



Das Augusthochwasser 2002 im Elbegebiet

Koblenz, September 2002

Das Auguthochwasser 2002 im Elbegebiet

Koblenz, September 2002

Das Auguthochwasser 2002 im Elbegebiet

Bearbeiter:

Kapitel 1H. Engel
Kapitel 2P. Krahé
Kapitel 3H. Engel, U. Nicodemus, Dr. P. Heiningen, Dr. J. Pelzer, Dr. M. Disse
Kapitel 4 H. Engel
Kapitel 5 Dr. K. Wilke
Kapitel 6 H. Engel

Koordination und Redaktion:

H. Engel

Layout

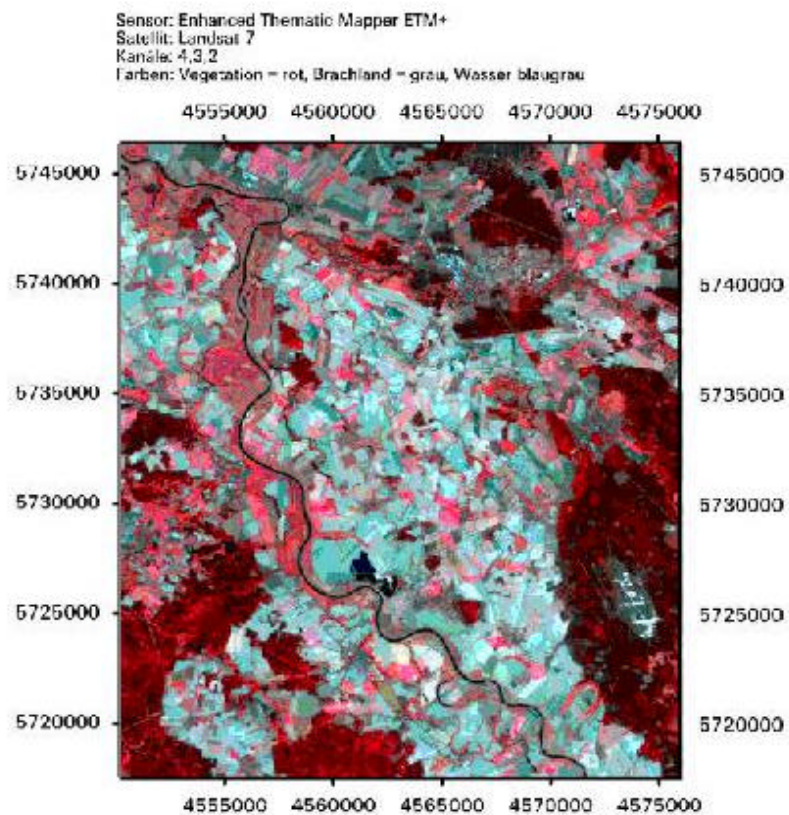
R. Fritsch

Koblenz, September 2002

Inhalt

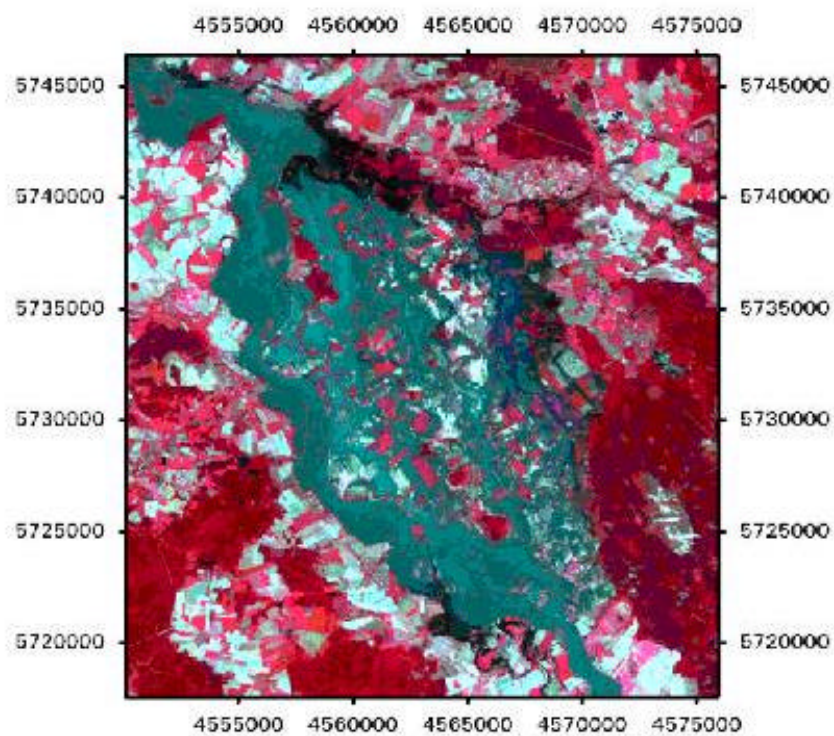
Seite:

Einführung	1
1 Geographisch - hydrologische Fakten zum Elbegebiet	1
2 Ursachen des Hochwassers	8
2.1 Wetterlage und Witterung in Zentraleuropa	8
2.2 Niederschläge im Elbeeinzugsgebiet	11
3 Ablauf des Hochwassers	16
3.1 Wellenablauf	16
3.2 Feststofftransport	22
3.3 Sondermessprogramm zur Schadstoffbelastung der Elbe-Schwebstoffe während des Hochwassers	26
4 Statistische Einordnung des Auguthochwassers	30
5 Hochwasservorhersagen	38
6 Auswirkungen des Hochwassers, Konsequenzen für die Zukunft	43



Situation
14. August 2000

Quelle: DLR



Situation
20. August 2002

Einführung

Weltweit waren die 1990'er Jahre von außergewöhnlichen Hochwassern geprägt. Auch Deutschland war davon erheblich betroffen. So sind im Flussgebiet des Rheins gleich mehrere sehr seltene Hochwasser eingetreten, wobei das nördliche Rheingebiet innerhalb von nur 15 Monaten bereichsweise die höchsten Abflüsse einer nahezu 200-jährigen Beobachtungsreihe ertragen musste. Im südlichen Rheingebiet ereigneten sich ähnliche Hochwasser in den Jahren 1994 und 1999. Schließlich rollte im Sommer 1997 in der Oder eine Flut zu Tal, deren Schadenssumme sich international mit 5 Mrd. € ergeben hat.

In diesem Jahr nun ist ein Hochwasser im Elbegebiet entstanden, dessen Scheitel an den Pegeln der

**El Das Gebiet entlang der Elbe von Strom-km 110 bis 160 bei Normalwasserführung und während
O des Hochwassers (Dammbrüche)**

25 Mrd. € alles bisher in Deutschland gekannte. Es wird nachfolgend versucht, das Ereignis in einer ersten Gesamtschau darzustellen und zu kommentieren.

1 Geographisch-hydrologische Fakten zum Elbegebiet

Die Elbe ist mit einer Länge von 1165 km nur wenig kürzer als der Rhein. Sie entspringt im Riesengebirge in 1394 m Höhe über NN und mündet bei Cuxhaven in die Nordsee. Ihr Einzugsgebiet (**Abb. 1.1**) von rund 150.000 km² (1/3 Tschechien, 2/3 BRD) ist hydrografisch in 3 große Bereiche zu gliedern:

- Mittelgebirge vom Riesengebirge bis zum Harz mit Höhen zwischen NN +1500 m und NN + 300 m
- das Böhmisches Becken mit NN + 300 m bis NN + 150 m
- das Mittel- und Norddeutsche Tiefland unter NN + 150 m

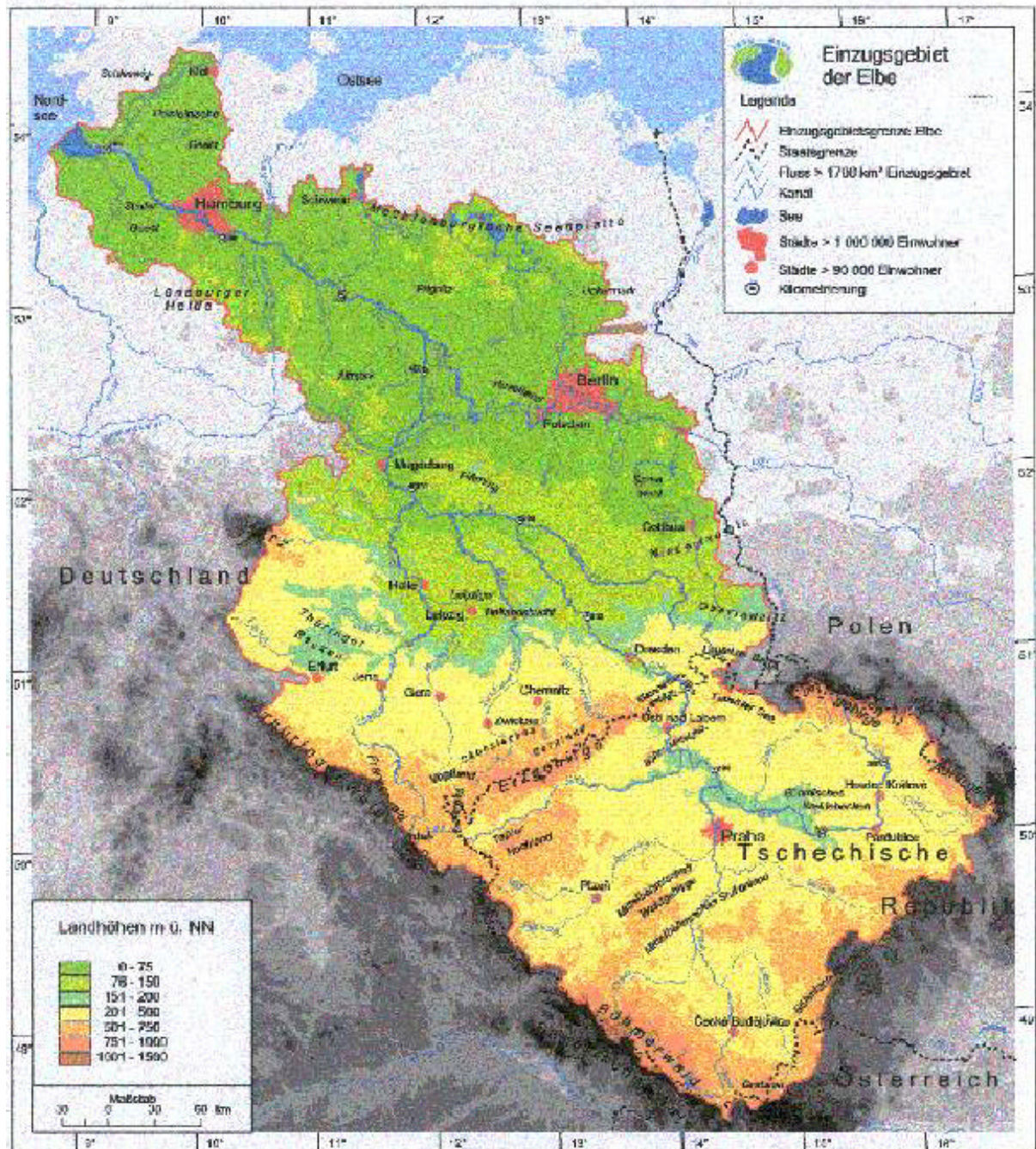


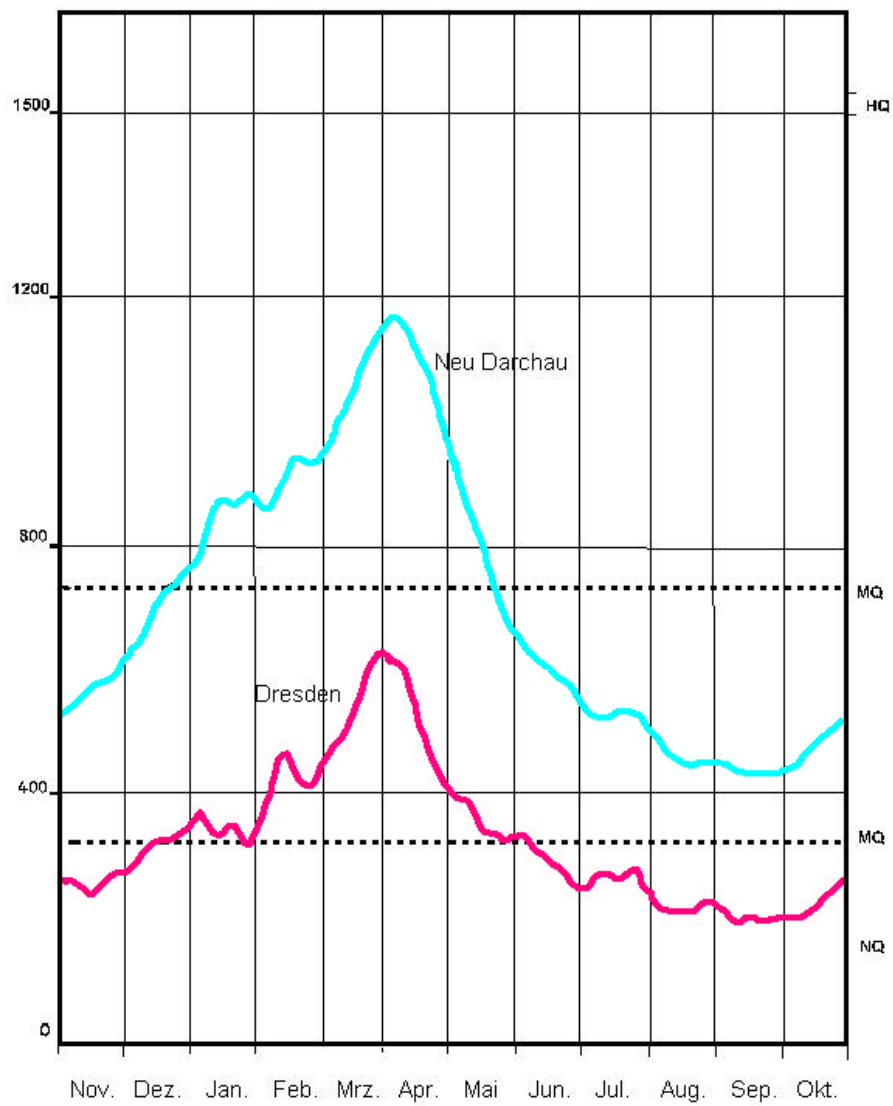
Abb. 1.1: Einzugsgebiet der Elbe

Das Abflussregime unterliegt den Einflüssen des Mittelgebirges und ist somit pluvial geprägt. Höhere Abflüsse in den Wintermonaten stehen einer weitgespannten Niedrigwasser-Periode von Juni bis November gegenüber (**Abb. 1.2**). Die mittleren Abflüsse steigen im Längsverlauf der Elbe in Deutschland von ca. 300 auf 880 m³/s. Fehlende Gletscherspeisung, geringe Niederschläge und große Lockermaterialfüllungen in den Urstromtälern führen zu einer gedämpften Abflussganglinie. Auch die Hauptnebenflüsse Moldau, Eger, Schwarze Elster, Mulde, Saale und Havel verändern diesen Charakter allenfalls im Verlauf von Extremereignissen.

In der Tschechischen Republik ist die Elbe weitgehend staugeregt. Die wesentlichen Nebenflüsse (mit Ausnahme der Havel) sind durch Talsperrenbetrieb beeinflusst. Die in Deutschland mündenden großen Nebenflüsse haben Einzugsgebiete von 5541 km² (Schwarze Elster), 7400 km² (Mulde), 24079 km² (Saale) und 24096 km² (Havel).

Deiche sind für die Elbe auf deutschem Gebiet charakteristisch. Sie beginnen (abgesehen von einigen Teilstücken im Bereich Dresden) bei Strom-km 97,7 und reichen bis zur Nordsee. Unterbrechungen ergeben sich an wenigen Stellen durch schützende Hochufer. Die heutigen Deichtrassen stammen zwar aus der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts, doch wurden Schutzdeiche an der Elbe schon seit dem 12. Jahrhundert errichtet. Insgesamt sind im Laufe der Jahre von ehemals 6172 km² Retentionsfläche nur 13,6 % oder 838 km² übrig geblieben. (**Abb. 1.3**). Die Wirksamkeit der damit verloren gegangenen Rückhaltevolumina hat sich beschränkt auf Hochwasser, deren Scheitel höher als 10-jährlich aufgelaufen sind. Bei kleineren Wellen fließen nur bis zu 10 % des Durchflusses über das Auenprofil ab. Die Reduzierung des Retentionsvolumens, das sich aus dem Entzug von Retentionsflächen im Zeitraum von 1100 bis heute ergibt wurde bisher nicht ermittelt. Legt man Überflutungshöhen von 30 - 50 cm als Bemessungsansatz zugrunde, so ergeben sich Minderungen der oberflächlichen Rückhaltevolumina von rund 2,3 Mrd. m³.

Die Staustufe bei Geesthacht (Elbe-km 585,9) bildet die Tidegrenze bei mittleren Tiden. Bei hohen Sturmfluten werden die Verschlüsse der Wehre abgesenkt, so dass der Flutscheitel wie vor dem Bau der Staustufe Geesthacht ungehindert elbaufwärts auslaufen kann.



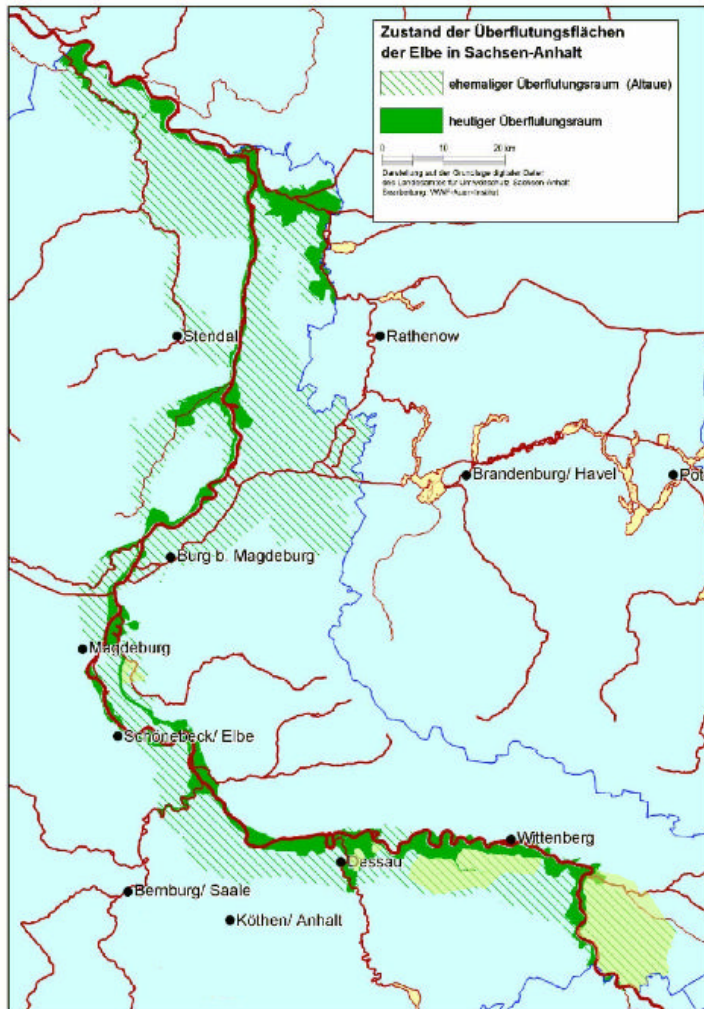


Abb. 1.3: Überflutungsflächen an der Elbe in Sachsen-Anhalt ehemals und heute sowie 2002 infolge von Deichbrüchen überflutete Bereiche (gelb)

Durchstiche von Mäandern und das Abtrennen von Flussbögen führten über Jahrhunderte hinweg zu Verkürzungen der Wasserlaufängen (55 km in Tschechien, 60 km in Deutschland) und als Folge davon zu Erhöhungen der Fließgeschwindigkeiten allgemein. Insbesondere der Verlust von Überflutungsflächen hat Beschleunigungen des Hochwasserablaufs zur Folge. Baumaßnahmen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung beziehen sich ausschließlich auf das eigentliche Flussbett und haben das Ziel,

- ? die Ufer und gegebenenfalls die Sohle vor mechanischen Angriffen (Ufereinbrüche, Erosion) zu schützen und
- ? ausreichende Tauchtiefen für die Schifffahrt bereitzustellen bzw. die Abflussquerschnitte freizuhalten (u.a. von Sandbänken).

Sohl- und Ufersicherungen können so gestaltet sein, dass sie hydraulisch neutral wirken. Hochwasserneutralität ist jedenfalls bei neuen Maßnahmen immer nachzuweisen. Bewuchsbeseitigung hält ein Profil leistungsfähiger, d.h. senkt die Wandrauheiten, so dass höhere Fließgeschwindigkeiten erhalten bleiben und geringere Wasserstände bei gleichen Abflüssen eintreten als bei Uferbewuchs (auch bei Hochwasser).

Ausreichende Tauchtiefen sind ein Problem geringer Wasserführungen und lassen sich durch Errichten von Staustufen erreichen oder durch Einschnüren des Fließquerschnitts. Die Elbe in Tschechien wurde seit Anfang des 20. Jahrhunderts mit 24 Staustufen ausgebaut. Unterhalb der deutsch-tschechischen Grenze gibt es nur die schon erwähnte Staustufe Geesthacht, die 1960 in Betrieb genommen wurde und der Festlegung der Tidegrenze dient. Zur Sicherung der Schifffahrtsverhältnisse wurden im deutschen Elbebereich Buhnen, sowie Deck- und Leitwerke zur Mittelwassererhöhung gebaut. Diese Maßnahmen waren schon vor 100 Jahren abgeschlossen. Zwischen 1930 und dem Beginn des 2. Weltkrieges folgte eine ergänzende Niedrigwasserregulierung mit Kopfschwellen vor den Buhnen und Grundschnellen in übertiefen Kolken. Die Aufgabe dieser Maßnahme besteht darin, im Bereich niedriger Abflüsse den Durchfluss in einem Teil des Gerinnes zusammenzufassen. Dies führt in dem Bereich des Niedrig- / Mittelwasserbettes, das für die Schifffahrt genutzt wird, zu größeren Wassertiefen. Bei heute ausgeführten Maßnahmen ist regelmäßig die Durchfluss-Neutralität der Eingriffe im Hochwasserfall nachzuweisen. Dies geschieht auch für die Elbe, soweit aktuelle Strombaumaßnahmen geplant oder durchgeführt werden.

Schon ab dem 10. Jahrhundert dienten Teichanlagen fischereilichen und bergbaulichen Nutzungen. Mit Ende des 19. Jahrhunderts begann der Bau moderner Talsperren, die in der Regel multifunktional eingesetzt werden. Insgesamt wurden im Elbegebiet bis heute rund 4 Mrd. m³ Stauvolumen (Addition nur von Einzelbecken > 0,3 Mio. m³) geschaffen, davon 1,4 Mrd. m³ in Deutschland. Der Anteil des bewirtschaftbaren Hochwasserschutzraumes beträgt 459 Mio. m³ oder 11,6 % des Gesamtvolumens. Rechnerisch ergeben sich durch Einsatz dieser Volumina sehr wirksame Hochwasserscheitelreduzierungen für Abflüsse mit Wiederkehrintervallen bis 50 Jahre. Darüber hinaus nimmt die Wirksamkeit deutlich ab.

Insgesamt werden an der Elbe von der Grenze zur Tschechischen Republik bis zur Tidegrenze bei Geesthacht 44 Pegel betrieben. Im hydrologischen Jahrbuch der DDR bzw. im Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch sind von 14 Pegeln Wasserstände und von 9 Pegeln Abflüsse veröffentlicht.

Zwischen dem Übertritt des Elbestroms auf deutsches Gebiet bei Strom-km 0,0 und dem letzten Binnenpegel mit Abflussbestimmung (Neu Darchau) vergrößert sich das Einzugsgebiet der Elbe von 51.400 km² auf 132.000 km², d.h., es wird mehr als 2,5 mal so groß. Trotzdem bleiben sich die mittleren Jahreganglinien der Abflüsse flussabwärts so ähnlich, dass selbst kleinere Schwankungen

dieser Linie in Dresden auch in Neu Darchau noch zu finden sind (**Abb. 1.2**). Allerdings erfährt die Verteilung des Abflusssdargebots leichte Veränderungen, die sich in einer Schwerpunktbildung des Auftretens von Hochwassern zeigen (**Abb. 1.4**). Hochwasserabflüsse in Dresden wie auch flussabwärts treten hauptsächlich in den Monaten Februar bis April auf. Allerdings sind Scheitel bedeutender Höhe dort noch bis zum August hin zu erwarten, während in Darchau die abflussarme Zeit schon Mitte Juli beginnt.

In Deutschland zeichnen sich bei den Abflüssen verbreitet Entwicklungen ab, die auf einen Trend zu höheren mittleren Abflüssen hindeuten. Die jährlichen Niedrig- (NQ), Mittel- (MQ) Hochwasserabflüsse (HQ) zeigen auch für die Abflusspegel der Elbe ein ähnliches Verhalten. Vor allem seit den 1950er Jahren ergeben sich u.a. aufgrund von veränderten Bewirtschaftungen der tschechischen Speicher, die zwischen der CSSR und der DDR festgelegt wurden und die einen Mindestwasserabfluss garantieren, steigende Tendenzen der NQ wie auch der MQ.

Aus der Abflussentwicklung für verschiedene Pegel im Jahresverlauf von 1901 bis heute wird deutlich, dass die festgestellte Jahresentwicklung sich nicht unmittelbar in den einzelnen Monaten widerspiegelt. So ergeben sich für die Monate März, April und Juli seit 40 bis 50 Jahren Abnahmen, die durch besonders starke Zunahmen in anderen Monaten ausgeglichen werden, während sich für September und Oktober Beharrung erkennen lässt.

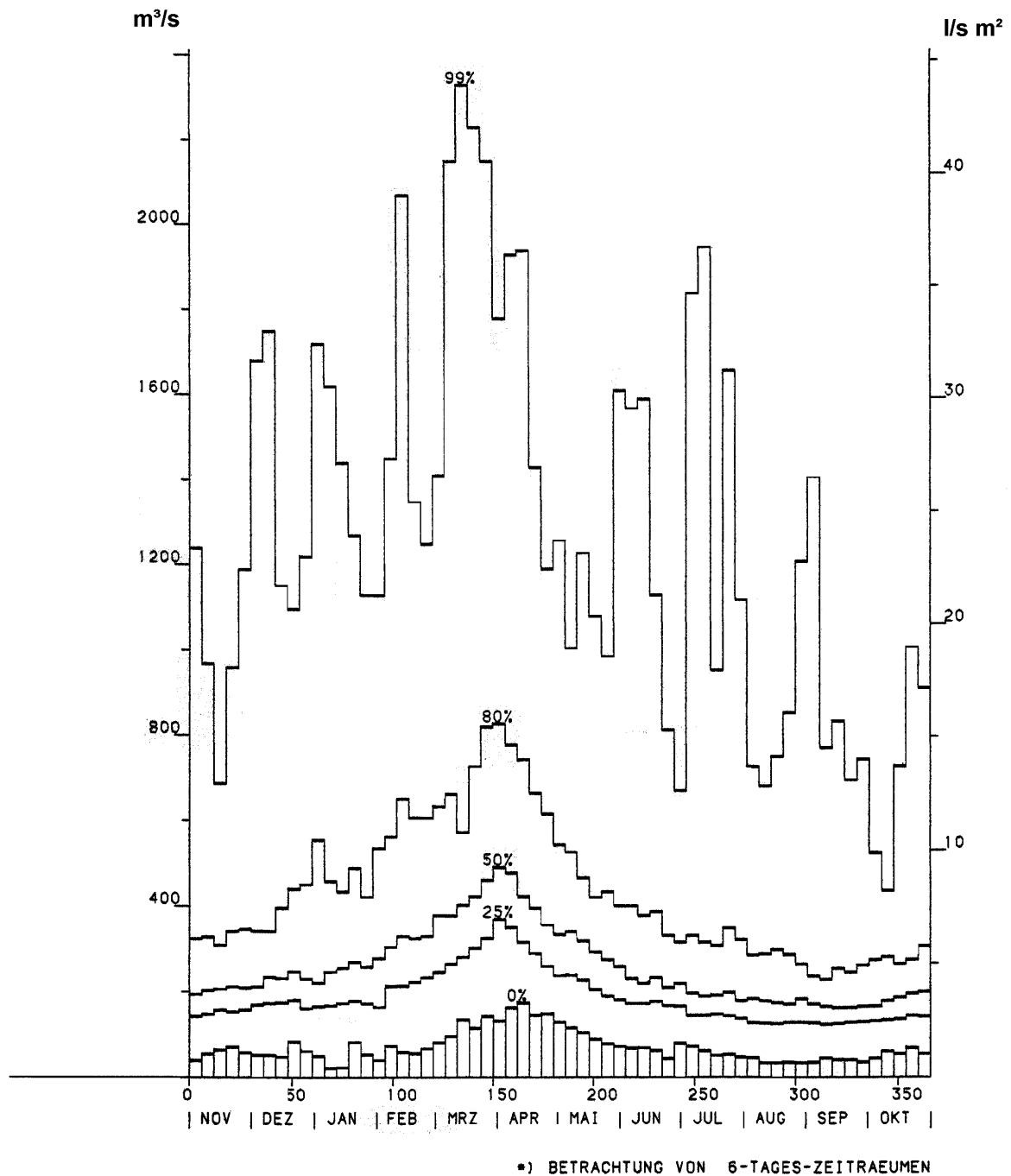


Abb. 1.4: Linien der Unterschreitungsdauern 1931/1989 Dresden / Elbe
Abflüsse Q und Abflussspenden q

2 Ursachen des Hochwassers

2.1 Wetterlage und Witterung in Zentraleuropa

In den ersten 13 Tagen des August 2002 kam es in Zentraleuropa zu 3 aufeinander folgenden Starkniederschlagsereignissen und ein sich langsam nordostwärts verlagerndes Adriatief. Der extreme Witterungsverlauf und das Niederschlagsgeschehen lässt sich in drei Teilperioden unterteilen.

Witterungsperiode I: 01.-05.08.2002

In diesem Zeitraum war ein sich nur langsam von der Bretagne entlang der Küste in Richtung Beneluxländer verlagernder Höhenwirbel mit einem Bodentief wetterbestimmend. Aufgrund der herangeführten feuchtwarmen Mittelmeerluft ergaben sich vorwiegend in Nord- und Nordostdeutschland für einige Stationen bereits stellenweise neue Rekorde für tägliche Niederschlagshöhen im August (Cuxhaven 63,6 mm). So waren am 1. August zunächst besonders Schleswig-Holstein, Hamburg, Bremen, Niedersachsen und Brandenburg betroffen.

Ein weiteres Starkniederschlagsereignis am 4. August betraf vornehmlich den Nordosten Deutschlands und am 5. August hauptsächlich die Küstengebiete. In Schleswig sind innerhalb von 2 Tagen schon rund 150 % des normalen Niederschlags für den gesamten Monat August gefallen.

Witterungsperiode II: 06.-08.08.2002

Während die Niederschläge der vorangegangenen Witterungsperiode im wesentlichen aus Gewitterfronten resultierten, die sich immer wieder innerhalb einer labilen feuchten Luftmasse bildeten, traten am 6. und 7. August in Ostbayern, Böhmen und Österreich großräumige Starkniederschläge auf, als sich ein Tief mit feuchtwarmer Luft vom Mittelmeer über Norditalien nach Norden bewegte und dort auf kühlere Luftmassen stieß (**Abb. 2.1**). Dieses Tief entwickelte sich an einer über den Alpen verlaufenden Front und griff mit seinem Regengebiet am Vormittag des 6. August auf den Süden Deutschlands und Teile Österreichs über.

Dabei wurden teilweise an beiden Tagen mehr als 50 mm Niederschlag gemessen (Passau 55 und 52 mm, Budweis (Böhmen) 66 und 64 mm). Am Wendelstein wurde am 6. August sogar eine Tagesniederschlagsmenge von 110 mm registriert, wobei 62 mm innerhalb von 6 Stunden fielen. In St. Pölten (Niederösterreich) wurden 80 mm Niederschlag innerhalb von 12 Stunden registriert. Die Gesamtniederschläge dieses Unwetterereignisses betrugen bis über 140 mm und damit deutlich

mehr als der normale Monatsniederschlag im August.

Das Starkniederschlagsgebiet wanderte im Laufe des 8. August weiter nach Nordwesten. Dabei traten im Bereich der Weser- und Elbemündung nochmals extreme Niederschläge auf.

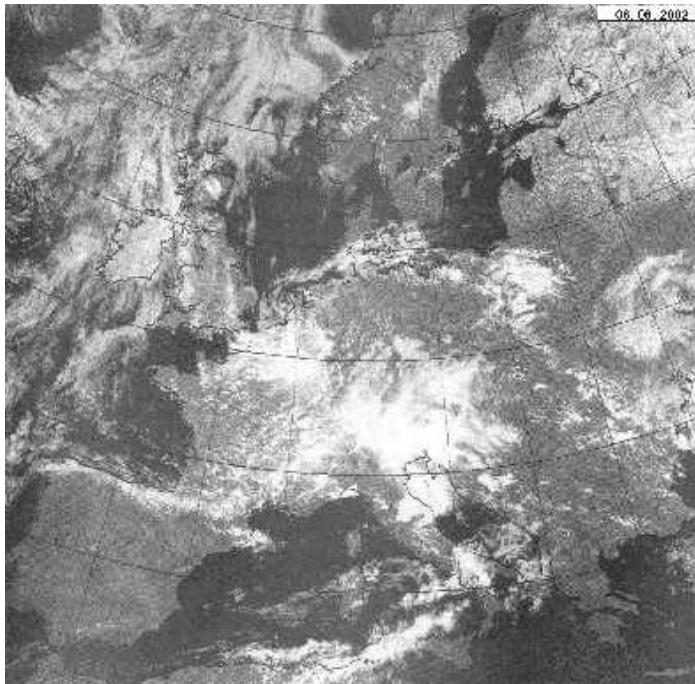


Abb. 2.1: Satellitenbild (sichtbarer Kanal von NOAA16) für das Starkniederschlagsereignis vom 6. August 2002 (Quelle: Berliner Wetterkarte)

Witterungsperiode III: 09.08.-13.08.2002

Am 8. August ließen die Niederschläge im südlichen Zentraleuropa nach und es etablierte sich über Skandinavien ein Hochdruckgebiet sowie ein ausgeprägter Höhentrog, der von Island bis Nordafrika reichte. In diesem Trog war zunächst ein sekundärer Höhentrog über Norditalien eingelagert. Der Höhenwirbel verlagerte sein Zentrum von den Beneluxländern zum Golf von Genua und zog dann von dort weiter nach Ungarn.

Vor den Britischen Inseln entwickelte sich ein kleines aber recht wetterintensives Bodentiefdruckgebiet ILSE, das im Verlauf des 9. August in Richtung Südengland wanderte (**Abb. 2.2**). Beim Übergang auf das Festland schwächte sich das Tief während des 10. August jedoch merklich ab (ILSE I). Seine Fronten sorgten in Deutschland jedoch für ein Aufleben der schauerartigen bzw. gewittrigen Niederschläge vornehmlich in Süddeutschland und auch in der Ostschweiz. Unter dem sekundären Höhentrog über Norditalien bildete sich der eigenständige Wirbel ILSE II aus, der sich gleichzeitig mit

dem in Richtung Ungarn verlagernden Höhentrog zunächst ostwärts zur Adria und dann über die Ostalpen hinweg in Richtung Polen verlagerte (Vb-Entwicklungstief). Der Tiefdruckwirbel ILSE II blieb bis zum 13. August für Zentral- Europa wetterbestimmend, da der Kern nur langsam nach Polen zog. Die in ihm gehobene feucht-warme subtropische Luft aus dem Mittelmeerraum hatte auf einem breiten Streifen, der von Brandenburg über Sachsen und Böhmen hinweg bis nach Ostbayern und Österreich reichte, ungewöhnlich starken Regen zur Folge.

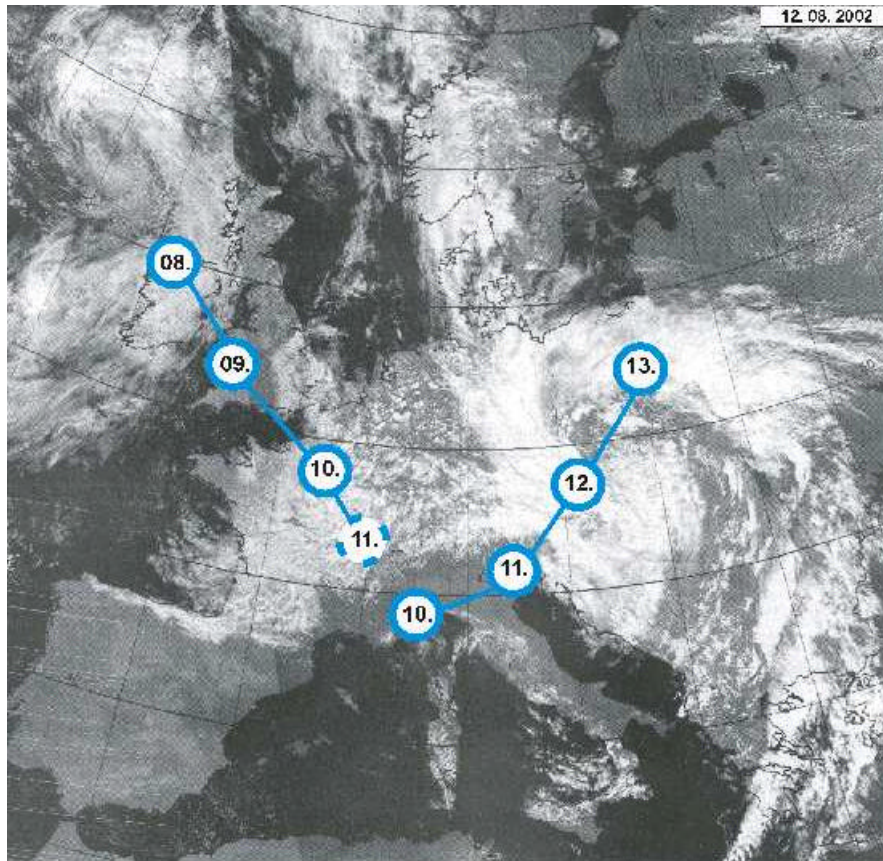


Abb. 2.2: Satellitenbild (sichtbarer Kanal von NOAA16) mit Zugbahn des Tiefdruckgebietes ILSE für das Starkniederschlagsereignis vom 11.-13. August 2002 (Quelle: Berliner Wetterkarte)

Das Niederschlagsgeschehen in diesem Zeitraum lässt sich wie folgt zusammenfassen. Am 9. August kam es bereits zu gewittrigen Regen in Südbayern. Am 10. setzten abends von Westen her Gewitter und Schauer ein, die in Ostbayern in Dauerregen übergingen. Im Laufe des 11. August weitete sich das Schlechtwettergebiet weiter nach Norden aus. Dabei kam es auch im südlichen und westlichen Böhmen sowie im Erzgebirge und im Harz zu Starkregenfällen. Innerhalb von 24 Stunden traten dabei Regenmengen von über 60 mm auf. Auf dem Brocken im Harz wurde sogar eine 24stündige Niederschlagshöhe von 101,5 mm registriert. Das Tiefdrucksystem erreichte dann am 12. August Polen. Auf seiner Rückseite stellte sich eine Nordströmung ein, die die Niederschläge im Erzgebirge durch Stau und orographische Hebung noch verstärkte. Dabei ergaben sich an mehreren Stationen

neue Rekordwerte für den 24stündigen Niederschlag. So wurden in Dresden 158 mm Niederschlag registriert. Damit wurde der bisherige Rekordwert für diese Station (77,4 mm am 02. 08. 1998) mehr als verdoppelt. Die höchste Niederschlagsmenge gab es dabei in Zinnwald-Georgenfeld im Erzgebirge, wo 312 l pro Quadratmeter in 24 Stunden gemessen wurden. Nach einer Mitteilung des DWD ist dies wohl die höchste Regenmenge, die jemals an einem Tag in Deutschland registriert wurde.

Aber auch die Gebiete in Böhmen und Österreich, die bereits von den vorherigen Unwettern heimgesucht wurden, erhielten nochmals extreme Niederschlagsmengen bis über 100 mm (Churanow/Böhmerwald 100 mm, Rohrbach/Mühlviertel 101 mm). Am 13. August sind dagegen hohe Niederschläge nur noch für den östlichen Teil Böhmens vermerkt.

Ein Kennzeichen dieses Hochsommers waren die wiederholten hochreichenden Kaltluftvorstöße ins Mittelmeer. Sie waren besonders gut in den Höhenwetterkarten zu verfolgen, wo sich scharfe Tröge bis nach Nordafrika ausweiteten, aus denen sich dann auch selbständige Wirbel abspalteten. Diese Wetterlage ist im Rahmen der nordatlantischen Oszillation nicht ungewöhnlich, aber eher im Frühjahr und Herbst anzutreffen. Da die Luftmassen über dem Mittelmeer bei den höheren Wassertemperaturen im Sommer erheblich mehr Wasserdampf aufnehmen können, kam es zu diesen Starkregenfällen, von denen in Deutschland vornehmlich Ostbayern und Sachsen betroffen waren.

2.2 Niederschläge im Elbeinzugsgebiet

Der Witterungsablauf Zentraleuropas bestimmte auch das Niederschlagsgeschehen im Elbegebiet (**Abb. 2.3**). In den Tagessummen der Gebietsniederschlagshöhen für das gesamte Elbeinzugsgebiet der ersten 13 Tage des August treten die vier Niederschlagsereignisse vom 01.08., 04. - 05.08., 06.- 07.08. und vom 11. - 13.08. deutlich in Erscheinung. Die ersten beiden Niederschlagsereignisse betrafen räumlich gesehen hauptsächlich das Elbeinzugsgebiet unterhalb Magdeburgs (**Tab. 2.1**) während das Niederschlagsereignis vom 06.-07.08. besonders stark die Einzugsgebiete der Moldau und Mulde sowie in abgeschwächter Form die Einzugsgebiete der Eger und Saale betrafen (**Tab.2.1**). Fasst man die in den ersten 10 Tagen im August gefallenen Niederschläge zusammen (**Abb. 2.4**), so kann man feststellen, dass in weiten Teilen des Elbegebietes die Niederschlagssummen bereits die für den August im vieljährigen Mittel gültigen Werte erreichten und stellenweise bereits das 1.5- bis 2-fache der mittleren Monatssumme betrugen. Insgesamt wurde damit eine Bodenwassersättigung und hohe Abflussbereitschaft in den betroffenen Gebieten erzeugt.

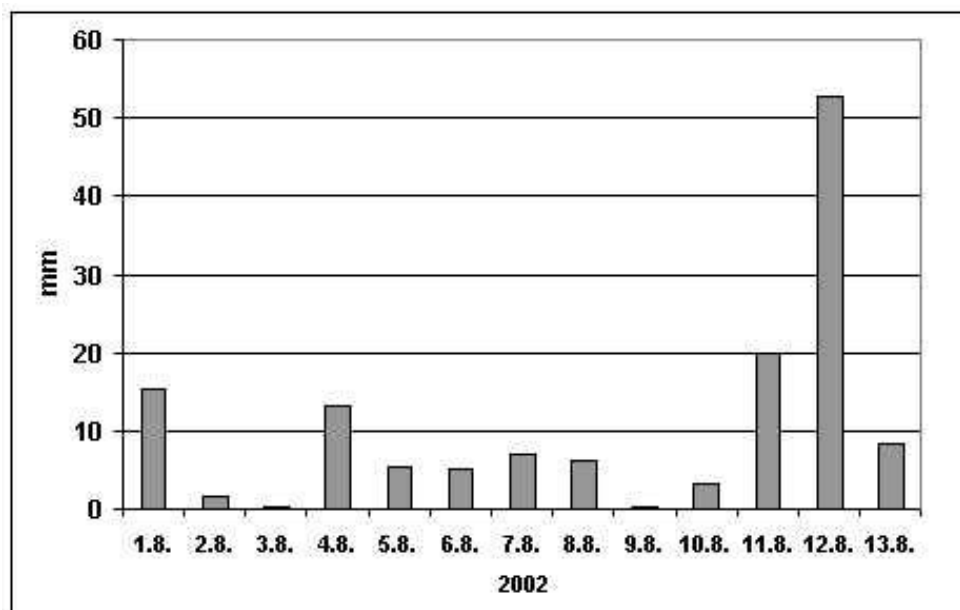


Abb. 2.3: Gebietsmittel der täglichen Niederschlagshöhen für das gesamte Elbegebiet im August 2002

Auf diese Niederschlagsperioden folgte am 11. und 12. August ein 2-tägiger Regen, der die eigentlichen Hochwasser auslöste (**Abb. 2.5**). Die am 13. August gefallenen Niederschläge betrafen im wesentlichen nur noch die östlichen Teileinzugsgebiete der Elbe, vornehmlich das Einzugsgebiet

Tab. 2.1: Gebietsniederschlagssummen für ausgewählte Elbepegel im August 2002

Pegel	A _{EO} * [km²]	Niederschlagssummen [mm]		
		August (1961/90) 01.08.- 10.08.		11.08.- 13.08.
Dresden	53096	71	58	99
Wittenberg	61879	70	58	102
Aken	70093	70	60	105
Magdeburg	94942	71	55	89
Wittenberge	123532	67	56	85
Neu-Darchau	131950	65	56	79

*) oberirdisches Einzugsgebiet

der Elbe (Labe) bis zur Mündung der Moldau (Vltava). Die höchsten Niederschläge der 2-tägigen Periode konzentrierten sich dabei auf einem engen Band, das vom Erzgebirge bis nach Potsdam reichte. Hier wurden 2-tägige Niederschlagshöhen erreicht, die bis zum 3-fachen des Monatsmittels betragen. Insbesondere waren davon die Einzugsgebiete der Freiburger Mulde, Teile der Vereinigten Mulde sowie die Quellgebiete der Weißeritz und Müglitz betroffen. Diese Gebiete waren nahezu flächendeckend von diesen extremen Gewitterniederschlägen überdeckt. Für das Einzugsgebiet der

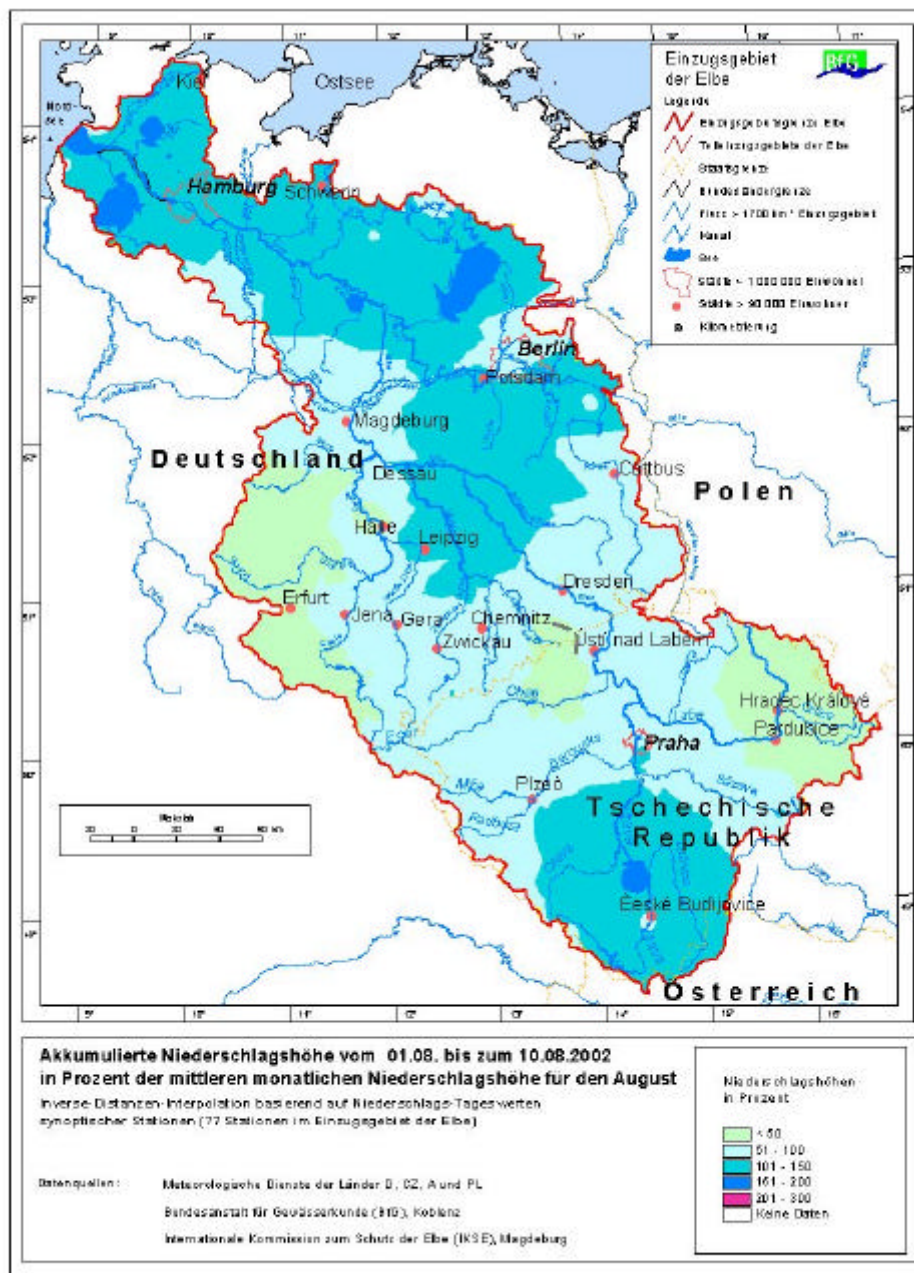


Abb. 2.4: Niederschlagsverteilung über dem Elbeeinzugsgebiet für den Zeitraum 01.08. bis 10.08.2002

Mulde wurde der Gebietsniederschlag zu ca. 180 mm und für die kleinen Flussgebiete die im Teileinzugsgebiet der Elbe unterhalb der Moldau bis zur Mündung der Schwarzen Elster in die Elbe münden zu ca. 150 mm abgeschätzt. Ein weiterer Schwerpunkt des Niederschlagsgebietes lag stromab von Dresden in der Umgebung der Städte Kreinitz und Meissen.

Tab. 2.2: Gebietsniederschlagssummen für Teileinzugsgebiete der Elbe im August 2002

Teileinzugsgebiet	A_{Eo^*}	Niederschlagssummen [mm]		
	[km ²]	August 1961/90	1.08.-10.08	11.08.-13.08.
Elbe von der Quelle bis Mdg. der Moldau	13600	62	24	62
Moldau	28000	74	80	108
Elbe (Mdg. der Moldau bis Mdg. der Schwarzen Elster)	8500	71	49	152
Eger	5600	73	40	70
Schwarze Elster	5600	64	59	133
Elbe (Mdg. der Schwarzen Elster bis Mdg. der Havel)	5100	65	68	33
Mulde	7300	73	71	177
Saale	24000	75	42	40
Havel	23900	51	58	67
Elbe (Mdg. der Havel bis Wehr Geesthacht)	12800	48	53	25
Elbe (Wehr Geesthacht bis Mdg. in die Nordsee)	13200	72	96	27

*) oberirdisches Einzugsgebiet

Die Niederschläge in den Einzugsgebieten der Moldau und der Eger erreichten fast flächendeckend das 1.5- bis 2-fache der für den August gültigen vieljährigen Mittelwerte. Zusammen mit den insbesondere in der vorhergehenden Niederschlagsperiode vom 6.-8. August aufgetretenen extrem hohen Niederschlagshöhen in diesen Flussgebieten ergibt sich die hohe Abflussbereitschaft dieser Gebiete.

Die für die verschiedenen Niederschlagsperioden für ausgewählte Elbepegel berechneten Gebietsniederschlagshöhen sind in **Tabelle 2.2** wiedergegeben. Im Einzugsgebiet der Elbe betrugen sie bis zu den Pegeln Dresden, Wittenberg und Aken in 13 Tagen (vom 1. August, 8.00 Uhr bis zum 13. August, 8.00 Uhr) ca. 150 mm. Davon entfallen auf den zwei- bis dreitägigen Zeitraum 11.- 13. August 2002 ca. 100 mm. Dies ist erheblich mehr als die im Mittel für den gesamten Monat August (1961 - 1990) zu erwartende Menge. Eine durchaus konservative Schätzung ergibt für das Einzugsgebiet der Elbe bis Dresden eine in dieser Zeit erreichte Niederschlagsmenge von rd. 5 Mrd. m³.

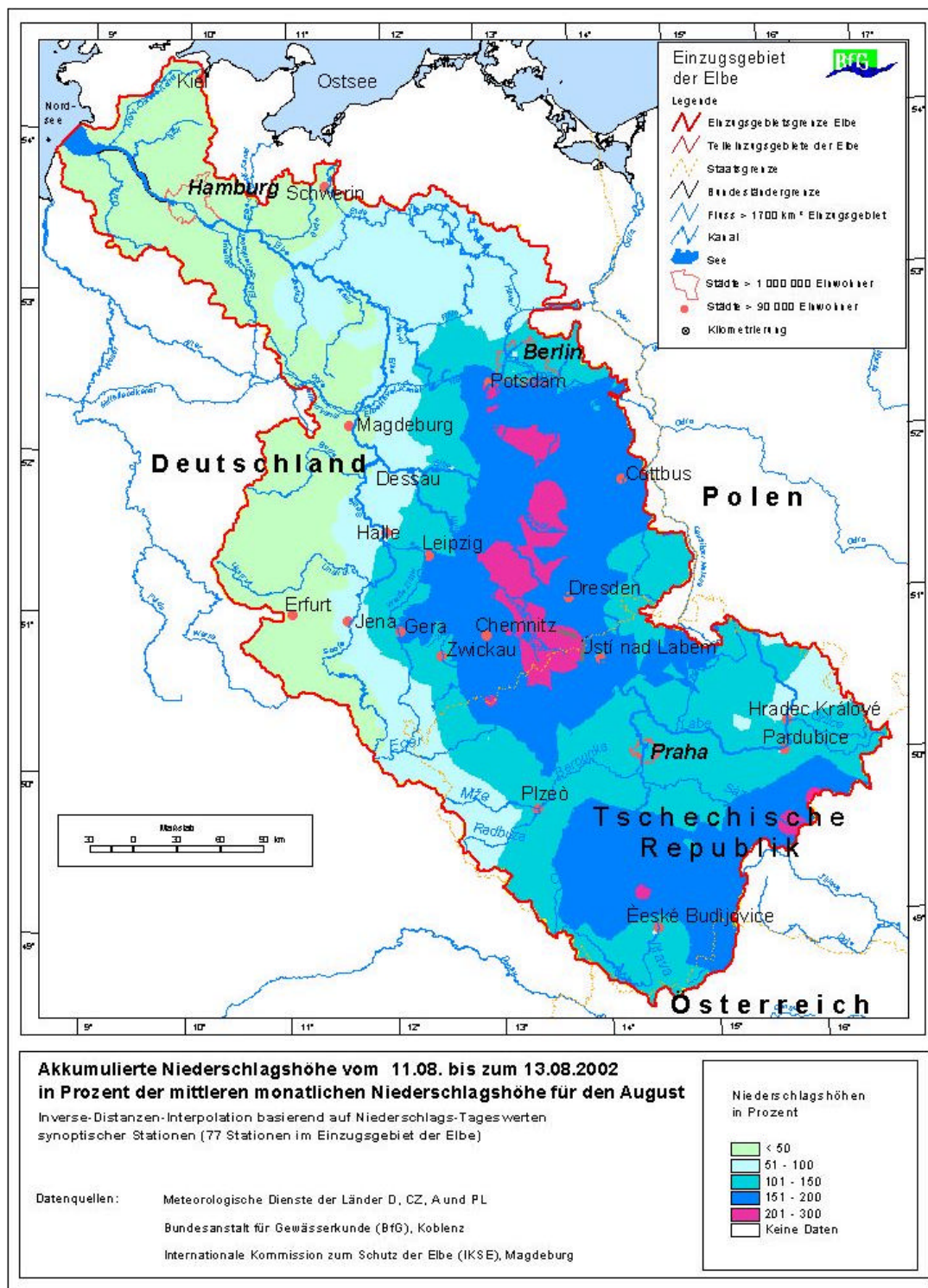


Abb. 2.5: Niederschlagsverteilung über dem Elbeeinzugsgebiet für das Niederschlagsereignis vom 11.08. bis 13.08.2002

3 Ablauf des Hochwassers

Die Erfassung der Abflussdynamik geschieht über Wasserstände, die bezogen sind auf wechselnde Pegelnullpunkte. Da diese nicht die tiefsten Profilpunkte sind und die Profile unterschiedliche Formen haben, sind Vergleiche von Pegel zu Pegel über Wasserstandsganglinien nur sehr bedingt möglich. Solche Vergleiche lassen sich sinnvoll nur über Durchflüsse durchführen, insbesondere auch in Bezug auf Wasserinhaltsstoffe.

3.1 Wellenablauf

Wie aus den meteorologischen Fakten zu erkennen ist, hat sich das Hochwasser 2002 schon in der tschechischen Republik als sehr außergewöhnlich dargestellt. Vor allem die Moldau war erheblich betroffen, jedoch auch die Eger und abgeschwächt die obere Elbe. Schließlich ist am Pegel Usti nad Labem, 38 km oberhalb der tschechisch-deutschen Grenze ein Wellenscheitel von über 5000 m³/s eingetreten. Auf seinem rund 90 km langen Lauf nach Dresden trat der Fluss erheblich über seine Ufer. Dabei wurde Ortschaft um Ortschaft und schließlich auch die historische Altstadt von Dresden überflutet. **Abb. 3.1** zeigt den Wellenablauf in Wasserständen an 10 Elbepegeln und drei Pegeln von Nebengewässern in Deutschland. Alle Wellen beginnen etwa bei mittleren Abflüssen, erzeugt durch die 10-tägige Vorregenperiode. Sehr deutlich erkennbar ist die von Süden nach Norden zunehmende Verflachung der Welle. Bis Torgau sind die Anstiege relativ steil und führen zu schmalen Scheiteln. Ab Wittenberg geht ein anfangs steiler Anstieg zunehmend früher in einen flacheren Ast über. Die Scheitel werden weiter gespannt und erreichen ab Wittenberg ein mehrere Tage andauerndes Plateau. Die Differenzen zwischen den Pegelständen zu Beginn der Wellen und den Scheiteln nehmen von ca. 8 m in Dresden bis nach Neu Darchau auf ca. 5 m ab.

Die Darstellung des Wellenablaufs unter Verwendung der Abflüsse (**Abb. 3.2**) lässt ebenfalls den Verflachungseffekt der Wellen erkennen, zeigt darüber hinaus aber die Veränderungen durch Nebenflüsse und infolge von Deichbrüchen bzw. gesteuerter Retention. So ist ein Scheiteleinbruch in Höhe der Mündung der Schwarzen Elster zu erkennen und eine hohe Abflusszunahme an der Muldemündung. Ein weiterer Scheiteleinbruch ist im Bereich der Havelmündung sichtbar, der unterhalb zu einem deutlich abgeflachten Wellenscheitel geführt hat.

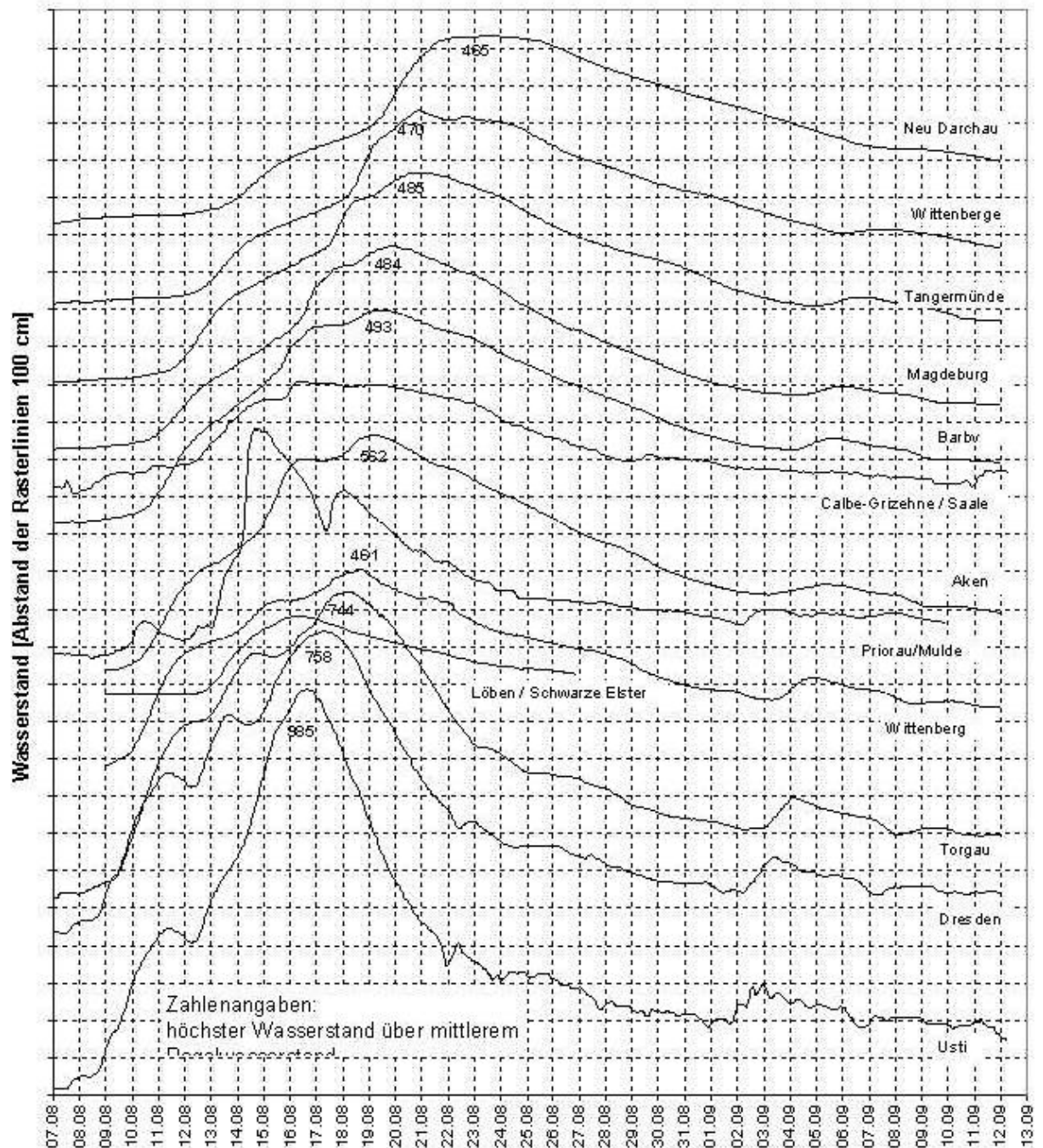


Abb. 3.1 Wasserstandsganglinien ausgewählter Elbe- und Nebenflusspegel während des Hochwassers im August 2002

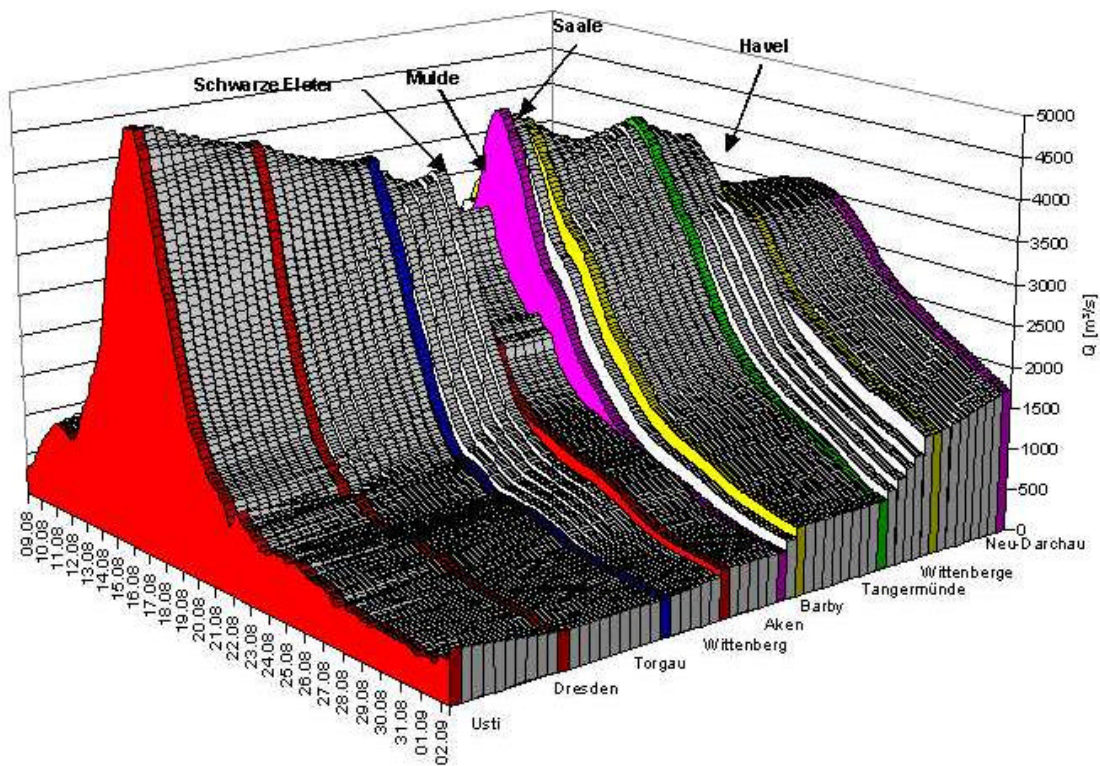


Abb. 3.2 Wellenablauf des Hochwassers 2002 an der Elbe auf der Basis von Abflüssen

Die genaue Betrachtung des Wellenablaufs und seiner Begleitumstände zeigt:

Die vier für den deutschen Elbeabschnitt bedeutsamen Nebenflüsse waren entsprechend ihrer Überregnung sehr unterschiedlich am Abflussgeschehen beteiligt. Die Scheitelabflüsse betragen ca. in der

- Schwarze Elster/Löben $80 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\text{MHQ}_{74/99} = 66,7 \text{ m}^3/\text{s}$)
- Mulde/Bad Dübén $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\text{HQ}_{61/99} = 1500 \text{ m}^3/\text{s}$)
- Saale/Calbe-Grizelne $295 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\text{MHQ}_{32/99} = 376 \text{ m}^3/\text{s}$)
- Havel/Havelberg $140 \text{ m}^3/\text{s}$ ($\text{MHQ}_{81/99} = 223 \text{ m}^3/\text{s}$)

Für die Elbe bedeutsam war also nur die Mulde (**Abb. 3.1**), was in **Abb. 3.2** durch einen erheblichen Abflusssprung auffällig wird, wogegen Schwarze Elster, Saale und Havel in ihren Abflussbeiträgen

nicht ins Auge fallen. Andererseits sind an zwei Stellen Abnahmen der Abflüsse nicht zu übersehen, die offenbar die Folge von Verlusten an die Elbevorländer darstellen.

Entlang der deutschen Elbestrecke hat es nach bisher vorliegenden Informationen 12 durch Deichbrüche verursachte flächenhafte Überflutungen gegeben. Hinzu kommt die gesteuerte Flutung von rund 75 Mio. m³ im Bereich der Havelmündung (siehe auch Abb. 1.3).

Potentielle Überschwemmungsgebiete größeren Umfangs beginnen auf deutschem Gebiet erst unterhalb von Dresden. Die größte durch Deichbruch benetzte Fläche (Dautschen) erstreckt sich über eine Länge von ca. 30 km in Sachsen zwischen Elbe-km 168 und der Mündung der Schwarzen Elster rechts des Stroms. Sie umfasst 193,9 km² und ist am 17./18.08. beginnend bis zum 19.08. durch mehrere Deichbrüche (teils von der Schwarzen Elster her) geflutet worden. Die Flutung hat damit vor Erreichen des zu erwartenden Elbescheitels begonnen und sich solange fortgesetzt, bis eine Ausspiegelung zwischen der fallenden Elbewelle und dem Stauspiegel erreicht war. Danach hat unmittelbar die Leerung des „Polders“ eingesetzt. Eine Abschätzung der Überflutungshöhen ergibt, dass die Füllung des Gebietes wahrscheinlich ca. am 20.08. nach und nach in Entleerung

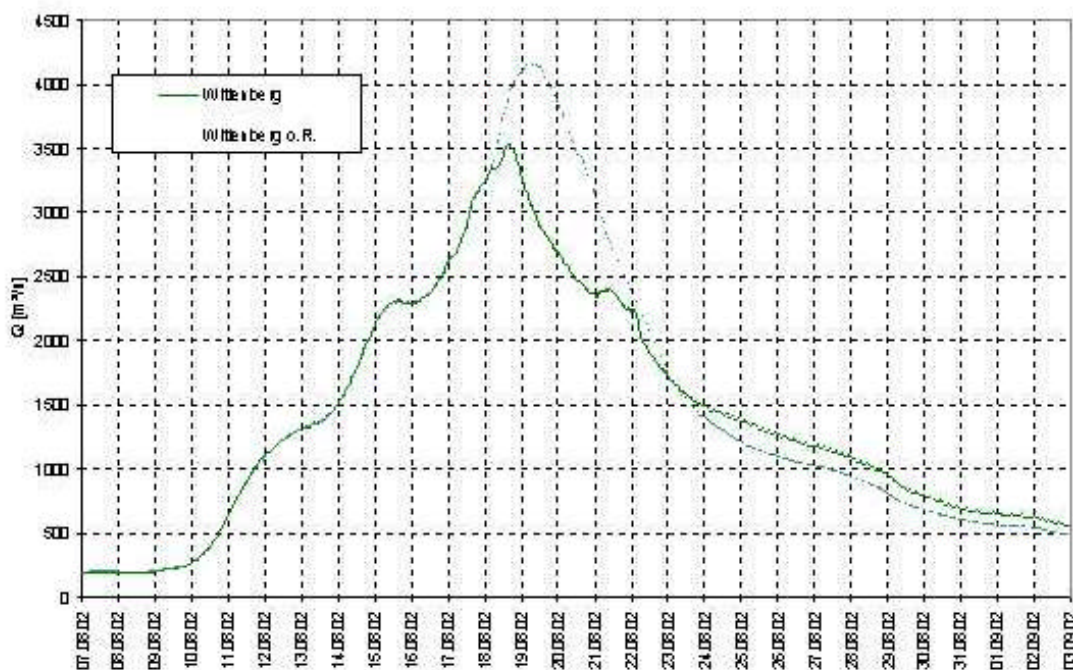


Abb. 3.3 Gemessene und (ohne Deichbruch) rekonstruierte Abflussganglinie Wittenberg während des Hochwassers 2002

umgeschlagen ist. Die überschlägliche Ermittlung der maximalen Füllung ergibt rund 300 Mio. m³. Der Deichbruch Dautschen liegt zwischen den Pegeln Torgau und Wittenberg, muss also an der Ganglinie in Wittenberg sichtbar sein. Die deutliche Abweichung der Ganglinie in Wittenberg von derjenigen in

Torgau beginnt in der Tat am 18.08. morgens. Beide Ganglinien erreichen wieder parallelen Verlauf am 23./24.08. Die Rekonstruktion einer unbeeinflussten Ganglinie in Wittenberg (**Abb. 3.3**) zeigt gegenüber der tatsächlichen Ganglinie ein Mehrvolumen von rund 315 Mio. m³ mit einem max. Deichbruchverlust von 1000 – 1300 m³/s über zwei volle Tage. Der Scheitelwasserstand in Wittenberg ist dadurch um ca. 40 cm, die ablaufenden Wasserstände sind um bis zu 90 cm verringert worden.

Zwei weitere Flächen umfangreicher Größe sind auf dem linken Ufer der Elbe zwischen Strom-km 207 und Coswig in einer Länge von ebenfalls rund 30 km überflutet worden. Die Deichbrüche lagen in dem Ort Pratau bei Elbe-km 214 mit einer dahinter liegenden Fläche von 25,5 km² und bei Elbe-km 233 mit einem Flutungsareal von 73,3 km².

Der oberstromige Bruch liegt ziemlich exakt in Höhe des Pegels Wittenberg, weshalb hier ausgeflossenes Elbewasser noch am Pegel erkennbar sein müsste. Die Durchflussreduktionen weiter unterhalb sollten sich auf den Pegel Aken (Elbe-km 274,8) abgebildet haben. Bis dorthin ist allerdings der Zufluss der Mulde erfolgt, der die Abflussganglinie sehr stark überprägt, so dass eine Rekonstruktion der Abflüsse ohne die Deichbrüche im Moment nicht möglich ist.

Ein Vergleich der Elbe-Wasserstände mit den möglichen Stauhöhen in den beiden „Poldern“ lässt in Verbindung mit den Zeitpunkten der Deichbrüche und dem Verlauf der Flusswelle Stau-Volumina von 30 Mio. m³ bzw. 80 Mio. m³ als möglich erscheinen. Verteilt auf 3 Tage könnten diese Ausleitungen zu Durchflussminderungen der Elbe in Größenordnungen von 50 – 150 m³/s bzw. 250 – 350 m³/s geführt haben.

Die Liste der Deichbrüche bis zum Pegel Aken weist insgesamt noch 5 weitere Flutungsflächen aus, deren Volumen-Beiträge allerdings für eine Abschätzung nicht ins Gewicht fallen.

Als Ergebnis der hier vorgenommenen Abschätzung kann angenommen werden, dass die Elbewellen in

- Wittenberg ca. 18 h später als historisch gegeben mit einem Scheitelabfluss von ca. 4200 m³/s (statt 3500 m³/s)
- Aken, unterhalb der Muldemündung, ca. 12 h später und mit einem Scheitel über 6000 m³/s (statt 4700 m³/s)

eingetreten wären. Dies hätte vermutlich jedoch zu Deichbrüchen andernorts geführt, spätestens Magdeburg wäre erheblich getroffen worden. Insgesamt scheint es realistisch, bis Aken eine durch Deichbrüche in Deutschland bewirkte Verminderung der Elbewelle um mehr als 400 Mio. m³ anzusetzen.

Unterhalb von Aken sind an der Elbe nochmals zwei Gebiete mit zusammen 11,4 km² im unmittelbaren Umfeld von Magdeburg überflutet worden. Ein kleinerer Bereich (mit 1,2 km²) war so

gering überströmt, dass sein Volumen vernachlässigbar ist. Der zweite Bereich liegt fern der Elbe am sogenannten Umflutkanal. Eine Wirkungsbestimmung ist zur Zeit von hier aus noch nicht möglich. Damit ist die für Aken genannte Wirkung überschlägig auf Magdeburg zu übertragen.

Im Kampf um die Elbdeiche weiter stromab hat schließlich eine Abflussmanipulation an der Havelmündung erheblich geholfen. In Absprache mit den Dienststellen der Länder Sachsen-Anhalt und Brandenburg hat die Wasser und Schifffahrtsverwaltung (WSA Brandenburg) zum Teil noch zu Zeiten der DDR eingerichtete Möglichkeiten zur Abflussreduktion genutzt:

- Ab dem Morgen des 18.08. (8.35 Uhr), ca. 60 h vor Erreichen des Elbescheitels wurde der Gesamtabfluss der Havel zurückgehalten, ein Abfluss von im Mittel 140 m³/s. Dies wurde erreicht durch Aufstau in der Havel selbst und hat Auswirkungen bis nach Spandau gehabt. Für die Elbe ergab sich dadurch eine Wasserstandsminderung um rund 10 cm.

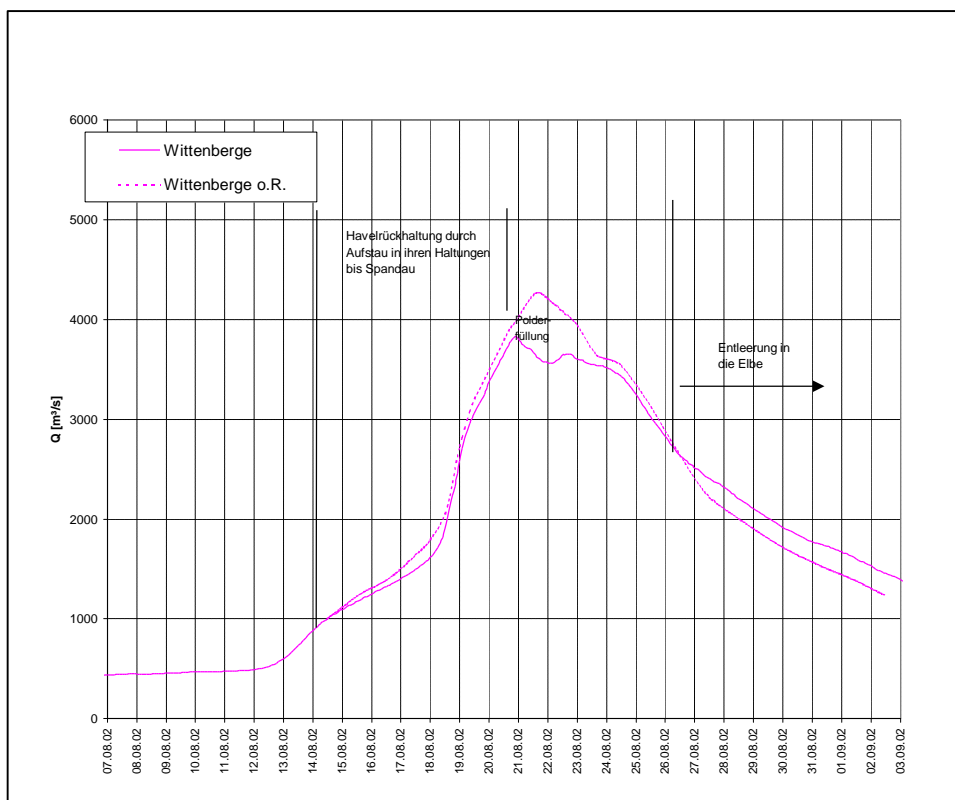


Abb. 3.4 Abflussganglinie Wittenberge während des Hochwassers 2002

- Ab den Abendstunden des 20.08. (20.00 Uhr) wurde die Niederung an der Havelmündung mit Elbewasser geflutet. Dadurch konnten der Stromwelle im Scheitelpunkt bis zu 660 m³/s entnommen werden. Eine Ermäßigung war insgesamt 65 h lang möglich und führte zu einem zurückgehaltenen Volumen von 75,4 Mio. m³. An der Ganglinie in Wittenberge (Abb. 3.4), knapp 30 km unterhalb der Havelmündung gelegen, ist die Ausleitung des Elbewassers

deutlich erkennbar. Der Scheitel der Elbe-Welle ist nur durch die zuletzt beschriebene Manipulation um 40 cm ermäßigt worden und war um mehr als einen Tag früher erreicht als historisch zu erwarten. Dies hat der Deichverteidigung gedient.

Zusammenfassend ist festzuhalten: Allein durch Retentionen an der Elbe selbst, zum Teil gesteuert, zum größten Teil aber aus Deichbrüchen resultierend, sind der Elbe in ihrem Scheitelbereich über mehrere Tage hinweg in der Summe rund 500 Mio. m³ Wasser entzogen worden. Diese Menge ist allerdings später wieder abgelaufen bzw. zurückgegeben (an der Havelmündung bis 240 m³/s), was den Wellenablauf insgesamt verlängert hat.

3.2 Feststofftransport

Seitens der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) werden in Zusammenarbeit mit den Wasser- und Schifffahrtsämtern seit 1993 in unregelmäßiger Abfolge (Hydrologie, Verfügbarkeit des Messschiffes) über die gesamte Lauflänge der deutschen Elbe Geschiebe- und Schwebstoffvielpunktmessungen durchgeführt.

Während die Geschiebemessungen der Abschätzung des unmittelbar an der Sohle transportierten Anteils an der gesamten Feststofffracht dienen, erlauben die Schwebstoffvielpunktmessungen die Quantifizierung des in Abhängigkeit von den hydraulischen Bedingungen zeitweilig in Suspension transportierten Sandes (Fraktionen > 63 µm) sowie des dauerhaft in Schwebelage befindlichen Feinstoffanteils (Fraktionen < 63 µm).

Die Messungen erfolgten bisher an insgesamt 28 Messquerschnitten (**Tab. 3.1**), wobei diese verstärkt in den Schwerpunktsbereichen Erosionsstrecke (km 126 - km 275), Stadtstrecke Magdeburg (km 300 - km 350) und Elbe Reststrecke (km 508 - km 521) durchgeführt wurden.

Messungen bei MHQ bzw. MNQ fehlen bzw. sind nur in geringer Anzahl durchgeführt worden. Daher sind Transportraten für Hochwasserereignisse, die mit Hilfe von nichtlinearen Regressionsbeziehungen extrapoliert werden, mit großen Unsicherheiten behaftet.

Zur Erfassung der suspendiert transportierten Feststoffe werden darüber hinaus in einem durch die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung betriebenen Messnetz an insgesamt 11 Dauermessstellen werktägliche Messungen der Schwebstoffkonzentration durchgeführt (**Tab. 3.2**)

Tab. 3.1: Übersicht zu Messzeiträumen und Anzahl der Geschiebemessungen

Meßstelle	Elbe-km	Bezugspegel/ (Jahresreihen)	Elbe-km	Zeitraum		Anzahl der Messungen				
				von	bis	gesamt	<MNQ	MNQ- MQ	MQ- MHQ	>MHQ
Schöna /Schmilka	2,6/ 4,4	Dresden/ (1931-1996)	55,60	Jul 95	Mrz 00	9	0	4	5	0
Pirna	34,8			Okt 96	Mrz 00	6	0	5	1	0
Dresden	57,8			Mai 94	Jun 00	17	0	11	6	0
Meißen	82,4			Mrz 97	Okt 98	4	0	2	2	0
Zehren	90,4			Sep 96	Apr 00	6	0	3	3	0
Mühlberg	126,6	Torgau/ (1931-1996)	154,20	Nov 94	Okt 00	25	0	12	13	0
Belgern	141,0			Mrz 95	Jun 00	25	0	9	16	0
Torgau	155,0			Apr 93	Jun 00	25	0	14	11	0
Mockritz	167,85			Apr 95	Jun 00	9	0	5	4	0
Dommitzsch	172,6			Jun 98	Jun 00	5	0	5	0	0
Pretzsch	185,0			Jan 95	Okt 00	18	0	11	7	0
Wittenberg/L.	214,8	Wittenberg/ (1931-1996)	214,10	Apr 94	Jun 00	21	0	12	9	0
Aken	275,0	Aken/ (1936-996)	274,70	Apr 94	Okt 00	20	0	12	8	0
Barby	294,0	Barby/ (1900- 1996)	295,50	Mai 94	Apr 99	14	0	7	7	0
Magdeburg	318,1	Magdeburg/ (1931-1996)	326,60	Jul 96	Sep 00	7	0	6	1	0
	321,0			Apr 93	Sep 97	22	0	8	12	2
	324,5			Apr 93	Sep 97	11	0	5	5	1
	332,2			Apr 93	Aug 00	22	0	10	12	0
	338,0			Apr 93	Jul 98	13	0	7	5	1
Niegripp	345,4			Sep 94	Aug 00	14	1	6	7	0
Tangermünde	388,8	Tangermünde/ (1961-1996)	388,20	Jun 94	Aug 00	17	2	11	4	0
Wittenberge	456,6	Wittenberge/ (1900-1996)	453,90	Jun 94	Aug 00	15	1	7	7	0
Schnackenburg	474,4			Aug 96	Jan 99	5	0	3	2	0
Langendorf	500,56	Neu Darchau/ (1926-1996)	536,50	Feb 95	Feb 00	24	0	8	15	1
Wilkenstorf	516,16			Feb 95	Feb 00	20	0	6	13	1
Hitzacker	522,6			Aug 97	Feb 00	4	0	1	3	0
Neu Darchau	536,2			Jun 94	Aug 99	16	0	8	8	0

Tab. 3.2: Messstellen des Schwebstoffdauermessnetzes

WSA	Meßstelle	Elbe-km	Meßbeginn
Dresden	Pirna	34,7	1.11.1991
	Meißen	83,4	1.11.1994
	Torgau	154,0	1.11.1991
	Wittenberg	214,8	1.11.1991
	Aken	274,85	1.11.1991
Magdeburg	Barby	294,8	1.11.1991
	Magdeburg (Stromelbe)	326,6	1.11.1991
	Magdeburg (Alte Elbe)	326,6	1.11.1991
	Tangermünde	389,1	1.11.1991
	Wittenberge	454,6	1.11.1993
Lauenburg	Hitzacker	522,6	1.11.1973

Die Struktur der Gewässersohle ist für den Feststoffhaushalt sowie für die Gerinnehydraulik von großer Bedeutung. Im Ergebnis einer in den Jahren 1993/1994 durchgeführten Sohlbeprobung

entlang der Elbe von Schöna bis Geesthacht wurde das in **Abb. 3.5** dargestellte Kornverteilungsband des Sohlmaterials erstellt (BfG, 1994).

Die Sohlstruktur ist bis in den Mühlberger Bereich hinein stark grobkiesig. Der Elbeabschnitt Mühlberg (km 126,6) – Torgau (km 155,0) – Wittenberg (km 214,8) ist gekennzeichnet durch den Übergang vom stark grobkiesigem zu feinkiesigem und sandigem Material. Unterhalb Wittenberg nimmt der Kiesanteil am Sohlmaterial zugunsten des Sandanteiles ab.

Besonderheiten bilden die Festgesteinsaufragungen bei Torgau und Magdeburg, welche im Magdeburger Bereich eine Diskontinuität in der Kornzusammensetzung der Sohle bewirken.

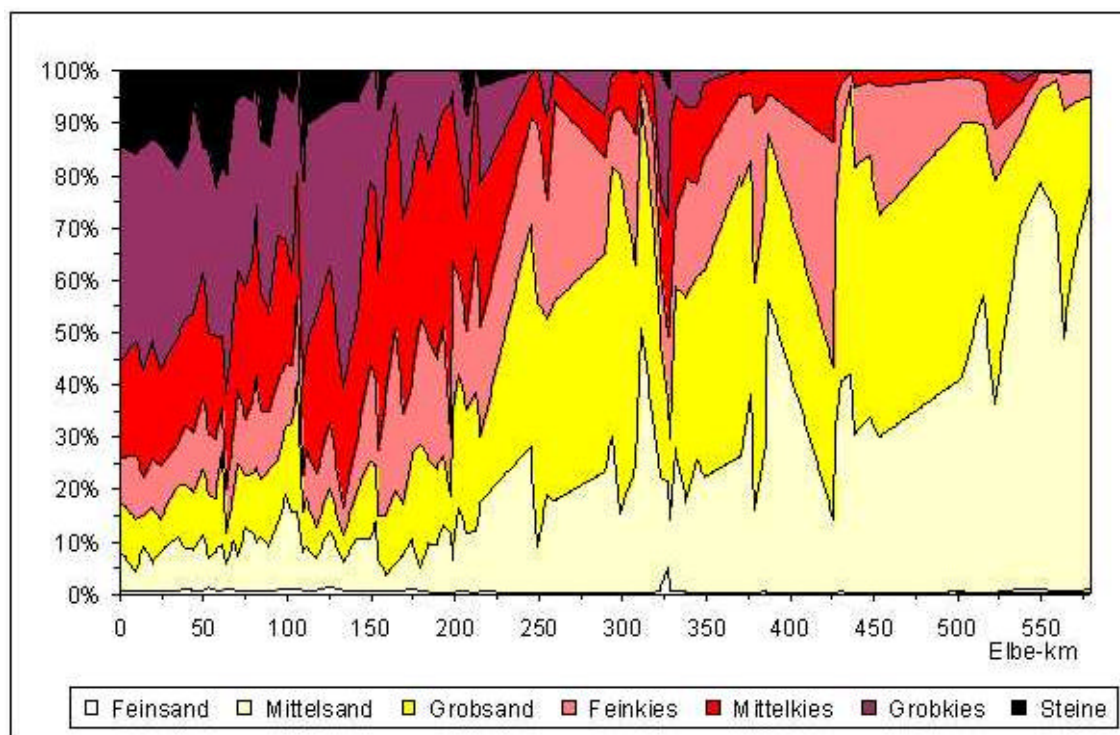


Abb. 3.5: Kornverteilungsband des Sohlmaterials der Elbe (BfG, 1994)

Unter Anwendung eines einfachen Schubspannungsansatzes wurde für den Verlauf des Talweges eine Stabilitätsbetrachtung für MNW, MW und MHW vorgenommen.

Damit wäre die Sohle oberhalb km 100 auch bei Wasserständen weit über MHW als stabil zu betrachten. Geschiebetransport bei Mittelwasser findet erst ab Mündung der Schwarzen Elster statt. Ab dem Magdeburger Bereich befindet sich die Sohle bereits bei Wasserständen kleiner MNW in Bewegung.

Wie der Geschiebetransport während des Hochwassers 2002 abgelaufen ist, wird anhand von Sohlpeilungen zu untersuchen sein. Erste Ergebnisse deuten an, dass zwar stärkere Umlagerungen von Sohlmaterial stattgefunden haben, die Elbsohle aber insgesamt keinen außerordentlich hohen Erosionsraten unterworfen war.

Während des Hochwassers 2002 wurden von der Bundesanstalt für Gewässerkunde an den Messstellen Magdeburg (Strombrücke), Tangermünde und Wittenberge Schwebstoffproben genommen. Die **Abbildungen 3.6 und 3.7** belegen, dass während der Hochwasserwelle keine stark erhöhten Schwebstoffkonzentrationen zu verzeichnen waren. Ähnliche Ergebnisse zeigen Untersuchungen der GKSS für diesen Bereich. **Tab. 3.3** gibt erste überschlägige Berechnungen der jeweiligen Frachten wieder. Danach sind zwischen dem 12. August und dem 01. September 2002 (21 Tage oder 0.057 Jahre) bei angenommener mittlerer Schwebstoffkonzentration von ca. 40 mg/l zwischen 15 % und 33 % der Jahresfracht des abflussarmen Jahres 1998 bzw. des abflussreichen Jahres 1995 transportiert worden. Diese erste Abschätzung liegt an der unteren Grenze.

In der tschechischen und oberen deutschen Elbe waren die Schwebstoffkonzentrationen aufgrund des Eintrages aus Moldau, Weißeritz, Müglitz und Mulde wesentlich höher.

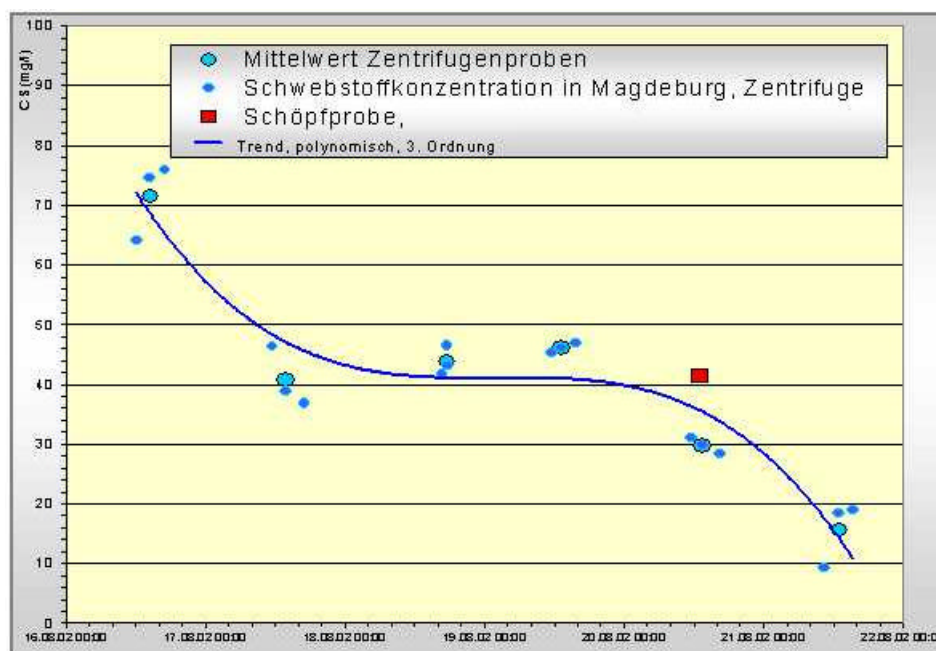


Abb. 3.6: Schwebstoffkonzentrationen in Magdeburg während des Hochwassers 2002

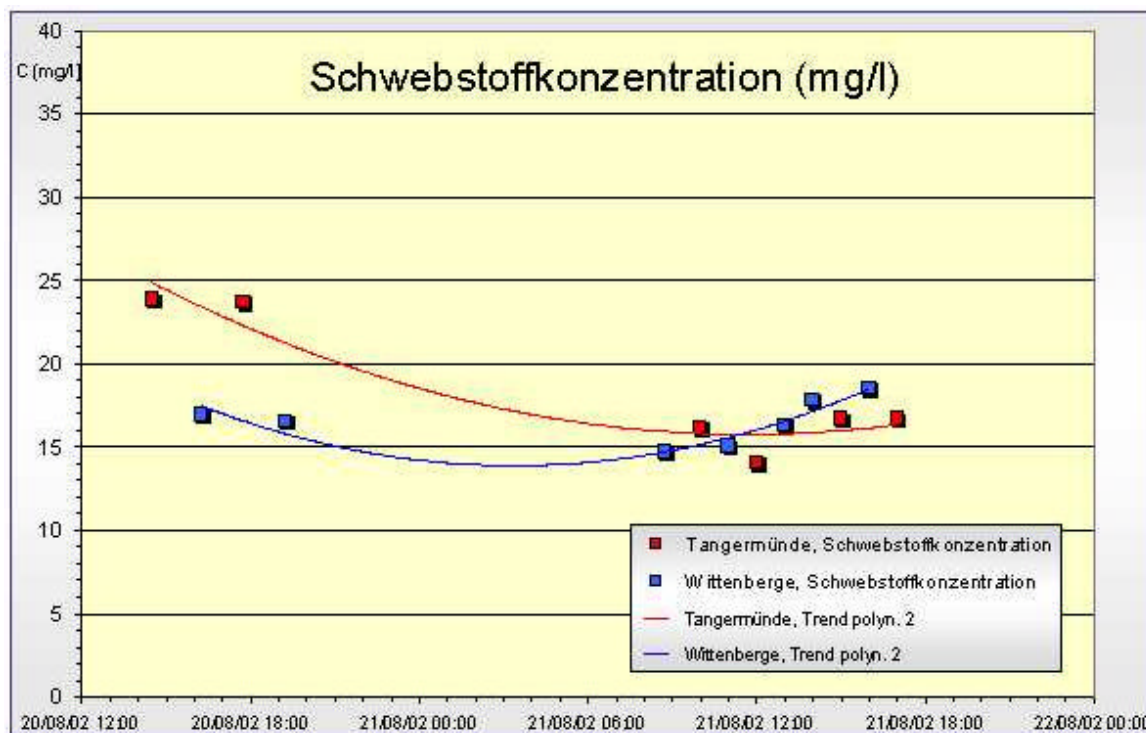


Abb. 3.7: Schwebstoffkonzentrationen in Tangermünde bzw. Wittenberge während des Hochwassers 2002

3.3 Sondermessprogramm zur Schadstoffbelastung der Elbe-Schwebstoffe während des Hochwassers

Einträge aus Altstandorten, Altablagerungen und Deponien kommen bereits unter normalen Abflussverhältnissen als mögliche Verursacher von Gewässerbelastungen in Betracht. Hochwasser des gegenwärtigen Ausmaßes an der Elbe haben ein gewaltiges zusätzliches Mobilisierungspotential. Quellen für weit über das übliche Maß hinaus gehende Stoffeinträge sind Überflutungsflächen, Kanalisationen, Stauhaltungen und ansonsten nur wenig durchströmte Gewässerrandbereiche, wie Bühnenfelder.

Tab. 3.3: Vergleich der Schwebstofffrachten des Hochwassers 2002 mit verschiedenen Jahresfrachten. Die Werte in Klammern beruhen auf einer angenommenen mittleren Konzentration von 40 mg/l

	Magdeburg (km 326.6)			Tangermünde (km 389.1)			Wittenberge (km 454.6)		
	Kalen- derjahr 1995	Kalen- derjahr 1998	12.08.02- 01.09.02	Kalen- derjahr 1995	Kalen- derjahr 1998	12.08.02- 01.09.02	Kalen- derjahr 1995	Kalen- derjahr 1998	12.08.02- 01.09.02
Mittlere Schwebstoff- konzentration [mg/l]	43	39	42	41	41	20	39	38	20
Abflusssumme [10 ⁶ m ³]	22484	12349	3848	22962	12433	3877	27190	14784	4030
Schwebstoff- fracht [t]	1034009	466900	161620	959515	501556	77540	1015807	521040	80600
Anteil der Schwebstoff- fracht des Hochwassers 2002 an der Jahresfracht [%]	16 (15)	35 (33)		8 (16)	15 (30)		8 (16)	15 (30)	

Viele der Stoffe, die aufgrund ihrer Giftigkeit, Persistenz und Bioakkumulierbarkeit als besonders gefährlich gelten, werden an Feststoffe gebunden transportiert. Der größte Mobilisierungseffekt für partikulär gebundene Schadstoffe wird während des ansteigenden Hochwassers bis zum Erreichen des Scheitels beobachtet. Für die Abschätzung der tatsächlichen Auswirkungen auf die Schadstoffbelastung der Elbe ist es folglich wichtig, gerade in dieser Phase Proben zu gewinnen und zu analysieren.

Die Bundesanstalt für Gewässerkunde führte deshalb zwischen dem 16. und 21.08. sowie am 29.08. in Magdeburg bei Elbe-km 325,5 in Zusammenarbeit mit dem Landesuntersuchungsamt für Gesundheits-, Umwelt- und Verbraucherschutz Sachsen-Anhalt, Umweltlabor Magdeburg, ein Sondermessprogramm durch. Mit der Durchflusszentrifuge wurden täglich über 5 Stunden Proben entnommen. Die Proben wurden auf prioritäre Schadstoffe sowie auf Auffälligkeiten im organischen Stoffspektrum untersucht. Die Ergebnisse sind in der **Tab. 3.4** zusammengefasst.

Das Hochwassergeschehen an der Mittelelbe bei Magdeburg war durch die extremen Abflüsse aus der Oberelbe und der Mulde gekennzeichnet. Der Schwebstoffgehalt lag zum Beginn der Messungen bei 70 g/m^3 und damit etwa 3-fach über dem Mittelwert des Jahres 2000. Er war zwischen dem 17. und 19.08. auf ca. 40 g/m^3 gesunken und betrug am 21.08. nur noch etwa 20 g/m^3 .

Die Probennahmestelle Magdeburg repräsentiert unter normalen Abflussbedingungen die Belastungssituation der Mittelelbe unter dem Einfluss der beiden wichtigsten linkselbischen Nebenflüsse Mulde und Saale, die bei Elbe-km 259,6 bzw. 290,7 münden. Die typischsten Indikatoren für die vom tschechischen Teil der Elbe ausgehende Belastung mit Maxima in Dommitzsch (Elbe-km 172,6 links) oberhalb dieser Zuflüsse sind unter normalen Bedingungen das HCB und die PCBs. Auch das p-p'-DDT wird, anders als seine Metabolite nach Messungen der BfG verstärkt aus dem tschechischen Teil der Elbe eingetragen. Die Mulde zeichnet sich in ihrem normalen Stoffspektrum insbesondere durch extreme Werte für Arsen, Blei, Cadmium, die HCHs, die DDT- Metabolite und zinnorganische Verbindungen, darunter TBT, aus. Am auffälligsten im Schadstoffmuster der Saale ist das Quecksilber. Wie die Vergleichswerte in der Tabelle zeigen, spiegeln sich die Besonderheiten aller drei Haupteintragspfade in den mittleren Konzentrationen im Jahr 2000 für Magdeburg (Elbe-km 318,1 links) wider.

Das Schwermetallmuster der Hochwasserproben zeigt im Vergleich zum Normalbild bei Magdeburg eine Reihe Besonderheiten. Die auffälligste besteht in den stark erhöhten Arsen- und Bleikonzentrationen zum Beginn unserer Messungen am 16. und 17.08. Die Konzentrationen nehmen im weiteren Verlauf um ca. 50% ab, sind aber auch am 29.08. noch deutlich erhöht. Als Quelle kommen in erster Linie bergbaubedingte Altlasten im Einzugsgebiet der Mulde in Frage. Andere Schwermetallgehalte sind anfangs leicht erhöht (Cd, Cu, Ni) und sinken dann auf normale Werte ab bzw. unterliegen einer signifikanten Verdünnung, wie Hg und Zn.

Auch für die nicht unbedingt Mulde-typischen, von der Oberelbe oder überwiegend diffus eingetragenen organischen Schadstoffe ist ein erheblicher Verdünnungseffekt zu beobachten. Das betrifft in besonderem Maße die PAKs, PCBs und das HCB, sowie das p-p'-DDT. Das TBT als typischer Mulde-Schadstoff lag in seinen Gehalten durchgängig unter den für Magdeburg charakteristischen Werten. Demgegenüber sind die Werte für α - und das nicht in der Tabelle angeführte β -HCH stark, sowie für γ -HCH, p-p'-DDD und p-p'-DDE moderat erhöht. Auch dafür sind Altlasten im Muldegebiet verantwortlich. Die Dioxin-Belastung stieg im Verlauf der Messserie um mehr als 50% an und erreichte den, auch unter normalen Bedingungen unter Muldeinfluss relativ hohen, Vergleichswert.

Zusätzlich sind die Proben vom 16.-18.08.2002 einem Screening auf organische Schadstoffe unterzogen worden. Dazu wurden die extrahierten und fraktionierten Schwebstoffe massenspektrometrisch untersucht. Es konnten generell keine hochgradigen Belastungen durch

organische Schadstoffe festgestellt werden, der Verdünnungseffekt dominiert. Auch die für das Oder-Hochwasser 1997 typischen, starken Verschmutzungen durch Mineralöle konnten nicht nachgewiesen werden. Im Vergleich zu früheren Untersuchungen an der Messstelle Magdeburg sind lediglich einige Stickstoffheterozyklen auffällig, die Indiz für eine starke Fäkalienbelastung der Proben sind.

Der Abfluss betrug nach vorläufiger Schätzung am 16.08. ca. 2300 m³/s. Gegenüber dem mittleren Abfluss und einer mittleren Schwebstoffführung ergab sich damit für den 16.08. eine etwa 10-fach höhere Feststofffracht als unter mittleren Verhältnissen. In Verbindung z.B. mit der 8fach erhöhten Arsenkonzentration und der grob vereinfachenden Annahme, dass im Querschnitt der Elbe kein Konzentrationsgradient für Arsen auftrat, lässt sich als ungünstigster Fall abschätzen, dass an diesem Tag ca. 20% der sonst üblichen Jahresfracht Magdeburg passiert hat. Eine vergleichbare Aussage ließe sich für das unter den organischen Schadstoffen am stärksten angereicherte α -HCH treffen. Für die Mehrzahl der untersuchten Schadstoffe ist durch das Hochwasser deutlich weniger als eine Jahresfracht transportiert worden.

Das Beispiel der prioritären Schadstoffe As, Pb und HCH im Einzugsgebiet der Mulde zeigt, dass Altlastenflächen bei solchen Hochwasserereignissen von potentiellen zu tatsächlichen Schadstoffquellen werden können und zukünftig so gut wie möglich gegenüber Oberflächenabfluss gesichert bzw. schrittweise saniert werden sollten.

Weitere Untersuchungen nach dem Hochwasser werden zeigen, ob die erhöhten Schadstoffeinträge nachhaltig wirken. Dazu werden im Oktober 2002 an 15 Messstellen der BfG zwischen Schmilka in Sachsen und Geesthacht frisch abgelagerte Sedimente entnommen und untersucht.

Ein zweiter, zeitlich versetzter Teil des Sondermessprogramms befasst sich mit den Folgen des Hochwassers für die Schwebstoff-/Sedimentqualität im Tidebereich der Elbe bis zur Mündung. Hier soll u.a. geklärt werden, in welchem Ausmaß und mit welcher zeitlichen Dynamik die zu erwartende Verdünnung der partikulär gebundenen Schadstoffgehalte im Tidebereich erfolgt.

Tabelle 3.4 Schadstoffbelastung der Elbeschwebstoffe bei Magdeburg

Datum	Arsen mg/kg	Blei mg/kg	Cadmium mg/kg	Chrom mg/kg	Kupfer mg/kg	Nickel mg/kg	Queck- silber mg/kg	Zink mg/kg	PAKs mg/kg
16.08.02	250	470	7,4	110	150	66	1,6	990	3,30
17.08.02	280	540	6,7	112	157	67	2,0	995	3,90
18.08.02	159	335	6,0	114	129	61	2,4	864	3,54
19.08.02	116	224	5,0	116	113	57	2,5	754	2,42
20.08.02	94	179	5,0	118	96	53	2,9	606	2,74
21.08.02	104	230	5,7	123	118	60	2,7	804	3,12
29.08.02	115	171	8,3	108	120	63	1,3	1150	3,25
Vergleichswerte:									
Dommitzsch/Elbe	30	107	4,2	102	86	53	2,0	1014	8,97
Dessau/Mulde	190	275	23	106	147	142	3,2	2108	18,1
Rosenburg/Saale	13	130	5,1	93	120	135	6,0	1248	12,9**
Magdeburg/Elbe	30	122	6,7	112	117	57	4,9	1257	12,4
Datum	PCBs µg/kg	α-HCH µg/kg	γ-HCH µg/kg	p,p'- DDT µg/kg	p,p'- DDD µg/kg	p,p'- DDE µg/kg	HCB µg/kg	PCDD/P CDF ng/kg	TBT µg Sn/kg
16.08.02	22	95	8,1	<5	103	23	62	52,1	12
17.08.02	25	145	10,3	12	89	20	52	69,5	11
18.08.02	26	181	8,4	35	87	19	31	76,7	12
19.08.02	29	119	7,2	42	81	31	37	85,3	9,2
20.08.02	26	128	7,2	57	97	31	37	84,2	8,4
21.08.02	27	148	11,1	40	97	28	40	-	13
29.08.02	40	106	16,7	49	75	29	113	40,8	in Bearbeitung
Vergleichswerte:									
Dommitzsch/Elbe	142	<3	<3	-	101	25	568	-	-
Dessau/Mulde	77,6	57	23	127	151	27	100	-	66**
Rosenburg/Saale	44**	<0,5**	1,7**	14**	7,8**	26**	24**	-	22**
Magdeburg/Elbe	96	12	2,8	141	83	18	211	80*	17**

Vergleichswerte: Mittlerer Gehalt 2000 unter normalen Abflussbedingungen:

Zahlentafeln der IKSE für das Jahr 2000 (Dommitzsch/Elbe; Dessau/Mulde; Rosenberg/Saale und Magdeburg/Elbe), Magdeburg 200
* Bundesanstalt für Gewässerkunde, Sedimentkataster der Bundeswasserstraßen

Mittlerer Gehalt 2000 (TBT in Dessau und Rosenberg: 1999) unter normalen Abflussbedingungen:

** Wassergütedaten der Elbe -Zahlentafeln der ARGE Elbe 1999, 2000-, <http://www.arge-elbe.de/wge>

PAKs Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (Summe 16 nach EPA 610)
PCBs Polychlorierte Biphenyle Summe 7 (28, 52, 101, 118, 138, 153, 180)
PCDD/PCDF Polychlorierte Dibenzodioxine/Dibenzofurane (Summe TE (I-TE) nach EPA 1613 DIN/EN 1948 1-3)
TBT Tributylzinn

4 Statistische Einordnung des Hochwassers 2002

Tabelle 4.1 gibt einen Überblick über die Hauptwerte: Mittlere Wasserstände (MW), mittlere Hochwasserstände (MHW) sowie die bisher höchsten Wasserstände (HHW) und die aktuellen Höchststände (HW2002) für 14 Elbepegel. Leider sind die Beobachtungsreihen sehr unterschiedlich lang, so dass Vergleiche verschiedentlich aus diesem Grunde schwierig sind. Zudem wird an den zuweilen erheblich differierenden Wasserstandsunterschieden bei gleichen Bezugshochwassern an verschiedenen Pegeln die morphologische Instabilität von Querschnitten deutlich. Es wäre natürlich sinnvoller, Abflussscheitel zu vergleichen. Das ist jedoch nur in wenigen Fällen möglich, da entweder die Abflüsse nicht bekannt oder wenig glaubwürdig sind. Die aus Tabelle 4.1 entwickelte **Abb. 4.1** zeigt, dass in den meisten Fällen die HW 2002 die höchsten bekannten Wasserstände sind. Die Folge ist, dass die vorliegenden Abflusstafeln für solche Wasserstände kaum Abflüsse liefern und jedenfalls nicht durch Messungen belegt sind. Im Verlauf des Hochwassers 2002 durchgeführte Durchflussmessungen sind erst zum Teil ausgewertet. Insofern sind auch die Abflussscheitel und die Abflussganglinien des aktuellen Hochwassers noch vorläufig.

Tab. 4.1: Wasserstandswerte an Elbepegeln

Elbepegel	Lage bei Strom- km *	MW 1990/1999 cm a.P.	MHW 1990/1999 cm a.P.	HHW			HW 2002 cm a. P. **
				Datum	cm a.P.	seit	
Usti n. L.	-38,70	200	571		1119	1845	1185
Schöna	2,1	203	530	4/1941	868	1941	1202
Dresden	55,60	182	485	3/1845	877	1845	940
Riesa	108,40	261	557	3/1988	755	1966	945
Torgau	154,60	201	531	3/1940	863	1936	945
Wittenberg	214,10	246	493	11/1980	624	1931	707
Aken	274,80	203	476	3/1845	740	1845	765
Barby	295,50	207	474	3/1845	733	1845	700
Magdeburg	326,60	186	408	2/1941	701	1931	670
Tangermünde	388,20	282	520	3/1981	670	1961	767
Wittenberge	454,80	264	493	1/1920	715	1838	734
Schnackenburg	474,60	274	505	4/1988	692	1961	751
Dömitz	504,70	207	443	3/1888	744	1929	657
Neu Darchau	536,40	267	508	4/1895	724	1892	732

* Nullpunkt ist die tschechisch-deutsche Grenze

** fett gedruckt: Neue bekannte Höchstwerte

Die Geschichte der Hochwasser an der Elbe lässt sich bis ins 6. Jahrhundert zurückverfolgen. Den langperiodischen Klimaschwankungen folgend lösten in den vergangenen Jahrhunderten Perioden mit überwiegend Winterhochwassern Perioden mit überwiegend Sommerhochwassern ab. Für die letzten 200 Jahre lässt sich nachweisen, dass die bedeutenden Hochwasser an der Elbe Frühjahrshochwasser waren. So sind am Pegel Barby (Elbe-km 296,5) von den 22 größten Hochwassern im 20. Jahrhundert 19 zwischen Dezember und April abgelaufen.

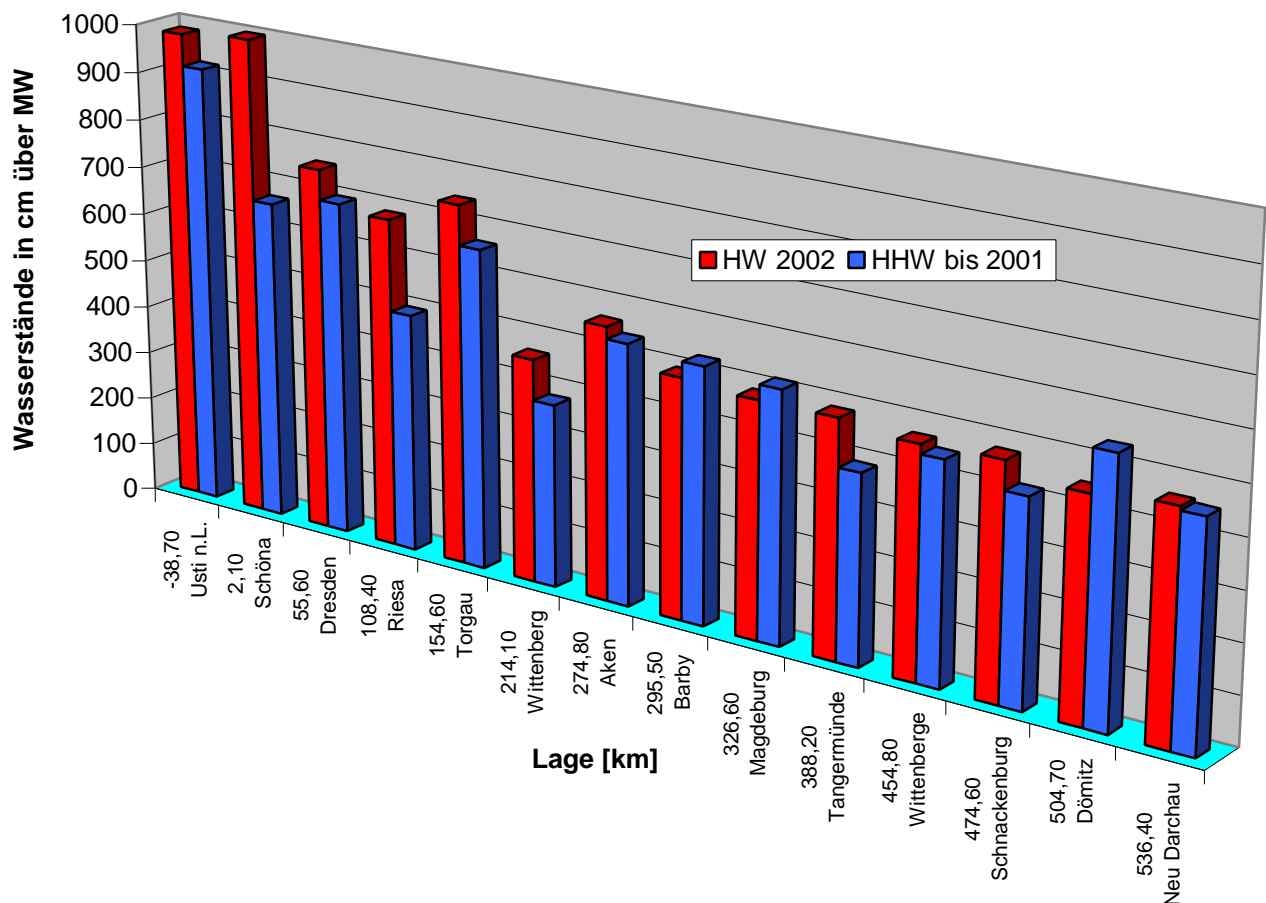


Abb. 4.1: Wasserstände an 14 Elbepegeln im Vergleich

Es ist allerdings darauf hinzuweisen, dass die innerjährliche Verteilung der größten Jahresabflüsse in den letzten 40 Jahren eine drastische Abnahme der Maxima im Winter und eine deutliche Zunahme der Maxima im Sommer ausweist. Eine Ursache dürfte das Ausbleiben starker Schneedecken durch zu warme Winter sein. Änderungen in der Jahresverteilung der Hochwasserabflüsse deuten auch auf klimatische Veränderungen hin.

Der jetzt in Dresden erreichte Wasserstand von 940 cm hat den bisherigen höchsten bekannten Wasserstand am Pegel um 63 cm überstiegen. Dabei ist zu bedenken, dass die Höchstmarke vom

31.03.1845 auch die Folge von Eisversatz ist. Für den Pegel Dresden existiert eine Zusammenstellung historischer Hochwasserstände, deren ältester Wert am 24.08.1275 eingetreten ist (**Abb. 4.3**). Auch in dieser Übersicht sind die Scheitel aus den Jahren 1845 und 2002 die höchsten. Was die jahreszeitliche Zuordnung der Hochwasser betrifft, so sind von den 11 genannten 6 in den Sommermonaten Juli und August und fünf in Wintermonaten aufgetreten.

Die Tatsache, daß der Hochwasserscheitel 2002 mit Abstand der höchste aller in Dresden beobachteten Wasserstände ist, läßt Vermutungen aufkommen, woran dies, neben den enormen Niederschlägen, gelegen haben könnte. Immer wieder wird behauptet, daß Ausbaumaßnahmen der WSV als Verursacher wesentlich sind.

Hier sei festgehalten:

- Deichbau ist und war immer Sache der Landeswasserwirtschaft
- Die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung hat das eigentliche Flussbett der Elbe fixiert auf feste Breiten und Tiefen und durch Einbauten in das Mittel- / Niedrigwasserbett (Buhnen, Längswerke) die Wassertiefen bei geringen Abflüssen erhöht. Zum Teil ist dies durch temporär gewollte Erosion, die auf Reduzierung der ansonsten notwendigen Baggerungen in Sedimentationsstrecken abzielt, z. Teil durch Wasserspiegelanhebung zur Verstetigung des Gefälles und Erzeugung gleichwertiger Fahrrinntiefen für die Schifffahrt geschehen.

- ? Die Niedrigwasserstützungen werden heute hochwasserneutral ausgeführt d.h. bereichsweise Wasserstandsanhörungen gehen bei HW gegen Null.
- ? Soweit Beseitigung von Uferbewuchs oder Sohl- und Uferbefestigungen die Gerinne glatter gemacht haben, ist die Wirkung bei Hochwasser Wasserspiegel senkend.

Ergänzendend sei bemerkt:

Die ersten Buhnen an den Flüssen wurden nicht für die Schifffahrt, sondern für den Ufer-, Deich und Eigentumsschutz gebaut. Diesen Zweck erfüllen heute immer noch viele Buhnen. Insbesondere im Bereich von schar liegenden Deichen sind diese Buhnen zur Gefahrenabwehr für die Deiche bei Hochwasser und Eisbetrieb zwingend erforderlich.

Die Gefahr von Eisbildung ist, wie insbesondere katastrophale Eishochwasser im 19. Jahrhundert gezeigt haben, in der Elbe ganz erheblich. Im niedersächsischen Bereich wird daher ein etwa 600 m breiter Streife für die ungehinderte Eisabfuhr von hohem Bewuchs freigehalten. Die großräumigen Entwaldungen der Vorlandbereiche in der unteren Mittelelbe erfolgten Ende des 19. Jahrhunderts, um die Eisbildung in diesen Gebieten zu vermindern. Des weiteren ist zu beachten, dass der Einsatz von Eisbrechern an der Elbe zur Verhinderung von Eisversatz erforderlich ist. Für die Eisbrecher ist eine ausreichende Fahrrinntiefe (min. 1,80 m) erforderlich.

Aktuelle Untersuchungen der Bundesanstalt für Wasserbau haben ergeben, dass in morphologisch aktiven Bereichen der Elbe der Einbau von Niedrigwasserbuhnen folgende Auswirkungen hat:

- Der Einbau der Buhnen führt zu einer mäßigen, sich stabilisierenden Sohlvertiefung
- Bei Abflüssen unmittelbar über Buhnenhöhe wird der WSP durch den Querschnittsverbau und die erhöhte Rauheit leicht angehoben.
- Bei weiter steigenden Abflüssen wird die WSP-Anhebung stetig geringer und liegt bei Hochwasser im Bereich der Nachweisgrenze.

Zur Verdeutlichung dient der beigefügte Querschnitt der Elbe (**Seite 36**) im Bereich der Havelmündung mit der Einzeichnung des Hochwasserspiegels im August 2002 und dem dabei benetzten Querschnitt zwischen den Deichen, sowie der Lage des Mittelwasserspiegels und der Einzeichnung der Buhnen als Baukörper unterhalb des Mittelwassers (**Abb 4.2**).

Für das abgelaufene Hochwasser wirkten sich die Unterhaltungsarbeiten der WSV positiv aus, da der mittlere Querschnitt weitgehend freigehalten wird (kein großer Bewuchs auf den Buhnen, wenig Totholz, welches durch die Strömung fortgeschwemmt werden könnte). Dadurch kommt es zu keinem weiteren Aufstau und die Gefahr für die Deiche durch angespültes Treibgut wird vermindert.

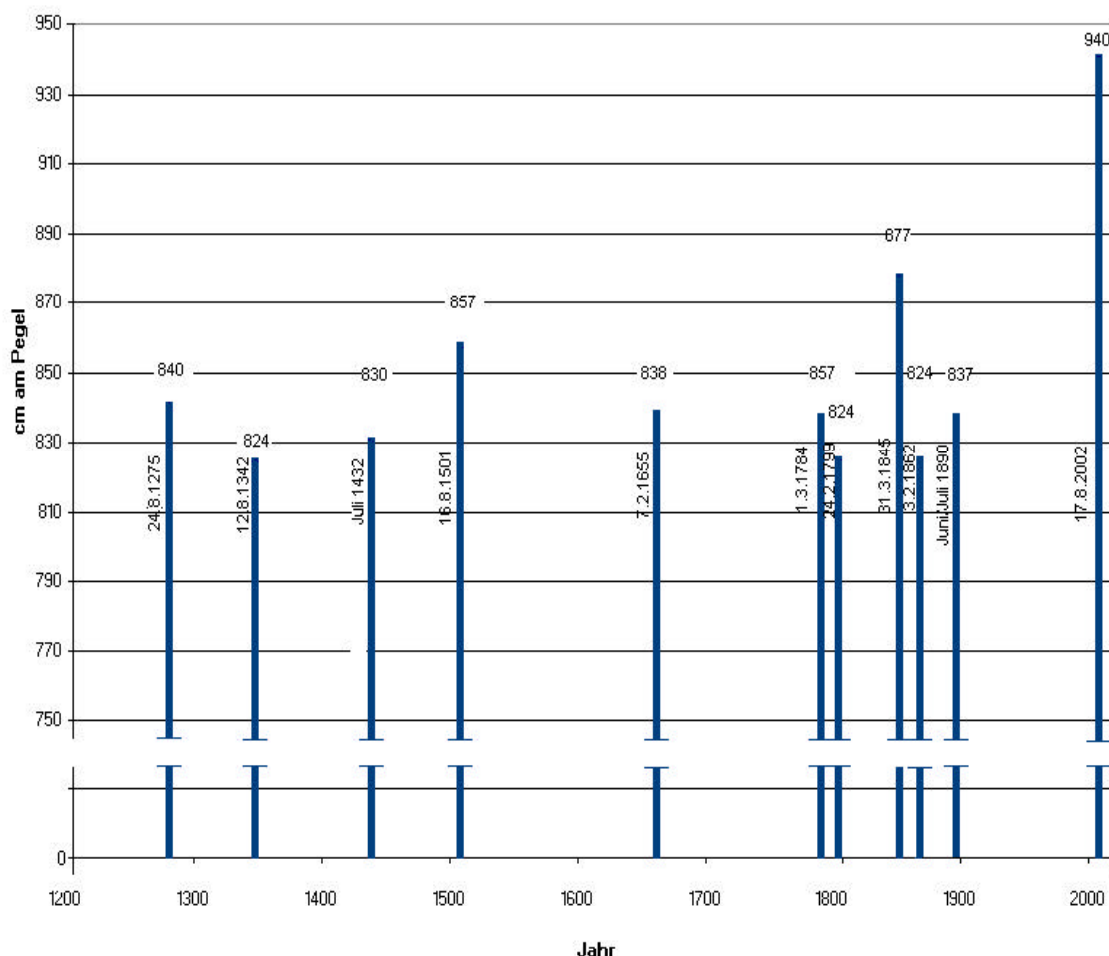


Abb. 4.3 **Bekannte Höchstwasserstände am Pegel Dresden**

Querprofil bei Elbe - km 443,000 (Nähe Havelmündung)



Querschnittsbreite zwischen den Deichen ca. 2200 m

Maßstab ca. 1 : 12200

Überhöhung 1 : 10

Die Internationale Kommission zum Schutze der Elbe (IKSE) hat für einige Elbepegel Abflüsse für Jährlichkeiten von 10 bis 100 Jahren ermittelt. Nach Abschätzung verschiedener Scheitelabflüsse des Jahres 2002 ergeben sich dadurch auch Jährlichkeiten für dieses Hochwasser. In **Tabelle 4.2** sind die entsprechenden Daten zusammengestellt. Man erkennt, was auch die Abb. 3.2 signalisiert, dass die Scheitelabflüsse stromab geringer werden und mit ihnen die Jährlichkeiten. In Usti, Dresden und Aken lagen die Wiederkehrzeiten jenseits von 200 Jahren. Ab Barby sind sie unter 100 Jahre gesunken. Wichtig dabei ist allerdings die Erkenntnis, dass ein Teil dieses Effektes auf die Retentionen infolge Deichbrüche bzw. gesteuerten Poldereinsatzes zu verbuchen ist. Rekonstruiert man für Aken und Wittenberg Abflussganglinien ohne die Retentionseffekte unmittelbar vor Ort, so steigen die Jährlichkeiten um 100 bis 200 Jahre auf Werte zwischen 300 und 400 Jahre. Würde man alle Retentionen längs der Elbe und in der Mulde herausrechnen, so ergäben sich abwärts von Torgau Jährlichkeiten um 500 Jahre. Diese Aussage kann jedoch nur theoretisch von Bedeutung sein, da die zugehörigen Abflüsse natürlich zu Deichüberflutungen flussab hätten führen müssen.

Tab. 4.2 HW-Wahrscheinlichkeiten an ausgewählten Elbepegeln nach IKSE und Einordnung der Scheitelabflüsse 2002 (QS 2002), z. Teil ohne Retention (o.R.)

Pegel	HQ ₁₀	HQ ₂₀	HQ ₅₀	HQ ₁₀₀	QS2002	X in Jahren	o.R.
Usti	2660	3150	3840	4380	5070	> 200	
Dresden	2750	3230	3850	4330	4680	> 200	
Wittenberg	-	-	-	-	3520 4150 o.R.		
Aken	2880	3180	3750	4070	4730 5300 o.R.	~ 300	~ 400
Barby	3310	4020	4550	5070	4590	55	
Wittenberge	2810	3210	3620	3920	3830 4270 o.R.	80	300
Neu Darchau	2960	3390	3930	4350	3630	35	

Die zufälligen (durch Deichbrüche) wie die gesteuerten Rückhaltungen haben sich nahezu optimal ausgewirkt, d.h. sind unmittelbar und mit großem Effekt scheitelwirksam geworden. Hätte man die dabei gefüllten Volumina durch Deichrückverlegungen verfügbar gemacht, so wären sie mit steigender Welle benetzt worden und wesentlich früher als es tatsächlich geschehen ist. Die Füllung hätte bei Ausuferung eingesetzt und wäre in Abhängigkeit von der Steilheit des Wellenanstiegs abgelaufen. Bei Erreichen des Wellenscheitels (da dann Beharrung des Wasserstandes im Fluss eintritt), wäre sie zum Stillstand gekommen.

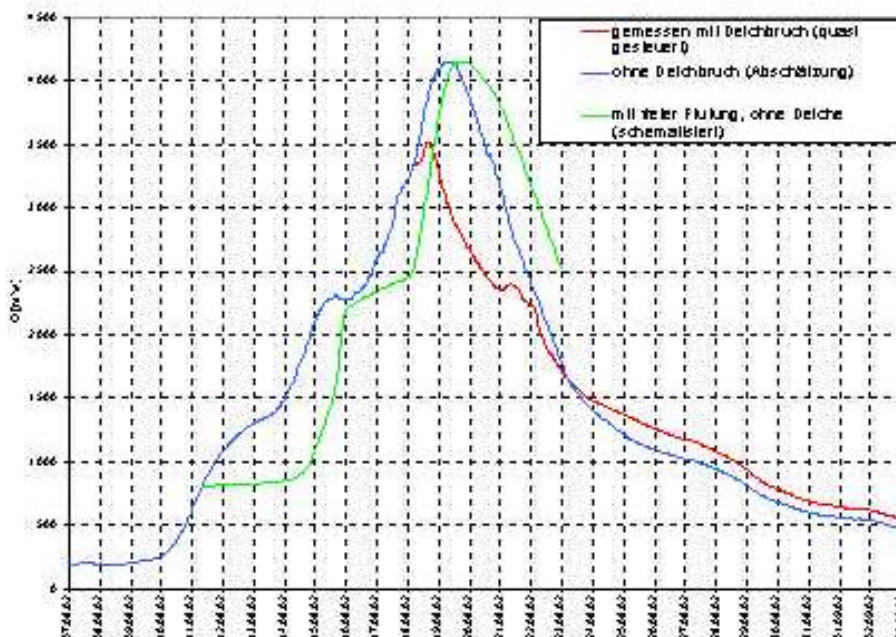


Abb. 4.4: Wirkung der freien gegenüber einer quasi gesteuerten Überflutung von Vorlandbereichen am Beispiel des Pegels Wittenberg

In **Abb. 4.4** ist die prinzipielle Wirkung am Beispiel der Ganglinie in Wittenberg dargestellt. Bei Ausuferung, also hier etwa zwischen 800 und 1000 m³/s Abfluss in der Elbe würde die Rückhaltewirkung beginnen. Je nach Anstieg der Elbewelle würde sich mehr oder weniger Wasser in die Überflutungsgebiete ergießen und den Wellenanstieg um 24 h und mehr verzögern. Bei Erreichen eines Abflussstillstandes (hier am 15./16.08. gegeben) würde auch die Polderfüllung einhalten. Das gleiche geschieht bei Erreichen des Scheitels, der allenfalls im cm-Bereich ermäßigt würde, sich im Prinzip aber zeitverschoben in voller Höhe entwickeln würde. Das dargestellte Szenario setzt voraus, dass die Polderflächen nur der Retention dienen und nicht abflusswirksam werden. Da bei Deichrückverlegungen Bestockung mit Auwald gefordert wird, ist diese Voraussetzung realistisch.

Die vorstehenden Überlegungen zeigen, dass als Folge von Deichrückverlegungen nicht automatisch Verminderungen von Hochwasserscheiteln angenommen werden können.

Bei der Suche nach Begründungen für besondere Hochwasser und deren Auswirkungen, im Umkehrschluss auch bei der Nennung von Abhilfemaßnahmen, wird neben dem Ziel „Mehr Raum für den Fluss“ auch immer wieder die Entsiegelung der Landschaft als Heilmittel gefordert. Die Niederschlagssumme (01. - 13.08.2002) über dem Einzugsgebiet der Elbe bis Dresden betrug ca. 5 Mrd. m³. Dieser Wassermasse steht die im engeren Hochwasserabschnitt (09.08. bis 13.08.) in der Welle in Dresden (**Abb. 4.5**) ermittelte Durchflussfülle von 2,52 Mrd. m³ gegenüber. Sie bedeutet, dass mehr als 50 % des im Bezugszeitraum gefallenen Niederschlags mehr oder weniger

oberflächlich abgefließen sind. Dies kann auch als 50 % Versiegelung des Einzugsgebietes gedeutet werden, worin die maximal annehmbaren 15 % anthropogener Versiegelungen allenfalls zu Hochwasserbeginn Bedeutung gehabt haben könnten.

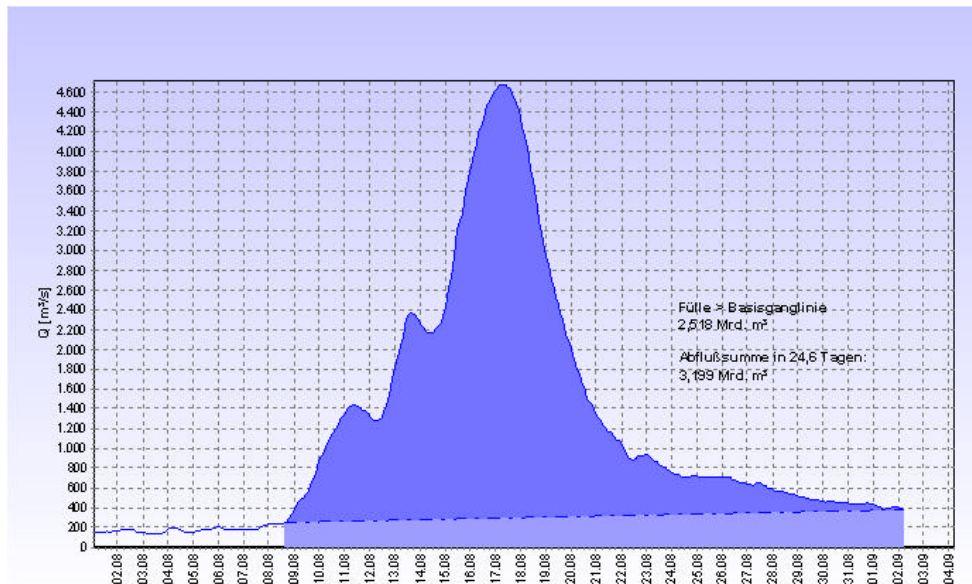


Abb. 4.5 Abflussganglinie Dresden – Hochwasser August 2002

Für eine Einordnung des Elbehochwassers unter die großen Ereignisse, die in den letzten Jahren in Deutschland stattgefunden haben, werden in den **Abbildungen 4.51 bis 4.52** direkte Ganglinienvergleiche durchgeführt. Ausgewählt wurden zunächst die Pegel Köln (Rhein), Neu Darchau (Elbe) und Hohensaaten-Finow (Oder). Sie haben Einzugsgebiete vergleichbarer Größe (144.000, 132.000 und 110.000 km²). Verglichen sind jeweils Wasserstands- und Abflussganglinien der Extremereignisse Jan./Febr. 1995 am Rhein, Juli/Aug. 1997 an der Oder und August 2002 an der Elbe. Die Wasserstandsganglinien (Abb. 4.51) zeigen für Oder und Elbe vergleichbare Schwankungen (zwischen Beginn und Scheitel ca. 5 m) während die Rheinganglinie um 7 m ansteigt. Die Überschreitung der Wasserstände des Mittleren Hochwassers dauert am Rhein 11 Tage und an der Elbe vergleichbare 12 Tage, dagegen 28 Tage (also mehr als doppelt so lange) an der Oder. Der Vergleich der drei gewählten Pegel ergibt für den Elbepegel Neu Darchau die geringste Betroffenheit.

Der Abflussganglinienvergleich (Abb. 4.52) verschiebt die Gewichte insoweit, als die Scheitelabflüsse in Neu Darchau ca. 30 % über denen in Hohensaaten gelegen haben. Der Scheitelabfluss in Köln übersteigt jeweils den von Oder und Elbe um das 2 bis 3-fache. Dieser Vergleich berücksichtigt nicht die unterschiedlichen Profil- und Gerinneverhältnisse der genannten Flüsse, es wird jedoch deutlich, dass im Blick auf Scheitelreduzierungen an der Elbe erheblich mehr Erfolg zu erwarten ist als an der

Oder oder gar am Rhein. Die zurückzuhaltende Fülle ist mit Abstand die geringste und zudem steht an der Elbe in Deutschland vergleichsweise umfangreiches Überflutungspotential zur Verfügung.

In **Abb. 4.53** werden Abflussganglinien der Pegel Dresden/Elbe und Maxau/Rhein gegenübergestellt. Mit 53.000 bzw. 50.000 km² sind ihre Einzugsgebiete nahezu gleich groß. Mit dem Elbe-HW 2002 wird das Rheinhochwasser vom Mai 1999 verglichen. Der Abflussscheitel der Elbe liegt mit 4680 m³/s um 140 m³/s über dem Scheitel im Rhein (4540 m³/s). Ansonsten jedoch ist die Welle erheblich schlanker als die Rheinwelle, steigt allerdings im oberen Ast mit gleichem Gradienten zum Scheitel auf. Fundamental anders ist die Wellenbasis. In Dresden liegt sie bei rund 250 m³/s und die Welle hatte Ende August diesen Wert nahezu wieder erreicht (400 m³/s). Demgegenüber lag die Basis für das Hochwasser am Rhein auf ca. 1800 m³/s, wobei die Welle 3 Wochen nach dem Scheiteldurchgang sich immer noch im Bereich von 3000 m³/s (bei MHQ) bewegte. Dies bedeutet, dass die Rheinwelle ca. 500 m³/s über Mittlerem Abfluss (MQ) ihren Anfang genommen hat, die Elbewelle dagegen knapp 100 m³/s unter MQ. MHQ liegt in Dresden nur halb so hoch wie in Maxau. Der Scheitelwert in Dresden liegt über HQ₂₀₀, in Maxau liegt er bei etwa HQ₅₀. Daraus ergibt sich die größere Dramatik für die Elbe bei gleichen Scheitelwerten an Elbe und Rhein, aber erheblich größerer Fülle am Rhein.

Auf die Frage: „Was wäre geschehen, wenn das Elbeereignis das Rheingebiet getroffen hätte?“, lautet die Antwort: „Der Rhein hätte bei vergleichbarem Einzugsgebiet (hier Maxau) das Ereignis locker verkraftet.“

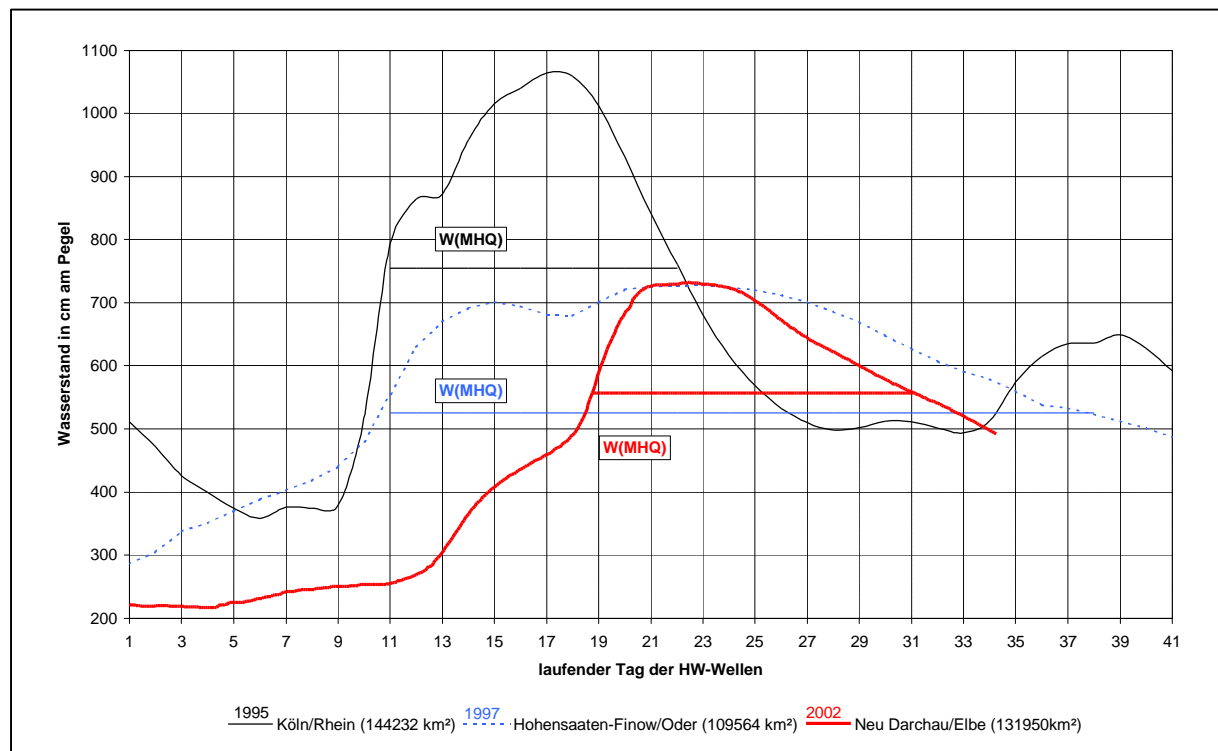


Abb. 4.51: Wasserstandsganglinien verschiedener Flußhochwasser im Vergleich

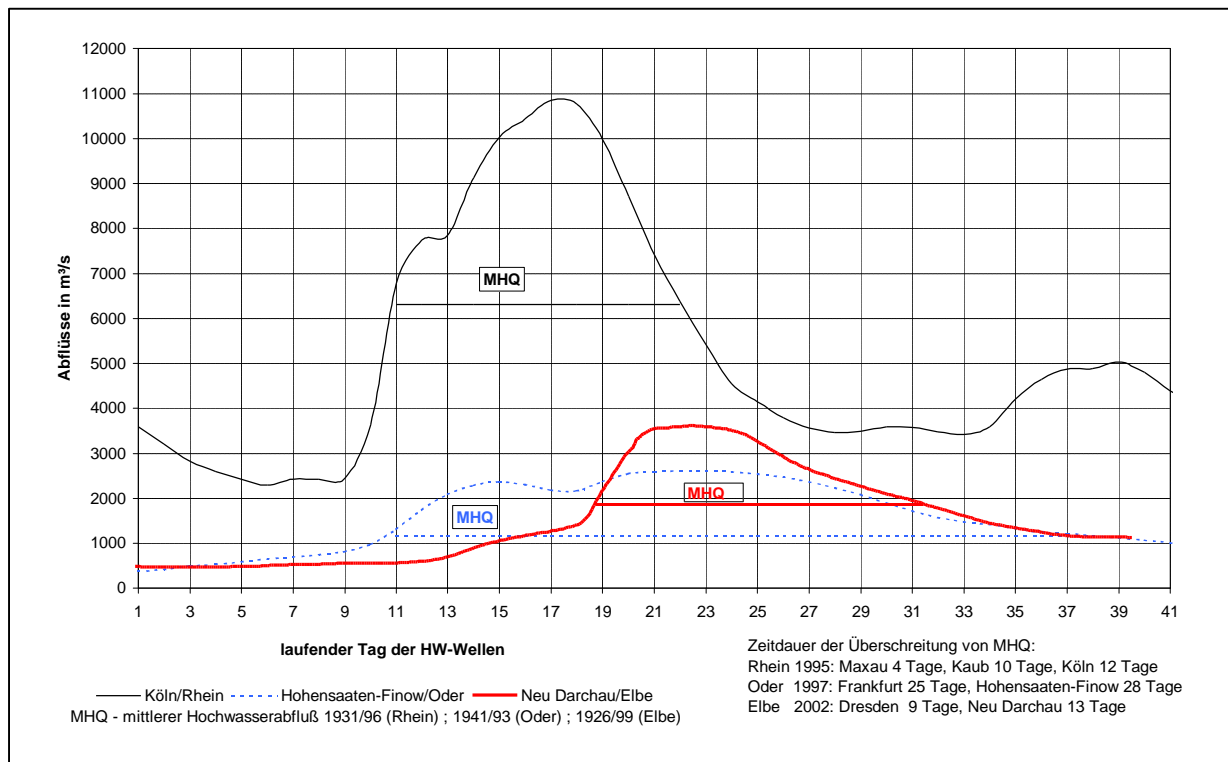


Abb. 4.52: Abflussganglinien verschiedener Flußhochwasser im Vergleich

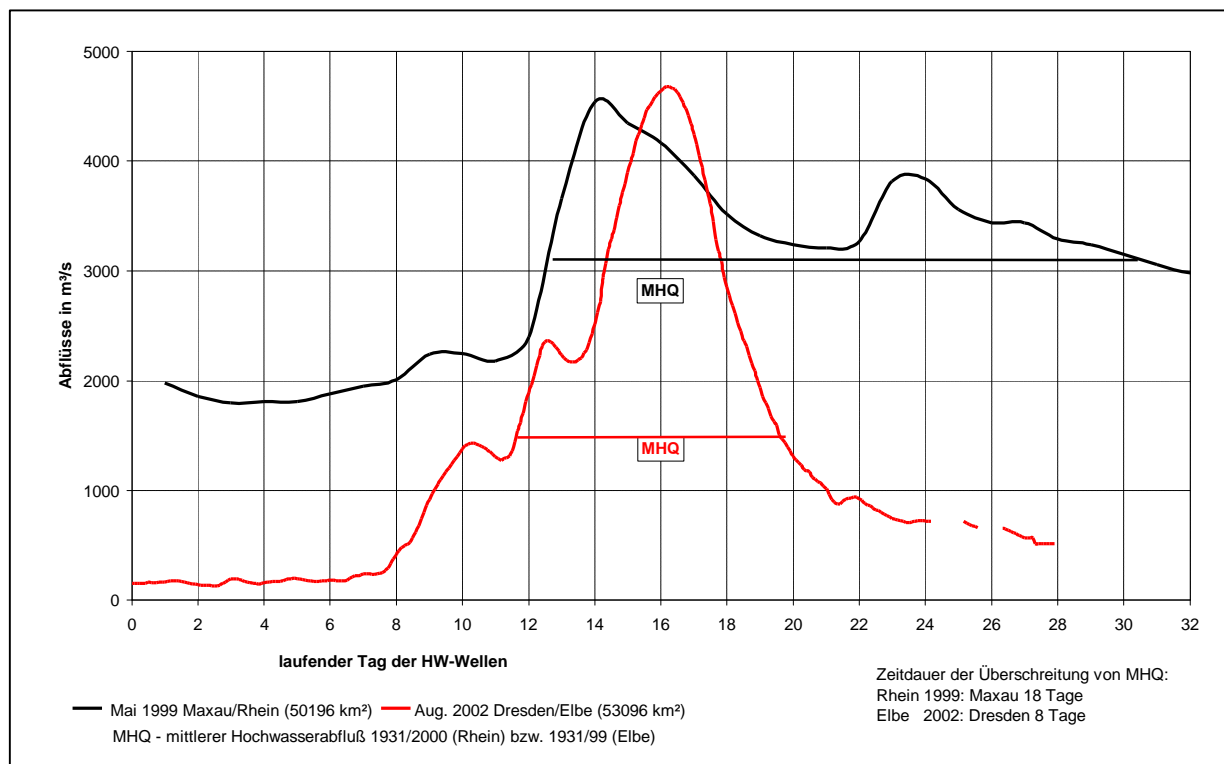


Abb. 4.53 HW-Ganglinien Dresden / Elbe und Maxau / Rhein im Vergleich (Abflüsse)

5 Hochwasservorhersagen

Im tschechischen Elbegebiet werden Hochwasservorhersagen von den Vorhersagezentren des Tschechischen Hydrometeorologischen Instituts (CHMÚ) herausgegeben. Diese sind die nationale Vorhersagezentrale in Prag-Komorany und die regionalen Vorhersagezentralen in Hradec Králové, České Budějovice, Plzen und Ústí nad Labem. Es werden täglich für 14 Pegel an der Eger, Moldau und Elbe Hochwasservorhersagen mit einem Vorhersagezeitraum von 3 – 24 Stunden berechnet und für ausgewählte Pegel im Internet veröffentlicht. Das Vorhersagesystem besteht aus Niederschlag-Abfluss-Modellen, Modellen zum Aufbau und zum Abtauen der Schneedecke sowie aus Wellenablaufmodellen.

Die Vorhersagen an den Pegeln Louny/Eger, Prag/Moldau sowie den Elbepegeln Brandýs und Ústí nad Labem werden der Landeshochwasserzentrale im Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie in Dresden täglich zur weiteren Verwendung zur Verfügung gestellt.

Für Hochwasservorhersagen im deutschen Elbegebiet sind 10 Vorhersagezentralen zuständig. Es handelt sich hierbei um 9 Landesinstitutionen und 1 Bundesbehörde, die in der nachfolgenden **Tabelle 5.1** mit ihren Zuständigkeitsbereichen, den verwendeten Vorhersagemodellen und den erreichbaren Vorhersagezeiträumen aufgeführt sind.

Im Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie werden unter Verwendung der Vorhersage für Ústí nad Labem und auf Grundlage der Berechnung des Wellenablaufes in der oberen Elbe unterhalb der Moldaumündung Hochwasservorhersagen für die Elbepegel Schöna, Dresden und Torgau erstellt und als Hochwassermeldung veröffentlicht.

Das verwendete Vorhersagemodell ist das ELBA-Vorhersagesystem der BfG. Bei der Modellanwendung müssen Abflüsse aus Zwischengebieten im sächsischen Elbeabschnitt anhand der Zuflüsse aus Lachsbach, Gottleuba, Wesenitz, Müglitz, Triebisch und Döllnitz bilanzmäßig abgeschätzt werden.

Die Vorhersagen werden täglich berechnet und mit der Hochwasservorhersagezentrale Elbe (gemeinsam geführt vom Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft (LHW) Sachsen-Anhalt sowie der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Ost) im Wasser- und Schifffahrtsamt Magdeburg abgestimmt.

Tab. 5.1.: Vorhersagezentralen im deutschen Elbegebiet bis zum Wehr Geesthacht

Lfd. Nr.	Fluss (Vorhersagegebiet)	Vorhersagezentrale	Modelltyp	Vorhersagezeitraum
1	Obere Elbe (Praha/Brandýs n. L./ Louny bis Torgau)	Landesamt für Umwelt und Geologie Dresden	Wellenablaufmodell ELBA	1-2 Tage plus 1 Tag Tendenz
2	Elbe (Ústí n. L. bis Boizenburg)	Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft (LHW) Sachsen-Anhalt sowie Wasser- und Schifffahrtsdirektion Ost im Wasser- und Schifffahrtsamt Magdeburg	Wellenablaufmodell ELBA	1-5 Tage plus 1-3 Tage Tendenz
3	Mulde	Staatliches Umweltfachamt (StUFA) Chemnitz	Wellenablaufmodell ELBA	6 - 48 Std.
4	Saale	Landesamt für Umweltschutz Halle	N-A-Modell, Wellenablaufmodell, Speichermodell zur Simulation des Talsperrenbetriebs	2 Tage plus 3 Tage Tendenz
5	Obere Weiße Elster, Obere Pleiße	StUFA Chemnitz	s. Nr. 4	6 - 24 Std.
6	Untere Weiße Elster	StUFA Leipzig	s. Nr. 4, außer Talsperreninhalte	6 - 48 Std.
7	Weiße Elster, Saale	Staatliches Umweltamt Gera	s. Nr. 4	6 - 48 Std.
8	Unstrut, Ilm	Staatliches Umweltamt Erfurt	s. Nr. 4	6 - 48 Std.
9	Bode, Ilse	LHW Sachsen-Anhalt Magdeburg	s. Nr. 4	2 Tage plus 3 Tage Tendenz
10	Spree (bis Spremberg)	StUFA Bautzen	s. Nr. 4	6 - 24 Std.

In der Hochwasservorhersagezentrale Elbe in Magdeburg werden täglich an weiteren 11 Elbepegeln von Wittenberg bis Boitzenburg sowie an 3 Saalepegeln und einem Havelpegel Hochwasservorhersagen mit dem BfG-Vorhersagesystem ELBA berechnet. Die Lage der Vorhersagepegel und die erzielbaren Vorhersagezeiträume sind **Abb. 5.1** zu entnehmen.

Zur mathematischen Modellierung des Durchflussprozesses wird in ELBA der durch Pegel begrenzte Flussabschnitt in Abflussteilbereichen als lineares zeitinvariantes System betrachtet. Die Abflussteilbereiche sind die Profilfläche im Gewässerbett, der Ausuferungsbereich und, falls vorhanden, der Eindeichungsbereich.

Die Parallelschaltung dieser linearen zeitinvarianten Systeme mit unterschiedlichem Systemverhalten führt zur nichtlinearen Beschreibung des Durchflusses.

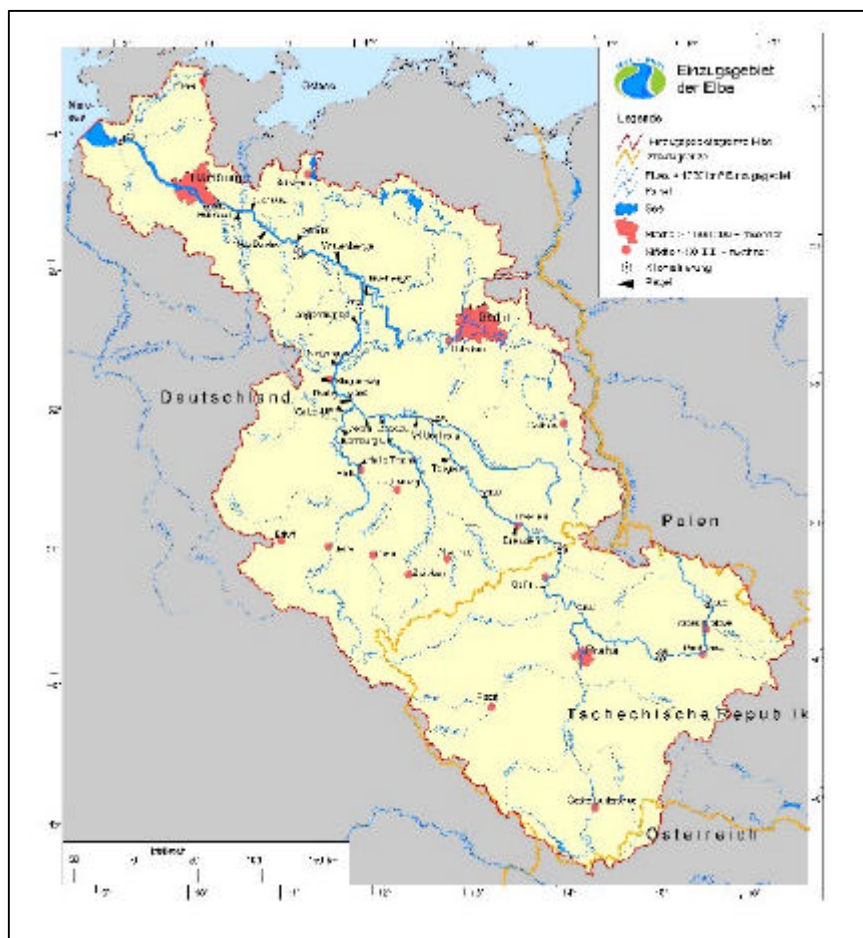
Wichtige Zuarbeiten in Form von Messwerten und gegebenenfalls Vorhersagen an Nebenflüssen (**Tab. 5.1**) liefern das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie, das Staatliche Umweltfachamt Chemnitz, das Landesamt für Umweltschutz Halle, das Staatliche Umweltamt Gera, das Landesumweltamt Brandenburg in Potsdam und LHW Sachsen-Anhalt in Magdeburg.

Die von der Hochwasservorhersagezentrale Elbe erstellten Vorhersagen werden zusammen mit den für Ústi nad Labem sowie Dresden und Torgau übernommenen Vorhersagen an ca. 80 Vorhersageempfänger weitergeleitet und im Videotext bei ARD / ZDF (ohne Ústi nad Labem) veröffentlicht.

Trotz der zahlreichen durch Sturzfluten zerstörten Pegel an Nebengewässern (Seidewitz, Müglitz, Rote Weißeritz, Wilde Weißeritz, Vereinigte Weißeritz, Vereinigte Mulde, Freiburger Mulde, Bobritzsch, Striegis) konnten die Vorhersagen termingerecht erstellt werden und dienten den Krisenstäben als sehr hilfreiche Planungsgrundlage.

Beispielhaft sind in **Abb. 5.2** Wasserstandsvorhersagen für die Elbepegel Dresden, Dessau, Tangermünde und Wittenberge dargestellt.

Bei der Vorhersage für Wittenberge ist anzumerken, dass auf der Grundlage der Scheitelvorhersage der optimale Zeitpunkt für die Kappung des Hochwasserscheitels in der Elbe durch gezieltes Steuern der Havelwehre festgelegt wurde. Die zeitlich vor diesen Maßnahmen erstellten Vorhersagen müssen daher stark von dem beeinflussten weiteren Wellenverlauf in der Elbe abweichen.



Hochwasservorhersagezentrale Elbe		Vorhersage und Tendenz in Tagen							
[Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt sowie Wasser- und Schifffahrtsdirektion Ost im Wasser- und Schifffahrtsamt Magdeburg]									
Gewässer	Vorhersagepegel	1	2	3	4	5	6	7	8
Elbe	Usti nad Labem (von CHMU Prag)								
Elbe	Dresden								
Elbe	Torgau								
Elbe	Wittenberg								
Elbe	Dessau								
Elbe	Aken								
Saale	Halle-Trotha UP								
Saale	Bernburg UP								
Saale	Calbe UP								
Elbe	Barby								
Elbe	Magdeburg Strombrücke								
Elbe	Niegripp								
Elbe	Tangermünde								
Havel	Havelberg-Stadt								
Elbe	Wittenberge								
Elbe	Dömitz								
Elbe	Neu Darchau								
Elbe	Boitzenburg								

Abb. 5.1: Lage der Vorhersagepegel und Vorhersagezeitraum der Wasserstandsvorhersagen

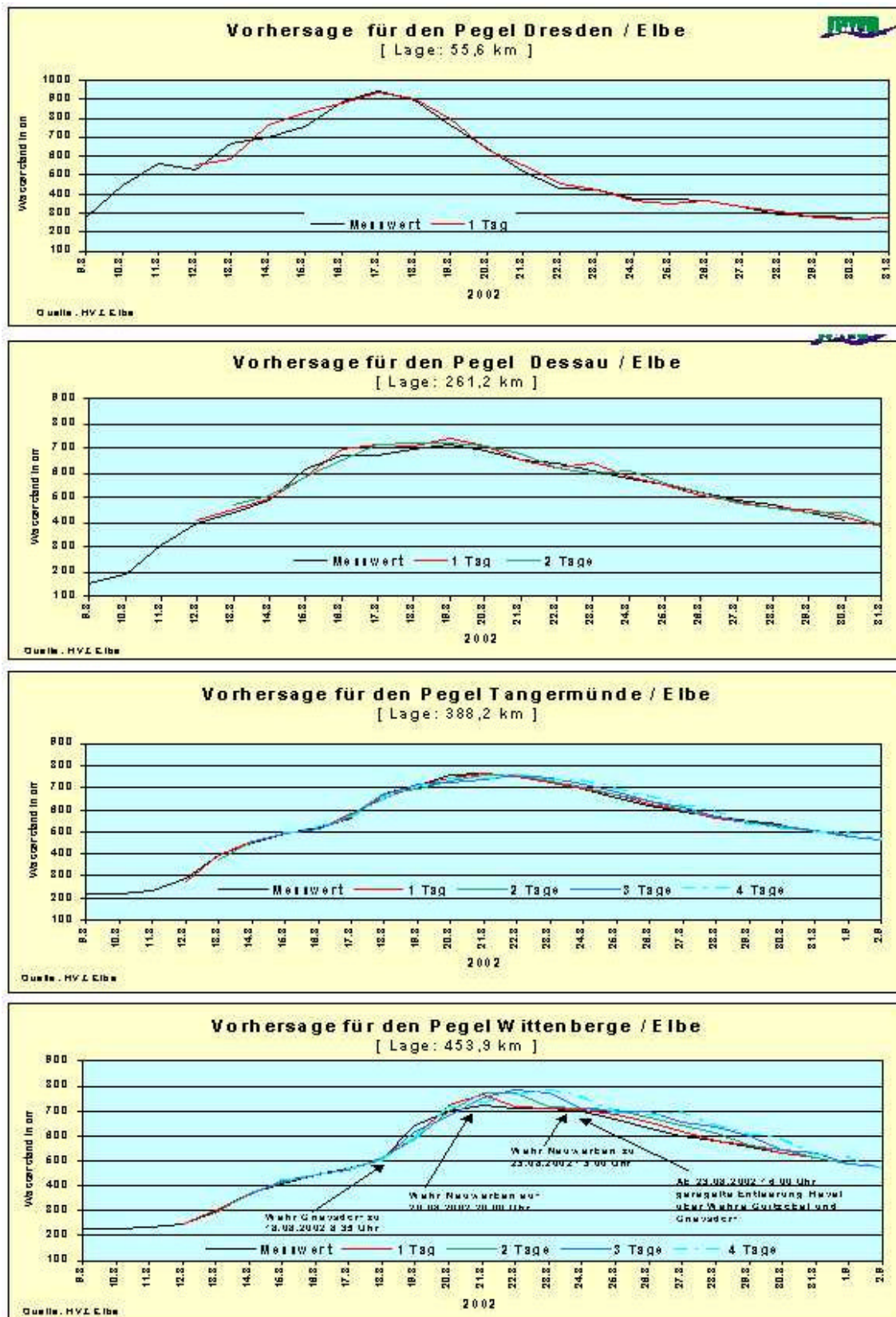


Abb. 5.2: Ausgewählte Wasserstandsvorhersagen der Hochwasservorhersagezentrale Elbe

6 Auswirkungen des Hochwassers, Konsequenzen für die Zukunft

Wie schon in der Einführung angedeutet, werden die Schäden aus dem Elbehochwasser allein für Deutschland auf eine Größenordnung von 25 Mrd. € geschätzt. Eine solche Schaden-Summe ist in Deutschland bisher nur als Folge von Kriegshandlungen zu verzeichnen gewesen. Die immer wieder gezeigten Schadensszenarien sind oft auch von Zerstörungen unter Bombenhagel kaum zu unterscheiden. Bei genauerem Hinsehen ist allerdings festzustellen, dass Unterschiede bestehen zwischen Schäden aus dem unmittelbaren Einfluss der Elbe und solchen, die in den Einzugsgebieten (oft an sehr kleinen Nebengewässern) eingetreten sind.

Die Schäden an der Elbe sind in der Regel Überschwemmungsschäden, d.h. sie sind vorherseh- und vorhersagbar. Sie treten nicht plötzlich auf und Überschwemmungen führen selten zu Gebäudeeinstürzen, jedenfalls nicht unmittelbar.

Die Schäden in den Einzugsgebieten waren in vielen Fällen die Folge intensiver Gewitterregen, die zu Sturz- oder Blitzfluten geführt haben mit verwüstend zerstörerischen Wirkungen. Solche Hochwasser entwickeln sich unter einzugsgebietsdeckenden Gewitterzellen in wenigen Stunden und treten in kleinen Gewässern schlagartig auf. Sie benötigen oft ein Vielfaches der natürlichen Breite der Gewässer und können Brücken und Wohngebäude in kürzester Zeit zerstören. Mitgenommene Materialien werden vor Hindernissen aufgetürmt, wodurch „Staudämme“ entstehen, die bei anschließendem Bruch umso verheerender nach unterstrom vorstoßen.

Blitzfluten in den Nebeneinzugsgebieten von z. B. Weißeritz, Müglitz und Mulde haben die eigentlich spektakulären Schadensfälle fern der Elbe verursacht, im Falle des Dresdener Hauptbahnhofs auch mitten in der sächsischen Hauptstadt.

Welche Schadenssummen letztlich entstanden sind und in welcher räumlichen Verteilung, wird sich erst in Wochen oder Monaten genau quantifizieren und beschreiben lassen. Unabhängig davon ist klar:

Voraussetzung für das Auftreten von **Hochwasserkatastrophen** ist ein **Zusammenspiel**

- **extremer Naturereignisse** und
- **anthropogener Betroffenheit**

Da extreme Ereignisse aufgrund der natürlichen Variabilität des Klimas nicht zu verhindern sind, ist bei der anthropogenen Betroffenheit anzusetzen.

Nach den großen Hochwassern der 90er Jahre sind z.B. durch die Internationalen Kommissionen zum Schutze von Rhein, Saar/Mosel, Oder und Elbe (IKSR, IKSMS, IKSO, IKSE) unter anderem Hochwasseraktionspläne erarbeitet worden, in denen sich die zuständigen deutschen Bundesländer und am Einzugsgebiet beteiligte Staaten zur Erfüllung bestimmter Handlungsziele verpflichtet haben.

Zwei der Handlungsziele beziehen die Betroffenen, die Gewässeranlieger, als Hauptakteure mit ein. Allerdings bedingen

- Minderung der Schadenrisiken und
- Verstärkung des Hochwasserbewusstseins,

dass die potenzielle Gefährdung vor Ort bekannt ist. Dies zu realisieren bedeutet zunächst, möglichst **für alle Gewässer flächendeckende Überflutungs- und Gefahrenkarten** zu erstellen, die die **Hochwasserrisiken klar erkennbar machen**. Danach ist in einem weiteren Schritt für die Verankerung der daraus folgenden Erkenntnisse bei den Anliegern zu sorgen. Nachdem die Anlieger sich ihrer **Betroffenheit bewusst** geworden sind, kann und muss auf **Minderung der Schadenpotentiale** hingearbeitet werden. Flankierend sind einzugsgebietsbezogene **zeitnahe Starkniederschlags- und Hochwasservorhersagen** zu erstellen bzw. zu verbessern sowie regionale **Strategien zum Umgang mit Hochwasser** zu erarbeiten (z.B. Optimierung der operationellen Katastrophenhilfe). Um dies zu gewährleisten ist zwischen allen Akteuren ein ausreichender und gut koordinierter Austausch der benötigten Informationen zum jeweiligen Ereignis zwingend erforderlich.

Vor allem die Gefahr von Hochwasser mit plötzlichem Auftreten an mittleren und kleinen Gewässern ist bisher für Mittelgebirge in Deutschland dramatisch unterschätzt worden. So können Bacheinzugsgebiete durch derzeit noch nicht vorhersagbare Gewitterzellen komplett überregnet werden und in engen Tälern reißende, breite Wasserläufe erzeugen, denen selbst augenscheinlich massive Bauwerke nicht widerstehen können. Vor dem Hintergrund dieses Wissens müssen Behörden und Politiker gegebenenfalls bereit sein, Bebauungen im einen oder anderen Fall zu verweigern bzw. bestehende Bebauungen zu überdenken.

Wie die Überlegungen zu Größe und Wirkungen der durch Deichbrüche erzeugten Überflutungen sehr deutlich gemacht haben (siehe Kapitel 3.1), wären Schäden zum Beispiel in Bitterfeld oder Magdeburg sehr erheblich geworden, hätte es die ungewollten Rückhaltungen nicht gegeben. Darüber hinaus wären die eingetretenen Überflutungsschäden reduzierbar gewesen, wenn neben der Flutung der Havelniederung noch andere - gering schadenträchtige - Gebiete gezielt hätten geflutet werden können. - Da die verbreitet geforderte ungesteuerte Flutung bisheriger Polder hinsichtlich der Hochwasserminderung nur sehr begrenzte Wirkung haben kann (siehe Kapitel 4, Seite 38), **ist im Sinne der Anlieger zu fordern, daß geeignete Polder ganz oder teilweise für gesteuerte Flutung vorgesehen werden.**

