im Umland von Dresden geliefert. Bei der an die Kompostieranlage gelieferten Menge handelte es sich um kompostierbares Schwemmgut und Grünabfälle. Insgesamt waren 8 Sortieranlagen im Einsatz, von denen jedoch nur fünf für die Sortierung von Sperrmüll aus Haushalten und Gewerbe ausgelegt waren. Die anderen drei Anlagen sind vorrangig für Baumischabfälle konzipiert, und waren daher nur bedingt für Sperrmüll geeignet.

Die Gesamtkapazität aller vorhandenen Sortieranlagen unter Höchstlast (ggf. mit Mehrschichtbetrieb und 7-Arbeitstage-Woche) zur Beseitigung der Hochwasserabfälle wurde nach Angaben der Betreiber und von Rahmeninformationen auf 1.000 t pro Tag in den ersten Wochen nach Beginn der Aufräumarbeiten geschätzt. Dem gegenüber beräumte die Sperrmüllabfuhr bereits in den ersten 2 Wochen im Durchschnitt 3.400 t täglich. Nur ein Teil der Differenzmenge konnte zeitgleich deponiert werden. Die für die Hochwasserabfälle eingerichteten Zwischenlager fassten im Gesamtvergleich nur minimale Mengen an Sperrmüll. Bis zum Rückgang der täglichen Sperrmüllabfuhr auf die Kapazität von Sperrmüllsortierung und -deponierung wurden daher große Sperrmüllmengen auf dem Gelände der Sortieranlagen zwischengelagert. Um eine Angabe der genutzten Zwischenlagerkapazitäten an den Sortieranlagen zu bekommen, wurde die in Tabelle 14 dargestellte Abschätzung des Verlaufs der Sperrmüllentsorgung

	Abfuhr	Deponierung	Sortierung	In/Output Zwischenlager	auf Zwischenlager
	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]
Summe	77.856	29.566	48.290	0	-
Woche 1	22.400	2.539	5.000	+14.861	14861
Woche 2	25.200	5.940	7.000	+12.260	27.121
Woche 3	14.000	5.483	7.000	+1.517	28.638
Woche 4	4.337	4.040	7.000	-6.703	21.935
Woche 5	2.564	2.564	7.000	-7.000	14.935
Woche 6	1.903	1.903	6.000	-6.000	8.935
Woche 7	1.144	1.144	5.000	-5.000	3.935
Woche 8	885	885	3.000	-3.000	935
ab 9. Woche	5.423	5.068	1.290	-935	0

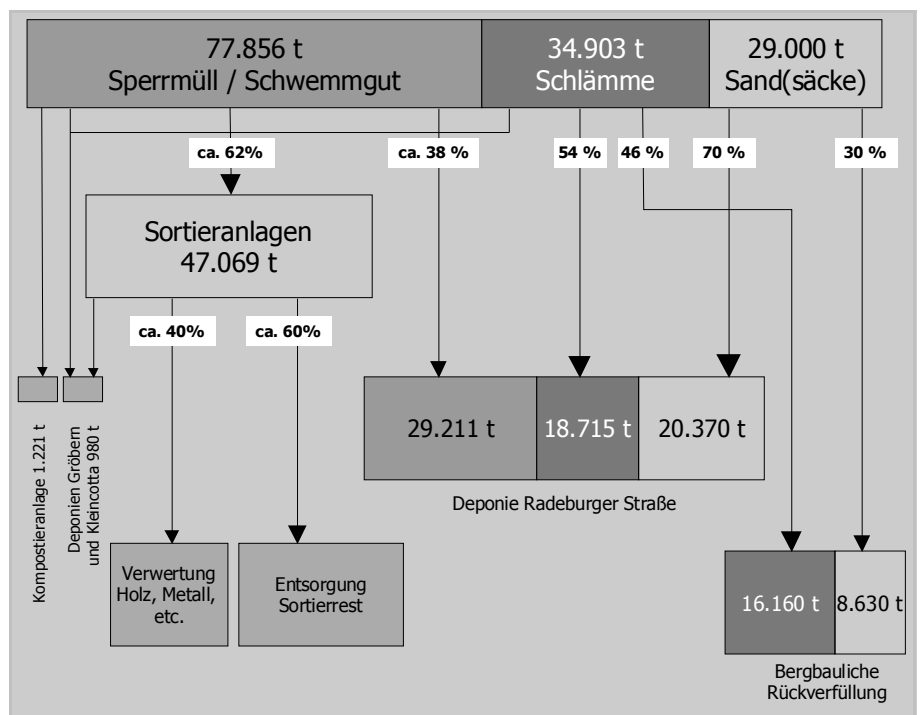
vorgenommen. Es zeigt sich, dass ca. 3 Wochen nach dem Beginn der Aufräumarbeiten die Sperrmüllabfuhr auf die Kapazität von Sortierung und Deponierung zurückgeht. Bis dahin muss Sperrmüll in der Größenordnung von ca. 28.000 t an den Sortieranlagen zwischengelagert werden.

Die Sortierquote konnte auf Grund einiger fehlender Angaben für die gesamte, an Sortieranlagen gelieferte Menge nicht ermittelt werden. Schätzungsweise lag diese bei 40 %. Der verwertbare Anteil bestand in etwa zu 2/3 aus Holz, welches i. d. R. an Altholzverbrennungsanlagen geliefert

wurde, und zu 1/3 aus Metall und anderen verwertbaren Stoffen. Die übrigen 60 % der angelieferten Menge, Sortierreste und nicht sortierbarer Sperrmüll wurden überwiegend in der bergbaulichen Rückverfüllung verwertet. Von einer Sortieranlage wurden Sortierreste und nicht sortierbarer Sperrmüll an die Deponie Gröbern geliefert. Des Weiteren wurden auch die in geringen Mengen gefundenen Schadstoffe aussortiert und fachgerecht entsorgt.

In Abb. 49 ist die Stoffstrombilanz der Hochwasserabfallentsorgung 2002 zusammenfassend dargestellt.

Abb. 49: Stoffstrombilanz der Hochwasserabfallentsorgung in Dresden nach dem Augusthochwasser 2002



3.3.5.2. Stoffaustragspotenzial

Um eine Gefährdung des Grundwassers durch abgelagerte Abfälle abzuschätzen, waren im Weiteren Stoffaustragspotenziale, die durch die flutbedingten Abfälle entstanden sind, zu ermitteln. Dazu wurden vorliegende Analysen gesammelt und ausgewertet, wobei die Ermittlung des Stoffaustragspotenzials lediglich für die Abfallart Schlämme sinnvoll war. Sperrmüll ist zu heterogen, um für den Fall der Ablagerung Abschätzungen des Stoffaustragspotenzials vornehmen zu können. Hier sind hohe Werte für Blei, Chrom und Kupfer bekannt; diese sind sperrmüllspezifisch und resultieren aus im Sperrmüll vorhandenen Metallteilen, die letztlich auf Grund ihrer bezogen auf die Masse geringen Oberfläche keine wesentlichen Quellen für die betreffenden Schadstoffe darstellen (Heilmann 2000). Über einen nennenswerten Verbleib von Sandsäcken am Anfallort ist im Stadtgebiet Dresdens nichts bekannt. Andernorts wurden z. B. Sandsäcke auf Deichen belassen. Da die stichprobenartigen Untersuchungen des Sandes keine Belastungen ergaben, ist ein Schadstoffaustrag nicht zu befürchten. Sandsäcke, die zur Rückhaltung von auslaufendem Heizöl verwendet wurden, sind als Sonderabfall entsprechenden Entsorgungsanlagen angedient worden.

Schlämme

Im Gegensatz zu Hochwasserereignissen in anderen Flusseinzugsgebieten, wo Schlammablagerungen nicht in dem Maße mit Schadstoffablagerungen verbunden sind wie im Einzugsgebiet der Elbe, musste nach dem Augusthochwasser vor allem im Einzugsgebiet der Mulden aber auch in großen Teilabschnitten der Elbe davon ausgegangen werden, dass Prüf- und Maßnahmewerte der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) für einzelne Schadstoffe in den Böden der überschwemmten urbanen Gebiete überschritten wurden (Popp et al. 2004). Aufgrund der akuten Gefährdungslage wurden insbesondere die für die Beurteilung des Pfades Boden - Mensch wichtigen Feststoffwerte der Hochwassersedimente analysiert. Fast alle Parameter in den untersuchten Proben verhalten sich unkritisch. Auffällig sind lediglich Überschreitungen der Prüfwerte für Arsen. Von 27 recherchierten Analyseergebnissen überschreiten 5 Proben den Prüfwert für Wohngebiete (50 mg/kg) und davon eine Probe sogar den Prüfwert für Industrie- und Gewerbegrundstücke (140 mg/kg). Von Popp et al. (2004) wird ein Wert mit Überschreitung des Prüfwertes für Kinderspielplätze von Dresden-Leuben

genannt. Ein Maximalwert für MKW von 1.970 mg/kg ist als Einzelfall zu betrachten, der offensichtlich durch einen der punktuell auftretenden Heizölschäden beeinflusst wurde. Alle anderen Werte lagen im unauffälligen Bereich überwiegend weit unter 500 mg/kg. Für alle anderen organischen Schadstoffparameter und Uran ist die Anzahl der vorliegenden Proben zu gering, um Aussagen über deren Konzentrationsverhalten treffen zu können.

Für die zur Beurteilung des Schadstoffaustragspotenzials mit dem Pfad Boden - Grundwasser erforderlichen Eluatuntersuchungen lagen nur wenige Ergebnisse vor. Durch Popp et al. (2004) wurden keine Eluate von Schlämmen aus dem Raum Dresden untersucht; Schröder et al. (2004) haben Eluatuntersuchungen an Schlämmen aus dem Raum Dresden auf organische Einzelsubstanzen vorgenommen; weitere Untersuchungsergebnisse lagen vom LFUG vor.

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden deshalb am 30.01.2004 noch drei Proben von Hochwassersedimenten gezogen, welche von der Witterung unbeeinflusst zur Ablagerung kamen, und auf Schwermetalle und PAK untersucht. Die Auswertung der vorliegenden Eluatanalysen zeigt, dass sich hohe Arsengehalte in den Feststoffen auch in den Eluaten niederschlagen. Von fünf untersuchten Proben weisen drei Proben Arsengehalte im Eluat auf, welche den Prüfwert der BBodSchV für den Pfad Boden - Grundwasser überschreiten. Bei zwei von drei Analysen sind die Prüfwerte für PAK überschritten. Die Herkunft der Arsenbelastungen für den Raum Dresden ist nicht eindeutig geklärt. Als Hauptquelle muss im Bereich Dresden der Eintrag aus den Zuflüssen Müglitz und Weißeritz gesehen werden (Rank et al. 2003). Im Mündungsbereich der Müglitz bei Heidenau werden die Arsen- und Blei-Grenzwerte der Bodenschutzverordnung für Wohngebiete überschritten (UFZ 2002). Im Vergleich zu vorangegangenen Untersuchungen liegen die gefundenen Belastungen an PAK und PCB der untersuchten Elbeschlämme im August 2002 „in gleicher Größenordnung wie die Konzentrationen in den schwebstoffbürtigen Elbsedimenten in den Jahren 2000 und 2001“ (Schröder et al. 2004, S. 110).

Ablagerungsstandorte

Für eine Abschätzung des Stoffeintrages in das Grundwasser müssen weiterhin die Standortgegebenheiten der betroffenen Ablagerungsflächen betrachtet werden. Dies betrifft als Primärablagerungsfläche die Elbwiesen, sowie die beaufschlagten Ablagerungsflächen Deponie Radeburger Straße und die alten Ziegeleigruben im Süden der Stadt Dresden.

Trotz des nur geringen Geschützigkeitsgrades des Grundwasserleiters ist für die Elbwiesen die von den in der Elbaue abgelagerten Schlämmen ausgehende Grundwassergefährdung als gering zu bewerten. Ausschlaggebend für diese Einschätzung ist insbesondere die äußerst niedrige Schadstofffracht, die zum einen auf der geringen Schichtstärke der Ablagerung und zum anderen auf dem Ausbreitungsverhalten der relevanten Schadstoffe Arsen und PAK beruht. An der Deponie Radeburger Straße hat bisher kein deponiestämmiges Sickerwasser zu einer Verunreinigung der unter dem Deponiekörper verlaufenden GWL geführt. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass die Schadstoffgehalte der deponierten Schlämme keine negative Beeinträchtigung des GWL hervorrufen werden. Da die Schlämme auf einer 60 m mächtigen Hausmüllschicht deponiert wurden, ist auf dieser Sickerstrecke zudem mit einer Adsorption des Arsens zu rechnen. Die Bildung von Sickerwasser wird darüber hinaus zunächst durch die temporäre Abdeckung minimiert und nach endgültigem Deponieabschluss unterbunden. Der Standort wird zudem mittels eines Grundwassermonitoring überwacht.

Die Tagebaurestlöcher im Süden Dresdens zeichnen sich zum einen durch hohen Grundwasserflurabstand, zum anderen durch mäßige Wasserwegsamkeit des geologischen Untergrundes und dessen relativ hohe Tonmineralgehalte aus. Beide Faktoren lassen in Verbindung mit den getroffenen technischen Sicherungsmaßnahmen zumindest für weniger mobile Schadstoffe, wie Arsen, einen ausreichenden Grundwasserschutz erwarten (Bilitewski & Wagner 2004).

4. Grundhochwassermanagement für Dresden

■ 4.1 Schutzzieldiskussion und -vorschläge

Die Ausweisung von Gefahrenpotenzialen im Grundwasserbereich stellt zunächst auf Regionalisierung rein hydraulischer Wirkungen des Grundwassers ab. Gefahrenpotenziale sind damit zunächst unabhängig von Nutzungsgrad und Nutzungsart des Untergrundes.

Die Kombination von Gefahrenpotenzialen und bestehender oder geplanter Nutzungsart führt zur Differenzierung von Schutzziele (BWG 1998) (Abb. 50).

Der Blick auf Hochwassergebiete in Deutschland (Rhein, Oder) zeigt, dass die Auswirkungen des Hochwassers auf das Grundwasser nur punktuelle und insgesamt untergeordnete Beachtung finden.

Die durch die UBV/DGC/GFI (2004b) durchgeführte Befragung von Rheinliegern zum Umgang mit der Grundwasserproblematik und deren Modellierung ergab, dass bezüglich der Modellierung der Auswirkung von Hochwasserereignissen auf die Grundwasserstandsverhältnisse, insbesondere unter Beachtung einer technogenen Schicht, eine automatische Generierung der Randbedingung für Überflutungsflächen und der Erfassung eines teilweisen Verbaus des Grundwasserleiters, keine großräumigen Ansätze verfolgt werden, wie sie in Dresden mit dem bearbeiteten Projekt betrachtet wurden. Die Befragung von Landesdienststellen von Nordrhein-Westfalen ergab ein weitgehend ähnliches Bild. So gibt es für die Flussauen der großen Vorfluter viele numerische Modelle zur Beantwortung von Einzelfragen. Komplexe Modelle, die von

den Ämtern genutzt und weiterentwickelt werden, liegen jedoch nicht vor. Das rührt daher, dass bei Anfragen von Betroffenen immer Einzelfallentscheidungen getroffen wurden, die zum großen Teil auch auf Expertenwissen aufbauen. Generelle bauleitplanerische Restriktionen wegen Gefährdung durch aufsteigendes Grundwasser sind demzufolge von den Rheinliegern nicht bekannt.

Untersuchungen zur Auswirkung von stationären und mobilen Hochwasser-schutzanlagen auf das Grundwasser wurden von der RWTH Aachen für die Stadt Köln durchgeführt (Königeter 2003; Vogel & Schmidtke 2002). Auch diese Untersuchungen waren mit starkem lokalen Bezug und nicht auf grundsätzliche bauleitplanerische oder hochwasservorsorgende Aussagen ausgerichtet.

Lediglich in einer Broschüre zum Hochwasserschutz (NRW 1999) werden Schutzstrategien genannt, die sich in die Bereiche Ausweichen – Widerstehen – Nachgeben gliedern und auch auf das Grundwasser bezogen werden (s. Hervorhebungen in Abb. 51).

Dieser Umgang mit dem Problem aufsteigenden Grundwassers kann allerdings durchaus im Gegensatz zur Wahrnehmung einer „Grundwasserbedrohung“ stehen. So weisen Untersuchungen von Schlepütz (2004) aus, dass

bei einer Umfrage zur Einrichtung von Flutpoldern im Gebiet von Köln 35,3 % der Befragten sich aus Angst vor einer zusätzlichen Grundwasserbedrohung gegen Flutpolder aussprachen.

Auch das Bundesministerium für Verkehr, Bauwesen und Wohnung geht nur sehr allgemein auf die Bedrohung der Bausubstanz durch Grundwasser ein. So weist die „Hochwasserfibel“ (BMVBW 2003) darauf hin, dass Gebäude „bei einem Hochwasserereignis nicht nur in überschwemmten Gebieten, sondern bei Anstieg des Grundwasserspiegels durch erhöhten Wasserdruck“ gefährdet werden.

Das Staatliche Umweltamt Krefeld beschreibt, dass an wenigen Stellen auch das Grundwasser Gegenstand laufender Hochwasserschutzmaßnahmen ist (SUA Krefeld 2002). Bei der Rheinliegergemeinde Unterbirten, die gegen den Grundwasseranstieg geschützt wird, handelt es sich um eine ergänzende Maßnahme zu einem Polderbau, der zu einer weit in das Hinterland führenden Grundwasserfließrichtungsumkehr mit entsprechenden Qualmwasseraustritten führt.

Die Überlagerung aus Gefahrenpotenzial und potenzieller Nutzungsintensität (rechtlich manifestiert in der Bauleitplanung), in Verbindung mit der Gewährleistung naturnaher Abflussverhältnisse kann zur Ausweisung von Tiefbaupo-

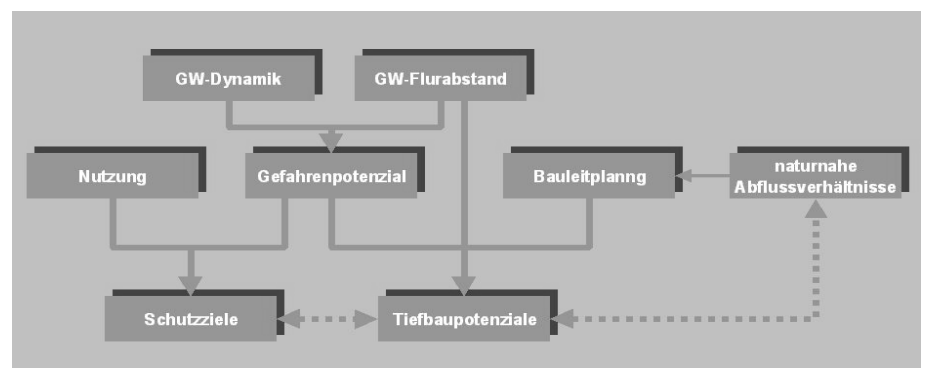


Abb. 50: Zusammenhang von grundwasserbezogenem Gefahrenpotenzial, Tiefbaupotenzial und Schutzziele



Abb. 51: Hochwasserschutzstrategien für Gebäude (nach NRW 1999)

tenzialen und deren Einschränkungen führen.

Ausgehend von der Herleitung der Gefahrenpotenziale (s. Kap. 3.1.4) sollen im Folgenden die Tiefbaupotenziale abgeleitet und differenzierte Schutzziele definiert werden.

4.1.1 Tiefbaupotenziale

Die Bauleitplanung hat das Ziel, die langfristige harmonische Entwicklung von Infrastruktur, Wohnbauten, Industrie, Gewerbe und Gesellschaftsbauten in einer Kommune zu ermöglichen. Auf Grund dieser wesentlichen Aufgabensstellung sind hochwasserbedingte Grundwasserstände mit ihren möglichen Auswirkungen auf Wohn-, Gewerbe- und öffentliche Gebäude für die Bauleitplanung relevant. Dies gilt vor allem für Tiefbauten, die einerseits auf das Grundwasserströmungsregime signifikant einwirken können, andererseits von Grundhochwasser betroffen sind und in diesem Fall den Gesamtbestand eines Gebäudes gefährden können. Aus diesem Grunde müssen sich grundwasserbezogene, bauleitplanerische Restriktionen in zwei Richtungen orientieren.

Zum Einen ist durch die Bauleitplanung Vorsorge dafür zu treffen, dass naturnahe Abflussverhältnisse des Grundwassers gewährleistet werden. Dieser Aspekt, der sowohl für Mittel- als auch

für Hochwasserverhältnisse gilt, wird gedeckt durch § 1, Abs. (6) Ziff. 7a des BauGB.

Zum Zweiten ist jedoch durch die Bauleitplanung Vorsorge dafür zu tragen, dass die zu errichtenden Gebäude keinem unvermeidbaren Risiko durch Vernässung, nachhaltige geomechanische Prozesse, wie Setzungen, Rutschungen etc. oder Gebäudeinstabilitäten durch kurzfristig ungleichmäßig ansteigendes Grundwasser ausgesetzt werden (BWK 2003). Insofern kommt der Bauleitplanung auch eine vorsorgende Funktion zu, die bezüglich des Grundwassers auch für den Hochwasserfall gilt. Dieser Aspekt manifestiert sich im § 1, Abs. (6), Ziffer 1 des BauGB, in dem „gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse und die Sicherheit der Wohn- und Arbeitsbevölkerung“ festgeschrieben sind.

Bewertungskriterien naturnaher Abflüsse

Für die Bewertung der Gewährleistung naturnaher Abflussverhältnisse des Grundwassers spielen in Innenstadtbereichen insbesondere die Tiefbaupotenziale eine wesentliche Rolle. Das Tiefbaupotenzial bezieht sich dabei auf jenen ver- und bebaubaren, unterirdischen Raum, der den möglichst naturnahen, notwendigen („freien“) unterirdischen Abfluss des Grundwassers

gestattet. Als Kriterium für die Bewertung gilt dabei der maximale durch den Tiefverbau erzeugte Aufstau der Grundwasseroberfläche am geplanten oder an bestehenden Gebäuden. Für die Landeshauptstadt Dresden wurden in den letzten Jahren dafür Bewertungsansätze entwickelt, wie sie in Tabelle 15 zusammengestellt sind.

Die allgemeinen Aussagen zu Aspekten der Bauleitplanung sind vor dem Hintergrund eines sich in der Folge von Hochwasser einstellenden Grundhochwassers zu untersetzen.

Dazu wurden im Rahmen der Projektbearbeitung als raumbezogene Grundlage zur Beurteilung der Grundwasserhältnisse für die Bauleitplanung zunächst die Karten minimaler, gemessener Grundwasserflurabstände sowie die Beurteilung der Gefahrenpotenziale herangezogen. Die Ergebnisse der Strömungsmodellierung hinsichtlich der minimalen Flurabstände bei unterschiedlichen Wasserständen des Vorfluters sind eine weitere Möglichkeit diese Auswertungen vorzunehmen.

Bauleitplanung und Grundhochwasser

Für die Bauleitplanung wurde eine Kategorisierung in folgende Flächenklassen der Tiefbaupotenziale vorgenommen:

- Flächen ohne Einschränkung für den Tiefbau,
- Flächen mit Tiefbauten (mit Angabe der Ebene), die auf Grund kurzfristiger Grundwasserhochstände temporär zu schützen sind,
- Flächen mit Tiefbauten (mit Angabe der Ebene), die auf Grund längerfristiger Grundwasserhochstände generell zu schützen sind (Weiße Wanne etc.) und
- Flächen mit eingeschränktem Tiefbaupotenzial, um den natürlichen Grundwasserabfluss zu gewährleisten.

Die Gefahr von Grundhochwasser im Elbtalgrundwasserleiter von Dresden stützt dieses Vorgehen. In Tabelle 16 sind die für die Landeshauptstadt Dresden angewandten Kriterien für die Ableitung der Tiefbaupotenziale zusammengestellt. Sie ergeben sich aus der Überlagerung der minimalen Grundwasserflurabstände mit den Gefahrenpotenzialen. Für die Landeshauptstadt Dresden wird für alle Plangebiete im Innenstadtbereich von einer ökologischen Verträglichkeit von 2 Tiefgeschossen ausgegangen. Da der Aufstau von Grundwasser auch unter Mittelwasserhältnissen bei Tiefbauten mit mehr als 2 Tiefgeschossen bis zur Kategorie „starke Bedenken“ führt, werden mehr

Tabelle 15: Bewertungskriterien für den Aufstau durch ständig im Grundwasser verbleibende Bauwerke im Innenstadtbereich der Landeshauptstadt Dresden (nach UBV-JP 1996)

Bewertungskriterium	Klassifizierung	Aufstauhöhe (m)
Aufstauhöhe am aufstauenden Bauwerk	keine Bedenken	<0,1
	geringe Bedenken	0,1 bis 0,25
Gefährdung bestehender Bebauung durch GW –Anstieg	starke Bedenken	0,25 bis 0,50
	sehr starke Bedenken	0,50 bis 1,0
	Ausschlusskriterium	>1,0

Tabelle 16: Hochwasserbezogene Kriterien für Tiefbaupotenziale im Stadtgebiet von Dresden.

als 2 Tiefgeschosse in der Bauleitplanung generell nicht vorgesehen und in jedem Falle einer gesonderten Einzelfallprüfung unterzogen (UBV-JP 1996; UBV/DGC/GFI 2004b).

Karten der Tiefbaupotenziale

Bei der Erstellung der Karte der Tiefbaupotenziale wurde von den minimalen Grundwasserflurabständen ausgegangen. Dies entspricht der Empfehlung BWK (2003), in der mit Bezug auf die DIN 18195-1 als Bemessungsgrundwasserstand „der höchste nach Möglichkeit aus langjährigen Beobachtungen ermittelte Grundwasser-/Hochwasserstand und bei von innen drückendem Wasser der planmäßige Wasserstand“ definiert wird.

Unter Beachtung der Tatsache, dass es im Unterschied zu Pegeln an Oberflächengewässern für Grundwasser meist keine Statistik zur Festlegung von Eintrittswahrscheinlichkeiten und die Berücksichtigung von Extremereignissen gibt, wurde in einem weiteren Schritt die Dauer des Grundhochwassers berücksichtigt. Aus wirtschaftlichen Gründen ist für Flächen, in denen das Grundhochwasser weniger als 30 Tage anstand, ein temporärer Schutz (durch Grundwasserabsenkungsanlage etc.) zu empfehlen. Für Flächen, auf denen das Grundhochwasser länger als 90 Tage anstand, sollte ein genereller Schutz der Gebäude (z. B. durch Weiße Wanne oder durch ein generelles Verbot von Tiefbauten) empfohlen werden.

Diese Flächendifferenzierung wurde durch die minimalen Grundwasserflurabstände noch untersetzt. So muss bei einem minimalen Flurabstand zwischen 1 und 3 m die Ebene -1 in den Schutz einbezogen werden. Für Flurabstände zwischen 3 und 5 m ist für Bauten mit Tiefbauebene -2 der entsprechende Schutz vorzusehen. Für Flächen mit mittlerem Gefahrenpotenzial (Grundhochwasserdauer zwischen 30 und 90 Tagen) kann die Art des Schutzes erst durch eine Einzelfallprüfung empfohlen werden. Für Flächen mit minimalen Flurabständen < 1 m kann generell das Tiefbaupotenzial erst durch Einzelfallprüfung ausgewiesen werden. Für Flächen mit einem niedrigen Gefahrenpotenzial und/oder minimalen Grundwasserflurabstand von > 5 m besteht bezüglich der Grundhochwasser-Gefahr ein uneingeschränktes Tiefbaupotenzial

Tiefbaupotenzial	Gefahrenpotenzial	Grundwasserflurabstand GWFA _{min} (m)	
Flächen ohne Einschränkung für den Tiefbau	Niedriges Gefahrenpotenzial	> 5 m	
Flächen in denen eine Einzelfallprüfung empfohlen ist	Niedriges Gefahrenpotenzial	< 5 m	
	Mittleres Gefahrenpotenzial	Ebene bis -1	1 – 3 m
Flächen mit Tiefbauten, die durch kurzfristige Grundwasserhochstände temporär zu schützen sind	geringe Dauer; hohe Intensität	Ebene bis -2	3 – 5 m
		Ebene bis -1	1 – 3 m
Flächen mit Tiefbauten, die durch längerfristige Grundwasserhochstände generell zu schützen sind (Weiße Wanne etc.)	hohe Dauer; mittlere bis hohe Intensität	Ebene bis -2	3 – 5 m
		Ebene bis -1	1 – 3 m
Flächen mit eingeschränktem Tiefbaupotenzial, um den natürlichen Grundwasserabfluss zu gewährleisten	Aussagen nur durch Einzelfallprüfung (Strömungsmodellierung) möglich		
Tiefbauten mit mehr als 2 Tiefebenen	generelle Einzelfallprüfung		

bis zur Ebene -2. In Sommer (2004) ist die Methodik näher beschrieben. Die kartographische Darstellung der Auswertung ist in Anlage 4 dargestellt.

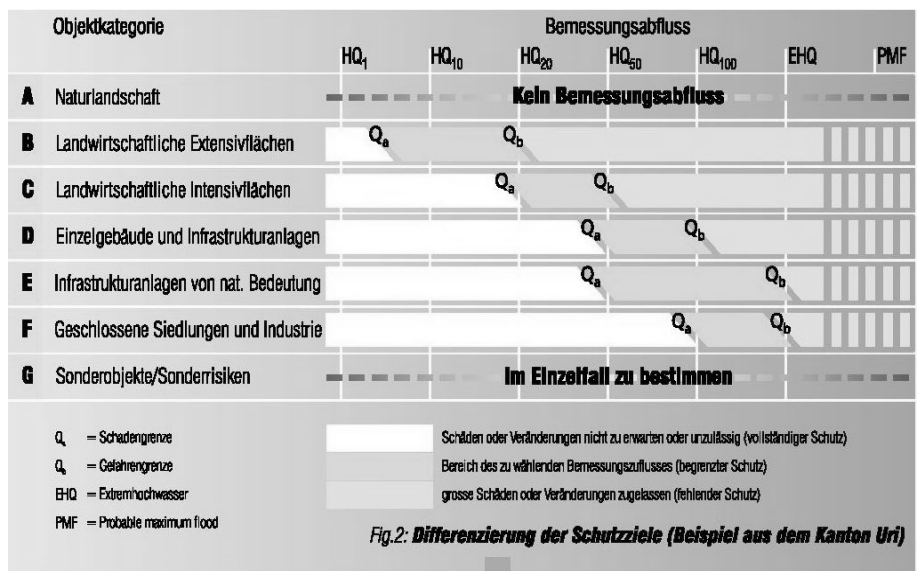
4.1.2 Schutzzieldefinition

Allgemeine Grundsätze

Die Festlegung von Schutzzielen ist ein Entscheid von großer technischer und wirtschaftlicher Tragweite. Die Wahl der Schutzziele richtet sich nach den zu schützenden Werten. Je nach Objektkategorie (z. B. Siedlung, Infrastrukturanlage, Landwirtschaftsfläche) werden verschiedene Bemessungsgrößen angewandt. So hat, bezogen auf das Oberflächenwasser, der früher übliche generelle

Ausbau auf ein Jahrhunderthochwasser (HQ₁₀₀) beispielsweise in der Schweiz keine allgemeine Gültigkeit mehr. Für Personenschutz und bei sehr hohen Sachwerten wird empfohlen, den Schutzgrad höher anzusetzen; bei landwirtschaftlich genutzten Flächen kann der Schutzgrad in der Regel reduziert werden. Die definitiven Schutzziele müssen im Rahmen der Maßnahmenplanung unter sorgfältiger Interessenabwägung iterativ festgelegt werden. Bei übermäßigen Kosten oder anderen schwerwiegenden Nachteilen sind Nutzungen bzw. Schutzziele zu überprüfen und eventuell anzupassen. Durch eine geeignete Abgrenzung des Projektgebietes ist sicherzustellen, dass es zu keiner Verlagerung des Risikos kommt

Abb. 52: Beispiel für Differenzierung von Schutzzielen der Hochwasservorsorge (BWG 2003)



(BWG 2003). Ein Beispiel für eine Differenzierung der Schutzziele ist in Abb. 52 dargestellt.

Schutzzielkategorien in urbanen Gebieten

Die exemplarisch in Abb. 52 genannten Schutzzielkategorien sind für urbane Gebiete zu modifizieren. Für die Gefährdung hinsichtlich Grundhochwasser kommen in Anlehnung an KORNDÖRFER (2002) für eine Kommune wie die Landeshauptstadt Dresden Objektkategorien in Frage, die von ihrer Schutzwürdigkeit differenziert einzuordnen sind. Eine Differenzierung der Schutzwürdigkeit ist in Tabelle 17 dargestellt.

Die hohe Schutzwürdigkeit von Krankenhäusern und Pflegeheimen ergibt sich daraus, dass eine Evakuierung oder ein Betriebsausfall ein hohes Risiko für Leib und Leben von Menschen in sich birgt. Die Historische Innenstadt genießt eine hohe Schutzwürdigkeit auf Grund der Werte und der Einmaligkeit der Schutzgüter.

Bemessungsgrößen für grundwasserbezogene Schutzziele

Als Bemessungsgrößen für Schutzziele werden für das Oberflächenwasser die statistischen Wiederkehrintervalle herangezogen. Wie bereits erwähnt, sind auf Grund meist fehlender statistischer Grundlagen für entsprechende Grundwasserganglinien und durch die räumliche Verbreitung des Grundhochwassers die Wiederkehrintervalle an einzelnen Grundwassermessstellen als Bemessungsgrundlage für grundwasserbezogene Schutzziele nur wenig oder gar nicht geeignet.

Deshalb wird vorgeschlagen, neben der Nutzung ausgewiesene Gefährdungspotenziale, in die sowohl die minimalen Grundwasserflurabstände als auch die Komponente der Grundhochwasserdauer eingegangen sind, als Be-

Objektkategorie	Schutzwürdigkeit	Gefährdungspotenzial				
		hoch	mittel-hoch	mittel	gering-mittel	gering
Krankenhäuser Pflegeheime	sehr hoch	grün	gelb	gelb	rot	rot
Historische Innenstadt	sehr hoch	grün	gelb	gelb	rot	rot
Kläranlage	hoch	grün	gelb	gelb	rot	rot
öffentliche Gebäude (Schulen etc.)	hoch bis mittel	grün	gelb	gelb	rot	rot
dichte Wohnbebauung	hoch bis mittel	grün	gelb	gelb	rot	rot
Gewerbegebiete	hoch bis mittel	gelb	gelb	gelb	rot	rot
offene Siedlungsflächen	mittel	gelb	gelb	rot	rot	rot
landwirtschaftliche und gärtnerische Flächen	gering	gelb	rot	rot	rot	rot

	Höchstmöglicher Schutz durch generelle oder/und temporäre Maßnahmen
	Begrenzter Schutz - Schutz durch generelle Maßnahmen herstellen; Einschränkungen bei fehlendem generellen Schutz; Ergänzung durch temporären Schutz im Einzelfall.
	Fehlender Schutz - Hohe Grundwasserstände müssen zugelassen werden; im Einzelfall ist temporärer Schutz herzustellen; Einschränkungen durch Baubeschränkungen.

Abb. 53: Mögliche Differenzierung von Schutzziele gegenüber Grundhochwasser in Dresden

messungsgrößen für Schutzziele heranzuziehen.

Differenzierung der Schutzziele

Die Differenzierung der Schutzziele ergibt sich somit aus der Schutzwürdigkeit der einzelnen Objekte (s. Tabelle 17) in Kombination mit den grundwasserbezogenen Gefahrenklassen, wie sie in Kap. 3.1.4 abgeleitet wurden (s. Abb. 21 und Abb. 23).

Daraus ergibt sich eine Matrix zur Differenzierung der Schutzziele, wie sie in Abb. 53 dargestellt ist. Es werden drei Schutzziel-Klassen unterschieden:

■ **Höchstmöglicher Schutz**

durch generelle oder/und temporäre Schutzmaßnahmen erforderlich. Diese Schutzziele sollten für sensible Objekte wie beispielsweise Krankenhäuser und Pflegeheime in Gebieten mit mittlerem und hohem Gefährdungspotenzial erreicht werden. Das Schutzziel kann erreicht werden, indem betriebswichtige Anlagen nicht in Tiefgeschossen stationiert sind (genereller Schutz) oder temporäre

Schutzvorrichtungen (Absenkungsbrunnen) errichtet werden. Die Entscheidung darüber ist durch Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zu treffen.

■ **Begrenzter Schutz**

besteht, wenn generelle Schutzmaßnahmen zwar möglich aber wirtschaftlich nicht sinnvoll sind. Dann ist ein Schutz durch Einschränkung (Anzahl der Tiefgeschosse / zeitweilige Nutzungsbeschränkungen für Tiefgeschosse) erreichbar. Fehlender genereller Schutz kann im Einzelfall durch temporäre Schutzmaßnahmen ausgeglichen werden.

■ **Fehlender Schutz**

bedeutet, dass hohe Grundwasserstände zugelassen werden. Im Einzelfall können diese durch temporäre Schutzmaßnahmen kompensiert werden, für diese Objektklassen sollten aber unter den entsprechenden Gefährdungspotenzialen in erster Linie Baubeschränkungen ausgesprochen werden.

Die Schutzziele sind in erster Linie nach den Nutzungsarten zu differenzieren. Die Abb. 53 soll am Beispiel der Krankenhäuser / Pflegeheime erläutert werden. Diese Objektkategorie besitzt eine sehr hohe Schutzwürdigkeit. Liegt ein Objekt in Gebieten mit hohem und mittlerem Gefährdungspotenzial, muss ein höchstmöglicher Schutz durch generelle oder temporäre Maßnahmen vorgesehen werden (grünes Feld). Begrenzte Schutzmaßnahmen (gelbes Feld) werden für ausreichend gehalten, liegt ein Objekt dieser Objektkategorie in einem Gebiet mit mittlerem bis geringem bzw. geringem Gefährdungspotenzial.

Tabelle 17: Objektkategorien und Schutzwürdigkeit im urbanen Bereich

Objektkategorie	Schutzwürdigkeit
Krankenhäuser, Pflege- und Altenheime	sehr hoch
Historische Innenstadt	sehr hoch
Kläranlagen und Wasserwerke	hoch
Öffentliche Gebäude (Schulen etc.)	hoch bis mittel
dichte Wohnbebauung	hoch bis mittel
Gewerbegebiete	hoch bis mittel
offene Siedlungsflächen	mittel
gärtnerisch und landwirtschaftlich genutzte Flächen	gering

4.2 Handlungsempfehlungen für Dresden

Nach dem Auguthochwasser 2002 sind allgemeine Handlungsempfehlungen und Aktionspläne für den Hochwasserschutz erarbeitet worden, die vorrangig auf den Schutz vor einer Überflutung ausgerichtet sind (HGN 2004; LAWA 2004; IKSE 2003).

Ein Ziel des Forschungsprojektes war es, aus den Erfahrungen mit hochwasserbedingtem Grundhochwasser im Stadtgebiet von Dresden, Handlungsempfehlungen für den Umgang mit derartig extremen Grundwasserverhält-

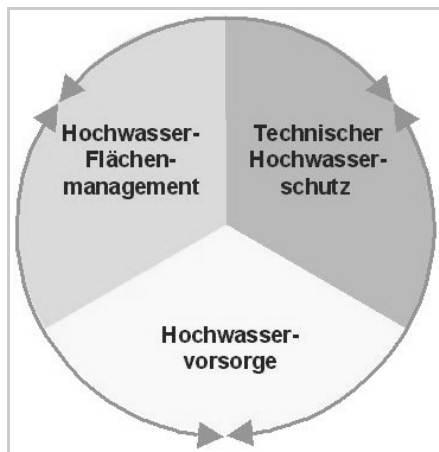


Abb. 54: Hochwasserschutz-Strategien nach LAWA (LAWA 2004)

nissen, wie sie im und nach dem August 2002 aufgetreten sind, abzuleiten. Die folgenden Handlungsempfehlungen gliedern sich nach den Maßnahmekategorien für Hochwasserschutz und Hochwasservorsorge der LAWA-Leitlinien (LAWA 2004) (s. Abb. 54). Als Spezifik für das Grundwasser werden bei den Handlungsempfehlungen sowohl die Wirkungen der Grundwasserdynamik (Grundhochwasser) als auch die Wirkungen der Grundwasserbeschaffenheit berücksichtigt.

Es liegt in der Natur des Forschungsprojektes, dass diese Handlungsempfehlungen sich zuerst auf die Landeshauptstadt Dresden beziehen. Im Kap. 5 wird im Weiteren der Versuch unternommen, die Handlungsempfehlungen zu einem grundwasserbezogenen Hochwasserschutz zu verallgemeinern. Dabei müssen nicht alle Empfehlungen gleichwertig und vollständig umgesetzt werden, sondern je nach Standortbedingungen, fachlichen Erfordernissen und Stand der bisherigen Bearbeitung sind Einzelmaßnahmen auszuwählen oder zu modifizieren.

Abb. 55: Zusammenhang zwischen Gefahrenpotenzialen und zu empfehlenden Schutzmaßnahmen

Die Aufgabe des technischen Hochwasserschutzes besteht in der Reduzierung der Schäden in besiedelten und bebauten, hochwassergefährdeten Gebieten. Sie sollten jedoch dort nicht vorgesehen werden, wo Maßnahmen des Flächenmanagements angebracht sind.

Technischer Hochwasserschutz gegen Grundhochwasser lässt sich grundsätzlich in drei Kategorien einteilen:

- Wirkungen, die von Schutzmaßnahmen im Bereich des Oberflächenwassers auf das Grundwasser ausgehen,
- Generelle Schutzmaßnahmen,
- Temporäre Schutzmaßnahmen.

Die Entscheidung zur Empfehlung von generellen oder temporären Schutzmaßnahmen kann dabei in Abhängigkeit des Gefahrenpotenzials getroffen werden. So sollten in Gebieten mit hoher Dauer von Grundhochwasser vorzugsweise generelle Schutzmaßnahmen vorgesehen werden; für Gebiete mit geringerer Dauer von Grundhochwasser und hoher Intensität sollten vorzugsweise temporäre Maßnahmen vorgesehen werden (s. Abb. 55).

Wirkungen von Schutzmaßnahmen im Bereich des Oberflächenwassers auf das Grundwasser

Die Untersuchungen der Wirkungen, die von Schutzmaßnahmen im Bereich des Oberflächenwassers auf das Grundwasser ausgehen, war eine zentrale Fragestellung in der Szenarienauswahl der Modellierungen im Innenstadtbereich von Dresden. Aus den Ergebnissen

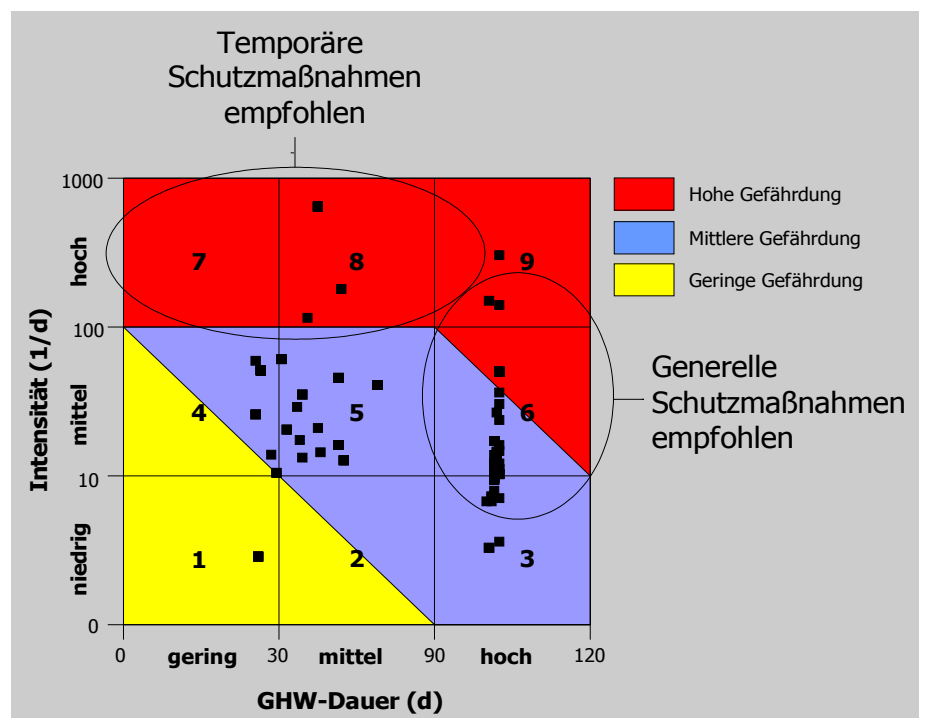
(UBV/DGC/GFI 2004b, s. a. Kap. 3.2.3) lassen sich folgende unmittelbare Handlungsempfehlungen für die Landeshauptstadt Dresden ableiten:

- Dem Schutz der Dresdner Innenstadt vor einem erneuten Überfluten durch die Weißeritz ist auch im Hinblick sich einstellender hoher Grundwasserstände unbedingte Priorität einzuräumen.
- Eine temporäre Hochwasserschutzwand im Bereich der Dresdner historischen Innenstadt führt nur in Kombination mit temporären Schutzmaßnahmen (Absenkungsbrunnen) zu unkritischen Grundwasserständen (s. a. Abb. 37).

Generelle Schutzmaßnahmen

Generelle Schutzmaßnahmen sollten in den Gebieten empfohlen werden, wo der Betrieb temporärer Schutzmaßnahmen durch langanhaltend hohe Grundwasserstände zu unverhältnismäßig hohen Kosten führen würde. Vorzugsgebiete für generelle Schutzmaßnahmen sind die südöstlichen, flussfernen Stadtgebiete Dresdens. Zu den generellen Schutzmaßnahmen sind zu zählen:

- Weiße Wannen – kommen als generelle Schutzmaßnahmen dann in Frage, wenn die Auflast des Gebäudes eine genügende Sicherheit gegen die Auftriebskräfte durch hohe Grundwasserstände gewährleistet.
- Bau-/Nutzungsbeschränkungen. Sie sollten in Gebieten empfohlen werden, in denen hohe Grundwasserstände über einen längeren Zeitraum angetroffen wurden oder



prognostiziert werden. Je nach sich einstellendem minimalen Grundwasserflurabstand sind die Bau-/Nutzungsbeschränkungen für die Ebenen –1 oder –2 zu empfehlen. Nutzungsbeschränkungen beziehen sich auch auf die Einrichtung technischer Betriebsanlagen in Tiefgeschossen, die bei eindringendem Grundwasser ausfallen können.

Temporäre Schutzmaßnahmen

Temporäre Schutzmaßnahmen sollten in den Gebieten empfohlen werden, wo mit hoher Intensität sich hohe Grundwasserstände einstellen, die aber auch schnell wieder abklingen (Flussnähe, Innenstadt). Vorzugsgebiete für temporäre Schutzmaßnahmen sind die Innenstadt und die rechtselbischen Gebiete Mickten und Trachau. Als temporäre Schutzmaßnahmen kommen in Frage:

- Absenkungsanlagen – Auf die Notwendigkeit temporärer Schutzmaßnahmen, wie Absenkungsanlagen oder Flutung betroffener Tiefbaubereiche sind Bauherren und Planer in Gebieten mit hoher Intensität und geringer Dauer explizit hinzuweisen.
- Für den Betrieb von Absenkungsanlagen sind für den Ereignisfall verbindliche Hinweise über den Abschlag des gehobenen Wassers zu geben. Das Management des Grundwasserabschlages muss der Unteren Wasserbehörde in Zusammenarbeit mit der Katastrophenschutzbehörde obliegen.
- Flutung von Tiefgeschossen – Diese Maßnahme kann sich erforderlich machen, für den Fall, dass die Auflast eines Gebäudes gegen Auftrieb nicht ausreichend ist und/oder Absenkungsanlagen nicht errichtet wurden. Generell stehen diese Maßnahmen in erster Linie in der Verantwortung des Baueigentümers. Entsprechende vorsorgende Hinweise sollten jedoch in den Bebauungsplänen gegeben werden.

Kanalisation

Auf Grund der Untersuchungen und Berechnungen von Krebs et al. (2004) ergeben sich folgende Handlungsempfehlungen:

- Die Untersuchungen zur Drainageleistung der Kanalisation ergaben kurzfristig (Zeitspanne von wenigen Tagen) eine nur geringe dämpfende Wirkung (ca. 16 cm) auf den Grundwasserspiegel im Stadtgebiet von Dresden während extremer Hochwasserereignisse. Die schrittweise Sanierung des Kanalnetzes sollte deshalb fortgesetzt werden, da im

Hochwasserfall auch die gezielte Absenkung und Einleitung von Grundwasser in ausgewählten Gebieten vorstellbar ist und somit die ungesteuerte Drainage von Grundwasser nicht zwingend erforderlich ist. Eine Sanierung von Kanälen hat zudem den positiven Effekt, dass die Kapazität des Kanalnetzes gezielter genutzt werden kann. Allerdings muss beachtet werden, dass eine dichte Kanalisation (Dichtheitsanforderung nach DIN EN1610) nicht 100% dicht ist und deshalb weiterhin mit einer diffusen Grundwasserinfiltration, die im Hochwasserfall entsprechend erhöht ist, gerechnet werden muss.

- Haupt- und Abfangkanäle sollten im Mittelpunkt von Rehabilitationsmaßnahmen stehen. Dabei ist zu bemerken, dass sowohl für die Grundwasserinfiltration als auch für die Abwasserexfiltration in diesen Kanälen ein Schwerpunkt gesehen wird.

Sicherung von Punktquellen

Die Grundwasserbeschaffenheit kann durch den Eintrag von Stoffen aus Punktquellen im Hochwasserfall gefährdet werden, wenngleich eine flächendeckende, lang anhaltende Beeinträchtigung der Grundwasserbeschaffenheit während des Augusthochwassers 2002 im Stadtgebiet von Dresden nicht festgestellt werden konnte (Walther & Marre 2004). Dennoch leiten sich – vor allem in der Umgebung der Wasserwerke im Elbtal – Handlungsempfehlungen ab, die auf eine Sicherung der Punktquellen als Stoffeintragsquellen abstellen. Hierzu sind folgende Maßnahmen denkbar:

- Wasserdichter Verschluss von Messstellen und Entnahmebrunnen in überflutungsgefährdeten Gebieten bzw. Überprüfung der Dichtheit von Verschlüssen, je nach Lage ggf. auch unter einer Wassersäule von mehreren Metern.
- Schutz von freistehenden Messstellen vor Beschädigungen durch Kollisionen mit Verkehrsmitteln oder Treibgut während eines Hochwassers.
- Fachgerechter Rückbau der nicht mehr genutzten Brunnen und Messstellen sowie Abdichtung von offenen Bohrlöchern in überflutungsgefährdeten Gebieten.

Diese Maßnahmen sollten mit verhältnismäßig geringem Aufwand und Kosten zu realisieren sein. Hinsichtlich des Schutzes von Baugruben existieren bereits Bestimmungen für den Hochwasserfall, die helfen, die Auswirkungen

auf die Beschaffenheit des Grundwassers zu minimieren. Das sind die Entfernung wassergefährdender Stoffe aus der Grube und die Flutung der Grube sowie die Meldung einer Überflutung.

Altlasten

Für Altlastenstandorte im Bereich hoher Grundwasserstände ergaben sich aus den im Zusammenhang mit dem Forschungsprojekt geführten Untersuchungen (BGD 2003, M&S 2003, HGN 2003) keine Handlungsempfehlungen bezüglich technischer Schutzmaßnahmen.

4.2.2 Hochwasser-Flächenmanagement

Dem Hochwasser-Flächenmanagement wird als Hochwasserschutzstrategie höchste Priorität zugewiesen. Es beinhaltet die Komponenten „Flächenvorsorge für hochwassergefährdete Gebiete“ und „Natürlicher Wasserrückhalt“ (LAWA 1995, LAWA 2004, Schanze 2002). Ist der natürliche Wasserrückhalt in erster Linie eine Forderung für das Einzugsgebiet, so steht die Flächenvorsorge für hochwassergefährdete Gebiete in urbanen Räumen (die in aller Regel in den Abflussgebieten liegen) im Vordergrund. Auch für den Schutz gegen Grundhochwasser kommt der Flächenvorsorge für hochwassergefährdete Gebiete Priorität zu, kommt es doch darauf an, Gefahrenpotenziale zu berücksichtigen und Schäden zu minimieren.

Für die Flächenvorsorge kommen grundsätzlich die Instrumente der Regionalplanung, der Bauleitplanung und der wasserrechtlichen Flächenvorsorge in Frage; für die Vorsorge gegen Grundhochwasser sind die Instrumente der Bauleitplanung die entscheidenden.

Nach den Handlungsempfehlungen der LAWA sollte flächenbezogen durch Bebauungspläne eine Verbindlichkeit hergestellt werden, die nicht die technischen Einzelheiten des Bauens in hochwassergefährdeten Gebieten regelt, sondern sich auf die grundlegende Frage der Flächennutzung, wie z. B. Grundstücksaufhöhungen, Nutzungsbeschränkungen etc. bezieht (LAWA 2004, S. 17).

Für die Landeshauptstadt Dresden ergeben sich im Ergebnis der Untersuchungen folgende Handlungsempfehlungen.

Bauleitplanung und Tiefbaupotenziale

- Berücksichtigung der Gefahrenpotenziale und der sich daraus ableitenden Tiefbaupotenziale bei der Ausweisung von Baugebieten. Entsprechende Einschränkungen oder Hinweise auf generelle Schutzmaßnahmen sollten in die Bebauungspläne aufgenommen werden. Dies gilt vor allem für die Schwerpunktgebiete Dresden-Laubegast bis -Kleinzschachwitz sowie Dresden-Mickten und -Trachau.
- Die Berechnungsergebnisse der Modellierung ergaben, dass auch vor dem Hintergrund eines Hochwasserereignisses eine Erhöhung der Anzahl der Tiefgeschosse zwar nicht generell ausgeschlossen werden muss, jedoch in jedem Fall einer gesonderten Prüfung bedarf (UBV/DGC/GFI 2004b). Ganz besonders ist bei der baulichen Ausführung von mehr als zwei Tiefgeschossen durch die Genehmigungsbehörde baubegleitend darauf zu achten, dass die im Grundwasser befindlichen großflächigen Verbaulemente nachweislich wieder rückgebaut werden, da derartige Baugruben unter den hydrogeologischen Verhältnissen der Dresdner Elbtalwanne nur noch mit (temporärem) Totalverbau (Spundwände, Dichtwände) durchführbar sind.
- Die Ausweisung von Gefährdungspotenzialen ist auf prognostizierte Wasserstände (z. B. HQ₁₀₀; EHQ) zu erweitern, um die Sensitivität dieses Verfahrens zu testen und Entscheidungsspielräume für die Bauleitplanung zu eröffnen.
- Höhere Stufen der Vorsorge, wie Einschränkungen oder Verbot von Tiefbau, wahlweise bis zur 2. oder gar bis zur 1. Tiefbauebene, vor dem Hintergrund der Gefährdung durch Grundhochwasser, sollten generell in den Entscheidungsrahmen der Bauleitplanung mit einbezogen werden.
- Entsprechend der differenzierten Schutzziele sind in der perspektivischen Stadtplanung sensible Nutzungen in Gebieten mit mittlerem bis hohem Gefährdungspotenzial zu vermeiden.

Regenwasserversickerung

- Durch die Einbeziehung der Daten vom Auguthochwasser 2002 und insbesondere der Grundwasserstände aus dem Zeitraum bis Ende 2003 können differenzierte und aktuelle Angaben zu Grundwasserflurabständen gemacht werden. Die Bauherren und Planer sind demnach auf die Gegebenheiten extremer Grundhochwässer im Hochwasserfall hinzuweisen.
- Durch die Klassifizierung der Grundwasserflurabstände bei MHW_{GW} können Regionen ausgewiesen werden, in denen Regenwasserversickerung nicht zu empfehlen ist, bzw. eine Bauart für eine Versickerungsanlage vorzuziehen ist (s. Anlage 5). Diese Regionalisierung stellt eine Ergänzung zum bereits bestehenden Praxisratgeber „Mit Regenwasser wirtschaften“ (LH DD 2004) dar.
- Die Ergebnisse der Auswertungen zu Ursachen der Grundwasserstände nach dem Hochwasser und der flächenhaften Auswertung zu Grundwasserflurabständen lassen nicht erkennen, dass die grundsätzliche Haltung der Landeshauptstadt Dresden zur naturnahen Niederschlagsbewirtschaftung (LH DD 2004) aufgegeben werden muss.

4.2.3 Hochwasservorsorge

Die Hochwasservorsorge als wesentliche Hochwasserschutzstrategie beinhaltet die Komponenten der Bauvorsorge, der Verhaltensvorsorge und der Risikovorsorge. Übertragen auf den Be-

reich des Grundwassers, kommt der Bauvorsorge vorrangige Bedeutung zu. Im Kapitel 4.2.1 sind Vorschläge bezüglich des Technischen Schutzes gegenüber der Grundwasserdynamik gemacht. In Kap. 4.2.2 sind diese bautechnischen Maßnahmen auf die Regionen verschiedener Tiefbaupotenziale übertragen worden. Grundlage für die Verhaltensvorsorge kann die Einrichtung eines hochwasserbezogenen Überwachungsnetzes für das Grundwasser sein.

Im Folgenden sollen allgemeine Hinweise zu einer grundwasserbezogenen Hochwasservorsorge gegeben werden, die über den unmittelbaren Objektschutz hinaus gehen und sowohl der Landeshauptstadt Dresden als auch anderen Kommunen und dem Gesetzgeber Leitlinien in die Hand geben, das Grundwasser in der Hochwasservorsorge stärker zu berücksichtigen.

4.2.3.1. Bauvorsorge

Bauleitplanung

Tiefbaupotenziale spielen angesichts der Entwicklung der Baulandpreise in den urbanen Gebieten in Deutschland eine zunehmende Rolle. Für Stadtgebiete in Flussniederungen können die Interessen an der Ausschöpfung der Tiefbaupotenziale mit den geohydrologischen Verhältnissen kollidieren. Dies wird, wie das Beispiel der Landeshauptstadt Dresden zeigt, durch die Gefährdung mit Grundhochwasser noch verstärkt. Zur allgemeinen Forderung nach naturnahen unterirdischen Abflussverhältnissen des Grundwassers ist somit die Komponente des Schutzes der Gebäude vor der Ein-

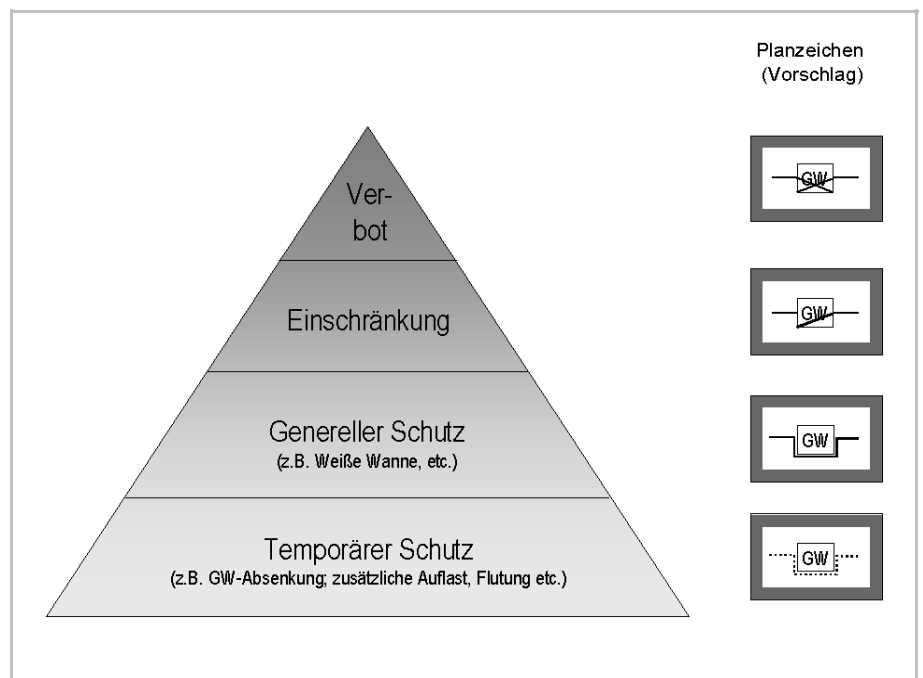


Abb. 56: Stufen der Vorsorge gegen Grundhochwasser in der Bauleitplanung

wirkung von Grundhochwasser zusätzlich zu berücksichtigen.

Da Vernässungsschäden durch hohe Grundwasserstände in Siedlungsgebieten in den vergangenen Jahren zu einem Problem auch außerhalb hochwassergefährdeter Regionen geworden sind, kann auf entsprechende Untersuchungen und Handlungsempfehlungen zurück gegriffen werden (BWK 2003).

Die Ausweisung von Karten unterirdischer Gefahrenpotenziale kann eine Grundlage sein. Diese Karten geben der Vollzugsbehörde nicht nur im Ereignisfall ein Instrument in die Hand, Gebiete mit Gefährdungen für bestehende Bausubstanz zu ermitteln, sondern auch für die Bauleitplanung Hinweise zur Einordnung der Flächen hinsichtlich zu empfehlender Vorsorgemaßnahmen zum Schutz geplanter Bausubstanz. Ein wei-

terer Schritt wäre die Information durch Kenntlichmachung im Bebauungsplan (BWK 2003). Diese Vorsorge kann entsprechend des Gefährdungsgrades stufenweise vorgenommen werden (s. Abb. 56).

Die allgemeinste Form der Vorsorge ist der Hinweis auf das Gefahrenpotenzial durch Grundhochwasser und auf das Erfordernis eines temporären Schutzes. Dies gilt für Gebiete mit einer zu erwartenden Dauer des Grundhochwassers von unter 30 Tagen. In Gebieten, in denen mit länger anhaltendem Grundhochwasser zu rechnen ist (z. B. über 90 Tage), sollten generelle Schutzmaßnahmen empfohlen werden.

Die höheren Stufen der Vorsorge, wie Einschränkungen oder Verbot von Tiefbau, wahlweise bis zur 2. oder gar bis zur 1. Tiefbauebene, vor dem Hin-

tergrund der Gefährdung durch Grundhochwasser, sollten generell in den Entscheidungsrahmen zur Bauleitplanung mit einbezogen werden. Plangebietsbezogene Einzelfallentscheidungen auf der Basis modellgestützter Szenarienrechnungen sind hier zwar aus Gründen der Rechtssicherheit vorzunehmen, die Ausweisung entsprechender Gebiete, wo Einschränkungen oder Verbote ausgesprochen werden können, sollte aber aus Gründen der generellen Vorsorge in urbanen Gebieten in Flussniederungen bereits Bestandteil entsprechender Nutzungspläne werden. In Abb. 64 werden dazu in Anlehnung an die Planzeichenverordnung (PlanzV 1990) entsprechende Signaturvorschläge gemacht.

Regenwasserversickerung

Regenwasserversickerung wird für urbane Gebiete als ein wirksames Mittel angesehen, der durch die Urbanisierung bewirkten Reduktion der Grundwasserneubildung (Ku et al. 1992) gezielt entgegenzuwirken. So ist die Niederschlagsversickerung mittlerweile gängige Praxis in weiten Teilen Deutschlands, der eine Reihe ökologischer Vorteile zuzuschreiben sind (Coldewey et al. 2001), wie:

- Zwischenspeicherung von Hochwasserabflüssen,
- Reduzierung der Spitzenabflüsse,
- Erhöhung der Niedrigwasserabflüsse von Gewässern,
- Erhöhung der Verdunstungsraten im urbanen Raum und
- Unterstützung der Grundwasserneubildung.

Diesen Vorteilen können jedoch auch negative Auswirkungen gegenüber stehen, die unter Hochwasserbedingungen besondere Brisanz erlangen (BWK 2003; Coldewey et al. 2001; Dittrich & Münch 1999). Zu nennen sind hier:

- Veränderungen des Wasserhaushalts mit Anhebung der Grundwasserstände und Verringerung der Grundwasserflurabstände,
- Vernässungen und Setzungen,
- Schäden in der Vegetation und im Gewässerbett,
- Einschränkung des Verwesungsverlaufes in Friedhöfen,
- Eintrag von Schadstoffen,
- Grundwasserkontakt zu Altanlagen und Altstandorten.

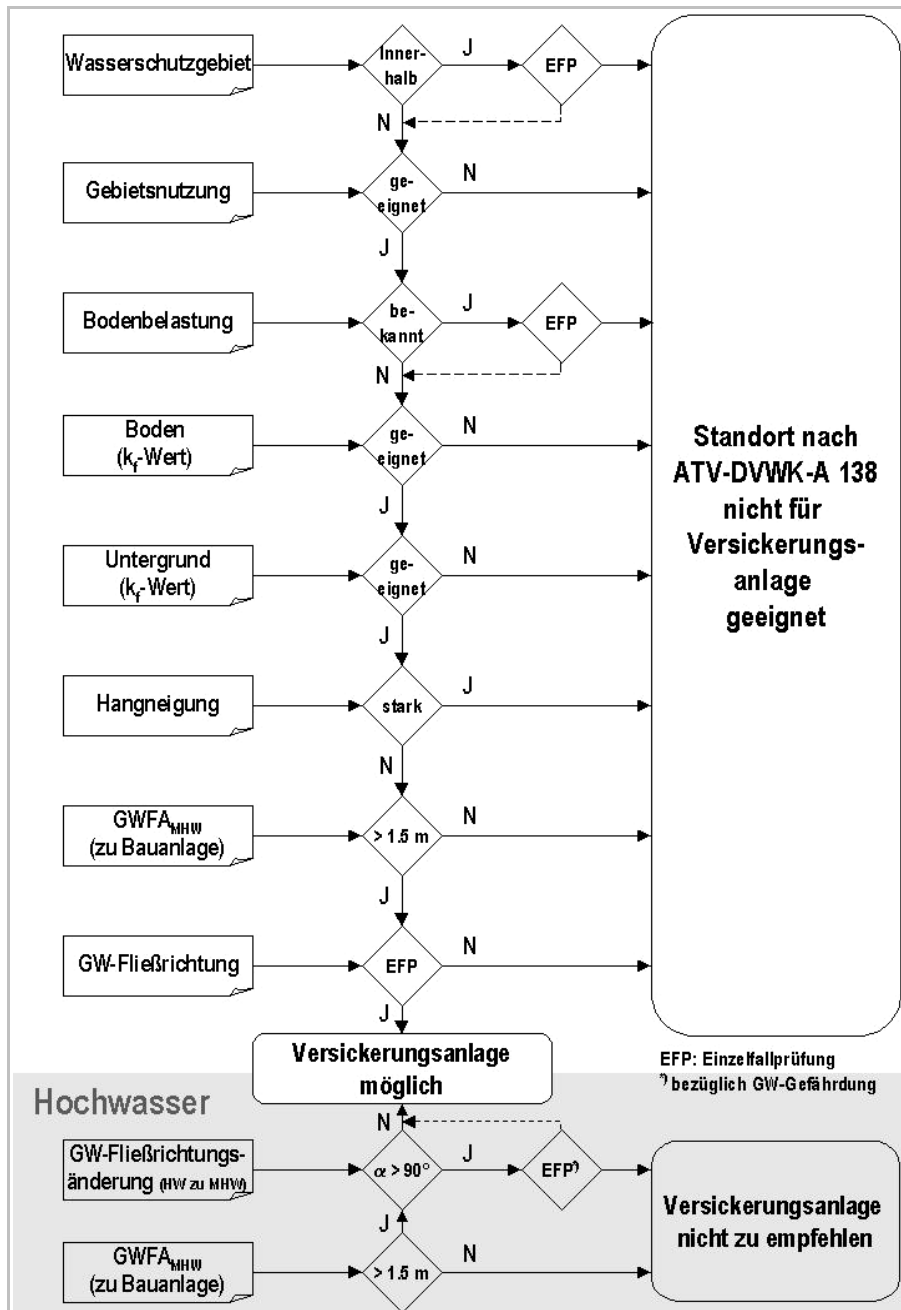


Abb. 57: Schritte zur Ersteinschätzung des Standortes von Versickerungsanlagen nach ATV-DVWK-A 138, unter Einbeziehung von Hochwasser

Darüber hinaus wird in der Literatur auch die Niederschlagsversickerung als Schadstoffquelle für Grundwasser und Boden diskutiert (Mikkelsen et al. 1997; Zimmermann et al. 2002; Fischer et al. 2003).

Durch die Auswirkungen des Hochwassers auf das Grundwasser hinsichtlich der Grundwasserdynamik stellen sich zusätzliche Fragen zu den Grenzen der Regenwasserversickerung in urbanen Gebieten.

In Deutschland ist das Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 138 (ATV-DVWK 2002) maßgebliche Richtlinie für die Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser. Darin werden Kriterien genannt, nach denen „im Frühstadium der Bauleitplanung“ Ersteinschätzungen darüber erfolgen sollten, ob Niederschlagsversickerungsanlagen vorgesehen werden können. Als Kriterien werden genannt (ATV-DVWK 2002, S. 30f):

- Durchlässigkeit des Bodens,
- Beschaffenheit des Untergrundes,
- Grundwasserflurabstand,
- Grundwasserfließrichtung,
- Hangneigung,
- Wasserschutzgebiet,
- Bodenbelastung und
- Gebietsnutzung.

Durch die Landeshauptstadt Dresden wurde in Anlehnung ATV-DVWK (2002) ein Praxisratgeber erarbeitet, in dem Grundlagen und praktische Hinweise zur naturnahen Regenwasserbewirtschaftung dargelegt sind (LH DD 2004). Ergänzend dazu wurden in Kap. 3.2.5 Potenziale naturnaher Niederschlagsversickerung unter Einbeziehung des Hochwassers ausgewiesen. Darüber hinaus ergeben sich für die grundwasserbezogene Hochwasservorsorge weitere allgemeine Handlungsempfehlungen.

Ausgehend von der Standortbewertung zur Regenwasserversickerung nach ATV-DVWK (2002), unter Einbeziehung hochwasserbedingter Flurabstände und Fließrichtungsänderungen, ergibt sich ein Handlungsablauf für die Ersteinschätzung eines Standortes für eine Versickerungsanlage, wie er in Abb. 57 dargestellt ist.

Da nach der Erlaubnisfreiheitsverordnung (ErlFreihVO 2001) das Ableiten von Niederschlagswasser in das Grundwasser (Versickerung) erlaubnisfrei ist, wenn die in §§ 3 bis 6 genannten Anforderungen erfüllt sind und eine Anzeigepflicht der Niederschlagsversickerung demnach nicht vorgesehen ist, ist die Kommunikation mit Planern und Bauherren hinsichtlich der Planungen von Niederschlagsversickerungsanlagen

nicht zwingend notwendig. Sowohl aus Vorsorgegründen für die Planung von Anlagen als auch um eine Bilanzierung des urbanen Wasserhaushaltes laufend halten zu können, wird im Ergebnis des Forschungsprojektes vorgeschlagen, die Erlaubnisfreiheitsverordnung (ErlFreihVO 2001) dahingehend zu novellieren, dass eine Anzeige der Anlage vorzunehmen ist, soweit eine Erfassung der Anlage im Rahmen der Erhebung von Niederschlagswassergebühr nicht vorgesehen ist. Daraus kann eine digitale Erfassung der Versickerungsstandorte in gefährdeten Bereichen erfolgen.

Als weitere Handlungsempfehlungen bezüglich der Niederschlagsversickerung und ihrer Anlagen sind zu nennen:

- Vorkehrungen für die Versiegelung von Versickerungsanlagen ohne Grundwasserschutz im gefährdeten Bereich,
- Erstellung einer Liste, welche potenziellen Eintragungspunkte für Oberflächenwasser (z. B. Versickerungsanlagen und Entnahmebrunnen) kurz vor einem erwarteten Hochwasser mit vorbereiteten Verschlüssen zu versehen oder anderweitig zu sichern sind.

Kanalisation

Inwiefern das Kanalnetz in die lokale Ableitung von Grundwasser während extremer Hochwasserereignisse eingebunden werden kann, sollte durch hydrodynamische Berechnungen nachvollzogen werden. Neben der Modellierung von Infiltrationsraten sollte die Einbeziehung der direkten Zutritte von Oberflächenwasser (direkter Zutritt von Elbwasser) durch einen geeigneten Modellansatz nachvollzogen werden.

Der positiv langfristige Effekt einer Drainage von Grundwasser durch die Wirkung der Kanalisation ist dennoch herauszustellen. Wie die Untersuchungen von Krebs et al. (2004) belegen, trägt die Kanalisation langfristig zur Normalisierung der Grundwasserverhältnisse im Stadtgebiet bei. Grundwasserinfiltrationen stellen demnach neben der zweifellos unerwünschten Verdünnung des Abwasserstromes einen durchaus positiven Effekt in Bezug auf die Ableitung des Grundhochwassers dar.

Dennoch sollte die schrittweise Sanierung des Kanalnetzes fortgesetzt werden, da im Hochwasserfall auch die gezielte Absenkung und Einleitung von Grundwasser in ausgewählten Gebieten vorstellbar und somit die ungesteuerte Drainage von Grundwasser nicht

zwingend erforderlich ist. Eine Sanierung von Kanälen hat zudem den positiven Effekt, dass die Kapazität des Kanalnetzes gezielter genutzt werden kann.

Den Untersuchungsergebnissen zufolge sollten Haupt- und Abfangkanäle im Mittelpunkt von Rehabilitationsmaßnahmen stehen. Dabei ist zu bemerken, dass sowohl für die Grundwasserinfiltration als auch für die Abwasserexfiltration in diesen Kanälen ein Schwerpunkt gesehen wird.

Der starke Anstieg von *Exfiltrationsraten* während extremer Hochwasserereignisse stellt auf Grund der Ereignisdauer und auf Grund geringer Konzentrationen im Abwasser kein Worst-Case-Szenario bezüglich der Schadstoffbelastung dar. Dennoch sollten Exfiltrationsraten abgemindert werden, indem eine weitgehende Abkopplung des Kanalnetzes von Oberflächengewässern (Elbe) erreicht wird. Das Hochwasserschutzkonzept der Stadtentwässerung Dresden, das die Abkopplung des Kanalnetzes von der Elbe zum Inhalt hat, stellt demnach auch aus Sicht des Grundwasserschutzes eine wichtige Maßnahme dar.

Für die kleinräumige Bewertung der Exfiltration in Bezug auf eine Schädigung des Grundwasserleiters sollte an den von Krebs et al. (2004) aufgezeigten Gefährdungsschwerpunkten eine detaillierte Untersuchung vorgenommen werden. Inhalte der empfohlenen Untersuchungen werden im Folgenden aufgeführt:

- Quantitative Bewertung der Exfiltration anhand von temporären Messungen und Kanalinspektionen,
- Modellierung der Transport- und Abbauprozesse in der ungesättigten Bodenzone und Bewertung relevanter Szenarien in Anlehnung an die entwickelte Methodik nach Krebs et al. (2004) (Sickerwasserprognose),
- Modellierung von Schadstofftransport und -abbau im Grundwasser (GW-Schadensprognose),
- Ableitung der Sanierungsnotwendigkeit und Priorisierung von Maßnahmen.

Umgang mit wassergefährdenden Stoffen

Im Jahr 2002 wurden fast genauso viele Unfälle mit wassergefährdenden Stoffen durch das Hochwasser hervorgerufen wie durch andere Unfallursachen. Nach Information des Statistischen Bundesamtes wurden bei rund 1.795 Unfällen im Zusammenhang mit der Hochwasser-

katastrophe ca. 4.798 m³ wassergefährdende Stoffe freigesetzt. In der Regel handelte es sich dabei um Mineralölprodukte aus aufgeschwemmten und undichten Heizöltanks (DESTASIS 2003).

Aufgrund des großflächigen Anstiegs des Grundwasserspiegels, einer Vielzahl von Havarien mit wassergefährdenden Stoffen und der Versickerung potenziell kontaminierten Oberflächenwassers war auch eine Beeinflussung der großräumigen Beschaffenheit des Grundwassers durch die Ereignisse nicht auszuschließen.

Die Lagerung wassergefährdender Stoffe in Überschwemmungsgebieten unterliegt jedoch gesonderten Regelungen, so dass sie hier nicht näherer Betrachtung unterzogen werden sollen (§ 100 SächsWG; § 32 WHG). Generell ist der Umgang mit wassergefährdenden Stoffen in Anlagen (z. B. Heizöltankanlagen) formgerecht anzuzeigen. „Die weitergehenden Anforderungen an solche Anlagen in Überschwemmungsgebieten ergeben sich aus § 10 SächsVAwS (Verordnung des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen - SVAwS) vom 18. April 2000 (SächsGVBl. S. 223), geändert durch Artikel 1 der Verordnung des SMUL vom 5. Dezember 2001 (SächsGVBl. S. 734)“ (LH DD 2004a).

Der Umgang mit wassergefährdenden Stoffen im unterirdischen Bereich ist im Hinblick auf den generellen Grundwasserschutz in § 53 SächsWG in Verb. m. § 19 WHG geregelt. Für den Schutz des Grundwassers vor dem Hintergrund von Grundhochwasser gibt es hingegen keine speziellen Regelungen.

Im Ergebnis des Forschungsprojektes können folgende ergänzende Handlungsempfehlungen gegeben werden:

- Gesonderte Erfassung der Stellen des Umgangs mit wassergefährdenden Stoffen in Gebieten mit potenziell hohen Grundwasserständen.
- Gesonderte Hinweise auf die Gefahr hoher Grundwasserstände im Antragsverfahren.
- Durch den Gesetzgeber ist zu prüfen, inwieweit § 10 SächsVAwS¹ auch auf Gebiete mit potenziell hohen Grundwasserständen, die nicht zu den Überschwemmungsgebieten gehören, ausgeweitet werden kann.
- Eine weitere äußerst wichtige vorbeugende Maßnahme ist die Aufklärung der Bevölkerung zur sicheren Lagerung wassergefährdender Stoffe, da hier bei Überflutung von Wohnungen, Kellern, Garagen und Werkräumen ein nicht unerhebliches Potenzial schlummert. Da solche Informationen aber häufig nur im akuten Fall verstärkt wahrgenommen werden, ist bei Überschwemmungsgefahr auch eine erneute Aufklärung bzw. ein Aufruf der Bevölkerung zur sicheren Aufbewahrung, zur Handhabung und zur Evakuierung wassergefährdender Stoffe aus dem überschwemmungsgefährdeten Gebiet sinnvoll.

Altlastenbehandlung

Aktive Hochwasservorsorge für das Grundwasser im Bereich von Altlasten erfordert zunächst die Feststellung, ob eine belastbar nachzuweisende Gefährdung des Grundwassers durch die betreffende Altlast im Hochwasserfall vorliegt. Eine Analyse der Altlasten hinsichtlich der Fragestellung, welche Altlasten durch welches Hochwasser in welchem Umfang eingestaut werden, muss dem voraus gehen. Das bisherige Inventar der Erfassung von Altstandorten ist dafür

zu ergänzen. Deshalb ist zunächst die bestehende Datenbank SALKA am Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie nach der neuen Situation des Hochwassers 2002 anzupassen. So sollten mit Hilfe einer Abfragemaske möglichst schnell die Standorte herausgefiltert werden können, die im hochwassergefährdeten Bereich liegen.

Auch sind die Angaben zu minimalen Abständen zwischen Untergrenze der Kontamination und Grundwasser auf der Basis des August-Hochwassers 2002 zu ergänzen.

Gerade weil es sich bei Gefährdungsabschätzungen an Altlastenstandorten immer um Einzelfallbetrachtungen handelt, sollten die zentral gehaltenen Daten im Sinne einer schnellen Gefahrenabwehr im Hochwasserfall ein hohes Maß an Aktualität besitzen.

4.2.3.2. Verhaltensvorsorge

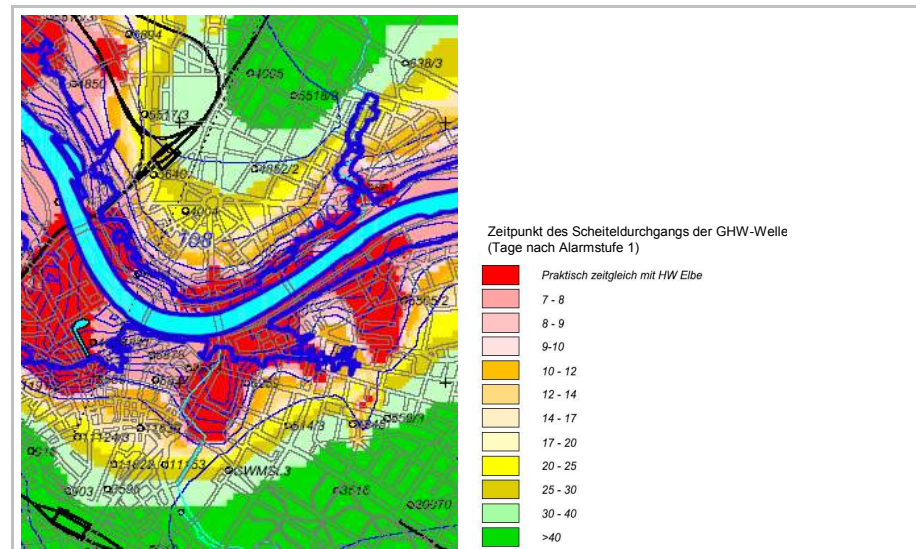
Verhaltensvorsorge heißt, die Zeit zwischen dem Anlaufen eines Hochwassers und dem Eintritt von kritischen Hochwasserständen zur Schadensvermeidung und Schadensminderung zu nutzen (LAWA 2004). Für das Grundwasser können diese Zeiträume in Abhängigkeit von der Entfernung zum Vorfluter, der hydrologisch-meteorologischen Vorgeschichte und den hydrogeologischen Verhältnissen unterschiedlich lang sein.

Modellierung

Der Modellierung der Grundwasserströmung mit dem Ziel, die Anstiegsdynamik zu prognostizieren, kommt innerhalb der Verhaltensvorsorge somit eine entscheidende Rolle zu. Für die Landeshauptstadt Dresden wurden deshalb im Nachgang des Projektes als eine erste Anwendung der Projektergebnisse der Modellierung auch Karten des Zeitraums

- ¹ § 10, Abs. (5) SächsVAwS: Anlagen in Überschwemmungsgebieten müssen so gesichert sein, dass bei Hochwasser
1. keine wassergefährdenden Stoffe austreten können,
 2. kein Aufschwimmen oder eine sonstige Lageveränderung möglich ist und
 3. kein Wasser in die wassergefährdende Stoffe enthaltenden Anlagenteile eindringen kann und eine mechanische Beschädigung, beispielsweise durch den Wasserdruck selbst, Treibgut oder Eisstau ausgeschlossen ist.

Abb. 58: Beispielkarte für den Verschnitt der maximalen Grundwasserstände mit dem Zeitpunkt des Eintrittes (Quelle: Korndörfer & Ullrich 2004)



mes zwischen Hochwasserscheitel und Grundhochwasserscheitel ausgegeben. Ein Beispiel ist in Abb. 58 dargestellt.

Überwachungsnetz Grundwasser

Für den Ereignisfall leisten Hochwassermeldedienste unverzichtbare Hilfe für die Verhaltensvorsorge, indem Betroffene aktuell über Hochwasserstände und deren Entwicklung informiert werden. Grundlage dafür sind aussagekräftige Messstellen, an denen zeitnah die Wasserstände abgerufen werden können.

Die Landeshauptstadt Dresden hat deshalb auf der Grundlage der Projektergebnisse ein Überwachungskonzept konzipiert, das darauf ausgerichtet ist, zeitnahe Informationen zur Entwicklung der Grundwasserstände in der Folge eines Hochwassers erfassen und abfragen zu können (UBV 2005). Dieses Überwachungsnetz basiert sowohl auf den Ergebnissen des Forschungsprojektes als auch behördenübergreifend auf den Arbeiten des StUFA Radebeul zur Konzeption der Grundwasserüberwachung im Großraum Dresden (DGC 2004).

Vorsorge im Abfallmanagement

Nach Hochwasserereignissen in Dresden, bei denen der Elbepegel über 8 m steigt und/oder Überschwemmungen im großem Ausmaß durch Gewässer I. und II. Ordnung auftreten, kann davon ausgegangen werden, dass es bei der Entsorgung der entstandenen Hochwasserabfälle zu wesentlichen Logistik- und Kapazitätsproblemen kommen kann.

Im Rahmen des Forschungsprojektes sind zusammenfassend die folgenden Handlungsempfehlungen für die Kommune gegeben worden (Bilitewski & Wagner 2004).

Es wird empfohlen, eine Planung zur Abfallentsorgung nach Hochwasserkatastrophen auf der Grundlage der beim Hochwasser 2002 gewonnenen Erfahrungen zu erstellen und regelmäßig zu aktualisieren. Dieser Plan sollte folgende Bereiche umfassen:

Abfallmengenprognose für potenzielle Hochwasserereignisse

Eine detaillierte Prognose von Abfallmengen für bestimmte Hochwassersituationen war im Rahmen des Projektes nicht möglich. Es konnten aber grobe Zusammenhänge dargestellt werden. Das Hochwasserereignis vom August 2002 (Elbepegel bei 9,40 m; starke Überflutungen durch

Gewässer I. und II. Ordnung) verursachte als „Referenzwert“ insgesamt 142.000 t an Abfällen. Bei einem, diesem Hochwasser äquivalenten Ereignis in absehbarer Zukunft würde durch die Umsetzung von Schutzmaßnahmen die Abfallmenge wahrscheinlich etwas geringer ausfallen. Ein Anstieg der Elbe auf einen Pegel von 10 m könnte gegenüber dem Hochwasser 2002 mit einer Verdreifachung der Hochwasserabfallmenge verbunden sein.

Sammlung und Transport (Unternehmen, Ansprechpartner)

Aus Gründen der Gesundheitsvorsorge und Schadensminimierung sollte die Bäumung der Abfälle nach einem Hochwasser schnellstmöglich erfolgen. An die Betroffenen müssen Hinweise über Möglichkeiten der Abfallentsorgung und Schutzmaßnahmen während der Aufräumarbeiten ausgegeben werden. Der Plan zur Entsorgung von Hochwasserabfällen sollte eine Liste von Unternehmen enthalten, die geeignete Technik für Sammlung, Transport und Umschlag von Abfällen vorhalten, um diese im Hochwasserfall schnell bereitstellen zu können. Wie beim Hochwasser 2002 müssen die behördlichen Entscheidungsträger die Bäumung vor Ort durch Entsorgungsunternehmen und sonstige Hilfskräfte koordinieren. Es sollten auch klare Regelungen bei Eigenbeauftragung von Entsorgungsunternehmen durch Betroffene hinsichtlich einer nachträglichen Kostenabrechnung erarbeitet und bekannt gegeben werden.

Entsorgungskapazitäten (Unternehmen, Ansprechpartner)

Mittel- oder langfristige Pläne zur Abfallentsorgung lassen sich nicht mit detaillierten Angaben über verfügbare Anlagenkapazitäten im Hochwasserfall erstellen. Es können nur infragekommene Anlagen aufgelistet und verfügbare Anlagenkapazitäten im konkreten Hochwasserfall abgefragt werden. Es wird davon ausgegangen, dass Sand/Schlamm auch weiterhin ortsnah deponiert oder teilweise verwertet werden kann. Als zukünftiges Hauptproblem bei der Hochwasserabfallentsorgung wird die rechtliche Unterbindung der Deponierung von unbehandelten Siedlungsabfällen angesehen. Die Situation am Abfallmarkt ab 01.06.2005 ist derzeit noch nicht ganz absehbar, es wird aber wahrscheinlich zu erheblichen Engpässen bei ortsnahen Entsorgungskapazitäten im Hochwasserfall kommen. In Dresden sind bereits überdurchschnittlich hohe Kapazitäten zur Sperrmüllsortierung (geschätzt 1.000 t pro Tag) verfügbar. Nicht sortierbarer Sperrmüll, Schwemmgut sowie große Mengen an Sortierresten müssten aber zukünftig vorwiegend in thermischen Abfallbehandlungsanlagen entsorgt werden, die ortsnah nicht vorhanden sind. Anlagen in größerer Entfernung können, insbesondere aus Mangel an geeigneten Transportkapazitäten im Hochwasserfall zeitnah höchstens für kleinere Mengen in Anspruch genommen werden. Eine hochwasserbedingte Ausnahmegenehmigung zur Deponierung könnte, wie beim Hochwasser 2002, ggf. kurzfristig die

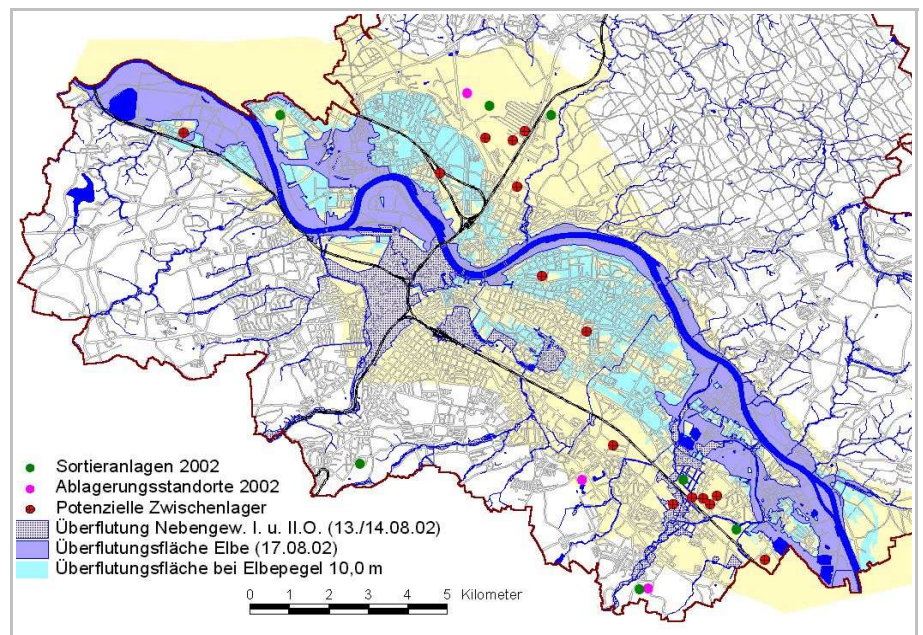


Abb. 59: Abfall-Entsorgungskapazitäten während des Augusthochwassers 2002 und potenzielle Zwischenlager

ortsnah benötigten Entsorgungskapazitäten verfügbar machen. Des Weiteren ließen sich hierdurch die zusätzlichen Entsorgungskosten für die Hochwasserabfälle minimieren. Durch die zukünftig absehbare Endabdeckung der Deponien wird aber auch diese Notfalloption mittelfristig entfallen.

■ **Zwischenlagerkapazitäten (Unternehmen, Ansprechpartner)**

Zwischen der hohen Abfuhrleistung im Hochwasserfall und den verfügbaren Entsorgungskapazitäten entstehende Differenzmengen müssen zwischengelagert werden. Im Projekt wurden die verfügbaren Zwischenlagerkapazitäten an den Sortieranlagen auf 28.000 t geschätzt. Für darüber hinaus benötigte Zwischenlager wurden Anforderungen erarbeitet und eventuell infragekommene Brachflächen im Stadtgebiet Dresdens recherchiert. Die Standorte für potenzielle Zwischenlagerflächen sind in Abb. 59 dargestellt. Eine Planung sollte entsprechend des Landesentwicklungsplanes Sachsen 2003 konkrete Flächen zur Zwischenlagerung katastrophengebinder Abfälle vorsehen.

■ **Anweisungen zur Dokumentation der Abfallströme**

Bei einer zukünftigen Entsorgung von Hochwasserabfällen sollte die Dokumentation der Abfallströme und Entscheidungswege verbessert werden. Hierdurch kann eine Planung für die Entsorgung katastrophengebinder Abfälle zukünftig präzisiert werden. Beispielsweise sollten die In-/Outputmengen der Entsorgungsanlagen von den Anlagenbetreibern in Form einer Anlagenbilanz über hochwasserbedingte Abfälle abgefordert werden.

■ **Anweisungen zur Öffentlichkeitsarbeit**

In die Informationen über den Hochwasserverlauf und die Maßnahmen des Katastrophenschutzes sind Informationen über Erfassung, Sortentrennung und Zwischenlagerung von Flutabfällen einzubinden. Entsprechende Informationspläne sind in die Entsorgungsplanung einzubeziehen.

4.2.3.3. Risikovorsorge

Nach einem Urteil des Landgerichtes Berlin (Az. 7 O 137/03) ist ansteigendes Grundwasser keine Überschwemmung. Nur wenn ein Gewässer über die Ufer tritt oder wenn Regenwasser direkt in den Keller läuft, kommt die Elementarschadensversicherung dafür auf. Eine Wohngebäudeversicherung würde dem Hausbesitzer dagegen nichts nützen, denn sie zahlt nur für Schäden, die durch Leitungswasser entstehen. Lediglich die Versicherten, die noch eine Haushaltsversicherung nach DDR-Recht haben, sind gegen die Art von Elementarschäden versichert, die auf Grundwasseranstieg zurückgehen.

Hier wird Regelungsbedarf gesehen (Blumensaat & Seidel 2005), für den eine Bewertung unterirdischer Schadenspotenziale auf der Grundlage der Gefahrenpotenzialkarten eine erste Grundlage sein kann.

5. Verallgemeinerungen für den grundwasserbezogenen Hochwasserschutz

Auf der Grundlage der Ergebnisse der Untersuchungen in Dresden und der Datenerhebungen im sächsischen Elbtal zu Auswirkungen des Hochwassers auf das Grundwasser sollen im Folgenden Verallgemeinerungen für einen grundwasserbezogenen Hochwasserschutz getroffen werden, die auch auf andere Flussgebiete übertragbar sind.

Bei der Betrachtung der Zusammenhänge zwischen Hochwasser und Grundwasser muss unterschieden werden zwischen den Wirkungen, die von dem Hochwasser auf das Grundwasser ausgehen – diese müssen nicht in jedem Falle eine Gefahr für das Grundwasser darstellen – und den Gefahren, die von extrem hohen Grundwasserständen für den urbanen Raum ausgehen. Daraus sind differenzierte Handlungsstrategien abzuleiten.

■ 5.1 Wirkungen von Hochwasser auf das Grundwasser

5.1.1 Grundwasserdynamik

Flussauen sind der Teil eines Flusstales, der innerhalb des Einflussbereiches des Hochwassers liegt und somit dem Wechsel von Trockenfallen und Überflutung unterliegt; sie dienen vor allem und zuerst als Entlastungsgebiete für den regionalen Grundwasserstrom. Entlastungsgebiete sind deshalb immer von hohen Grundwasserständen – Ergebnis des aufsteigenden Grundwasserstromes – geprägt. (SOMMER 2001). Durch anthropogene Eingriffe, wie Grundwasser-nutzungen, Grundwasserabsenkungen und Aufschüttungen – Erfordernisse für die urbane Entwicklung – wurden die ursprünglich als Sumpfbereiche bekannten Auenbereiche zu Gebieten mit auen-untypisch großen Grundwasser-

flurabständen und erhöhter Grundwasserneubildung.

Jede Hochwassersituation verschiebt somit das anthropogen überprägte System wieder in Richtung naturnäherer Zustände, wenngleich dieser Prozess in einem nur kleinen Zeitfenster vonstatten geht. Schäden, die aus dieser (kurzzeitigen) Situation entstehen, ergeben sich somit aus dem schnellen Aufeinander-treffen von anthropogener Nutzung und Überprägung der Aue, die in einem langanhaltenden Prozess entstanden sind, und eines sich schnell einstellenden naturnahen Zustandes.

Die in den Entlastungsgebieten durch den Vorfluter direkt und die Grundwasserdynamik in den Speisungsgebieten indirekt beeinflussten Grundwasserstände werden in Zeiten des Hochwassers in starkem Maße durch die Dynamik der Vorflut bestimmt. Dazu können Niederschlagsereignisse zu

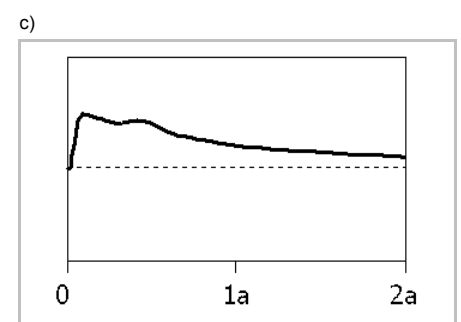
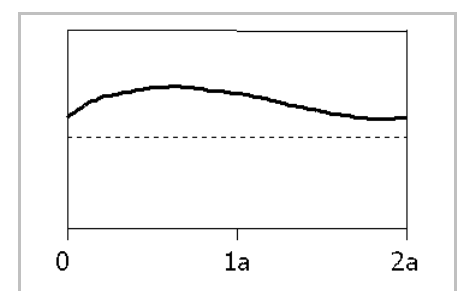
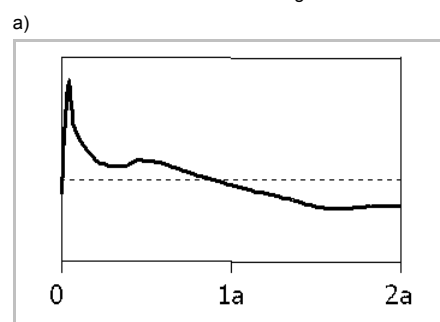
einer zusätzlichen, kurzfristigen Aufhöhung der Grundwasserstände führen.

Die Ursachen für langanhaltend hohe Grundwasserstände lassen sich nicht auf einen bestimmenden Prozess reduzieren. Es kann zur Überlagerung folgender Prozesse kommen, die zu entsprechenden Extremereignissen führen, wie sie in der Folge des Auguthochwassers 2002 in Dresden eingetreten sind:

- Niederschlagsereignisse im Überflutungsgebiet,
- Überflutung der Nebengewässer,
- Überflutung des Hauptvorfluters,
- Rückstau aus Kanalisation (lokal differenziert),
- Rückstau im Hinterland (lang anhaltend),
- Speisung aus dem Liegenden (hydrogeologisch determiniert).

Abb. 60: Ganglinientypen bei der Interaktion Oberflächenwasser – Grundwasser

- a) Vorflut-beeinflusst – Ganglinie reagiert sowohl im Anstieg als auch im Rückgang unmittelbar auf die Vorflut.
- b) Hinterland-beeinflusst – Ganglinie reagiert nicht oder nur stark verzögert auf die Vorflut. Im Hinterland machen sich stärker Entlastungseffekte und Effekte der Grundwasserneubildung bemerkbar.
- c) Übergangstyp – Ganglinie ist sowohl von der Vorflut beeinflusst als auch von den Prozessen im Hinterland mit Grundwasser-Neubildung und Grundwasser-Entlastung.



Durch die im Stadtgebiet von Dresden beobachtete Grundwasserdynamik in der Folge der Hochwässer August 2002 und Jahreswechsel 2002/2003 lassen sich die Ganglinien in Typen klassifizieren (Abb. 60). Diese Ganglinientypen machen deutlich, dass der Einfluss des Hochwassers auf das Grundwasser regional stark wechselnd ist. Mit Hilfe solcher Ganglinienanalysen können die Messstellen, die einen Einfluss des Hinterlandes bzw. dessen Überlagerung mit dem Hochwasser dokumentieren, in ein Hochwasserüberwachungssystem einbezogen werden.

Vor allem die Gebiete mit Hinterlandbeeinflussung und mit Grundwasserdynamik des Übergangstyps können in der Folge von Hochwasser längerfristig die problematischsten Bereiche hinsichtlich Grundhochwassers darstellen.

Die Menge der unterirdischen Speicherung konnte im Stadtgebiet von Dresden mit ca. 1 % der Durchflussmenge der Elbe angegeben werden. Der Effekt unterirdischer Speicherung ist damit als vergleichsweise gering für die Absenkung des Hochwasserscheitels anzusehen.

5.1.2 Grundwasserbeschaffenheit

Wirkungspfade für Grundwasserbeschaffenheitsveränderungen in der Folge von Hochwasserereignissen sind:

- Versickerung des Oberflächenwassers in das Grundwasser,
- direkter Eintrag von Oberflächenwasser in das Grundwasser an überfluteten Eintragsstellen wie Brunnen, Messstellen, Baugruben etc.,
- Stoffaustausch aus Altlastenstandorten durch aufsteigendes Grundwasser,
- Stoffaustausch aus defekter Kanalisation.

Die genannten Wirkungspfade führen zu räumlich und zeitlich differenzierten Belastungssituationen im Grundwasserleiter. Hochwasser führt dazu, dass langanhaltende Trends der Beschaffenheitsentwicklung des Tal-Grundwasserleiters nur kurzzeitig unterbrochen werden.

Die räumliche Dimension der Beeinflussung der Grundwasserbeschaffenheit durch das Hochwasser zeigte sich durch ein flächenhaftes Ansteigen des DOC und die generelle Verringerung der Leitfähigkeit im Grundwasser.

Die Beschaffenheitsveränderungen in der Umgebung von Altlastenstandorten sind vor allem vom Stoffinventar und von den hydrogeologischen Verhältnissen abhängig. Es wirken sowohl Effekte der

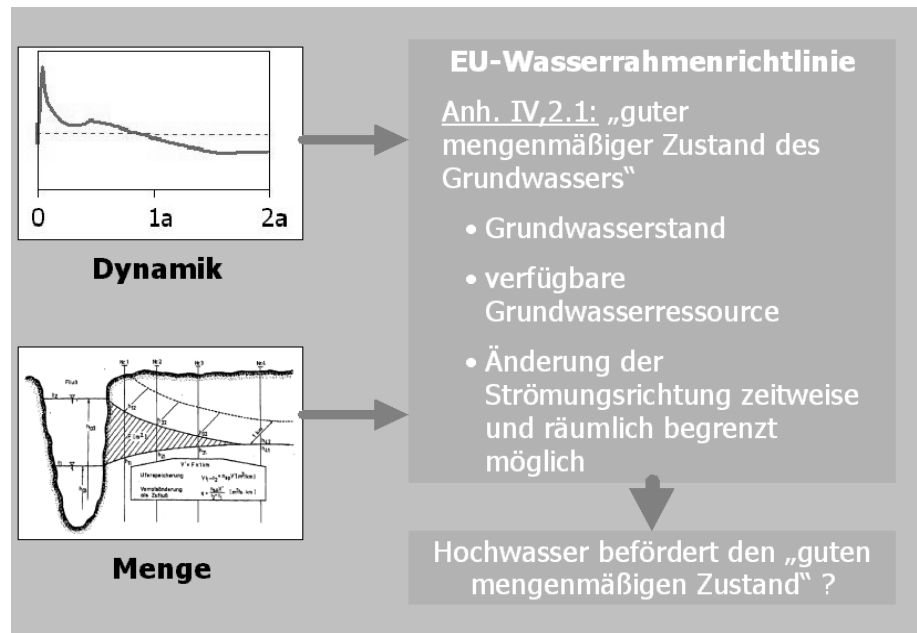


Abb. 61: Auswirkungen des Hochwassers hinsichtlich des mengenmäßigen Zustandes des Grundwassers

Verdünnung als auch der vertikalen und horizontalen Schadstoffverlagerung. Je nach Probenahmeort führt das zur Verringerung oder Erhöhung der Konzentrationen schädlicher Wasserinhaltsstoffe. Nach den Datenauswertungen in der Folge der Hochwasserereignisse muss davon ausgegangen werden, dass die Veränderungen der Grundwasserflussrichtung in der Folge des Hochwassers bezüglich Konzentrationsveränderungen in einer Messstelle der dominante Prozess ist. Für signifikante Änderungen des Stoffumwandelungspotenzials durch sich ändernde Redoxverhältnisse ist der Wirkungszeitraum des Hochwassers zu kurz.

Es lassen sich somit keine eindeutig übertragbaren Tendenzen der Beschaffenheitsveränderung an Altlastenstandorten ermitteln.

Bezüglich der Stoffeinträge aus defekter Kanalisation kann durch die Untersuchungen und Modellrechnungen der Schluss gezogen werden, dass Abwasserkanäle, die im Schwankungsbereich des Grundwassers liegen, durch geringe Mächtigkeit der ungesättigten Zone bzw. durch den direkten Ausritt von Abwasser in das Grundwasser während Trockenzeiten das größte Gefährdungspotenzial für den Grundwasserleiter darstellen. Die Einträge im Hochwasserfall besitzen zwar demgegenüber eine wesentlich geringere Wirkungszeit, jedoch konnte durch Exfiltrationsversuche gezeigt werden, dass die Beeinträchtigung des Grundwasserleiters durch exfiltrierendes Abwasser generell mit der Verringerung der Mächtigkeit der ungesättigten Bodenzone zunimmt. Frachtabätzungen unterstreichen weiterhin die exponierte Bedeutung großer Haupt- und Abfangsammler für

eine Gefährdungsbewertung des urbanen Grundwasserleiters durch Schadstoffeinträge aus Kanal-Exfiltrationen und für die Ableitung wirksamer Maßnahmen zur Reduzierung dieser Schadstoffeinträge. Schwerpunkte der Stoffeinträge sind defekte Kanalisationen mit großen Durchmessern (> 1 000 mm).

■ 5.2 Gefahren für das Grundwasser durch Hochwasser

5.2.1 Grundwasserdynamik

Die EU Wasserrahmenrichtlinie fordert auch für das Grundwasser die Erreichung eines guten mengenmäßigen Zustandes. Kriterium für einen guten mengenmäßigen Zustand ist der Grundwasserspiegel (EU-WRRRL Anh. IV, Abschn. 2.1). Der gute mengenmäßige Zustand ist demnach dann gegeben, wenn der Grundwasserspiegel im Grundwasserkörper so beschaffen ist, „dass die verfügbare Grundwasserressource nicht von der langfristigen mittleren jährlichen Entnahme überschritten wird“. Kurzfristige Änderungen der Grundwasserströmungsrichtung können zeitweise und räumlich begrenzt auftreten.

Auf Grund dieser Kriterien kann bezüglich der Wasserstandsänderungen im Grundwasser in der Folge von Hochwasser abgeleitet werden, dass der Zustand des Grundwassers im Grundwasserkörper sich in Richtung eines guten mengenmäßigen Zustandes verschiebt (s. Abb. 62). Insofern geht bezüglich der Grundwasserdynamik und des mengenmäßigen Zustandes des

Grundwassers von Hochwasser keine Gefahr aus.

5.2.2 Grundwasserbeschaffenheit

Inwieweit von Hochwasser eine Gefahr für das Grundwasser bezüglich der Grundwasserbeschaffenheit ausgeht, konnte nach den Untersuchungen nicht generell festgestellt werden, da nicht jede negative Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit eine Gefahr darstellt. Insofern muss nach Feststellung einer Beschaffenheitsveränderung eine Gefahrenbeurteilung durchgeführt werden.

Da im Ergebnis der Untersuchungen zum Auguthochwasser 2002 in Dresden keine langfristigen Beschaffenheitsveränderungen festgestellt wurden, konnte eine generelle Gefahr für das Grundwasser ausgeschlossen werden. Auf Grund der festgestellten punktuellen Beschaffenheitsveränderungen muss jedoch von einem Gefahrenpotenzial für das Grundwasser in der Folge von Hochwasser ausgegangen werden (s. Abb. 63).

5.3 Hochwasserbedingte Gefahren, die von Grundwasser ausgehen

Die Untersuchungen im Stadtgebiet von Dresden haben gezeigt, dass neben den Gefahren, die von Hochwasser für das Grundwasser ausgehen, sich auch Gefahrensituationen einstellen können, die vom Grundwasser ausgehen. Diese betreffen in erster Linie die Wirkungen durch schnell ansteigende und langanhaltend hohe Grundwasserstände. Die hauptsächliche Gefahr besteht in der Gebäudegefährdung durch extreme Grundwasseranstiege. Dieser Gefahrenaspekt muss demzufolge in zukünftigen Hochwasservorsorgestrategien zwingend berücksichtigt werden.

Hinsichtlich der Grundwasserbeschaffenheit konnten keine Gefahren erkannt werden, die in der Folge von Hochwasser vom Grundwasser ausgehen.

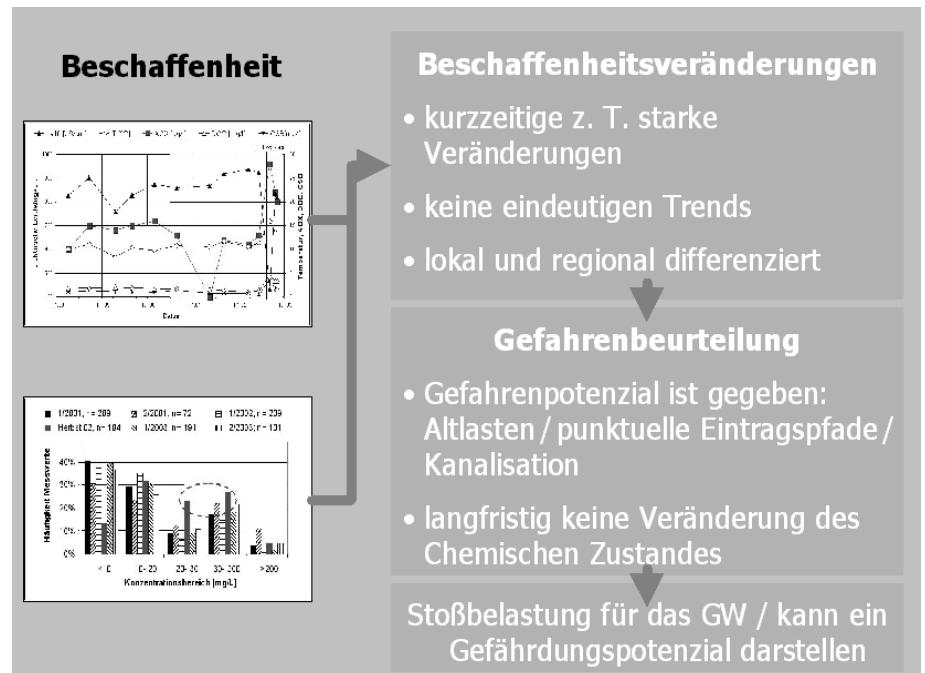


Abb. 62: Auswirkungen des Hochwassers hinsichtlich des chemischen Zustandes des Grundwassers

5.4 Grundwasserbezogene Handlungsstrategien

5.4.1 Technischer Hochwasserschutz

Für den Technischen Hochwasserschutz bezüglich grundwasserbedingter Hochwassergefahren sind folgende generelle Handlungsstrategien geboten:

■ Differenzierung in generelle und temporäre Schutzmaßnahmen

Grundsätzlich sind generelle von temporären Schutzmaßnahmen zu unterscheiden. Auch wenn die letztendliche Entscheidung über die Einrichtung temporärer und/oder genereller Schutzmaßnahmen gegenüber Grundhochwasser beim Bauherrn liegt, sollten von der Gebietskörperschaft im Zuge der Bauleitplanung Empfehlungen ausgesprochen werden, um bereits im Vorhinein das Schadenspotenzial niedrig zu halten.

■ Sicherung der Kanalisation

Ein intaktes Kanalnetz trägt dazu bei, dass über die Kanalisation eindringendes Oberflächenwasser effektiv abgeführt werden kann. Nimmt die Kanalisation durch Undichtigkeiten zusätzlich Grundwasser auf, wird die Kapazität zum Abführen von Oberflächenwasser geschmälert. Da der grundwasserabsenkende Effekt undichter Kanalisation im Hochwasserfall vergleichsweise gering ist, kommt der Sicherung der Kanalisation als Maßnahme des

technischen Hochwasserschutzes vor allem zur Abführung von Oberflächenwasser Bedeutung zu.

■ Sicherung von potenziellen Punktquellen

Eindringen von Oberflächenwasser in das Grundwasser kann im Hochwasserfall nicht verhindert werden. Dennoch kann die Gefahr der Kontamination durch Eindringen von Oberflächenwasser an Punktquellen im Überflutungsbereich gemindert werden, wenn diese gesichert werden. Maßnahmen dazu können sein:

- Abdichtung von Uferfiltrat-Brunnen,
- Rückbau von Grundwassermessstellen und Brunnen im Überflutungsbereich, deren Nutzung aufgegeben wurde,
- Erhöhung und/oder hochwassersichere Abdichtung von Grundwassermessstellen im Überflutungsbereich,
- Abdichtung von Baugruben, soweit deren Dimension und die Vorwarnzeit des Hochwassers dies zulassen.

■ Ausweisung bzw. Schaffung von geeigneten Zwischenlagern für Hochwasserabfälle

Die Gefahr des Stoffeintrages aus zwischengelagerten Hochwasserabfällen ist in Hochwassermaßnahmaplänen zu berücksichtigen. Dies kann durch die gezielte Ausweisung gesicherter Zwischenlagerflächen geschehen. Dokumentationen der Zwischenlagerflächen sind in Abständen zu aktualisieren und an die aktuelle Flächennutzung anzupassen. Gegebenenfalls sind geeignete Zwischenlagerflächen zu schaffen.

5.4.2 Flächenmanagement

Zur wasserrechtlichen Festsetzung von Überschwemmungsgebieten gibt es derzeit keine adäquate Entsprechung für Gebiete mit potenziellem Grundhochwasser. Daher sind die Instrumente des Planungsrechtes zu nutzen, um entsprechende Gebiete auszuweisen. Als grundsätzliche Handlungsstrategien werden deshalb vorgeschlagen:

■ Verankerung der Tiefbaupotenziale im Bebauungsplan

Ausgehend von den ausgewiesenen Gefahrenzonen sind die Tiefbaupotenziale zu differenzieren. Für eine differenzierte Ausweisung und Kennzeichnung in Bebauungsplänen wurden entsprechende Vorschläge gemacht (s. Kap. 4.2.3.1).

■ Differenzierung der Möglichkeiten der Regenwasserversickerung

Das Arbeitsblatt ATV-DVWK A 138 als maßgebliche Richtlinie für Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser berücksichtigt die Einwirkungen von Hochwasser in Tal-Grundwasserleitern nicht. Die Einbeziehung sich erhöhender Grundwasserstände in der Folge von Hochwasser kann folglich zur Einschränkung der Möglichkeiten der Regenwasserversickerung führen. Ein erster Schritt zur diesbezüglichen Vorsorge ist die unbedingte Erfassung der geplanten Versickerungsanlagen.

■ Priorisierung von Altlastenbehandlungen

Zur Wirkung von Grundhochwasser auf den Stoffaustrag aus Altlastenstandorten lassen sich keine allgemein gültigen Aussagen machen. Aus Vorsorgegründen sollte deshalb die Möglichkeit von hochwasserbedingtem Grundhochwasser in das Ranking der Altlastenbehandlung einbezogen werden, um das Stoffaustragspotenzial generell zu mindern. Karten der minimalen Grundwasserflurabstände bei extremem Hochwasser oder mittlerem Hochwasser sind dabei heranzuziehen. Voraussetzung für diese Priorisierung ist die räumliche Erfassung der Altlastenstandorte in Bezug zur Grundwasseroberfläche.

5.4.3 Hochwasservorsorge

Bei der grundwasserbezogenen Hochwasservorsorge kommt der Bauvorsorge eine Schlüsselstellung zu. Hierzu zählt vor allem die

■ Ausweisung von Gefahrenzonen erhöhter Grundwasserstände

Grundlage für die Ausweisung von Gefahrenzonen erhöhter Grundwasserstände sind zeitnahe Messungen der Grundwasserdynamik in einem hinreichend aussagekräftigem Messnetz. Ergänzend dazu können Modellierungen der Grundwasserströmung bei unterschiedlichen Hochwasserszenarien zur Ausweisung von Gefahrenzonen genutzt werden.

Der Umgang mit wassergefährdenden Stoffen in Gebieten mit potenziell hohen Grundwasserständen greift sowohl in die Bauvorsorge als auch in die Verhaltensvorsorge ein. Entsprechende bauliche Vorkehrungen für die Lagerung wassergefährdeter Stoffe werden durch wasserrechtliche Forderungen abgedeckt.

Die rechtzeitige Hochwasserwarnung ist ein wesentlicher Teil der Verhaltensvorsorge. Voraussetzung dafür sind bezüglich des Grundwassers:

■ die Einrichtung eines aussagefähigen Messnetzes

Bestandteil eines hochwasserbezogenen Grundwassermessnetzes sollten auch Grundwassermessstellen mit Datenfernübertragung sein. Die Einrichtung sollte an Messstellen erfolgen, die für ein größeres Gebiet repräsentativ sind.

■ ein aktuelles Grundwasserströmungsmodell zur Ausweisung von höchsten Grundwasserständen bei verschiedenen Hochwasserszenarien.

Vor allem im Hinblick auf das Zeitintervall des Grundwasseranstiegs und die flächenhafte Ausweisung von Grundwasserflurabständen auch in Gebieten, in denen keine repräsentativen Messstellen vorhanden sind, ist die Nutzung eines Grundwassermodells zur Warnung vor eintretendem Grundhochwasser unerlässlich.

6. Offene Fragestellungen

Die Untersuchung und Bewertung von Schäden für einen unter urbanen Räumen genutzten Grundwasserkörper nach Menge und Beschaffenheit in der Folge von extremen Hochwasserereignissen war ein Hauptziel des Forschungsprojektes. Daneben ist das Aufzeigen von verbleibenden wissenschaftlichen Kenntnislücken und die Ableitung des notwendigen Forschungsbedarfes wichtige Aufgabe im Rahmen der Ergebniszusammenfassung geleisteter Arbeiten.

Die im Forschungsprojekt erarbeiteten Ergebnisse hinsichtlich der Auswirkungen der Hochwasserereignisse 2002 auf das Grundwasser können der lokalen Behörde unmittelbare Hinweise zu grundwasserbedingten Gefahrenpotenzialen, Auswirkungen von Schutzmaßnahmen sowie planungsrelevante Hinweise für die Erlaubnispraxis grundwasserrelevanter Bauvorhaben bezüglich niedrigster Grundwasserflurabstände geben. Darüber hinaus werden Erkenntnisse zum Verhalten und zur Wirkung der durch ein extremes Hochwasserereignis beeinflussten Grundwasserdynamik und –beschaffenheit verallgemeinert und Schlussfolgerungen für das behördliche Handeln mit hochwasserbedingten, extrem hohen Grundwasserständen gezogen.

Während die gewonnenen Ergebnisse den lokalen Behörden und politischen Entscheidungsträgern als Entscheidungshilfen und Handlungsempfehlungen dienen können, soll die nachfolgende Übersicht die Kenntnislücken benennen und die Notwendigkeit der weiterhin intensiven Auseinandersetzung mit der Problematik der Grundwasserbeeinflussung durch Hochwasser aufzeigen.

Entsprechend der inhaltlichen Gliederung des Projektes wird im Folgenden auf den Forschungsbedarf zur Grundwasserdynamik, zur Grundwasserbeschaffenheit und zum Umgang mit Grundwasser im Kontext der Hochwasservorsorge eingegangen.

■ 6.1 Grundwasserdynamik

■ Insgesamt ist aus den Recherchen zur Grundwasserdynamik in Folge des Hochwassers erkennbar, dass die Wirkung des Hochwassers auf das Grundwasser und die Rückkopplung erhöhter Grundwasserstände auf den Ablauf eines Hochwassers eine wenig beachtete Fragestellung ist. Dieses auf der Forschungsseite feststellbare Defizit spiegelt sich in der oft nur stark untergeordneten Berücksichtigung des Grundwassers bei Hochwasseraktions- und –vorsorgeplänen wider.

■ An dieser Stelle ist in erster Linie Aufklärungsarbeit aller Betroffenen in Wissenschaft, Verwaltung und Politik zu leisten. Das abgeschlossene Forschungsprojekt kann und soll dazu einen ersten Impuls liefern, der durch weitergehende, interdisziplinäre Forschung aufzugreifen ist.

■ Die Grundwasserdynamik während und nach dem Hochwasser konnte auf Grund von Messwerten und Analogieschlüssen hinreichend genau beschrieben werden. Die hohen Grundwasserstände gehen auf unterschiedliche Ursachen zurück, die sich in ihrer Wirkung überlagern (s. Kap. 3.1.2). Nicht geklärt werden konnte der Anteil der Ursachen an den hohen Grundwasserständen. Hier wird Forschungsbedarf gesehen, um eine sichere Prognose sich einstellender Grundwasserstände nach Extremereignissen zu ermöglichen.

■ Die Wirkung der Kanalisation im urbanen Raum als signifikanter Transportraum für ansteigendes Grundwasser einerseits und eindringendes Oberflächenwasser andererseits konnte, was die Wirkung im Kanalnetz betrifft, ansatzweise beschrieben werden. Die Umsetzung dieses Transportphä-

nomens im Grundwasserströmungsmodell ist durch Parameterabgleich realisiert worden. Dieser Weg stellte sich für weitergehende Prognosen zwar als gangbar heraus, blendet aber entscheidende Fragen, die z. B. die Planung und Bewirtschaftung des Abwassernetzes für den Hochwasserfall betreffen, aus.

■ Über den Weg einer gekoppelten Modellierung zwischen Grundwasser, technogener Schicht und Oberflächenwasser soll dieses Defizit ausgeglichen werden.

■ Die Interaktion zwischen Grundwasser und Oberflächenwasser ist im Hochwasserfall auch davon gekennzeichnet, dass ansteigendes, gespanntes Wasser zu einer Druckfortpflanzung im gespannten Aquifer führt, die der Hochwasserwelle sowohl zeitlich als auch räumlich vorausläuft. Inwieweit dieser Druckfortpflanzungseffekt zu einem beschleunigten Anstieg des Hochwassers im Unterliegerbereich führt, ist einerseits eine offene Frage und andererseits in entsprechenden Abflussmodellen unberücksichtigt.

■ Der Anteil der Speisung aus liegenden Kluftaquiferen als eine mögliche Ursache der schnell angestiegenen Grundwasserstände konnte nur halbquantitativ benannt werden. Im Hinblick auf die Aussagegenauigkeiten von Modellen ist hierzu ein entsprechendes messtechnisches Inventar an geeigneten Messstellen notwendig. Die entsprechende Ausrüstung einer bestehenden bzw. Einrichtung einer neuen derartigen Messstelle sollte angestrebt werden und dient der Aufklärung dieser Wirkungsursache.

■ 6.2 Grundwasserbeschaffenheit

- Zur Problematik von Grundwasserbeschaffenheitsveränderungen während und nach extremen Hochwasserereignissen sind sowohl national als auch international keine systematischen Untersuchungen bekannt. Das abgeschlossene Forschungsprojekt hat mit der Gegenüberstellung langzeitlicher Beschaffenheitsveränderungen zu kurzzeitigen Änderungen der Beschaffenheit des Grundwassers eine Kenntnislücke geschlossen. Diese Untersuchungen stellen eine phänomenologische Beschreibung der Beschaffenheitsveränderungen dar. Im Weiteren gilt es, den Zuwachs an Prozesskenntnissen, der sich aus den Forschungsschwerpunkten „Sickerwasserprognose“ und „KORA“ ergibt, auf Stoffumwandlungsprozesse im Untergrund nach extremen Hochwasserereignissen anzuwenden.
- Dies gilt ebenso bezüglich des methodischen Inventars für Probenahme und Laboruntersuchungen. So kommt es auch für den Grundwasserbereich darauf an, innovative Probennahmetechniken und Laboruntersuchungen kurzfristig nach einem Extremereignis anzuwenden, um Entscheidungsträgern zeitnah Aussagen zu Grundwasserbeschaffenheitsveränderungen machen zu können.
- Das Ausmaß der Mobilisierung und Verfrachtung von Schadstoffen (in Phase) durch die erhöhten Grundwasserstände konnte im Rahmen des Forschungsprojektes nur auf Grund einzelner, standortbezogener Altdaten ermittelt werden. Eine systematische, laborgestützte Untersuchung dieser Problematik unter Zuhilfenahme mathematischer Ansätze und Modellierung zum Schadstofftransport und zur Mehrphasenhydraulik unter den speziellen hydrogeologischen Bedingungen, die durch das Hochwasser verursacht wurden, steht aus.

■ 6.3 Grundwasser im Kontext der Hochwasservorsorge

Es liegt in der Natur der Ereignisse, dass Hochwasservor- und -nachvorsorge auf Grund der Geschwindigkeiten des Ablaufes und Schadenshöhen von Hochwässern in erster Linie auf Oberflächengewässer konzentriert sind. Ziel des Forschungsprojektes war deshalb auch, Voraussetzungen zu schaffen, das Grundwasser in die Hochwasservorsorge einzubeziehen.

Ausgangspunkt dafür muss eine wissenschaftlich fundierte Ableitung von unterirdischen Gefahrenpotenzialen darstellen. Mit der Methodik zur Ermittlung unterirdischer Gefahrenpotenziale wurde in dem Forschungsprojekt ein erster Schritt getan (s. Kap. 3.1.4). Aus diesem Ansatz leiten sich weitere Fragen ab, die einer wissenschaftlichen Bearbeitung bedürfen. Zu nennen sind hier insbesondere:

- Für großflächige unterirdische Tiefbauungen besteht ein Defizit bei der Quantifizierung der Schadenspotenziale und Gefahren für Gebäude durch schnellen und ungleichmäßigen Anstieg des Grundwassers.
- Weiterhin besteht für den unterirdischen bebauten Raum bezüglich der Ermittlung und Bewertung der aus der Interaktion der drei Komponenten Oberflächenwasser, Grundwasser und unterirdische Infrastruktur herrührenden Schadenspotenziale und Gefahren ein methodisches Defizit.
- Infolge dessen sind auch erprobte Methoden zur sachlichen Qualifizierung und Bewertung unterschiedlicher Strategien im Kontext des Hochwasserrisikomanagements für den Grundwasserbereich nicht verfügbar.
- Für die dafür erforderlichen Kostenbetrachtungen sind Methoden zur Erfassung der Schadenspotenziale und zur Einbeziehung langfristiger Kosten-Risiko-Verhältnisse im unterirdischen Raum zu entwickeln.
- Generell ist im Rahmen der Hochwasservorsorge präventiv auch das Risiko von Schäden bei einem Grundhochwasser niedrig zu halten. Dies muss sich neben der Prioritätenfestlegung für die Durchführung von Hochwasserschutzmaßnahmen in oberirdischen Gewässern auch bei der Festlegung zulässiger Eingriffe in den Untergrund im Rahmen der Bauleitplanung bis hin zur Planung kommunaler Entwässerungssysteme niederschlagen. Dafür ist

ein geeignetes Bewertungssystem zu entwickeln.

Mit den Ergebnissen zur Bauleitplanung und zu Tiefbaupotenzialen (s. Kap. 4.1.1) wurden erste Ansätze zur Überleitung der Ergebnisse aus Grundwasserbeobachtungen während des Hochwassers in Handlungsoptionen der Bauleitplanung aufgezeigt. Dieser Weg impliziert weitergehende Problemstellungen, die einer wissenschaftlichen Untersuchung bedürfen. Zu nennen sind hierzu:

- Entwicklung methodischer Ansätze für eine Risikobewertung, die die Wahrscheinlichkeit hoher Grundwasserstände einbezieht.
- Übertragung der Methodik zur Bewertung der Tiefbaupotenziale auf modellierte Grundwasserstände bei unterschiedlichen Elbewasserständen.
- Definition von Kriterien zur bauleitplanorientierten Bewertung von Grundwasserständen extremer Wiederkehrwahrscheinlichkeiten. Dazu zählen vor allem die Aussagen zu Schutzzielefunktionen für Tiefbauten, die von Grundhochwässern betroffen sein können.
- Bezüglich der rechtlichen Behandlung hoher Grundwasserstände besteht ein Defizit im Wasserrecht zum Schutz vor hohem Grundwasser. So können gem. § 32 WHG zwar Überschwemmungsgebiete mit bauplanerischen Restriktionen festgesetzt werden. Ein dementsprechendes Rechtsmittel zum Schutz vor hohen Grundwasserständen ist im Wasserrecht jedoch bislang nicht vorgesehen (BWK 2003).

7. Zusammenfassung

Im Sommer 2002 wurde Sachsen von einem der verheerendsten Hochwasserereignisse seit Beginn der Aufzeichnungen betroffen. Wie viele andere Städte im Elbeeinzugsgebiet wurde die Stadt Dresden in weiten Teilen des Stadtgebietes überflutet. Durch die Überlagerung der Starkniederschläge vom 12./13.08.2002 und der anschließenden Hochwässer der Elbenebenflüsse mit dem Einfluss des Elbehochwassers stieg die Grundwasseroberfläche innerhalb kürzester Zeit um bis zu sechs Meter auf ein zuvor nicht beobachtetes Niveau an. Grundsätzlich musste auf Grund dieser hydrologischen Situation von kurz- und mittelfristigen Hochwasserfolgen für den Tal-Grundwasserleiter ausgegangen werden, die sich in folgenden Schwerpunkten zusammenfassen ließen:

- Auswirkungen auf die Grundwasserdynamik im urbanen Tal-Grundwasserleiter mit möglichen Schadenswirkungen auf Bauwerke in der Folge des Hochwassers,
- Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit in der Folge stark ansteigender Grundwasserstände,
- von Altlasten, Schlämmen und Sedimenten bewirkte mögliche Grundwasserschäden sowie
- von undichten Abwasserkanälen ausgehende Gefährdungspotenziale.

Unter Federführung der Landeshauptstadt Dresden als Zuwendungsempfänger des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), unterstützt durch das Sächsische Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL) sowie begleitet von den Fachbehörden, wurden diese Fragestellungen aufgegriffen und im Rahmen eines Ad-hoc-Forschungssuchungsvorhabens untersucht.

Entsprechend der inhaltlichen Schwerpunkte gliederte sich das Forschungsprojekt in insgesamt 6 Arbeitspakete:

- AP 1: Grundwasserdynamik,
- AP 2: Grundwasserbeschaffenheit,
- AP 3: Altlasten, Schlämme und Abfälle,
- AP 4: Kanalisation,
- AP 5: Verallgemeinerung der Dresdener Erkenntnisse,
- AP 6: Projektkoordination.

Grundwasserdynamik

In der Folge der Flutereignisse bildeten sich im gesamten Elbtalgrundwasserleiter Grundwasserstände aus, die die bis dahin bekannten HHWGW bei weitem überstiegen. Im Zeitraum August 2002 bis September 2002 lagen die Grundwasserstände in über 90 % der Messstellen mit dem Maximum über dem bisherigen HHW, in 56 % der Messstellen lag der Grundwasserstand bis zu 1 m über dem bisherigen HHW, 6 % der Grundwasserstände lagen bis zu 3 m über dem bisherigen HHW;

Für den Zeitraum August 2002 bis Dezember 2003 zeigten sich unterschiedliche Charakteristika der Grundwasserstandsentwicklungen, die auf verschiedene Einflussfaktoren zurückzuführen sind. Daraus ließen sich 4 Ganglinientypen ableiten, die sich sowohl im Elbtalgrundwasserleiter als auch in größeren Talauen der Nebenflüsse der Elbe eingestellt haben.

Die hohen Grundwasserstände sind nach Auswertung der Messergebnisse auf verschiedene Ursachen zurückzuführen, die sich in ihrer Wirkung überlagerten und dadurch nicht vollständig voneinander abgrenzbar sind. Als Ursachen sind zu nennen: Starkniederschlagsereignis 12./13.08.2002, Überflutung der Weißeritz und der südlichen Stadtgewässer am 13.08.2002 im Stadtgebiet von Dresden, Rückstau in der Abwasserkanalisation und geflutete Fernwärmeleitungen, Überflutung der Elbe mit Höchststand am 17.08.2002 im Stadtgebiet von Dresden und den

angrenzenden Gebieten, durch aufgefüllte Absenkungstrichter hohe Ausgangswasserstände im Grundwasser sowie in geringem Maße auch die Speisung aus dem liegenden Kreide-GWL.

Das im Aquifer gespeicherte Wasservolumen entspricht einer Durchflussmenge von ca. 50 m³/s. Bezogen auf die Elbe zum Zeitpunkt des Hochwasserscheitels (ca. 5.500 m³/s) stellt dies ca. 1 % des Elbedurchflusses dar, die der Grundwasserleiter aufnimmt. Entsprechend der Schlüsselkurve am Pegel Dresden ließ sich daraus eine ungefähre Scheitelabsenkung von 5 bis 10 cm abschätzen. Der Effekt unterirdischer Speicherung ist damit als vergleichsweise gering für die Absenkung des Hochwasserscheitels anzusehen.

Gefahrenpotenziale

Im Rahmen des Projektes wurden Grundlagen für eine Methodik gelegt, die es gestattet, für den unterirdischen Raum Gefahrenpotenziale auszuweisen. Auf Grund der Dynamik des Grundwassers und der zur Verfügung stehenden Daten wurden die Gefahrenstufen als Funktion aus Intensität und Dauer des Grundhochwassers ermittelt. Die schadenswirksame Intensität von Grundhochwasser wird aus den höchsten Wasserständen bzw. minimalen Grundwasserflurabständen und der Geschwindigkeit des Anstiegs des Grundwassers gebildet.

Die Methodik hat gegenüber der alleinigen Betrachtung minimaler Flurabstände den Vorteil, dass mit den Werten der maximalen Anstiegsrate und der Dauer des Grundhochwassers die zeitliche Komponente des Grundhochwassers Berücksichtigung findet.

Modellierung der Grundwasserströmung

Ein wesentlicher Schwerpunkt des Projektes war die Grundwasserströmungsmodellierung zur Abbildung der Entwicklung der Grundwasserstände bei verschiedenen Hochwasserszenarien.

Dabei konnte auf die durch systematische Arbeit der Landeshauptstadt Dresden in den vorangegangenen Jahren entstandene Datenbasis aufgesetzt werden. Unter Nutzung verschiedener bestehender hydrogeologischer Teilmodelle wurde ein Gesamtmodell des quartären Aquifers der Stadt Dresden erstellt. Der Modellaufbau erfolgte in enger Abstimmung mit dem Landesamt für Umwelt und Geologie und der von ihm eingesetzten Projektgruppe zur Kartierung der Hydrogeologischen Karte (HyK 50), Blatt Dresden.

Beim Aufbau des Strömungsmodells kam es vor allem darauf an, bestehende Daten zu Tiefbauten, Brunnen und Gewässern in das Modell zu integrieren. Dazu wurden entsprechende Pre-Processing-Tools entwickelt. In das Strömungsmodell wurden die bestehenden und geplante Hochwasserschutzmaßnahmen als Randbedingungen integriert. Auf der Grundlage von separaten Kanalnetz-Modellierungen konnte die Nachbildung der Infiltration mit dem Leakage-Ansatz erfolgen, so dass dieser Ansatz auch als Randbedingung in das Grundwasserströmungsmodell einging.

Als Überflutungsflächen und zur Entwicklung der entsprechenden Randbedingungen wurden die im Auftrag der Landestalsperrenverwaltung durchgeführten Berechnungen der Technischen Universität Dresden genutzt.

Das Modell wurde anhand des Augsthochwassers 2002 instationär kalibriert. Im Ergebnis der Modellierung konnten Karten minimaler Grundwasserflurabstände bei verschiedenen Schutzszenarien erstellt werden.

Bauleitplanung und Tiefbaupotenziale

Für die Bauleitplanung sind hochwasserbedingte Grundwasserstände mit ihren möglichen Auswirkungen auf Wohn-, Gewerbe- und öffentliche Gebäude relevant. Außerdem spielen die Tiefbaupotenziale für die Bewertung der Gewährleistung naturnaher Abflussverhältnisse des Grundwassers in Innenstadtbereichen eine wesentliche Rolle.

Entsprechend der Tiefbaupotenziale wurde für die Bauleitplanung eine Kategorisierung in vier Flächenklassen vorgenommen, die hochwasserbedingte und wasserhaushaltliche Einschränkungen für den Tiefbau beschreiben. Im Ergebnis entstand anhand der realen Grundwasserstände nach dem Augsthochwasser 2002 eine Karte der hochwasserbedingten Einschränkungen der Tiefbaupotenziale im Stadtgebiet von Dresden. Die Methodik lässt sich auch auf modellierte Grundwasserstände übertragen. Diese Karten geben der Vollzugsbehörde nicht nur für den Ereignisfall ein

Instrument in die Hand, Gebiete mit Gefährdungen an bestehender Bausubstanz zu ermitteln, sondern geben auch für die Bauleitplanung Hinweise zur Einordnung der Flächen hinsichtlich zu empfehlender Vorsorgemaßnahmen zum Schutz geplanter Bausubstanz.

Regenwasserversickerung

Die Hochwasserereignisse 2002 führten für die Landeshauptstadt Dresden explizit zu der Frage, ob das Konzept der naturnahen Regenwasserbewirtschaftung modifiziert werden muss. Aus ATV-DVWK (2002) ist für die Beurteilung der Möglichkeiten zur Regenwasserbewirtschaftung unter dem Aspekt hochwasserinduzierter Grundhochwässer das Kriterium des Grundwasserflurabstandes das entscheidende. Als weiteres wesentliches Kriterium unter Hochwasserbedingungen ist die Änderung der Grundwasserfließrichtung anzusehen. Die Ergebnisse der Auswertungen zu Ursachen der Grundwasserstände nach dem Hochwasser und der flächenhaften Auswertung zu Grundwasserflurabständen lassen nicht erkennen, dass die grundsätzliche Haltung der Landeshauptstadt Dresden zur naturnahen Regenwasserbewirtschaftung aufgegeben werden muss. Jedoch können durch die Einbeziehung der Daten vom Augsthochwasser 2002 und insbesondere der Grundwasserstände aus dem Zeitraum bis Ende 2003 differenziertere und aktuellere Angaben zu Grundwasserflurabständen gemacht werden. Die Bauherren und Planer sind demnach auf die Gegebenheiten extremer Grundhochwässer im Hochwasserfall hinzuweisen.

Grundwasserbeschaffenheit

Die Untersuchungen der Grundwasserbeschaffenheit wurden flächendeckend für den gesamten quartären Aquifer durchgeführt. Im Ergebnis konnte festgestellt werden, dass es durch eindringendes Oberflächenwasser vor allem zum Anstieg von gelöstem organischen Kohlenstoff (DOC) und zum Absinken der Leitfähigkeit im Grundwasser gekommen ist. Insgesamt stellten die Beschaffenheitsveränderungen eine Stoßbelastung dar, die längerfristige Trends der Beschaffenheit nur kurzzeitig unterbrochen haben. Eine Gefahr konnte durch die Beschaffenheitsveränderungen nicht erkannt werden.

Altlasten

Die Auswirkungen von Hochwasserereignissen auf die Beschaffenheit des Grundwassers ist in der nationalen und internationalen Literatur nur wenig reflektiert. Eine Recherche ergab, dass keine wissenschaftlichen Arbeiten zur Problematik des hochwasserbedingten Grundwasseranstieges und Altlasten vorliegen. Arbeiten, die sich mit fluktuierenden Grundwasserständen auseinandersetzen, wurden vor allem im Labormaßstab durchgeführt.

Verallgemeinert man die Ergebnisse zu hochwasserbedingten Grundwasserbeschaffenheitsveränderungen im Großraum von Dresden, so zeigt sich, dass es zu keinen längerfristigen hydrochemischen Veränderungen im durch Überflutung betroffenen Aquifer kommt und diese Veränderungen auf Grund unterschiedlicher Standortbedingungen und Schadstoffinventars keinem einheitlichen Trend folgen und lokal und regional differenziert ausfallen.

Defekte Kanalisation

Im Rahmen des Projektes sollte die Gefährdung durch defekte Kanalisation in der Folge des Hochwassers für den Grundwasserleiter bewertet werden. Die Abschätzung zur Exfiltration erfolgte auf der Basis von Literaturdaten, laborativen Untersuchungen und Modellrechnungen.

Schwerpunkte der Exfiltration werden bei Mittelwasserverhältnissen in Haupt- und Abfangkanälen vermutet (min. 65 % der gesamten Exfiltration). Während der Hochwasserereignisse ging der Einfluss der Abfangkanäle deutlich zurück. Aus Hauptkanälen exfiltrierten während des Hochwassers mindestens 51 % des Abwassers, aus Nebenkanälen maximal 49 %. Des Weiteren konnte anhand von Modellrechnungen abgeleitet werden, dass es während der Hochwasserereignisse zu einer kurzzeitigen starken Zunahme der Exfiltration im Stadtgebiet kam.

Abwasserkanäle, die im Schwankungsbereich des Grundwassers liegen, stellen durch den direkten Ausritt von Abwasser in das Grundwasser oder durch geringe Mächtigkeit der ungesättigten Zone während Trockenzeiten das größte Gefährdungspotenzial für den Grundwasserleiter dar.

Anhand von Filtrationsversuchen wurde gezeigt, dass bei stationärer Exfiltration in eine gut belüftete Bodenzone bei ausreichendem Abstand zwischen Kanalisation und Grundwasser Oberfläche der Umsatz/Rückhalt von organischem Kohlenstoff weitestgehend bereits in der obersten Zone erfolgt und dass es im unterlagernden Bodenkörper auch zu einem weitgehenden Ammonium-Umsatz

kommt. Die Abbauleistung nimmt mit der Mächtigkeit der ungesättigten Bodenzone ab, so dass durch Grundhochwasser vor allem das Ammonium zum kritischen Parameter wird. Bei schwallartiger Beaufschlagung (z. B. kurzen Regenereignissen) verminderten sich ebenfalls die Stoffumsatzleistungen.

Abfälle und Schlämme

Die Untersuchung des Abfallmanagements während des Augsthochwassers 2002 ergab, dass es zu keinen grundwasserrelevanten Engpässen in der Abfallbeseitigung kam. Eine Beschaffenheitsbeeinflussung des Grundwassers durch die Ablagerung von Flutabfällen konnte nicht festgestellt werden. Vor allem die ausnahmegenehmigte Nutzung der Deponie Radeburger Straße trug dazu bei, dass die Flutabfälle sowie Sandsäcke zeitnah entsorgt werden konnten. Im Hinblick auf das Abfallmanagement bei vergleichbaren Extremlagen nach der rechtlichen Unterbindung der Deponierung von unbehandelten Siedlungsabfällen konnten Hinweise zur Zwischenlagerung der Abfälle gegeben werden.

Handlungsempfehlungen

Ausgehend von den Untersuchungsergebnissen werden entsprechend der drei Schutzstrategien nach der LAWA zum Technischen Hochwasserschutz, Flächenmanagement und zur Hochwasservorsorge allgemeine Handlungsempfehlungen gegeben.

Als Maßnahme des Technischen Hochwasserschutzes sind bezüglich Grundwasser Maßnahmen des generellen und des temporären Schutzes zu unterscheiden. Die Sicherung der Kanalisation ist ebenso dem grundwasserbezogenen Technischen Hochwasserschutz zuzuordnen. Die Sicherung von potenziellen Punktquellen stellt eine Maßnahme des Technischen Hochwasserschutzes für die Grundwasserbeschaffenheit dar. Außerdem gehört die Ausweisung bzw. Schaffung von geeigneten Zwischenlagern für Hochwasserabfälle zu den wirksamen Maßnahmen zum Grundwasserschutz bei Hochwasser.

Das Flächenmanagement bezieht sich vor allem auf die Ausweisung von Tiefbaupotenzialen auf Grund niedriger Grundwasserflurabstände. Die Differenzierung der Möglichkeiten der Regenwasserversickerung ist ebenso in das kommunale Flächenmanagement zu integrieren. Bezüglich der Altlastenbehandlung sollte aus Vorsorgegründen die Möglichkeit von hochwasserbedingtem Grundhochwasser in das Ranking der Altlastenstandorte einbezogen werden,

um das Stoffaustragspotenzial generell zu mindern.

Bei der grundwasserbezogenen Hochwasservorsorge kommt der Bauvorsorge eine Schlüsselstellung zu. Die Ausweisung von Gefahrenzonen erhöhter Grundwasserstände bildet dafür eine Grundlage. Voraussetzung für die Ausweisung von Gefahrenzonen erhöhter Grundwasserstände sind zeitnahe Messungen der Grundwasserdynamik in einem hinreichend aussagekräftigem Messnetz.

Als Voraussetzungen verlässlicher Hochwasserwarnungen und damit einer grundwasserbezogenen Verhaltensvorsorge sind die Einrichtung eines aussagefähigen Messnetzes sowie ein aktuelles Grundwasserströmungsmodell zur Ausweisung von höchsten Grundwasserständen bei verschiedenen Hochwasserszenarien zu nennen.

Literatur und Quellen

- An, P.; Fund, K.; Hua, J.; Paul, M.; Gallert, C. & Winter, J. (2003): Mikrobielle Umsetzungen im Leckagebereich von Abwasserkanälen: Korrelation von Aktivitäten und Verbreitung der Mikroorganismen. Gefährdungspotenzial von Abwasser aus undichten Kanälen für Boden und Grundwasser II, Statusseminar der DFG-Forschergruppe "Kanalleckagen", TH Karlsruhe.
- ATV-DVWK (2002): Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser, Arbeitsblatt ATV-DVW-A 138. – Herausgeber: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (ATV-DVWK) Hennef, Januar 2002, 61 S. (ISBN 3-935669-83-6).
- Beyer, K.-D. (2003): Erhalt der Gebäudesicherheit – Sofortmaßnahmen und Dauerlösung Beispiel St. Benno Gymnasium Dresden. In: LH DD / DGFZ (Hrsg.) (2003): Hochwassernachsorge Grundwasser Dresden. Tagungsband zum Statusseminar am 8. Oktober 2003, S. 63-68.
- BGD (2003): Gutachten zur großräumigen Kontaminations-erkundung von signifikanten Grundwasserbelastungen und ihrer Veränderungen infolge des Augusthochwassers 2002 im Gebiet Radebeul-Ost / Dresden-Kaditz. II. Etappe. BGD Boden- und Grundwasserlabor GmbH, AG: StUFA Radebeul, Ref. Grundwasser, Dresden, 21.11.2003 (unveröff.).
- Bilitewski, B. & Wagner, J. (2004): Erarbeitung einer Stoffstrombilanz der während des Augusthochwassers angefallenen Abfälle im Stadtgebiet Dresden. Abschlussbericht des AP 3.2 im BMBF-Forschungsprojekt „Auswirkungen der August-Hochwasser-Ereignisse 2002 auf die Tal-Grundwasserkörper im Raum Dresden – Lösungsansätze und Handlungsempfehlungen“. FKZ: 0330493. Dresden, 30.06.2004.
- Blumensaat, K. & Seidel, K.-H. (2005): Hochwasser und Versicherungsschutz. KA Abwasser, Abfall 52, 4, 2005, S. 437-441.
- BMVBW (2003): Hochwasserfibel. Planen und Bauen von Gebäuden in hochwassergefährdeten Gebieten. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen. Berlin, 2003, 41 S.
- BWG (1998): Anforderungen an den Hochwasserschutz '95. Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG), Biel (CH), 1998, 2. Auflage, 6 S.
- BWG (2003): Differenzierung der Schutzziele. Im Internet: Homepage des Bundesamtes für Wasser und Geologie (BWG) (Internet-URL: <http://www.bwg.admin.ch/themen/natur/d/differen.htm>, Stand: 25.11.2003, Aufruf: 10.02.2005)
- BWK (2003): Nutzungskonflikte bei hohen Grundwasserständen – Lösungsansätze. Statusbericht – Herausgeber: Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) Pfullingen, Juli 2003, 92 S. (ISBN 3-936015-15-5).
- Coldewey, W.G.; Dierkes, C.; Geiger, W.F.; Göbel, P. & Kories, H. (2001): Einfluss der Niederschlagsversickerung auf den Wasserhaushalt einer Stadt. In: Regenwassernutzung und –bewirtschaftung im internationalen Kontext. Internationale Regenwassertage 2001. Schriftenreihe für, Nr. 8, Darmstadt, 2001, S. 173-178.
- Decker, J. (1998): Auswirkungen von Fremdwasser auf Abwasseranlagen und Gewässer, Institut für Siedlungswasserwirtschaft, RWTH Aachen.
- DESTASIS (2003): Mehr Unfälle mit wassergefährdenden Stoffen durch Hochwasser. Information des Statistischen Bundesamtes, Pressemitteilung vom 31. Oktober 2003. (Internet-URL: <http://www.destatis.de/presse/deutsch/pm2003/p4410194.htm>, Stand: 31.10.2003, Aufruf: 21.02.2005).
- DGC (2003a): Hochwassernachsorge Grundwasser Dresden. Grundwasserstandsdaten, Bestandsaufnahme und Dokumentation. Dresden, Dresdner Grundwasser Consulting GmbH, AG: LfUG, Ref. Grundwasser und Altlasten, Dresden, 14.03.2003 (unveröff.).
- DGC (2003b): Hochwasser August 2002: Auswirkungen auf das Grundwasser – Gesamtkonzeption zur Grundwasserbeobachtung/ -überwachung für den Großraum Dresden, 3. Etappe. Dresdner Grundwasser Consulting GmbH, AG: StUFA Radebeul, Ref. Grundwasser, Dresden, 01.11.2003 (unveröff.).
- DGC (2004): Hochwasser August 2002: Auswirkungen auf das Grundwasser – Gesamtkonzeption zur Grundwasserbeobachtung/ -überwachung für den Großraum Dresden, 4. Etappe. Dresdner Grundwasser Consulting GmbH, AG: StUFA Radebeul, Ref. Grundwasser, Dresden, 30.11.2004 (unveröff.).
- Dittrich, I. & Münch, A. (1999): Künstliche Niederschlagsversickerung und die Änderung der Grundwasserneubildung. Wasser & Boden, 51 (9), 1999, S. 11-15.
- Dittrich, J.; Sommer, Th.; Gutt, B.; Schimmel, B. (1993): Konzept der Altlastenerkundung, -bewertung und -sanierung in Trinkwasserschutzgebieten am Beispiel des Wasserwerkes Tolkewitz. In: Proceedings des DGFZ e.V., H. 3, Dresden, 1993, S. 107-128. (ISSN 1430-0176)

- Ehbrecht, H. & Luckner, L. (2004): BIOXWAND - Entwicklung und Erprobung einer Bio-Oxidationswand im Abstrom eines hoch mit Ammonium kontaminierten Grundwasserleiters. BMBF-F&E-Endbericht, FKZ 02WT0091 (unveröff.).
- Eiswirth, M. & Hötzl, H. (1996): Anthropogene Grundwasserbeeinflussung in urbanen Räumen. 148. Hauptversammlung der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 25-27.
- Ellis, J.B. (2001): Sewer infiltration/exfiltration and interactions with sewer flows and groundwater quality. interactions between sewers, treatment plants and receiving waters in urban areas - INTERUBA II, Lisbon, 311-319.
- ErlFreihVO (2001): Verordnung des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft über die Erlaubnisfreiheit von bestimmten Benutzungen des Grundwassers (Erlaubnisfreiheits-Verordnung – ErlFreihVO) vom 12. September 2001. Sächs. Ges. u. Verordn. Bl., Nr. 13 vom 30. Oktober 2001.
- Fischer, D.; Charles, E.G. & Baehr, A.L. (2003): Effects of stormwater infiltration on quality of groundwater beneath retention and detention basins J ENVIRON ENG-ASCE, 129 (5), Mai 2003, S. 464-471.
- Geller, W.; Ockenfeld, K.; Böhme, M. & Knöchel, A. (2003): Schadstoffbelastung nach dem Elbe-Hochwasser 2002. Endbericht des Ad-hoc-Projekts „Schadstoffuntersuchungen nach dem Hochwasser vom August 2002 – Ermittlung der Gefährdungspotentiale an Elbe und Mulde“, Endbericht des BMBF-Forschungsprojektes (FKZ: PTJ 0330492). Umweltforschungszentrum Halle-Leipzig GmbH, Leipzig 2004, 462 S. (ISBN: 3-00-013615-0).
- GFI (2004): Hochwassernachsorge – Grundwasser – Dresden. Neubewertung der beim Hochwasser aufgemessenen Grundwasserstandsganglinien bezüglich der Repräsentanz für höchste Wasserstände. GFI Grundwasserforschungsinstitut GmbH Dresden im Auftrag der Landeshauptstadt Dresden, Umweltamt. Dresden, 30.11.2004 (unveröff.).
- Grischek, T.; Nestler, W.; Piechniczek, D. & Fischer, Th. (1996): Urban Groundwater in Dresden, Germany. Hydrogeol. J., 4 (1) 48-63, 1996.
- Gustafsson, L.-G. (2000): Alternative Drainage Schemes for Reduction of Inflow/Infiltration – Prediction and Follow-Up of Effects with the Aid of an Integrated Sewer/Aquifer Model. 1st International Conference on Urban Drainage via Internet.
- Han, Z. (1997): Modellierung von Stofftransport und -umsetzung in kleinen Einzugsgebieten unter Berücksichtigung der Wechselbeziehung zwischen Grundwasser und Oberflächenwasser. Mitteilungen 84, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau, Universität Hannover, S. 145-330.
- Heilmann, A. (2000): Stoffstrommanagement für Abfälle aus Haushalten, Diss. TU Dresden.
- HGN (1986): Hydrogeologisches Modell Dresdner Elbtalwanne (2. Nachtrag) - unveröffentlicht VEB Hydrogeologie, Arbeitsstelle Dresden, Dresden 1986
- HGN (2003): Hochwasser August 2002 – Auswirkungen auf das Grundwasser. Recherchen zu Grundwassermessstellen im Landkreis Meißen (TO I: rechtselbisch). HGN Hydrogeologie GmbH, AG: StUFA Radebeul, Dresden, 01.12.2003 (unveröff.).
- HGN (2004): Studie zur Hochwasserschutzkonzeption für die Elbe auf sächsischem Territorium - Amtsgebiet Staatliches Umweltfachamt Radebeul, Strom-km 0,0 (Landesgrenze) – Strom-km 123,8; Los 1+2. HGN Hydrogeologie GmbH, AG: Staatliches Umweltfachamt Radebeul, 30.04.2004 (unveröff.)
- Huber, G.; Hiller, G. & Braune, A. (2003): Konzepte des Hochwasserschutzes für die Bauten des Freistaates Sachsen im Historischen Stadtkern von Dresden. In: LH DD / DGFZ (Hrsg.) (2003): Hochwassernachsorge Grundwasser Dresden. Tagungsband zum Statusseminar am 8. Oktober 2003, S. 57-61.
- Huhle, K. & Grunske, K.-A. (1987): Ergebnisbericht mit Grundwasservorratsnachweis Vorerkundung Dresden-Neustadt. Bericht, Archiv des LfUG, Freiberg, 1987 (unveröff.).
- Huhle, K. (1991): Über ein Vorkommen von Bänderschluft im Durchbruchstal der Elbe oberhalb Meißen. Z. geol. Wiss. 19 (5) S. 548, Berlin, 1991.
- Hüsers, N.; Schönekerl, St.; Werner, P.; Guderitz, I. & Nitsche, C. (2004): Untersuchungen der hochwasserbedingten Grundwasserbelastungen im Abstrom von Altlasten. Abschlussbericht des AP 3.1 im BMBF-Forschungsprojekt „Auswirkungen der August-Hochwasser-Ereignisse 2002 auf die Tal-Grundwasserkörper im Raum Dresden – Lösungsansätze und Handlungsempfehlungen“. FKZ: 0330493. Dresden, 01.10.2004.
- IKSE (2003): Aktionsplan Hochwasserschutz Elbe. Internationale Kommission zum Schutz der Elbe (IKSE), Magdeburg, 2003, 79 S.
- IKSr (2002): Hochwasservorsorge – Maßnahmen und ihre Wirksamkeit. Internationale Kommission zum Schutz des Rheins. Koblenz, 2002 (ISBN 3-935324-44-8).
- Königeter, J. (2003): Überflutungsszenarien und Vorüberlegungen zur Polderunterteilung. Beitrag auf der Hochwasserschutzkonferenz des RP Düsseldorf am 03.02.2003 in Xanten, 9 S.
- Korndörfer, Ch. (2002): Zusammenfassende Präsentation Auguthochwasser, Landeshauptstadt Dresden, Umweltamt, Dresden, 2002 (PowerPoint-Datei, unveröff.).
- Korndörfer, Ch. & Ullrich, K. (2004): Umsetzung des grundwasser-bezogenen Hochwasserschutzes in der Landeshauptstadt Dresden - Visionen und Grenzen – Abschlusspräsentation zum BMBF-Forschungsprojekt „Die Auswirkungen der August-Hochwasser-Ereignisse 2002 auf die Tal-Grundwasserkörper im Raum Dresden – Lösungsansätze und Handlungsempfehlungen“, Dresden, 23. Oktober 2004 (PowerPoint-Datei, unveröff.).
- Krebs, P.; Karpf, Ch.; Giese, R. & Glöckner, M. (2004): Undichte Kanäle. Abschlussbericht des AP 4 im BMBF-Forschungsprojekt „Auswirkungen der August-Hochwasser-Ereignisse 2002 auf die Tal-Grundwasserkörper im Raum Dresden – Lösungsansätze und Handlungsempfehlungen“. FKZ: 0330493. Dresden, 15.06.2004.
- Kroiss, H. & Prendel, L. (1996): Einfluss von Fremdwasser auf Planung und Betrieb von Abwasserreinigungsanlagen. Fremdwasser in Abwasseranlagen 18, Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau, TU Graz, S. 27-44.
- Krüger, M. & Nitsche, I. (2003): The 100-Year Flood of the Elbe River in 2002 and Its Effect on Riverbank-Filtration Sites. In: Melin, G. (Ed.): Riverbank Filtration The Future Is

- NOW! Proceedings of The Second International Riverbank Filtration Conference, National Water Research Institutes, 16.-19.09.2003, Cincinnati, Ohio, S. 81-85.
- Ku, H.H.; Habelin, N.W. & Buxton, H.T. (1992): Effects of Urban Storm-Runoff Control on Groundwater Recharge in Nassau County, New York. *Ground Water* 30 (4), 1992, S. 507-514.
 - LAWA (1995): Leitlinien für einen zukunftsweisenden Hochwasserschutz. Hochwasser – Ursache und Konsequenzen. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Stuttgart, November 1995, 24 S.
 - LAWA (2004): Instrumente und Handlungsempfehlungen zur Umsetzung der Leitlinien für einen zukunftsweisenden Hochwasserschutz. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Düsseldorf, 2004 (Stand: November 2003), 35 S.
 - Lewis, R.; Küchler, D. & Baum, G. (2004): Hochwasser 2002 – Auswirkungen auf das Grundwasser – Hochwasserschutzkonzept Obere Elbe, Auswertung von Daten zur Grundwasserüberwachung. Planungsgesellschaft Dr. Scholz GmbH, AG: StUFA Radebeul, Ref. Grundwasser, Dresden, 19.11.2004, 73 S. (unveröff.).
 - LfUG (2003): Einfluss des August-Hochwassers 2002 auf das Grundwasser. Materialien zur Wasserwirtschaft des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie. Dresden, Mai 2003, Art.-Nr. L II-1/25.
 - LfUG (2004): Ereignisanalyse – Hochwasser 2002 in den Osterzgebirgsflüssen. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Materialien zur Wasserwirtschaft. Dresden, Juli 2004, 188 S. Art.-Nr. L II-1/26.
 - LH DD (1992): Förderprojekt "Erkundung des Einflusses von Altlasten und akuten Kontaminationen auf relevante Grundwasserleiterbereiche in den Einzugsgebieten der Wasserwerke Dresden". - 1. Phase. Landeshauptstadt Dresden, Amt für Umweltschutz.
 - LH DD (1993): Förderprojekt "Erkundung des Einflusses von Altlasten und akuten Kontaminationen auf relevante Grundwasserleiterbereiche in den Einzugsgebieten der Wasserwerke Dresden". - 2. Phase. Landeshauptstadt Dresden, Amt für Umweltschutz.
 - LH DD (2002): Messdatenreihen der Grundwasserstände an Messstellen im Stadtgebiet von 2002 bis 2003. Landeshauptstadt Dresden, Umweltamt (unveröff.).
 - LH DD (2003): Abfallbilanz der Landeshauptstadt Dresden 2002. Hrsg.: Landeshauptstadt Dresden.
 - LH DD (2004): Mit Regenwasser wirtschaften – Praxisratgeber (1. Nachdruck). Herausgeber: Landeshauptstadt Dresden, Umweltamt und Stadtentwässerung Dresden GmbH. Dresden, 2004, 48 S.
 - M&S (2003): Gutachten zur großräumigen Kontaminations-erkundung von signifikanten Grundwasserbelastungen im Gebiet Dresden-Reick. M&S Umweltprojekt GmbH, AG: StUFA Radebeul, Ref. Grundwasser, Dresden, 19.12.2003 (unveröff.).
 - Marre, D., Konrad, Ch., Walther, W. & Fischer, Th. (2004): Grundwasserbeschaffenheit. Abschlussbericht des AP 2 im BMBF-Forschungsprojekt „Auswirkungen der August-Hochwasser-Ereignisse 2002 auf die Tal-Grundwasserkörper im Raum Dresden – Lösungsansätze und Handlungsempfehlungen“. FKZ: 0330493. Dresden, 01.10.2004.
 - Michalska, A. & Pecher, K.H. (2000): Betriebliche und kostenmäßige Auswirkung des Fremdwassers auf Kanalisation und Kläranlage. *Gewässerschutz - Wasser - Abwasser* 177, Institut für Siedlungswasserwirtschaft, RWTH Aachen, 27/1- 27/17.
 - Mikkelsen, P.S.; Hafliger, M.; Ochs, M., et al. (1997): Pollution of soil and groundwater from infiltration of highly contaminated stormwater - A case study *WATER SCI TECHNOL*, 36 (8-9), 1997, S. 325-330.
 - Mohrlock, U. & Jirka, G.H. (2001): Grundwasserdynamik in Vorland und Auenbereichen am Beispiel des geplanten Deichrückverlegungsgebietes "Rogätz". Morphodynamik der Elbe, Schlussbericht des BMBF Verbundprojektes, Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik, TH Karlsruhe.
 - Mutschmann, J. & Stimmelmayer, F. (2002): Taschenbuch der Wasserversorgung, Viehweg-Verlag, Braunschweig/Wiesbaden.
 - NRW (1999): Hochwasserfibel - Bauvorsorge in hochwassergefährdeten Gebieten. MURL Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf, Dezember 1999, 34 S.
 - PlanzV (1990): 5. Verordnung über die Ausarbeitung der Bauleitpläne und die Darstellung des Planinhalts (Planzeichenverordnung 1990 - PlanzV 90) vom 18. Dezember 1990 (BGBl.1991 I S.58), BGBl. III 213-1-6 (zitiert nach: Schröter, F.: „Planzeichenverordnung 1990 – PlanzV90“ im Internet: „Homepage Dr. Schröter“ (Internet-URL: <http://www-public.tu-bs.de:8080/~schroete/planzv.htm> Stand: 17.01.2003, Abruf: 30.11.2004).
 - Popp, P., v. Tümping, W.; Freyer, K.; Geyer, W.; Lincke, M.; Treutler H.-Ch. & Wennrich, R. (2004): Schadstoffe und Radionuklide in urbanen Räumen des Elbe- und Muldeinzugsgebietes. In: Geller, W.; Ockenfeld, K.; Böhme, M.; Knöschel, A. (Hrsg.) (2004): Schadstoffbelastung nach dem Elbe-Hochwasser 2002, Endbericht des BMBF-Forschungsprojektes (FKZ: PTJ 0330492), Umweltforschungszentrum Halle-Leipzig GmbH, Leipzig 2004, S. 70-81.
 - Rank, G.; Karetl, K.; Pälchen, W. & Greif, A. (2003): Schadstoffbelastungen im Mulde- und Elbe-Einzugsgebiet nach dem Augusthochwasser 2002. In: Statusseminar des BMBF-Ad-hoc-Verbundprojektes "Schadstoffbelastung im Mulde- und Elbe-Einzugsgebiet nach dem Augusthochwasser 2002", Freiberg, 27.-29.08.2003, Tagungsband, S. 114-120.
 - Schanze, J. (2002): Nach der Elbeflut 2002: Die gesellschaftliche Risikovorsorge bedarf einer transdisziplinären Hochwasserforschung. In: *GAIA* 11 (4), 2002, S. 247- 254.
 - Schlepütz, E. (2004): Hochwasserschutzmaßnahmen und Akzeptanz in der Bevölkerung am Beispiel der geplanten Retentionsräume im Stadtgebiet von Köln. *Ferger (Reihe Wissenschaft)*, 20, 261 S. Bergisch Gladbach 2004 (ISBN 3-931219-23-2)
 - Schröder, K.; Schmidt, W.; Sacher, F. & Stien, J. (2004): Untersuchungen zum Vorkommen und Verhalten von xenobiotischen organischen Einzelstoffen in hochbelasteten Elbsedimenten. In: Geller, W.; Ockenfeld, K.; Böhme, M.; Knöschel, A. (Hrsg.) (2004): Schadstoffbelastung nach dem Elbe-Hochwasser 2002, Endbericht des BMBF-Forschungsprojektes (FKZ: PTJ 0330492), Umweltforschungszentrum Halle-Leipzig GmbH, Leipzig 2004, S. 105-119.
 - Sommer, Th. (2001): Grundwasserdynamik und Grundwasserbeschaffenheit in der anthropogen überprägten

- Flussaue der Unstrut. Proceedings des DGFZ e.V., Heft 20, Dresden, 2001, 163 S. (ISSN 1430-0176)
- Sommer, Th. (2004): Verallgemeinerung der Dresdner Erkenntnisse – Abschlussbericht des AP 5 im BMBF-Forschungsprojekt „Auswirkungen der August-Hochwasser-Ereignisse 2002 auf die Tal-Grundwasserkörper im Raum Dresden – Lösungsansätze und Handlungsempfehlungen“. FKZ: 0330493. Dresden, 31.12.2004. (unveröff.)
 - Strauch, G.; Sbjeschni, A.; Bittkau, A. & Schlosser, D. (2004): Schadstofftransport in überfluteten Trinkwassereinzugsgebieten. In: Geller, W.; Ockenfeld, K.; Böhme, M.; Knöschel, A. (Hrsg.) (2004): Schadstoffbelastung nach dem Elbe-Hochwasser 2002, Endbericht des BMBF-Forschungsprojektes (FKZ: PTJ 0330492), Umweltforschungszentrum Halle-Leipzig GmbH, Leipzig 2004, S. 305-313.
 - StUFA Rb (2004): Staatliche Messstellen im Stadtgebiet von Dresden. E-Mail-Mitteilung des Staatlichen Umweltfachamtes Radebeul, Ref. 11 (unveröff.).
 - SUA Krefeld (2002): Jeder cm zählt. Hochwasser(schutz) am Niederrhein. Staatliches Umweltamt Krefeld. (Internet-URL: <http://www.murl.nrw.de/sites/arbetsbereiche/boden/hochwasserschutz/inhalt.htm>)
 - Ubell, K. (1987): Austauschvorgänge zwischen Fluß- und Grundwasser (Teil I). Dt. Gewässerkundl. Mitt. 31 (1987) 4, 119-125.
 - UBV (2003): Genehmigungsplanung zum Schutz der ECE Altmarkt Galerie und des historischen Kellers (Bodendenkmal) gegen Grundhochwasser, Umweltbüro GmbH Vogtland, Dresden, 2002 (unveröff.)
 - UBV (2005): Aufbau eines Hochwasserbeobachtungssystems Grundwasser für die Landeshauptstadt Dresden - Teil 1 Planung. Umweltbüro GmbH Vogtland im Auftrag der Landeshauptstadt Dresden, Weischlitz/Dresden, 2005.
 - UBV/DGC/GFI (2004a): Hochwassernachsorge - Grundwasser – Dresden. Monatliche Stichtagsmessungen im Stadtgebiet von Dresden von Juli 2003 bis Dezember 2003. Ergänzende Daten zum BMBF Forschungsprojekt (unveröff.).
 - UBV/DGC/GFI (2004b): Grundwasserdynamik. Abschlussbericht des AP 1 im BMBF-Forschungsprojekt „Auswirkungen der August-Hochwasser-Ereignisse 2002 auf die Tal-Grundwasserkörper im Raum Dresden – Lösungsansätze und Handlungsempfehlungen“. FKZ: 0330493. Dresden, 15.10.2004.
 - UBV-JP (1996): Hydrogeologisches Rahmengutachten über den Einfluss geplanter Tiefbaumaßnahmen auf das Grundwasserströmungsregime in der Dresdner Innenstadt. Arbeitsgemeinschaft Jessberger+Partner / UBV; Auftraggeber: Landeshauptstadt Dresden, Amt für Umweltschutz. Dresden, 1996 (unveröff.).
 - UBV-JP (1998): Hydrogeologisches Rahmengutachten Dresden, Entwurf zum Teilbericht Gutachterliche Stellungnahme zu den Auswirkungen von Baumaßnahmen auf das Grundwasserregime - B-Plan 051, Neue Terrasse/Ostra-Allee. AG: Landeshauptstadt Dresden, Umweltamt. Leipzig/Dresden 1998 (unveröff.).
 - UFZ (2002): Heterogenes Schadstoff-Belastungsmuster in den vom Hochwasser betroffenen Gebieten in Sachsen und Sachsen-Anhalt; Präsentation erster Ergebnisse der Probennahmen nach dem August-Hochwasser am 5. September 2002 (unveröff.).
 - Vogel, Th. & Schmidtke, Th. (2002): Wissenschaftliche Modelluntersuchungen zum Grundwasserverhalten bei der Einrichtung eines Hochwasserschutzes am Weißen Bogen, Köln. Auftraggeber: Bezirksregierung Köln. RWTH Aachen, Sept. 2000 – Januar 2002 (unveröff.).
 - Walther, W. & Marre, D. (2004): Kopplung Fließgewässer – Grundwasser, Wirkung des Hochwassers auf den unterirdischen Raum. – In: Köngeter, J. & Roger, S. (Hrsg.): 34. Internationales Wasserbausymposium Aachen 2004: Hochwasserschutz - eindeichen oder ausweichen. Mitteilungshefte des IWW, Bd. 136; Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft (IWW), RWTH Aachen, 2004, S. 173 - 202.
 - Wricke, B.; Tränckner, J. & Böhler, E. (2003): Dokumentation von typischen Schäden und Beeinträchtigungen der Wasserversorgung durch Hochwasserereignisse, Ableitung von Handlungsempfehlungen. Studie des Technologiezentrum Wasser (TZW) Karlsruhe, Außenstelle Dresden, AG: DVGW / Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Dresden, 15. Mai 2003, 26 S.
 - Zimmermann, J. Göbel, P & Coldewey, W.G. (2002): Beeinflussung der Grundwasserqualität durch Regenwasser-versickerung in urbanen Gebieten. – Tagung der FHDGG Grundwasserressourcen im Spannungsfeld zwischen Erschließung und Naturschutz. Greifswald, 9.-11. Mai 2002. Schriftenr. d. Dt. Geol. Ges. Heft 19, S. 109.

Projektbeteiligte

Die Dokumentation ist der Ergebnisbericht des Forschungsprojektes "Die Auswirkungen der August-Hochwasser-Ereignisse 2002 auf die Tal-Grundwasserkörper im Raum Dresden – Lösungsansätze und Handlungsempfehlungen". Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF), über den Projektträger Jülich (FKZ: 0330493). Darüber hinaus flossen in den Abschlussbericht auch Ergebnisse aus weiteren, vom Freistaat Sachsen finanzierten Untersuchungen ein. Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei den Autoren.

■ Projektleitung:

Landeshauptstadt Dresden, Umweltamt
Dr. rer. nat. Kirsten Ullrich

■ Projektkoordination / Wissenschaftliche Begleitung

Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V.
Prof. Dr.-Ing. habil. Ludwig Luckner; Dr. rer. nat. Thomas Sommer

An dem Vorhaben waren folgende Institutionen und Bearbeiter beteiligt:

■ Arbeitspaket 1: Grundwasserdynamik

Arbeitsgemeinschaft UBV / DGC / GFI:
Dr. Thomas Daffner (UBV GmbH)
(Sprecher der ARGE)
Dipl.-Ing. Stephan Bürger (GFI)
Dipl.-Geoökol. Bastian Graupner (GFI)
Dr. Bernd Gutt (DGC GmbH)
Dr. Carsten Leibenath (UBV GmbH)
Dr. Roger Nigang (DGC GmbH)
Dr. Florian Werner (GFI GmbH)

■ Arbeitspaket 2: Grundwasserbeschafftheit

Technische Universität Dresden,
Institut für Grundwasserwirtschaft:
Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang Walther
Dr.-Ing. Dirk Marre
Dipl.-Ing. Christian Konrad

DREWAG GmbH:
Dipl.-Geol. Thomas Fischer

■ Arbeitspaket 3.1: Altlasten

Technische Universität Dresden,
Institut für Abfallwirtschaft und Altlasten:
Prof. Dr. rer. nat. Peter Werner
Dr.-Ing. Norbert Hüasers
Dipl.-Ing. Christian Schönekerl

BGD GmbH:
Dr. rer. nat. Ina Guderitz

■ Arbeitspaket 3.2: Abfälle und Schlämme

Technische Universität Dresden,
Institut für Abfallwirtschaft und Altlasten:
Prof. Dr. Bernd Bilitewski

Intecus GmbH:
Dipl.-Ing. Jörg Wagner

■ Arbeitspaket 4: Kanalisation

Technische Universität Dresden,
Institut für Siedlungs- und Industrierwasserwirtschaft:
Prof. Dr. sc. techn. Peter Krebs
Dipl.-Ing. Christian Karpf

GFI GmbH:
Dr.-Ing. Ronald Giese
Dipl.-Ing. Michael Glöckner

■ Arbeitspaket 5: Verallgemeinerung

Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V.:
Dr. rer. nat. Thomas Sommer
Dipl.-Hydrol. Diana Wald

Projekthompage:

<http://www.hochwasser-dresden.de>

gefördert vom:



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich GmbH



Impressum

Herausgeber:

Landeshauptstadt Dresden

Der Oberbürgermeister

Umweltamt

Telefon (0351) 488 6200

Telefax (0351) 488 6202

E-Mail: umweltamt@dresden.de

Amt für Presse- und Öffentlichkeitsarbeit

Telefon (0351) 488 2390

und (0351) 488 2681

Telefax (0351) 488 2238

Postfach 12 00 20

01001 Dresden

E-Mail: presseamt@dresden.de

Redaktion:

Dr. Kirsten Ullrich, Umweltamt Dresden

Dr. Thomas Sommer, Dresdner Grundwasserforschungszentrum e.V.

April 2005

Redaktionsschluss Dezember 2004

ISBN 3-00-016631-9

Preis: 10,00 €

Druck:

Druckerei und Verlag Christoph Hille, Dresden.

Gedruckt auf Recycling-Papier

Kein Zugang für elektronisch signierte und verschlüsselte Dokumente. Verfahrensanträge oder Schriftsätze können elektronisch, insbesondere per E-Mail, nicht rechtswirksam eingereicht werden. Dieses Informationsmaterial ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit der Landeshauptstadt Dresden. Es darf nicht zur Wahlwerbung benutzt werden. Parteien können es jedoch zur Unterrichtung ihrer Mitglieder verwenden.

gefördert vom:



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung