



Das Lebensministerium



Hochwasser 2002 im Muldegebiet

Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Heft 32/2009

Freistaat  Sachsen

Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

**Das August-Hochwasser 2002 im Muldegebiet
- eine meteorologisch-hydrologische Analyse -**

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	1
1 Einleitung	2
2 Gebietsbeschreibung	2
3 Charakteristik des Abflussjahres 2002	7
3.1 Meteorologische Verhältnisse.....	7
3.2 Hydrologische Verhältnisse	9
4 Meteorologische Ursachen des Hochwassers	14
4.1 Allgemeines zur Entstehung von Sommerhochwassern in Mitteleuropa	14
4.2 Synoptische Entwicklung	15
4.3 Niederschläge.....	21
4.3.1 Methodik der Niederschlagsinterpolation und Gebietsniederschlagsbestimmung	21
4.3.2 Zeitlicher Ablauf und Intensität der Niederschläge.....	25
4.4 Extremwertstatistische Einordnung und klimatologischer Vergleich	36
5 Verlauf und Charakterisierung des Hochwassers	39
5.1 Grundlagen zur Untersuchung der Abflusskonzentration	39
5.2 Kennwerte im Überblick.....	42
5.3 Gebiet der Zwickauer Mulde.....	48
5.3.1 Wasserstandsentwicklung	48
5.3.2 Hochwasserabflüsse.....	57
5.3.3 Speicherbewirtschaftung	77
5.4 Gebiet der Freiburger Mulde bis zur Zschopaumündung	81
5.4.1 Wasserstandsentwicklung	81
5.4.2 Hochwasserabflüsse.....	85
5.4.3 Speicherbewirtschaftung	91
5.5 Gebiet der Zschopau und Freiburger Mulde unterhalb der Zschopaumündung	93
5.5.1 Wasserstandsentwicklung	93
5.5.2 Hochwasserabflüsse.....	101
5.5.3 Speicherbewirtschaftung	115
5.6 Vereinigte Mulde.....	120
5.6.1 Wasserstandsentwicklung	120
5.6.2 Hochwasserabflüsse.....	123
5.7 Fortpflanzung der Hochwasserscheitel im Muldegebiet	127
6 Extremwertstatistische Einordnung des Hochwassers	131
7 Hochwasser in der Vergangenheit	136
8 Unsicherheiten und offene Fragen	145
9 Zusammenfassung	146
Literatur	147
Anhang: Aufzeichnungen und Schäden an den Pegeln	149

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Einzugsgebiet der Mulden und dessen Naturräume	3
Abbildung 2:	Jahresgang des langjährigen mittleren Abflusses MQ und des langjährigen mittleren Hochwasserabflusses MHQ an ausgewählten Pegeln (Beobachtungsreihen 1911/2005)	6
Abbildung 3:	Beobachtete monatliche Niederschlagshöhen an ausgewählten Stationen im Abflussjahr 2002 im Vergleich zu den entsprechenden Normalwerten der Beobachtungsreihe 1961/90	9
Abbildung 4:	Tagesmittel des Abflusses Q(d) im Abflussjahr 2002 im Vergleich zum mittleren Jahresabfluss MQ(a), zu den mittleren Monatsabflüssen MQ(mon), zum mittleren Jahreshochwasserabfluss MHQ(a) und zu den mittleren Monatshochwasserabflüssen MHQ(mon) der Beobachtungsreihe 1911/2005 am Pegel Golzern 1/Vereinigte Mulde	11
Abbildung 5:	Tagesmittel des Abflusses Q(d) im Abflussjahr 2002 im Vergleich zum mittleren Jahresabfluss MQ(a), zu den mittleren Monatsabflüssen MQ(mon), zum mittleren Jahreshochwasserabfluss MHQ(a) und zu den mittleren Monatshochwasserabflüssen MHQ(mon) der Beobachtungsreihe 1928/2005 am Pegel Zwickau-Pölbitz/Zwickauer Mulde.....	12
Abbildung 6:	Tagesmittel des Abflusses Q(d) im Abflussjahr 2002 im Vergleich zum mittleren Jahresabfluss MQ(a), zu den mittleren Monatsabflüssen MQ(mon), zum mittleren Jahreshochwasserabfluss MHQ(a) und zu den mittleren Monatshochwasserabflüssen MHQ(mon) der Beobachtungsreihe 1926/2005 am Pegel Nossen 1/Freiburger Mulde	12
Abbildung 7:	Tagesmittel des Abflusses Q(d) im Abflussjahr 2002 im Vergleich zum mittleren Jahresabfluss MQ(a), zu den mittleren Monatsabflüssen MQ(mon), zum mittleren Jahreshochwasserabfluss MHQ(a) und zu den mittleren Monatshochwasserabflüssen MHQ(mon) der Beobachtungsreihe 1910/2005 am Pegel Lichtenwalde/Zschopau	13
Abbildung 8:	Niederschlagssumme vom 01.08. bis 10.08. (Grundlage: DEUTSCHER WETTERDIENST 2003)	16
Abbildung 9:	Bodenwetterkarte vom 10.08., 12.00 Uhr UTC (Grundlage: DEUTSCHER WETTERDIENST 2003).....	17
Abbildung 10:	Numerische Analyse der Geopotenzial- und Temperaturverteilung in 850 hPa (etwa 1,5 km Höhe) am 11.08. (Quelle: DEUTSCHER WETTERDIENST 2003)	18
Abbildung 11:	Bodenwetterkarte vom 11.08., 06.00 Uhr UTC (Grundlage: DEUTSCHER WETTERDIENST 2003).....	19
Abbildung 12:	Bodenwetterkarte vom 12.08., 06.00 Uhr UTC (Grundlage: DEUTSCHER WETTERDIENST 2003).....	19
Abbildung 13:	Zugbahnen des wetterbestimmenden Tiefs und des Kaltlufttropfens vom 09.08. bis 14.08. (nach RUDOLF & RAPP 2003, ergänzt).....	20
Abbildung 14:	Untersuchungsgebiet mit Flussteilgebieten, Niederschlagsstationen und Radarstandorten (der im Nordwesten liegende Radarstandort Ummendorf ist nicht sichtbar,	22
Abbildung 15:	Verwendete Pegel, spezifische Teilgebiete und Talsperreneinzugsgebiete	24
Abbildung 16:	Tagessummen der Gebietsniederschläge für die Flussgebiete der Nebenflüsse der oberen Elbe, der Freiburger Mulde und Zwickauer Mulde vom 01.08. bis 15.08. mit dem OK.....	25
Abbildung 17:	Räumliche Verteilung der Summe der stündlichen interpolierten Stationsniederschläge mit CEDK (Zusatzinformationen aus Radarmessung und Ereignissumme) für das Gesamt ereignis vom 10.08. bis 13.08.	26
Abbildung 18:	Räumliche Verteilung der Niederschlagssummen in mm für die einzelnen Tage vom 10.08. bis 13.08.2002 mit dem OK.....	27
Abbildung 19:	Räumliche Verteilung der stündlichen Niederschläge in mm/h am 12.08. von 00.00 Uhr bis 08.00 Uhr MEZ mit dem CEDK (Zusatzinformationen aus Radarmessung und Ereignissumme)..	28
Abbildung 20:	Räumliche Verteilung der stündlichen Niederschläge in mm/h am 12.08. von 08.00 Uhr bis 16.00 Uhr MEZ mit dem CEDK (Zusatzinformationen aus Radarmessung und Ereignissumme)..	29
Abbildung 21:	Räumliche Verteilung der stündlichen Niederschläge in mm/h am 12.08. von 16.00 Uhr bis 24.00 Uhr MEZ mit dem CEDK (Zusatzinformationen aus Radarmessung und Ereignissumme)..	30

Abbildung 22: Stündliche Niederschläge an den Stationen Aue und Carlsfeld vom 11.08., 07.00 Uhr MEZ bis 14.08., 07.00 Uhr MEZ	31
Abbildung 23: Stündliche Niederschläge an den Stationen Fichtelberg und Chemnitz vom 11.08., 07.00 Uhr MEZ bis 14.08., 07.00 Uhr MEZ	31
Abbildung 24: Stündliche Niederschläge an den Stationen Zinnwald und Marienberg vom 11.08., 07.00 Uhr MEZ bis 14.08., 07.00 Uhr MEZ	32
Abbildung 25: Stündliche Niederschläge an den Stationen Leipzig-Schkeuditz und Oschatz vom 11.08., 07.00 Uhr MEZ bis 14.08., 07.00 Uhr MEZ.....	32
Abbildung 26: Gebietsniederschlagssummen vom 10.08., 00.00 Uhr bis 13.08.2002, 24.00 Uhr MEZ für 38 Pegelinzugsgebiete im Muldegebiet in Abhängigkeit von der Einzugsgebietsfläche, berechnet mit CEDK (Zusatzinformationen aus Stundenniederschlägen, Tagesniederschlägen und Radarmessung)	33
Abbildung 27: Gebietsniederschlagssummen P vom 10.08., 00.00 Uhr bis 13.08.2002, 24.00 Uhr MEZ für 33 Pegelinzugsgebiete im Muldegebiet in Abhängigkeit vom mittleren jährlichen Gebietsniederschlag P(a) der Reihe 1961-1990 (farbliche Unterscheidung gemäß Tabelle 5)	34
Abbildung 28: Interpolierte Wiederkehrintervalle T (geschätzt nach KOSTRA) für die maximalen Punktniederschlagssummen über D = 12 h (10.08.2002, 00.00 Uhr – 13.08.2002, 24.00 Uhr).....	37
Abbildung 29: Interpolierte Wiederkehrintervalle T (geschätzt nach KOSTRA) für die maximalen Punktniederschlagssummen über D = 24 h (10.08.2002, 00.00 Uhr – 13.08.2002, 24.00 Uhr).....	37
Abbildung 30: Interpolierte Wiederkehrintervalle T (geschätzt nach KOSTRA) für die maximalen Punktniederschlagssummen über D = 48 h (10.08.2002, 00.00 Uhr – 13.08.2002, 24.00 Uhr).....	38
Abbildung 31: Interpolierte Wiederkehrintervalle T (geschätzt nach KOSTRA) für die maximalen Punktniederschlagssummen über D = 72 h (10.08.2002, 00.00 Uhr – 13.08.2002, 24.00 Uhr).....	38
Abbildung 32: Beziehung zwischen Niederschlag und Abfluss für die Pegel bei Verwendung von Radarniederschlägen (farbliche Unterscheidung gemäß Tabelle 8)	45
Abbildung 33: Relation zwischen den Abflussbeiwerten (mit Radardaten) und der logarithmierten Einzugsgebietsfläche (farbliche Unterscheidung gemäß Tabelle 8)	46
Abbildung 34: Relation zwischen den Abflussbeiwerten (mit Radardaten) und der Niederschlagssumme (farbliche Unterscheidung gemäß Tabelle 8).....	46
Abbildung 35: Relation zwischen der Differenz der ersten Momente und der logarithmierten Einzugsgebietsfläche (farbliche Unterscheidung gemäß Tabelle 8).....	47
Abbildung 36: Einzugsgebiet der Zwickauer Mulde	48
Abbildung 37: Wasserstandsganglinien der Pegel im Gebiet des Oberlaufs der Zwickauer Mulde.....	50
Abbildung 38: Wasserstandsganglinien der Pegel im Gebiet des Schwarzwassers.....	51
Abbildung 39: Wasserstandsganglinien der Pegel im Gebiet des Ober- und Mittellaufs der Zwickauer Mulde	52
Abbildung 40: Wasserstandsganglinien der Pegel im Gebiet des Mittellaufs der Zwickauer Mulde	53
Abbildung 41: Wasserstandsganglinien der Pegel im Gebiet des Mittel- und Unterlaufs der Zwickauer Mulde ...	54
Abbildung 42: Wasserstandsganglinien der Pegel im Gebiet der Chemnitz.....	55
Abbildung 43: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Sachsengrund/ Große Pyra	57
Abbildung 44: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Schönheide 3/ Zwickauer Mulde.....	57
Abbildung 45: Durchflussganglinien der Pegel im Gebiet des Oberlaufs der Zwickauer Mulde	58
Abbildung 46: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Markersbach 1/ Große Mittweida	58
Abbildung 47: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Aue 1/ Schwarzwasser	59
Abbildung 48: Durchflussganglinien der Pegel im Gebiet des Schwarzwassers	60

Abbildung 49: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Niederschlema/ Zwickauer Mulde.....	61
Abbildung 50: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Wolfersgrün/ Hirschfelder Wasser	61
Abbildung 51: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Zwickau-Pöblitz/ Zwickauer Mulde.....	62
Abbildung 52: Durchflussganglinien der Pegel im Gebiet des Ober- und Mittellaufs der Zwickauer Mulde.....	63
Abbildung 53: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Niedermülsen 1/ Mülsenbach	64
Abbildung 54: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Niederlungwitz/ Lungwitzbach.....	64
Abbildung 55: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Wolkenburg/ Zwickauer Mulde.....	65
Abbildung 56: Durchflussganglinien der Pegel im Gebiet des Mittellaufs der Zwickauer Mulde.....	65
Abbildung 57: Durchflussganglinien der Pegel im Gebiet des Mittel- und Unterlaufs der Zwickauer Mulde.....	66
Abbildung 58: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Wechselburg 1/ Zwickauer Mulde.....	66
Abbildung 59: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Burkhardttsdorf 2/ Zwönitz.....	67
Abbildung 60: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Altchemnitz 1/ Zwönitz.....	67
Abbildung 61: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Jahnsdorf 1/ Würschnitz ...	68
Abbildung 62: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Harthau/Würschnitz	68
Abbildung 63: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Chemnitz 1/ Chemnitz	69
Abbildung 64: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Görztzhain/ Chemnitz	69
Abbildung 65: Durchflussganglinien der Pegel im Gebiet der Chemnitz.....	70
Abbildung 66: Hochwasserganglinien ausgewählter Pegel im Einzugsgebiet der Zwickauer Mulde	72
Abbildung 67: Niederschlag und Abflusspende für das Zwischengebiet der Zwickauer Mulde vom Pegel Wolkenburg bis zum Pegel Wechselburg 1 abzüglich des Zuflusses der Chemnitz (151 km ²).....	73
Abbildung 68: Bezogene Ganglinien für Pegel im Flussgebiet der Zwickauer Mulde ohne Chemnitz	74
Abbildung 69: Angepasste Kozeny-Funktion für Pegel im Flussgebiet der Zwickauer Mulde ohne Chemnitz	74
Abbildung 70: Angepasste Nash-Impulsantworten für Pegel im Flussgebiet der Zwickauer Mulde.....	75
Abbildung 71: Bezogene Ganglinien im Flussgebiet der Chemnitz	76
Abbildung 72: Angepasste Kozeny-Funktionen für Pegel im Flussgebiet der Chemnitz	76
Abbildung 73: Angepasste Nash-Impulsantworten für Pegel im Flussgebiet der Chemnitz	77
Abbildung 74: Gebietsniederschläge Zufluss, Abgabe und Speicherung der TS Eibenstock	78
Abbildung 75: Gebietsniederschläge Zufluss, Abgabe und Speicherung der TS Sosa	79
Abbildung 76: Einzugsgebiet der Freiburger Mulde bis zur	81
Abbildung 77: Wasserstandsganglinien der Pegel im Gebiet der Freiburger Mulde oberhalb der Zschopaumündung.....	83
Abbildung 78: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Wolfsgrund/ Chemnitzbach.....	85
Abbildung 79: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Berthelsdorf/ Freiburger Mulde.....	86
Abbildung 80: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Krummenhennersdorf/Bobritzsch	86
Abbildung 81: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Nossen 1/ Freiberger Mulde	87

Abbildung 82: Durchflussganglinien ausgewählter Pegel im Einzugsgebiet der Freiburger Mulde oberhalb der Zschopaumündung	87
Abbildung 83: Bezogene Ganglinien für Pegel im Flussgebiet der Freiburger Mulde oberhalb der Zschopaumündung	89
Abbildung 84: Angepasste Kozeny-Funktionen für Pegel im Flussgebiet der Freiburger Mulde oberhalb der Zschopaumündung	90
Abbildung 85: Angepasste Nash-Impulsantworten für Pegel im Flussgebiet der Freiburger Mulde oberhalb der Zschopaumündung	90
Abbildung 86: Gebietsniederschläge Zufluss, Abgabe und Speicherung der TS Lichtenberg	91
Abbildung 87: Einzugsgebiet der Zschopau und Freiburger	93
Abbildung 88: Wasserstandsganglinien an Pegeln im Gebiet der oberen Zschopau	94
Abbildung 89: Wasserstandsganglinien an Pegeln im Gebiet der Preßnitz	95
Abbildung 90: Wasserstandsganglinien an Pegeln im Gebiet der Flöha unterhalb der Talsperre Rauschenbach	96
Abbildung 91: Wasserstandsganglinien im Gebiet der mittleren und unteren Zschopau	98
Abbildung 92: Wasserstandsganglinien an Pegeln von unterer Zschopau sowie mittlerer und unterer Freiburger Mulde	99
Abbildung 93: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Tannenberg/ Zschopau ..	101
Abbildung 94: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Annaberg 1/Sehma	102
Abbildung 95: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Wiesa/Pöhlbach	102
Abbildung 96: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Streckewalde/ Preßnitz ..	103
Abbildung 97: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Hopfgarten/ Zschopau	103
Abbildung 98: Durchflussganglinien an Pegeln im Gebiet der oberen Zschopau	104
Abbildung 99: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Jöhstadt 1/ Jöhstädter Schwarzwasser	104
Abbildung 100: Durchflussganglinien an Pegeln im Gebiet der Preßnitz	105
Abbildung 101: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Rothenthal/ Natzsung	105
Abbildung 102: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Pockau 1/Flöha	106
Abbildung 103: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Zöblitz/ Schwarze Pockau	106
Abbildung 104: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Borstendorf/Flöha	107
Abbildung 105: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Hetzdorf 1/Flöha	107
Abbildung 106: Durchflussganglinien an Pegeln im Gebiet der Flöha	108
Abbildung 107: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Lichtenwalde/ Zschopau	109
Abbildung 108: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Kriebstein UP/ Zschopau	109
Abbildung 109: Durchflussganglinien an Pegeln im Gebiet der mittleren und unteren Zschopau	110
Abbildung 110: Durchflussganglinien an Pegeln von unterer Zschopau sowie mittlerer und unterer Freiburger Mulde	110
Abbildung 111: Bezogene Ganglinien im Flussgebiet der Zschopau	112
Abbildung 112: Angepasste Kozeny-Funktionen für Pegel im Flussgebiet der Zschopau	113
Abbildung 113: Angepasste Nash-Impulsantworten für Pegel im Flussgebiet der Zschopau	113
Abbildung 114: Bezogene Ganglinien für Pegel im Flussgebiet der Flöha	114
Abbildung 115: Angepasste Kozeny-Funktionen für Pegel im Flussgebiet der Flöha	114
Abbildung 116: Angepasste Nash-Impulsantworten für Pegel im Flussgebiet der Flöha	115

Abbildung 117:	Gebietsniederschläge Zufluss, Abgabe und Speicherung der TS Saidenbach	117
Abbildung 118:	Vereinigte Mulde	120
Abbildung 119:	Wasserstandsganglinien an den Pegeln der Zwickauer Mulde, Freiburger Mulde und Vereinigten Mulde	121
Abbildung 120:	Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Golzern 1/ Vereinigte Mulde	123
Abbildung 121:	Durchflussganglinien an Pegeln der Zwickauer Mulde, Freiburger Mulde und Vereinigten Mulde	124
Abbildung 122:	Durchflussganglinien der Vereinigten Mulde am Pegel Bad Dübén 1 im Talquerschnitt und im eingedeichten Querschnitt	124
Abbildung 123:	Bezogene Ganglinien für den Pegel Golzern 1/Vereinigte Mulde im Vergleich zu den Pegeln Wechselburg 1/Zwickauer Mulde, Nossen 1/Freiburger Mulde und Lichtenwalde/Zschopau..	126
Abbildung 124:	Angepasste Kozeny-Funktionen für den Pegel Golzern 1/Vereinigte Mulde im Vergleich zu den Pegeln Wechselburg 1/Zwickauer Mulde, Nossen 1/Freiburger Mulde und Lichtenwalde/Zschopau	126
Abbildung 125:	Angepasste Nash-Impulsantworten für den Pegel Golzern 1/Vereinigte Mulde im Vergleich zu den Pegeln Wechselburg 1/Zwickauer Mulde, Nossen 1/Freiburger Mulde und Lichtenwalde/Zschopau	127
Abbildung 126:	Zeitlicher Verlauf der Hochwasserscheitel in den Hauptfließgewässern des Muldegebietes am 12./13. August 2002	130
Abbildung 127:	Jährlichkeit des August-Hochwassers 2002 an Pegeln des Muldegebietes, ermittelt aus den Beobachtungsreihen bis 2002 auf Basis der Winter- und Sommer-HQ	133
Abbildung 128:	Aus historischen Aufzeichnungen abgeleitetes Zentrum des Niederschlages im Juli 1771	138
Abbildung 129:	Niederschlagsverteilung vom 29.07. bis 31.07.1897	139
Abbildung 130:	Niederschlagssummen vom 07.07. bis 11.07.1954	139
Abbildung 131:	Zugbahnen des wetterbestimmenden Tiefs und des Kaltlufttropfens (hoch reichende Kaltluft) vom 06.07. bis 14.07.1954	140
Abbildung 132:	Zeitlicher Verlauf der Hochwasserscheitel in den Hauptfließgewässern des Muldegebietes am 30./31. Juli 1897	142
Abbildung 133:	Zeitlicher Verlauf der Hochwasserscheitel in den Hauptfließgewässern des Muldegebietes vom 10. bis 12. Juli 1954	143
Abbildung 134:	Mittelfristiger (31-jährige Filterung der jährlichen Angaben) und langfristiger Verlauf der Temperaturabweichung vom Mittelwert seit dem Jahr 1000 in Mitteleuropa	144
Abbildung 135:	Mittelfristiger (31-jährige Filterung der jährlichen Angaben) und langfristiger Verlauf der Abweichung der jährlichen Niederschlagssumme von der mittleren jährlichen Niederschlagssumme seit dem Jahr 1000 in Mitteleuropa	144

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Jahresniederschlagshöhen $P(a)$ ausgewählter Niederschlagsmessstationen (Quelle: DWD).....	5
Tabelle 2: Mittlere Abflusspenden M_q und mittlere Hochwasserabflusspenden M_{Hq} ausgewählter Pegel	6
Tabelle 3: Abflusssituation an ausgewählten Pegeln am 01.08. und 10.08.	10
Tabelle 4: Beobachtete Gebietsniederschlagshöhen in Teilen des Muldegebietes vom 10.08. bis 13.08.	26
Tabelle 5: Gebietsniederschlagssummen P vom 10.08., 00.00 Uhr bis 13.08.2002, 24.00 Uhr MEZ für 33 Pegeleinzugsgebiete im Muldegebiet in Abhängigkeit vom mittleren jährlichen Gebietsniederschlag $P(a)$ der Reihe 1961-1990	35
Tabelle 6: Maximale Niederschläge und geschätzte Wiederkehrintervalle nach KOSTRA	36
Tabelle 7: Ausgangs- (Q_A) und Endabflüsse (Q_E) zur Separierung des Basisabflusses an den Pegeln	40
Tabelle 8: Hochwasserkennwerte aller betrachteten Einzugsgebiete mit Verwendung der Niederschlagsradarmessung	43
Tabelle 9: Minimale und maximale Abflussbeiwerte in den verschiedenen Flussgebieten mit Verwendung der Niederschlagsradarmessung	44
Tabelle 10: Kennwerte und Vergleichsgrößen der Hochwasserstände im Flussgebiet der Zwickauer Mulde.....	56
Tabelle 11: Kennwerte und Vergleichsgrößen der Hochwasserabflüsse im Flussgebiet der Zwickauer Mulde	71
Tabelle 12: Kozeny- und Nash-Impulsantwort-Parameter für Pegel im Flussgebiet der Zwickauer Mulde ohne Chemnitz	73
Tabelle 13: Kozeny- und Nash-Impulsantwort-Parameter für Pegel im Flussgebiet der Chemnitz	77
Tabelle 14: Minderung der Abflussfüllen an ausgewählten Pegeln durch die Talsperre Eibenstock.....	78
Tabelle 15: Reduzierung des Zuflussscheitels durch die einzelnen Talsperren	79
Tabelle 16: Relation der Zuflusssummen zu den Gewöhnlichen Hochwasserrückhalteräumen	80
Tabelle 17: Veränderung der Hochwasserrückhalteräume	80
Tabelle 18: Kennwerte und Vergleichsgrößen der Hochwasserstände im Flussgebiet der Freiburger Mulde oberhalb der Zschopaumündung.....	84
Tabelle 19: Kennwerte und Vergleichsgrößen der Hochwasserabflüsse im Flussgebiet der Freiburger Mulde oberhalb der Zschopaumündung.....	88
Tabelle 20: Kozeny- und Nash-Impulsantwort-Parameter für Pegel im Flussgebiet der Freiburger Mulde oberhalb der Zschopaumündung.....	89
Tabelle 21: Minderung der Abflussfülle am Pegel Berthelsdorf/Freiburger Mulde durch die Talsperre Lichtenberg.....	91
Tabelle 22: Reduzierung des Zuflussscheitels durch die Talsperre Lichtenberg.....	91
Tabelle 23: Relation der Zuflusssumme zum Gewöhnlichen Hochwasserrückhalteraum	92
Tabelle 24: Veränderung des Hochwasserrückhalteräume	92
Tabelle 25: Kennwerte und Vergleichsgrößen der Hochwasserstände an Pegeln im Gebiet der Zschopau und an der unteren Freiburger Mulde	100
Tabelle 26: Kennwerte und Vergleichsgrößen der Hochwasserdurchflüsse an Pegeln im Gebiet der Zschopau und an der unteren Freiburger Mulde	111
Tabelle 27: Kozeny- und Nash-Impulsantwort-Parameter im Flussgebiet der Zschopau mit Flöha	115
Tabelle 28: Bewirtschaftung der Talsperre Rauschenbach während des Hochwassers	116
Tabelle 29: Minderung der Abflussfülle am Pegel Borstendorf/Flöha durch die Talsperre Saidenbach	117
Tabelle 30: Reduzierung des Zuflussscheitels durch die einzelnen Talsperren	117
Tabelle 31: Relation der Zuflusssummen zu den Gewöhnlichen Hochwasserrückhalteräumen	118
Tabelle 32: Veränderung der Hochwasserrückhalteräume	119
Tabelle 33: Kennwerte und Vergleichsgrößen der Hochwasserstände an den Pegeln der Vereinigten Mulde im Vergleich zu Pegeln an der Zwickauer Mulde und Freiburger Mulde.....	122

Tabelle 34: Kennwerte und Vergleichsgrößen der Hochwasserdurchflüsse an den Pegeln der Vereinigten Mulde im Vergleich zu Pegeln an der Zwickauer Mulde und Freiburger Mulde	125
Tabelle 35: Kozeny- und Nash-Impulsantwort-Parameter für den Pegel Golzern 1/Vereinigte Mulde	127
Tabelle 36: Scheiteleintrittszeiten an ausgewählten Pegeln	128
Tabelle 37: Scheitellaufzeiten ausgewählter Flussstrecken	129
Tabelle 38: Relationen des Auftretens von Winter- und Sommerereignissen	131
Tabelle 39: Hochwasserscheitelabflüsse mit Wiederkehrintervall und Jährlichkeit des August-Hochwassers 2002, berechnet aus den HQ der Sommer- und Winterhalbjahre für ausgewählte Pegel	134
Tabelle 40: Hochwasserstände an ausgewählten Pegeln	137
Tabelle 41: Abflüsse, Abflussspenden und Abflusshöhen extremer Hochwasser	141

Symbole und Abkürzungen

AE oder A _E	...	Einzugsgebietsgröße
D	...	Dauerstufe
h _N	...	Niederschlagshöhe
HQ	...	Hochwasserdurchfluss
Hq	...	Hochwasserabflussspende
HW	...	Hochwasserstand
HHQ	...	Höchster bekannter Durchfluss
HHW	...	Höchster bekannter Wasserstand
I _{GHR}	...	Gewöhnlicher Hochwasserrückhalteraum
k	...	Parameter der Nash-Impulsantwort
m	...	Kozeny-Parameter
m _x /M _x	...	Momente xter Ordnung
MQ	...	Mittlerer Durchfluss
MHQ	...	Mittlerer Hochwasserdurchfluss
MHW	...	Mittlerer Hochwasserstand
Mq	...	Mittlere Abflussspende
MHq	...	Mittlere Hochwasserabflussspende
n	...	Parameter der Nash-Impulsantwort
P	...	Niederschlag
P(a)	...	Mittlerer Jahresniederschlag
Ψ	...	Abflussbeiwert
Q	...	Durchfluss
Q _A	...	Abfluss zum Beginn des Direktabflusses (Ausgangsabfluss)
Q _E	...	Abfluss zum Ende des Direktabflusses (Endabfluss)
Q _S	...	Scheiteldurchfluss
q	...	Abflussspende
q _S	...	Scheitelabflussspende
RD	...	Höhe des Direktabflusses (Abflussfülle)
r ²	...	Bestimmtheitsmaß
S	...	Speicherung
T	...	Wiederkehrintervall
W	...	Wasserstand
CEDK	...	Interpolationsverfahren Conditional External Drift Kriging
Fkm	...	Fluss-Kilometer
IDW	...	Interpolationsverfahren Inverse Distanz
IK	...	Interpolationsverfahren Indikatorkriging
KOSTRA	...	Koordinierte Starkregenauswertung
MEZ	...	Mitteleuropäische Zeit
MI	...	Kennzeichnung der Stationen des Deutschen Wetterdienstes mit automatischen Messungen (10-Minuten-Auflösung)
NN	...	Normal Null
OK	...	Interpolationsverfahren Ordinary Kriging
RR	...	Kennzeichnung der Stationen des Deutschen Wetterdienstes mit täglichen Niederschlagsdaten
ToNN	...	Interpolationsverfahren Thiessen oder „Nächster Nachbar“

Vorwort

Über das Hochwassergeschehen im August des Jahres 2002 existieren Publikationen in großer Zahl. Nur wenige befassten sich bisher intensiv mit den Ursachen dieses Hochwassers. Im Blickfeld standen vor allem die Auswirkungen in Form aufgetretener Schäden sowie das Handeln sowohl des Einzelnen als auch der Gemeinschaft.

Ohne Ursachenanalyse können jedoch Konsequenzen zum Nutzen der Gesellschaft in Form der Vermeidung volkswirtschaftlicher Schäden nur lückenhaft bleiben.

Das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie rundet deshalb die mit der Ereignisanalyse des Hochwassers in den Osterzgebirgsflüssen begonnenen Veröffentlichungen mit den vorliegenden meteorologisch-hydrologischen Betrachtungen des August-Hochwassers 2002 im Gebiet der Mulden weiter ab.

Das Ziel besteht nicht in einer breiten Darstellung aller Facetten dieses Hochwassers, sondern in der Zusammenfassung des umfangreich vorhandenen Beobachtungsmaterials und einer Konzentration auf die abgelaufenen meteorologischen und hydrologischen Prozesse.

1 Einleitung

Extreme Niederschläge in noch nicht beobachteter Höhe führten in der ersten Augushälfte des Jahres 2002 im Gebiet der Mulden zu einem außerordentlichen Hochwasser, bei dem Wasserstände und Abflüsse auftraten, die zum Teil außerhalb der Vorstellungskraft der mit hydrologischen Fragen im Muldegebiet befassten Fachleute lagen. Damit verbunden waren Schäden mit katastrophalen Ausmaßen, die Einfluss auf die Lebensumstände großer Bevölkerungsteile nahmen.

In Vorbereitung wichtiger, den zukünftigen Hochwasserschutz betreffenden Maßnahmen waren fachliche Analysen über die meteorologischen und hydrologischen Ursachen des Hochwassers erforderlich.

Die vorliegende Studie ist eine Zusammenfassung der Untersuchungen, die vom Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie (jetzt: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie), der Staatlichen Umweltbetriebsgesellschaft (jetzt Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft) und der Landesalsperrenverwaltung sowie den damaligen Staatlichen Umweltfachämtern Chemnitz, Leipzig und Plauen vorgenommen oder in Auftrag gegeben wurden.

Unterstützung gaben der Deutsche Wetterdienst mit Untersuchungen zu den meteorologischen Ursachen (DEUTSCHER WETTERDIENST 2003), die ÖkoProjekt ElbeRaum GmbH (ÖKOPROJEKT 2003) und das Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik der Technischen Universität Dresden (TU DRESDEN 2003) mit hydraulischen Berechnungen zur Bestimmung der Hochwasserscheitelabflüsse, vor allem aber der Lehrstuhl für Hydrologie, Wasserwirtschaft und Umwelttechnik an der Fakultät für Bauwesen der Ruhr-Universität Bochum (SCHUMANN 2003; SCHUMANN & HABERLANDT 2004), der die deterministische Analyse des Hochwassers und die extremwertstatistische Einordnung der aufgetretenen Hochwasserscheitelabflüsse vorgenommen hat.

Betrachtet wird das Einzugsgebiet der sächsischen Mulden bis zum Pegel Bad Dübener Heide 1 an der Vereinigten Mulde. Das nordwestsächsische Lober-Leine-Gebiet ist damit nicht Gegenstand der Untersuchungen gewesen.

Neben den schon erwähnten meteorologischen und hydrologischen Auswertungen erfolgen Beschreibungen des sächsischen Muldegebietes und der gegebenen meteorologischen und hydrologischen Ausgangssituation sowie ein Exkurs zu den beobachteten Hochwassern des 20. Jahrhunderts und den größten historischen Hochwassern.

Nicht beschrieben werden die Grundwasserverhältnisse und ihre Wechselwirkungen mit dem Oberflächenwasser. Hierzu ist auf andere Auswertungen (SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE 2003) zu verweisen.

Fortgesetzt wird die Tradition ausführlicher Hochwasserauswertungen für das Muldegebiet, die u. a. von BÖER, SCHUBERT & WILSER (1959) und SCHIRPKKE, RICHTER & RIEß (1978) publiziert sind.

2 Gebietsbeschreibung

Hinsichtlich seiner Gewässernetzstruktur und Lage innerhalb des zentraleuropäischen Mittelgebirgsgürtels stellt das zum Stromgebiet der Elbe gehörende Gebiet der Mulden (Abb. 1) ein einzigartiges Flussgebiet dar. Die Abflüsse von zwei Dritteln eines Mittelgebirges, dem Erzgebirge und seinem nördlich vorgelagerten Hügelland konzentrieren sich am Übergang zum nordsächsischen Tiefland in einem Gewässer, der Vereinigten Mulde.

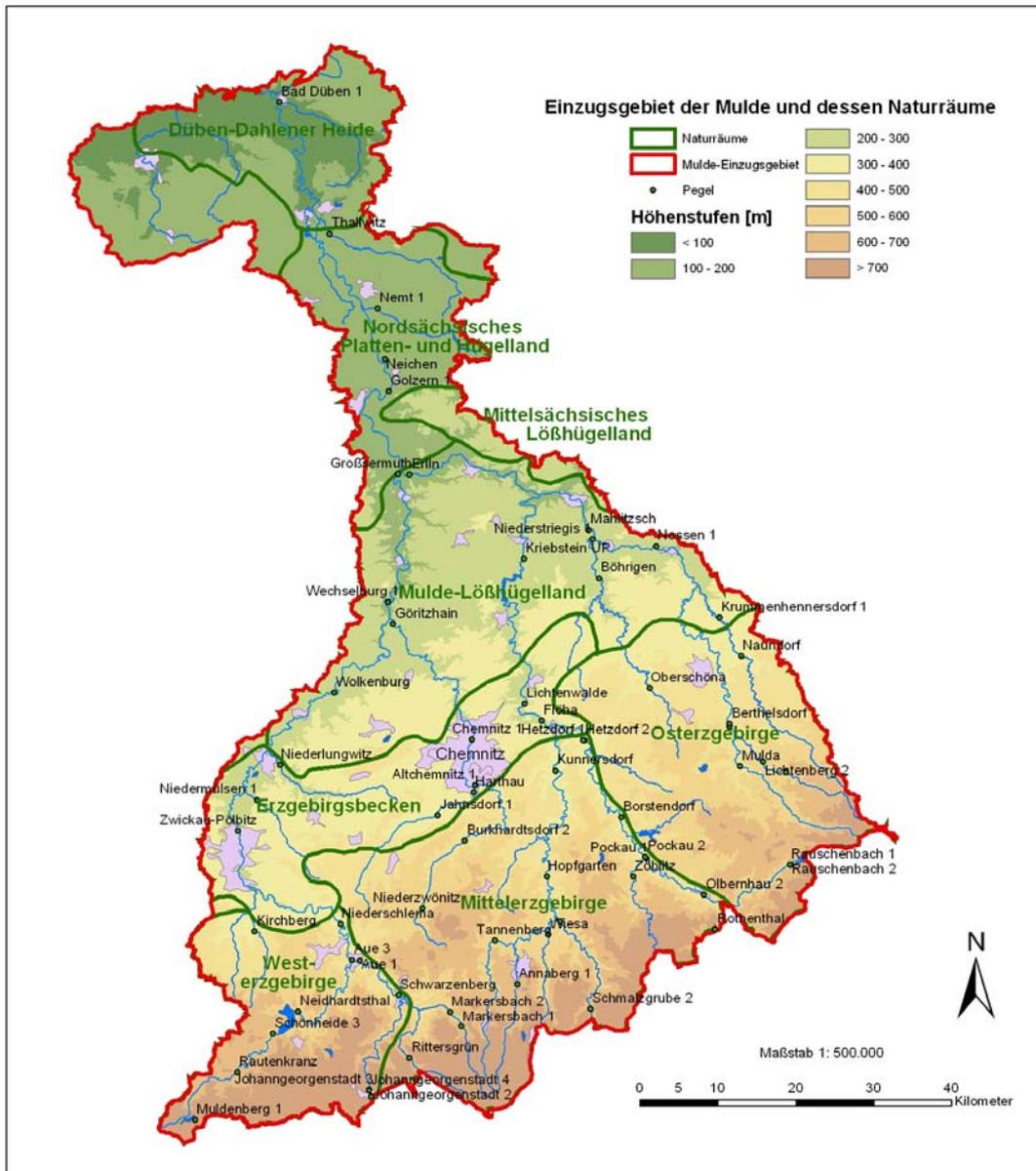


Abbildung 1: Einzugsgebiet der Mulden und dessen Naturräume

Den sächsischen Teil des Erzgebirges umfassen im Wesentlichen die Einzugsgebiete von Zwickauer Mulde und Freiburger Mulde, die eine Fläche von rund 5.350 km² einnehmen. Aus der Vereinigung der beiden genannten Mulden bei Großsermuth an der Naturraumgrenze von Mulde-Lößhügelland und nordsächsischem Platten- und Hügelland entsteht die Vereinigte Mulde, die mit einer Einzugsgebietsfläche von 7.400 km² unterhalb von Dessau in Sachsen-Anhalt in die Elbe mündet. Sie verlässt das sächsische Territorium etwa 60 km vor ihrer Mündung in der Nähe von Bad Düben im Naturraum der Düben-Dahlener Heide, den sie etwa ab Eilenburg durchfließt.

Die bei 759 m über NN bei Muldenberg im West-erzgebirge entspringende Zwickauer Mulde nimmt als bedeutende Nebenflüsse das Schwarzwasser und die aus Zwönitz und Würschnitz gebildete Chemnitz rechtsseitig auf. Sie verläuft zwischen Hartenstein und Glauchau im Erzgebirgsbecken, danach im Mulde-Lößhügelland.

Das Quellgebiet der Freiburger Mulde befindet sich in einer Höhe von 841 m über NN im böhmischen Teil des Osterzgebirges. Sie erreicht unterhalb von Freiberg das Mulde-Lößhügelland. Der Abfluss in ihrem Unterlauf wird vorrangig durch die ihr von links zufließende Zschopau geprägt, die vor allem das mittlere Erzgebirge entwässert. Sie entspringt am Nordhang des Fichtelberges in 1.125 m Höhe über NN, tangiert unterhalb der Stadt Flöha das Erzgebirgsbecken und durchfließt danach das Mulde-Lößhügelland. Ihr markantester und an der Mündung etwa gleichgroßer Nebenfluss, die rechtsseitig zufließende Flöha, entsteht bei 832 m über NN auf böhmischem Gebiet. Sie bildet ungefähr die Grenze zwischen dem Mittel- und dem Osterzgebirge.

Einzelne Taltrakte wie zum Beispiel die Oberläufe von Zwickauer Mulde und Flöha folgen nicht der Richtung der Nordabdachung des Erzgebirges, sondern liegen quer oder stumpfwinklig dazu und weisen damit auf ihre tektonische Anlage bereits vor der Heraushebung der Pultscholle des Erzgebirges hin (BERNHARDT et al. 1986).

Das Abflussregime der Fließgewässer im Gebiet der Mulden wird in besonderem Maße durch den Niederschlag als witterungs- und klimaabhängiges Element geprägt. Die mittleren Niederschlagssummen zeigen im Allgemeinen neben ihrer Höhen- eine deutliche Reliefabhängigkeit in Form von lokalen Luv- und Lee-Effekten. Dort, wo große Täler die flach nach Nordwesten abfallende Pultscholle des Erzgebirges zerschneiden, treten deutliche Ausbuchtungen der Isohyeten in südliche Richtungen auf.

Das Erzgebirge ist allgemein durch die Abnahme der mittleren jährlichen Niederschlagshöhen in west-östlicher Richtung gekennzeichnet (Tabelle 1). Dagegen sind bei großen Sommer-Hochwassern des Muldegebietes (1897, 1958, 2002) die auslösenden Niederschläge im Osterzgebirge häufig größer als im Westerbirge (siehe auch Abb. 17 in Abschnitt 4.3.2.), wobei die Reliefenergie im osterzgebirgischen Teil des Muldegebietes geringer ist. Verwischt werden diese Erscheinungen durch erhöhte Niederschläge an Erhebungen, die die Umgebung oder den Gebirgskamm überragen und durch jahreszeitliche Unterschiede, die abhängig von der Häufigkeit des Auftretens niederschlagsrelevanter Wetterlagen gegeben sind. Die gegenüber den Winterniederschlägen vergleichsweise größeren Sommerniederschläge weisen im Zusammenhang mit den geodätischen Höhenverhältnissen und der geografischen Ausrichtung auf kontinentale Einflüsse im Erzgebirge hin. Es stellt damit insbesondere aus hygrischer Sicht eine Enklave im weitgehend maritim geprägten Mitteleuropa dar (METEOROLOGISCHER DIENST 1973). Aber auch bei der Untersuchung der Temperaturverhältnisse deuten sich kontinentale Klimaverhältnisse an (METEOROLOGISCHER UND HYDROLOGISCHER DIENST 1953).

Die geografische Lage des Erzgebirges bedingt anhaltende Stauerscheinungen bei zyklonalen Nordwest- bis Nordwetterlagen an seinem Nordrand. Im Zusammenhang mit Troglagen stehende Aufgleitvorgänge im Grenzbe- reich von Warm- und Kaltluftmassen bringen langandauernde und sehr ergiebige Niederschläge.

Analog zur Niederschlagsverteilung ist das Erzgebirge hydrologisch durch die Abnahme der mittleren Abfluss- Spenden ebenfalls in west-östlicher Richtung geprägt (Tabelle 2).

Tabelle 1: Jahresniederschlagshöhen P(a) ausgewählter Niederschlagsmessstationen (Quelle: DWD)

Station	Höhenlage [m ü. NN]	P(a) [mm]	Jahresreihe
Bad Dübén	89	582,4	1961/90
Colditz	192	626,4	1961/90
Chemnitz	420	700,7	1961/90
Aue	397	791,6	1961/90
Marienberg	639	817,7	1961/90
Zinnwald	877	976,7	1961/90
Fichtelberg	1213	1117,7	1961/90
Carlsfeld	914	1229,8	1961/90

Im Jahresgang zeigt sich in den Gebirgslagen der in der Regel durch Schneeschmelze gekennzeichnete April als abflussreichster Monat. Im Hügel- und Tieflandbereich erfolgt diese früher, sodass dort im Mittel schon der März die höchsten Abflüsse aufweist. Bei Betrachtung der mittleren Hochwasserverhältnisse wird die abflusserhöhende Wirkung sommerlicher Niederschläge unabhängig von ihrer Dauer und Intensität deutlich. Der Juli weist deshalb ein zweites Maximum auf, das einzugsgebietsabhängig auch in der Größenordnung des März/April-Maximums liegen kann. Ein drittes findet sich im Jahresverlauf der mittleren Hochwasserabfluss-Spenden im Januar, das auf dem durch Warmluftzufuhr hervorgerufenen „Weihnachtstauwetter“ um den kalendarischen Jahreswechsel beruht. Abb. 2 zeigt beispielhaft die Jahresgänge der langjährigen mittleren Abflüsse MQ und der langjährigen mittleren Hochwasserabflüsse MHQ der Pegel Göritzhain/Chemnitz und Hopfgarten/Zschopau (siehe auch Abb. 4 - 7). Die Größe der Abflussscheitel der Sommerhochwasser übersteigt die der Winterhochwasser in der Regel beträchtlich, obwohl deren Anteile an den Jahreshöchstabflüssen geringer sind.

Aufgrund der allgemeinen jahreszeitlichen atmosphärischen Zirkulation, die sich unter anderem in der Charakteristik der mittleren Niederschlagsverteilung über ein Jahr zeigt, besteht die höchste Wahrscheinlichkeit des Entstehens und Ablaufens von Hochwasser in den in der Regel von Schneeschmelze gekennzeichneten Monaten März und April und in den im Jahresdurchschnitt regenreichen Sommermonaten Juni, Juli und August. Dass auch in den übrigen Monaten eines Jahres das Auftreten von Hochwasser nie ausschließbar und durch zahlreiche Beispiele belegt ist, begründet sich in seiner von meteorologischen Phänomenen abhängigen und damit von Natur aus gegebenen Komplexität.

Tabelle 2: Mittlere Abflusspenden Mq und mittlere Hochwasserabflusspenden MHq ausgewählter Pegel

Gewässer	Pegel	AE [km ²]	Beobachtungsreihe	Mq [l/s·km ²]	MHq [l/s·km ²]
Mulde	Golzern 1	5442	1911/2005	11	95
Mulde	Bad Düben 1	6171	1961/2005	10	77
Zwickauer Mulde	Schönheide 3	152	1983/2005	18	223
Zwickauer Mulde	Zwickau-Pölbitz	1030	1928/2005	14	124
Zwickauer Mulde	Wechselburg 1	2107	1910/2005	12	102
Schwarzwasser	Aue 1	363	1928/2005	17	183
Chemnitz	Göritzhein	532	1910/2005	12	132
Freiberger Mulde	Berthelsdorf	244	1936/2005	15	145
Freiberger Mulde	Nossen 1	585	1926/2005	12	117
Freiberger Mulde	Erlin	2983	1961/2005	12	102
Zschopau	Tannenberg	90,6	1960/2005	17	168
Zschopau	Hopfgarten	529	1911/2005	15	155
Zschopau	Lichtenwalde 1	1575	1910/2005	14	139
Flöha	Borstendorf	644	1929/2005	14	143

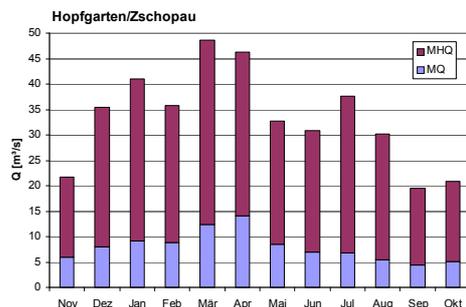
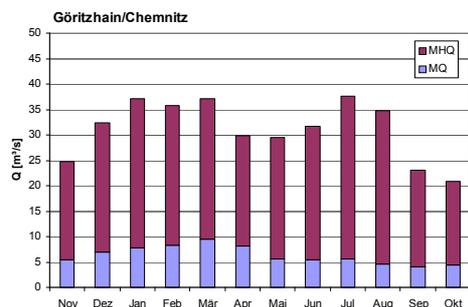


Abbildung 2: Jahrgang des langjährigen mittleren Abflusses MQ und des langjährigen mittleren Hochwasserabflusses MHQ an ausgewählten Pegeln (Beobachtungsreihen 1911/2005)

Dem Mittelgebirgscharakter des Erzgebirges entsprechend besitzt das Gebiet durch seine hohen Gefälleverhältnisse und seinen felsigen Untergrund aus überwiegend regionalmetamorphen Gesteinen mit geringer Bodenüberdeckung nur ein begrenztes Speichervermögen, sodass außerordentlich hohe Abflusspenden bei

- Schneeschmelze,
- Dauerregen über mehrere Tage oder Wochen mit hohen Niederschlagsmengen und
- lokalen Starkniederschlägen, meist in Verbindung mit Gewittern,

auftreten. Die an das in den Erzgebirgslagen stark verästelte Gewässernetz angeschlossenen Abflussbildungsflächen tragen in besonderem Maße zum weiträumigen Zusammenfließen abtauenden Schnees oder gefallenen Regens bei. Die sich dadurch bildenden Hochwasserwellen erfahren frühestens im Erzgebirgsbecken und signifikant erst in den sich nach Norden hin anschließenden Hügelländern durch die Überschwemmung der vorhandenen größeren Talauen eine Abflachung. Die dort vorhandenen Zwischeneinzugsgebietszuflüsse können nur in sehr seltenen Fällen zur Erhöhung der Hochwasserscheitel beitragen.

Häufigkeitsanalysen von Hochwassern unterschiedlicher Eintrittswahrscheinlichkeit zeigen in der Regel eine relative Gleichverteilung kleiner Hochwasser der Jährlichkeiten 2 bis 5 über das ganze Jahr. In ihrer Größe seltene Hochwasser konzentrieren sich im Wesentlichen auf die niederschlagsreichen Sommermonate Juni, Juli und August, wobei die meteorologischen Ursachen dafür in Abhängigkeit von der Einzugsgebietsgröße sowohl in kurzzeitigen als auch in mehrtägigen sommerlichen Starkniederschlägen liegen. Aufgrund der durch Tektonik und Geologie geprägten hohen Gewässernetzdichte des Erzgebirges beschränkt sich die schadensrelevante Wirksamkeit kurzzeitiger, bis zu vier Stunden andauernder lokaler Starkniederschläge auf Einzugsgebietsgrößen bis etwa 200 km². Zeitlich konzentrieren sich diese Ereignisse auf die Monate Juni und Juli (BÜTTNER, FÜGNER & WINKLER 2001).

3 Charakteristik des Abflussjahres 2002

3.1 Meteorologische Verhältnisse

Mit einer durchschnittlichen Temperaturabweichung von -0,8 K und einem Niederschlagsgebietsmittel in Höhe von 173 % gegenüber dem langjährigen Mittelwert der Reihe 1961/90 begann das Abflussjahr 2002 im November 2001 in Sachsen zu kalt und zu nass. Ab dem 07.11. bildete sich in den Gebirgslagen eine Schneedecke aus, die zum Monatsende auf dem Fichtelberg eine Höhe von 40 cm aufwies.

Die nasskalte Witterung setzte sich auch im Dezember fort. Ab dem 16.12. wurde auch das Tiefland von einer Schneedecke überzogen, die bis zum 31.12. auf eine Höhe von 5 bis 15 cm anwuchs. Gleichzeitig wurden im Erzgebirgsvorland Schneehöhen von 40 bis 50 cm, in den Kammlagen des Erzgebirges von 100 bis 160 cm gemessen. Der in der Schneedecke gespeicherte Wasservorrat betrug 20 bis 50 mm in den Flussgebieten des Tieflandes und 90 bis 180 mm im Bergland.

Die Luftströmung im mittleren 500-hPa-Niveau war im Januar geprägt durch einen kräftigen Wellenrücken über West- und Mitteleuropa, der von zwei verstärkten Wellentrögen über dem Nordwestatlantik und dem Ural begrenzt wurde. Unter Hochdruckeinfluss waren die ersten zwei Januardekaden nahezu niederschlagsfrei. Danach führten Tiefausläufer zunächst in einer westlichen Strömung sehr milde Luft heran. Anschließend verstärkte sich der Zustrom subtropischer Luftmassen aus Südwesten, sodass sich Tauwetter bis in die Kammlagen des Erzgebirges durchsetzte. Die Schneehöhen reduzierten sich je nach Höhenlage auf 10 bis 70 cm, auf dem Fichtelberg auf 115 cm. Infolge des durch Niederschläge beschleunigten Abtauprozesses kam es zur Ausbildung von Hochwasser. Im Gegensatz zu den beiden Vormonaten war der Januar damit zu warm, gleichzeitig auch zu trocken und zu sonnenscheinreich.

Der Februar zeigte eine beschleunigte zonale Zirkulation der oberen Westwinde. Zu Beginn setzte sich in Mitteleuropa die extrem milde Südwestwetterlage vom Vormonat fort. Die warme Witterung führte in Sachsen zu einem um 4,8 K höheren Monatsmittel der Lufttemperatur gegenüber dem langjährigen Vergleichswert. Zudem fielen bis zur Monatsmitte fast täglich zum Teil sehr ergiebige Niederschläge. Nach der allmählichen Verlagerung der nordatlantischen Frontalzone von Südgrönland zur Ostsee stellte sich bis zum Monatsende für Mitteleuropa eine Westwetterlage ein, die für Sachsen zunächst Hochdruckeinfluss mit meist trockenem und kaltem Wetter brachte. In der letzten Monatsdekade führten rasch durchziehende Tiefausläufer zu wiederum ergiebigen Niederschlägen, die teils als Schnee fielen. Mit 162 % des langjährigen Monatsmittels weisen die Niederschlagsverhältnisse den Februar als zu nass aus. Aufgrund der warmen Witterung hielt das Tauwetter bis in die Gipfellagen an und ließ die Schneedecke bis zur dritten Monatsdekade fast vollständig abtauen.

In Bezug auf den meteorologischen Winter von Dezember 2001 bis Februar 2002 ist insgesamt festzustellen, dass dieser zu

- 36 % von Westlagen,
- 24 % von Nordwestlagen,
- 22% von einem Hoch über Mitteleuropa,
- 8 % von Ostlagen,
- 6 % von Nordlagen und
- 4 % von anderen

geprägt war, von denen etwa 2/3 einen zyklonalen und ca. 1/3 einen antizyklonalen Charakter zeigten.

März und April waren vorwiegend durch Hochdruckeinfluss gekennzeichnet, der kurzzeitig durch Tiefausläufer mit zum Teil ergiebigen Niederschlägen unterbrochen wurde. Während in diesen Monaten die Zonalzirkulation noch beschleunigt blieb, zeigte sich im Mai im 500-hPa-Niveau über Nordeuropa ein kräftiger Hochdruckrücken zwischen zwei Wellentrögen. Sachsen verblieb damit unter Hochdruckeinfluss. Die kräftige Frontalzone erstreckte sich vom Nordatlantik bis Südwesteuropa.

Der Frühling zeigte sich durch fehlende Kaltlufteinbrüche insgesamt zu warm. Dominiert wurde er mit 29 % überdurchschnittlich von Hochdruckgebieten über Mitteleuropa und mit 22 % von Ostlagen. Westlagen traten mit 17 %, Südlagen mit 14 % und Nordlagen mit 10 % auf, zyklonale und antizyklonale Wetterlagen in etwa zu gleichen Teilen.

Der Juni zeigte ein ähnliches Zirkulationsmuster wie der Vormonat und der folgende Juli. Gelegentlich führten Tiefausläufer zu kräftigen, meist schauerartigen und gewittrigen Niederschlägen. Für den Juli war eine relativ dichte Aufeinanderfolge von Tiefdruckwirbeln charakteristisch, die den Wetterablauf wechselhaft gestalteten und mit ihren Fronten zum Teil ergiebigen Regen brachten.

In der Gesamtschau blieben die Monate März bis Juli im Allgemeinen zu trocken und zu warm. Die Sonnenscheindauer lag meist im Bereich der jahreszeitlich üblichen Werte.

Auf die besondere Wettersituation im August 2002 wird in den Abschnitten 4.2 und 4.3 näher eingegangen.

Der Sommer zeichnete sich durch ein überdurchschnittliches Auftreten von Ostlagen (29 %) und Tiefdruckgebieten über Mitteleuropa (16 %) aus. Unterdurchschnittlich waren Nordlagen mit 5 % und Hochdruckgebiete über Mitteleuropa mit 10 % vertreten. Mit 26 % traten Westlagen auf. An ¼ aller Tage waren zyklonale Lagen zu beobachten.

Nach den Troglagen, die den August charakterisierten, dominierte Anfang September über Westeuropa ein breiter Hochdruckrücken. Ab Monatsmitte stellte sich die Großwetterlage über Mitteleuropa dann auf eine Nordwestströmung um. Auf den zu warmen und extrem nassen August folgten die vergleichsweise zu kalten Monate September und Oktober. Der September blieb vor allem in den Kammlagen des Erzgebirges mit Niederschlagssummen von 120 bis 130 % gegenüber den Normalwerten auch zu nass.

Hinsichtlich der besonderen Relevanz des Niederschlags auf das Hochwasserregime zeigt Abb. 3 einen Vergleich der im Abflussjahr 2002 erfassten monatlichen Niederschlagshöhen im Vergleich zu den entsprechenden Normalwerten der Beobachtungsreihe 1961/90 für ausgewählte Stationen.

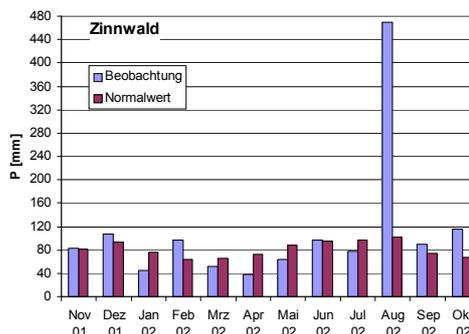
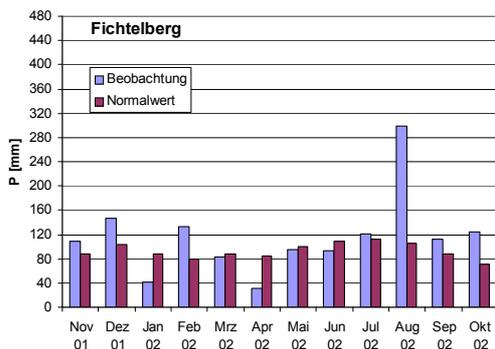
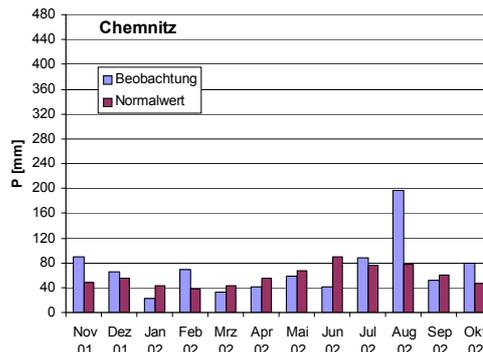
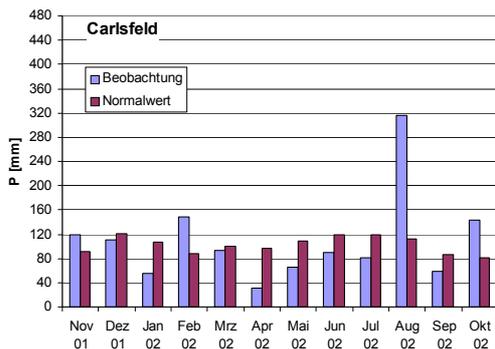


Abbildung 3: Beobachtete monatliche Niederschlagshöhen an ausgewählten Stationen im Abflussjahr 2002 im Vergleich zu den entsprechenden Normalwerten der Beobachtungsreihe 1961/90
(Quelle: DWD)

3.2 Hydrologische Verhältnisse

Im November 2001 lag die Wasserführung der Gewässer des Muldegebietes durchschnittlich zwischen dem langjährigen Monatsmittel und dessen Zweifachem. Im Zusammenhang mit zwischenzeitlich einsetzendem Tauwetter traten, auf die unteren Berglagen und das Hügelland beschränkt, Abflussspitzen bis zum 10-Fachen des langjährigen Monatsmittels auf.

Den Dezember prägte im Mittel eine leicht erhöhte Wasserführung um das 1,5-Fache des Normalwertes. Mit der zunehmenden Speicherung des Niederschlages als Schnee vor allem im Gebirge lagen die höchsten Abflüsse nur noch im Bereich des 3- bis 6-Fachen der langjährigen Durchschnittswerte für den Dezember.

Aufgrund der von Mitte Dezember bis zum 19.01. anhaltenden Frostperiode waren in den Fließgewässern Eisbildungen zu beobachten. Vor allem in kleineren Fließgewässern des Berglandes waren dadurch die Wasserstände beeinflusst. Gleichzeitig sanken die Abflüsse auf 70 bis 30 % des langjährigen Monatsmittels. Das in der letzten Januardekade einsetzende Tauwetter führte in Verbindung mit Regen zu starken Wasserstandsanstiegen. Die höchsten Abflüsse erreichten am Monatsende Werte zwischen dem 5- und 9-Fachen der langjährigen Vergleichswerte. Die mittleren Monatsdurchflüsse waren leicht erhöht bis zum doppelten des Mittelwertes für den Januar.

Traten in den unteren Berglagen und dem Hügelland die höchsten Abflüsse bereits mit dem Januar-Tauwetter auf, so zeigten die Gewässer des mittleren und oberen Berglandes erst im Februar ihre Spitzenabflüsse, die bis zum 10-Fachen des langjährigen monatlichen Mittels reichten. Eine Überschreitung der Hochwassermeldegrenzen an den Hochwassermeldepegeln war damit nicht zu verzeichnen. Im Durchschnitt bewegten sich die Abflüsse zwischen 200 und 300 % des langjährigen Mittels für den Februar.

Aufgrund der in den Folgemonaten auftretenden trockenen Witterung erfolgte bis zum Juli tendenziell ein allmählicher Rückgang der Wasserführung auf Werte zwischen 45 und 25 % der Vergleichswerte. Unterbrechungen wurden lediglich durch einzelne Niederschlagsereignisse hervorgerufen, deren resultierende Abflussspitzen aber höchstens das 3,5-Fache des langjährigen Mittels erreichten. Erst zum Ende des Monats Juli traten örtlich stärkere Wasserstandsanstiege infolge lokaler, meist gewittriger Starkniederschlagsereignisse auf, sodass am 01.08. an den Pegeln Abflüsse beobachtet wurden, die zwischen 16 % und 204 % des langjährigen Mittels lagen.

Am Ende der ersten Augustdekade zeigte sich nach örtlichen Starkniederschlägen eine Situation, die vergleichsweise stark differierende Abflüsse zwischen 46 % im Gebiet der Freiburger Mulde (Pegel Wolfgrund/Chemnitzbach) und 350 % im Gebiet der Zwickauer Mulde (Pegel Markersbach 1/Große Mittweida) vom langjährigen Mittel für den August aufwies. Tabelle 3 gibt an Hand der Beobachtungen an ausgewählten Pegeln einen Überblick zur Abflusssituation vor dem Hochwasser.

Tabelle 3: Abflusssituation an ausgewählten Pegeln am 01.08. und 10.08.

Pegel/Gewässer	AE [km ²]	Q _{01.08.} [m ³ /s]	Q _{10.08.} [m ³ /s]	Q _{01.08.}	Q _{10.08.}	Q _{01.08.}	Q _{10.08.}
				MQ(a) [%]	MQ(a) [%]	MQ(Aug) [%]	MQ(Aug) [%]
Golzern 1/Vereinigte Mulde	5442	26,3	73,9	43	120	61	172
Bad Düben 1/Vereinigte Mulde	6171	36,2	97,3	56	152	87	233
Schönheide 3/Zwickauer Mulde	152	0,557	1,61	20	59	29	84
Niederschlema/Zwickauer Mulde	759	7,09	15,7	57	126	78	172
Zwickau-Pölbitz/Zwickauer Mulde	1030	7,36	19,0	51	133	74	191
Wechselburg 1/Zwickauer Mulde	2107	14,4	36,2	55	139	71	179
Sachsengrund/Große Pyra	6,6	0,078	0,11	43	60	62	87
Aue 1/Schwarzwasser	362	5,75	12,8	91	203	129	286
Markersbach 1/Große Mittweida	30,0	0,824	1,84	134	300	157	350
Wolfersgrün/Hirschfelder Wasser	22,2	0,087	0,284	39	127	55	179
Niedermülsen 1/Mülsenbach	49,9	0,244	0,520	47	101	59	126
Niederlungwitz/Lungwitzbach	138	0,963	2,23	68	157	91	210
Chemnitz 1/Chemnitz	403	1,53	4,03	38	99	57	151
Göritzchain/Chemnitz	532	2,70	7,07	43	112	58	152
Burkhardtsdorf 2/Zwönitz	93,7	0,373	1,46	26	104	39	154
Altchemnitz 1/Zwönitz	144	0,640	1,89	29	87	47	140
Jahnsdorf 1/Würschnitz	103	0,398	1,93	33	161	46	221
Harthau/Würschnitz	136	0,471	2,17	32	147	54	251
Berthelsdorf/Freiburger Mulde	244	1,09	1,65	31	46	44	66
Nossen 1/Freiburger Mulde	585	2,11	3,85	31	56	47	86
Erlin/Freiburger Mulde	2983	15,9	32,0	45	91	77	155
Wolfgrund/Chemnitzbach	37,2	0,205	0,205	31	31	46	46
Krummenhennersdorf/Bobritzsch	131	0,246	0,7	16	45	57	163
Böhrigen/Striegis	253	1,69	1,58	70	66	132	123
Tannenberg/Zschopau	90,6	2,13	3,00	137	192	192	270

Pegel/Gewässer	AE [km ²]	Q _{01.08.} [m ³ /s]	Q _{10.08.} [m ³ /s]	$\frac{Q_{01.08.}}{MQ(a)}$ [%]	$\frac{Q_{10.08.}}{MQ(a)}$ [%]	$\frac{Q_{01.08.}}{MQ(Aug)}$ [%]	$\frac{Q_{10.08.}}{MQ(Aug)}$ [%]
Hopfgarten/Zschopau	529	7,45	10,4	94	131	140	195
Lichtenwalde/Zschopau	1575	14,6	22,9	67	105	101	158
Kriebstein UP/Zschopau	1757	10,5	26,1	44	111	64	160
Wiesa/Pöhlbach	86,3	1,63	2,28	95	133	136	190
Streckewalde/Preßnitz	206	1,22	2,28	41	77	61	114
Jöhstadt 1/Jöhstädter Schwarzwasser	35,9	0,481	0,546	120	136	163	185
Pockau 1/Flöha	385	3,35	2,52	57	43	84	63
Borstendorf/Flöha	644	7,94	6,67	87	73	128	108
Rothenthal/Natzschung	75,0	1,42	1,20	103	87	154	130
Zöblitz/Schwarze Pockau	129	4,71	3,19	204	138	289	196

Aus den ab der zweiten Monatsdekade auftretenden extremen Niederschlägen entstand ein in diesen Ausmaßen bisher nicht beobachtetes Hochwasser. Die Abflüsse stiegen vereinzelt bis zum 165-Fachen, im Durchschnitt bis zum 90-Fachen der langjährigen Mittelwerte für den August an. Allein die Monatsmittel der Abflüsse lagen zwischen 400 und 1.000 %, bezogen auf deren langjährige Vergleichswerte.

Die Monate September und Oktober zeigten schließlich noch deutlich erhöhte Abflüsse gegenüber den langjährigen Mitteln dieser Monate. Einzelne lokale Starkniederschlagsereignisse führten örtlich zu Abflussspitzen, die das 14-Fache des langjährigen Durchschnitts erreichten. Der generelle Rückgang erreichte im Oktober Abflusswerte, die zwischen 50 und 140 % der Vergleichswerte lagen. Die Abbildungen 4 – 7 zeigen den Jahresgang des Abflusses im Abflussjahr 2002 an ausgewählten Pegeln im Vergleich zu langjährigen Mittelwerten.

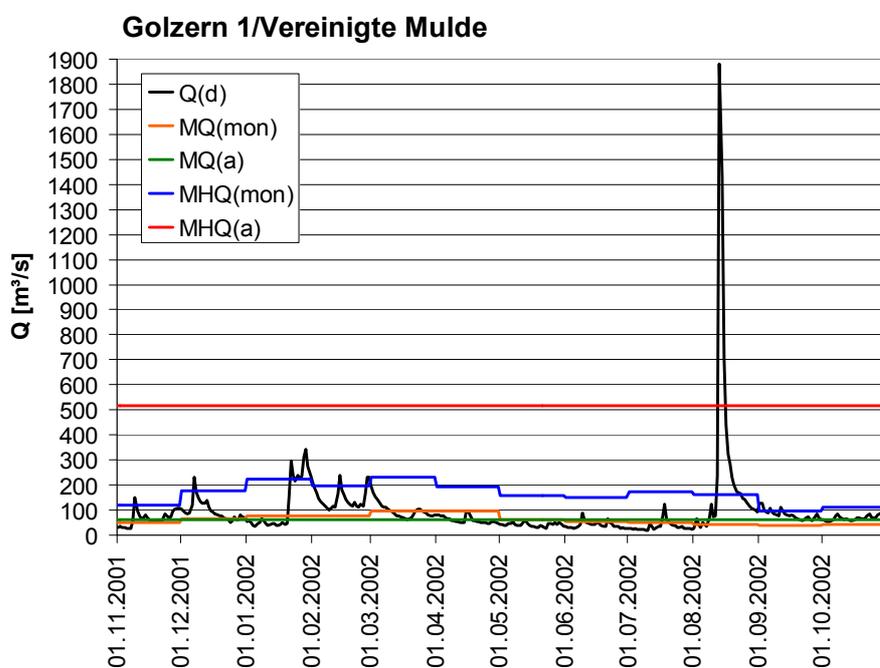


Abbildung 4: Tagesmittel des Abflusses $Q(d)$ im Abflussjahr 2002 im Vergleich zum mittleren Jahresabfluss $MQ(a)$, zu den mittleren Monatsabflüssen $MQ(mon)$, zum mittleren Jahreshochwasserabfluss $MHQ(a)$ und zu den mittleren Monatshochwasserabflüssen $MHQ(mon)$ der Beobachtungsreihe 1911/2005 am Pegel Golzern 1/Vereinigte Mulde

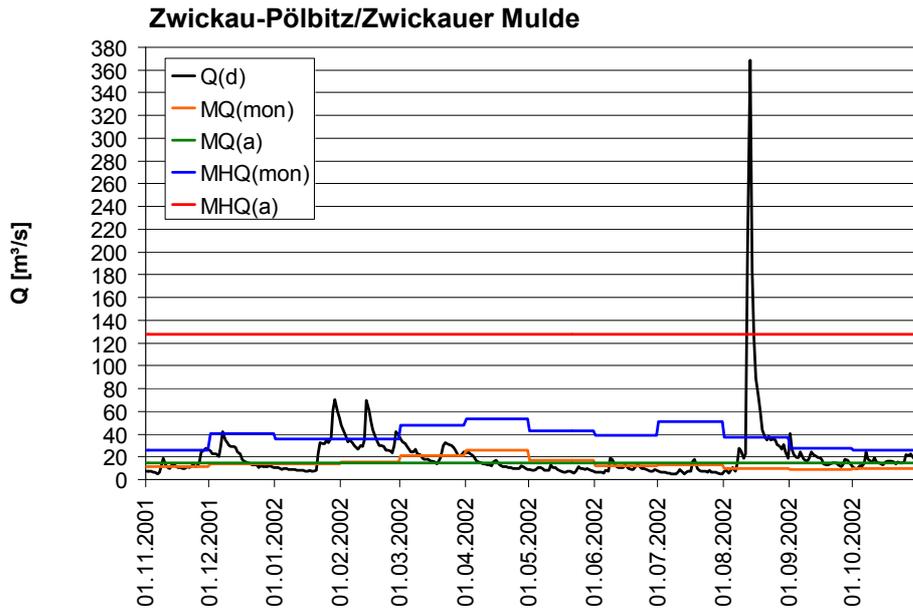


Abbildung 5: Tagesmittel des Abflusses $Q(d)$ im Abflussjahr 2002 im Vergleich zum mittleren Jahresabfluss $MQ(a)$, zu den mittleren Monatsabflüssen $MQ(mon)$, zum mittleren Jahreshochwasserabfluss $MHQ(a)$ und zu den mittleren Monatshochwasserabflüssen $MHQ(mon)$ der Beobachtungsreihe 1928/2005 am Pegel Zwickau-Pölbitz/Zwickauer Mulde

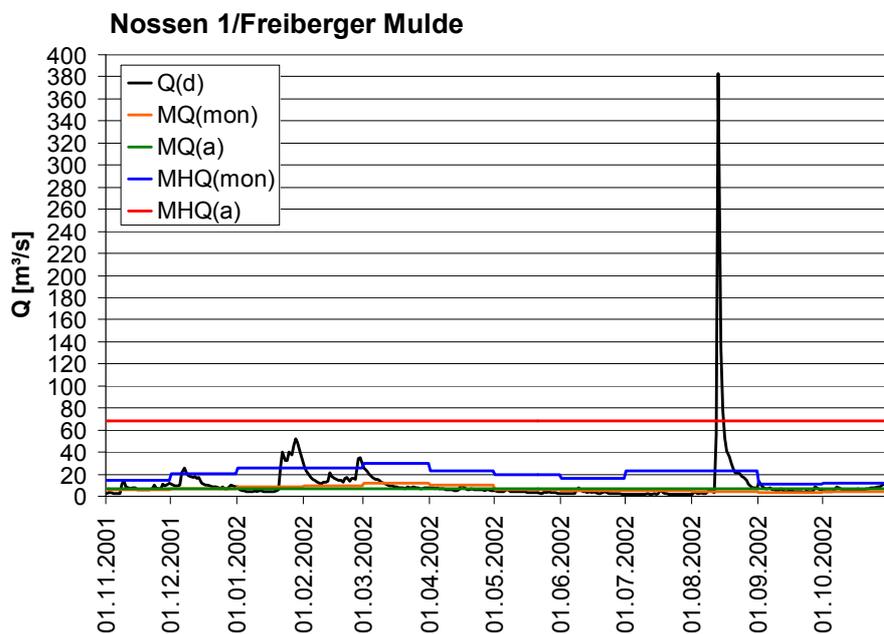


Abbildung 6: Tagesmittel des Abflusses $Q(d)$ im Abflussjahr 2002 im Vergleich zum mittleren Jahresabfluss $MQ(a)$, zu den mittleren Monatsabflüssen $MQ(mon)$, zum mittleren Jahreshochwasserabfluss $MHQ(a)$ und zu den mittleren Monatshochwasserabflüssen $MHQ(mon)$ der Beobachtungsreihe 1926/2005 am Pegel Nossen 1/Freiberger Mulde

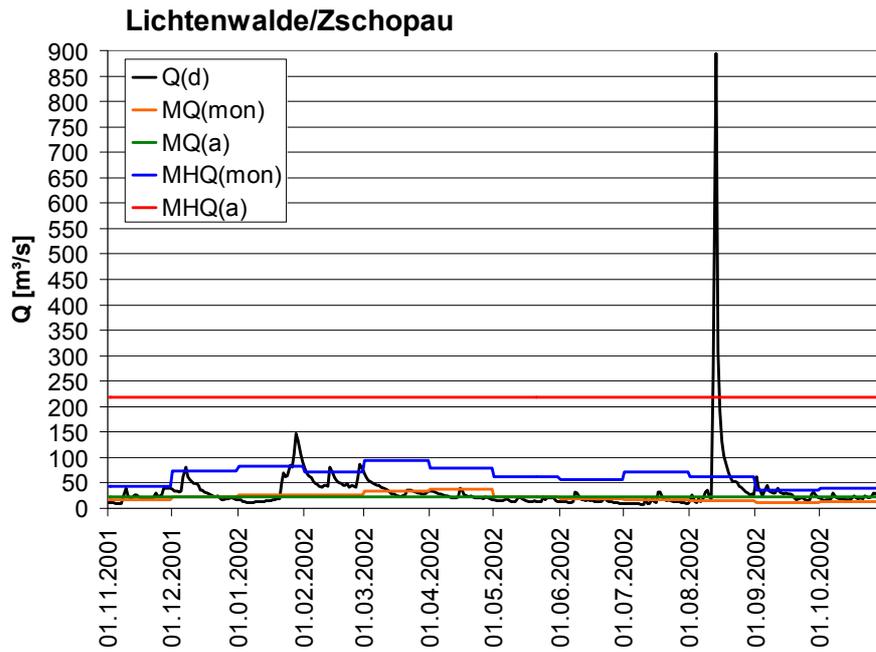


Abbildung 7: Tagesmittel des Abflusses $Q(d)$ im Abflussjahr 2002 im Vergleich zum mittleren Jahresabfluss $MQ(a)$, zu den mittleren Monatsabflüssen $MQ(mon)$, zum mittleren Jahreshochwasserabfluss $MHQ(a)$ und zu den mittleren Monatshochwasserabflüssen $MHQ(mon)$ der Beobachtungsreihe 1910/2005 am Pegel Lichtenwalde/Zschopau

4 Meteorologische Ursachen des Hochwassers

4.1 Allgemeines zur Entstehung von Sommerhochwassern in Mitteleuropa

Sommerhochwasser entstehen im Zusammenhang mit dem Auftreten von Starkniederschlägen unterschiedlicher Dauer, die dem Hochwasser zeitlich unmittelbar vorausgehen und im Allgemeinen auch während des Hochwassers zumindest anfangs noch anhalten. Die räumliche Verteilung der auftretenden Niederschlagsintensitäten entscheidet letztendlich über die Ausprägung von Hochwasser in den einzelnen Teilflussgebieten.

Es ist evident, dass die meist im Zusammenhang mit Gewittern stehenden lokalen Starkregen zu örtlichen Überschwemmungen mit zum Teil katastrophalen Ausmaßen führen können (siehe z. B. BÜTTNER, FÜGNER & WINKLER 2001 oder FICKERT 1932). Deren Ursachen sind an kräftige konvektive Luftbewegungen gebunden und daher mit hoch aufquellender Bewölkung verbunden. Konvektion wird hervorgerufen durch starke Erhitzung der unteren Luftschichten insbesondere bei ungehinderter Sonneneinstrahlung, starker Abkühlung in höheren Schichten infolge des Einfließens sehr kalter Höhenluft oder des Einfließens sehr warmer Luftmassen unter kältere. Extreme Sommerniederschläge entstehen meist durch eine Kombination der genannten Ursachen, die zudem maßgeblich durch die orografischen Eigenschaften des Gebietes wie Höhenlage, Geländeexposition, Luv- und Lee-Effekte beeinflusst werden. Stark orografisch geprägte Gewitter bilden sich vorrangig in Gebirgslagen, zum Teil auch nacheinander an verschiedenen Orten aus. Diese Erscheinung ist wiederum zurückzuführen auf die von unterschiedlichen Temperatur- und Luftdruckverhältnissen in den einzelnen Höhenlagen beeinflussten Luftbewegungen.

Eine flächendeckende Hochwassersituation mit Beteiligung aller Teilflussgebiete wird dagegen hervorgerufen durch starke, anhaltende und verbreitete Niederschläge mit prioritär advektivem Charakter.

Diese stehen hauptsächlich in Verbindung mit einem selbständigen Höhentief in der mittleren und oberen Troposphäre, das sich am südlichen Ende eines Höhentrog (Troglage) abspaltet (cut-off-Effekt) und unabhängig davon weiterbewegt. Luftmassenmäßig besteht das Höhentief aus einem abgeschlossenen Kaltluftgebiet, das auch als „Kaltlufttropfen“ bezeichnet wird und oftmals nur geringe Verlagerungstendenzen zeigt. Die Niederschlagstätigkeit wird bei diesen Erscheinungen forciert, wenn warme und sehr feuchte Meeresluft in den zyklonalen Prozess einbezogen wird.

Extreme Auswirkungen auf das Hochwasserabflussverhalten zeigen insbesondere Niederschläge in den Sommermonaten, die in Verbindung mit sogenannten Vb-Störungen¹ (sprich: „fünf b“) stehen. Dabei handelt es sich um Tiefdruckgebiete am Boden, die über dem Golf von Genua oder weiter östlich entstehen und mit geringer Verlagerungsgeschwindigkeit im Mittel von Oberitalien über Österreich/Ungarn und Polen in das Gebiet des Ladoga-sees ziehen. Diese beziehen feuchtwarmer Meeresluft aus dem Mittelmeerraum – die Wassertemperatur des Mittelmeeres beträgt im Sommer über 24 °C - in ihre Zirkulation ein, die am Rande der Kaltluft zum Aufstieg gezwungen wird. Im Grenzbereich unterschiedlich temperierter Luftmassen entstehen verbreitet lang andauernde Niederschläge, die durch orografische Effekte (Stauwirkungen) an den in der Zugrichtung liegenden Mittelgebirgen wie Bayerischer Wald, Böhmerwald, Erzgebirge und Sudeten in ihrer Intensität verstärkt werden können.

¹ Zur Systematisierung des Wetterablaufs wurden am Ende des vorigen Jahrhunderts durch VAN BEBBER (1891) fünf Zugwege von Tiefdruckgebieten über Europa beschrieben. Mit der zunehmenden wissenschaftlichen Erforschung der atmosphärischen Zirkulationen konnte diese Verallgemeinerung nicht aufrecht erhalten werden. Von den Zugbahnen ist bis heute nur die „Zugstraße V“ weitestgehend bekannt geblieben. Ihr nach Norden führender Zweig erhielt den Zusatz „b“. Die Tiefdruckgebiete weichen von dieser „Straße“ häufig weit nach Westen oder Osten ab.

Das Steuerungszentrum für die Zyklonogenese des Vb-Tiefs bildet gleichfalls ein abgeschlossenes Höhentief über Südfrankreich oder dem Golfe du Lion (Mittelmeerbucht an der Küste Frankreichs), durch das mit Unterstützung der Lee-Wirkung der Alpen Kaltluft über Westeuropa zum westlichen Mittelmeer vordringen kann. Damit verbunden ist ein starker Druckabfall in der warmen Luft der unteren Troposphäre.

Von geringerer Bedeutung für die Ausbildung extremer Hochwasser sind zyklonale West- und Nordwestlagen mit dem raschen Durchzug von Tiefdruckgebieten und ihren Ausläufern in dichter Aufeinanderfolge, wenngleich diese Wetterlagen häufiger als Troglagen zu beobachten sind. Auch deren Niederschläge erfahren in der Regel eine Intensitätsverstärkung durch Stauwirkungen am Erzgebirge und können sich somit zu ergiebigen Mengen summieren.

Die Entstehung extremer Hochwasser in räumlicher und zeitlicher Hinsicht resultiert in der Regel aus dem möglichen Zusammentreffen mehrerer meteorologischer Erscheinungen, die im Folgenden kurz zusammengefasst sind:

- intensive Kaltluftzufuhr aus nördlichen Breiten
- Ausbildung eines Vb-Tiefs
- Blockierung der Strömung über Mitteleuropa durch ein ortsbeständiges Hochdruckgebiet über Nordosteuropa
- Abspaltung eines Höhentiefs über Mitteleuropa
- orografisch bedingte Verstärkung der Hebungsprozesse

4.2 Synoptische Entwicklung

Die Großwetterlage zeigte in der ersten Augustdekade in der unteren Troposphäre einen breiten Trog mit kalter Luft arktischen Ursprungs über Osteuropa und eine hochreichende Antizyklone über Nordeuropa. Der schon im Juni und Juli vorhandene osteuropäische Hochdruckrücken war damit unter Verstärkung westwärts zur Ostsee verschoben. In Mitteleuropa waren feucht-warme, labil geschichtete Meeresluftmassen vorherrschend. Deutschland lag dabei in den ersten beiden Augustwochen im Bereich eines hochreichenden Tiefdruckwirbels, der sich unter Abschwächung langsam ostwärts bewegte. Infolge dessen traten zwischen dem 31.07. und 02.08. im Muldegebiet zunächst lokal starke Schauer und Gewitter mit Niederschlagshöhen bis 70 mm auf. Nach einer Wetterberuhigung am 02. und 03.08. lebte die Niederschlagstätigkeit in der gleichen Art wie in der Vorwoche ab dem 04.08. bis zum 09.08. wieder auf, wobei lokal wieder Niederschlagshöhen bis 70 mm zu beobachten waren. In der ersten Augustdekade summierten sich somit die Niederschläge auf Höhen von 40 bis 60 mm im Tiefland sowie auf 50 bis 110 mm im Hügel- und Bergland, örtlich sogar bis 125 mm (Abb. 8). Damit wurde bereits in der ersten Augustdekade die langjährige mittlere Monatssumme des Niederschlags erreicht (vgl. Abb. 3). In der Folge erhöhte sich die Bodenfeuchte beträchtlich.

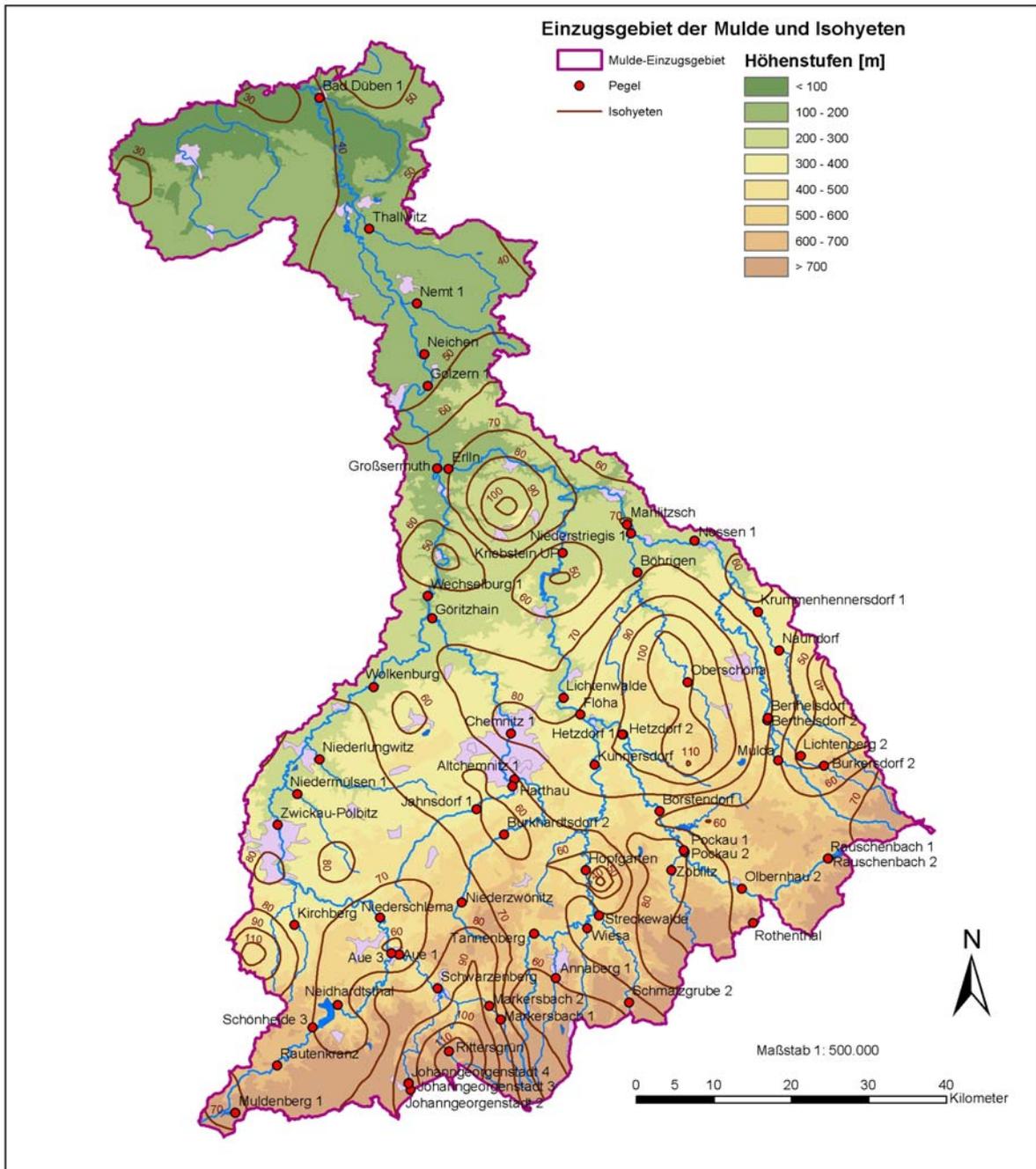


Abbildung 8: Niederschlagssumme vom 01.08. bis 10.08. (Grundlage: DEUTSCHER WETTERDIENST 2003)

Mit der Ausbildung eines Höhentrogcs am östlichen Rand des stabilen Azorenhochs - von Island ausgehend in Richtung Südosten - wurde ab dem 08.08. über nahezu drei Tage hochreichende maritime Kaltluft aus dem grönländisch-isländischen Raum bis zum westlichen Mittelmeer geführt. Dieses Nordwindband wurde im Osten durch ein Tiefdruckgebiet begrenzt, dessen Kern am 10.08. südostwärts über Südengland nach Nordfrankreich zog. Dort löste es sich schließlich auf (Abb. 9).

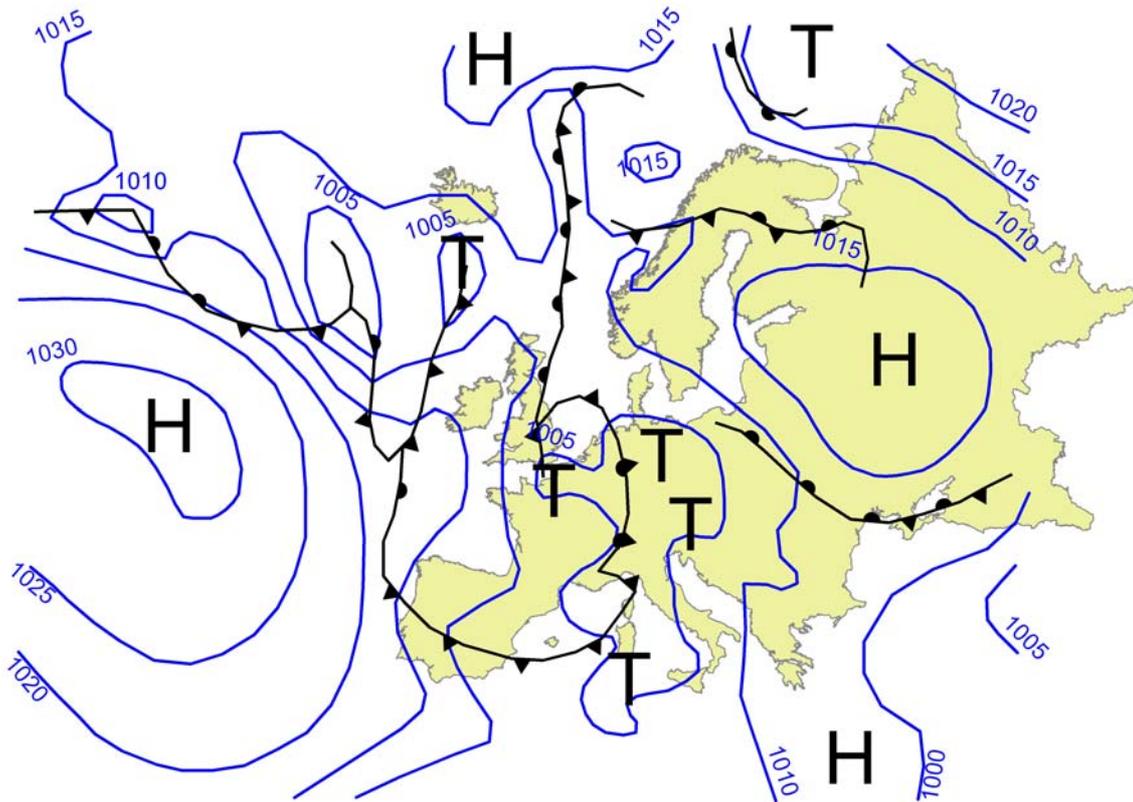


Abbildung 9: Bodenwetterkarte vom 10.08., 12.00 Uhr UTC (Grundlage: DEUTSCHER WETTERDIENST 2003)

Im südlichen Teil des Troges über Südfrankreich spaltete sich am 10.08. ein hochwirksames Höhentief („Cut-Off-Low“) ab (Abb. 10), an dessen Vorderseite (Ostflanke) der Luftdruck über Oberitalien durch dynamische Hebungsvorgänge stark abfiel.

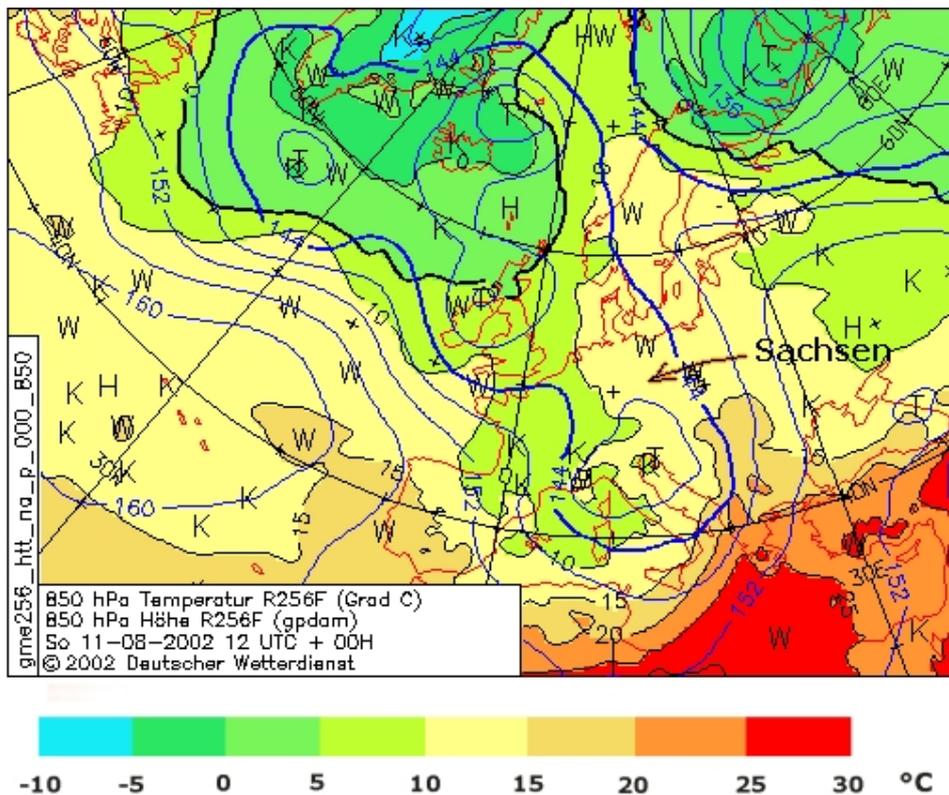


Abbildung 10: Numerische Analyse der Geopotential- und Temperaturverteilung in 850 hPa (etwa 1,5 km Höhe) am 11.08. (Quelle: DEUTSCHER WETTERDIENST 2003)

Infolge dessen bildete sich in der Nacht zum 11.08. ein Bodentief, das sich ostwärts zur nördlichen Adria verlagerte und extrem feucht-warme Luft von der Großen Syrte (Mittelmeerbucht an der Küste Lybiens) – die Tagesmaxima der Lufttemperatur lagen bei 30 °C - in die vertikale und horizontale Zirkulation einbezog (Abb. 11).

Mit dem Aufgleiten dieser Warmluft auf die über Frankreich nach Süden vorgedrungene Kaltluft erfolgte eine Verstärkung des mit dem Namen „ILSE“ versehenen Bodentiefs durch die Intensivierung der Hebungsprozesse. Bis zum Abend des 11.08. verlagerte es sich nach Venetien und dem östlichen Teil Norditaliens. Zu diesem Zeitpunkt begann im Westergebirge und südwestlich von Leipzig eine Intensivierung des Niederschlags. Unter erheblicher Verstärkung zogen die Ausläufer des Tiefs bis zum Vormittag des 12.08. über Tschechien hinweg nach Sachsen, wo die extrem feuchte Luftmasse durch eine Nordwestströmung in der Höhe auf der Rückseite des Tiefs zusätzlich zum Aufstieg an der Nordseite des Erzgebirges gezwungen wurde (Abb. 12).

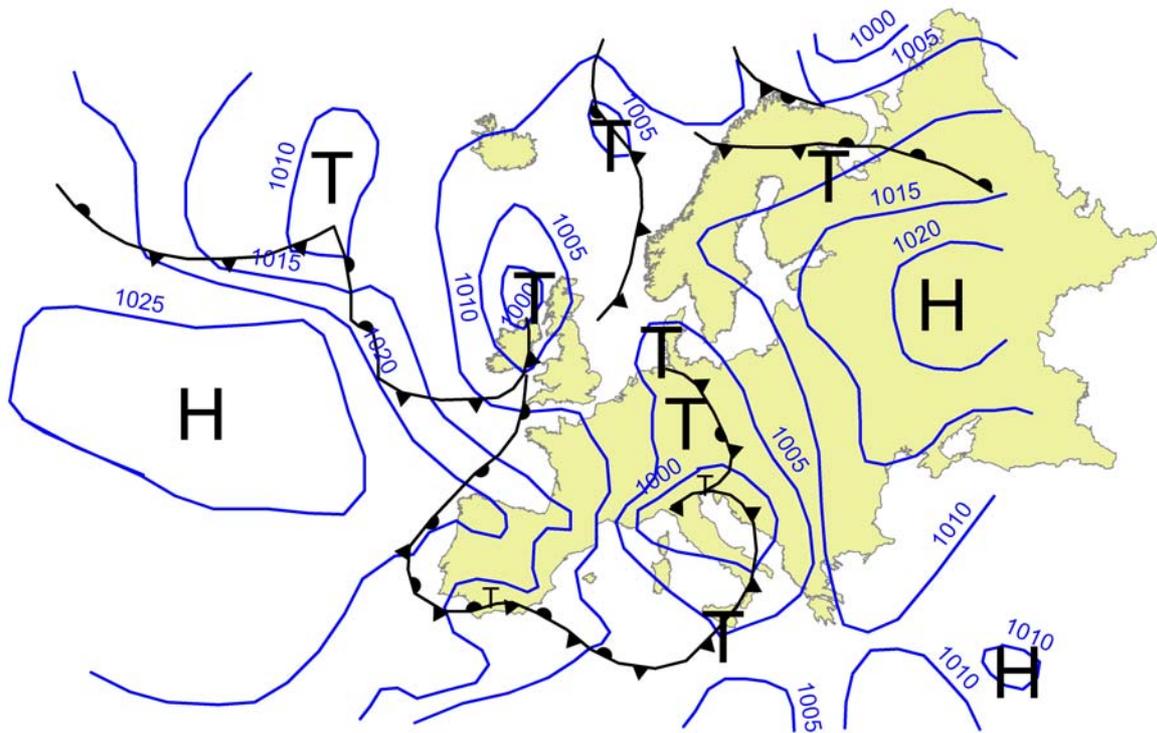


Abbildung 11: Bodenwetterkarte vom 11.08., 06.00 Uhr UTC (Grundlage: DEUTSCHER WETTERDIENST 2003)

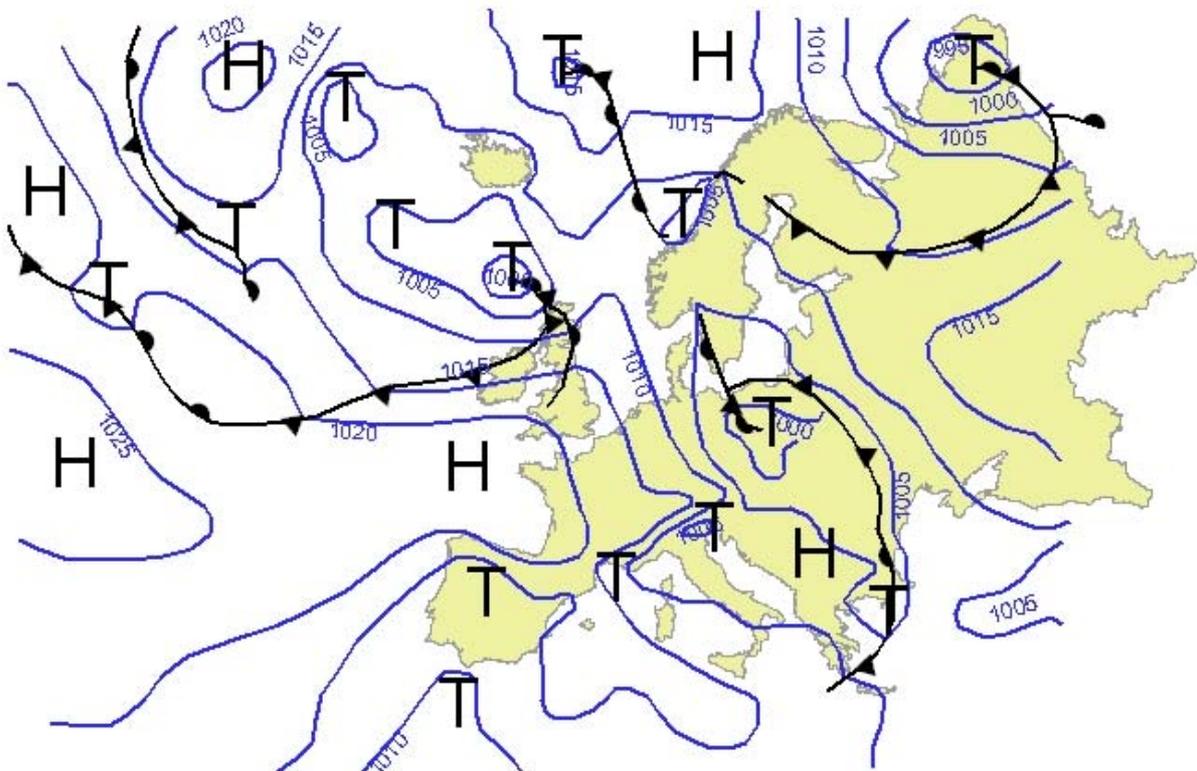


Abbildung 12: Bodenwetterkarte vom 12.08., 06.00 Uhr UTC (Grundlage: DEUTSCHER WETTERDIENST 2003)

Die Folge waren weitverbreitete Niederschläge mit außerordentlichen Intensitäten innerhalb von 24 Stunden. Der Vb-Zugbahn des Tiefs entsprechend hatten die Niederschläge bereits auf der Alpensüdseite eingesetzt und sich dann unter Verstärkung über die Schweiz, Bayern, Österreich und Tschechien nach dem Osten Deutschlands verlagert. Die beständigen kräftigen Hochdruckgebiete über West- und Nordosteuropa verhinderten den Weiterzug von „ILSE“, so dass sich das Tief stationär über Ostdeutschland eindrehte. Die feuchte Luftmasse regnete sich bis zum späten Abend des 13.08. in einem breiten Band – von den Alpen nach Nordostdeutschland reichend – aus. Besonders davon betroffen war das Einzugsgebiet der Elbe oberhalb der Saalemündung. Unter weiterer Ostwärtsverlagerung löste es sich schließlich bis zum 16.08. vollständig auf. Abb. 13 zeigt zusammenfassend die Zugbahn des Vb-Tiefs vom 09.08. bis 14.08.

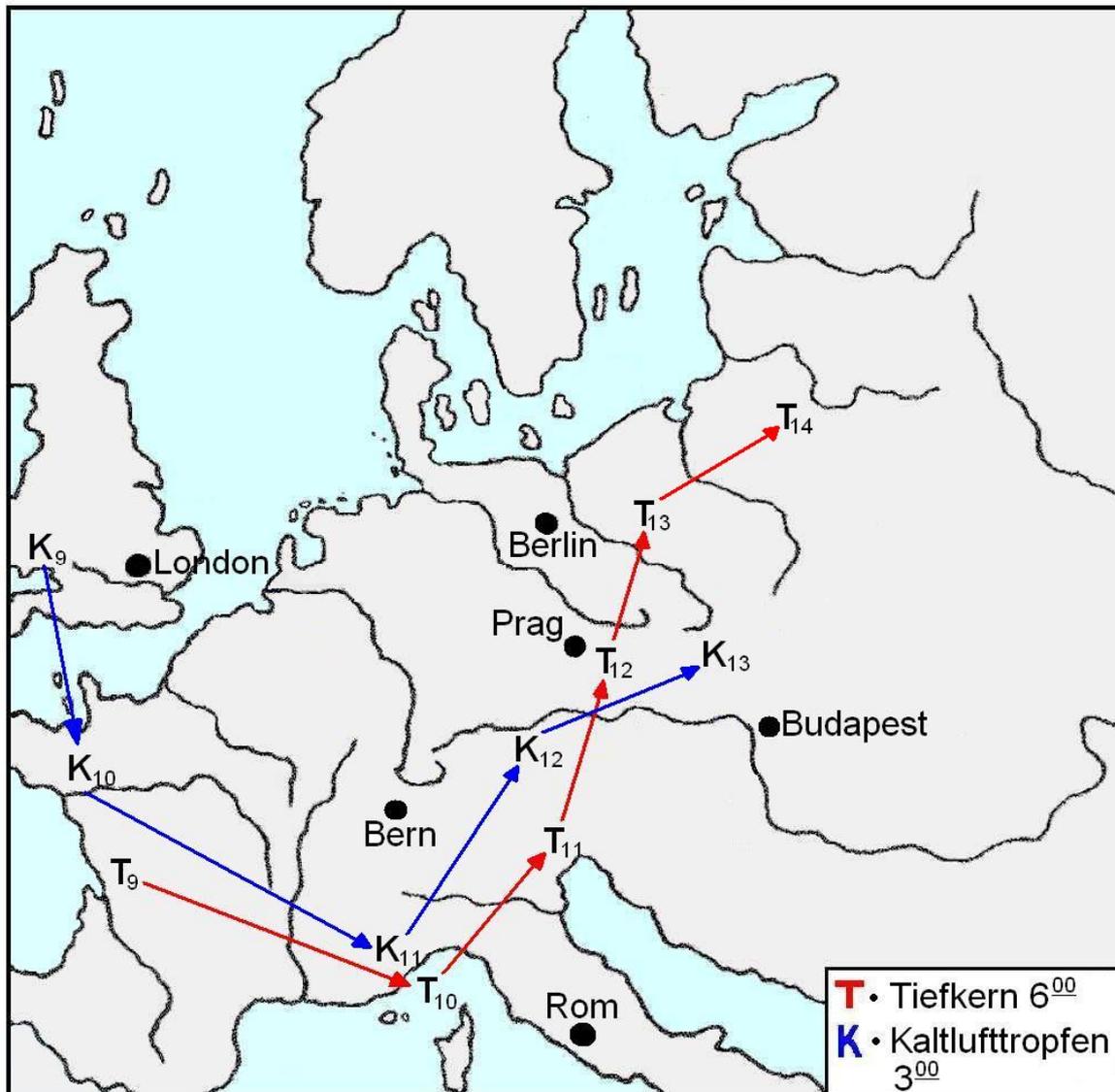


Abbildung 13: Zugbahnen des wetterbestimmenden Tiefs und des Kaltlufttropfens vom 09.08. bis 14.08. (nach RUDOLF & RAPP 2003, ergänzt)

In der zweiten Monatshälfte war Hochdruckeinfluss wetterbestimmend. Tiefausläufer unterbrachen die im Wesentlichen trockene Witterung mit einzelnen lokal auftretenden Schauern und Gewittern, die insbesondere am Monatsende auch mit ergiebigem Regen verbunden waren.

Der DEUTSCHE WETTERDIENST (2003) benennt für die Entstehung dieses Hochwassers folgende meteorologisch-synoptischen Ursachen:

1. Aufgleiten feucht-warmer Mittelmeerluft vor allem in höheren Schichten auf die von Norden einströmende Kaltluft
2. in das Niederschlagsgeschehen eingelagerte konvektive Prozesse vor allem im Osten des Regengebietes im Zusammenhang mit extremen Wasserdampfgehalten der Luftmasse bis in große Höhen und einer potenziell instabilen Schichtung
3. orografische Verstärkung der Niederschlagsbildung durch die erzwungene Hebung der Luftmassen im Nordstau der sächsischen Mittelgebirge aufgrund der Position des Tiefdruckgebietes und der Druckgradientverschärfung sowie der damit verbundenen deutlichen Verstärkung des Nordwestwindes.
4. lange Andauer der Hebungsprozesse infolge der sich nur langsam ändernden großräumigen Druck- und Strömungsverteilung über Mitteleuropa

Die Anteile der ersten drei genannten Ursachen können auf der Grundlage aller verfügbaren Beobachtungen für das Erzgebirge wie folgt grob abgeschätzt werden:

- ca. 30 % flächenhafter (skaliger) Niederschlag
- ca. 10 % konvektiver Niederschlag (Schauer, Gewitter)
- ca. 60 % maximale orografische Verstärkung

Der Stau effekt am Nordabfall des Erzgebirges hatte demzufolge die größte Bedeutung für die Hochwasserentstehung im Muldegebiet.

4.3 Niederschläge

4.3.1 Methodik der Niederschlagsinterpolation und Gebietsniederschlagsbestimmung

Für die deterministische Analyse von Hochwassern werden zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Niederschlagsdaten benötigt. Die Daten der Standardmessnetze des Deutschen Wetterdienstes allein reichen dafür in der Regel nicht aus. Zur Verbesserung der Niederschlagsschätzung können Niederschlagsradar Daten hinzugezogen werden.

Mit dem Ziel der bestmöglichen räumlichen Schätzung von stündlichen Niederschlagshöhen wurden von SCHUMANN & HABERLANDT (2004) unter Verwendung aller beim Deutschen Wetterdienst verfügbaren Stations- und Radar Daten sowie Informationen zu geodätischen Höhen vergleichende Untersuchungen mit folgenden Interpolationsverfahren durchgeführt:

- Thiessen oder „Nächster Nachbar“ (ToNN),
- Inverse Distanz (IDW),
- Ordinary Kriging (OK),
- Conditional External Drift Kriging (CEDK) und
- Indikator kriging (IK).

Die ersten vier Verfahren wurden vergleichend für die Niederschlagsinterpolation und das letzte für die Interpolation der Wiederkehrintervalle verwendet. Zur überblickhaften Beschreibung dieser Verfahren mit weiteren Literaturangaben insbesondere zu den geostatistischen Verfahren und verschiedenen Anwendungen sei auf HABERLANDT, SCHUMANN & BÜTTNER (2005) verwiesen.

Zur Erfassung des gesamten Niederschlagsgebietes erfolgte eine Ausdehnung der Untersuchung auch auf die dem Muldegebiet benachbarten Einzugsgebiete der Weißen Elster und der Nebenflüsse der oberen Elbe in Sachsen. Dazu wurden Tageswerte von 283 Stationen (RR-Kollektiv, Summe jeweils von 07.00 Uhr des Tages bis 07.00 Uhr des Folgetages), Stundenwerte von 21 Stationen (MI-Kollektiv) und Radardaten von drei Standorten einbezogen. Die Abb. 14 zeigt die Lage und Verteilung der zur Verfügung stehenden Niederschlagsstationen im und um das Untersuchungsgebiet.

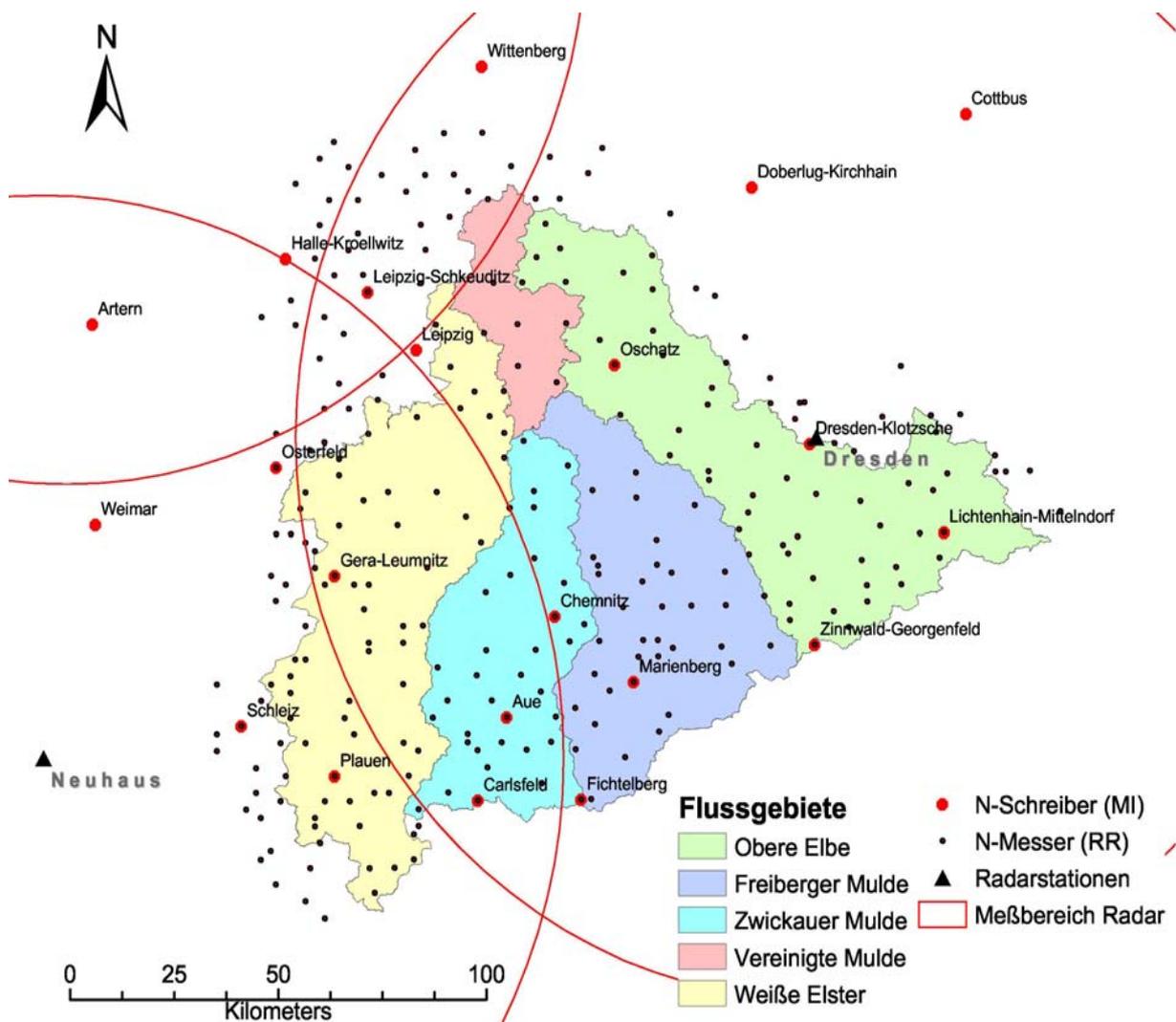


Abbildung 14: Untersuchungsgebiet mit Flussteilgebieten, Niederschlagsstationen und Radarstandorten (der im Nordwesten liegende Radarstandort Ummendorf ist nicht sichtbar, Quelle: SCHUMANN & HABERLANDT 2004)

Die Daten der MI-Stationen lagen als 5-min-Summen vor und wurden vor der weiteren Analyse zu Stundenwerten, jeweils für volle Stunden (z.B. 00.00 Uhr – 01.00 Uhr, 01.00 Uhr – 02.00 Uhr, ...), aggregiert. Vor der Interpolation wurden Plausibilitätsprüfungen speziell hinsichtlich von möglichen Ausreißern in den Niederschlagsdaten durchgeführt.

Räumliche Schätzungen erfolgten für das Gesamtereignis, die Tages- und die Stundenniederschläge zunächst auf der Basis einer einfachen Stationsstatistik und der erforderlichen Variogramme. Zum Vergleich der Interpolationsgüte der oben genannten Verfahren wurden die Kreuzvalidierung und das Verhältnis der Varianz der Schätzwerte zur Varianz der Beobachtungswerte verwendet. Mit dem für jede zeitliche Diskretisierung geeignetsten Verfahren erfolgte schließlich die Interpolation auf ein orthogonales Raster mit einer räumlichen Auflösung von 1 km x 1 km.

Radardaten standen in Form des DH- und DX-Produktes (DEUTSCHER WETTERDIENST 2002) zur Verfügung. Diese wurden mit den Bodendaten synchronisiert, durch die Entfernung von Festechos korrigiert und an Tageswerten geeicht.

Aus den durchgeführten Untersuchungen lassen sich u. a. folgende Schlussfolgerungen ziehen (HABERLANDT, SCHUMANN & BÜTTNER 2005):

- Mit der Thiessen- und der Inverse-Distanz-Methode (konventionelle Verfahren) konnten bei der räumlichen Niederschlagsschätzung der Tagesniederschläge Ergebnisse erzielt werden, die von denen der aufwendigeren geostatistischen Verfahren nur unwesentlich abweichen. Die Berücksichtigung der Topographie trug nicht zur Verbesserung der Ergebnisse bei. Zur Beschreibung des räumlichen Verhaltens der Tagesniederschläge wurde das Ordinary-Kriging-Verfahren verwendet (Abschnitt 4.3.2).
- Für die Interpolation von Stundenwerten zeigten die geostatistischen Verfahren eine bessere Eignung, wobei die Einbeziehung von Tagesmesswerten deutliche, zusätzliche Informationen zur Topographie jedoch nur geringfügige Verbesserungen brachten. Die besten Ergebnisse ergaben sich mit dem multivariaten External Drift Kriging unter Einbeziehung von Tageswerten und Radardaten, die die Grundlage für die Darstellungen im folgenden Abschnitt 4.3.2 bilden.

Die Ermittlung der Zeitreihen von Gebietsniederschlägen erfolgte in folgenden Schritten:

1. Interpolation des Niederschlages für jede Stunde auf ein Raster von 1 km x 1 km mit den oben genannten Verfahren
2. Räumliche Aggregation der Niederschläge für 176 spezifische Teilgebiete (Abb. 15) durch arithmetische Mittelung der Niederschläge aller Rasterflächen
3. Ermittlung der zu den gesuchten Pegeln beitragenden Teilgebiete aus der gegebenen Information über den jeweiligen Unterlieger für jedes Teilgebiet
4. Aggregation des Niederschlages für die Pegeleinzugsgebiete aus den beitragenden spezifischen Teilgebieten durch flächengewichtete Mittelung

Die Abb. 15 zeigt die spezifischen Teilgebiete, die 58 verwendeten Pegel und die 12 Talsperreneinzugsgebiete für das von SCHUMANN & HABERLANDT (2004) untersuchte Gebiet.

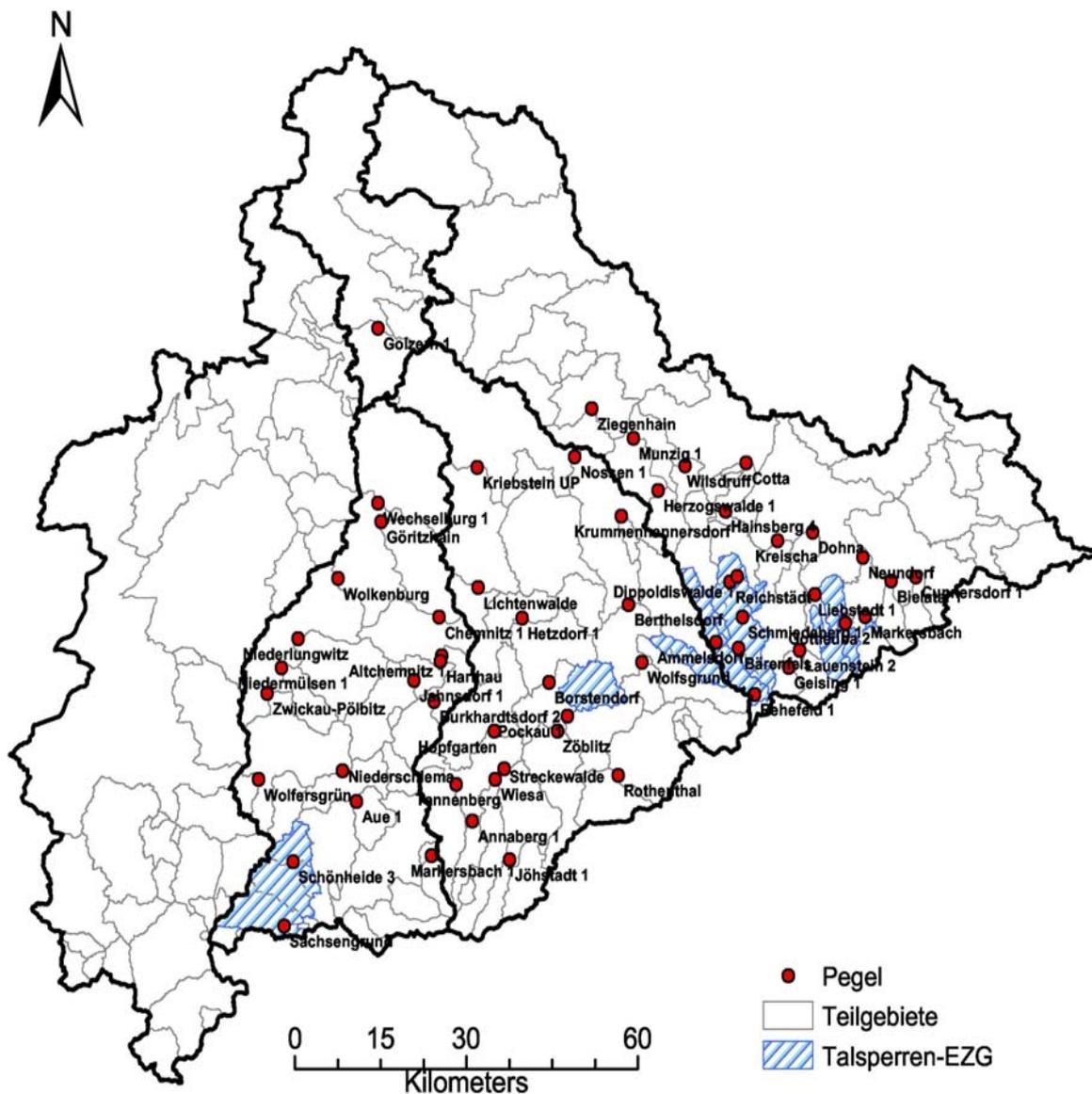


Abbildung 15: Verwendete Pegel, spezifische Teilgebiete und Talsperreneinzugsgebiete
(Quelle: SCHUMANN & HABERLANDT 2004)

4.3.2 Zeitlicher Ablauf und Intensität der Niederschläge

Der höchste Tagesniederschlag innerhalb des zum Hochwasser führenden Wetterereignisses betrug 312 mm in der Zeit vom 12.08., 7:00 MEZ bis 13.08., 7:00 MEZ. Dieser Wert wurde in Zinnwald-Georgenfeld beobachtet. Diese Station befindet sich nur rund 6 km Luftlinie von der Einzugsgebietsgrenze der Freiburger Mulde entfernt im Gebiet der Müglitz (Nebenfluss zur oberen Elbe). Der 24-stündige Niederschlag zwischen dem 12.08., 04.00 MEZ und dem 13.08., 04.00 Uhr MEZ erreichte sogar 352,7 mm. Der höchste, vor dem 12.08.2002 für Deutschland bekannte Tagesniederschlag am 06.07.1906 mit 260 mm in Zeithain bei Riesa an der Elbe, - also ebenfalls in Sachsen gemessen - wurde deutlich überschritten.

Die Abb. 16 zeigt den Verlauf der Tagessummen der Gebietsniederschläge in der ersten Augushälfte für die drei Flussgebiete der Nebenflüsse der oberen Elbe, der Freiburger Mulde und der Zwickauer Mulde. Die Periode des Hochwasser auslösenden Niederschlagsereignisses erstreckte sich über vier Tage vom 10. bis 13.08.2002. Die höchsten Niederschläge traten in allen Flussgebieten am 12.08.2002 auf. Der räumliche Schwerpunkt des Ereignisses lag über dem Osterzgebirge und betraf die Quellregionen der zur Elbe direkt entwässernden Wilden und Roten Weißeritz, der Müglitz sowie der Freiburger Mulde.

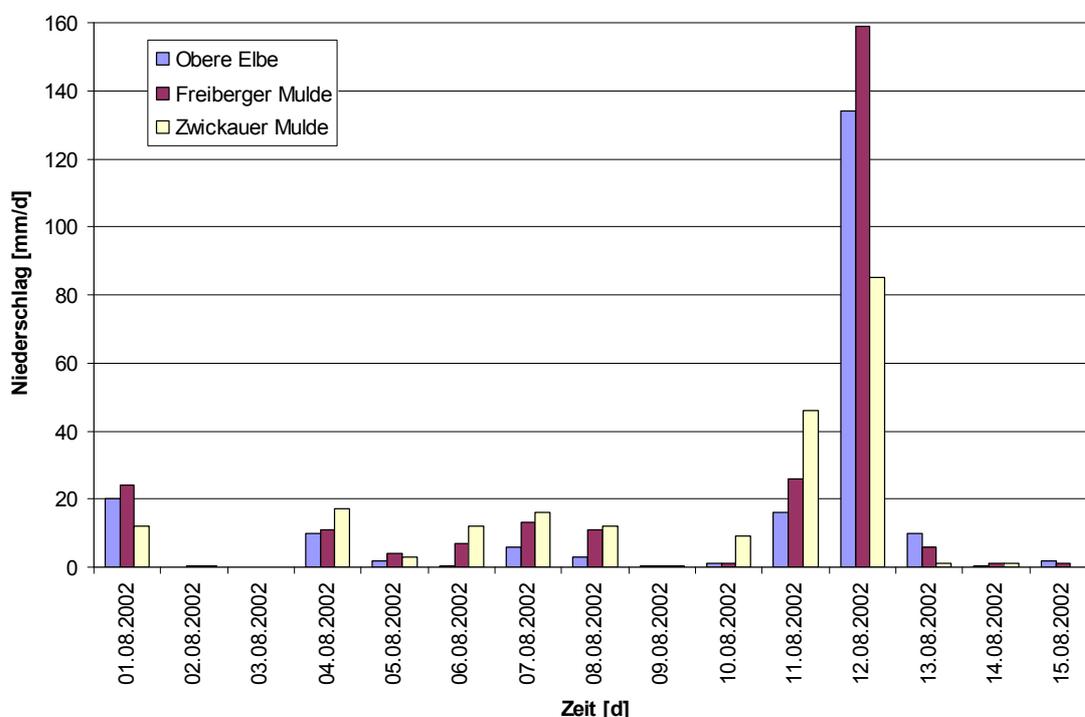


Abbildung 16: Tagessummen der Gebietsniederschläge für die Flussgebiete der Nebenflüsse der oberen Elbe, der Freiburger Mulde und Zwickauer Mulde vom 01.08. bis 15.08. mit dem OK

Die Abb. 17 zeigt die räumliche Verteilung der Niederschlagssumme für das Gesamt ereignis. Es ergibt sich ein Gebietsniederschlag von 144 mm bezogen auf das gesamte Untersuchungsgebiet (vgl. Abb. 14). Es wird deutlich, dass die extrem hohen Niederschlagssummen von mehr als 300 mm speziell in den Quellregionen der Flüsse des Osterzgebirges und teilweise des mittleren Erzgebirges auftraten. Das Flussgebiet der Weißen Elster lag bereits weitgehend außerhalb der extremen Niederschläge. Auch die nördlichen Teile der Flussgebiete von Vereinigter Mulde und der nördlichen Nebenflüsse der oberen Elbe haben nur vergleichsweise geringe Niederschläge erhalten. Die beobachteten Niederschlagshöhen lassen sich, bezogen auf einzelne Teile des Muldegebietes, wie folgt klassifizieren (Tabelle 4):

Tabelle 4: Beobachtete Gebietsniederschlagshöhen in Teilen des Muldegebietes vom 10.08. bis 13.08.

Niederschlagshöhe [mm]	Flussteilgebiet
100 – 140	Vereinigte Mulde Zwickauer Mulde unterhalb Pegel Wolkenburg mit Chemnitz ohne Zwönitz und Würschnitz
140 – 180	Zwickauer Mulde zwischen den Pegeln Niederschlema und Wolkenburg Zwönitz Würschnitz Freiberger Mulde unterhalb Pegel Nossen 1 mit Striegis und Zschopau unterhalb Flöha
180 – 220	Zwickauer Mulde bis zum Pegel Zwickau-Pölbitz Zschopau oberhalb Flöha
220 – 250	Flöha
250 – 300	Freiberger Mulde oberhalb Pegel Nossen 1

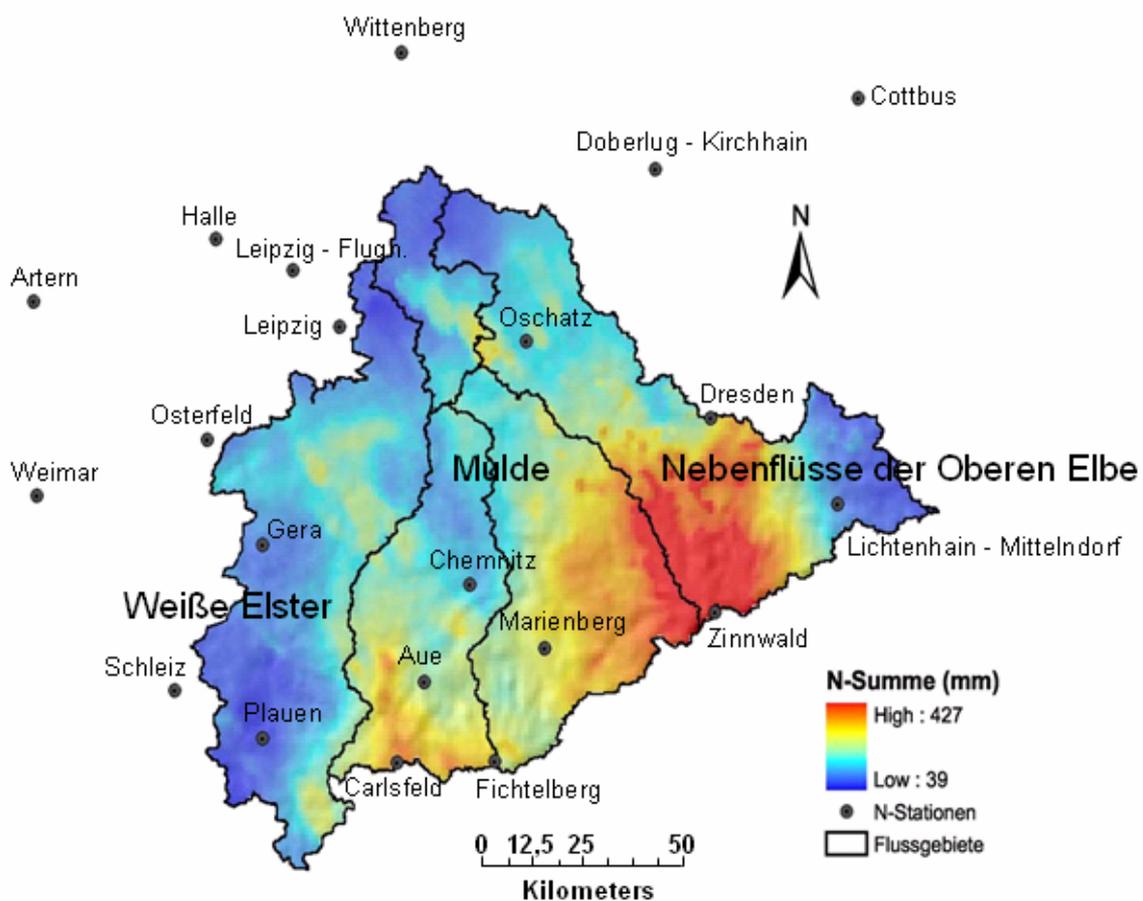


Abbildung 17: Räumliche Verteilung der Summe der stündlichen interpolierten Stationsniederschläge mit CEDK (Zusatzinformationen aus Radarmessung und Ereignissumme) für das Gesamt ereignis vom 10.08. bis 13.08.

Der anfangs nur lokal auftretende Niederschlag beginnt am 10.08.2002 im westlichen Teil des Untersuchungsgebietes nach Abb. 14 mit Tagessummen von nicht mehr als 30 mm/d. Auch am 11.08.2002 bleibt das Zentrum des jetzt flächendeckenden Niederschlages über den Einzugsgebieten von Zwickauer Mulde und der Pleiße mit Intensitäten bis zu ca. 100 mm/d, wobei im Osterzgebirge auch schon Tagesniederschläge um 60 mm beobachtet werden. Am 12.08.2002 fallen die höchsten Niederschläge in dieser viertägigen Periode mit Intensitäten von teilweise über 300 mm/d, wobei sich der regionale Schwerpunkt nach Osten über die Quellgebiete von Freiburger Mulde, Weißeritz und Müglitz verschoben hat. Am 13.08.2002 treten nur noch vergleichsweise geringe Niederschläge bis etwa 30 mm/d auf, wobei eine weitere Verschiebung des Regenpunktes nach Osten zu beobachten ist. Die räumliche Verteilung des Niederschlages am 12.08.2002 entspricht nahezu dem Niederschlagsmuster für die gesamte Ereignissumme (Abb. 18).

Die Abb. 19 - 21 zeigen die räumliche Verteilung der stündlichen Niederschläge am 12.08., dem Tag mit dem höchsten Tagesniederschlag, wobei die innertägliche räumliche Differenzierung deutlich wird.

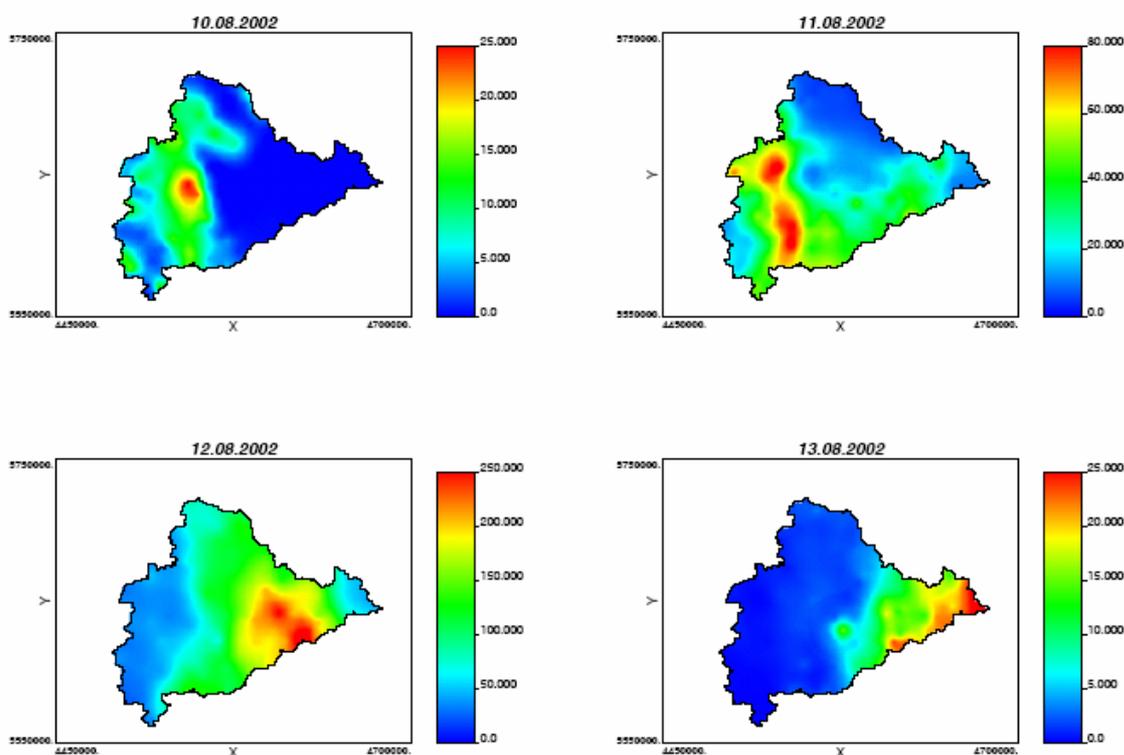


Abbildung 18: Räumliche Verteilung der Niederschlagssummen in mm für die einzelnen Tage vom 10.08. bis 13.08.2002 mit dem OK

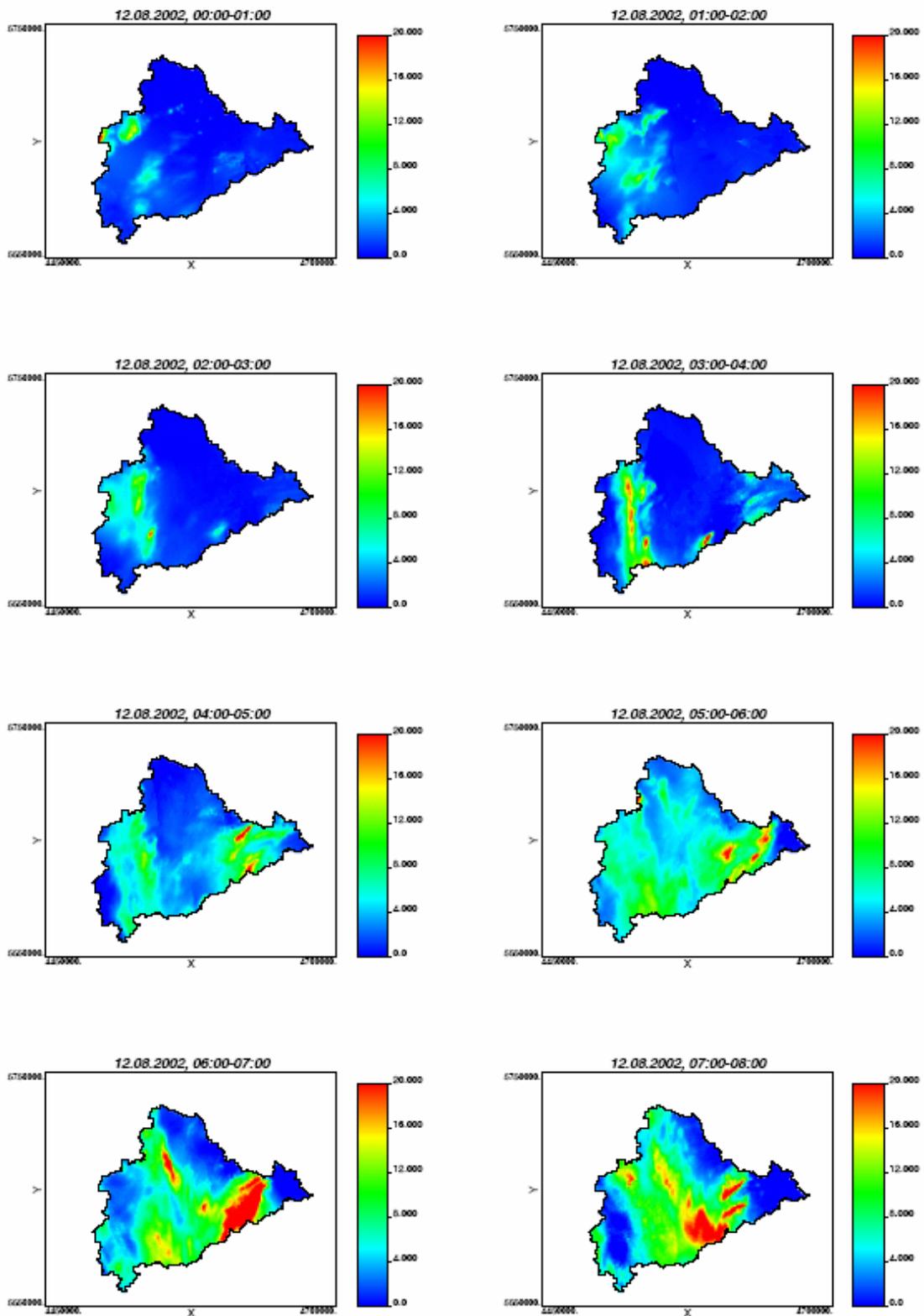


Abbildung 19: Räumliche Verteilung der stündlichen Niederschläge in mm/h am 12.08. von 00.00 Uhr bis 08.00 Uhr MEZ mit dem CEDK (Zusatzinformationen aus Radarmessung und Ereignis-summe)

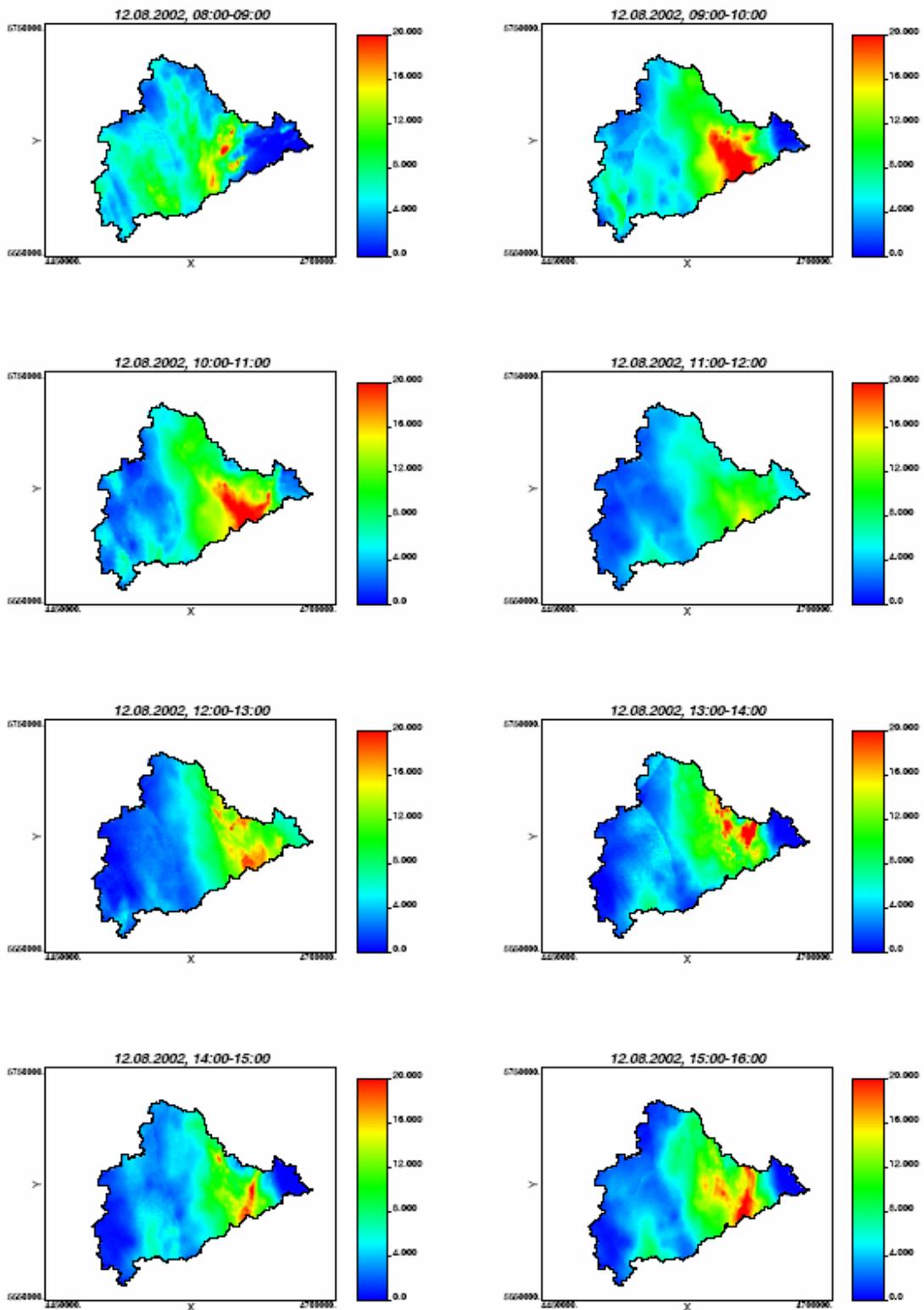


Abbildung 20: Räumliche Verteilung der stündlichen Niederschläge in mm/h am 12.08. von 08.00 Uhr bis 16.00 Uhr MEZ mit dem CEDK (Zusatzinformationen aus Radarmessung und Ereignis-summe)

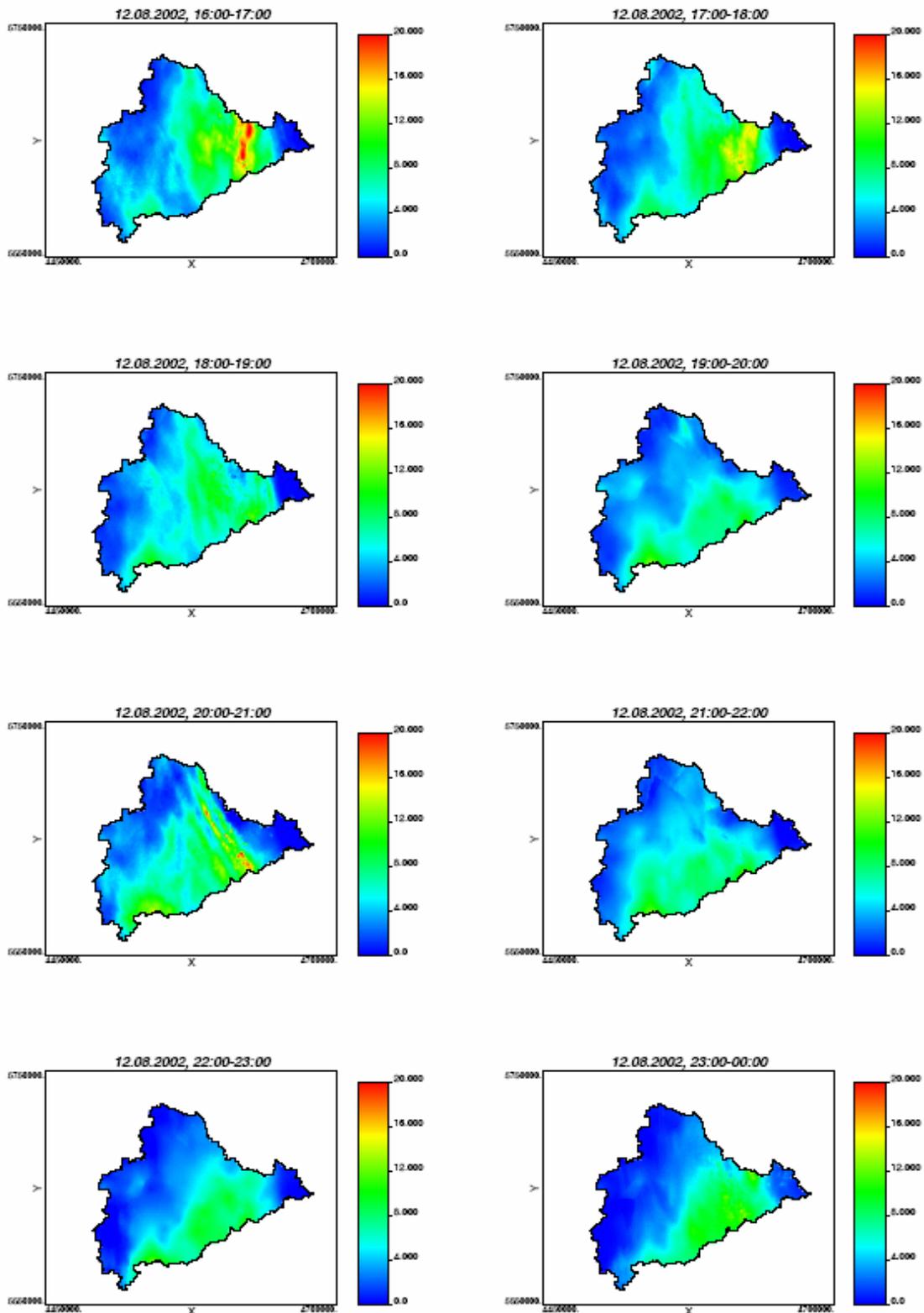


Abbildung 21: Räumliche Verteilung der stündlichen Niederschläge in mm/h am 12.08. von 16.00 Uhr bis 24.00 Uhr MEZ mit dem CEDK (Zusatzinformationen aus Radarmessung und Ereignis-summe)

Im Vergleich sind in den Abb. 22 - 25 die stündlichen Niederschläge an ausgewählten Stationen des Deutschen Wetterdienstes vom 11.08., 07.00 Uhr MEZ bis 14.08., 07.00 Uhr MEZ dargestellt:

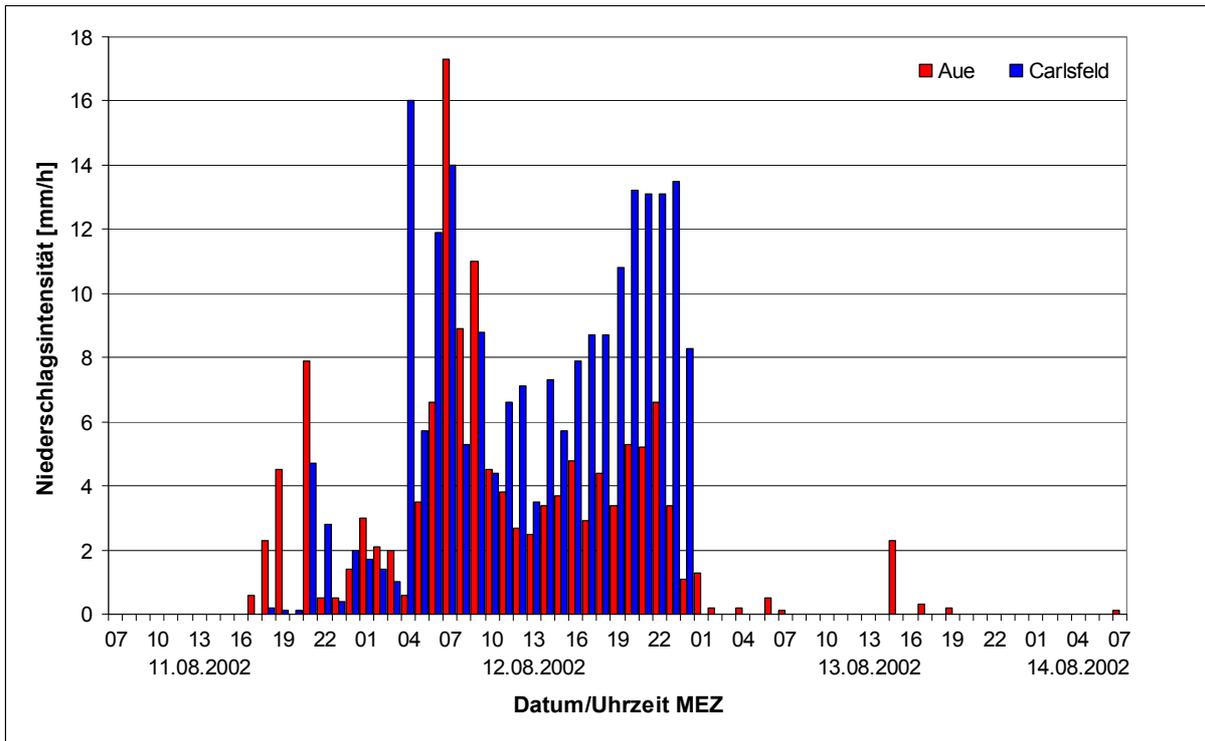


Abbildung 22: Stündliche Niederschläge an den Stationen Aue und Carlsfeld vom 11.08., 07.00 Uhr MEZ bis 14.08., 07.00 Uhr MEZ

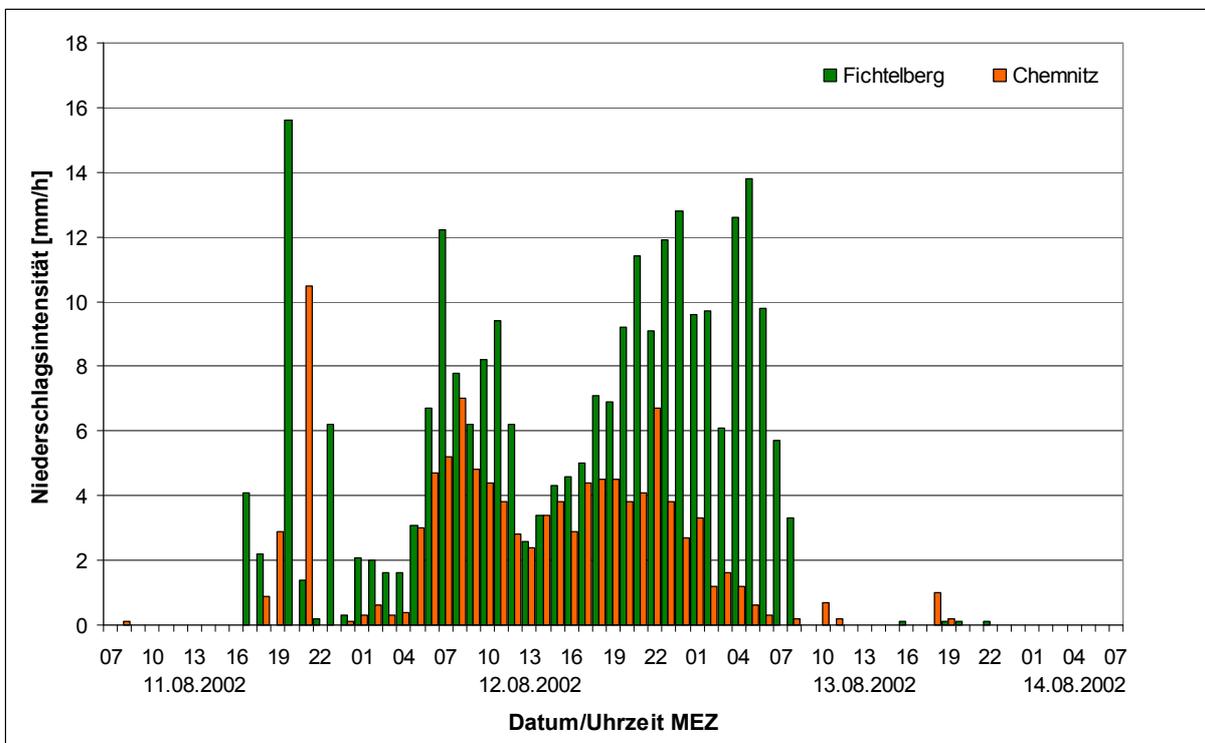


Abbildung 23: Stündliche Niederschläge an den Stationen Fichtelberg und Chemnitz vom 11.08., 07.00 Uhr MEZ bis 14.08., 07.00 Uhr MEZ

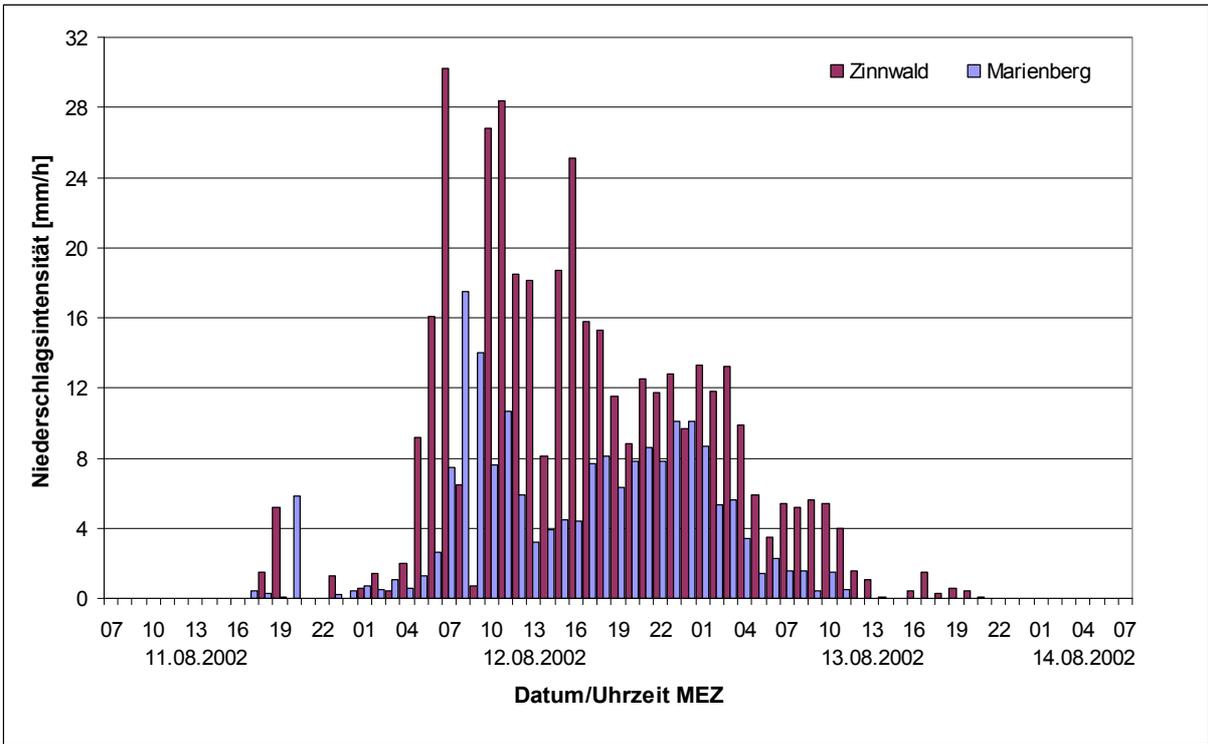


Abbildung 24: Stündliche Niederschläge an den Stationen Zinnwald und Marienberg vom 11.08., 07.00 Uhr MEZ bis 14.08., 07.00 Uhr MEZ

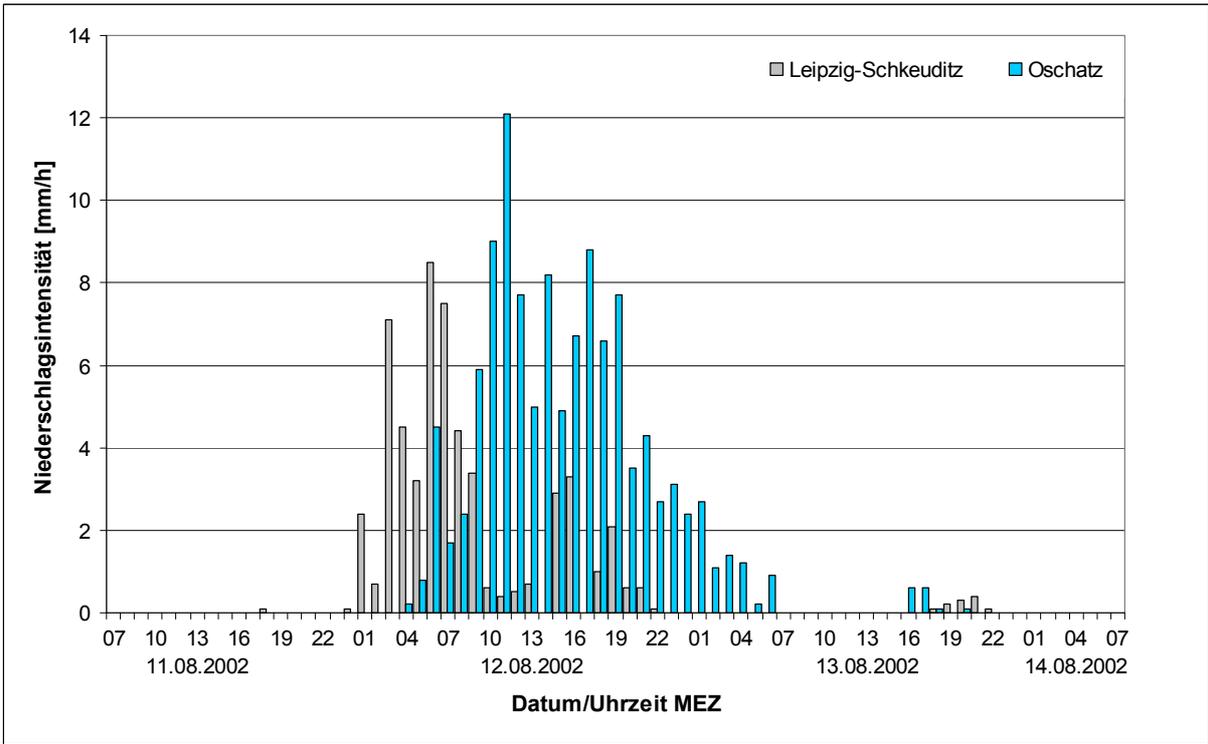


Abbildung 25: Stündliche Niederschläge an den Stationen Leipzig-Schkeuditz und Oschatz vom 11.08., 07.00 Uhr MEZ bis 14.08., 07.00 Uhr MEZ

In der Abb. 26 sind die Gebietsniederschlagssummen für 38 Pegelzugsgebiete im Muldegebiet den Flächen-
größen gegenübergestellt. Mit einer oberen Umhüllenden (rote Linie) erkennt man die typische Abnahme des
Niederschlages mit zunehmender Fläche. Für Einzugsgebiete kleiner 100 km², in denen die konvektive Nieder-
schlagskomponente eine größere Bedeutung gegenüber der advektiven erlangt, werden Gebietsniederschläge
von über 300 mm erreicht.

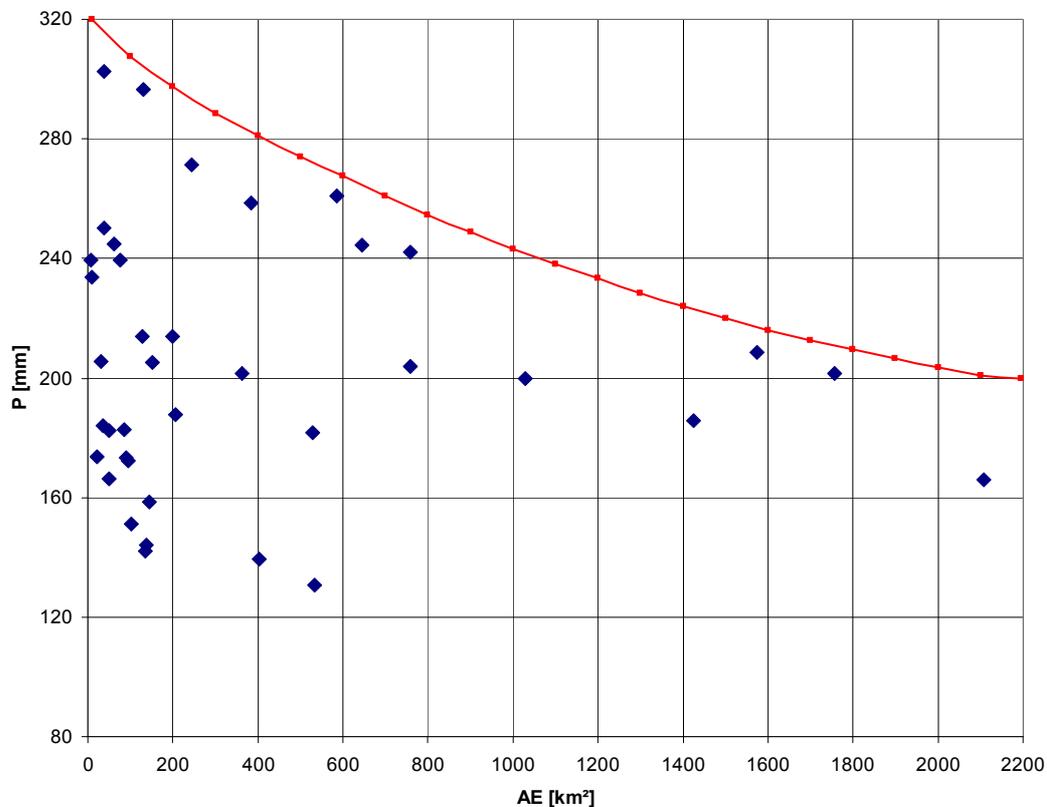


Abbildung 26: Gebietsniederschlagssummen vom 10.08., 00.00 Uhr bis 13.08.2002, 24.00 Uhr MEZ für 38 Pegelzugsgebiete im Muldegebiet in Abhängigkeit von der Einzugsgebietsfläche, berechnet mit CEDK (Zusatzinformationen aus Stundenniederschlägen, Tagesniederschlägen und Radarmessung)

Abb. 27 verdeutlicht im Zusammenhang mit Tabelle 5 das Verhältnis zwischen dem Gebietsniederschlag der Pegelzugsgebiete zum mittleren jährlichen Gebietsniederschlag der Beobachtungsreihe von 1961 bis 1990 (Quelle: DWD). Die Teileinzugsgebiete sind farblich unterschiedlich hervorgehoben.

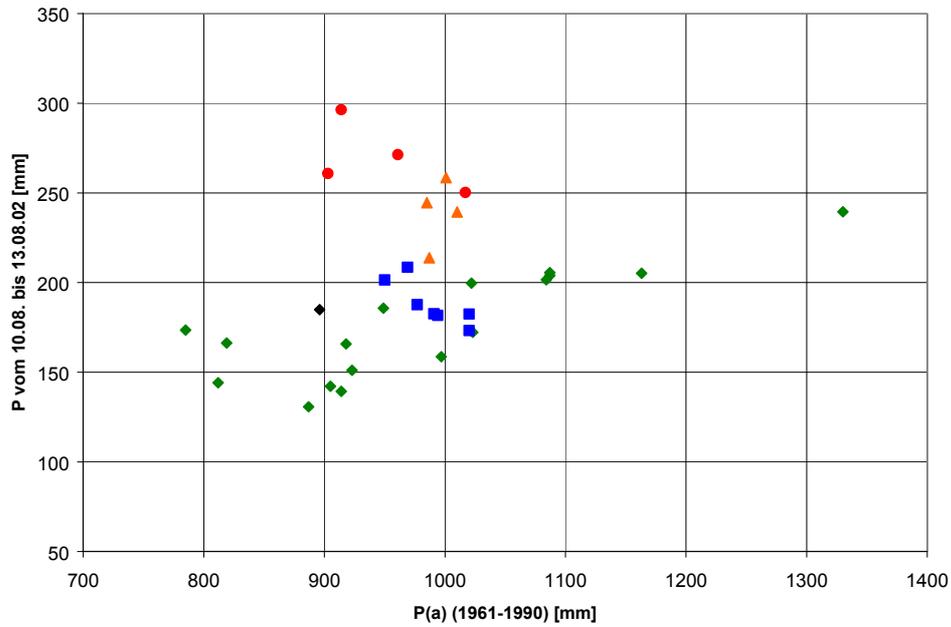


Abbildung 27: Gebietsniederschlagssummen P vom 10.08., 00.00 Uhr bis 13.08.2002, 24.00 Uhr MEZ für 33 Pegelinzugsgebiete im Muldegebiet in Abhängigkeit vom mittleren jährlichen Gebietsniederschlag P(a) der Reihe 1961-1990 (farbliche Unterscheidung gemäß Tabelle 5)

Tabelle 5: Gebietsniederschlagssummen P vom 10.08., 00.00 Uhr bis 13.08.2002, 24.00 Uhr MEZ für 33 Pegeleinzugsgebiete im Muldegebiet in Abhängigkeit vom mittleren jährlichen Gebietsniederschlag P(a) der Reihe 1961-1990

Flussgebiet	Pegel/ Gewässer	AE [km ²]	P (10.08.-13.08.02) [mm]	P(a) (1961-1990) [mm]	P/P(a)
Vereinigte Mulde	Golzern 1/ Vereinigte Mulde	5442	184,9	896	0,21
Zwickauer Mulde	Schönheide 3/ Zwickauer Mulde	152	205,2	1163	0,18
	Niederschlema/ Zwickauer Mulde	759,4	203,9	1087	0,19
	Zwickau-Pöbitz/ Zwickauer Mulde	1029,7	199,7	1022	0,20
	Wolkenburg/ Zwickauer Mulde	1424	185,7	949	0,20
	Wechselburg 1/ Zwickauer Mulde	2107	165,8	918	0,18
	Sachsengrund/ Große Pyra	6,6	239,5	1330	0,18
	Aue 1/ Schwarzwasser	362,5	201,6	1084	0,19
	Markersbach 1/ Große Mittweida	30	205,6	1087	0,19
	Wolfersgrün/ Hirschfelder Wasser	22,2	173,5	785	0,22
	Niedermülsen 1/ Mülsenbach	49,9	166,3	819	0,20
	Niederlungwitz/ Lungwitzbach	137,6	144,2	812	0,18
	Chemnitz 1/ Chemnitz	403,2	139,4	914	0,15
	Göritzhein/ Chemnitz	532,3	130,7	887	0,15
	Burkhardtsdorf 2/ Zwönitz	93,7	172,3	1023	0,17
	Altchemnitz 1/ Zwönitz	144,3	158,7	997	0,16
	Jahnsdorf 1/ Würschnitz	103	151,1	923	0,16
Harthau/ Würschnitz	135,7	142,2	905	0,16	
Zschopau	Tannenberg/ Zschopau	90,6	173,3	1020	0,17
	Hopfgarten/ Zschopau	528,8	181,7	994	0,18
	Lichtenwalde/ Zschopau	1574,6	208,5	969	0,22
	Kriebstein UP/ Zschopau	1756,8	201,5	950	0,21
	Annaberg 1/ Sehma	48,6	182,5	1020	0,18
	Wiesa/ Pöhlbach	86,3	182,6	991	0,18
	Streckewalde/ Preßnitz	205,9	187,7	977	0,19
Flöha	Pockau 1/ Flöha	384,6	258,5	1001	0,26
	Borstendorf/ Flöha	643,8	244,6	985	0,25
	Rothenthal/ Natzschung	75	239,4	1010	0,24
	Zöblitz/ Schwarze Pockau	129,2	213,8	987	0,22
Freiberger Mulde	Berthelsdorf/ Freiberger Mulde	244,4	271,3	961	0,28
	Nossen 1/ Freiberger Mulde	585,2	260,8	903	0,29
	Wolfgrund/ Chemnitzbach	37,2	250,3	1017	0,25
	Krummenhennersdorf/ Bobritzsch	131	296,4	914	0,32

4.4 Extremwertstatistische Einordnung und klimatologischer Vergleich

Grundlage der extremwertstatistischen Analyse des Niederschlages bildeten die 21 registrierenden Niederschlagsstationen (siehe Abschnitt 4.3.1). Unter Betrachtung der vier Dauerstufen D von 12, 24, 48 und 72 Stunden gingen SCHUMANN & HABERLANDT (2004) wie folgt vor:

1. Berechnung der maximalen Niederschläge max hN pro Dauerstufe aus den Stundensummen für alle Stationen,
2. Schätzung der Parameter der Verteilungsfunktionen für die Stationsstandorte und alle Dauerstufen mit Hilfe des KOSTRA-Atlas (BARTELS et al. 1997),
3. Ermittlung der Wiederkehrintervalle der beobachteten Niederschlagshöhen max hN für alle Stationen und Dauerstufen,
4. Räumliche Interpolation der Wiederkehrintervalle für vier Dauerstufen mit Hilfe des Indikator Kriging (siehe Abschnitt 4.3.1)

Die Tabelle 6 enthält dem KOSTRA-Atlas entsprechende Ergebnisse der extremwertstatistischen Analysen für ausgewählte Stationen.

Tabelle 6: Maximale Niederschläge und geschätzte Wiederkehrintervalle nach KOSTRA

Name	D=12h		D=24h		D=48h		D=72h	
	hN	T	hN	T	hN	T	hN	T
Leipzig-Schkeuditz	43,1	3,2	54,6	4,5	68,1	6,9	69,5	5,7
Leipzig	42,3	2,4	52,3	3,7	72,0	5,2	74,2	4,9
Oschatz	85,7	106,3	114,2	130,6	116,9	82,7	118,8	22,0
Dresden-Klotzsche	116,0	515,1	160,5	522,0	181,5	747,6	181,7	342,0
Lichtenhain-Mittelndorf	40,1	1,4	66,5	3,2	86,2	3,7	86,6	2,3
Chemnitz	49,8	6,7	89,9	24,1	108,0	17,7	110,8	13,1
Zinnwald-Georgenfeld	210,7	$1,6 \cdot 10^6$	353,3	$18 \cdot 10^6$	404,9	$6,3 \cdot 10^6$	406,2	$4,9 \cdot 10^5$
Marienberg	95,0	851,6	172,8	8556,7	192,6	1728,4	193,5	588,8
Aue	73,3	10,2	114,5	43,2	138,1	32,4	151,5	27,6
Plauen	23,8	0,3	36,8	0,9	43,5	0,9	46,8	1,1
Fichtelberg	86,7	52,3	150,7	1787,8	206,3	3630,8	208,5	1544,9
Carlsfeld	114,0	44,1	198,1	1029,5	209,0	164,2	226,2	151,1
Gera-Leumnitz	58,8	5,9	78,7	10,9	83,7	6,5	85,8	4,1

Es zeigt sich, dass die Wiederkehrintervalle formal weit über die Länge der den KOSTRA-Berechnungen zugrunde liegenden Beobachtungsreihen hinaus extrapoliert werden mussten. Dies führt teilweise zu unrealistisch hohen Werten, insbesondere für die Station Zinnwald-Georgenfeld. Aufgrund dessen erfolgte die Verwendung des Indikatorkriging-Verfahrens zur räumlichen Interpolation auf ein Raster von 1 km x 1 km (siehe Abschnitt 4.3.1), wobei die Wiederkehrintervalle T von 1, 5, 20, 50, 100, 500 und 1 000 Jahren als Grenzwerte für alle Dauerstufen definiert wurden.

Die Schätzungen der Wiederkehrintervalle sind für alle Dauerstufen in den Abb. 28 - 31 dargestellt. Bei der Interpretation der Bilder sind die Unsicherheit der Schätzung aus KOSTRA und die Tatsache, dass es sich um Wiederkehrintervalle von Punktniederschlägen handelt, zu beachten. Die Abbildungen zeigen eine relativ große Ausdehnung des Niederschlages mit Wiederkehrintervallen > 1 000 Jahre über dem gesamten Erzgebirge für alle Dauerstufen ≥ 24 h.

Ein Vergleich der Abbildungen offenbart, dass die Dauerstufe $D = 24$ h hier die kritische Dauerstufe mit der größten Ausdehnung seltener Niederschläge darstellt. Aus der oben beschriebenen Problematik heraus ist ein direkter Vergleich der Abb. 28 bis 31 mit den Angaben der Tabelle 6 nicht möglich.

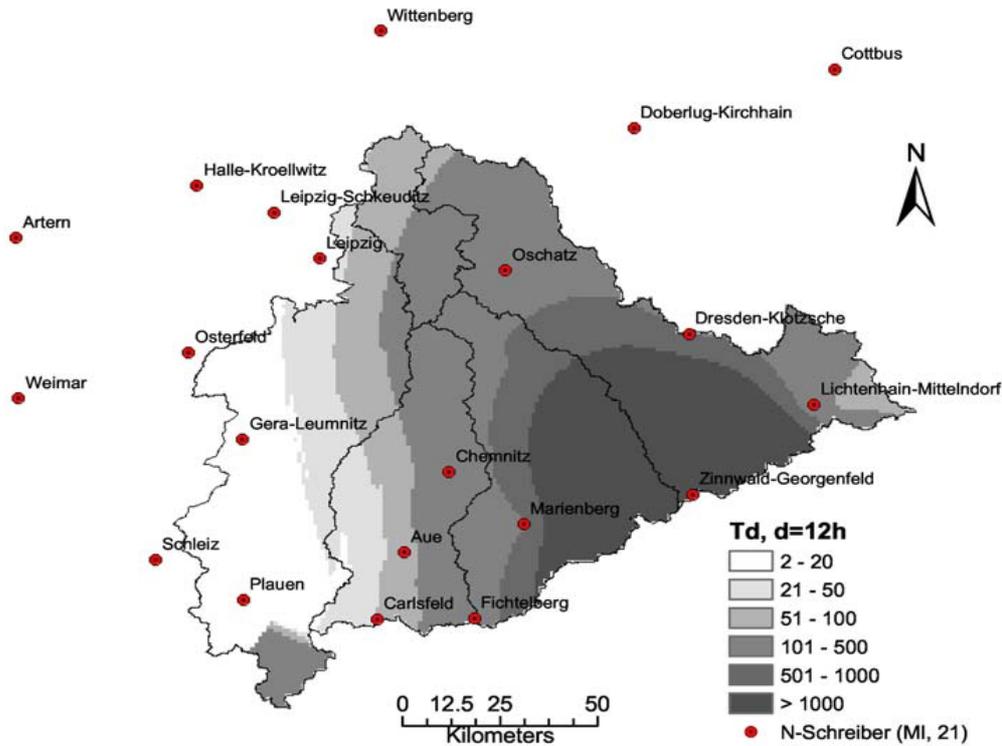


Abbildung 28: Interpolierte Wiederkehrintervalle T (geschätzt nach KOSTRA) für die maximalen Punktniederschlagssummen über $D = 12$ h (10.08.2002, 00.00 Uhr – 13.08.2002, 24.00 Uhr)

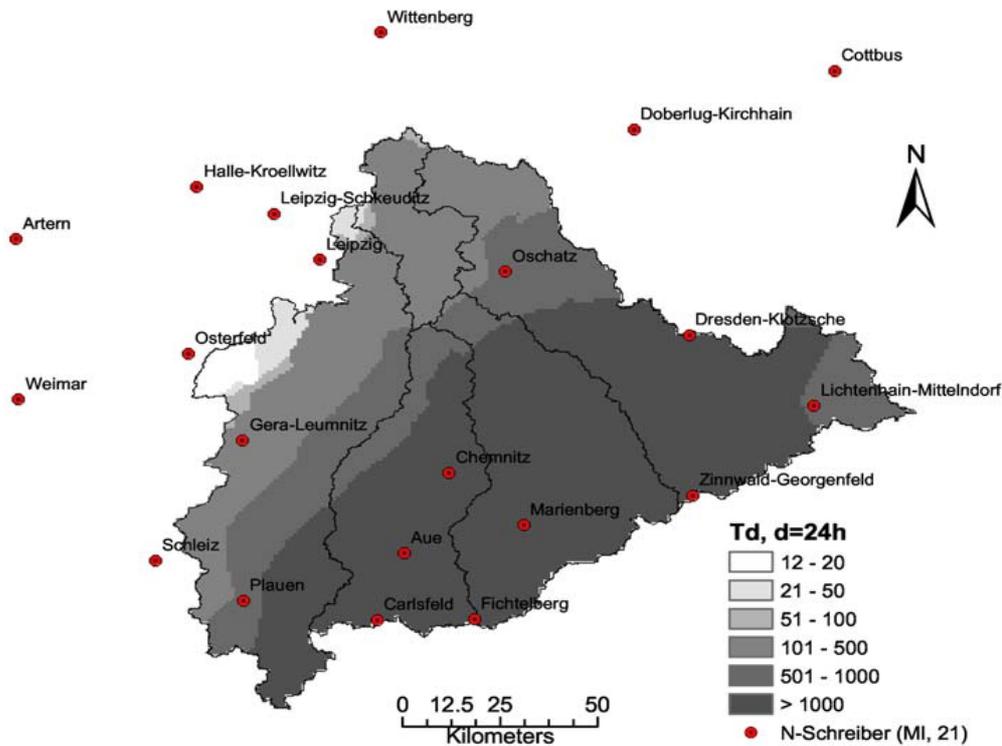


Abbildung 29: Interpolierte Wiederkehrintervalle T (geschätzt nach KOSTRA) für die maximalen Punktniederschlagssummen über $D = 24$ h (10.08.2002, 00.00 Uhr – 13.08.2002, 24.00 Uhr)

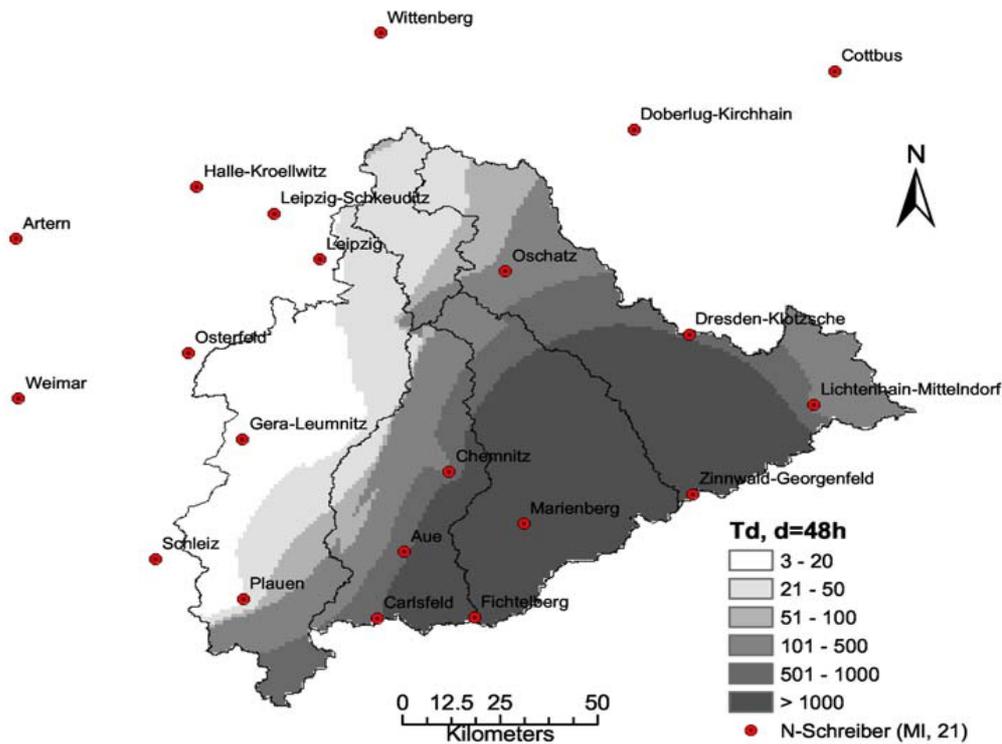


Abbildung 30: Interpolierte Wiederkehrintervalle T (geschätzt nach KOSTRA) für die maximalen Punkt-niederschlagssummen über D = 48 h (10.08.2002, 00.00 Uhr – 13.08.2002, 24.00 Uhr)

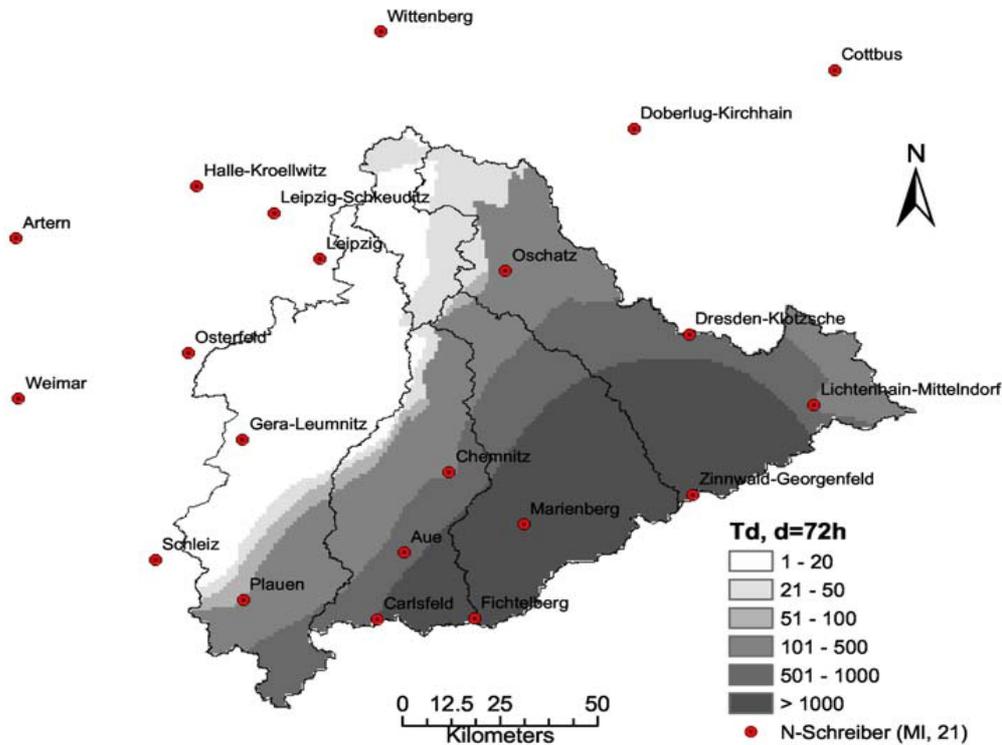


Abbildung 31: Interpolierte Wiederkehrintervalle T (geschätzt nach KOSTRA) für die maximalen Punkt-niederschlagssummen über D = 72 h (10.08.2002, 00.00 Uhr – 13.08.2002, 24.00 Uhr)

5 Verlauf und Charakterisierung des Hochwassers

5.1 Grundlagen zur Untersuchung der Abflusskonzentration

Zur Untersuchung des Hochwasserablaufs standen Wasserstands- und Abflussdaten von 39 Pegeln des gewässerkundlichen Messnetzes des Freistaates Sachsen zur Verfügung. Die Abflussganglinien wurden aus den Wasserstandsaufzeichnungen der Schreibpegel mit Hilfe von extrapolierten Wasserstands-Durchfluss-Beziehungen bestimmt, wobei die Hochwasserscheitelabflüsse an den Pegeln zunächst auf der Grundlage von Längsschnittbetrachtungen der Hochwasserscheitelabflussspenden geschätzt wurden. Deren Prüfung erfolgte in der Regel durch stationär ungleichförmige (ÖKOPROJEKT 2003) und in Einzelfällen durch eindimensional instationäre hydraulische Berechnungen (TU DRESDEN 2003). Die Zuflussganglinien der Talsperren wurden zum Teil aus Abgabe- und Stauinhaltswerten rekonstruiert.

Aus den Abflussganglinien wurden als charakteristische Kennwerte der Scheitelabfluss Q_S , die Scheiteleintrittszeit und die Scheitelabflussspende q_S sowie die Abflussfülle RD bestimmt. Zu letzterem erfolgte eine Separation des Basisabflusses. Aufgrund dessen, dass die Ausgangsabflüsse Q_A (Beginn der Ganglinie des Direktabflusses) an den betrachteten Pegeln infolge der Niederschläge in der ersten Augustdekade mit einer großen Spannweite zwischen 30 % (Pegel Wolfsgrund/Chemnitzbach) und 269 % (Pegel Markersbach 1/Große Mittweida) bezogen auf das langjährige Mittel lagen und in der dritten Augustdekade Niederschläge teilweise zu erneuten Anstiegen führten, wurden die Hochwasserdauern pegelabhängig auf 206 (Pegel Golzern 1/Vereinigte Mulde) bis 240 (Pegel Göritzhain/Chemnitz) Stunden begrenzt. Zu diesen Zeitpunkten bewegten sich die Endabflüsse Q_E noch zwischen 96 % (Pegel Niederlungwitz/Lungwitzbach) und 423 % (Pegel Berthelsdorf/Freiburger Mulde) vom langjährigen Mittel. Diese große Varianz der Abflüsse zeigt sich auch im Verhältnis zwischen den festgelegten Ausgangs- und Endabflüssen, das zwischen 0,6 (Pegel Niederlungwitz/Lungwitzbach und Pegel Jahnsdorf 1/Würschnitz) und 7,9 (Pegel Berthelsdorf/Freiburger Mulde) schwankt. Tabelle 7 fasst die entsprechenden Angaben für die untersuchten Pegel zusammen.

Tabelle 7: Ausgangs- (Q_A) und Endabflüsse (Q_E) zur Separierung des Basisabflusses an den Pegeln

Pegel/Gewässer	Q_A [m ³ /s]	Q_A/MQ [%]	Q_E [m ³ /s]	Q_E/MQ [%]	Q_A/Q_E [-]
Golzern 1/Vereinigte Mulde	71,6	116	154	249	2,2
Bad Düben 1/Vereinigte Mulde	84,0	131	160	250	1,9
Schönheide 3/Zwickauer Mulde	1,55	57	4,24	155	2,7
Niederschlema/Zwickauer Mulde	15,3	122	24,2	194	1,6
Zwickau-Pölbitz/Zwickauer Mulde	19,5	136	31,6	221	1,6
Wolkenburg/Zwickauer Mulde ²	31,8	162	32,0	163	1,0
Wechselburg 1/Zwickauer Mulde	39,9	153	43,4	166	1,1
Großsermuth/Zwickauer Mulde	38,2	139	57,2	209	1,5
Sachsengrund/Große Pyra	0,110	60	0,224	122	2,0
Aue 1/Schwarzwasser	11,8	187	15,2	241	1,3
Markersbach 1/Große Mittweida	1,65	269	1,47	240	0,9
Wolfersgrün/Hirschfelder Wasser	0,340	152	0,460	206	1,4
Niedermülsen 1/Mülsenbach	0,570	110	0,630	122	1,1
Niederlungwitz/Lungwitzbach	2,44	172	1,37	96	0,6
Chemnitz 1/Chemnitz	5,09	125	7,49	184	1,5
Göritzhein/Chemnitz	7,35	117	8,98	143	1,2
Burkhardtsdorf 2/Zwönitz	1,02	72	3,94	279	3,9
Altchemnitz 1/Zwönitz	1,89	87	3,44	159	1,8
Jahnsdorf 1/Würschnitz	2,50	208	1,58	132	0,6
Harthau/Würschnitz	2,66	180	2,16	146	0,8
Berthelsdorf/Freiburger Mulde	1,91	54	15,0	423	7,9
Nossen 1/Freiburger Mulde	2,92	43	22,2	326	7,6
ErlIn/Freiburger Mulde ³	26,9	77	95,8	274	3,6
Wolfsgrund/Chemnitzbach	0,200	30	1,59	240	8,0
Krummenhennersdorf/Bobritzsch	0,700	45	4,34	278	6,2
Böhrigen/Striegis ⁴	1,20	45	5,00	187	4,2
Tannenberg/Zschopau	2,82	181	3,79	243	1,3
Hopfgarten/Zschopau	9,57	120	19,1	240	2,0
Lichtenwalde/Zschopau	21,6	99	55,3	254	2,6
Kriebstein UP/Zschopau	23,8	101	63,6	269	2,7
Annaberg 1/Sehma	1,50	203	1,99	269	1,3
Wiesa/Pöhlbach	2,16	126	3,49	204	1,6
Streckewalde/Preßnitz	2,13	71	5,99	201	2,8
Jöhstadt 1/Jöhstädter Schwarzwasser	0,270	67	1,15	286	4,3
Pockau 1/Flöha	2,22	38	14,8	250	6,7
Borstendorf/Flöha	7,08	77	28,6	313	4,0
Hetzdorf 1/Flöha	8,83	80	30,3	273	3,4
Rothenthal/Natzschung	0,890	64	3,64	264	4,1
Zöblitz/Schwarze Pockau	2,81	122	4,62	200	1,6

² Hochwasserganglinie ab 12.08., 07.00 Uhr aufgrund fehlender Daten mittels hydraulischer Berechnung und regionaler Analogie rekonstruiert

³ Hochwasserganglinie ab 13.08., 01.00 Uhr aufgrund fehlender Daten mittels hydraulischer Berechnung und regionaler Analogie rekonstruiert

⁴ Hochwasserganglinie vom 11.08., 00.00 Uhr bis 21.08., 00.00 Uhr an Hand von Lattenpegelbeobachtungen, hydraulischer Berechnung und regionaler Analogie rekonstruiert

Zusätzlich wurden die Abflussganglinien hinsichtlich der Abflusskonzentrationsphase durch SCHUMANN & HABERLANDT (2004) nach zwei unterschiedlichen Verfahren aufbereitet. Einerseits wurde die bezogene Ganglinie geschätzt, um die Vergleichbarkeit der Abflussverläufe in den verschiedenen Einzugsgebieten zu untersuchen. Die Zeitbasis der bezogenen Ganglinie wurde hierzu auf die Scheiteleintrittszeit normiert und die Abflussordinaten auf den Scheitelabfluss bezogen. Die bezogenen Ganglinien wurden anschließend jeweils mit der analytischen Ganglinienfunktion nach Kozeny beschrieben:

$$y = \left[x \cdot e^{(1-x)} \right]^m$$

mit x ... Zeit, bezogen auf die Scheiteleintrittszeit,
 m ... Parameter
 y ... Abfluss, bezogen auf den Scheitelabfluss.

Der Parameter m der Kozeny-Funktion wurde hierzu mit Hilfe des Verfahrens der Minimierung der quadratischen Abweichungen angepasst. Er beschreibt die Form der Hochwasserwelle, wobei gilt: Je kleiner m, desto größer ist das relative Volumen des Direktabflusses.

Zusätzlich wurden die Parameter n und k der Nash-Impulsantwort mit der Momentenmethode aus der gemessenen Ganglinie des Direktabflusses und der Ganglinie des Effektivniederschlags geschätzt. Während der Parameter n die Anzahl der Linearspeicher angibt, ist die Speicherkonstante k ein Maß der Verweilzeit des Wassers im System. Das Produkt aus n und k entspricht der Schwerpunktlaufzeit, d. h., der zeitlichen Verschiebung des Schwerpunktes der Ganglinie des Effektivniederschlags $p(t)$ zum Schwerpunkt der Ganglinie des Direktabflusses $q(t)$. Mit Hilfe der Ursprungsmomente 1. Ordnung m_1 und der Zentralmomente 2. Ordnung M_2 können somit die Parameter n und k geschätzt werden:

$$n \cdot k = m_{1,q} - m_{1,p}$$

$$n \cdot k^2 = M_{2,q} - M_{2,p}$$

Die Ursprungsmomente werden wie folgt berechnet:

$$m_{1,p} = \frac{\sum_i t_i \cdot p_i \cdot \Delta t}{\sum_i p_i \cdot \Delta t} = \bar{t}_p$$

Das zentrale Moment ergibt sich nach der Beziehung:

$$M_{2,p} = \frac{\sum_i (t_i - \bar{t})^2 \cdot p_i \cdot \Delta t}{\sum_i p_i \cdot \Delta t}$$

Infolge des spezifischen Niederschlagsverlaufs mit mehreren Intensitätsspitzen und den daraus resultierenden mehrgipfligen Abflussganglinien war es nicht für jeden Pegel möglich, eine plausible Schätzung des Parameters m der Kozeny-Funktion und der Nash-Impulsantwort-Parameter zu erreichen. Hierfür ist auch die Abhängigkeit der ermittelten Parameter von den Randbedingungen, insbesondere von der Art der Separation des Direktabflusses (d. h. von der Länge des betrachteten Abflussereignisses) und dem angenommenen Beginn des hochwasserauslösenden Niederschlages verantwortlich.

In Bezug auf die Bestimmung von n und k war die Ermittlung der Schwerpunkte des Niederschlages und der resultierenden mehrgipfligen Abflussganglinien stark vom Intensitätsverlauf abhängig, wodurch sich zufällige Abweichungen zwischen benachbarten Pegeln ergaben. Die angegebenen Nash-Impulsantwort-Parameter können deshalb nicht als Abflusskonzentrationsmodelle verwendet werden, sondern dienen nur dem Vergleich der zeitlichen Relationen zwischen Niederschlag und Abfluss unter den Pegeln der Teilflussgebiete.

Trotz dieser Einschränkungen ist festzustellen, dass die Nash-Impulsantworten, die in den Abschnitten 5.3.2, 5.4.2, 5.5.2 und 5.6.2 zusammengestellt sind, an den meisten Pegeln ähnliche Verläufe aufweisen.

Auch die Formparameter m der Kozeny-Funktion sind in den obengenannten Abschnitten für die dort beschriebenen Teilflussgebiete aufgelistet. Deutlich wird deren umgekehrte Proportionalität zur Einzugsgebietsgröße. Hier besteht ein Ansatz für weitere Untersuchungen zur Skalenabhängigkeit der Kozeny-Funktion im Sinne einer Regionalisierung.

5.2 Kennwerte im Überblick

Generell war eine Abnahme der hochwasserauslösenden Niederschläge vom Osterzgebirge nach Westen hin zu beobachten. Im Zeitraum vom 10.08., 00.00 Uhr bis 13.08., 24.00 Uhr wurden für das Gebiet der Freiburger Mulde ohne das der Zschopau 261 mm Niederschlag ermittelt. Das Zschopaugebiet wies 201 mm auf. Im Gebiet der Zwickauer Mulde reduzierten sich die Niederschläge auf 166 mm.

Die Angaben der folgenden Tabelle 8 charakterisieren die Relationen zwischen Niederschlag und Abfluss in den Einzugsgebieten der betrachteten Pegel.

Zur Verdeutlichung der Spannweiten sind in Tabelle 9 der minimale und maximale Abflussbeiwert der einzelnen Teilflussgebiete zusammengestellt. Beachtet werden müssen dabei die Unsicherheiten bei der Ermittlung der Extremabflüsse.

Tabelle 8: Hochwasserkennwerte aller betrachteten Einzugsgebiete mit Verwendung der Niederschlagsradarmessung

Pegel/Gewässer	AE [km ²]	P [mm]	Ψ [-]	RD [mm]	RD [hm ³]	Q _s [m ³ /s]	q _s [l/(s·km ²)]
Golzern 1/Vereinigte Mulde	5442	184,9	0,440	81,4	443,120	2600	478
Bad Dübener 1/Vereinigte Mulde	6171	174,9	0,399	69,8	430,643	2200	357
Schönheide 3/Zwickauer Mulde	152	205,2	0,548	112,4	17,087	153	1007
Niederschlema/Zwickauer Mulde	759	203,9	0,408	83,1	63,163	400	527
Zwickau-Pöbitz/Zwickauer Mulde	1030	199,7	0,419	83,7	86,187	500	486
Wolkenburg/Zwickauer Mulde ⁵	1424	185,7	0,445	82,7	117,700	674	473
Wechselburg 1/Zwickauer Mulde	2107	165,8	0,453	75,1	158,236	1000	475
Großsermuth/Zwickauer Mulde	2361	162,7	0,437	71,1	167,770	1000	424
Sachsengrund/Große Pyra	6,6	239,5	0,483	115,6	0,763	6,90	1045
Aue 1/Schwarzwasser	362	201,6	0,605	122,0	44,236	315	869
Markersbach 1/Große Mittweida	30,0	205,6	0,478	98,3	2,950	29	967
Wolfersgrün/Hirschfelder Wasser	22,2	173,5	0,200	34,6	0,769	6,27	282
Niedermülsen 1/Mülsenbach	49,9	166,3	0,430	71,5	3,569	26,5	531
Niederlungwitz/Lungwitzbach	138	144,2	0,434	62,6	8,612	100	727
Chemnitz 1/Chemnitz	403	139,4	0,525	73,1	29,493	235	583
Göritz/Chemnitz	532	130,7	0,488	63,8	33,962	250	470
Burkhardtsdorf 2/Zwönitz	93,7	172,3	0,541	93,2	8,730	77	822
Altchemnitz 1/Zwönitz	144	158,7	0,562	89,1	12,864	111	769
Jahnsdorf 1/Würschnitz	103	151,1	0,592	89,5	9,218	90	874
Harthau/Würschnitz	136	142,2	0,573	81,5	11,066	115	847
Berthelsdorf/Freiburger Mulde	244	271,3	0,696	188,8	46,144	360	1473
Nossen 1/Freiburger Mulde	585	260,8	0,465	121,3	70,983	690	1179
Erlin/Freiburger Mulde ⁶	2983	202,1	0,459	92,8	276,842	1660	556
Wolfsgrund/Chemnitzbach	37,2	250,3	0,538	134,8	5,014	30	806
Krummenhennersdorf/Bobritzsch	131	296,4	0,476	140,9	18,463	160	1221
Böhrigen/Striegis ⁷	253	180	0,389	70,0	17,700	160	632
Tannenberg/Zschopau	90,6	173,3	0,625	108,3	9,810	85	938
Hopfgarten/Zschopau	529	181,7	0,589	107,0	56,590	420	794
Lichtenwalde/Zschopau	1575	208,5	0,523	109,1	171,721	1250	794
Kriebstein UP/Zschopau	1757	201,5	0,523	105,4	185,203	1250	712
Annaberg 1/Sehma	48,6	182,5	0,589	107,4	5,222	39	802
Wiesa/Pöhlbach	86,3	182,6	0,592	108,1	9,327	65	753
Streckewalde/Preßnitz	206	187,7	0,525	98,5	20,285	145	704
Jöhstadt 1/Jöhstädter Schwarzwasser	35,9	184	0,740	136,2	4,888	29	808
Pockau 1/Flöha	385	258,5	0,410	105,9	40,713	315	819
Borstendorf/Flöha	644	244,6	0,478	116,8	75,223	540	839
Hetzdorf 1/Flöha	760	242,2	0,457	110,6	84,035	600	790
Rothenthal/Natzschung	75,0	239,4	0,540	129,3	9,697	88	1173
Zöblitz/Schwarze Pockau	129	213,8	0,579	123,8	15,994	160	1238

⁵ Hochwasserganglinie ab 12.08., 07.00 Uhr aufgrund fehlender Daten mittels hydraulischer Berechnung und regionaler Analogie rekonstruiert

⁶ Hochwasserganglinie ab 13.08., 01.00 Uhr aufgrund fehlender Daten mittels hydraulischer Berechnung und regionaler Analogie rekonstruiert

⁷ Hochwasserganglinie vom 11.08., 00.00 Uhr bis 21.08., 00.00 Uhr an Hand von Lattenpegelbeobachtungen, hydraulischer Berechnung und regionaler Analogie rekonstruiert

Tabelle 9: Minimale und maximale Abflussbeiwerte in den verschiedenen Flussgebieten mit Verwendung der Niederschlagsradarmessung

Pegel/ Gewässer	AE [km ²]	P [mm]	Ψ [-]	RD [mm]	RD [hm ³]
Zwickauer Mulde und Chemnitz					
Wolfersgrün/ Hirschfelder Wasser	22,2	173,5	0,200	34,6	0,769
Aue 1/ Schwarzwasser	362,5	201,6	0,605	122,0	44,236
Zschopau/Flöha					
Pockau 1/ Flöha	384,6	258,5	0,410	105,9	40,713
Jöhstädter 1/ Jöhstädter Schwarzwasser	35,9	184,0	0,740	136,2	4,888
Freiberger Mulde					
Böhrigen/ Striegis	253	180,0	0,389	70,0	17,700
Berthelsdorf/ Freiberger Mulde	244,4	271,3	0,696	188,8	46,144

Wie aus Abb. 32 ersichtlich ist, besteht ein nichtlinearer Verlauf in der Beziehung zwischen Niederschlag und Abfluss für die betrachteten Einzugsgebiete. Die geschätzte Regression ergibt sich zu

$$RD = 34,049 \cdot e^{(0,005 \cdot P)}$$

mit $r_{xy}^2 = 0,480$.

Die Abflussbeiwerte bewegen sich in Anbetracht des ungewöhnlich hohen Dauerniederschlags mit einem Mittelwert von $\Psi = 0,504$ in einem eher geringen Bereich. Auch ist mit einer Zunahme des Niederschlags keine deutliche Zunahme der Abflussbeiwerte feststellbar.

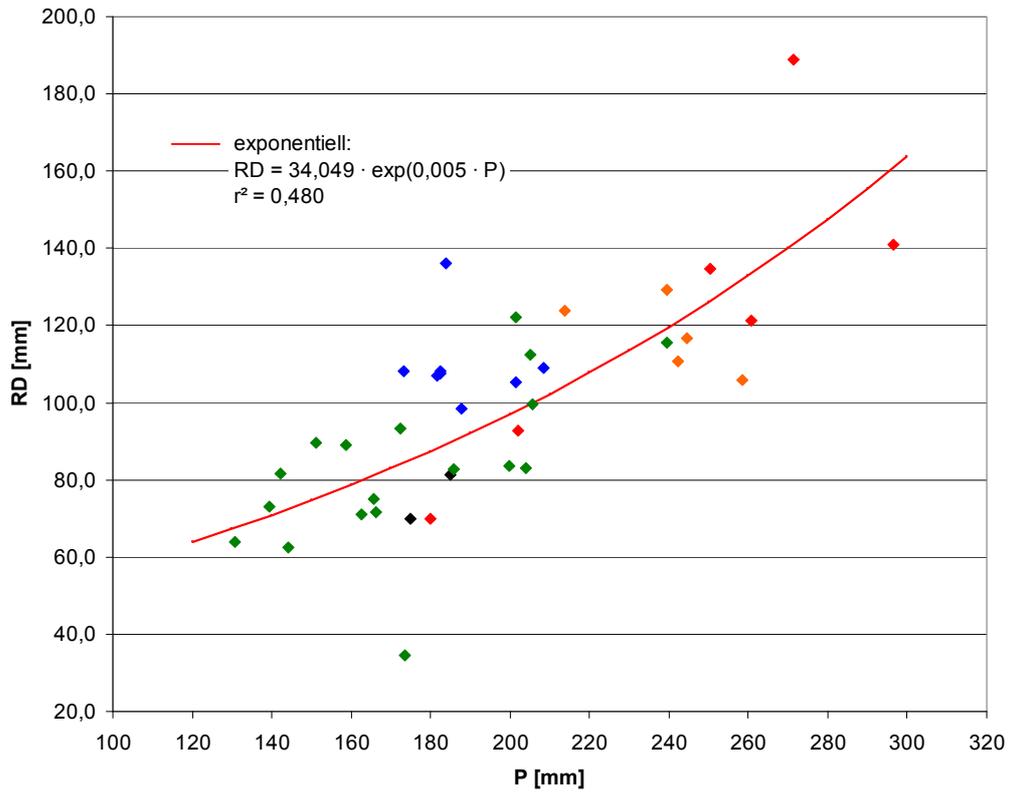


Abbildung 32: Beziehung zwischen Niederschlag und Abfluss für die Pegel bei Verwendung von Radarniederschlägen (farbliche Unterscheidung gemäß Tabelle 8)

Die Abflussbeiwerte zeigen keine Abhängigkeit von der Einzugsgebietsgröße (Abb. 33) oder den Niederschlagssummen (Abb. 34).

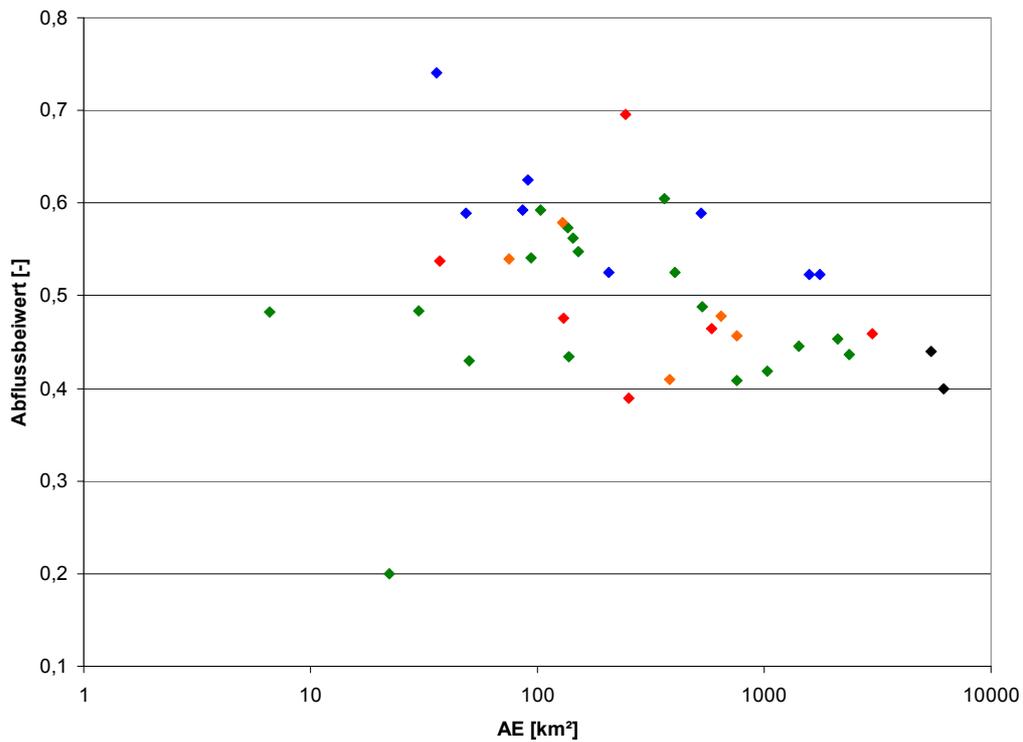


Abbildung 33: Relation zwischen den Abflussbeiwerten (mit Radardaten) und der logarithmierten Einzugsgebietsfläche (farbliche Unterscheidung gemäß Tabelle 8)

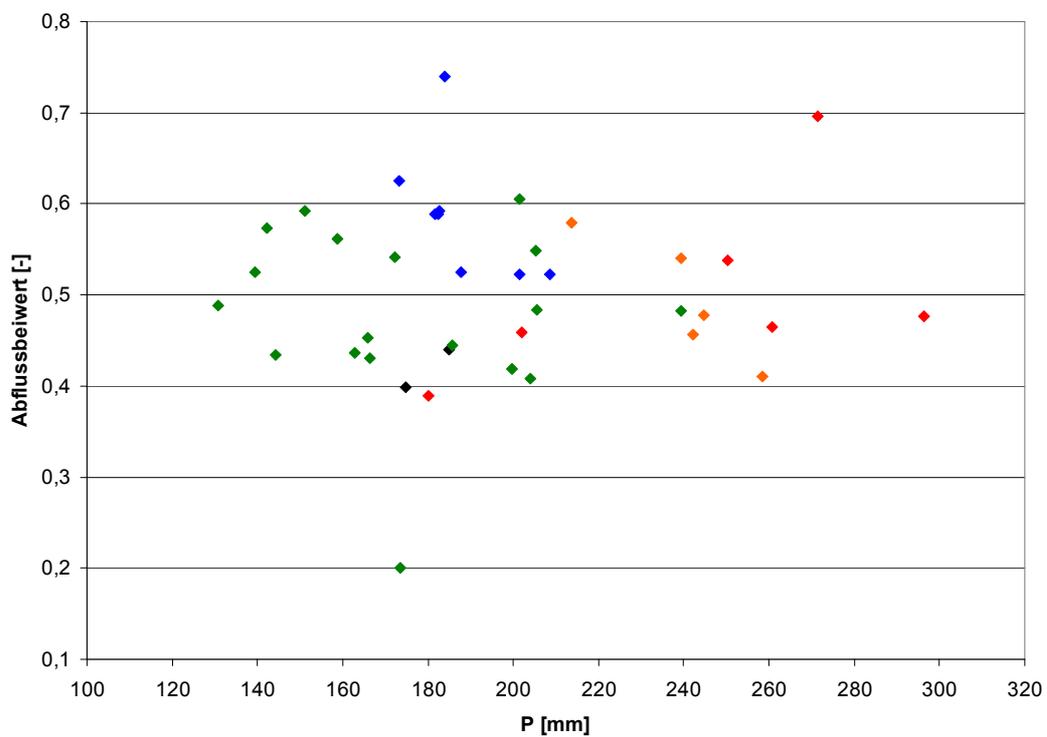


Abbildung 34: Relation zwischen den Abflussbeiwerten (mit Radardaten) und der Niederschlagssumme (farbliche Unterscheidung gemäß Tabelle 8)

Die Differenzen zwischen den ersten Momenten von Niederschlag und Abfluss, die näherungsweise der Zeitdifferenz zwischen den Schwerpunkten von Effektivniederschlags- und Direktabflussganglinie entsprechen, zeigen eine signifikante Beziehung zur Einzugsgebietsgröße.

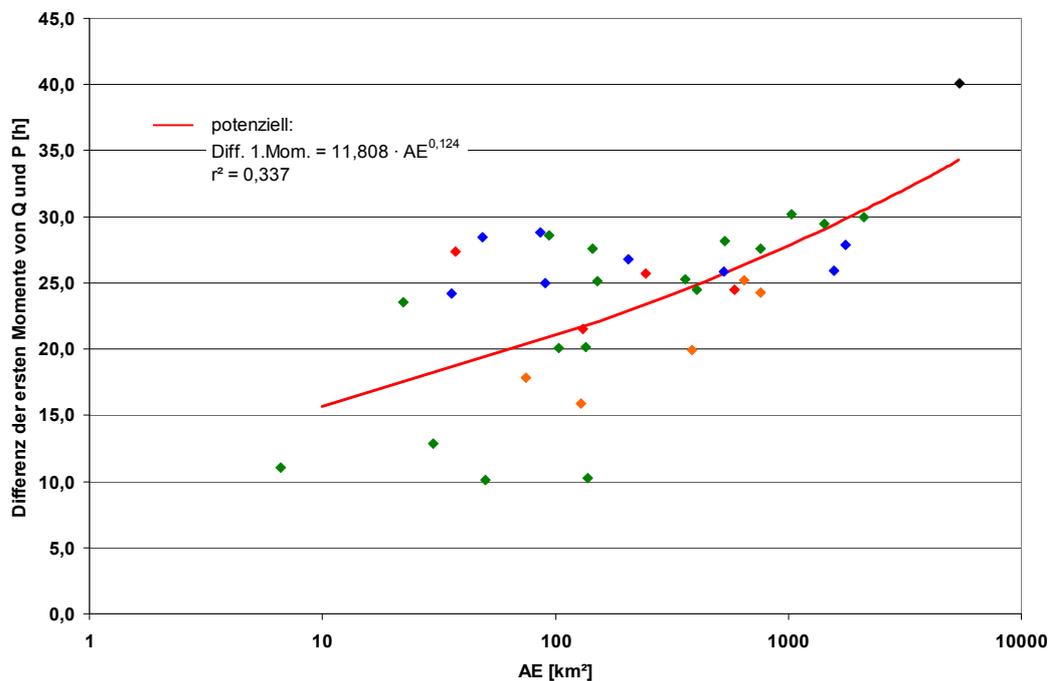


Abbildung 35: Relation zwischen der Differenz der ersten Momente und der logarithmierten Einzugsgebietsfläche (farbliche Unterscheidung gemäß Tabelle 8)

5.3 Gebiet der Zwickauer Mulde

5.3.1 Wasserstandsentwicklung



Mit nur geringer Verzögerung nach dem Niederschlagsbeginn setzte in den Abendstunden des 11.08. ab etwa 18.00 Uhr an den Pegeln des Gebietes der Zwickauer Mulde (Abb. 37) oberhalb der Chemnitzmündung und im Gebiet der Chemnitz ein zunächst langsamer Wasserstandsanstieg ein.

Mit Intensivierung der Niederschlagstätigkeit verstärkten sich die Wasserstandsanstiege in allen Fließgewässern zwischen 19.00 Uhr und 21.00 Uhr.

In Abhängigkeit schwankender Niederschlagsintensitäten wurden die Anstiege zeitweise verlangsamt und führten am 12.08. zwischen 15.00 Uhr und 18.00 Uhr an den Pegeln im Oberlauf der Zwickauer Mulde (bis einschließlich Pegel Niederschlema/Zwickauer Mulde) und am Pegel Aue 1/Schwarzwasser zu ersten Scheitelausbildungen.

Abbildung 36: Einzugsgebiet der Zwickauer Mulde

Im Gebiet oberhalb der Talsperre Eibenstock wurden die Scheitelausbildungen am Pegel Sachsengrund/Große Pyra am 12.08. zwischen 22.00 Uhr und 24.00 Uhr mit 81 cm nur 11 cm unter dem HHW vom 08.05.1978 und am Pegel Schönheide 3/Zwickauer Mulde am 13.08. von 00.45 Uhr bis 01.15 Uhr mit 317 cm und damit 77 cm über HHW vom 01.09.1995 beobachtet.

Am Abgabepiegel Neidhardtsthal/Zwickauer Mulde der Talsperre Eibenstock kam es am 12.08. zwischen 07.00 Uhr und 09.00 Uhr infolge Abgabehöhen über die Grundablässe zu einem Wasserstandsanstieg von 23 cm auf 117 cm. Ab 10.00 Uhr bis zum 13.08., 02.00 Uhr entsprach die Talsperrenabgabe einem Wasserstand von 97 cm. Danach erfolgte mit einsetzendem Abfluss über die Hochwasserentlastungsanlage ein weitergehender Wasserstandsanstieg mit dem Scheitel am 13.08. gegen 13.00 Uhr, der damit nach den Höchstständen an den übrigen Pegeln im Gebiet der Zwickauer Mulde auftrat.

Im Oberlauf des Schwarzwassers kurz unterhalb der Mündung des Breitenbachs wurde der Scheitel am Pegel Johannegeorgenstadt 3/Schwarzwasser mit rund 220 cm etwa in Höhe des bisherigen HHW vom 10.07.1954 am 13.08. gegen 01.00 Uhr beobachtet. Bereits um 02.00 Uhr trat der Scheitel am Pegel Schwarzenberg/Schwarz-

wasser mit rund 400 cm und etwa 100 cm über dem HHW vom 10.07.1954 auf und erreichte den Pegel Aue 1/Schwarzwasser zwischen 03.30 Uhr und 04.00 Uhr mit 452 cm und damit 70 cm über HHW vom 10.07.1954.

In der Großen Mittweida, dem größten Zufluss des Schwarzwassers wurde der Scheitel am Pegel Markersbach 1 am 13.08. um 01.00 Uhr mit 148 cm 24 cm über HHW vom 09.08.1982 gemessen. Dieser Pegel erfasst den Zufluss zum Unterbecken des Pumpspeicherwerkes Markersbach. Dessen Abgabe wurde durch den Kraftwerksbetrieb stark vergleichmäßig, sodass sich die Wasserstände am Pegel Markersbach 2/Große Mittweida, dem Abgabepiegel des Unterbeckens, zwischen dem 12.08., 10.00 Uhr und dem 18.08., 02.00 Uhr um 110 cm mit dem Höchststand von 113 cm am 15.08., 17.00 Uhr bewegten. Das HHW von 143 cm am 07.01.1980 wurde dort nicht erreicht.

Die Wasserstandsentwicklung in der Zwickauer Mulde unterhalb von Aue bis Zwickau war geprägt durch den Zufluss aus dem Schwarzwasser, so dass der Scheitel am Pegel Niederschlema am 13.08. um 05.00 Uhr mit 506 cm registriert wurde. Dieser Wasserstand entsprach damit etwa dem bisherigen HHW vom 10.07.1954 mit 510 cm. Mit dem weiteren Wellenablauf erreichte der Scheitel folgerichtig zwischen 07.30 Uhr und 08.00 Uhr den Pegel Zwickau-Pölbitz mit 476 cm 10 cm über HHW vom 10.07.1954.

Im sich anschließenden Zwischeneinzugsgebiet bis zum Pegel Wolkenburg wurden die Wasserstandsanstiege, beobachtet an den Pegeln Niedermülsen 1/Mülsenbach und Niederlungwitz/Lungwitzbach durch drei kurzzeitige Rückgänge um maximal 30 cm unterbrochen. Der Höchststand trat am Pegel Niedermülsen 1 im Gegensatz zum Pegel Niederlungwitz – dort am 13.08. von 02.00 Uhr bis 03.00 Uhr mit 395 cm nur 2 cm unter HHW vom 08.05.1978 - bereits am 12.08. zwischen 08.00 Uhr und 09.00 Uhr mit 151 cm in der gleichen Höhe des bisherigen HHW vom 01.09.1995 auf. Der zeitlich dem Höchststand am Pegel Niederlungwitz entsprechende Scheitel des Mülsenbaches lag nur 6 cm unter dem Scheitel vom Vortag.

Schon vor dem Scheiteleintritt am Pegel Zwickau-Pölbitz/Zwickauer Mulde wurde der Höchststand am Pegel Wolkenburg/Zwickauer Mulde mit 603 cm von 06.00 Uhr bis 07.30 Uhr 26 cm über HHW vom 10.07.1954 beobachtet. Ebenfalls im gleichen Zeitraum, um 07.00 Uhr, bildete sich der Scheitel am 24 km unterhalb liegenden Pegel Wechselburg 1/Zwickauer Mulde aus. Dort wurde mit 597 cm der Höchststand 66 cm über dem HHW vom 10.07.1954 gemessen.

Im Gebiet der Chemnitz, die wenige Kilometer oberhalb des Pegels Wechselburg 1 in die Zwickauer Mulde mündet, traten die Höchststände zuerst in der Würschnitz auf. Am Pegel Jahnsdorf 1 wurde der Scheitel am 13.08. um 03.30 Uhr mit 250 cm nur 4 cm unter HHW vom 10.07.1954 beobachtet. Eine Stunde später erreichte der Scheitel den Pegel Harthau/Würschnitz mit 353 cm und damit 81 cm über HHW vom 08.12.1974. In der Zwönitz trat der Scheitel am Pegel Burkhardtsdorf 2 mit 331 cm um 03.45 Uhr 122 cm über HHW vom 01.09.1995 und am Pegel Altchemnitz 1 um 07.00 Uhr mit 270 cm auf, wobei das HHW vom 01.09.1995 um 98 cm überschritten wurde. Bereits um 06.00 Uhr wurde der Höchststand am Pegel Chemnitz 1/Chemnitz mit 403 cm lediglich 23 cm über HHW vom 10.07.1954 registriert, drei Stunden später dann auch am Mündungspegel Göritzhain, wo der Höchststand mit 314 cm nur noch 10 cm über HHW vom 10.07.1954 gemessen wurde.

Am Pegel Großsermuth/Zwickauer Mulde, der sich 600 m oberhalb des Zusammenflusses von Zwickauer Mulde und Freiburger Mulde befindet, trat der Hochwasserscheitel schließlich um 09.10 Uhr mit 693 cm auf, wobei der linksseitige Deich nach Überströmung gebrochen war.

Die beobachteten Wasserstandsganglinien von Pegeln im Gebiet der Zwickauer Mulde enthalten die Abb. 37 – 42. In Tab. 10 sind die beobachteten Hochwasserstände zusammengefasst.

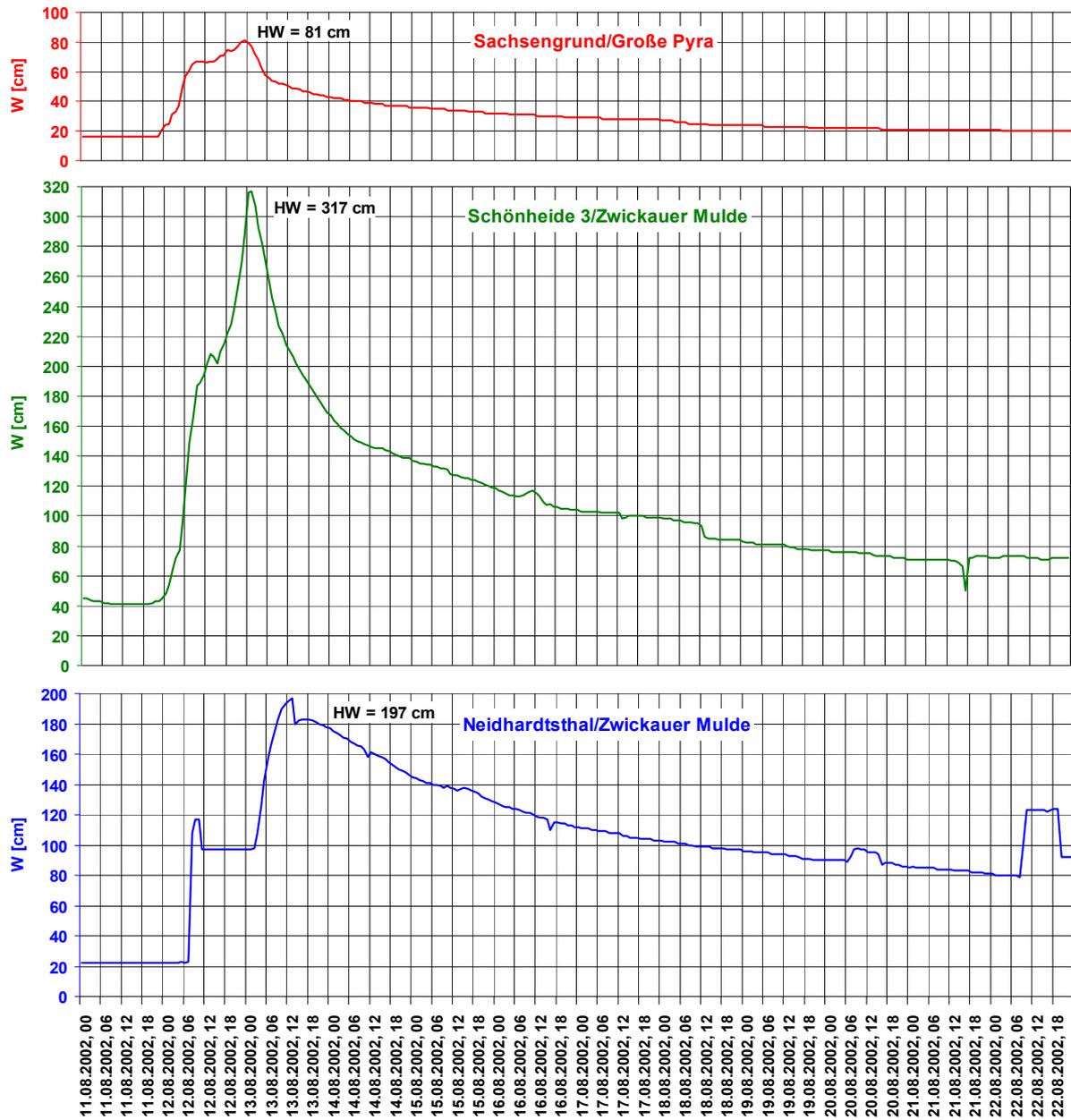


Abbildung 37: Wasserstandsganglinien der Pegel im Gebiet des Oberlaufs der Zwickauer Mulde

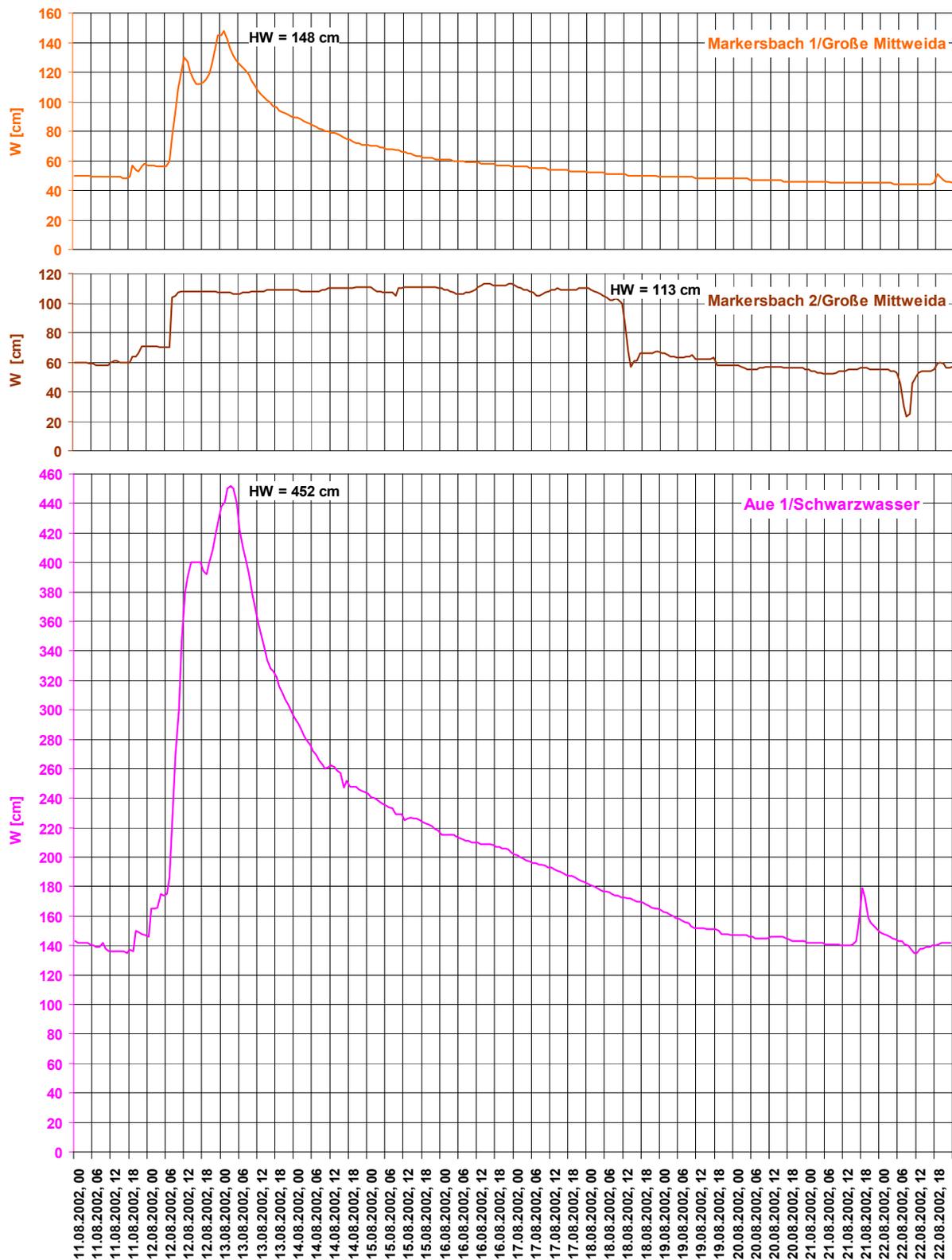


Abbildung 38: Wasserstandsganglinien der Pegel im Gebiet des Schwarzwassers

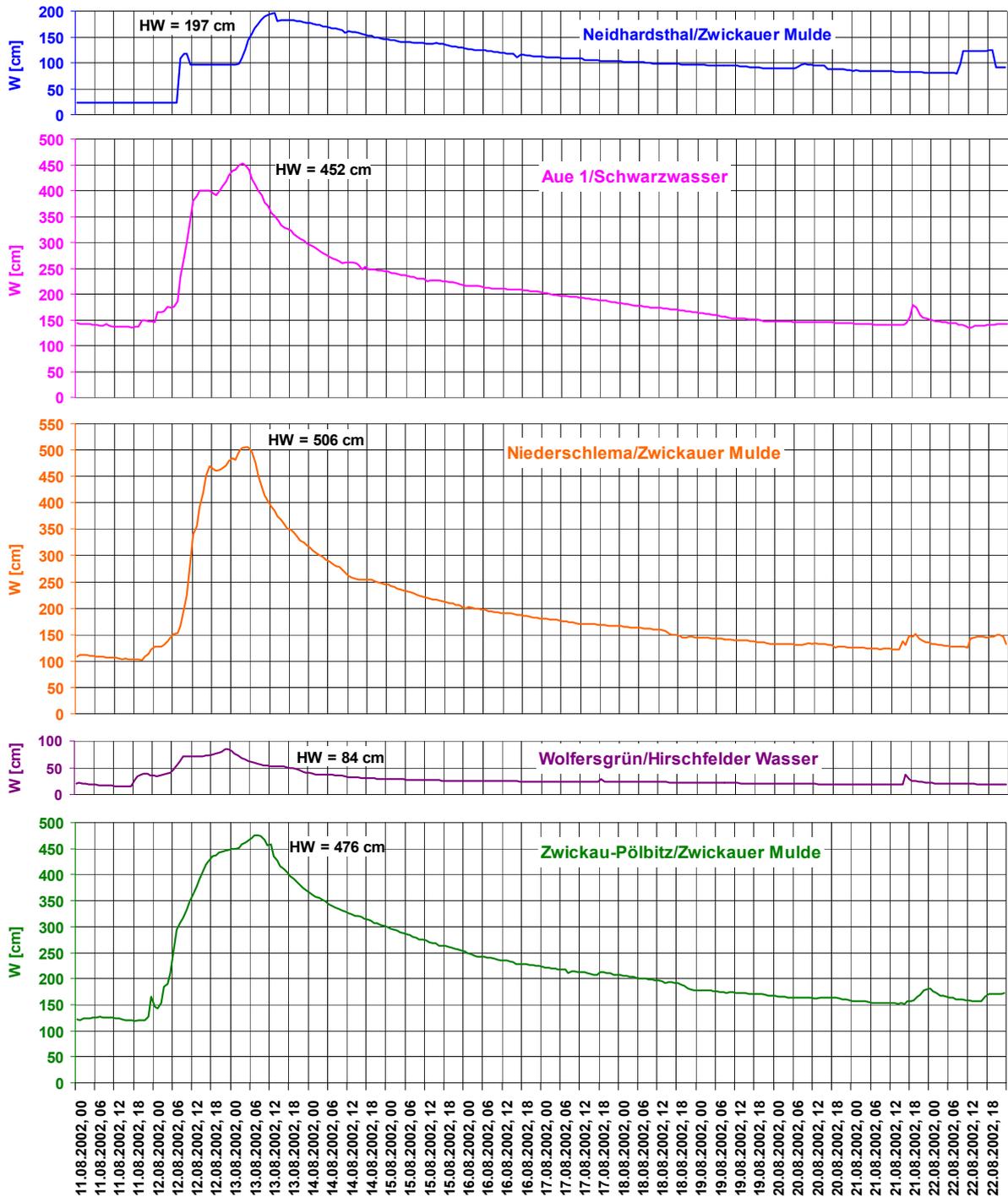


Abbildung 39: Wasserstandsganglinien der Pegel im Gebiet des Ober- und Mittellaufs der Zwickauer Mulde

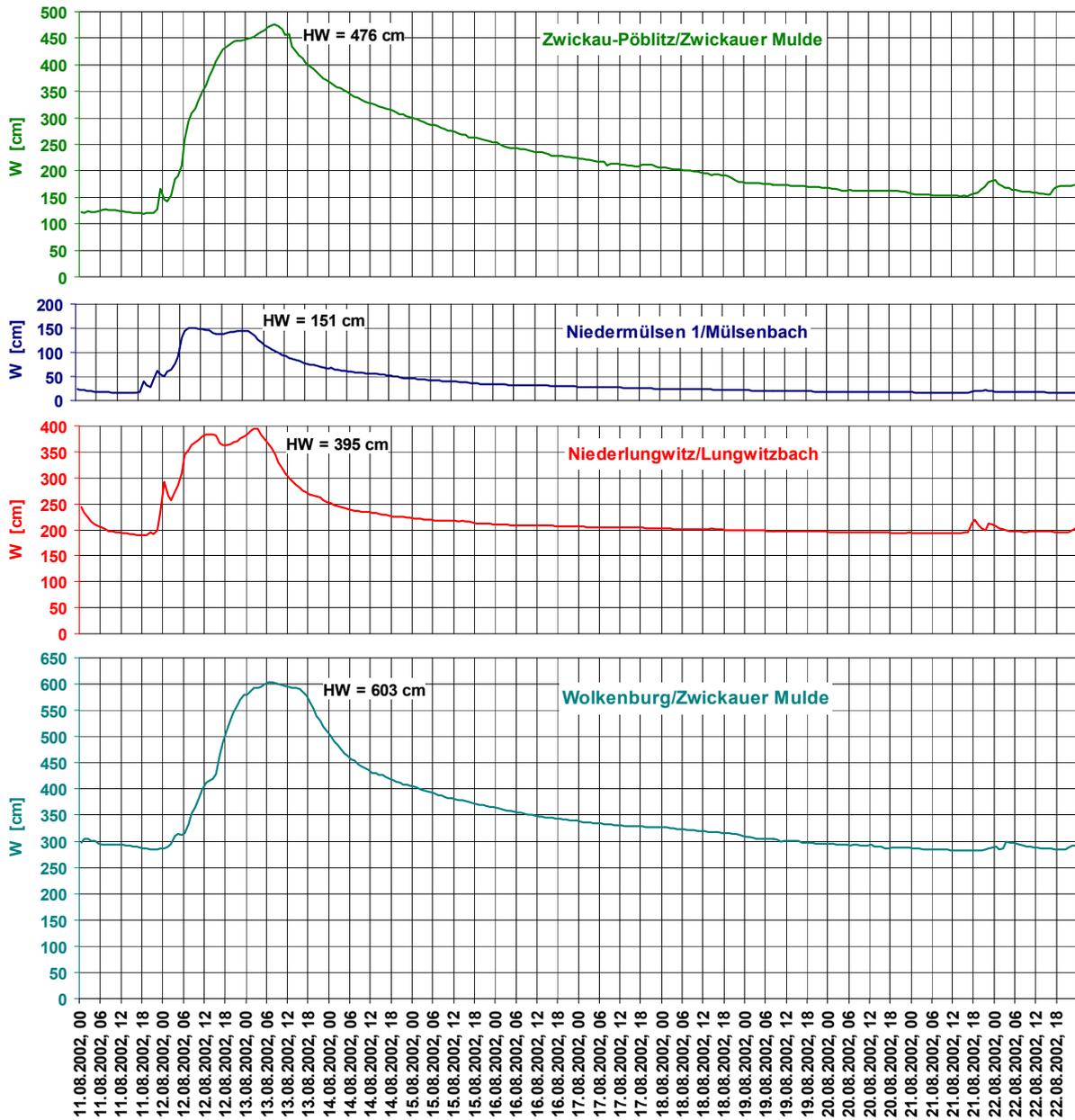


Abbildung 40: Wasserstandsganglinien der Pegel im Gebiet des Mittellaufs der Zwickauer Mulde

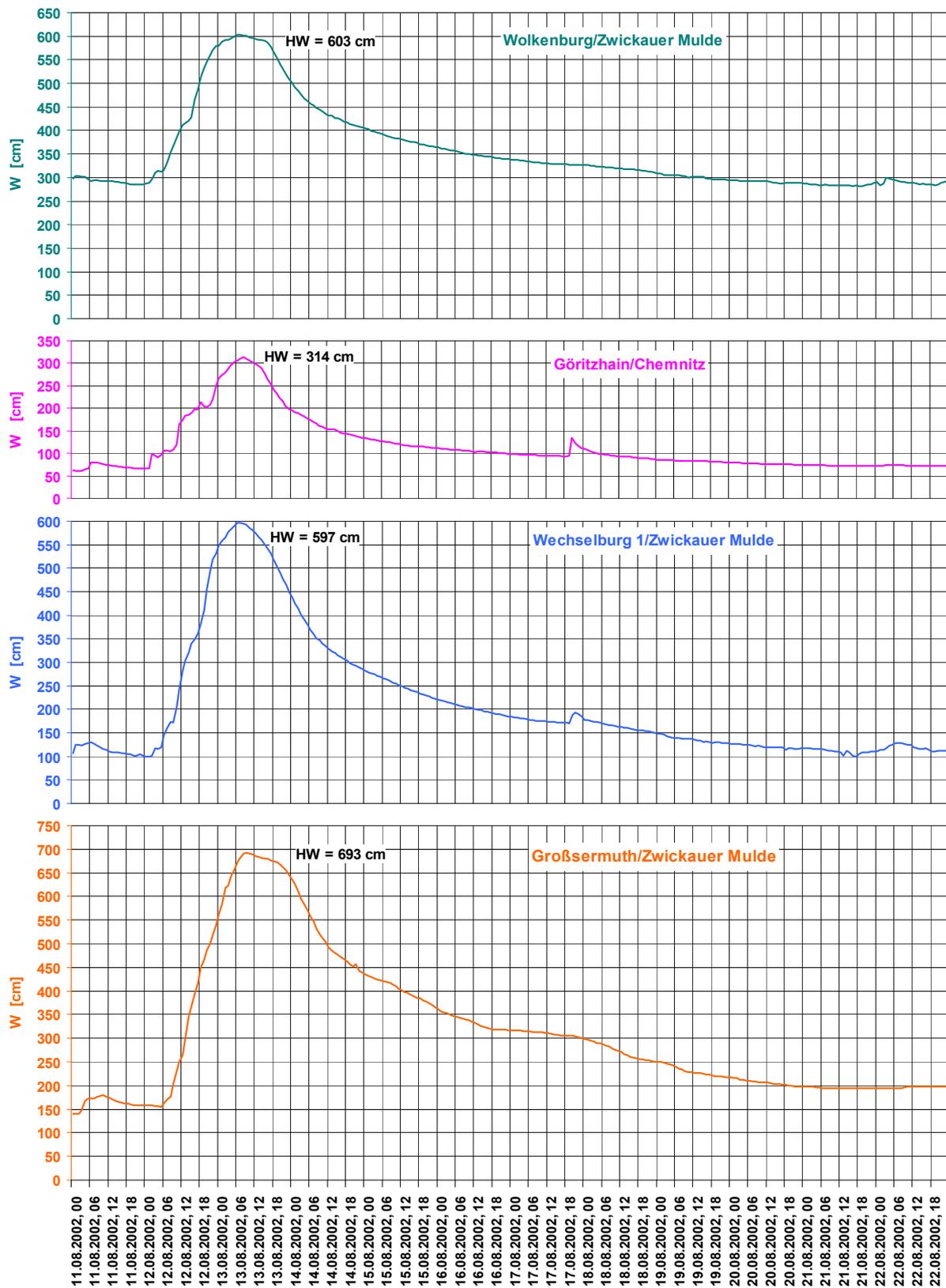


Abbildung 41: Wasserstandsganglinien der Pegel im Gebiet des Mittel- und Unterlaufs der Zwickauer Mulde

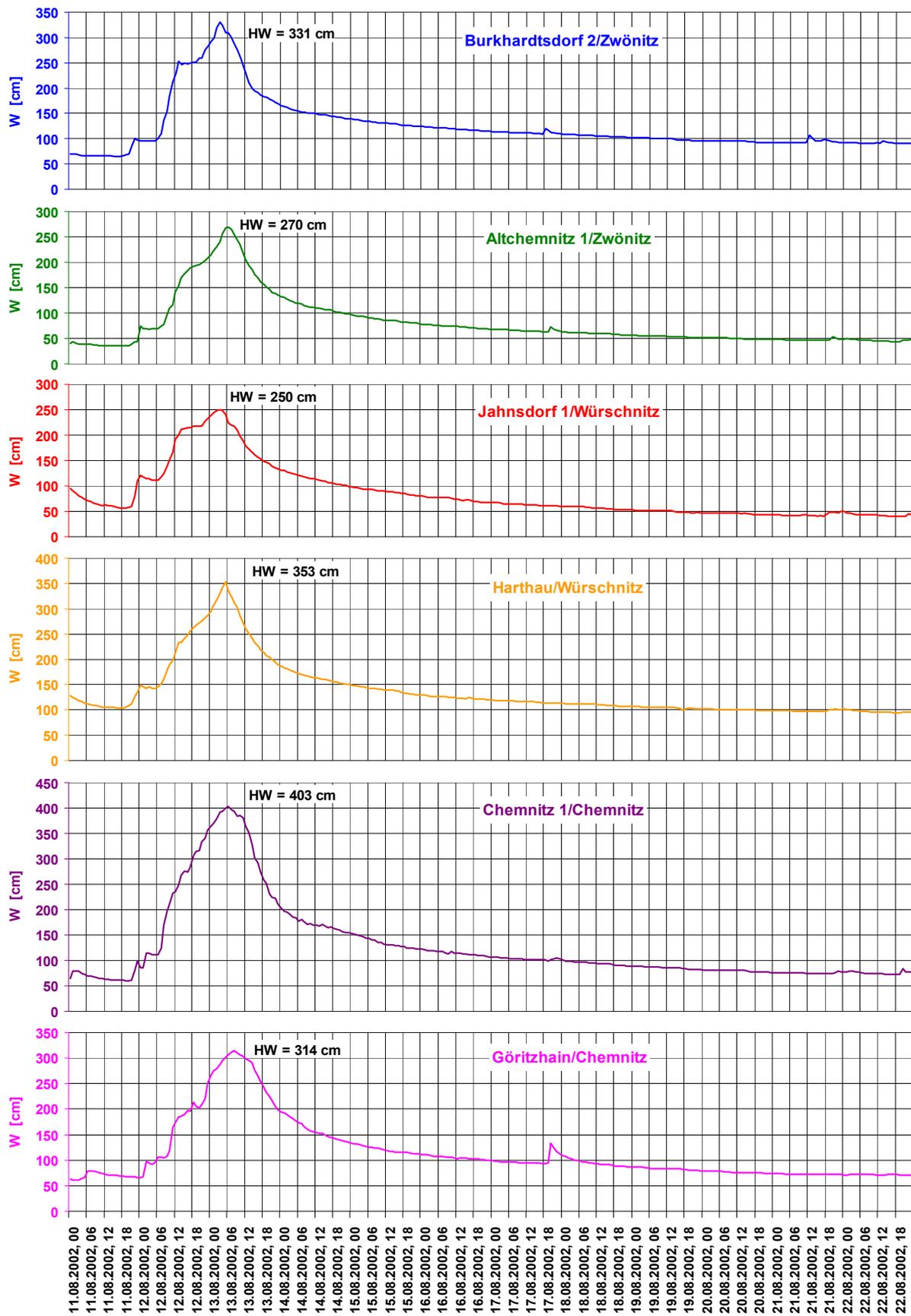


Abbildung 42: Wasserstandsganglinien der Pegel im Gebiet der Chemnitz

Tabelle 10: Kennwerte und Vergleichsgrößen der Hochwasserstände im Flussgebiet der Zwickauer Mulde

Gewässer	Pegel	AE [km²]	Fkm	Beob.- beginn	Hochwasser 08/2002					MHW	HHW		MHW	HHW	
					HW [cm]	Datum	Zeit [MESZ]	W (11.08.2002, 12.00 Uhr MESZ) [cm]	max. Anstieg [cm/2h]	(1992/2001) [cm]	(bis 2001) [cm]	Datum	(1997/2006) [cm]	(bis 2006) [cm]	Datum
Zwickauer Mulde	Schönheide 3	152	141,6	1982	317	13.08.2002	00.45 – 01.15	41	53	150	240	01.09.1995	166	317	13.08.2002
	Neidhardtsthal	201	135,1	1983	197	13.08.2002	12.30	22	94	120	168	02.09.1995	135	197	13.08.2002
	Aue 3	681	118,4	1986	395	13.08.2002	04.00	k.A.	k.A.	131	229	01.09.1995	167	395	13.08.2002
	Niederschlema	759	111	1927	506	13.08.2002	05.00	106	116	208	510	10.07.1954	243	510	10.07.1954
	Zwickau-Pölbitz	1030	83,8	1927	476	13.08.2002	07.30 – 08.00	124	84	247	478	10.07.1954	277	478	10.07.1954
	Wolkenburg	1424	49,5	1994	603	13.08.2002	06.00 – 07.30	293	60	376	472	01.09.1995	392	603	13.08.2002
	Wechselburg 1	2107	25,8	2000	597	13.08.2002	07.00	110	84	2000/01:247	306	17.03.2000	2000/06:312	597	13.08.2002
	Großsermuth	2361	0,6	1990	693	13.08.2002	09.10	174	81	331	474	02.09.1995	387	693	13.08.2002
Große Pyra	Sachsengrund	6,7	6,6	1970	81	12.08.2002	22.00 – 00.00	16	20	52	92	08.05.1978	58	92	08.05.1978
Schwarz- wasser	Johanngeorgen- stadt 3	75,2	30,5	1903	220	13.08.2002	01.00	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
	Aue 1	362	1	1927	452	13.08.2002	03.30 – 04.00	136	84	223	382	10.07.1954	249	452	13.08.2002
Große Mitt- weida	Markersbach 1	30	10	1973	148	13.08.2002	01.00	49	34	65	124	09.08.1982	72	148	13.08.2002
Chemnitz	Chemnitz 1	403	28,9	1918	403	13.08.2002	06.00	63	72	204	380	10.07.1954	229	401	13.08.2002
	Göritzchain	532	1,2	1909	314	13.08.2002	09.00	73	56	161	304	10.07.1954	183	314	13.08.2002
Zwönitz	Burkhardtsdorf2	93,7	18,6	1990	331	13.08.2002	03.45	66	58	130	209	01.09.1995	164	331	13.08.2002
	Altchemnitz 1	144	0,3	1984	270	13.08.2002	07.00	36	37	102	172	01.09.1995	124	270	13.08.2002
Würschnitz	Jahnsdorf 1	103	8	2001	250	13.08.2002	03.30	63	50	2001: 146	146	07.07.2001	2001/06:175	250	13.08.2002
	Harthau	136	0,7	1963	353	13.08.2002	04.30	105	35	189	272	08.12.1974	216	353	13.08.2002

5.3.2 Hochwasserabflüsse

Im Flussgebiet der Zwickauer Mulde fielen vom 10.08. bis 13.08. - bezogen auf das Einzugsbiet bis zum Pegel Wechselburg 1 - etwa 165 mm Niederschlag. Die höchsten Niederschläge von 200 bis 210 mm traten in den Teil-einzugsgebieten südlich von Aue auf. Deutlich geringere, aber immer noch sehr hohe Niederschläge zwischen 130 und 140 mm waren in den Einzugsgebieten, die in den Unterlauf entwässern, zu verzeichnen.

Die beobachteten Hochwasserwellen zeigen die Abb. 43 – 65, charakteristische Zahlenwerte enthält Tab. 11.

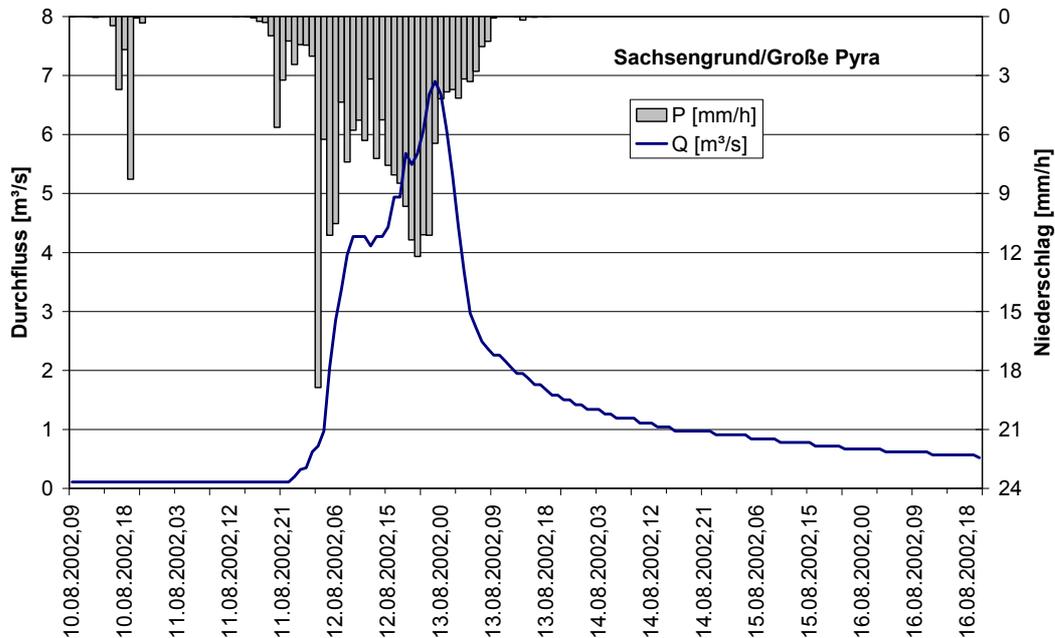


Abbildung 43: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Sachsengrund/ Große Pyra

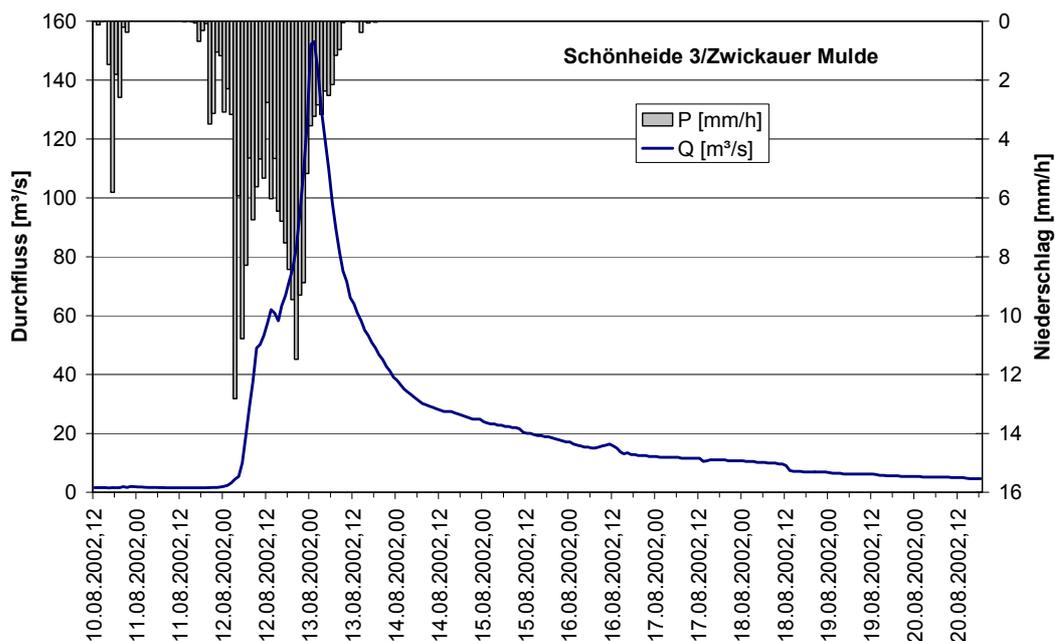


Abbildung 44: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Schönheide 3/ Zwickauer Mulde

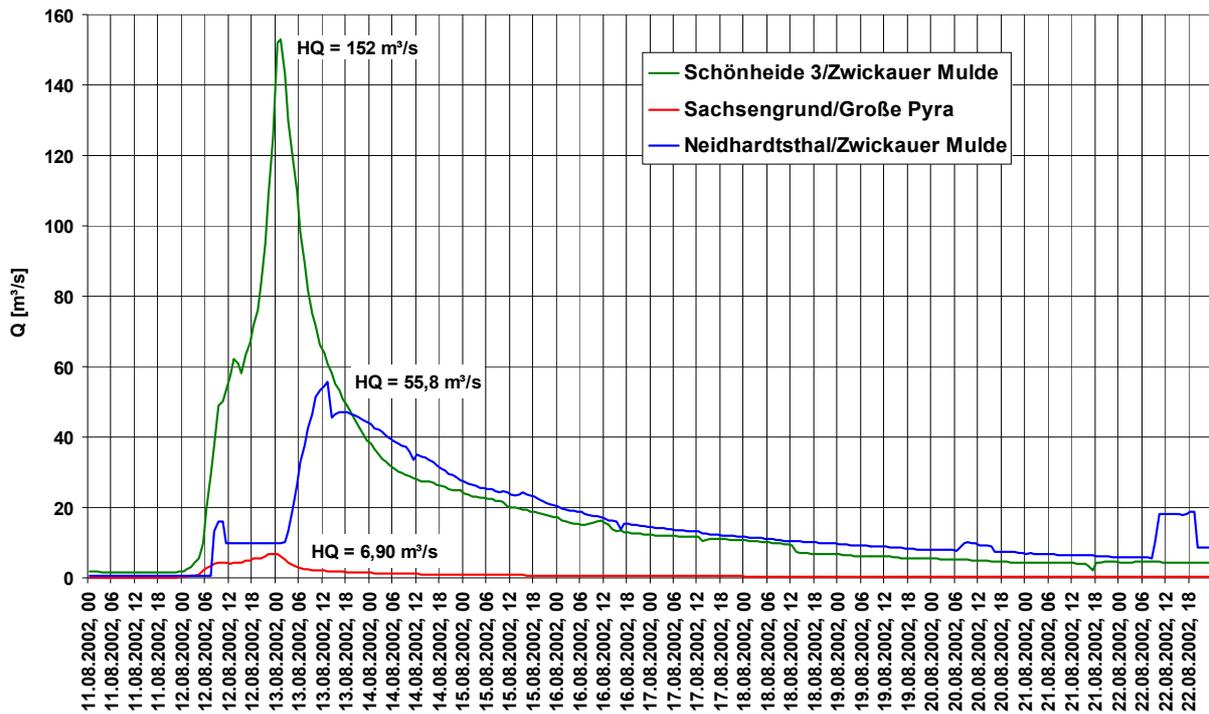


Abbildung 45: Durchflussganglinien der Pegel im Gebiet des Oberlaufs der Zwickauer Mulde

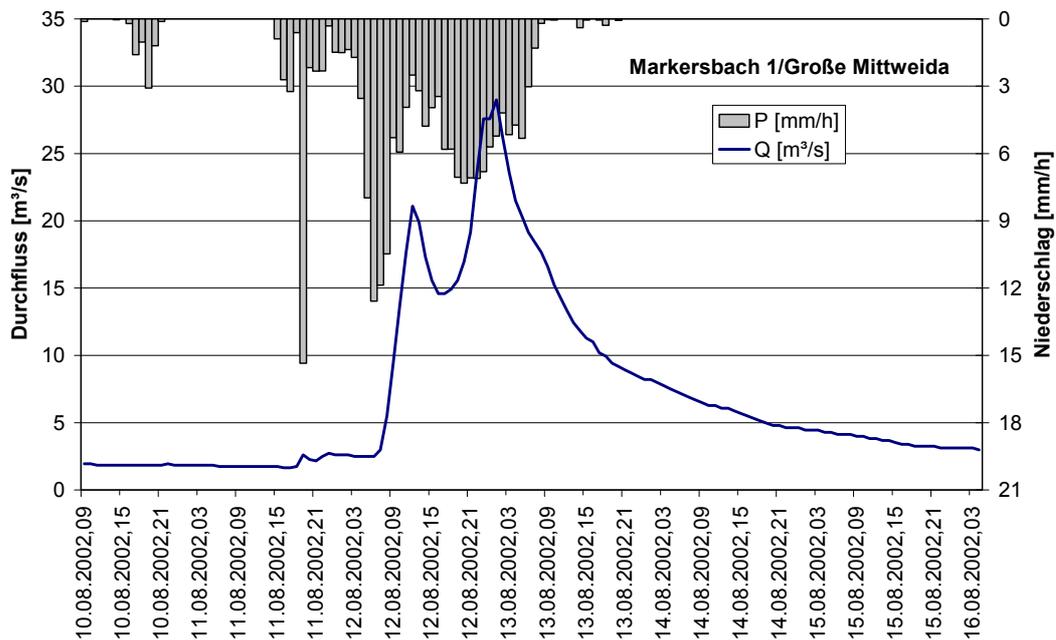


Abbildung 46: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Markersbach 1/ Große Mittweida

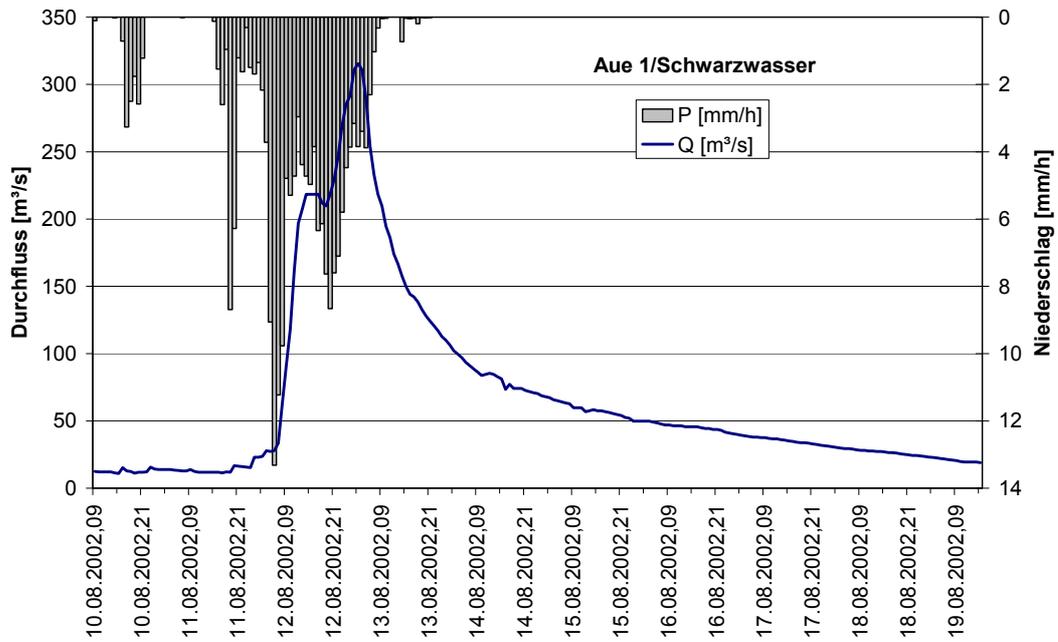


Abbildung 47: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Aue 1/ Schwarzwasser

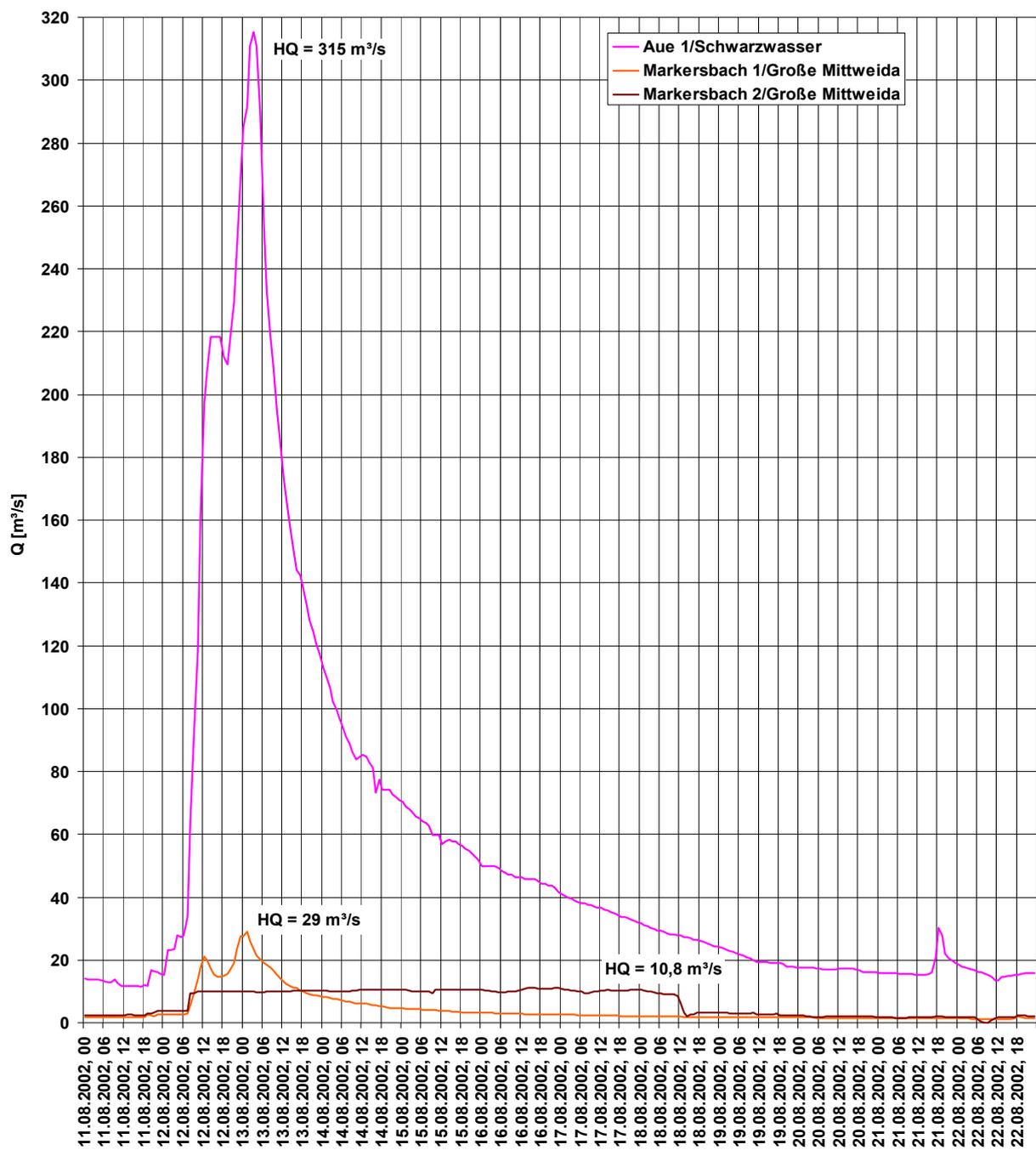


Abbildung 48: Durchflussganglinien der Pegel im Gebiet des Schwarzwassers

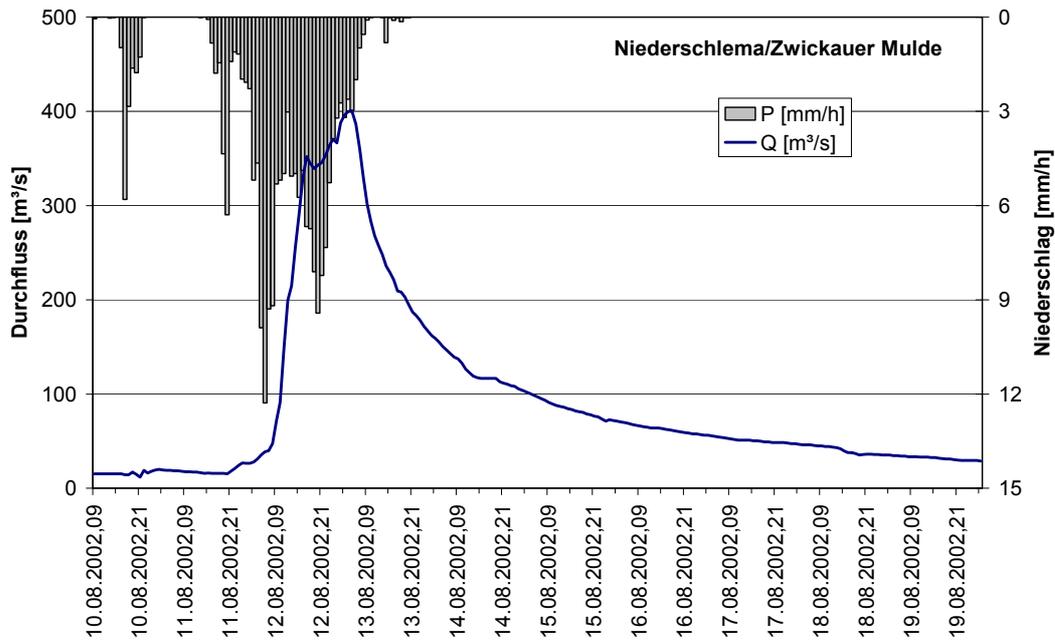


Abbildung 49: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Niederschlema/
Zwickauer Mulde

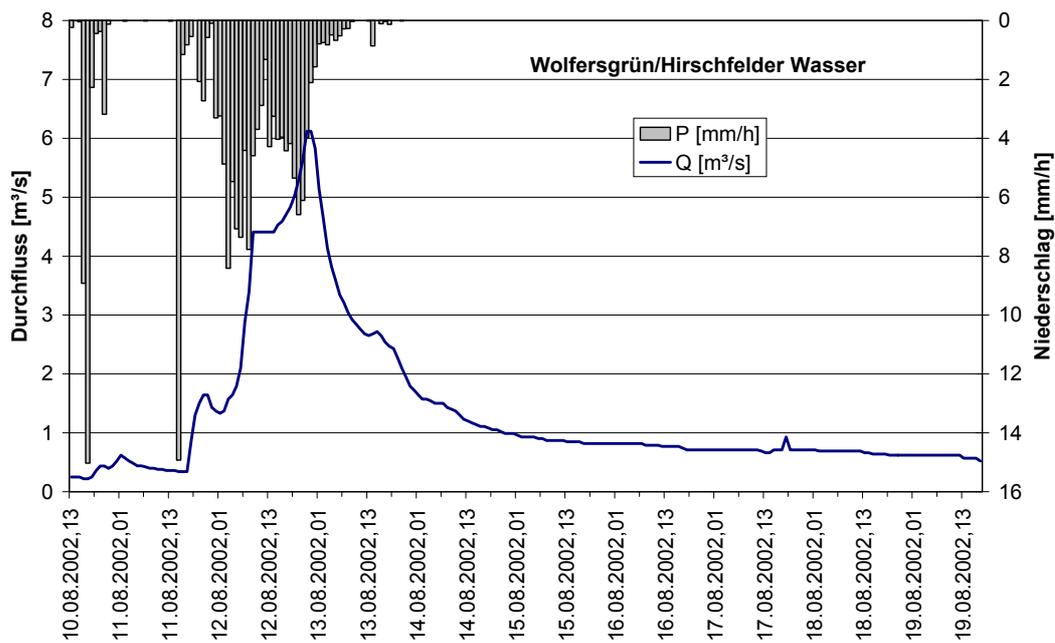


Abbildung 50: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Wolfersgrün/
Hirschfelder Wasser

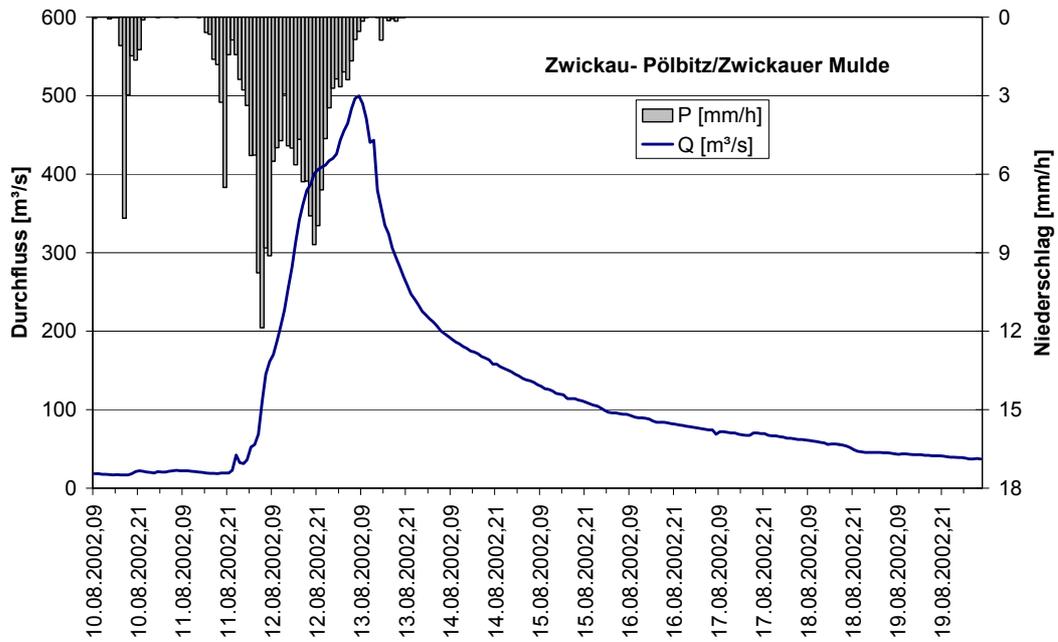


Abbildung 51: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Zwickau-Pöblitz/Zwickauer Mulde

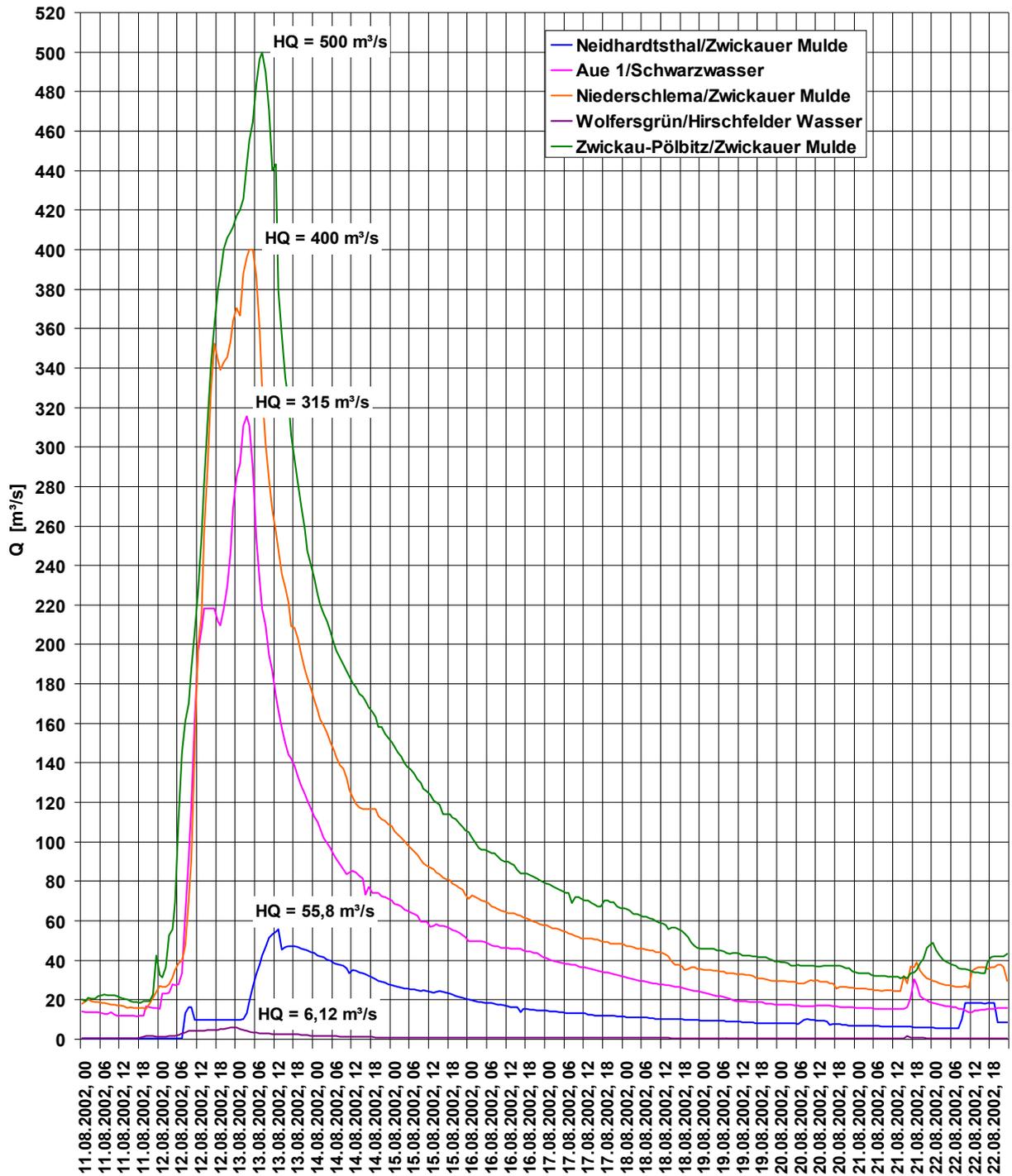


Abbildung 52: Durchflussganglinien der Pegel im Gebiet des Ober- und Mittellaufs der Zwickauer Mulde

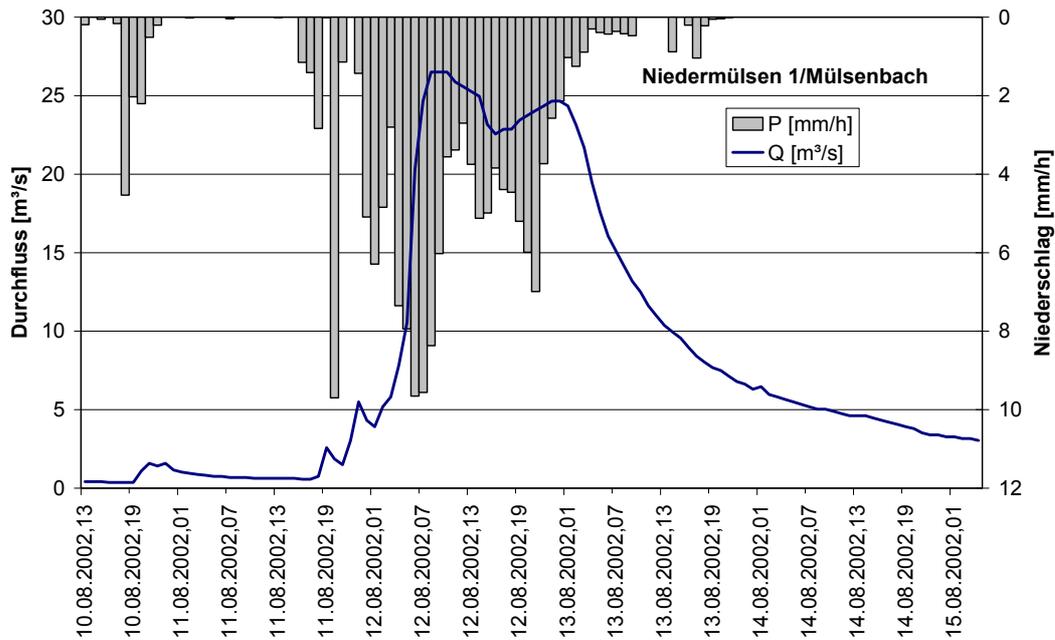


Abbildung 53: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Niedermülsen 1/ Mülsenbach

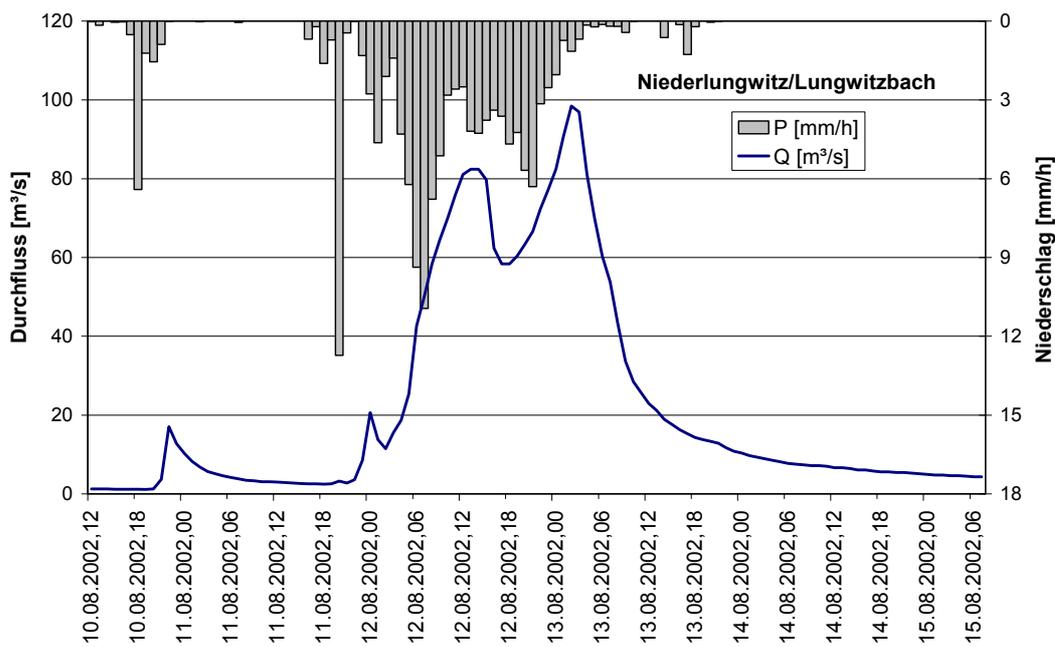


Abbildung 54: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Niederlungwitz/ Lungwitzbach

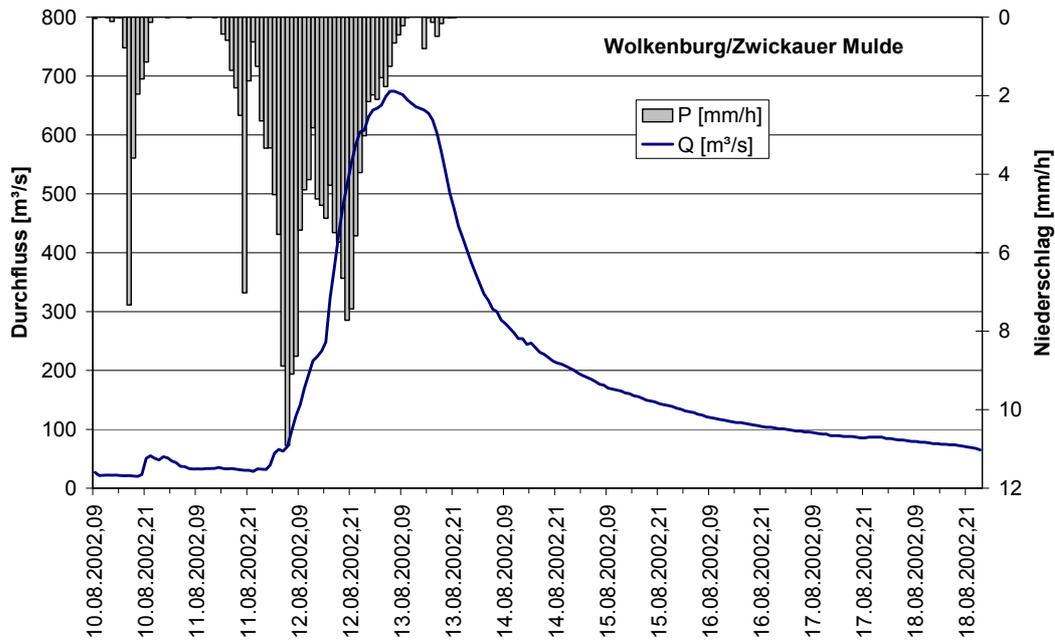


Abbildung 55: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Wolkenburg/ Zwickauer Mulde

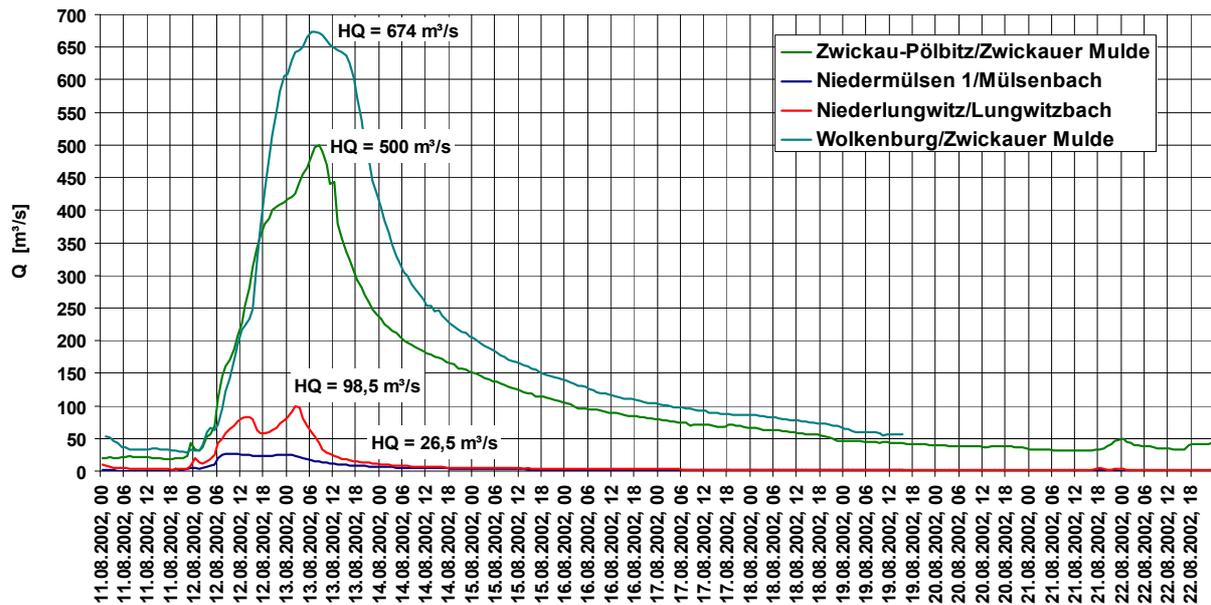


Abbildung 56: Durchflussganglinien der Pegel im Gebiet des Mittellaufs der Zwickauer Mulde

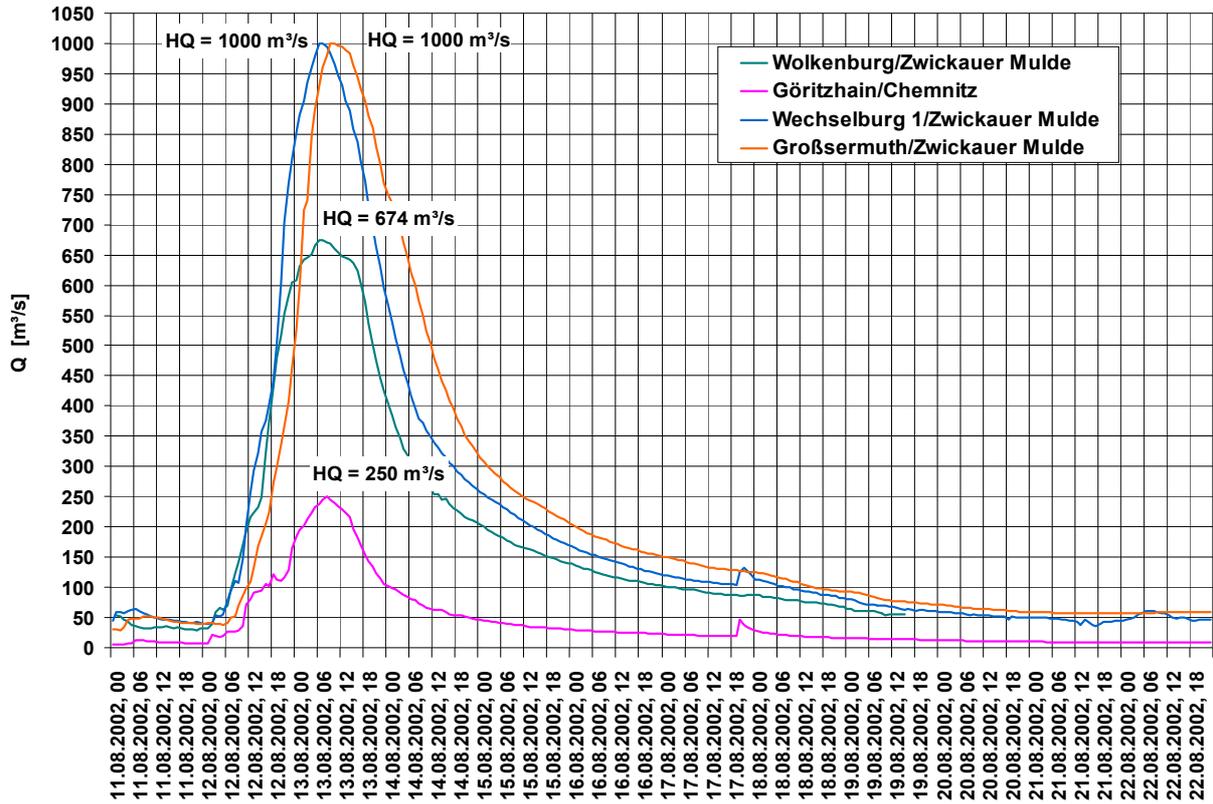


Abbildung 57: Durchflussganglinien der Pegel im Gebiet des Mittel- und Unterlaufs der Zwickauer Mulde

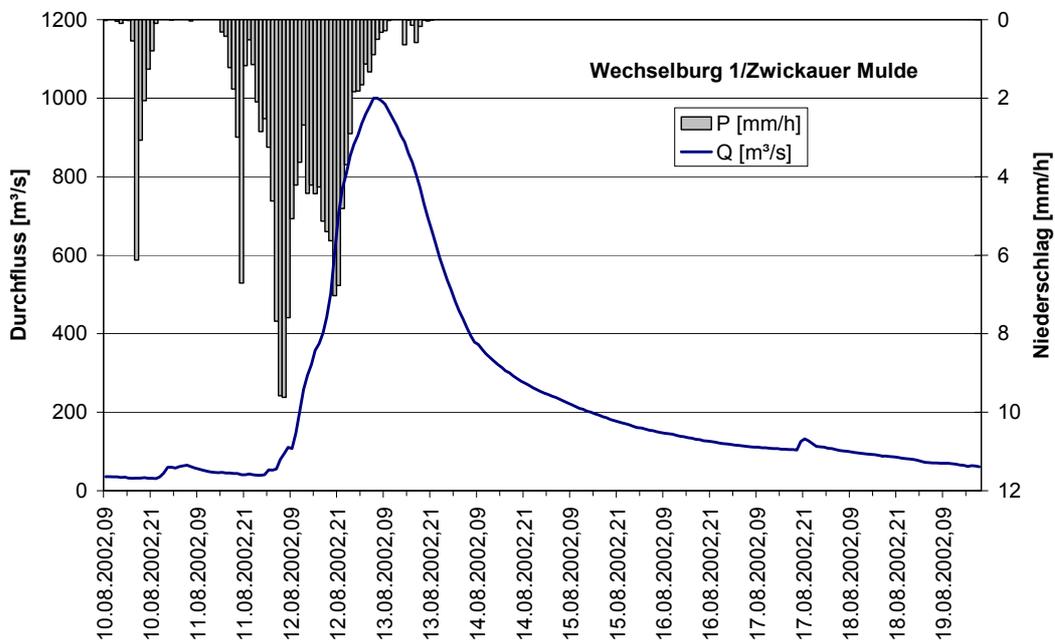


Abbildung 58: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Wechselburg 1/ Zwickauer Mulde

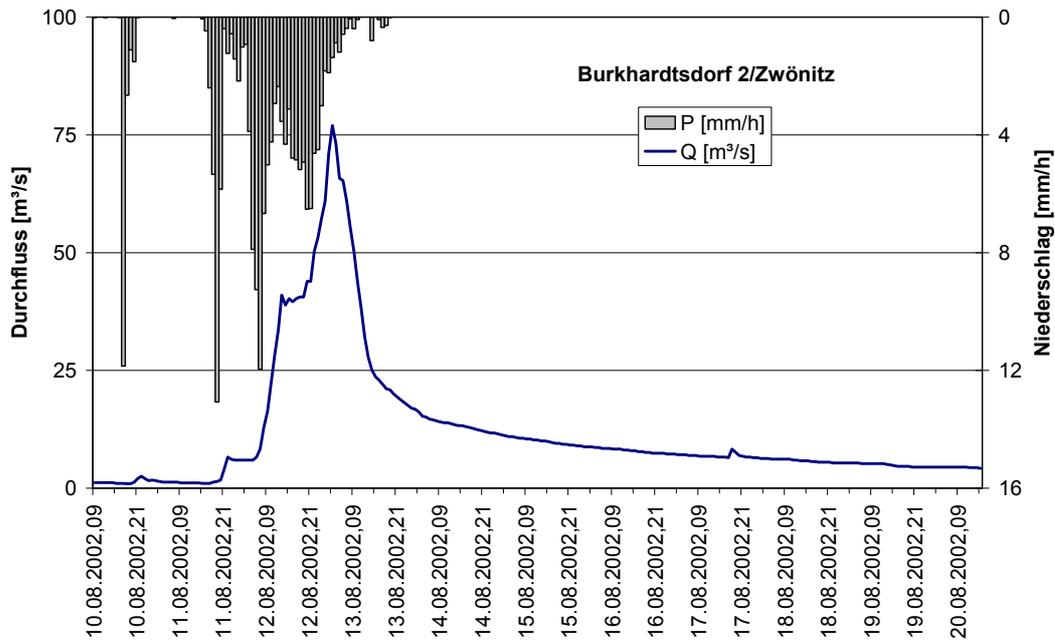


Abbildung 59: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Burkhardtsdorf 2/ Zwönitz

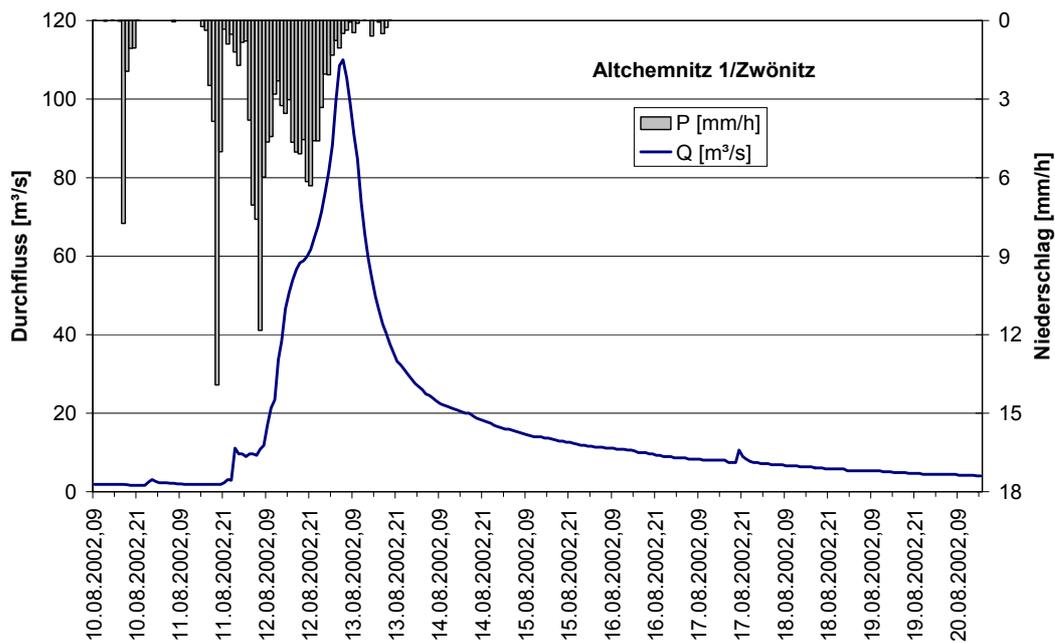


Abbildung 60: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Altchemnitz 1/ Zwönitz

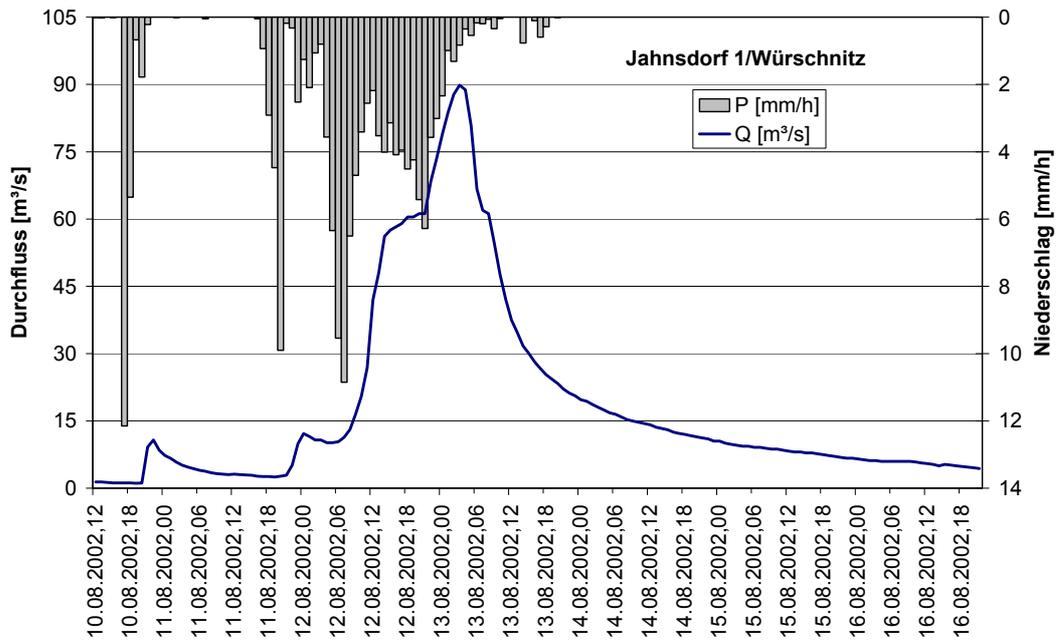


Abbildung 61: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Jahnsdorf 1/ Würschnitz

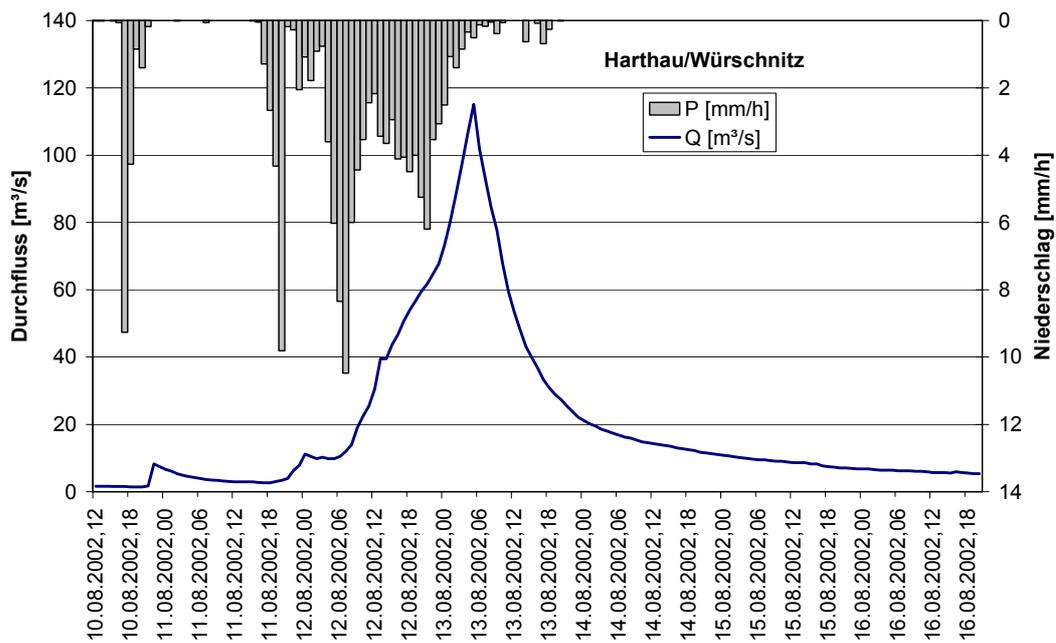


Abbildung 62: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Harthau/Würschnitz

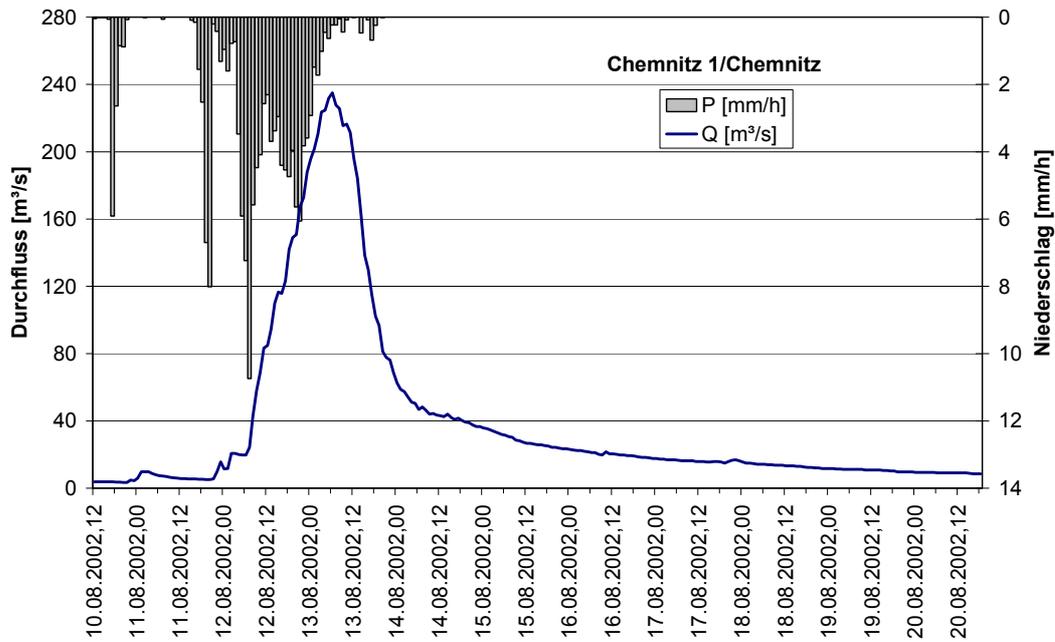


Abbildung 63: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Chemnitz 1/ Chemnitz

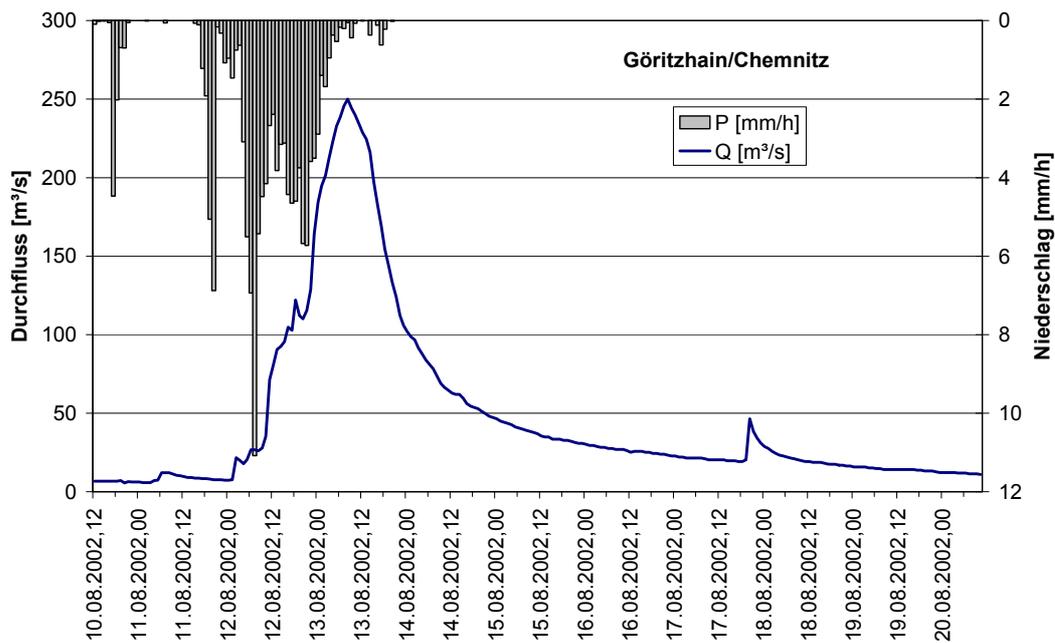


Abbildung 64: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Göritzhain/ Chemnitz

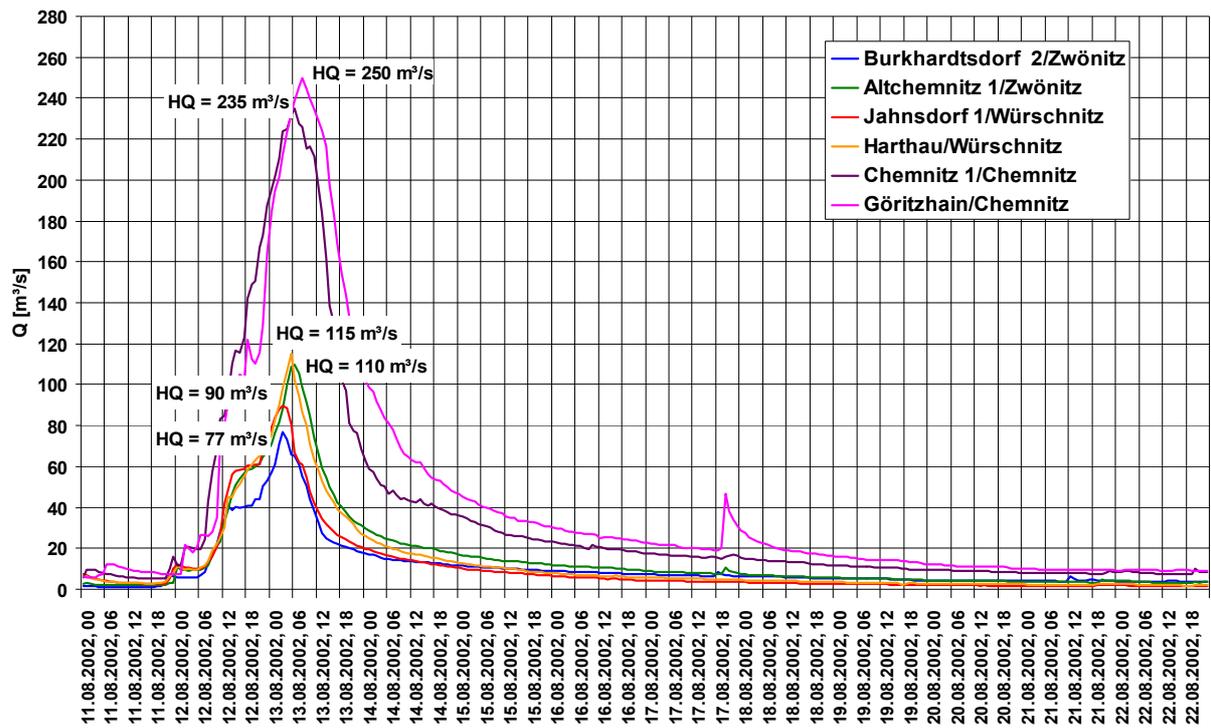


Abbildung 65: Durchflussganglinien der Pegel im Gebiet der Chemnitz

Tabelle 11: Kennwerte und Vergleichsgrößen der Hochwasserabflüsse im Flussgebiet der Zwickauer Mulde

Gewässer	Pegel	AE [km ²]	Q-Reihen- beginn	Hochwasser 08/2002				bis 2001				bis 2004				
				Hauptwerte				Hauptwerte				Hauptwerte				
				HQ [m ³ /s]	Datum	Zeit [MESZ]	Hq [m ³ /(s·km ²)]	MQ [m ³ /s]	MHQ [m ³ /s]	HHQ [m ³ /s]	Datum	MQ [m ³ /s]	MHQ [m ³ /s]	HHQ [m ³ /s]	Datum	
Zwickauer Mulde	Schönheide 3	152	1983	152	13.08.2002	00.45 – 01.15	1,00	2,72	28,8	84,8	01.09.1995	2,71	33,7	152	13.08.2002	
	Neidhardtsthal	201	1985	55,8	13.08.2002	12.30	0,28	2,04	19,7	38,6	02.09.1995	2,12	22,4	55,8	13.08.2002	
	Aue 3	681	1986	370	13.08.2002	04.00	0,54	10,4	81	206	01.09.1995	10,6	94,4	370	13.08.2002	
	Niederschlema	759	1928	400	13.08.2002	05.00	0,53	12,5	107	585	10.07.1954	12,5	110	585	10.07.1954	
	Zwickau-Pölbitz	1030	1928	500	13.08.2002	07.30 – 08.00	0,49	14,2	123	683	10.07.1954	14,2	127	683	10.07.1954	
	Wolkenburg	1424	-	674	13.08.2002	06.00 – 07.30	0,47	19,9	185				18,9	168	674	13.08.2002
	Wechselburg 1	2107	1910	1000	13.08.2002	07.00	0,47	25,9	205	915	10.07.1954	26	213	1000	13.08.2002	
Großsermuth	2361	1996	1000	13.08.2002	09.10	0,42	27,8	148	204	17.03.2000	27,8	147	1000	13.08.2002		
Große Pyra	Sachsengrund	6,7	1971	6,9	12.08.2002	22.00 – 00.00	1,03	0,182	2,5	10,7	08.05.1978	0,182	2,6	10,7	08.05.1978	
Schwarzwasser	Johanngeorgenstadt 3	75,2	-	k.A.	13.08.2002	01.00	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	
	Aue 1	362	1928	315	13.08.2002	03.30 – 04.00	0,76	6,24	63	224	10.07.1954	6,28	65,8	315	13.08.2002	
Große Mittweida	Markersbach 1	30	1974	29	13.08.2002	01.00	0,97	0,608	5,19	19,1	09.08.1982	0,607	5,86	29	13.08.2002	
Chemnitz	Chemnitz 1	403	1918	235	13.08.2002	06.00	0,58	4,01	49,4	140	10.07.1954	4,04	52,5	233	13.08.2002	
	Göritzhein	532	1910	250	13.08.2002	09.00	0,47	6,23	67,6	241	10.07.1954	6,26	69,7	250	13.08.2002	
Zwönitz	Burkhardtsdorf 2	93,7	1992	77	13.08.2002	03.45	0,82	1,42	18,1	51,3	01.09.1995	1,39	21,7	77	13.08.2002	
	Altchemnitz 1	144	1985	110	13.08.2002	07.00	0,76	2,14	22	60,1	01.09.1995	2,14	26,2	110	13.08.2002	
Würschnitz	Jahnsdorf 1	103	1992	90	13.08.2002	03.30	0,87	1,1	15,3	26,2	17.03.2000	1,14	21,9	89,9	13.08.2002	
	Harthau	136	1963	115	13.08.2002	04.30	0,85	1,44	26,2	69,9	08.12.1974	1,46	28,8	115	13.08.2002	

Hinsichtlich des Hochwasserablaufs glich das Abflussverhalten des 151 km² großen Einzugsgebietes zwischen den Pegeln Wolkenburg, Wechselburg 1 und Göritzhain dem des benachbarten Lungwitzbaches. An den Pegeln Wolkenburg und Wechselburg 1 traten die Hochwasserscheitel nahezu zeitgleich und noch vor dem Scheitel aus der Chemnitz auf. Dabei waren nahezu gleichgroße Scheitelabflusspenden von rund 470 l/s·km² an allen drei Pegeln zu beobachten. Die aus Abb. 66 ersichtliche Differenz zwischen der Summe der zeitgleichen Abflüsse in Wolkenburg und Göritzhain und den Abflusswerten in Wechselburg zeigt die Reaktion dieses Zwischengebietes auf die Niederschläge am 12.08. In Abb. 67 sind für dieses Zwischengebiet die Werte des Gebietsniederschlags unter Verwendung von Radardaten und die entsprechenden Abflusspenden, berechnet aus der Differenz der zeitgleichen Abflusswerte von Wechselburg, Wolkenburg und Göritzhain, dargestellt. Ersichtlich wird eine Scheitelabflusspende von 580 l/s·km², die in ihrer Größenordnung mit den Spenden der benachbarten Gebiete von Mülsenbach, Lungwitzbach, Würschnitz und Zwönitz vergleichbar ist. Der Großteil des Niederschlags fiel am 12.08. zwischen 04.00 Uhr und 20.00 Uhr. Die achtstündige Verzögerung des berechneten Scheitelwertes aus dem Zwischengebiet gegenüber der zweiten Niederschlagsspitze (Abb. 67) findet eine Bestätigung auch in der Reaktionszeit des etwa gleichgroßen Einzugsgebietes des Pegels Niederlungwitz (Abb. 54). In diesem tritt der erste Scheitel etwa 8 Stunden nach der ersten Niederschlagsspitze, der zweite dann 6 Stunden nach der zweiten Niederschlagsspitze auf.

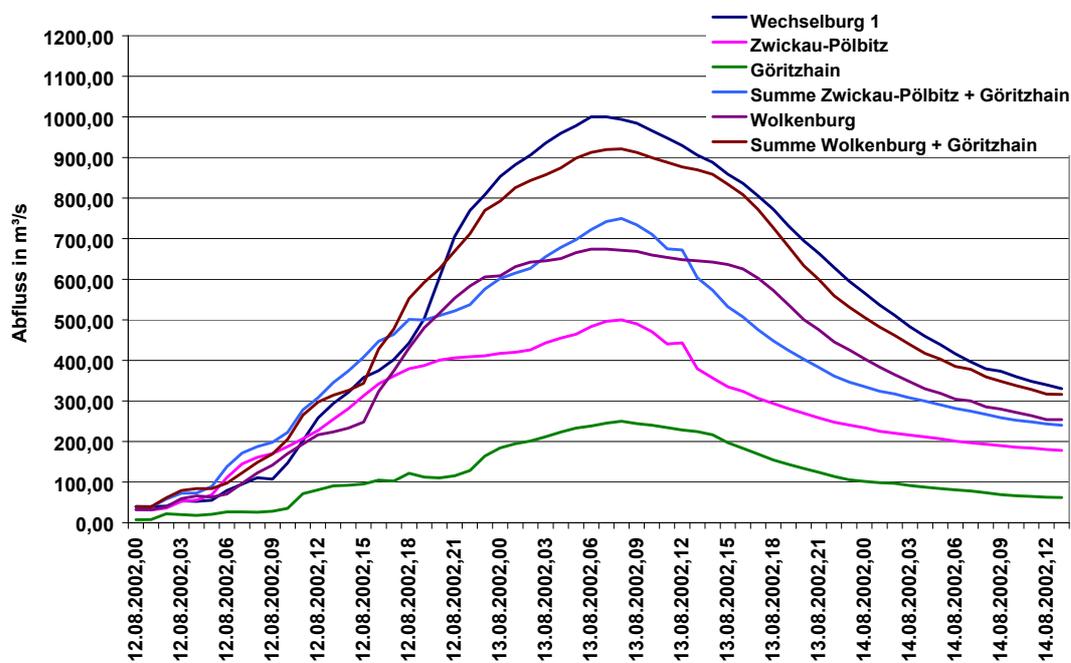


Abbildung 66: Hochwasserganglinien ausgewählter Pegel im Einzugsgebiet der Zwickauer Mulde

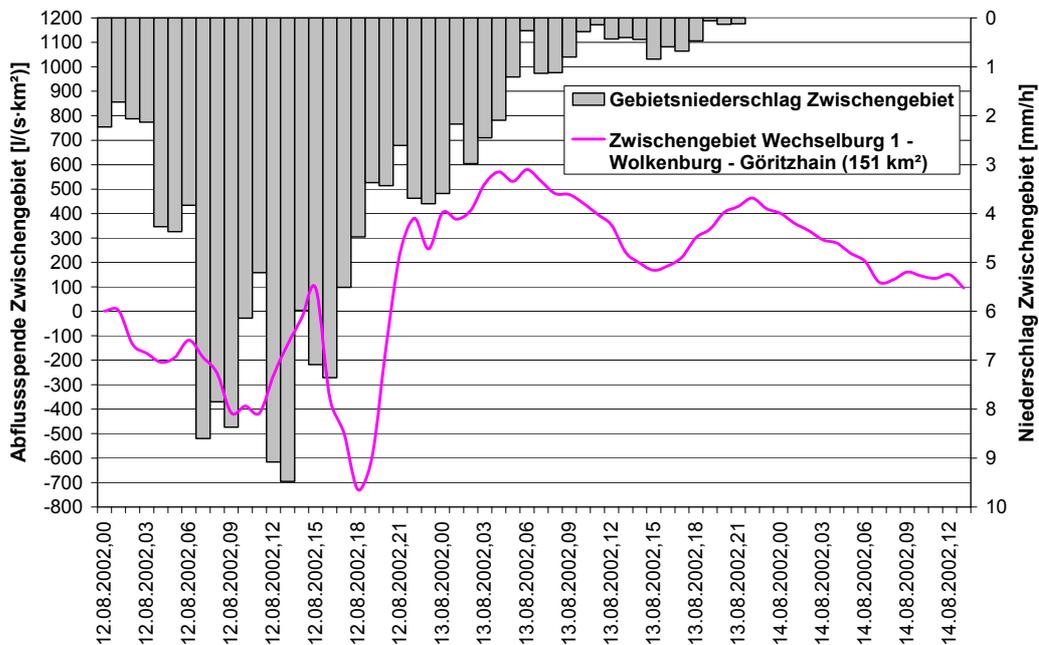


Abbildung 67: Niederschlag und Abflusspende für das Zwischengebiet der Zwickauer Mulde vom Pegel Wolkenburg bis zum Pegel Wechselburg 1 abzüglich des Zuflusses der Chemnitz (151 km²)

Für das Abflussverhalten zwischen den Pegeln Zwickau-Pölbitz und Wolkenburg ist folgendes festzustellen: Der Scheitel trat in Zwickau-Pölbitz am 13.08. zwischen 07.30 Uhr und 08.00 Uhr, in Wolkenburg dagegen bereits von 06.00 Uhr bis 07.30 Uhr auf. Diese Zeitdifferenz zeigt sich infolge des breiten Scheitels in Wolkenburg (03.00 Uhr: 645 m³/s; 06.00 Uhr: 675 m³/s; 11.00 Uhr: 660 m³/s; vgl. auch Abb. 54) gegenüber dem zeitlichen Unterschied der Scheiteleintritte in Göritzhain um 09.00 Uhr und Wechselburg um 07.00 Uhr weniger deutlich. Aufgrund der geringen Differenz der Abflusshöhen in Zwickau-Pölbitz mit 83,7 mm und Wolkenburg mit 82,7 mm war das 394 km² große Zwischengebiet nur durchschnittlich an der Abflussbildung beteiligt. Die Abflusshöhen der in diesem Zwischengebiet befindlichen Pegel Niedermülsen 1 (71,5 mm) und Niederlungwitz (62,6 mm) sind damit niedriger als die berechnete Abflusshöhe des gesamten Zwischengebietes von 79 mm. Die Scheiteleintrittszeitpunkte in Niedermülsen und Niederlungwitz liegen 6 bzw. 4 Stunden vor dem Scheiteldurchlauf in Wolkenburg. Ungenauigkeiten oder Fehler bei der Datenbestimmung können nicht ausgeschlossen werden. Sie sind aber zurückzuführen auf die Problematik der Erfassung extremer Abflüsse, wie sie besonders am Pegel Niederlungwitz mit der weiträumigen Überschwemmung bebauter Bereiche aufgetreten sind. Die Parameter von Kozeny-Funktion und Nash-Impulswort zeigt Tabelle 12 für die untersuchten Pegel.

Tabelle 12: Kozeny- und Nash-Impulsantwort-Parameter für Pegel im Flussgebiet der Zwickauer Mulde ohne Chemnitz

Pegel/Gewässer	AE [km ²]	m	n	k
Schönheide 3/Zwickauer Mulde	152	8,518	2,7	9,44
Niederschlema/Zwickauer Mulde	759	4,563	2,6	10,43
Zwickau-Pölbitz/Zwickauer Mulde	1030	4,009	2,6	11,6
Wolkenburg/Zwickauer Mulde	1424	3,165	2,5	11,56
Wechselburg 1/Zwickauer Mulde	2107	3,509	2,8	10,63
Aue 1/Schwarzwasser	362,5	5,956	2,5	9,94

Die bezogenen Ganglinien (Abb. 68) zeigen weitgehend übereinstimmende Verläufe für Niederschlema und Zwickau-Pölbitz sowie Wolkenburg und Wechselburg 1.

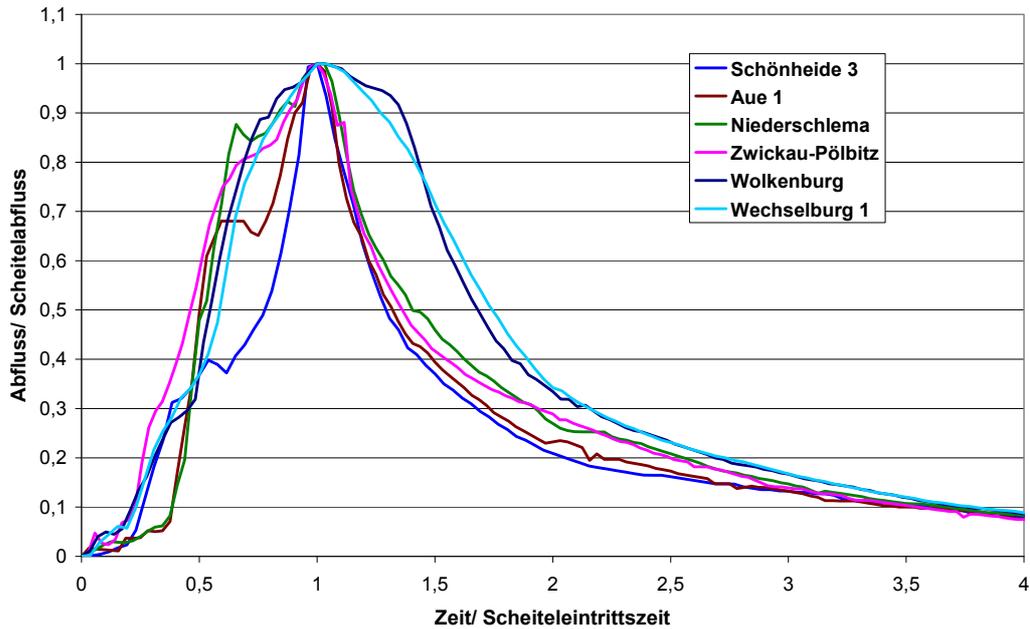


Abbildung 68: Bezogene Ganglinien für Pegel im Flussgebiet der Zwickauer Mulde ohne Chemnitz

Aus Abb. 69 und Tab. 12 ist ersichtlich, dass der Kozeny-Parameter mit zunehmender Einzugsgebietsgröße abnimmt.

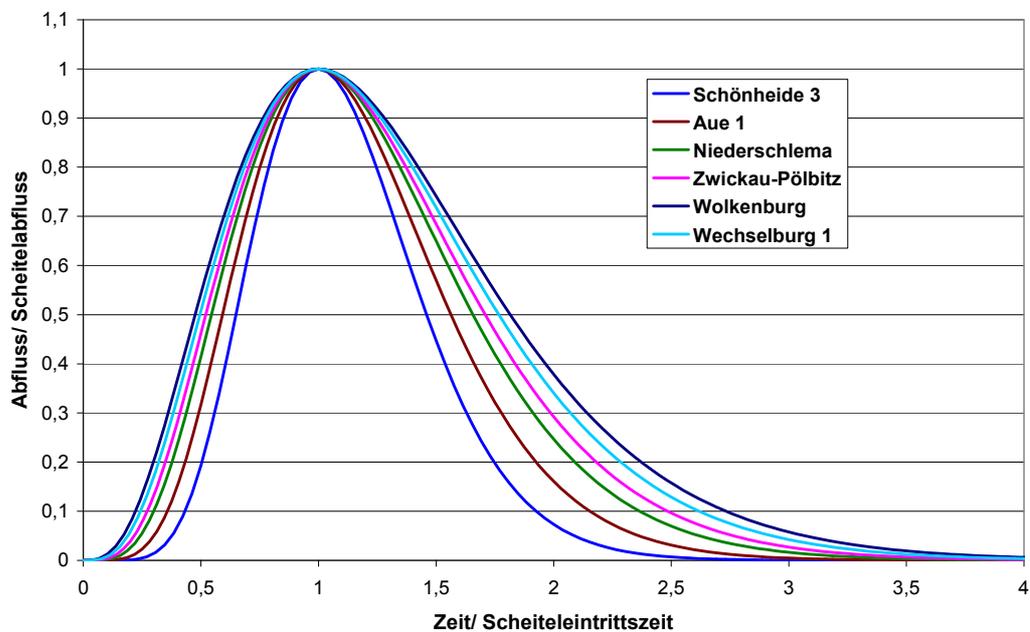


Abbildung 69: Angepasste Kozeny-Funktion für Pegel im Flussgebiet der Zwickauer Mulde ohne Chemnitz

Der gleichförmige Verlauf für die Pegel Niederschlema, Zwickau-Pölbitz, Wolkenburg und Wechselburg 1 ist durch die Ausgleichsrechnung zur Parameterschätzung bedingt. Die Nash-Impulsantworten zeigen dagegen eine etwas größere Variabilität (Abb. 70).

Die abweichende Impulsantwort am Pegel Schönheide 3/Zwickauer Mulde begründet sich in der Methodik der Parameterschätzung und dem Ganglinienverlauf, der durch einen plötzlichen sehr steilen Anstieg nach anfänglicher Verzögerung und einem schnellen Rückgang gekennzeichnet ist.

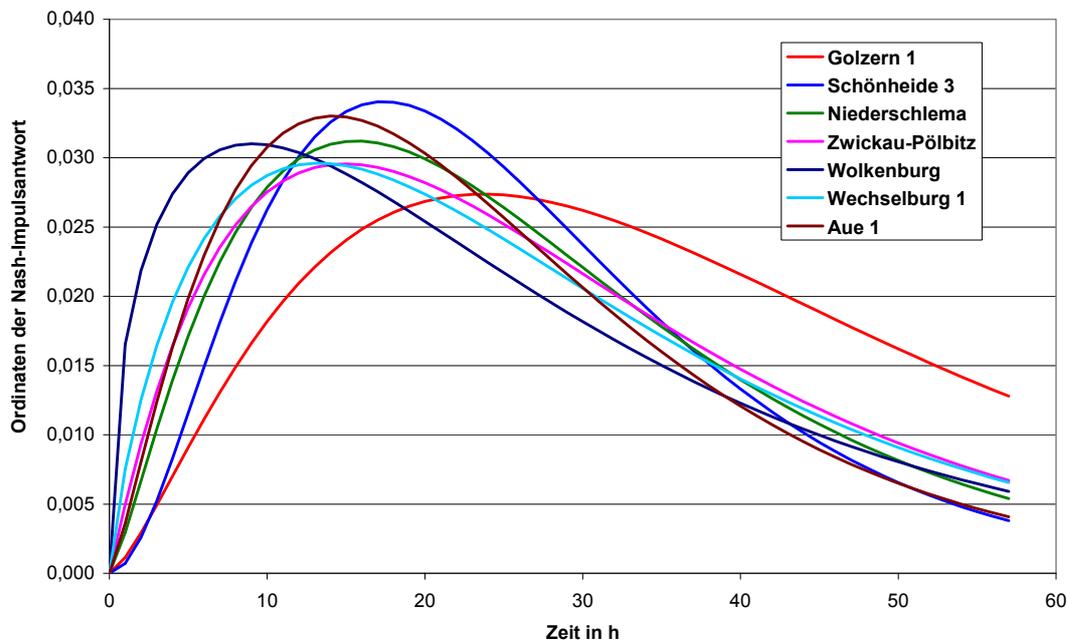


Abbildung 70: Angepasste Nash-Impulsantworten für Pegel im Flussgebiet der Zwickauer Mulde

Im Einzugsgebiet der Chemnitz fielen zwischen dem 10. und 13.08. etwa 131 mm Niederschlag (bezogen auf den Pegel Göritzhein), von denen 64 mm zum Abfluss kamen. Die höchsten Niederschläge traten im Gebiet der Zwönitz auf (159 bis 172 mm), etwas geringer waren die Niederschläge im Einzugsgebiet der Würschnitz. Die Einzugsgebiete von Zwönitz und Würschnitz weisen nahezu gleich große Abflussbeiwerte von 0,54 bis 0,59 auf. Zwischen Chemnitz und Göritzhein verringerten sich Scheitelabflussspende und Abflussbeiwert deutlich. Wie aus Abb. 65 und Tab. 11 ersichtlich, überlagerten sich die Scheitel von Würschnitz und Zwönitz nahezu zeitgleich (13.08.: 4.30 Uhr trat der Scheitel am Pegel Harthau/Würschnitz auf, um 7.00 Uhr am Pegel Altchemnitz 1/ Zwönitz).

Der resultierende Scheitel der Chemnitz erreichte nach einer Laufzeit von drei Stunden zwischen den Pegeln Chemnitz 1 und Göritzhein am 13.08. um 9.00 Uhr die Mündung in die Zwickauer Mulde. Infolge des zeitlichen Unterschiedes von 2 bis 3 Stunden zwischen den Scheitelabflüssen der Würschnitz und Zwönitz verringert sich nach dem Zusammenfluss die Scheitelabflussspende in Chemnitz stark auf $568 \text{ l/(s} \cdot \text{km}^2)$ (gegenüber $820 \text{ l/(s} \cdot \text{km}^2)$ in Harthau bzw. $741 \text{ l/(s} \cdot \text{km}^2)$ in Altchemnitz).

Die bezogenen Ganglinien, Kozeny-Funktionen und Nash-Impulsantworten zeigen die Abb. 71 bis 73. Die Kozeny-Parameter sind in der folgenden Tabelle 13 zusammengestellt. Der sehr große Wert des Kozeny-Parameters für den Pegel Harthau ist durch die Überbetonung des Scheitels und des schnellen Rückgangs der Ganglinie begründet. Der relativ langsame Anstieg wird dagegen durch die Kozeny-Ganglinie verfehlt. Für den Pegel Harthau war es infolge der Besonderheiten der Abflussganglinie nicht möglich, eine Nash-Impulsantwort nach dem Momentenverfahren zu ermitteln.

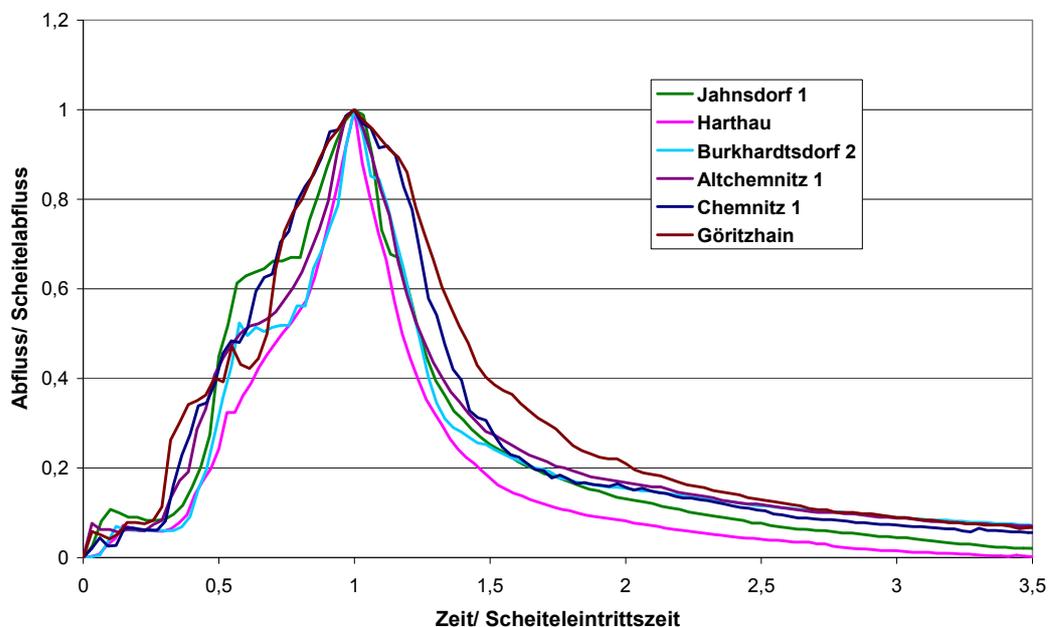


Abbildung 71: Bezogene Ganglinien im Flussgebiet der Chemnitz

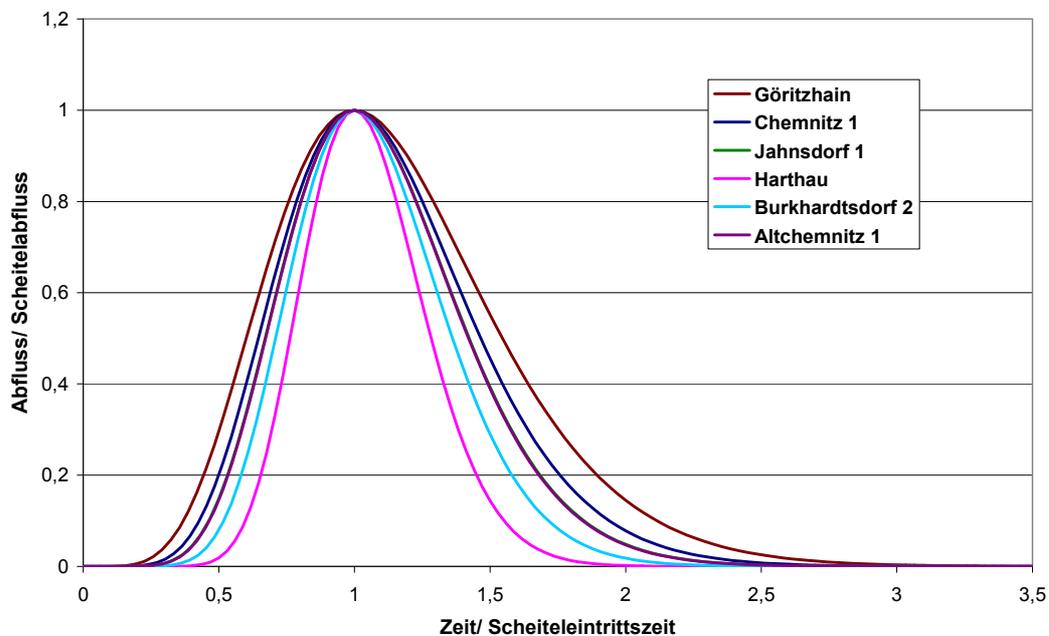


Abbildung 72: Angepasste Kozeny-Funktionen für Pegel im Flussgebiet der Chemnitz

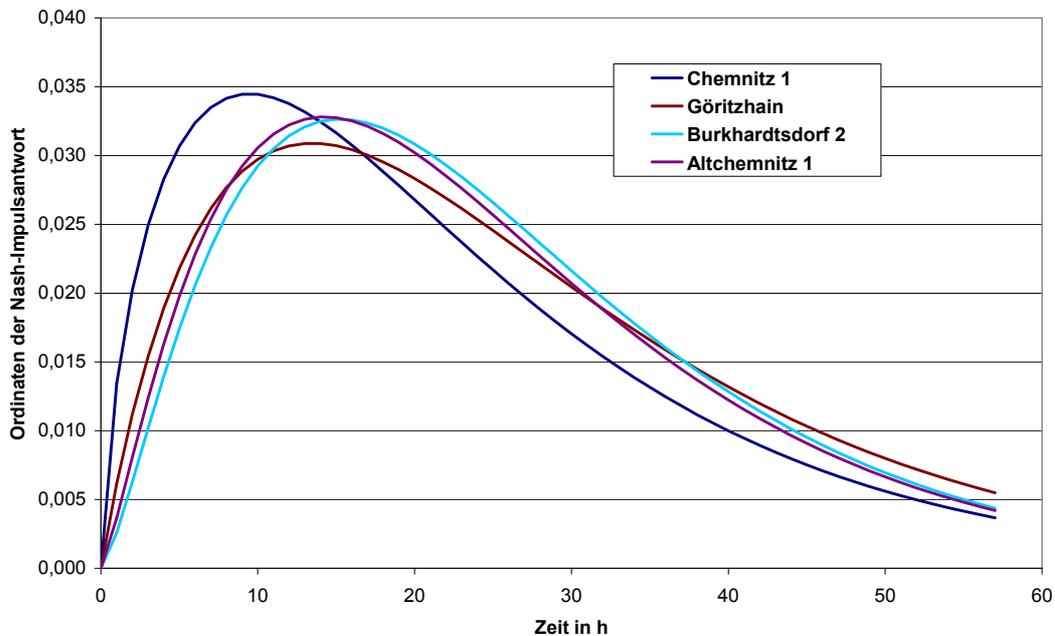


Abbildung 73: Angepasste Nash-Impulsantworten für Pegel im Flussgebiet der Chemnitz

Tabelle 13: Kozeny- und Nash-Impulsantwort-Parameter für Pegel im Flussgebiet der Chemnitz

Pegel/Gewässer	AE [km ²]	m	n	k
Chemnitz 1/Chemnitz	403,2	8,311	4	6,13
Göritzhain/Chemnitz	532,3	6,293	3,2	8,82
Burkhardtsdorf 2/Zwönitz	93,7	13,104	3,7	7,73
Altchemnitz 1/Zwönitz	144,3	9,979	3,6	7,63
Jahnsdorf 1/Würschnitz	103	9,878	2,6	7,76
Harthau/Würschnitz	135,7	20,512		

Der in Abb. 73 erkennbare Unterschied der Impulsantwort am Pegel Chemnitz 1/Chemnitz zu den der übrigen Pegel kann auf die Überlagerung der Ganglinien aus Zwönitz und Würschnitz zurückzuführen sein.

5.3.3 Speicherbewirtschaftung

Die Talsperre Eibenstock wies von den betrachteten Talsperren bezüglich der absolut zurückgehaltenen Abflussfülle die größte Wirkung auf. Der maximale Rückhalt von 9,25 hm³ verteilt sich wie folgt:

- Freier Betriebsraum: 0,58 hm³,
- Gewöhnlicher Hochwasserrückhalteraum: 5,78 hm³,
- Außergewöhnlicher Hochwasserrückhalteraum: 2,89 hm³.

Die Hochwasserentlastung der Talsperre sprang in etwa zeitgleich mit dem Eintritt des Scheitelabflusses von 181 m³/s an. Die höchste Wildbettabgabe aus der Talsperre betrug 55,4 m³/s. In der Zeit des höchsten Zuflusses wurden nur 10,0 m³/s in das Wildbett abgegeben, wodurch der Hochwasserscheitel an der Sperrstelle um ca. 95 % reduziert werden konnte (Abb. 74). Unterhalb der Mündung des Schwarzwassers war jedoch der Einfluss der Talsperre Eibenstock auf die Abflussfülle deutlich reduziert (Tabelle 14).

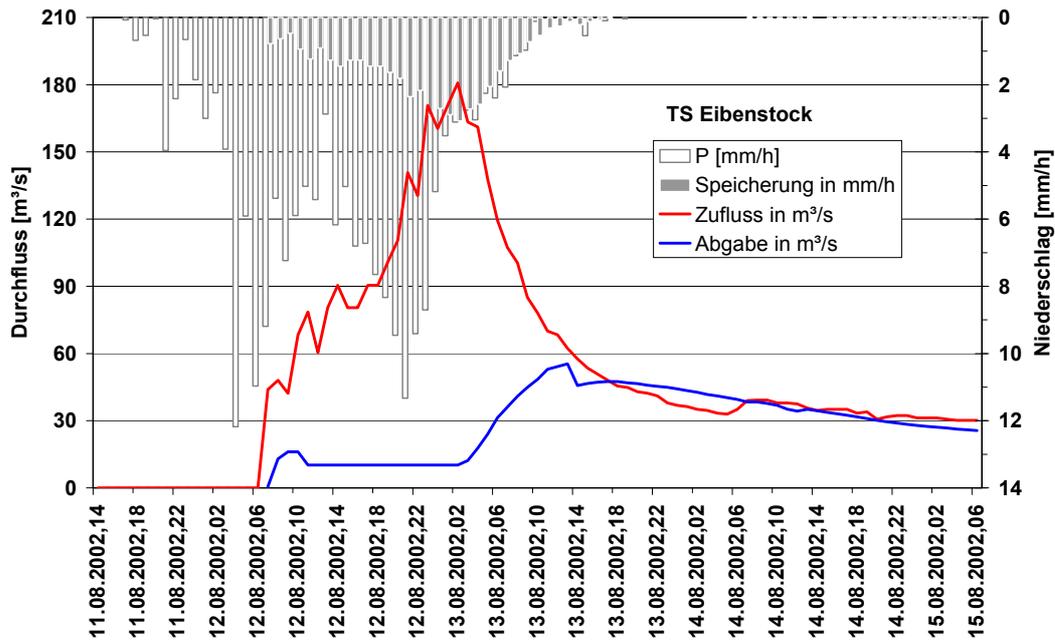


Abbildung 74: Gebietsniederschläge Zufluss, Abgabe und Speicherung der TS Eibenstock

Tabelle 14: Minderung der Abflussfüllen an ausgewählten Pegeln durch die Talsperre Eibenstock

Gewässer	Talsperre/ Pegel	A _E [km ²]	P [mm]	R _{Zufluss} [mm]	S _{max} [mm]	R [mm]	R _{ZG} [mm]	Abflussfüllen- reduzierung durch die Talsperre [%]
Zwickauer Mulde	TS Eibenstock	195,5	213,9	84,1	46,3	37,8	-	-
	Niederschlema	759,4	203,9	-	-	79,9?	91,9	15,7
	Zwickau-Pölbitz	1030	199,7	-	-	80,8?	89,1	11,3
	Wechselburg 1	2107	165,8	-	-	76,2?	79,3	5,8

Die größte Zuflussscheitelreduzierung wurde an der Talsperre Sosa erreicht (Tabelle 15), trotzdem diese Anlage über keinen gewöhnlichen Hochwasserrückhalteraum verfügt. Im freien Betriebsraum wurden 0,79 von 1,07 hm³ der Zuflussfülle zurückgehalten. Die Hochwasserentlastungsanlage sprang erst am Ende der Hochwasserrückgangphase mit geringen Überfallwassermengen an (Abb. 75). Die Talsperre verfügt über einen Hanggrabenzufluss von der Großen Bockau mit einer maximalen Kapazität von etwa 1,2 m³/s, sodass keine weitergehenden hydrologischen Analysen erfolgten. Der natürliche Zufluss der Kleinen Bockau zur Talsperre Sosa wird damit durch Überleitungen aus einem anderen Einzugsgebiet aufgehört. Das Gesamteinzugsgebiet der Talsperre Sosa beträgt 17,15 km², wobei der Hanggraben den Abfluss aus einem 8,7 km² großen Teilgebiet beileitet.

Vergleichbare Verhältnisse findet man im Einzugsgebiet der Talsperre Muldenberg vor. Hier sind 4,3 km² von 20,1 km² Gesamteinzugsgebiet hanggrabenbeeinflusst.

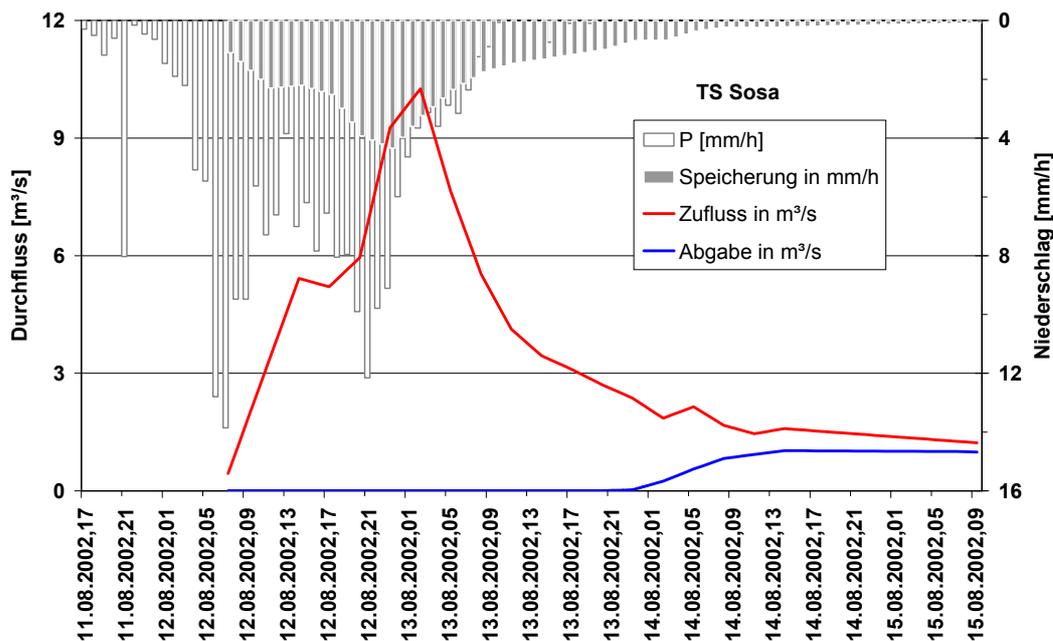


Abbildung 75: Gebietsniederschläge Zufluss, Abgabe und Speicherung der TS Sosa

Tabelle 15: Reduzierung des Zuflussscheitels durch die einzelnen Talsperren

Talsperre	A_E [km ²]	HQ _{Zufluss} [m ³ /s]	Hq _{Zufluss} [l/s·km ²]	HQ _{Abgabe} [m ³ /s]	Zuflussscheitel- reduzierung [%]
Muldenberg	15,8 ^{*1}	14,8	937	4,39	70,3
Eibenstock	199,8 ^{*2}	180,8	905	55,4	69,4
Carlsfeld	5,42	12,1	2232	7,68	36,5
Sosa	8,45 ^{*1}	10,3	-	1,03	90,0

*1: Natürliches Einzugsgebiet ohne Hanggraben.

*2: Gesamteinzugsgebiet einschließlich der Einzugsgebiete der Talsperren Muldenberg und Carlsfeld.

Die höchste Abflussspende wurde im Zufluss zur Talsperre Carlsfeld mit 2,23 m³/(s·km²) beobachtet. Die in Sachsen am höchsten gelegene Stauanlage (Mauerkronenkote = 905,55 m ü. NN) besitzt mit 5,42 km² nur ein kleines Einzugsgebiet.

Die Tabellen 16 und 17 geben einen Überblick zu relevanten Stauanlagenparametern im Vergleich zu Hochwasserkennwerten.

Tabelle 16: Relation der Zuflusssummen zu den Gewöhnlichen Hochwasserrückhalteräumen

Talsperre	Gesamt-A _E [km ²]	I _{GHR} 2002 [hm ³]	I _{GHR} 2002 [mm] ^{*1}	P [mm]	R _{Zufluss} [mm] ^{*2}	Ψ [-]	S _{max} [hm ³]	S _{max} [mm] ^{*1}	Relation zwischen R _{Zufluss} und I _{GHR} 2002	Relation zwischen S _{max} und I _{GHR} 2002	Relation zwischen S _{max} und R _{Zufluss}
Muldenberg	20,1	0,24	15,2	164,2	96,6	0,588	0,642	40,6	6,36	2,67	0,42
Eibenstock	199,8	5,78	28,9	213,9	84,1	0,393	9,251	46,3	2,91	1,60	0,55
Carlsfeld	5,42	0,21	38,7	208,2	135,9	0,653	0,462	85,2	3,51	2,20	0,63
Sosa	17,15	0	0	196,3	127,1	0,647	0,832	98,8	-	-	0,78

*1: Bezogen auf die natürliche, unbeeinflusste Einzugsgebietsgröße.

*2: Bezogen auf die natürlichen Einzugsgebiete, ohne Hanggräben.

Tabelle 17: Veränderung der Hochwasserrückhalteräume

Talsperre	Gesamt-A _E [km ²]	I _{GHR} 2002 [hm ³]	I _{GHR} neu [hm ³]	Relation zwischen I _{GHR} neu u. I _{GHR} 2002	I _{GHR} 2002 [mm] ^{*4}	I _{GHR} neu [mm] ^{*4}
Muldenberg ^{*2}	20,1	0,24	0,85/0,85	3,54	15,2	53,8
Eibenstock ^{*1}	199,8	5,78	10,0/15,0	1,73/2,60	28,9	50,1/75,1
Carlsfeld	5,42	0,21	0,6/0,6	2,86	38,7	110,7
Sosa ^{*3}	17,15	0	0/0,4	-	0	47,3

*1: Ab dem Jahr 2007 beträgt der gewöhnliche Hochwasserrückhalteraum insgesamt 15,0 hm³, davon werden 5,0 hm³ flexibel bewirtschaftet. 10 hm³ wurden bereits im September 2002 eingeführt. Im Einzugsgebiet der Talsperre Eibenstock liegen die Talsperren Muldenberg und Carlsfeld.

*2: Das Einzugsgebiet wird durch die Bewirtschaftung eines Hanggrabens mit 4,3 km² angeschlossener Einzugsgebietsfläche beeinflusst.

*3: Das Einzugsgebiet wird durch die Bewirtschaftung eines Hanggrabens mit 8,7 km² angeschlossener Einzugsgebietsfläche beeinflusst.

Der gewöhnliche Hochwasserrückhalteraum wurde im Jahr 2007 eingeführt.

*4: Bezogen auf die natürlichen Einzugsgebiete, ohne Hanggräben.

5.4 Gebiet der Freiburger Mulde bis zur Zschopaumündung

5.4.1 Wasserstandsentwicklung

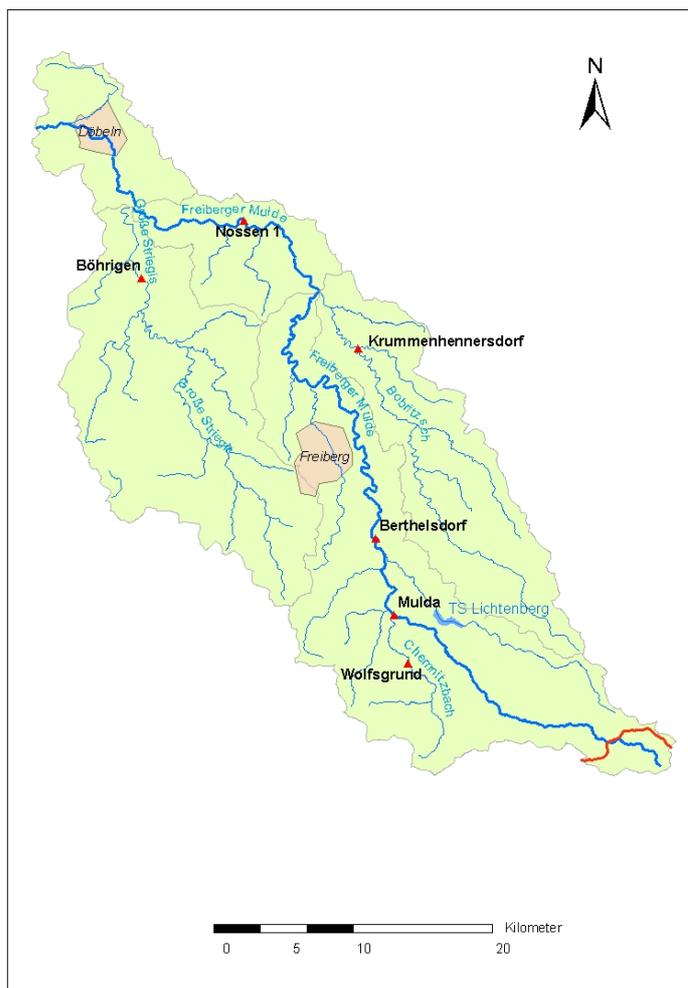


Abbildung 76: Einzugsgebiet der Freiburger Mulde bis zur Zschopaumündung

Die Niederschlagsintensivierung begann im Gebiet der oberen Freiburger Mulde (Abb. 77) etwa 6 Stunden später als im Westergebirge. Dementsprechend traten markante Wasserstandsanstiege erst ab der Mitte der ersten Tageshälfte des 12.08. auf.

Diese führten am 13.08. gegen 02.00 Uhr zur Ausbildung des Hochwasserscheitels am Pegel Mulda/Freiburger Mulde.

Am Pegel Wolfsgrund am Chemnitzbach, der kurz unterhalb des Pegels Mulda in die Freiburger Mulde mündet, begann der Wasserstandsanstieg am 12.08. um 06.00 Uhr. Gegen 14.00 Uhr wurde mit einem vorläufigen Höchststand von 138 cm eine sehr lange Scheitelfase der Hochwasserwelle eingeleitet, die nach zwischenzeitlichen geringfügigen Rückgängen auf 126 cm am 13.08. um 01.00 Uhr mit 149 cm und um 14.00 Uhr mit 160 cm weitere Höchststände aufwies. Der letztgenannte Wasserstand lag mit 154 cm deutlich unter dem bisherigen HHW vom 07.06.1992, das seine Ursache in einem lokal aufgetretenen extremen Starkniederschlag hatte.

Im Gegensatz dazu war am Pegel Berthelsdorf/Freiburger Mulde ab dem 12.08., 07.00 Uhr ein weitgehend kontinuierlicher Anstieg zu beobachten, der nur zwischen 17.30 Uhr und 20.30 Uhr von einer Abschwächung gekennzeichnet war. Der Hochwasserscheitel trat dann am 13.08. um 04.45 Uhr mit einem Wasserstand von 385 cm 95 cm über dem bisherigen HHW vom 05.07.1958 auf.

Die Wasserstandsentwicklung der Bobritzsch am Pegel Krummenhennersdorf war bestimmt durch einen äußerst starken Anstieg ab dem 12.08., 08.00 Uhr, der zu einem ersten Höchststand um 19.00 Uhr führte. Nach einem Rückgang um 25 cm setzte kurz vor dem Tageswechsel zum 13.08. ein Wiederanstieg ein. Der Hochwasserscheitel bildete sich schließlich um 01.30 Uhr mit 375 cm aus und lag damit 214 cm über dem bisherigen HHW vom 01.09.1995. Der aufgezeichnete zeitliche Verlauf des Wasserstandes wurde durch den Rückstau der unmittelbar unterhalb des Pegels gelegenen Brücke beeinflusst. Infolge ihrer Zerstörung in den Morgenstunden des 13.08. kam es kurzfristig zu gravierenden Änderungen der Wasserstands-Durchfluss-Beziehung, sodass der Eintrittszeitpunkt des höchsten Wasserstandes nicht mit dem des Durchflussscheitels übereinstimmt.

Eine zweigipflige Hochwasserwelle war auch am Pegel Nossen 1/Freiburger Mulde zu beobachten. Hier begann der Anstieg schon vor dem in der Bobritzsch am 12.08. um 05.00 Uhr, wobei der erste Wellenscheitel um 19.00 Uhr - gleichzeitig mit dem ebenfalls ersten in der Bobritzsch am Pegel Krummenhennersdorf - mit einem Wasserstand von 366 cm erreicht wurde. Danach setzte ein deutlicher Rückgang bis auf 270 cm um 03.00 Uhr am 13.08. ein, dem ein erneuter starker Anstieg - hervorgerufen durch den Wellenablauf aus dem Oberlauf der Freiburger Mulde - bis auf 467 cm zwischen 08.00 Uhr und 09.00 Uhr folgte. Das bisherige HHW von 390 cm vom 06.07.1958 wurde deutlich überschritten.

In der Striegis zeigte sich der Hochwasserscheitel am Pegel Böhrigen um den Tageswechsel vom 12. zum 13.08. mit 357 cm und lag damit 23 cm über dem HHW vom 30.07.1897. Die am Pegel Niederstriegis 1/Striegis aufgezeichneten Wasserstände sind weniger durch die Abflussentwicklung der Striegis als vielmehr durch die der Freiburger Mulde geprägt, die den Mündungsbereich der Striegis einschließlich des Pegelstandortes weiträumig überflutete. Der höchste Wasserstand wurde hier gegen 02.00 Uhr registriert und nachträglich mit 485 cm bestimmt. Das bisherige HHW betrug 254 cm und wurde am 06.07.1958 beobachtet.

Die ermittelten Wasserstandsganglinien von Pegeln im Gebiet der Freiburger Mulde oberhalb der Zschopaumündung zeigt die Abb. 77. In Tab. 18 sind die beobachteten Hochwasserstände zusammengefasst.

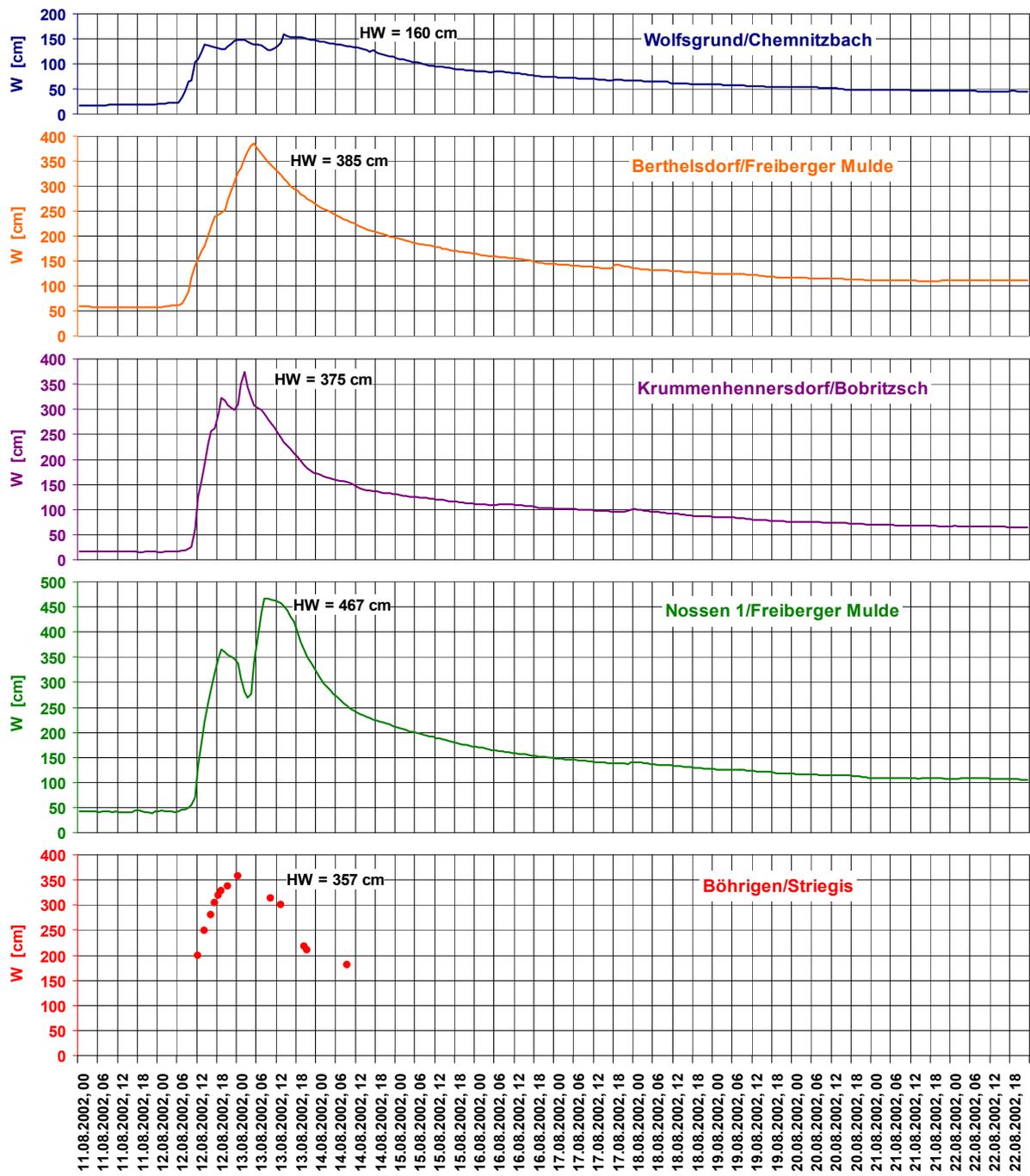


Abbildung 77: Wasserstandsganglinien der Pegel im Gebiet der Freiberger Mulde oberhalb der Zschopau-mündung

Tabelle 18: Kennwerte und Vergleichsgrößen der Hochwasserstände im Flussgebiet der Freiburger Mulde oberhalb der Zschopaumündung

Gewässer	Pegel	AE [km ²]	Fkm	Beob.- beginn	Hochwasser 08/2002					MHW	HHW		MHW	HHW	
					HW [cm]	Datum	Zeit [MESZ]	W (11.08.2002, 12.00 Uhr MESZ) [cm]	max. Anstieg [cm/2h]	(1992/2001) [cm]	(bis 2001) [cm]	Datum	(1997/2006) [cm]	(bis 2006) [cm]	Datum
Freiberger Mulde	Mulda	82,9	97,3	1920	384	13.08.2002	02.00	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Freiberger Mulde	Berthelsdorf	244	89,5	1936	385	13.08.2002	04.45	58	53	156	290	05.07.1958	180	385	13.08.2002
Freiberger Mulde	Nossen 1	585	47,2	1925	467	13.08.2002	08.00- 09.00	41	114	184	390	06.07.1958	209	467	13.08.2002
Bobritzsch	Krummenhenners- dorf	131	7,1	1991	375	13.08.2002	01.30	16	101	118	161	01.09.1995	1997/02: 159	375	13.08.2002
Striegis	Böhrigen	253	8,1	1903	357	13.08.2002	00.00	k.A.	k.A.	k.A.	334	30.07.1897	2005/06: 208	357	13.08.2002
Striegis	Niederstriegis 1	283	0,2	1925	485	13.08.2002	02.00	32	k.A.	148	304	28.02.1940	197	485	13.08.2002

5.4.2 Hochwasserabflüsse

Im Flussgebiet der Mulde war das Einzugsgebiet der Freiberger Mulde oberhalb der Zschopaumündung besonders stark vom Hochwasser betroffen. Die Gebietsniederschläge lagen zwischen 250 und 300 mm, die Scheitelabflussspenden selbst für die großen Einzugsgebiete der Freiberger Mulde um $1\,200\text{ l/(s}\cdot\text{km}^2)$. Die Abflussbeiwerte schwanken zwischen 0,70 (Pegel Berthelsdorf/Freiberger Mulde) und 0,48 (Pegel Krummenhennersdorf/Bobritzsch). Die beobachteten Hochwasserwellen zeigen die Abb. 78 – 82, charakteristische Zahlenwerte enthält Tab. 19. Aus Abb. 82 ist die Besonderheit eines sehr hohen Abflussanstiegs zwischen den Pegeln Berthelsdorf und Nossen ersichtlich. Der Scheitel verdoppelt sich nahezu. Unter Beachtung der Relation der Einzugsgebietsgrößen (Pegel Berthelsdorf: 244 km^2 ; Pegel Nossen 1: 585 km^2) wird diese Zunahme durch die Beobachtungen am Pegel Krummenhennersdorf (131 km^2 des Zwischengebietes Berthelsdorf – Nossen von 341 km^2) bestätigt.

Die Scheitel treten in Berthelsdorf und Krummenhennersdorf nahezu zeitgleich gegen 5:00 Uhr und in Nossen um 8:00 Uhr ein (Tabelle 19).

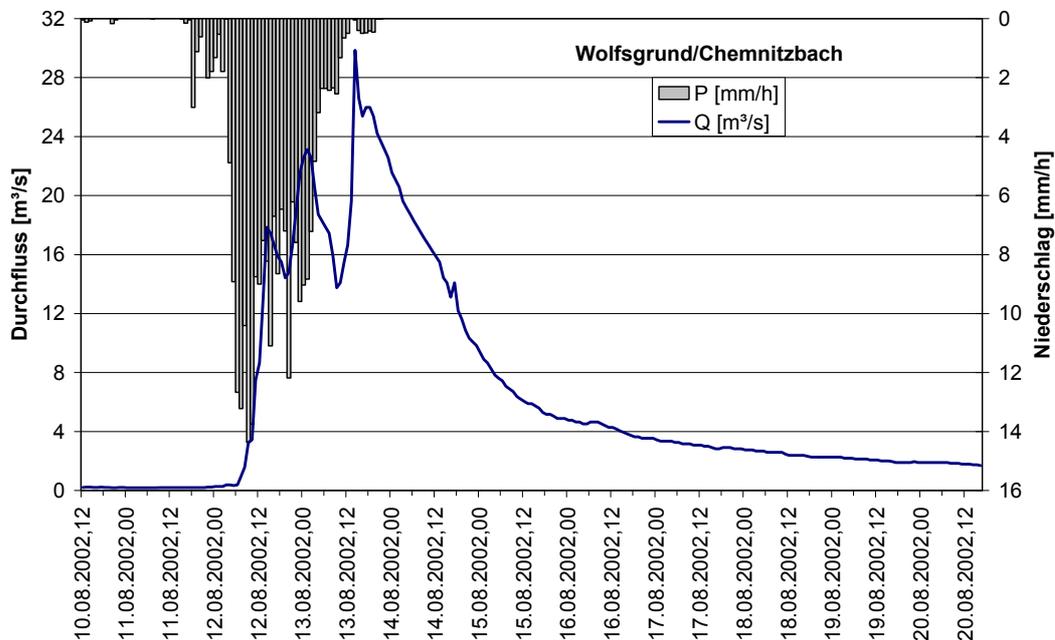


Abbildung 78: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Wolfsgrund/ Chemnitzbach

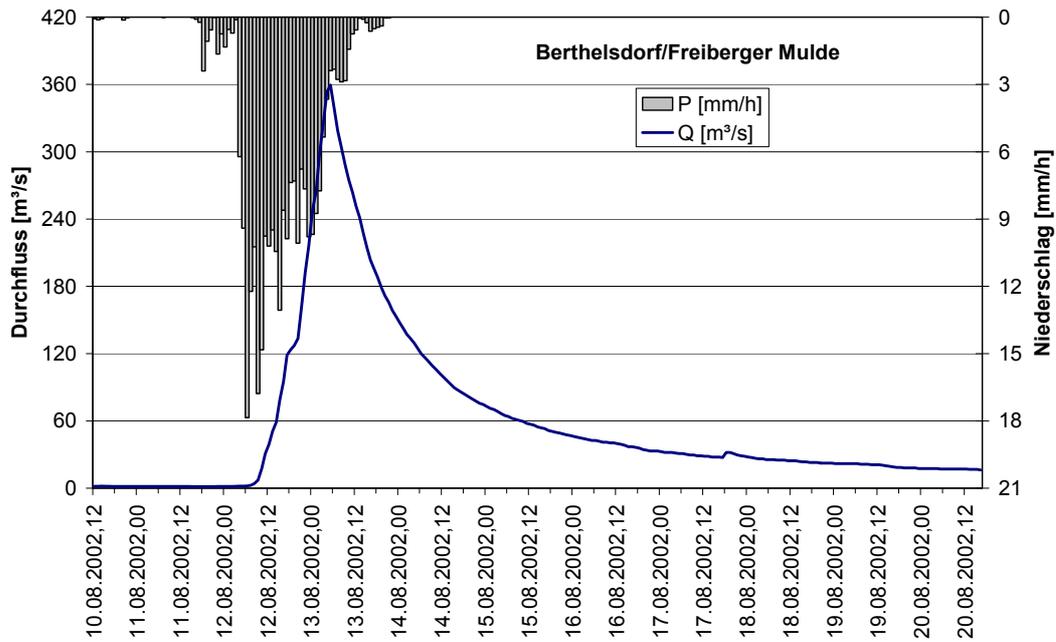


Abbildung 79: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Berthelsdorf/ Freiburger Mulde

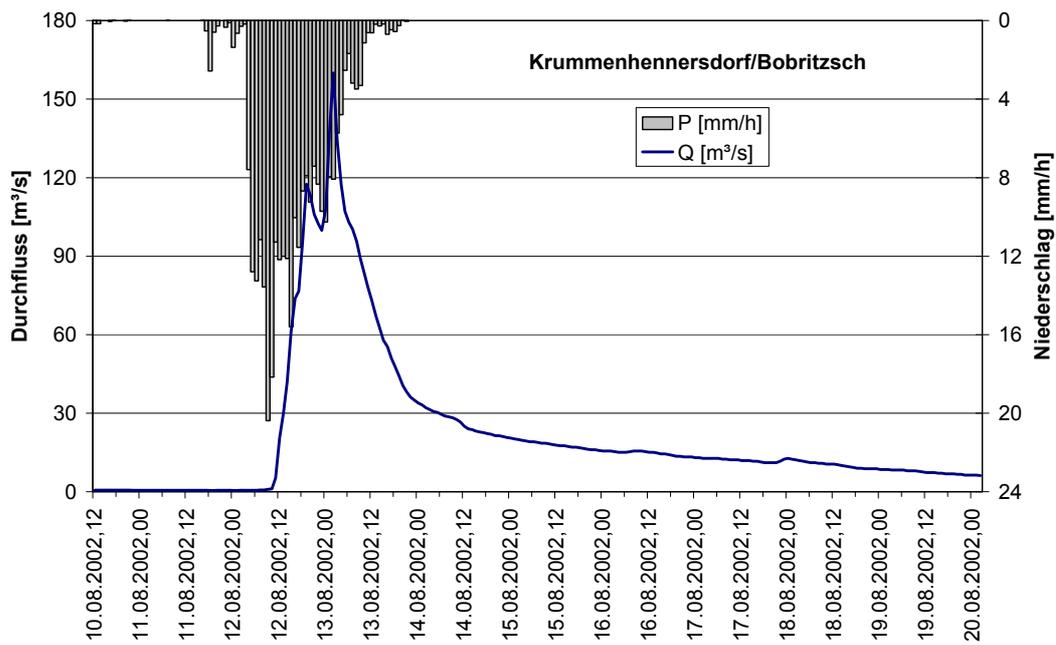


Abbildung 80: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Krummenhennersdorf/Bobritzsch

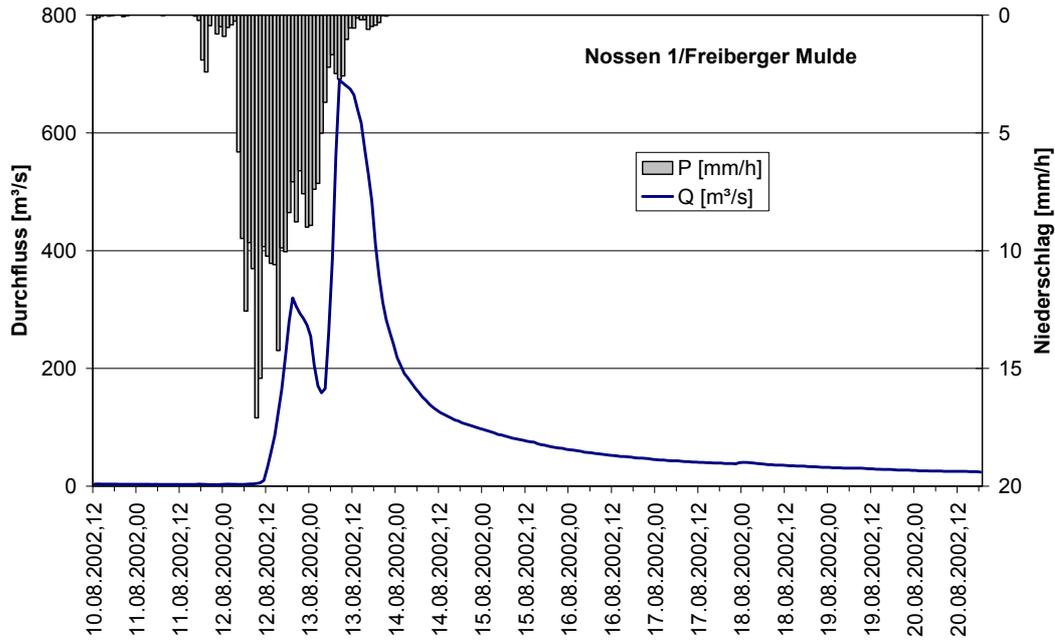


Abbildung 81: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Nossen 1/ Freiberger Mulde

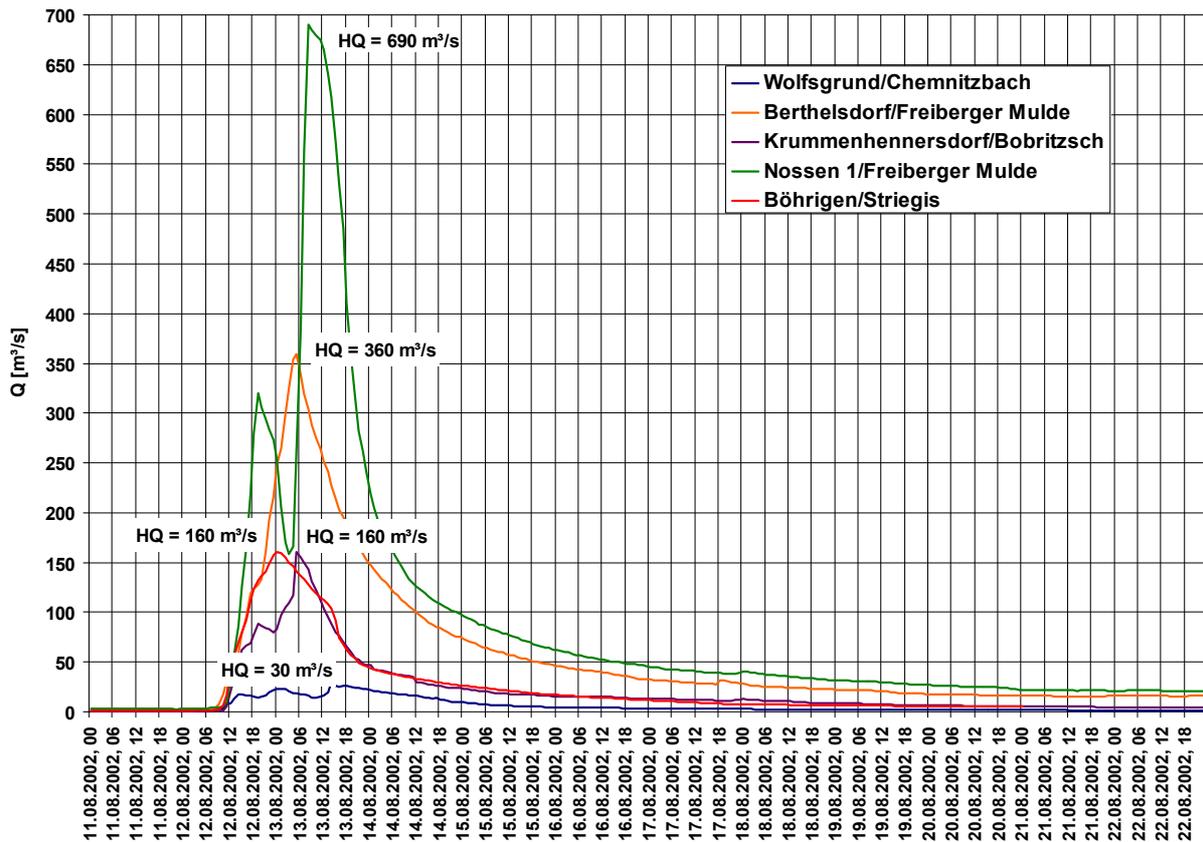


Abbildung 82: Durchflussganglinien ausgewählter Pegel im Einzugsgebiet der Freiberger Mulde oberhalb der Zschopau-mündung

Tabelle 19: Kennwerte und Vergleichsgrößen der Hochwasserabflüsse im Flussgebiet der Freiburger Mulde oberhalb der Zschopaumündung

Gewässer	Pegel	AE [km²]	Q-Reihen- beginn	Hochwasser 08/2002				bis 2001 Hauptwerte				bis 2004 Hauptwerte			
				HQ [m³/s]	Datum	Zeit [MESZ]	Hq [m³/(s·km²)]	MQ [m³/s]	MHQ [m³/s]	HHQ [m³/s]	Datum	MQ [m³/s]	MHQ [m³/s]	HHQ [m³/s]	Datum
				Freiberger Mulde	Mulda	82,9	-	k.A.	13.08.2002	02.00	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Freiberger Mulde	Berthelsdorf	244	1936	360	13.08.2002	04.45	1,48	3,53	30,2	122	06.07.1992	3,54	35,1	360	13.08.2002
Freiberger Mulde	Nossen 1	585	1926	690	13.08.2002	08.00 – 09.00	1,18	6,76	60,5	205	06.07.1958	6,81	68,7	690	13.08.2002
Bobritzsch	Krummenhennersdorf 1	131	1991	160	13.08.2002	01.30	1,22	1,53	18,9	34,9	01.09.1995	1,53	18,9	160	13.08.2002
Striegis	Böhrigen	253	2005	160	13.08.2002	00.00	0,63	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Striegis	Niederstriegis 1	283	1926	173	13.08.2002	02.00	0,61	2,68	27,1	69,1	06.07.1958	2,68	27,1	173	13.08.2002

Der erste Scheitel in Nossen ist den Teilgebieten im Unterlauf zuzuordnen, da sich am 12.08. um 19:00 Uhr auch in Krummenhennersdorf ein lokales Maximum in der Abflussganglinie zeigt. Der zweite Scheitel stammt dagegen aus dem Oberlauf, wird allerdings durch die Zwischengebietszuflüsse so stark erhöht, dass eine Abflachung kaum zu verzeichnen ist. Das 585 km² große Einzugsgebiet des Pegels Nossen 1 weist eine Scheitelabflussspende von 1 170 l/(s·km²) auf. Dies stellt im Hinblick auf die große Einzugsgebietsfläche einen extrem hohen Wert dar. Auch der Ganglinienverlauf ist in Nossen wesentlich steiler als in Berthelsdorf wie aus dem Vergleich der Kozeny-Funktionen ersichtlich ist (Abb. 84). Die auf der Grundlage der Momentendifferenzen geschätzten Impulsantworten unterscheiden sich dagegen nur wenig (Abb. 85). Die Kozeny-Parameter sind in der folgenden Tabelle 20 zusammengestellt. Die Abb. 83 und 85 zeigen die bezogenen Ganglinien und die Nash-Impulsantworten.

Tabelle 20: Kozeny- und Nash-Impulsantwort-Parameter für Pegel im Flussgebiet der Freiburger Mulde oberhalb der Zschopauumündung

Pegel/Gewässer	AE [km ²]	m	n	k
Wolfsgrund/Chemnitzbach	37,2	3,029	1,7	16,22
Berthelsdorf/Freiburger Mulde	244	4,120	1,9	13,48
Krummenhennersdorf/Bobritzsch	131	4,035	1,9	11,18
Nossen 1/Freiburger Mulde	585	7,756	2,0	12,07

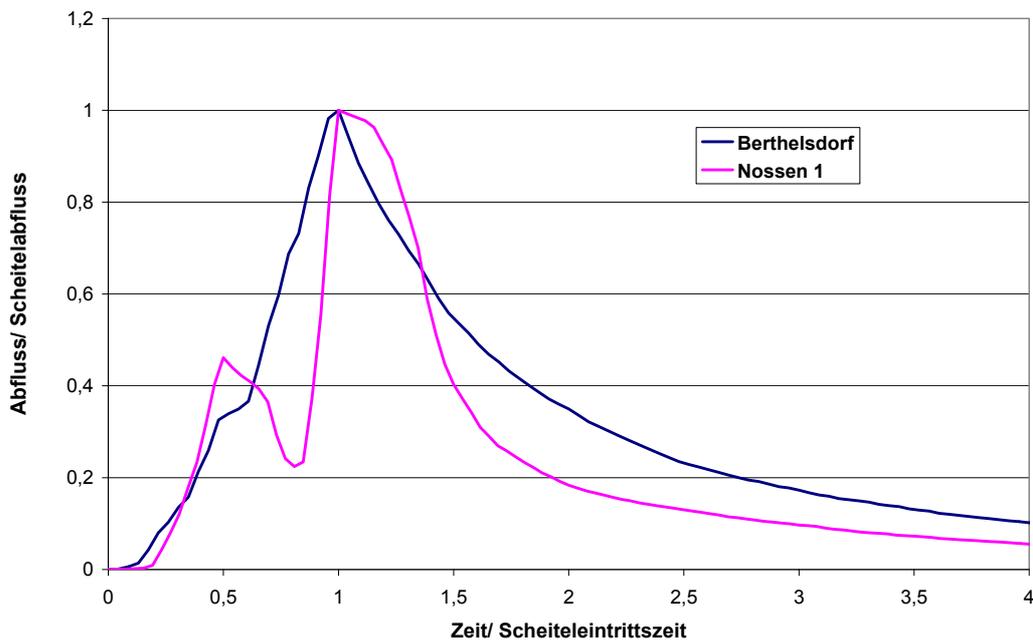


Abbildung 83: Bezogene Ganglinien für Pegel im Flussgebiet der Freiburger Mulde oberhalb der Zschopauumündung

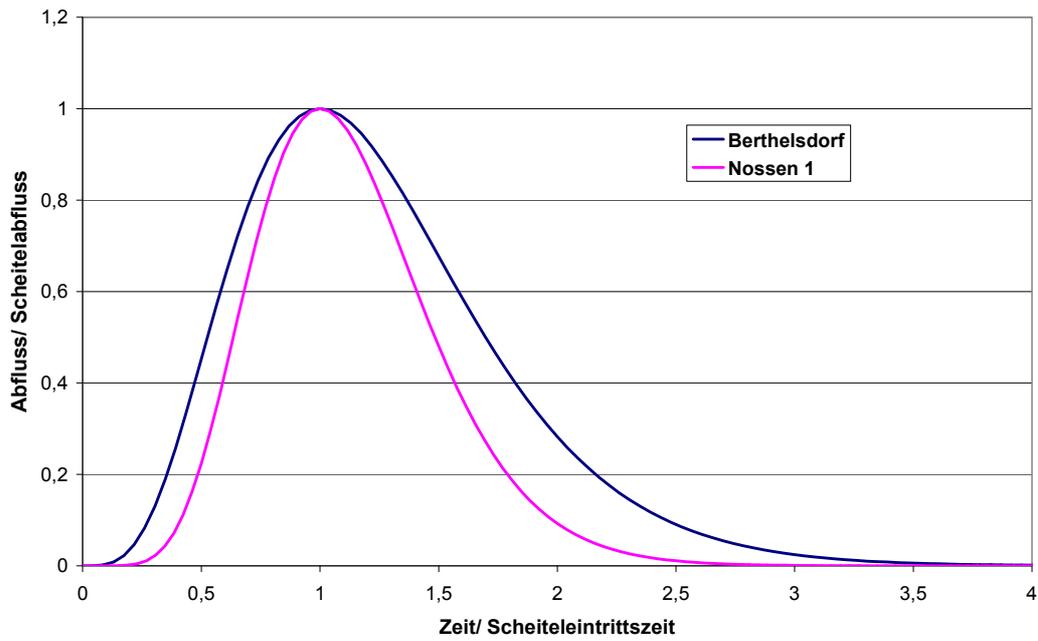


Abbildung 84: Angepasste Kozeny-Funktionen für Pegel im Flussgebiet der Freiberger Mulde oberhalb der Zschopaumündung

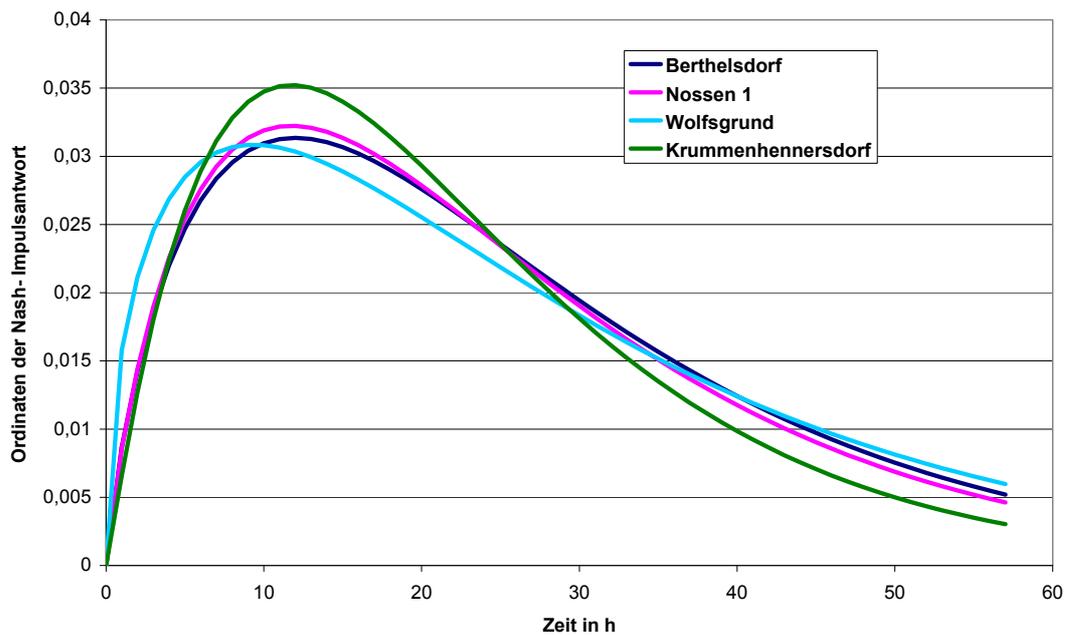


Abbildung 85: Angepasste Nash-Impulsantworten für Pegel im Flussgebiet der Freiberger Mulde oberhalb der Zschopaumündung

5.4.3 Speicherbewirtschaftung

Die Talsperre Lichtenberg zählte im August 2002 zu den Stauanlagen, die den Zuflussscheitel nur in geringem Maße reduzieren konnten. Dies war in erster Linie durch die extrem hohen Zuflüsse begründet. Die Zuflüsse zur Talsperre Lichtenberg betragen, umgerechnet in Abflusshöhen, ungefähr das Doppelte der entsprechenden Werte der Talsperren Eibenstock oder Saidenbach. Die Zuflussfülle von 7,8 hm³ belief sich auf das 10-Fache des gewöhnlichen Hochwasserrückhalteraaumes von 0,80 hm³, der für das Sommerhalbjahr von April bis August galt. Für die übrigen Monate von September bis März war der gewöhnliche Hochwasserrückhalteraum nur mit 0,39 hm³ festgelegt. Zu Ereignisbeginn standen neben dem Hochwasserrückhalteraum von 0,80 hm³ im Betriebsraum noch weitere 0,44 hm³ zur Hochwasseraufnahme zur Verfügung. Infolge der schnellen vollständigen Füllung des Betriebsraum und auch des gewöhnlichen Hochwasserrückhalteraaumes war nur eine relativ geringe Wirkung auf den Hochwasserscheitel an der Sperrstelle und nahezu keine auf die Abflussfülle am Pegel Berthelsdorf/Freiberger Mulde zu verzeichnen (Abb. 86, Tabellen 21 – 24).

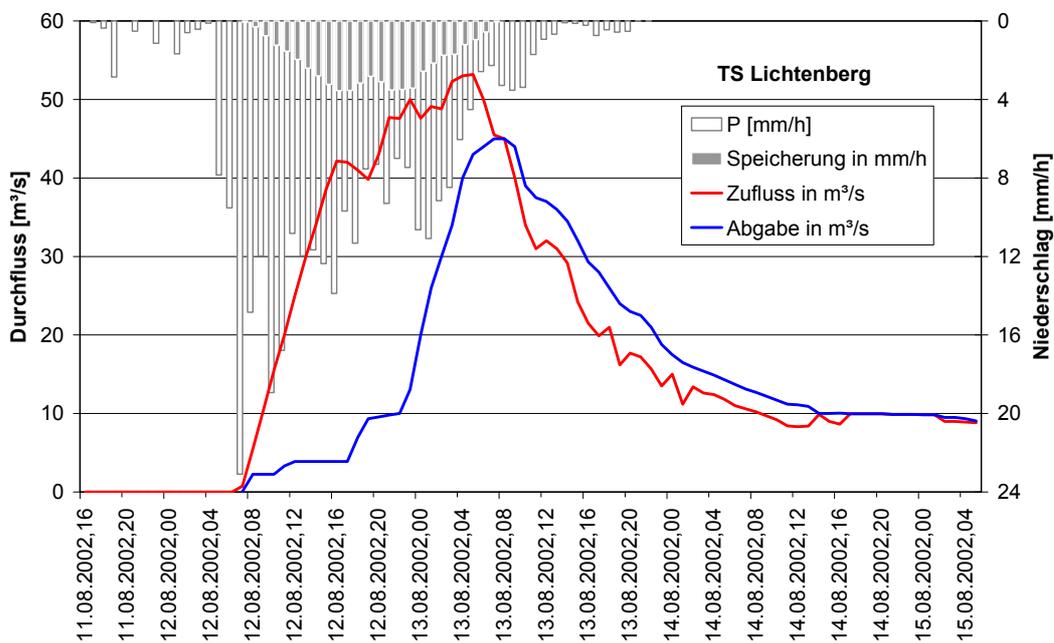


Abbildung 86: Gebietsniederschläge Zufluss, Abgabe und Speicherung der TS Lichtenberg

Tabelle 21: Minderung der Abflussfülle am Pegel Berthelsdorf/Freiberger Mulde durch die Talsperre Lichtenberg

Gewässer	Talsperre/ Pegel	A _E [km ²]	P [mm]	R _{Zufluss} [mm]	S _{max} [mm]	R [mm]	R _{ZG} [mm]	Abflussfüllen- reduzierung durch die Talsperre [%]
Gimmlitz	TS Lichtenberg	38,8	302,4	201,1	40,8	160,3	-	-
Freiberger Mulde	Berthelsdorf	244	271,0	-	-	184,4	211,5	3,2

Tabelle 22: Reduzierung des Zuflussscheitels durch die Talsperre Lichtenberg

Talsperre	A _E [km ²]	HQ _{Zufluss} [m ³ /s]	Hq _{Zufluss} [l/s·km ²]	HQ _{Abgabe} [m ³ /s]	Zuflussscheitel- reduzierung [%]
Lichtenberg	38,8	53,2	1372	45,0	15,4

Tabelle 23: Relation der Zuflusssumme zum Gewöhnlichen Hochwasserrückhalteraum

Talsperre	A_E [km ²]	$I_{GHR, Sommer}$ 2002 [hm ³]	$I_{GHR, Sommer}$ 2002 [mm]	P [mm]	$R_{Zufluss}$ [mm]	Ψ [-]	S_{max} [hm ³]	S_{max} [mm]	Relation zwischen $R_{Zufluss}$ und $I_{GHR, Sommer}$ 2002	Relation zwischen S_{max} und $I_{GHR, Sommer}$ 2002	Relation zwischen S_{max} und $R_{Zufluss}$
Lichtenberg	38,8	0,80	20,6	302,4	201,1	0,665	2,009	51,8	9,76	2,51	0,26

Tabelle 24: Veränderung des Hochwasserrückhalterausms

Talsperre	A_E [km ²]	$I_{GHR, Sommer}$ 2002 [hm ³]	I_{GHR} neu [hm ³] ^{*1}	Relation zwischen I_{GHR} neu und I_{GHR} 2002	$I_{GHR, Sommer}$ 2002 [mm]	I_{GHR} neu [mm]
Lichtenberg	38,8	0,80	3,00	3,75	20,6	77,3

*1: gestaffelte Erhöhung des gewöhnlichen Hochwasserrückhalterausms von 1,50 hm³ ab September 2002 bis 3,00 hm³ ab März 2003.

5.5 Gebiet der Zschopau und Freiburger Mulde unterhalb der Zschopaumündung

5.5.1 Wasserstandsentwicklung



Abbildung 87: Einzugsgebiet der Zschopau und Freiburger Mulde unterhalb der Zschopaumündung

Der Beginn der Wasserstandsanstiege im Gebiet der Zschopau (Abb. 88) oberhalb der Flöhamündung setzte wie im Oberlauf der Zwickauer Mulde bereits am 11.08. ab etwa 18.00 Uhr ein. Diese wurden zwischen 21.00 Uhr und 06.00 Uhr am 12.08. durch eine Phase der Stagnation oder eines leichten Rückganges unterbrochen, der dann wieder ein deutlicher Anstieg der Wasserstände folgte. Diese führten zwischen 14.00 Uhr und 18.00 Uhr zur Ausbildung mehr oder weniger deutlich ausgeprägter Nebenscheitel, auf die dann nach erneuter Stagnation oder geringfügigem Rückgang mit dem weiteren Wasserstandsanstieg der Eintritt der Höchststände am 13.08. zwischen 02.00 Uhr und 04.00 Uhr folgte. Abweichend von dieser Entwicklung zeigte das Jöhstädter Schwarzwasser am Pegel Jöhstadt 1 bereits am 12.08. von 13.00 Uhr bis 14.00 Uhr den höchsten Wasserstand.

In den Abb. 89 und 90 ist der Wasserstandsverlauf an den Pegeln im Gebiet der oberen Zschopau verzeichnet.

Tabelle 25 enthält dazugehörige Kennwerte und Vergleichsgrößen. Es ist ersichtlich, dass die bisherigen HHW mit Ausnahme des durch die Talsperre Přisečnice (Preßnitz) beeinflussten Pegels Schmalzgrube 2/Preßnitz im Durchschnitt um etwa 50 cm überschritten wurden.

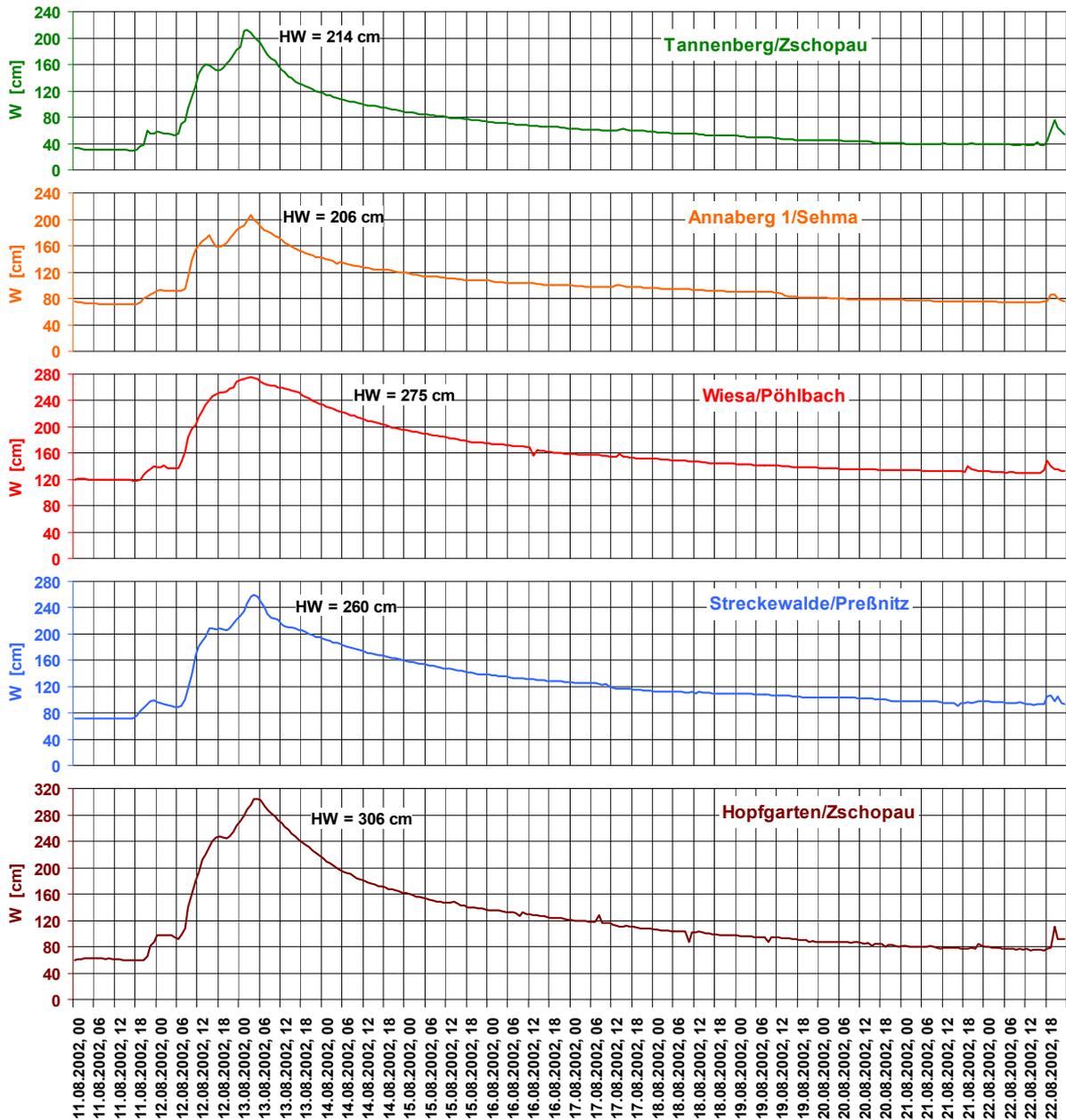


Abbildung 88: Wasserstandsganglinien an Pegeln im Gebiet der oberen Zschopau

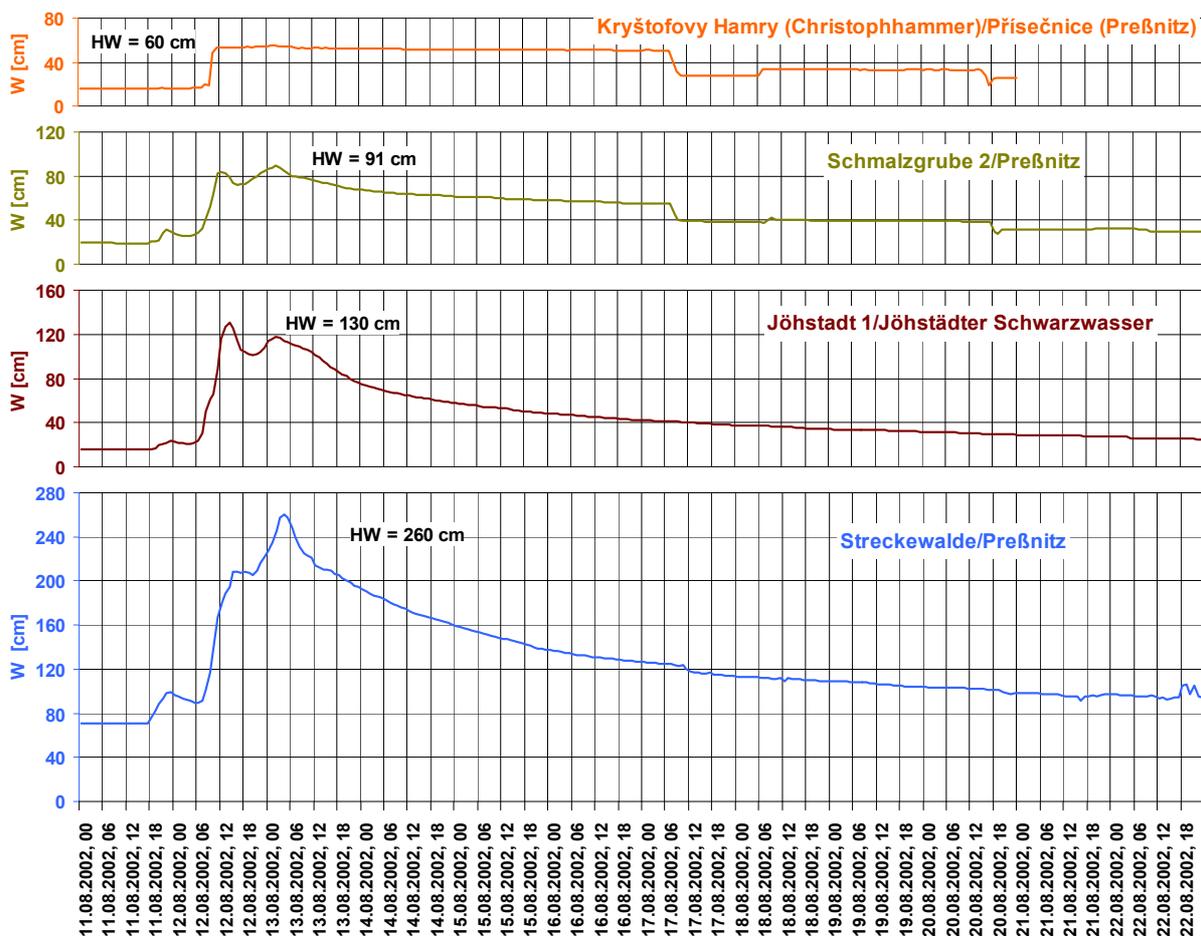


Abbildung 89: Wasserstandsganglinien an Pegeln im Gebiet der Preßnitz

Eine vergleichbare Wasserstandsentwicklung in zeitlicher Hinsicht erfolgte auch im Flöhagebiet. Der Anstieg begann hier jedoch mit einer Verzögerung von etwa 3 Stunden gegenüber dem Gebiet der oberen Zschopau. Erste Höchststände waren hier am 12.08. zwischen 17.00 Uhr und 20.00 Uhr zu beobachten, die Hochwasserscheitel dann am 13.08. zwischen 04.00 Uhr und 10.00 Uhr. Als Besonderheit tritt im Flöhagebiet der Hochwasserverlauf am Pegel Rothenthal/Natzschung hervor, wo nach einem starken Anstieg der Hochwasserscheitel bereits am 12.08. um 11.30 Uhr registriert wurde. Die Wasserstandsganglinie des Pegels Zöblitz ist durch Fließwechsel im Messstellenbereich gekennzeichnet, sodass keine eindeutige Beziehung zwischen Wasserstand und Durchfluss besteht,

Abb. 90 und Tabelle 25 zeigen die Wasserstandsverläufe an den Pegeln im Flöhagebiet und dazugehörige Kennwerte und Vergleichsgrößen. Abweichend von der dargestellten allgemeinen Hochwassersituation bedarf das Abgabeverhalten der Talsperre Rauschenbach einer besonderen Betrachtung, die Abschnitt 5.5.3 enthält. In Anbetracht dessen ist die Überschreitung der bisherigen HHW an den Pegeln um durchschnittlich etwa 100 cm sehr bemerkenswert.

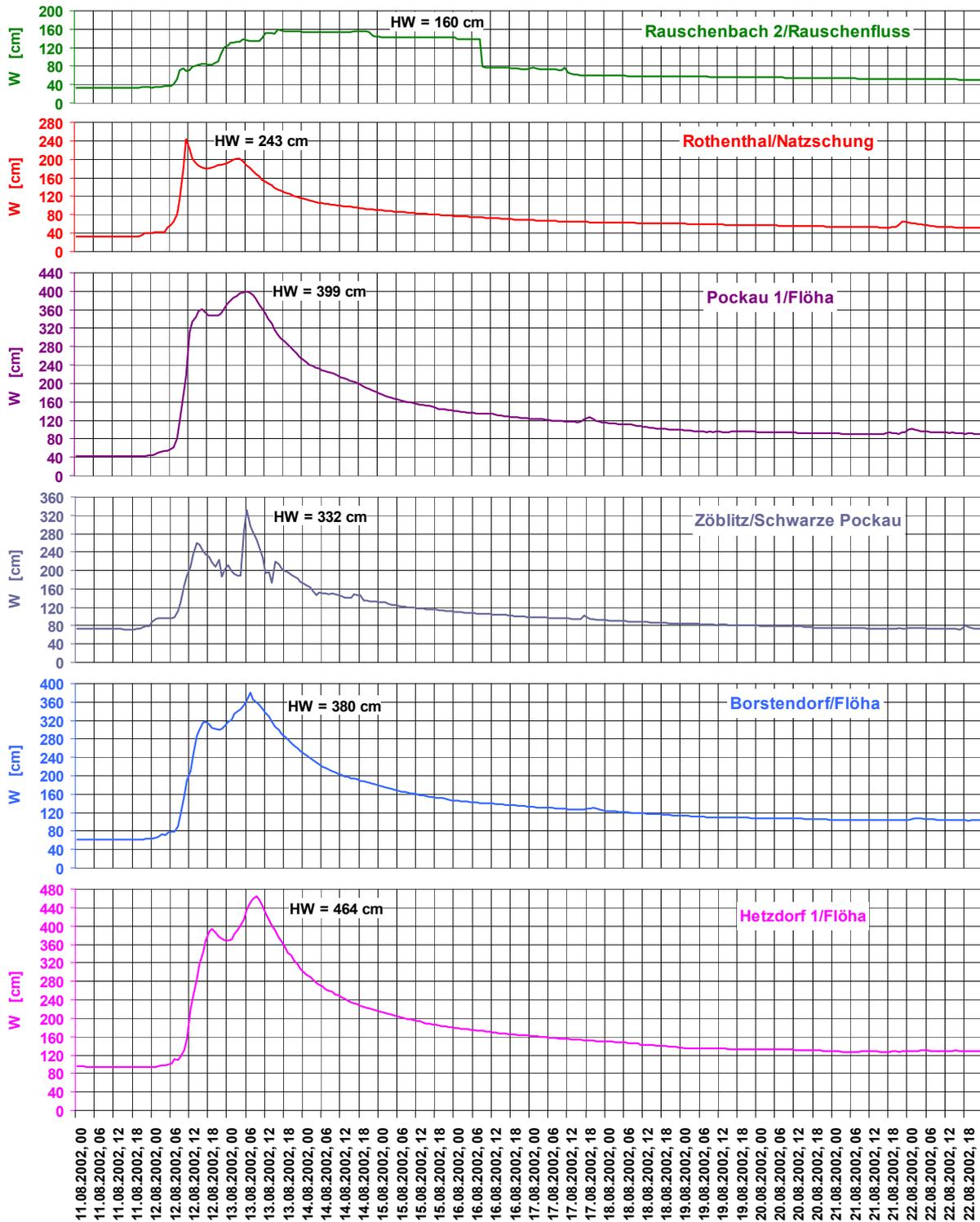


Abbildung 90: Wasserstandsganglinien an Pegeln im Gebiet der Flöha unterhalb der Talsperre Rauschenbach

Der Wellenablauf in der Zschopau unterhalb des Pegels Hopfgarten und der Flöha unterhalb des Pegels Borstendorf führte unterhalb der Mündung der Flöha in die Zschopau nach weitgehend kontinuierlichem Anstieg zur Scheitelausbildung am Pegel Lichtenwalde/Zschopau am 13.08. um 11.00 Uhr. Dieser lag mit 636 cm sogar 198 cm über dem bisherigen HHW vom 04.01.1932 und 216 cm über dem HW vom 08.12.1974.

Mit 206 cm lag auch am unterhalb gelegenen Pegel Kriebstein UP/Zschopau die Differenz zwischen dem Höchststand von 570 cm, der 13.30 Uhr beobachtet wurde, und dem bisherigen HHW vom 08.12.1974 in derselben Größenordnung (Abb. 91).

Die Hochwasserwelle aus der Zschopau war dann auch für die Scheitelausbildung im Unterlauf der Freiburger Mulde prägend. Hier wurde die Wasserstandsentwicklung durch die weiträumige Überschwemmung der Talauflage und durch zahlreiche Deichbrüche beeinflusst. Am Pegel Erlin/Freiburger Mulde, der sich 1,5 km oberhalb der Vereinigung von Zwickauer Mulde und Freiburger Mulde befindet, trat der Hochwasserscheitel am 13.08. gegen 16.00 Uhr mit einem nachträglich bestimmten Wasserstand von 674 cm ein, der 172 cm über dem bisherigen HHW vom 09.12.1974 lag.

Abb. 92 zeigt die Wasserstandsganglinien an den Pegeln von unterer Zschopau sowie mittlerer und unterer Freiburger Mulde, Tabelle 25 die dazugehörigen Kennwerte und Vergleichsgrößen.

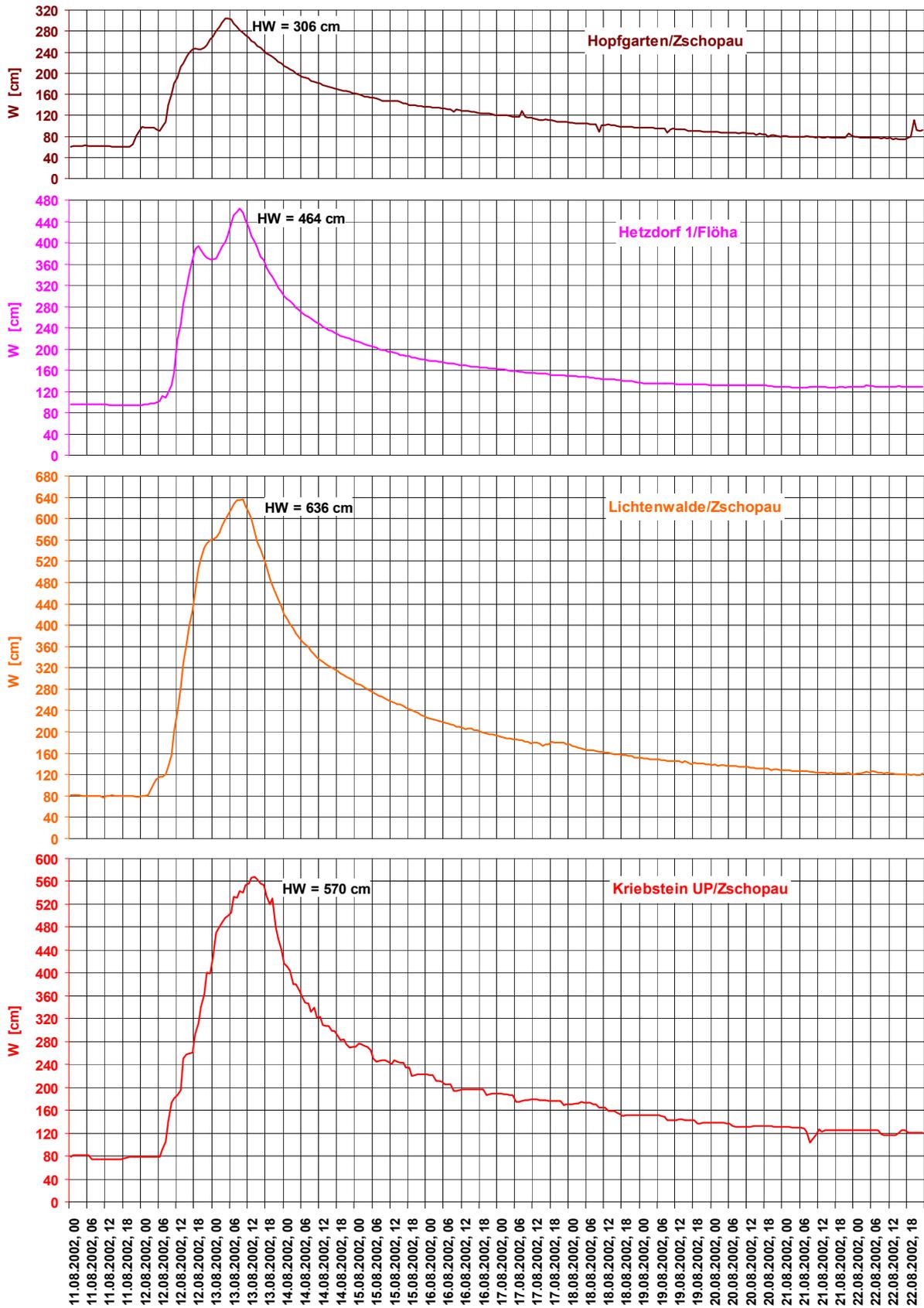


Abbildung 91: Wasserstandsganglinien im Gebiet der mittleren und unteren Zschopau

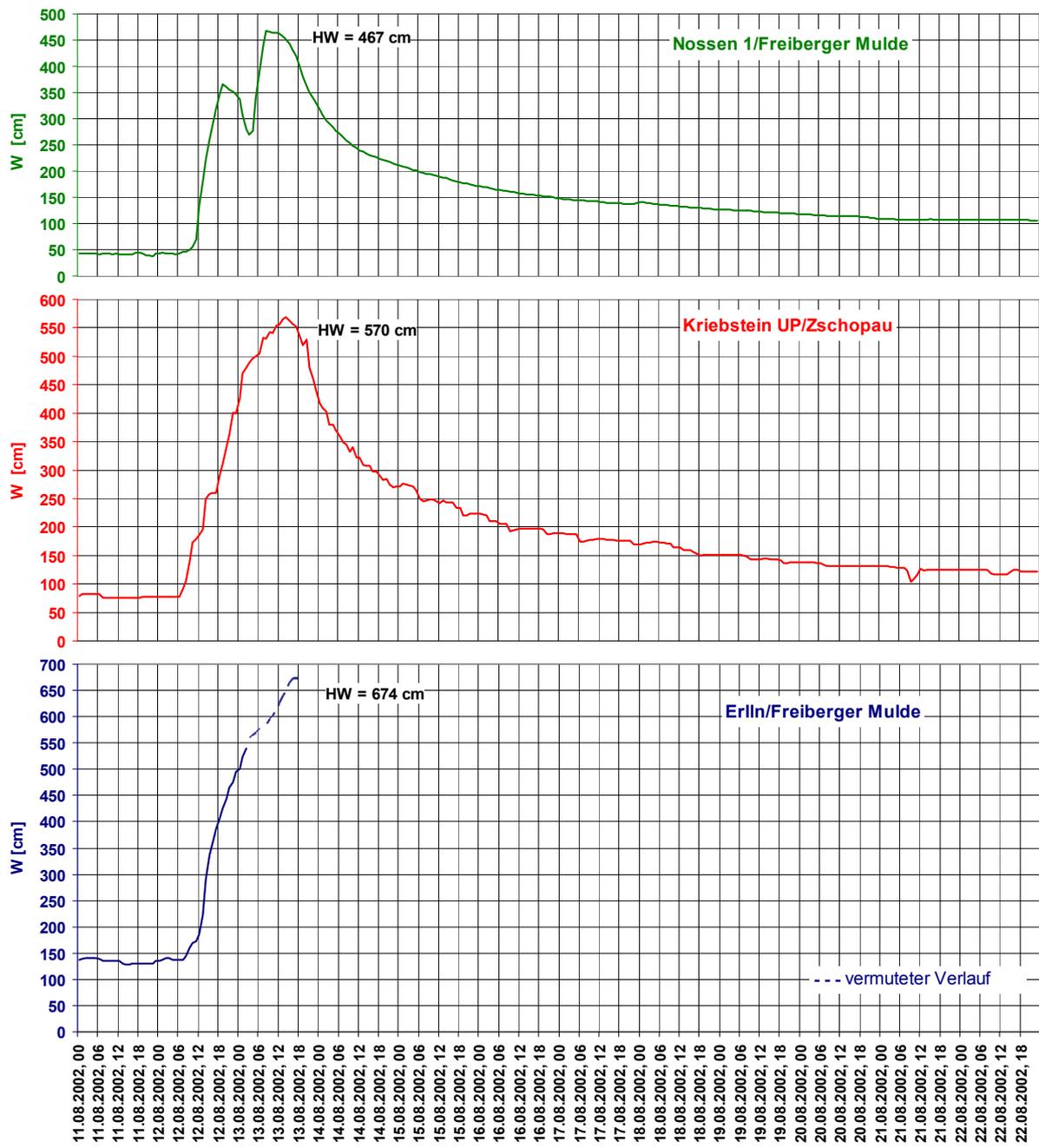


Abbildung 92: Wasserstandsganglinien an Pegeln von unterer Zschopau sowie mittlerer und unterer Freiburger Mulde

Tabelle 25: Kennwerte und Vergleichsgrößen der Hochwasserstände an Pegeln im Gebiet der Zschopau und an der unteren Freiberger Mulde

Gewässer	Pegel	AE km ²	Fkm	Beob.- beginn	Hochwasser 08/2002					MHW	HHW	Datum	MHW	HHW	Datum
					HW [cm]	Datum	Zeit [MESZ]	W (11.08.2002, 12.00 Uhr MESZ) [cm]	max. Anstieg [cm/2h]	(1992/2001) [cm]	(bis 2001) [cm]		(1997/2006) [cm]	(bis 2006) [cm]	
Freiberger Mulde	ErlIn	2983	1,5	1960	674	13.08.2002	16.00	135	113	357	502	09.12.1974	373	674	13.08.2002
Zschopau	Tannenberg	90,6	104,8	1933	214	13.08.2002	02.00	30	36	77	142	08.12.1974	101	213	13.08.2002
Zschopau	Hopfgarten	529	82,8	1910	306	13.08.2002	04.30	61	53	138	226	04.01.1932	169	306	13.08.2002
Zschopau	Lichtenwalde	1575	45,6	1909	636	13.08.2002	11.00	79	90	243	438	04.01.1932	1997/04: 277	636	13.08.2002
Zschopau	Kriebstein UP	1757	14,4	1932	570	13.08.2002	13.30	75	72	219	364	08.12.1974	274	570	13.08.2002
Preßnitz	Schmalzgrube 2	61,8	19,9	1972	91	13.08.2002	01.30	19	31	68	102	31.12.1995	61	102	31.12.1995
Preßnitz	Streckewalde	206	1,8	1921	260	13.08.2002	02.00- 04.00	71	50	129	210	07.03.1947	141	260	13.08.2002
Flöha	Pockau 1	385	32,3	1920	399	13.08.2002	05.00- 07.00	42	137	159	278	10.04.1987	199	399	13.08.2002
Flöha	Pockau 2	518	32	1903	500	13.08.2002	05.00- 07.00	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Flöha	Borstendorf	644	23,6	1928	380	13.08.2002	07.00	61	76	150	274	14.03.1947	184	380	13.08.2002
Flöha	Hetzdorf 1	760	7,6	1997	464	13.08.2002	07.00- 07.30	95	91	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Natzschung	Rothenthal	75	5,1	1927	243	12.08.2002	11.30	32	127	107	175	24.06.1975	121	243	12.08.2002
Schwarze Pockau	Zöblitz 1	129	3,7	2001	332	13.08.2002	06.00	73	131	2001: 96	96	11.03.2001	2001/04: 163	332	13.08.2002

5.5.2 Hochwasserabflüsse

In den Einzugsgebieten des Oberlaufs der Zschopau fielen etwa 185 mm Niederschlag, von denen 55 bis 60 Prozent zum Abfluss kamen. Wesentlich höhere Niederschläge bei etwas geringeren Abflussbeiwerten traten im Flussgebiet der Flöha auf. Hier lagen die Niederschläge deutlich über 200 mm, wobei die Niederschlagsverteilung relativ gleichmäßig war (Gebietsniederschlag für den Pegel Rothenthal/Natzschung 239 mm, für den Pegel Hetzdorf 1/Flöha 242 mm.) Für das Einzugsgebiet der Flöha ergibt sich ein Abflussbeiwert um 0,50, während die Abflussbeiwerte im Zschopau-Gebiet den Wert von 0,5 überschreiten (Pegel Lichtenwalde: 0,52; Pegel Hopfgarten: 0,59). Einfluss auf die Größe der für die Flöhepegel bestimmten Abflussbeiwerte hatte die zu Beginn des Hochwassers vollständig entleerte Talsperre Rauschenbach im Oberlauf der Flöha (siehe Abschnitt 5.5.3). Unter Berücksichtigung des Rückhaltes liegen die Abflussbeiwerte in einer vergleichbaren Größenordnung wie im Zschopaugebiet. In den Abb. 93 bis 110 sind die Hochwasserwellen dargestellt. Dazugehörige Kenngrößen und Vergleichswerte enthält Tabelle 26.

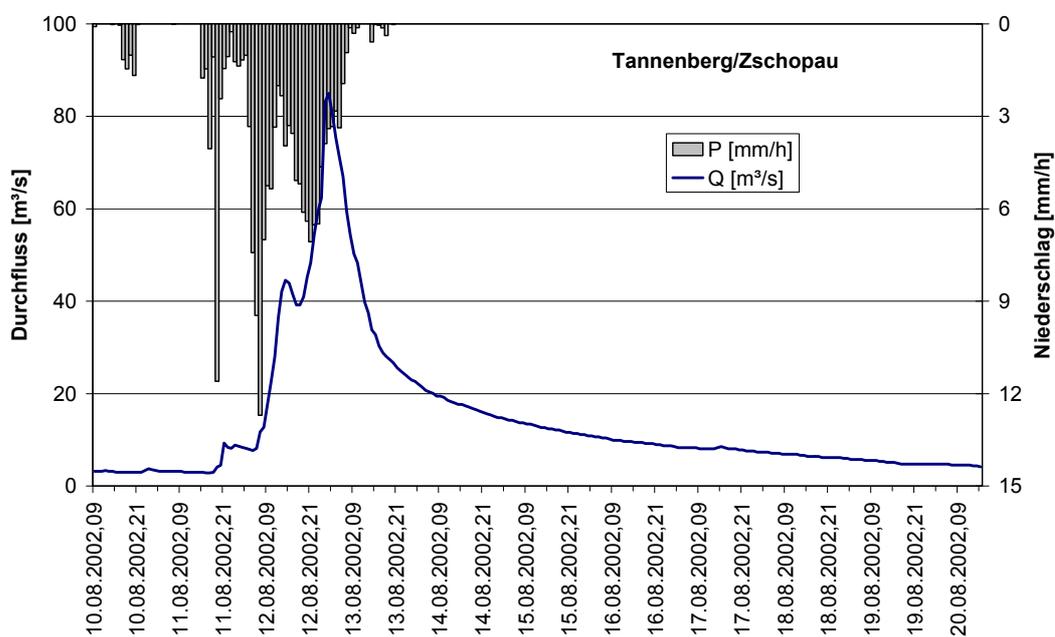


Abbildung 93: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Tannenberg/Zschopau

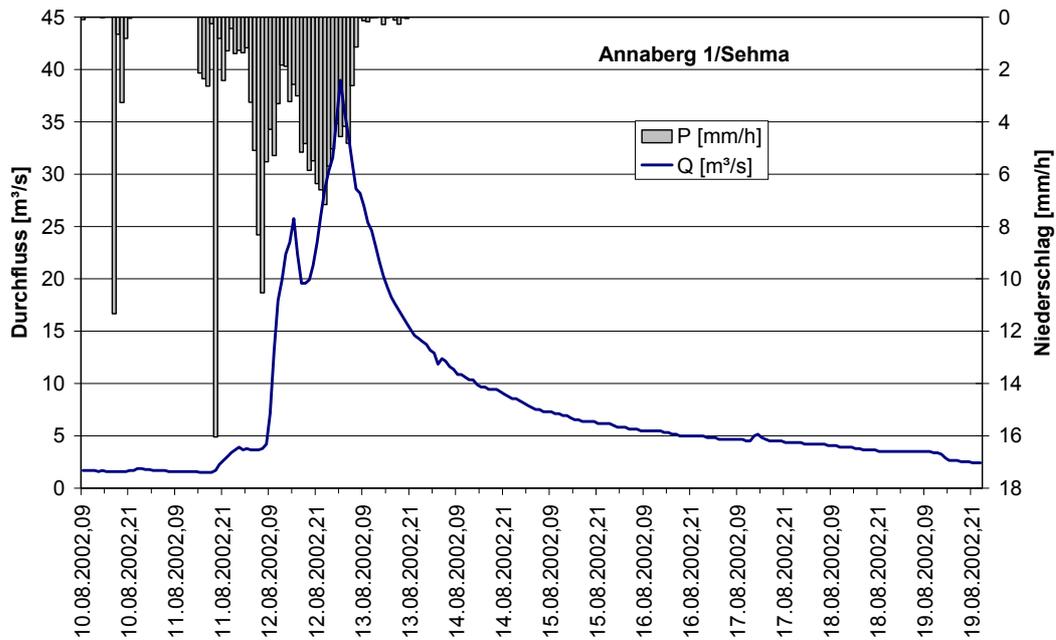


Abbildung 94: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Annaberg 1/Sehma

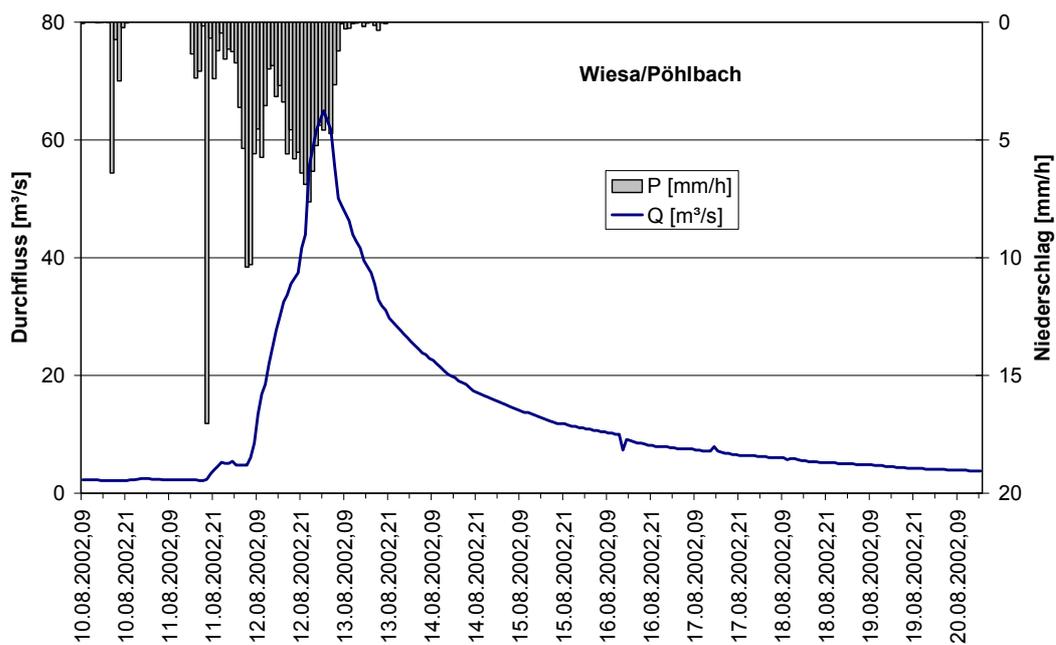


Abbildung 95: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Wiesa/Pöhlbach

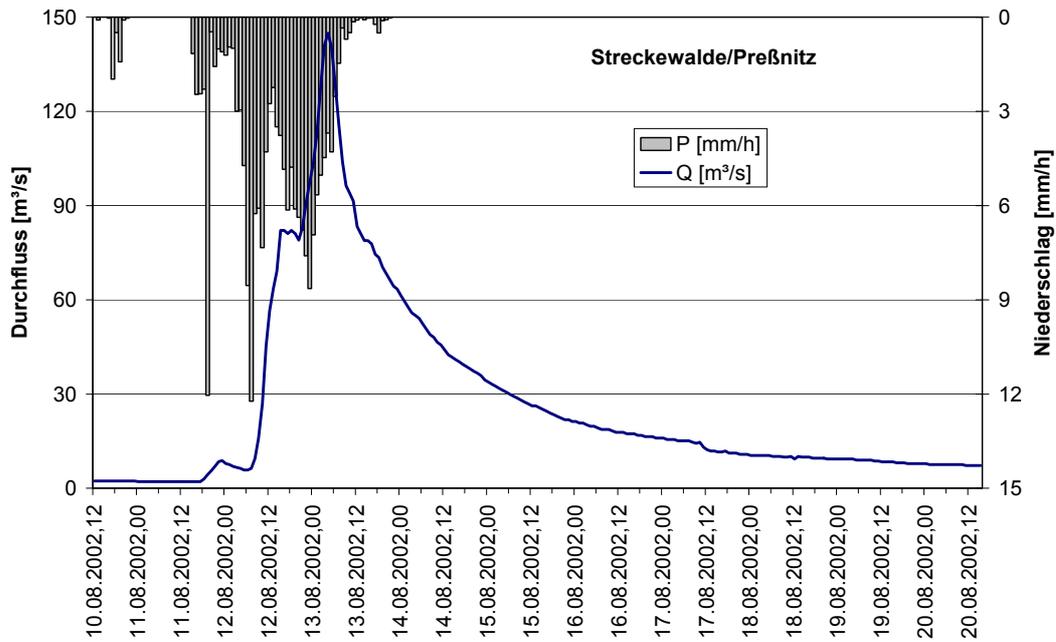


Abbildung 96: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Streckewalde/Preßnitz

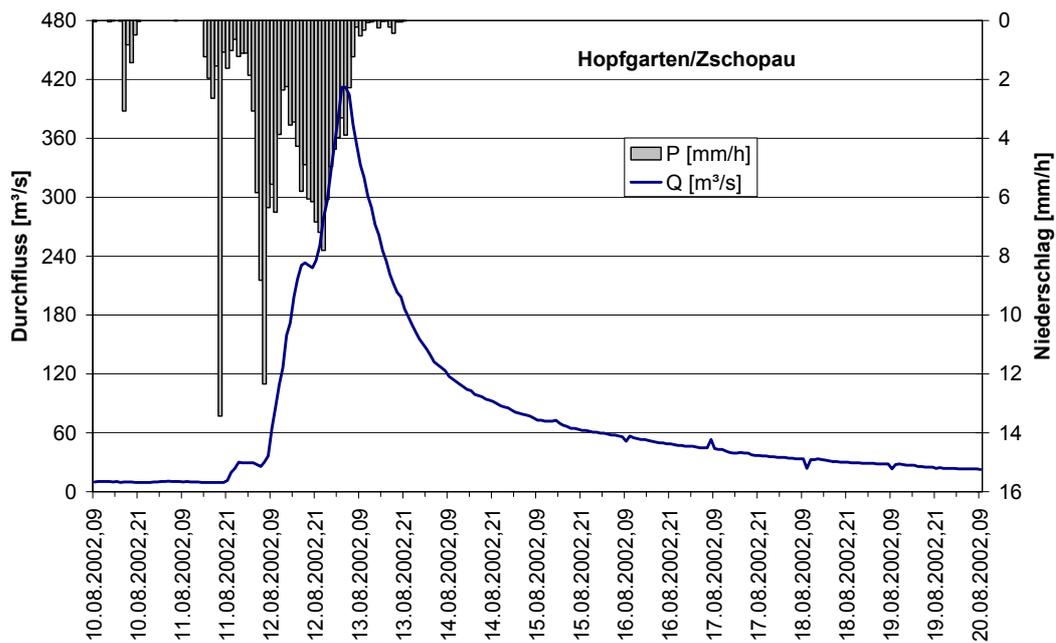


Abbildung 97: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Hopfgarten/ Zschopau

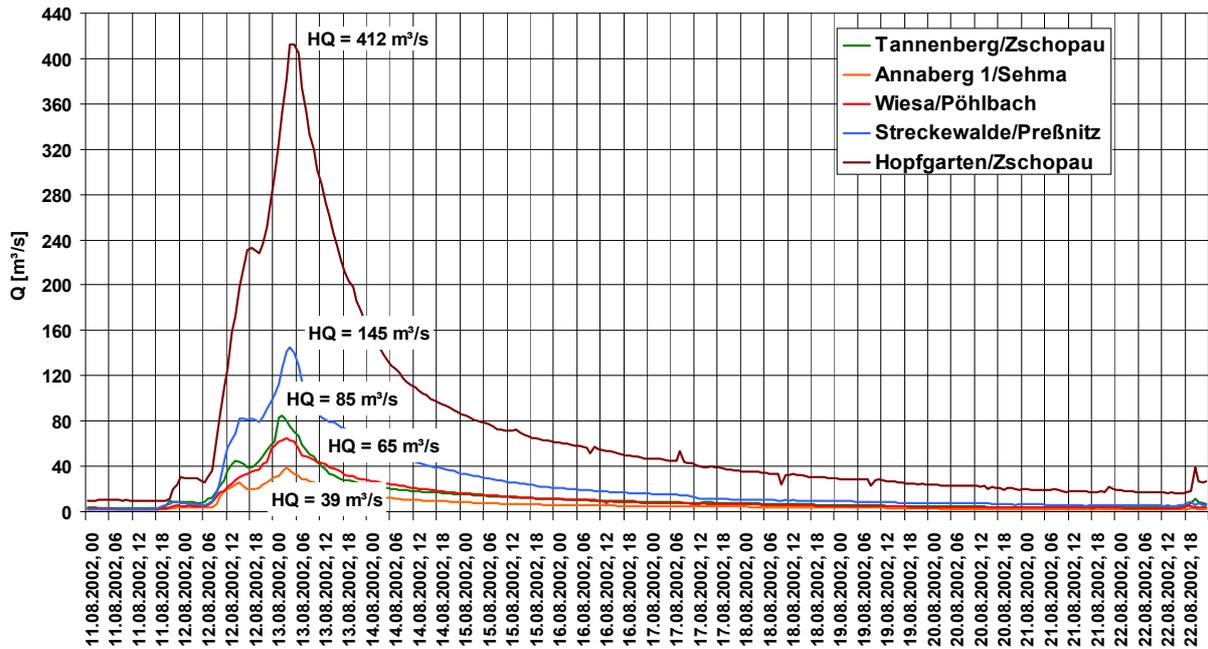


Abbildung 98: Durchflussganglinien an Pegeln im Gebiet der oberen Zschopau

Die Abflüsse am Pegel Jöhstadt 1/Jöhstädter Schwarzwasser (Abb. 99) sind durch Überleitungen aus dem Jöhstädter Schwarzwasser auf tschechischem Gebiet zur Talsperre Přísečnice (Preßnitz) beeinflusst. Über deren Mengen zur Zeit des Hochwassers liegen leider keine Informationen vor.

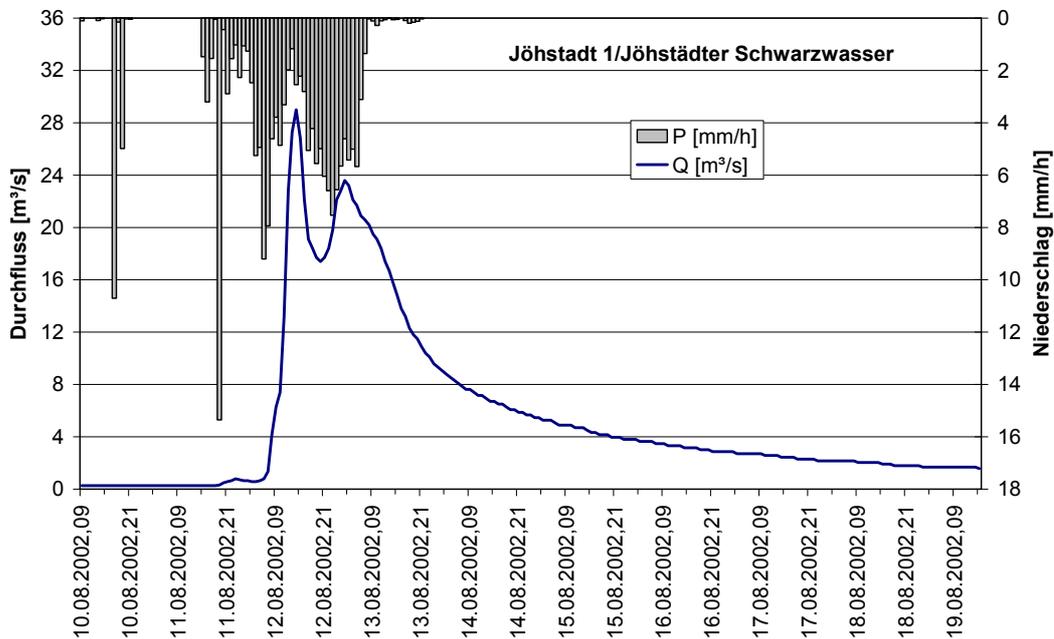


Abbildung 99: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Jöhstadt 1/Jöhstädter Schwarzwasser

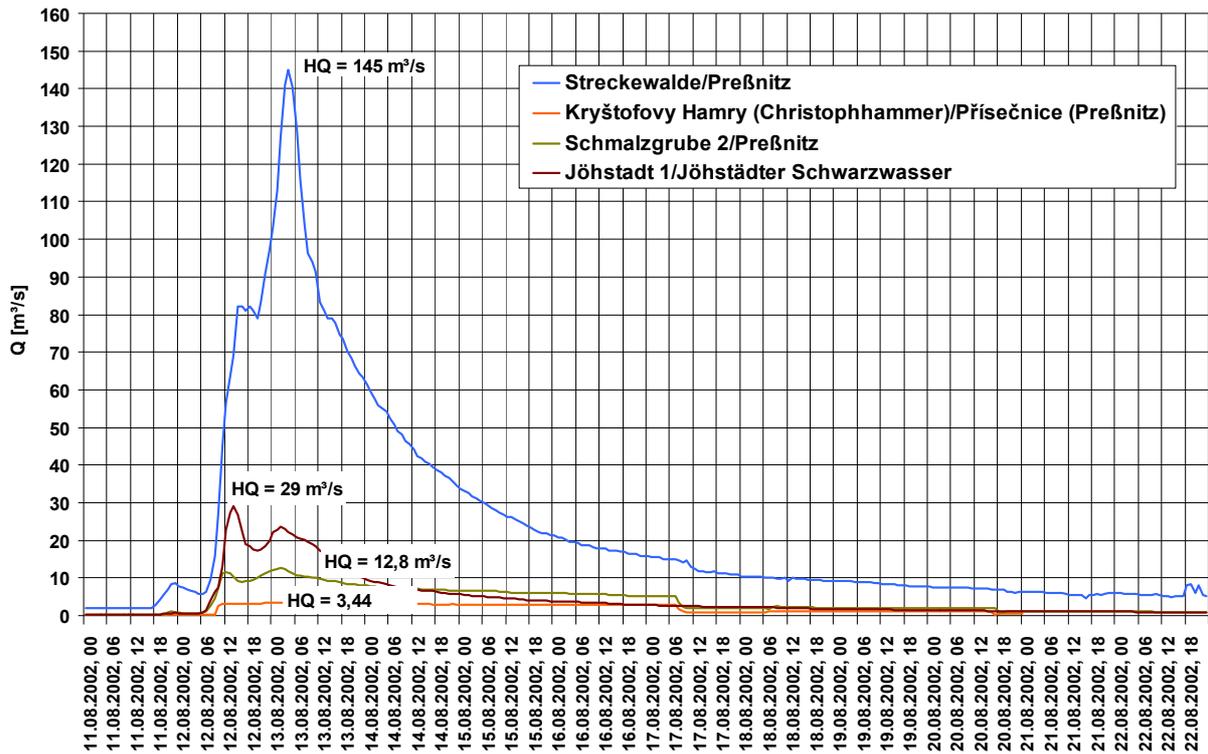


Abbildung 100: Durchflussganglinien an Pegeln im Gebiet der Preßnitz

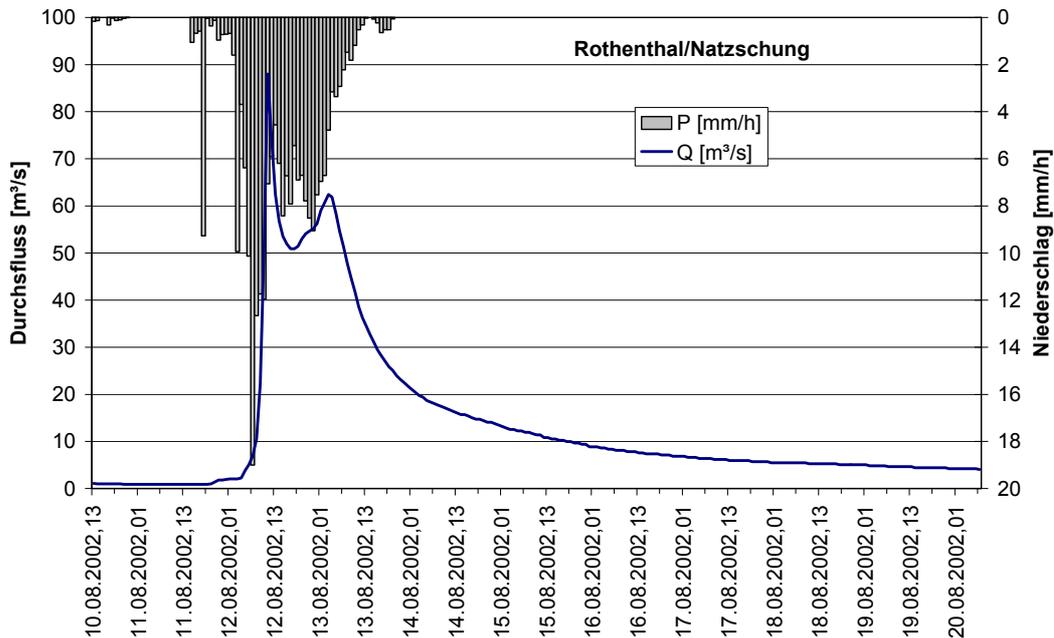


Abbildung 101: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Rothenthal/Natzschung

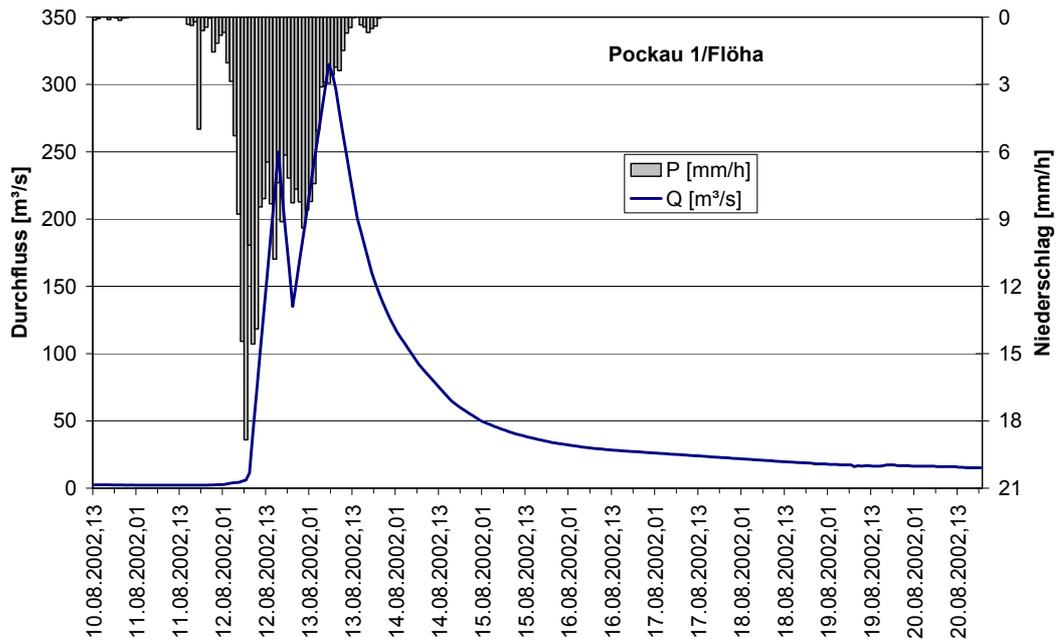


Abbildung 102: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Pockau 1/Flöha

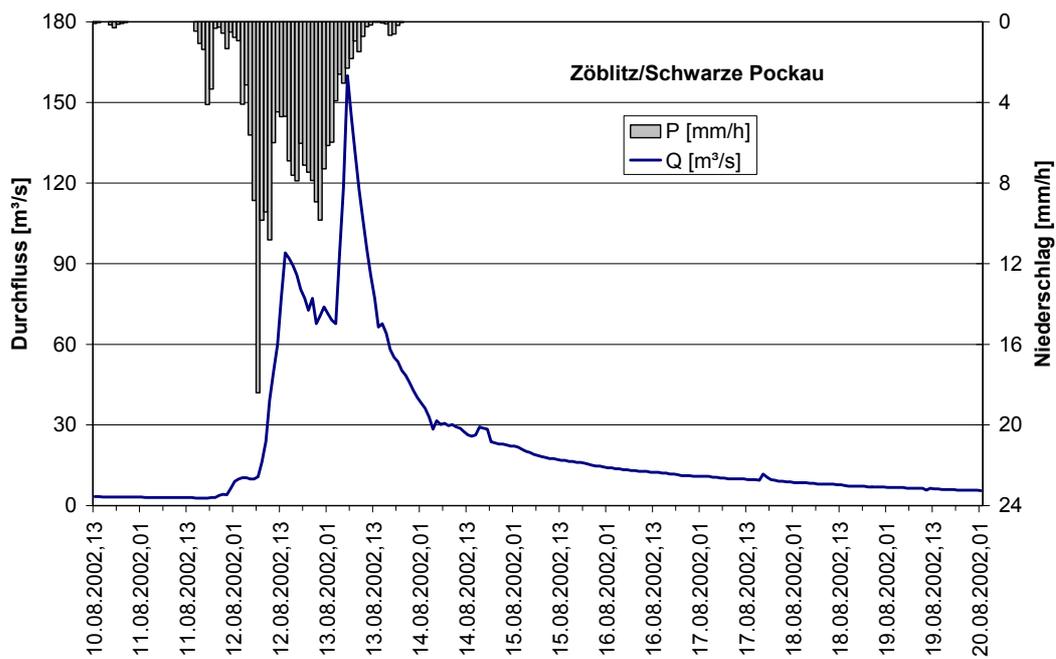


Abbildung 103: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Zöblitz/Schwarze Pockau

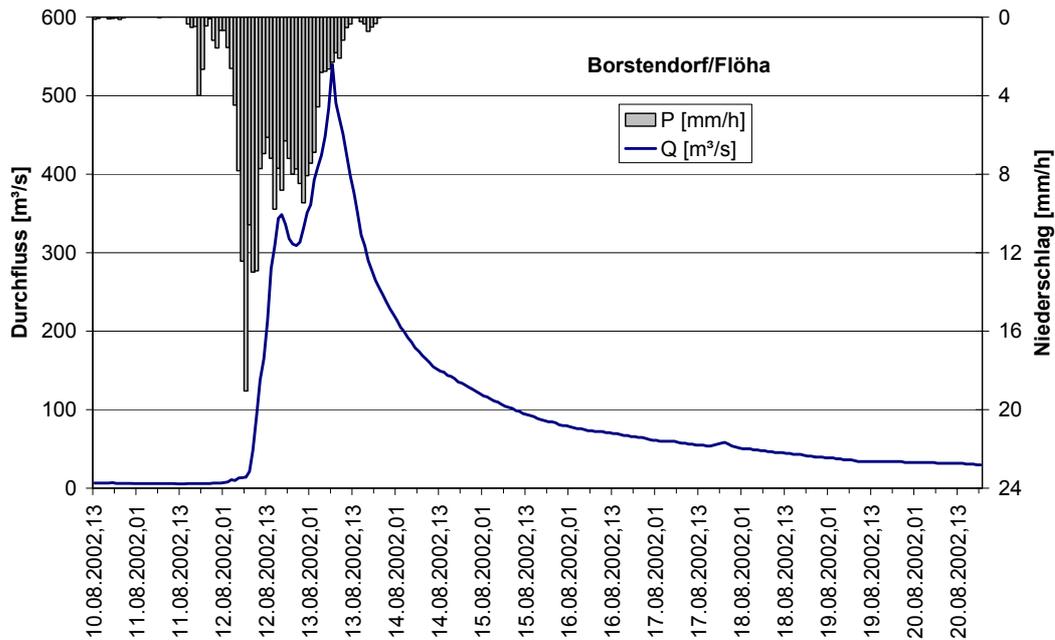


Abbildung 104: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Borstendorf/Flöha

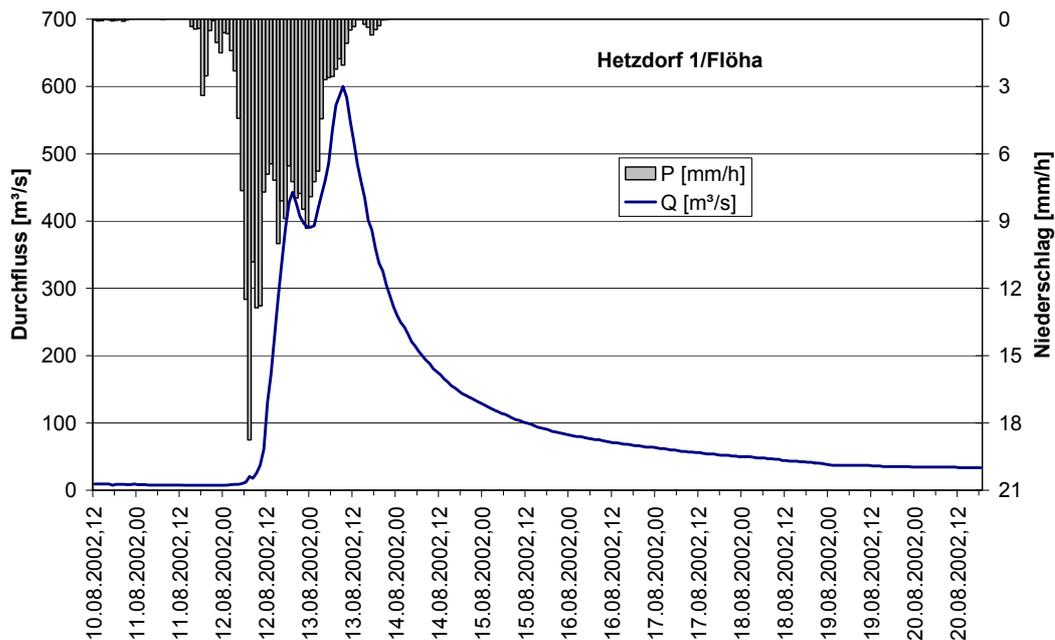


Abbildung 105: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Hetzdorf 1/Flöha

Bei nahezu gleicher Verteilung der Niederschlagsintensitäten in den Teileinzugsgebieten der Flöha zeigt sich eine Abhängigkeit des Scheiteleintritts und der zweigipfligen Wellenform von der Einzugsgebietsgröße. Die extrem hohen Intensitäten des Niederschlags von 12 bis 20 mm/h am 12.08. zwischen 05.00 Uhr und 10.00 Uhr führten in den kleineren Teilgebieten mit Größen unter 100 km² (z. B. Pegel Rothenthal/Natzschung; Abb. 101) beim ersten Scheitel zum höchsten Abfluss.

Wie an den Ganglinien der Pegel Borstendorf und Hetzdorf 1 (Abb. 104 und Abb. 105) zu erkennen ist, flachte sich dieser Scheitel aufgrund des vergleichsweise geringen Abflussvolumens bis zum Mittel- und Unterlauf der Flöha markant ab. Der dort zu beobachtende höchste Abfluss im zweiten Scheitel resultiert aus der größeren Niederschlagssumme vom 12.08., 14.00 Uhr bis 13.08., 02.00 Uhr mit Intensitäten zwischen 6 und 10 mm/h in allen Teilgebieten.

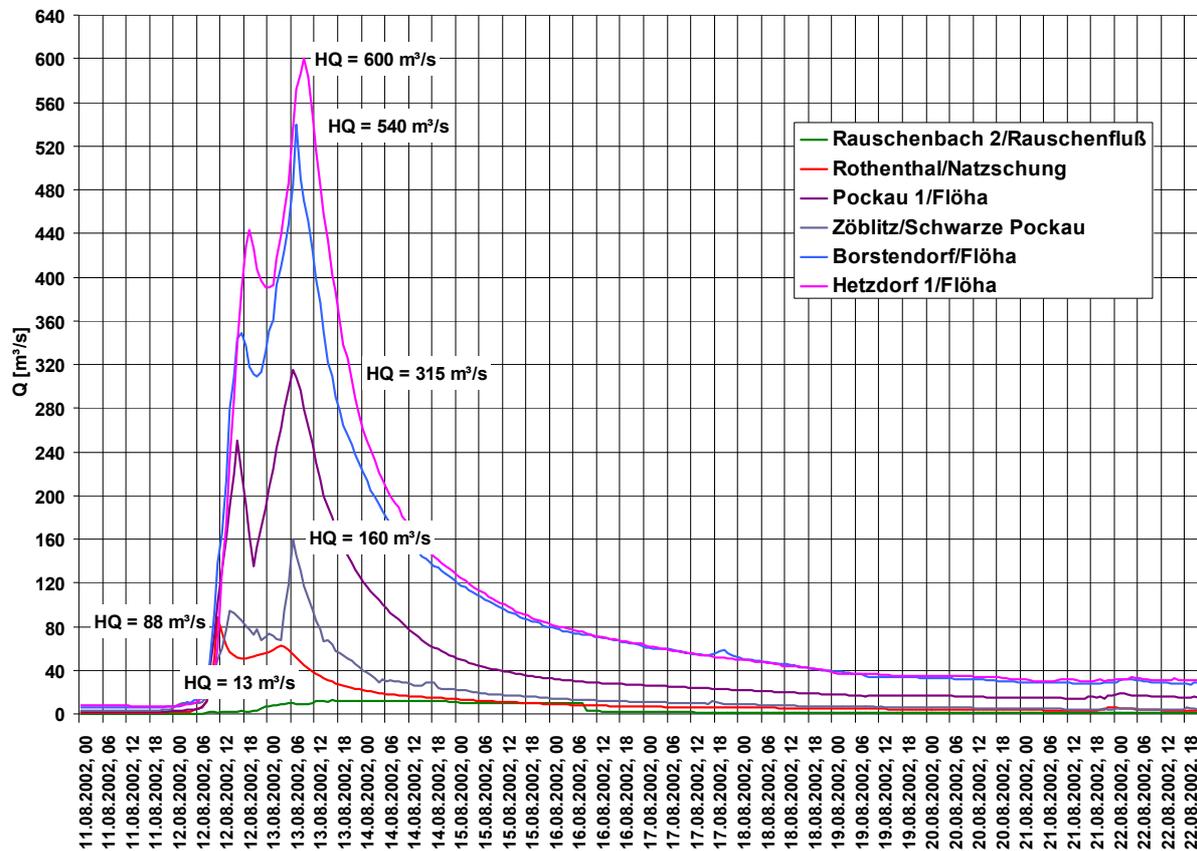


Abbildung 106: Durchflussganglinien an Pegeln im Gebiet der Flöha

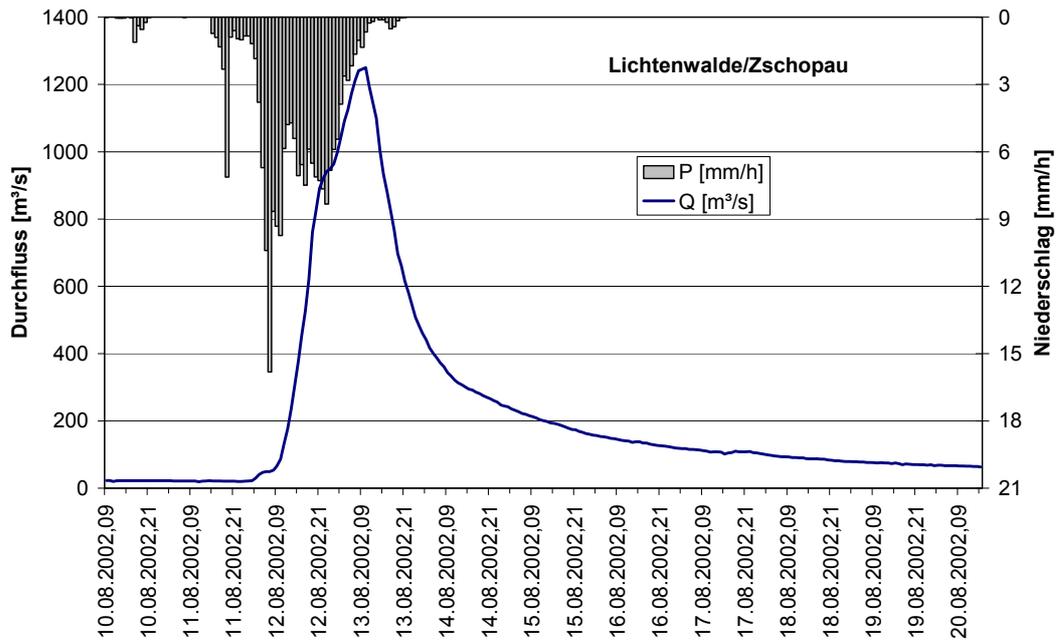


Abbildung 107: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Lichtenwalde/Zschopau

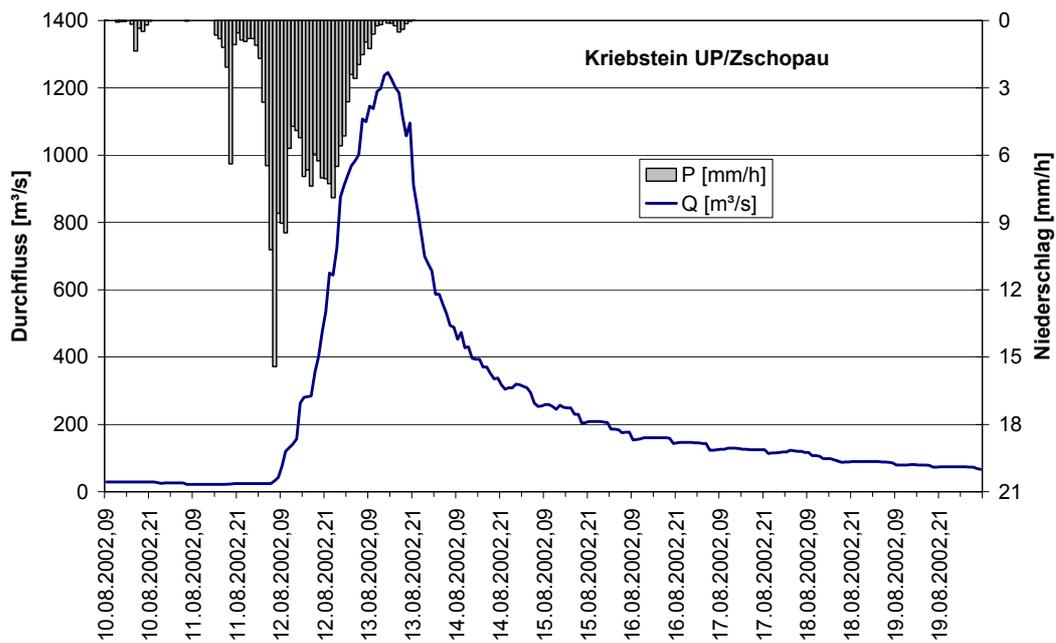


Abbildung 108: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Kriebstein UP/Zschopau

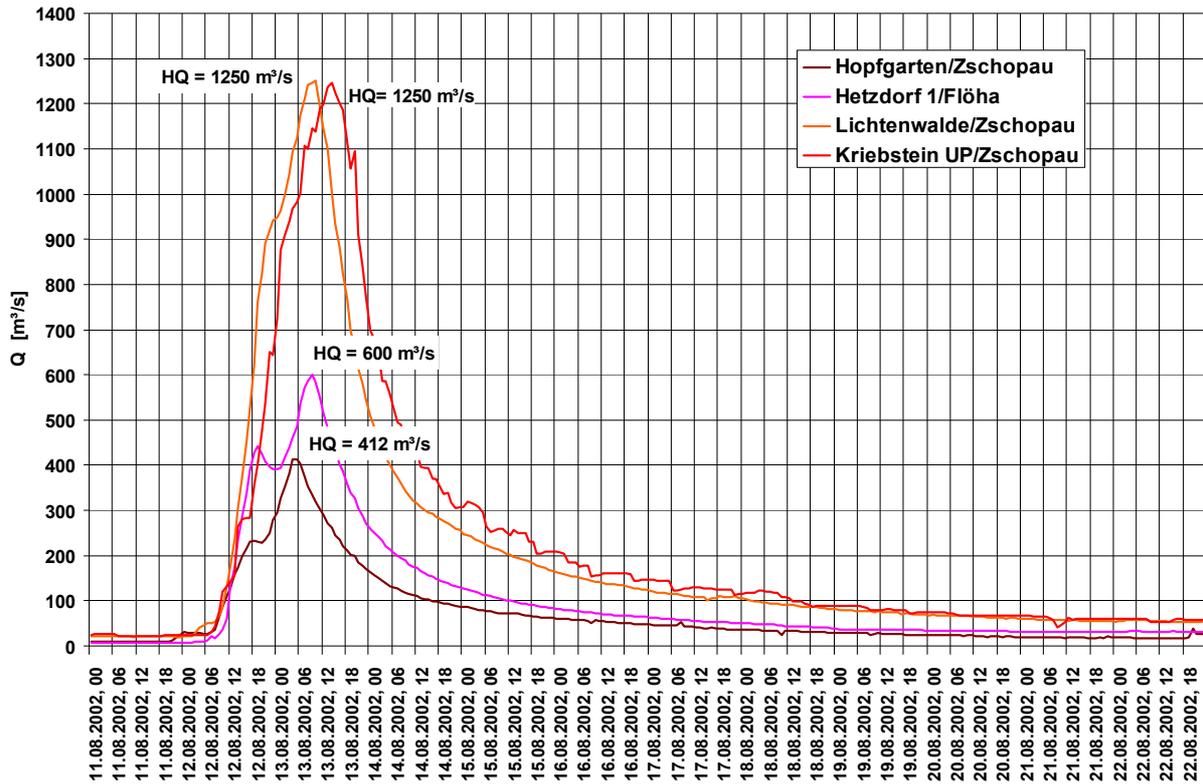


Abbildung 109: Durchflussganglinien an Pegeln im Gebiet der mittleren und unteren Zschopau

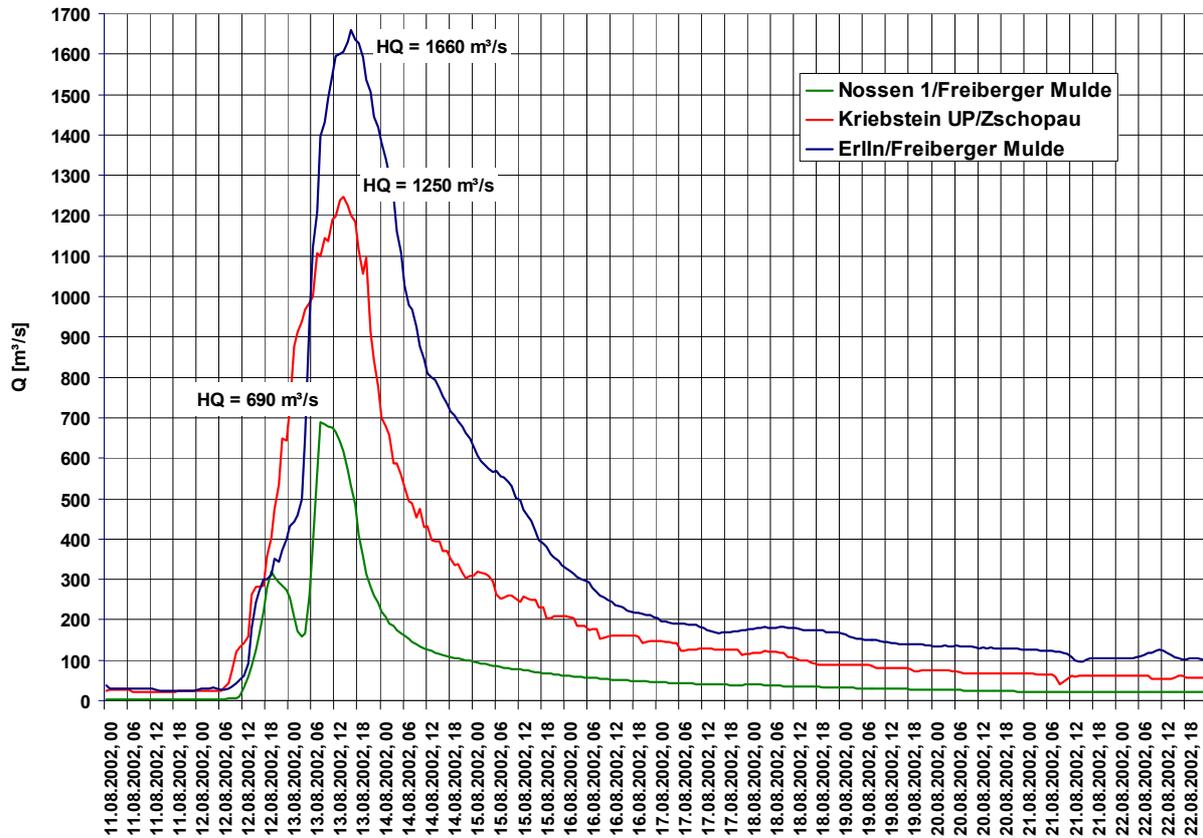


Abbildung 110: Durchflussganglinien an Pegeln von unterer Zschopau sowie mittlerer und unterer Freiberger Mulde

Tabelle 26: Kennwerte und Vergleichsgrößen der Hochwasserdurchflüsse an Pegeln im Gebiet der Zschopau und an der unteren Freiburger Mulde

Gewässer	Pegel	AE [km²]	Q-Reihen- beginn	Hochwasser 08/2002				bis 2001				bis 2004			
				HQ [m³/s]	Datum	Zeit [MESZ]	Hq [m³/(s·km²)]	Hauptwerte				Hauptwerte			
								MQ [m³/s]	MHQ [m³/s]	HHQ [m³/s]	Datum	MQ [m³/s]	MHQ [m³/s]	HHQ [m³/s]	Datum
Freiberger Mulde	Erlin	2983	1961	1660	13.08.2002	16.00	0,52	34,9	300	610	09.12.1974	34,7	299	1660	13.08.2002
Zschopau	Tannenberg	90,6	1960	85	13.08.2002	02.00	0,94	1,56	13	29,7	08.12.1974	1,55	14,8	85	13.08.2002
Zschopau	Hopfgarten	529	1911	420	13.08.2002	04.30	0,79	7,91	77,5	260	04.01.1932	7,92	81	420	13.08.2002
Zschopau	Lichtenwalde	1575	1910	1250	13.08.2002	11.00	0,79	21,6	207	687	04.01.1932	21,8	219	1250	13.08.2002
Zschopau	Kriebstein UP	1757	1933	1250	13.08.2002	13.30	0,77	23,5	215	595	08.12.1974	23,5	231	1250	13.08.2002
Preßnitz	Schmalzgrube 2	61,8	1972	12,8	13.08.2002	01.30	0,21	0,558	7,05	15,4	19.06.1986	0,547	7,18	15,4	19.06.1986
Preßnitz	Streckewalde	206	1921	145	13.08.2002	02.00 – 04.00	0,70	3	28,2	81,1	11.07.1954	2,97	29,4	145	13.08.2002
Flöha	Pockau 1	385	1921	315	13.08.2002	05.00 – 07.00	0,82	5,92	64,1	172	10.04.1987	5,9	66,8	315	13.08.2002
Flöha	Pockau 2	518		k.A.	13.08.2002	05.00 – 07.00	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Flöha	Borstendorf	644	1929	540	13.08.2002	07.00	0,84	9,1	85,1	235	04.01.1932	9,1	91,1	540	13.08.2002
Flöha	Hetzdorf 1	760	1997	600	13.08.2002	07.00 – 07.30	0,79	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Natzschung	Rothenthal	75	1927	88	13.08.2002	11.30	1,17	1,38	13,8	44	24.06.1975	1,37	13,8	88	12.08.2002
Schwarze Pockau	Zöblitz	129	1937	160	13.08.2002	06.00	1,24	2,31	21,2			2,3	23,1	160	13.08.2002

Die Laufzeiten der Scheitel in der Zschopau betragen 5 bis 6 Stunden zwischen Hopfgarten und Lichtenwalde und nur 3 bis 4 Stunden zwischen Lichtenwalde und Kriebstein UP.

Der Vergleich der bezogenen Ganglinien (Abb. 111) belegt die starke Abflusserhöhung zwischen Hopfgarten und Lichtenwalde und die resultierende Formveränderung auf dieser Fließstrecke.

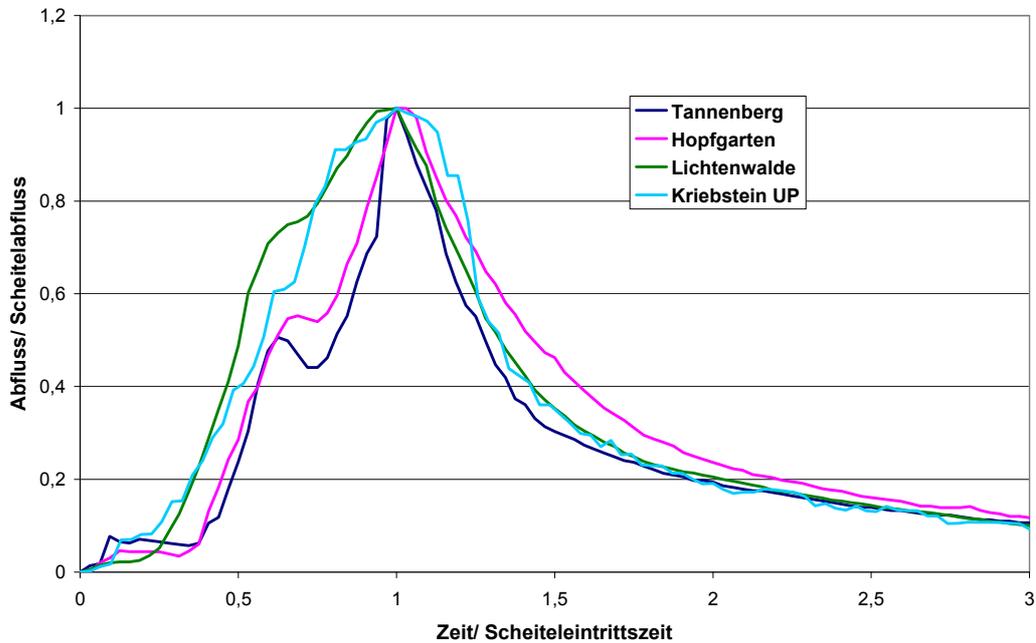


Abbildung 111: Bezogene Ganglinien im Flussgebiet der Zschopau

Die Kozeny-Ganglinie und die Nash-Impulsantworten (Abb. 112 und Abb. 113) zeigen für die Zschopau dagegen mit Ausnahme des Pegels Tannenberg wenig Variabilität zwischen den Pegeln. Auch Borstendorf und Hetzdorf (Abb. 114) weisen im Ganglinienverlauf wenig Unterschied auf, wogegen Pockau 1 in der Kozeny-Ganglinie (Abb. 115) einen zu flachen Verlauf im Vergleich zu Borstendorf zeigt. Die Nash-Impulsantworten (Abb. 116) zeigen dagegen den zu erwartenden Unterschied zwischen den beiden Pegeln mit Abflachung im Längsschnitt. Die Parameter der Kozeny-Funktionen und der Nash-Impulsantworten sind in Tabelle 27 zusammengestellt.

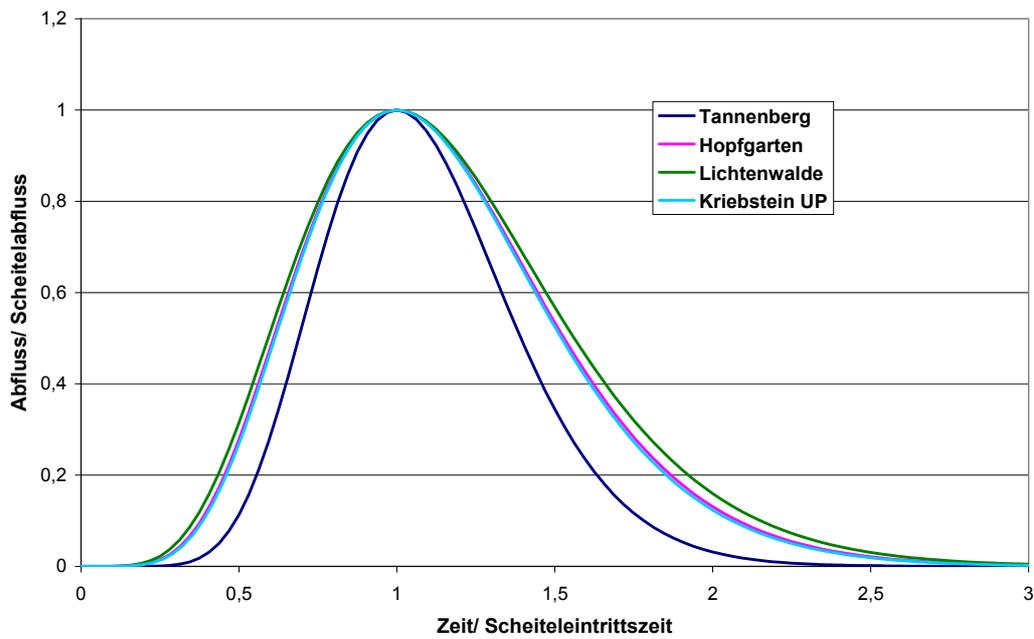


Abbildung 112: Angepasste Kozeny-Funktionen für Pegel im Flussgebiet der Zschopau

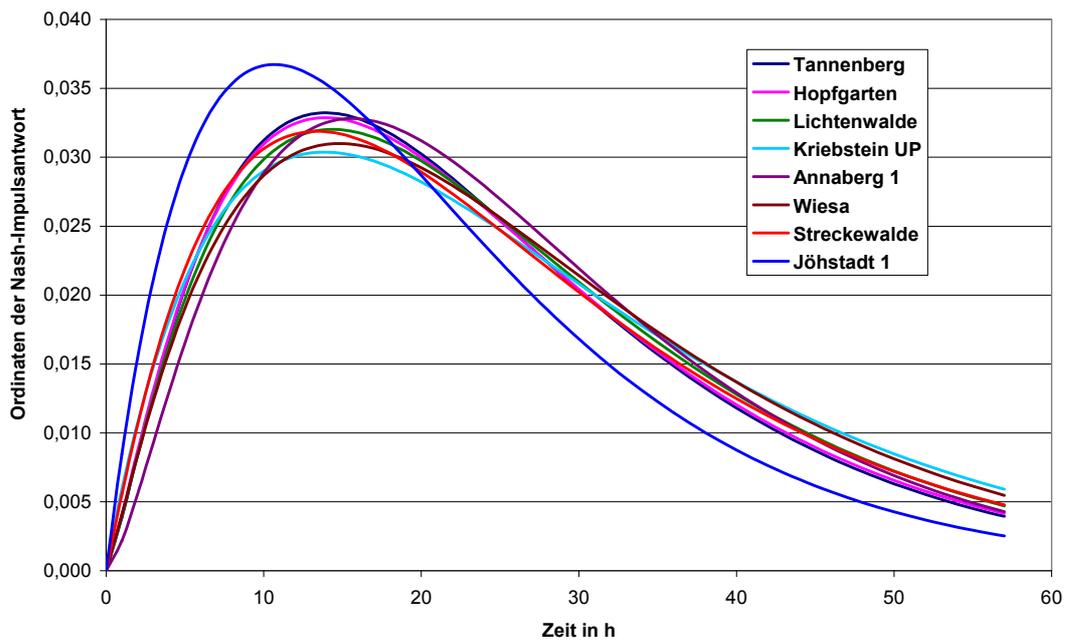


Abbildung 113: Angepasste Nash-Impulsantworten für Pegel im Flussgebiet der Zschopau

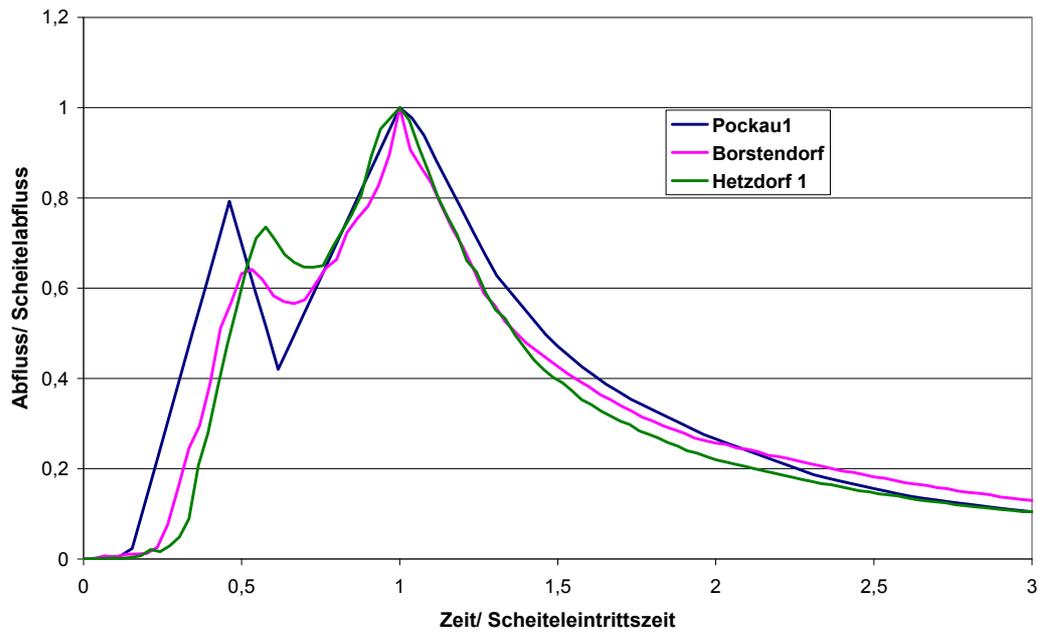


Abbildung 114: Bezogene Ganglinien für Pegel im Flussgebiet der Flöha

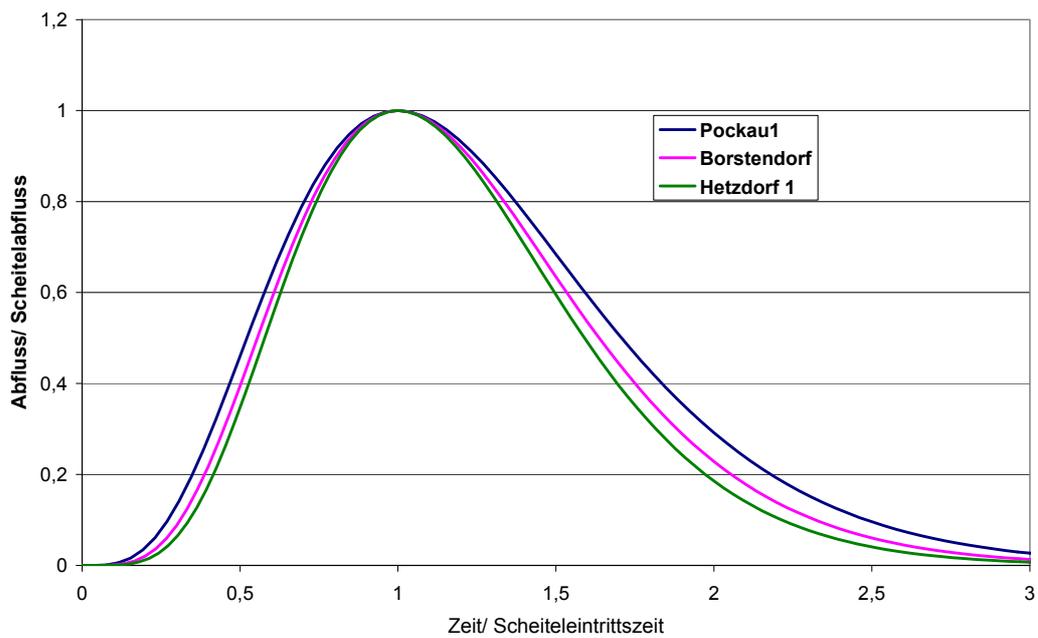


Abbildung 115: Angepasste Kozeny-Funktionen für Pegel im Flussgebiet der Flöha

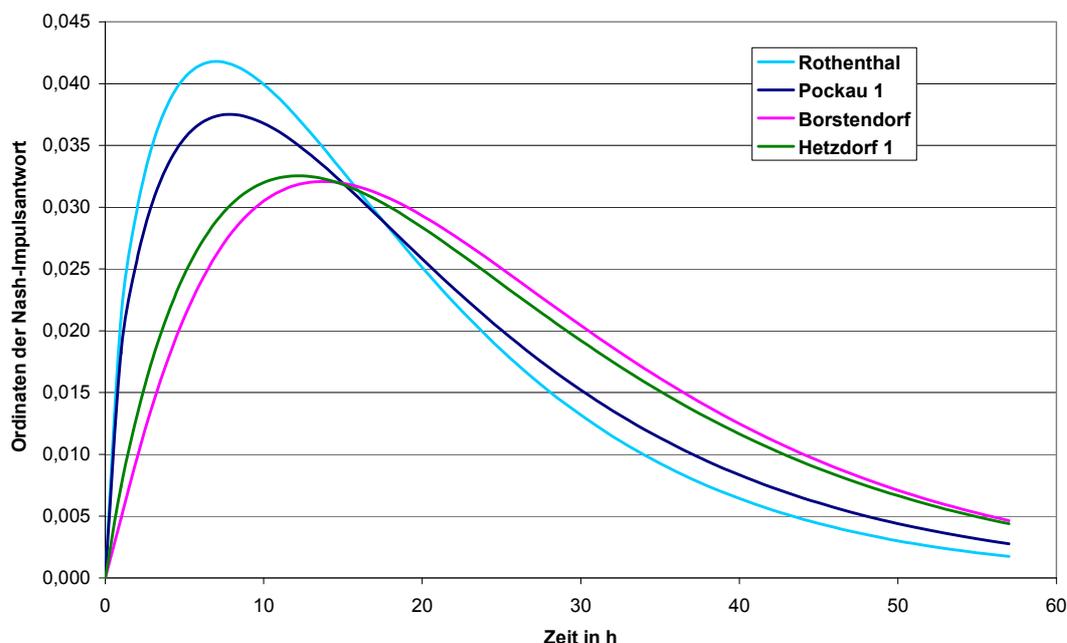


Abbildung 116: Angepasste Nash-Impulsantworten für Pegel im Flussgebiet der Flöha

Tabelle 27: Kozeny- und Nash-Impulsantwort-Parameter im Flussgebiet der Zschopau mit Flöha

Pegel/Gewässer	AE [km ²]	m	n	k
Tannenberg/Zschopau	90,6	11,278	2,2	11,41
Annaberg 1/Sehma	48,6	7,396	3,5	8,07
Wiesa/Pöhlbach	86,3	6,178	2,7	10,7
Jöhstadt 1/Jöhstädter Schwarzwasser	35,9	9,223	3,6	6,69
Streckewalde/Preßnitz	206	6,928	2,2	12,26
Hopfgarten/Zschopau	529	6,628	2,5	10,18
Rothenthal/Natzschung	75,0	1,885	1,4	12,34
Pockau 1/Flöha	385	4,016	1,7	11,63
Borstendorf/Flöha	644	4,811	2,0	12,74
Hetzdorf 1/Flöha	760	5,488	2,0	12,25
Lichtenwalde/Zschopau	1575	5,981	2,5	10,33
Kriebstein UP/Zschopau	1757	6,819	2,4	11,46

Der steilere Verlauf der Impulsantworten an den Pegeln Jöhstadt 1/Jöhstädter Schwarzwasser, Pockau 1/Flöha und Rothenthal/Natzschung kann mit der Lage ihrer Einzugsgebiete im oberen Bergland erklärt werden.

5.5.3 Speicherbewirtschaftung

Die Talsperre Přísečnice im Oberlauf der Preßnitz auf tschechischem Gebiet verfügte zu Beginn des Hochwassers über einen freien Betriebsraum von 3,347 hm³. Dieser reichte zur Aufnahme des Hochwasserzuflusses aus, so dass der gewöhnliche Hochwasserrückhalteraum nicht eingestaut werden brauchte (IKSE 2004). Damit konnte der Hochwasserscheitel im Bereich dieser Stauanlage mit 88,4 % stark reduziert werden (Tabelle 30).

Im Gegensatz zur Talsperre Přešnice musste der gewöhnliche Hochwasserrückhalteraum der Talsperre Flaje an der Flöha in der Tschechischen Republik fast vollständig in Anspruch genommen werden, obwohl auch hier der Betriebsraum zu Beginn des Hochwassers nicht vollständig gefüllt war. (IKSE 2004).

Die Talsperre Rauschenbach war aufgrund von Baumaßnahmen im Bereich des Staukörpers bis zum Absenckziel entleert. Nur der Reserveraum war noch gefüllt. Die hohen Zuflüsse führten im Zusammenhang mit der geringen Wildbettabgabe von 0,100 m³/s praktisch zum Zwangseinstau der Stauanlage, wodurch die zufließende Hochwasserwelle im Zeitraum vom Ereignisbeginn bis zum 19.08. vollständig aufgenommen werden konnte. Die Bewirtschaftungssituation an der Talsperre Rauschenbach zeigt Tabelle 28.

Tabelle 28: Bewirtschaftung der Talsperre Rauschenbach während des Hochwassers

Datum/Uhrzeit	Inhalt [hm ³]	Freiraum für Hochwasserrückhalt* [hm ³]	I _{GHR} [hm ³]	Einstau I _{GHR} [%]	Wildbettabgabe [m ³ /s]
Tageswerte					
08.08., 07.00	3,038	12,16	0,9	0	0,08
09.08., 07.00	3,045	12,16	0,9	0	0,08
10.08., 07.00	3,038	12,16	0,9	0	0,08
11.08., 07.00	3,027	12,17	0,9	0	0,09
12.08., 07.00	3,020	12,18	0,9	0	0,09
Momentanwerte					
12.08., 13.00	3,497	11,70	0,9	0	0,09
12.08., 19.00	4,026	11,17	0,9	0	0,09
13.08., 01.00	5,000	10,20	0,9	0	0,09
13.08., 07.00	6,210	8,990	0,9	0	0,09
13.08., 13.00	7,190	8,010	0,9	0	0,09
13.08., 19.00	8,080	7,120	0,9	0	0,09
14.08., 01.00	8,710	6,490	0,9	0	0,09
14.08., 07.00	9,270	5,930	0,9	0	0,09
Tageswerte					
15.08., 07.00	10,408	4,790	0,9	0	0,09
16.08., 07.00	11,739	3,460	0,9	0	0,09
17.08., 07.00	12,310	2,890	0,9	0	0,09
18.08., 07.00	13,067	2,130	0,9	0	0,09
19.08., 07.00	13,616	1,580	0,9	0	0,09
20.08., 07.00	13,892	1,310	0,9	0	1,16
29.08., 07.00	12,030	3,170	0,9	0	2,90

*: beinhaltet I_{GHR} und den freien Anteil des Betriebsraumes

Bis zum August 2002 war für die Talsperre Saidenbach kein gewöhnlicher Hochwasserrückhalteraum ausgewiesen. Infolge des freien Betriebsraumes von 3,25 hm³ am Ereignisbeginn konnte die Talsperre den Hochwasserscheitel um 49 % mindern. Im Zeitraum der höchsten Zuflüsse begann am 13.8. zwischen 02.00 Uhr und 03.00 Uhr der Abfluss über die Hochwasserentlastungsanlage (Abb. 117). Eine nennenswerte Reduzierung der Abflussfülle am Pegel Borstendorf/Flöha konnte die Talsperre Saidenbach nicht erreichen (Tabelle 29).

Relevante Stauanlagenparameter im Vergleich zu Hochwasserkennwerten sind für alle im Einzugsgebiet der Zschopau befindlichen relevanten Talsperren in den Tabellen 30 - 32 zusammengestellt.

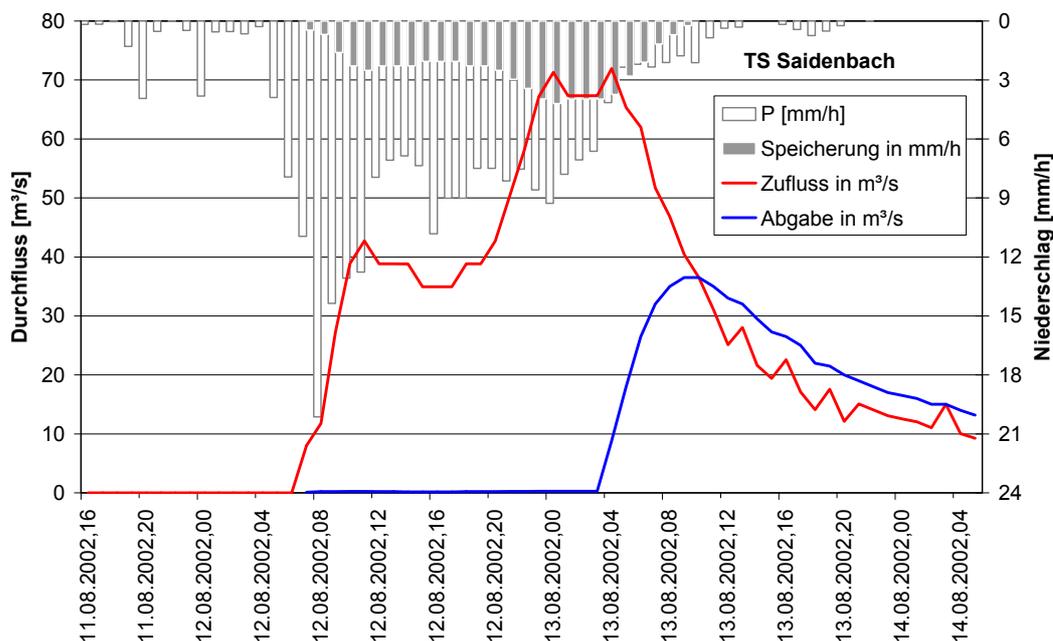


Abbildung 117: Gebietsniederschläge Zufluss, Abgabe und Speicherung der TS Saidenbach

Tabelle 29: Minderung der Abflussfülle am Pegel Borstendorf/Flöha durch die Talsperre Saidenbach

Gewässer	Talsperre/ Pegel	A_E [km ²]	P [mm]	$R_{Zufluss}$ [mm]	S_{max} [mm]	R [mm]	R_{ZG} [mm]	Abflussfüllen- reduzierung durch die Talsperre [%]
Saidenbach	TS Saidenbach	60,8	244,7	96,2	64,9	31,3	-	-
Flöha	Borstendorf	644	244,6	-	-	116,8	122,2	5,4

Tabelle 30: Reduzierung des Zuflussscheitels durch die einzelnen Talsperren

Talsperre	A_E [km ²]	$HQ_{Zufluss}$ [m ³ /s]	$Hq_{Zufluss}$ [l/s·km ²]	HQ_{Abgabe} [m ³ /s]	Zuflussscheitel- reduzierung [%]
Cranzahl ¹	9,91	3,2	722	0,5	84,4
Přísečnice	46,4	29,4	634	3,4	88,4
Flaje	43,1	52,0	1206	14,1	72,9
Rauschenbach	70,2	61,1	870	0,100	99,8
Saidenbach	60,7	71,9	1185	36,5	49,2
Neunzehnhain I ²	23,8	7,6	314	7,4	2,6
Neunzehnhain II	13,1	9,4	718	5,1	45,7

*1: Die Hochwasserabflüsse werden durch den angeschlossenen Hanggraben beeinflusst. Die Abflussspende wurde bezüglich des natürlichen Einzugsgebietes angegeben.

*2: Die Zuflüsse zur Talsperre Neunzehnhain I werden durch die Bewirtschaftung der Talsperre Neunzehnhain II maßgebend beeinflusst.

Tabelle 31: Relation der Zuflusssummen zu den Gewöhnlichen Hochwasserrückhalteräumen

Talsperre	A _E [km ²]	I _{GHR} 2002 [hm ³] ^{*2}	I _{GHR} 2002 [mm]	P [mm]	R _{Zufluss} [mm] ^{*2}	ψ [-] ^{*2}	S _{max} [hm ³]	S _{max} [mm] ^{*2}	Relation zwischen R _{Zufluss} und I _{GHR} 2002	Relation zwischen S _{max} und I _{GHR} 2002	Relation zwischen S _{max} und R _{Zufluss}
Cranzahl ^{*1}	8,71	0,115	26,0	112,5	86,8	0,772	0,222	50,1	3,34	1,93	0,58
Přísečnice	46,4	0,92	19,8	nicht bekannt	102,7	nicht bekannt	3,291	70,9	5,19	3,58	0,69
Flaje	43,1	0,345	8,0	nicht bekannt	nicht bekannt	nicht bekannt	nicht bekannt	nicht bekannt	nicht be- kannt	nicht be- kannt	nicht be- kannt
Rauschenbach	70,2	0,90	12,8	250,1	177,5	0,710 ^{*3}	10,921	155,6	13,87	12,16	0,88
Saidenbach	60,7	0,000	0,0	244,7	96,2	0,393	3,945	64,9	-	-	0,67
Neunzehnhain I	24,2	0,000	0,0	216,6	72,6	0,335	0,092	3,8	-	-	0,05
Neunzehnhain II	13,5	0,000	0,0	nicht bekannt	128,2	0,592	0,645	47,8	-	-	0,37

*1: Das Einzugsgebiet wird durch die Bewirtschaftung eines Hanggrabens mit 4,28 km³ angeschlossener Einzugsgebietsfläche beeinflusst.

Der Abflussbeiwert liegt unter Beachtung des Hanggrabeneinflusses << 0,772.

*2: Bezogen auf die natürliche Einzugsgebietsfläche, ohne Hanggrabeneinzugsgebiete.

*3: Abflussbeiwert abhängig von der Bewirtschaftung der Talsperre Flaje.

Tabelle 32: Veränderung der Hochwasserrückhalteräume

Talsperre	A _E [km ²]	I _{GHR} 2002 [hm ³]	I _{GHR} neu [hm ³] ^{*2}	Relation zwischen I _{GHR} neu und I _{GHR} 2002	I _{GHR} 2002 [mm] ^{*2}	I _{GHR} neu [mm] ^{*2}
Cranzahl	8,71 ^{*1}	0,115	0,250	2,17	26,0	56,4
Přísečnice	46,4	0,92	0,92	1,00	19,8	19,8
Flaje	43,1	0,345	0,345	1,00	8,0	8,0
Rauschenbach ^{*3}	70,2	0,90	4,00	4,44	12,8	57,0
Saidenbach ^{*4}	60,7	0,00	3,00	-	0,0	49,4
Neunzehnhain I	24,2	0,00	0,00	-	0,0	0,0
Neunzehnhain II	13,5	0,00	0,00	-	0,0	0,0

*1: Das Einzugsgebiet wird durch die Bewirtschaftung eines Hanggrabens mit 4,28 km³ angeschlossener Einzugsgebietsfläche beeinflusst.

*2: Bezogen auf die natürliche Einzugsgebietsfläche, ohne Hanggrabeneinzugsgebiete.

*3: gestaffelte Erhöhung des gewöhnlichen Hochwasserrückhalteraaumes von 2,50 hm³ ab September 2002 bis 4,00 hm³ ab März 2003.

*4: gestaffelte Erhöhung des gewöhnlichen Hochwasserrückhalteraaumes von 1,00 hm³ ab September 2002 bis 3,00 hm³ ab dem Jahr 2007.

5.6 Vereinigte Mulde

5.6.1 Wasserstandsentwicklung

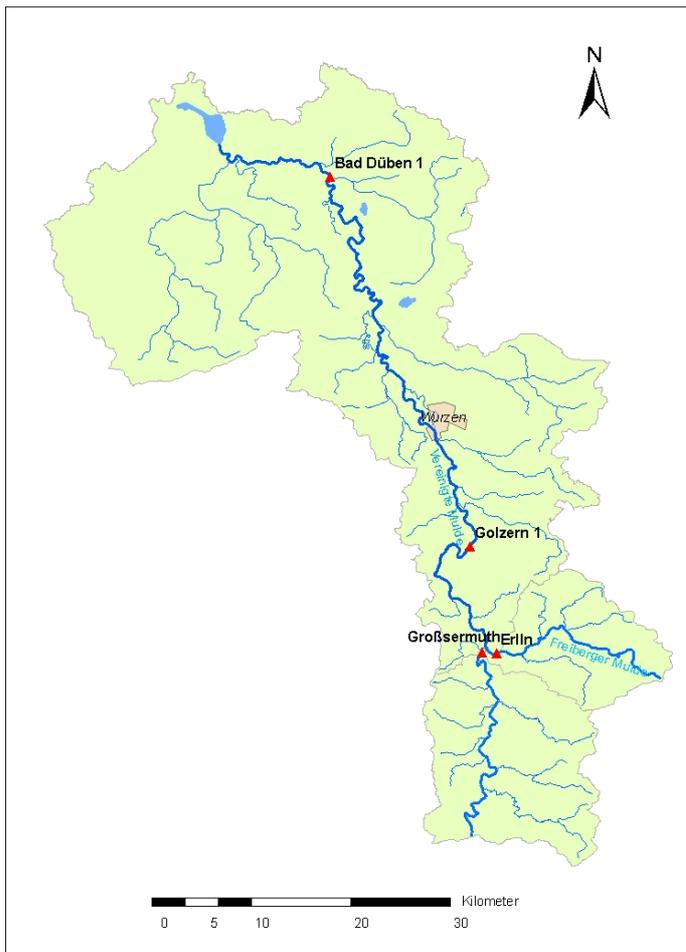


Abbildung 118: Vereinigte Mulde

Der im eingedeichten Querschnitt am Pegel beobachtete Höchststand von 852 cm am 14.08. um 10.00 Uhr entsprach nicht der Wasserspiegellage im überschwemmten linken Deichhinterland. Der Wasserstandsanstieg setzte am 12.08. gegen 15.00 Uhr ein. Im weiteren Anstieg zeichnete sich mit einem kurzzeitig geringfügigen Rückgang am 14.08. zwischen 00.00 Uhr und 03.00 Uhr die Wirkung der oberhalb aufgetretenen Deichbrüche und -überströmungen ab.

Abb. 119 zeigt die aufgezeichneten Wasserstandsganglinien, Tabelle 33 enthält die dazugehörigen Kennwerte und Vergleichsgrößen.

Die Wasserstandsentwicklung an den Pegeln der Vereinigten Mulde (Abb. 119) ist durch das zeitversetzte Zusammenfließen der Hochwasserwellen von Zwickauer Mulde und Freiberger Mulde sowie den Auswirkungen zahlreicher Deichbrüche geprägt.

Ein weitgehend stetiger Anstieg des Wasserstandes begann am Pegel Golzern 1/ Vereinigte Mulde am 12.08. um 04.00 Uhr. Der Hochwasserscheitel war am 13.08. von 18.30 Uhr bis 19.00 Uhr mit einem Wasserstand von 868 cm zu beobachten. Am noch bestehenden Pegelhaus des ehemaligen Pegels Golzern lag der Scheitelwasserstand nach der Schwemmgutlinie mit 905 cm 205 über dem bisherigen HHW vom 11.07.1954.

Infolge der unterhalb des Pegels Golzern 1 zwischen Niederglauchta und Bad Dübener See eingetretenen Deichbrüche und -überströmungen erfasste der Pegel Bad Dübener See nicht die im gesamten Talquerschnitt abgeflossene Wassermenge.

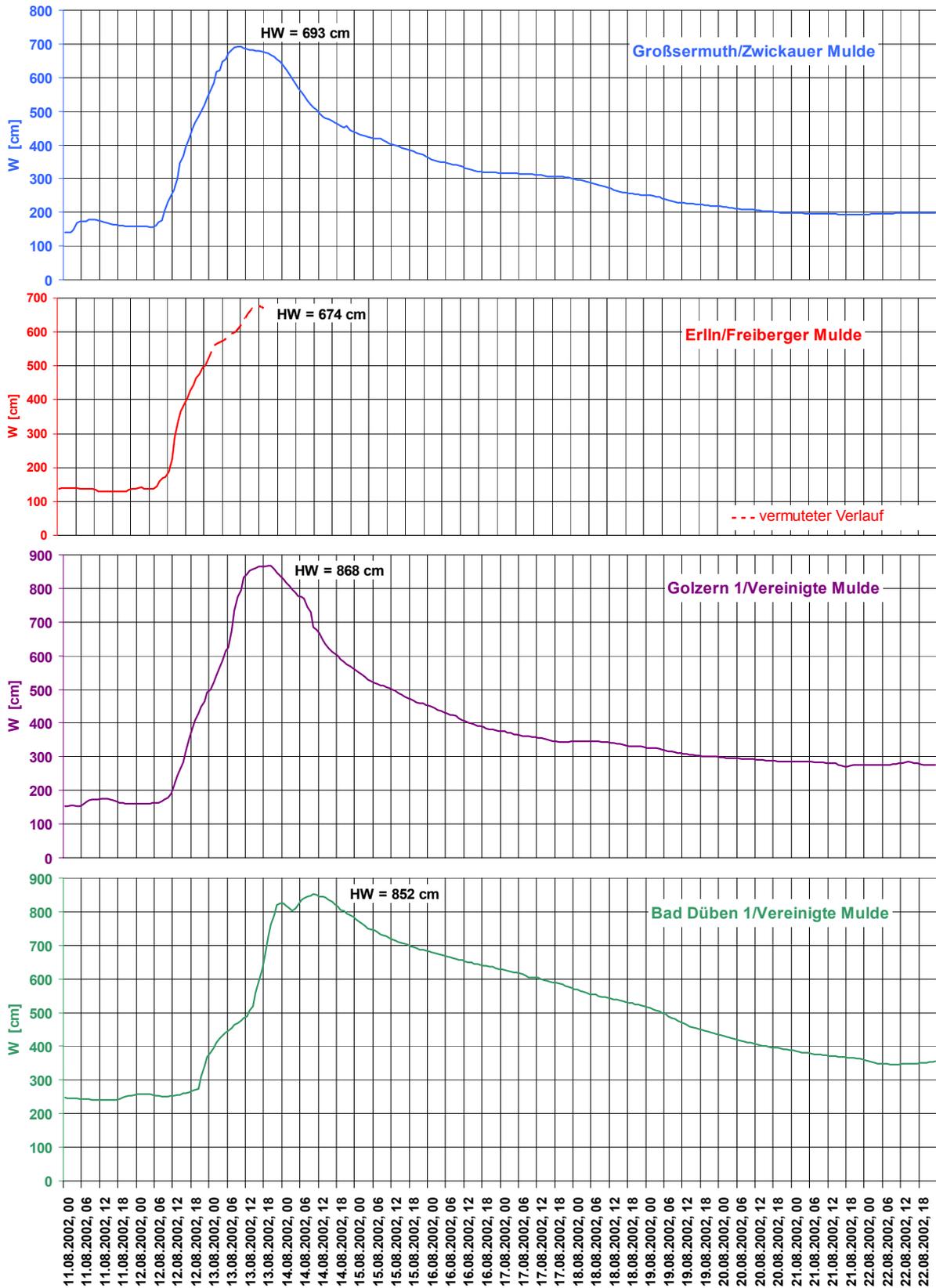


Abbildung 119: Wasserstandsganglinien an den Pegeln der Zwickauer Mulde, Freiburger Mulde und Vereinigten Mulde

Tabelle 33: Kennwerte und Vergleichsgrößen der Hochwasserstände an den Pegeln der Vereinigten Mulde im Vergleich zu Pegeln an der Zwickauer Mulde und Freiburger Mulde

Gewässer	Pegel	AE km ²	Fkm	Beob.- beginn	Hochwasser 08/2002					MHW	HHW		MHW	HHW	
					HW [cm]	Datum	Zeit	W (11.08.2002, 12.00) [cm]	max. Anstieg [cm/2h]	(1992/2001) [cm]	(bis 2001) [cm]	Datum	(1997/2006) [cm]	(bis 2006) [cm]	Datum
Vereinigte Mulde	Golzern 1	5442	128,4	1996	868	13.08.2002	20.00	175	112	1996/01: 384	462	18.03.2000	463	868	13.08.2002
	Golzern	5442	128,6	1910	905	13.08.2002	20.00			1992/95: 395	700	11.07.1954		905	13.08.2002
	Bad Dübén 1	6171	68,1	1997	852	14.08.2002	10.00	240	96	1997/01: 545	635	18.03.2000	604	852	14.08.2002
	Bad Dübén	6171	68,1	1935						1992/96: 454	722	11.07.1954		(772)	14.08.2002
Zwickauer Mulde	Großsermuth	2361	0,6	1990	693	13.08.2002	09.10	174	81	331	474	02.09.1995	387	693	13.08.2002
Freiberger Mulde	ErlIn	2983	1,5	1960	674	13.08.2002	16.00	135	113	357	502	09.12.1974	373	674	13.08.2002

5.6.2 Hochwasserabflüsse

Der Hochwasserwellenablauf in der Vereinigten Mulde ist aufgrund der Talauenentwicklung durch Abflachungerscheinungen charakterisiert.

Die bestehenden Deiche waren nicht für die aufgetretenen extrem hohen Durchflüsse ausgelegt, sondern höchstens für den bis dahin gültigen 100-jährlichen Hochwasserscheitelabfluss HQ_{100} bemessen. Dadurch kam es zu weiträumigen Deichüberströmungen und sehr vielen Deichbrüchen. In deren Folge wurde die Talau, das durch die Auelehmverbreitung charakterisierte natürliche Überschwemmungsgebiet, vollständig in Anspruch genommen (<http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/2339.htm>).

Der Gebietsabfluss zwischen den Pegeln Golzern 1 und Bad Dübener 1 war im Vergleich zum Abfluss in der Mulde unbedeutend, wengleich dieser in den meisten Teileinzugsgebieten auch als extrem einzustufen ist. Die Hochwasserscheitel der Zuflüsse traten bereits vor dem Scheitel in der Vereinigten Mulde am Pegel Golzern 1 ein. Dessen Ganglinie und den Gebietsniederschlag in seinem Einzugsgebiet zeigt Abb. 120.

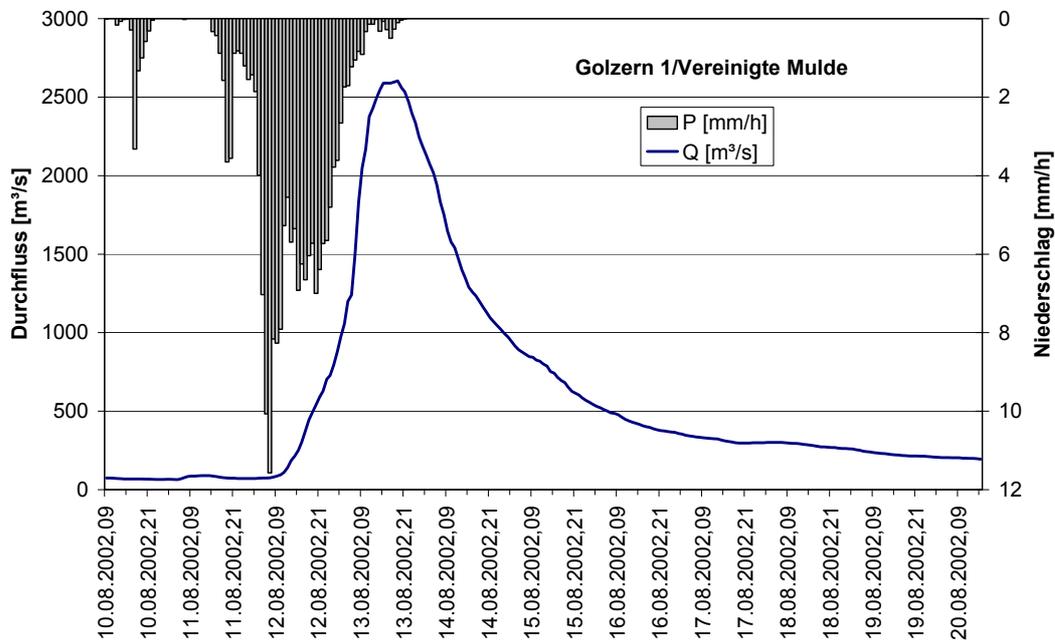


Abbildung 120: Niederschlags- und Abflussverlauf für das Einzugsgebiet des Pegels Golzern 1/ Vereinigte Mulde

Die am Pegel Golzern 1 beobachtete und für den Pegel Bad Dübener 1 unter Beachtung des Abflusses außerhalb des Gerinnes rekonstruierte Durchflussganglinie ist in Abb. 121 dargestellt, charakteristische Zahlenwerte enthält Tabelle 34. In Abb. 122 ist die am Pegel Bad Dübener 1 direkt gemessene Ganglinie im Vergleich zum gesamten Abfluss der Vereinigten Mulde verzeichnet. Bei dessen Bestimmung wurde angenommen, dass etwa $12,5 \text{ hm}^3$ in den Talschottern gespeichert wurden.

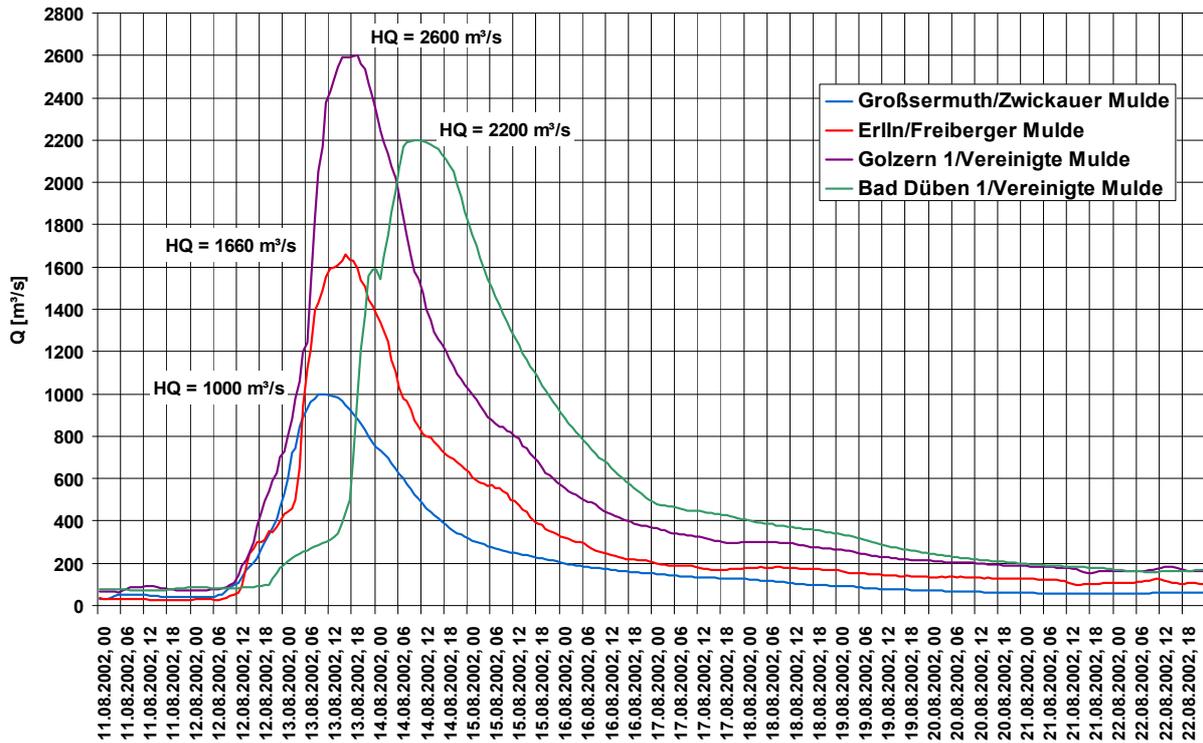


Abbildung 121: Durchflussganglinien an Pegeln der Zwickauer Mulde, Freiberger Mulde und Vereinigten Mulde

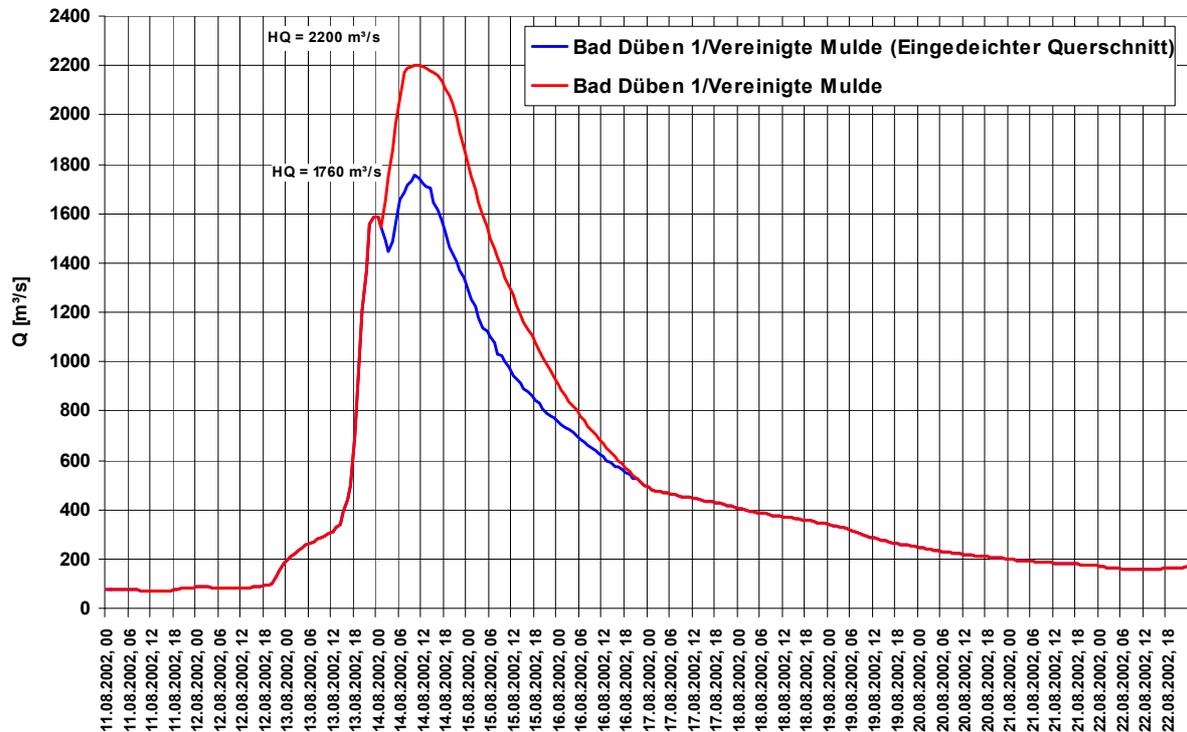


Abbildung 122: Durchflussganglinien der Vereinigten Mulde am Pegel Bad Düben 1 im Talquerschnitt und im eingedeichteten Querschnitt

Tabelle 34: Kennwerte und Vergleichsgrößen der Hochwasserdurchflüsse an den Pegeln der Vereinigten Mulde im Vergleich zu Pegeln an der Zwickauer Mulde und Freiburger Mulde

Gewässer	Pegel	AE [km ²]	Q-Reihen- beginn	Hochwasser 08/2002				bis 2001				bis 2004			
				Hauptwerte				Hauptwerte				Hauptwerte			
				HQ [m ³ /s]	Datum	Zeit	Hq [m ³ /(s·km ²)]	MQ [m ³ /s]	MHQ [m ³ /s]	HHQ [m ³ /s]	Datum	MQ [m ³ /s]	MHQ [m ³ /s]	HHQ [m ³ /s]	Datum
Vereinigte Mulde	Golzern 1	5442	1911	2600	13.08.2002	20.00	0,48	61,4	494	1740	11.07.1954	61,6	515	2600	13.08.2002
Vereinigte Mulde	Bad Düben 1	6171	1961	2200	14.08.2002	10.00	0,36	63,3	444	(1200)	09.12.1974	63,7	472	2200	14.08.2002
Zwickauer Mulde	Wechselburg 1	2107	1910	1000	13.08.2002	07.00	0,47	25,9	205	915	10.07.1954	26	213	1000	13.08.2002
Freiberger Mulde	Erlin	2983	1961	1550	13.08.2002	16.00	0,52	34,9	300	610	09.12.1974	34,7	299	1550	13.08.2002

Die bezogene Ganglinie, die Kozeny-Funktion und die Nash-Impulsantwort für den Pegel Golzern 1 zeigen die Abb. 123 bis 125. Die entsprechenden Parameter sind in der Tabelle 35 zusammengestellt.

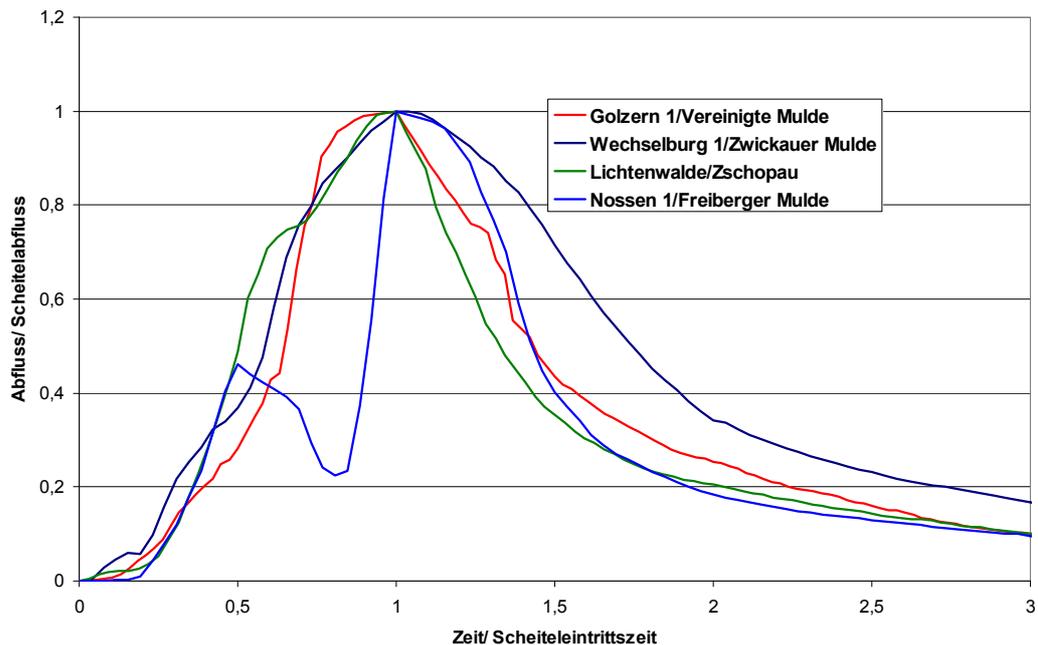


Abbildung 123: Bezogene Ganglinien für den Pegel Golzern 1/Vereinigte Mulde im Vergleich zu den Pegeln Wechselburg 1/Zwickauer Mulde, Nossen 1/Freiberger Mulde und Lichtenwalde/Zschopau

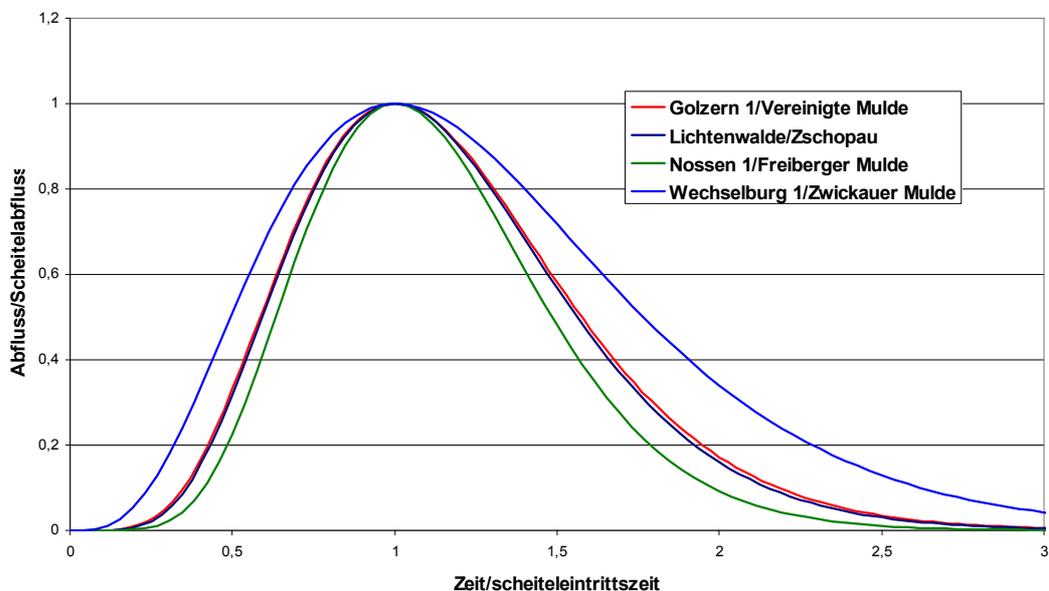


Abbildung 124: Angepasste Kozeny-Funktionen für den Pegel Golzern 1/Vereinigte Mulde im Vergleich zu den Pegeln Wechselburg 1/Zwickauer Mulde, Nossen 1/Freiberger Mulde und Lichtenwalde/Zschopau

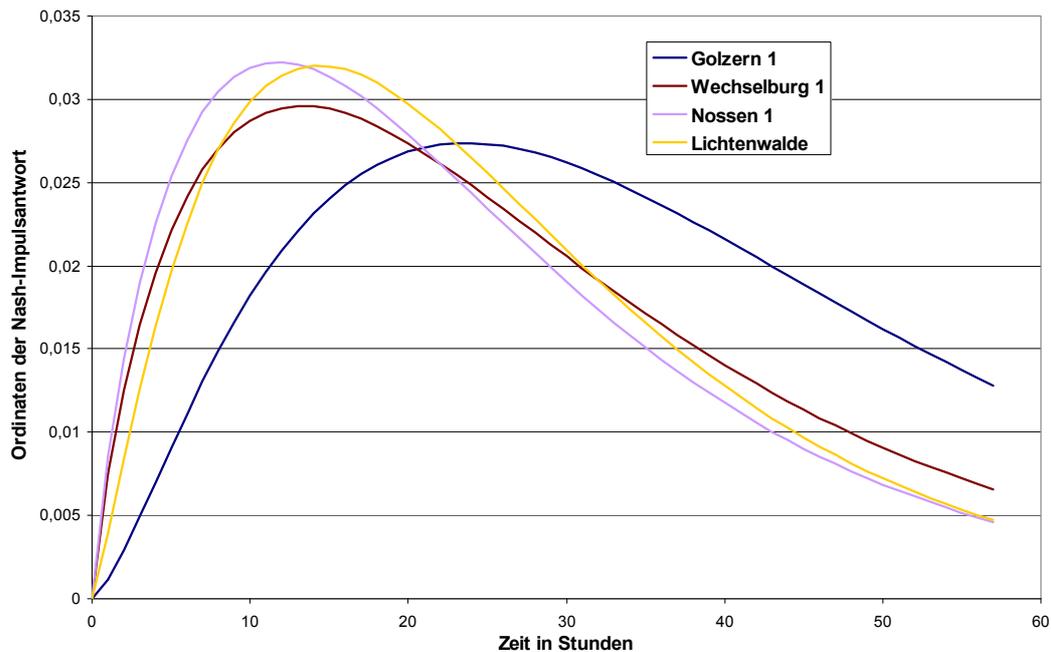


Abbildung 125: Angepasste Nash-Impulsantworten für den Pegel Golzern 1/Vereinigte Mulde im Vergleich zu den Pegeln Wechselburg 1/Zwickauer Mulde, Nossen 1/Freiberger Mulde und Lichtenwalde/Zschopau

Die abweichende Impulsantwort am Pegel Golzern 1/Vereinigte Mulde resultiert - im Gegensatz zu denen an den meisten anderen Pegeln - aus dem vergleichsweise großen Einzugsgebiet.

Tabelle 35: Kozeny- und Nash-Impulsantwort-Parameter für den Pegel Golzern 1/Vereinigte Mulde

Pegel/Gewässer	AE [km ²]	m	n	k
Golzern 1/Vereinigte Mulde	5442	5,734	3,0	13,16

5.7 Fortpflanzung der Hochwasserscheitel im Muldegebiet

Hervorgerufen durch die ereignisspezifischen Niederschlagsverhältnisse bilden sich in Verbindung mit der stark verästelten Baumstruktur des Gewässernetzes im Muldegebiet sehr verschiedenartige Hochwasserverläufe aus. Deren Vielfalt gestattete bisher keine Klassifizierung. Besonders deutlich wird diese Problematik bei der Betrachtung des zeitlichen Verhaltens der Scheitelintritte im Längsschnitt, das in Abb. 126 für das August-Hochwasser 2002 dargestellt ist (vgl. dazu Abb. 132 und 133).

Während der Scheitelintritt an Pegeln mit Einzugsgebietsgrößen bis etwa 250 km² im allgemeinen von der zeitlichen Verteilung der stärkeren Niederschlagsintensitäten abhängt, wird mit zunehmender Gebietsgröße der Zeitraum der Scheitelausbildung durch den Wellenablauf dominiert (Tabelle 36). Als Besonderheit dieses Hochwassers ist - wie schon in Abschnitt 5 beschrieben - die Ausbildung des Wellenscheitels im Unterlauf der Zwickauer Mulde zu betrachten: Denn vor dem Aufgleiten der Welle aus dem Oberlauf auf den bereits abfallenden Ast ist die Entstehung eines zweiten Scheitels nicht festzustellen.

Die Scheiteleintrittszeit an der Zwickauer Mulde zwischen Zwickau und Wechselburg waren somit gravierend durch die Spezifik des Niederschlags im Gebiet zwischen dem Pegel Zwickau-Pölbitz und der Chemnitzmündung geprägt.

Ein weiteres markantes Merkmal dieses Hochwassers bildet die zweigipflige Hochwasserwelle in der Freiburger Mulde zwischen dem Pegel Nossen 1 und der Zschopaumündung.

Tabelle 36: Scheiteleintrittszeiten an ausgewählten Pegeln

Pegel/ Gewässer	AE [km²]	Eintrittsdatum/ Eintrittszeit
Golzern/ Mulde	5442	13.08.2002 20.00
Bad Düben/ Mulde	6171	14.08.2002 10.00
Schönheide 3/ Zwickauer Mulde	152	13.08.2002 00.45 – 01.15
Neidhardtsthal/ Zwickauer Mulde	201	13.08.2002 12.30
Aue 3/ Zwickauer Mulde	681	13.08.2002 ca. 04.00
Niederschlema/ Zwickauer Mulde	759	13.08.2002 05.00
Zwickau-Pölbitz/ Zwickauer Mulde	1030	13.08.2002 07.30 – 08.00
Wolkenburg/ Zwickauer Mulde	1424	13.08.2002 06.00 - 07.30
Wechselburg 1/ Zwickauer Mulde	2107	13.08.2002 07.00
Großsermuth/ Zwickauer Mulde	2361	13.08.2002 09.10
Sachsengrund/ Große Pyra	6,70	12.08.2002 22.00 - 00.00
Johanngeorgenstadt 3/ Schwarzwasser	75,2	13.08.2002 ca. 01.00
Schwarzenberg/ Schwarzwasser	316	13.08.2002 ca. 02.00
Aue 1/ Schwarzwasser	362	13.08.2002 ca. 03.30 - 04.00
Markersbach 1/ Große Mittweida	30	12.08.2002 16.00 - 17.00
Markersbach 2/ Große Mittweida	37	15.08.2002 17.00
Niedermülsen 1/ Mülsenbach	49,9	12.08.2002 08.00 - 09.00
Niederlungwitz/ Lungwitzbach	138	13.08.2002 02.00 - 03.00
Chemnitz 1/ Chemnitz	403	13.08.2002 06.00
Göritzhein/ Chemnitz	532	13.08.2002 09.00
Burkhardtstorf 2/ Zwönitz	93,7	13.08.2002 03.45
Altchemnitz/ Zwönitz	144	13.08.2002 07.00
Jahnsdorf/ Würschnitz	103	13.08.2002 03.30
Harthau/ Würschnitz	136	13.08.2002 04.30

Pegel/ Gewässer	AE [km²]	Eintrittsdatum/ Eintrittszeit
Mulda/ Freiberger Mulde	82,9	13.08.2002 ca. 02.00
Berthelsdorf/ Freiberger Mulde	244	13.08.2002 04.45
Nossen 1/ Freiberger Mulde	585	13.08.2002 08.00 - 09.00
Erlln/ Freiberger Mulde	2983	13.08.2002 16.00 – 18.00
Wolfsgrund/ Chemnitzbach	37,2	13.08.2002 14.00
Krummenhennersdorf/ Bobritzsch	131	13.08.2002 01.30
Böhrigen/ Striegis	253	13.08.2002 ca. 00.00
Niederstriegis 1/ Striegis	283	13.08.2002 gegen 02.00
Tannenberg/ Zschopau	90,6	13.08.2002 02.00
Hopfgarten/ Zschopau	529	13.08.2002 04.30
Lichtenwalde/ Zschopau	1575	13.08.2002 11.00
Kriebstein UP/ Zschopau	1757	13.08.2002 13.30
Annaberg 1/ Sehma	48,6	13.08.2002 03.00
Wiesa/ Pöhlbach	86,3	13.08.2002 02.30
Schmalzgrube 2/ Preßnitz	61,8	13.08.2002 01.30
Streckewalde/ Preßnitz	206	13.08.2002 02.00 – 04.00
Jöhstadt 1/ Jöhstädter Schwarzwasser	35,9	12.08.2002 13.00 – 14.00
Rauschenbach 1/ Flöha	77,9	13.08.2002 08.17
Pockau 1/ Flöha	385	13.08.2002 05.00 – 07.00
Borstendorf/ Flöha	644	13.08.2002 07.00
Hetzdorf 1/ Flöha	760	13.08.2002 07.00 – 07.30
Rauschenbach 2/ Rauschenfluß	7,4	13.08.2002 16.00
Rothenthal/ Natzschung	75	12.08.2002 11.30
Zöblitz/	129	13.08.2002

In Tabelle 37 sind Scheitellaufzeiten und -geschwindigkeiten für Flussabschnitte zusammengestellt, von denen angenommen werden kann, dass der Wellenablauf gegenüber seitlichen Zuflüssen dominiert. Trotzdem bestehen hinsichtlich der Trennung von Durchflussbildung und Wellenabflachung große Unsicherheiten, sodass diese Werte nur als Anhaltspunkte zu verstehen sind. Deutlich wird jedoch der in den unterschiedlichen Gefälleverhältnissen und den Talformen begründete Unterschied zwischen dem zeitlichen Wellenablauf in der Vereinigten Mulde und den oberhalb gelegenen Gebieten von Zwickauer Mulde und Freiburger Mulde.

Tabelle 37: Scheitellaufzeiten ausgewählter Flussstrecken

Gewässer	Flussstrecke		Fließstrecke [km]	Scheitel- laufzeit [h]	Geschwin- digkeit [km/h]
	von	bis			
Vereinigte Mulde	Pegel Golzern 1	Pegel Bad Dübau 1	60,3	15	4,0
Zwickauer Mulde	Pegel Niederschlema	Pegel Zwickau-Pölbitz	27,2	2,5	10,9
	Pegel Wechselburg 1	Pegel Großsermuth	25,2	2,25	11,2
Chemnitz	Pegel Chemnitz 1	Pegel Görzthain	27,7	3	9,2
Zwönitz	Pegel Burkhardtsdorf 2	Pegel Altchemnitz 1	18,3	3,25	5,6
Würschnitz	Pegel Jahnsdorf	Pegel Harthau	7,3	1	7,3
Freiberger Mulde	Pegel Berthelsdorf	Pegel Nossen 1	42,3	3,25	13,0
Zschopau	Pegel Lichtenwalde	Pegel Kriebstein UP	31,2	2,5	12,5
Zschopau/ Freiberger Mulde	Pegel Kriebstein UP	Pegel Erlin	36,6	3,5	10,5

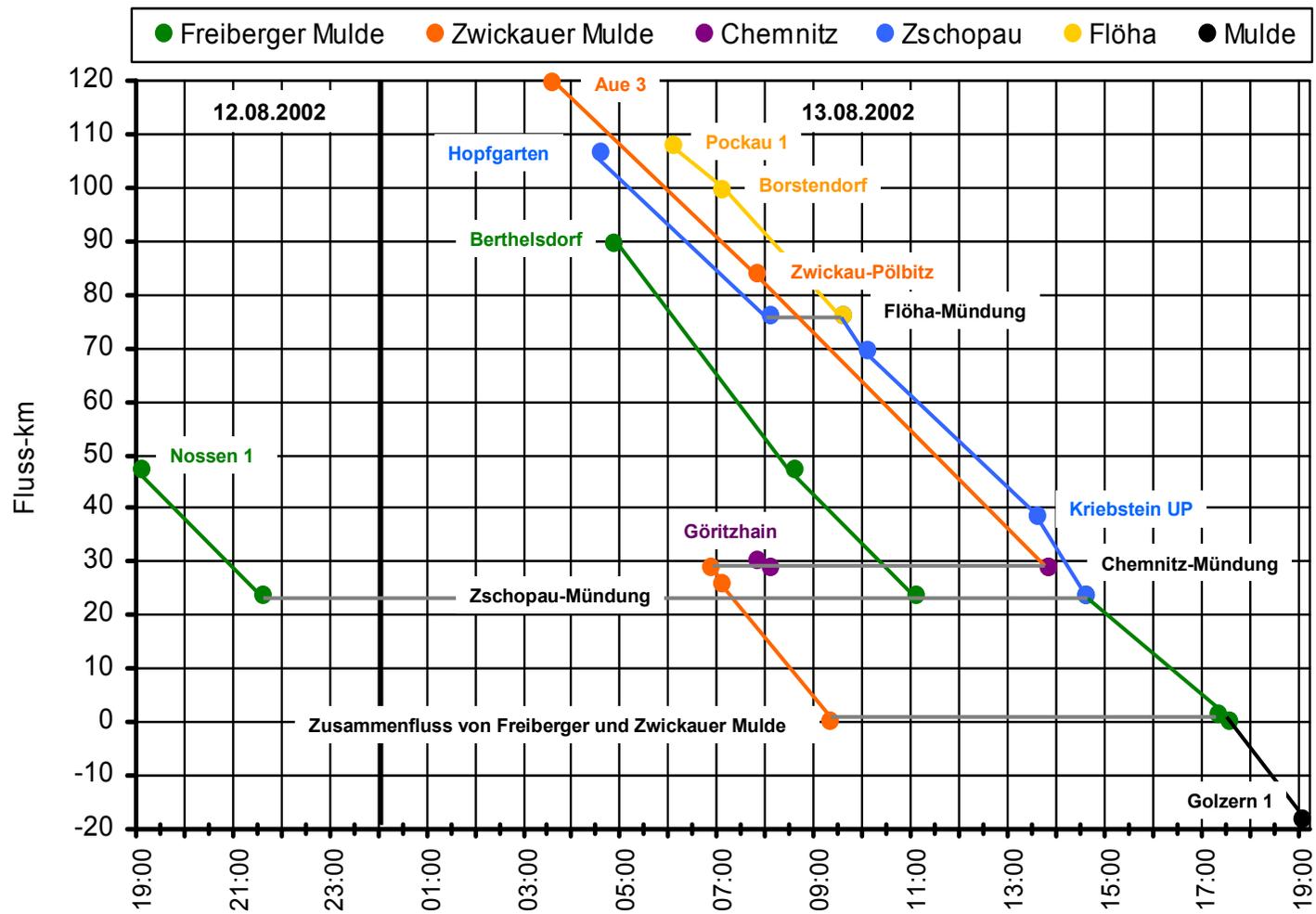


Abbildung 126: Zeitlicher Verlauf der Hochwasserscheitel in den Hauptfließgewässern des Muldegebietes am 12./13. August 2002

6 Extremwertstatistische Einordnung des Hochwassers

Die Einbeziehung der beobachteten Hochwasserscheitelabflüsse des August-Hochwassers 2002 verändert die Ergebnisse der gebräuchlichen hochwasserstatistischen Analyse (DVWK 1999) in bedeutendem Maße. Beispielsweise ergibt die statistische Einordnung der Scheitelwerte auf der Grundlage der Reihen der Jahreshöchst-abflüsse bis 2001 an einigen Pegeln Wiederkehrintervalle von mehreren tausend bis sogar Millionen Jahren (Tabelle 39). Zur theoretischen Absicherung des sich mit dem Ereignis ergebenden Informationszuwachses erfolgte durch SCHUMANN (2003) eine regional konsistente pegelstatistische Analyse, die sich bis dahin neuer Ansätze zur Berücksichtigung der Wirkung des Stichprobeneffektes und der unterschiedlichen saisonalen Auftretenshäufigkeit großer Hochwasser bediente (siehe dazu auch SCHUMANN 2005).

Die Analyse der jahreszeitlichen Verteilung der Hochwasser zeigt für das Muldegebiet einen deutlich größeren Anteil der Winter-Hochwasser an den Jahreshöchstabflüssen als die Sommer-Hochwasser (Tabelle 38). Die Form der verwendeten Verteilungsfunktion wird jedoch durch die größeren Sommer-Hochwasser bestimmt. Mit der Zusammenführung getrennter hochwasserstatistischer Analysen für Winter- und Sommer-Ereignisse erfolgt eine Verbesserung der Aussagen.

Tabelle 38: Relationen des Auftretens von Winter- und Sommerereignissen

Teilflussgebiet	Anteil der Winter-Hochwasser	Anteil der Sommer-Hochwasser
Zwickauer Mulde	0,55	0,45
Freiberger Mulde	0,69	0,31
Zschopau	0,62	0,38
Vereinigte Mulde	0,66	0,34

Da Sommerhochwasser im Gegensatz zu Winterhochwasser nicht jährlich auftreten, ist der unterschiedliche Reihenumfang zu beachten. Als Schwellenwert für die Halbjahreshöchstwerte wurde das 2,5-fache Jahres-MQ verwendet.

Für den Fall, dass die Anzahl der Sommer- und Winterhochwasser kleiner als die Anzahl der Jahres-HQ-Werte ist, erfolgte die Korrektur der empirischen Überschreitungswahrscheinlichkeiten $P_{\ddot{u}}$ für die Sommer- und Winter-HQ. An diese $P_{\ddot{u},k,Wi}$ und $P_{\ddot{u},k,So}$ sowie die entsprechenden Werte der Jahres-HQ-Reihen wurde die Allgemeine Extremwertverteilung (AEV) angepasst. Die Schätzung der Parameter der AEV erfolgte über die L-Momente.

Die jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit eines Hochwassers wurde schließlich nach der Beziehung

$$P_{\ddot{u},\text{Jahr}}(\text{HQ}) = P_{\ddot{u},k,So}(\text{HQ}) + P_{\ddot{u},k,Wi}(\text{HQ}) - [P_{\ddot{u},k,So}(\text{HQ}) \cdot P_{\ddot{u},k,Wi}(\text{HQ})]$$

berechnet. Die auf dieser Grundlage bestimmten Wiederkehrintervalle des August-Hochwassers 2002 an den Pegeln des Muldegebietes sind im Vergleich zu den Ergebnissen der Auswertung der Jahres-HQ-Reihen in Tabelle 39 zusammengestellt.

Die saisonale Betrachtung führt insbesondere für die Pegel in den Gebieten von Freiburger Mulde und Zschopau, deren Beobachtungsreihen durch relativ wenige, aber sehr große Sommerhochwasser charakterisiert sind, zu einer deutlichen Reduzierung des Wiederkehrintervalls des August-Hochwassers 2002. Im Gebiet der Zwickauer Mulde beeinflusst die saisonale Differenzierung die Jährlichkeit des Ereignisses weniger. Hier ist der geringe Unterschied in der ausgeglichenen anteiligen Repräsentanz von Winter- und Sommerereignissen in der Reihe der Jahres-HQ-Werte begründet. Insgesamt bietet die saisonal differenzierte Statistik eine räumlich homogenere Verteilung der Jährlichkeiten des Hochwassers an den Pegeln als die Statistik der Jahreshöchstabflüsse.

Abb. 127 zeigt die räumliche Verteilung der Jährlichkeiten des Hochwassers. Die höchsten Wiederkehrintervalle treten in den Gebieten von Freiburger Mulde und Zschopau auf, in denen auch die höchsten Niederschläge beobachtet wurden.

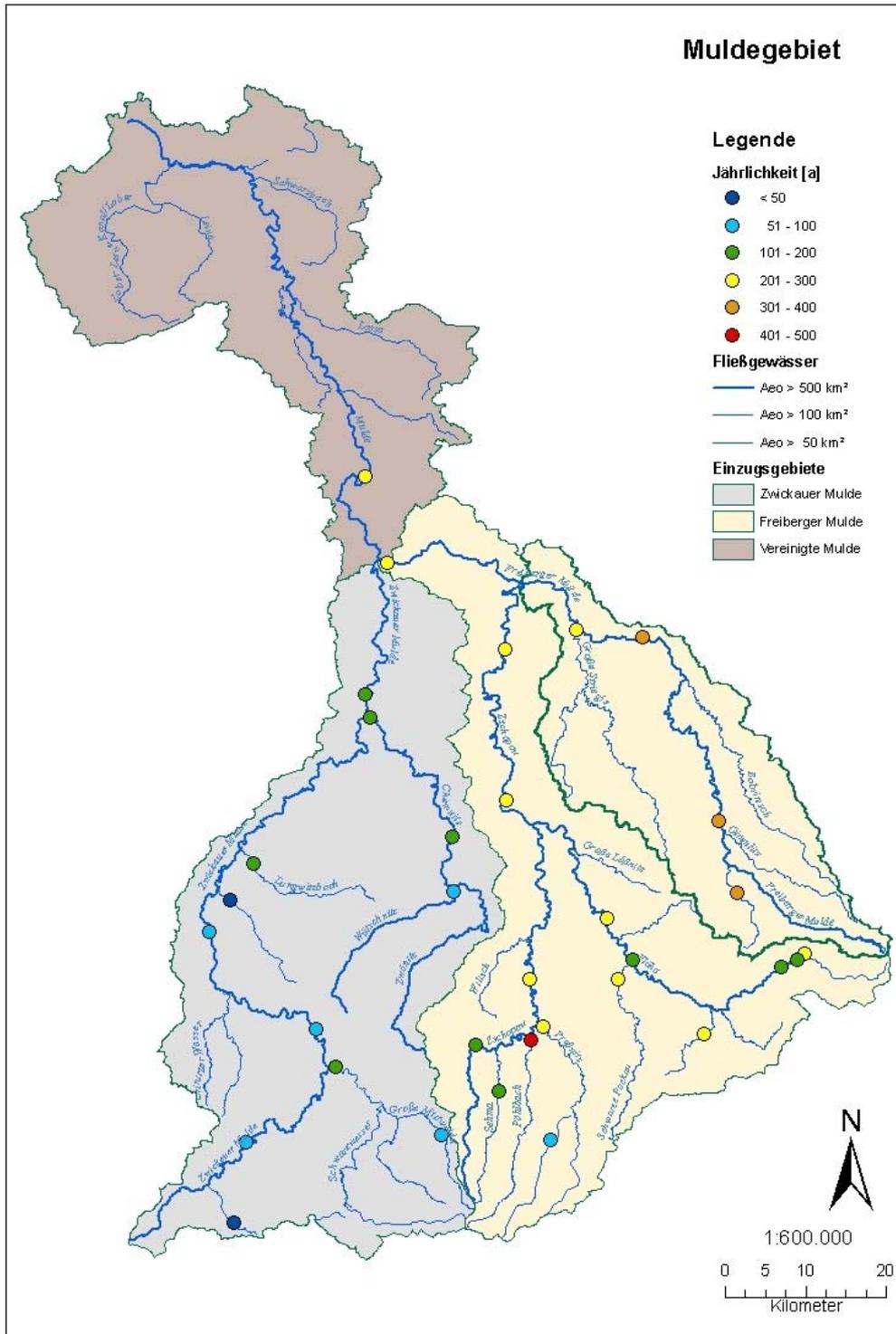


Abbildung 127: Jährlichkeit des August-Hochwassers 2002 an Pegeln des Muldegebietes, ermittelt aus den Beobachtungsreihen bis 2002 auf Basis der Winter- und Sommer-HQ

Tabelle 39: Hochwasserscheitelabflüsse mit Wiederkehrintervall und Jährlichkeit des August-Hochwassers 2002, berechnet aus den HQ der Sommer- und Winterhalbjahre für ausgewählte Pegel (modifizierte und verlängerte Reihen: kursiv)

Pegel	Gewässer	AE [km ²]	HW [m ³ /s]	Reihe		HW-Statistik aus Jahres- HQ-Werten	HW-Statistik aus HQ- Werten des Sommer- und Winterhalbjahres	Reihe		HW-Statistik aus Jahres- HQ-Werten	HW-Statistik aus HQ- Werten des Sommer- und Winterhalbjahres
				von	bis	T HW 2002	T HW 2002	von	bis	T HW 2002	T HW 2002
Golzern 1	Mulde	5442	2600	1911	2001	2929	481	1911	2002	416	206
<i>Bad Dübén 1</i>	<i>Mulde</i>	<i>6170,8</i>	<i>2200</i>	<i>1961</i>	<i>2001</i>	<i>74296</i>		<i>1961</i>	<i>2002</i>	<i>219</i>	
Schönheide 3	Zwickauer Mulde	152	152	1972	2001	495	230	1972	2002	92	82
Niederschlema	Zwickauer Mulde	759,4	400	1928	2001	62	62	1928	2002	51	52
Zwickau-Pölbitz	Zwickauer Mulde	1029,7	500	1928	2001	66	64	1928	2002	55	53
Wechselburg 1	Zwickauer Mulde	2107	1150	1910	2001	590	343	1910	2002	228	181
Sachsengrund	Große Pyra	6,6	6,9	1971	2001	28	27	1971	2002	23	23
Aue 1	Schwarzwasser	362,5	315	1928	2001	194	161	1928	2002	115	105
Markersbach 1	Große Mittweida	30	29	1974	2001	120	101	1974	2002	63	63
Wolfersgrün	Hirschfelder Wasser	22,2	6,27	1965	2001	26		1965	2002	14	
Niedermülsen 1	Mülsenbach	49,9	26,5	1966	2001	87	71	1966	2002	53	48
Niederlungwitz	Lungwitzbach	137,6	100	1965	2001	9429	1248	1965	2002	164	141
<i>Chemnitz 1</i>	<i>Chemnitz</i>	<i>403,2</i>	<i>235</i>	<i>1918</i>	<i>2001</i>	<i>648</i>	<i>241</i>	<i>1918</i>	<i>2002</i>	<i>235</i>	<i>129</i>
Göritzhein	Chemnitz	532,3	250	1910	2001	539	191	1910	2002	211	124
Harthau	Würschnitz	135,7	115	1965	2001	691	136	1965	2002	106	71
<i>Berthelsdorf</i>	<i>Freiberger Mulde</i>	<i>244,4</i>	<i>360</i>	<i>1926</i>	<i>2001</i>	<i>12316</i>	<i>1198</i>	<i>1926</i>	<i>2002</i>	<i>360</i>	<i>318</i>
<i>Nossen 1</i>	<i>Freiberger Mulde</i>	<i>585,2</i>	<i>690</i>	<i>1926</i>	<i>2001</i>	<i>830426</i>	<i>1846</i>	<i>1926</i>	<i>2002</i>	<i>690</i>	<i>325</i>
Erlin	Freiberger Mulde	2982,5	1550	1961	2001	2660555	1086	1961	2002	641	205
Wolfsgrund	Chemnitzbach	37,2	30	1921	2001	214320	2034	1921	2002	879	324
Niederstriegis 1	Striegis	283	162	1926	2001	29105	572	1926	2002	530	208
<i>Tannenberg</i>	<i>Zschopau</i>	<i>90,6</i>	<i>85</i>	<i>1969</i>	<i>2001</i>	<i>938</i>	<i>6461</i>	<i>1969</i>	<i>2002</i>	<i>85</i>	<i>158</i>
Hopfgarten	Zschopau	528,8	420	1911	2001	741	482	1911	2002	251	218
Lichtenwalde	Zschopau	1574,6	1250	1910	2001	4337	711	1910	2002	479	263
Kriebstein UP	Zschopau	1756,8	1250	1933	2001	425768	1910	1933	2002	663	285
Annaberg 1	Sehma	48,6	39	1968	2001	2848907	8854	1968	2002	184	175

Tabelle 39 (Fortsetzung): Hochwasserscheitelabflüsse mit Wiederkehrintervall und Jährlichkeit des August-Hochwassers 2002, berechnet aus den HQ der Sommer- und Winterhalbjahre für ausgewählte Pegel (modifizierte und verlängerte Reihen: kursiv)

Pegel	Gewässer	AE [km ²]	HW [m ³ /s]	Reihe		HW-Statistik aus Jahres- HQ-Werten	HW-Statistik aus HQ- Werten des Sommer- und Winterhalbjah- res	Reihe		HW-Statistik aus Jahres- HQ-Werten	HW-Statistik aus HQ- Werten des Sommer- und Winterhalbjahres
				von	bis	T	T	von	bis	T	T
						HW 2002	HW 2002			HW 2002	HW 2002
Wiesa	Pöhlbach	86,3	65	1961	2001	1354	716	1961	2002	404	456
Streckewalde	Preßnitz	205,9	145	1921	2001	2718	698	1921	2002	360	224
Jöhstadt 1	Jöhstädter Schwarz- wasser	35,9	27,3	1968	2001	967	297	1968	2002	103	92
Pockau 1	Flöha	384,6	315	1921	2001	5221	424	1921	2002	439	191
Borstendorf	Flöha	643,8	540	1929	2001	13520	1076	1929	2002	451	280
Deutschgeorgenthal 2	Rauschenbach	9,6	19	1967	2001	>100000	36169	1967	2002	246	206
Neuwernsdorf	Wernsbach	6,8	14	1968	2001	122524	1439	1968	2002	170	154
Rauschenbach 2	Rauschenfluss	7,4	15	1966	2001	1206	960	1966	2002	154	176
Rothenthal	Natzschung	75	88	1929	2001	5826	839	1929	2002	381	236
Zöblitz	Schwarze Pockau	129,2	160	1937	2001	87033	2805	1937	2002	437	275

7 Hochwasser in der Vergangenheit

Seit Beginn der regelmäßigen Beobachtungen am Anfang des 20. Jahrhunderts traten folgende teileinzugsgebietsübergreifende und in ihren Scheitelwasserständen und -abflüssen herausragende Hochwasser auf:

- Juli 1926
- Januar 1932
- Juli 1954
- Juli 1958
- Dezember 1974
- August 2002.

Auf der Grundlage historischer Informationen dokumentierte FICKERT (1934) die nachfolgend aufgeführten extremen Hochwasser vor Beginn der regelmäßigen Beobachtungen:

- Juli 1897
- August 1858
- Juni/Juli 1771 und
- August 1573.

Tabelle 40 listet die beobachteten Hochwasserstände an ausgewählten Pegeln auf:

Eine Vielzahl weiterer Hochwasser nennt POHL (2003), obwohl auch diese Zusammenstellung keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben kann. Viele eng begrenzt aufgetretene Hochwasser finden oftmals nur in Ortschroniken Erwähnung.

Tabelle 40: Hochwasserstände an ausgewählten Pegeln

Pegel	HW [cm]										
	1433	1573	1771	1858	1897	1932	1954	1958	1974	1995	2002
Grimma/ Mulde	?	636	598	481	490	455	508	414	464	380	752
Golzern/ Mulde	?	?	?	?	657	603	700	564	628	512	905
Niederschlema/ Zwickauer Mulde	?	?	?	?	(420)	419	510	307	433	339	506
Zwickau-Pöbitz/ Zwickauer Mulde	?	?	?	?	(415)	(417)	466*	332*	419*	399	476
Wechselburg/ Zwickauer Mulde	?	?	?	?	(335)	413	531	302	430	394	597
Rochlitz/ Zwickauer Mulde	?	?	587	523	412	464	528	360	470	453	605
Aue 1/ Schwarzwasser	?	?	?	?	(360)	364	382	264	353	318	452
Göritzhein/ Chemnitz	?	?	?	?	?	225	304	181	228	220	314
Nossen 1/ Freiberger Mulde	?	?	?	?	(388)	(259)	321	390	248	211	467
Fischendorf/ Freiberger Mulde	?	?	?	?	312	270	280	290	?	?	?
Erlin/ Freiberger Mulde	?	?	?	?	?	?	?	?	502	435	674?
Böhrigen/ Striegis	?	?	?	?	334	?	278	240	220	?	357
Niederstriegis 1/ Striegis	?	?	?	?	?	189	241	254	168	184	485
Hopfgarten/ Zschopau	?	?	?	?	(233)	226	218	217	210	178	306
Flöha/ Zschopau	?	?	?	?	417	(365)	300	310	315	?	548
Lichtenwalde/ Zschopau	?	?	492	?	458	438	384	391	420	296	636
Kriebstein UP/ Zschopau	?	?	?	?	?	?	334	325	364	266	620
Pockau 2/ Flöha	?	?	?	?	380	335	288	300	?	?	≈ 500
Borstendorf/ Flöha	?	?	?	?	?	256	208	250	259	158	380
Hetzdorf/ Flöha	?	?	?	?	439	310	282	318	280	?	464

*: Pegelnullpunktänderung

Kennzeichnend für die Entstehung extremer Hochwasser im Muldegebiet sind sich generell unterscheidende und zeitlich variable Niederschlagsverteilungen, die die Abb. 128 – 130 beispielhaft für die Hochwasser im Juli 1771, Juli 1897 und Juli 1954 zeigen.

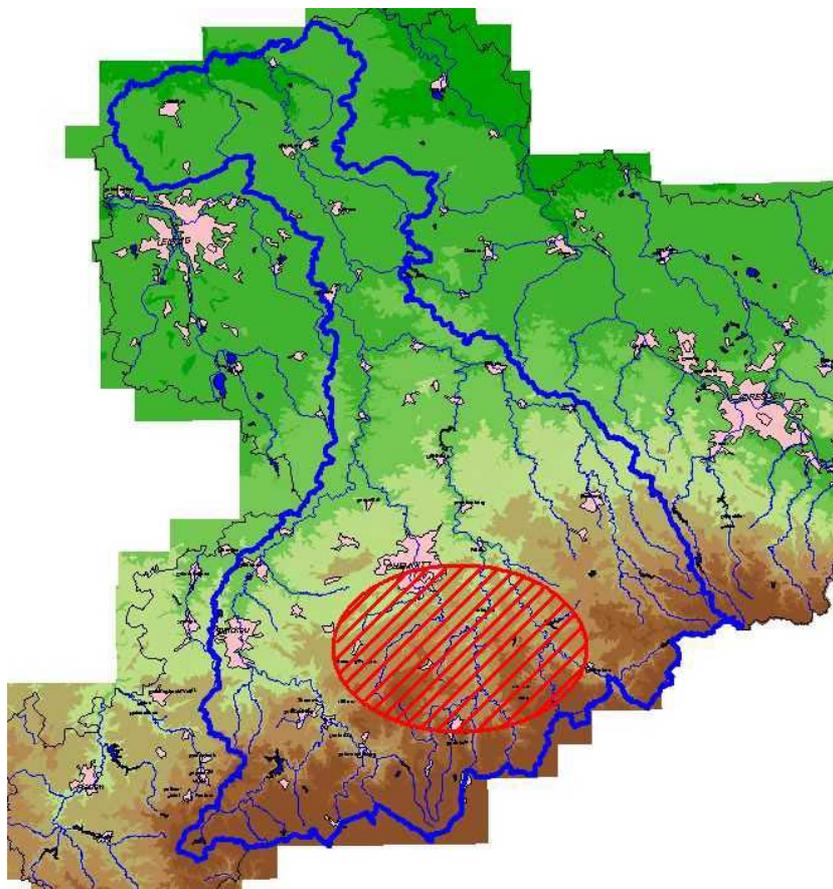


Abbildung 128: Aus historischen Aufzeichnungen abgeleitetes Zentrum des Niederschlages im Juli 1771

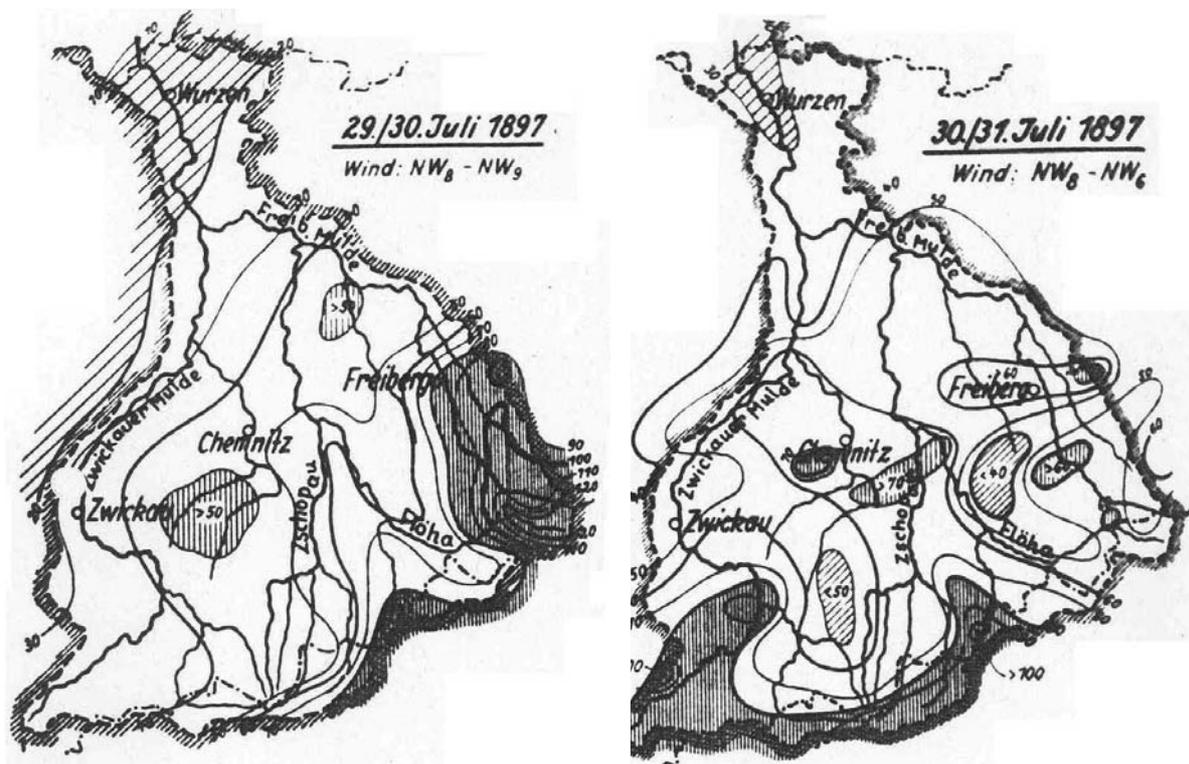


Abbildung 129: Niederschlagsverteilung vom 29.07. bis 31.07.1897 (aus FICKERT 1934)

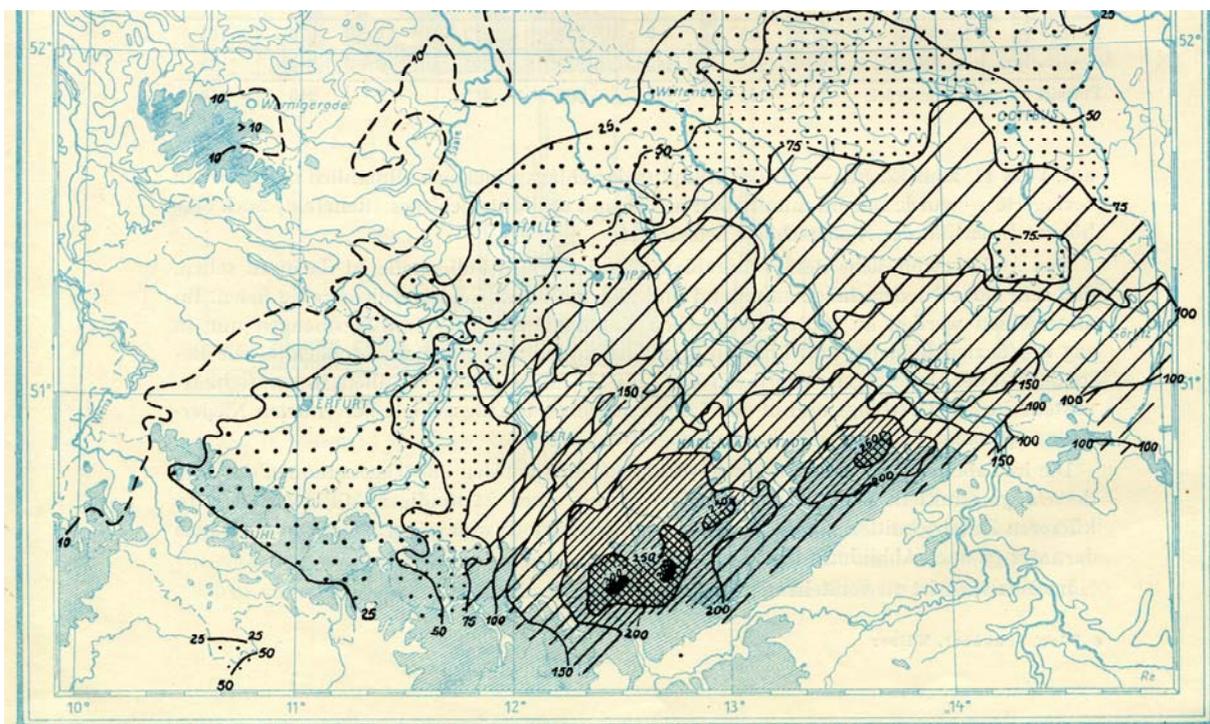


Abbildung 130: Niederschlagssummen vom 07.07. bis 11.07.1954 (aus BÖER, SCHUBERT & WILSER 1959)

Insbesondere die bei Troglagen auftretenden Vb-Tiefs mit der Zufuhr feuchtwarmer Mittelmeerluft, ihrem Aufgleiten auf Kaltluft und zusätzlichen orografisch bedingten Hebungsprozessen am Erzgebirge bilden die Ursache großer Sommer-Hochwasser im Muldegebiet. Abbildung 131 zeigt die Zugbahn des wetterbestimmenden Tiefs im Juli 1954, die starke Ähnlichkeiten mit der Bewegungsrichtung des Tiefs ILSE im August 2002 aufweist (vgl. Abb. 13).

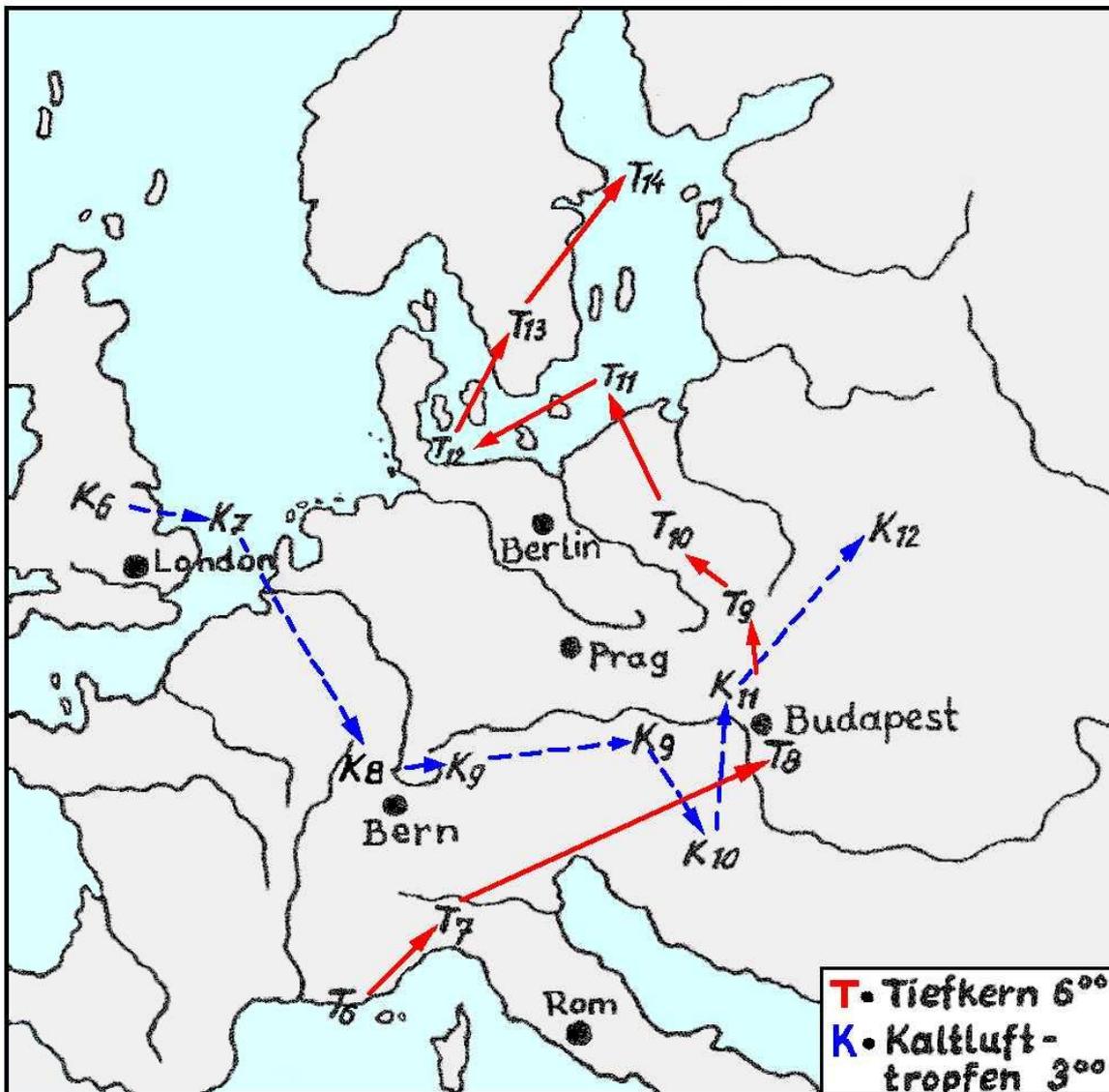


Abbildung 131: Zugbahnen des wetterbestimmenden Tiefs und des Kaltlufttropfens (hoch reichende Kaltluft) vom 06.07. bis 14.07.1954 (aus BÖER, SCHUBERT & WILSER 1959)

Beispielhaft wird in den Abb. 132 und 133 das Wellenüberlagerungsverhalten anhand des zeitlichen Verlaufes der Scheitelfortpflanzungen bei den Hochwassern im Juli 1897 und Juli 1954 gezeigt.

Infolge der oben gezeigten Niederschlagsverteilung war beim Hochwasser im Juli 1897 ein vergleichsweise großer Zeitraum von 20 Stunden zwischen dem Eintreffen der Wellenscheitel aus Freiburger Mulde und Zwickauer Mulde an ihrem Zusammenfluss zu beobachten. Hervorzuheben ist auch bei diesem Hochwasser die mehrgipflige Welle in der Freiburger Mulde zwischen Bobritzsch- und Zschopaumündung.

Charakteristisch für das Hochwasser im Juli 1954 war die Ausbildung mehrerer Wellenscheitel in nahezu allen Fließgewässern. Ursache dafür waren Gebietsniederschläge mit einer vergleichsweise langen Dauer von über vier Tagen mit Tagessummen zwischen 20 und 120 mm, wobei die höchsten Werte am 10.07. beobachtet wurden. In Abhängigkeit der Niederschlagsverteilung und des Zusammenfließens der Hochwasserwellen traten die höchsten Wasserstände an den Pegeln unterschiedlich sowohl mit dem ersten als auch mit dem zweiten Scheitel auf. Im Hinblick auf seine räumliche Ausdehnung und der aufgetretenen Abflüsse ist dieses Hochwasser als das zweitgrößte nach dem August-Hochwasser 2002 seit Beginn der regelmäßigen Beobachtungen einzustufen.

Für den Zusammenflussbereich von Zwickauer Mulde und Freiburger Mulde zeigt Tabelle 41 charakteristische Abflussgrößen der größten Hochwasser.

Tabelle 41: Abflüsse, Abflussspenden und Abflusshöhen extremer Hochwasser (nach FICKERT 1934, ergänzt)

Einzugsgebiet/Jahr	Q [m³/s]							
	q [l/(s·km²)]							
	1573	1771	1858	1897	1932	1954	1974	2002
Vereinigte Mulde (Zusammenfluss)	2200	2000	1430	1519	1265	1700	1050	2600
	410	375	268	285	238	319	197	487
Zwickauer Mulde (Zusammenfluss)	1000	900	870	435	630	1000	600	1000
	425	425	370	185	268	425	255	425
Freiberger Mulde (Zusammenfluss)	1200	1100	560	1341	730	700	600	1660
	400	335	188	450	245	235	201	556

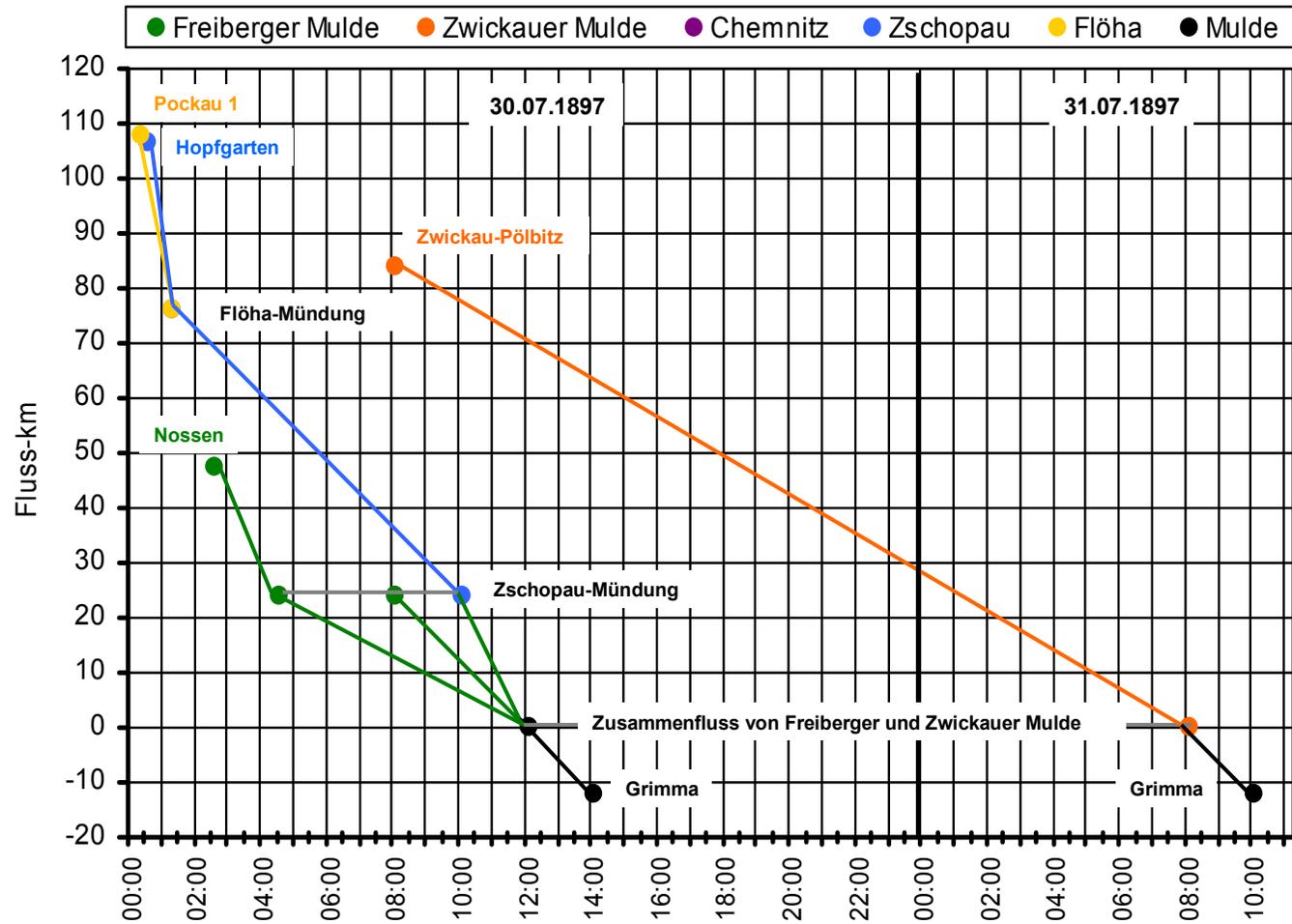


Abbildung 132: Zeitlicher Verlauf der Hochwasserscheitel in den Hauptfließgewässern des Muldegebietes am 30./31. Juli 1897

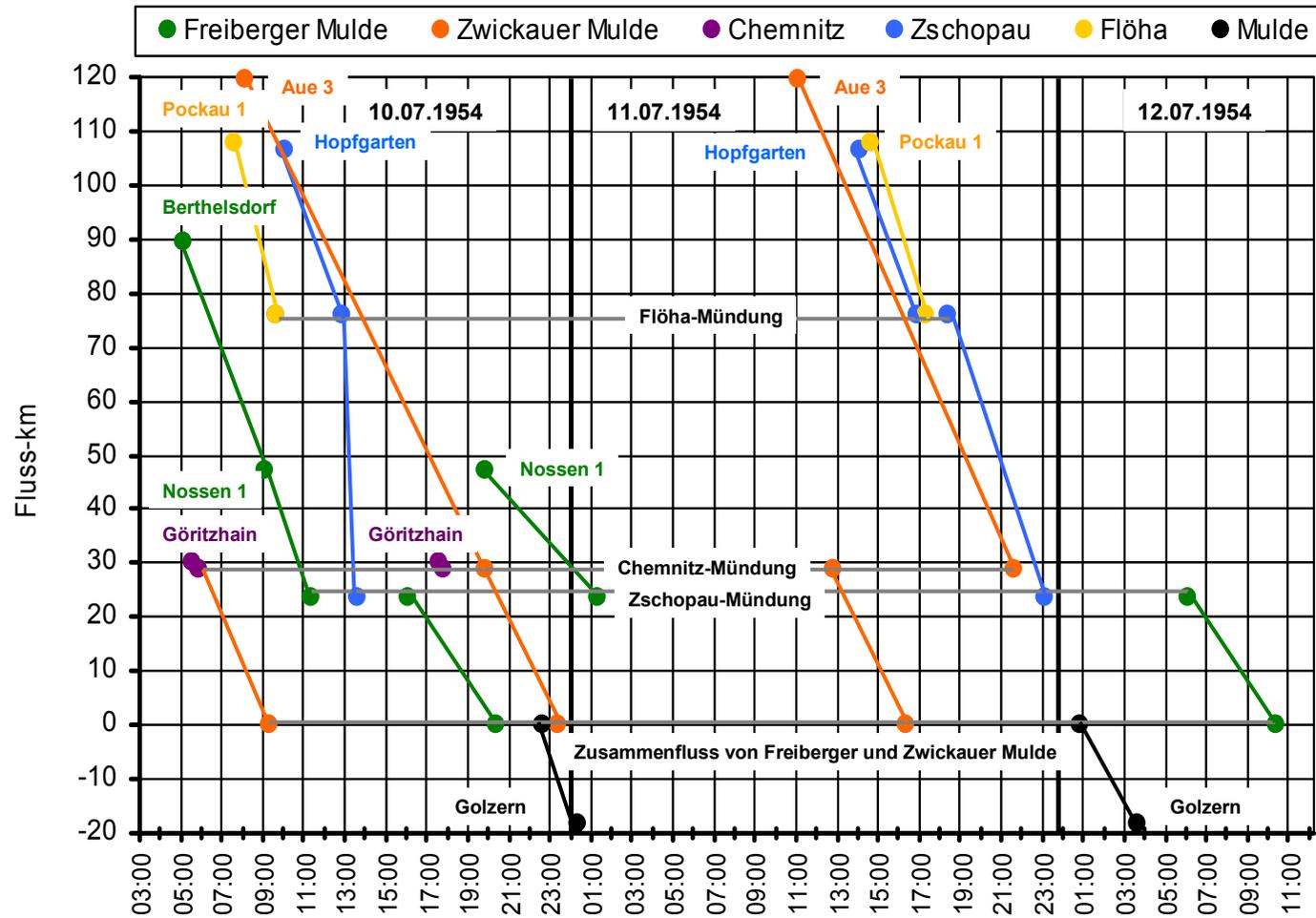


Abbildung 133: Zeitlicher Verlauf der Hochwasserscheitel in den Hauptfließgewässern des Muldegebietes vom 10. bis 12. Juli 1954

Im Zusammenhang mit den Untersuchungen von GLASER (2001) zur mitteleuropäischen Klimageschichte der letzten 1 000 Jahre wird deutlich, dass die Zeitpunkte des Eintretens großer Hochwasser im Muldegebiet teilweise mit den Minima bzw. Maxima der Jahresmittel des Niederschlags oder der Lufttemperatur korrespondieren. Sie treten dabei in Zeiten sowohl der Über- als auch der Unterschreitung der Temperatur- und Niederschlagsmittelwerte auf (Abb. 134 und 135).

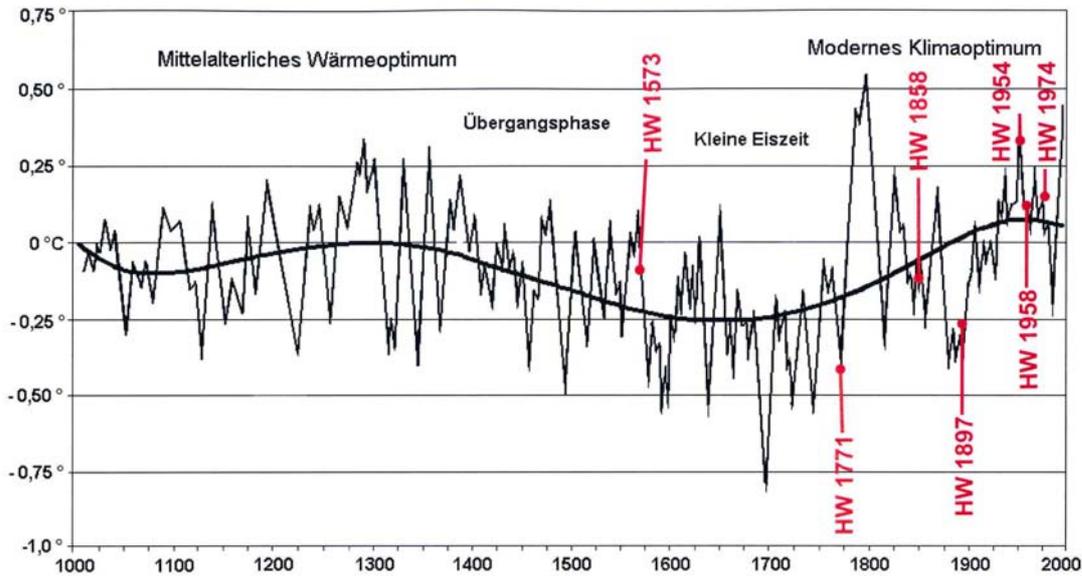


Abbildung 134: Mittelfristiger (31-jährige Filterung der jährlichen Angaben) und langfristiger Verlauf der Temperaturabweichung vom Mittelwert seit dem Jahr 1000 in Mitteleuropa (ergänzt, aus GLASER 2001)

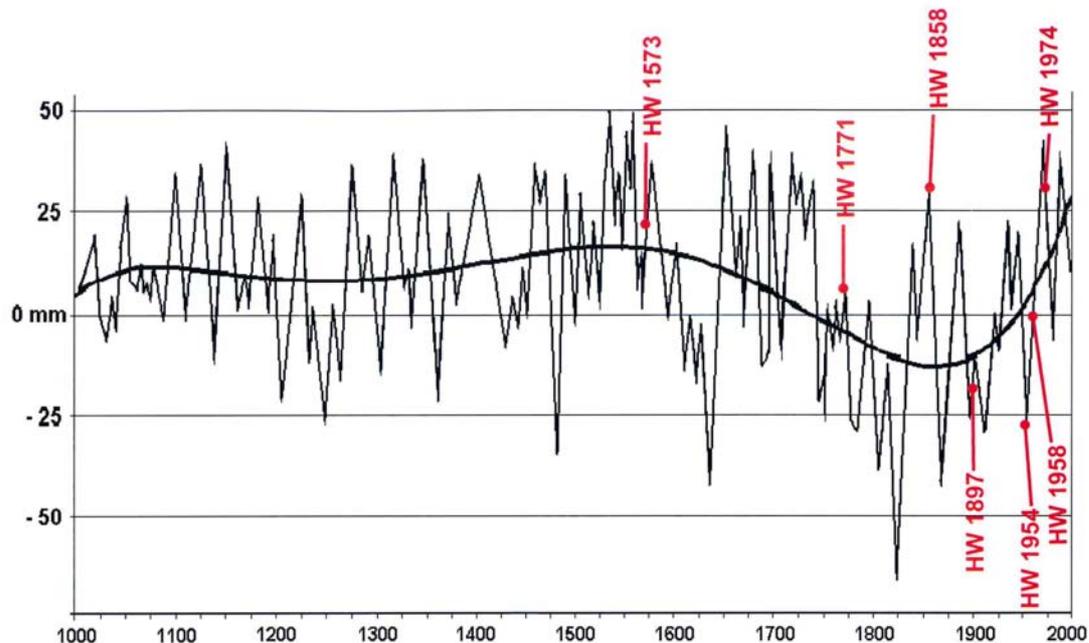


Abbildung 135: Mittelfristiger (31-jährige Filterung der jährlichen Angaben) und langfristiger Verlauf der Abweichung der jährlichen Niederschlagssumme von der mittleren jährlichen Niederschlagssumme seit dem Jahr 1000 in Mitteleuropa (ergänzt, aus GLASER 2001)

Bei den in den vorstehenden Abbildungen verzeichneten Hochwassern handelt es sich ausschließlich um Sommer-Hochwasser, die aufgrund der von ihnen verursachten Schäden in besonderem Maße Erwähnung gefunden haben. Auch ihre Ursachen müssen in extremen meteorologischen Bedingungen zu suchen sein, die sich in großskaligen Zirkulationsmustern widerspiegeln müssen. PHILIPP & JACOBET (2003) erwähnen den Zusammenhang zwischen der Luftdruckanomalie im August 2002 mit dem wichtigsten sommerlichen Niederschlagsverteilungsmuster im Mittelmeerraum. Mit ihrem Verweis auf die Rekonstruktion monatlicher Luftdruckfelder seit 1659 wird gezeigt, dass vergleichbare Luftdruckverteilungen im historischen Zeitraum keine Seltenheit darstellen und im Rahmen der natürlichen Variabilität liegen.

8 Unsicherheiten und offene Fragen

Durch hydraulische Besonderheiten sowie die bau- und gerätetechnischen Randbedingungen der Messstellen sind die analogen und digitalen Aufzeichnungen bei extremen Hochwassern wie dem August-Hochwasser 2002 oft gestört. Nicht in jedem Fall lassen sich die Ganglinienverläufe der Wasserstände auch unter Beachtung von Beobachtungen und Hinweisen aus der Umgebung der Pegel eindeutig rekonstruieren.

Eine weitere Problematik von extremen Hochwassern liegt in der Genauigkeit der Erfassung des Abflusses. Die Wasserstands-Durchfluss-Beziehungen der Pegel sind in der Regel im aufgetretenen Hochwasserbereich nicht mit Durchflussmessungen abgesichert. Auch die mathematische Extrapolation über den mit Durchflussmessungen belegten Bereich hinaus ist im Allgemeinen aufgrund der Profilverhältnisse im relevanten Gewässerabschnitt mit großen Unsicherheiten behaftet. Aber auch die hydraulische Berechnung als alternative Methode zur Bestimmung des Durchflussscheitels stößt an Grenzen. Schwierig gestaltet sich hierbei die Bestimmung des Wasserspiegellagengefälles, wofür die unmittelbar nach dem Hochwasser aufgenommenen Geschwemmsellinien nur bedingt geeignet sind. Der während des Hochwassers veränderliche, konkret nicht quantifizierbare Geschiebetransport und zeitvariable, nach dem Hochwasser kaum noch erkennbare Treibgutversetzungen nehmen Einfluss auf die Rauigkeitsbeiwerte in den bekannten Fließformeln, die zwangsläufig nur einer groben Schätzung unterliegen. Insofern bestehen große Unsicherheiten, die zwar durch Vergleich der Wellenvolumen benachbarter Pegel und Betrachtungen der Niederschlags-Abfluss-Verhältnisse in den einzelnen Teilgebieten eingegrenzt, aber nicht behoben werden können.

Die vorn dargestellten Durchflussganglinien des August-Hochwassers zeigen summarisch die Wirkung der aufgetretenen Abflusskonzentrationsprozesse in den Einzugsgebieten der Pegel. Eine erste Grobaufteilung in Basisabfluss und direkten Abfluss wurde für die Bestimmung der Abflussbeiwerte vorgenommen. Die nähere Analyse hinsichtlich des zeitlichen Verlaufs und der Größe der einzelnen Abflusskomponenten - Landoberflächenabfluss bzw. oberirdischer Abfluss, hypodermischer Abfluss bzw. lateraler bodeninnerer Abfluss oder Zwischenabfluss und Grundwasserabfluss bzw. Basisabfluss - mittels Ganglinienseparation steht noch aus.

Der näheren Untersuchung bedarf auch der Prozess der Abflussbildung, insbesondere die Größe und Intensität der Infiltration und der Durchsickerung (Grundwasserneubildung) in den verschiedenartigen Teileinzugsgebieten der Mulde. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage nach dem Sättigungsgrad der Böden zum Beginn des hochwasserauslösenden Niederschlags und des Wellenanstiegs. Es ist nicht auszuschließen, dass aufgrund der Niederschläge in der ersten August-Dekade und in Abhängigkeit der Bodenart, Sättigungsflächen insbesondere auf den geringmächtigen Böden der Gebirgslagen bereits vor dem Hochwasser vorhanden waren. Über deren Verbreitung kann an Hand des vorliegenden Beobachtungsmaterials ohne weitergehende Untersuchungen nur spekuliert werden.

In der Öffentlichkeit wird oft verallgemeinernd eine rezente Verschärfung von Hochwassern durch Landnutzungsänderungen diskutiert. Die für hydrologische Prozesse charakteristischen raum-zeitlichen Skaleneffekte bleiben dabei in der Regel unberücksichtigt. Um in Bezug auf das mesoskalige Einzugsgebiet der Mulden einen Nachweis zu erbringen, ist eine weitergehende Gegenüberstellung der für das August-Hochwasser 2002 dargestellten Niederschlags-Abfluss-Verhältnisse mit denen früher aufgetretener Hochwasser notwendig. Insbesondere steht hierbei der Vergleich mit dem ebenfalls als extrem einzustufenden Hochwasser im Juli 1954 im Fokus. Allerdings könnte für dieses Hochwasser die Verfügbarkeit von Niederschlagsdaten die Vergleichsmöglichkeit einschränken.

Die Ausdehnung der Hochwasserretentionswirkung der Talsperren und Speicher in den unterhalb der Anlagen gelegenen Gewässerabschnitten ist für das Muldegebiet bisher nur ansatzweise betrachtet worden. Insbesondere durch ungesteuerte Becken ergeben sich differenziert zu betrachtende räumliche Interaktionswirkungen zwischen den Teilgebieten. Diese sind durch die raum-zeitliche Variabilität der hochwasserverursachenden Niederschläge und den nichtlinearen Charakter der Wellenablaufprozesse in Abhängigkeit von der Lage der Sperrstelle stark ereignisabhängig. Dabei sind die Bewirtschaftungsstrategien zu beachten, die neben der Sperrstellencharakteristik Einfluss auf die Speicherretention nehmen.

9 Zusammenfassung

Das August-Hochwasser 2002 ist hinsichtlich seiner räumlichen Ausdehnung sowie der beobachteten Hochwasserstände und -scheitelabflüsse als das größte Hochwasser seit Beginn der regelmäßigen Beobachtungen im Muldegebiet im Jahr 1903 einzustufen.

Die Ursachen dafür liegen in einer für Mitteleuropa besonderen Wettersituation, die durch weit nach Süden reichende Kaltluft in der Höhe und einem Bodentief gekennzeichnet war, das sich in seiner Entwicklung vom Golf von Genua zum Baltikum bewegte. Dabei gelangte sehr feuchte und warme Mittelmeerluft nach Norden. Durch Aufgleiten dieser feuchtwarmen Luftmasse auf die Kaltluft und durch orografisch verstärkte Hebung entstand über dem Erzgebirge und seinem Vorland ein ausgedehntes Niederschlagsfeld mit Intensitäten, die insbesondere im Osterzgebirge dem physikalisch maximal möglichen Niederschlag in Mitteleuropa sehr nahe kamen.

Die zu einem großen Teil wenig speicherfähigen und deshalb rasch gesättigten Böden des Erzgebirges waren nicht in der Lage, die Wassermengen aufzunehmen oder den Abfluss maßgeblich zu verzögern. Entsprechend flossen in weiten Teilen zwischen 40 % und 75 % des gefallenen Niederschlags innerhalb kürzester Zeit ab. Daraus resultierten in fast allen Flüssen Wasserstände und Durchflüsse, die weit über den bis dahin bekannten Werten lagen.

Das Ereignis ist neben den sehr hohen Scheitelabflüssen, vor allem durch seine extremen Abflussfüllen und die entsprechend lange Dauer extremer Abflusshöhen gekennzeichnet. Auch in den Unterläufen der Gewässer war das Ereignis durch einen außerordentlich schnellen Anstieg charakterisiert, der durch den Niederschlag unmittelbar im Zwischeneinzugsgebiet ausgelöst worden ist. Infolge dessen war die räumliche Wirkung der im Muldegebiet liegenden Talsperren in den sich anschließenden Flussabschnitten trotz größtenteils beträchtlicher Reduzierungen der Zuflussscheitel stark begrenzt.

Hochwasserstatistisch kann das Ereignis in Abhängigkeit der aufgetretenen Niederschlagsverteilungen und der Längen der Beobachtungsreihen mit Wiederkehrintervallen zwischen 50 und 500 Jahren als sehr selten eingestuft werden. An Hand historischer Aufzeichnungen lässt sich jedoch nachweisen, dass wenigstens in den letzten 500 Jahren in unterschiedlichen Abständen extreme Wasserstände im Muldegebiet beobachtet wurden.

Literatur

- BARTELS, H.; MALITZ, G.; ASMUS, S.; ALBRECHT, F. M.; DIETZER, B.; GÜNTHER, T.; ERTEL, H. (1997): Starkniederschlagshöhen in Deutschland – KOSTRA. Deutscher Wetterdienst, Offenbach.
- BERNHARDT, A.; HAASE, G.; MANNSFELD, K.; RICHTER, H., SCHMIDT, R. (1986): Naturräume der sächsischen Bezirke. - Sächsische Heimatblätter (32) H. 4 und 5.
- BÖER, W.; SCHUBERT, H.; WILSER, O. (1959): Das Sommerhochwasser der Elbe im Juli 1954. - Besondere Mitteilungen zum Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch Nr. 19, Herausgegeben vom Meteorologischen und Hydrologischen Dienst der DDR, Akademie-Verlag, Berlin.
- BÜTTNER, U.; FÜGNER, D.; WINKLER, U. (2001): Das Hochwasser am 05./06. Juli 1999 im Raum Marienberg im Erzgebirge. - Hydrologie und Wasserbewirtschaftung (45), H. 3.
- DVWK (1999): Statistische Analyse von Hochwasserabflüssen. - DVWK-Merkblatt Nr. 251. Bonn.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (2002): AKORD – Anwenderkoordinierte Organisation von Radardaten, Produktkatalog. – Deutscher Wetterdienst, Geschäftsfeld Hydrometeorologie.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (2003): Starkniederschläge in Sachsen im August 2002. Zusammengestellt im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (unveröffentlicht).
- FICKERT, R. (1932): Das Hochwasser im Sächsischen Schwarzwassergebiet am 6. Juni 1931. - Deutsche Wasserwirtschaft, H. 2/3.
- FICKERT, R. (1934): Die größten Sommerhochwässer des sächsischen Muldegebietes in den letzten Jahrzehnten. - Beilage zum Jahrbuch des Sächsischen Amtes für Gewässerkunde, Abflußjahr 1934.
- GLASER, R. (2001): Klimageschichte Mitteleuropas – 1000 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen. – Wissenschaftliche Buchgesellschaft. Darmstadt.
- HABERLANDT, U.; SCHUMANN, A.; BÜTTNER, U. (2005): Räumliche Niederschlagsschätzung aus Punktmessungen und Radar am Beispiel des Elbehochwassers 2002. - Hydrologie und Wasserbewirtschaftung (49), H. 2.
- IKSE (2004): Dokumentation des Hochwassers vom August 2002 im Einzugsgebiet der Elbe. Magdeburg.
- METEOROLOGISCHER DIENST (1973): Klima und Witterung im Erzgebirge. - Abhandlungen des Meteorologischen Dienstes der DDR, Nr. 104., Akademie-Verlag, Berlin.
- METEOROLOGISCHER UND HYDROLOGISCHER DIENST (1953): Klimaatlas für das Gebiet der DDR. Herausgegeben vom Meteorologischen und Hydrologischen Dienst der DDR. – Akademie-Verlag, Berlin.
- ÖKOPROJEKT (2003): Ermittlung der Hochwasserscheitelabflüsse im Muldegebiet - Gutachten im Auftrag des Staatlichen Umweltfachamtes Chemnitz (unveröffentlicht).
- PHILIPP, A.; JACOBEIT, J. (2003): Das Hochwasserereignis in Mitteleuropa im August 2002 aus klimatologischer Sicht. – Petermanns Geographische Mitteilungen (147), H. 6.
- POHL, R. (2003): Hochwasser im Erzgebirge in der Vergangenheit von der Gottleuba bis zur Mulde. – TU Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik und Gesellschaft für Wissens- und Technologietransfer der TU Dresden mbH (unveröffentlicht)
- RUDOLF, B.; RAPP, J. (2003): Das Jahrhunderthochwasser der Elbe. – In: Klimastatusbericht 2002, Deutscher Wetterdienst, Offenbach.
- SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (2003): Einfluss des August-Hochwassers 2002 auf das Grundwasser. – Materialien zur Wasserwirtschaft, Dresden
- SCHIRPKE, H.; RICHTER, I.; RIEß, B. (1978): Analyse der Hochwassersituation im Oktober 1974, Dezember 1974 und Januar 1975 in den Flußgebieten der Oberen Elbe, der Schwarzen Elster und der Mulden. - Mitteilungen des Instituts für Wasserwirtschaft, Heft 41, Herausgegeben vom Institut für Wasserwirtschaft, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin.

- SCHUMANN, A. (2003): Hochwasserstatistische Einordnung des Hochwasserereignisses vom August 2002 und die Ermittlung von HQ(T) für die Pegel in den Flusseinzugsgebieten der Zwickauer, Freiburger und Vereinigten Mulde sowie der Weißen Elster für die Planung von Maßnahmen des präventiven Hochwasserschutzes – Ergebnisbericht. - Im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie, Bochum (unveröffentlicht).
- SCHUMANN, A.; HABERLANDT, U. (2004): Deterministische Analyse des Auguthochwassers 2002 für die Elbenebenflüsse – Ergebnisbericht. - Im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie, Bochum (unveröffentlicht).
- SCHUMANN, A. (2005): Hochwasserstatistische Bewertung des Auguthochwassers 2002 im Einzugsgebiet der Mulde unter Anwendung der saisonalen Statistik. - Hydrologie und Wasserbewirtschaftung (49), H. 4.
- TU DRESDEN (2003): Berechnung der Scheitelabflüsse und der Abflusskurven des Hochwassers vom August 2002 für die Pegel Golzern (Mulde), Großsermuth (Zwickauer Mulde) und Kriebstein (Zschopau). Forschungsbericht 2003/9 im Auftrag der Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen, Talsperrenmeisterei Untere Pleiße (unveröffentlicht).
- VAN BEBBER, W. J. (1891): Zugstraßen der barometrischen Minima. - Meteorologische Zeitschrift 8, Nr. 361.

Anhang: Aufzeichnungen und Schäden an den Pegeln

Pegel/Gewässer	Aufzeichnungsausfälle/-probleme (Uhrzeiten in MESZ)	Bemerkungen/ hochwasserbedingte Schäden
Golzern 1/ Vereinigte Mulde	<p>Analoge Aufzeichnung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Störung am 13.08., von 11.00 Uhr bis 24.00 Uhr ab W = 820 cm durch Schwimmeranschlag an der Unterkante der Schachtabdeckung - Im Ergebnis halbstündlicher Ableisungen bis zum HW (13.08., 20.00 Uhr) = 868 cm an einem kurzfristig eingerichteten Hilfspegel erfolgte die Rekonstruktion der Ganglinie. <p>Digitale Aufzeichnung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ausfall vom 13.08., 01.00 Uhr (509 cm) bis 23.08., 10.45 Uhr (278 cm) 	<ul style="list-style-type: none"> - Das Pegelhaus wurde 1,4 m hoch überschwemmt. Infolge dessen wurde die Elektroinstallation durch Kurzschluss zerstört. - Am linksseitigen Ufer entstanden von 150 m oberhalb bis 700 m unterhalb des Pegels bis zu 15 m breite Abbrüche. - Oberhalb der Pegeltreppe bildete sich ein Kolk, der zur Zerstörung der mit Betongitterplatten befestigten Böschung führte. - Ca. 0,2 km unterhalb des Pegels sedimentierte im Gewässerbett Geschiebe mit einer Mächtigkeit von ca. 0,5 m.
Bad Düben 1/ Vereinigte Mulde	<p>Analoge Aufzeichnung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Im Ergebnis von Lattenpegelableisungen erfolgte eine Korrektur des Scheitelwasserstandes von 867 cm auf 852 cm. <p>Digitale Aufzeichnung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ausfall vom 13.08., 20.30 Uhr (777cm) bis 15.08., 11.45 Uhr (718cm) 	<ul style="list-style-type: none"> - Abfluss im linksseitigen Deichhinterland erfolgte vom 14.08., ca. 01.00 Uhr bis zum 16.08. (Pegelumflut). - Ursache dafür bildeten Deichüberströmungen ab 13.08., ca. 22.00 Uhr und zwei Deichbrüche zwischen Niederglauchau und Bad Düben, wobei der größere von beiden am 14.08. um 02.30 Uhr mit einer Länge von 90 m entstand.
Schönheide 3/ Zwickauer Mulde	<p>Analoge Aufzeichnung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Im Ergebnis einer Lattenpegelableisung am 14.08., 05.30 Uhr erfolgte eine Korrektur des Scheitelwasserstandes (13.8., 00.45 Uhr) von 303 cm auf 317 cm. 	<ul style="list-style-type: none"> - keine
Neidhardtsthal/ Zwickauer Mulde	<ul style="list-style-type: none"> - keine 	<ul style="list-style-type: none"> - keine

Pegel/Gewässer	Aufzeichnungsausfälle/-probleme (Uhrzeiten in MESZ)	Bemerkungen/ hochwasserbedingte Schäden
Aue 3/ Zwickauer Mulde	Analoge Aufzeichnung: - Die aufgezeichnete Wasserstandsganglinie weist einen nicht eindeutig erklärbaren Anstieg und einen zu hohen Scheitel auf, der sich durch Lattenpegelbeobachtungen und nachträgliche Einmessung der Geschwemmsellinie nicht bestätigen lässt. Digitale Aufzeichnung: - Ausfall vom 12.08., 14.00 Uhr bis 14.08., 21.00 Uhr	- Der Wasserstandsverlauf wurde durch den teilweisen Einsturz von Schalung und Bewehrung der im Wiederaufbau befindlichen, 30 m unterhalb des Pegels gelegenen Straßenbrücke massiv beeinträchtigt. - Im bebauten Ausuferungsbereich traten nicht quantifizierbare Abflüsse auf. - Aufgrund dieser lokalen, zeitvariablen Beeinflussungen sind die Beobachtungen zur statistischen und deterministischen Analyse des Hochwassers nicht nutzbar.
Niederschlema/ Zwickauer Mulde	Analoge Aufzeichnung: - Störung ab 12.08., 13.00 Uhr durch aufsitzendes Gegengewicht auf der Pegelschachtsohle - Rekonstruktion der Ganglinie nach Aufzeichnungen an den Pegeln Aue 1 und Zwickau-Pölbitz und der Einmessung der Geschwemmsellinie	- Das Pegelhaus wurde 0,7 m hoch überschwemmt. - Die obere Lattenpegelstaffel (ab 200 cm) wurde zerstört. - Die Ufermauern wiesen Ausspülungen auf.
Zwickau-Pölbitz/ Zwickauer Mulde	Analoge Aufzeichnung: - Störung am 13.08., 02.30 Uhr bis 08.00 Uhr durch aufsitzendes Gegengewicht auf der Pegelschachtsohle Digitale Aufzeichnung: - Ausfall vom 12.08., 21.45 Uhr (447 cm) bis 13.08., 17.00 Uhr (404 cm)	- keine
Wolkenburg/ Zwickauer Mulde	- Ausfall der Ultraschalllaufzeitdurchflussmessanlage infolge zu hoher Schwebstoffführung	- Halte- und Fahrseil der Seilkrananlage wurden durch Treibgutprall beschädigt. - Im gleichen Zusammenhang wurde das Datenkabel der Ultraschalldurchflussmessanlage zerstört.
Wechselburg 1/ Zwickauer Mulde	Analoge Aufzeichnung: - Verlust des Pegelbogens vom 07.08., 15.30 Uhr bis 15.08.	- Der Treibgutprall an die Seile der Seilkrananlage führte zur nahezu vollständigen Zerstörung des Pegelhauses einschließlich der

Pegel/Gewässer	Aufzeichnungsausfälle/-probleme (Uhrzeiten in MESZ)	Bemerkungen/ hochwasserbedingte Schäden
	<ul style="list-style-type: none"> - Rekonstruktion der Ganglinie nach Lattenpegelbeobachtungen, Aufzeichnungen an den Pegeln Wolkenburg und Görzthain sowie der Einmessung der Geschwemmsellinie - Ab 15.08. erfolgten Wasserstandsaufzeichnungen im Pegelhaus des 150 m unterhalb gelegenen ehemaligen Pegels Wechselburg. Digitale Aufzeichnung: <ul style="list-style-type: none"> - Ausfall vom 13.08., 18.15 Uhr (381 cm) bis 22.08., 11.30 Uhr (115 cm) 	Seilkrananlage. <ul style="list-style-type: none"> - Sämtliche Gerätetechnik ging verlustig.
Großsermuth/ Zwickauer Mulde	Digitale Aufzeichnung: <ul style="list-style-type: none"> - Ausfall vom 12.08., 18.30 Uhr (428 cm) bis 16.08., 15.15 Uhr (324 cm) 	<ul style="list-style-type: none"> - Abfluss im linksseitigen Deichhinterland erfolgte vom 13.08., 02.00 Uhr bis zum 15.08. (Pegelumflut). - Ursache dafür bildeten Deichüberströmung (ab 620 cm) und Deichbruch. - Durch Treibgutdruck wurde die untere senkrechte Lattenpegelstaffel zerstört.
Sachsengrund/ Große Pyra	- keine	- keine
Johanngeorgenstadt 3/ Schwarzwasser	- nur Lattenpegelablesungen	- keine

Pegel/Gewässer	Aufzeichnungsausfälle/-probleme (Uhrzeiten in MESZ)	Bemerkungen/ hochwasserbedingte Schäden
Aue 1/ Schwarzwasser	Analoge Aufzeichnung: - Störung am 12.08., von 13.30 Uhr bis 17.30 Uhr und von 20.00 Uhr bis 23.00 Uhr ab W = 400 cm durch Schwimmeranschlag an der Unterkante der Schachtabdeckung - Im Ergebnis der Einmessung der Geschwemmsellinie erfolgte eine Korrektur des Scheitelwasserstandes von 430 cm auf 452 cm. - Nach Uhrwerksdefekt wurde die Rekonstruktion der Ganglinie vom 16.08., 20.00 Uhr bis 19.08., 16.15 Uhr durch Interpolation notwendig.	- Das Pegelhaus wurde 0,5 m hoch überschwemmt. - Treibgutprall verursachte Betonabplatzungen am Messsteg. - Durch Austritt aus dem Schwarzwasser ca. 400 m oberhalb des Pegels erfolgten Abflüsse durch das Stadtgebiet, die oberhalb der Schwarzwassermündung in die Zwickauer Mulde gelangten.
Markersbach 1/ Große Mittweida	Analoge Aufzeichnung: - Störung am 12.08., 21.00 Uhr bis 13.08., 02.00 Uhr ab W = 130 cm durch Anschlag der Schreibfeder am Schreibtrommelrand - Im Ergebnis der Einmessung der Geschwemmsellinie erfolgte die Festlegung des HW mit 148 cm.	- keine
Markersbach 2/ Große Mittweida	- keine	- keine
Wolfersgrün/ Hirschfelder Wasser	Analoge Aufzeichnung: - Im Ergebnis des Abflusspenden-Vergleiches mit dem Pegel Neukirchen 1/Pleißer erfolgte eine Korrektur des Scheitelwasserstandes von 73 cm auf 84 cm.	- keine
Niedermülsen 1/ Mülsenbach	- keine	- An der unterhalb gelegenen rechtsseitigen Böschung entstanden Ausspülungen.

Pegel/Gewässer	Aufzeichnungsausfälle/-probleme (Uhrzeiten in MESZ)	Bemerkungen/ hochwasserbedingte Schäden
Niederlungwitz/ Lungwitzbach	Analoge Aufzeichnung: - Im Ergebnis der Einmessung der Geschwemmsellinie erfolgte eine Korrektur des Scheitelwasserstandes von 375 cm auf 395 cm.	- Das Pegeltreppengeländer wurde durch Treibgutprall zerstört. - Im Pegelprofil erfolgten Anlandungen. - Am 12.08., 09.00 Uhr wurde bei W = 368 cm der Durchfluss gemessen.
Chemnitz 1/ Chemnitz	- keine	- keine
Göritzshain/ Chemnitz	Analoge Aufzeichnung: - Störung vom 12.08., 22.30 Uhr bis 13.08., 16.00 Uhr durch aufsitzen des Gegengewicht auf der Pegelschachtsohle - Rekonstruktion der Ganglinie nach Aufzeichnungen am Pegel Chemnitz 1 und Einmessung der Geschwemmsellinie sowie Beachtung der Scheiteleintrittszeit an den Pegeln Chemnitz 1 und Wechselburg 1 Digitale Aufzeichnung: - Störungen durch Übertragungsfehler zwischen dem 08.08. und dem 14.08. - Ausfall vom 12.08., 21.30 Uhr (258 cm) bis 13.08., 16.00 Uhr (319 cm)	- An den Fundamenten des Bedienpodestes der Seilkrananlage entstanden im Uferbereich Ausspülungen.
Burkhardtsdorf 2/ Zwönitz	Analoge Aufzeichnung: - Störung am 13.08., von 01.00 Uhr bis 06.00 Uhr durch Schwimmeranschlag an der Unterkante der Schachtabdeckung - Im Ergebnis der Einmessung der Geschwemmsellinie erfolgte eine Korrektur des Scheitelwasserstandes von 311 cm auf 331 cm. Digitale Aufzeichnung: - Störung am 13.08., von 02.15 Uhr bis 04.00 Uhr durch Schwimmeranschlag des Winkelcodierers an der Unterkante der Schachtabdeckung	- Das Pegelhaus wurde 0,05 m hoch überschwemmt.

Pegel/Gewässer	Aufzeichnungsausfälle/-probleme (Uhrzeiten in MESZ)	Bemerkungen/ hochwasserbedingte Schäden
Altchemnitz 1/ Zwönitz	Analoge Aufzeichnung: - Störung am 13.08., von 03.00 Uhr bis 09.30 Uhr ab W = 250 cm durch Anschlag der Schreibfeder am Schreibtrommelrand - Im Ergebnis der Einmessung der Geschwemmsellinie erfolgte eine Korrektur des Scheitelwasserstandes von 250 cm auf 270 cm.	- Unterhalb des Messprofils traten starke Auskolkungen auf. - Der Uferweg war durch Ausspülungen beschädigt.
Jahnsdorf 1/ Würschnitz	Analoge Aufzeichnung: - Störung vom 12.08., 21.00 Uhr bis 13.08., 06.00 Uhr durch Schwimmeranschlag an der Unterkante der Schachtabdeckung - Im Ergebnis der Einmessung der Geschwemmsellinie erfolgte eine Korrektur des Scheitelwasserstandes von 219 cm auf 250 cm. Digitale Aufzeichnung: - Störung am 12.08., von 21.00 Uhr bis 13.08., 06.00 Uhr durch Schwimmeranschlag des Winkelcodierers an der Unterkante der Schachtabdeckung	- Das Pegeltreppengeländer wurde durch Treibgutprall zerstört. - Oberhalb der Uferbefestigung entstanden Ausspülungen.
Harthau/ Würschnitz	Analoge Aufzeichnung: - Im Ergebnis der Einmessung der Geschwemmsellinie erfolgte eine Korrektur des Scheitelwasserstandes von 338 cm auf 353 cm.	- Die mit Rasengitterplatten befestigte Sohle des Messprofils wurde zerstört. Es entstanden Auskolkungen.
Mulda/ Freiberger Mulde	- nur Lattenpegelablesungen	- keine

Pegel/Gewässer	Aufzeichnungsausfälle/-probleme (Uhrzeiten in MESZ)	Bemerkungen/ hochwasserbedingte Schäden
Berthelsdorf/ Freiberger Mulde	<p>Analoge Aufzeichnung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Störung am 13.08. von 01.30 Uhr bis 10.00 Uhr durch Schwimmeranschlag an der Unterkante der Schachtabdeckung - Im Ergebnis der Einmessung der Geschwemmsellinie erfolgte eine Korrektur des Scheitelwasserstandes von 350 cm auf 385 cm. 	<ul style="list-style-type: none"> - Das Pegelhaus wurde 0,2 m hoch überschwemmt. - Der Messsteg wurde durch das Hochwasser abtransportiert und zerstört.
Nossen 1/ Freiberger Mulde	<p>Analoge Aufzeichnung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Die aufgezeichnete Wasserstandsganglinie weist im Zeitraum vom 12.08., 17.45 Uhr und 13.08., 11.30 Uhr vier extrem schnelle und über die Umkehrpunkte des Schreibgerätes hinausgehende Wasserstandsschwankungen auf, die sich durch Lattenpegelbeobachtungen und nachträgliche Einmessung der Geschwemmsellinie nicht eindeutig bestätigen lassen. - Darüber hinaus ist am 12.08. zwischen 17.45 Uhr bis 18.10 Uhr ein Schwimmeranschlag an der Unterkante der Schachtabdeckung ableitbar. - Im Ergebnis der Einmessung der Geschwemmsellinie erfolgte die Festlegung des Scheitelwasserstandes mit 467 cm. Der Zeitpunkt des Scheiteleintritts wurde aus der Laufzeit der Hochwasserwelle unterhalb des Pegels Berthelsdorf geschätzt. <p>Digitale Aufzeichnung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ausfall vom 12.08., 18.30 Uhr (306 cm) bis 21.08., 15.45 Uhr (109 cm) 	<ul style="list-style-type: none"> - Das Pegelhaus wurde 1,0 m hoch überschwemmt. Infolge dessen wurden der Elektroanschluss durch Kurzschluss und der Telefonanschluss zerstört. - Die Seilkrananlage wurde vollständig zerstört.

Pegel/Gewässer	Aufzeichnungsausfälle/-probleme (Uhrzeiten in MESZ)	Bemerkungen/ hochwasserbedingte Schäden
Erlin/ Freiberger Mulde	Analoge Aufzeichnung: - Ausfall vom 12.08., 22.45 Uhr (500 cm) bis 22.08., 15.15 Uhr durch das Anstoßen der Schreibfeder an den unteren Trommelrand des Schreibgerätes und der Zerstörung von Elektro- und Telefonanschluss - Im Ergebnis der Einmessung der Geschwemmsellinie und von Lattenpegelablesungen bis zum Zeitpunkt der Deichüberströmung am 13.08., 02.45 Uhr (555 cm) erfolgte eine teilweise Rekonstruktion des Anstiegs und die Festlegung des Scheitelwasserstandes mit 674 cm. Digitale Aufzeichnung: - Ausfall vom 12.08., 22.30 Uhr (471 cm) bis 21.10.	- Das Pegelhaus wurde 1,2 m hoch überschwemmt. Durch Überströmung wurde der Deich oberhalb und unterhalb des Pegelhauses erodiert sowie der Elektro- und Telefonanschluss zerstört. Landseitig entstand ein Kolk. - In den Deichhinterländern erfolgte Abfluss (Pegelumflut). - Ursache dafür bildeten Deichüberströmung und Deichbruch.
Wolfsgrund/ Chemnitzbach	Analoge Aufzeichnung: - Die aufgezeichnete Wasserstandsganglinie weist infolge hydraulischer Effekte (Fließwechsel oder oberhalb eingetretene Versetzung) einen nicht eindeutig erklärbaren Wasserstandsabfall am 12.08., 23.30 Uhr auf.	- keine
Krummenhennersdorf/ Bobritzsch	Analoge Aufzeichnung: - Störung am 13.08., von 01.30 Uhr bis 03.30 Uhr durch Schwimmeranschlag an der Unterkante der Schachtabdeckung - Im Ergebnis der Einmessung der Geschwemmsellinie erfolgte eine Korrektur des Scheitelwasserstandes von 335 cm auf 375 cm.	- Das Pegelhaus wurde 0,05 m hoch überschwemmt. - Die Straßenbrücke unmittelbar unterhalb des Pegels wurde ebenso wie der Lattenpegel und die Uferbefestigungen vollständig zerstört. - Im Messprofil entstanden Sohleintiefungen unter das Pegelzulaufrohr.
Böhrigen/ Striegis	- nur Lattenpegelablesungen	- Im Messprofil entstanden Anlandungen.

Pegel/Gewässer	Aufzeichnungsausfälle/-probleme (Uhrzeiten in MESZ)	Bemerkungen/ hochwasserbedingte Schäden
Niedertriegis 1/ Striegis	Analoge Aufzeichnung: - Störung vom 12.08., 20.00 Uhr (364 cm) bis 15.08., 15.00 Uhr durch Aufsitzen Gegengewicht auf Schachtsohle und Einstau des Pegelhauses. - Im Ergebnis der Einmessung der Geschwemmsellinie und von Lattenpegelablesungen erfolgte eine Korrektur des Scheitelwasserstandes von 320 cm auf 485 cm. Digitale Aufzeichnung: - Störung und Ausfall vom 12.08., 21.00 Uhr (290 cm) bis 25.09. durch Aufsitzen Gegengewicht auf Schachtsohle und Zerstörung von Elektro- und Telefonanschluss	- Das Pegelhaus wurde 1,7 m hoch hauptsächlich durch die Abflüsse der Freiburger Mulde überschwemmt. Infolge dessen wurde der Elektro- und Telefonanschluss (Kurzschluss) zerstört.
Tannenberg/ Zschopau	- keine	- Das Pegelhaus wurde 0,1 m hoch überschwemmt. - Zur Zeit des Hochwassers erfolgte ein Sohl- ausbau zur Ertüchtigung des Messprofils und der Neubau des Messsteges.
Hopfgarten/ Zschopau	- keine	- Oberhalb der Uferbefestigung entstanden Ausspülungen.
Lichtenwalde/ Zschopau	Analoge Aufzeichnung: - Ganglinie vom 12.08., 15.00 Uhr bis 19.08., 11.45 Uhr nicht auswertbar	- Die Seilkrananlage wurde vollständig zerstört.

Pegel/Gewässer	Aufzeichnungsausfälle/-probleme (Uhrzeiten in MESZ)	Bemerkungen/ hochwasserbedingte Schäden
Kriebstein UP/ Zschopau	Analoge Aufzeichnung: - Die aufgezeichnete Wasserstandsganglinie weist einen nicht eindeutig erklärbaren Verlauf auf. - Im Ergebnis der Einmessung der Geschwemmsellinie, von Lattenpegelablesungen, den Aufzeichnungen zu den Abgaben der Talsperre Kriebstein und dem Ganglinienverlauf am Pegel Lichtenwalde erfolgte eine Korrektur des Scheitelwasserstandes von 620 cm auf 570 cm. Digitale Aufzeichnung: - Ausfall vom 12.08., 16.00 Uhr (262 cm) bis 15.08., 10.45 Uhr (242 cm)	- Linksseitig traten geringe Ufererosionen auf.
Annaberg 1/ Sehma	Analoge Aufzeichnung: - Im Ergebnis der Einmessung der Geschwemmsellinie erfolgte eine Korrektur des Scheitelwasserstandes von 194 cm auf 206 cm.	- keine
Wiesa/ Pöhlbach	Digitale Aufzeichnung: - Störung vom 14.08., 15.30 Uhr bis 16.08., 12.15 Uhr	- keine
Schmalzgrube 2/ Preßnitz	- keine	- keine
Streckewalde/ Preßnitz	- keine	- Das Messprofil wurde durch Anlandungen und Ausspülungen unter- und oberhalb beeinflusst.
Jöhstadt 1/ Jöhstädter Schwarzwasser	- keine	- keine
Rauschenbach 1/ Flöha	- keine	- Das Abflussgerinne wurde im Bereich des Pegels durch Geschiebe aus dem Rauschenfluss vollständig verfüllt.

Pegel/Gewässer	Aufzeichnungsausfälle/-probleme (Uhrzeiten in MESZ)	Bemerkungen/ hochwasserbedingte Schäden
Pockau 1/ Flöha	Analoge Aufzeichnung: - Störung vom 12.08., 14.30 Uhr (327 cm) bis 16.30 Uhr durch Schwimmeranschlag an der Unterkante der Schachtabdeckung - Im Ergebnis der Einmessung der Geschwemmsellinie und von Lattenpegelablesungen erfolgte eine Korrektur des Scheitelwasserstandes von 386 cm auf 399 cm. Digitale Aufzeichnung: - Ausfall vom 12.08., 12.15 Uhr (257 cm) bis 22.08.	- Das Pegelhaus wurde 0,5 m hoch überschwemmt. - Das Messsteggeländer wurde durch Treibgutprall beschädigt.
Borstendorf/ Flöha	- keine	- Die Sohlplatte wurde zerstört.
Hetzdorf 1/ Flöha	Analoge Aufzeichnung: - Störung ab 12.08., 13.00 Uhr (260 cm) bis 18.08. hauptsächlich durch versetztes Gegengewicht in der Pegelschachtsohle - Im Ergebnis der Einmessung der Geschwemmsellinie erfolgte eine Korrektur des Scheitelwasserstandes von 260 cm auf 464 cm.	- Der Pegelschacht wurde verschlamm.
Rauschenbach 2/ Rauschenfluss	- keine	- Das Abflussgerinne wurde im Bereich des Pegels durch Geschiebe vollständig verfüllt.
Rothenthal/ Natzschung	Analoge Aufzeichnung: - Störung vom 13.08., 06.00 Uhr (186 cm) bis 21.08. infolge Verkiesung des Pegelschachtes - Die Rekonstruktion der Rückgangslinie erfolgte an Hand täglicher Lattenpegelablesungen. Digitale Aufzeichnung: - Störung vom 16.08., 08.30 Uhr bis 22.08., 00.45 Uhr	- Die rechtsseitige Böschung wurde stark ausgespült.

Pegel/Gewässer	Aufzeichnungsausfälle/-probleme (Uhrzeiten in MESZ)	Bemerkungen/ hochwasserbedingte Schäden
Zöblitz/ Schwarze Pockau	Analoge und digitale Aufzeichnung: <ul style="list-style-type: none"> - Die aufgezeichnete Wasserstandsganglinien weisen mit Schwankungen bis zu 50 cm durch zeitvariable Fließwechsel infolge von Kolkbildungen unterhalb der Sohlplatte und durch Schwimmeranschlag an der Unterkante der Schachtabdeckung (300 cm) einen nicht eindeutig erklärbaren Verlauf bei Wasserständen oberhalb von 250 cm auf. - Im Ergebnis der Einmessung der Geschwemmsellinie erfolgte eine Korrektur des Scheitelwasserstandes von 320 cm auf 332 cm. 	<ul style="list-style-type: none"> - Das Pegelhaus wurde 0,1 m hoch überschwemmt, wobei straßenseitig ein Wasserspiegel mit 364 cm festgestellt werden konnte. - Unmittelbar ober- und unterhalb des Pegelhauses kam es zur Einströmung in das Gewässer von ca. 400 m oberhalb aus der Schwarzen Pockau ausgetretenem Ausuferungswasser und rechtsseitigen Hangabflüssen, wobei keine Ausspiegelung stattfand. - Der Messsteg wurde durch das Hochwasser abtransportiert und zerstört. - Starke Ausspülungen entstanden an den Ufermauern.

Impressum

- Herausgeber:** Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Internet: <http://www.smul.sachsen.de/lfulg>
- Redaktion:** Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Abteilung Wasser, Wertstoffe
Referat Landeshochwasserzentrum, Gewässerkunde
Uwe Büttner, Erhard Wolf
Zur Wetterwarte 3, 01109 Dresden
Telefon: 0351 8928-4512; 0351 8928-4510
Telefax: 0351 8928-4099
E-Mail: uwe.buettner@smul.sachsen.de
erhard.wolf@smul.sachsen.de
- Endredaktion:** Öffentlichkeitsarbeit
Präsidialabteilung
- ISSN:** 1867-2868
- Redaktionsschluss:** November 2009

Für alle angegebenen E-Mail-Adressen gilt:

Kein Zugang für elektronisch signierte sowie für verschlüsselte elektronische Dokumente

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlhelfern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.