

Bericht

Länderübergreifende Analyse des Juni-Hochwassers 2013

Autoren: Jörg Uwe Belz (BfG)
Andreas Becker (DWD)
Uwe Böhm (DWD)
Manfred Bremicker (LUBW, BW)
Herbert Brockmann (BfG)
Norbert Busch (BfG)
Annegret Gratzki (DWD)
Matthias Hammer (BfG)
Markus Hatz (BfG)
Peter Krahe (BfG)
Frank Krüger (MELUR, SH)
Franz-Josef Löpmeier (DWD)
Gabriele Malitz (DWD)
Dennis Meißner (BfG)
Hans Moser (BfG)
Michael Mürlebach (BfG)
Lothar Nordmeyer (MLUV, MV)
Silke Rademacher (BfG)
Ulf Riediger (DWD)
Jürgen Rose (LHW, ST)
Thomas Schmidt (DWD)
Michael Schorr (LHW, ST)
Hans-Georg Spanknebel (TH)
Daniela Supper-Nilges (BfG)
Alfons Vogelbacher, (BLfU, BY)
Petra Walther (LfULG, SN)
Wilfried Wiechmann (BfG)

Anzahl der Seiten: 69

Dieser Bericht entstand auf Veranlassung des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung und des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Rahmen einer Kooperation der Bundesanstalt für Gewässerkunde mit dem Deutschen Wetterdienst. Er wurde durch Beiträge der Wasserwirtschaftsverwaltungen der Länder ergänzt.

Koblenz, den 15.08.2013

Inhaltsverzeichnis

1. Veranlassung	10
2. Hydrometeorologische Rahmenbedingungen für das bundesweite Juni-Hochwasser 2013	11
2.1 Die meteorologische Lage im Vorfeld und während des Juni-Hochwassers 2013	11
2.2 Die Auswirkungen der extremen Bodenfeuchten Ende Mai 2013	14
2.3 Die Bewertung der Starkniederschläge	16
2.4 Der Einfluss der Schneeschmelze	22
2.5 Gebietsniederschlagshöhen der Stromgebiete Mitteleuropas	24
3. Verlauf des Hochwassers	27
3.1 Vorbemerkung	27
3.2 Verlauf des Hochwassers im Wesergebiet	27
3.3 Verlauf des Hochwassers im Rheingebiet	29
3.3.1 Verlauf des Hochwassers im Hochrheingebiet	29
3.3.2 Verlauf des Hochwassers im Oberrheingebiet	30
3.3.3 Zeitliche Überlagerung der Rheinwelle mit großen Nebenflüssen	32
3.3.4 Verlauf des Hochwassers in Mittel- und Niederrhein	33
3.3.5 Fazit Rheingebiet	35
3.4 Verlauf des Hochwassers im Donaugebiet	36
3.4.1 Verlauf des Hochwassers in der Donau	36
3.4.2 Verlauf des Hochwassers in den Donauzuflüssen aus der Schwäbischen Alb	38
3.4.3 Verlauf des Hochwassers in den kleineren bayerischen Donauzuflüssen	38
3.4.4 Verlauf des Hochwassers im Einzugsgebiet von Iller und Lech	38
3.4.5 Verlauf des Hochwassers im Einzugsgebiet der Isar	38
3.4.6 Verlauf des Hochwassers im Einzugsgebiet des Inns	39

3.5 Verlauf des Hochwassers im Elbegebiet.....	39
3.5.1 Verlauf des Hochwassers im tschechischen Elbegebiet.....	39
3.5.2 Verlauf des Hochwassers der Elbe stromauf der Saalemündung.....	42
3.5.3 Verlauf des Hochwassers zwischen Saale- und Havelmündung.....	43
3.5.4 Verlauf des Hochwassers ab Havelmündung bis zum Wehr Geesthacht.....	48
3.6 Folgen des Hochwassers für die Befahrbarkeit der Bundeswasserstraßen	48
3.7 Hochwasservorhersage	49
3.7.1 Hochwasservorhersage Elbe	51
3.7.2 Hochwasservorhersage Donau.....	53
3.7.3 Hochwasservorhersage am Rhein	53
4. Photogrammetrische Ereigniserfassung (Flussgebietsbefliegungen)	56
5. Statistische Charakterisierung des Hochwassergeschehens	58
5.1 Vergleichende Einordnung des Ereignisses 2013 in den historischen Hochwasser-Kontext im Donaugebiet	59
5.2 Vergleichende Einordnung des Ereignisses 2013 in den historischen Hochwasser-Kontext im Elbegebiet.....	63
6. Zusammenfassung	66
7. Literatur	68

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1:	Abweichung der Lufttemperatur im Mai 2013 vom vieljährigen Mittel 1981-2010	11
Abbildung 2.2:	Niederschlagshöhe im Mai 2013 in Prozent vom entspre- chenden vieljährigen Mittel 1961-1990	12
Abbildung 2.3:	Bodenwetterkarte am 01.06.2013, 00 Uhr UTC	13
Abbildung 2.4:	Änderungssignal in Tagen pro Jahr für den Zeitraum 1950-2100 für die Wetterlage „Tief Mitteleuropa“, projiziert durch 11 globale Klimamodellläufe	14
Abbildung 2.5:	Extremwerte der Bodenfeuchte am 31. Mai 2013 verglichen mit dem 31. Mai der Jahre 1962-2012	14
Abbildung 2.6:	Bodenfeuchte Ende Mai (1962-2013)	15
Abbildung 2.7:	Überschwemmte Äcker (links Kartoffeln, rechts Zucker- rüben)	16
Abbildung 2.8:	Aufsummierte tägliche Niederschlagshöhen vom 17. Mai bis 2. Juni 2013 (in 1/10 mm)	16
Abbildung 2.9:	Aufsummierte tägliche Niederschlagshöhen vom 17. Mai bis 23. Mai 2013 (in 1/10 mm)	17
Abbildung 2.10:	Aufsummierte tägliche Niederschlagshöhen vom 24. bis 25. Mai 2013 (in 1/10 mm)	17
Abbildung 2.11:	Aufsummierte tägliche Niederschlagshöhen vom 26. bis 29. Mai 2013 (in 1/10 mm)	18
Abbildung 2.12:	Aufsummierte tägliche Niederschlagshöhen vom 30. Mai bis 2. Juni 2013 (in 1/10 mm)	18

Abbildung 2.13:	Niederschlagssumme (in mm) in den 7 Tagen vom 27. Mai 2013 (06 UTC) bis 3. Juni 2013 (06 UTC) in Deutschland und angrenzenden Regionen (unter Verwendung angeeichter Radardaten)	19
Abbildung 2.14:	Aufeinanderfolge der täglichen Niederschlagshöhen (blaue Balken) und deren kumulierte Summe (rote Linie) mit Angabe des Niederschlagssolls im Monat Mai (orange Linie) am Beispiel der Station Garsebach bei Meißen (01.05.-03.06.2013)	20
Abbildung 2.15:	Wasseräquivalent der Schneedecke im SNOW4- Modellgebiet am 26. Mai 2013, 12 UTC	22
Abbildung 2.16:	Differenz Tagessumme Niederschlagsdargebot – Nied- erschlag am 08. Mai 2013, Donau-Einzugsgebiet	23
Abbildung 2.17:	Differenz Tagessumme Niederschlagsdargebot – Nied- erschlag am 31. Mai 2013, Donau-Einzugsgebiet	23
Abbildung 2.18:	Aufeinanderfolge der täglichen Niederschlagshöhen (blaue Balken) für den Zeitraum 1.5. bis 15.6. 2013 sowie deren kumulierte Summe (rote Linie) bis zum 3.6.2013 und die kumulierte Summe des Niederschlagssolls im Monat Mai und Juni (anteilig) als Flächenmittel der Stromgebiete Mitteleuropas (AEo= 535.000 km²).....	25
Abbildung 3.1:	Ablauf der Hochwasserwelle vom Juni 2013 an der Weser unter Berücksichtigung der Aufhöhung aus Nebenflüssen..	28
Abbildung 3.2:	Ablauf der Hochwasserwelle des Rheins vom Juni 2013 unter Berücksichtigung der Aufhöhung aus Nebenflüssen..	29
Abbildung 3.3:	Wirkung der Polderflutungen am Oberrhein auf den Abfluss am Pegel Maxau	31
Abbildung 3.4:	Ablauf der Hochwasserwellen im Mai und Juni 2013 in den großen Rhein-Nebenflüssen Neckar, Main und Mosel.....	32
Abbildung 3.5:	Wirkung der Polderflutungen am Oberrhein am Pegel Mainz	33

Abbildung 3.6:	Wirkung der Polderflutungen am Oberrhein im weiteren Stromverlauf: modellgestützte Abschätzung der Wirkung eingesetzter Retentionsmaßnahmen für den Pegel Düsseldorf.....	34
Abbildung 3.7:	Schwerpunkte des Hochwassers Juni 2013 im deutschen Rheingebiet.....	35
Abbildung 3.8:	Ablauf der Hochwasserwelle der Donau vom Juni 2013 unter Berücksichtigung der Aufhöhung aus Nebenflüssen..	36
Abbildung 3.9:	Pegel Hofkirchen: Hochwasser-Ganglinie der Donau mit deichbruchbedingter Scheitelbeeinflussung	37
Abbildung 3.10:	Berechneter Zufluss (oben) und gemessener Abfluss (unten) an der Talsperre Orlík (Moldau).....	41
Abbildung 3.11:	Ablauf der Hochwasserwelle der Elbe vom Juni 2013 unter Berücksichtigung der Aufhöhung aus Nebenflüssen.....	42
Abbildung 3.12:	Lage des Deichbruchs bei Fischbeck (links) und Ergebnis einer quasi-operationell vorgenommenen Überflutungssimulation der BfG (rechts)	44
Abbildung 3.13:	Wasserstandsganglinien ausgewählter Elbe- und Nebenflusspegel während des Hochwassers im Juni 2013.....	45
Abbildung 3.14:	Schematische Darstellung der Wehre an der Havelmündung bei Durchführung einer Elbescheitelkappung.....	46
Abbildung 3.15:	Zeitliche Entwicklung der in Folge der Deichbrüche in das Hinterland eingeströmten Wasservolumina (vorläufige Ergebnisse!)	47
Abbildung 3.16:	Vorläufige Variantenberechnung mit dem hydrodynamischen Modell WAVOS der BfG für den Pegel Wittenberge	47
Abbildung 3.17:	Zeiten der HSW-Überschreitung an ausgewählten Pegeln der Bundeswasserstraßen während der Hochwasserperiode Mai/Juni 2013	49
Abbildung 3.18:	Gesamtübersicht der Hochwasserlage in Deutschland, Stand: Montag, 03.06.2013 um 06:31 Uhr	50

Abbildung 3.19:	Wasserstandsganglinie Pegel Dresden und Vorhersagen des LHWZ (31.05. bis 16.06.2013)	51
Abbildung 4.1:	Messbild, Elbedeichbruchsituation bei Fischbeck, Elbe-km 388, 11.06.2013.....	56
Abbildung 4.2:	Messbild, Saaledeichbruchsituation bei Klein Rosenberg, Saale-km 1 / Elbe-km 288,4, 09.06.2013	57
Abbildung 5.1:	Juni 2013: Überschreitungen des HHW (höchster bekannter Wasserstandswert) seit Pegel Einrichtung im Verlauf der Bundeswasserstraße Donau	58
Abbildung 5.2:	Juni 2013: Überschreitungen des HHW (höchster bekannter Wasserstandswert) seit Pegel Einrichtung im Verlauf der Bundeswasserstraßen Elbe und Saale	59
Abbildung 5.3:	Wasserstandsganglinien ausgewählter Donau- und Nebenflusspegel während des Hochwassers im Juni 2013	60
Abbildung 5.4:	Historische Hochwassermarken in Passau.....	61
Abbildung 5.5:	Jährliche Scheitelabflüsse am Pegel Hofkirchen (Donau) seit 1901	62
Abbildung 5.6:	Jährlichkeiten der Scheitelabflüsse an Gewässern 1. Ordnung beim Hochwasser Mai/Juni 2013 im Donaugebiet	63
Abbildung 5.7:	Jährliche Scheitelabflüsse am Pegel Dresden (Elbe) seit 1853	64
Abbildung 5.8:	Pegel Magdeburg-Strombrücke (Elbe): Die zehn größten Hochwasserstandsscheitel pro Jahrhundert seit 1727	65

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Punktueller Eintrittswahrscheinlichkeit 1/T des starken Dauerregens im Mai/Juni 2013 an ausgewählten Stationen (Basis: Tageswerte der Niederschlagshöhe).....	21
Tabelle 2.2:	Gebietsmittelwerte der aufsummierten täglichen Niederschlagshöhe für Teileinzugsgebiete der großen Stromgebiete Deutschlands einschließlich ihrer ausländischen Flussgebietsanteile (1.5.-3.6.2013), die entsprechenden Klimanormalwerte für die Zeitspanne Mai/Juni 1976-2005 und das Verhältnis der beiden Summenwerte.....	26
Tabelle 3.1:	Das Juni-Hochwasser 2013 an wichtigen Pegeln an der Weser im Ereigniskontext.....	28
Tabelle 3.2:	Eingesetztes Volumen in den Retentionsmaßnahmen am Oberrhein.....	30
Tabelle 3.3:	Das Juni-Hochwasser 2013 an wichtigen Pegeln am Rhein im Ereigniskontext.....	36
Tabelle 3.4:	Übersicht über die Situation an den tschechischen Talsperren beim Hochwasser im Juni 2013	40
Tabelle 3.5:	Übersicht der Vorhersagezeiten für Elbe-, Saale und Havelpegel entsprechend der Durchführungssanweisung des Wasserstands und Vorhersagedienstes für die Bundeswasserstraßen Elbe, Saale und Untere Havel-Wasserstraße (Havelberg Stadt)	52
Tabelle 3.6:	Übersicht der Vorhersagezeiten für ausgewählte Rheinpegel.....	54
Tabelle 5.1:	Die jeweils 10 höchsten Hochwasserabflüsse (HQ) an den Donaupegeln Hofkirchen und Achleiten seit Mitte des 19. Jahrhunderts	62
Tabelle 5.2:	Provisorische Wiederkehrintervalle des Juni-Hochwassers 2013 an den Donaupegeln Regensburg-Schwabelweis, Hofkirchen und Achleiten.....	62
Tabelle 5.3:	HHW-Überschreitungen beim Juni-Hochwasser 2013 an der Elbe.....	64
Tabelle 5.4:	HHW-Überschreitungen beim Juni-Hochwasser 2013 an der Saale.....	64
Tabelle 5.5:	Provisorische Wiederkehrintervalle des Juni-Hochwassers 2013 an den Elbepegeln Dresden, Magdeburg-Strombrücke und Neu Darchau	65

1. Veranlassung

In den letzten Tagen des Monats Mai und insbesondere im Juni des Jahres 2013 gab es in den deutschen Flussgebieten außerordentliche Hochwasserextreme. Am stärksten betroffen waren Donau und Elbe, wo über weite Strecken neue Rekordwerte der Wasserstände beobachtet wurden. Aber auch an zahlreichen anderen Gewässern in weiten Teilen von Bayern, Baden-Württemberg, Sachsen, Thüringen, im südlichen und westlichen Brandenburg, im südlichen Niedersachsen und in östlichen und nördlichen Teilen Hessens sind zum Teil außergewöhnliche Hochwasser aufgetreten. Die Folge waren weiträumige Ausuferungen, Bevölkerungseвакуierungen enormen Ausmaßes, große Schäden an der Verkehrsinfrastruktur und weitere volkswirtschaftliche Schäden in noch unbekannter Größenordnung.

Der BfG-Bericht 1793, erstellt durch die Bundesanstalt für Gewässerkunde und den Deutschen Wetterdienst, legte unmittelbar im Anschluss an das Ereignis das primäre fachliche Fundament. Darauf aufbauend wurde der vorliegende BfG-Bericht 1797 in Zusammenarbeit mit den Fachbehörden der Bundesländer um zusätzliche Aspekte ergänzt und entsprechend dem mittlerweile konsolidierteren Erkenntnisstand aktualisiert. Die enthaltenen Dokumentationen und Untersuchungen beruhen bezüglich des Hochwasserereignisses unverändert auf größtenteils noch ungeprüften Zahlen und Angaben und haben vorläufigen Status.

2. Hydrometeorologische Rahmenbedingungen für das bundesweite Juni-Hochwasser im Jahre 2013

2.1 Die meteorologische Lage im Vorfeld und während des Juni- Hochwassers 2013

Der Frühling 2013 verlief in Deutschland kühl und niederschlagsreich sowie sehr sonnenscheinarm. Abgesehen von ein paar milden Tagen Anfang März dominierte im Frühjahr bis in den April hinein verbreitet winterliche Witterung. Ab Mitte April herrschte dann regional sonniges und warmes Wetter. Dieses dauerte im Mai im Osten (auf der warmen Seite der Tiefdruckgebiete) an, bevor sich dort wie zuvor im Westen Deutschlands nasses, sonnenscheinarmes und kühles Wetter durchsetzte.

Der Mai 2013 war extrem nass, sehr sonnenscheinarm und etwas kühler als im vieljährigen Mittel. Die regionalen Unterschiede sind in der Abbildung 2.1 für die Lufttemperatur und in der Abbildung 2.2 für den Niederschlag dargestellt.

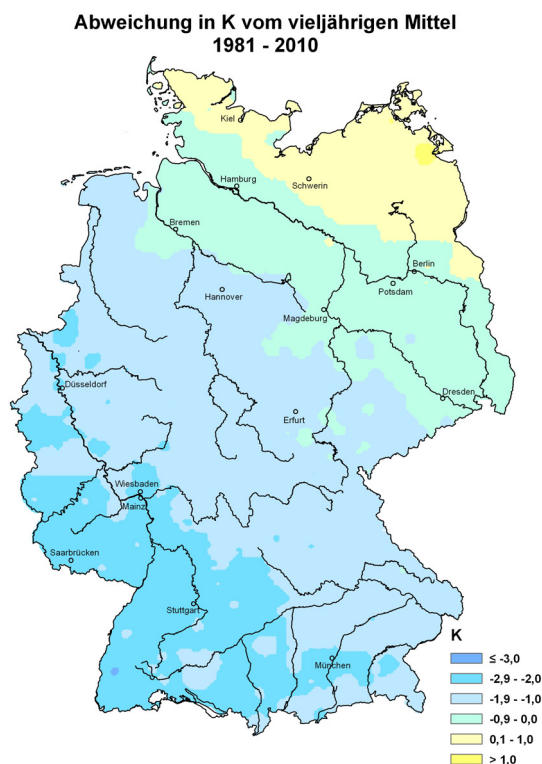


Abb. 2.1: Abweichung der Lufttemperatur im Mai 2013 vom vieljährigen Mittel 1981-2010

Im Nordosten Deutschlands war es im Mai 2013 um 1 K wärmer, im Südwesten mehr als 2 K kälter und im diagonalen Streifen dazwischen bis zu 2 K kälter (Bezugsperiode 1981-2010).

Im Mai 2013 fiel in weiten Teilen Deutschlands - mit Ausnahme des Nordwestens, des Nordostens und Teilen des Südens - im vieljährigen Mittel das Doppelte der mittleren monatlichen Niederschlagsmenge im Mai (Bezugsperiode 1961 bis 1990, vgl. Abb. 2.2). In einem breiten Streifen vom südlichen Schleswig-Holstein bis zum nördlichen Bayern wurden 250 %, gebietsweise sogar mehr als 300 % des monatlichen Niederschlagssolls erreicht.

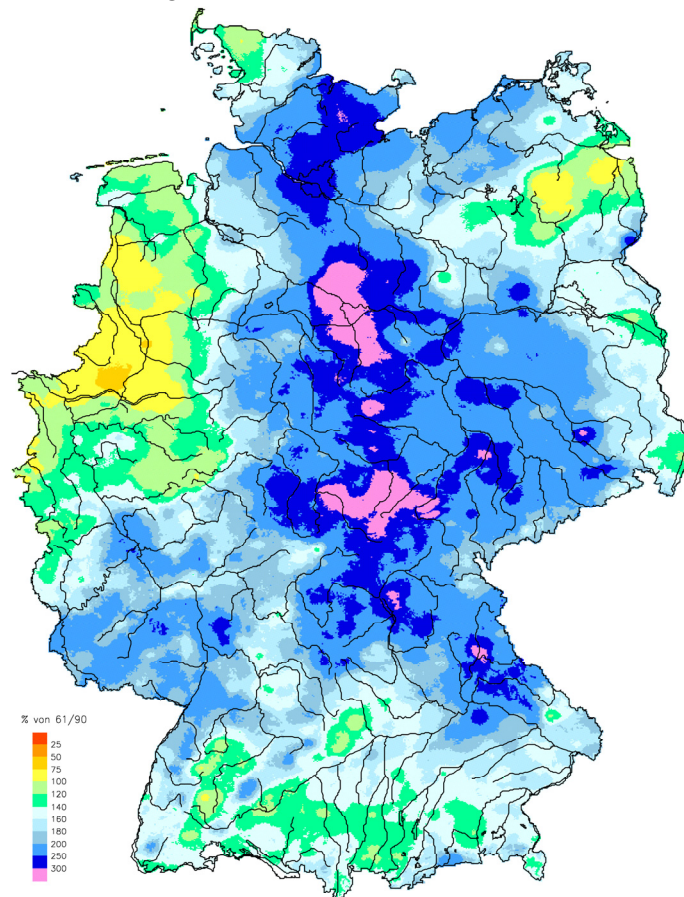


Abb. 2.2: Niederschlagshöhe im Mai 2013 in Prozent vom entsprechenden vieljährigen Mittel 1961-1990

Die Großwetterlage (GWL) wurde in der ersten Maiwoche durch die „Hochdruckbrücke Mitteleuropa“ (BM) bestimmt. In der zweiten Maiwoche herrschte die sonst bevorzugt im Winterhalbjahr auftretende „winkelförmige Westlage“ (WW). Dabei wurden die vom Atlantik ostwärts ziehenden Tiefausläufer über dem östlichen Mitteleuropa abgebremst und der Höhenströmung gemäß nach Norden umgelenkt. Vom 15. bis 17. Mai gelangte bei der „Südlage, zyklonal“ (Sz) vorübergehend sehr warme Luft ins östliche Mitteleuropa. Vom 18. bis 21. Mai dominierte die GWL „Tief Mitteleuropa“ (TM). Am 22. Mai begann die 7 Tage dauernde Phase der GWL „Trog Mitteleuropa“ (TrM). Von Nordwesten einströmende Polarluft ließ über Mitteleuropa einen hoch reichenden Kaltluftkörper entstehen. Um diesen herum kreisten kleine, sehr wetterwirksame Bodentiefs. Es kam verbreitet, vor allem im Norden und in der Mitte Deutschlands, zu zeit- und gebietsweise sehr ergiebigen Niederschlägen. Im Westen sank die Schneefallgrenze vorübergehend bis in die mittleren Mittelgebirgslagen.

Ab dem 29. Mai 2013 verstärkte sich mit der GWL „Tief Mitteleuropa“ über das Monatsende hinaus die niederschlagsreiche Witterung, wobei nun insbesondere der Süden und der Südosten Deutschlands großflächig von mehrtägig kräftigen Dauerregen betroffen waren.

Auslöser für die enormen Niederschlagsmengen von gebietsweise über 200 Liter pro Quadratmeter (in 96 h) war das umfangreiche Tiefdruckgebiet über dem östlichen Mitteleuropa (siehe Abb. 2.3). Um dieses Tief herum strömte in weitem Bogen immer wieder warme und vor allem feuchte Luft aus dem Süden Europas in Richtung Deutschland. Dort glitt die labil geschichtete Luft, welche hochreichend einen großen Flüssigwassergehalt hatte, auf die deutlich kühleren Luftmassen auf, die mit der nördlichen Strömung am Rande des atlantischen Hochs nach Deutschland gelangt waren. Dieser Prozess der Wolkenbildung wurde orografisch bedingt noch verstärkt. Denn durch die nördliche Anströmung auf der Westflanke des Tiefs kam es zusätzlich zu Stauwirkungen an den Nordrändern von Gebirgen wie dem Erzgebirge, dem Thüringer Wald, dem Schwarzwald, der Schwäbischen Alb und den Alpen.

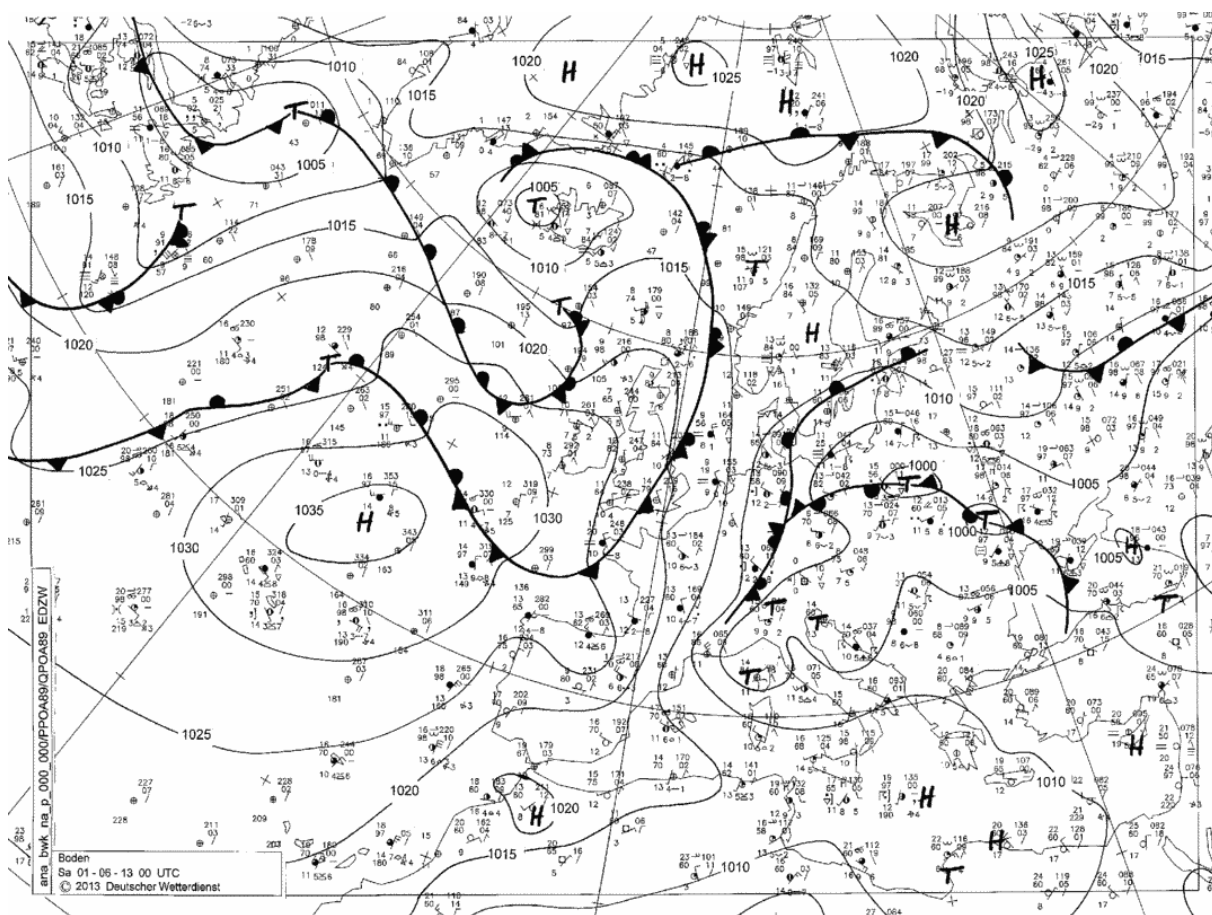


Abb. 2.3: Bodenvetterkarte am 01.06.2013, 00 Uhr UTC

Innerhalb des Ressortforschungsprogrammes KLIWAS wurden im Deutschen Wetterdienst zukünftige Wetterlagen mithilfe zahlreicher Klimamodellläufe analysiert (DWD-Pressiskonferenz, Mai 2012). Die Klimasimulationen projizieren für die Zukunft, dass die Wetterlage „Tief Mitteleuropa“ zum Ende dieses Jahrhunderts bis zu 7 Tage pro Jahr häufiger auftreten könnte als in der Mitte des vergangenen Jahrhunderts (Abb. 2.4).

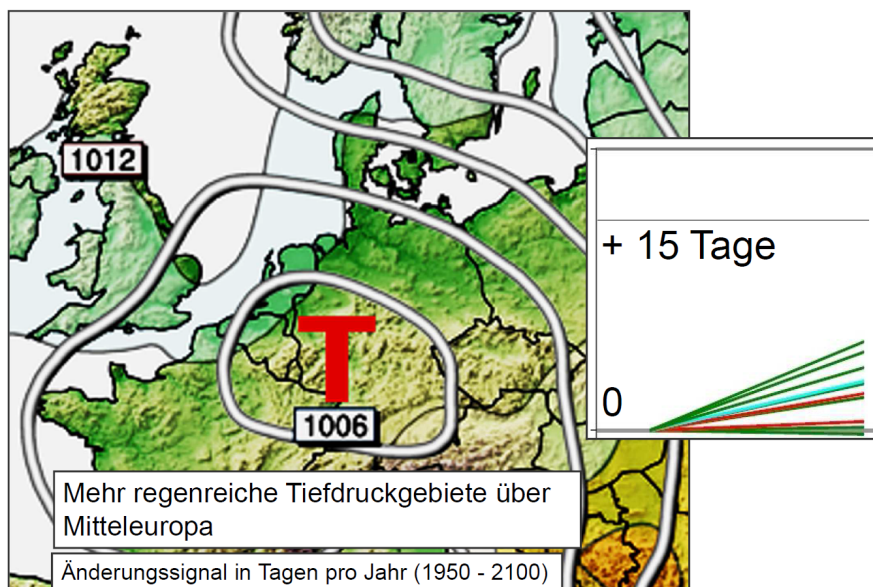


Abb. 2.4: Änderungssignal in Tagen pro Jahr für den Zeitraum 1950-2100 für die Wetterlage „Tief Mitteleuropa“, projiziert durch 11 globale Klimamodellläufe

2.2 Die Auswirkungen der extremen Bodenfeuchten Ende Mai 2013

Während die Landwirtschaft in den vergangenen Jahren im Frühling immer wieder mit Dürren zu kämpfen hatte, war in diesem Jahr in weiten Teilen Deutschlands das andere Extrem der Fall. Die enormen Niederschlagsmengen, die Ende Mai fielen, sorgten großräumig für weitgehende Wassersättigung der Böden und vielerorts überstauten Bodenoberflächen. Ende Mai wiesen rund 40 Prozent der Fläche Deutschlands so hohe Bodenfeuchtwerte auf, wie sie seit Beginn der Messungen 1962 noch nicht beobachtet wurden. Diese entsprechen den dunkelblauen Flächen in Abbildung 2.5, welche auch die Hochwasserregionen einschließen. Hier wurden am 31.05.2013 neue absolute Maxima erreicht. Die Werte lagen bis in eine Schicht von 60 cm Tiefe verbreitet über 100 % nutzbarer Feldkapazität (nFK).

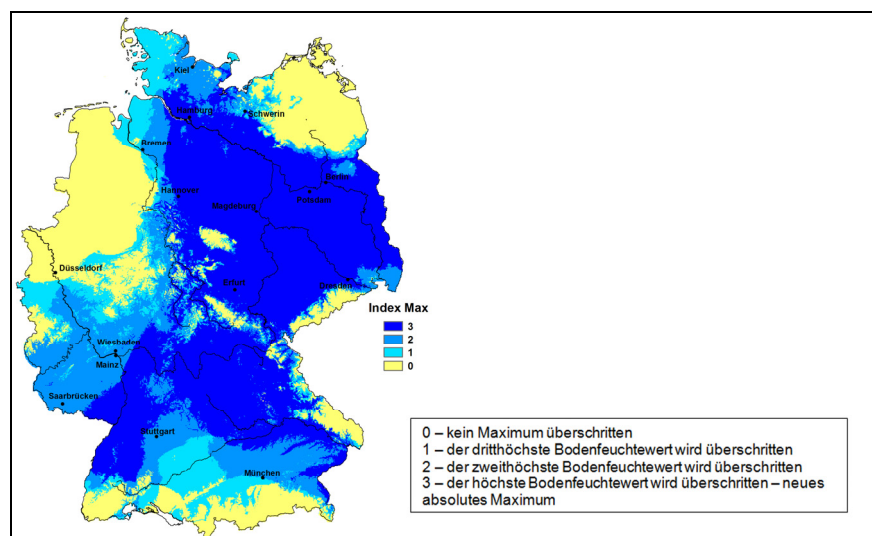


Abb. 2.5: Extremwerte der Bodenfeuchte am 31. Mai 2013 verglichen mit dem 31. Mai der Jahre 1962-2012

Während unter mittleren Bedingungen zu dieser Jahreszeit kaum Sickerwasser auftritt und die Beregnungslandwirte normalerweise bereits die zweite Beregnung durchführen, wurden in diesem Jahr bis Ende Mai mittlere Sickerwasserbewegungen ermittelt, die in der Größenordnung einer Beregnungsgabe von rund 30 Litern pro Quadratmeter (l/m^2) liegen. Dabei sind große räumliche Unterschiede vorhanden. Flächendeckend fiel in der Bundesrepublik in der letzten Maidekade statt der üblichen $25 l/m^2$ Niederschlag rund die dreifache Menge. Solche extremen Bedingungen wurden bisher nur im Jahr 1983 beobachtet (Abb. 2.6).

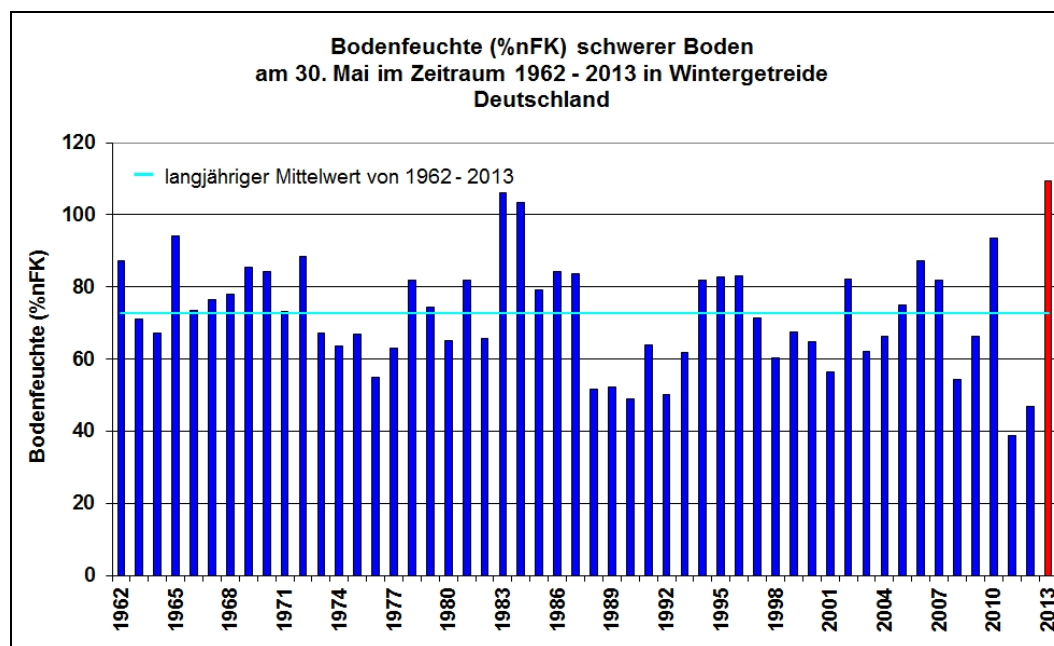


Abb. 2.6: Bodenfeuchte Ende Mai (1962-2013)

Neben der Tatsache, dass die extremen Bodenfeuchten Mitverursacher der Hochwasserereignisse waren, hatten sie erhebliche Auswirkungen auf die Landwirtschaft. Der überwiegende Teil der landwirtschaftlichen Flächen in Deutschland war von den Folgen betroffen. Die Befahrbarkeit der Ackerböden war stark eingeschränkt und stellenweise unmöglich. Anstehende Pflanzenschutzmaßnahmen konnten nicht wie geplant erfolgen und für Silage- und Heuschnitte boten sich keine Möglichkeiten. Die ergiebigen Regenfälle und der kräftige Wind führten zu Wassererosionen auf den Feldern, einige Getreidebestände brachen um. Außerdem erhöhten die feuchten Bedingungen und stehendes Wasser auf den Feldern (Abb. 2.7) den Infektionsdruck für Pilzkrankheiten. Bei Kartoffeln beispielsweise, wo das Wasser längere Zeit zwischen den Dämmen stand, erhöhte sich die Gefahr der Kraut- und Knollenfäule (Phytophthora). Auch Sonderkulturen wie Spargel und Erdbeeren wurden stark in Mitleidenschaft gezogen.

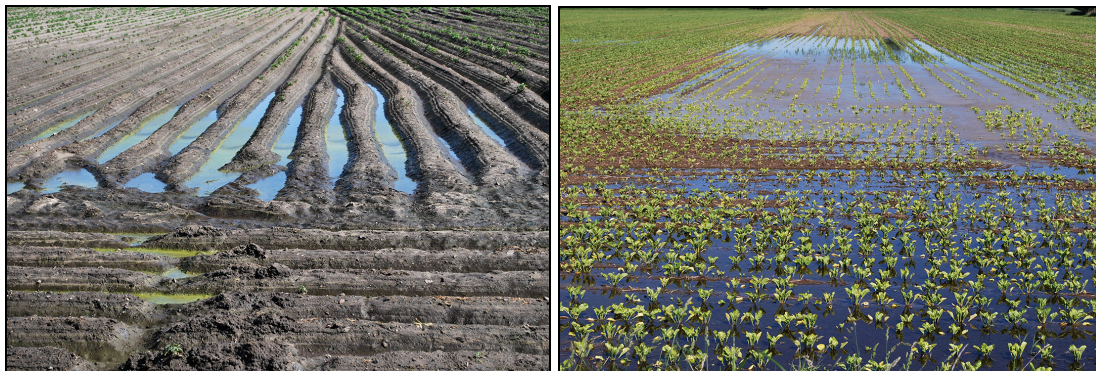


Abb. 2.7: Überschwemmte Äcker (links Kartoffeln, rechts Zuckerrüben).
Quelle: ZAMF Braunschweig, DWD

2.3 Die Bewertung der Starkniederschläge

Wie aus der oben beschriebenen Abfolge der Großwetterlagen hervorgeht, setzte die besondere Entwicklung des Niederschlagsgeschehens am 17. Mai 2013 ein. Die Abbildung 2.8 zeigt die aufsummierten täglichen Niederschlagshöhen vom 17. Mai bis 2. Juni 2013.

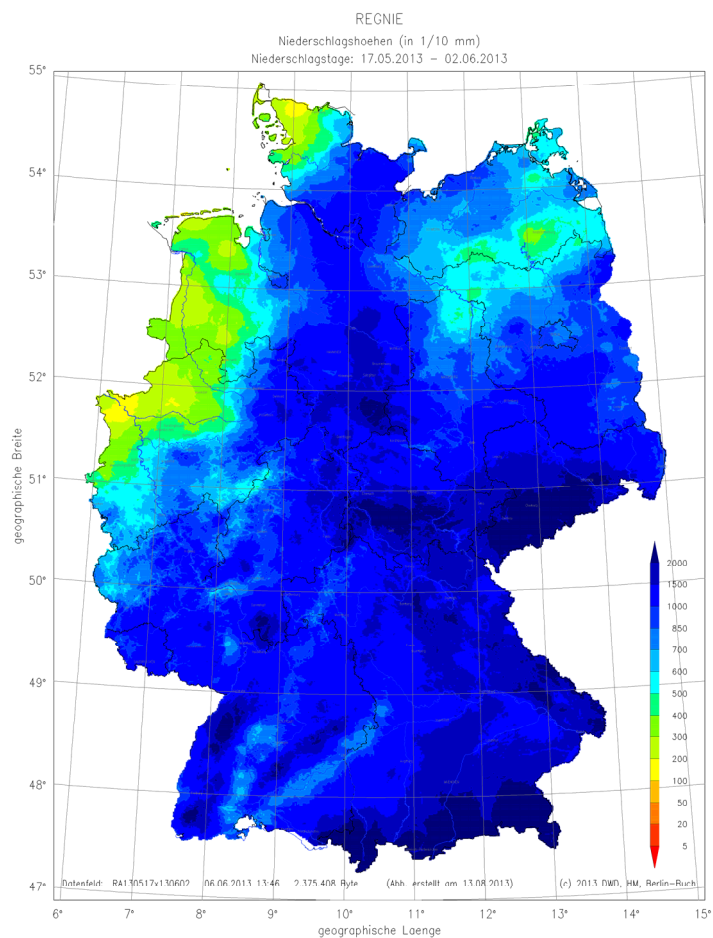


Abb. 2.8: Aufsummierte tägliche Niederschlagshöhen vom 17. Mai bis 2. Juni 2013 (in 1/10 mm)

In den folgenden Abbildungen sind die vier Phasen des Niederschlagsgeschehens visualisiert worden.

1. Aufsummierte Niederschlagshöhen vom 17. bis 23. Mai 2013 (Abb. 2.9): In diesem Zeitraum kam es im Südwesten Deutschlands sowie in Teilen von Schleswig-Holstein, Niedersachsen und Thüringen gebietsweise zu beträchtlichen Niederschlagsmengen.
2. Aufsummierte Niederschlagshöhen vom 24. bis 25. Mai 2013 (Abb. 2.10): In diesem Zeitraum fielen Niederschläge v.a. in nordöstlichen Gebieten Deutschlands.
3. Aufsummierte Niederschlagshöhen vom 26. bis 29. Mai 2013 (Abb. 2.11): In diesem Zeitraum war das Niederschlagsgeschehen durch deutliche regionale Gegensätze gekennzeichnet.
4. Aufsummierte Niederschlagshöhen vom 30. Mai bis 2. Juni 2013 (Abb. 2.12): Zum Ende des niederschlagsreichen Monats Mai und zu Beginn des Monats Juni fiel im Süden und im Südosten Deutschlands großflächig mehrtägiger, kräftiger Dauerregen.

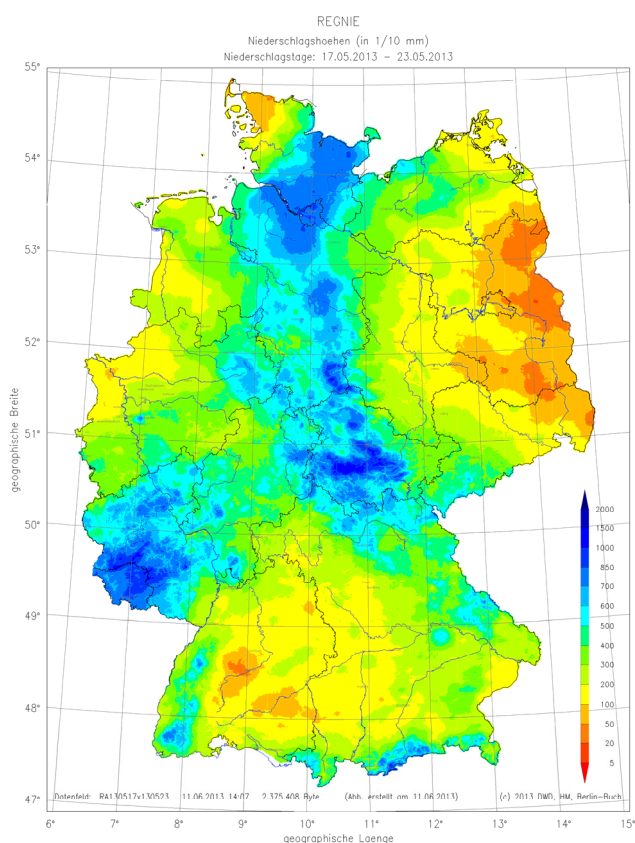


Abb. 2.9:
Aufsummierte tägliche Niederschlagshöhen vom
17. Mai bis 23. Mai 2013 (in 1/10 mm)

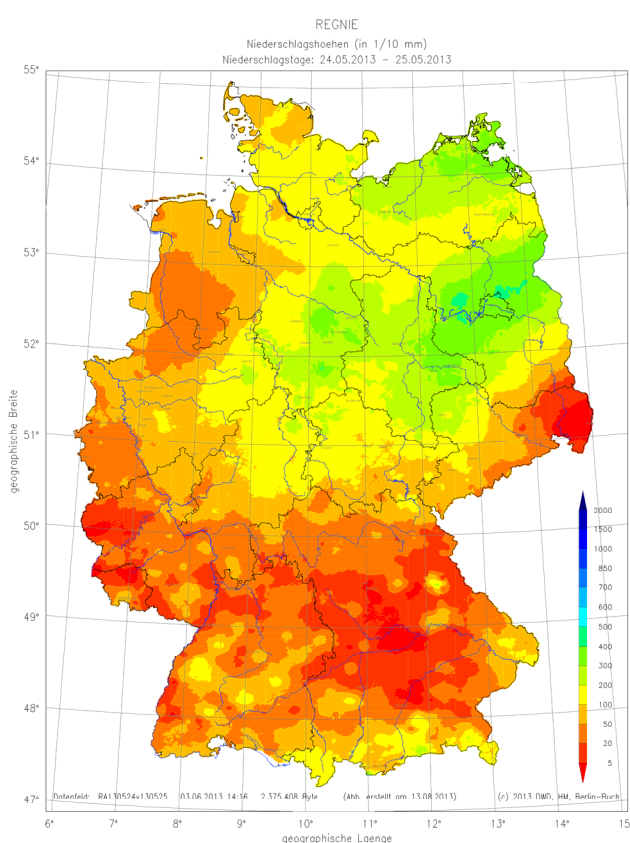


Abb. 2.10:
Aufsummierte tägliche Niederschlagshöhen vom
24. Mai bis 25. Mai 2013 (in 1/10 mm)

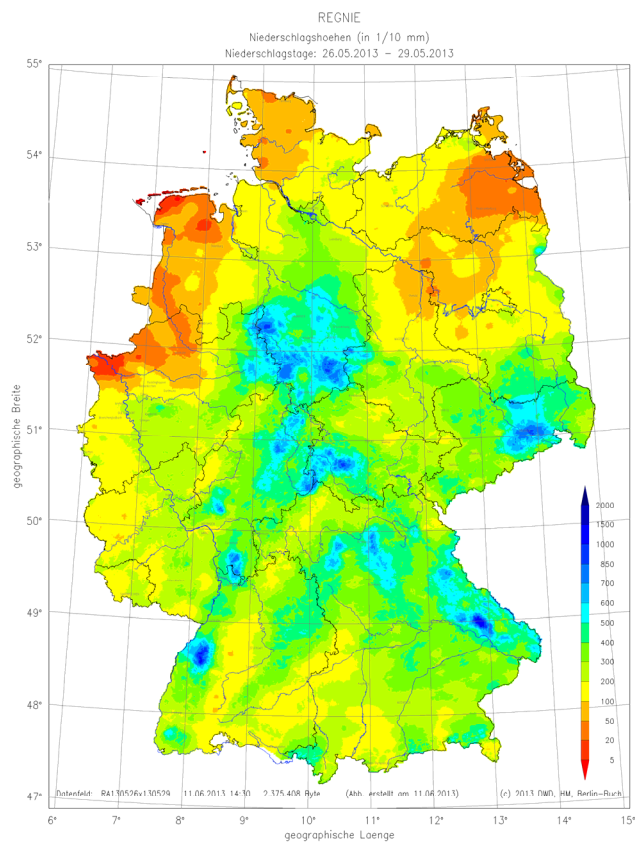


Abb. 2.11:

Aufsummierte tägliche Niederschlagshöhen
vom 26. bis 29. Mai 2013 (in 1/10 mm)

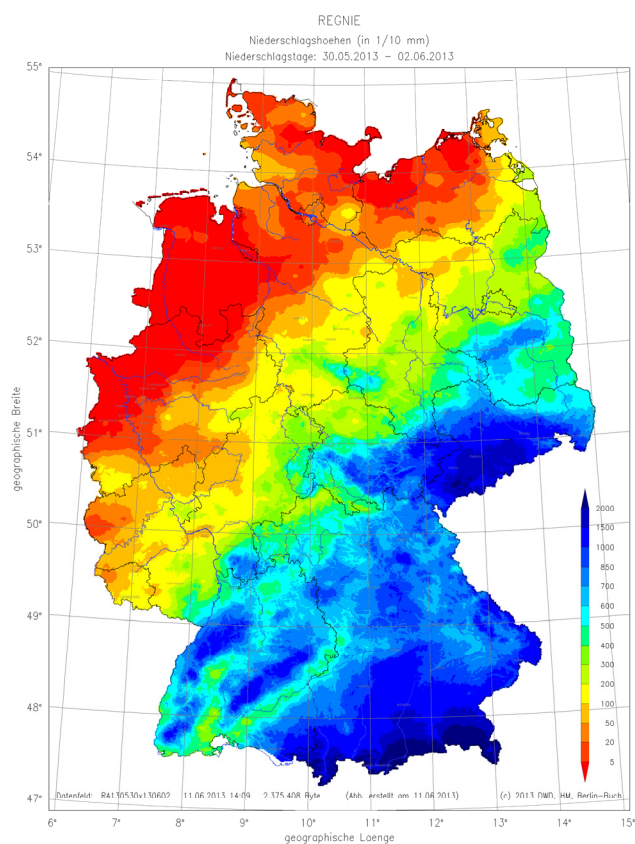


Abb. 2.12:

Aufsummierte tägliche Niederschlagshöhen
vom 30. Mai bis 2. Juni 2013 (in 1/10 mm)

Im Hinblick auf die Wetterlage zum Ende des Monats Mai 2013 ist hervorzuheben, dass die Niederschläge natürlich nicht auf Deutschland beschränkt waren. In den Quellgebieten von Elbe, Donau und deren Nebenflüssen wurden ebenfalls mehrtägige enorme Niederschlagsmengen gemessen. Aus der Abbildung 2.13 geht die regionale Verteilung der Niederschlagssumme in den sieben Tagen vom 27. Mai, 06 Uhr UTC bis 3. Juni 2013, 06 Uhr UTC in Deutschland und angrenzenden Regionen hervor.

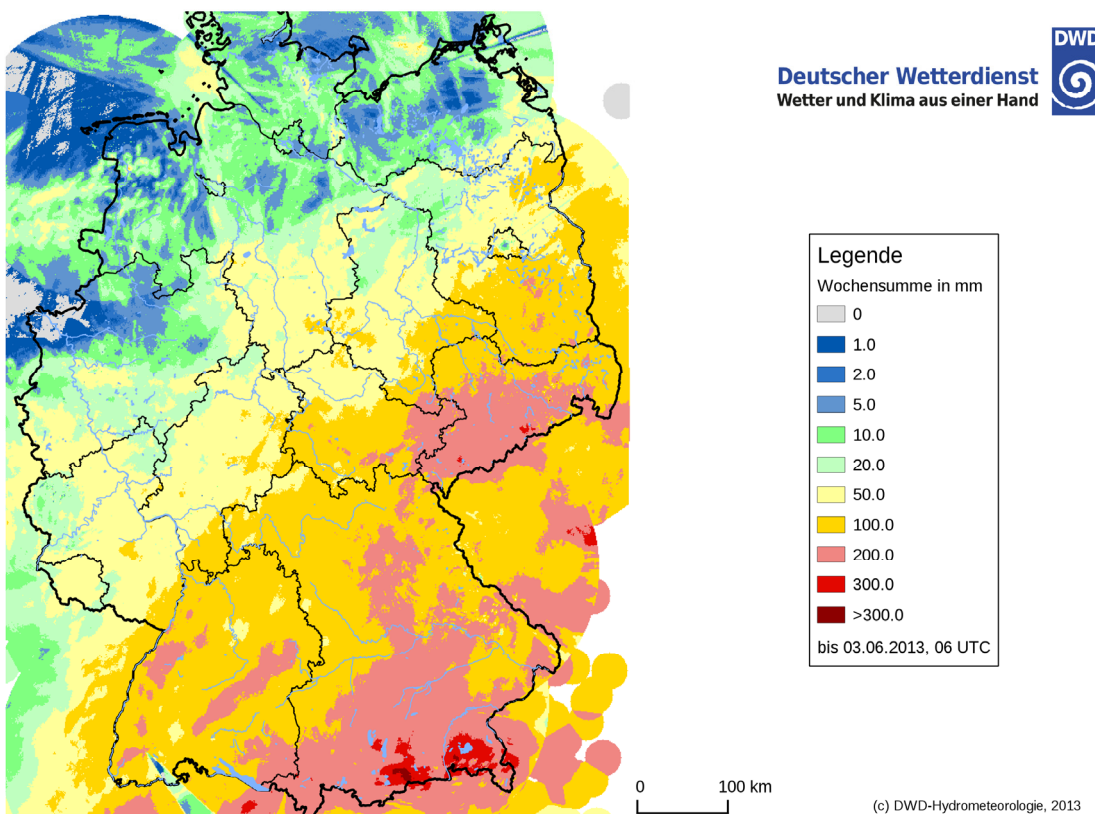


Abb. 2.13: Niederschlagssumme (in mm) in den 7 Tagen vom 27. Mai 2013 (06 UTC) bis 3. Juni 2013 (06 UTC) in Deutschland und angrenzenden Regionen (unter Verwendung angeeicherter Radardaten)

In Teilen der Nordhälfte Deutschlands hatten sich bereits vor dem 24. Mai 2013 gebietsweise große Niederschlagsmengen aufsummiert (siehe Abb. 2.9). Am 27. Mai 2013 war im Süden und Osten Deutschlands vielerorts das Niederschlagssoll des Monats Mai erreicht. Es regnete jedoch weiter, ab dem 30. Mai 2013 verstärkt und vier Tage anhaltend.

In Abbildung 2.14 ist die Aufeinanderfolge der täglichen Niederschlagshöhen und deren kumulierte Summe (in mm) unter Angabe des Niederschlagssolls im Monat Mai am Beispiel der Station Garsebach bei Meißen dargestellt.

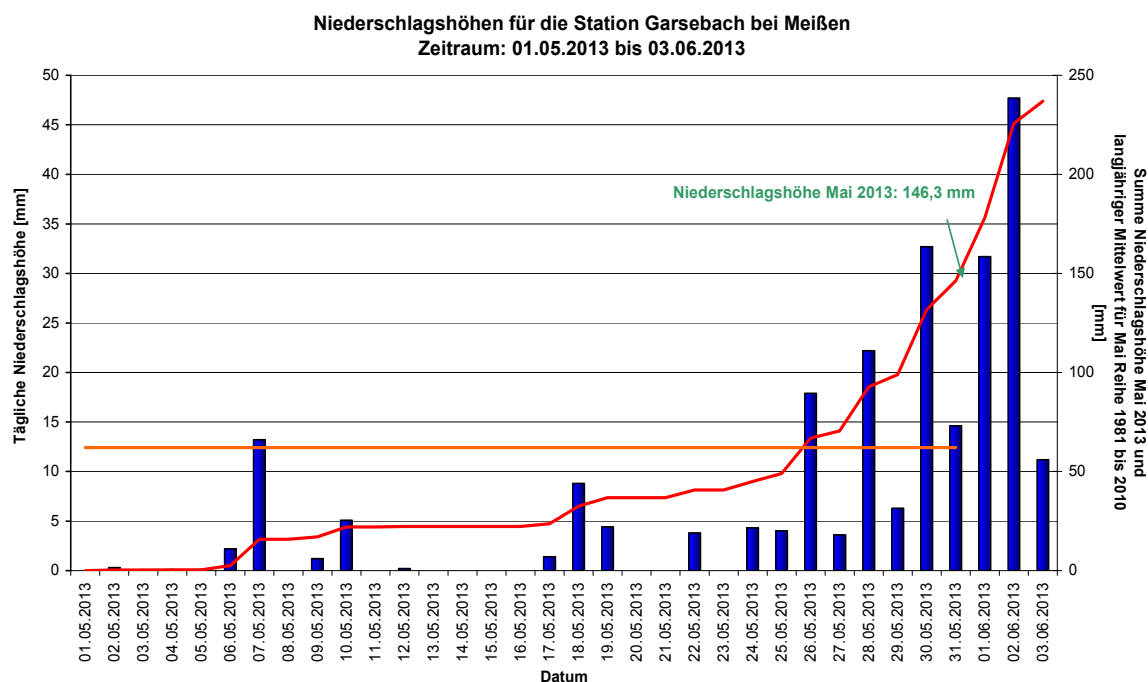


Abb. 2.14: Aufeinanderfolge der täglichen Niederschlagshöhen (blaue Balken) und deren kumulierte Summe (rote Linie) mit Angabe des Niederschlagssolls im Monat Mai (orange Linie) am Beispiel der Station Garsebach bei Meißen (01.05.-03.06.2013)

Starkniederschlagsereignisse können sowohl Niederschläge kurzer Dauer und hoher Intensität (z. B. heftige Gewitterschauer) als auch mehrere Stunden oder Tage anhaltende Niederschläge mit großen Niederschlagshöhen (Dauerregen) sein.

Die Beurteilung der Seltenheit von Starkniederschlägen wird durch den Vergleich mit extremwertstatistisch ermittelten Starkniederschlagshöhen laut KOSTRA-DWD-2000 vorgenommen, welche vorrangig zur Bemessung wasserwirtschaftlicher Anlagen erarbeitet wurden. Prinzipiell wird bei KOSTRA-DWD-2000 mithilfe eines ausgewählten extremwertstatistischen Analyseverfahrens die Bewertung der innerhalb eines Messzeitraums ausreichender Länge (mindestens 30 Jahre) zufällig aufgetretenen Ereignisse vorgenommen und eine Extrapolation auf sehr seltene Niederschlagsereignisse ermöglicht. Der extremwertstatistische Ansatz geht für jede Dauerstufe D (von $D = 5$ min bis $D = 72$ h) von einer jährlichen oder partiellen Serie aus, die sich aus einer Niederschlagszeitreihe ergibt. Jeder Serie der Niederschlagshöhe h_N wird durch eine Regressionsrechnung die theoretische Verteilungsfunktion $h_N(D;T) = u(D) + w(D) \ln T$ in Abhängigkeit von der Jährlichkeit T (Wiederkehrintervall) angepasst. Die extremwertstatistischen Starkniederschlagshöhen sind hierbei in Form von Rasterkarten (Auflösung: ca. 8,5 km x 8,5 km) dargestellt. Für jede Niederschlagsdauerstufe können deutschlandweit flächendeckend Punktaussagen zur Eintrittswahrscheinlichkeit von Starkniederschlag getroffen werden (bis maximal 1 %, d. h. bis hin zum Wiederkehrintervall $T = 100$ a). Weitere Informationen zu KOSTRA-DWD-2000 sind auf der Homepage www.dwd.de/kostra zu finden.

Die Dauerstufe ist ein ausgewählter Anteil an der realen Niederschlagsdauer einschließlich Unterbrechungen, unabhängig von Beginn und Ende des natürlichen Niederschlagsereignisses. Das Wiederkehrintervall T (z. B. $T = 50$ a) ist lediglich der reziproke Ausdruck für die Eintrittswahrscheinlichkeit $1/T$ ($0,02 \text{ a}^{-1}$ bzw. 2% pro Jahr). Wird die Seltenheit eines Niederschlagsereignisses (einer Dauerstufe von z. B. $D = 72$ h) mit einem Wiederkehrintervall von 50 Jahren bzw. einer Eintrittswahrscheinlichkeit von zweimal in hundert Jahren beurteilt, bedeutet das nicht zwangsläufig einen Abstand von 50 Jahren zwischen den beiden Ereignissen.

Da es bei der Erarbeitung von KOSTRA-DWD-Werten (vom einstigen KOSTRA 87 bis hin zum zukünftigen KOSTRA-DWD-2010) nicht genügend reale Niederschlagsereignisse mit großen Niederschlagsmengen der Dauerstufe $D = 96$ h gab, galt ein punktuell ergiebiger, 72 Stunden anhaltender Starkniederschlag als grenzwertig. (Dem wasserwirtschaftlichen Anwender von KOSTRA-DWD-Werten obliegt es, ggf. Flächenabminderungsfaktoren zu berücksichtigen.)

Tabelle 2.1:

Punktueller Eintrittswahrscheinlichkeit $1/T$ des starken Dauerregens im Mai/Juni 2013 an ausgewählten Stationen (Basis: Tageswerte der Niederschlagshöhe)

Station	Niederschlags- höhe	Datum	Dauer- stufe	Wiederkehr- intervall T
Burladingen-Hausen BW	154,3 mm	30.05 bis 01.06.13	72 h	100 Jahre
Sonnenbühl-Genkingen BW	166,5 mm	30.05 bis 01.06.13	72 h	> 100 Jahre
Bad Urach BW	150,1 mm	30.05 bis 01.06.13	72 h	100 Jahre
Stötten BW	138,1 mm	30.05 bis 01.06.13	72 h	50 Jahre
Aschau-Stein BY	405,1 mm	30.05 bis 02.06.13	96 h	> 100 Jahre
Lenggries (Sylvenstein) BY	209,0 mm	30.05 bis 02.06.13	96 h	50 Jahre
Sankt Englmar BY	107,4 mm	30.05 bis 02.06.13	96 h	5 Jahre
	97,3 mm	26.05.2013	24 h	50 Jahre
Fürstenzell BY	104,4 mm	30.05 bis 02.06.13	96 h	20 Jahre
Passau-Maierhof BY	100,1 mm	30.05 bis 02.06.13	96 h	10 Jahre
Untergriesbach-Schaibing BY	125,2 mm	30.05 bis 02.06.13	96 h	50 Jahre
Starnberg BY	167,6 mm	30.05 bis 02.06.13	96 h	50 Jahre
Regensburg BY	79,5 mm	30.05 bis 02.06.13	96 h	10 Jahre
Bobeck TH	112,6 mm	30.05 bis 02.06.13	96 h	100 Jahre
Langenwetzendorf-Göttendorf TH	119,0 mm	30.05 bis 02.06.13	96 h	50 Jahre
Eisenach TH	49,6 mm	30.05 bis 31.05.13	48 h	2 Jahre
Erfurt-Weimar TH	47,3 mm	30.05 bis 31.05.13	48 h	2 Jahre
Carlsfeld SN	194,3 mm	30.05 bis 02.06.13	96 h	50 Jahre
Stützengrün-Hundshübel SN	224,0 mm	30.05 bis 02.06.13	96 h	100 Jahre
Treuen SN	151,5 mm	30.05 bis 02.06.13	96 h	50 Jahre
Falkenstein (Talsperre) SN	183,4 mm	30.05 bis 02.06.13	96 h	100 Jahre
Bad Lausick – Glasten SN	101,6 mm	30.05 bis 02.06.13	96 h	20 Jahre
Sankt Egidien-Kuhschnappel SN	179,5 mm	30.05 bis 02.06.13	96 h	> 100 Jahre
Dresden-Klotzsche SN	73,2 mm	01.06. bis 02.06.13	48 h	5 Jahre
Garsebach bei Meißen SN	126,7 mm	30.05 bis 02.06.13	96 h	30 Jahre
Stollberg-Gablenz SN	188,3 mm	30.05 bis 02.06.13	96 h	100 Jahre
Aue SN	177,3 mm	30.05 bis 02.06.13	96 h	100 Jahre
Lehrte-Sievershausen NI	99,1 mm	22.05. bis 26.05.13	120 h	30 Jahre
Braunschweig-Voel. NI	98,9 mm	22.05. bis 26.05.13	120 h	30 Jahre
Scharnhorst-Marwedde HB	103,7 mm	22.05. bis 26.05.13	120 h	30 Jahre

Die Starkniederschläge, die zum Hochwasserereignis im Juni 2013 führten, waren sehr lang anhaltend (> 72 Stunden) und äußerst großräumig. Beispiele für stationsbezogen beurteilte Starkniederschlagshöhen sind in der Tabelle 2.1 aufgelistet. Es wurde die jeweils relevante Dauerstufe betrachtet, wobei der Fokus bei $D = 96$ Stunden liegt. Der Umstand, dass örtlich das Wiederkehrintervall von $T = 100$ a nicht erreicht wurde, darf nicht missverstanden werden. Die große Ausdehnung der Niederschlagsfelder war das Entscheidende.

Der Vollständigkeit halber sei noch hinzugefügt, dass im Laufe der jüngsten drei Jahrzehnte weitere hydrometeorologische Instrumentarien, z. B.

- > MGN und NIEFLUD (Quantifizierung von PMP-Werten)
- > REWANUS (Regionalisierte Extremwerte des Niederschlagsdargebots aus Regen und Schneeschmelze)
- > STRASA (spezielle Empfehlungen für den Freistaat Sachsen zum Umgang mit Starkniederschlagshöhen laut KOSTRA-DWD-2000 nach dem August 2002)

erarbeitet worden sind, um die DIN- bzw. DWA-gerechte Bemessung wasserwirtschaftlicher Anlagen zu unterstützen.

2.4 Der Einfluss der Schneeschmelze

Die Analyse des Einflusses von Schnee auf die Herausbildung des Hochwassers konzentriert sich auf die Periode der stärksten Niederschläge in Deutschland vom 26.05. bis 02.06. In diesem Zeitraum fielen in Deutschland gemäß der Analyse des WZN 22,75 Billionen Liter Wasser. Zu diesem Zeitpunkt lag nur noch im Alpenbereich eine nennenswerte Schneemenge.

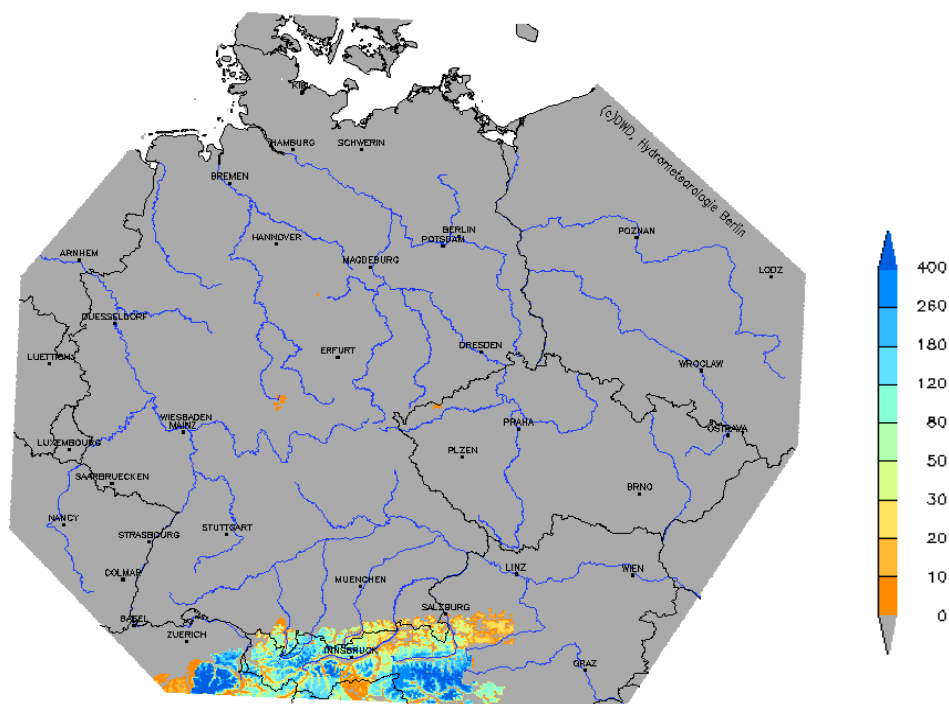


Abb. 2.15: Wasseräquivalent der Schneedecke im SNOW4-Modellgebiet am 26.05.2013, 12 UTC

Die Karte in Abbildung 2.15 zeigt, dass das in der Schneedecke gespeicherte Wasseräquivalent insbesondere in Österreich und der Schweiz Werte bis 400 mm und mehr erreichte. Eine Analyse des Anteils der Schneedecke an der Abflussbildung der betroffenen Flüsse kann daher auf das Donau-Einzugsgebiet beschränkt werden. Dazu wurde die Region des SNOW-Modellgebietes betrachtet, die in diesem Bereich liegt.

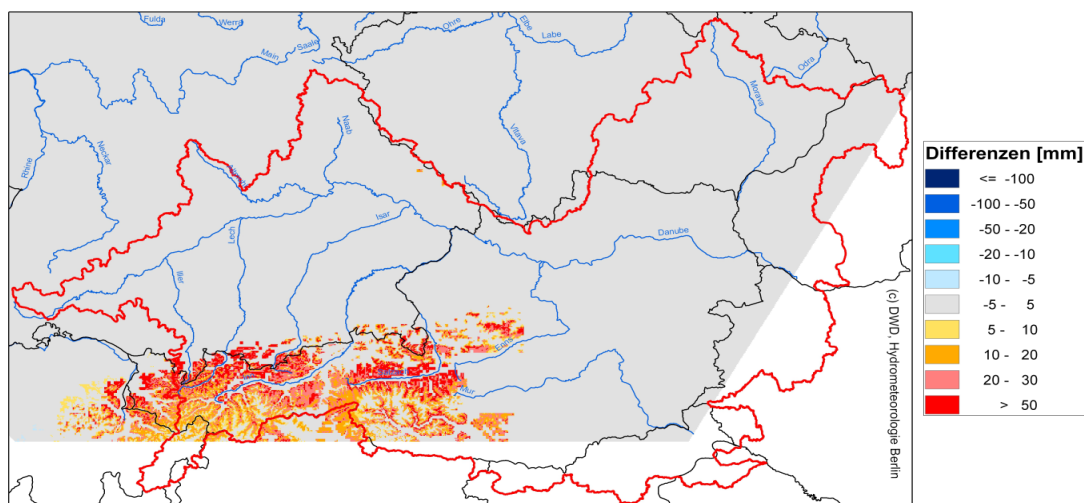


Abb. 2.16: Differenz Tagessumme Niederschlagsdargebot - Niederschlag, am 28. Mai 2013, Donau-Einzugsgebiet

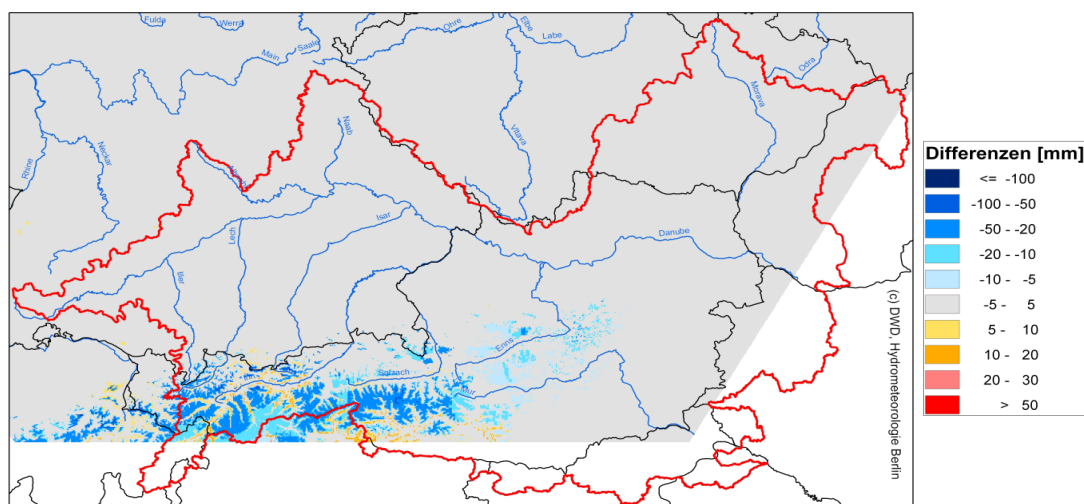


Abb. 2.17: Differenz Tagessumme Niederschlagsdargebot - Niederschlag, am 31. Mai 2013, Donau-Einzugsgebiet

Bezüglich der Rolle der Schneedecke bei der Entwicklung des Hochwassers sind zwei gegenläufige Prozesse zu verzeichnen.

Verstärkend wirkte die Schneeschmelze. Dabei summieren sich der Niederschlag, der nicht durch Retentionsprozesse in der Schneedecke zurückgehalten werden kann, und das Schmelzwasser zu einem Niederschlagsdargebot, das den Niederschlag allein übertrifft. Der

stärkste Einfluss dieses Prozesses war am 28.05. zu verzeichnen. Die Tagessumme der Differenz zwischen Niederschlagsdargebot und Niederschlag erreicht an diesem Tag summarisch für das betrachtete Gebiet den Wert von ca. 415 Milliarden Litern. Abbildung 2.16 macht deutlich, dass im gesamten schneebedeckten Alpenraum positive Werte dieser Differenz auftraten.

Abschwächend hingegen wirken die Retention, d. h. das Rückhalten flüssigen Wassers in der Schneedecke, und Niederschläge in Form von Schnee. Die stärksten Beiträge dieser Prozesse traten am 31.05. auf. Abbildung 2.17 lässt erkennen, dass nahezu überall dieser Rückhalteeffekt dominierte und kaum Schneeschmelze auftrat. Im vom SNOW-Modellgebiet abgedeckten Donau-Einzugsgebiet wurden an diesem Tag ca. 187 Milliarden Liter Wasser in der Schneedecke zurückgehalten.

Die Untersuchung von Zeitverläufen und eine klimatologische Einordnung sind auf Grund der aktuellen Datenlage nur begrenzt möglich. Es wurden 33 Stationen identifiziert, an denen in der Zeit vom 30.05. bis 02.06. mindestens an einem Tag eine Schneedecke im klimatologischen Mittel über den Zeitraum 1951 bis 2010 vorhanden ist. Für 26 dieser Stationen sind bereits Daten für den fraglichen Zeitraum verfügbar. Allerdings wurde nur an 3 dieser Stationen eine Schneedecke gemessen.

Deutschlands höchste Messstelle, die Wetterwarte Zugspitze, liegt in einer Region, wo spürbare Unterschiede zwischen Niederschlagsdargebot und Niederschlägen aufgetreten sind. Die Schneedecke wuchs dort von 315 cm am 30.05. bei Schneefall auf 435 cm am 02.06. an. Im klimatologischen Mittel liegt die Schneehöhe für den betrachteten Zeitraum zwischen 313 und 318 cm.

Summarisch für die gesamte Periode 26.05. bis 02.06. dominierten die Schmelzeffekte und lieferten in der Bilanz einen Wassereintrag von zusätzlich ca. 336 Milliarden Liter.

Für den deutschen Teil des Donau-Einzugsgebiets wurden vom WZN für diesen Zeitraum Niederschläge in Höhe von ca. 6,76 Billionen Liter analysiert. Die Schneeschmelze hat in diesem Teil ca. 334 Milliarden Liter Wasser freigesetzt. Der Gesamtwassereintrag wurde daher durch Schmelzprozesse um ca. 5% erhöht. Damit spielt der Beitrag der Schneedecke bei der Ausbildung des Hochwassers eine vergleichsweise geringe Rolle.

2.5 Gebietsniederschlagshöhen der Stromgebiete Mitteleuropas

Maßgeblich für die Ausprägung des Hochwassergeschehens in den Stromgebieten ist die zeitliche Abfolge (vgl. Abbildung 2.18) und die auf die Teileinzugsgebiete fallenden Niederschläge (vgl. hierzu Tabelle 2.2).

In Abbildung 2.18 ist die Aufeinanderfolge der täglichen Niederschlagshöhen vom 1. Mai 2013 bis zum 15. Juni 2013 als Flächenmittel der Stromgebiete Mitteleuropas (Donau, Rhein, Ems, Weser, Elbe und Oder) dargestellt. Ergänzend sind die seit dem 1. Mai bis zum 3. Juni akkumulierten Summen sowie zur klimatologischen Einordnung die Summen des Niederschlagssolls im Monat Mai und Juni (anteilig) dargestellt.

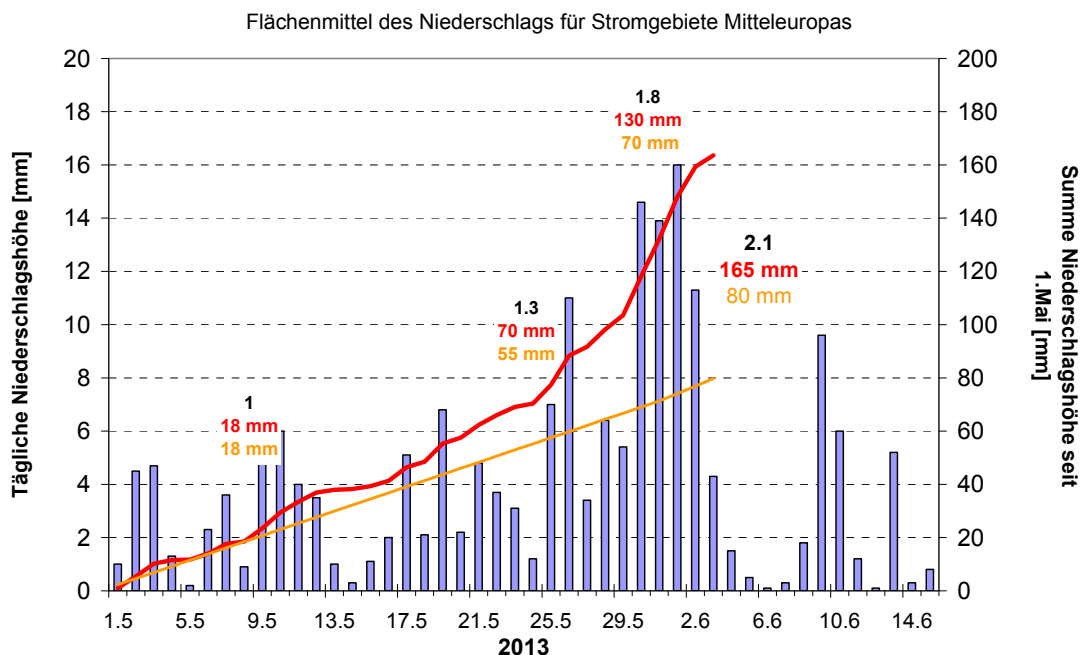


Abb 2.18: Aufeinanderfolge der täglichen Niederschlagshöhen (blaue Balken) für den Zeitraum 1.5. bis 15.6. 2013 sowie deren kumulierte Summe (rote Linie) bis zum 3.6.2013 und die kumulierte Summe des Niederschlagssolls im Monat Mai und Juni (anteilig) als Flächenmittel der Stromgebiete Mitteleuropas ($A_{E0} = 535.000 \text{ km}^2$).

Zahlenmäßig hervorgehoben sind die Summen, die bis zum 8.5., 24.5., 31.5 und 3.6.2013 (rot) eingetreten sind. Zum Vergleich sind die entsprechenden Erwartungswerte der Klimanormalperiode 1976-2005 (orange) sowie das Verhältnis der beiden Summenwerte(schwarz) aufgeführt.

In Tabelle 2.2 sind für große Teileinzugsgebiete der Stromgebiete die aus Stationsdaten des Deutschen Wetterdienstes und der Wetterdienste der benachbarten Länder berechneten vorläufigen Gebietsmittel des Niederschlages abzulesen. Diese wurden für den Zeitraum 1.5. bis 3.6.2013 ermittelt und können für eine erste klimatologische Einordnung den für Mai und Juni (anteilig) gültigen vieljährigen Mittelwerten 1976-2005 der monatlichen Niederschlagshöhe gegenübergestellt werden. So wurden in vielen Teileinzugsgebieten mehr als das Zweifache des erwarteten Klimawertes erreicht. Besonders auffallend ist die Belastung der drei Teileinzugsgebiete der Elbe. Hier wurde in zwei Teileinzugsgebieten auch nahezu das Dreifache des Niederschlagssolls erreicht.

Tabelle 2.2:

Gebietsmittelwerte der aufsummierten täglichen Niederschlagshöhe für Teileinzugsgebiete der großen Stromgebiete Deutschlands einschließlich ihrer ausländischen Flussgebietsanteile (1.5. - 3.6.2013), die entsprechenden Klimanormalwerte für die Zeitspanne Mai/Juni 1976-2005 und das Verhältnis der beiden Summenwerte.

Der Klimanormalwert wurde als Summe aus den vieljährigen Mittelwerten der Monate Mai und Juni (anteilig) berechnet. Hervorgehoben (fett) sind die Flächenmittelwerte, bei denen mehr als das Zweifache des Klimanormalwertes eingetreten ist.

Einzugsgebiet	Fläche	Mai/Juni 1976-2005	Mai/Juni 1.5.-3.6.	Verhältnis zum vielj. Mittel
	[km²]	[mm]	[mm]	[-]
Obere Donau mit Lech	14326	112	183	1.6
Donau unterhalb Mündung Lech	36476	92	222	2.4
Inn	26057	118	271	2.3
Rhein bis Rheinfelden	36287	137	213	1.6
Neckar	13792	96	159	1.7
Main	27216	71	160	2.3
Oberrhein - Nahe	26478	95	164	1.7
Mosel	28244	85	133	1.6
Rhein unterhalb Koblenz (Mosel)	27580	77	106	1.4
Ems bis Versen	8566	66	65	1.0
Weser bei Hann.-Muenden (H-M)	12489	72	168	2.3
Weser von H-M bis Intschede	10513	69	129	1.9
Aller	15608	64	165	2.6
Elbe bis Schoena (Grenze)	51421	69	190	2.8
Elbe von Schoena bis Barby	42752	65	188	2.9
Elbe unterhalb Barby bis Neu-Darchau	37140	54	111	2.1
Oder bis Polecko	52918	81	143	1.8
Warthe	53607	56	123	2.2
Oder Polecko bis Gartz (ohne Warthe)	12746	60	129	2.2

3. Verlauf des Hochwassers

3.1 Vorbemerkung

Der Hochwasserverlauf in großen Flussgebieten wird zuerst durch die Überlagerung der Hochwasserwellen aus den unterschiedlichen Teilen des Einzugsgebiets beeinflusst. Wie diese Wellen interagieren, wird in erster Linie von der Menge und dem zeitlichen Verlauf der Überregnung dominiert. Weitere Aspekte, die die hydrologische Reaktion auf das einwirkende Wettergeschehen bestimmen, sind die Eigenschaften des jeweiligen Gebiets (Größe, Form, Gefälle, Bodenarten, Landnutzung etc.). So zeigen kleine, eher kreisförmige Gebiete mit großem Gefälle schnelle, steil ansteigende Hochwasserwellen, während großflächige langgestreckte Gebiete im Flachland sich eher durch langgestreckte Abflusswellen auszeichnen.

Im ungünstigen Fall treffen die Hochwasserwellen des Hauptstroms mit denen ihrer Nebenflüsse zeitlich eng zusammen, wodurch sich die Wellen verstärken. Dies konnte bei den jüngsten Hochwasserereignissen sowohl im Donaugebiet (Überlagerung der Inn-Welle mit erhöhten Donauabflüssen), in der Elbe (Saale- und Elbewelle) sowie auch im Rheingebiet (Neckar- und Rheinwelle) in unterschiedlicher Ausprägung beobachtet werden. Im anderen Fall ist der Wellenablauf entzerrt, so dass sich die Wellen von Haupt- und Nebengewässer nicht im Bereich ihrer Scheitel überlagern. Ein solch zeitlich entzerrter Hochwasserverlauf war im Frühjahr 2013 im Zusammenspiel von Mosel und Rhein zu beobachten. Gab es im Moselgebiet Ende Mai ein kleineres Hochwasser, so war dieses mit Eintreffen der Rheinwelle bei Koblenz Anfang Juni bereits abgeklungen und die Mosel konnte den Rheinabfluss nur noch marginal beeinflussen.

3.2 Verlauf des Hochwassers im Wesergebiet

Die Weser war nach der Mosel (vgl. Kap. 3.3) die zweite Bundeswasserstraße, die im Mai/Juni 2013 Hochwasser in nennenswertem Ausmaß führte. Die Hochwassermeldehöhen wurden überschritten und die Schifffahrt musste zeitweise eingestellt werden. Am 26. Mai 2013 begannen die Wasserstände in den Weser-Quellflüssen Werra und Fulda deutlich anzusteigen. Dabei bildete sich in beiden Flüssen eine sehr langgestreckte Hochwasserwelle aus, die erst am 05. Juni (Fulda) bzw. 07. Juni (Werra) wieder abklang. Insgesamt trugen Werra und Fulda in vergleichbarer Größenordnung zur Hochwasserwelle in der Weser bei. Die Abflussscheitel lagen bei 408 m³/s (Werra, Pegel Letzter Heller) bzw. 320 m³/s (Fulda, Pegel Gunterhausen).

Den anschließenden Ablauf des Hochwassers im Weserverlauf veranschaulicht Abbildung 3.1: Am Weserpegel Hannoversch Münden, unmittelbar nach dem Zusammenfluss von Werra und Fulda, formte sich zwischen dem 28. Mai und 05. Juni eine ebenfalls breite Hochwasserwelle mit mehreren kleineren Zwischenscheiteln aus. Der durchschnittliche Abfluss lag im Bereich von 550 m³/s und damit unter dem mittleren Hochwasserabfluss MHQ1941/2010; die Scheitelwerte lagen mit 579 m³/s (27. Mai), 611 m³/s (30. Mai) und 620 m³/s (04. Juni) erst

im dritten Anlauf auf dessen Niveau.. Im weiteren Verlauf stiegen die Wasserstände entlang der gesamten Ober- und Mittelweser an, wobei der Hochwasserverlauf in der Weser nahezu ausschließlich durch den Wellenablauf geprägt wurde. Erst die im Harzvorland entspringende Aller als größter Nebenfluss der Weser führte zu einer deutlichen Erhöhung der Hochwasserwelle. Auch die Aller zeigte einen langgestreckten Hochwasserverlauf, so dass auch unterstrom ihrer Einmündung der lang anhaltende Weserscheitel erhalten blieb. Der Scheitelabfluss wuchs von rund 730 m³/s durch den Aller-Zufluss auf rund 1040 m³/s an.

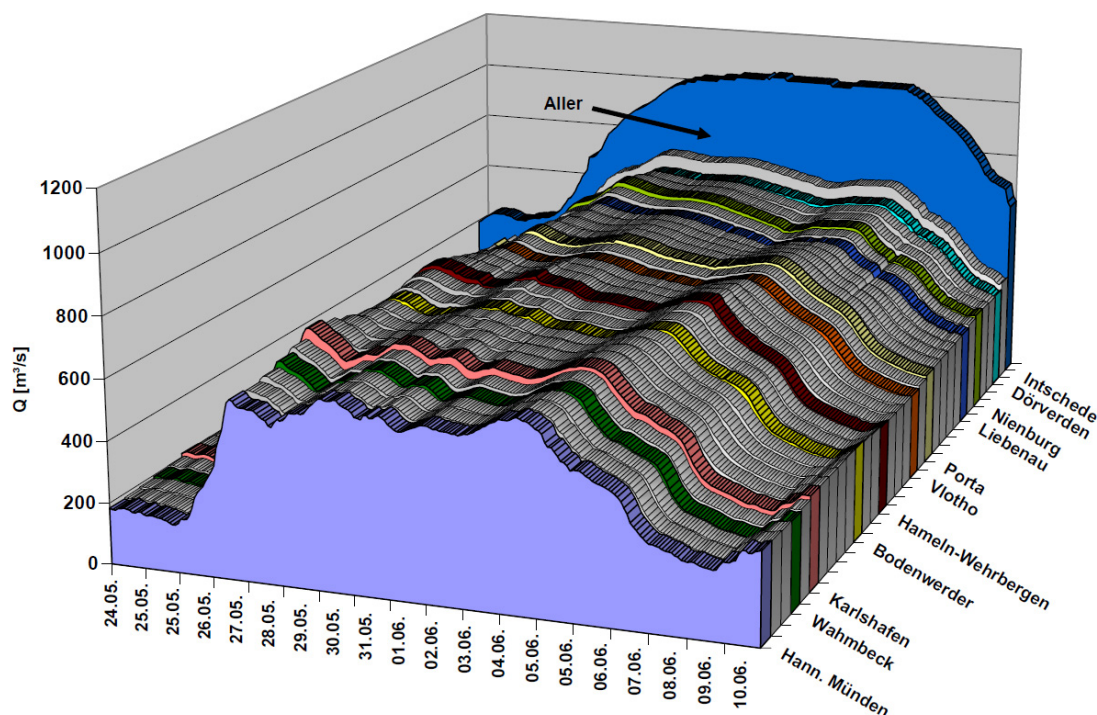


Abb. 3.1: Ablauf der Hochwasserwelle vom Juni 2013 an der Weser unter Berücksichtigung der Aufhöhung aus Nebenflüssen

Tabelle 3.1 zeigt eine Einschätzung der Größenordnung des Juni-Hochwassers 2013 der Weser, aus der die eher moderaten Werte im Vergleich zu den Extremen vergangener Jahre deutlich werden. Auch die Wahrscheinlichkeitsbetrachtung mit dem Resultat eines Wiederkehrintervalles von 2 Jahren stützt diese Aussage.

Tabelle 3.1:

Das Juni-Hochwasser 2013 an wichtigen Pegeln an der Weser im Ereigniskontext

Q [m ³ /s]	1981	1995	2011	2013 Scheitel-Abfluss [m ³ /s] (Datum)	Wiederkehrs- Intervall * [Jahre]
Hann-Münden	854	1060	864	620 (04.06.13)	2
Vlotho	1170	1260	961	670 (29.05.13)	2
Intschede	2400	1900	1320	1050 (03.06.13)	2

* vorläufig

Die Situation im Einzugsgebiet spiegelt sich darin allerdings nicht wieder. So trugen die Nebenflüsse Hasel und Schmalkalde wesentlich zum Hochwasser der Werra bei und hatten bei Wiederkehrintervallen zwischen 20 und 50 Jahren außergewöhnlich hohe Wasserführungen zu verzeichnen.

Die Bewirtschaftung der beiden im Zuständigkeitsbereich der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung liegenden Talsperren im Wesereinzugsgebiet, Eder- und Diemeltalsperre sowie der Thüringer Talsperren Schönbrunn und Ratscher im Oberlauf der Werra hatte vorausschauend auf die Hochwasserwelle reagiert. Alle Talsperren wurden auf Basis prognostizierter Zuflussmengen rechtzeitig vorentlastet, um zusätzlichen Rückhalteraum zu schaffen. So konnte die jeweilige Abflusswelle am Talsperrenauslass erfolgreich gedämpft werden.

3.3 Verlauf des Hochwassers im Rheingebiet

Den Ablauf der Hochwasserwelle des Rheins unter Berücksichtigung der Aufhöhung aus Nebenflüssen zeigt Abb. 3.2

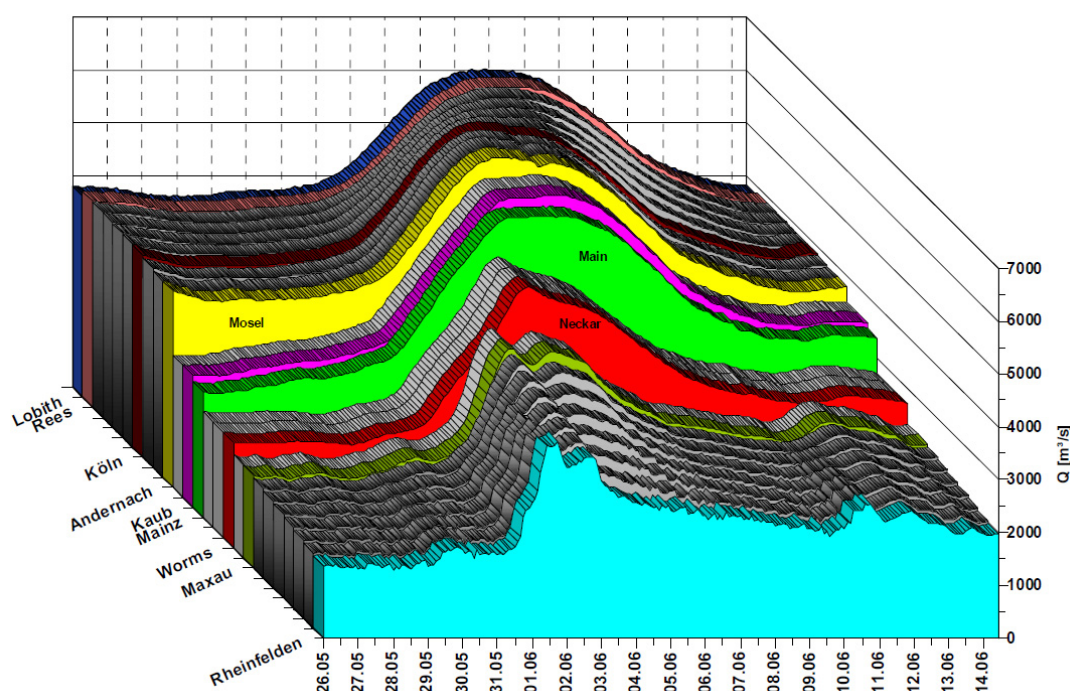


Abb. 3.2: Ablauf der Hochwasserwelle des Rheins vom Juni 2013 unter Berücksichtigung der Aufhöhung aus Nebenflüssen

3.3.1 Verlauf des Hochwassers im Hochrheingebiet

Die im Hochrheingebiet entstandene Hochwasserwelle des Rheins passierte den Pegel Rheinfelden am Abend des 01. Juni 2013 mit einem Scheitelabfluss von $3820 \text{ m}^3/\text{s}$. Dies entspricht einem Wiederkehrintervall von 10 bis 20 Jahren, d. h. ein solcher Abfluss tritt im langjährigen Vergleich seltener als alle 10 Jahre auf. Diesem ersten Scheitel folgte einen Tag später eine zweite Welle mit $3440 \text{ m}^3/\text{s}$ in der Spitze. Das Hochwasserentstehungsgebiet lag bei diesem Hochwasser primär im Bereich der schweizerischen Thur und der Aare. Mit etwa $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ (Pegel Untersiggenthal/Aare) und $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ (Pegel Andelfingen/Thur) steuerten beide Zuflüsse etwa $3/4$ des Abflusses am Pegel Rheinfelden bei.

Dabei wurde durch den gezielten Einsatz der schweizerischen Jurarandseen (Bieler-, Neuenburger- und Murtensee) eine Minderung der Aare-Welle von rund 300 bis 350 m³/s erreicht. Insgesamt wurde in den Jurarandseen über 75 Mio. m³ zwischengespeichert. Die Seeregulierung in der Schweiz ist auch flussabwärts deutlich wirksam, ohne Regulierung wäre der Hochwasserzufluss in den Oberrhein bei Basel höher gewesen. In den Bodenseezuflüssen aus dem baden-württembergischen Allgäu wurden verbreitet über 20-jährliche Hochwasserscheitel erreicht, lokal bis über 100-jährliche Scheitelwerte (Pegel Beutelsau/Untere Argon).

3.3.2 Verlauf des Hochwassers im Oberrheingebiet

In den Schwarzwaldzuflüssen des Rheins und im Neckargebiet entwickelten sich am 1. Juni in zahlreichen kleineren und mittleren Flüssen 10- bis 20-jährliche Hochwasser, in den südlichen Zuflüssen des oberen Neckars teilweise auch bis über 100-jährliche Hochwasser (Eyach und Starzel, vgl. Abb. 3.7). Das obere Neckargebiet zählte damit zu den am stärksten von Hochwasser betroffenen Regionen in Deutschland. In weiterer Folge entwickelte sich im oberen Neckar am 02. Juni ein rund 50-jährliches Hochwasser (Pegel Kirchentellinsfurt und Plochingen), das flussabwärts zu einem etwa 10-jährlichen Hochwasser am Neckarpegel Heidelberg führte.

Durch die Abflusserhöhung im Oberrhein infolge der Rheinzufüsse zwischen Basel und Bingen wurden verschiedene Kriterien für den Einsatz von gesteuerten Rückhaltemaßnahmen überschritten und somit die entsprechenden Retentionsmaßnahmen in Frankreich, Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz eingesetzt. Dabei wurden folgende Volumina zurückgehalten (vorläufige Angaben):

Tabelle 3.2:

Eingesetztes Volumen in den Retentionsmaßnahmen am Oberrhein

Retentionsmaßnahmen am Oberrhein	Betreiber	eingesetztes Volumen (Rohdaten)
Polder Erstein (gesteuerte Rückhaltung)	F	7,8 Mio. m ³
Stauhaltung Straßburg (gesteuerte Rückhaltung)	F	5,0 Mio. m ³
Kulturwehr Kehl (gesteuerte Rückhaltung)	Land BW	23,0 Mio. m ³
Polder Altenheim 1 und 2 (gesteuerte Rückhaltung)	Land BW	9,0 Mio. m ³
Sommerpolder Daxlander Au (ungesteuert)	Land RP	4,0 Mio. m ³
Deichrückverlegungen Mittlerer Busch und Worms Bürgerweide (ungesteuert)	Land RP	2,0 Mio. m ³
Polder Ingelheim (gesteuerte Rückhaltung)	Land RP	2,5 Mio. m ³
Summe Rückhaltung:		rund 53 Mio. m ³

Die scheitelabmindernde Wirkung der Retentionsmaßnahmen in der Rheinstrecke zwischen Iffezheim und Mannheim (rund 90 Fluss-Kilometer) lag gemäß vorläufigen Berechnungen der LUBW (Stand Juni 2013) in einer Größenordnung von 20 bis 30 Zentimeter an den Pegeln Maxau und Speyer sowie bei rund 15 Zentimetern in der Rheinstrecke zwischen der

Neckarmündung bis Worms am Pegel Mannheim. Die Abb. 3.3 zeigt die scheitelmindernde Wirkung der Rückhaltemaßnahmen am Pegel Maxau (blau: gemessener Abflussverlauf bei Maxau mit Einsatz der gesteuerten Rückhaltemaßnahmen, rot: berechneter Abflussverlauf ohne Einsatz der Maßnahmen).

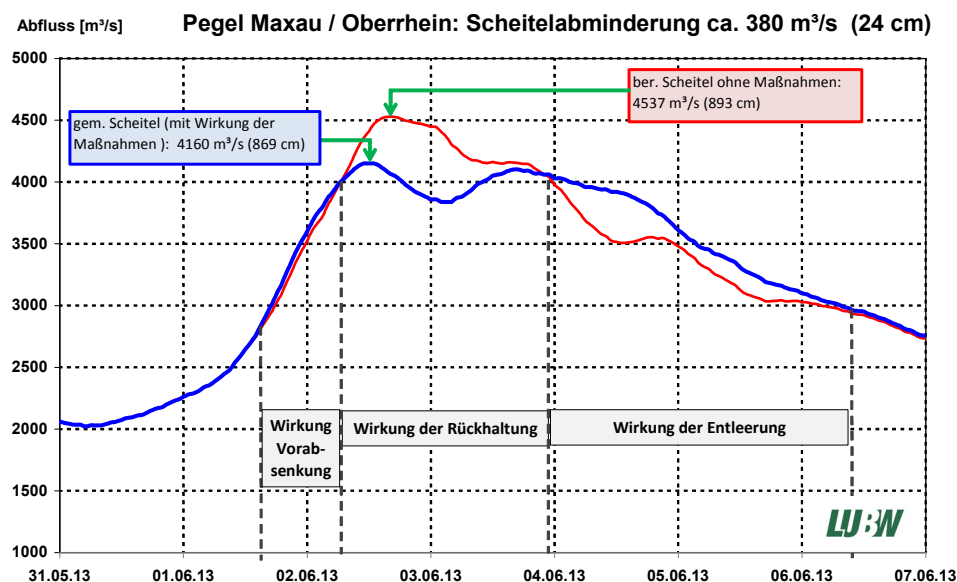


Abb. 3.3: Wirkung der Polderflutungen am Oberrhein auf den Abfluss am Pegel Maxau (blau: Messdaten, rot: Modellberechnung der LUBW, ohne Maßnahmen)

Die Jährlichkeit des – ohne einen Maßnahmeneinsatz – sonst 20-jährlichen Hochwassers an den Pegeln Maxau und Worms konnte durch die Retentionsmaßnahmen auf die Scheitelwerte eines rund 10-jährlichen Hochwassers bei Maxau bzw. eines rund 15-jährlichen Hochwassers bei Worms abgemindert werden.

In der Flussstrecke des Oberrheins zwischen der Neckarmündung und dem Ort Bingen erbringt das vorhandene Sommerdeichsystem zusätzlich einen geschätzten Rückhalteraum von 70 Mio. m³. Beim Hochwasser Juni 2013 wurde ein Teil der Sommerpolder geflutet, insbesondere im Bereich oberhalb von Mainz, was der höheren Jährlichkeit des Hochwassers im Bereich Neckar/Rhein zugesprochen werden kann. Gemäß Untersuchungen der Hochwasserstudiengruppe für die Rheinstrecke Kaub-Rolandswerth (HSG 1993) reduzieren die Sommerpolder mittlere Hochwasser (HQ₁₀₋₂₀) deutlich. So würde der am Pegel Kaub etwa 15-jährliche bzw. am Pegel Andernach ca. 20-jährliche Hochwasserscheitel vom Mai-Juni 1983 um etwa 150 m³/s höher auflaufen, wenn die Sommerdeiche zwischen Worms und Bingen aufgegeben würden.

Entlang des Oberrheins wurden die Höchststände der Hochwasserereignisse von 1988 und 1995 übertroffen. Die Marke des Hochwassers von Mai 1999 (Maxau: 884 cm) wurde jedoch mit 869 cm nicht erreicht, was auch dem gezieltem Einsatz der hochwassermindernden Maßnahmen zuzurechnen ist.

3.3.3 Zeitliche Überlagerung der Rheinwelle mit großen Nebenflüssen

Wie Abb. 3.4 veranschaulicht, führte die Überlagerung mit den Hochwasserwellen großer Nebenflüsse, im Stromverlauf zunächst die des Neckars, zu einer deutlichen Erhöhung der Hochwasserwelle im Rhein. Insofern zeigen sich in der Entstehung Parallelen zu den großen Frühjahrshochwassern im April und Mai des Jahres 1983.

Die Neckarwelle traf mit einem Spitzenabfluss von rund 1800 m³/s (Pegel Rockenau-SKA) am 03. Juni bei Mannheim mit dem Rhein zusammen. Dieser Wert entspricht einem 10-jährlichen Abfluss (HQ₁₀). Am Mittag des 03. Juni wurde am Pegel Worms mit 4950 m³/s (708 cm) der Höchststand erreicht. Dieser Wert entspricht nahezu dem Scheitel des April-Hochwassers 1983 (4990 m³/s). Dabei ist zu berücksichtigen, dass auch am Pegel Worms die Wirkung der Rückhaltemaßnahmen im Scheitel mit knapp 200 m³/s (ca. 15 cm) wirksam war.

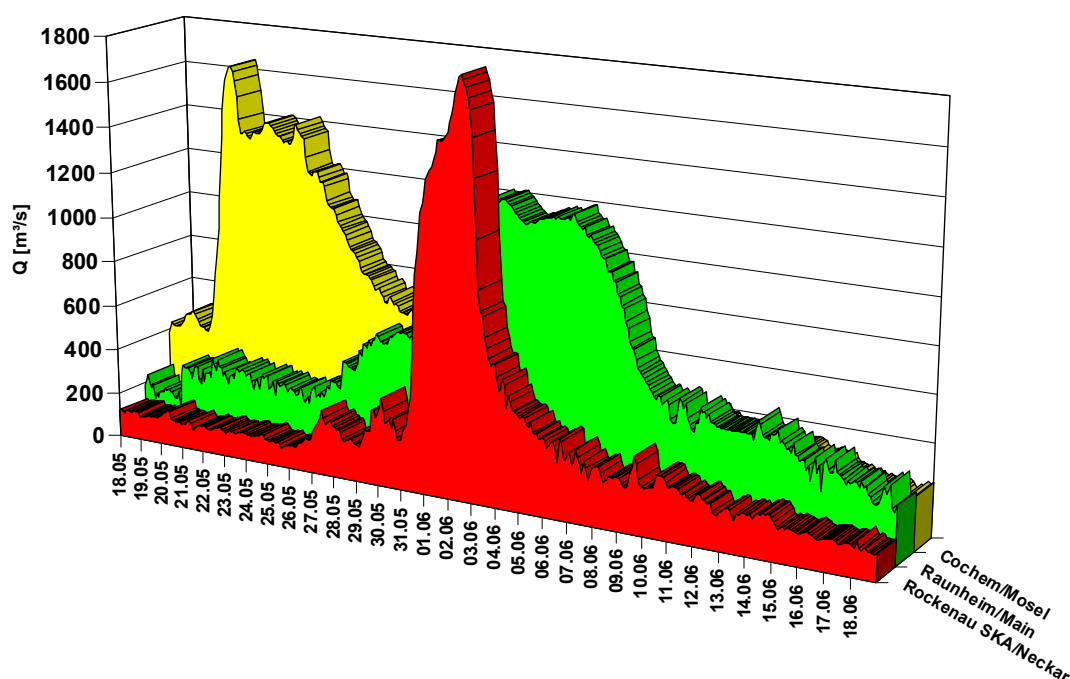


Abb. 3.4: Ablauf der Hochwasserwellen im Mai und Juni 2013 in den großen Rhein-Nebenflüssen Neckar, Main und Mosel

Im Maingebiet baute sich Ende Mai/Anfang Juni ebenfalls eine Hochwasserwelle auf, die unterhalb der Regnitzmündung am Pegel Trunstadt mit ca. 800 m³/s am 03.06. knapp unterhalb eines fünfjährigen Ereignisses (d. h. HQ₅) lag. Die zahlreichen, der Mainwelle zeitlich vorausseilenden Zuflüsse, insbesondere aus der Tauber (Scheitelabfluss von gut 200 m³/s; entspricht HQ₁₀), prägten der Mainwelle ab Wertheim einen zusätzlichen Scheitel auf. Im Unterlauf des hessischen Mainzuflusses Mümling entwickelte sich ein 20-jährliches Hochwasser. Die damit im Main nunmehr zweigipfelige Welle erreichte zunächst am 03. Juni mit Spitzenabflüssen von 1250 m³/s den Rhein, der drei Tage später eintreffende zweite Scheitel (am 06. Juni an der Mündung) blieb nur knapp darunter. Die beiden Mainscheitel umschlossen in ihrem zeitlichen Eintreten den Scheitel des Rheins und sorgten dort mit ihrer Überlagerung für einen langen Hochwasserscheitel, der am Pegel Mainz nahezu zwei komplette Tage bei 676 cm (5690 m³/s) verharrte.

Die vorläufigen Berechnungen des LUWG (Stand: Juni 2013) in Abb. 3.5 zeigen für den Pegel Mainz eine scheitelmindernde Wirkung der flussaufwärts eingesetzten Retentionsmaßnahmen (vgl. Tabelle 3.2) von rund 10 Zentimeter.

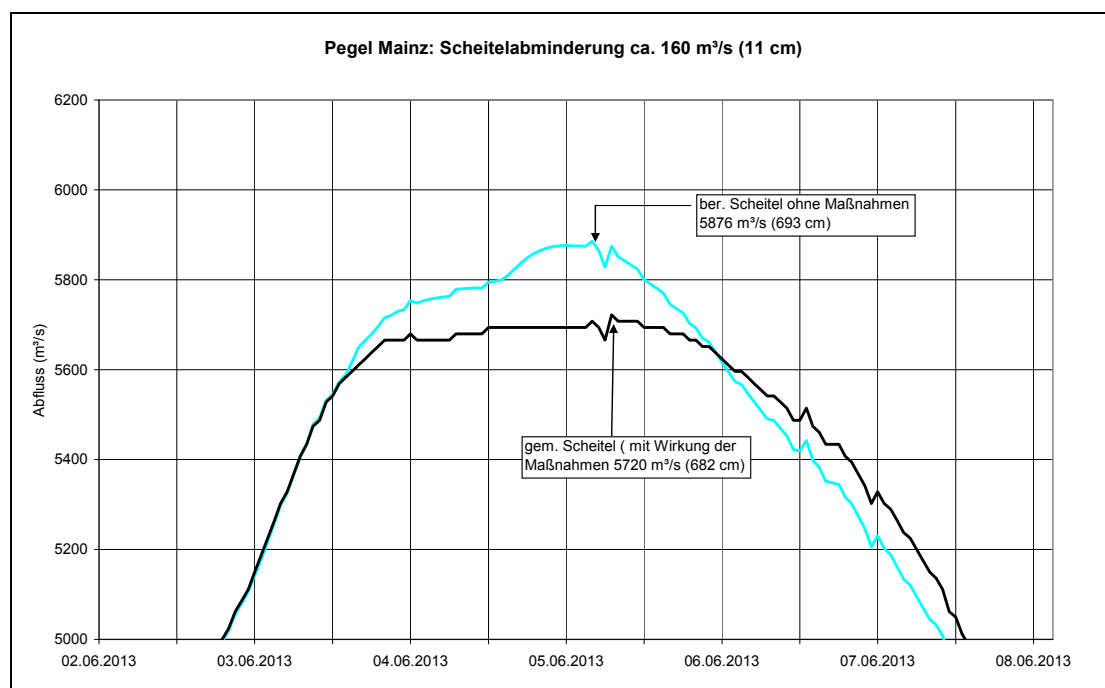


Abb. 3.5: Wirkung der Polderflutungen am Oberrhein am Pegel Mainz (schwarz: Messdaten, rot: Modellberechnung des LUWG, ohne Maßnahmen)

Die Nahe führte Anfang Juni kein bedeutsames Hochwasser, so dass sich der Abfluss bis zum Pegel Kaub nur geringfügig auf 5910 m³/s erhöhte. Auch Lahn und Mosel trugen mit knapp 150 m³/s bzw. rund 750 m³/s nur noch moderat zu einer Erhöhung des Abflusses im Rhein bei. Ohne weitere bedeutende Zuflussmengen war damit das aktuelle Rheinhochwasser stromab der Mainmündung am Mittelrhein primär nur mehr durch den Wellenablauf dominiert bzw. gekennzeichnet. Am Pegel Andernach wurde am 04. Juni ein Scheitelabfluss von 6250 m³/s registriert, was in vieljährigem Maßstab lediglich einem mittleren Hochwasserabfluss (MHQ) entspricht.

3.3.4 Verlauf des Hochwassers in Mittel- und Niederrhein

Folgerichtig wies im weiteren Stromverlauf auch der Niederrhein, verglichen zu Ober- und Mittelrhein, im Juni 2013 nur ein unbedeutendes Hochwasser auf. Scheitelabflüsse lagen in Köln bei 6400 m³/s und in Emmerich bei 5900 m³/s und damit im Bereich eines mittleren bzw. zweijährlichen Hochwassers. Dabei hat der zeitliche Ablauf des Niederschlagsgeschehens im Mai und Juni ein größeres Hochwasser für den Niederrhein verhindert. Denn im Zeitraum vom 20. bis 26. Mai, also gut eine Woche vor Eintreffen der Rheinwelle an der Moselmündung bei Koblenz, lief im Moseleinzugsgebiet ein kleineres Hochwasser mit einem Scheitelabfluss von ca. 1700 m³/s am Pegel Cochem ab. Eine Scheitelüberlagerung hätte potenziell sicherlich bedeutende Folgen haben können.

Berechnungen der BfG (Stand: Juni 2013), die bis dato ausschließlich auf Rohdaten basieren, belegen eine erkennbare Wirkung der am Oberrhein eingesetzten Rückhaltemaßnahmen bis an den Mittel- und Niederrhein. Ermöglicht wird dies in diesem speziellen Hochwasserereignis durch den fehlenden Einfluss der Nebenflüsse unterstrom des Mains auf den Hochwasserablauf, insbesondere im Bereich des Scheitels. Die vorläufigen Ergebnisse zeigen Wasserstandsabsenkungen im Bereich der Scheitel von rund 10 cm an den Pegeln Koblenz, Köln und Düsseldorf, wobei sich der Effekt sukzessive in Fließrichtung abschwächt. Exemplarisch stellt Abb. 3.6 den gemessenen Wasserstandsverlauf (Rohdaten basiert) am Pegel Düsseldorf den im Modell berechneten Ganglinien mit und ohne Einsatz der genannten Rückhaltungen an Ober- und Mittelrhein gegenüber.

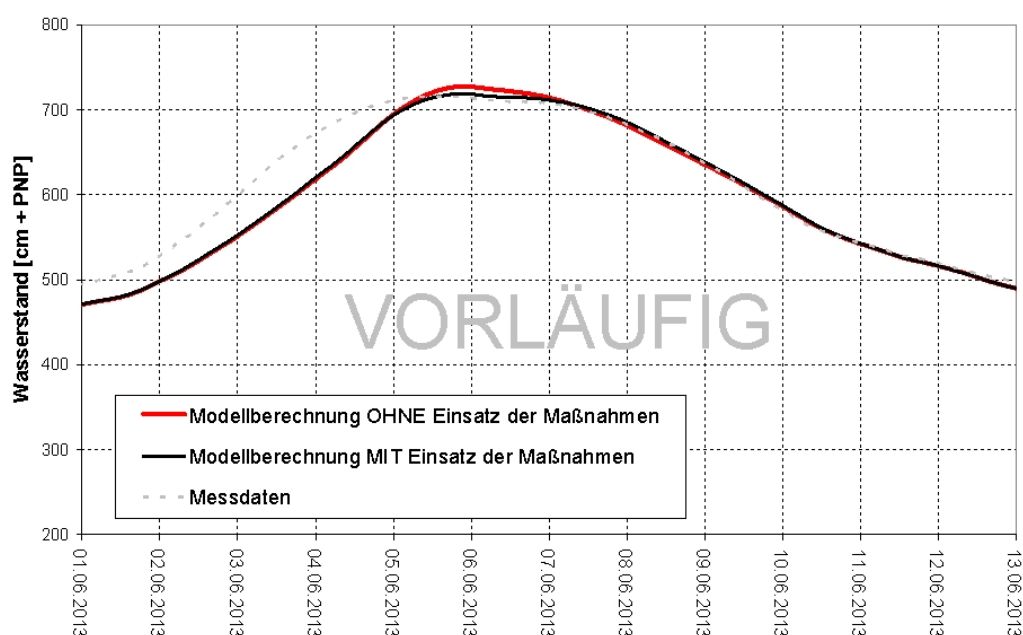


Abb. 3.6: Wirkung der Polderflutungen am Oberrhein im weiteren Stromverlauf: modellgestützte Abschätzung der Wirkung eingesetzter Retentionsmaßnahmen für den Pegel Düsseldorf (grau: Messdaten, rot: Modellberechnung ohne Maßnahmen, schwarz: Modellberechnung der BfG mit Maßnahmen)

Grundsätzlich sind die Wirkungen von Retentionsmaßnahmen je nach betrachtetem Standort unterschiedlich. Einerseits ist die Wirkung am direkt unterhalb gelegenen Pegel in der Regel am stärksten, andererseits ist die Breite des durchflossenen Querschnitts auch maßgebend für die Wasserstandsreduktion. Soweit Maßnahmen gesteuert eingesetzt werden, erfolgt dieser Einsatz stets auf ein definiertes Schutzziel und eine definierte Rheinstrecke unterhalb. Darüber hinausgehend erzielte Scheitelminderungen sind als „Mitnahmeeffekte“ zu bewerten. Dieser Zusammenhang gilt insbesondere hinsichtlich der Retentionsmaßnahmen am Oberrhein und ihre Auswirkungen auf den Niederrhein.

3.3.5 Fazit Rheingebiet

Entsprechend der großräumigen Niederschlagsverteilung wurden die größten Hochwasserjährlichkeiten (z. T. über 100-jährliche Hochwasser) in den baden-württembergischen Bereichen des Rheingebietes erreicht, insbesondere im oberen Neckargebiet sowie in den Bodenseezuflüssen. Weitere Schwerpunkte lagen im oberen Maingebiet (Abb. 3.7).

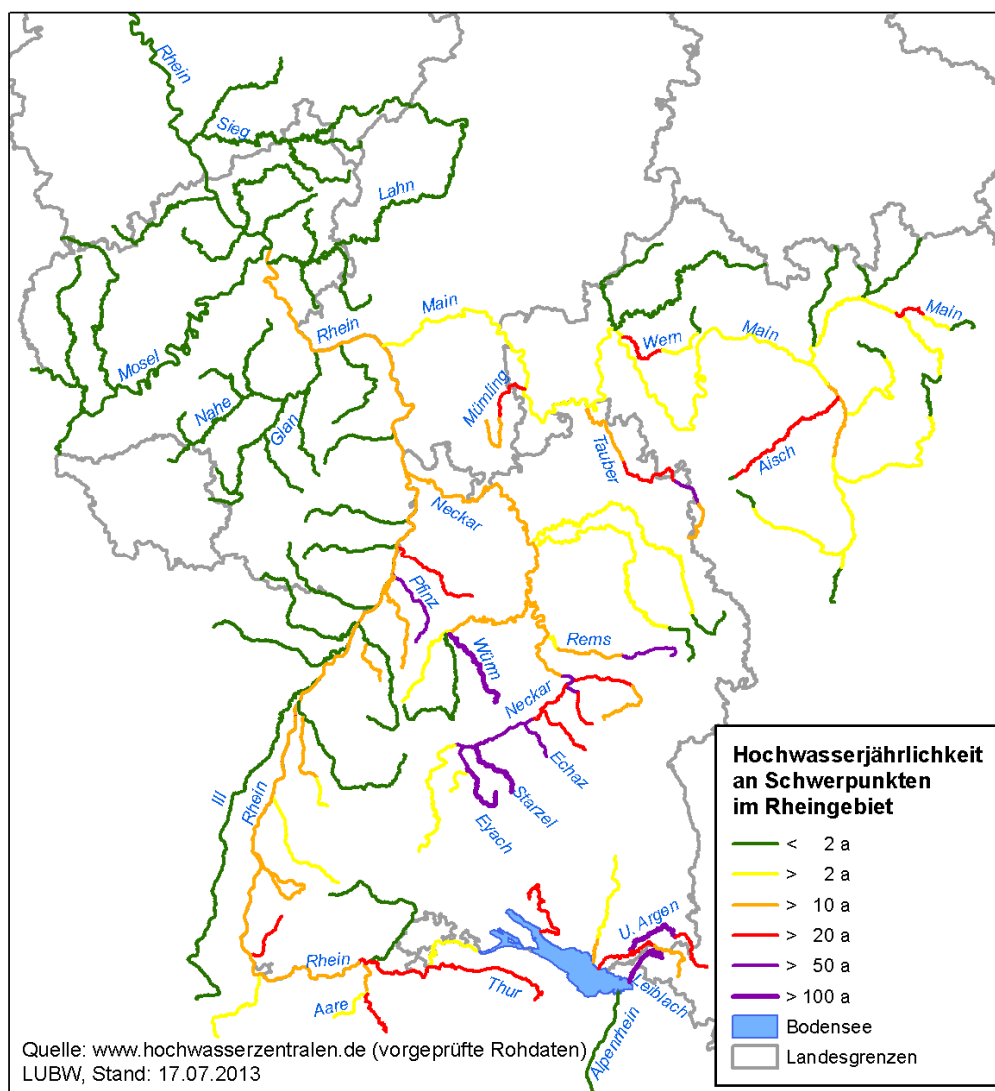


Abb. 3.7: Schwerpunkte des Hochwassers Juni 2013 im deutschen Rheingebiet

Im Rheinstrom selbst lag die höchste Abflussjährllichkeit bei einem über 20-jährlichen Hochwasser im Hochrhein zwischen Thur- und Aaremündung. Aus dem etwa 10- bis 20-jährlichen Ereignis bei Rheinfelden hätte sich – ohne den Einsatz von Rückhaltmaßnahmen am Oberrhein – ein 20-jährliches Ereignis am Pegel Maxau entwickelt. Der Einsatz von Retentionsmaßnahmen in Frankreich, Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz führte zu einer Abminderung der Rheinwasserstände in einer Größenordnung von 20-30 cm am mittleren Oberrhein und rund 10 cm im Niederrhein. Flussabwärts der Moselmündung lag das Rheinhochwasser Juni 2013 nur im Bereich eines mittleren jährlichen Hochwassers.

Tabelle 3.3:

Das Juni-Hochwasser 2013 an wichtigen Pegeln am Rhein im Ereigniskontext

$Q_{[m^3/s]}$	1988	1995	1999 (Mai)	2011	Juni 2013	
					Scheitel-Abfluss [m³/s] (Datum)	Wiederkehr- Intervall * [Jahre]
Rheinfelden	3160	3470	4550	1895	3820 (1.6.)	10-20
Maxau	4090	4080	4440	2980	4160 (2.6.)	10
Worms	5270	4250	4240	3600	4950 (3.6.)	10-20
Kaub	7200	6550	4450	5570	5910 (5.6.)	10-20
Köln	9580	10800	4500	7780	6160 (5.6.)	2

* vorläufig

Tabelle 3.3 erlaubt den Vergleich des Ereignisses vom Juni 2013 mit ausgewählten bedeutenden Rhein-Hochwassern der letzten Jahrzehnte.

3.4 Verlauf des Hochwassers im Donaugebiet

3.4.1 Verlauf des Hochwassers in der Donau

In der Donau liefen in der ersten Junihälfte 2013 drei Hochwasserwellen unterschiedlicher Größe und Genese ab. Während weder Schneefall, noch die Rückhaltung von Niederschlag in der Schneedecke noch die Schneeschmelze einen nennenswerten, abschwächenden bzw. verstärkenden Beitrag zum Hochwasserereignis erbrachten, haben extreme Bodenfeuchten und die besondere Entwicklung des Niederschlagsgeschehens Ende Mai eine entscheidende Rolle bei der Entstehung des Hochwassers unterschiedlicher Jährlichkeiten gespielt.

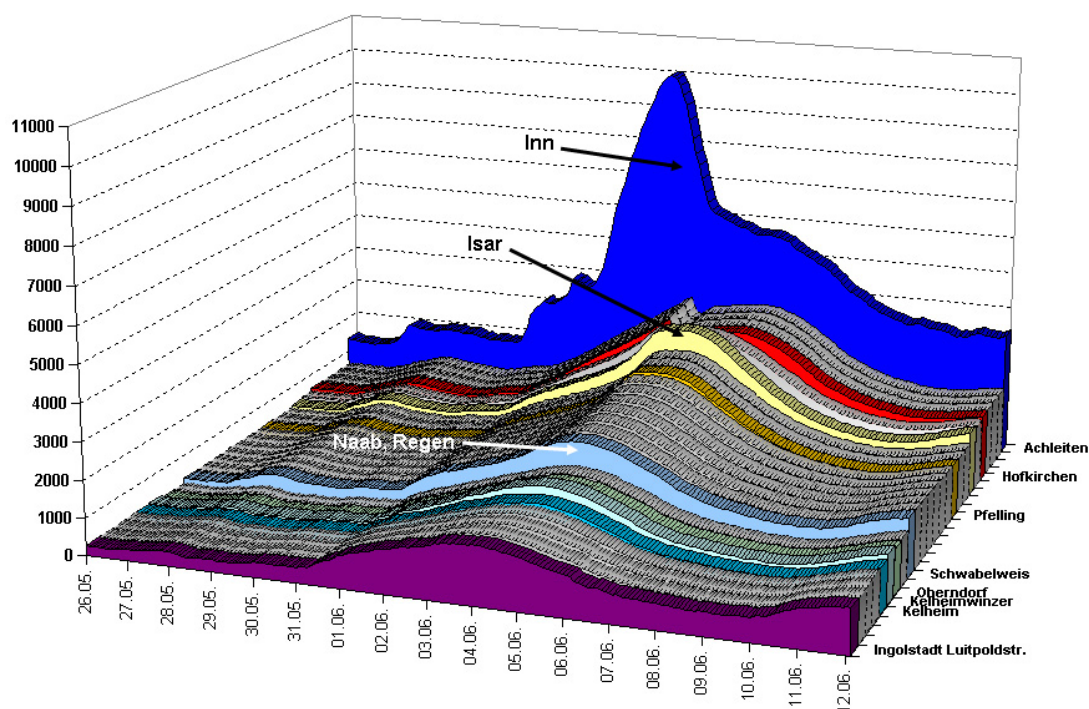


Abb. 3.8: Ablauf der Hochwasserwelle der Donau vom Juni 2013 unter Berücksichtigung der Aufhöhung aus Nebenflüssen

Die erste Hochwasserwelle im Donauegebiet wurde primär durch die Salzach über den Inn, den bedeutsamsten Donauzufluss in Deutschland und Österreich, ausgelöst. In Passau traf die Inn-Welle mit einem Scheitelabfluss mit knapp 7000 m³/s (Pegel Passau Ingling KW) am Montag, den 03. Juni auf bereits erhöhte Donauabflüsse von gut 3000 m³/s. Dies führte dazu, dass bereits am Morgen des 03. Juni in Passau die 12,20-m-Marke, die den am Pegel bis dato höchsten gemessenen Wasserstand (HHW) beim Hochwasser im Juni 1954 markiert, mit weiter steigender Tendenz überschritten wurde. Letztlich wurde der Wasserstandsscheitel mit 12,89 m (ü. PNP) mit ca. 10000 m³/s am Pegel Passau/Ilzstadt am 03. Juni um 21 Uhr erreicht.

Zeitgleich rollte die im Bereich der oberen Donau gebildete Hochwasserwelle stromabwärts (vgl. Abb. 3.8). Auch diese Hochwasserwelle übertraf Rekordmarken, so dass an zahlreichen Pegeln entlang der Bundeswasserstraße Donau höchste bekannte Wasserstände seit Pegel Einrichtung (HHW) überschritten wurden (z. B. Pfatter, Pfelling, Hofkirchen, Passau). Der Scheitel erreichte den Pegel Pfelling am 05. Juni mit ca. 3100 m³/s. Die Hochwasserwelle der bei Deggendorf mündenden Isar (Scheitelabfluss ca. 1250 m³/s am Pegel Plattling) lief der Donauwelle zeitlich leicht voran, trug dennoch erkennbar zu einem Anwachsen der Hochwasserwelle bei. Am 04. Juni brach bei Deggendorf ein Deich. Der Einfluss ist gut im Verlauf der Hochwasserwelle des unterstrom gelegenen Pegels Hofkirchen (Abb. 3.9) erkennbar. Trotz der deutlichen Reduzierung des Abflusses wurde mit einem Wasserstand von über 7 m am Pegel Hofkirchen ein neuer Höchstwert erreicht.

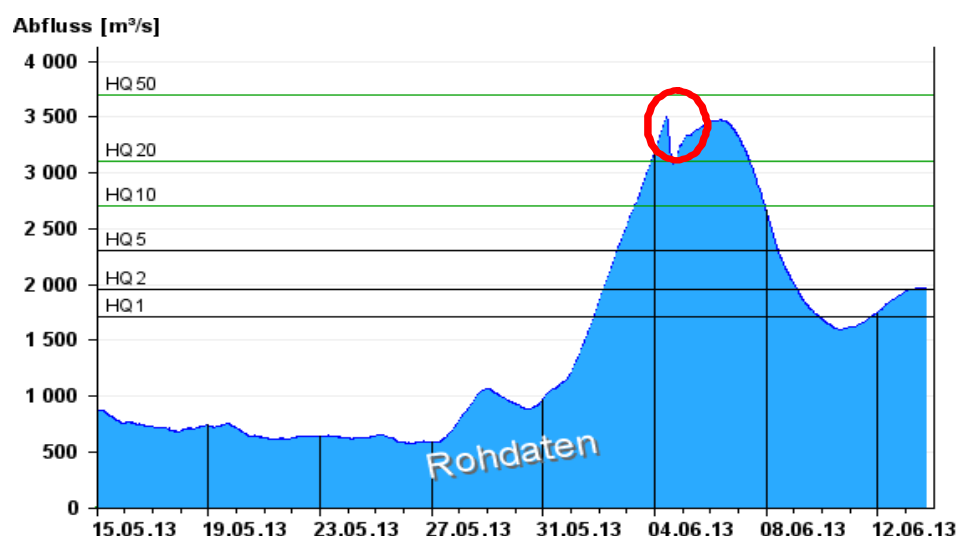


Abb. 3.9: Pegel Hofkirchen: Hochwasser-Ganglinie der Donau mit deichbruchbedingter Scheitelbeeinflussung (Quelle: HND Bayern)

Die Hochwasserwelle erreichte am 06. Juni den Raum Passau. Der Abfluss des Inns war zu diesem Zeitpunkt bereits wieder auf rund 2000 m³/s (< MHQ) gesunken, so dass die Wasserstände dieser zweiten Hochwasserwelle an der unteren deutschen Donau geringere Wasserstände als wenige Tage zuvor brachten. Dieses Ereignis lag mit knapp 7000 m³/s (Pegel Passau/Ilzstadt) im Bereich eines 20-jährlichen Hochwassers.

Erneute Niederschläge im oberen Abschnitt der Donau sowie ihrer Zuflüsse führten zu Anfang Juni zu einer dritten, wenn auch deutlich kleineren Hochwasserwelle. Es wurden jedoch auch in diesem Fall ein Wiederansteigen der Wasserstände bis in den Bereich der Meldestufen 2 und 3 verzeichnet. Der Scheitel wurde am Pegel Pfelling am 13. Juni mit gut 1500 m³/s registriert, was im Bereich eines HQ₂ liegt.

3.4.2 Verlauf des Hochwassers in den Donauzuflüssen aus der Schwäbischen Alb

In den Donauzuflüssen aus der Schwäbischen Alb entwickelten sich teilweise bis über 100-jährliche Hochwasser (z. B. Lauchert und Schmeie). Das Gebiet der Donauzuflüsse aus der Schwäbischen Alb zählte damit zu den am stärksten von Hochwasser betroffenen Regionen in Deutschland. Da die Schwarzwaldzuflüsse der Donau kein Hochwasser führten, entwickelte sich in der oberen Donau bis zur Illermündung jedoch nur ein etwa 2-jährliches Hochwasser.

3.4.3 Verlauf des Hochwassers in den kleineren bayerischen Donauzuflüssen

An den nördlichen Donauzuflüssen Wörnitz, Altmühl, Naab, Regen traten überwiegend vergleichsweise geringere Jährlichkeiten auf. Ausnahmen bildeten einzelne Pegel an den Oberläufen von Wörnitz und Altmühl sowie im Einzugsgebiet der Naab an der Murach, der Schwarzach und der Vils.

An den kleineren südlichen Zuflüssen zur Donau zwischen Ulm und Donauwörth wie Günz, Mindel, Zusam und Schmutter wurden bei der zweiten Hochwasserwelle am 08./09.06. maximale Abflüsse bis zu einem 50-jährlichen Hochwasser erreicht.

An Paar, Ilm und Abens trat ein extremes Hochwasserereignis auf, bei dem die Abflüsse der Hochwasser von 2005 und 1999 größtenteils weit übertroffen wurden.

3.4.4 Verlauf des Hochwassers im Einzugsgebiet von Iller und Lech

Die ersten kräftigen Niederschläge in der Nacht von Freitag, dem 31.05., auf Samstag, den 01.06., führten vor allem im alpinen Einzugsgebiet der Iller zu deutlichen, kurzfristigen Anstiegen der Pegelstände. Der ab Samstagmittag (01.06.) erneut einsetzende und bis Sonntagmorgen anhaltende Starkregen löste einen Wiederanstieg der Pegel aus. Am Pegel Kempten/Iller wurde verstärkt durch besonders intensive Niederschläge im pegelnahen Einzugsgebiet ein 50-jährliches Hochwasser beobachtet. Im restlichen Einzugsgebiet der Iller sowie auch in Flussgebieten von Wertach und Lech lagen die Jährlichkeiten bei maximal 20 Jahren, meist aber bei 5 oder 10 Jahren.

3.4.5 Verlauf des Hochwassers im Einzugsgebiet der Isar

Anders als bei früheren großen Hochwasserereignissen an der Isar, bei denen maßgeblich die Alpen und der Alpenrand zum Gesamtabfluss beitrugen, wurde diesmal das gesamte Isareinzugsgebiet relativ einheitlich überregnet, wobei die höchsten Niederschlagssummen in der Jachenau auftraten. In den Alpen wurde nicht der gesamte Niederschlag abflusswirksam, da die Schneefallgrenze während des Hochwassers bei circa 1800 m lag.

Durch die lange Dauer des Hochwassers trugen auch die kleineren Zuflüsse zur Isar maßgeblich zur Bildung des Hochwasserscheitels bei. Dadurch nahmen die Jährlichkeiten an der Isar flussabwärts zu. Die höchsten Jährlichkeiten wurden nicht an den alpinen Pegeln, sondern bis nördlich von München gemessen.

In der Isar wurde die abflussmindernde Wirkung des Sylvensteinspeichers sichtbar. Der 10- bis 20-jährliche Zufluss wurde unterhalb des Speichers auf der Strecke Lenggries bis Pupp-ling auf ein 2- bis 10-jährliches Ereignis reduziert, obwohl dort ein Schwerpunkt der Niederschläge lag. Durch die hohen Zuflüsse von Loisach (HQ₂₀) und Amper (HQ₂₀₋₅₀) sowie der massiven Überregnung des Zwischengebietes erreichten die Jährlichkeiten ab München (HQ₂₀) höhere Werte. Sie lagen unterhalb des Zuflusses der Amper bei HQ₅₀ bis HQ₁₀₀.

3.4.6 Verlauf des Hochwassers im Einzugsgebiet des Inns

Ein extremes Hochwasser bildete sich am Inn erst im Verlauf der bayerischen Fließstrecke aus; am Übergabepiegel Oberaudorf (Grenze zu Tirol) wurde ein Abflussscheitel von circa 1.400 m³/s beobachtet, was einer Jährlichkeit von 2 bis 5 Jahren entspricht. Der hohe Zufluss aus der Mangfall (bis > HQ₁₀₀) führte am Inn zu einem Anstieg der Jährlichkeit auf etwas mehr als 20 Jahre. Durch sehr hohe Zuflüsse aus Alz und Salzach (z. B. höchster je gemessener Abfluss am Pegel Burghausen/Salzach mit rd. 4000 m³/s) sowie im Unterlauf des Inns an den oberösterreichischen Zubringern Mattig, Ach, Antiesen, Pram und der bayerischen Rott stieg die Jährlichkeit des Inns auf ein HQ₅₀₋₁₀₀ an und erreichte in Passau am Mittag des 03.06. einen Durchfluss von knapp 7000 m³/s (HQ₁₀₀).

3.5 Verlauf des Hochwassers im Elbegebiet

3.5.1 Verlauf des Hochwassers im tschechischen Elbegebiet

Der Hochwasserablauf im tschechischen Elbeeinzugsgebiet wurde entscheidend durch die Moldau dominiert. Betrug der Scheitelabfluss der Elbe oberstrom der Moldaumündung (Pegel Brandýs nad Labem) noch 668 m³/s, so wuchs dieser insbesondere durch den Zustrom der Moldau, die einen Scheitelabfluss von 3210 m³/s am Pegel Prag-Chuchle erreichte (entsprechend einem Wiederkehrintervall von 20-50 Jahren), auf 3710 m³/s am tschechischen Elbpegel Ustí nad Labem an. Die Eger führte im Vergleich zu Elbe und Moldau keine signifikanten Wassermengen (Scheitelabfluss von 314 m³/s am Pegel Louny). Zudem erreichte ihr Scheitel die Elbe erst nach Durchgang deren Scheitels.

Über die großen Talsperren der Moldaukaskade ist eine substanzielle Beeinflussung von Hochwasserabflüssen der Moldau möglich. Tabelle 3.4 gibt einen Überblick über die Situation der beiden wichtigsten Talsperren der Moldaukaskade (Lipno I und Orlik) sowie an der oberen Elbe (Les Království) und der Eger (Nechranice) während des Hochwassers 2013. Enthalten sind die Beckenwasserstände zu Beginn des Hochwasserereignisses, um im Vergleich mit dem Stauziel der Talsperren eine Aussage über das Ausmaß der Vorentleerung geben zu können. Es zeigt sich, dass eine signifikante Vorentleerung an den großen Talsperren nur an der Talsperre Orlik erfolgte (2,5 m). Hier wurde (zusätzlich zum gewöhnlichen Hochwasserrückhalteraum) 40 Mio. m³ (Wert abgeschätzt) freier Betriebsraum geschaffen. Bis auf einige Ausnahmen an kleineren Rückhalteräumen bewegte sich die Vorabsenkung im geringfügigen Bereich von bis zu 1,60 m. Die Daten über den maximal erreichten Talsperrenwasserstand geben Aufschluss darüber, ob an den Talsperren der außergewöhnliche Hochwasserrückhalteraum genutzt werden konnte bzw. musste. Dies war an den bedeutenden Talsperren sowie an der überwiegenden Anzahl der kleineren Talsperren nicht oder nur unwesentlich der Fall.

Tabelle 3.4 vergleicht ebenfalls die Scheitelzuflüsse zu den Rückhalteräumen mit den Abgaben aus den Talsperren zum Scheitelzeitpunkt, um Informationen über die durch die Talsperren erreichte Scheitelreduktionen geben zu können. Schwierigkeiten und Unsicherheiten ergeben sich dabei aus der Tatsache, dass für die Zuflüsse – wie in Abb. 3.10 dargestellt – nur berechnete Durchschnittswerte zur Verfügung stehen. Dies macht gerade die Bewertung der Situation an der Talsperre Orlik schwierig.

Tabelle 3.4:

Übersicht über die Situation an den tschechischen Talsperren beim Hochwasser im Juni 2013

Talsperre (Gewässer)	Wasserstand zu Beginn des Hochwassers [m+NN]	Wasserstand in Relation zum Stauziel (Vorentleerung)	erreichter Maximal- wasserstand [m+NN]	Maximalwasserstand in Relation zu Vollstau (Nutzung außergewöhnlicher HW-Rückhalteraum)	maximaler Zufluss [m³/s]	Jährlichkeit am oberstrom gelegenen Pegel [Jahre]	Abgabe zum Zeitpunkt des maximalen Zuflusses [m³/s]	maximale Abgabe [m³/s]	Jährlichkeit am unterstrom gelegenen Pegel [Jahre]	Abschätzung zurückgehaltenes Volumen [Mio. m³]
Lipno I (Moldau)	724.6	-0.30	725.33	-0.27	270	~50	65-95	95	k.A.	~ 30
Orlik (Moldau)	348.7	-2.50	353.58	-0.02	1800- 1900	20-50	1400- 1700	1950	k.A.	62.07 + ~ 40
Nechranice (Eger)	269.2	0.20	271.71	-0.19	340	2-5	260	260	~2	~ 35
Les Království (Elbe)	314	-1.60	323.1	-0.3	270	>10	110-145	145	5	4.5

Für die Talsperre Lipno (obere Moldau) betrug der Scheitelzufluss 270 m³/s bei einer gleichzeitigen Abgabe von ca. 65-95 m³/s, so dass der Scheitel um 175-205 m³/s reduziert werden konnte. Hierzu wurde zeitweise ein Volumen von ca. 30 Mio. m³ in der Talsperre gespeichert. In der Talsperre Orlik (untere Moldau) stand zusätzlich zum gewöhnlichen Hochwasserrückhalteraum (62 Mio. m³) ein Teil des (vorentleerten) Betriebsraums zum Hochwasserrückhalt zur Verfügung (grober Schätzwert: 40 Mio. m³). Somit konnte eine Scheitelreduktion von 200-500 m³ (siehe Abb. 3.10) erreicht werden. Eine Scheitelreduktion von ca. 80 m³/s wurde durch die größte Talsperre an der Eger (Nechranice) erzielt. Hierzu wurden zeitweise bis zu 35 Mio. m³ Wasser zwischengespeichert. Auch mit Hilfe der Elbe-Talsperre Les Království wurde trotz ihres nur geringen Stauraums der Hochwasserscheitel um 125-160 m³/s reduziert.

Aus der summarischen Darstellung der tschechischen Rückhaltevolumina ergibt sich für den 04.06.2013 (13:00 Uhr) ein zu diesem Zeitpunkt im Hochwasserrückhalteraum gespeichertes Volumen von ca. 130 Mio. m³. Da die Talsperren Lipno und Orlik zu diesem Zeitpunkt ihren maximalen Füllstand schon überschritten hatten und das durch Vorentleerung im Betriebsraum generierte Volumen für die Speicherung ebenfalls berücksichtigt werden muss, ergibt sich – als grobe Abschätzung – ein im Maximum zurückgehaltenes Volumen von 190 Mio. m³.

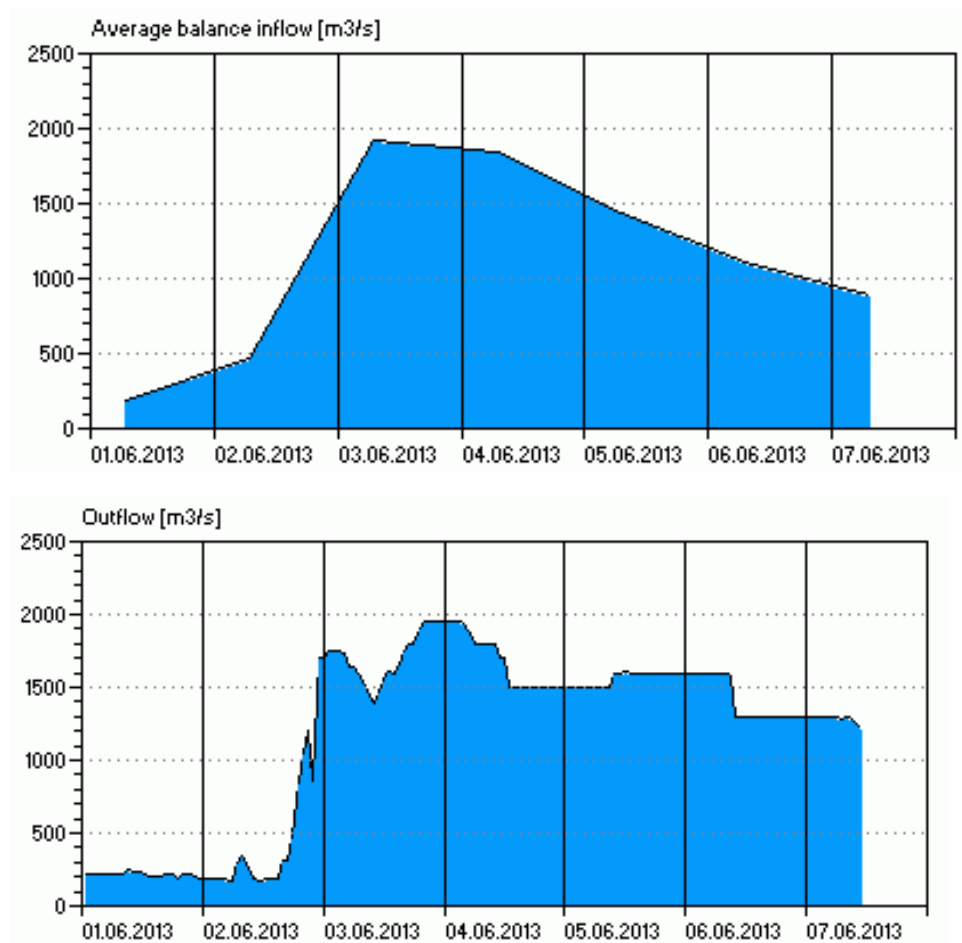


Abb. 3.10: Berechneter Zufluss (oben) und gemessener Abfluss (unten) an der Talsperre Orlik (Moldau). (Quelle: <http://voda.gov.cz/portal/en/>)

Vergleicht man die Beckenwasserstände für die Hochwasser 2002, 2006, 2011 und 2013 vor Beginn des Ereignisses und die maximalen Talsperrenwasserstände miteinander, wird deutlich, dass die Vorentleerung der Talsperren in den Jahren 2006 und 2011 (Winter-/Frühjahrsereignisse) aufgrund der „Vorhersehbarkeit“ des Hochwassers (Wasseräquivalent der Schneedecke als Grundlage für die Vorentleerung) deutlich größer war als 2013. Im Juni 2013 konnte wie auch im August 2002 – in Abhängigkeit von der Niederschlagsvorhersage – nur in sehr geringem Umfang eine Vorentleerung stattfinden. Dies ist typisch für Sommerereignisse. Für diese Ereignisse liegen die maximalen Wasserstände dann auch deutlich höher als in den Jahren 2006 und 2011, bei denen der gewöhnliche Hochwasserrückhalteraum oft nicht vollständig ausgenutzt werden musste.

Für die Analyse gilt es zu beachten: Es handelt sich bei den hier dargestellten Ergebnissen um eine erste Vorabschätzung mit grob erhobenen Rohdaten. Speziell um die Überlagerung der einzelnen Talsperrenwirkungen, den Zeitpunkt der Wiederentleerung und die Auswirkungen auf den Wellenablauf in Deutschland bewerten zu können, sind konsolidierte Detailanalysen unter Zuhilfenahme von Wellenablaufmodellen unerlässlich.

3.5.2 Verlauf des Hochwassers der Elbe stromauf der Saalemündung

Der Abflussscheitel der Hochwasserwelle des Elbstroms erreichte Schöna, den ersten Elbepegel in Deutschland, am Morgen des 06. Juni mit $3830 \text{ m}^3/\text{s}$. Dieser Wert lag noch knapp $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ unter dem Scheitelwert der Hochwasserwelle des Jahres 2002. Der weitere Verlauf des Hochwassergeschehens in der Elbe und sein Bezug zu den Nebenflüssen ist anhand der Abbildungen 3.11 sowie 3.13 visuell nachvollziehbar.

In Dresden wurde der Höchstwert aus dem Jahre 2002 um 62 cm verfehlt: Der diesjährige Scheitel lag am 06.06.2013 bei 878 cm; dies entspräche einem Durchfluss gemäß bestehender Abflusstafel von etwa $4410 \text{ m}^3/\text{s}$ (und rangiert dann im Wiederkehrintervall bei rund 100 Jahren); Messungen ergaben allerdings geringere Werte (z. B. Scheitelmessung des WSA Magdeburg: $3940 \text{ m}^3/\text{s}$, was einem Wiederkehrintervall von 50-100 Jahren zuzuordnen wäre). Auf dem sächsischen Elbeabschnitt kam es insgesamt zu fünf Deichbrüchen, die teilweise den Hochwasserscheitel maßgeblich beeinflussten wie z.B. am Pegel Riesa. Hier wurde am 06. Juni bei einem Wasserstand von 932 cm ohne den Deichhinterlandabfluss ein Durchfluss von $3448 \text{ m}^3/\text{s}$ direkt gemessen. Mit dem Deichhinterlandabfluss dürfte der Scheiteldurchfluss 2013 ca. $4000 \text{ m}^3/\text{s}$ betragen haben.

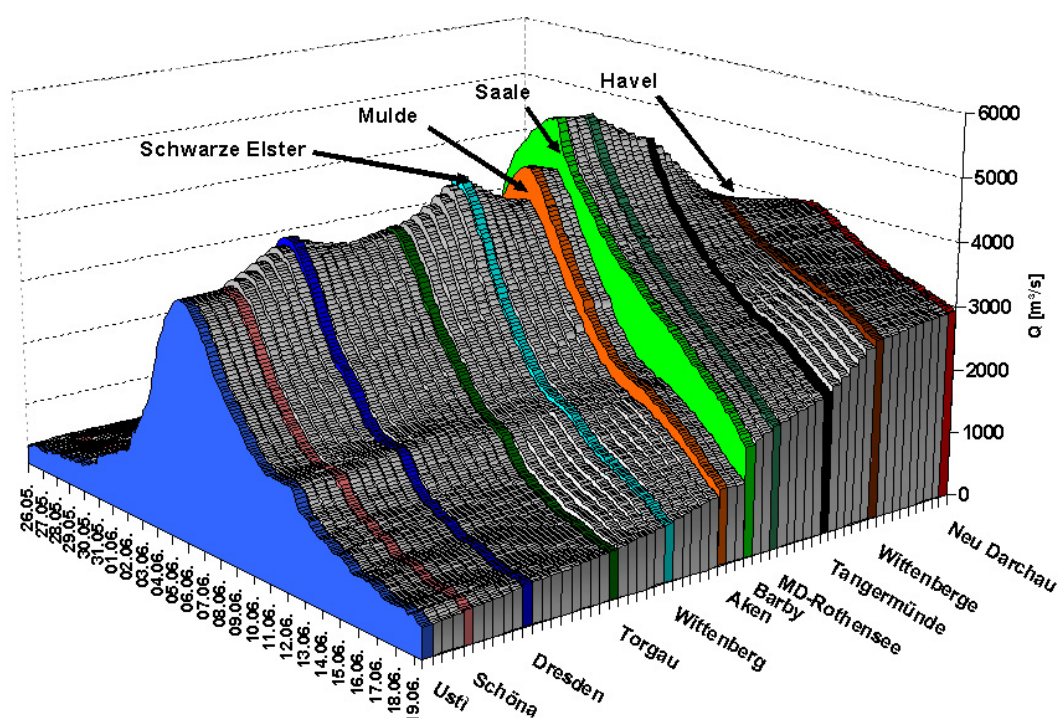


Abb. 3.11 Ablauf der Hochwasserwelle der Elbe vom Juni 2013 unter Berücksichtigung der Aufhöhung aus Nebenflüssen

Während die Schwarze Elster im aktuellen Hochwasserereignis nicht substantiell zu einer Abflusserhöhung beitrug, war dies bei Mulde und Saale in erheblichem Maße der Fall. Der Hochwasserscheitel der Elbe passierte den Pegel Wittenberg am 08. Juni mit einem maximalen Wasserstand von 691 cm und damit noch 15 cm unter der Höchstmarke aus dem Jahr 2002.

An der Mulde lag der Abflussscheitel im Bereich Bad Dübener See noch bei 1720 m³/s (vorläufiger Wert). Obgleich am oberhalb gelegenen Pegel Golzern 1 ein um 85 cm geringerer Scheitelwasserstand als 2002 beobachtet wurde, fiel der Scheitel am Pegel Bad Dübener See ca. 10 cm höher als 2002 aus. Grund war, dass beim Ereignis 2013 in der linksseitige Deich zwischen Glaucha und Wellaune unmittelbar oberhalb des Pegels Bad Dübener See standhielt und nur leicht überströmt wurde, so dass dort kein nennenswerter Deichhinterlandabfluss (wie noch im Jahre 2002) eintrat. Der Durchfluss am Pegel Bad Dübener See fiel aber rund 500 m³/s niedriger aus als der offizielle HHQ-Wert von 2200 m³/s (2002). Im Bereich der Mündung lag der Abflussscheitel der Mulde bei 1400 m³/s und damit deutlich über der Größenordnung von 2002 (scheitelnähe Messung Pegel Priorau am 04.06.2013, 13:00 Uhr). Bei der Scheitelminderung zwischen Bad Dübener See und Priorau im Juni 2013 spielten weniger eine große Vielzahl von Deichbrüchen (wie im Jahre 2002) als vielmehr das Deichversagen im Bereich der Landesgrenze zwischen Sachsen und Sachsen-Anhalt und die damit notwendig gewordene Flutung des Seelhausener Sees (zeitweilig bis zu 500 m³/s) die entscheidende Rolle.

Entlang der Mulde ereigneten sich bei diesem Hochwasser in Sachsen 19 Deichbrüche, wohingegen im Jahr 2002 über 100 Deichbrüche an der Mulde allein bis zum Pegel Bad Dübener See zu registrieren waren. Demzufolge wurde der Muldezufluss 2013 weniger stark gedämpft, als dies beim vormaligen „Jahrhunderthochwasser“ der Fall war. Die Mulde lief mit ihrem Scheitel am 04. Juni der Elbewelle zwar etwa 3 Tage voraus, vergrößerte jedoch das Abflussvolumen der Elbe dennoch nachhaltig. Im Bereich des Elbescheitels strömten immerhin noch gut 500 m³/s der Elbe zu. Dies führte dazu, dass der Wasserstandsscheitel am Pegel Aken am 09. Juni mit 791 cm einen historischen Höchststand (bisher: 766 cm) erreichte.

Deichbrüche traten entlang der Elbe zwischen Schwarze Elster- und Saalemündung im Gegensatz zum 2002er Hochwasser nicht auf.

3.5.3 Verlauf des Hochwassers zwischen Saale- und Havelmündung

Das Einzugsgebiet der Saale spielte eine ganz entscheidende Rolle in der Entwicklung des diesjährigen Hochwassers. Entlang der Saale selbst, aber auch in ihren wichtigsten Zuflüssen (insbesondere Weiße Elster mit Pleiße), wurden reihenweise die höchsten Wasserstände bzw. Abflüsse mitunter deutlich übertroffen. Die Rückhaltung der Saale-Talsperren betrug max. 50 m³/s, wodurch allerdings nicht verhindert werden konnte, dass bereits am Pegel Rothenstein (oh.Jena) der HHQ erreicht wurde.

Am Pegel Naumburg-Grochlitz wurde am 03.06.2013 insbesondere auf Grund der außerordentlich hohen Zuflüsse aus Ilm und Unstrut mit 642 cm ein über dem HHW des Jahres 1994 liegender Hochwasserscheitel registriert. Eine weitere extreme und so in der bisherigen Pegelstatistik noch nicht beobachtete Hochwassersituation ereignete sich zeitgleich im gesamten Einzugsgebiet der Weißen Elster. Vom Oberlauf in Thüringen bis zur Mündung in die Saale wurden hier zwischen dem 02. und 04. Juni durchgängig neue Pegelhöchststände registriert, die teils erheblich über den bisher bekannten HHW lagen. Mit einem Hochwasserscheitelabfluss von fast 500 m³/s erreichte die Hochwasserwelle der Weißen Elster am sachsen-anhaltinischen Pegel Oberthau trotz der im Bereich Leipzig ab dem 03.06. eingeleiteten Flutung des Zwenkauer Sees und der Öffnung des Nahle-Wehres und der damit verbundenen zeitweiligen Nutzung zusätzlicher Retentionsräume, eine Größenordnung von HQ150 bis HQ200 (Reihe 1973 – 2013).

Dies führte unterhalb der Mündung in die Saale am Pegel Halle-Trotha UP am 05. Juni zu einem neuen HHW von 811 cm, das um 128 cm über dem bisher bestehenden HHW von 683 cm vom 16.04.1994 lag. Der dabei gemessene Abfluss von über 900 m³/s entspricht gleichfalls einem Wiederkehrintervall von etwa 150 bis 200 Jahren (Reihe 1956 – 2013). Den Pegel Calbe-Grizhne, nahe der Saalemündung gelegen, erreichte der Saalescheitel in der Nacht vom 06. zum 07. Juni mit 802 cm; der Durchfluss lag hier zwischen 800-1000 m³/s (z.Zt. aufgrund von Rückstauwirkungen noch nicht genau zu präzisieren). Zum Vergleich: Im Jahre 2002 betrug der Abfluss bei Calbe lediglich 296 m³/s und blieb damit unter dem vieljährigen mittleren Hochwasser (= MQ: 377 m³/s).

Neben der extremen Abflussmenge kam nachteilig für den weiteren Hochwasserverlauf hinzu, dass der Saalescheitel zeitlich weitgehend mit der elbabwärts wandernden Hochwasserwelle zusammentraf (vgl. Abb. 3.11 und 3.13). Damit erhöhte sich der Abflussscheitel der Elbe um weitere 500-600 m³/s und erreichte am Pegel Barby (unterstrom der Saalemündung) einen Spitzenwert von deutlich über 5000 m³/s am 09. Juni. Zum Vergleich: In 2002 betrug der Scheitelabfluss bei Barby knapp 4300 m³/s.

In den frühen Morgenstunden des 09. Juni brach unweit der Einmündung in die Elbe nahe der Ortschaft Klein Rosenburg der Saaledeich. Erste modellgestützte Abschätzungen der BfG (Stand: Juni 2013), vorgenommen mit dem auch operationell eingesetzten WAVOS-Modell, zeigen jedoch, dass dieser Deichbruch zwar Ausprägung und Form des Wellenscheitels signifikant beeinflusst hat (gut erkennbar am abknickenden Scheitel der Wasserstandsganglinie von Barby in Abb. 3.13), sich jedoch anhand der aktuell verfügbaren Daten kein klarer Einfluss auf die Scheitelhöhe im Bereich Barby-Magdeburg nachweisen lässt. Weiter unterstrom werden die Effekte des Deichbruchs bei Klein Rosenburg durch weitere Einflüsse (Havelpolderung, Deichbruch Fischbeck) zunehmend überlagert und so noch schwerer identifizierbar.

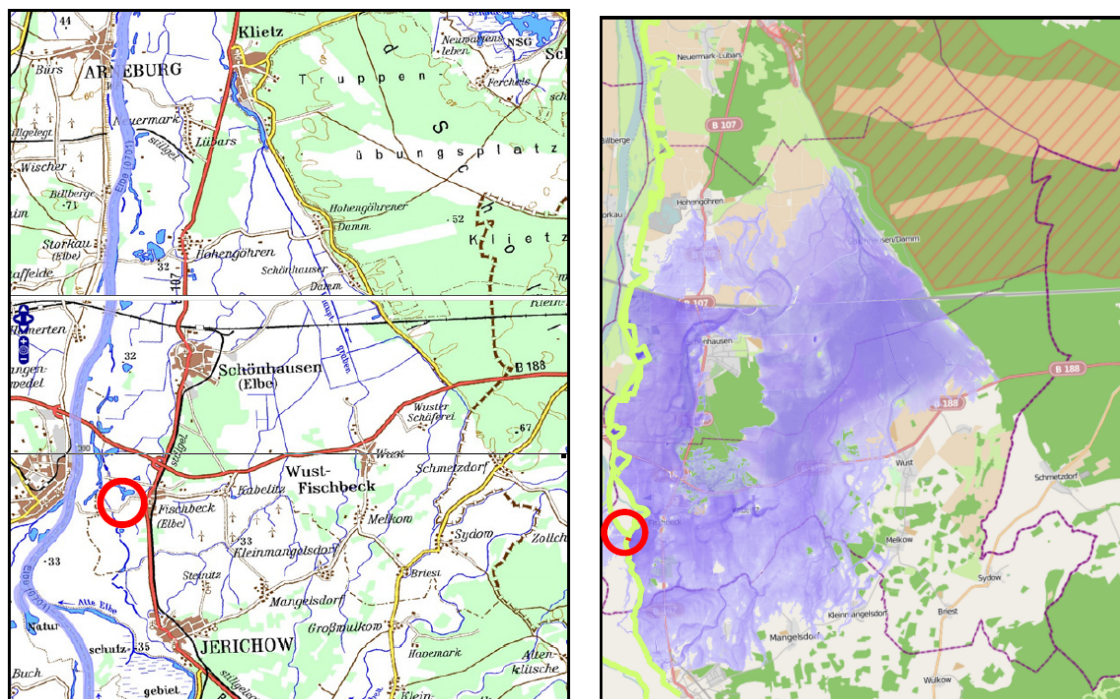


Abb. 3.12: Lage des Deichbruchs bei Fischbeck (links) und Ergebnis einer quasi-operationell vorgenommenen Überflutungssimulation der BfG (rechts)
(Quelle links: Vermessungsverwaltungen der Bundesländer und BKG)

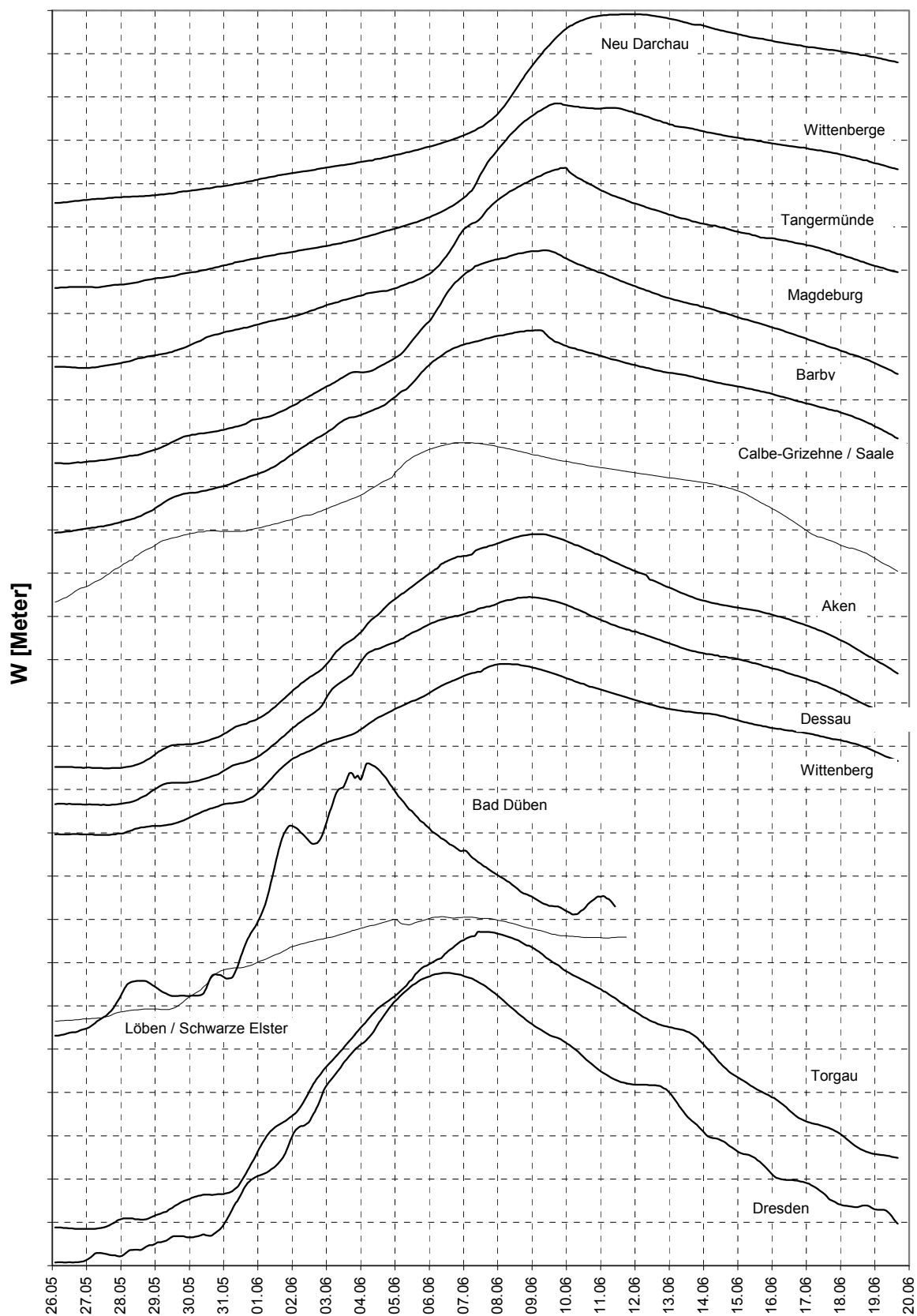


Abb. 3.13: Wasserstandsganglinien ausgewählter Elbe- und Nebenflusspegel während des Hochwassers im Juni 2013

Der weitere Hochwasserablauf wurde durch zwei weitere Einflüsse nachhaltig geprägt:

- die gesteuerte Kappung des Hochwasserscheitels durch Flutung der Havelpolder sowie

die ungesteuerte Scheitelminderung durch den Deichbruch Fischbeck (nahe Tangermünde, vgl. Abb. 3.12) .

Zur Kappung des Hochwasserscheitels als Entlastung der unteren Mittelelbe (Bereich stromab Wittenberge) wurde am 09.06. mit der kontrollierten Flutung der Havelniederung begonnen. Deren Ablauf wurde auf Basis der Wasserstandsvorhersage für den Pegel Wittenberge festgelegt.

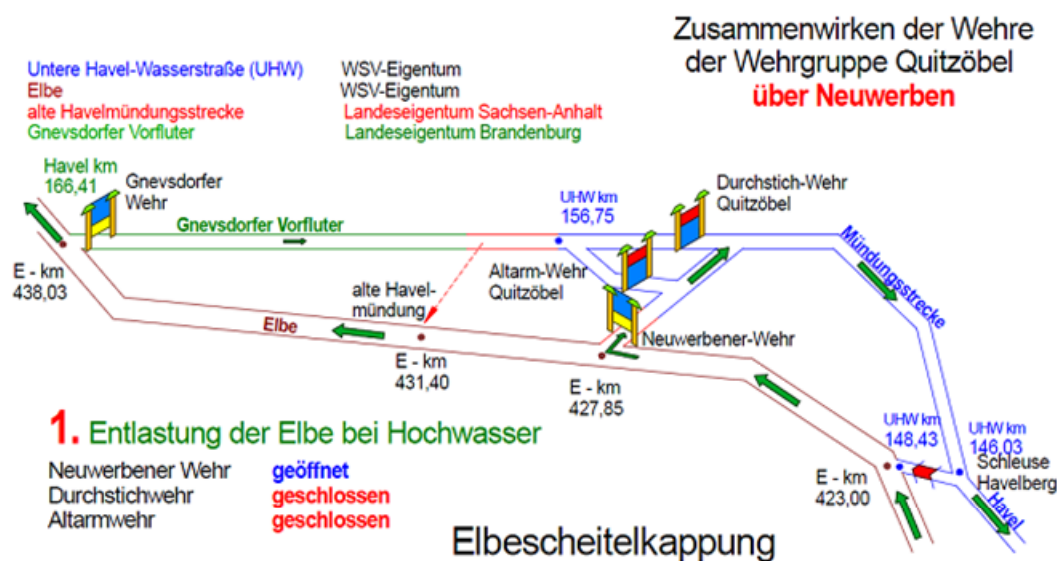


Abb. 3.14: Schematische Darstellung der Wehre an der Havelmündung bei Durchführung einer Elbescheitelkappung (verändert nach WSA Brandenburg)

Zunächst wurde durch die Schließung des Durchstichwehrs bei Quitzöbel die Havelniederung gegen die Elbe abgeschlossen. Der Einlass Neuwerben wurde am Mittag des 09. Juni geöffnet, um die Havelniederung gezielt mit Elbewasser zu fluten. Abbildung 3.14 stellt schematisch das Zusammenspiel der Bauwerke im Havelmündungsbereich bei Durchführung einer Scheitelkappung des Elbehochwassers dar. Insgesamt wurden fast 10.000 Hektar Havelpolder eingestaut.

Die bereits laufende Füllung der Havelpolder wurde von einem zweiten großen Deichbruch oberstrom der Havelmündung bei Elbe-km 388 überlagert. Nahe der Ortschaft Fischbeck brach der rechtselbische Deich in den frühen Morgenstunden des 10. Juni.

Abbildung 3.12 veranschaulicht die Lage des Deichbruchs und zeigt ein vorläufiges Ergebnis von Überflutungsberechnungen (kein Luftbild!): Die BfG hat im aktuellen Hochwasserereignis nach Bekanntwerden der Deichbrüche Überflutungssimulationen mit einem bestehenden numerischen Modellwerkzeug durchführen lassen. Ziel war es, u. a. zur Unterstützung der Annahmen in der Vorhersage sinnvolle Angaben zum zeitlichen Verlauf der überfluteten Flächen bzw. eingeströmten Volumina zu erhalten. Abbildung 3.15 zeigt die vorläufig auf Basis der Überflutungssimulationen errechneten Volumina im Bereich der beiden Deichbrüche bei Klein Rosenberg und Fischbeck. Der zeitliche Verlauf wurde jeweils auf den Deich-

bruchbeginn bezogen. Die Ausbreitungssimulation gilt es, nach Auswertung von beauftragten Befliegungsdaten sowie weiteren Informationen zu verifizieren und ggf. nachzukalibrieren.

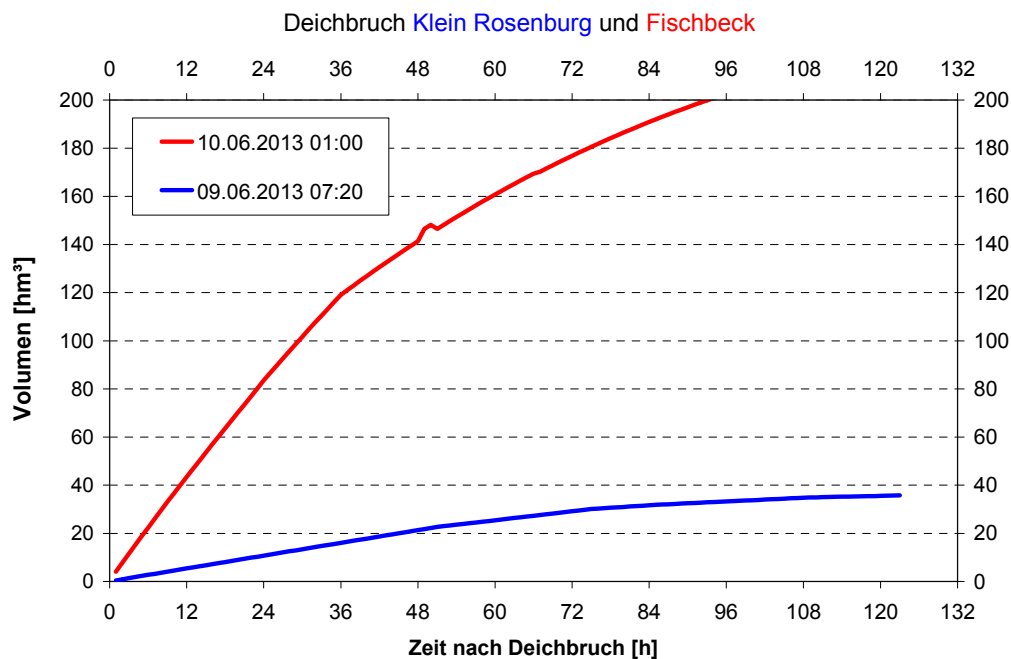


Abb. 3.15: Zeitliche Entwicklung der in Folge der Deichbrüche in das Hinterland eingeströmten Wasservolumina (vorläufige Ergebnisse, Stand Juni 2013)

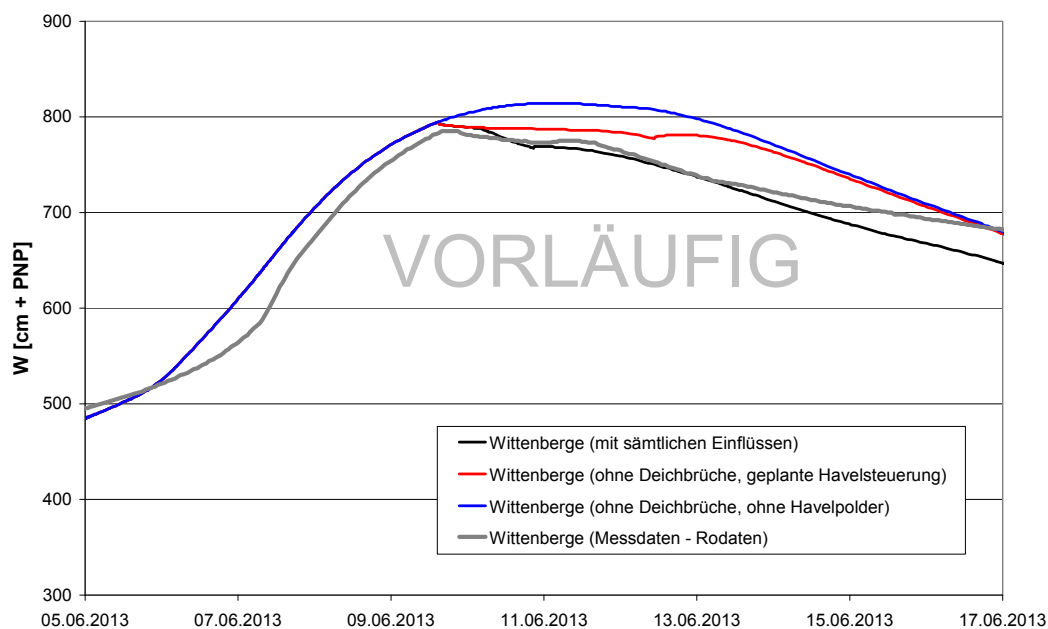


Abb. 3.16: Vorläufige Variantenberechnung mit dem hydrodynamischen Modell WAVOS der BfG für den Pegel Wittenberge (schwarz: simulierte Ganglinie, grau: Messwerte, farbig: Simulationsvarianten / vorläufige Ergebnisse, Stand Juni 2013)

Eine weitere modellgestützte Abschätzung der BfG (Stand: Juni 2013) lässt erste Rückschlüsse auf die Einflüsse der Havelpolderflutung und der Deichbrüche zu. In Abbildung 3.16 sind dem gemessenen Wasserstandsverlauf (graue Linie) am Pegel Wittenberge Modellergebnisse in unterschiedlichen Varianten gegenübergestellt. Deutlich wird, dass die beiden Deichbrüche oberstrom der Havel die Wirksamkeit der Havelpolder für die Unterlieger nicht nachteilig beeinflusst haben. Es lässt sich sogar rechnerisch eine weitere Erhöhung der erzielten Scheitelabsenkung (Vergleich der roten und schwarzen Linie) von gut 10 cm ausmachen. Insgesamt hat die Kombination des gezielten Poldereinsatzes und der Deichbrüche, den vorläufigen Modellergebnissen zu Folge, zu einer Minderung des Hochwasserscheitels am Pegel Wittenberge in der Größenordnung von 35-40 cm geführt.

3.5.4 Verlauf des Hochwassers ab Havelmündung bis zum Wehr Geesthacht

Auch unterstrom von Wittenberge haben die oben genannten Einflüsse auf den Wasserstandsscheitel gewirkt, eine Quantifizierung steht aus. Der Hochwasserverlauf war in diesem Abschnitt primär vom Ablauf der Hochwasserwelle geprägt. Die bisherigen HHW-Werte wurden jedoch reihenweise deutlich überschritten (vgl. Kap. 5).

3.6 Folgen des Hochwassers für die Befahrbarkeit der Bundeswasserstraßen

Die Verfügbarkeit der Bundeswasserstraßen ist im Hochwasserfall eingeschränkt. Der höchste Schifffahrtswasserstand (HSW) markiert den oberen Grenzwert, bis zu dem der Verkehr auf einer Wasserstraße zulässig ist. Dieser Wert ist für einzelne Streckenabschnitte bzw. deren Zeigerpegel festgelegt. Der HSW wird mitunter auch als Marke II (Hochwassermarken II) bezeichnet. Einschränkungen für die Schifffahrt bestehen auch bereits vor der kompletten Einstellung der Schifffahrt. So gibt es häufig eine sog. Marke I (Hochwassermarken I), bei deren Überschreitung die Fahrrinne für die Schifffahrt im Bereich der Strommitte eingeschränkt und mitunter die zulässige Geschwindigkeit reduziert wird.

Abbildung 3.17 stellt für ausgewählte Pegel an den Bundeswasserstraßen Weser, Mosel, Neckar, Main, Rhein, Donau und Elbe den Zeitraum der HSW-Überschreitungen während des Hochwassergeschehens im Mai/Juni 2013 dar.

Erkennbar wird neben dem zeitlich gestaffelten Auftreten der Hochwasserereignisse in den unterschiedlichen Flussgebieten, dass folgerichtig in den Gebieten, die durch hochwasserinduzierte Schäden besonders betroffen wurden (Elbe und Donau) auch die Einschränkungen für die Schifffahrt am größten ausfielen. Die Dauer der HSW-Überschreitung lag am Donau-Pegel Hofkirchen bei 15 Tage, an den Elbpegeln Dresden und Magdeburg bei 14 bzw. 12 Tagen sowie bei Hohnstorf bei 11 Tagen.

Die Bundeswasserstraße Rhein war im Bereich von Ober- und Mittelrhein betroffen. Hier lagen die Zeiten der HSW-Überschreitung im Bereich von 5-6 Tagen. Der besonders verkehrsreiche Niederrhein war nicht betroffen.

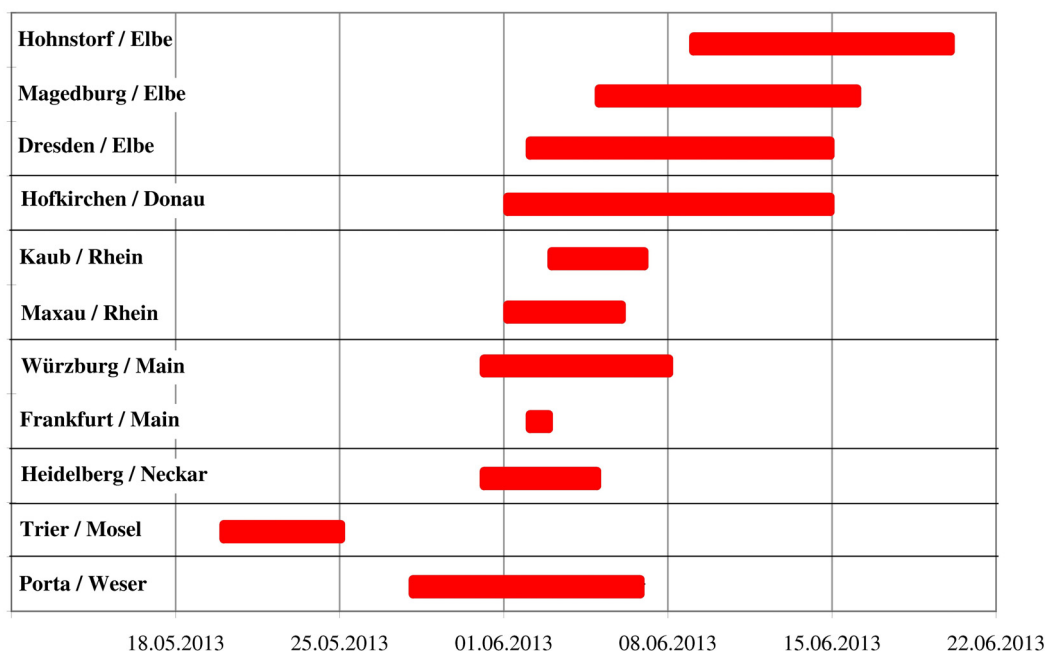


Abb. 3.17: Zeiten der HSW-Überschreitung an ausgewählten Pegeln der Bundeswasserstraßen während der Hochwasserperiode Mai/Juni 2013

Zu beachten ist in diesem Zusammenhang, dass die Schifffahrtsbeschränkungen nicht notwendigerweise mit Unterschreitung eines HSW aufgehoben werden. Vielmehr ist in aller Regel im direkten Ereignisanschluss aus Sicherheitsgründen eine Fahrwasserüberprüfung durch die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung notwendig, um mögliche neu entstandene Hindernisse in der Fahrrinne aufzuspüren und zu beseitigen.

3.7 Hochwasserinformationen und Hochwasservorhersage

Das länderübergreifende Hochwasserportal (LHP, www.hochwasserzentralen.de) war während des Hochwassers Juni 2013 von zentraler Bedeutung für die Gesamtübersicht des Hochwassergeschehens, da es eine laufend aktualisierte Übersicht zur aktuellen Hochwasserlage an über 1000 Pegeln in Deutschland sowie zur Warnlage an den Flüssen bietet (Abb. 3.18). Darüber hinaus enthält das LHP die aktuellen Lageberichte der Hochwasserzentralen und ermöglicht den schnellen Zugang auf die detaillierten Hochwasserinformationen der Landeshochwasserportale. Hochwasserzentralen.de wird von den Hochwasserzentralen der Länder technisch betrieben und von einer Expertengruppe der LAWA fachlich betreut und inhaltlich fortgeschrieben.

Die Zuständigkeit für die Hochwasservorhersage liegt bei den Ländern, die diese in Kooperation untereinander sowie im Bereich von Bundeswasserstraßen z. T. in Kooperation mit der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes durchführen. Dies führt zu einer eher heterogenen Landschaft der Vorhersagemodelle und -systeme in Deutschland (LUBW 2003). Ausnahmen bilden hier die in großen Teilen des Rhein- und Donaugebiets verwendeten LARSIM-Modelle (Bremicker et al. 2013) und das im Auftrag des Bundesministerium für

Verkehr, Bau und Stadtentwicklung zur Wasserstandsvorhersage an Bundeswasserstraßen entwickelte und u. a. in fünf Hochwasservorhersagezentralen zum Einsatz kommende Vorhersagesystem WAVOS (RADEMACHER et al. 2004, MEIBNER & RADEMACHER 2010).

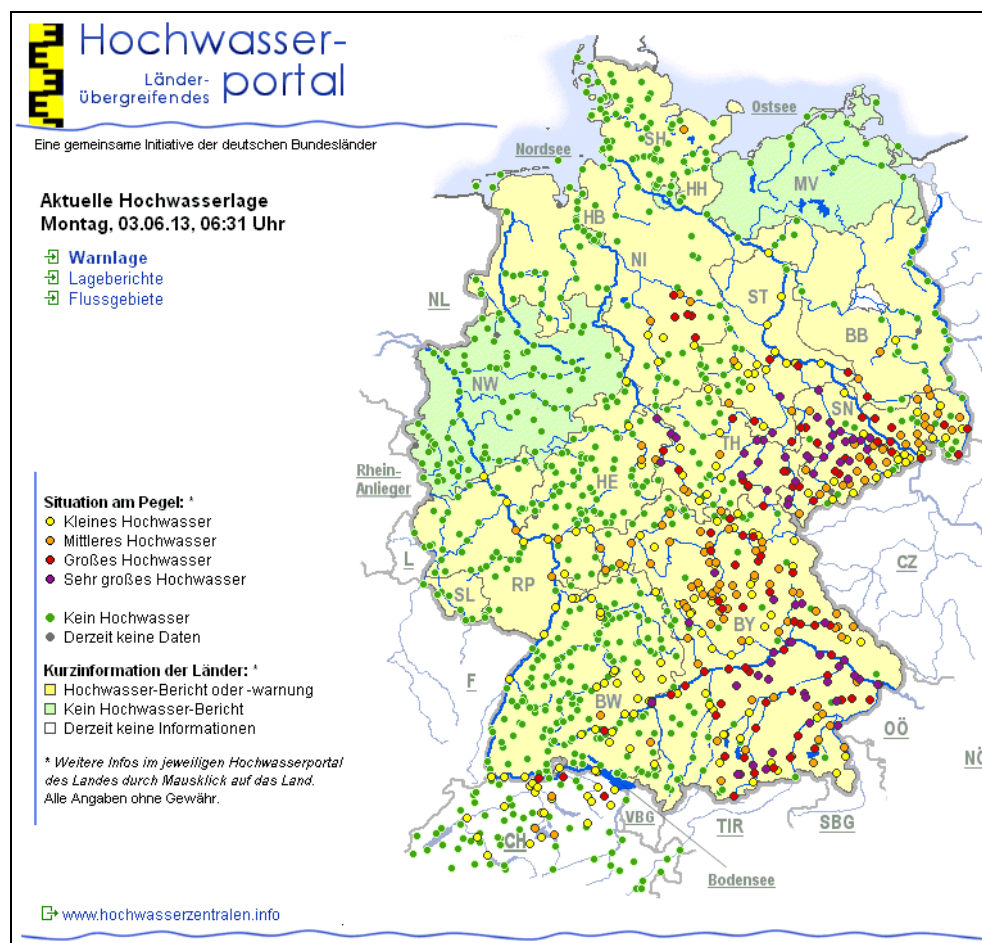


Abb. 3.18: Gesamtübersicht der Hochwasserlage in Deutschland, Stand: Montag, 03.06.2013 um 06:31 Uhr, www.hochwasserzentralen.de

Die von den der jeweils zuständigen Hochwasserzentralen erstellten Wasserstandsvorhersagen bilden einen wichtigen Bestandteil operationeller Hochwasserwarn- und -informationssysteme. In Ergänzung zu hydrologischen und hydrometeorologischen Beobachtungsdaten helfen Vorhersagen, die Sicht- und damit die zur Verfügung stehende Reaktionszeit auf ein bevorstehendes Hochwasser zu verlängern. Operationelle Hochwasservorhersagen tragen zudem zur rechtzeitigen Einleitung bzw. zum optimierten Einsatz technischer Hochwasserschutzmaßnahmen (Betrieb gesteuerter Hochwasserrückhaltungen, Aufbau mobiler Schutzsysteme etc.) sowie zur Verhaltensvorsorge im konkreten Ereignisfall (z. B. Räumung hochwassergefährdeter Bereiche) bei. So basierte im Juni-Hochwasser 2013 beispielsweise der Einsatz der Havelpolder an der Elbe oder der Polder am Oberrhein auf entsprechenden Wasserstandsvorhersagen.

3.7.1 Hochwasservorhersage Elbe

Laut der zum 1.7.2013 in Kraft getretenen Verwaltungsvereinbarung zwischen der Bundesrepublik Deutschland und den Ländern Brandenburg, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein zur „Wasserstands- / Hochwasservorhersage für die Bundeswasserstraßen Elbe, Saale und Untere Havel-Wasserstraße (Havelberg Stadt)“ erstellt das Landeshochwasserzentrum (LHWZ) des Freistaates Sachsen bei Hochwasser im sächsischen Abschnitt der Elbe Vorhersagen für die Pegel Schöna, Dresden, Riesa und Torgau. Die Hochwasserzentrale beim Landesbetrieb für Hochwasserschutz (LHW) Sachsen-Anhalt übernimmt nach erfolgter Abstimmung diese Vorhersagen des LHWZ für die gemeinsame Hochwasservorhersage der Elbe.

Im LHWZ werden mit dem Vorhersagesystem WAVOS Elbe der BfG und dem konzeptionellen Elbe-Modell des LfULG die Vorhersagen berechnet. Zu Hochwasserbeginn wurden mit beiden Modellen zuverlässige Ergebnisse errechnet.

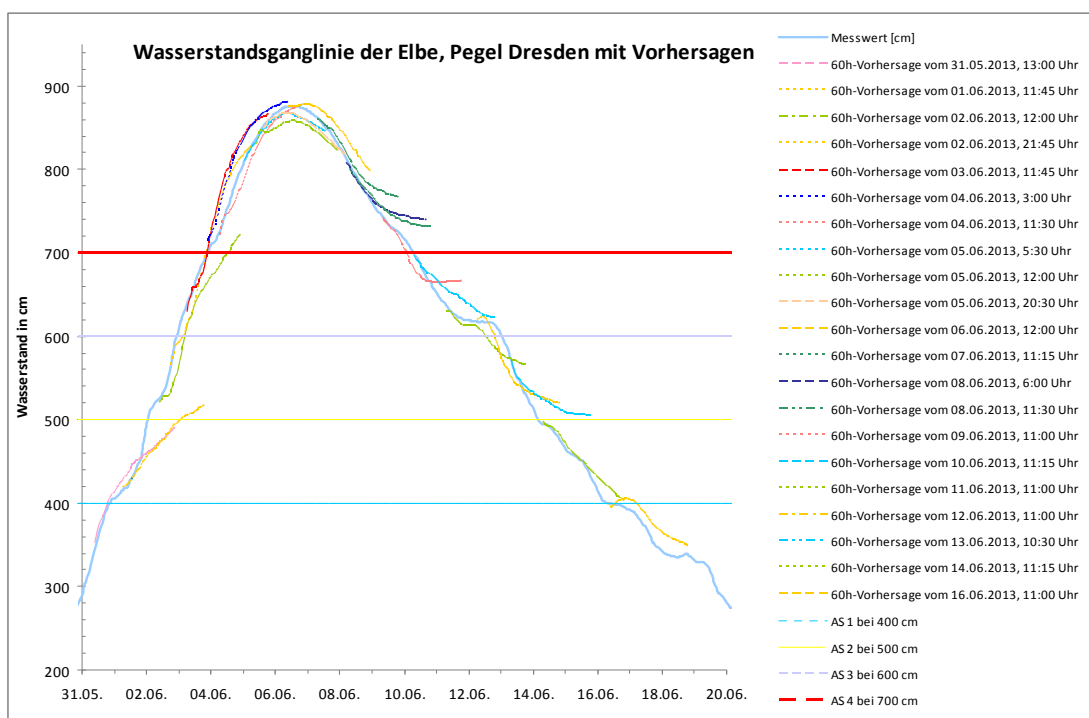


Abb. 3.19: Wasserstandsganglinie Pegel Dresden und Vorhersagen des LHWZ (31.05. bis 16.06.2013)

Nach technischen Problemen im Informationssystem des LfULG konnte nur noch mit dem konzeptionellen Modell des LHWZ gerechnet und auch die Scheitelvorhersage vorgenommen werden. Mit der Rechnung am 04.06.2013 um 02:00 Uhr wurde für den Pegel Dresden für den 06.06.2013 ein Wasserstand von 875-880 cm errechnet und mit der Rechnung am 05.06.2013 um 04:00 Uhr der Hochwasserscheitel für den Pegel Dresden für den 06.06.2013 mit 855-875 cm vorhergesagt. In Abb. 3.19 sind beispielhaft die Vorhersagen für den Pegel Dresden gezeigt. Dabei ist zu beachten, dass zur besseren Übersichtlichkeit nicht die in den Hochwasserwarnungen veröffentlichte Von-bis-Spanne, sondern nur deren Mittelwert grafisch dargestellt ist.

Bis zum 30.06.2013 wurden entsprechend der bis zu diesem Zeitpunkt gültigen Verwaltungsvereinbarung die Hochwasservorhersagen für die Bundeswasserstraßen Elbe, Saale und Havel im Hochwasservorhersagezentrum Elbe, das gemeinsam vom Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft (LHW) Sachsen-Anhalt und WSA Magdeburg betrieben wurde, erstellt und von diesem veröffentlicht. Die Berechnung der Vorhersagen erfolgte im WSA Magdeburg unter Verwendung des Vorhersagesystems WAVOS Elbe der BfG (BUREK & RADEMACHER 2007).

Die BfG unterstützte während des gesamten Hochwassers das WSA bei der Berechnung der Vorhersagen. So wurden durch die BfG per Fernzugriff ad hoc die Deichbrüche in das Modell im WSA Magdeburg eingebaut. Weiterhin wurden Varianten-Berechnungen in der BfG in Koblenz durchgeführt. Die Berechnungen wurden im Anschluss dem LHW zur Verfügung gestellt, der diese in Abstimmung mit den anderen Ländern plausibilisiert und ggf. modifiziert hat und im Anschluss die Vorhersage zur Veröffentlichung freigegeben hat.

Tabelle 3.5:

Übersicht der Vorhersagezeiten für Elbe-, Saale und Havelpegel entsprechend der Durchführungssanweisung des Wasserstands und Vorhersagedienstes für die Bundeswasserstraßen Elbe, Saale und Untere Havel-Wasserstraße (Havelberg Stadt), Stand 11/2012

Gewässer	Nr.	Vorhersagepegel	Vorhersage und Abschätzung in Tagen							
			1	2	3	4	5	6	7	8
Elbe		Ústí n.L. (vom ČHMÚ Prag)								
	1	Schöna								
	2	Dresden								
	3	Riesa								
	4	Torgau								
	5	Wittenberg								
	6	Vockerode								
	7	Dessau								
	8	Aken								
	9	Barby								
	10	Magdeburg Strombrücke								
	11	Rothensee								
	12	Niegripp AP								
	13	Tangermünde								
	14	Sandau								
	15	Wittenberge								
	16	Schnackenburg								
	17	Lenzen								
	18	Dömitz								
	19	Hitzacker								
	20	Neu Darchau								
	21	Boizenburg								
	22	Hohnstorf								
	23	Geesthacht								
Saale	24	Halle-Trotha UP								
	25	Bernburg UP								
	26	Calbe UP								
Havel	27	Havelberg Stadt								

 = Vorhersage
 = Abschätzung

^{*)} Bedingt durch das bei Hochwasser gelegte Wehr Geesthacht kann sich Tideeinfluss auch oberhalb von Geesthacht auswirken, so dass der Vorhersagezeitraum eingeschränkt ist.

Trotz der Schwere des Hochwasserereignisses an der Elbe mit bisher nie gemessenen Wasserständen und der damit verbundenen Unmöglichkeit, im Vorhinein das Vorhersagemodell auf diese Verhältnisse zu kalibrieren, konnten während des gesamten Hochwasserverlaufes grundsätzlich sinnvolle Vorhersagen berechnet werden. Hier wird es aber eine nähere Betrachtung und Diskussion darüber geben müssen, wie man die Vorhersagen verbessern kann und auch, wie man mit dem Bereich der Abschätzung in Zukunft bei der Herausgabe der Vorhersagen umzugehen hat (s. Tabelle 3.5)

3.7.2 Hochwasservorhersage Donau

Die Hochwasservorhersagezentrale Baden-Württemberg berechnet mit dem flächendetaillierten Wasserhaushaltsmodell LARSIM die Hochwasservorhersage für die Donau bis zur Illermündung und stellt diese stündlich aktuell dem Hochwassernachrichtendienst Bayern bereit.

Die Vorhersage im bayerischen Teil der Donau und der ihrer Zuflüsse wird durch die Hochwassernachrichtenzentrale (HNZ) des Bayerischen Landesamtes für Umwelt mit den Hochwasservorhersagezentralen (HVZ) Donau und Inn (beim Bayerischen Landesamt für Umwelt) sowie die HVZ Isar (beim Wasserwirtschaftsamt Weilheim) und die HVZ Iller-Lech (beim Wasserwirtschaftsamt Kempten/Allgäu) erstellt.

Der Hochwassernachrichtendienst (HND) der HNZ war bereits seit dem 26.05.2013 ab 20:00 Uhr aktiv und erstellte bis zum 13.06.2013, 17:00 Uhr, 40 Lageberichte sowie entsprechend der Hochwasserlage laufend aktualisierte Vorhersagen für die betroffenen Bereiche.

Die höchsten Zugriffszahlen im HND-Internetangebot wurden am Sonntag, dem 02.06.2013, mit rund 14,5 Millionen Nutzern gezählt. Das Angebot für mobile Smartphones <http://m.hnd.bayern.de> kam am selben Tag auf rund 830.000 Seitenbesucher.

3.7.3 Hochwasservorhersage am Rhein

Die internationale Zusammenarbeit beim Hochwassermelde- und -vorhersagesystem für den Rhein ist durch nationale und internationale Verwaltungsvereinbarungen geregelt. Entlang des Rheinstroms sind hierfür die Hochwasserzentralen der Schweiz und des Landes Baden-Württemberg (HVZ BW), des Landes Rheinland-Pfalz gemeinsam mit der Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt, Außenstelle Südwest (HMZ Rhein) und die Hochwasserzentrale der Niederlande zuständig (BÜRGEL et al. 2004).

Im Rahmen des Aktionsplans Hochwasser der IKSR wurden die Vorhersagezeiten für die Rheinpegel in den letzten Jahren deutlich verlängert. Die folgende Tabelle 3.6 gibt für einige Rheinpegel eine Übersicht der erzielbaren Vorhersagezeiten für den Stand der Jahre 1995 und 2010. Für das deutsche Rheingebiet zwischen Bodensee, Hochrhein und dem Oberrhein bis Worms werden von der Hochwasservorhersagezentrale der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) mehrfach täglich aktualisierte Lageberichte erstellt sowie stündlich aktualisierte Vorhersagen für mehr als 80 Pegel im baden-württembergischen Rheingebiet berechnet und veröffentlicht (BREMICKER et al. 2006).

Für die Rheinvorhersage zwischen Basel und Worms berechnet die LUBW die aktuelle Steuerung und Wirkung der deutsch-französischen Retentionsmaßnahmen mit ein und berät die Betreiber der Retentionsmaßnahmen zwischen Basel und Worms im Hinblick auf den weiteren Maßnahmeninsatz. Die von der LUBW berechneten und veröffentlichten Rheinvorhersagen

für den Pegel Karlsruhe/Maxau stellen die Eingangsdaten dar für die Vorhersageberechnungen rheinabwärts von Worms durch das Hochwassermeldezentrum Rhein.

Tabelle 3.6:

Übersicht der Vorhersagezeiten für ausgewählte Rheinpegel (Stand der Jahre 1995 und 2010. Quelle: IKSR, 2012)

Rheinabschnitt / Pegel	Vorhersagehorizont bei Hochwasser		zusätzlicher Abschätzungszeitraum zur HW-Frühwarnung (im Vorfeld von Hochwasser)
	Jahr 1995	Jahr 2010	Jahr 2010
Hochrhein / Basel	72 h	72 h ¹⁾	bis zu 9 Tage
Oberrhein / Maxau	24 h	48 h ²⁾	bis zu 7 Tage
Mittelrhein / Andernach	24 h	48 h ²⁾	bis zu 4 Tage
Niederrhein / Lobith	48 h	96 h	bis zu 10 Tage
¹⁾ = beim Hochrhein bestand kein Handlungsbedarf zur Verlängerung der Vorhersagezeit			
²⁾ = Die Vorhersagestunden 25-48 werden als „Abschätzung“ gekennzeichnet			

Die Erstellung der Hochwasservorhersagen für den Rhein zwischen Worms und der deutsch-niederländischen Grenze erfolgt in dem gemeinsam von der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes und dem Land Rheinland-Pfalz betriebenen Hochwassermeldezentrum (HMZ Rhein), angesiedelt bei der Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt, Außenstelle Südwest, in Mainz. Auch während des Juni-Hochwassers 2013 hat das HMZ Rhein mehrmals täglich Hochwasserberichte und Wasserstandsvorhersagen für die nächsten 24 Stunden sowie Hochwassertendenzen bis zu 48 Stunden für 15 Pegel entlang des Rheins veröffentlicht.

Die Rheinvorhersage flussabwärts der niederländischen Grenze erfolgt durch die Hochwasserzentrale der Niederlanden.

Um eine bestmögliche Vorhersage für den Rheinstrom zu gewährleisten, erstellt jede der Hochwasserzentralen auf Basis ihrer guten örtlichen Kenntnisse und ihrer räumlich hochaufgelösten Modelle die Vorhersagen für die Einzugsgebiete und den Rheinstrom im jeweiligen Zuständigkeitsbereich und gibt diese automatisiert und zeitnah an die flussabwärts gelegene Zentrale weiter (IKSR 2012). Für nahezu die gesamte Fläche des Rheingebietes und somit für alle relevanten Zuflüsse des Rheins werden mit Hilfe dieser Modelle die für die Rheinvorhersage notwendigen Zuflussvorhersagen in ausreichender Vorhersagelänge zur Verfügung gestellt. Bei Hochwasser werden jeweils mehrfach täglich Vorhersagen für alle relevanten Rheinzufüsse erstellt, von den jeweils zuständigen Dienststellen veröffentlicht sowie automatisiert an den jeweiligen Unterlieger weitergegeben. Dies betrifft die folgenden Flussgebiete:

- Bodensee und Zuflüsse: gemeinsame Vorhersage der Hochwasserzentralen BW, Vorarlberg, und der Schweiz (Modelle: LARSIM-HR und HBV)
- Hochrhein-Zuflüsse Aare und Thur: Hochwasserzentrale des Bundesamtes für Umwelt, Bern (Modell HBV)
- Neckar sowie Hochrhein- und Bodenseezuflüsse zwischen Konstanz und Mannheim: Hochwasserzentrale BW (LARSIM-HR-Modelle)

- französische Rheinzufüsse aus dem Elsass: DREAL Alsace (Modell LARSIM-HR)
- Main und Zuflüsse: Hochwasserzentralen BY, BW und HE (LARSIM-HR-Modelle, WAVOS)
- Nahe: Hochwasserzentrale RP (Modell LARSIM-HR)
- hessische Rheinzufüsse: Hochwasserzentrale HE (Modell LARSIM-HR)
- Mosel und Zuflüsse: Hochwasserzentralen RP, SL, F-Lothringen, Luxemburg (gemeinsames Modell LARSIM-HR)
- NRW-Zuflüsse: LUWG: LARSIM-HR und Modelle der Verbände
- restliche Zuflüsse RP und NRW-Zuflüsse als Zuflussvorhersagen für das HMZ Rhein: BfG: HBV

Beim Hochwasser Juni 2013 hat sich die sehr enge nationale und internationale Zusammenarbeit der Hochwasserzentralen im Rheingebiet sehr gut bewährt, etwa bei den mehrfach täglich durchgeführten Telefonkonferenzen zwischen den Hochwasserzentralen des Landes Baden-Württemberg, der Schweiz, und der französischen Region Alsace im Hinblick auf die Abflussentwicklung im Hochrhein.

4. Photogrammetrische Ereigniserfassung (Flussgebietsbefliegungen)

Zur aussagekräftigen und zukunftsorientierten Bearbeitung gewässerkundlicher, wasserbaulicher und wasserwirtschaftlicher Fragestellungen, z. B. zur Verbesserung der Hochwasservorsorge (Simulation, Vorhersage, Bilanzierung etc.), sind gemessene Wasserspiegelhöhen, Überschwemmungsgrenzen sowie georeferenzierte Bilddokumentationen eine wesentliche Voraussetzung. Dies gilt im Hochwasserfall insbesondere für scheitelnah erfasste Daten im Kontext mit seltenen Extremereignissen.

Vor diesem Hintergrund erfolgten umfangreiche Befliegungen im Auftrag der BfG zur Erfassung der Scheitelsituationen am Ober- und Mittelrhein (Basel bis Bonn) und an der Elbe (tschechische Grenze bis Geesthacht) einschließlich der Saale (ab Hohenwartetalsperre) und der Mulde (ab Vereinigung Freiberger und Zwickauer Mulde)¹. Darüber hinaus wurden die Deichbruchsituationen im Saalemündungsbereich bei Klein Rosenburg und an der Elbe bei Fischbeck, km 390, erfasst. Insgesamt wurden ca. 5.500 Messbilder am Rhein und ca. 16.500 Messbilder an Elbe/Saale/Mulde mit einer Bodenauflösung von 10 cm aufgezeichnet (vgl. Abb. 4.1 und 4.2). Um die Messbilder im Nachgang gezielt stereophotogrammetrisch auswerten zu können, war mit einer Längsüberdeckung von 60 % und einer Quertüberdeckung von 30 % zu fliegen.

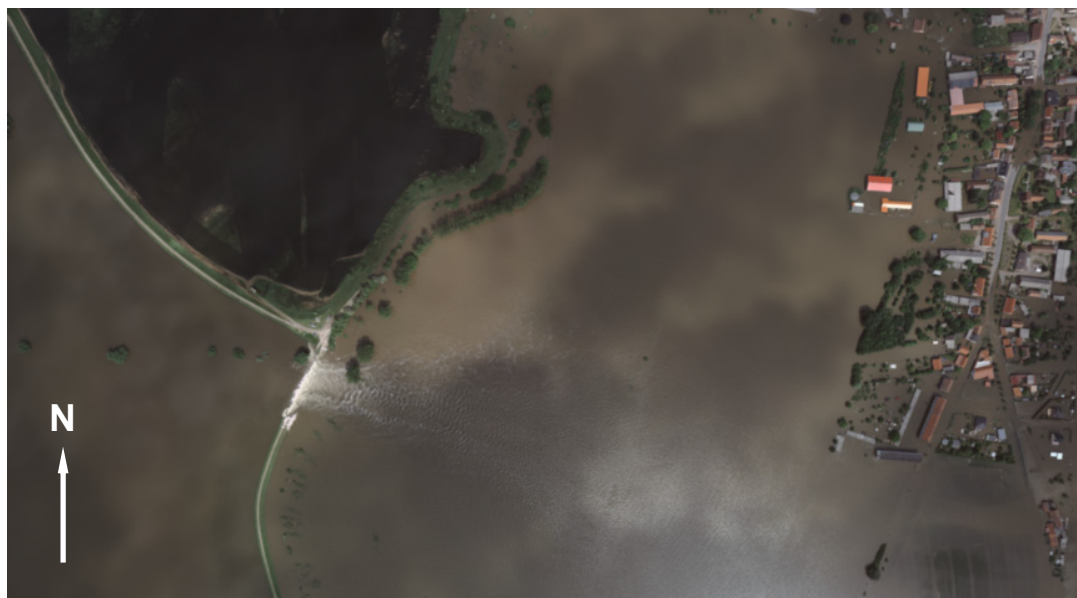


Abb. 4.1: Messbild, Elbedeichbruchsituation bei Fischbeck, Elbe-km 388, 11.06.2013

¹ Vergleichbare Bildflüge erfolgten an der Donau im Auftrag der Fachstelle für Geoinformationen Süd beim Wasser- und Schifffahrtsamt Regensburg und an der Weser im Auftrag der Fachstelle Vermessungs- und Kartenwesen Mitte, Hannover, der Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt.

Es wird davon ausgegangen, dass alle erfassten und prozessierten Grundlagendaten, Messbilder und deren Orientierung im Raum bis Ende Juli 2013 ausgeliefert werden. Auf dieser Basis können dann gezielte und anforderungsgerechte Auswertungen abgestimmt und veranlasst werden. Vorrangig angedacht sind die

- dreidimensionale Bestimmung der scheinbaren Überschwemmungsgrenzen im angestrebten Höhengenaugigkeitsbereich von 10 cm bis 15 cm und
- Prozessierung von georeferenzierten digitalen Orthophotos als verzerrungsfreie und maßstabsgetreue Abbildungen.

Zur fachlichen Konzentration und wirtschaftlichen Optimierung der auszuführenden Auswertungen sind Abstimmungen mit den interessierten Bedarfsträgern des Bundes und der betroffenen Bundesländer avisiert.



Abb. 4.2.: Messbild, Saaledeichbruchsituation bei Klein Rosenberg, Saale-km 1 / Elbe-km 288,4, 09.06.2013

5. Statistische Charakterisierung des Hochwasser- geschehens

Die Flussgebiete der Weser, des Rheins, der Donau und der Elbe, standen im Fokus der Hochwasserereignisse des Juni 2013. Davon entwickelten sich die beiden erstgenannten in weniger extremen Wiederkehrintervallen von 2 Jahren im Wesergebiet und von maximal 10-20 Jahren im Rheingebiet; ein kurzer einordnender Vergleich dazu wurde in den Kapiteln 3.2 und 3.3 vorgenommen.

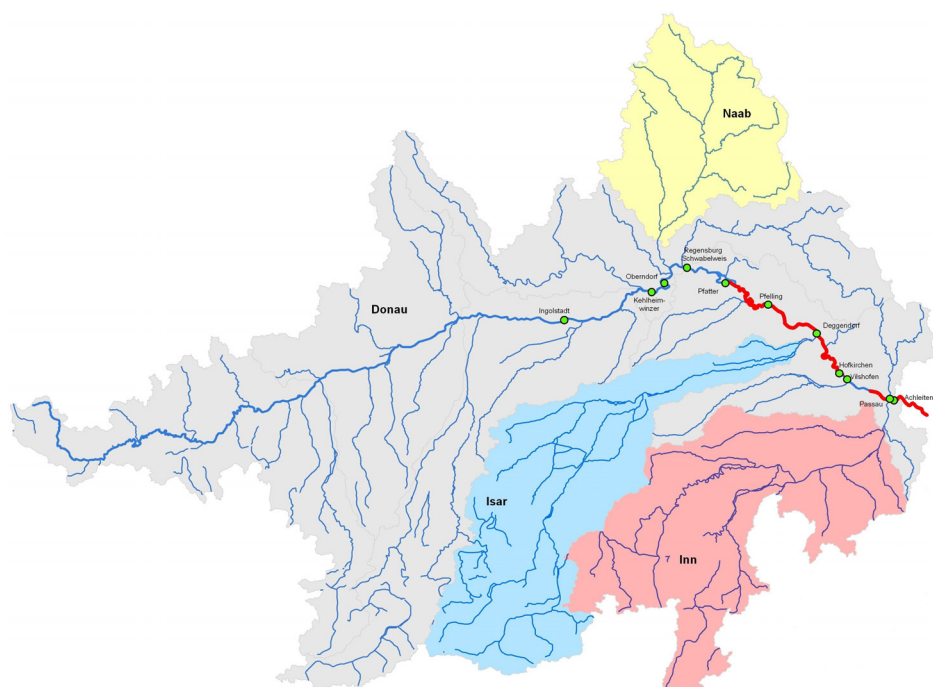


Abb. 5.1: Juni 2013: Überschreitungen des HHW (höchster bekannter Wasserstandswert seit Pegeleinrichtung) im Verlauf der Bundeswasserstraße Donau (rote Kennzeichnung)

Anders stellt sich die Situation im Donau- und im Elbegebiet dar. Aus diesem Grunde wird für diese Einzugsgebiete im Folgenden der Versuch einer ausführlicheren statistischen Einordnung unternommen. Dabei liegt die Betonung auf dem Wort „Versuch“, denn aufgrund ihrer Abhängigkeit von Profileigenschaften bzw. -änderungen sind reine Wasserstandsdaten zumeist zum örtlichen und zeitlichen Vergleich weniger geeignet. Die an dieser Stelle notwendigen Durch- bzw. Abflussdaten liegen aber zum jetzigen Zeitpunkt (20.06.2013) für die meisten Pegel in den betroffenen Flussgebieten noch gar nicht vor. Denn vielfach wurden Wasserstände auf einem Niveau verzeichnet, auf dem bis dato keine gültige Wasserstands-Abfluss-Beziehung zur Berechnung des Durchflusses mehr vorliegt. Abbildung 5.1 zeigt in diesem Zusammenhang das Ausmaß der HHW-Überschreitung an der Donau, die Karte in Abb. 5.2 Selbiges an Saale und Elbe (wo zeitweise (09. Juni) auf einer ununterbrochenen Fließstrecke von über 250 km zwischen Coswig und Lenzen der HHW überschritten war).



Abb. 5.2: Juni 2013: Überschreitungen des HHW (höchster bekannter Wasserstandswert seit Pegeleinrichtung) im Verlauf der Bundeswasserstraßen Elbe und Saale (rote Kennzeichnung)

Die Ausführungen in Kapitel 5.1 und 5.2 beruhen daher, bezogen auf die Ereignisse im Jahre 2013, in der Regel nicht auf gesicherten Abflussdaten, sondern berücksichtigen zumeist entweder vor Ort gemessene unplausibilisierte Abflussdaten oder gleichfalls unplausibilisierte Wasserstandsdaten.

5.1 Vergleichende Einordnung des Ereignisses 2013 in den historischen Hochwasser-Kontext im Donaugebiet

Die spektakulärsten Impulse zum Hochwasserereignis an der Donau kamen zunächst aus dem Hochwasser des Inns, dessen Scheitel, wie in Kap. 3.4 beschrieben, die Hochwasserwelle, die von Westen aus der Donau heranrollte, an der Mündung in Passau um wenige Tage verfehlte (vgl. Abb. 5.3).

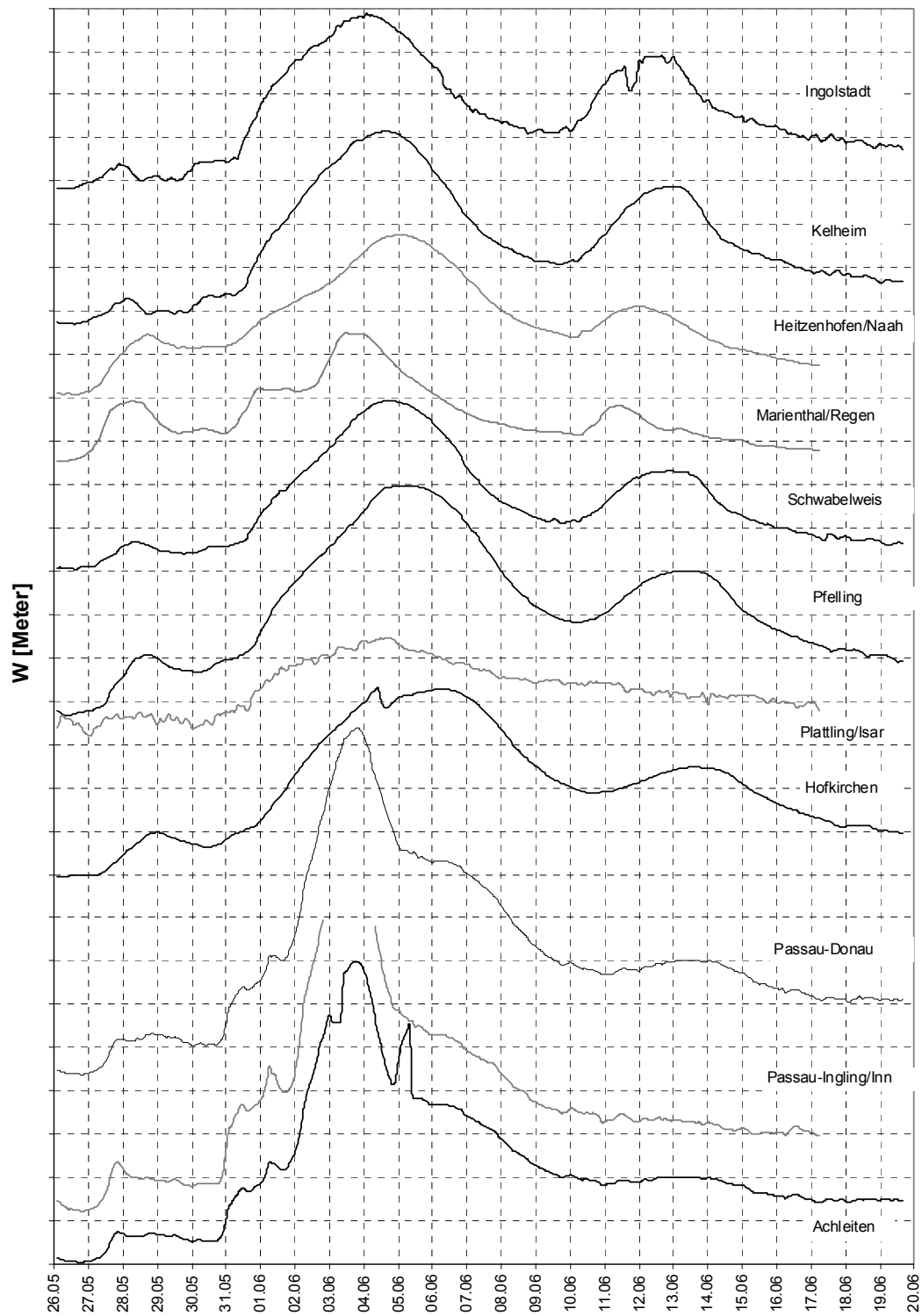


Abb. 5.3: Wasserstandsganglinien ausgewählter Donau- und Nebenflusspegel während des Hochwassers im Juni 2013

Die Pegel in Passau wurden durch die Ereignisse größtenteils außer Funktion gesetzt. Lediglich für den Pegel Passau (Donau) konnte eine Notablesung erfolgen. Die dabei gezeitigten Ergebnisse dokumentieren, dass der Scheitelstand vom 03.06.2013 mit der Höchstmarke von 1289 cm die Extreme nicht nur seit Beginn des 20. Jahrhunderts deutlich übertroffen hat. Als historische Referenz kann dabei gelten, dass der Rekordwasserstand vom 15. August 1501 (1320 cm) allerdings noch höher ausfiel (Abb. 5.4).

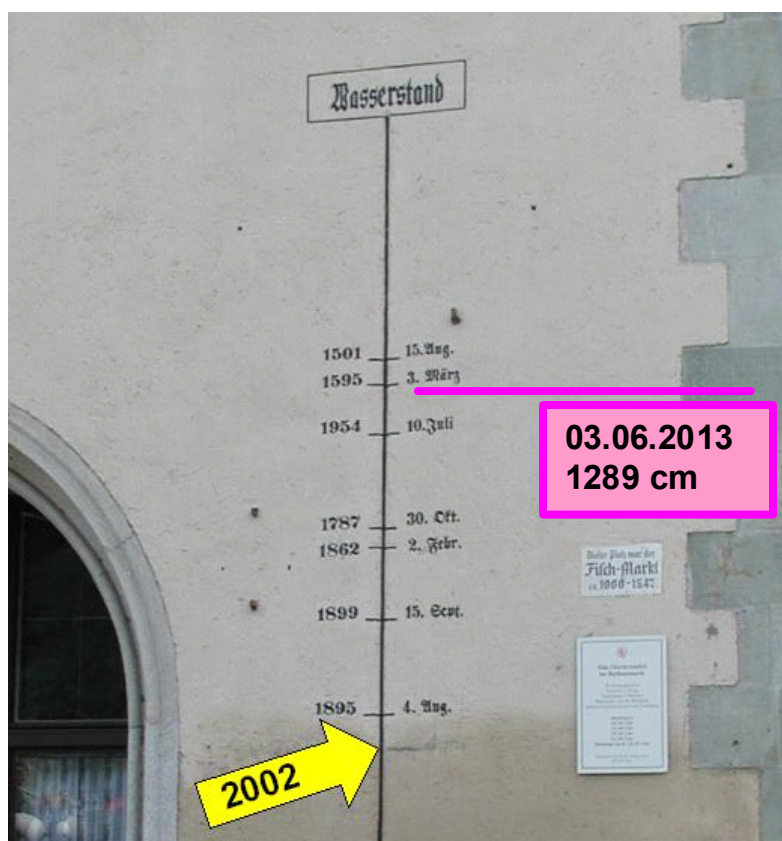


Abb. 5.4: Historische Hochwassermarken in Passau

Abbildung 5.5 zeigt die Grafik der jährlichen Höchstabflüsse am Pegel Hofkirchen an der frei fließenden Donau, ca. 30 km stromauf von der Innmündung. Zu erkennen ist, dass der mit etwa 3420 m³/s erreichte Scheitelabfluss vom 04.06.2013 zumindest seit Beginn des 20. Jahrhunderts den höchsten Wert darstellt.

Darüber hinaus dokumentiert Tabelle 5.1, dass unter den seit Mitte des 19. Jahrhunderts registrierten Spitzenabflüssen der des Jahres 2013 den vierthöchsten Rang einnimmt. Der Vergleich zum rd. 2 km stromab der Innmündung auf österreichischem Boden gelegenen Donaupegel Achleiten, der somit die vereinigten Abflussvolumina von Donau und Inn berücksichtigt, zeigt, dass dort das Ereignis von Juni 2013 sogar die Spitzenposition einnimmt.

Die Durchführung einer provisorischen Wahrscheinlichkeitsberechnung (nicht zu verwechseln mit der Abstimmung von Bemessungsabflüssen!) zur Ermittlung der jeweiligen Wiederkehrintervalle dieses abgelaufenen Hochwassers wird dadurch erschwert, dass derzeit noch keine vollständig plausibilisierten Daten vorliegen. Die Verwendung von un- bzw. teilgesicherten Rohdaten erlaubt im Grundsatz (bei aller Vorsicht) dennoch eine verbesserte Einordnung des Geschehens.

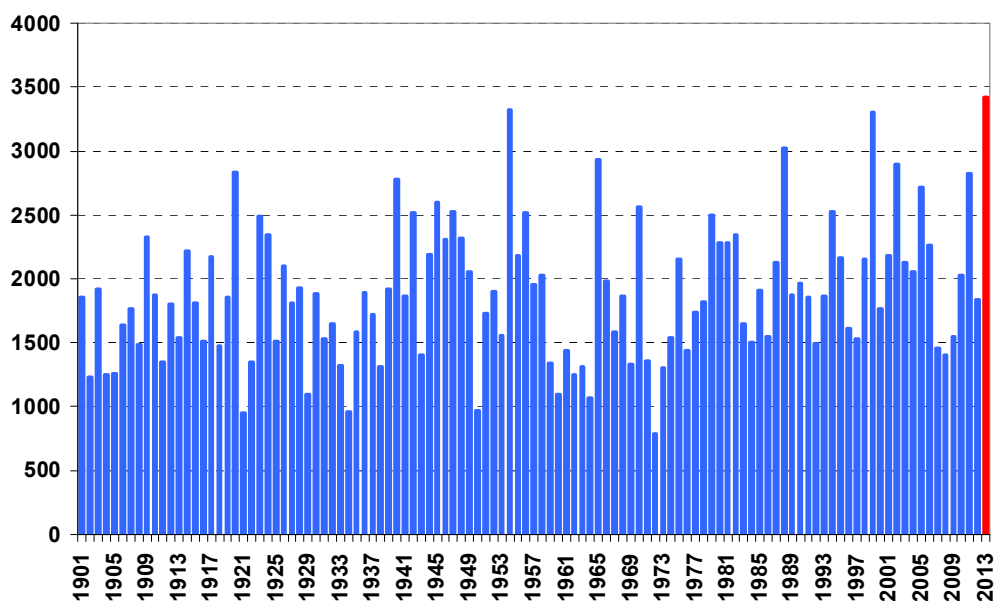


Abb. 5.5: Jährliche Scheitelabflüsse am Pegel Hofkirchen (Donau) seit 1901 (Daten: WSV)

Tabelle 5.1:

Die jeweils 10 höchsten Hochwasserabflüsse (HQ) an den Donauegeln Hofkirchen und Achleiten seit Mitte des 19. Jahrhunderts

Rang	Hofkirchen		Achleiten	
	Datum	HQ [m³/s]	Datum	HQ [m³/s]
1	31.03.1845	4470	03.06.2013	10000
2	03.02.1862	4110	10.07.1954	9100
3	31.12.1882	3800	03.02.1862	8840
4	04.06.2013	3420	14.09.1899	7970
5	13.07.1954	3320	13.08.2002	7700
6	26.05.1999	3300	08.09.1920	6420
7	28.03.1988	3020	21.07.1981	6250
8	15.06.1965	2930	12.06.1965	5990
9	15.08.2002	2900	02.06.1940	5970
10	16.01.2011	2850	03.08.1991	5890

Tabelle 5.2:

Vergleichsereignisse und provisorische Wiederkehrintervalle des Juni-Hochwassers 2013 an den Donauegeln Kelheim, Regensburg-Schwabelweis, Hofkirchen und Achleiten (vorläufige Daten, Quelle: WSV)

Q [m³/s]	1988	1999	2002	2011	2013	
					HQ-Scheitel 2013 [m³/s]	Wiederkehrintervall (T) [Jahre]
Kelheim	1430	2140	1680	1270	2790 (4.6.)	20
R'bg.-Schwabelweis	2530	2280	2360	2180	2610 (4.6.)	20-50
Hofkirchen	3020	3300	2900	2850	3420 (4.6.)	200 *
Achleiten	4630	5400	7700	5400	10000 (3.6.)	200-500 *

* Hinweis: Noch nicht abgestimmt. Der HND Bayern weist hier vorläufig nur jeweils T >100 Jahre aus (vgl. Abb.5.6)

Tabelle 5.2 belegt vor diesem Hintergrund zunächst, wie außergewöhnlich das Juni-Ereignis an der Donau einzustufen ist und weiterhin, dass die Intensität des Extrems in Deutschland donauabwärts zunahm. Schließlich manifestiert sich in dem hohen Abfluss von rund 10000 m³/s am Pegel Achleiten mit einem Wiederkehrintervall von 200-500 Jahren der verschärfende Einfluss des Inns auf den Hochwasserabfluss der Donau.

Hochwasser Mai / Juni 2013 im deutschen Donau-Gebiet

vorläufige Auswertung (Stand: 25.07.2013)

Wiederkehrintervall [Jahre]

- 2 < 10
- 10 < 20
- 20 < 50
- 50 < 100
- 100 und höher

Die Darstellung bezieht sich auf ausgewählte Gewässer 1. und 2. Ordnung. Jährlichkeiten an nicht dargestellten Gewässerabschnitten konnten nicht ermittelt werden oder besaßen eine geringere Jährlichkeit als HQ2.

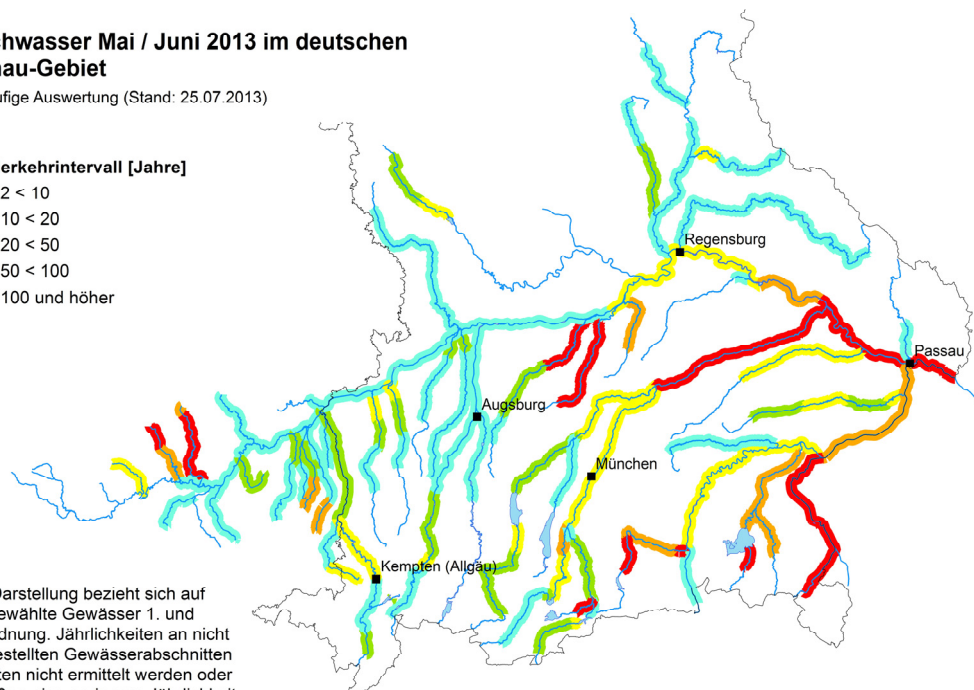


Abb. 5.6: Jährlichkeiten der Scheitelabflüsse an Gewässern 1. Ordnung beim Hochwasser Mai/Juni 2013 im Donaugebiet (vorläufige Auswertung, Quellen: HND Bayern, LUBW Baden-Württemberg)

Abbildung 5.6 zeigt eine vorläufige Auswertung der Eintrittswahrscheinlichkeiten im gesamten deutschen Donaugebiet.

5.2 Vergleichende Einordnung des Ereignisses 2013 in den historischen Hochwasser-Kontext im Elbegebiet

Das Hochwasserereignis vom Juni 2013 hatte bereits an der deutschen oberen Elbe ein extremes Ausmaß angenommen. Die Abbildung 5.7 offenbart für den Pegel Dresden, dass im Vergleich seit Mitte des 19. Jahrhunderts nur drei Ereignisse höher ausfielen, zuletzt das Sommerhochwasser von 2002.

Unterhalb der Einmündung der Schwarzen Elster intensivierte sich das Geschehen zusehends. Tabelle 5.3 und Abbildung 5.2 zeigen, dass spätestens ab dem Pegel Coswig an der Elbe über weite Flussabschnitte die bekannten HHW überschritten waren, wobei der Elbescheitel durch Mulde und vor allem Saale, an der ebenfalls vielfach HHW-Überschreitungen registriert wurden (Tab. 5.4), eine sehr starke Aufhöhung erfuhr.

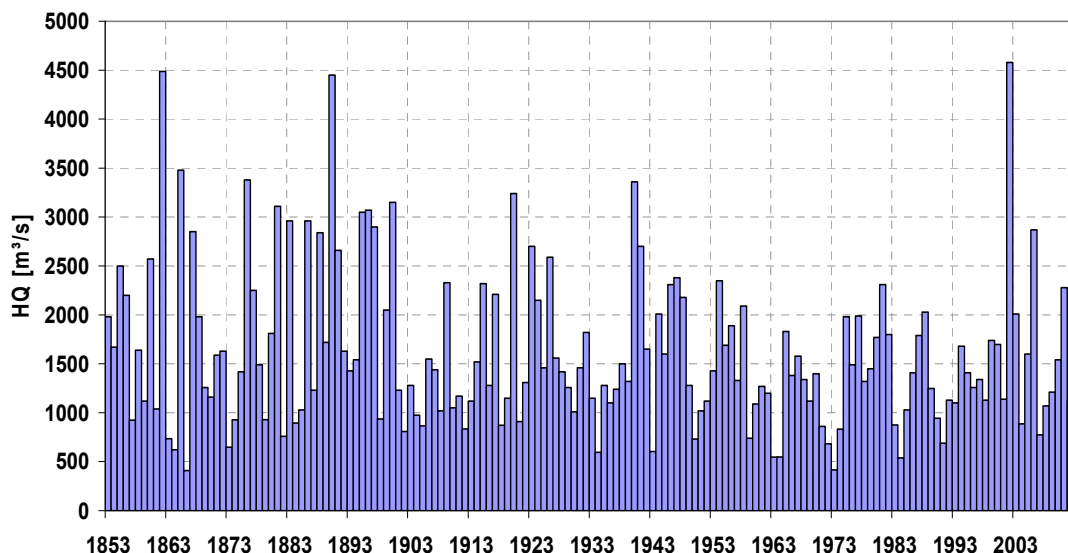


Abb. 5.7: Jährliche Scheitelabflüsse am Pegel Dresden (Elbe) seit 1853 (Daten: WSV)

Tabelle 5.3:

HHW-Überschreitungen beim Juni-Hochwasser 2013 an der Elbe (Rohdaten, Quelle: WSV)

Pegelname	Fluss-km	Ereignis Juni 2013			HHW(alt)	
		Wmax [cm üPNP]	Datum/Uhrzeit	dW Wmax -HHW [cm]	[cm üPNP]	Datum
COSWIG	236,31	766	08.06. 12:00	12	754	18.08.2002
VOCKERODE	245,62	794	09.06. 01:15	13	781	18.08.2002
ROSSLAU	257,84	694	08.06. 21:15	20	674	18.08.2002
DESSAU	261,16	745	08.06. 20:15	29	716	18.08.2002
AKEN	274,75	791	09.06. 03:02	25	766	19.08.2002
BARBY	294,82	762	09.06. 02:16	29	733	03.04.1845
MAGDEBURG-BUCKAU	325,39	751	09.06. 07:00	74	677	19.08.2002
MAGDEBURG-STROMBRÜCKE	326,67	747	09.06. 07:15	46	701	18.02.1941
ROTHENSEE	333,12	901	09.06. 10:00	57	844	19.08.2002
NIEGRIPP AP	343,60	983	09.06. 11:15	62	921	19.08.2002
TANGERMÜNDE	388,26	838	09.06. 22:58	70	768	20.08.2002
SANDAU	416,06	825	09.06. 23:30	55	770	20.08.2002
SCHARLEUK	447,22	769	09.06. 14:15	46	723	20.08.2002
WITTENBERGE	453,98	785	09.06. 15:00	51	734	20.08.2002
MÜGGENDORF	463,94	781	09.06. 18:30	43	738	20.08.2002
SCHNACKENBURG	474,56	779	09.06. 21:00	28	751	21.08.2002
LENZEN	484,70	793	10.06. 10:30	46	747	02.04.1895
HITZACKER	522,92	818	11.06. 07:45	48	770	22.01.2011
BOIZENBURG	559,46	732	11.06. 22:00	42	690	23.01.2011
HOHNSTORF	569,00	955	12.06. 03:45	12	943	04.03.1876+

+ Wert ist noch an weiteren Terminen aufgetreten

Tabelle 5.4:

HHW-Überschreitungen beim Juni-Hochwasser 2013 an der Saale (nur Bundeswasserstraßenabschnitt; Rohdaten, Quelle: WSV)

Pegelname	Fluss-km	Ereignis Juni 2013			HHW(alt)	
		Wmax [cm üPNP]	Datum/Uhrzeit	dW Wmax -HHW [cm]	[cm üPNP]	Datum
RÖPZIG	101,90	400	04.06. 19:43+	45	355	16.01.2011
TROTHA-UP	89,15	811	05.06. 06:18	111	700	15.03.1947+
WETTIN-UP	70,30	849	05.06. 09:27	44	805	06.01.2003
BERNBURG-UP	36,05	652	06.06. 17:23	62	590	16.03.1947
CALBE-UP	19,90	965	06.06. 19:59+	51	914	17.03.1947

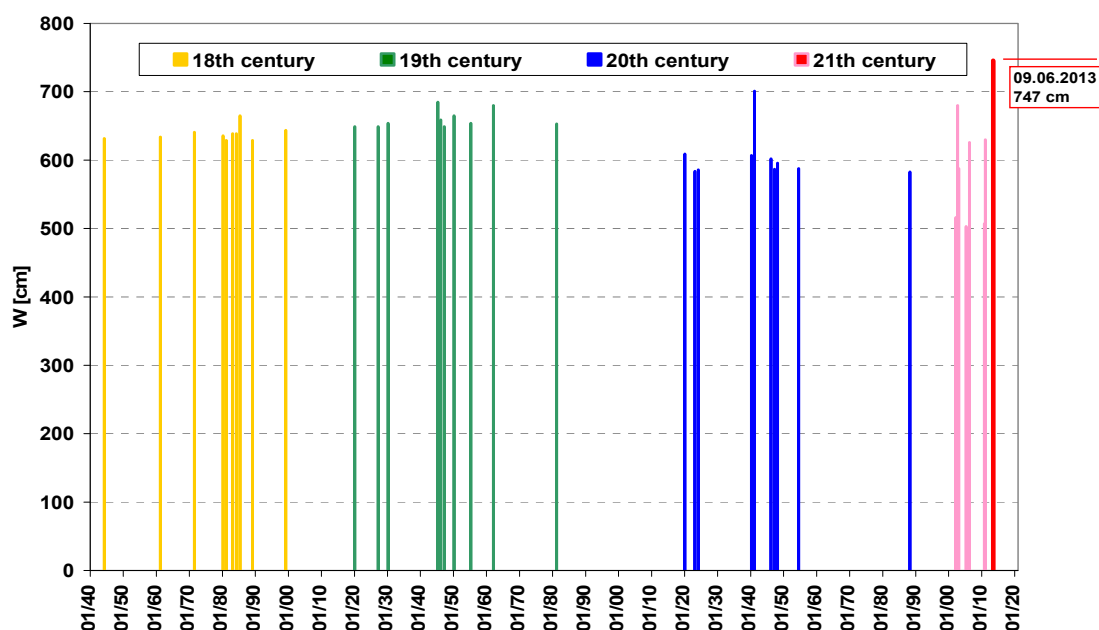
+ Wert ist noch an weiteren Terminen aufgetreten

Die Vereinigung von Saale- und Elbewelle brachte insbesondere für den nachfolgenden Stromabschnitt stromab der Saalemündung außerordentliche Abflussmengen. Besonders be-

troffen war der Elbeabschnitt bei Magdeburg. Hier bestehen für den Pegel Magdeburg-Strombrücke sehr weit zurückreichende Wasserstandsaufzeichnungen, die im Jahre 1727 beginnen.

Abbildung 5.8 zeigt hierzu die jeweils zehn größten Hochwasserscheitel jedes kalendarischen Jahrhunderts. Dabei rangiert das Juni-Ereignis 2013 mit deutlichem Abstand vor allem bisher Dagewesenen: Die historische Dimension der im Juni 2013 in Magdeburg erreichten Hochwasserspitzen wird besonders angesichts dessen deutlich, dass die heutige Situation ohne Eisstau-Effekte entstand (wie sie z.B. beim zweithöchsten Ereignis 1941 gegeben waren) und zudem trotz der reduzierenden Wirkung von Talsperrensteuerung im Einzugsgebiet sowie der Hochwasser-Umflut ab dem Pretziner Wehr in dieser Höhe ablief.

Abb. 5.8: Pegel Magdeburg-Strombrücke (Elbe): Die zehn größten Hochwasserstandsscheitel pro Jahrhundert seit 1727 (Quellen: SIMON (2010), WSV)



Ähnlich wie an der Donau ist eine Berechnung von Eintrittswahrscheinlichkeiten auch an der Elbe angesichts der Datenlage zum Zeitpunkt des Verfassens vorliegenden Berichtes als provisorisch anzusehen; ein Vergleich mit abgestimmten Bemessungsabflüssen ist hierbei nicht sinnvoll. Tabelle 5.5 zeigt vor diesem Hintergrund für die Pegel Dresden (obere Elbe), Magdeburg-Strombrücke (mittlere Elbe) und Neu Darchau (untere Mittelbe), dass besonders der Flussabschnitt unmittelbar nach Einmündung der Saale ein außerordentlich extremes Hochwasser mit Wiederkehrintervallen zwischen 200-500 Jahren erfährt.

Tabelle 5.5:

Vergleichsereignisse und provisorische Wiederkehrintervalle des Juni-Hochwassers 2013 an den Elbepegeln Dresden, Magdeburg-Strombrücke und Neu Darchau (Daten: WSV)

$Q_{[m^3/s]}$	2002	2006	2011	HQ-Scheitel 2013* $[m^3/s]$	2013 Wiederkehr- intervall** [Jahre]
Dresden	4580	2870	2280	3940	50-100
Magdeburg	4180	3670	3720	5100	200-500
Neu Darchau	3420	3600	3600	4190	100-200

*unplausibilisierte Messwerte

**Bezugsperiode 1890-2013, nur Magdeburg 1931-2013

6. Zusammenfassung

Vom Mai bis in die erste Juniwoche hinein lag Mitteleuropa nahezu kontinuierlich unter dem Einfluss niederschlagsreicher Tiefdruckgebiete. Dabei war letztlich eine rund 10-tägige Niederschlagsperiode, die mit dem 25.05.2013 begann, maßgeblich für das Hochwasser verursachende Wettergeschehen. Bei dieser, auch als Omegalage bezeichneten Konstellation wird ein ausgedehntes Hochdruckgebiet in der Höhe von zwei Höhentiefs flankiert. Dieses Hochdruckgebiet lag über mehrere Tage hinweg über dem mittleren Atlantik und der für das Wettergeschehen über Mitteleuropa maßgebliche Tiefdrucktrog lag mit seinem Kern quasistationär über Ungarn und Rumänien. Dadurch wurden warmfeuchte Luftmassen aus dem Süden Europas mit kühlerer Luft zusammengebracht. Das ausgedehnte Regengebiet, das so zustande kam, zog immer wieder über dieselben Regionen hinweg. Durch die nördliche Anströmung auf der Westflanke des Tiefs staute sich der Regen zudem vor allem an den Nordrändern der Mittelgebirge wie dem Erzgebirge, dem Schwarzwald, der Schwäbischen Alb und auch den Alpen. Die daraus resultierenden ergiebigen Regenfälle brachten in vielen Flussgebieten große Niederschlagssummen, die regional das Zwei- bis Dreifache des monatlichen Mittelwertes erreichten.

Die erste Hochwasserwelle erfasste das Wesergebiet (Fulda und Werra 26.05., Weser 28.05.). Dann folgten die Flussgebiete des Rheins (Oberrhein ab 31.05.), der Donau (Inn 1. bis 03.06.) und der Elbe (ab 02.06. an der deutsch-tschechischen Grenze). Im Weser- und Rheingebiet wurden zwar die schifffahrtseinschränkenden HSW-Marken teils über mehrere Tage überschritten, die Hochwasserscheitel erreichten hier aber nur moderate Werte mit Jährlichkeiten von 2 Jahren im Wesergebiet und von maximal 10-20 Jahren im Rheingebiet.

Im Mündungsbereich des Inns zur Donau wurden, ausgelöst durch die früher eintreffende Welle des Inns, bereits am 03.06.2013 Rekordwasserstände erreicht (neues HHW mit 1289 cm üPNP am Pegel Passau/Donau). Aber auch die zeitlich um wenige Tage versetzte (spätere) Donauwelle erreichte über weite Streckenabschnitte Wasserstände, die bisher an den Pegeln noch nicht gemessen wurden. Dies gilt insbesondere für den Donauabschnitt unterhalb von Regensburg. Auch die Scheitelreduzierung durch Deichbrüche im Bereich Deggendorf erbrachte nur bedingt eine Abmilderung. Die Wiederkehrintervalle an der Bundeswasserstraße Donau, provisorisch berechnet auf Basis unplausibilisierter Rohdaten, reichen von 20-50 Jahren (Regensburg-Schwabelweis) über 200 Jahre (Hofkirchen) bis hin zu 200-500 Jahren (Pegel Achleiten).

Im Elbegebiet baute sich die bereits äußerst mächtige Hochwasserwelle, die aus Tschechien kommend die obere Elbe durchströmte, durch Aufnahme der Hochwasserwellen von Mulde und Saale sowohl in ihrer Höhe als auch in ihrer Länge in bisher nicht bekanntem Ausmaß auf. Zeitweilig lagen die Wasserstände an der Elbe über 250 km Flussstrecke zusammenhängend auf neuen Höchstständen (HHW), die die alten Marken oftmals deutlich übertrafen. Auch die Bundeswasserstraße Saale verzeichnete umfassendes Überschreiten der bis dato

bekannten Hochwasserspitzen. Die extremsten Ausmaße erreichte das Hochwasser der Elbe unterhalb der Saalemündung. Deichbrüche bei Klein Rosenberg (Saale) und Fischbeck (Elbe nahe Tangermünde) sowie die kontrollierte Flutung der Havelniederung brachten stromab merklige Entlastungen, die nach ersten überschlägigen Berechnungen Scheitelminderungen bei Wittenberge um etwa 35-40 cm bewirkten. Die Wiederkehrintervalle an der Bundeswasserstraße Elbe, provisorisch berechnet auf Basis unplausibilisierter Rohdaten, reichen von rund 100 Jahren (Dresden, Neu Darchau) bis 200-500 Jahre am Pegel Magdeburg-Strombrücke.

7. Literatur

- BfG / Bundesanstalt für Gewässerkunde (2011): Ermittlung des Einflusses der Flutung der Havelniederung auf Hochwasser an der Elbe im Bereich des HQ100. BfG-Bericht 1726. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz.
- BfG / Bundesanstalt für Gewässerkunde (2012): Bewertung von Einflüssen tschechischer und thüringer Talsperren auf Hochwasser an Moldau und Elbe in Tschechien und Deutschland mittels Einsatz mathematischer Abflussmodelle. BfG-Bericht - 1725. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz.
- Bremicker, M., Homagk, P., Ludwig, K. (2006): Hochwasserfrühwarnung und Hochwasservorhersage in Baden-Württemberg. Wasserwirtschaft 7-8/2006, S. 46 - 50.
- Bürgi, T., Homagk, P., Prellberg, D., Sprockereef, E., Wilke, K., (2004): Das internationale Hochwasservorhersagesystem am Rhein. Wasserwirtschaft 12/2004, S. 12 - 19.
- Bremicker, M., Demuth, N., Brahmer, G., Holle, F., Haag, I.: Räumlich hoch aufgelöste LARSIM Wasserhaushaltsmodelle und deren Anwendung. In: Korrespondenz Abwasser, Abfall · 2013 (60) · Nr. 8.
- Burek, P. und Rademacher, S. (2007): Operationelle Hochwasservorhersage für die Elbe mit dem Wasserstandsvorhersagesystem WAVOS. In: Fünf Jahre nach der Flut. Hochwasserschutzkonzepte - Planung, Berechnung, Realisierung. Dresdner Wasserbaukolloquium 2007. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen Heft 35. Technische Universität Dresden. Dresden. S. 25-34.
- HSG / Hochwasserstudiengruppe für die Rheinstrecke Kaub-Rolandswerth (1993): Der Einfluss des Oberrheinausbaus und der am Oberrhein vorgesehenen Retentionsmaßnahmen auf die Hochwasser am Mittelrhein von Kaub bis Köln. Materialien zum Hochwasserschutz am Rhein. Ministerium für Umwelt, Rheinland-Pfalz. 74 S; Anlagen
- Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebiets (1989): Das Hochwasser an Rhein und Mosel im April und Mai 1983. ISBN 9070980096.
- Internationale Kommission zum Schutz der Elbe (2004): Dokumentation des Hochwassers vom August 2002 im Einzugsgebiet der Elbe.
- Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (2012): Aktionsplan Hochwasser 1995-2010: Handlungsziele, Umsetzung und Ergebnisse.
- Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (2013): Kurzübersicht zur Wirkung der Retentionsmaßnahmen am Oberrhein zwischen Basel und Worms beim Hochwasser Mai/Juni 2013 auf Basis von Rohdaten. unveröffentlicht.
- Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (2003): Erfahrungsaustausch und Zusammenarbeit der Länder zur Verbesserung der Hochwasservorhersage für große Flussgebiete. Proceedings zum workshop am 14./15.1.2003 in Karlsruhe. Band 77 der LUBW-Reihe Oberirdische Gewässer, Gewässerökologie.
- Landwirtschaftsministerium Tschechien (Hrsg.): The Water Management Information Portal. abrufbar unter: <http://voda.gov.cz/portal/en/> (letztmalig abgerufen 21.6.13)

- LfU / Bayerisches Landesamt für Umwelt (2013): Interner Wasserwirtschaftlicher Bericht zum Junihochwasser 2013, unveröffentlicht
- Meißner, D. und Rademacher, S. (2010): Die verkehrsbezogene Wasserstandsvorhersage für die Bundeswasserstraße Rhein – Verlängerung des Vorhersagezeitraums und Steigerung der Vorhersagequalität. Korrespondenz Wasserwirtschaft, Heft 09/10.
- Rademacher, S. Burek, P., Eberle, M. (2004): Niedrigwasser - Vorhersage an Bundeswasserstraßen - Entwicklung und operationeller Betrieb. In: Kleeberg, H.-B. und Koehler, G. (Hrsg): Niedrigwassermanagement - Beiträge zum Seminar am 11./12. November 2004 in Koblenz. Hydrologische Wissenschaften - Fachgemeinschaft der ATV-DVWK.
- Rauthe, M., H. Steiner, U. Riediger, A. Mazurkiewicz and A. Gratzki (accepted): A Central European precipitation climatology – Part I: Generation and validation of a high-resolution gridded daily data set (HYRAS). Met. Zeitschrift
- Simon, M. (2010): Untersuchungen zu anthropogenen Beeinträchtigungen der Wasserstände am Pegel Magdeburg-Strombrücke. PIK-Report 118, Magdeburg.

