

Gemeinsames Gutachten der Länder Brandenburg und Sachsen-Anhalt zur Flutung der Havelniederung bei Hochwasserereignissen (größer HQ100)

Band 1: Los 1 Analyse des Hochwasserverlaufs 2002

Auftraggeber: Landesumweltamt Brandenburg
Seeburger Chaussee 2
14476 Potsdam / Groß Glienicke

und

Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft
des Landes Sachsen-Anhalt
Otto-von-Guericke-Straße 5
39104 Magdeburg

Auftrag vom 9. / 17.7.2004

Auftragnehmer: Arbeitsgemeinschaft der Firmen

WASY Gesellschaft für wasserwirtschaftliche Planung und
Systemforschung mbH
Waltersdorfer Straße 105
12526 Berlin

laG Institut für angewandte Gewässerökologie GmbH
Schlunkendorfer Straße 2e
14554 Seddin

Berlin, 12.10.2006

.....
Prof. Dr. S. Kaden
Geschäftsführer WASY GmbH

Inhaltsverzeichnis

0	Vorbemerkungen	3
1	Datengrundlage	4
2	Analyse des Hochwasserverlaufs in der Elbe	8
2.1	Ursachen – Hochwasser auslösende Niederschläge.....	8
2.2	Wellenablauf zwischen Dresden und Neu Darchau.....	11
2.2.1	Allgemeine Beschreibung	11
2.2.2	Einfluss der Nebenflüsse Schwarze Elster, Mulde und Saale	13
2.2.3	Auswirkungen von Deichbrüchen	17
2.2.4	Auswirkungen der Flutung der Havelniederung	21
2.3	Abflussmessungen während des Hochwasserereignisses	23
2.4	Vergleich des Hochwasserverlaufs mit denen der Ereignisse 1954, 1981, 1988 und 2003	26
2.4.1	Scheitelabflüsse im Längsschnitt der Elbe.....	26
2.4.2	Scheitellaufzeiten im Längsschnitt der Elbe	29
2.4.3	Abflussfüllen im Längsschnitt der Elbe	32
2.4.4	Abflussganglinien am Pegel Wittenberge.....	33
2.4.5	Einfluss der Gewässermorphologie auf den Wellenablauf	35
3	Analyse des Hochwasserverlaufs in der Havel	41
3.1	Allgemeine Beschreibung.....	41
3.2	Auswirkungen der Stauregulierung in der Havel vor Flutung der Havelniederung .	43
3.3	Auswirkungen der Flutung der Havelniederung und ihrer anschließenden Entlastung	44
4	Statistische Einordnung und Vergleich des Hochwassers in Elbe und Havel	48
5	Literaturverzeichnis	50

Anlagenverzeichnis

- Anlage 1-1: Daten-CD mit Wasserstands- und Abflussdaten an Pegeln
Anlage 1-2: Ausgewählte Abflussmessungen während des Hochwasserereignisses 2002

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1:	Stammdaten der berücksichtigten Pegel an der Elbe sowie erfasste Wasserstands- und Abflusswerte.....	5
Tabelle 1-2:	Stammdaten der berücksichtigten Pegel an der Havel sowie erfasste Wasserstands- und Abflusswerte.....	6
Tabelle 1-3:	Stammdaten der berücksichtigten Pegel an weiteren Nebenflüssen der Elbe sowie erfasste Wasserstands- und Abflusswerte	6
Tabelle 1-4:	Gebietsniederschläge für ausgewählte Teileinzugsgebiete der Elbe vom 6. bis 13. August 2002 (IKSE, 2004).....	10
Tabelle 1-5:	Gebietsniederschläge für Einzugsgebiete von ausgewählten Pegeln an der Elbe vom 6. bis 13. August 2002 (IKSE, 2004)	10
Tabelle 1-6:	Wichtige Abflusskenngrößen für die Pegel mit Abflussbeobachtungen	13
Tabelle 1-7:	Deichbrüche entlang der Elbe (IKSE, 2004)	18
Tabelle 1-8:	Nebenflüsse der Elbe zwischen der Havelmündung und Neu Darchau, deren Niederungen seit 1954 durch Absperrbauwerke vom Überschwemmungsgebiet der Elbe abgekoppelt wurden	31
Tabelle 1-9:	Wichtige Abflusskenngrößen für die Pegel mit Abflussbeobachtungen	40

Tabelle 1-10: Vergleich der Maximalabflüsse vor Flutung der Havelniederung mit statistischen Abflusskenngrößen	41
Tabelle 1-11: Wiederkehrintervalle der Scheitelabflüsse des Hochwassers 2002 für ausgewählte Elbpegel zwischen Dresden und Neu Darchau (IKSE, 2004).....	48
Tabelle 1-12: Scheitelwasserstände während des Hochwassers 2002 an ausgewählten Havelpegeln und ihre extremwertstatistische Einordnung.....	49

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Beispiel für die Visualisierung der erfassten Daten für ausgewählte Elbpegel anhand des Hochwassers 1981	7
Abbildung 2-1: Niederschlagshöhen für das Einzugsgebiet der Elbe vom 6. bis 13. August 2002 (IKSE, 2004).....	9
Abbildung 2-2: Wasserstands- und Abflussganglinie am Pegel Dresden	12
Abbildung 2-3: Längsschnitt der Scheitelabflüsse und Abflussfüllen zwischen Dresden und Neu Darchau	13
Abbildung 2-4: Abflussganglinien für die Elbpegel Vockerode und Aken und den Pegel Priorau / Mulde.....	16
Abbildung 2-5: Abflussganglinien für die Elbpegel Aken und Barby und den Pegel Bernburg UP / Saale	17
Abbildung 2-6: Abflussganglinien für die Elbpegel Dresden, Torgau, Wittenberg und Vockerode und den Pegel Löben / Schwarze Elster	19
Abbildung 2-7: Vergleich der beobachteten Abflussganglinie am Pegel Wittenberg mit einer berechneten Abflussganglinie ohne Beeinflussung durch Deichbrüche und -überströmungen (IKSE, 2004)	20
Abbildung 2-8: Wasserstandsganglinien der Elbpegel von Havelberg bis Lenzen.....	22
Abbildung 2-9: Vergleich der beobachteten Abflussganglinie am Pegel Wittenberge mit einer berechneten Abflussganglinie ohne Nutzung der Havelniederung als Retentionsraum (o. R.) (BfG, 2002).....	23
Abbildung 2-10: Abflussmessungen und W-Q-Beziehungen für den Pegel Dresden (BfG, 2003)	24
Abbildung 2-11: Abflussmessungen und W-Q-Beziehungen für den Pegel Neu Darchau (BfG, 2003)	24
Abbildung 2-12: Vergleich der Scheitelabflüsse in der Elbe für ausgewählte Hochwasserereignisse	27
Abbildung 2-13: Vergleich der Scheitellaufzeiten in der Elbe für die Hochwasserereignisse 1954 und 2002	29
Abbildung 2-14: Schiffsverkehr auf den überschwemmten Löcknitzwiesen während des Hochwassers 1954 (BÖER u. a., 1959)	31
Abbildung 2-15: Vergleich der Abflussfüllen in der Elbe für ausgewählte Hochwasserereignisse	32
Abbildung 2-16: Abflussganglinien (Tagesmittelwerte) für den Pegel Wittenberge	34
Abbildung 2-17: Zusammenhang zwischen der Abflussfülle über einem bestimmten Abfluss und eben diesem Abfluss für den Pegel Wittenberge.....	35
Abbildung 2-18: Differenz zwischen normierten Wasserspiegellagen im Bereich des MNW aus der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts und von 1888 (FAULHABER, 2000).....	37
Abbildung 2-19: Differenz zwischen normierten Wasserspiegellagen im Bereich des MNW und Sohlhöhen in der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts (FAULHABER, 2000).....	38
Abbildung 2-20: W-Q-Beziehungen am Pegel Wittenberge/Elbe seit 1900.....	40
Abbildung 3-1: Abflussganglinien für die Havelpegel Ketzin, Tieckow und Albertsheim.....	42
Abbildung 3-2: Abflussganglinien für den Pegel Havelberg-Stadt sowie an den Wehren Neuwerben und Quitzöbel	42
Abbildung 3-3: Längsschnitte der Wasserspiegellagen in der Havel vom 15. bis 20. August 2002.....	43
Abbildung 3-4: Längsschnitte der Wasserspiegellagen in der Havel vom 20. bis 23. August 2002.....	45
Abbildung 3-5: Längsschnitte der Wasserspiegellagen in der Havel vom 23. bis 28. August 2002.....	47

0 Vorbemerkungen

Veranlassung	<p>Veranlassung für das Gutachten ist das Katastrophenhochwasser im August 2002, das in Tschechien und Sachsen als größtes jemals registriertes Hochwasserereignis an der Elbe gilt. In Sachsen-Anhalt, Brandenburg und für die weiteren Unterlieger wurde das Ausmaß des Hochwassers durch die Öffnung des Pretziener Wehrs, die Nutzung der Havelniederung als Retentionsraum sowie mehrere Deichbrüche gemindert.</p>
Kappung eines Extremhochwassers	<p>Die Flutung der Havelniederung während des Hochwassers 2002 hat deren Potential hinsichtlich einer Kappung eines Extremhochwassers für den Unterlauf der Elbe deutlich gemacht. Andererseits zeigten sich ökologische und ökonomische Probleme für die gefluteten Polder.</p>
Detaillierte Analyse	<p>Die Arbeitsgemeinschaft der Unternehmen WASY Gesellschaft für wasserwirtschaftliche Planung und Systemforschung mbH und IaG Institut für Angewandte Gewässerökologie GmbH wurde beauftragt, ausgehend von einer detaillierten Analyse des Elbehochwassers 2002 und dessen Managements im Bereich der Havelniederung, die Optimierung einer Polderflutung unter besonderer Beachtung der damit verbundenen ökologischen und ökonomischen Aspekte zu untersuchen. Auf dieser Grundlage sollte die „Richtlinie für die Berechnung der Entlastung des Elbehochwasserscheitels in der Havel zur Steuerung der Wehrgruppe Quitzöbel“ überarbeitet werden.</p>
Optimierung einer Polderflutung	<p>Die Bearbeitung erfolgt in enger Abstimmung mit einem Fachbeirat aus Vertretern der Auftraggeber und des MLUV Brandenburg.</p>
Gesamtaufgabe	<p>Die Gesamtaufgabe ist in 6 Lose gegliedert:</p> <ul style="list-style-type: none">Los 1: Analyse des Hochwasserverlaufes 2002Los 2: Analyse der Scheitelkappung durch Flutung der HavelniederungLos 3: Optimierung der FlutungLos 4: Ökologische Aspekte der FlutungLos 5: Prüfung und Überarbeitung der "Richtlinie ... Steuerung der Wehrgruppe Quitzöbel"Los 6: Computerprogramm zur Steuerung der Wehrgruppe Quitzöbel (Bearbeiter: Institut für Wasserwirtschaft, Siedlungswasserbau und Ökologie GmbH, Weimar); wurde gesondert dokumentiert <p>Die Dokumentation des Gutachtens erfolgt in einzelnen Bänden entsprechend den o. g. Losen.</p>
Inhalt Band 1	<p>Gegenstand des vorliegenden Bandes 1 ist der Bericht zu Los 1: Analyse des Hochwasserverlaufs 2002.</p> <p>Im Abschnitt 1 werden die Datengrundlagen beschrieben. Daran schließt sich in Abschnitt 2 eine ausführliche Analyse des Hochwasserverlaufs in der Elbe an. Dabei wird nach einer Darstellung der Ursachen des Hochwassers 2002 dessen Wellenablauf analysiert, Abflussmessungen während des Hochwassers werden dokumentiert. Schließlich werden unterschiedliche extreme Hochwasserereignisse an der Elbe verglichen. In Abschnitt 3 wird der Hochwasserverlauf in der Havel analysiert.</p>

1 Datengrundlage

Berichte	<p>Eine wesentliche Grundlage für die Analyse des Hochwasserverlaufs 2002 waren die Berichte zum Hochwasser</p> <ul style="list-style-type: none">• der Länder Brandenburg und Sachsen-Anhalt (LUA, 2002; LHW, 2003),• von Dienststellen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSA, 2002; BfG, 2002; BfG, 2003),• von Dienststellen aus Nachbarländern (MECR, 2004; BMLFUW, 2004)• von internationalen Organisationen (IKSE, 2004).
Daten	<p>Neben diesen Ausarbeitungen wurden für die Analyse folgende Daten herangezogen:</p> <ul style="list-style-type: none">• Wasserstände von<ul style="list-style-type: none">– 34 Pegeln an der Elbe zwischen Dresden und Neu Darchau,– 18 Pegeln an der Havel zwischen Ketzin und Gnevsdorf,– je 2 Pegeln an den Nebenflüssen Schwarze Elster, Mulde und Saale,• Abflüsse von<ul style="list-style-type: none">– 11 Pegeln an der Elbe zwischen Dresden und Neu Darchau,– 4 Pegeln an der Havel zwischen Ketzin und Havelberg-Stadt,– je 2 Pegeln an den Nebenflüssen Schwarze Elster, Mulde und Saale,• Stammdaten von allen Pegeln.
Hochwasser 2002	<p>Für das Hochwasser 2002 wurden die Wasserstands- und Abflussdaten der Pegel für folgende Zeiträume erfasst:</p> <ul style="list-style-type: none">• vom 1. 8. bis 30. 9. 2002 als zeitlich hoch aufgelöste Viertel-Stunden-Werte,• vom 1. 6. bis 31. 10. 2002 als Tagesmittelwerte. <p>Für den Vergleich des Hochwasserablaufs 2002 mit den Abläufen der historischen Hochwasser 1954, 1981, 1988 und des Hochwassers 2003 wurden für diese Referenzereignisse tägliche Wasserstände und Abflüsse an den Pegeln für folgende Zeiträume erfasst:</p> <ul style="list-style-type: none">• vom 1. 7. bis 30. 9. 1954,• vom 1. 2. bis 31. 5. 1981,• vom 1. 2. bis 31. 5. 1988,• vom 1. 11. 2002 bis 28. 2. 2003. <p>In Tabelle 1-1 bis Tabelle 1-3 werden die Stammdaten der Pegel, die in die Datenerfassung einbezogen wurden, mitgeteilt sowie eine Übersicht über die erfassten Wasserstands- und Abflussdaten gegeben.</p>

Tabelle 1-1: Stammdaten der berücksichtigten Pegel an der Elbe sowie erfasste Wasserstands- und Abflusswerte

Pegel		Pegelnulld in m ü. NN	Lage in km	Einzugs- gebiet in km ²	Wasserstand W und Abfluss Q für Hochwasser				
PKZ	Name				1954	1981	1988	2002	2003
50106.0	Dresden	102,73	55,6	53096	W, Q	W, Q	W, Q	W, Q	W, Q
50108.0	Meißen	94,84	82,2	53885	W	W	W	W	W
50111.0	Riesa	88,03	108,4	54485	W	W	W	W	W
50116.0	Mühlberg	81,71	128,0	55030		W	W	W	W
50126.1	Torgau	75,18	154,2	55211	W, Q	W, Q	W, Q	W, Q	W, Q
50133.0	Pretzsch-Mauken	69,32	184,4	55764		W	W	W	W
50139.0	Elster	66,76	200,2	61575			W	W	W
50142.0	Wittenberg	62,48	214,1	61879	W, Q	W, Q	W, Q	W, Q	W, Q
50147.0	Coswig	57,62	236,4	62054		W	W	W	W
50148.0	Vockerode	55,97	245,6	62141				W, Q	W, Q
50149.0	Roßlau	53,86	257,8	62600	W	W	W	W	W
50200.0	Dessau-Leopoldsh.	52,99	261,2	69781	W		W	W	W
50201.0	Aken	50,24	274,7	70093	W, Q	W, Q	W, Q	W, Q	W, Q
50207.0	Barby	46,15	294,9	94060	W, Q	W, Q	W, Q	W, Q	W, Q
50218.0	Magdeb.-Strombr.	39,92	326,6	94942	W, Q	W, Q	W, Q	W, Q	W, Q
50221.0	Magdeb.-Rothensee	37,23	333,2	94950		W	W	W, Q	W, Q
50224.0	Niegripp Schl. AP	34,44	343,6	95515		W	W	W	W
50225.0	Rogätz	35,24	350,7					W	W
50230.0	Parey Schleuse OP	30,92	371,6	97264	W	W	W	W	W
50235.0	Tangermünde	27,59	388,2	97780		W, Q	W, Q	W, Q	W, Q
	Hämerten ¹	26,26	394,6	97788	W, Q				
50237.0	Storkau	25,90	396,2	97788				W	W
50243.0	Sandau	22,47	416,0	97827		W	W	W	W
50247.5	Havelberg Schl. EP	21,57	422,5	122132	W	W	W	W	W
50247.0	Neuwerben Wehr EP	20,40	427,7	122249		W	W	W	W
50301.0	Gnevsdorf Wehr EP	19,15	438,0	122302		W	W	W	W
50303.0	Scharleuk	17,57	447,2					W	W
50305.0	Wittenberge	16,72	453,9	123532	W, Q	W, Q	W, Q	W, Q	W, Q
50307.0	Müggendorf	15,15	464,0					W	W
59101.1	Schnackenburg	13,70	474,6	125482		W	W	W	W
50312.0	Lenzen	12,43	484,6	125491	W	W	W	W	W
59100.2	Gorleben	11,33	493,0	125891		W	W	W	W
59100.25	Dömitz	10,43	504,7	129871				W	W
59200.1	Hitzacker	7,49	522,2	131910	W	W	W	W	W
59300.1	Neu Darchau	5,68	536,4	131950	W, Q	W, Q	W, Q	W, Q	W, Q

1 – Ersatzpegel 1954 für Storkau (W) und Tangermünde (W und Q)

Tabelle 1-2: Stammdaten der berücksichtigten Pegel an der Havel sowie erfasste Wasserstands- und Abflusswerte

Pegel		Pegelnull in m ü. NN	Lage in km	Einzugs- gebiet in km ²	Wasserstand W und Abfluss Q für Hochwasser				
PKZ	Name				1954	1981	1988	2002	2003
58043.0	Ketzin	28,40	34,1	16173	W, Q	W, Q	W, Q	W, Q	W, Q
58044.0	Brandenb. Schl. OP	27,13	55,4	16525	W	W	W	W	W
58045.0	Brandenb. Schl. UP	27,13	55,5	16525	W	W	W	W	W
58060.1	Tieckow	25,96	76,3	18840				W, Q	W, Q
58062.0	Bahnitz Schleuse OP	25,96	81,8	18900	W	W	W	W	W
58063.0	Bahnitz Schleuse UP	25,96	82,1	18900	W	W	W	W	W
58064.0	Rathenow Schl. OP	24,53	103,2	19288	W	W	W	W	W
58065.0	Rathenow Schl. UP	24,53	103,5	19288	W, Q ¹	W, Q ¹	W, Q ¹	W, Q ¹	W, Q ¹
58052.0	Albertsheim	24,53	109,8	19358	Q	W, Q	W, Q	W, Q	W, Q
58070.0	Grütz Schleuse OP	23,83	116,9	20256	W	W	W	W	W
58071.0	Grütz Schleuse UP	23,83	117,1	20256	W	W	W	W	W
58075.0	Garz Schleuse OP	22,18	128,9	22411	W	W	W	W	W
58076.0	Garz Schleuse UP	22,18	129,1	22411	W	W	W	W	W
58079.0	Havelberg-Stadt	21,57	145,3	24297	W, Q	W, Q	W, Q	W, Q	W, Q
58080.0	Havelberg Schl. UP	21,57	146,9	24398	W	W	W	W	W
58082.0	Quitze Wehr OP	19,57	156,1	24531	W	W	W	W	W
58083.0	Quitze Wehr UP	19,57	156,2	24531	W	W	W	W	W
58084.0	Gnevsdorf Wehr OP	19,15	165,8	24550		W	W	W	W

1 – Messwertübertrag (Q) von Albertsheim

Tabelle 1-3: Stammdaten der berücksichtigten Pegel an weiteren Nebenflüssen der Elbe sowie erfasste Wasserstands- und Abflusswerte

Pegel		Pegelnull in m ü. NN	Lage in km	Einzugs- gebiet in km ²	Wasserstand W und Abfluss Q für Hochwasser				
PKZ	Name / Gewässer				1954	1981	1988	2002	2003
55305.0	Bad Liebenwerda / Schwarze Elster	83,91	59,6	3184		W, Q	W, Q	W, Q	W, Q
55306.0	Premendorf ¹ / Schwarze Elster	74,50	27,0	4226	W				
55306.1	Löben / Schw. Elster	73,07	21,6	4327		W, Q	W, Q	W, Q	W, Q
56005.1	Bad Dübener 1 / Mulde	81,50	68,1	6171	W	W, Q	W, Q	W, Q	W, Q
56009.0	Priorau / Mulde	63,71	23,9	6990				W, Q	W, Q
57091.0	Bernburg UP /Saale	55,15	36,0	19639	W	W, Q	W, Q	W, Q	W, Q
57094.0	Calbe-Grizelne / Saale	49,39	17,6	23719	W, Q	W, Q	W, Q	W, Q	W, Q

1 – Ersatzpegel 1954 für Löben (W)

Die erfassten Daten wurden in MS Excel-Dateien archiviert, und zwar getrennt nach

- der Datenart (Wasserstand oder Abfluss)
- dem Gewässer (Elbe, Havel oder sonstige Nebenflüsse)
- den Ereignissen (1954, 1981, 1988, 2002 oder 2003)
- der zeitlichen Auflösung (Tageswerte oder Viertel-Stunden-Werte; nur relevant für HW 2002)

Die Datei W_Elbe_81.xls enthält z. B. die täglichen Wasserstände an den Elbpegeln für das Referenzereignis 1981. Die Dateien Q_Havel_02.xls und Q_Havel_15min.xls enthalten z. B. die täglichen Abflüsse bzw. die Viertel-Stunden-Werte des Abflusses an den Havelpegeln für das Hochwasserereignis 2002. Das komplette Datenarchiv ist Inhalt der CD in Anlage 1-1.

In den einzelnen MS Excel-Dateien wird eine Visualisierung der Daten in Form von Ganglinien vorgenommen. Diese Visualisierung war Grundlage für eine erste Prüfung der Daten. Mutmaßliche Datenfehler wurden der jeweiligen Dienststelle, von der die Daten übernommen wurden, mitgeteilt. Als Beispiel für die Visualisierung der Daten in den MS Excel-Dateien zeigt Abbildung 1-1 aus der Datei W_Elbe_81.xls die Ganglinien der täglichen Wasserstände an den Elbpegeln von Dresden bis Wittenberg für das Ereignis 1981. Durch den Bezug der Wasserstände auf Meter über Normalnull wird eine übersichtliche Darstellung gewährleistet. Pegel, für die keine Daten vorliegen, in Abbildung 1-1 ist das für den Pegel Elster der Fall, werden in den Abbildungen durch eine horizontale Linie abgebildet.

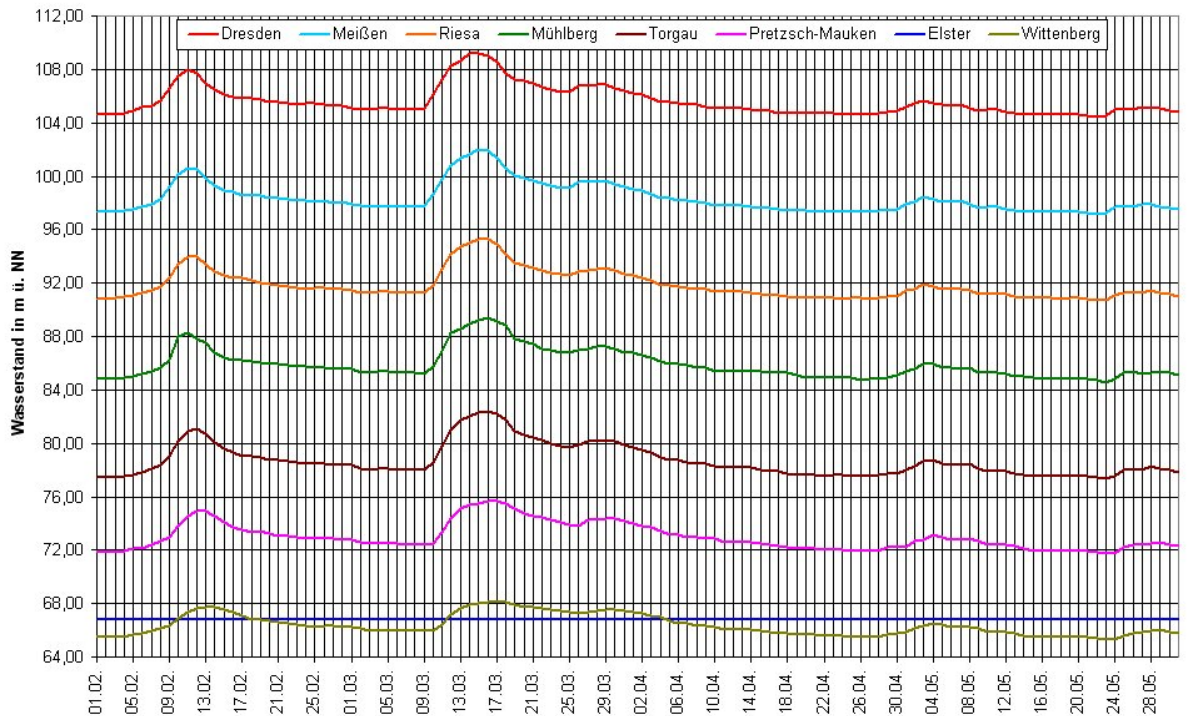


Abbildung 1-1: Beispiel für die Visualisierung der erfassten Daten für ausgewählte Elbpegel anhand des Hochwassers 1981

2 Analyse des Hochwasserverlaufs in der Elbe

2.1 Ursachen – Hochwasser auslösende Niederschläge

- Vb-Wetterlage** Das Hochwasser 2002 im Einzugsgebiet der Elbe wurde durch ergiebige Niederschläge mit beträchtlicher räumlicher Ausdehnung ausgelöst. Ursache für die in den ersten 13 Tagen des August 2002 in Mitteleuropa gehäuft auftretenden Starkniederschläge war eine so genannte Vb-Wetterlage, bei der feuchtwarme Luftmassen aus dem Mittelmeerraum östlich um die Alpen nordwärts geführt wurden und auf kühlere, aus Westen kommende Luftmassen trafen. In der Folge bildete sich eine stationäre Tiefdruckrinne aus. Die Niederschläge der in dieser Tiefdruckrinne nach Nordosten ziehenden Tiefdruckgebiete wurden durch die orographisch bedingte Hebung der Luft an den Sudeten, dem Erzgebirge, dem Bayerischen Wald und den Alpen noch erheblich verstärkt. Auf der Rückseite der Tiefdruckgebiete sorgte eine Feuchtluftzufuhr aus westlicher bis nördlicher Richtung für erneute Niederschläge und gleichzeitig eine labile Luftschichtung, wodurch auch heftige Gewitter entstanden. Dieser Zyklus wiederholte sich mehrmals in der ersten Augushälfte (DWD, 2002a).
- 1. bis 5. August** Die Niederschläge vom 1. bis 5. August, die im Wesentlichen aus Gewitterfronten resultierten, betrafen vor allem Brandenburg und die Bundesländer an Nord- und Ostseeküste. Obwohl hierbei an einigen Stationen neue Rekorde für die tägliche Niederschlagshöhe im August registriert wurden (DWD, 2002b), waren diese Niederschläge für die Elbe noch nicht Hochwasser auslösend. Hochwasser auslösend waren vielmehr die beiden Niederschlagsepisoden vom 6. bis 8. August und vom 10. bis 13. August 2002 mit jeweils großräumigen Starkniederschlägen.
- 6. bis 8. August** Die großräumigen Starkniederschläge in Ostbayern, Böhmen und Österreich vom 6. bis 8. August wurden durch ein Tief verursacht, das sich mit feuchtwarmer Luft vom Mittelmeer nach Norden bewegte, und dort auf kühlere Luftmassen stieß (DWD, 2002b). Im Einzugsgebiet der Elbe wurde während dieser Niederschlagsepisode vor allem das Moldaueinzugsgebiet südlich von Prag beeinflusst. Der Kern des Niederschlagsgebietes mit Niederschlagssummen über 200 mm lag auf der tschechisch-österreichischen Staatsgrenze zwischen Budweis und Linz (MECR, 2004; BMLFUW, 2004). Die höchsten Niederschlagssummen von ca. 280 mm wurden an den Stationen Staré Hutě und Pahorská Ves im Einzugsgebiet des Moldaunebenflusses Malše beobachtet (IKSE, 2004).
- ab 10. August** Das Tiefdruckgebiet Ilse auf ähnlicher Zugbahn führte ab dem 10. August zu weiteren großräumigen Starkniederschlägen. Es blieb bis zum 13. August für Mitteleuropa wetterbestimmend. Bereits am 11. August dehnte sich das Niederschlagsgebiet, das anfangs über der Ostschweiz und Süddeutschland lag, weiter nach Osten und Norden aus. Dabei kam es auch im Böhmerwald und im Erzgebirge zu ergiebigen Niederschlägen. Als das Tiefdruckgebiet am 12. August nach Polen wanderte, stellte sich an seiner Rückseite eine Nordströmung ein, die die Niederschläge im Erzgebirge durch Stau und orographische Hebung noch verstärkte. An vielen Stationen im Erzgebirge wurden am 12. August die bis dahin höchsten Tageswerte deutlich überschritten (DWD, 2002b). Während der Niederschlagsepisode vom 10. bis 13. August wurden Niederschlagssummen über 100 mm flächendeckend für das gesamte Erzgebirge, sein nördliches Vorland in Sachsen, für Teile Südbrandenburgs sowie für große Teile des Moldaueinzugsgebietes erreicht (IKSE, 2004). Der Kern des Niederschlagsgebietes mit Niederschlagssummen über 200 mm lag im Mittleren und Östlichen Erzgebirge, in den Quellgebieten der Freiburger Mulde und einiger linkselbischer Nebenflüsse, wie Gottleuba, Müglitz und Weißeritz. Die höchste Niederschlagssummen wurde an der Station Zinnwald-Georgenfeld im Osterzgebirge beobachtet. Hier fielen vom 11. bis 13. August insgesamt 406 mm Niederschlag, davon 312 mm am 12. August.

Abbildung 2-1 zeigt für das Elbeinzugsgebiet die Summe der Hochwasser auslösenden Niederschläge vom 6. bis 13. August 2002. Die Karte beruht auf Daten und Angaben des Tschechischen Hydrometeorologischen Institutes (ČHMÚ), des Deutschen Wetterdienstes (DWD), der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) und der Internationalen Kommission zum Schutz der Elbe (IKSE).

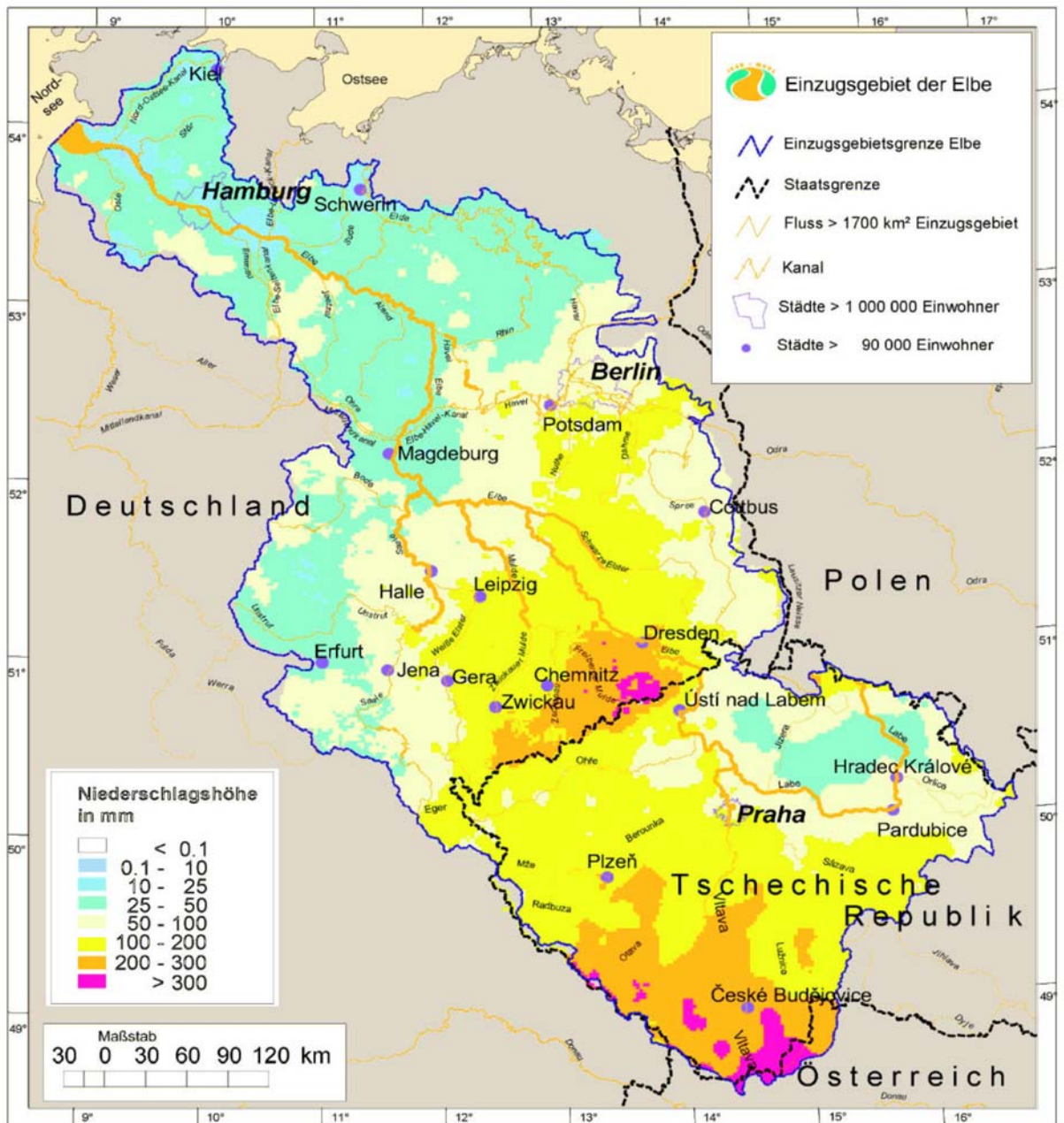


Abbildung 2-1: Niederschlagshöhen für das Einzugsgebiet der Elbe vom 6. bis 13. August 2002 (IKSE, 2004)

Tabelle 2-1 enthält die Gebietsniederschläge für ausgewählte Teileinzugsgebiete der Elbe vom 6. bis 13. August 2002 sowie separat für die beiden Hochwasser auslösenden Niederschlagsereignisse. Der Vergleich der Gebietsniederschläge für den Gesamtzeitraum mit den mittleren monatlichen Niederschlägen im August zeigt, dass das Einzugsgebiet der Mulde am stärksten vom Niederschlagsgeschehen betroffen

war. Hier waren die Hochwasser auslösenden Niederschläge etwa dreimal so hoch wie die mittleren Augustniederschläge. In den Einzugsgebieten von Moldau und Schwarzer Elster waren die Gebietsniederschläge vom 6. bis 13. August 2002 mehr als doppelt so hoch wie die mittleren Augustniederschläge. Für die Einzugsgebiete von Saale und Havel betragen die Relationen der Gebietsniederschläge vom 6. bis 13. August 2002 zu den mittleren Augustniederschlägen etwa 1 : 1 bzw. 1,5 : 1.

Eine ähnliche Auswertung wie Tabelle 2-1 enthält Tabelle 2-2 für Einzugsgebiete von ausgewählten Pegeln an der Elbe zwischen Dresden und Neu Darchau.

Tabelle 2-1: Gebietsniederschläge für ausgewählte Teileinzugsgebiete der Elbe vom 6. bis 13. August 2002 (IKSE, 2004)

Teileinzugsgebiet	A _E in km ²	Niederschlagshöhen in mm			
		August 1961 - 90	6. - 7. 8.	11. - 13. 8.	6. - 13. 8.
Elbe von der Quelle bis zur Mündung der Moldau	13 714	80	2	72	76
Moldau	28 090	80	72	112	189
Eger	5 614	73	22	76	113
Elbe von der Mündung der Moldau bis zur Staatsgrenze (einschließlich Eger)	9 590	74	16	83	108
Elbe von der Staatsgrenze bis zur Mündung der Schwarzen Elster	4 472	Einzelangaben liegen nicht vor			
Schwarze Elster	5 705	64	2	133	137
Elbe von der Mündung der Schwarzen Elster bis zur Mündung der Havel (ohne Mulde und Saale)	5 274	65	1	33	48
Mulde	7 400	73	30	177	226
Saale	24 079	75	13	40	73
Havel	24 096	51	6	67	76
Elbe von der Mündung der Havel bis zum Wehr Geesthacht	12 593	48	4	25	36
Elbe vom Wehr Geesthacht bis zur Mündung in die Nordsee	13 255	72	2	27	55

Tabelle 2-2: Gebietsniederschläge für Einzugsgebiete von ausgewählten Pegeln an der Elbe vom 6. bis 13. August 2002 (IKSE, 2004)

Pegel	A _E in km ²	Niederschlagshöhen in mm				Volumen in Mrd. m ³
		August 1961 - 90	6. - 7. 8.	11. - 13. 8.	6. - 13. 8.	
Dresden	53 096	71	39	105	148	7,86
Wittenberg	61 879	70	35	107	147	9,10
Aken	70 093	70	33	109	148	10,38
Magdeburg-Strombrücke	94 942	71	28	92	129	12,25
Wittenberge	123 532	67	23	87	119	14,70
Neu Darchau	131 950	65	22	81	112	14,78

Folgende Ausarbeitungen enthalten ergänzende und weiterführende Informationen zu den Niederschlägen, die das Hochwasser 2002 im Einzugsgebiet der Elbe ausgelöst haben: IKSE (2004), MECR (2004), BMLFUW (2004).

2.2 Wellenablauf zwischen Dresden und Neu Darchau

2.2.1 Allgemeine Beschreibung

- 1. bis 5. August** Die Niederschläge in der ersten Augushälfte 2002 verursachten in der Elbe und in mehreren ihrer Nebenflüsse ein außergewöhnliches Hochwasser, bei dem an vielen Pegeln die bis dahin beobachteten Höchstwasserstände HHW überschritten wurden. Wie bereits in Abschnitt 2.1 erwähnt, waren die Niederschläge vom 1. bis 5. August noch nicht Hochwasser auslösend. Die Niederschläge vom 6. bis 8. August verursachten ein Hochwasser in der Moldau, das auch in der Oberen Elbe zu deutlichen Wasserstands- und Abflussanstiegen führte. Am Pegel Dresden wurde am 10. August um 15 Uhr der Richtwert der Alarmstufe 2 (500 cm) erreicht (Abbildung 2-2). Der Scheitelwasserstand dieser ersten Welle betrug am Pegel Dresden 561 cm (11. August 7:30 Uhr).
- 10. bis 13. August** Die Niederschläge vom 10. bis zum 13. August waren in ihrer Summe nicht nur sehr viel höher als die Niederschläge vom 6. bis 8. August (Tabelle 2-1 und Tabelle 2-2), sondern fielen auf Böden mit in der Regel erhöhter bis hoher Vorfeuchte. Die insgesamt guten Bedingungen für die Abflussbildung führten zusammen mit den teilweise enormen Niederschlagsmengen zu einem raschen Abflussanstieg in den Flüssen. Am Pegel Dresden bildete sich vor allem durch den Zufluss aus den linkselbischen Nebenflüssen eine zweite Welle aus, in deren Verlauf am 13. August um 11:30 Uhr erstmals der Richtwert der Alarmstufe 4 (700 cm) erreicht wurde (Abbildung 2-2). Der Scheitelwasserstand dieser zweiten Welle betrug am Pegel Dresden 711 cm (13. August 15:15 Uhr). Zu diesem Zeitpunkt hatte die eigentliche aus dem Moldaueinzugsgebiet kommende Welle etwa den Speicher Orlik am Zusammenfluss von Moldau und Otava erreicht (MECR, 2004).
- 17. August** Am 17. August erreichte der Scheitel der Hochwasserwelle Dresden. Der Scheitelwasserstand von 940 cm, der gegen 7:45 Uhr am Pegel registriert wurde, war der bislang höchste beobachtete Wasserstand. Er übertraf den bisherigen HHW von 1845 (877 cm) um 63 cm. Der zum Scheitelwasserstand angegebene Scheitelabfluss beträgt 4580 m³/s. Abbildung 2-2 zeigt die am Pegel beobachtete Wasserstandsganglinie und die daraus abgeleitete Abflussganglinie. Die Abflussganglinie für den Pegel Dresden ist für das Untersuchungsgebiet auch deshalb von besonderem Interesse, weil ihre Form noch nicht durch Deichbrüche beeinflusst ist. Für alle unterhalb von Dresden gelegenen Abflusspegel wurden die Ganglinien mehr oder weniger durch Deichbrüche oder gezielte Flutung von Retentionsflächen beeinflusst.

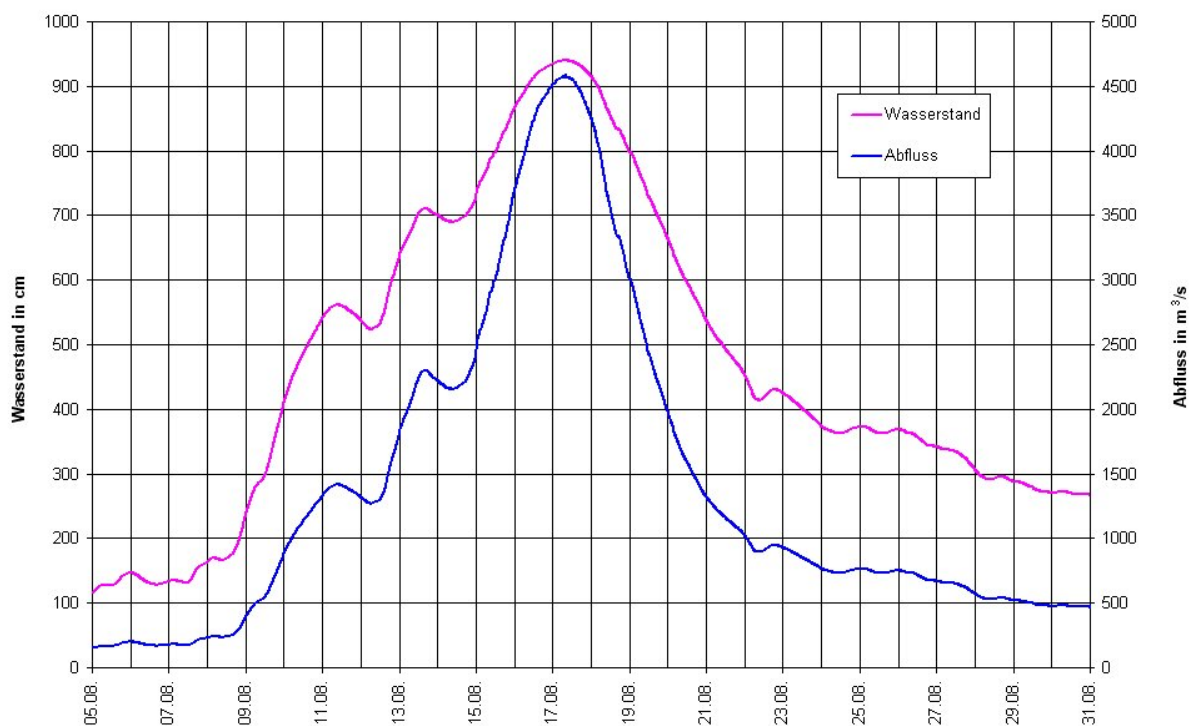


Abbildung 2-2: Wasserstands- und Abflussganglinie am Pegel Dresden

Scheitelabflüsse

Abflussfüllen

Abflusskenngrößen

Abbildung 2-3 zeigt die Entwicklung der Scheitelabflüsse und Abflussfüllen im Längsschnitt der Elbe von Dresden bis Neu Darchau. Sowohl die Scheitelabflüsse als auch die Abflussfüllen wurden auf der Grundlage der übergebenen zeitlich hoch aufgelösten Viertel-Stunden-Werte des Abflusses ermittelt. Die Scheitelabflüsse nehmen zwischen Dresden und Neu Darchau tendenziell ab. Die allmähliche oder sprunghafte Scheitelreduzierung, letztere meist als Folge von Deichbrüchen oder gezielter Flutung von Retentionsflächen, konnte durch die seitlichen Zuflüsse aus Nebengewässern nicht kompensiert werden. Lediglich durch Mulde und Saale wurde der Scheitelabfluss in der Elbe wieder erhöht. Die Scheitellaufzeit zwischen Dresden und Neu Darchau betrug ca. 150 Stunden. Das entspricht einer mittleren Scheitelgeschwindigkeit von 3,2 km/h. Die Abflussfüllen nehmen im Gegensatz zu den Scheitelabflüssen von Dresden bis Neu Darchau erwartungsgemäß zu. Die Abflusszunahme korrespondiert dabei in der Regel mit der Zunahme der Einzugsgebietsfläche (Tabelle 1-1). Lediglich von Wittenberg nach Vockerode nimmt die Abflussfülle deutlich ab. Mögliche Ursachen für dieses Phänomen werden in Abschnitt 2.2.3 diskutiert.

In Tabelle 2-3 werden für die Pegel mit Abflussbeobachtungen zwischen Dresden und Neu Darchau wichtige Abflusskenngrößen zusammengefasst. Mit aufgeführt werden in Tabelle 2-3 auch die Scheitellaufzeiten, die aus den Differenzen der Scheitelintrittszeiten an den jeweiligen Pegeln und am Pegel Dresden berechnet wurden. Dabei ist zu beachten, dass die Scheitelintrittszeiten eine Fehlermarge von einigen Stunden aufweisen können, da sie infolge der z. T. sehr breiten Scheitel häufig nicht stundengenau festgelegt werden konnten. Am Pegel Tangermünde z. B. stagnierte der Wasserstand während des Scheiteldurchgangs insgesamt für 8½ Stunden bei 767 cm. Die Scheitellaufzeit von Dresden nach Wittenberge wurde durch die Flutung der Havelniederung künstlich verkürzt (Abschnitt 2.2.4). In Tabelle 2-3 wurde die beobachtete Scheitellaufzeit deshalb in Klammern gesetzt.

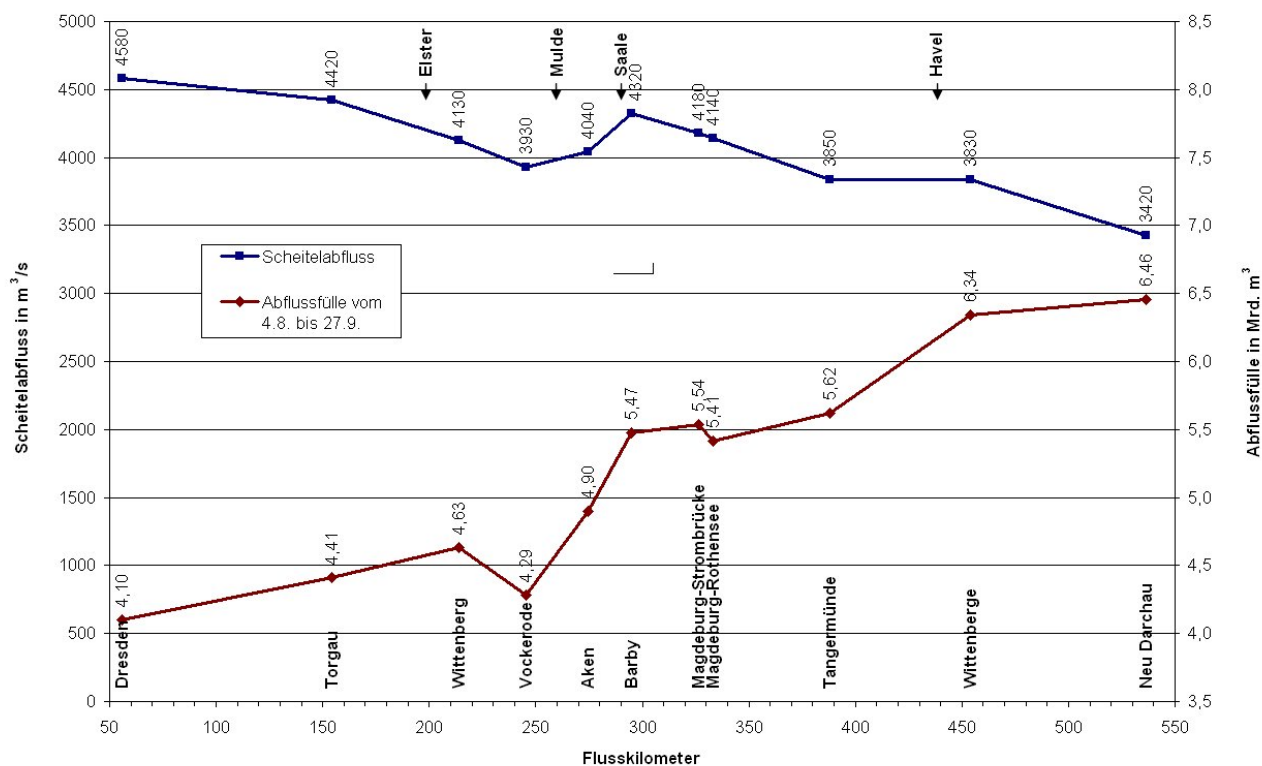


Abbildung 2-3: Längsschnitt der Scheitelabflüsse und Abflussfüllen zwischen Dresden und Neu Darchau

Tabelle 2-3: Wichtige Abflusskenngrößen für die Pegel mit Abflussbeobachtungen

Pegel	Scheitelabfluss in m³/s	Scheitelabfluss-spende in l/(s*km²)	Scheitellaufzeit von Dresden in Stunden	Abflussfülle ¹ in Mrd. m³	Abflussbeiwert ² in %
Dresden	4580	86		4,10	52
Torgau	4420	80	19	4,41	
Wittenberg	4130	67	31	4,63	51
Vockerode	3930		35	4,28	
Aken	4040	57	44	4,90	47
Barby	4320	43	53	5,47	
Magdeb.-Strombr.	4180	43	62	5,54	45
Magdeb.-Rothensee	4140	44	63	5,41	
Tangermünde	3850	41	84	5,62	
Wittenberge	3830	31	(86)	6,34	43
Neu Darchau	3420	26	150	6,46	44

1 – vom 4. August bis 27. September

2 – bezogen auf den Gebietsniederschlag vom 6. bis 13. August lt. Tabelle 2-2

2.2.2 Einfluss der Nebenflüsse Schwarze Elster, Mulde und Saale

Schwarze Elster

Obwohl die Niederschläge im Einzugsgebiet der Schwarzen Elster relativ hoch waren (Tabelle 2-1), bildete sich in der Schwarzen Elster nur ein Hochwasser mit einem statistischen Wiederkehrintervall von ca. 2 Jahren aus. Die Scheitelabflüsse an den Pegeln Bad Liebenwerda (62,2 m³/s) und Löben (80,7 m³/s) am 15. bzw. 16. August

	<p>2002 lagen nicht viel höher als der mittlere Hochwasserabfluss MHQ von 52,4 bzw. 66,5 m³/s. Am Pegel Löben betrug die Abflussfülle vom 4. August bis 27. September 93 Mio. m³. Sie ist damit nicht einmal halb so groß wie die Differenz der Abflussfüllen der beiden Elbpegel Wittenberg und Torgau, unterhalb bzw. oberhalb der Elstermündung (Tabelle 2-3).</p>
Schwarze Elster	<p>Während der Wellenablauf in der Elbe durch den Zufluss aus der Schwarzen Elster kaum beeinflusst wurde, war die Beeinflussung des Abflussgeschehens in der Schwarzen Elster durch das Elbhochwasser gravierend. In den Vormittagstunden des 18. August, zum Zeitpunkt des Durchgangs des Hochwasserscheitels der Elbe an der Elstermündung bei Elbe-km 198,5, reichte der Rückstau in der Schwarzen Elster etwa 10 km flussaufwärts bis Jessen. Beeinflusst wurden die Wasserstände in der Schwarzen Elster außerdem durch mehrere Deichbrüche entlang der Schwarzen Elster, die alle am 17. August eintraten, sowie durch zahlreiche Deichöffnungen, die angelegt wurden, um das im Elbe-Elster-Dreieck infolge des Deichbruches bei Dautzchen aufgestaute Wasser in die Elbe zu leiten (IKSE, 2004).</p> <p>In Abschnitt 2.2.3 wird diskutiert, welchen Einfluss die Deichbrüche auf den Wellenablauf in der Elbe hatten. In diesem Zusammenhang wird in Abbildung 2-6 die Abflussganglinie des Pegels Löben zusammen mit den Ganglinien der Elbpegel Dresden, Torgau, Wittenberg und Vockerode grafisch dargestellt.</p>
Mulde	<p>Infolge der außergewöhnlich hohen Niederschläge, die im Einzugsgebiet der <u>Mulde</u> fielen (Tabelle 2-1), kam es in der Vereinigten Mulde und ihren Zuflüssen Freiburger und Zwickauer Mulde zu einem extremen Hochwasserereignis. An den Pegeln der Freiburger Mulde, der unteren Zwickauer Mulde und der Vereinigten Mulde wurden die bis dahin beobachteten Höchstabflüsse deutlich übertroffen. SCHUMANN (2003) gibt für die Scheitelabflüsse der Pegel Golzern 1 und Bad Düben 1 an der Vereinigten Mulde in Sachsen ein statistisches Wiederkehrintervall von ca. 200 bzw. ca. 100 Jahren an.</p> <p>Im Gegensatz zur Schwarzen Elster beeinflusste die Mulde den Hochwasserablauf in der Elbe signifikant. Angesichts der extremen Niederschläge war dies auch zu erwarten. Dass die Beeinflussung des Hochwasserablaufs in der Elbe letztlich nicht so deutlich wie befürchtet ausfiel, hatte vor allem zwei Ursachen:</p>
Hochwasserscheitel Mulde	<ul style="list-style-type: none">• Der Hochwasserscheitel der Mulde erreichte die Mündung bei Elbe-km 260 etwa 3½ Tage früher als der Scheitel der Elbe. Während der Höchststand der Mulde am Pegel Dessau-Muldebrücke (623 cm) bereits am 15. August um 10:30 Uhr registriert wurde, erreichte die Elbe ihren Höchststand am Pegel Dessau-Leopoldshafen (716 cm) erst am 18. August um 21:45 Uhr. Die Mulde konnte somit zum Zeitpunkt des Durchgangs ihres Hochwasserscheitels noch relativ frei in die Elbe abfließen (LHW, 2003).
Hochwasserablauf Mulde	<ul style="list-style-type: none">• Der Hochwasserablauf in der Mulde wurde wesentlich durch Deichbrüche und Überströmung von Deichen beeinflusst. Oberhalb des Pegels Bad Düben 1 kam es an den Mulden in Sachsen zu 110 Deichbrüchen. Unterhalb dieses Pegels wurden bis zur Mündung der Mulde weitere 15 Deichbrüche registriert (IKSE, 2004), darunter der Deichbruch, der zur unkontrollierten Flutung des Tagebaurestlochs Goitzsche bei Bitterfeld geführt hat. Infolge der Deichbrüche wurde der Hochwasserwelle der Mulde vorübergehend oder dauerhaft (Goitzsche) Wasser entzogen, was neben einer Verlangsamung des Hochwasserablaufs vor allem zu einer Reduzierung der Scheitelabflüsse führte.
	<p>Für den Pegel Bad Düben 1 gibt der Umweltfachbereich des Regierungspräsidiums Leipzig einen höchsten Tagesmittelwert von 1570 m³/s am 14. August an. Angaben zum Scheitelabfluss sind nur bedingt möglich, da es am Pegel zu einer Umflut kam, deren Größenordnung nicht bekannt ist (RP Leipzig, 2005). Während im Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch der Scheitelabfluss mit 1760 m³/s angegeben wird, gehen IKSE (2004) und SCHUMANN (2003) von einem Scheitelabfluss von 2200</p>

- Scheitelabfluss** m^3/s aus. Offenbar ist der Scheitelabfluss für den Pegel Bad Dübén 1 relativ unsicher. Trotz dieser Unsicherheit deutet der Vergleich mit dem Scheitelabfluss des 60 km flussaufwärts gelegenen Pegels Golzern 1, der durch das Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik der TU Dresden rechnerisch zu $2580 \text{ m}^3/\text{s}$ ermittelt wurde (RP Leipzig, 2005), auf eine nicht unerhebliche Scheitelreduzierung zwischen Golzern und Bad Dübén hin.
- Auch unterhalb von Bad Dübén wurde der Scheitelabfluss noch einmal beträchtlich reduziert. Am Pegel Priorau wurde am 14. August gegen 13 Uhr, ca. 7 Stunden vor Durchgang des Hochwasserscheitels, eine Abflussmessung durchgeführt. Der dabei bei einem Wasserstand von 662 cm gemessene Abfluss betrug $890 \text{ m}^3/\text{s}$ (LHW, 2003). Bis zum Scheiteldurchgang am 14. August zwischen 20 und 21 Uhr stieg der Wasserstand nur noch um ca. 20 cm auf 683 cm. Der dazugehörige Scheitelabfluss am Pegel Priorau wird mit $971 \text{ m}^3/\text{s}$ angegeben.
- Flutung Tagebaurestloch Goitzsche** Trotz der Unsicherheiten bei der Bestimmung der Scheitelabflüsse kann davon ausgegangen werden, dass die deutliche Scheitelreduzierung zwischen Bad Dübén und Priorau zu einem guten Teil Folge der unkontrollierten Flutung des Tagebaurestlochs Goitzsche gewesen ist. Nach IKSE (2004) wurden durch die Flutung des Tagebaurestlochs Goitzsche zeitweilig bis zu $400 \text{ m}^3/\text{s}$ aus der Mulde abgeleitet und der Hochwasserwelle insgesamt mehr als 90 Mio. m^3 entzogen.
- Erhöhung des Scheitelabflusses in der Elbe** In Abbildung 2-4, in der die Abflussganglinien am Pegel Priorau und an den beiden Elbpegeln Vockerode und Aken, oberhalb bzw. unterhalb der Mündung der Mulde, dargestellt werden, wird die Beeinflussung des Hochwasserablaufs in der Elbe durch die Mulde deutlich. Wie bereits in Abbildung 2-3 und Tabelle 2-3 dokumentiert, kommt es zwischen Vockerode und Aken sowohl zu einer Erhöhung des Scheitelabflusses in der Elbe als auch zu einer Zunahme der Abflussfülle. Der Zufluss aus der Mulde führt am Pegel Aken zu einer ersten Welle am 16. August mit Abflüssen über $3000 \text{ m}^3/\text{s}$. Zwischen dem Scheitel dieser Vorwelle und dem Scheitel der eigentlichen Hochwasserwelle der Elbe mit einem Scheitelabfluss von $4020 \text{ m}^3/\text{s}$ liegen etwa 63 Stunden. Nach Durchgang des Hochwasserscheitels am Pegel Aken am 19. August von 1 bis 7 Uhr liegen die Abflüsse deutlich über denen des Pegels Vockerode. Gemäß Tabelle 2-3 beträgt die Differenz der Abflussfüllen der beiden Elbpegel Aken und Vockerode 620 Mio. m^3 . Die Abflussfülle der in Abbildung 2-4 dargestellten Ganglinie am Pegel Priorau beträgt vom 4. August bis 27. September 750 Mio. m^3 . Unter Berücksichtigung des Rückhaltes im Tagebaurestsee Goitzsche von 90 Mio. m^3 (s. o.) und anderer nicht näher quantifizierbarer Rückhalte korrespondiert die Abflussfülle am Pegel Priorau sehr gut mit der Differenz der Abflussfüllen der beiden Elbpegel Aken und Vockerode.

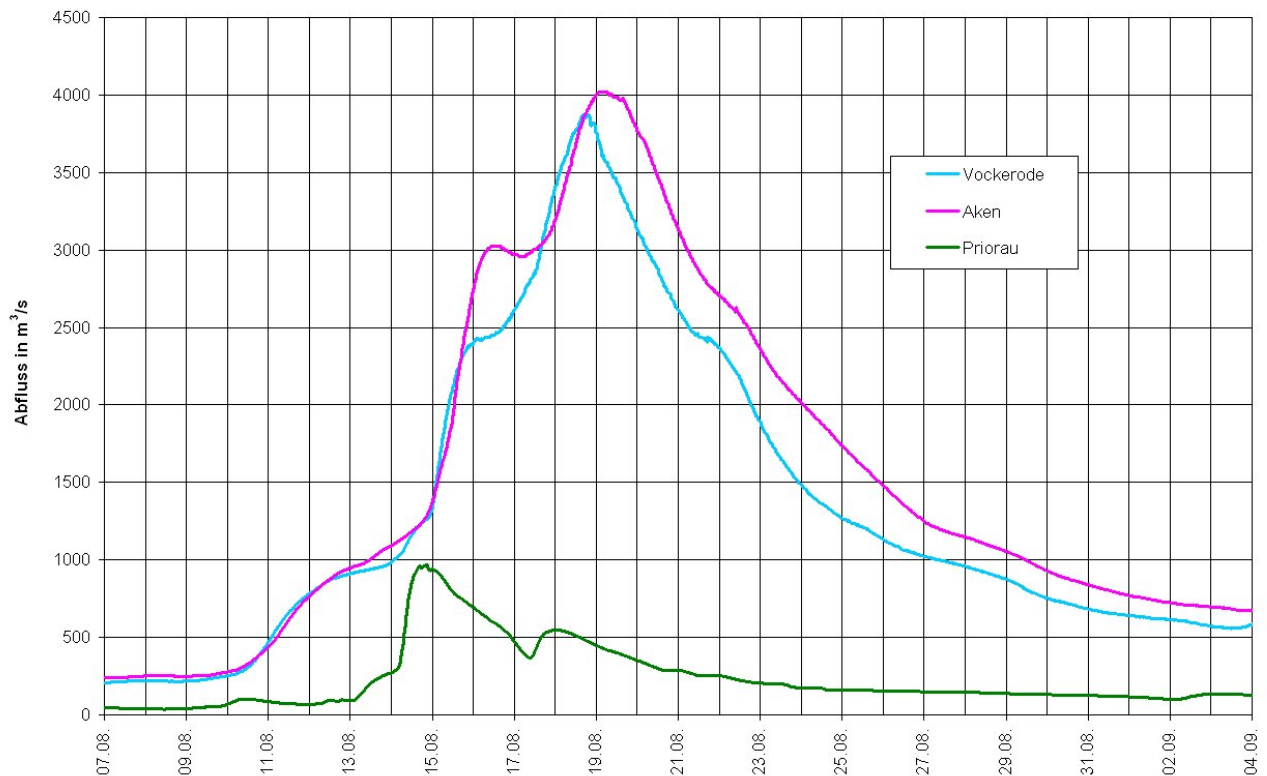


Abbildung 2-4: Abflussganglinien für die Elbpegel Vockerode und Aken und den Pegel Priorau / Mulde

Saale

Im Einzugsgebiet der Saale lag die Niederschlagssumme vom 6. bis 13. August im Bereich der monatlichen Normalwerte und damit deutlich niedriger als in den Einzugsgebieten von Mulde und Schwarzer Elster (Tabelle 2-1). Demzufolge kam es im Unterlauf der Saale nur zu einer geringen Abflusserhöhung. An den beiden Pegeln Bernburg UP und Calbe-Grizehne lagen die Scheitelabflüsse der Hochwasserwelle nur um das 1,7fache bzw. 2,6fache über dem mittleren Abfluss MQ und jeweils deutlich unter dem mittleren Hochwasserabfluss MHQ.

In Abbildung 2-5 werden die Abflussganglinien am Pegel Bernburg UP und an den beiden Elbpegeln Aken und Barby, oberhalb bzw. unterhalb der Mündung der Saale, dargestellt. Der Abflussganglinie am Pegel Bernburg UP wurde der Vorzug vor der Ganglinie am Pegel Calbe-Grizehne gegeben, da dieser Pegel bereits im Rückstaubereich der Elbe lag, so dass seine Abflusswerte fehlerbehaftet sind (BfG, 2003). Abbildung 2-5 zeigt, dass analog zur Mulde (s. o.) auch die Saale den Hochwasserablauf in der Elbe nachweisbar beeinflusste. Dieses Ergebnis ist etwas überraschend, da der Zufluss aus der Saale deutlich geringer war als der aus der Mulde. Wie bereits in Abbildung 2-3 und Tabelle 2-3 dokumentiert, kommt es zwischen Aken und Barby sowohl zu einer Erhöhung des Scheitelabflusses als auch der Abflussfülle. Gemäß Tabelle 2-3 beträgt die Differenz der Abflussfüllen der beiden Elbpegel Barby und Aken 570 Mio. m³. Die Abflussfülle der in Abbildung 2-5 dargestellten Ganglinie am Pegel Bernburg UP beträgt vom 4. August bis 27. September dagegen nur 350 Mio. m³.

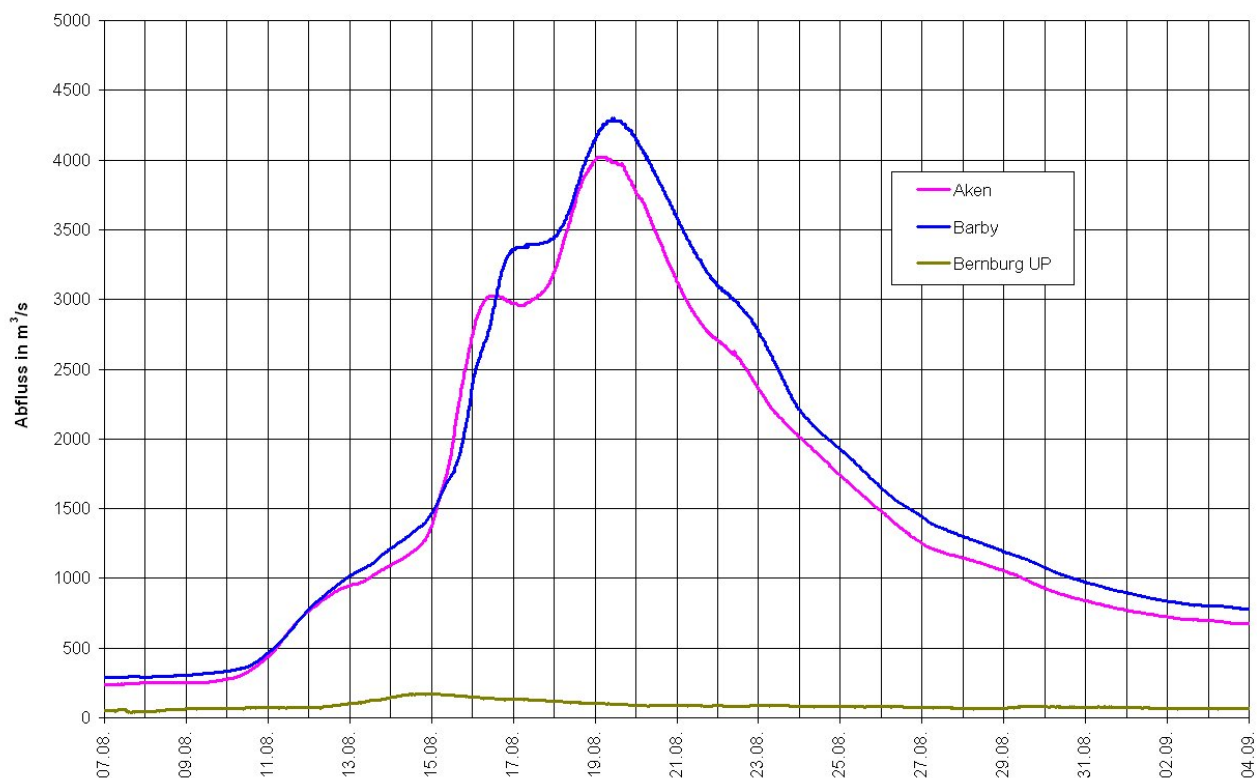


Abbildung 2-5: Abflussganglinien für die Elbpegel Aken und Barby und den Pegel Bernburg UP / Saale

2.2.3 Auswirkungen von Deichbrüchen

Deichbrüche

Eine Übersicht über die Deichbrüche entlang des deutschen Elbeabschnittes gibt Tabelle 2-4. Durch die Deichbrüche wurde der Ablauf der Hochwasserwelle in der Elbe in unterschiedlichem Maße beeinflusst. Der Grad der Beeinflussung war vor allem abhängig vom Zeitpunkt des Deichbruches (vor oder nach Durchgang des Hochwasserscheitels), von der maximalen Ableitungsmenge und dem insgesamt zurückgehaltenen Abflussvolumen, das in der Regel gut mit der überfluteten Fläche korrespondiert (Tabelle 2-4).

Beeinflussung des Wellenabflaufs durch Deichbrüche

Unter Berücksichtigung der genannten Einflussgrößen kann vor allem für den Elbeabschnitt von Dresden bis Vockerode von einer signifikanten Beeinflussung des Wellenabflaufs durch Deichbrüche ausgegangen werden. Die Abflussganglinien der Elbpegel Dresden, Torgau, Wittenberg und Vockerode in Abbildung 2-6 lassen eine deutliche Abflachung der Hochwasserwelle erkennen. Die damit einhergehende Reduzierung der Scheitelabflüsse kann Abbildung 2-3 oder Tabelle 2-3 entnommen werden. Welchen Anteil die Deichbrüche an der Scheitelreduzierung haben, kann auf Grundlage der ausgewerteten Unterlagen nicht exakt quantifiziert werden. Letztlich ist die Wellenabflachung Resultat des Zusammenwirkens der Retention auf natürlichen (nicht deichgeschützten) Flächen und auf deichgeschützten Flächen infolge Überströmung von Deichen oder Deichbrüchen. Dagegen kann eine signifikante Beeinflussung des Wellenabflaufs zwischen Dresden und Vockerode durch seitliche Zuflüsse im Prinzip ausgeschlossen werden, wie in Abbildung 2-6 am Beispiel der Schwarzen Elster, des größten Zuflusses auf diesem Elbeabschnitt, gezeigt wird.

Tabelle 2-4: Deichbrüche entlang der Elbe (IKSE, 2004)

lfd. Nr.	Deichbruchstelle		Fluss-km	Lage	Zeitpunkt	überflutete Fläche in km ²	Grund des Deichbruchs
1	Nünchritz	Sachsen	101,6	rechts	15.08. nachts	insgesamt 23,7	Erosion im Übergangsbereich Böschung/Krone infolge Einbauten
2	Röderau (Moritz / Promnitz)		105,9	rechts	16.08. 8 bis 9 Uhr		Durchströmung und innere Erosion
3-6	Oppitzsch (4 Bruchstellen)		114,2	links	19.08. nachmittags		Überströmung durch ablaufendes Wasser mit folgender rückschreitender Erosion
7-11	Zschepa / Lorenzkirch (5 Bruchstellen)		114,1 bis 114,9	rechts	16.08. 20 bis 21 Uhr		Versagen der Böschungsstand-sicherheit infolge beidseitigem Einstau
12	Cottewitz		117,1	rechts	16.08. 17 bis 20 Uhr		Erosion der Böschung infolge Bewuchs im unmittelbaren Nahbereich (sehr hohe örtliche Fließgeschwindigkeiten)
13	Dautzschen		163,2	rechts	18.08. 9:05 Uhr	214,0 ¹	Hydraulischer Grundbruch
14	Dommitzsch		172,4	links	17.08. 13:50 Uhr	3,3	Untergrundversagen
15	Sachau / Priesitz	Sachsen-Anhalt	180,0	links	18.08. gg. 18 Uhr	2,4	Überströmung mit rückschreitender Erosion
16	Pratau		214,1	links	17.08. 23:00 Uhr	8,0	Material- und Untergrundversagen, Durchströmung mit Materialaustrag; starke Durchwurzelung
17	Seegrehna		222,6	links	18.08. 16:00 Uhr	50,0	Material- und Untergrundversagen im Kreuzungsbereich eines ehemaligen Altarmes
18	Dessau-Waldersee		252,0	links	18.08. 11:00 Uhr	6,0	Material- und Untergrundversagen
19-20	Tochheim / Ronney (2 Bruchstellen)		289,0	rechts	16.08.	12,0	Überströmung mit rückschreitender Erosion
21	Magdeburg-Herrenkrug		330,0	rechts	19.08.	1,1	Überströmung mit rückschreitender Erosion

1 – davon 20,1 km² in Sachsen und 193,9 km² in Sachsen-Anhalt

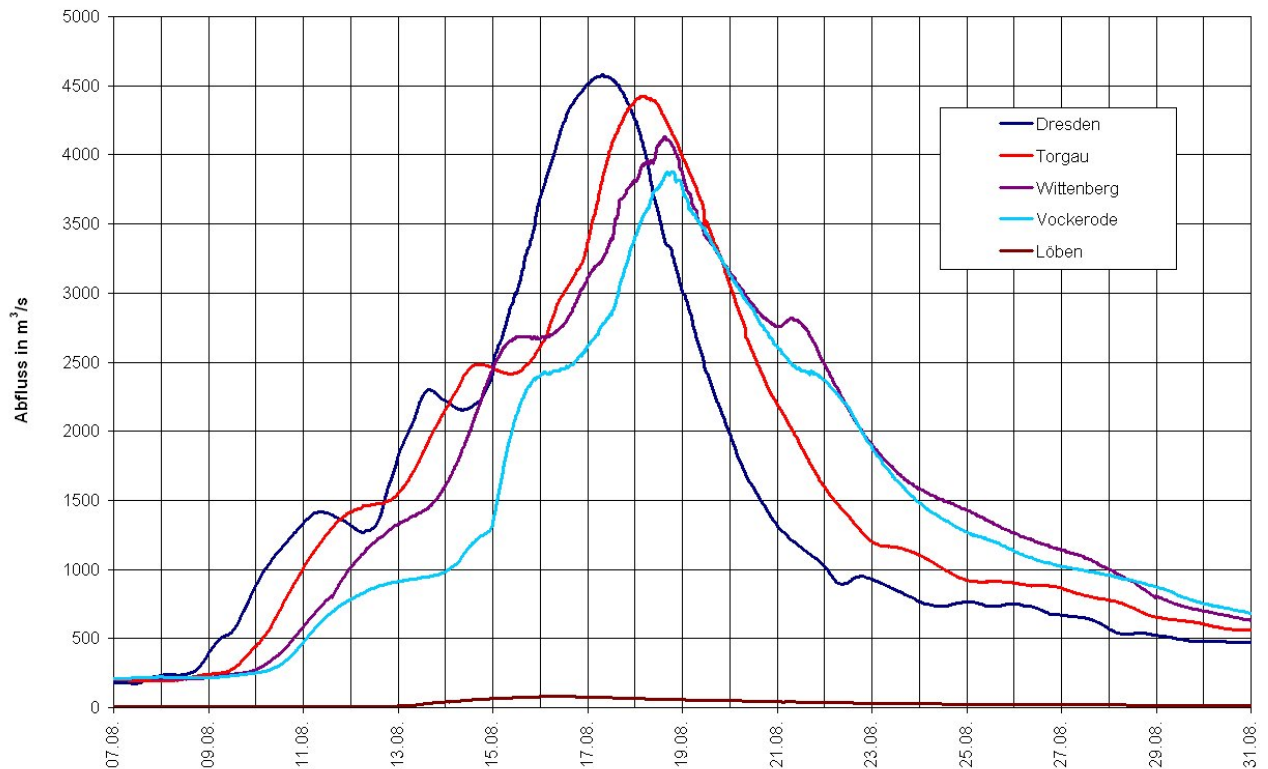


Abbildung 2-6: Abflussganglinien für die Elbpegel Dresden, Torgau, Wittenberg und Vockerode und den Pegel Löben / Schwarze Elster

Dresden bis Torgau

Zwischen Dresden und Torgau wurde der Wellenablauf durch insgesamt 12 Deichbrüche an der Elbe (Ifd. Nr. 1 bis 12 in Tabelle 2-4), Überströmungen der Elbdeiche in Dresden-Gohlis und im Landkreis Riesa-Großenhain sowie durch weitere Deichbrüche an kleineren Nebengewässern beeinflusst (IKSE, 2004). Acht der zwölf Deichbrüche an der Elbe traten vor Durchgang des Hochwasserscheitels an den Bruchstellen auf. Nur die vier Deichbrüche bei Oppitzsch ereigneten sich erst nach Durchgang des Wellenscheitels. Über das Retentionsvolumen infolge der Deichbrüche zwischen Dresden und Torgau liegen keine Angaben vor.

Torgau bis Wittenberg

Zwischen Torgau und Wittenberg wurde der Wellenablauf durch drei Deichbrüche (Ifd. Nr. 13 bis 15 in Tabelle 2-4) beeinflusst. Alle drei Deichbruchstellen lagen oberhalb der Mündung der Schwarzen Elster bei Elbe-km 198,5. Der Deichbruch bei Dommitzsch ereignete sich vor Durchgang des Hochwasserscheitels an den Bruchstellen, die Deichbrüche bei Dautzschen und Sachau-Priesitz ca. 4 bzw. 9 Stunden nach dem Scheiteldurchgang (IKSE, 2004). Abfluss mindernd haben sich alle drei Deichbrüche ausgewirkt. Eine herausragende Stellung nimmt jedoch der Deichbruch bei Dautzschen ein, durch den im Zusammenwirken mit Deichbrüchen an der Schwarzen Elster insgesamt 214 km² überflutet wurden. In IKSE (2004) wird das der Hochwasserwelle durch die drei Deichbrüche zwischen Torgau und der Elstermündung vorübergehend entzogene Abflussvolumen auf 180 Mio. m³ geschätzt. BfG (2002) und LHW (2003) geben die Retention sogar mit 300 Mio. m³ an. Die Minderung des Abflussscheitels wird in IKSE (2004) für den Pegel Pretzsch-Mauken mit 430 m³/s und für den Pegel Wittenberg je nach Berechnungsverfahren mit 380 bis 600 m³/s angegeben. Die maximale Ableitungsmenge aus der Elbe in die überfluteten Gebiete betrug am 19. August etwa 700 m³/s (IKSE, 2004).

Abbildung 2-7 zeigt für den Pegel Wittenberg die beobachtete Abflussganglinie im Vergleich mit einer Abflussganglinie, die den Wellenablauf ohne Beeinflussung von

Deichbrüchen und Deichüberströmungen repräsentiert. Diese Ganglinie wurde über Volumenbetrachtungen berechnet (IKSE, 2004). Nach dieser Berechnungsmethode beträgt die durch die Deichbrüche verursachte Minderung des Abflussscheitels $600 \text{ m}^3/\text{s}$. Dies entspricht einer Minderung des Scheitelwasserstandes am Pegel um 30 cm.

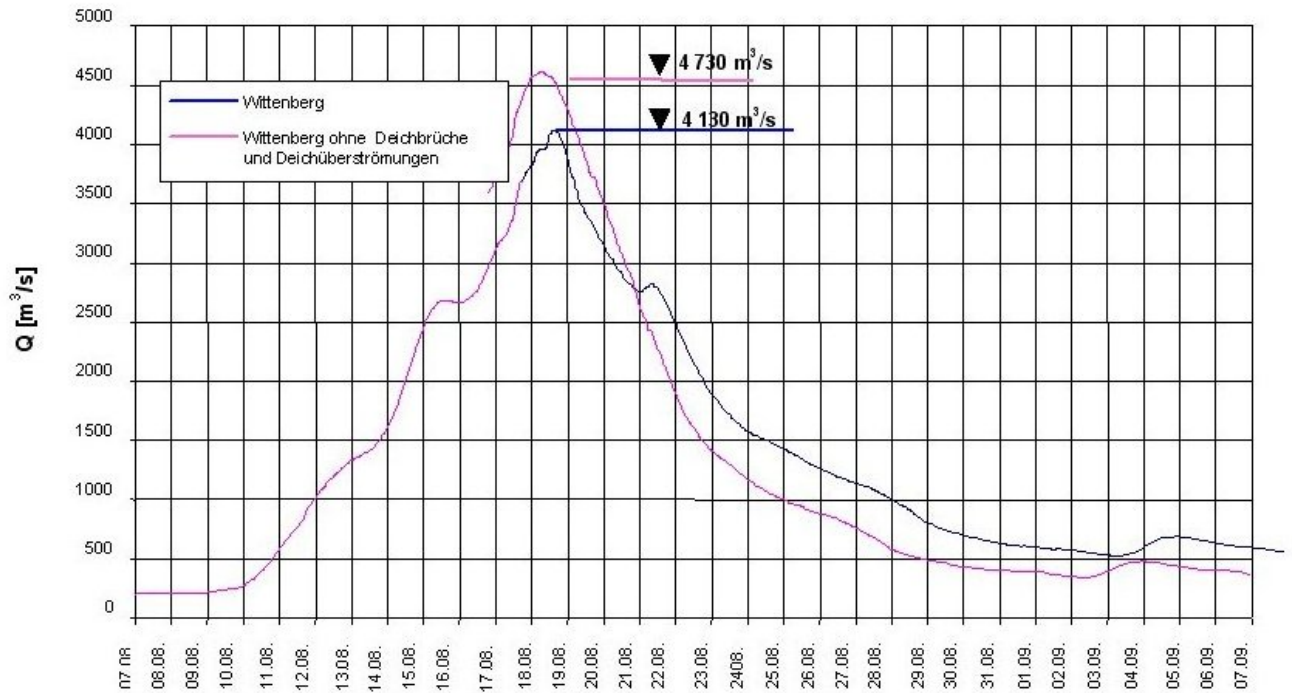


Abbildung 2-7: Vergleich der beobachteten Abflussganglinie am Pegel Wittenberg mit einer berechneten Abflussganglinie ohne Beeinflussung durch Deichbrüche und -überströmungen (IKSE, 2004)

Wittenberg bis Vockerode

Zwischen Wittenberg und Vockerode wurde der Wellenablauf durch zwei Deichbrüche (Ifd. Nr. 16 und 17 in Tabelle 2-4) beeinflusst. Die Deichbruchstelle bei Pratau lag in unmittelbarer Nähe des Pegels Wittenberg. Der Deichbruch ereignete sich hier vor Durchgang des Hochwasserscheitels. Der zweite Deichbruch bei Seegrehna fiel zeitlich etwa mit dem Scheiteldurchgang zusammen. Die beiden Deichbrüche bei Pratau und Seegrehna führten im Zusammenwirken mit der Überströmung von Deichabschnitten zu einer weiteren Abflachung der Hochwasserwelle. Zwischen den Pegeln Wittenberg und Vockerode verringerte sich der Scheitelabfluss um $260 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tabelle 2-3). Nach IKSE (2004) wurden durch die Deichlücke bei Pratau vom 17. bis 20. August etwa $100 \text{ m}^3/\text{s}$ und durch die Deichlücke bei Seegrehna ab dem 18. August etwa $200 \text{ m}^3/\text{s}$ aus der Elbe abgeleitet. BfG (2002) und LHW (2003) schätzen das der Hochwasserwelle durch die beiden Deichbrüche vorübergehend entzogene Abflussvolumen auf 120 Mio. m^3 . Ob durch die beiden Deichbrüche der Hochwasserwelle nicht nur vorübergehend, sondern dauerhaft Wasser entzogen wurde, war auf Grundlage der vorliegenden Unterlagen nicht zu klären. Die Verringerung der Abflussfülle von Wittenberg nach Vockerode (Abbildung 2-3 und Tabelle 2-3) lässt dies zwar vermuten, allerdings können auch Fehler in einer der beiden Abflussganglinien Ursache für dieses Phänomen sein.

Vockerode bis Magdeburg

Durch die vier Deichbrüche zwischen Vockerode und Magdeburg (Ifd. Nr. 18 bis 21 in Tabelle 2-4) wurde der Hochwasserablauf in der Elbe nicht nachweisbar beeinflusst (IKSE, 2004). Einen größeren Einfluss auf den Wellenablauf hatte der Elbeum-

**Deichbrüche,
entzogenes
Abfluss-
volumen**

flutkanal, der oberhalb von Schönebeck bei Elbe-km 300,7 aus der Elbe abzweigt, parallel zur Elbe verläuft und unterhalb von Magdeburg wieder in die Elbe mündet. Der Abfluss durch den Elbeumflutkanal wurde am 15. August durch das Öffnen des Pretziener Wehres aktiviert. Eine Abflussmessung zum Zeitpunkt des maximalen Wasserstandes am Wehr am 19. August ergab einen Abfluss im Elbeumflutkanal von ca. 1000 m³/s (Anlage 1-2). Das sind bezogen auf den Scheitelabfluss am Pegel Magdeburg-Strombrücke etwa 25 %. Modellbetrachtungen zeigten, dass durch den Elbeumflutkanal der Scheitelwasserstand der Elbe in Schönebeck um 70 cm und am Pegel Magdeburg-Strombrücke um 50 cm gesenkt wurde (IKSE, 2004).

Das der Hochwasserwelle durch unkontrollierte Deichbrüche und Deichüberströmungen vorübergehend entzogene Abflussvolumen wird für den deutschen Elbeabschnitt in einer eher konservativen Schätzung (IKSE, 2004) mit mindestens 300 Mio. m³ angegeben. BfG (2002) und LHW (2003) gehen sogar von einer Gesamtretention von mehr als 400 Mio. m³ aus. Unstrittig ist, dass der Hauptteil der Retention auf dem Elbeabschnitt zwischen Dresden und Vockerode wirksam wurde. Die Retention war eine wesentliche Ursache für die Abflachung der Hochwasserwelle (Abbildung 2-6) und die damit verbundene Scheitelreduzierung um 650 m³/s zwischen Dresden und Vockerode (Abbildung 2-3 und Tabelle 2-3).

2.2.4 Auswirkungen der Flutung der Havelniederung

Im Unterschied zu den unkontrollierten Deichbrüchen und Deichüberströmungen entlang der Elbe (Abschnitt 2.2.3) erfolgte die Flutung der Havelniederung kontrolliert. Die Auswirkungen dieser gesteuerten Flutung auf den Hochwasserablauf in der Elbe, die Gegenstand dieses Abschnittes sind, sind denen der Deichbrüche sehr ähnlich. Nicht Gegenstand dieses Abschnittes sind die Auswirkungen der Flutung der Havelniederung auf den Hochwasserablauf in der Havel sowie eine Analyse und Bewertung der der Flutung zugrunde liegenden Materialien und der zur Flutung eingeleiteten Maßnahmen. Diese Schwerpunkte werden in Abschnitt 3.3 bzw. in Abschnitt 2 behandelt.

**20. bis 23.
August**

Die Flutung der Havelniederung erfolgte über das Hochwasserentlastungswehr Neuwerben, das die Havel am Neuwerbener Durchstich bei Fluss-km 156,2 gegen die Elbe abriegelt (WSA, 2001). Bezogen auf die Elbe befindet sich das Wehr Neuwerben bei Elbe-km 427,7, also ca. 26 km oberhalb des Pegels Wittenberge. Zur Flutung der Havelniederung wurde das Wehr Neuwerben am 20. August 20:00 Uhr geöffnet. Bis zur Schließung des Wehres am 23. August 12:53 Uhr wurden insgesamt 32 Steuerschritte vorgenommen (SEL, 2002). Während dieses Zeitraums wurde der Hochwasserwelle der Elbe ein Abflussvolumen von ca. 75 Mio. m³ entzogen und vorübergehend im Havelschlauch und in fünf Flutpoldern gespeichert. Die maximale Ableitungsmenge aus der Elbe von 720 m³/s wurde am 21. August von 11 bis 13 Uhr erreicht (WSA, 2002).

Wie Abbildung 2-8 zeigt, wurden die Wasserstände in der Elbe durch die Flutung der Havelniederung weiträumig beeinflusst. Am deutlichsten war die Beeinflussung im unmittelbaren Umfeld des Wehres Neuwerben. Am Elbpegel Neuwerben fiel der Wasserstand innerhalb von 3 Stunden um einen halben Meter. Auch oberhalb der Havelmündung wurden die Wasserspiegellagen in der Elbe beeinflusst, wie die Ganglinie am Elbpegel Havelberg, ca. 5 km oberhalb des Elbpegels Neuwerben, zeigt. An den Pegeln unterhalb der Havelmündung kam es zeitversetzt zur Öffnung des Wehres Neuwerben zu einem Rückgang des Wasserstandes, der, je nach Entfernung zur Havelmündung, mehr oder weniger deutlich in den Wasserstandsganglinien zu erkennen ist.

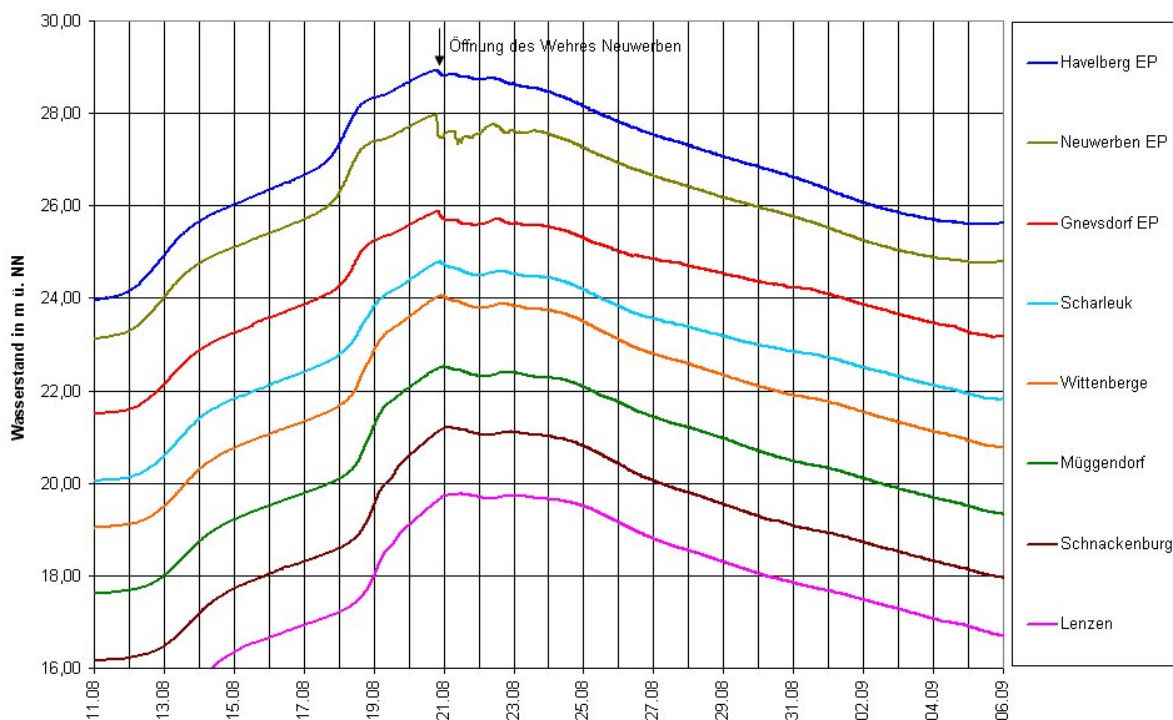


Abbildung 2-8: Wasserstandsganglinien der Elbepel von Havelberg bis Lenzen

Scheitelkappung Pegel Wittenberge

Die durch die Flutung der Havelniederung erzielte Scheitelkappung am Pegel Wittenberge wurde durch die Bundesanstalt für Gewässerkunde quantifiziert (BfG, 2002). Zu diesem Zweck wurden für den Pegel Wittenberge die Wasserstands- und Abflussganglinie für den Fall, dass die Havelniederung nicht geflutet worden wäre und auch sonst keine wasserwirtschaftlichen Maßnahmen zur Abflussreduzierung ergriffen worden wären, rekonstruiert. In Abbildung 2-9 wird die rekonstruierte (berechnete) Abflussganglinie mit der am Pegel beobachteten Abflussganglinie verglichen. Dabei können vier Phasen unterschieden werden. In Phase I, bis zum 14. August, sind beide Ganglinien identisch. Bereits in Phase II, vom 14. August bis zur Öffnung des Wehres Neuwerben am 20. August um 20 Uhr, wurde der Abfluss am Pegel Wittenberge durch die gesteuerte Rückhaltung von Havelwasser in den Haltungen bis Berlin-Spandau, mit der in erster Linie das Flutungsgebiet der unteren Havel entlastet werden sollte (vgl. Abschnitt 3.2), etwas verringert. Durch die Öffnung des Wehres Neuwerben (Beginn von Phase III) wurde der Abfluss am Pegel Wittenberge deutlich verringert. Bereits 2 Stunden nach Öffnung des Wehres Neuwerben setzte am Pegel Wittenberge der Abflussrückgang ein. Ohne Kappungsmaßnahmen wäre der Abfluss dagegen noch etwa bis zum 21. August 18 Uhr angestiegen, und zwar auf einen Scheitelabfluss von $4270 \text{ m}^3/\text{s}$. Phase IV beginnt am 26. August, wenn infolge der Entlastung der Havelniederung der Abfluss in der Elbe verglichen mit dem Zustand ohne Kappungsmaßnahmen erhöht wird.

Scheitelabfluss Pegel Wittenberge

Durch die Flutung der Havelniederung wurde der Scheitelabfluss am Pegel Wittenberge um $440 \text{ m}^3/\text{s}$, von $4270 \text{ m}^3/\text{s}$ auf $3830 \text{ m}^3/\text{s}$, verringert. Bezogen auf den Wasserstand am Pegel betrug die effektive Scheitelminderung 41 cm , von 775 cm auf 734 cm . Damit wurde erreicht, dass die Deiche an der Elbe zwischen Wittenberge und Geesthacht, die auf einen Bezugswasserstand am Pegel Wittenberge von 745 cm bemessen sind, nicht stärker als zulässig beansprucht wurden (IKSE, 2004).

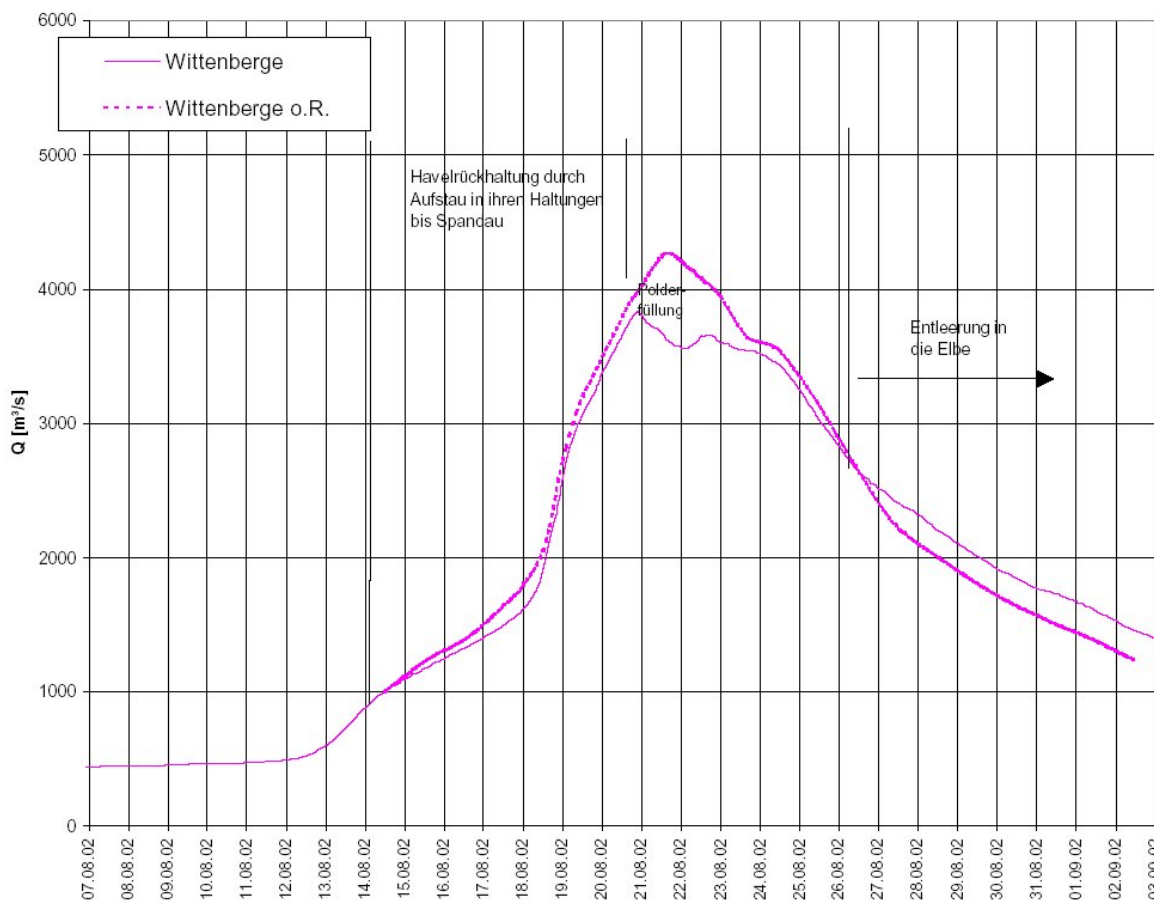


Abbildung 2-9: Vergleich der beobachteten Abflussganglinie am Pegel Wittenberge mit einer berechneten Abflussganglinie ohne Nutzung der Havelniederung als Retentionsraum (o. R.) (BfG, 2002)

2.3 Abflussmessungen während des Hochwasserereignisses

Abflussmessungen an der Elbe wurden durch verschiedene Institutionen mit unterschiedlicher Technik durchgeführt. Die am häufigsten eingesetzten Verfahren waren (BfG, 2003):

- Messung mit Messflügel, entweder von geeigneten Brücken oder vom Messschiff „Elbegrund“ der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Ost,
- Messung mit ADCP-Geräten der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) Koblenz oder des Wasser- und Schifffahrtsamtes (WSA) Brandenburg.

Unterlagen über Abflussmessungen an der Havel liegen nicht vor. An den anderen Nebenflüssen der Elbe, die im Rahmen des vorliegenden Gutachtens berücksichtigt werden (Abschnitt 1), wurden Abflussmessungen durch die Umweltbehörden der zuständigen Bundesländer durchgeführt.

Abflussmessungen Elbe

Die während des Hochwassers 2002 durchgeführten Abflussmessungen an der Elbe auf deutschem Gebiet wurden in BfG (2003) ausführlich dokumentiert. Die Übersicht über Abflussmessungen in IKSE (2004) gibt die Ergebnisse der BfG für die deutsche Elbe auszugsweise wieder und enthält darüber hinaus zusätzliche Informationen über die Ergebnisse der Abflussmessungen an der Elbe auf tschegischem Gebiet und an ausgewählten Nebenflüssen der Elbe.

**W-Q-
Beziehungen**

Die Abflussmessungen an der deutschen Elbe bildeten die Grundlage für die Überarbeitung der W-Q-Beziehungen der Pegel durch die BfG in Zusammenarbeit mit den Wasser- und Schifffahrtsämtern Dresden, Magdeburg und Lauenburg. Die überarbeiteten W-Q-Beziehungen wurden in BfG (2003) in grafischer Form als Abflusskurven und in tabellarischer Form als Abflusstafeln dokumentiert. Abbildung 2-10 und Abbildung 2-11 zeigen beispielhaft für die beiden Pegel Dresden und Neu Darchau die ursprüngliche und die aktualisierte Abflusskurve.

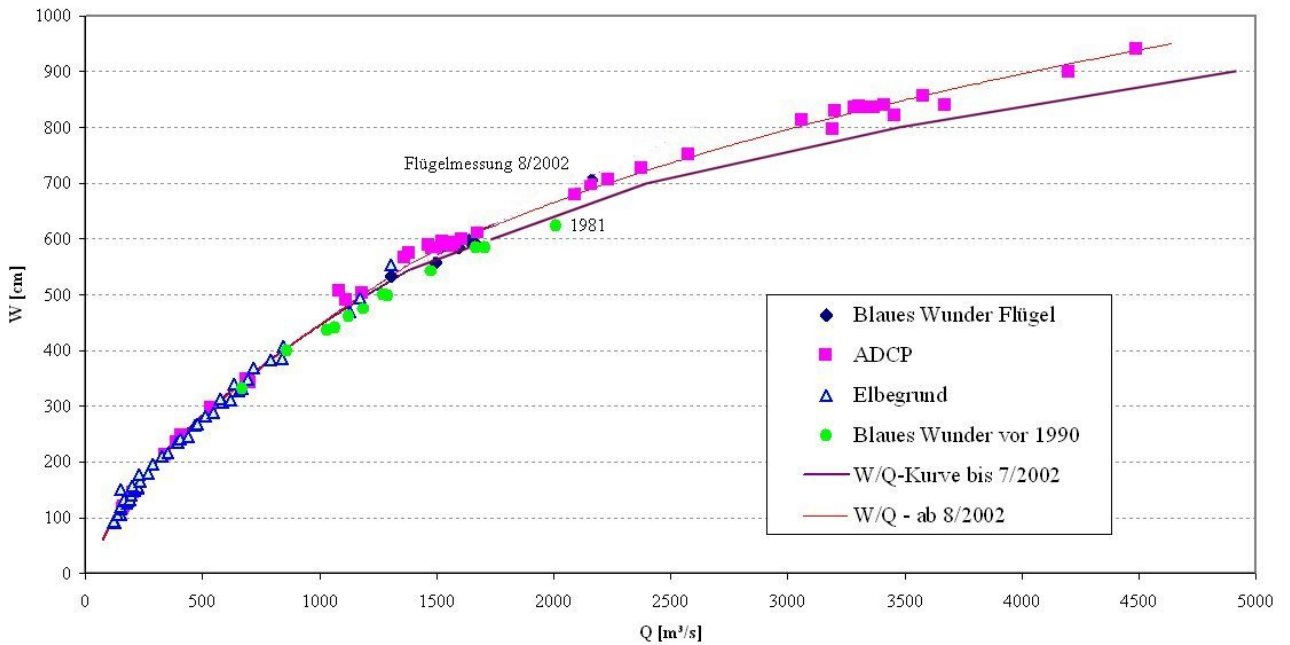


Abbildung 2-10: Abflussmessungen und W-Q-Beziehungen für den Pegel Dresden (BfG, 2003)

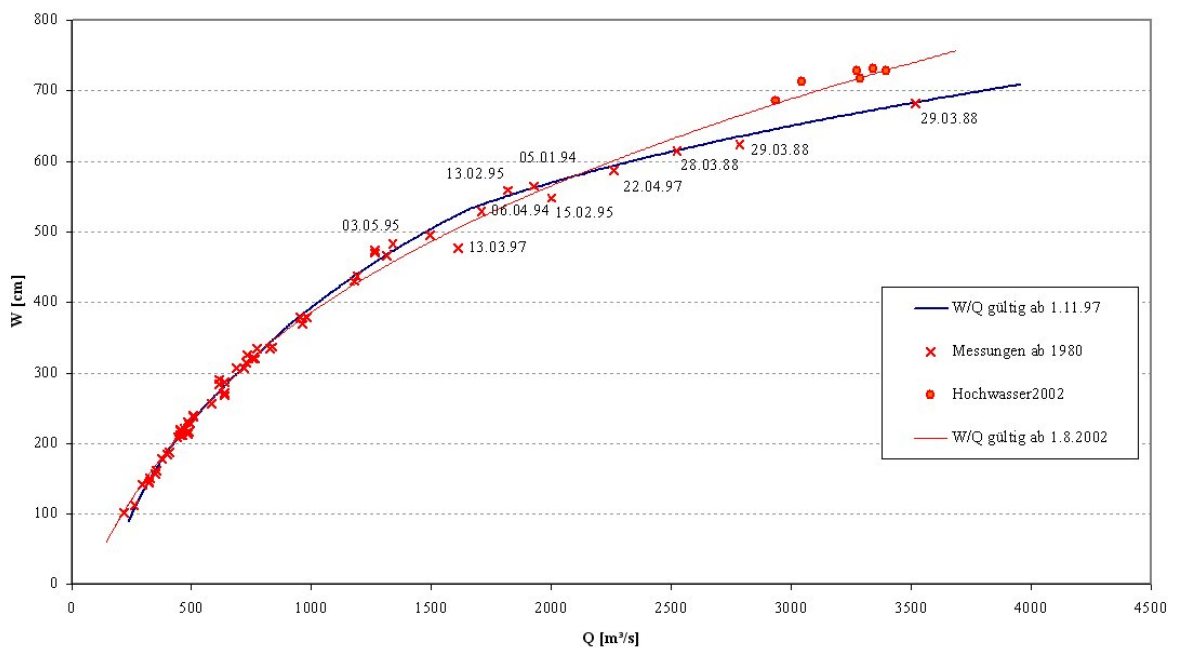


Abbildung 2-11: Abflussmessungen und W-Q-Beziehungen für den Pegel Neu Darchau (BfG, 2003)

Zuverlässigkeit W-Q- Beziehungen	<p>Wie an den Pegeln Dresden (Abbildung 2-10) und Neu Darchau (Abbildung 2-11) wurden die W-Q-Beziehungen der meisten Pegel zumindest im Hochwasserbereich geändert. Damit wurde gewährleistet, dass</p> <ul style="list-style-type: none"> • die Streuung der Messwerte um die W-Q-Beziehungen möglichst gering ist und keine systematischen Abweichungen auftreten, • mit den geänderten W-Q-Beziehungen der Wellenablauf in der Elbe plausibel nachvollzogen werden kann. <p>Werden die Ergebnisse der nach dem Hochwasser 2002 vorgenommenen Überarbeitung der W-Q-Beziehungen (BfG, 2003) mit einer vor dem Hochwasser 2002 getroffenen Einschätzung von NESTMANN und BÜCHELE (2002) zur Zuverlässigkeit der Abflusszeitreihen an den einzelnen Pegeln verglichen, so fällt auf, dass die W-Q-Beziehungen selbst für Pegel, die von NESTMANN und BÜCHELE (2002) als sehr zuverlässig eingeschätzt wurden (so genannte Leitpegel), im Hochwasserbereich relativ stark geändert wurden, z. B. für die Pegel Dresden und Neu Darchau. An beiden Pegeln liegt der dem Scheitelwasserstand im August 2002 mit Hilfe der aktualisierten W-Q-Beziehung zugeordnete Scheitelabfluss um ca. 1000 m³/s unter dem Scheitelabfluss, der sich nach der bis Juli 2002 gültigen W-Q-Beziehung ergeben hätte. Ebenfalls in Richtung kleinerer Abflüsse im Hochwasserbereich wurden die W-Q-Beziehungen an den Pegeln Wittenberg, Aken, Barby und Tangermünde geändert. Auf Grund fehlender Abflussmessungen während des Hochwassers 2002 erfolgte die Korrektur für die Pegel Aken und Barby entsprechend der Abflussbilanz. An den Pegeln Torgau, Magdeburg-Strombrücke und Magdeburg-Rothensee wurden die W-Q-Beziehungen im Hochwasserbereich in Richtung größerer Abflüsse geändert. Die W-Q-Beziehung für den Pegel Wittenberge wurde durch die Abflussmessungen während des Hochwassers 2002 bestätigt. Für den Pegel Vockerode war es erst durch die Abflussmessungen im August 2002 möglich, eine W-Q-Beziehung auch für den Hochwasserbereich aufzustellen (BfG, 2003).</p>
Anlage 2	<p>In Anlage 1-2 werden die für dieses Gutachten relevanten Informationen zu den Abflussmessungen an der Elbe und ihren Nebengewässern aus BfG (2003) und IKSE (2004) zusammengefasst und durch eigene Auswertungen ergänzt. Die Anlage enthält Informationen zum Wasserstand (W) während der Abflussmessung, zum gemessenen Abfluss (Q) und zur gemessenen mittleren Fließgeschwindigkeit (v_m) sowie zum angewendeten Messverfahren (Flügelmessung oder ADCP). Außerdem werden zu jeder Messung das Datum und - soweit in den Quellen genannt - die Uhrzeit der Messung angegeben. Für die Elbpegel, für die überarbeitete Abflusstafeln vorliegen, wurden mit Hilfe der Tafeln die zu den Wasserständen während der Abflussmessungen gehörenden Abflusswerte (Q_{Tafel}) ermittelt. Die letzten beiden Spalten der Tabelle in Anlage 1-2 geben Auskunft über die absoluten und relativen Differenzen zwischen den messtechnisch unter instationären Bedingungen ermittelten Abflüssen und den theoretischen Abflüssen entsprechend den stationären W-Q-Beziehungen.</p>
ADCP-Geräte	<p>Während die Abflussmessungen an den Nebenflüssen der Elbe ausschließlich mit Hilfe von Messflügeln erfolgten, wurden die Abflüsse der Elbe häufig auch mit ADCP-Geräten gemessen (Anlage 1-2). ADCP sind Ultraschall-Doppler-Geräte für die tiefengemittelte Messung von 3D-Strömungsgeschwindigkeiten. Da eine ADCP-Messung binnen weniger Minuten durchgeführt werden kann, sind in Anlage 1-2 zu den Messungen auch häufig die Uhrzeiten angegeben.</p>
Abflussmes- sungen Dres- den	<p>Von den insgesamt 30 in Dresden während des Hochwassers 2002 durchgeführten Abflussmessungen werden in Anlage 1-2 die Ergebnisse von 13 ausgewählten Abflussmessungen mitgeteilt. Eine vollständige Übersicht über alle in Dresden durchgeführten Abflussmessungen enthält BfG (2003). Bemerkenswert bei den Abflussmessungen in Dresden ist, dass die Ergebnisse, wie theoretisch zu erwarten (DYCK u. a., 1980), tatsächlich einer Abflussschleife folgen. Folgerichtig sind vor dem Durchgang</p>

**Abflussmessstellen
Magdeburg**

des Hochwasserscheitels am 17. August gegen 7:45 Uhr die gemessenen Abflüsse in der Regel höher als die theoretischen Abflüsse entsprechend der stationären W-Q-Beziehung, während nach dem Durchgang des Hochwasserscheitels die gemessenen Abflüsse in der Regel unter den stationären Abflüssen liegen. Allerdings ist Dresden die einzige Messstelle an der Elbe, an der sich dieser Effekt mit Hilfe der vorliegenden Abflussmessungen sicher nachweisen lässt.

Ergänzend zu den beiden Abflussmessstellen in Magdeburg wurden in Anlage 1-2 auch die Ergebnisse der Abflussmessungen am Elbeumflutkanal in Heyrothsberge angegeben. Die für die Abflussmessstellen Magdeburg-Strombrücke und Magdeburg-Rothensee in Anlage 1-2 angegebenen Abflüsse schließen die im Elbeumflutkanal gemessenen Abflüsse ein. Für den 20. August, an dem keine Abflussmessung im Elbeumflutkanal durchgeführt werden konnte, wurde der Abfluss im Elbeumflutkanal auf 900 m³/s geschätzt (BfG, 2003).

Die Differenzen zwischen den gemessenen Abflüssen Q und den Abflüssen lt. Abflusstafel Q_{Tafel} liegen in der Regel unter 10 %. Vereinzelt ergeben sich höhere Abweichungen, z. B. an den Pegeln Tangermünde und Wittenberge. Ähnlich hohe Abweichungen ergaben sich mit der überarbeiteten Abflusstafel aus BfG (2003) ursprünglich auch für den Pegel Magdeburg-Rothensee. Nach Rücksprache mit dem WSA Magdeburg wurde die Abflusstafel für den Pegel Magdeburg-Rothensee vom WSA und der BfG korrigiert, so dass jetzt die mit dieser Tafel ermittelten Abflüsse gut mit den gemessenen Abflüssen korrespondieren (Anlage 1-2).

Weiterführende Aussagen zur Plausibilität der W-Q-Beziehungen enthält Abschnitt 2.4.3. Dort werden auch Vorschläge für notwendige Überprüfungen einzelner W-Q-Beziehungen gemacht.

2.4 Vergleich des Hochwasserverlaufs mit denen der Ereignisse 1954, 1981, 1988 und 2003

2.4.1 Scheitelabflüsse im Längsschnitt der Elbe

**Vergleich Abflussscheitel
Elbe**

In Abbildung 2-12 werden die Abflussscheitel des Hochwassers 2002 mit denen der Hochwasser 1954, 1981, 1988 und 2003 verglichen. Da die Abflussdaten für die Referenzhochwasser nur als Tagesmittelwerte vorlagen, wurden die Abflussscheitel für alle betrachteten Hochwasser, auch für das Hochwasser 2002, auf Grundlage von Tagesmittelwerten ermittelt. Mit dieser methodisch einheitlichen Vorgehensweise wurde die Vergleichbarkeit der einzelnen Hochwasser gewährleistet.

Auswirkung der Mittelbildung auf Scheitelabflüsse

Die auf Grundlage von Tagesmittelwerten ermittelten Scheitelabflüsse sind zwangsläufig etwas geringer als „echte“ Scheitelabflüsse, die auf Grundlage von zeitlich hoch aufgelösten Werten ermittelt werden. Zur Veranschaulichung des Unterschiedes zu den „echten“ Scheitelabflüssen werden in Abbildung 2-12 für das Hochwasser 2002 auch die auf Grundlage der Viertel-Stunden-Werte ermittelten Scheitelabflüsse dargestellt (gestrichelte blaue Linie). Die Differenzen zwischen den auf der Grundlage von Tagesmittelwerten und von Viertel-Stunden-Werten ermittelten Scheitelabflüssen liegen zwischen 11 m³/s am Pegel Neu Darchau und 252 m³/s am Pegel Magdeburg-Rothensee. Das sind maximal 6 %.

Scheitelabflüsse Hochwasser 2002

Der Vergleich der Scheitelabflüsse in Abbildung 2-12 verdeutlicht die herausragende Rolle des Hochwasserereignisses 2002 für die Obere Elbe und die Mittlere Elbe bis zur Mündung der Mulde. Die Scheitelabflüsse des Hochwassers 2002 liegen für die Pegel Dresden, Torgau und Wittenberg deutlich, d. h. mindestens 2000 m³/s in Dresden bis 1500 m³/s in Wittenberg, über den Scheitelabflüssen der Referenzhochwasser. Erst unterhalb der Mündung der Mulde nähern sich die Scheitelabflüsse der Referenzhochwasser denen des Hochwassers 2002. Ursache dafür ist, dass sich bei den Referenzhochwassern die Zuflüsse aus Mulde und Saale deutlich Scheitel er-

höhend auswirkten, während dieser Effekt beim Hochwasser 2002 auch auf Grund der zahlreichen Deichbrüche (Abschnitt 2.2.3) ausblieb. Am Pegel Barby ist der Scheitelabfluss des Hochwassers 1954 praktisch identisch mit dem des Hochwassers 2002. Am Pegel Neu Darchau wurden 1981 und 1988 sogar etwas höhere Scheitelabflüsse beobachtet als 2002.

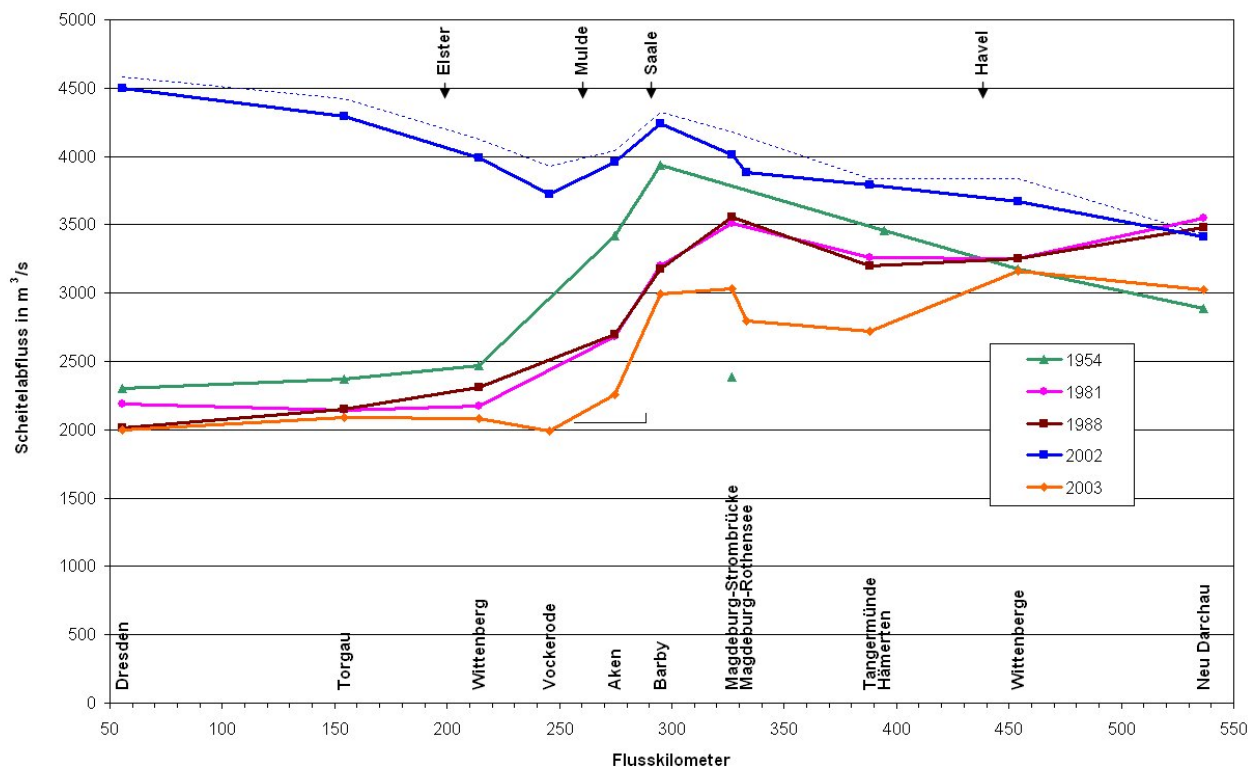


Abbildung 2-12: Vergleich der Scheitelabflüsse in der Elbe für ausgewählte Hochwasserereignisse

Hochwasser 1954

Das Hochwasser 1954 wurde wie das Hochwasser 2002 durch mehrtägige sommerliche Starkniederschläge ausgelöst. Ähnlich wie 2002 war auch 1954 das Muldegebiet besonders betroffen. Hier fielen in einem Zeitraum von 6 Tagen, vom 7. bis 13. Juli 1954, in den Oberläufen der Freiburger und Zwickauer Mulde flächendeckend mehr als 200 mm Niederschlag. Vor allem im westlichen Erzgebirge waren die Niederschläge in diesem Zeitraum gebietsweise auch höher als 300 mm (BÖER u. a., 1959). Für das Einzugsgebiet der Mulde bis zum Pegel Golzern ($A_e = 5434 \text{ km}^2$) wird von BÖER u. a. (1959) eine 6-Tage-Niederschlagssumme von 217 mm angegeben, ein Wert, der fast identisch mit der Summe der Hochwasser auslösenden Niederschläge 2002 (Tabelle 2-1) ist. Die Niederschläge 1954 führten an den Pegeln der Zwickauer und Vereinigten Mulde zu den bis dahin höchsten beobachteten Scheitelabflüssen, die erst durch das Hochwasser 2002 übertroffen wurden. Für den Pegel Bad Dübener See z. B. wird der Scheitelabfluss des 1954er Hochwassers mit $1920 \text{ m}^3/\text{s}$ angegeben.

Mulde

Im Gegensatz zum Hochwasser 2002, als der Hochwasserscheitel der Mulde die Mündung in die Elbe etwa $3\frac{1}{2}$ Tage früher erreichte als der Scheitel der Elbe (Abschnitt 2.2.2), lagen 1954 an der Muldemündung zwischen dem Eintreffen des Scheitels der Mulde und der Elbe nur etwa 30 bis 40 Stunden. Nach BÖER u. a. (1959) erreichte der Scheitel der Mulde die Elbe in der Nacht vom 12. zum 13. Juli, während am Pegel Roßlau/Elbe, unmittelbar oberhalb der Muldemündung, der Scheitel am 14. Juli zwischen 5 und 17 Uhr eintrat. Durch den relativ kurzen Ab-

Saale	<p>stand zwischen beiden Wellenscheiteln kam es zu einer deutlichen Scheitelerhöhung in der Elbe unterhalb der Mündung der Mulde. Der Scheitelabfluss des Hochwassers 1954 lag in Aken um $950 \text{ m}^3/\text{s}$ höher als in Wittenberg (Abbildung 2-12).</p> <p>Auch durch den Zufluss aus der Saale kam es 1954, anders als 2002, zu einer Scheitelerhöhung in der Elbe. Die Saale führte infolge des enormen Zuflusses aus der Weißen Elster ein Hochwasser über MHQ. BÖER u. a. (1959) geben den Scheitelabfluss in der Saale am Pegel Bernburg UP mit $344 \text{ m}^3/\text{s}$ ($1,1 \times \text{MHQ}$) und am Pegel Calbe-Grizehne mit $440 \text{ m}^3/\text{s}$ ($1,2 \times \text{MHQ}$) an. Da der Hochwasserscheitel der Saale die Mündung in die Elbe nur wenige Stunden nach dem Durchgang des Scheitels der Elbe erreichte (BÖER u. a., 1959), kann durch den Zufluss aus der Saale der größte Teil des Anstiegs des Scheitelabflusses in der Elbe von Aken bis Barby um ca. $500 \text{ m}^3/\text{s}$ (Abbildung 2-12) erklärt werden. Möglicherweise ist auch der Scheitelabfluss für Barby von $3940 \text{ m}^3/\text{s}$, der der übergebenen Abflussganglinie entnommen wurde, etwas zu hoch. BÖER u. a. (1959) geben den Scheitelabfluss für Barby nur mit $3800 \text{ m}^3/\text{s}$ an und kennzeichnen diesen Wert außerdem als unsicher.</p>
Elbeumflutkanal	<p>Der für den Pegel Magdeburg-Strombrücke zum Hochwasser 1954 in Abbildung 2-12 dargestellte Scheitelabfluss von $2390 \text{ m}^3/\text{s}$, der der übergebenen Abflussganglinie entnommen wurde, wurde nicht zur Konstruktion des Abflusslängsschnittes für das Hochwasser 1954 verwendet, da er verglichen mit den Scheitelabflüssen der Nachbarpegel Barby ($3940 \text{ m}^3/\text{s}$) und Hämerten ($3460 \text{ m}^3/\text{s}$) nicht plausibel ist. Es wird vermutet, dass der Scheitelabfluss für den Pegel Magdeburg-Strombrücke nicht den Abflussanteil über den Elbeumflutkanal berücksichtigt. Gestützt wird diese Vermutung durch die Untersuchungen von NESTMANN und BÜCHELE (2002) zur Zuverlässigkeit der Abflusszeitreihen an den Elbpegeln. Wird der von BÖER u. a. (1959) angegebene maximale Abfluss im Elbeumflutkanal von $860 \text{ m}^3/\text{s}$ zum Scheitelabfluss am Pegel Magdeburg-Strombrücke addiert, so ergibt sich ein Gesamtabfluss für Magdeburg von $3250 \text{ m}^3/\text{s}$. Dieser Wert liegt zumindest in einer plausiblen Größenordnung. Damit wären zum Scheiteldurchgang 1954 ebenso wie 2002 (Abschnitt 2.2.3) etwa 25 % des Gesamtabflusses der Elbe über den Elbeumflutkanal abgeflossen.</p> <p>Unterhalb von Magdeburg wurde der Wellenablauf in der Elbe 1954 durch seitliche Zuflüsse kaum beeinflusst. Mit Ausnahme des Alands führten die Nebenflüsse der Elbe kein Hochwasser (BÖER u. a., 1959). Die Havel als wichtigster Nebenfluss wurde vom 13. bis 24. Juli durch das Schließen des Wehres Quitzöbel (KÖRNER, 1955) komplett gegen die Elbe abgeriegelt. Zur Abflachung der Hochwasserwelle und zur damit verbundenen deutlichen Scheitelreduzierung zwischen Barby und Neu Darchau während des Hochwassers 1954 haben nach BÖER u. a. (1959) die ausgedehnten Überflutungen von Vorländern und Flächen, die nur durch Sommerdeiche geschützt waren, sowie der Mündungsgebiete einiger Nebenflüsse beigetragen (siehe dazu auch Abschnitt 2.4.2).</p>
Frühjahrs- hochwasser 1981 und 1988	<p>Die beiden maßgebend durch Schneeschmelze ausgelösten <u>Frühjahrshochwasser 1981 und 1988</u> zeigen bezüglich der Scheitelabflüsse ein sehr ähnliches Längsschnittverhalten. In beiden Jahren bewirkten Mulde und Saale eine deutlich Erhöhung der Scheitelabflüsse in der Elbe. 1981 führte die Vereinigte Mulde ein etwa 10 bis 20jähriges Hochwasser. Am Pegel Bad Dübener See wurde ein Scheitelabfluss von $1020 \text{ m}^3/\text{s}$ beobachtet. Der Abfluss in der Saale war nicht so hoch. Der Scheitelabfluss am Pegel Bernburg UP lag mit $462 \text{ m}^3/\text{s}$ aber über MHQ (= $313 \text{ m}^3/\text{s}$). 1988 führte die Vereinigte Mulde nur ein mittleres Hochwasser. Mit $449 \text{ m}^3/\text{s}$ lag der Scheitelabfluss am Pegel Bad Dübener See knapp unter MHQ ($475 \text{ m}^3/\text{s}$). Der Abfluss in der Saale war etwa so hoch wie 1981. Am Pegel Bernburg UP betrug der Scheitelabfluss $465 \text{ m}^3/\text{s}$. Nicht plausibel erklärt werden kann bei den Hochwassern 1981 und 1988 der Scheitelanstieg zwischen Barby und Magdeburg-Strombrücke. Die Anstiegsbeträge von ca. 300 bzw. $400 \text{ m}^3/\text{s}$ deuten vielmehr auf Unstimmigkeiten zwischen den damals an diesen Pegeln gültigen W-Q-Beziehungen hin. Bemerkenswert</p>

ist bei beiden Hochwassern auch der Anstieg der Scheitelabflüsse zwischen Wittenberge und Neu Darchau um ca. 300 bzw. 200 m³/s, der dazu führt, dass die Scheitelabflüsse in Neu Darchau für beide Hochwasser höher sind als der des Hochwassers 2002.

Winterhochwasser 2003

Das jüngste ausgewertete Hochwasser, das Winterhochwasser 2003, zeigt ein Längsschnittverhalten, das dem der beiden Frühjahrshochwasser 1981 und 1988 durchaus ähnlich ist. Mit Ausnahme des Flussabschnittes von Dresden bis Wittenberg sind die Scheitelabflüsse aber deutlich niedriger als 1981 und 1988. Im Gegensatz zu den Hochwassern 1981 und 1988 kommt es 2003 durch den Zufluss aus der Mulde (max. ca. 450 m³/s am Pegel Bad Düben 1) nur zu einer geringen Scheitelerhöhung in der Elbe. Dagegen führt der Zufluss aus der Saale (max. ca. 520 m³/s am Pegel Bernburg UP) zu einem kräftigen Anstieg des Scheitelabflusses in der Elbe zwischen Aken und Barby. Der Rückgang des Scheitelabflusses zwischen Magdeburg-Strombrücke und Magdeburg-Rothensee ist hydrologisch nicht plausibel interpretierbar (siehe dazu auch Abschnitt 2.4.3).

2.4.2 Scheitellaufzeiten im Längsschnitt der Elbe

Von BÖER u. a. (1959) werden zum Hochwasser 1954 stundengenaue Scheitellaufzeiten angegeben. Für die Elbpegel mit Abflussbeobachtungen werden in Abbildung 2-13 die auf den Pegel Dresden bezogenen Scheitellaufzeiten des Hochwassers 1954 mit denen des Hochwassers 2002 (Tabelle 2-3) verglichen.

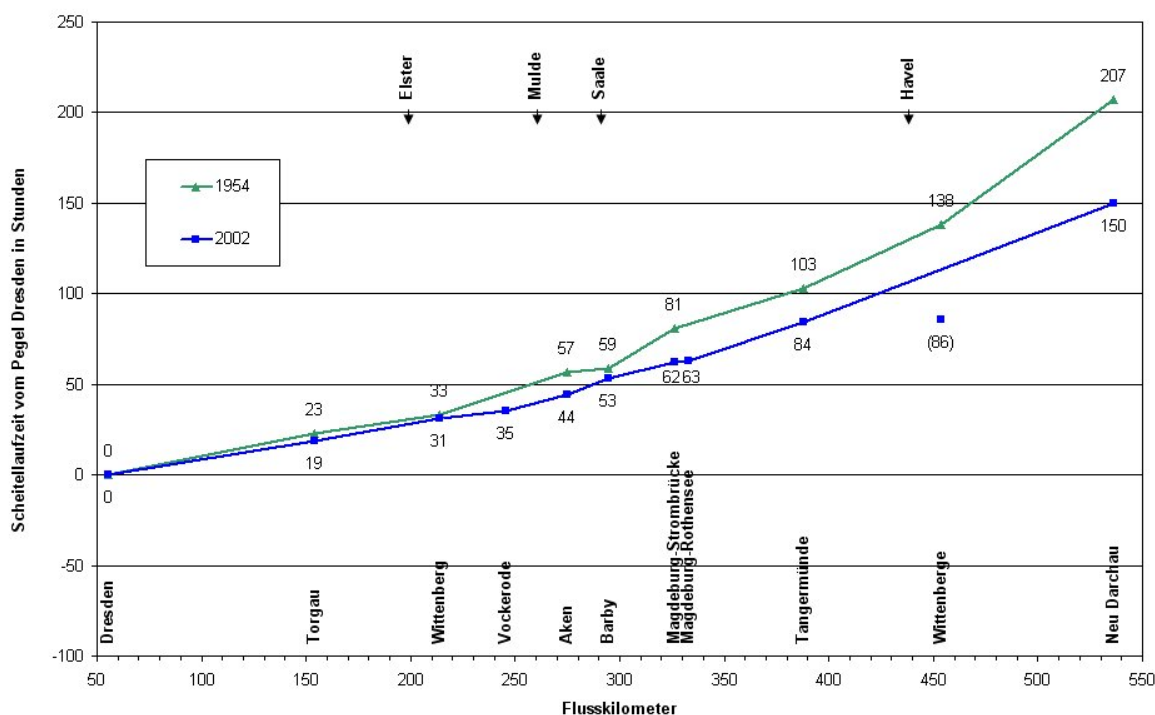


Abbildung 2-13: Vergleich der Scheitellaufzeiten in der Elbe für die Hochwasserereignisse 1954 und 2002

Scheitellaufzeiten Hochwasser 2002

Bis zum Pegel Wittenberg liegen die Scheitellaufzeiten des Hochwassers 2002 nur geringfügig unter denen des Hochwassers 1954. Unterhalb des Pegels Wittenberg werden die Differenzen allmählich größer. Die Differenzen zwischen den Laufzeiten 1954 und 2002 betragen am Pegel Aken bereits 13 Stunden, an den Pegeln Magdeburg-Strombrücke und Tangermünde je 19 Stunden, und am Pegel Neu Darchau

57 Stunden. Die kurzzeitige Verringerung des Laufzeitunterschiedes am Pegel Barby sollte nicht überinterpretiert werden. Ursache für die sehr kurze Laufzeit 1954 zwischen Aken und Barby von nur 2 Stunden für eine immerhin 20 km lange Fließstrecke können Überlagerungseffekte an der Saalemündung sein. Da die Scheiteleintrittszeit 2002 am Pegel Wittenberge durch die Flutung der Havelniederung beeinflusst wurde, ist die rechnerische Laufzeit von Dresden nach Wittenberge von 86 Stunden nicht repräsentativ für den Wellenablauf. Der entsprechende Datenpunkt wurde deshalb in Abbildung 2-13 nicht in die Laufzeitkurve für das Hochwasser 2002 eingebunden. Die Frage, ob 2002 durch die Flutung der Havelniederung auch die Scheiteleintrittszeit am Pegel Neu Darchau beeinflusst wurde, kann auf Grundlage der vorliegenden Unterlagen nicht beantwortet werden. Der Datenpunkt für den Pegel Neu Darchau wurde deshalb in die Laufzeitkurve für das Hochwasser 2002 eingebunden.

**Scheitel-
geschwindig-
keiten**

Aus den Scheitellaufzeiten der Abbildung 2-13 lassen sich Scheitelgeschwindigkeiten ableiten. Die mittlere Scheitelgeschwindigkeit von Dresden nach Neu Darchau beträgt für das 1954er Hochwasser 2,3 km/h und für das 2002er Hochwasser 3,2 km. Zwischen Dresden und Wittenberg liegt die Scheitelgeschwindigkeit für das Hochwasser 1954 bei 5,5 km/h und für das Hochwasser 2002 bei 5,8 km/h. Die niedrigste Scheitelgeschwindigkeit für das Hochwasser 1954 zwischen Wittenberge und Neu Darchau beträgt 1,2 km/h. Für das Hochwasser 2002 liegt die Scheitelgeschwindigkeit nicht unter 2,2 km/h.

**Scheitellauf-
zeiten**

Für die Hochwasser 1981, 1988 und 2003 lassen sich auf Grundlage der Tagesmittelwerte Scheitellaufzeiten allenfalls für lange Fließstrecken mit einiger Sicherheit ableiten:

- Zwischen Dresden und Tangermünde liegen die Scheitellaufzeiten für die Hochwasser 1981 und 1988 bei 4 Tagen und für das Hochwasser 2003 bei 4 bis 5 Tagen. Die Scheitellaufzeiten zwischen Dresden und Tangermünde liegen damit für alle drei Hochwasser im Bereich der Scheitellaufzeit für das Hochwasser 1954 von 103 Stunden. Die Scheitellaufzeit für das Hochwasser 2002 von 84 Stunden ist etwas geringer als die der anderen Hochwasser.
- Zwischen Dresden und Wittenberge liegen die Scheitellaufzeiten für die Hochwasser 1981 und 1988 bei 5 Tagen und für das Hochwasser 2003 bei 5 bis 6 Tagen. Die Scheitellaufzeiten zwischen Dresden und Wittenberge liegen damit für alle drei Hochwasser etwas unter der Scheitellaufzeit für das Hochwasser 1954 von 138 Stunden. Ein Vergleich mit dem Hochwasser 2002 ist auf Grund der Beeinflussung der Scheiteleintrittszeit am Pegel Wittenberge durch die Flutung der Havelniederung nicht möglich.
- Zwischen Dresden und Neu Darchau betragen die Scheitellaufzeiten für das 1981er und 1988er Hochwasser 6 Tage und für das 2003er Hochwasser 7 Tage. Die Scheitellaufzeiten zwischen Dresden und Neu Darchau liegen damit für alle drei Hochwasser im Bereich der Scheitellaufzeit für das Hochwasser 2002 von 150 Stunden. Die Scheitellaufzeit zwischen Dresden und Neu Darchau für das Hochwasser 1954 von 207 Stunden ist dagegen deutlich höher.

Der einfache Vergleich mit den Hochwassern 1981, 1988 und 2003 verdeutlicht, dass die hohe Scheitellaufzeit von Dresden nach Neu Darchau für das Hochwasser 1954 in erster Linie Folge eines verzögerten Wellenablaufs zwischen Tangermünde und Neu Darchau war. Der Schwerpunkt der Verzögerung lag auf dem Flussabschnitt von Wittenberge nach Neu Darchau. Für die 82,6 km lange Fließstrecke von Wittenberge nach Neu Darchau benötigte der Wellenscheitel 1954 fast 3 Tage (69 Stunden) und damit mindestens 1½ Tage mehr als 1981, 1988 oder 2003.

Nach PÜTTMER (1990) führte der Verlust an Retentionsräumen unterhalb von Tangermünde zu einer Beschleunigung der Hochwasserwellen. Eine plausible Erklärung für die beträchtlichen Laufzeitunterschiede zwischen dem Hochwasser 1954 und

Verlust an Retentionsräumen

den späteren Hochwasserereignissen ist insbesondere der Verlust an natürlicher Retentionsfläche infolge der Abriegelung einiger Nebenflussniederungen, die 1954 noch zum Überschwemmungsgebiet der Elbe gehört haben (Abbildung 2-14). Tabelle 2-5 enthält eine entsprechende Übersicht. Danach beträgt der durch die Abriegelung von Karthane (einschließlich Stepenitz), Aland und Löcknitz verursachte Gesamtverlust an potenzieller Retentionsfläche zwischen 1954 und 2002 etwa 240 km². Bei den beiden Hochwassern 1981 und 1988 waren davon bereits 165 km² vom Überschwemmungsgebiet der Elbe abgekoppelt.

Tabelle 2-5: Nebenflüsse der Elbe zwischen der Havelmündung und Neu Darchau, deren Niederungen seit 1954 durch Absperrbauwerke vom Überschwemmungsgebiet der Elbe abgekoppelt wurden

Fließgewässer		Absperrbauwerk		durch Absperrbauwerk bevorzugte Fläche in km ²
Name	Mündung bei Elbe-km	seit	Ort	
Karthane mit Stepenitz	455	1980	Wittenberge	65 ¹
Aland	475	1991	Klein Wanzer	75 ²
Löcknitz	504	1964	Wehningen	100 ²

1 – nach Angaben des LUA Brandenburg

2 – nach Angaben in IKSE (2001)

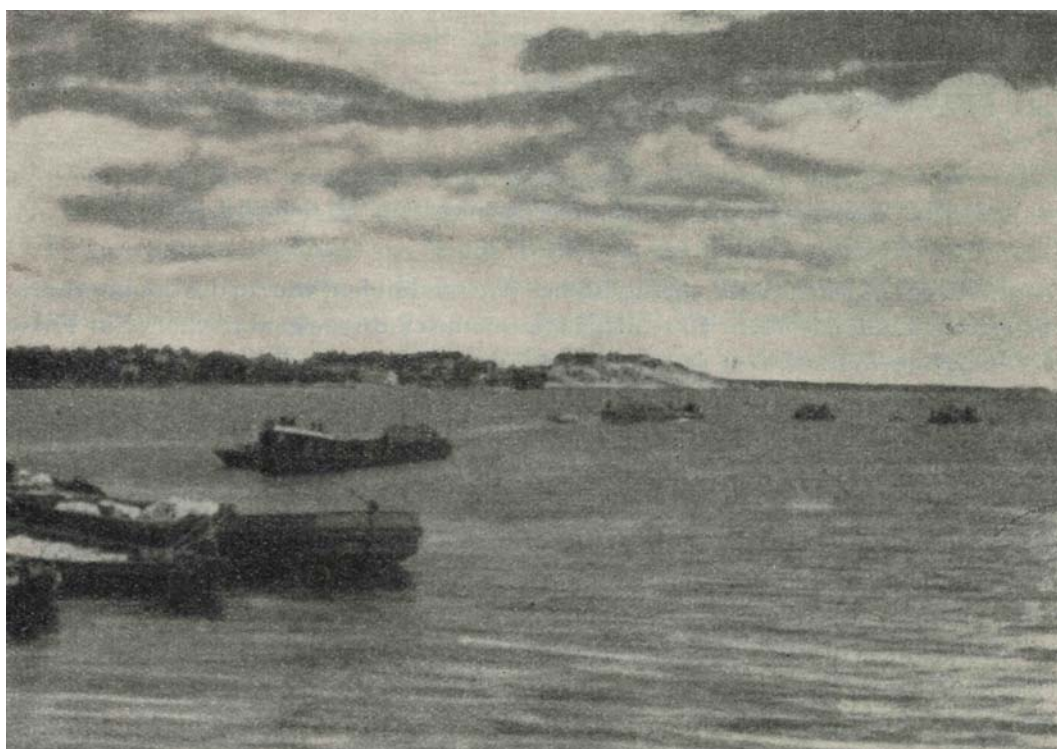


Abbildung 2-14: Schiffsverkehr auf den überschwemmten Löcknitzwiesen während des Hochwassers 1954 (BÖER u. a., 1959)

2.4.3 Abflussfüllen im Längsschnitt der Elbe

Vergleich der Abflussfüllen

Vor dem Vergleich der Abflussfüllen war für jedes Hochwasser der Bezugszeitraum festzulegen, für den die Abflussfüllen berechnet wurden. Kriterien für die Festlegung waren

- die vollständige Erfassung der maßgebenden Hochwasserwelle des betreffenden Hochwasserereignisses an allen Pegeln,
- eine vergleichbare Hochwasserdauer (Dauer des Bezugszeitraumes) für alle betrachteten Hochwasserereignisse.

Unter Berücksichtigung der genannten Kriterien wurden für die einzelnen Hochwasserereignisse folgende Bezugszeiträume für die Berechnung der Abflussfüllen festgelegt:

- für das Hochwasser 1954: 1. Juli bis 24. August,
- für das Hochwasser 1981: 4. März bis 27. April,
- für das Hochwasser 1988: 8. März bis 1. Mai,
- für das Hochwasser 2002: 4. August bis 27. September,
- für das Hochwasser 2003: 23. Dezember 2002 bis 15. Februar 2003.

Alle Bezugszeiträume umfassen einen Zeitraum von 55 Tagen. Damit sind die Abflussfüllen für die einzelnen Hochwasserereignisse untereinander sehr gut vergleichbar. Das Ergebnis des Vergleichs wird in Abbildung 2-15 grafisch veranschaulicht.

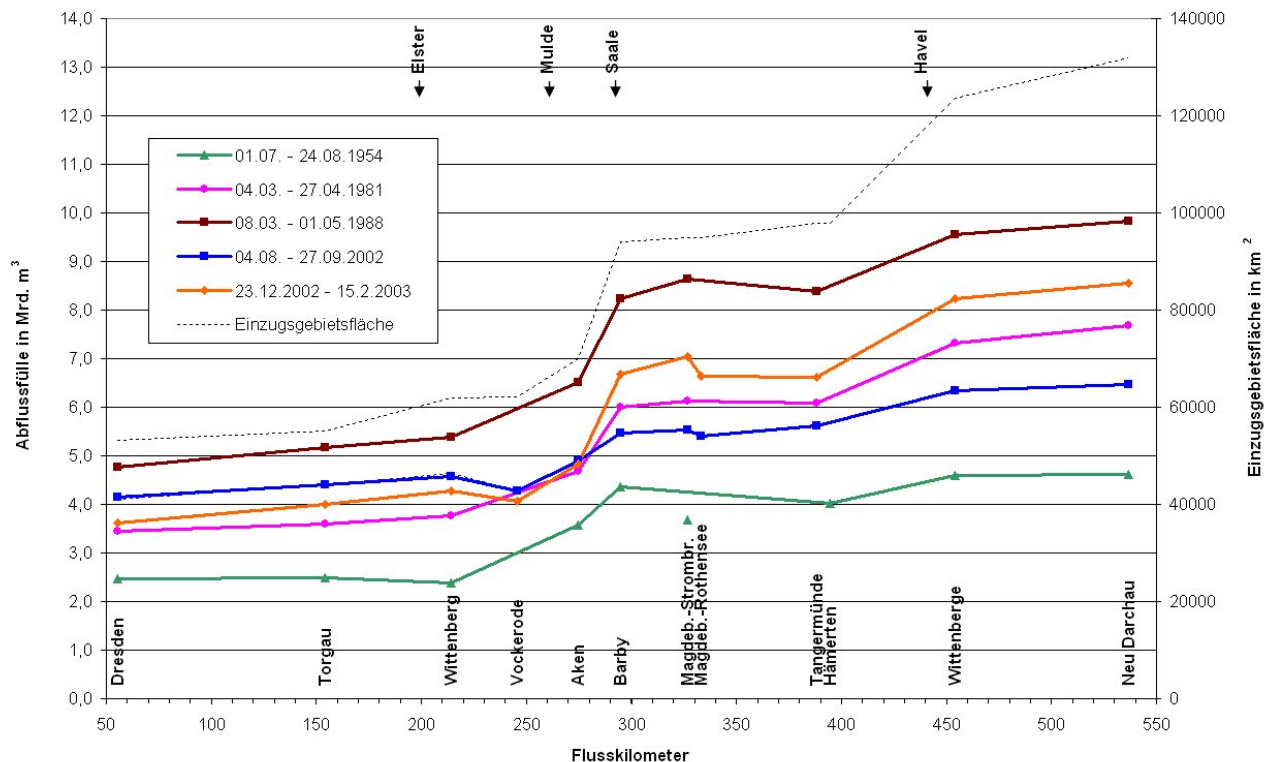


Abbildung 2-15: Vergleich der Abflussfüllen in der Elbe für ausgewählte Hochwasserereignisse

Wie die Scheitelabflüsse (Abschnitt 2.4.1) wurden auch die Abflussfüllen für alle Hochwasser auf Grundlage von Tagesmittelwerten ermittelt. Für das Hochwasser 2002 wurden die Abflussfüllen auch auf Grundlage der zeitlich hoch aufgelösten

Zunahme der Einzugsgebietsfläche	<p>Viertel-Stunden-Werte ermittelt und in Abbildung 2-15 dargestellt (gestrichelte blaue Linie). Die Unterschiede zwischen den auf Grundlage von Tagesmittelwerten und Viertel-Stunden-Werten ermittelten Abflussfüllen sind in Abbildung 2-15 allerdings kaum erkennbar. Die Differenzen erreichen maximal 1 %, d. h. für das Ergebnis ist es unerheblich, ob der Vergleich der Abflussfüllen auf Grundlage von Tagesmittelwerten oder Viertel-Stunden-Werten durchgeführt wird.</p> <p>Erwartungsgemäß korrespondieren in Abbildung 2-15 die Längsschnitte der Abflussfüllen für alle Hochwasserereignisse mit der Zunahme der Einzugsgebietsfläche im Längsschnitt der Elbe. Dementsprechend kommt es zu einem deutlichen Anstieg der Abflussfüllen auf den Flussabschnitten, auf denen sich die Einzugsgebietsfläche bedingt durch bedeutende seitliche Zuflüsse signifikant erhöht. Zu diesen Flussabschnitten gehören die Abschnitte zwischen Vockerode (Wittenberge) und Aken (Zufluss der Mulde), zwischen Aken und Barby (Zufluss der Saale) und zwischen Tangermünde (Hämerten) und Wittenberge (Zufluss der Havel).</p> <p>An allen Pegeln gehören die höchsten Abflussfüllen zum Hochwasser 1988 und die niedrigsten Abflussfüllen zum Hochwasser 1954. Die Abflussfüllen für die maßgebend durch Schneeschmelze ausgelösten Hochwasser 1981, 1988 und 2003 liegen in der Regel über den Abflussfüllen der durch sommerliche Starkniederschläge ausgelösten Hochwasser 1954 und 2002. Lediglich von Dresden bis Aken ist die Abflussfülle des Hochwassers 2002 höher als die der Hochwasser 1981 und 2003, liegt aber auch hier bereits deutlich unter der Abflussfülle des Hochwassers 1988. Ab Barby ist die Abflussfülle des Hochwassers 2002 auch niedriger als die der Hochwasser 1981 und 2003. Von Barby bis Neu Darchau ändert sich die Reihenfolge bzgl. der Abflussfülle zwischen den einzelnen Hochwassern (1988, 2003, 1981, 2002, 1954) nicht mehr.</p>
Zuverlässigkeit von Einzelwerten	<p>Zur Diskussion zu Abbildung 2-15 gehören noch einige Bemerkungen zur Zuverlässigkeit von ausgewählten Einzelwerten. Wie in Abbildung 2-12 wurde auch in Abbildung 2-15 der Datenpunkt für den Pegel Magdeburg-Strombrücke nicht zur Konstruktion des Längsschnittes für das Hochwasser 1954 verwendet. Der Grund dafür ist die bereits in Abschnitt 2.4.1 diskutierte Nichtberücksichtigung des Abflussanteils über den Elbeumflutkanal. Mögliche Ursachen für den Rückgang der Abflussfüllen des Hochwassers 2002 zwischen Wittenberge und Vockerode wurden schon in Abschnitt 2.2.3 diskutiert. Für das Hochwasser 2003 kommt es zwischen den Pegeln Magdeburg-Strombrücke und Magdeburg-Rothensee zu einem hydrologisch nicht erklärbaren Rückgang der Abflussfüllen. Da auch die Scheitelabflüsse zwischen beiden Pegeln ein analoges, nicht erklärbares Verhalten zeigen (Abbildung 2-12), erhärtet sich der Verdacht, dass die an diesen beiden Pegeln nach dem Hochwasser 2002 aktualisierten W-Q-Beziehungen zueinander nicht durchweg stimmig sind. Deshalb sollten beide W-Q-Beziehungen noch einmal überprüft werden. In diese Überprüfung sollten zur Absicherung der Aussagen auch die W-Q-Beziehungen der beiden benachbarten Abflusspegel Barby und Tangermünde einbezogen werden.</p>

2.4.4 Abflussganglinien am Pegel Wittenberge

Pegel Wittenberge	<p>In Ergänzung zu den Ausführungen in den Abschnitten 2.4.1 und 2.4.3 soll nachfolgend die Situation während der einzelnen Hochwasserereignisse am Pegel Wittenberge näher beleuchtet werden. Dem Pegel Wittenberge kommt als Steuerpegel eine besondere Rolle bei der Flutung der Havelniederung zur Scheitelkappung in der Elbe zu.</p> <p>In Abbildung 2-16 werden die aus Tagesmittelwerten generierten Abflussganglinien der Hochwasserereignisse 1954, 1981, 1988, 2002 und 2003 gegenübergestellt. Zur besseren Vergleichbarkeit werden die Ganglinien scheinbar gleich dargestellt, d. h. die jeweils höchsten Abflüsse werden dem Zeitpunkt „0“ zugeordnet. Komplettiert</p>
--------------------------	--

wird die Darstellung in Abbildung 2-16 durch die theoretische Ganglinie für das Hochwasser 2002 entsprechend Abbildung 2-9, die den Abflussverlauf am Pegel Wittenberge ohne Rückhaltung des Havelwassers in den Stauhaltungen und ohne Flutung der Havelniederung repräsentiert.

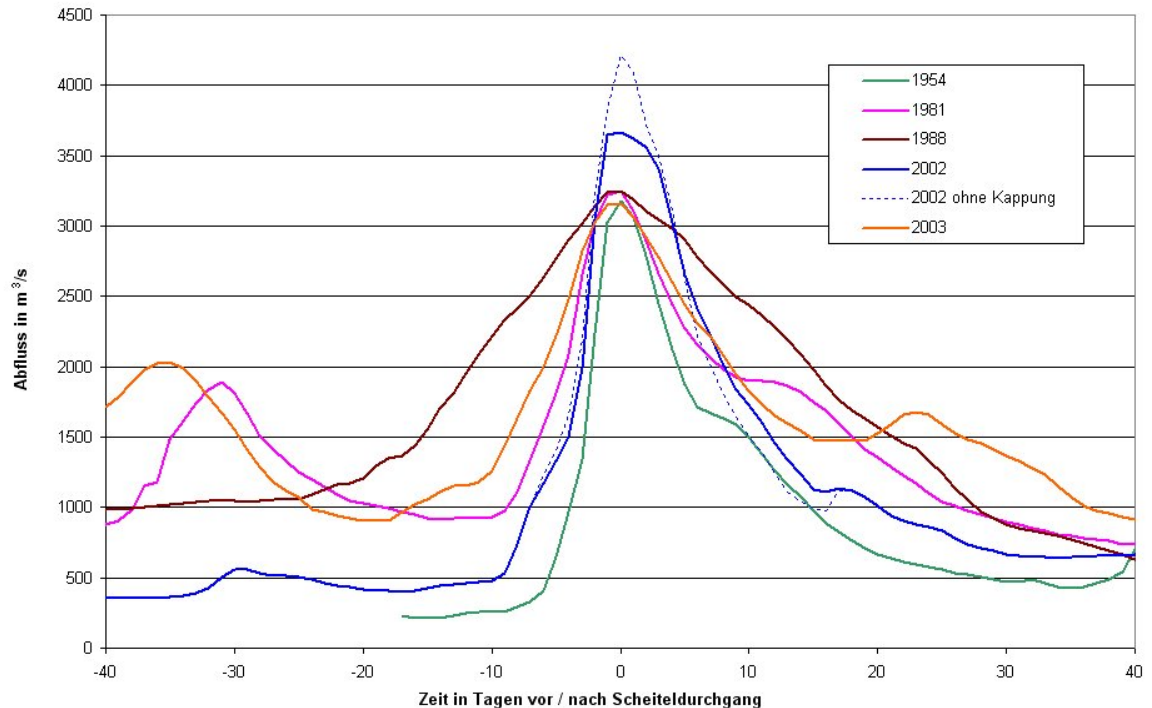


Abbildung 2-16: Abflussganglinien (Tagesmittelwerte) für den Pegel Wittenberge

Wellenformen

In Abbildung 2-16 werden anhand der unterschiedlichen Wellenformen die Unterschiede zwischen den beiden durch sommerliche Starkniederschläge ausgelösten Hochwassern 1954 und 2002 auf der einen Seite und den maßgebend durch Schneeschmelze ausgelösten Hochwassern 1981, 1988 und 2003 auf der anderen Seite veranschaulicht. Zu den beiden Sommerhochwassern 1954 und 2002 gehören schlanke Hochwasserwellen mit steilen Abflussan- und -abstiegen. Die Hochwasser 1981, 1988 und 2003 haben dagegen relativ breite Wellen. Besonders kompakt ist die Hochwasserwelle 1988 mit der mit Abstand größten Abflussfülle (Abschnitt 2.4.3). 1988 wird an 64 aufeinander folgenden Tagen ein Abfluss von 1000 m³/s überschritten. Bei den beiden anderen maßgebend durch Schneeschmelze ausgelösten Hochwassern 1981 und 2003 sind es 35 bzw. 53 aufeinander folgende Überschreitungstage. Dagegen wird bei den beiden Sommerhochwassern 1954 und 2002 ein Abfluss von 1000 m³/s nur an 18 bzw. 27 aufeinander folgenden Tagen überschritten.

Die Scheitelabflüsse der Hochwasser 1954, 1981, 1988 und 2003, bei denen die Havelniederung nicht geflutet wurde, liegen auf gleichem Niveau um 3200 m³/s. Der Scheitelabfluss des Hochwassers 2002 ist trotz Scheitelkappung um etwa 400 bis 500 m³/s höher. Ohne Scheitelkappung wäre der Scheitelabfluss 2002 um etwa 1000 m³/s höher als bei den anderen Hochwasserereignissen gewesen.

Aus den Abflussganglinien der Abbildung 2-16 wurde Abbildung 2-17 abgeleitet. Sie zeigt den Zusammenhang zwischen der Abflussfülle über einem bestimmten Abfluss und eben diesem Abfluss. Abbildung 2-17 verdeutlicht noch einmal die besondere Stellung des Hochwassers 1988 in Bezug auf die Abflussfülle. Für kappungsrelevante

Abflüsse ab etwa 3280 m³/s (= 680 cm am Pegel Wittenberge) ist allerdings nur noch die Abflussfülle des Hochwassers 2002 von Bedeutung.

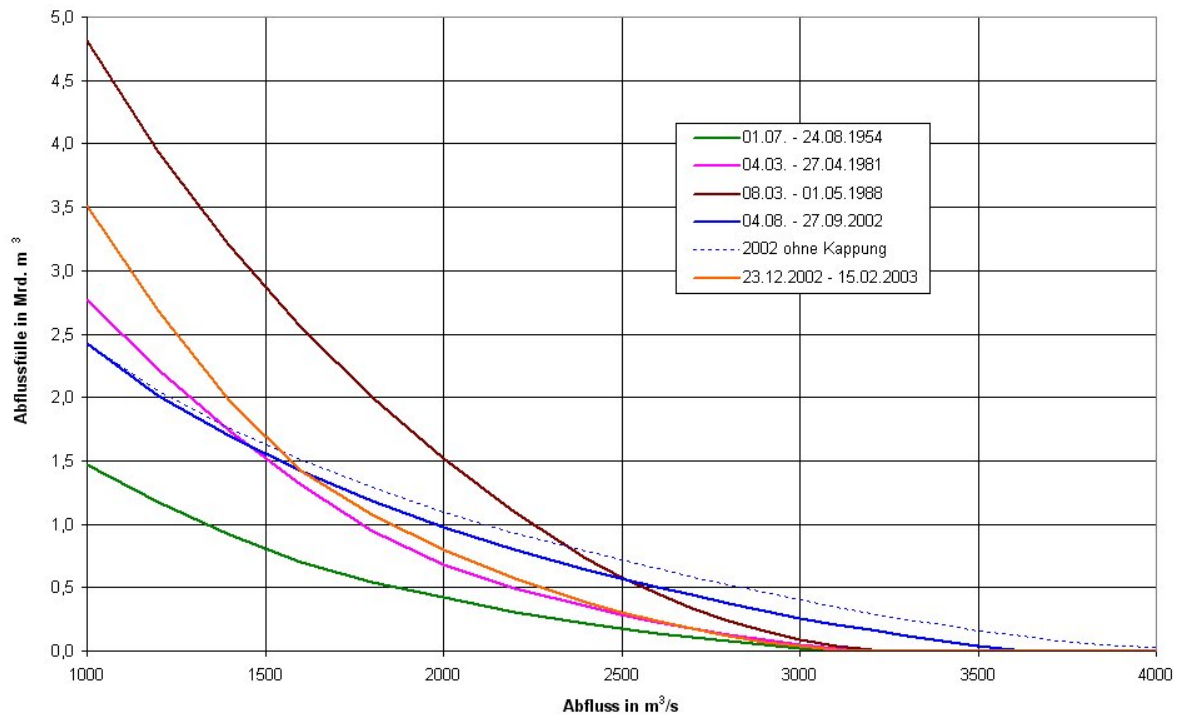


Abbildung 2-17: Zusammenhang zwischen der Abflussfülle über einem bestimmten Abfluss und eben diesem Abfluss für den Pegel Wittenberge

2.4.5 Einfluss der Gewässermorphologie auf den Wellenablauf

Einfluss der Gewässermorphologie

Grundlage für die Bewertung des Einflusses der Gewässermorphologie auf den Wellenablauf sind die Ergebnisse eines Forschungsvorhabens zur „Morphodynamik der Elbe“ (NESTMANN und BÜCHELE, 2002) und Veröffentlichungen der Bundesanstalt für Wasserbau (FAULHABER, 1998 und 2000).

Regulierungsmaßnahmen seit Ende des 19. Jahrhunderts

Die Beantwortung der Frage, inwieweit der unterschiedliche Wellenablauf der Hochwasser 1954, 1981, 1988, 2002 und 2003 auch auf eine abweichende Gewässermorphologie zurückzuführen ist, setzt die Analyse der Veränderung gewässermorphologischer Kenngrößen zwischen 1954 und 2003 voraus. Eine ausführliche Zeittafel der Veränderungen und anthropogenen Einflüsse, die Morphologie der Elbe betreffend, ist in der Arbeit von NESTMANN und BÜCHELE (2002) zu finden. Daraus und aus den Arbeiten von FAULHABER (1998 und 2000) ist ersichtlich, dass die wesentlichen Veränderungen, wie Eindeichung, Mittelwasser- und Niedrigwasserregulierung, bereits vor 1954 erfolgten. Beachtet werden muss allerdings die morphologische Reaktionszeit des Flusses auf die Regulierung des Strombettes, die von NESTMANN und BÜCHELE (2002) auf 30 bis 70 Jahre (maximal 100 Jahre) geschätzt wird. Demzufolge können Eingriffe, die zur Jahrhundertwende 1900 oder einige Jahre vorher vorgenommen wurden, noch morphologische Veränderungen im Betrachtungszeitraum 1954 bis 2003 bewirkt haben. Nachfolgend wird deshalb eine im Wesentlichen auf FAULHABER (2000) basierende kurze Übersicht über die wichtigsten Regulierungsmaßnahmen seit Ende des 19. Jahrhunderts gegeben.

Nach Schaffung einer staatlichen Zentralbehörde, der Elbstrombauverwaltung in Preußen, im Jahr 1866 wird der etwa Mitte des 19. Jahrhunderts begonnene Ausbau der Elbe zur Verbesserung der Schifffahrtsverhältnisse mit großer Intensität betrieb-

	<p>ben. Bei diesem so genannten <u>Mittelwasserausbau</u> werden u. a. folgende Maßnahmen durchgeführt:</p> <ul style="list-style-type: none">• Befestigung abbrüchiger Ufer und Ufererhaltung,• Einschränkung zu breiter Strecken durch Bau von Buhnen und Parallelwerken,• Beräumung seichter Stellen und Beseitigung von Inseln,• Abflachung enger Krümmungen.
Mittelwasser- ausbau	<p>Der Mittelwasserausbau wurde im Wesentlichen bis 1892/93 abgeschlossen. Nach Einschätzung von ROMMEL (2000) wurde dabei das Mittelwasserbett um etwa die Hälfte verschmälert. Durch den Ausbau des Mittelwasserbettes wurde der Gewässerlauf in viel stärkerem Maße fixiert als durch den seit dem Mittelalter betriebenen Deichbau. Innerhalb der Deiche konnte die Elbe weiterhin ihren Lauf verändern, wobei die nutzbare Breite zwischen den Deichen noch etwa 1 km betrug. Nach der großräumigen Uferfixierung durch den Mittelwasserausbau war eine deutliche Grundrissveränderung durch Seitenerosion praktisch nicht mehr möglich. Anstelle von Lageänderungen des Flussbettes kam abschnittsweise es zu einer verstärkten Tiefenerosion.</p>
Niedrigwasser- regelungen	<p>Im Anschluss an den Mittelwasserausbau wurden <u>Niedrigwasserregelungen</u> ausgeführt. Dabei wurde das Niedrigwasserbett durch Grund- und Kopfschwellen gestaltet. In einigen Abschnitten wurde das Mittelwasserbett durch Bauwerke mit Kronenhöhen bei Mittelwasser weiter eingeengt. Ein Schwerpunkt der Maßnahmen zum Niedrigwasserausbau lag in den 30er Jahren des 20. Jahrhunderts. So wurden zwischen 1929 und 1935 in der Elbe umfangreiche Baggerungen durchgeführt. Die Summe des dabei zwischen Fluss-km 0 und 600 gebaggerten Volumens betrug etwa 3,5 Mio. m³.</p> <p>Aktuell gilt ein moderates Unterhaltungs- und Ausbauziel, das einen Kompromiss zwischen den Anforderungen der Schifffahrt, der Ökonomie und der Ökologie anstrebt. Nur auf drei Erosionsstrecken (s. u.) sind zur Eindämmung der fortschreitenden Sohleintiefung bzw. zur durchgängigen Gewährleistung der Schifffahrtsbedingungen größere Baumaßnahmen erforderlich (FAULHABER, 2000).</p>
„Elbstrom- werk“	<p>Zur Analyse der Veränderung gewässermorphologischer Kenngrößen greift FAULHABER (1998 und 2000) auf das 1898 erschienene „Elbestromwerk“ zurück, eine umfangreiche Dokumentation des Zustandes der Elbe und ihres Einzugsgebietes am Ende des 19. Jahrhunderts. In FAULHABER (1998) wird auf der Grundlage des „Elbestromwerkes“ die Entwicklung der Wasserspiegel- und Sohlhöhen in der deutschen Binnenelbe von Fluss-km 0 bis 568 untersucht. Dazu werden historische und aktuelle Wasserspiegellagenfixierungen, die auf einen Bezugsdurchfluss im Bereich des mittleren Niedrigwassers MNW normiert wurden, miteinander verglichen. Die Veränderung der Wasserspiegel wird als Indikator für die langfristige Veränderung der mittleren Sohle im Flussbett angesehen, die nicht nur für Niedrigwasser- oder Mittelwasserverhältnisse, sondern auch für die hier interessierenden Hochwasserverhältnisse relevant ist.</p> <p>In FAULHABER (2000) werden die Untersuchungen zur Veränderung der Wasserspiegellagen und Sohlhöhen (FAULHABER, 1998) vertieft und auf andere morphologische Kenngrößen ausgedehnt. Zu diesen Kenngrößen, die ebenfalls im Bereich des mittleren Niedrigwassers untersucht werden, gehören Wasserspiegelgefälle, Wassertiefe, Wasserspiegelbreite, Durchflussfläche und Fließgeschwindigkeit. Da eine Extrapolation dieser für MNW repräsentativen Kenngrößen auf Hochverhältnisse nicht oder nur sehr schwierig möglich ist, wird an dieser Stelle auf eine Diskussion verzichtet. Die nachfolgende Diskussion beschränkt sich deshalb auf die Aussagen zur Sohlhöhe, die für alle Durchflussbereiche gültig sind. Abbildung 2-18 zeigt die Entwicklung der Wasserspiegellagen bei MNW und damit der Sohlhöhen seit 1888.</p>

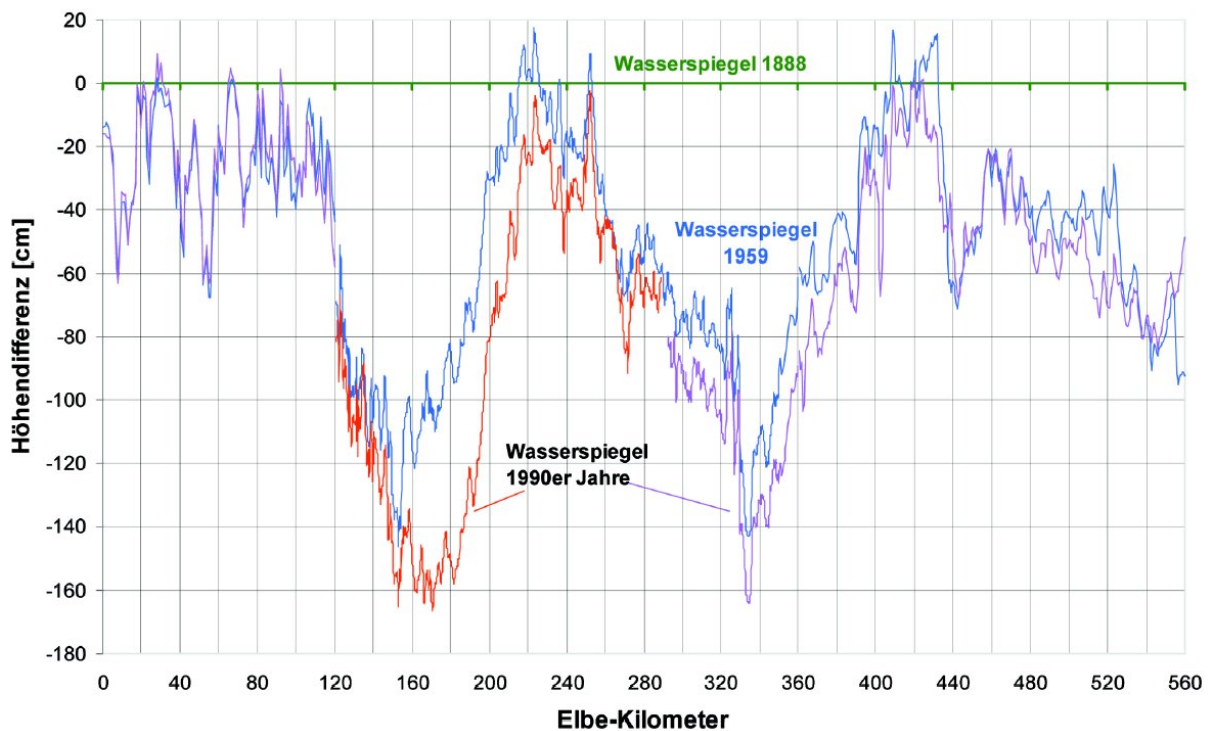


Abbildung 2-18: Differenz zwischen normierten Wasserspiegellagen im Bereich des MNW aus der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts und von 1888 (FAULHABER, 2000)

Tiefenerosionen

Gemäß Abbildung 2-18 traten nach dem Mittelwasserausbau, dessen Ende zeitlich etwa mit dem Erhebungsjahr 1888 zusammenfällt, auf folgenden drei Elbabschnitten bedeutende Tiefenerosionen auf (FAULHABER, 2000):

- Zwischen Fluss-km 120 und 220. Dieser Bereich wird auch als „Erosionsstrecke“ bezeichnet. Hier kam es zwischen 1888 und den 1990er Jahren zu einem Wasserspiegelverfall von maximal 1,6 m.
- Zwischen Fluss-km 260 und 390. Dieser Bereich umfasst die „verschärft regulierte Strecke“ unterhalb von Magdeburg zwischen Fluss-km 333 und 344, auf der die Tiefenerosion zwischen 1888 und den 1990er Jahren ähnlich hoch war wie auf der Erosionsstrecke.
- Auf dem vor dem Bau des Wehres Geesthacht (1957 bis 1960) tidebeeinflussten Abschnitt, der teilweise außerhalb von Abbildung 2-18 liegt.

Auf die Änderungen der Wasserspiegel zwischen 1888 und 1959 soll an dieser Stelle nicht explizit eingegangen werden. Sie waren nach FAULHABER (2000) sowohl das Resultat einer „echten“ Eintiefung des Flusses als auch der Baggerungen, die im Zuge des Niedrigwasserausbaus vorgenommenen wurden (s. o.).

Morphologische Veränderungen zwischen Hochwasser 1954 und Extremhochwasser 2002

Von besonderem Interesse für die Bewertung der morphologischen Veränderungen zwischen dem historischen Hochwasser 1954 und dem Extremhochwasser 2002 ist der Vergleich der Situation Ende der 1950er Jahre und in den 1990er Jahren. Dieser Vergleich, der prinzipiell auch anhand von Abbildung 2-18 möglich ist, wird in Abbildung 2-19 für die Erosionsstrecke grafisch unterstützt. Abweichend von den Wasserspiegellagen wurden die in Abbildung 2-19 ebenfalls dargestellten Sohlhöhen 1961 bis 1965 bzw. 1993 bis 1996 aufgenommen. Abbildung 2-19 zeigt, dass die oben getroffene Annahme einer gleichsinnigen Änderung der Wasserspiegellagen bei MNW und der Sohlhöhen, grundsätzlich gerechtfertigt ist.

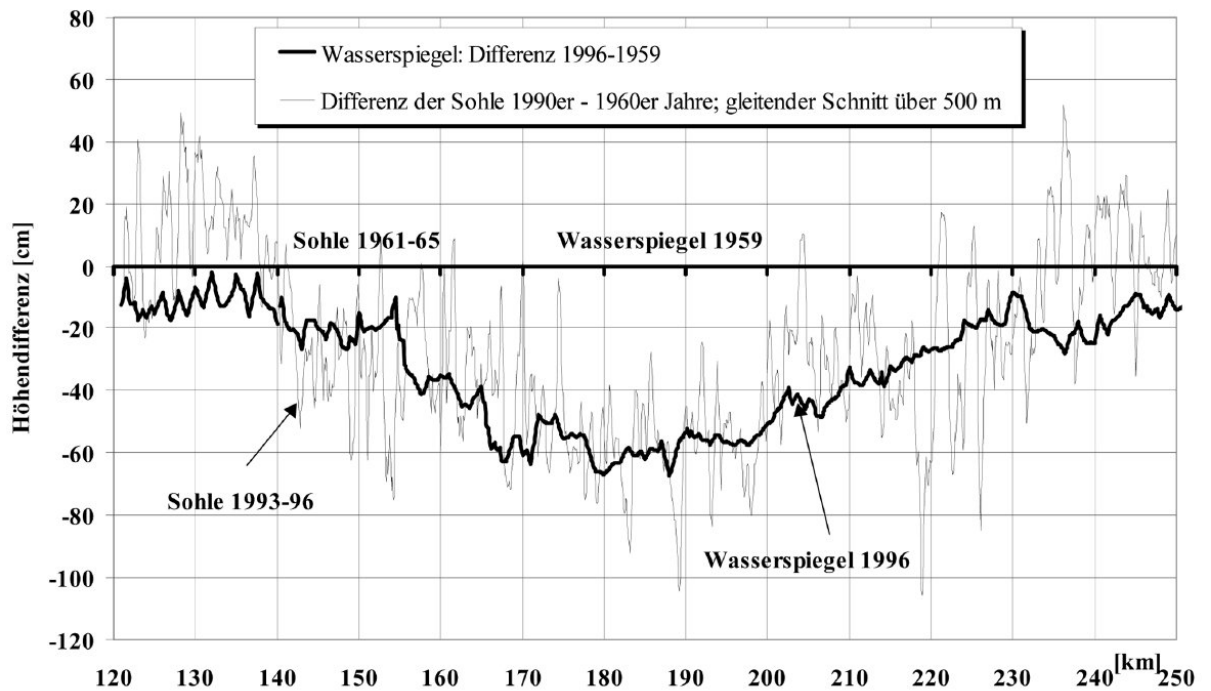


Abbildung 2-19: Differenz zwischen normierten Wasserspiegellagen im Bereich des MNW und Sohlhöhen in der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts (FAULHABER, 2000)

Erosionsstrecke

Gemäß Abbildung 2-19 hat sich die Elbe zwischen dem Ende der 1950er Jahre und den 1990er Jahren auf der Erosionsstrecke lediglich zwischen Fluss-km 150 und 220 weiter deutlich eingetieft. Die jährliche Tiefenerosion betrug innerhalb dieses Zeitraums 1 bis 2 cm, wobei sich der Haupterosionsbereich allmählich stromabwärts verlagert (FAULHABER, 2000). Oberhalb der Erosionsstrecke ist der Eintiefungsprozess in der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts zum Stillstand gekommen (Abbildung 2-18). Unterhalb der Erosionsstrecke, zwischen Fluss-km 220 und 390 betrug die jährliche Tiefenerosion zwischen dem Ende der 1950er Jahre und den 1990er Jahren etwa 0,5 cm (Abbildung 2-18). Zwischen Tangermünde (Fluss-km 388) und Schnackenburg (Fluss-km 474) war in diesem Zeitraum keine Erosion zu verzeichnen, zwischen Schnackenburg und Neu Darchau (Fluss-km 536) wurde abschnittsweise leichte Erosion festgestellt (FAULHABER, 2000).

Nachfolgend wird diskutiert, welche Einflüsse die Eintiefung der Sohle auf den Hochwasserablauf haben könnte. Durch die Tiefenerosion werden im Flussbett höhere Durchflüsse abgeführt, so dass es zu einer späteren Ausuferung des Flusses kommt. Folgerichtig müsste die Abflachung der Hochwasserwellen geringer ausfallen, was zu einer Verkürzung der Scheitelaufzeiten und zu einer Erhöhung der Scheitelabflüsse führen müsste. Die Scheitelwasserstände müssen sich dabei nicht zwangsläufig erhöhen, da die Eintiefung der Sohle einer Wasserstandserhöhung entgegenwirkt. Auf die Abflussfüllen hat die Tiefenerosion keinen Einfluss.

Einflüsse der Tiefenerosion

Der konkrete Nachweis der vermuteten Einflüsse der Tiefenerosion auf den Wellenablauf bei Hochwasser ist aus methodischen Gründen schwierig, da sowohl die Scheitelabflüsse als auch die Scheitelaufzeiten in hohem Maße durch andere Einflussfaktoren, wie seitliche Zuflüsse und Retention, beeinflusst werden. Am aussichtsreichsten erscheint der Nachweis anhand der Scheitelaufzeiten. Im Gegensatz zu den Scheitelabflüssen, die anhand von Scheitelwasserständen mit Hilfe von stets mit Unsicherheiten behafteten W-Q-Beziehungen berechnet werden, sind die Scheitel-

laufzeiten wenigstens direkt messbar. Deshalb wird Abbildung 2-13, in der die Scheitellaufzeiten der Hochwasserereignisse 1954 und 2002 verglichen werden, herangezogen, um die vermuteten Einflüsse der Tiefenerosion auf den Wellenablauf zu überprüfen. Auf dem zwischen dem Ende der 1950er Jahre und den 1990er Jahren am stärksten durch Tiefenerosion betroffenen Flussabschnitt zwischen Fluss-km 150 und 220 haben sich die Scheitellaufzeiten nur wenig verändert. Zwischen den Pegeln Torgau (Fluss-km 154) und Wittenberg (Fluss-km 214) liegt die Scheitellaufzeit für das Hochwasser 1954 bei 10 Stunden und für das Hochwasser 2002 bei 12 Stunden. Die Unterschiede liegen im Fehlerbereich bei der Festlegung der Scheitelaufzeiten. Auf der anderen Seite ergeben sich deutliche Laufzeitunterschiede unterhalb von Wittenberg, wo zwischen dem Ende der 1950er Jahre und den 1990er Jahren eine Erosionstendenz entweder nicht mehr vorhanden oder nur noch schwach ausgeprägt war.

Auf Grundlage der ausgewerteten hydrologischen Daten kann ein Einfluss der Tiefenerosion auf den Wellenablauf bei Hochwasser nicht festgestellt werden. Falls die Tiefenerosion einen Einfluss auf den Wellenablauf haben sollte, tritt dieser Einfluss deutlich hinter den anderer Einflussfaktoren zurück, so dass er mit der hier angewendeten Methodik eines Vergleichs der Scheitellaufzeiten nicht nachweisbar ist. So wurde der Wellenablauf des Hochwassers 2002 gerade auf dem Flussabschnitt mit der stärksten Tiefenerosion in der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts massiv durch Deichbrüche beeinflusst (Abschnitt 2.2.3).

**W-Q-
Beziehungen
Pegel Witten-
berge**

Zusätzlich zur längsschnittbezogenen Betrachtung soll nachfolgend versucht werden, den Einfluss der Gewässermorphologie auf den Wellenablauf auch querschnittsbezogen zu betrachten. Zu diesem Zweck werden in Abbildung 2-20 die W-Q-Beziehungen für den Pegel Wittenberge, die seit Beginn der Beobachtungen im Jahr 1900 gültig waren, gegenübergestellt. Darin sind die insgesamt fünf W-Q-Beziehungen jeweils mit ihrem ersten Gültigkeitsdatum eingetragen. Ergänzend zu Abbildung 2-20 enthält Tabelle 2-6 für ausgewählte Stützstellen des Wasserstandes die sich mit den einzelnen W-Q-Beziehungen ergebenden Abflusswerte.

Gemäß Abbildung 2-20 ist die Beziehung zwischen Wasserstand und Abfluss am Pegel Wittenberge seit mehr als 100 Jahren verhältnismäßig stabil. Die größten relativen Änderungen an den W-Q-Beziehungen wurden erwartungsgemäß im Niedrigwasserbereich vorgenommen. Entsprechend Tabelle 2-6 betragen die Abweichungen zwischen den Abflusswerten, die sich mit aufeinander folgenden W-Q-Beziehungen ergeben, bei einem Wasserstand von 100 cm bis zu 20 %. Auch im Übergangsbereich zwischen Mittel- und Hochwasser, bei einem Wasserstand von 400 cm, sind die Abweichungen mit 13 % relativ hoch. Dagegen wurde die W-Q-Beziehung im Hochwasserbereich ab etwa 500 cm jeweils nur moderat geändert. Dies ist im Vergleich mit den an anderen Elbpegeln vorgenommenen Veränderungen (vgl. Abschnitt 2.3) schon bemerkenswert. Die seit 1998 gültige W-Q-Beziehung wurde nach dem Hochwasser 2002 nicht geändert.

In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurde die W-Q-Beziehung zweimal in allen Abflussbereichen, ausgenommen die extremen Hochwasserabflüsse bei Wasserständen um 800 cm, in Richtung höherer Abflüsse geändert. Ursache dafür dürfte die Eintiefung der Elbe infolge Mittelwasserausbau und Niedrigwasserregelungen sein. Gemäß Abbildung 2-18 sind die Wasserspiegellagen der Elbe bei MNW, die als Indikator für die langfristige Entwicklung der mittleren Sohle im Flussbett angesehen werden können, im Bereich Wittenberge zwischen 1888 und 1959 um ca. 40 cm abgesunken. In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurde die W-Q-Beziehung im Mittelwasser- und unteren Hochbereich wieder in Richtung niedriger Abflüsse korrigiert, wobei die dabei vorgenommenen Änderungen insgesamt deutlich niedriger ausfielen als die in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts erfolgte Korrektur nach oben.

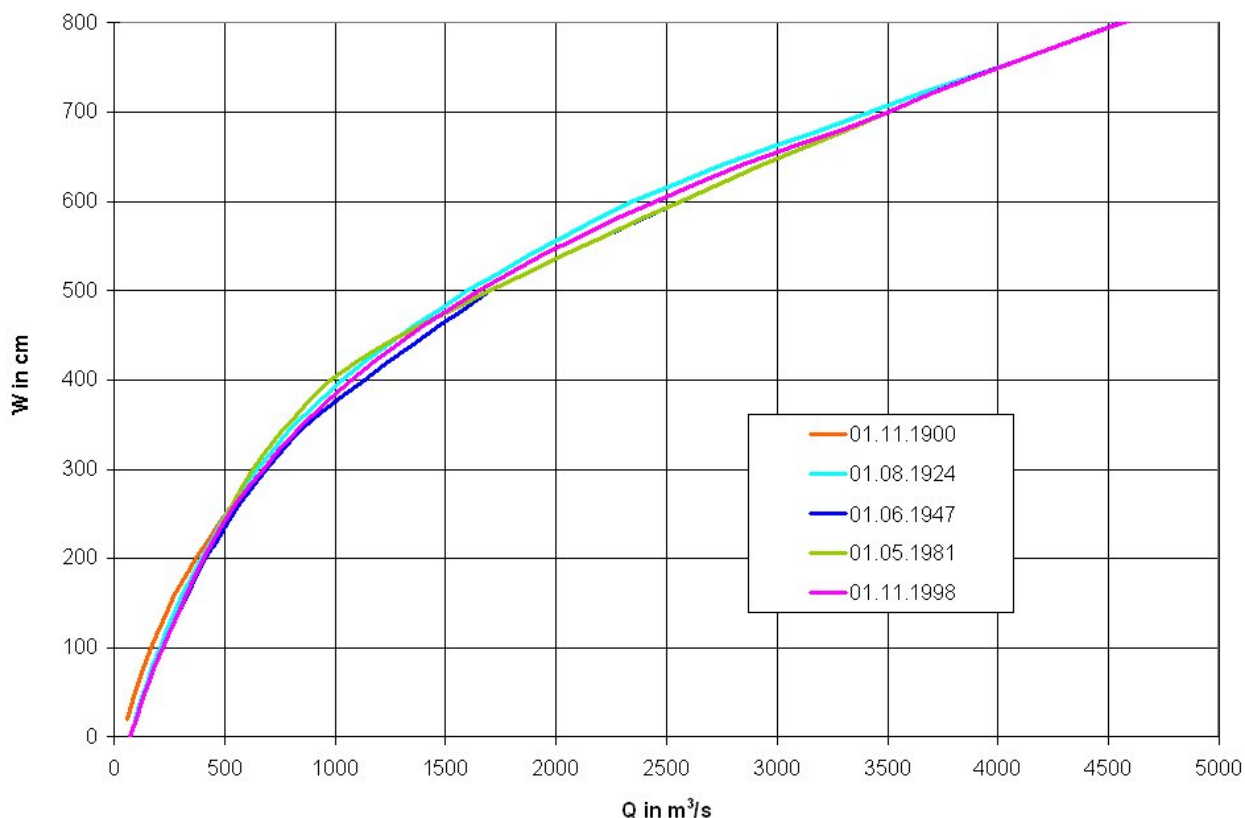


Abbildung 2-20: W-Q-Beziehungen am Pegel Wittenberge/Elbe seit 1900

Tabelle 2-6: Wichtige Abflusskenngrößen für die Pegel mit Abflussbeobachtungen

Wasserstand in cm	Abfluss in m ³ /s mit W-Q-Beziehung				
	vom 01.11.1900 bis 31.07.1924	vom 01.08.1924 bis 31.05.1947	vom 01.06.1947 bis 30.04.1981	vom 01.05.1981 bis 31.10.1998	seit 01.11.1998
100	164	206	217	217	217
200	368	391	413	405	405
300	645	645	687	627	672
400	1030	1030	1130	978	1075
500	1600	1600	1700	1698	1650
600	2340	2340	2560	2561	2447
700	3420	3420	3500	3500	3500
800	4560	4560	4560	4562	4562

Rückschlüsse auf den Wellenablauf können anhand der querschnittsbezogenen Betrachtung am Pegel Wittenberge nicht gezogen werden. Dafür sind die an den W-Q-Beziehungen im Hochwasserbereich vorgenommenen Änderungen einfach zu gering.

3 Analyse des Hochwasserverlaufs in der Havel

3.1 Allgemeine Beschreibung

Pegel
Havelberg-
Stadt

Am 6. August 2002 lagen die Abflüsse in der Unteren Havel zwischen 80 und 100 % des langjährigen Mittelwertes MQ. Gemäß Tabelle 2-1 fielen im Einzugsgebiet der Havel vom 6. bis 13. August 2002 insgesamt 76 mm Niederschlag, eine Menge, die etwa dem Anderthalbfachen der mittleren Niederschlagssumme für den Monat August entspricht. Die vergleichsweise geringe Niederschlagsmenge im Havelgebiet führte in der Unteren Havel nur zu einem schwachen Abflussanstieg. An den Pegeln mit Abflussbeobachtungen Ketzin, Albertsheim und Havelberg-Stadt blieben die Maximalabflüsse vor Flutung der Havelniederung durchweg niedriger als der mittlere Hochwasserabfluss MHQ (Tabelle 3-1). Am Pegel Havelberg-Stadt lag der Maximalabfluss nur knapp über MQ (= 114 m³/s), eine Folge des Rückhaltes von Havelwasser in den Stauhaltungen zwischen Rathenow und Berlin sowie der Vorflutbehinderung an der Havelmündung bei Gnevsdorf infolge des Elbhochwassers.

Tabelle 3-1: Vergleich der Maximalabflüsse vor Flutung der Havelniederung mit statistischen Abflusskenngrößen

Pegel ¹	HQ _{max} (1.-20.8.02)	MHQ ²	HQ ₂ ³	HQ ₅ ³	HQ ₁₀ ³	HQ ₂₀ ³	HQ ₅₀ ³	HQ ₁₀₀ ³
	m ³ /s							
Ketzin	125	149	143	176	194	210	228	240
Albertsheim	157	165 ⁴	159 ⁴	203 ⁴	229 ⁴	252 ⁴	278 ⁴	296 ⁴
Havelberg-Stadt	118	223	211	273	312	346	387	416

- 1 – Stammdaten siehe Tabelle 1-2
- 2 – Jahresreihe 1961 bis 2000
- 3 – Jahresreihe 1967 bis 2000
- 4 – Kenngrößen für den Nachbarpegel Rathenow UP

In Abbildung 3-1 werden die Abflussganglinien der Pegel Ketzin und Albertsheim sowie des erst seit 2002 beobachteten Pegels Tieckow grafisch dargestellt. Eine analoge Darstellung für den Pegel Havelberg-Stadt erfolgt in Abbildung 3-2. In diese Grafik wurden auch die vorliegenden Angaben (WSA, 2002) zu den Abflüssen am Wehr Neuwerben während der Flutung und am Durchstichwehr Quitzöbel während der Entlastung der Havelniederung eingebunden. Abflüsse entgegen der natürlichen Fließrichtung werden in Abbildung 3-2 mit negativem Vorzeichen dargestellt.



Abbildung 3-1: Abflussganglinien für die Havelpegel Ketzin, Tieckow und Albertsheim

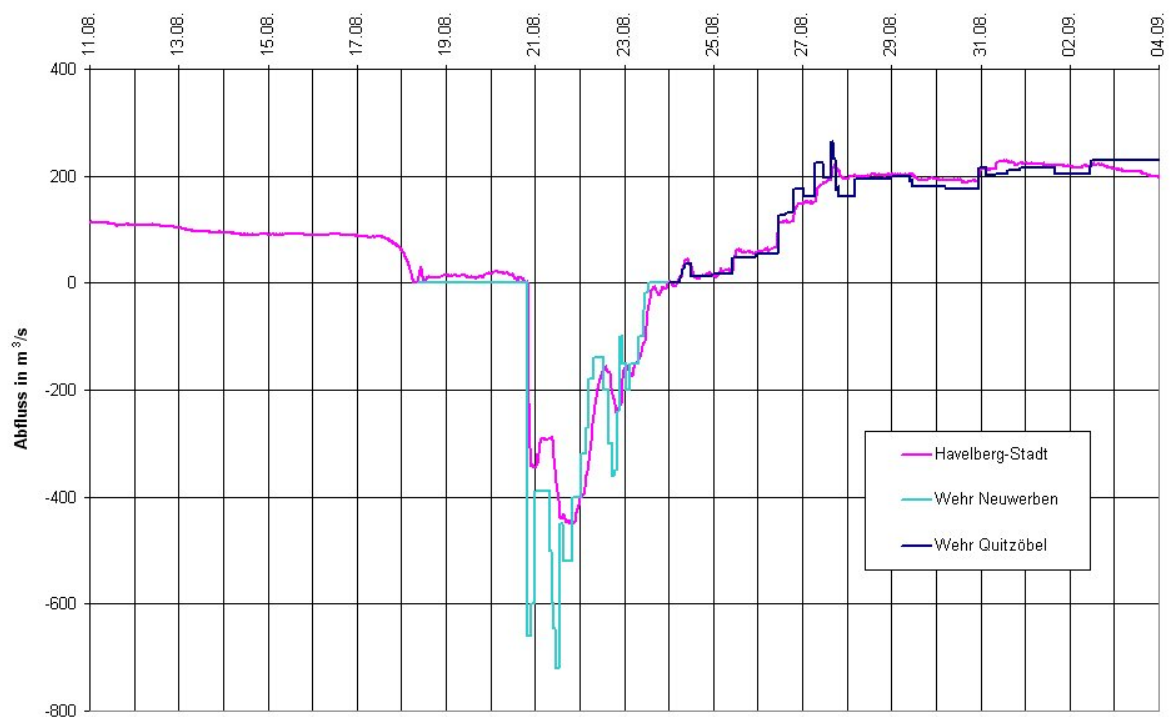


Abbildung 3-2: Abflussganglinien für den Pegel Havelberg-Stadt sowie an den Wehren Neuwerben und Quitzöbel

Infolge der signifikanten Beeinflussung der Abflussganglinien durch die während des Hochwassers 2002 eingeleiteten wasserwirtschaftlichen Maßnahmen erfolgt ihre Diskussion in den Abschnitten 3.2 und 3.3.

3.2 Auswirkungen der Stauregulierung in der Havel vor Flutung der Havelniederung

Abbildung 3-3 zeigt die Wasserspiegellagen in der Havel zwischen Ketzin und Gnevsdorf für die letzten 5 Tage vor Flutungsbeginn am 20. August um 20 Uhr. In dieser Abbildung sowie in Abbildung 3-1 und Abbildung 3-2 sind die Auswirkungen von verschiedenen wasserwirtschaftlichen Maßnahmen, die vor Flutung der Havelniederung ergriffen wurden, zu erkennen.

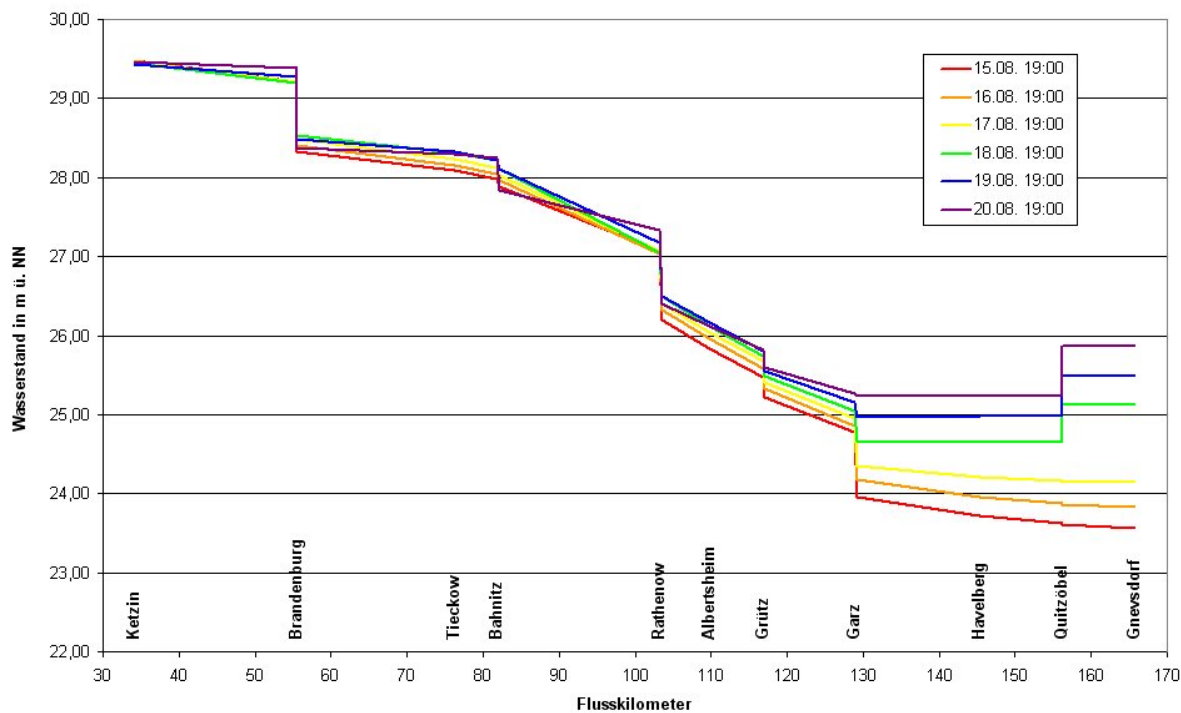


Abbildung 3-3: Längsschnitt der Wasserspiegellagen in der Havel vom 15. bis 20. August 2002

Wasserwirtschaftliche Maßnahmen

Vor Flutung der Havelniederung wurden folgende wasserwirtschaftliche Maßnahmen, die für die geplante Kappung des Scheitels der Hochwasserwelle in der Elbe relevant waren, ergriffen:

- Ab dem 19. August wurde an den Wehren in Berlin nur noch die Mindestwasserabgabe in die Untere Havel realisiert (WSA, 2002). Auch im Einzugsgebiet der Spree wurde verstärkt Wasser zurückgehalten (LUA, 2002).
- Oberhalb der Wehranlage Brandenburg wurden durch Erhöhung der Speicherlamelle am 19. und 20. August (Abbildung 3-3) zusätzlich ca. 8 Mio. m³ Havelniederungswasser zurückgehalten (WSA, 2002). Die Auswirkungen der Steuerung der Wehranlage Brandenburg und der Abflussreduzierung in Berlin (s. o.) auf den Abfluss in der Havel sind in Abbildung 3-1 an der Abflussganglinie für den Pegel Ketzin zu erkennen, die ab dem 19. August gegen 13 Uhr einen wesentlich steileren Abflussrückgang als zuvor zeigt.
- In der Haltung Bahnitz wurden zusätzlich bis zu 21 Mio. m³ Havelniederungswasser zurückgehalten (WSA, 2002). Der höhere Einstau zwischen Brandenburg und Bahnitz vom 15. bis 18. August ist gut in Abbildung 3-3 zu erkennen. Durch die Drosselung der Abflüsse an der Wehranlage Brandenburg (s. o.) kam es am 19. und 20. August zu einem Rückgang der Wasserstände am Pegel Brandenburg UP. Auch an der Wehranlage Bahnitz wurde der Abfluss in der Havel am 20. August weiter gedrosselt. Die Auswirkungen der Steuerung der Wehranlagen

Brandenburg und Bahnitz auf den Abfluss in der Havel sind in Abbildung 3-1 an der Abflussganglinie für den Pegel Tieckow zu erkennen, die am 19. August einen deutlichen und ab dem 20. August gegen 12 Uhr einen sehr steilen Abflussrückgang zeigt.

- Auch der Speicherraum der Haltung Rathenow wurde für den Rückhalt von Haveleigenwasser genutzt. Abbildung 3-3 zeigt die allmähliche Erhöhung der Wasserstände zwischen Bahnitz und Rathenow vom 15. bis 19. August. In den Vormittagstunden des 20. August wurde der Abfluss an der Wehranlage Rathenow gedrosselt. Daraufhin erhöhte sich der Wasserstand am Pegel Rathenow OP weiter, während der Abfluss am Pegel Albertsheim unterhalb der Wehranlage um etwa 15 m³/s zurückging. Durch den gleichzeitigen Verfall der Wasserstände am Pegel Bahnitz UP infolge der Drosselung der Abflüsse an der Wehranlage Bahnitz (s. o.) erhöhte sich die Speicherung in der Haltung Rathenow aber nicht weiter.
- Die Schleuse Garz wurde am 19. August mit Hilfe von schwerer Technik gegen die Staurichtung geöffnet. Ziel dieser Maßnahme war es, den durch die Baumaßnahmen am Nadelwehr stark eingegengten Abflussquerschnitt zu vergrößern, um so das ungehinderte Einströmen des Flutungswassers aus der Elbe in den Havelschlauch bis hin zu den Poldern 5 und 6 oberhalb von Garz zu gewährleisten (WSA, 2002). Die Folge dieser Maßnahme, die Ausspiegelung der Ober- und Unterwasserstände an der Schleuse, ist in Abbildung 3-3 gut zu erkennen. Am 20. August um 19 Uhr betrug die Wasserstands Differenz zwischen den Pegeln Garz OP und Garz UP nur noch 4 cm.
- Das Durchstichwehr Quitzöbel wurde nach Kenterung der Strömungsrichtung im Gnevsdorfer Vorfluter am 18. August um 8:35 Uhr geschlossen (WSA, 2002). Damit wurde die Havel komplett gegen die Elbe abgesperrt und verhindert, dass bereits vor Beginn der kontrollierten Flutung über das Wehr Neuwerben Elbewasser über den Gnevsdorfer Vorfluter in die Havelniederung strömt. In Abbildung 3-3 ist zu erkennen, wie sich nach dem Totalabschluss der Havel am Wehr Quitzöbel ein Wasserstandsgefälle zwischen dem mit der Elbe in Verbindung stehenden Gnevsdorfer Vorfluter und der Havel aufbaut.

Zusammenfassend wird festgestellt: Durch die Abflussreduzierung in Berlin und den verstärkten Rückhalt von Haveleigenwasser in den Stauhaltungen Brandenburg, Bahnitz und Rathenow (Abbildung 3-3) wurde eine Drosselung des Zuflusses von Haveleigenwasser in den flutungsrelevanten Speicherraum unterhalb von Rathenow und weiter in die Elbe erreicht (Abbildung 3-1 und Abbildung 2-9). Infolge der sich ständig verschlechternden Vorflutbedingungen an der Mündung des Gnevsdorfer Vorfluters in die Elbe erhöhten sich die Wasserstände im Havelschlauch unterhalb von Rathenow kontinuierlich (Abbildung 3-3). Der Abfluss am Pegel Havelberg-Stadt ging bereits vor dem Totalabschluss der Havel auf Werte nahe Null zurück (Abbildung 3-2).

3.3 Auswirkungen der Flutung der Havelniederung und ihrer anschließenden Entlastung

Abbildung 3-4 zeigt die Wasserspiegellagen in der Havel zwischen Ketzin und Gnevsdorf vom 20. bis 23. August 2002. Der Graph für den 20. August 19 Uhr charakterisiert die Situation eine Stunde vor Öffnung des Wehres Neuwerben, die Graphen für den 21. und 22. August zeigen Momentaufnahmen während der Flutung und der Graph für den 23. August 19 Uhr charakterisiert die Situation ca. 6 Stunden nach Schließen des Wehres Neuwerben bzw. ca. 11 Stunden vor Öffnung des Wehres Quitzöbel.

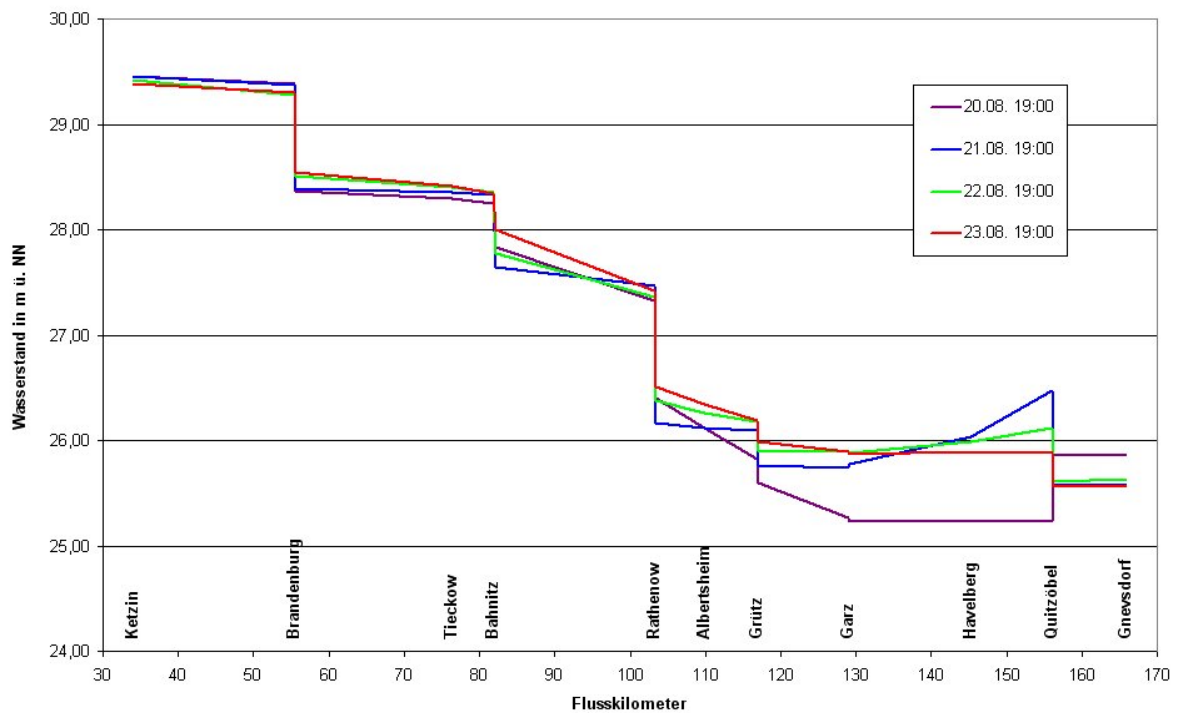


Abbildung 3-4: Längsschnitte der Wasserspiegellagen in der Havel vom 20. bis 23. August 2002

Haltung Brandenburg

Vom 20. bis 23. August gingen die Wasserstände in der Haltung Brandenburg allmählich zurück. In der Haltung Bahnitz wurde die Speicherung weiter erhöht (Abbildung 3-4). Die Wehre in Rathenow wurden am 20. August ab 22:45 Uhr, nur wenige Stunden nach Flutungsbeginn, kurzzeitig geschlossen. Anlass für diese Maßnahme war ein plötzlicher Rückgang des Wasserstandes am Pegel Rathenow OP, der fälschlicherweise auf eine zu frühe Polderöffnung zurückgeführt wurde (WSA, 2002). Das Schließen der Wehre in Rathenow führte zu einem plötzlichen Verfall der Wasserstände an den Unterliegerpegeln bis Grütz und zu einer plötzlichen Abflussreduzierung. Die Abflüsse am Pegel Albertsheim ca. 6 km unterhalb Rathenow gingen innerhalb von 11 Stunden um ca. 100 m³/s zurück (Abbildung 3-1). Nach Einschätzung des WSA Brandenburg war das Schließen der Wehre in Rathenow ein Fehler, da es dadurch zu einer unnötigen zeitlichen Verzögerung bei der Füllung der Flutpolder, insbesondere des Polders 5 (Warnau), kam (WSA, 2002).

Wehre in Rathenow

Öffnen des Wehres Neuwerben

Kurz nach Öffnen des Wehres Neuwerben am 20. August um 20 Uhr wurden etwa 660 m³/s aus der Elbe in die Havel abgeleitet (Abbildung 3-2). Die maximale Ableitungsmenge aus der Elbe von 720 m³/s wurde am 21. August von 11 bis 13 Uhr erreicht. Die Kappung der Hochwasserwelle der Elbe führte zu einer Umkehr der Fließrichtung in der Havel von Neuwerben/Quitzöbel bis oberhalb Garz. Am Pegel Havelberg-Stadt betrug der höchste Abfluss entgegen der natürlichen Fließrichtung der Havel am 21. August um 21 Uhr 450 m³/s. War die Havel zwischen Garz UP und Quitzöbel OP eine Stunde vor Flutung der Havelniederung ausgespiegelt (W = 25,23 m ü. NN), betrug die Wasserstandsdifferenz zwischen beiden Pegeln 24 Stunden später 69 cm (Abbildung 3-4). Der tiefste Punkt der Wasserspiegellinie in der Havel, die so genannte Flutungswurzel, wanderte während der Flutung stromaufwärts bis oberhalb Garz, erreichte aber nicht die Wehranlage Grütz (WSA, 2002). Am 23. August um 19 Uhr, ca. 6 Stunden nach Schließen des Wehres Neuwerben, war die Havel zwischen Garz UP und Quitzöbel OP praktisch wieder ausgespiegelt. Die Wasserstände zwischen beiden Pegeln lagen zu diesem Zeitpunkt zwischen 25,87 und

Schließen des Wehres Neuwerben	<p>25,89 m ü NN, und damit 64 bis 66 cm höher als 72 Stunden vorher (Abbildung 3-4). Der höchste Wasserstand am Pegel Havelberg-Stadt von 26,07 m ü. NN (= 450 cm) trat gegen 0 Uhr am 22. August ein.</p> <p>Durch das Schließen des Wehres Neuwerben am 23. August um 12:53 Uhr wurde die Kappung der Hochwasserwelle der Elbe beendet. Gemäß Wehrbedienungs-vorschrift in der Fassung vom November 1997 (STAU, 1997) hätte mit der Entlastung der Havelniederung 3 Stunden nach dem Schließen des Wehres, also am 23. August gegen 16 Uhr, begonnen werden sollen. Mit Rücksicht auf die Verteidigung der Elbdeiche wurde jedoch auf Empfehlung des Beraterstabes das Durchstichwehr Quitzöbel zunächst so gesteuert, dass maximal der Zufluss zur Havel unterhalb des Wehres Grütz (etwa 20 m³/s) in Richtung Elbe abgegeben wurde. Damit wurde einerseits verhindert, dass der Wasserstand am Pegel Havelberg-Stadt wieder ansteigt, und andererseits sichergestellt, dass der Rückgang der Wasserstände in der Elbe durch die Entlastung der Havelniederung nicht gefährdet wird (SEL, 2002). Gemäß SEL (2002) erfolgte die erste Öffnung des Durchstichwehres Quitzöbel am 23. August vermutlich erst nachdem der 8. Bericht des Beraterstabes mit der o. g. Empfehlung vorlag (16:33 Uhr) und von der Sondereinsatzleitung bestätigt wurde (17:15 Uhr). Mit der eigentlichen Entlastung der Havelniederung durch allmähliche Erhöhung der Abgabe am Durchstichwehr Quitzöbel wurde in den Morgenstunden des 24. August begonnen (SEL, 2002; WSA, 2002).</p>
Wehr Quitzöbel	<p>Die Entlastungsmenge am Wehr Quitzöbel wurde vom 24. bis 27. August allmählich auf etwa 200 m³/s erhöht (Abbildung 3-2). Der Grund für die gebremste Abflusserhöhung war zunächst noch die Rücksichtnahme auf die Elbdeiche (s. o.). Nachdem am 27. August ein Abfluss von etwa 200 m³/s erreicht wurde, wurden von Seiten des LUA Brandenburg verstärkt Bedenken gegen eine weitere Erhöhung der Entlastungsmenge vorgebracht. Konkret wurde vom LUA befürchtet, dass sich ein Kolk unterhalb der Wehrbaustelle infolge der hohen Fließgeschwindigkeiten weiter vergrößert (SEL, 2002).</p> <p>Abbildung 3-5 zeigt die Wasserspiegellagen in der Havel zwischen Ketzin und Gnevsdorf für die ersten 5 Tage nach Abschluss der Flutung. Der Graph für den 23. August 19 Uhr charakterisiert die Situation ca. 6 Stunden nach Schließen des Wehres Neuwerben bzw. ca. 11 Stunden vor Öffnung des Wehres Quitzöbel. Die Graphen für den 24. bis 28. August zeigen Momentaufnahmen während der Entlastung der Havelniederung. Auf fast der gesamten Fließstrecke zwischen Ketzin und Quitzöbel verringerten sich die Wasserstände vom 23. bis 28. August kontinuierlich. Durch die Begrenzung der Entlastungsmenge am Wehr Quitzöbel erfolgte der Wasserstandsrückgang am Pegel Havelberg-Stadt zum Ende des Darstellungszeitraumes von Abbildung 3-5 allerdings nur mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 10 cm/Tag.</p>

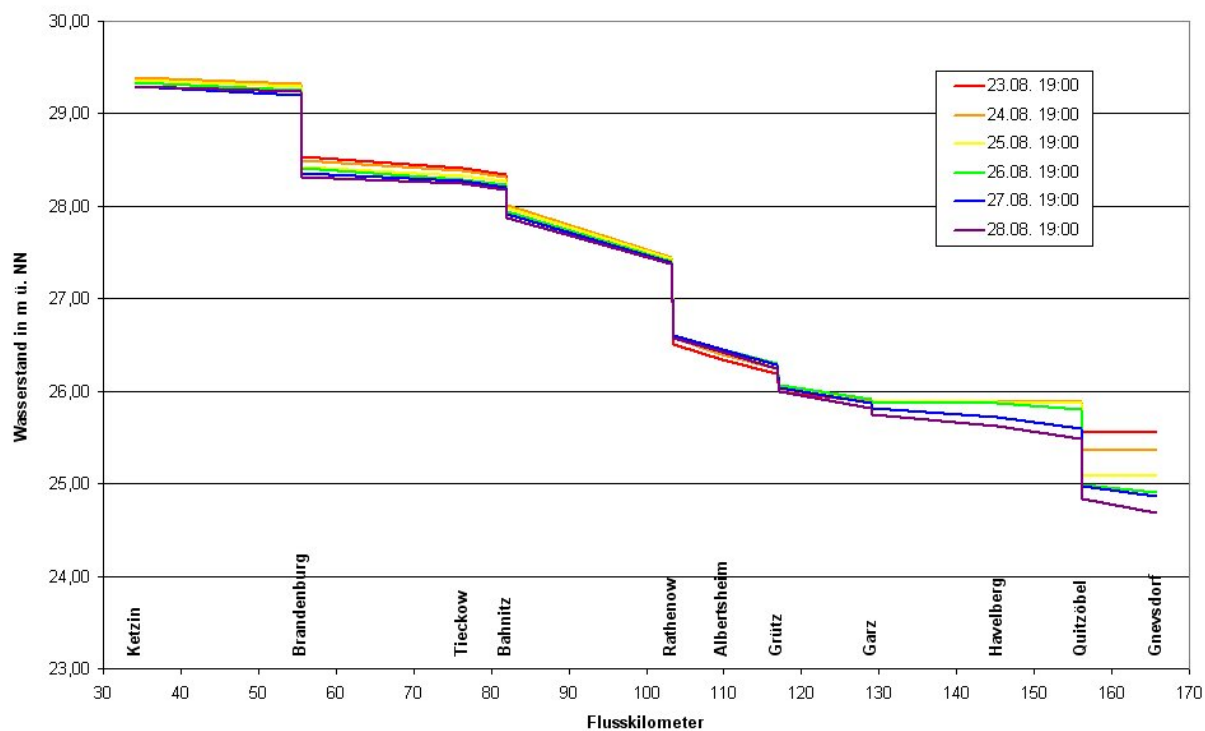


Abbildung 3-5: Längsschnitte der Wasserspiegellagen in der Havel vom 23. bis 28. August 2002

Weiterführende Ausführungen zur Beeinflussung des Hochwasserablaufs in der Havel durch die Flutung der Havelniederung enthält Abschnitt 2.

4 Statistische Einordnung und Vergleich des Hochwassers in Elbe und Havel

**Hochwasser-
statistische Ein-
ordnung August-
hochwasser 2002**

Der Vergleich des Hochwassers in der Elbe und in der Havel erfolgt auf Basis der statistischen Wiederkehrintervalle, die den Scheitelabflüssen und -wasserständen des Hochwassers 2002 in Elbe und Havel zugeordnet werden. Tabelle 4-1 zeigt zunächst die hochwasserstatistische Einordnung des Augusthochwassers 2002 für die Elbe. Die in Tabelle 4-1 angegebenen statistischen Wiederkehrintervalle wurden IKSE (2004) entnommen. Da die Wiederkehrintervalle abhängig sind von der Jahresreihe, die der extremwertstatistischen Auswertung zugrunde gelegt wird, wird die verwendete Reihe ebenfalls in Tabelle 4-1 angegeben. Der Einfluss der Reihenlänge auf die Wiederkehrintervalle wird in IKSE (2004) ebenso ausführlich diskutiert wie die Einbeziehung des Hochwassers 2002 in die Statistik. Für den Pegel Dresden z. B. liegt das HQ_{100} je nach Reihenlänge und Berücksichtigung des Hochwassers 2002 (ja/nein) zwischen 3200 und 4500 m³/s.

**Wiederkehr-
intervall**

Tabelle 4-1 zeigt eine deutliche Abnahme der den Scheitelabflüssen des Hochwassers 2002 zugeordneten statistischen Wiederkehrintervalle zwischen Dresden und Neu Darchau. Die Retention auf natürlichen (nicht deichgeschützten) Flächen und auf deichgeschützten Flächen infolge Überströmung von Deichen oder Deichbrüchen führte nach Abschnitt 2.2.3 oberhalb der Mündung der Mulde zu einer deutlichen Abflachung der Hochwasserwelle und einer damit verbundenen Scheitelreduzierung. Folgerichtig verringert sich das Wiederkehrintervall zwischen Dresden und Aken von 100 bis 200 Jahren auf ca. 100 Jahre. Ohne Retention wäre nach IKSE (2004) unterhalb der Muldemündung mit einer Zunahme des Wiederkehrintervalls auf über 200 Jahre zu rechnen gewesen. Auf dem gesamten Flussabschnitt zwischen den Mündungen der Mulde und der Havel liegt das Wiederkehrintervall um 100 Jahre. Infolge der Scheitelkappung durch die Flutung der Havelniederung (Abschnitt 2.2.4) verringert sich das Wiederkehrintervall weiter auf etwa 70 Jahre am Pegel Wittenberge. Da der Scheitelabfluss zwischen Wittenberge und Neu Darchau noch einmal deutlich zurückgeht, verringert sich auch das dem Scheitelabfluss zugeordnete Wiederkehrintervall weiter.

Tabelle 4-1: Wiederkehrintervalle der Scheitelabflüsse des Hochwassers 2002 für ausgewählte Elbpegel zwischen Dresden und Neu Darchau (IKSE, 2004)

Pegel	Scheitelabfluss in m ³ /s	Wiederkehrintervall T in a	ausgewertete Jahresreihe
Dresden	4580	100 – 200	1851 – 2002
Torgau	4420	100 – 200	keine Angabe
Wittenberg	4130	100 – 200	1950 – 2002
Aken	4040	100	keine Angabe
Barby	4320	100	1900 – 2002
Magdeburg-Strombrücke	4180	100	keine Angabe
Tangermünde	3850	100	1920 – 2002
Wittenberge	3830	(70) ¹	1900 – 2002
Neu Darchau	3420	(35) ¹	1900 – 1995

1 – Wiederkehrintervall durch Flutung der Havelniederung beeinflusst

Havel

Während für die Elbe davon ausgegangen werden kann, dass die den Scheitelabflüssen zugeordneten Wiederkehrintervalle auch für die Scheitelwasserstände gültig sind, ist diese Annahme für die Havel nicht zulässig. Im flutungsbeeinflussten Flussabschnitt zwischen Quitzöbel und Grütz weichen die Wiederkehrintervalle für die Scheitelwasserstände teilweise beträchtlich von denen der Scheitelabflüsse ab. Ge-

mäß Tabelle 3-1 liegt das statistische Wiederkehrintervall für die im August 2002 vor Flutung der Havelniederung erreichten Scheitelabflüsse bei etwa 2 Jahren. An den Pegeln Ketzin und Albertsheim wurde HQ_2 knapp unterschritten. Am Pegel Havelberg-Stadt wurde HQ_2 erreicht, allerdings erst während der Entlastung der Havelniederung. Im Vergleich zu den relativ einheitlichen Wiederkehrintervallen bezüglich der Scheitelabflüsse zeigen die den Scheitelwasserständen zugeordneten Wiederkehrintervalle ein deutlich abweichendes Verhalten (Tabelle 4-2). An den nicht unmittelbar durch die Flutung beeinflussten Pegeln von Ketzin bis Rathenow lagen die Scheitelwasserstände knapp unter dem 2-jährigen Ereignis. Das Wiederkehrintervall entspricht also in diesem Flussabschnitt dem der Scheitelabflüsse. Unterhalb von Rathenow lagen die Scheitelwasserstände durchweg über HW_2 . Die Wiederkehrintervalle sind umso größer, je geringer die Entfernung zur Havelmündung ist. In Quitzöbel und in Havelberg, wo die Beeinflussung durch die Flutung am größten war, lagen die Scheitelwasserstände höher als HW_{100} .

Tabelle 4-2: Scheitelwasserstände während des Hochwassers 2002 an ausgewählten Havelpegeln und ihre extremwertstatistische Einordnung

Pegel	HW_{max} (08/02)	HW_2^1	HW_5^1	HW_{10}^1	HW_{20}^1	HW_{50}^1	HW_{100}^1	Wiederkehr- intervall T in a
	m ü. NN							
Ketzin	29,49	29,69	29,92	30,08	30,23	30,43	30,57	< 2
Brandenburg UP	28,55	28,82	29,19	29,39	29,56	29,76	29,89	< 2
Bahnitz UP	28,13	28,35	28,71	28,91	29,07	29,26	29,39	< 2
Rathenow UP	26,64	26,73	27,10	27,31	27,48	27,67	27,80	< 2
Grütz UP	26,07	25,72	26,08	26,27	26,43	26,62	26,74	≈ 5
Garz UP	25,90	24,91	25,40	25,65	25,86	26,09	26,24	20 - 50
Havelberg-Stadt	26,07	24,63	25,17	25,43	25,63	25,83	25,94	> 100
Quitzebel OP	26,50	24,46	24,98	25,22	25,40	25,57	25,66	> 100

1 – nach Angaben des WSA Brandenburg (WSA, 2002) unter Verwendung der Jahresreihe 1967 bis 2000

Zusammenfassung statistische Einordnung

Zusammenfassend wird festgestellt: Elbe und Havel waren vom Hochwasser 2002 in sehr unterschiedlichem Maße betroffen. Während in der Elbe an der Havelmündung ein etwa 100-jähriger Hochwasserscheitel eintrat, kam es in der Unteren Havel zum Ablauf eines maximal 2-jährigen Ereignisses. Die in Quitzöbel und Havelberg beobachteten extremen Havelwasserstände mit statistischen Wiederkehrintervallen von mehr als 100 Jahren waren Folge der Flutung der Havelniederung und nicht des Eigenhochwassers aus dem Havel Einzugsgebiet. Durch die Flutung der Havelniederung wurde das Wiederkehrintervall des Elbescheitels von 100 auf etwa 70 Jahre reduziert. Das Zusammentreffen eines 100-jährigen Hochwassers in der Elbe mit einem etwa 2-jährigen Hochwasser in der Havel stellt ein zwar seltenes, aber nicht einmaliges Ereignis dar. Insbesondere bei Winterhochwassern erscheinen ungünstigere Kombinationen durchaus realistisch. So liegen die Wiederkehrintervalle, die den Havelabflüssen während der Winterhochwasser der Elbe 1981 und 1988 zugeordnet werden, bei 5 bis 10 Jahren, in Havelberg z. T. auch darüber (10 bis 20 Jahre für das Ereignis 1981).

5 Literaturverzeichnis

- BfG (2002): Das Auguthochwasser 2002 im Elbegebiet. Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz.
- BfG (2003): Erstellung der Abflusskurven für die Abflusspegel an der Elbe nach dem Hochwasser 2002. Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz.
- BMLFUW (2004): Analyse der Hochwasserereignisse vom August 2002 - FloodRisk: Synthesebericht. Herausgegeben vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- BÖER, W.; SCHUBERT, H. UND WILSER, O. (1959): Das Sommerhochwasser der Elbe 1954. Besondere Mitteilungen zum Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch Nr. 19, Akademie-Verlag, Berlin.
- DWD (2002a): Zeitlicher Verlauf der täglichen Niederschlagshöhen in Mitteleuropa zwischen dem 1. und 13. August 2002. Deutscher Wetterdienst, Offenbach (<http://www.dwd.de/de/FundE/Klima/KLIS/prod/spezial/regen/index.htm>).
- DWD (2002b): Das Niederschlagsgeschehen in Mitteleuropa in den ersten 12 Tagen des August 2002. Deutscher Wetterdienst, Offenbach (<http://www.dwd.de/de/FundE/Klima/KLIS/prod/spezial/regen/index.htm>).
- DYCK, S.; BECKER, A.; FLEMMING, G.; GLUGLA, G.; GOLF, W.; GRÜNEWALD, U.; GURTZ, J.; KLUGE, C. und PESCHKE, G. (1980): Angewandte Hydrologie. Teil 2: Der Wasserhaushalt der Flussgebiete. 2. Auflage, Verlag für Bauwesen, Berlin.
- FAULHABER, P. (1998): Entwicklung der Wasserspiegel- und Sohlhöhen in der deutschen Binnenelbe innerhalb der letzten 100 Jahre – Einhundert Jahre „Elbestromwerk“. In: Gewässerschutz im Einzugsgebiet der Elbe. 8. Magdeburger Gewässerschutzseminar, Teubner-Verlag, Stuttgart und Leipzig.
- FAULHABER, P. (2000): Veränderung hydraulisch-morphologischer Parameter der Elbe. Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau Nr. 82, S. 97 – 117.
- IKSE (2001): Bestandsaufnahme des vorhandenen Hochwasserschutzes im Einzugsgebiet der Elbe. Internationale Kommission zum Schutz der Elbe, Magdeburg.
- IKSE (2004): Dokumentation des Hochwassers vom August 2002 im Einzugsgebiet der Elbe. Internationale Kommission zum Schutz der Elbe, Magdeburg.
- KÖRNER, H. (1955): Wasserwirtschaftliche Maßnahmen im Mündungsgebiet der Havel und das Sommerhochwasser der Elbe 1954. Wasserwirtschaft – Wassertechnik, 5 (1955) Heft 7, Seite 224 – 229.
- LHW (2003): Hochwasserereignisse im Sommer 2002 in Sachsen-Anhalt. Hochwasserbericht (Entwurf) des Landesbetriebes für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt, Magdeburg.
- LUA (2002): Das Elbehochwasser im Sommer 2002. Bericht des Landesumweltamtes Brandenburg, Abteilung Gewässerschutz und Wasserwirtschaft, Potsdam.
- MECR (2004): August 2002 catastrophic flood in the Czech Republic. Ministry of Environment of the Czech Republic, Prague.
- NESTMANN, F. UND BÜCHELE, B. (Hrsg.) (2002): Morphodynamik der Elbe. Schlussbericht des BMBF-Verbundprojektes mit Einzelbeiträgen der Partner und Anlagen-CD, Universität Karlsruhe (TH), Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik.
- PÜTTMER, A. (1990): Hochwasserschutz der Elbe unter besonderer Berücksichtigung der Mittleren Elbe. In: Deutsch-deutsche Zusammenarbeit in der Wasserwirt-

- schaft. Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. Heft 94, S. 155 – 176. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- RP Leipzig (2005): Persönliche Mitteilung. Regierungspräsidium Leipzig, Umweltfachbereich, Referat Wasserwirtschaft.
- ROMMEL, J. (2000): Studie zur Laufentwicklung der deutschen Elbe bis Geesthacht seit 1600. Gutachten im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz.
- SCHUMANN, A. H. (2003): Hochwasserstatistische Einordnung des Hochwasserereignisses vom August 2002 und Ermittlung von HQ_r für die Pegel in den Flusseinzugsgebieten der Zwickauer, Freiburger und Vereinigten Mulde sowie der Weißen Elster als Grundlage für die Planung von Maßnahmen des präventiven Hochwasserschutzes. Ergebnisbericht im Auftrag der Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen, Bochum.
- SEL (2002): Hochwasser August 2002. Gemeinsamer Erfahrungsbericht von Sondereinsatzleitung und Beraterstab Wehrgruppe Quitzöbel, Magdeburg.
- STAU (1997): Richtlinie für die Berechnung der Entlastung des Elbehochwasserscheitels in die Havel und zur Steuerung der Wehrgruppe Quitzöbel. Staatliches Amt für Umweltschutz Magdeburg, November 1997.
- WSA (2001): Wehrgruppe Quitzöbel – Bilder und Darstellungen zur Bedeutung und Steuerung der Havelmündungswehre. Wasser- und Schifffahrtsamt Brandenburg.
- WSA (2002): Der Hochwasserschutzraum Havelniederung August/September 2002. Wasser- und Schifffahrtsamt Brandenburg.

Ausgewählte Abflussmessungen während des Hochwassers 2002 (BfG, 2003; IKSE, 2004)

Pegel	Gewässer	Datum	Uhrzeit	W in cm	Q in m ³ /s	v _m in m/s	Verfahren	Q _{mittel} in m ³ /s	Q - Q _{mittel} in m ³ /s	Q - Q _{mittel} in %
Löben	Schwarze Elster	16.08.		280	79,6	0,62	Flügel			
		19.08.		218	53,0	0,56	Flügel			
		22.08.		164	33,1	0,58	Flügel			
Bad Dübren 1	Mulde	16.08.		656	604	1,70	Flügel			
Priorau	Mulde	14.08.		662	890	1,28	Flügel			
		21.08.		325	250	1,21	Flügel			
		23.08.		273	200	1,14	Flügel			
		13.08.	10:45 - 14:40	705	2162	1,79	Flügel	2260	-98	4
Dresden	Elbe	15.08.	13:08	796	3193	2,16	ADCP	2990	203	7
		15.08.	17:13	821	3457	2,21	ADCP	3230	227	7
		16.08.	09:42	898	4200	2,38	ADCP	4050	150	4
		17.08.	11:23	939	4488	2,48	ADCP	4570	-82	2
		18.08.	12:54	855	3579	2,26	ADCP	3570	9	0
		18.08.	17:10	834	3339	2,20	ADCP	3350	-11	0
		18.08.	22:27	813	3060	2,12	ADCP	3150	-90	3
		19.08.	09:51	751	2578	2,00	ADCP	2610	-32	1
		19.08.	14:03	726	2374	1,95	ADCP	2410	-36	1
		19.08.	19:49	696	2160	1,54	ADCP	2190	-30	1
Torgau	Elbe	20.08.	09:58	610	1679	1,70	ADCP	1660	19	1
		20.08.	19:48	565	1366	1,54	ADCP	1440	-74	5
		14.08.		773	2435	1,50	Flügel	2410	25	1
		16.08.	13:40	839	2984	1,68	ADCP	3030	-46	2
Wittenberg/L.	Elbe	17.08.	14:32	928	4136	1,96	ADCP	4110	26	1
		18.08.	08:17	949	4425	1,99	ADCP	4420	5	0
		18.08.	09:13	948	4311	1,96	ADCP	4400	-89	2
				665	3605	1,42	Flügel	3380	225	7

Ausgewählte Abflussmessungen während des Hochwassers 2002 (BfG, 2003; IKSE, 2004)

Pegel	Gewässer	Datum	Uhrzeit	W in cm	Q in m ³ /s	v _m in m/s	Verfahren	Q _{crüdel} in m ³ /s	Q - Q _{crüdel} in m ³ /s	Q - Q _{crüdel} in %
Vockerode	Elbe	15.08.		638	2032	1,00	Flügel	2020	12	1
		16.08.		679	2430	1,06	Flügel	2450	-20	1
		16.08.	18:05	683	2630	1,15	ADCP	2500	130	5
		18.08.	17:46	778	3835		ADCP	3870	-35	1
		18.08.		770	3569	1,23	Flügel	3730	-161	4
Heyrothsberge	Elbeumflut-kanal	16.08.		163	230	0,44	Flügel			
		17.08.		280	722	0,70	Flügel			
		18.08.		296	828	0,75	Flügel			
		19.08.		334	1004	0,80	Flügel			
		21.08.		296	736	0,70	Flügel			
		22.08.		278	691	0,70	Flügel			
		23.08.		256	585	0,65	Flügel			
		26.08.		135	181	0,44	Flügel			
Magdeburg-Strombrücke	Elbe ¹	18.08.		621	3372	1,92 ²	Flügel	3439	-67	2
		19.08.		664	4142	2,04 ²	Flügel	3966	176	4
		20.08.		662	4052	2,05 ²	Flügel	3940	112	3
		21.08.		637	3451	1,94 ²	Flügel	3629	-178	5
		22.08.		607	3427	1,92 ²	Flügel	3279	148	5
		23.08.		582	3025	1,89 ²	Flügel	3006	19	1
		14.08.		534	1216	1,60 ¹	ADCP	1230	-14	1
Magdeburg-Rothensee	Elbe ³	15.08.		580	1392	1,67 ¹	ADCP	1422	-30	2
		16.08.		642	1685	1,68 ¹	ADCP	1714	-29	2
		19.08.		826	3989	1,55 ¹	ADCP	3861	128	3
		20.08.		821	3873	1,53 ¹	ADCP	3783	90	2
		21.08.		799	3371	1,44 ¹	ADCP	3454	-83	2
		22.08.		771	2959	1,36 ¹	ADCP	3070	-111	4

Ausgewählte Abflussmessungen während des Hochwassers 2002 (BfG, 2003; IKSE, 2004)

Pegel	Gewässer	Datum	Uhrzeit	W in cm	Q in m ³ /s	v _m in m/s	Verfahren	Q _{Flut} in m ³ /s	Q - Q _{Flut} in m ³ /s	Q - Q _{Flut} in %
Hohenwarthe ⁵	Elbe	14.08.		698	1145	1,30	ADCP			
		15.08.		744	1340	1,16	ADCP			
		16.08.		793	1529	1,49	ADCP			
		19.08.		1000	3616	1,14	ADCP			
		20.08.		1005	3665	1,05	ADCP			
Tangermünde	Elbe	21.08.		984	3400	1,03	ADCP			
		17.08.	09:02	565	1347	1,26	ADCP	1616	-269	17
		21.08.	11:56	763	3573	0,99	ADCP	3938	-365	9
Wittenberge	Elbe	23.08.	11:10	716	3080	0,95	ADCP	3188	-108	3
		18.08.	10:30	532	1504	1,07	ADCP	1878	-374	20
		21.08.		714	3531	0,90	Flügel	3636	-105	3
		22.08.		713	3628	0,91	Flügel	3627	1	0
		23.08.		706	3454	0,89	Flügel	3558	-104	3
		28.08.		575	2266	0,95	Flügel	2224	42	2
		21.08.	09:45	713	3045	1,04	Flügel	3235	-190	6
Neu Darchau	Elbe	22.08.		728	3275	1,01	Flügel	3384	-109	3
		23.08.		731	3340	1,04	Flügel	3415	-75	2
		24.08.		728	3394	1,05	Flügel	3384	10	0
		25.08.		718	3289	1,06	Flügel	3284	5	0
		26.08.		686	2934	0,98	Flügel	2977	-43	1

1 – Stromelbe + Alte Elbe + Elbeumflut

2 – mittlere Fließgeschwindigkeit in der Stromelbe

3 – Elbe + Elbeumflut

4 – mittlere Fließgeschwindigkeit in der Elbe (ohne Umflut)

5 – Elbe-km 339