

Vergleich der größten Hochwasser im Muldegebiet

Schriftenreihe, Heft 18/2016



Die größten Hochwasser im Einzugsgebiet der Mulde im meteorologisch- hydrologischen Vergleich

Andreas Schumann, Björn Fischer,
Uwe Büttner, Evelin Bohn, Petra Walther und Erhard Wolf

1	Einleitung	14
2	Beschreibung des Flussgebietes der Mulde	15
2.1	Lage und Abgrenzung	15
2.2	Landschafts- und Naturräume	16
2.3	Geologie und Pedologie	18
2.4	Flächennutzung	23
2.5	Klimatische Verhältnisse.....	24
2.6	Hydrologische Verhältnisse	26
3	Gewässerkundliche Pegel	28
4	Die größten Hochwasser im Überblick	35
5	Das Hochwasser im Juli 1954	37
5.1	Witterungsverlauf.....	37
5.2	Beschreibung der zeitlich und räumlichen Niederschlagsverteilung	39
5.3	Beschreibung des zeitlichen und räumlichen Abflussverlaufes des Hochwassers	42
5.3.1	Gesamtbetrachtung	42
5.3.2	Abflussverlauf im Einzugsgebiet der Zwickauer Mulde	45
5.3.3	Abflussverlauf im Einzugsgebiet von Zschopau und Flöha.....	47
5.3.4	Abflussverlauf im Einzugsgebiet der Freiburger Mulde	51
5.3.5	Abflussverlauf in der Vereinigten Mulde	54
5.4	Analyse und Darstellung der Niederschlag-Abfluss-Beziehung mittels Abflussfüllen und -beiwerten.....	55
6	Das Hochwasser im Juli 1958	58
6.1	Meteorologische Ursachen des Hochwassers im Juli 1958	58
6.1.1	Meteorologische Vorgeschichte und Ereignisverlauf	58
6.1.2	Beschreibung der zeitlich und räumlichen Niederschlagsverteilung	59
6.2	Beschreibung des zeitlichen und räumlichen Abflussverlaufes des Hochwassers	64
6.2.1	Gesamtbetrachtung	64
6.2.2	Abflussverlauf im Einzugsgebiet der Zwickauer Mulde	67
6.2.3	Abflussverlauf in den Einzugsgebieten von Zschopau und Flöha.....	67
6.2.4	Abflussverlauf im Einzugsgebiet der Freiburger Mulde	69
6.2.5	Abflussverlauf im Einzugsgebiet der Vereinigten Mulde	70
6.3	Analyse und Darstellung Niederschlag-Abfluss-Beziehung mittels Abflussfüllen und -beiwerten.....	71
7	Das Hochwasser Anfang September 1995	74
7.1	Witterungsverlauf.....	74
7.2	Beschreibung der zeitlichen und räumlichen Niederschlagsverteilung	77
7.3	Beschreibung des zeitlichen und räumlichen Abflussverlaufes des Hochwassers	81
7.3.1	Gesamtbetrachtung	81
7.3.2	Abflussverlauf im Einzugsgebiet der Zwickauer Mulde	85
7.3.3	Abflussverlauf im Einzugsgebiet der Zschopau	85
7.3.4	Abflussverlauf im Einzugsgebiet der Freiburger Mulde	87
7.3.5	Abflussverlauf im Einzugsgebiet der Vereinigten Mulde	88
7.4	Analyse und Darstellung der Niederschlag-Abfluss-Beziehungen mittels Abflussfüllen und -beiwerten.....	90
8	Das Hochwasser im August 2002	93
8.1	Witterungsverlauf.....	93
8.2	Beschreibung der zeitlich und räumlichen Niederschlagsverteilung	97
8.3	Beschreibung des zeitlichen und räumlichen Abflussverlaufes des Hochwassers	105
8.3.1	Gesamtbetrachtung	105
8.3.2	Abflussverlauf im Einzugsgebiet der Zwickauer Mulde	108
8.3.3	Abflussverlauf im Einzugsgebiet der Zschopau/Flöha	108
8.3.4	Abflussverlauf im Einzugsgebiet der Freiburger Mulde	110

8.3.5	Abflussverlauf in der Vereinigten Mulde	110
8.4	Analyse und Darstellung der Niederschlag-Abfluss-Beziehung mit Hilfe der Abflussbeiwerte und Scheitelabflussspenden.....	111
9	Das Hochwasser im Juni 2013	117
9.1	Witterungsverlauf.....	117
9.2	Beschreibung der zeitlich und räumlichen Niederschlagsverteilung	121
9.3	Beschreibung des zeitlichen und räumlichen Abflussverlaufes des Hochwassers	132
9.3.1	Gesamtbetrachtung	132
9.3.2	Abflussverlauf im Einzugsgebiet der Zwickauer Mulde.....	136
9.3.3	Abflussverlauf im Einzugsgebiet der Zschopau/Flöha	146
9.3.4	Abflussverlauf im Einzugsgebiet der Freiburger Mulde	151
9.3.5	Abflussverlauf in der Vereinigten Mulde	155
9.4	Analyse und Darstellung der Niederschlag-Abfluss-Beziehung mit Hilfe der Abflussbeiwerte und Scheitelabflussspenden.....	158
10	Betrachtungen zu ausgewählten Hochwasserereignissen seit 1897.....	176
11	Vergleich ausgewählter nach 1950 aufgetretener Hochwasserereignisse.....	181
11.1	Vorregen und hochwasserauslösende Niederschläge.....	181
11.1.1	Vorregen.....	181
11.1.2	Räumliche Verteilung der hochwasserauslösenden Niederschläge	183
11.2	Niederschlag-Abfluss-Verhältnisse	194
11.3	Einordnung der Ereignisse in das Hochwasserregime der einzelnen Einzugsgebiete	205
11.4	Hochwasserkoinzidenz.....	217
12	Unsicherheiten und offene Fragen.....	223
13	Zusammenfassung.....	225
	Literaturverzeichnis.....	226

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Das Flussgebiet der Mulde mit den Haupteinzugsgebieten und den verwendeten Pegeln	16
Abbildung 2:	Höhenverhältnisse und Naturräume im Flussgebiet der Mulde	17
Abbildung 3:	Karte der tiefengemittelten Feldkapazität in den oberen 2 m des Bodenhorizontes mit Naturraumgrenzen	21
Abbildung 4:	Karte der tiefengemittelten Feldkapazität in den oberen 2 m des Bodenhorizontes bzw. bis zur ersten Sprungschicht der vertikalen hydraulischen Leitfähigkeit mit Naturraumgrenzen	22
Abbildung 5:	Übersichtskarte der Landnutzung im Muldegebiet mit Einzugsgebietsgrenzen der Pegel	24
Abbildung 6:	Monatliche Niederschlagsmittelwerte ausgewählter Stationen 1981 - 2010, dargestellt als Anteile am Jahresniederschlag	26
Abbildung 7:	Jahresgänge der langjährigen mittleren Abflüsse MQ und der langjährigen mittleren Hochwasserabflüsse MHQ der Pegel Hopfgarten/Zschopau und Wechselburg/Zwickauer Mulde.....	26
Abbildung 8:	Winterhochwasser (oben) und Sommerhochwasser (unten) innerhalb der Reihe der Jahreshöchstabflüsse 1936 - 2013 am Pegel Berthelsdorf/Freiburger Mulde bei gewählttem Hochwasserschwellexwert von 2,5-MQ.....	28
Abbildung 9:	Zugbahnen des wetterbestimmenden Tiefs und des Kaltlufttropfens (hoch reichende Kaltluft) vom 06.07. bis 14.07.1954 (aus BÖER et al. 1959).....	38
Abbildung 10:	Zeitliche Verteilung des Gebietsniederschlags für die Vereinigte Mulde (Pegel Bad Dübex 1 (AE = 6170 km ²)).....	39
Abbildung 11:	Räumliche Verteilung der Niederschlagssummen für den Zeitraum 07.07. - 20.07.1954.....	40
Abbildung 12:	Räumliche Verteilung der Niederschlagstagesummen vom 07.07. bis 10.07.1954 (jeweils von 00:00 bis 24:00 Uhr).....	41
Abbildung 13:	Zeitlicher Verlauf des Gebietsniederschlags und des Abflusses am Pegel Wechselburg/Zwickauer Mulde 1954	42
Abbildung 14:	Zeitlicher Verlauf des Gebietsniederschlags und des Abflusses am Pegel Lichtenwalde/Zschopau 1954.....	43
Abbildung 15:	Zeitlicher Verlauf des Gebietsniederschlags und des Abflusses am Pegel Nossen 1/Freiburger Mulde 1954.....	43
Abbildung 16:	Zeitlicher Verlauf des Gebietsniederschlags und des Abflusses am Pegel Golzern/Vereinigte Mulde 1954.....	43
Abbildung 17:	Hochwasserabflüsse im Flussgebiet der Zwickauer Mulde 1954	45
Abbildung 18:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Aue 1/Zwickauer Mulde	46
Abbildung 19:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Niederschlema/Zwickauer Mulde	46
Abbildung 20:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Zwickau-Pölbitz/Zwickauer Mulde.....	46
Abbildung 21:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Wechselburg/Zwickauer Mulde.....	47
Abbildung 22:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Rothenthal/Natzschung.....	47
Abbildung 23:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Zöblitz/Schwarze Pockau.....	48
Abbildung 24:	Hochwasserabflüsse im Flussgebiet der Flöha (Oberläufe) 1954	48
Abbildung 25:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Borstendorf/Flöha	49
Abbildung 26:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Streckewalde/Preßnitz.....	49
Abbildung 27:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Hopfgarten/Zschopau	50
Abbildung 28:	Hochwasserabflüsse im Flussgebiet der Zschopau und Flöha (Unterläufe) 1954.....	50
Abbildung 29:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Lichtenwalde/Zschopau	51
Abbildung 30:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Kriebstein UP/Zschopau	51
Abbildung 31:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Berthelsdorf/Freiburger Mulde	52
Abbildung 32:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Nossen 1/Freiburger Mulde	52
Abbildung 33:	Statistisch interpolierte Niederschläge am 10.07.1954 von links nach rechts: 11:00 Uhr, 12:00 Uhr und 13:00 Uhr.....	53
Abbildung 34:	Hochwasserabflüsse im Flussgebiet der Freiburger Mulde 1954	53
Abbildung 35:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Golzern/Vereinigte Mulde	54

Abbildung 36:	Hochwasserabflüsse der Hauptteileinzugsgebiete und der Vereinigten Mulde 1954	54
Abbildung 37:	Zusammenhang zwischen Niederschlag und Direktabfluss 1954	56
Abbildung 38:	Zusammenhang zwischen Scheitelabflussspende und Abflussbeiwert 1954	57
Abbildung 39:	Zusammenhang zwischen Abflussbeiwert und Niederschlagssumme 1954	57
Abbildung 40:	Druckverlauf über Mitteleuropa im Zeitraum vom 01.07. bis 03.07. und vom 04. bis 06.07.1958	59
Abbildung 41:	Räumliche Verteilung der Niederschlagssummen für den Zeitraum 26.06. - 06.07.1958.....	60
Abbildung 42:	Zeitliche Verteilung des Gebietsniederschlages für die Vereinigte Mulde (Pegel Bad Düben).....	61
Abbildung 43:	Räumliche Verteilung der Niederschlagstagesummen vom 26.06. bis 04.07.1958 (jeweils von 00:00 bis 24:00 Uhr),	62
Abbildung 44:	Räumliche Verteilung der Niederschlagstagesumme am 05.07.1958 (00:00 bis 24:00 Uhr).....	63
Abbildung 45:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Wechselburg/Zwickauer Mulde 1958	64
Abbildung 46:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Lichtenwalde/Zschopau 1958	65
Abbildung 47:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Nossen 1/Freiberger Mulde 1958	65
Abbildung 48:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Golzern/Vereinigte Mulde 1958	65
Abbildung 49:	Hochwasserabflüsse im Flussgebiet der Zwickauer Mulde 1958	67
Abbildung 50:	Hochwasserabflüsse im Flussgebiet der Zschopau (Oberlauf) und Flöha 1958.....	68
Abbildung 51:	Hochwasserabflüsse im Flussgebiet der Zschopau und Flöha (Unterläufe) 1958.....	69
Abbildung 52:	Hochwasserabflüsse im Flussgebiet der Freiberger Mulde 1958	70
Abbildung 53:	Hochwasserabflüsse der Hauptteileinzugsgebiete und der Vereinigten Mulde 1958	71
Abbildung 54:	Zusammenhang zwischen Niederschlag und Direktabfluss 1958	72
Abbildung 55:	Abhängigkeit zwischen Scheitelabflussspende und Abflussbeiwert 1958	73
Abbildung 56:	Zusammenhang zwischen Abflussbeiwert und Niederschlagssumme 1958	74
Abbildung 57:	Abfolge der Wetterfronten vom 28.08 bis 02.09.1995 (Quelle: Deutscher Wetterdienst)	75
Abbildung 58:	Zeitliche Verteilung des Gebietsniederschlages für die Vereinigte Mulde (Pegel Bad Düben).....	77
Abbildung 59:	Verteilung der Niederschlagshöhen vom 26.08 bis 01.09.1995 in mm (aus BÜTTNER & RÖDEL 1996)	79
Abbildung 60:	Räumliche Verteilung der Niederschlagssummen für den Zeitraum 23.08.- 01.09.1995.....	80
Abbildung 61:	Räumliche Verteilung der Niederschlagstagesummen am 31.08. und 01.09.1995 (jeweils von 00:00 bis 24:00 Uhr)	80
Abbildung 62:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Wechselburg/Zwickauer Mulde 1995	81
Abbildung 63:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Lichtenwalde/Zschopau 1995	81
Abbildung 64:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Nossen 1/Freiberger Mulde 1995	82
Abbildung 65:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Golzern/Vereinigte Mulde 1995	82
Abbildung 66:	Hochwasserabflüsse im Flussgebiet der Zwickauer Mulde 1995	85
Abbildung 67:	Hochwasserabflüsse im Flussgebiet der Zschopau (Oberlauf) und Flöha 1995.....	86
Abbildung 68:	Hochwasserabflüsse im Flussgebiet der Zschopau (Unterlauf) und Flöha 1995.....	87
Abbildung 69:	Hochwasserabflüsse im Flussgebiet der Freiberger Mulde 1995.....	88
Abbildung 70:	Hochwasserabflüsse der Hauptteileinzugsgebiete und der Vereinigten Mulde 1995	89
Abbildung 71:	Bilanzierung der Abflüsse am Pegel Golzern aus den Zuflussganglinien der Pegel Wechselburg/Zwickauer Mulde und ErlIn/Freiberger Mulde	89
Abbildung 72:	Zusammenhang zwischen Niederschlag und Direktabfluss 1995	90
Abbildung 73:	Abhängigkeit zwischen Scheitelabflussspende und Abflussbeiwert 1995	92
Abbildung 74:	Zusammenhang zwischen Abflussbeiwert und Niederschlagssumme 1995	92
Abbildung 75:	Bodenwetterkarte vom 10.08., 12:00 Uhr UTC (Grundlage: Deutscher Wetterdienst 2003)	94
Abbildung 76:	Numerische Analyse der Geopotenzial- und Temperaturverteilung in 850 hPa (etwa 1,5 km Höhe) am 11.08. (Quelle: Deutscher Wetterdienst 2003).....	94
Abbildung 77:	Bodenwetterkarte vom 11.08., 06:00 Uhr UTC (Grundlage: Deutscher Wetterdienst 2003)	95
Abbildung 78:	Bodenwetterkarte vom 12.08., 06:00 Uhr UTC (Grundlage: Deutscher Wetterdienst 2003)	95
Abbildung 79:	Zugbahnen des wetterbestimmenden Tiefs und des Kaltlufttropfens vom 09.08. bis 14.08. (nach RUDOLF & RAPP 2003, ergänzt)	96
Abbildung 80:	Zeitliche Verteilung des Gebietsniederschlages für die Vereinigte Mulde (Pegel Bad Düben 1).....	98
Abbildung 81:	Räumliche Verteilung der Niederschlagssummen vom 10.08.2002 bis 13.08.2002.....	99

Abbildung 82:	Räumliche Verteilung der Niederschlagssummen vom 04.08.2002 bis 12.08.2002 ohne Radardaten.....	100
Abbildung 83:	Räumliche Verteilung der Niederschlagstagesummen vom 10.08. bis 13.08.2002 (jeweils bis 7.30 Uhr des Folgetages), ermittelt unter Verwendung von Radardaten im Einzugsgebiet der Mulde und der linksseitigen Elbenebenflüsse.....	101
Abbildung 84:	Zeitlicher Verlauf des Gebietsniederschlags und der Abflüsse am Pegel Wechselburg 1/Zwickauer Mulde	105
Abbildung 85:	Zeitlicher Verlauf des Gebietsniederschlags und der Abflüsse am Pegel Lichtenwalde 1/Zschopau.....	105
Abbildung 86:	Zeitlicher Verlauf des Gebietsniederschlags und der Abflüsse am Pegel Nossen 1/Freiburger Mulde.....	106
Abbildung 87:	Zeitlicher Verlauf des Gebietsniederschlags und der Abflüsse am Pegel Golzern 1/Vereinigte Mulde.....	106
Abbildung 88:	Hochwasserabflüsse im Flussgebiet der Zwickauer Mulde 2002	108
Abbildung 89:	Hochwasserabflüsse im Flussgebiet der Zschopau (Oberlauf) und Flöha 2002.....	109
Abbildung 90:	Hochwasserabflüsse im Flussgebiet der Zschopau (Unterlauf) und Flöha 2002.....	109
Abbildung 91:	Hochwasserabflüsse im Flussgebiet der Freiburger Mulde 2002	110
Abbildung 92:	Hochwasserabflüsse der Vereinigten Mulde und der Hauptteileinzugsgebiete	111
Abbildung 93:	Zusammenhang zwischen Niederschlag und Direktabfluss 2002, differenziert nach Teilgebieten. Das Bestimmtheitsmaß der Trendlinie beträgt $R^2 = 0,588$	113
Abbildung 94:	Zusammenhang zwischen Scheitelabflussspende und Abflussbeiwert 2002	114
Abbildung 95:	Zusammenhang zwischen Abflussbeiwert und Niederschlagssumme 2002	114
Abbildung 96:	Relation zwischen den Abflussbeiwerten 2002 und 2013	115
Abbildung 97:	Relation zwischen den Scheitelabflussspenden 2002 und 2013.....	116
Abbildung 98:	Quotient der Scheitelabflussspenden 2002/2013	116
Abbildung 99:	Niederschlagssumme [mm] für Deutschland für den Zeitraum 17.05. - 29.05.2013, basierend auf RADOLAN-Daten (Datenquelle: Deutscher Wetterdienst).....	117
Abbildung 100:	Tägliche Niederschlagshöhen [mm] und deren kumulierte Summe [mm] sowie die mittlere monatliche Niederschlagssumme für Mai (1981 - 2010) für die Station Leipzig-Holzhausen (Quelle: Deutscher Wetterdienst)	118
Abbildung 101:	Tägliche Niederschlagshöhen [mm] und deren kumulierte Summe [mm] sowie die mittlere monatliche Niederschlagssumme für Mai (1981 - 2010) für die Station TS Eibenstock (Quelle: Deutscher Wetterdienst).....	118
Abbildung 102:	Bodenfeuchte [% nFK] am 30.05.2013 für Sachsen (Quelle: Deutscher Wetterdienst).....	119
Abbildung 103:	Frontenverlauf über Europa am 01.06.2013, 02:00 Uhr (Quelle: Deutscher Wetterdienst, Namensgebung der Hoch- und Tiefdruckgebiete durch FU Berlin)	120
Abbildung 104:	Zeitliche Verteilung des Gebietsniederschlags für die Vereinigte Mulde (Pegel Bad Dübener See)	122
Abbildung 105:	Reaktionen des Abflusses am Pegel Bad Dübener See 1/Vereinigte Mulde, auf den Niederschlag	123
Abbildung 106:	Räumliche Verteilung der Summen des ersten Teilregens.....	127
Abbildung 107:	Räumliche Verteilung der Summen des zweiten Teilregens	127
Abbildung 108:	Unterschiede in den Niederschlagssummen des ersten und zweiten Teilregens zwischen den verschiedenen Einzugsgebieten.....	128
Abbildung 109:	Stündliche Werte der Gebietsniederschläge vom 01.06., 06:00 Uhr bis zum 03.06., 22:00 Uhr an den Pegeln Colditz/Zwickauer Mulde, Kriebstein UP/Zschopau und Mahlitzsch/Freiburger Mulde.....	129
Abbildung 110:	Summenlinien der Gebietsniederschläge vom 01.06., 06:00 Uhr bis zum 03.06., 22:00 Uhr an den Pegeln Colditz/Zwickauer Mulde, Kriebstein/Zschopau und Mahlitzsch/Freiburger Mulde.....	130
Abbildung 111:	Verteilung der Tagesniederschläge vom 30.05. bis zum 03.06. im Muldegebiet.....	131
Abbildung 112:	Abflussverlauf im Oberlauf der Zwickauer Mulde	136
Abbildung 113:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Sachsengrund/Große Pyra	137
Abbildung 114:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Rautenkranz/Zwickauer Mulde	137
Abbildung 115:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Eibenstock 2/Röhmerbach.....	137
Abbildung 116:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Aue 3/Zwickauer Mulde	138

Abbildung 117:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Johannegeorgenstadt 2/Breitenbach	138
Abbildung 118:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Johannegeorgenstadt 4/Schwarzwasser	138
Abbildung 119:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Markersbach 1/Große Mittweida	139
Abbildung 120:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Wildenau 1/Große Mittweida.....	139
Abbildung 121:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Aue 1/Schwarzwasser	139
Abbildung 122:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Niederschlema/Zwickauer Mulde	140
Abbildung 123:	Abflussverlauf im Abschnitt von Zwickau bis Wechselburg	140
Abbildung 124:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Zwickau-Pölbitz/Zwickauer Mulde.....	141
Abbildung 125:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Niedermülsen 1/Mülsenbach	141
Abbildung 126:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel St. Egidien/Lungwitzbach.....	141
Abbildung 127:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Wolkenburg/Zwickauer Mulde.....	142
Abbildung 128:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Göritzchain/Chemnitz	142
Abbildung 129:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Wechselburg 1/Zwickauer Mulde	142
Abbildung 130:	Abflussverlauf im Einzugsgebiet der Chemnitz	143
Abbildung 131:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Niederzwönitz/Zwönitz	144
Abbildung 132:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Burkhardtsdorf 2/Zwönitz	144
Abbildung 133:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Altchemnitz 2/Zwönitz	144
Abbildung 134:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Jahnisdorf 1/Würschnitz	145
Abbildung 135:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Harthau/Würschnitz	145
Abbildung 136:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Chemnitz 1/Chemnitz.....	145
Abbildung 137:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Göritzchain/Chemnitz	146
Abbildung 138:	Abflussverlauf im Flussgebiet von Zschopau/Flöha	147
Abbildung 139:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Annaberg 1/Sehma	147
Abbildung 140:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Tannenberg/Zschopau.....	148
Abbildung 141:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Wiesa/Pöhlbach	148
Abbildung 142:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Hopfgarten/Zschopau	148
Abbildung 143:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Kunnersdorf/Zschopau.....	149
Abbildung 144:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Rothenthal/Natzschung.....	149
Abbildung 145:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Olbernhau 3/Flöha	149
Abbildung 146:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Zöblitz/Schwarze Pockau.....	150
Abbildung 147:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Borstendorf/Flöha	150
Abbildung 148:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Flöha 1/Flöha.....	150
Abbildung 149:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Lichtenwalde 1/Zschopau	151
Abbildung 150:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Kriebstein UP/Zschopau	151
Abbildung 151:	Abflussverlauf im Einzugsgebiet der Freiburger Mulde	152
Abbildung 152:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Wolfsgrund/Chemnitzbach.....	152
Abbildung 153:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Berthelsdorf/Freiburger Mulde	153
Abbildung 154:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Krummenhennersdorf 1/Bobritzsch	153
Abbildung 155:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Nossen 1/Freiburger Mulde	153
Abbildung 156:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Oberschöna/Große Striegis	154
Abbildung 157:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Böhrigen/Striegis	154
Abbildung 158:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Mahlitzsch/Freiburger Mulde.....	154
Abbildung 159:	Abflussverlauf am Zusammenfluss von Zwickauer und Freiburger Mulde	155
Abbildung 160:	Abflussdifferenz zwischen der Summe der Abflüsse von Colditz/Zwickauer Mulde und Leisnig/Freiburger Mulde und dem Abfluss am Pegel Golzern 1/Vereinigte Mulde	156
Abbildung 161:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Colditz/Zwickauer Mulde.....	156
Abbildung 162:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Leisnig/Freiburger Mulde	157
Abbildung 163:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Golzern 1/Vereinigte Mulde	157
Abbildung 164:	Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Bad Dübén 1/Vereinigte Mulde	157
Abbildung 165:	Darstellung der Scheitelabflusspende (2. Scheitel) über der Einzugsgebietsfläche	159
Abbildung 166:	Unterschiede im Ganglinienverlauf der Pegel Sachsendgrund/Große Pyra und Eibenstock 2/Rählerbach	160

Abbildung 167:	Hochwasserganglinie am Pegel Burkhardtsdorf 2/Zwönitz, ersichtlich wird der über 14 Stunden anhaltende hohe Abfluss im Bereich des Scheitels	161
Abbildung 168:	Beharrungszeit der Abflüsse auf einem Niveau ≥ 90 % des Scheitelabflusses, dargestellt über der Einzugsgebietsfläche AE in km ²	164
Abbildung 169:	wie Abbildung 168, aber nur Einzugsgebiete bis 1000 km ² Fläche und Beharrungszeiten bis 16 Stunden	165
Abbildung 170:	Zeitdifferenzen zwischen dem Niederschlagsbeginn und dem Ende der Beharrungszeit des Scheitelabflusses, Einzugsgebiet der Zwickauer Mulde mit Chemnitz	166
Abbildung 171:	Zeitdifferenzen zwischen dem Niederschlagsbeginn und dem Ende der Beharrungszeit des Scheitelabflusses, Einzugsgebiete der Freiburger Mulde mit Zschopau und Flöha	167
Abbildung 172:	Zusammenhang zwischen den Scheitelabflussspenden und der Einzugsgebietsfläche	171
Abbildung 173:	Zusammenhang zwischen der Scheitelabflussspende und den Abflussbeiwerten	172
Abbildung 174:	Verhältnis zwischen den Niederschlagssummen und den Direktabflüssen differenziert nach Flussgebieten und die drei Gruppen von Pegeln	173
Abbildung 175:	Zeitlicher Verlauf der Hochwasserscheitel in den Hauptfließgewässern des Muldegebietes am 30./31.07.1897	176
Abbildung 176:	Zeitlicher Verlauf der Hochwasserscheitel in den Hauptfließgewässern des Muldegebietes am 16.06.1926	177
Abbildung 177:	Zeitlicher Verlauf der Hochwasserscheitel in den Hauptfließgewässern des Muldegebietes am 04./05.01.1932	177
Abbildung 178:	Zeitlicher Verlauf der Hochwasserscheitel in den Hauptfließgewässern des Muldegebietes vom 08. bis 12.07.1954	178
Abbildung 179:	Zeitlicher Verlauf der Hochwasserscheitel in den Hauptfließgewässern des Muldegebietes am 05./06.07.1958	178
Abbildung 180:	Zeitlicher Verlauf der Hochwasserscheitel in den Hauptfließgewässern des Muldegebietes am 08./09.12.1974	179
Abbildung 181:	Zeitlicher Verlauf der Hochwasserscheitel in den Hauptfließgewässern des Muldegebietes am 31.08./01.09.1995	179
Abbildung 182:	Zeitlicher Verlauf der Hochwasserscheitel in den Hauptfließgewässern des Muldegebietes vom 12. bis 14.08.2002	180
Abbildung 183:	Zeitlicher Verlauf der Hochwasserscheitel in den Hauptfließgewässern des Muldegebietes vom 31.05. bis 03.06.2013	180
Abbildung 184:	Räumliche Verteilung der Niederschläge der untersuchten Hochwasserereignisse Oben: Ereignis 1954: Niederschlagsschwerpunkt im Westteil, Ereignisse 1995 und 2013 mit eher gleichmäßige Niederschlagsverteilung; Unten: Ereignisse 1958 und 2002 mit Niederschlagsschwerpunkten im Ostteil	183
Abbildung 185:	Unterschiede in der zeitlichen Verteilung des Gebietsniederschlags des Gesamtgebietes der Mulde (Pegel Bad Düben 1/Vereinigte Mulde)	185
Abbildung 186:	72-h-Niederschlagsmaxima der fünf Hochwasserereignisse	186
Abbildung 187:	24-h-Niederschlagsmaxima der fünf Hochwasserereignisse	186
Abbildung 188:	24-h-Niederschlagsmaxima wie in Abbildung 187, aber ohne Ereignis 2002	187
Abbildung 189:	6-h-Niederschlagsmaxima der fünf Hochwasserereignisse	187
Abbildung 190:	6-h-Niederschlagsmaxima wie in Abbildung 189, aber ohne Ereignis 2002	188
Abbildung 191:	Zusammenhang zwischen Niederschlag und Direktabfluss, differenziert nach den Einzelereignissen	195
Abbildung 192:	Zusammenhang zwischen Niederschlag und Direktabfluss, differenziert nach den Ereignisgruppen (1954, 1958, 2002) und (1995, 2013)	196
Abbildung 193:	Zusammenhänge zwischen Niederschlag und Direktabfluss für die Ereignisse 1995 (geringe Vorfeuchte) und 2013 (hohe Vorfeuchte) mit der Regressionsgeraden einer homogenen Regression aus allen Ereignissen	197
Abbildung 194:	Hochwasserganglinie 1958 am Pegel Borstendorf/Flöha	198
Abbildung 195:	Hochwasserganglinie 1958 am Pegel Berthelsdorf/Freiburger Mulde	198

Abbildung 196:	Zusammenhang zwischen Niederschlag und Direktabfluss für Hochwasser mit mengenabhängigem Ganglinienverlauf.....	199
Abbildung 197:	Zusammenhang zwischen Niederschlag und Direktabfluss für Hochwasser mit intensitätsabhängigem Ganglinienverlauf.....	200
Abbildung 198:	Abhängigkeit zwischen Scheitelabflussspende und Abflussbeiwert, differenziert nach Ereignissen (Pegelnamen siehe Abbildungen 201 und 202).....	201
Abbildung 199:	Abhängigkeit zwischen Scheitelabflussspende und Abflussbeiwert, alle Ereignisse bei Differenzierung zweier Ereignistypen (HW 1995, 2013, 1958 und HW 1954, 1958, 2002)	201
Abbildung 200:	Zusammenhänge zwischen dem Abflussbeiwert und der Scheitelabflussspende, differenziert für Hochwasser mit mengenabhängigen und intensitätsabhängigen Scheitelabflüssen (Pegelnamen und Ereignisse – siehe Abbildungen 201 und 202)	202
Abbildung 201:	Zusammenhang zwischen dem Abflussbeiwert und der Scheitelabflussspende für Hochwasser mit intensitätsabhängigen Scheitelabflüssen.....	203
Abbildung 202:	Zusammenhang zwischen dem Abflussbeiwert und der Scheitelabflussspende für Hochwasser mit mengenabhängigen Scheitelabflüssen.....	203
Abbildung 203:	Zusammenhang zwischen Abflussbeiwert und Niederschlagssumme, differenziert nach Ereignissen.....	204
Abbildung 204:	Beispiele für r-Werte (links: r-Wert = 1,25; rechts: r-Wert = 1,04).....	205
Abbildung 205:	Beispiele für unterschiedliche TQ- Werte bei gleichem Hochwasserscheitelabfluss	206
Abbildung 206:	TQ- und r-Werte aller Sommer-HQ-Werte am Pegel Aue 1/Schwarzwasser und deren Einteilung in Ereignisgruppen	208
Abbildung 207:	TQ- und r-Werte der Sommerhochwasser (Juni bis September) am Pegel Nossen 1/Freiburger Mulde mit Markierung der fünf Hochwasser mit den größten Scheitelabflüssen	214
Abbildung 208:	TQ- und r-Werte der Sommerhochwasser (Juni bis September) am Pegel Borstendorf/Flöha mit Markierung der fünf Hochwasser mit den größten Scheitelabflüssen.....	215
Abbildung 209:	TQ- und r-Werte der Sommerhochwasser (Juni bis September) am Pegel Wechselburg 1/Zwickauer Mulde mit Markierung der fünf Hochwasser mit den größten Scheitelabflüssen	215
Abbildung 210:	Zusammenhang zwischen den Zeitskalen der Gruppen 1, 2 und 3 und der Einzugsgebietsfläche.....	216
Abbildung 211:	Optimale Überlagerung der zeitlich versetzten Hochwasserganglinien der Zwickauer Mulde, Zschopau und Freiburger Mulde (Pegel Nossen 1) 2013.....	219
Abbildung 212:	Optimale Überlagerung der zeitlich versetzten Hochwasserganglinien der Zwickauer Mulde, Zschopau und Freiburger Mulde (Pegel Nossen 1) 2002.....	219
Abbildung 213:	Scheitelgleiche Überlagerung der zeitlich versetzten Hochwasserganglinien der Zwickauer Mulde, Zschopau und Freiburger Mulde (Pegel Nossen 1) für das Ereignis 2002 (Annahme)	220

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Flächenanteile der Hauptnaturräume am Einzugsgebiet der Vereinigten Mulde bis zum Pegel Bad Düben 1	17
Tabelle 2: Zusammengefasste Bodenkennwerte der verschiedenen Naturräume	20
Tabelle 3: Flächenanteile von Hauptnutzungsarten in % auf Basis des CLC-EU (2006).....	23
Tabelle 4: Mittlere Niederschläge pro Monat und Jahr ausgewählter Stationen im Flussgebiet der Mulde mit Zuordnung zu den Naturräumen	25
Tabelle 5: Abflussspenden bei MQ und MHQ ausgewählter Pegel im Muldegebiet	27
Tabelle 6: Gebietskennwerte der verwendeten Pegel	29
Tabelle 7: Gebietskennwerte der verwendeten Pegel	32
Tabelle 8: Die markantesten Hochwasser im Muldegebiet seit 1573	35
Tabelle 9: Gebietsniederschlagssummen der Vereinigten Mulde und der drei Hauptteilgebiete vom 07.07.1954 bis zum 13.07.1954	39
Tabelle 10: Hochwasserkennwerte 1954.....	44
Tabelle 11: Abflussbeiwerte und Scheitelabflussspenden des Hochwassers 1954.....	55
Tabelle 12: Gebietsniederschlagssummen der Vereinigten Mulde und der drei Hauptteilgebiete vom 02.07.1958, 12:00 Uhr bis zum 06.07.1958, 12:00 Uhr	59
Tabelle 13: Hochwasserkennwerte 1958.....	66
Tabelle 14: Abflussbeiwerte und Scheitelabflussspenden des Hochwassers 1958.....	71
Tabelle 15: Hochwasserkennwerte 1995.....	83
Tabelle 16: Abflussbeiwerte und Scheitelabflussspenden des Hochwassers 1995.....	91
Tabelle 17: Gebietsniederschlagssummen der Vereinigten Mulde und der drei Hauptteilgebiete vom 11.08.2002 bis zum 13.08.2002	98
Tabelle 18: Summen der einzelnen Gebietsniederschlagsanteile im Flussgebiet der Zwickauer Mulde und für die Einzugsgebiete der Vereinigten Mulde	102
Tabelle 19: Summen der einzelnen Gebietsniederschlagsanteile im Flussgebiet der Chemnitz	103
Tabelle 20: Summen der einzelnen Gebietsniederschlagsanteile im Flussgebiet der Zschopau/Flöha	103
Tabelle 21: Summen der einzelnen Gebietsniederschlagsanteile im Flussgebiet der Freiburger Mulde	104
Tabelle 22: Hochwasserscheitelabflüsse, Scheiteleintrittszeiten und MHQ der Pegel im Muldegebiet	107
Tabelle 23: Abflussbeiwerte und Scheitelabflussspenden des Hochwassers 2002.....	112
Tabelle 24: Gebietsniederschlagssummen der Vereinigten Mulde und der drei Hauptteilgebiete vom 25.05.2013, 00:00 Uhr bis zum 03.06.2013, 20:00 Uhr	121
Tabelle 25: Summen der einzelnen Gebietsniederschlagsanteile im Flussgebiet der Zwickauer Mulde und der Vereinigten Mulde.....	124
Tabelle 26: Summen der einzelnen Gebietsniederschlagsanteile im Flussgebiet der Chemnitz	125
Tabelle 27: Summen der einzelnen Gebietsniederschlagsanteile im Flussgebiet der Zschopau/Flöha	125
Tabelle 28: Summen der einzelnen Gebietsniederschlagsanteile im Flussgebiet der Freiburger Mulde	126
Tabelle 29: 24-h-Summen der Gebietsniederschläge ausgewählter Pegel	132
Tabelle 30: Abflussscheitel und Scheiteleintrittszeiten an den betrachteten Pegeln	134
Tabelle 31: Mittelwerte, Minima und Maxima der Scheitelabflussspenden in $\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{km}^2)$ für verschiedene Einzugsgebietsklassen	158
Tabelle 32: Pegel, an denen mit über $0,65 \text{ m}^3/(\text{s}\cdot\text{km}^2)$ die Höchstwerte der Scheitelabflussspenden auftraten	159
Tabelle 33: Zusammenhängende Zeiträume, in denen die Abflüsse über 90 % des jeweiligen Scheitelabflusswertes lagen	162
Tabelle 34: Abflussvolumina und Abflussbeiwerte	168
Tabelle 35: Pegel mit besonders hohen Direktabflüssen (Gruppe 1)	172
Tabelle 36: Pegel mit besonders niedrigen Direktabflüssen (Gruppe 2).....	173
Tabelle 37: Relationen des Direktabflusses zum Basisabfluss für die Pegel beider Gruppen	174
Tabelle 38: Relationen des Gesamtabflusses zum Gebietsniederschlag	174
Tabelle 39: Unterschiede im Speichervermögen des Bodens	175

Tabelle 40: Vorregenwerte über 5, 6 – 10, 10 und 30 Tage der fünf Hochwasserereignisse	182
Tabelle 41: Gewichtet ermittelte Vorregen	182
Tabelle 42: Werte des Basisabflusses vor Hochwasserbeginn	182
Tabelle 43: 6- und 12-h-Maxima der Gebietsniederschläge bei den verschiedenen Hochwasserereignissen.	189
Tabelle 44: 24- und 48-h-Maxima der Gebietsniederschläge bei den verschiedenen Hochwasserereignissen,	190
Tabelle 45: Ungleichförmigkeit der zeitlichen Verteilung des Gebietsniederschlages beim Hochwasser 2013. Die Überschreitung des Wertes 0,5 bezeichnet die Abweichung von der zeitlich gleichmäßigen Verteilung.	191
Tabelle 46: Ungleichförmigkeit der zeitlichen Verteilung des Gebietsniederschlages der Ereignisse 1954, 1958, 1995 und 2002.....	192
Tabelle 47: Mittelwerte, Standardabweichungen, Minima und Maxima der Ungleichförmigkeitsquotienten der einzelnen Hochwasserereignisse	193
Tabelle 48: Vorregen und Basisabfluss am Ereignisbeginn	193
Tabelle 49: Überblick über die Niederschlagsbedingungen.....	194
Tabelle 50: Relationen zwischen den Direktabflusssummen und den Niederschlagssummen bei Anwendung eines homogenen Regressionsmodells.....	195
Tabelle 51: Vergleich der Hochwasserkennwerte der Pegel Berthelsdorf/Freiburger Mulde und Borstendorf/Flöha für das Ereignis 1958.....	197
Tabelle 52: Mittlere r- und TQ-Werte der Sommerhochwasser ausgewählter Pegel des Muldegebietes	207
Tabelle 53: Anteile der r-TQ-Gruppen, mittlere r- und TQ-Werte und mittlere Scheitelabflüsse jeder Gruppe	209
Tabelle 54: Unterschiede zwischen den statistischen Kennzahlen der Hochwasserscheitelabflüsse der verschiedenen Gruppen.....	211
Tabelle 55: Häufigkeiten der Einordnung der Ereignisse in vier r-TQ- Gruppen.....	212
Tabelle 56: Zuordnung der Hochwasserereignisse zu Ereignisgruppen anhand ihrer r- und TQ-Werte.....	213
Tabelle 57: Univariate Jährlichkeiten der zeitgleichen Sommerhochwasser mit deutlicher Ost-West-Differenzierung an den Pegeln Wechselburg 1/Zwickauer Mulde, Lichtenwalde 1/Zschopau, Nossen 1/Freiburger Mulde und Golzern 1/Vereinigte Mulde.....	217
Tabelle 58: Jährlichkeiten der Hochwasserscheitelabflüsse der Zuflüsse zur Vereinigten Mulde, der Scheitel am Pegel Golzern und die zugehörigen multivariaten Copula-Jährlichkeiten	221
Tabelle 59: Jährlichkeiten zeitgleicher Hochwasserscheitelabflüsse der Pegel Aue 1/Schwarzwasser, Hopfgarten/Zschopau, Borstendorf/Flöha und Berthelsdorf/Freiburger Mulde.....	222

Symbole und Abkürzungen

AE	Einzugsgebietsfläche
BfUL	Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft
DWD	Deutscher Wetterdienst
FK	Feldkapazität
GPV	Gesamtporenvolumen
HQ	Hochwasserabfluss
Hq	Hochwasserabflussspende
HW	Hochwasser
k_f -Wert	Durchlässigkeitsbeiwert
LK	Luftkapazität
MESZ	Mitteleuropäische Sommerzeit
MHQ	Mittlerer Hochwasserabfluss
MHq	Mittlere Hochwasserabflussspende
MQ	Mittlerer Abfluss
Mq	Mittlere Abflussspende
nFK	nutzbare Feldkapazität
NN	Normal Null
Q	Durchfluss
QS	Scheiteldurchfluss
R^2	Bestimmtheitsmaß
T	Jährlichkeit (Wiederkehrintervall)
UP	Unterpegel
Vb	Spezifische Zugbahn von Tiefdruckgebieten nach der Klassifizierung von van Beber

1 Einleitung

In den Jahren 2002 und 2013, d. h. innerhalb von nur 12 Jahren traten im Muldegebiet zwei extreme Hochwasser auf. Zwischen diesen beiden Ereignissen bestehen bereits auf den ersten Blick große Unterschiede. War 2002 insbesondere das Osterzgebirge betroffen, so traten 2013 ähnliche Höchstabflüsse sowohl in der Zwickauer als auch in der Freiburger Mulde auf. Konzentrierte sich im Jahr 2002 der hochwasserauslösende Niederschlag auf einen Zeitraum von ein bis zwei Tagen, hielt 2013 der Regen über vier bis fünf Tage an. Unterschiede bestehen auch in der Vorfeuchte der Einzugsgebiete und im Verlauf der Hochwasserganglinien. Diese Unterschiede zwischen diesen Ereignissen warfen die Frage auf, wie sich derart extreme Hochwasser im Muldegebiet generell ausbilden. Im Gegensatz zur überwiegend angewandten statistischen Betrachtungsweise, bei der alle, d. h. auch mittlere und kleinere Ereignisse berücksichtigt werden, lag der Fokus dieser Untersuchung auf den kausalen Bedingungen, die für die Entstehung der größten bisher beobachteten Ereignisse maßgebend waren. Sind extreme Hochwasser anders als das Gros der Hochwasser? Was bestimmt die Größe derartiger Ereignisse? Gibt es Muster in der Entstehung extremer Hochwasser? Diese und andere Fragen wurden im Rahmen dieser Analyse untersucht.

Zunächst mussten die Betrachtungen in Hinblick auf die erschließbare Datenbasis auf Ereignisse beschränkt werden, die frühestens in der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts auftraten. Mit den Hochwasserereignissen 1954 und 1958 waren aber zwei sehr große Sommerhochwasser am Beginn dieses Zeitraumes verfügbar. Die Analyse der Sommerhochwasser 1954, 1958, 1995, 2002 und 2013 erfolgte nach einheitlichen Gesichtspunkten. So wurden für alle betrachteten Pegel durch das Landeshochwasserzentrum die Abflussdaten dieser Ereignisse überprüft und im Längsschnitt abgeglichen. Die Niederschlagsdaten wurden mit Hilfe geostatistischer Verfahren (Kriging) zunächst von den Stationen auf die Fläche verteilt und dann zu Gebietsniederschlägen für die einzelnen Pegelinzugsgebiete zusammengefasst.

Eine wesentliche Aufgabe der Untersuchung bestand in der Herausarbeitung der Unterschiede und Gemeinsamkeiten der betrachteten fünf großen Hochwasserereignisse. Hierzu waren die Gebietsniederschläge und die Abflussganglinien der Einzugsgebiete in eine Beziehung zu setzen, um die Auswirkungen unterschiedlicher zeitlicher und räumlicher Niederschlagsverteilungen zu charakterisieren. Die Vielzahl der Einflussfaktoren wie die Verteilung des Niederschlages oder die Unterschiede in den Vorfeuchtebedingungen machten es erforderlich, die analysierten Ereignisse in einen größeren Kontext einzuordnen. Dies erfolgte mit einem Bezug auf alle beobachteten Sommerereignisse im Muldegebiet, die durch Scheitel, Fülle und Formparameter charakterisiert wurden.

Insgesamt gehen die hier dargestellten Untersuchungen inhaltlich sowohl über die Analyse von Einzelereignissen als auch über regional-hydrologische Analysen auf statistischer Grundlage hinaus. Es wurden mehrere extreme Ereignisse betrachtet, deren Genese und Verlauf mit besonderem Bezug zum hochwasserverursachenden Niederschlag nach einheitlichen Gesichtspunkten analysiert und dokumentiert wurden. Im Umfang ihrer Beschreibung wird die seit 1950 deutlich gewachsene Datenbasis sichtbar.

In einer Arbeit, die den Möglichkeiten ihrer Zeit in Hinblick auf den Umfang von Datenerhebungen entsprach, wurden in der ersten Hälfte der 1930er-Jahre die bis dahin größten bekannten Hochwasser im Muldegebiet seit 1433 beschrieben (FICKERT 1935). Diese ist im Anhang als Faksimile enthalten. Vergleichend konnten dort die Hochwasser vom Juli 1897, August 1913, August 1924, Juni 1926, Juli/August 1926 und Januar 1932 betrachtet werden. Leider ist die Darstellung der in der zweiten Hälfte der 1930er- und der 1940er-Jahre aufgetretenen Hochwasser aufgrund kriegsbedingt fehlender Datengrundlagen nicht möglich.

2 Beschreibung des Flussgebietes der Mulde

2.1 Lage und Abgrenzung

Das Flusseinzugsgebiet der Mulden umfasst eine Fläche von 7.390 km² und befindet sich zu 85 % weitgehend im Bundesland Sachsen. Es entwässert die Nordabdachung des Erzgebirges nahezu vollständig. Das Einzugsgebiet der Mulde gehört hydrografisch zum Stromgebiet der Elbe. Es grenzt im Westen an das Flussgebiet der Weißen Elster, die in die Saale mündet, im Süden an das Flussgebiet der Eger und im Osten an die Einzugsgebiete der linksseitigen Nebenflüsse der Oberen und Mittleren Elbe. Das Flussgebiet der Mulde setzt sich aus drei Teileinzugsgebieten zusammen (Abbildung 1). Von West nach Ost sind dies

- das Einzugsgebiet der Zwickauer Mulde (2.352 km²),
- das Zschopau-/Flöha-Gebiet (1.844 km²) und
- das Einzugsgebiet der Freiburger Mulde (985 km² bis zur Zschopaumündung).

Zschopau und Flöha fließen nach ihrem Zusammenfluss als Zschopau in die Freiburger Mulde, die sich bei Großsermuth mit der Zwickauer Mulde vereinigt und die Vereinigte Mulde bilden. Sie verlässt den Freistaat Sachsen etwa 60 km vor ihrer Mündung bei Bad Dübau (Einzugsgebiet: 6.170 km²) und mündet bei Dessau (Sachsen-Anhalt) in die Elbe.

Der bei 759 m über NN bei Muldenberg im Westerzgebirge entspringenden Zwickauer Mulde fließen als bedeutende Nebenflüsse rechtsseitig das Schwarzwasser und kurz oberhalb von Wechselburg die aus Zwönitz und Würschnitz gebildete Chemnitz zu.

Die Zschopau entspringt am Nordhang des Fichtelberges in 1.125 m Höhe über NN, nimmt eine Reihe von Zuflüssen, die das mittlere Erzgebirge entwässern, auf und vereinigt sich bei der Stadt Flöha mit dem rechtsseitigen Zufluss der Flöha, die bei 832 m über NN auf böhmischem Gebiet im Osterzgebirge entspringt.

Der Quellbereich der Freiburger Mulde liegt in etwa 840 m über NN ebenfalls im böhmischen Teil des Osterzgebirges. Der Abfluss in ihrem Unterlauf wird vorrangig durch die von links zufließende Zschopau geprägt, die mit mehr als dem Doppelten zum Abfluss in der Freiburger Mulde beiträgt.

Bei einer generellen Fließrichtung von Süd nach Nord folgen einzelne Flussabschnitte wie zum Beispiel die Oberläufe von Zwickauer Mulde und Flöha 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).

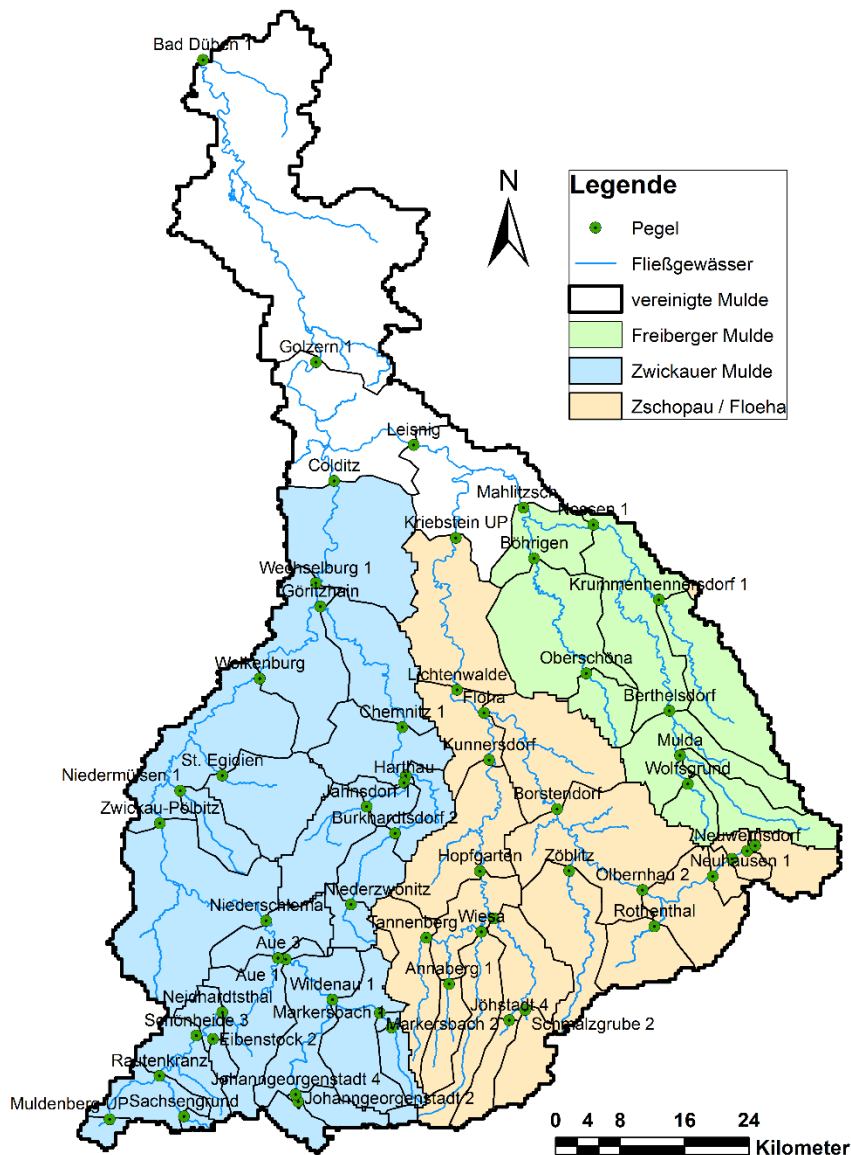


Abbildung 1: Das Flussgebiet der Mulde mit den Haupteinzugsgebieten und den verwendeten Pegeln

2.2 Landschafts- und Naturräume

Das Flussgebiet der Mulde im Freistaat Sachsen ist entsprechend der vorherrschenden Fließrichtung vom Süden in den Norden hauptsächlich in vier naturräumliche Bereiche zu gliedern: in Erzgebirge, Erzgebirgsbecken, Mulde-Lösshügelland und Nordsächsisches Platten- und Hügelland (BERNHARDT et al. 1986). Wie in Abbildung 2 dargestellt, wird der Erzgebirgsraum zudem in West-, Mittel- und Osterzgebirge unterteilt. Die Abgrenzung dieser Teilgebirge wird näherungsweise durch die vorhandenen Fließgewässer bestimmt. So grenzt das Westerzgebirge im Osten an das Schwarzwasser, einem Zufluss zur Zwickauer Mulde und das Osterzgebirge im Westen an die Flöha.

Die Zwickauer Mulde verläuft vom Erzgebirge in das Erzgebirgsbecken und danach im Mulde-Lösshügelland. Die Chemnitz kreuzt ebenfalls das Erzgebirgsbecken, das von der Zschopau nur tangiert

wird. Die Freiburger Mulde verläuft direkt vom Osterzgebirge in das Mulde-Lösshügelland. Die Vereinigte Mulde ist Teil des Nordsächsischen Platten- und Hügellandes bzw. der Düben-Dahleiner Heide.

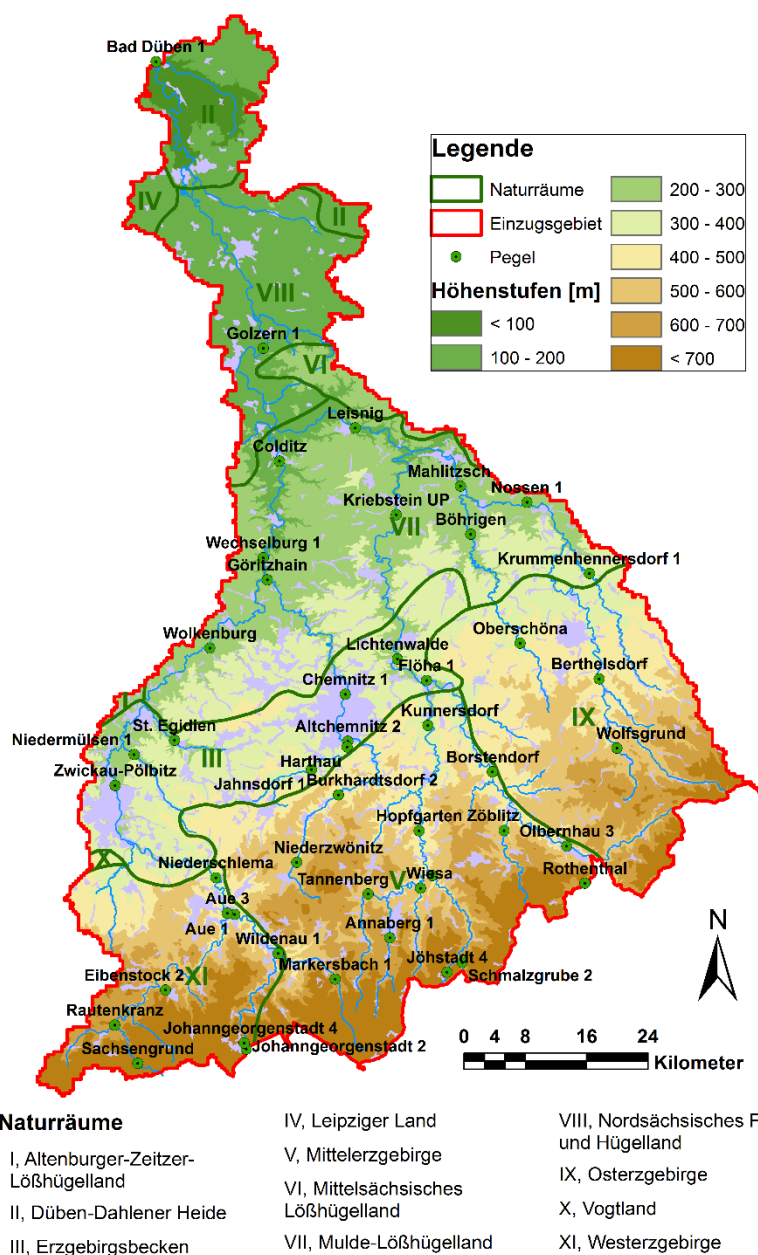


Abbildung 2: Höhenverhältnisse und Naturräume im Flussgebiet der Mulde

Tabelle 1: Flächenanteile der Hauptnaturräume am Einzugsgebiet der Vereinigten Mulde bis zum Pegel Bad Düben 1

Naturräume	Westergebirge	Mittleres Erzgebirge	Osterzgebirge	Erzgebirgsbecken	Mulde Lösshügelland	Gesamt
Fläche [km ²]	583	1.342	976	722	1.212	6.222
Flächenanteil [%]	9,4	21,6	15,7	11,6	19,5	77,8

2.3 Geologie und Pedologie

Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich im Wesentlichen auf Angaben von BERNHARDT et. al. (1986): Das Erzgebirge besteht zum größten Teil aus einer WSW-ONO streichenden und südlich abfallenden Pultscholle, die auf dem Territorium der Tschechischen Republik in einem markanten Steilabfall bricht. Der Charakter eines Gebirges entsteht in dieser Region in erster Linie durch die tiefe Zertalung der Erzgebirgsscholle. Der Gesteinskörper der Erzgebirgsscholle entstammt aus der Großfalte der variszischen Gebirgsbildung und zeichnet sich daher überwiegend durch metamorphes Gestein aus. Durch die Heraushebung des Erzgebirges im Tertiär wurde die Nordabdachung der Pultscholle, von West nach Ost verstärkt, durch Abtrag geprägt. So befinden sich die Para- und Orthogneise als tiefstes Glied der Großfalte im Ost-erzgebirge. Westlich der Para- und Orthogneise schließt sich ein etwa 3–8 km breiter Glimmerschiefergürtel an, dessen Härte durch markante Felsklippenbildung auffällt. Weiter westwärts dominieren hingegen Abwandlungen des Schiefergesteins.

Nördlich des Erzgebirges schließt sich das Erzgebirgsbecken an, das sich in der Höhenlage zwischen etwa 250 m ü. NN in den Haupttälern und wenig über 400 m ü. NN in den höheren Lagen befindet. Das Relief des Erzgebirgsbeckens ist neben der charakteristischen Talasymmetrie durch eine hohe Taldichte gekennzeichnet, wobei Hochflächen und Plateaus fast völlig fehlen. Lediglich die großen nordwärts gerichteten Haupttäler der Zwickauer Mulde, Chemnitz und Zschopau stellen mit ihren breiten Auen und teilweise ausgeprägten Terrassenzügen ruhigere und großräumigere Reliefeinheiten dar. Farblich zeichnet sich das Becken vor allem durch seine auffällige rotbraune bis dunkelrote Gesteinsfärbung aus, die durch das hämatitreiche Sedimentgestein des Rotliegenden hervorgerufen wird. Die mehreren hundert bis gegen tausend Meter mächtigen Serien der Rotliegendensedimente sind Abtragungsprodukte der vergangenen benachbarten Sättel. Zuletzt kommt die Aufwehung von Lösslehmen während der Weichseiszeit als maßgebend für die Naturraumausstattung des Erzgebirgsbeckens hinzu. So befinden sich im Lee der Steilhänge auf den flachen und breiten nord- bis ostexponierten Hängen lokale Lösslehm mächtigkeiten von bis zu 10 m.

Nördlich des Randes von Erzgebirge und Erzgebirgsbecken befindet sich das Mulde-Lösshügelland, der nach dem Erzgebirge zweitgrößte Naturraum im Muldeinzugsgebiet. Das Mulde-Lösshügelland wird von zwei recht konträren Gestaltungselementen aufgebaut. So befinden sich in Höhenlagen zwischen 280 und 380 m ü. NN flachwellige bis hügelige, von Lösssedimenten bedeckte Hochflächen und darin zwischen 50 und 80 m, stellenweise bis zu 120 m eingetieft flussführende Täler; meist Kerbsohlentäler, die stellenweise sogar einen canyonartigen Charakter aufweisen. Vom geologischen Bau gehört das Mulde-Lösshügelland zum größten Teil zum Erzgebirgsblock mit Granulitgebirgsantiklinale, Erzgebirgsmulde und Erzgebirgsantiklinale, wobei der östliche Abschnitt mit Synklinorium zur tektonischen Einheit der Elbtalzone überleitet. Die Reliefgestaltung wird hier entscheidend von den Formen und Sedimenten der pleistozänen Akkumulation und Abtragung geprägt. So wurde nahezu das gesamte Gebiet von elsterzeitlichen Ablagerungen, d. h. sandige und kiesige Schmelzwasserablagerungen, bedeckt. Zudem werden die Hochflächen nahezu geschlossen von äolischen Lössderivaten überkleidet, die meist eine Mächtigkeit von 2 bis 5 m aufweisen, jedoch auch stellenweise Mächtigkeiten von über 10 und unter einem Meter haben.

Die Vereinigte Mulde durchfließt im nördlichen Teil des Einzugsgebietes den Südzügel des Nordsächsischen Platten- und Hügellandes, das sich vornehmlich durch eine enge Verzahnung von flachwelligen Moränenplatten und hügeligen bis stellenweise auch kuppigen Grundgebirgsdurchragungen auszeichnet. Die Moränenplatten stammen aus der Elstereiszeit und bestehen aus Geschiebemergel bzw. Geschiebelehmen, Schmelzwassersedimenten und fluvialen Schotterkörpern. Der gesamte Naturraum wird von Nord nach Süd

zunehmend durch spätweichselzeitliche äolische Sedimente, d. h. vor allem schluffreiche geringmächtige Sandlöss überdeckt.

Die Bodenbildung des Erzgebirges fand überwiegend auf großflächig geschlossenen Gesteinsverwitterungsdecken statt. Lediglich am Nordrand des Erzgebirges treten vereinzelt lössartige Ablagerungen als bodenbildendes Substrat hinzu. Die Form des Ausgangssubstrates ist im hohen Maße von den geomorphologischen Gegebenheiten abhängig und bestimmt die anschließende Bodenbildung. So kommt es als Resultat von Hangabspülungen in Dellen und an sanften Hängen vorzugsweise zur lehmigen Kolluvialbildung. In den Auen hingegen sind geröllhaltige kiesig-sandige Auensedimente verbreitet, die meist von jüngeren Auenlehmen überlagert sind. In den unteren bis mittelhohen Lagen sind vor allem zweigliedrige Verwitterungsdecken mit einer skelettreichen und meist auch verdichteten Basisfolge sowie einer oberen feinbodenreichen Hauptfolge zu finden. In den höheren Lagen wird diese Hauptfolge häufig von einer skelettreichen Deckfolge überlagert. Im Einzelnen ist das Vorkommen an bodenbildenden Substraten im Erzgebirge noch vielgestaltiger. So sind auch vereinzelt vielgliedrige Periglazialdecken, periglaziale Frostmusterböden und gekappte Verwitterungsreste vorzufinden. Aufgrund der breiten Palette an bodenbildenden Ausgangssubstraten ist die Bodentypentwicklung des Erzgebirges ebenfalls sehr vielfältig. Der am häufigsten vorkommende Bodentyp ist der auf den Verwitterungsdecken der nährstoffärmsten Gesteine verbreitete Podsol. Auf den Verwitterungsdecken der Glimmerschiefer sowie auf denen der Tonschiefer und Rotgneise haben sich vor allem Braunpodsole entwickelt. In den Muldenlagen der Hochflächen und auf den Lössderivaten des unteren Berglandes findet man verbreitet Staugleye. Hinzu kommen noch Hangnässeböden und die vor allem in der Aue vorkommenden Gleye bis Braunerdegleye. Zuletzt ist die Moorbildung in den höheren Lagen zu erwähnen, die von Ost nach West stark zunimmt. So haben sich besonders auf den Flachformen des Reliefs Hochmoore entwickelt. Zudem weist das Erzgebirge eine deutliche West-Ost-Differenzierung auf. Diese äußert sich durch einen im Westerzgebirge hohen Anteil an ärmeren, vernässten und vermoorten Böden, wohingegen sich das Osterzgebirge durch fruchtbare und kaum vernässte oder vermoorte Böden auszeichnet.

Die bodenbildenden Ausgangssubstrate des Erzgebirgsbeckens entstammen hauptsächlich dem Jungpaläozoikum und dem Pleistozän, partiell auch aus dem Tertiär und dem Holozän. Es dominieren die Sedimentgesteine des Rotliegenden und lokal des Karbons; beide in Form von Konglomeraten, Sandstein und Schieferton bzw. Letten. Vorherrschend sind die relativ nährstoffreichen Bodentypen der Braunerde und bei hohen Tongehalten die Parabraunerde. Bei geringer Hangneigung bilden sich hingegen meist Braunstaugleye und Staugleye aus. Alle Rotliegendeböden verfügen aufgrund der dunkel rötlichen Färbung über ein stärkeres Erwärmungspotenzial von bis zu 2 bis 3 Kelvin, woraus ein rascheres Abschmelzen der Schneedecke bei Strahlungswetterlagen resultiert.

Im Mulde-Lösshügelland werden die Bodenformen durch das dominierende Ausgangssubstrat der Lössderivate bestimmt. So findet man verbreitet Braunlöss und Fahlerden vor, wobei diese in Abhängigkeit der Morphologie und der süd-südostwärts gerichteten Niederschlagszunahme in Braunstaugleye und Staugleye übergehen. Die Bodenbildung im Nordsächsischen Platten- und Hügelland wird primär durch den vorhandenen Schluffgehalt in den oberflächennahen Substraten bestimmt, wodurch großflächig Fahlerden entstehen. Lediglich bei sehr hohen Sandanteilen wird die Fahlerde von der Braunerde abgelöst.

Die für die Hochwasserentstehung besonders relevanten Bodenkennwerte sind für die fünf wesentlichen Naturräume in Tabelle 2 zusammengestellt. Die Feldkapazität entspricht nach DIN 4220 der Wassermenge, die ein nahezu gesättigter Boden mehrere Tage gegen die Schwerkraft zurückzuhalten vermag. Ein trockener Boden würde diese Wassermenge, wenn sie im Ereignisverlauf infiltriert, zurückhalten. Weil der Boden

nie vollständig trocken ist, sollten stattdessen eher die Werte der nutzbaren Feldkapazität (nFK) verglichen werden. Diese wurden für die obere, 2 m umfassende Bodenzone durch Tiefenmittelung und anschließende Flächenmittelung für die einzelnen Naturräume aus der Sächsischen Bodenkarte ermittelt (Tabelle 2, Abbildung 3). Die Hauptnaturräume weisen deutlich unterschiedliche Werte auf. Im Mulde-Lösshügelland beträgt dieser Speicherraum 255 mm, im Mittleren und im Westerzgebirge dagegen um 100 mm. Hydrologisch bedeutsamer ist allerdings der Speicherraum bis zur ersten Sprungschicht der vertikalen Durchlässigkeit des Bodens. Eine Sprungschicht wird hier durch eine Abnahme der vertikalen Durchlässigkeit um mindestens 10 cm/d definiert. Entsprechend der Schichtung der oberen Bodenzone ergeben sich daraus Reduzierungen des Bodenspeicherraumes im West- und Mittelerggebirge, der in diesem Bereich damit deutlich kleiner als in anderen Naturräumen ist (Abbildung 4). Die Luftkapazität entspricht dem Porenanteil im Boden, der bei Feldkapazität mit Luft gefüllt ist. Er charakterisiert den durch weite Grobporen gebildeten aktiven Speicherraum des Bodens, der bei Starkregen gefüllt und allmählich entleert werden kann. Wiederum ist dieser in den Naturräumen des Erzgebirges deutlich kleiner als im Erzgebirgsbecken oder dem Mulde-Lösshügelland. Neben der Größe der Bodenspeicher ist die Durchlässigkeit des Bodens, charakterisiert durch den Durchlässigkeitsbeiwert (k_f -Wert), für die Hochwasserprozesse maßgebend. In Tabelle 2 werden nur die k_f -Werte der obersten Bodenzone, differenziert nach Klassen und Flächenanteilen dargestellt. Weil diese vertikale Durchlässigkeit durch Grobporen (z. B. Wurzelbahnen in bewaldeten Teilgebieten) erhöht, durch Porenverschlämmung bei hohen Niederschlagsintensitäten bei Ackerflächen aber auch wesentlich vermindert werden kann, dienen diese Angaben nur dem relativen Vergleich. Zwischen den einzelnen Naturräumen bestehen somit folgende Unterschiede in den Bodeneigenschaften: Im Erzgebirgsbecken und dem Mulde-Lösshügelland ist eine deutlich höhere Bodenspeicherkapazität vorhanden, die aber in Folge der weit verbreiteten geringeren vertikalen Durchlässigkeit der Böden (Staugleye und Pseudostaugleye) bei hohen Intensitäten nicht vollständig genutzt werden kann. Hierzu trägt auch der höhere Anteil verschlämmungsgefährdeter, ackerbaulich genutzter Lössböden (Mulde-Lösshügelland) oder urbaner Flächen (Erzgebirgsbecken, siehe Kapitel 2.4) bei. Der Bodenspeicherraum ist in den Naturräumen des Erzgebirges deutlich geringer, wird aber aufgrund der besseren Durchlässigkeit der oberen Bodenzone auch bei höheren Intensitäten des Niederschlages prozesswirksam. Es bestehen zum Teil deutliche Unterschiede zwischen dem West- und dem Osterzgebirge, die sich auch in den Landnutzungen (Kapitel 2.4) widerspiegeln.

Tabelle 2: Zusammengefasste Bodenkennwerte der verschiedenen Naturräume

Naturräume	Muldelösshügelland	Erzgebirgsbecken	Westerzgebirge	Mittlerzgebirge	Osterzgebirge
Feldkapazität [mm]	525	366	221	212	250
Nutzbare Feldkapazität [mm]	255	190	108	103	131
Luftkapazität [mm]	80	57	37	37	43
Gesamtporenvolumen [mm]	605	423	257	248	292
Nutzbare Feldkapazität unter Berücksichtigung von Sprungschichten der vertikalen Durchlässigkeit [mm]	225	174	64	74	120
Flächenanteile mit k_f -Werten der obersten Bodenzone < 5 cm/d	0,0	0,0	4,9	0,0	0,0
k_f -Werten der obersten Bodenzone von 6 bis 10 cm/d	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
k_f -Werten der obersten Bodenzone von 11 bis 15 cm/d	81,5	35,2	9,5	2,5	14,3
k_f -Werten der obersten Bodenzone von 16 bis 25 cm/d	2,0	50,1	9,4	51,5	67,9
k_f -Werten der obersten Bodenzone von 26 bis 65 cm/d	13,6	14,2	76,2	46,0	17,6

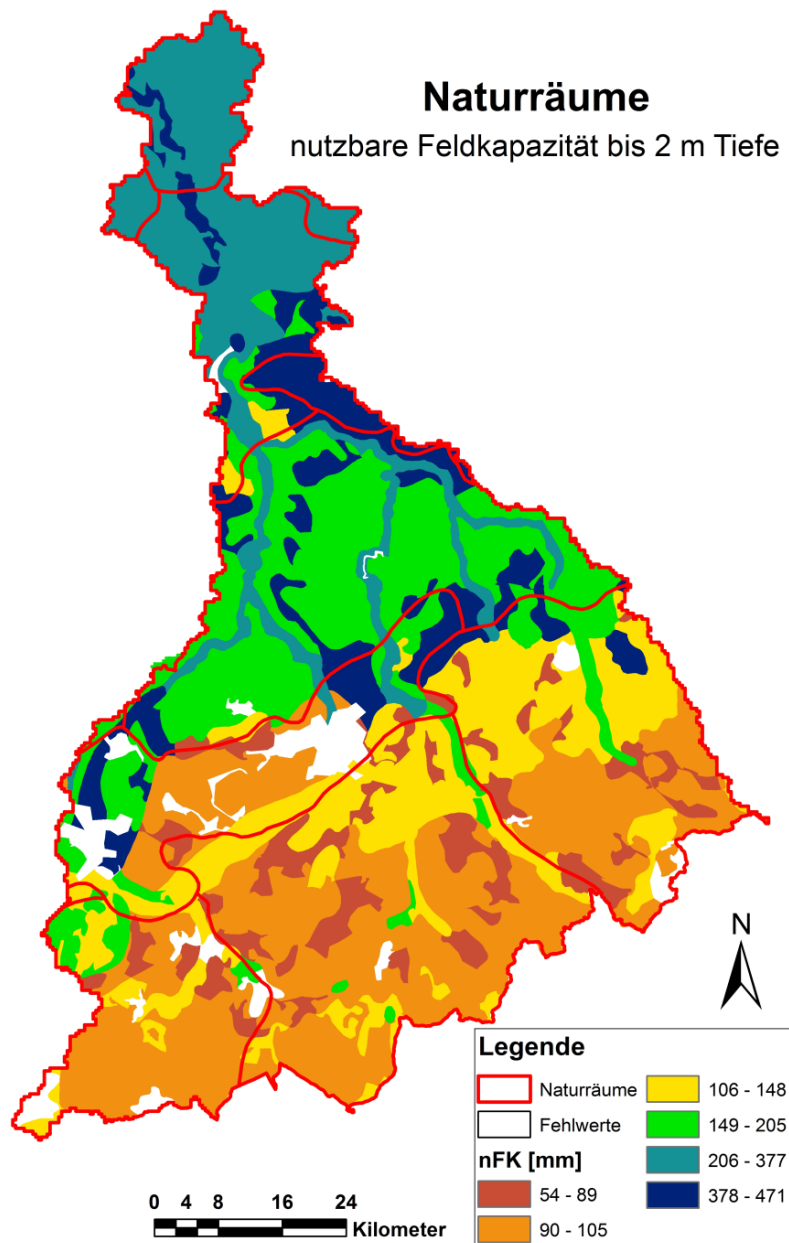


Abbildung 3: Karte der tiefengemittelten Feldkapazität in den oberen 2 m des Bodenhorizontes mit Naturraumgrenzen

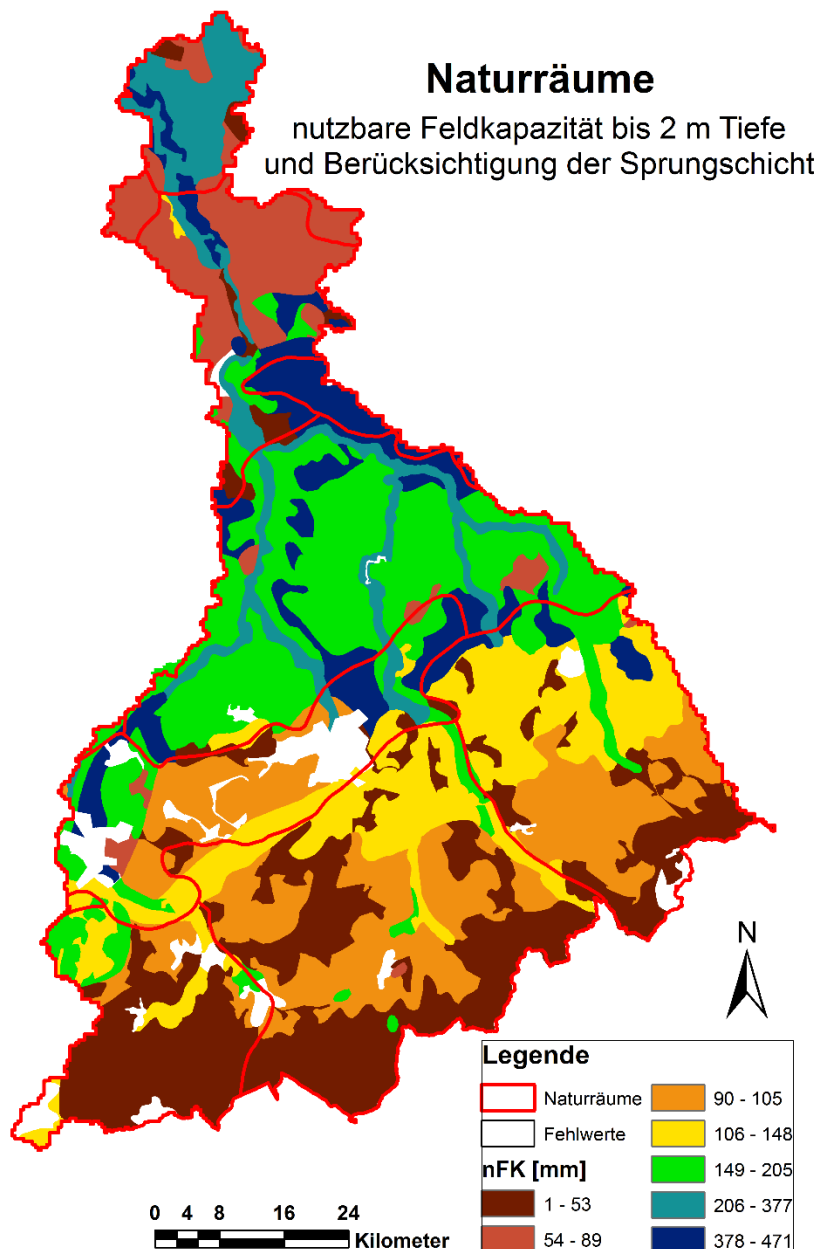


Abbildung 4: Karte der tiefengemittelten Feldkapazität in den oberen 2 m des Bodenhorizontes bzw. bis zur ersten Sprungschicht der vertikalen hydraulischen Leitfähigkeit mit Naturraumgrenzen

Neben dem Speicherraum ist die Durchlässigkeit der obersten Bodenschicht, die vertikale hydraulische Leitfähigkeit (Angabe in cm/d) ein hydrologisch wesentliches Merkmal des Bodens. In Tabelle 2 sind die entsprechenden Werte, geordnet nach Durchlässigkeitsklassen und relativen Flächenanteilen am Naturraum, zusammengestellt. Ersichtlich wird eine geringe Durchlässigkeit bei bindigen Böden (insbesondere im Mulde-Lösshügelland). Die hydraulischen Leitfähigkeiten unterscheiden sich in den drei Naturräumen des Erzgebirges deutlich. Sie sind besonders hoch im Westerzgebirge und deutlich niedriger im Osterzgebirge.

2.4 Flächennutzung

Tabelle 3 zeigt eine Übersicht über die Flächenanteile der Hauptnutzungsarten, aufgeschlüsselt auf die fünf Naturräume. Die Datengrundlage für die Bestimmung der Flächenanteile bildete das CORINE-Land-Cover Europe (CLC-EU)¹ der European Environment Agency (EEA) mit dem Stand von 2006.

Tabelle 3: Flächenanteile von Hauptnutzungsarten in % auf Basis des CLC-EU (2006)

Nutzungsart	Mulde Lösshügelland	Erzgebirgsbecken	West- erzgebirge	Mittleres Erzgebirge	Ost- erzgebirge	Gesamt- gebiet
Ackerland	67,7	47,4	10,8	24,8	49,6	48,2
Wirtschaftsgrünland	10,8	11,6	15,8	25,7	20,4	15,0
Wald	11,8	12,6	63,1	40,9	22,8	25,9
Bebauung (Siedlungen, Gewerbe, Industrie, Verkehrsflächen)	9,6	28,3	9,5	8,5	6,8	10,5
Gewässer	0,1	0,1	0,8	0,1	0,4	0,5

Im Flussgebiet dominiert der Anteil landwirtschaftlicher Flächen (Ackerland und Wirtschaftsgrünland). Er beträgt je nach Naturraum bis zu 80 %. In den verschiedenen Naturräumen sind die Anteile der Ackerflächen gegenüber dem Wirtschaftsgrünland jedoch sehr unterschiedlich (Abbildung 5). Überwiegt im Westerzgebirge das Grünland den Ackeranteil, kehrt sich diese Relation zum Osterzgebirge hin um. Auch der Waldanteil zeigt eine deutliche Abnahme von West nach Ost. Umfasst er im Westerzgebirge noch 63 % aller Flächen, so reduziert er sich bis zum Osterzgebirge auf 23 %. Hier wird, wie auch im nördlich anschließenden Mulde-Lösshügelland, der Ackeranteil landschaftsbestimmend. Durch die Unterschiede der Landnutzungen von Nord nach Süd und im Naturraum des Erzgebirges von West nach Ost ergeben sich Unterschiede in den Abflussverhältnissen, die durch die klimatischen Bedingungen, die sich ebenfalls von Nord nach Süd und von West nach Ost verändern, verstärkt werden.

¹ <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data#c12=corine+land+cover+version+13>

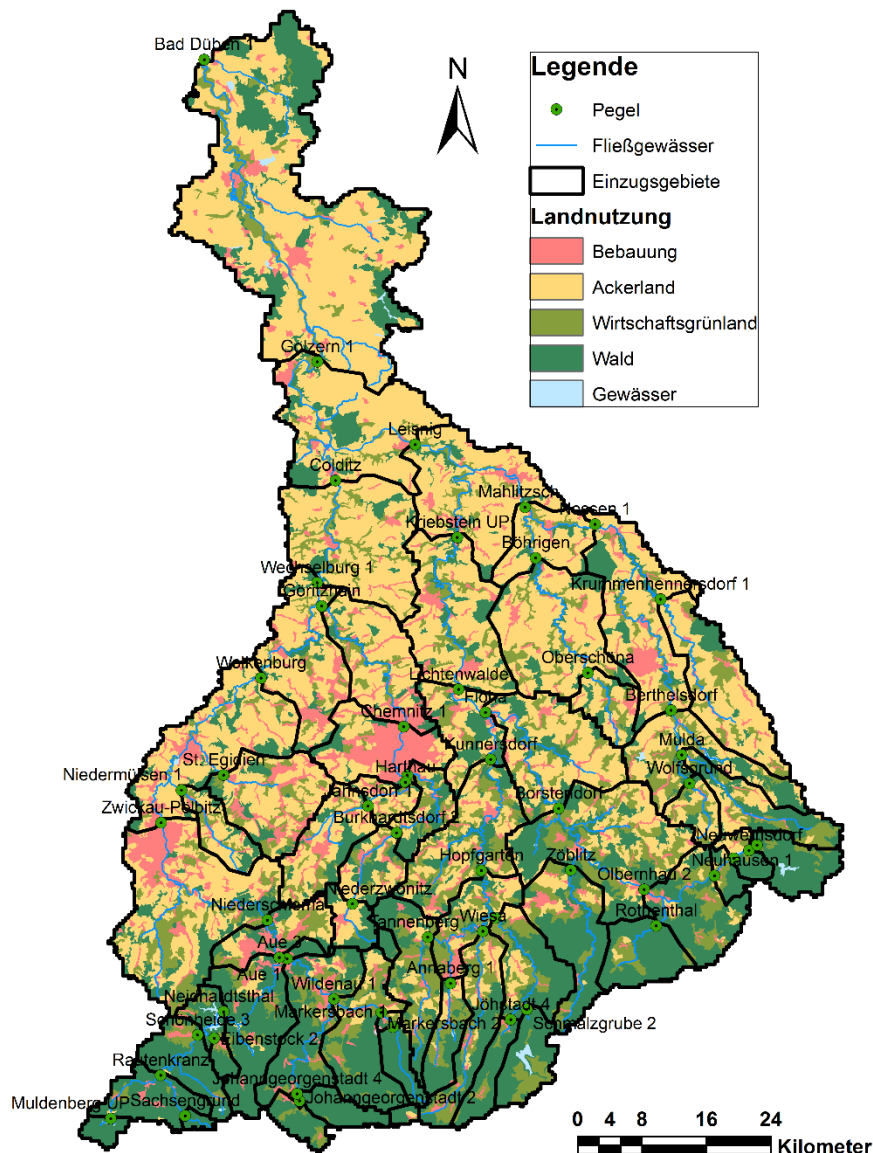


Abbildung 5: Übersichtskarte der Landnutzung im Muldegebiet mit Einzugsgebietsgrenzen der Pegel

2.5 Klimatische Verhältnisse

Das Erzgebirge weist eine thermische und hygri sche Höhendifferenzierung auf. Die thermische äußert sich durch einen mit der Höhe abnehmenden Temperaturgradienten von durchschnittlich 0,6 Kelvin pro 100 Höhenmeter. Die hygri sche Höhendifferenzierung zeigt sich hingegen durch eine Zunahme der jährlichen Niederschlagssumme mit zunehmender Höhe (Tabelle 4).

Die Niederschlagsverteilung des Erzgebirges ist aufgrund der topografischen Lage, der Orografie und der vorherrschenden Luftströmungen sehr differenziert. Vor allem in den Hoch- und Gipfellagen lässt sich eine signifikante Änderung im Niederschlagsregime beobachten, die neben dem üblichen mitteleuropäischen Sommermaximum ein sekundäres Wintermaximum aufweisen. Bei einer großräumigen Betrachtung der Niederschlagsverteilung lässt sich feststellen, dass sich das Erzgebirge aufgrund der in der nördlichen Hemisphäre vorherrschenden westlichen Luftströmung in zwei Teile gliedert; nämlich in das vornehmlich mari-

tim geprägte Westerzgebirge und das vielmehr kontinental beeinflusste Osterzgebirge (BERNHARDT et al. 1986; Tabelle 4). Aus diesem Zusammenhang ergibt sich eine deutliche west-östliche Niederschlagsabnahme. Diese Niederschlagsabnahme ist jedoch nicht in Größe und Intensität kontinuierlich, sondern vielmehr von regionalen Reliefkonfigurationen wie lokalen Luv- und Leeeffekten abhängig. Die gegenüber den Winterniederschlagen 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). Auch die Temperaturverhältnisse deuten eher auf kontinentale Klimaverhältnisse hin (Meteorologischer und Hydrologischer Dienst 1953).

Das Erzgebirgsbecken zeigt eine eher homogene Niederschlagsverteilung. Großräumig dominieren mittlere Jahresniederschläge (1981–2010) von ca. 750 mm/a, die lediglich an der Grenze zum im Lee liegenden Vogtland mit 690–720 mm/a unterschritten und mit 780–800 mm/a an der Wasserscheide zwischen Zwickauer Mulde und Chemnitz überschritten werden.

Die klimatischen Bedingungen im nördlich angrenzenden Mulde-Lösshügelland werden zum größten Teil von der schräggestellten Erzgebirgsscholle bestimmt. So nimmt die Jahresniederschlagssumme aufgrund von Stauwirkungen von N-NW nach S-SO von 700 mm bis auf 800 mm zu. Zudem weist die jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge einen relativ hohen Anteil an Winterniederschlagen auf.

Im Nordsächsischen Platten- und Hügelland sind die Jahresniederschlagssummen mit 600 mm relativ gering.

Tabelle 4: Mittlere Niederschläge pro Monat und Jahr ausgewählter Stationen im Flussgebiet der Mulde mit Zuordnung zu den Naturräumen

Naturraum	Station	Höhe [m HN]	Mittlerer Niederschlag [mm] (Jahresreihe 1981–2010)												Jahr
			J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
West- erzgebirge	Carlsfeld	897	96	85	104	75	92	106	127	122	99	84	104	111	1205
Mittleres Erzgebirge	Fichtelberg	1213	86	81	96	74	87	102	119	122	89	75	97	102	1130
Ost- erzgebirge	Marienberg	639	56	51	64	59	74	89	106	108	71	56	68	63	865
Erzgebirgs- becken	St. Egidien	321	49	47	57	51	67	74	93	88	63	48	63	60	760
	Chemnitz	418	43	39	51	47	66	73	92	95	63	48	58	55	731
Mulde- Lösshügelland	Colditz	192	49	43	54	44	59	63	79	73	51	42	57	60	672
	Nossen	308	55	48	60	48	65	67	92	87	58	48	62	63	753

Bezüglich der innerjährlichen Verteilung der Niederschläge zeigen die verschiedenen Naturräume ein weitgehend ähnliches Verhalten (Abbildung 6). Die monatlichen Niederschläge erreichen im Sommer (Juni bis August) mit jeweils 10 bis 13 % der Jahressummen ihre Maximalwerte. Die Niederschläge im November und Dezember sind deutlich höher als die Januar- und Februarwerte.

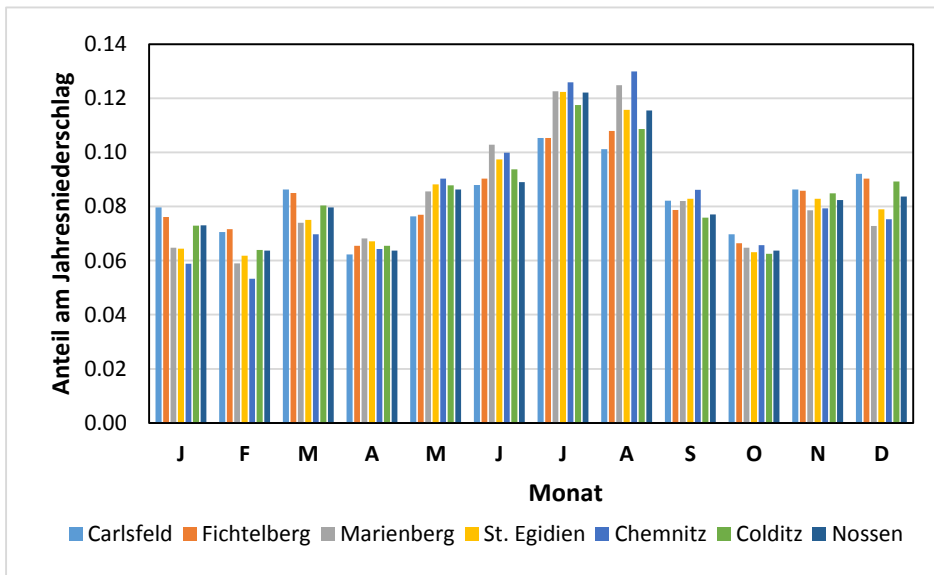


Abbildung 6: Monatliche Niederschlagsmittelwerte ausgewählter Stationen 1981–2010, dargestellt als Anteile am Jahresniederschlag

2.6 Hydrologische Verhältnisse

Das Abflussregime im Gebiet der Mulden wird in besonderem Maße durch den saisonalen Niederschlagsverlauf geprägt. Im Jahresgang zeigt sich in den Gebirgslagen der in der Regel durch Schneeschmelze gekennzeichnete April als abflussreichster Monat (Abbildung 7). Im Hügel- und Tieflandbereich erfolgt die Schneeschmelze früher, sodass dort im Mittel schon der März die höchsten Abflüsse aufweist. Bei der monatsweisen Betrachtung der mittleren Hochwassererhältnisse wird die abflusserhöhende Wirkung sommerlicher Niederschläge unabhängig von ihrer Dauer und Intensität deutlich. Das Hochwasserregime weist deshalb im Zeitraum Juli/August ein zweites Maximum auf, das einzugsgebietsabhängig auch in der Größenordnung des März/April-Maximums liegen kann. Ein drittes lokales Maximum findet sich im Jahresverlauf der mittleren Hochwasserabfluss-Spenden im Januar, das auf dem durch Warmluftzufuhr hervorgerufenen „Weihnachtstauwetter“ um den kalendarischen Jahreswechsel beruht.

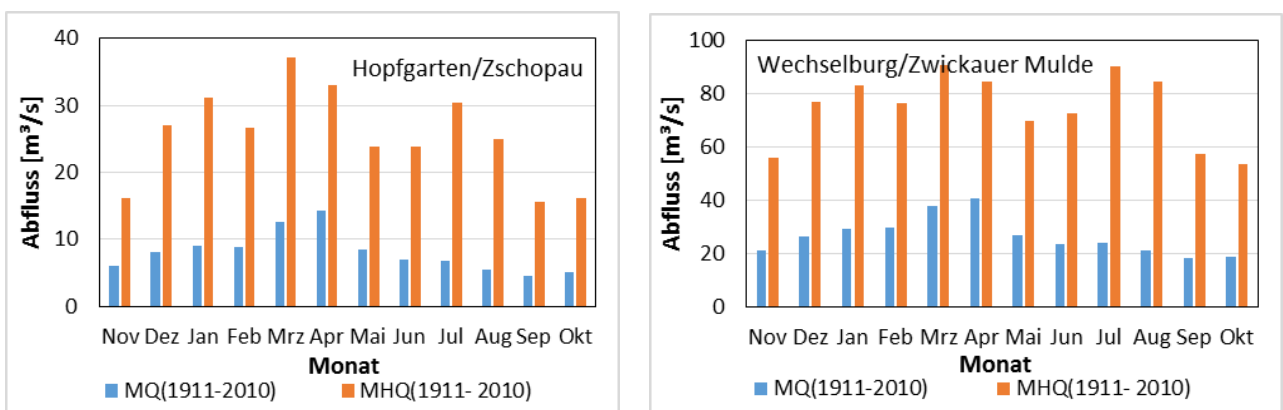


Abbildung 7: Jahresgänge der langjährigen mittleren Abflüsse MQ und der langjährigen mittleren Hochwasserabflüsse MHQ der Pegel Hopfgarten/Zschopau und Wechselburg/Zwickauer Mulde

Die Niederschläge zeigen eine deutliche Reliefabhängigkeit in Form von lokalen Luv- und Lee-Effekten. Die geografische Lage des Erzgebirges bedingt generell anhaltende Stauerscheinungen bei zyklonalen Nordwest- bis Nordwetterlagen an seinem Nordrand. Im Zusammenhang mit Troglagen stehende Aufgleitvorgänge im Grenzbereich 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 5). 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. Auch in den übrigen Monaten eines Jahres ist das Auftreten von Hochwasser nie ausschließbar und durch zahlreiche Beispiele belegt. Die mittleren Hochwasserabflüsse liegen in etwa zwischen dem 8 und 10-Fachem der Jahres-MQ-Werte.

Tabelle 5: Abflussspenden bei MQ und MHQ ausgewählter Pegel im Muldegebiet

Pegel	Gewässer	AE [km ²]	Mq (bis 2012) [m ³ /s*km ²]	MHq (bis 2011) [m ³ /s*km ²]	MHQ/MQ
Golzern 1	Vereinigte Mulde	5432,5	0,011	0,096	8,4
Aue 1	Schwarzwasser	362,9	0,017	0,184	10,6
Zwickau-Pölbitz	Zwickauer Mulde	1021,1	0,014	0,127	9,0
Göritzchain	Chemnitz	532,4	0,012	0,135	11,4
Wechselburg 1	Zwickauer Mulde	2098,8	0,012	0,104	8,4
Hopfgarten	Zschopau	530,3	0,015	0,154	10,2
Lichtenwalde 1	Zschopau	1572,2	0,014	0,140	10,0
Borstendorf	Flöha	639,6	0,014	0,145	10,1
Nossen 1	Freiberger Mulde	586,1	0,012	0,119	10,1

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 et al. 2001). Die Hochwasserverhältnisse sind somit durch häufige, nahezu jährliche Winterhochwasser (bei einer Festlegung des Hochwassergrenzwertes bei dem 2,5-fachen MQ-Wert) und seltener Sommerhochwasser geprägt. Die Sommerhochwasser sind jedoch in der Regel durch wesentlich höhere Scheitelabflüsse gekennzeichnet. Exemplarisch sind in Abbildung 8 die Jahreshöchstwerte der Abflüsse der Reihe 1936–2013 am Pegel Berthelsdorf/Freiberger Mulde, getrennt nach deren Auftreten im Winter- (November–April) und Sommerhalbjahr (Mai–Oktober) dargestellt (SCHUMANN 2005). Die gleichen Ordinate nmaßstäbe verdeutlichen höhere Sommerhochwasser, die in der Reihe der Jahreshöchstabflüsse jedoch wesentlich seltener vertreten sind.

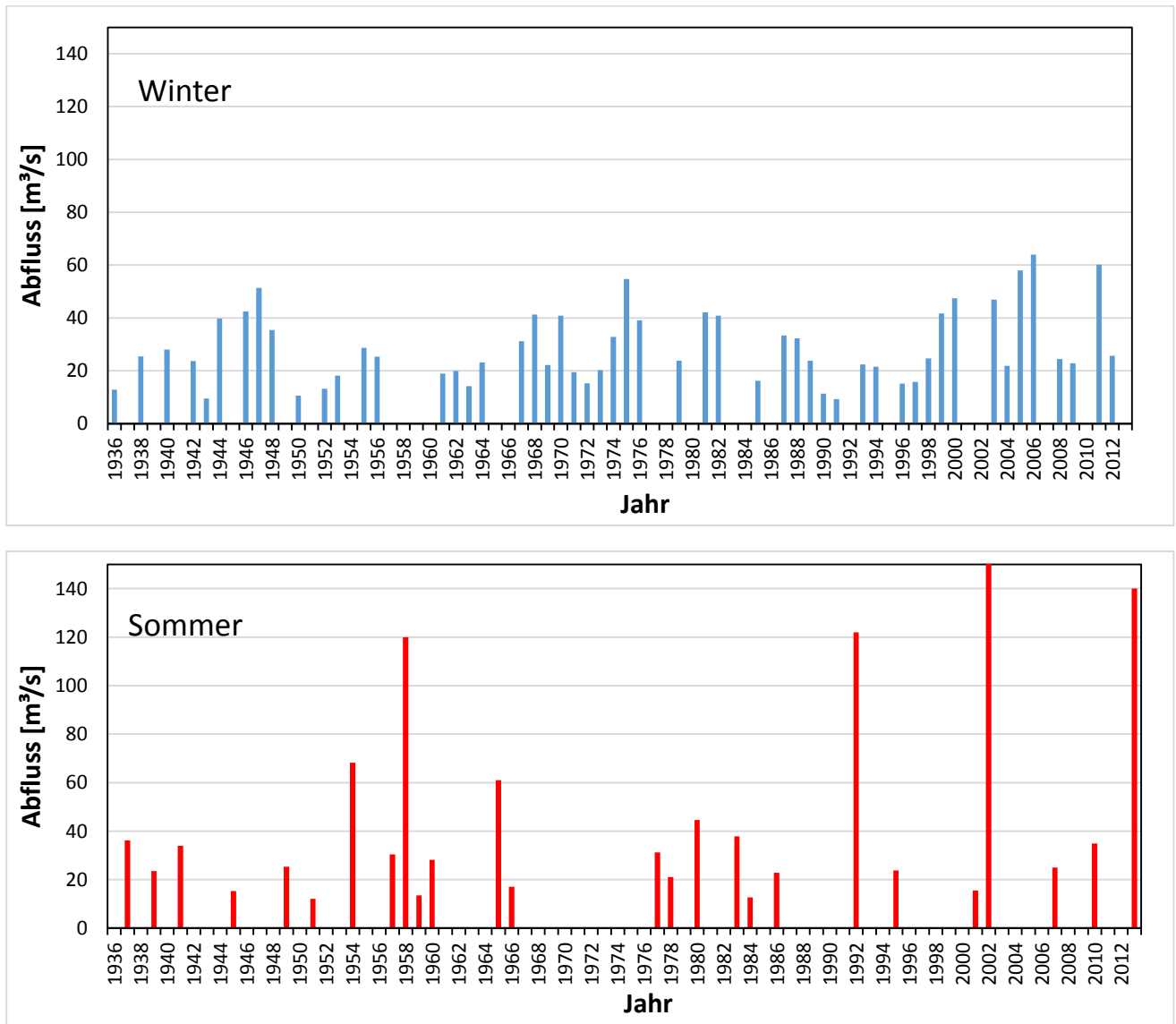


Abbildung 8: Winterhochwasser (oben) und Sommerhochwasser (unten) innerhalb der Reihe der Jahreshöchstabflüsse 1936–2013 am Pegel Berthelsdorf/Freiberger Mulde bei gewähltem Hochwasserschwellenwert von 2,5-MQ

(Der Jahreshöchstwert 2002 betrug $360 \text{ m}^3/\text{s}$ und ist aus Gründen der vergleichenden Darstellung nicht in der richtigen Höhe angezeigt.)

3 Gewässerkundliche Pegel

Einen Überblick über die Pegel und deren Einzugsgebiete, für die bei mindestens einem der betrachteten Hochwasser (nach 1950) zur Auswertung geeignete Abflussdaten vorlagen, gibt Abbildung 1. In den nachfolgenden zwei Tabellen sind die wesentlichen Kenngrößen dieser Pegel und Einzugsgebiete zusammengestellt. In Tabelle 6 sind Fließstrecken (innerhalb des Einzugsgebietes und vom jeweiligen Pegel bis zum Pegel Bad Dübener See) sowie die Gebietshöhen und Landnutzungsanteile angegeben. Tabelle 7 enthält neben dem Gefälle wesentliche Bodenparameter als flächen- und tiefengewichtete Mittelwerte.

Tabelle 6: Gebietskennwerte der verwendeten Pegel

Erläuterung: Die Mittlere Fließlänge bezeichnet den Mittelwert der Fließlängen der Rasterflächen bis zum jeweiligen Pegel, die Fließstrecke bis zum Pegel Bad Dübren 1 bezieht sich auf die Gewässerstrecke vom jeweiligen Pegel.

Pegelkennzahl	Name	Fließgewässer	AE [km ²]	Mittlere Fließlänge [km]	Fließstrecke bis Pegel Bad Dübren 1 [km]	Gebiets-höhe [m ü.NN]	Landnutzungsanteile					Beobachtet seit
							Städtisch	Acker	Grünland	Wald	Wasser	
56329.0	Sachsengrund	Große Pyra	6,47	1,46	243,8	892,17	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1970
56201.0	Rautenkranz	Zwickauer Mulde	88,3	5,22	236,4	765,89	0,03	0,02	0,04	0,90	0,01	1903
56346.0	Eibenstock 2	Rähmerbach	14,2	3,80	223,9	780,74	0,09	0,00	0,13	0,79	0,00	1984
56203.1	Aue 3	Zwickauer Mulde	682	25,23	202,2	719,13	0,06	0,04	0,15	0,73	0,01	1985
56380.0	Johanngeorgenstadt 2	Breitenbach	26,0	1,28	235,4	858,38	0,05	0,00	0,21	0,74	0,00	1965
56375.0	Johanngeorgenstadt 3/4	Schwarzwasser	74,3	4,11	234,4	883,11	0,05	0,00	0,10	0,85	0,00	1903
56388.0	Markersbach 1	Große Mittweida	30,1	6,44	225,2	843,14	0,00	0,03	0,02	0,95	0,00	1973
56395.0	Wildenau 1	Große Mittweida	166	13,41	214,7	741,51	0,05	0,09	0,22	0,64	0,00	2006
56379.0	Aue 1	Schwarzwasser	363	25,16	203,3	737,61	0,07	0,06	0,19	0,68	0,00	1927
56204.0	Niederschlema	Zwickauer Mulde	754	31,87	194,4	697,41	0,08	0,06	0,15	0,70	0,01	1927
56207.0	Zwickau-Pölbitz	Zwickauer Mulde	1021	49,05	165,5	617,02	0,11	0,17	0,16	0,55	0,00	1927
56420.1	Niedermülsen 1	Mülsenbach	49,6	9,39	160,0	369,06	0,08	0,57	0,15	0,20	0,00	1965
56429.0	St. Egidien	Lungwitzbach	122	10,77	157,3	362,94	0,17	0,50	0,19	0,14	0,00	2009
56209.0	Wolkenburg	Zwickauer Mulde	1416	65,94	132,9	539,85	0,12	0,29	0,15	0,44	0,00	1960
56461.1	Jahnsdorf 1	Würschnitz	103	11,07	159,6	450,61	0,15	0,52	0,13	0,20	0,00	1991
56462.0	Harthau	Würschnitz	136	15,81	151,8	438,14	0,15	0,53	0,14	0,18	0,00	1963
56450.0	Niederzwönitz	Zwönitz	31,5	6,54	183,6	604,56	0,09	0,42	0,02	0,47	0,00	1903
56450.5	Burkhardtsdorf 2	Zwönitz	93,0	12,96	170,3	560,67	0,12	0,41	0,12	0,36	0,00	1991
56453.1	Altchemnitz 2	Zwönitz	144	25,16	151,1	523,20	0,12	0,37	0,15	0,36	0,00	1984

Pegelkennzahl	Name	Fließgewässer	AE [km²]	Mittlere Fließlänge [km]	Fließstrecke bis Pegel Bad Dübén 1 [km]	Gebiets-höhe [m ü.NN]	Landnutzungsanteile					Beobachtet seit
							Städtisch	Acker	Grünland	Wald	Wasser	
56440.0	Chemnitz 1	Chemnitz	403	24,42	141,4	445,88	0,25	0,41	0,12	0,22	0,00	1917
56441.0	Göritzhein	Chemnitz	532	44,14	112,6	409,45	0,24	0,45	0,12	0,19	0,00	1909
56211.5	Wechselburg 1	Zwickauer Mulde	2099	75,76	107,9	489,12	0,15	0,35	0,14	0,36	0,00	1909
56213.5	Colditz	Zwickauer Mulde	2326	67,67	107,9	465,07	0,14	0,39	0,14	0,33	0,00	2006
56740.0	Tannenberg	Zschopau	91,5	9,15	215,0	646,59	0,06	0,16	0,37	0,41	0,00	1933
56759.0	Annaberg 1	Sehma	48,6	8,71	218,9	752,29	0,09	0,12	0,31	0,48	0,01	1994
56770.0	Wiesa	Pöhlbach	86,4	15,58	204,0	742,11	0,08	0,18	0,37	0,37	0,00	1959
56789.0	Jöhstadt 4	Jöhstädter Schwarzwasser	40,8	7,36	223,8	847,82	0,03	0,00	0,17	0,80	0,00	2003
56784.0	Schmalzgrube 2	Preßnitz	62,1	3,33	220,8	796,66	0,00	0,00	0,26	0,69	0,05	1965
56785.0	Streckewalde	Preßnitz	206	19,02	201,7	743,00	0,02	0,08	0,25	0,64	0,02	1920
56742.0	Hopfgarten	Zschopau	530	27,93	191,7	696,83	0,06	0,15	0,32	0,47	0,01	1909
56743.5	Kunnersdorf	Zschopau	678	44,43	167,5	645,67	0,07	0,20	0,32	0,41	0,00	1999
56835.0	Rothenthal	Natzschung	75,9	4,54	213,3	752,17	0,01	0,02	0,14	0,83	0,00	1927
56813.0	Olbernhau 3	Flöha	314	14,36	205,3	712,60	0,03	0,07	0,19	0,70	0,01	2012
56840.0	Zöblitz	Schwarze Pockau	125	5,94	196,9	698,70	0,06	0,12	0,21	0,61	0,00	1936
56816.0	Borstendorf	Flöha	640	25,46	183,9	653,59	0,04	0,16	0,22	0,58	0,00	1928
56744.0	Flöha 1	Flöha	796	45,37	158,0	610,45	0,05	0,25	0,20	0,50	0,00	2010
56745.1	Lichtenwalde 1	Zschopau	1572	51,84	152,8	612,17	0,06	0,23	0,25	0,45	0,00	1909
56747.0	Kriebstein UP	Zschopau	1754	77,22	120,8	579,62	0,07	0,27	0,24	0,42	0,00	1932
56700.0	Wolfsgrund	Chemnitzbach	35,8	6,80	188,0	612,70	0,05	0,49	0,31	0,15	0,00	1919
56601.0	Berthelsdorf	Freiberger Mulde	245	16,85	174,8	594,11	0,04	0,40	0,28	0,27	0,01	1934

Pegelkennzahl	Name	Fließgewässer	AE [km²]	Mittlere Fließlänge [km]	Fließstrecke bis Pegel Bad Dübener 1 [km]	Gebiets-höhe [m ü.NN]	Landnutzungsanteile					Beobachtet seit
							Städtisch	Acker	Grünland	Wald	Wasser	
56722.1	Krummenhennersdorf 1	Bobritzsch	131	19,44	148,1	464,13	0,07	0,66	0,17	0,11	0,00	1991
56604.0	Nossen 1	Freiberger Mulde	586	41,86	130,5	483,02	0,08	0,53	0,19	0,20	0,00	1925
56730.0	Oberschöna	Große Striegis	52,8	7,74	155,4	470,56	0,12	0,53	0,18	0,17	0,00	1952
56731.0	Böhrigen	Striegis	253	21,95	128,1	386,45	0,07	0,63	0,15	0,14	0,00	1903
56605.5	Mahlitzsch	Freiberger Mulde	910	44,75	117,8	438,38	0,08	0,58	0,17	0,17	0,00	2005
56608.5	Leisnig	Freiberger Mulde	2878	85,68	95,4	511,99	0,07	0,40	0,20	0,32	0,00	2007
56002.1	Golzern 1	Vereinigte Mulde	5433	112,08	62,4	477,33	0,10	0,41	0,17	0,32	0,00	1910
56005.1	Bad Dübener 1	Vereinigte Mulde	6170	162,49	0,0	436,39	0,10	0,44	0,16	0,30	0,00	1960

Tabelle 7: Gebietskennwerte der verwendeten Pegel

Erläuterung: GPV bezeichnet das Gesamtporenvolumen, FK die Feldkapazität, LK die Luftkapazität, jeweils als tiefengemittelter Wert über 2 m obere Bodenzone. Der kf-Wert ist als gemittelter Wert und als Wert der obersten Bodenschicht (beeinflusst die Infiltration) angegeben. Es handelt sich jeweils um flächengemittelte Werte.

Pegelkennzahl	Name	Fließgewässer	AE [km²]	Gefälle [%]	GPV bis 2m [mm]	FK bis 2m [mm]	LK bis 2m [mm]	Mittlerer kf-Wert [cm/d]	kf-Wert oberste Bodenschicht [cm/d]
56329.0	Sachsengrund	Große Pyra	6,47	15,96	269,00	232,00	38,00	16,72	33,51
56201.0	Rautenkranz	Zwickauer Mulde	88,3	11,15	256,90	220,52	37,18	22,32	36,11
56346.0	Eibenstock 2	Rähmerbach	14,2	17,01	271,47	231,78	40,47	13,94	41,19
56203.1	Aue 3	Zwickauer Mulde	682	14,53	256,57	220,33	36,88	16,82	38,82
56380.0	Johanngeorgenstadt 2	Breitenbach	26,0	12,41	269,00	232,00	38,00	17,25	45,00
56375.0	Johanngeorgenstadt 3/4	Schwarzwasser	74,3	11,41	269,00	232,00	38,00	16,93	45,00
56388.0	Markersbach 1	Große Mittweida	30,1	17,78	269,65	231,94	38,65	13,22	43,99
56395.0	Wildenau 1	Große Mittweida	166	16,47	261,46	225,07	36,94	11,91	35,43
56379.0	Aue 1	Schwarzwasser	363	14,95	257,38	221,54	36,38	13,31	36,52
56204.0	Niederschlema	Zwickauer Mulde	754	14,41	254,81	218,96	36,43	16,37	37,57
56207.0	Zwickau-Pölbitz	Zwickauer Mulde	1021	12,95	272,67	235,17	37,97	17,26	33,60
56420.1	Niedermülsen 1	Mülsenbach	49,6	11,12	365,95	327,42	38,53	9,11	23,25
56429.0	St. Egidien	Lungwitzbach	122	8,63	274,10	239,00	35,18	5,68	17,31
56209.0	Wolkenburg	Zwickauer Mulde	1416	11,58	330,34	287,29	43,41	15,22	29,13
56461.1	Jahnsdorf 1	Würschnitz	103	6,83	242,56	204,00	39,09	13,04	21,71
56462.0	Harthau	Würschnitz	136	7,33	243,69	204,46	39,80	13,18	21,09
56450.0	Niederzwönitz	Zwönitz	31,5	8,70	256,23	221,83	34,74	8,68	29,07
56450.5	Burkhardtsdorf 2	Zwönitz	93,0	10,13	244,62	208,00	36,89	13,34	29,31
56453.1	Altchemnitz 2	Zwönitz	144	11,17	239,37	201,34	38,50	14,96	27,25
56440.0	Chemnitz 1	Chemnitz	403	8,25	258,36	219,19	39,62	14,50	23,43

Pegelkennzahl	Name	Fließgewässer	AE [km²]	Gefälle [%]	GPV bis 2m [mm]	FK bis 2m [mm]	LK bis 2m [mm]	Mittlerer kf-Wert [cm/d]	kf-Wert oberste Bodenschicht [cm/d]
56441.0	Göritzhein	Chemnitz	532	7,85	360,38	308,54	52,17	14,17	21,31
56211.5	Wechselburg 1	Zwickauer Mulde	2099	10,42	356,24	308,25	48,31	14,63	27,65
56213.5	Colditz	Zwickauer Mulde	2326	10,12	381,23	331,37	50,15	13,95	26,14
56740.0	Tannenberg	Zschopau	91,5	9,52	257,13	221,35	36,02	10,10	28,46
56759.0	Annaberg 1	Sehma	48,6	12,11	273,48	233,74	40,23	11,92	33,27
56770.0	Wiesa	Pöhlbach	86,4	14,63	256,95	220,39	36,90	12,05	27,74
56789.0	Jöhstadt 4	Jöhstädter Schwarzwasser	40,8	11,20	269,00	232,00	38,00	14,49	45,00
56784.0	Schmalzgrube 2	Preßnitz	62,1	9,68	269,00	232,00	38,00	14,10	45,00
56785.0	Streckewalde	Preßnitz	206	12,29	250,40	215,10	35,72	14,03	35,18
56742.0	Hopfgarten	Zschopau	530	12,33	257,97	221,98	36,29	11,74	29,21
56743.5	Kunnersdorf	Zschopau	678	12,64	252,54	216,18	36,69	13,84	28,18
56835.0	Rothenthal	Natzschung	75,9	20,73	269,00	232,00	38,00	15,77	45,00
56813.0	Olbernhau 2	Flöha	314	11,79	256,33	218,49	38,38	14,83	36,20
56840.0	Zöblitz	Schwarze Pockau	125	9,81	248,01	213,14	35,26	12,66	33,10
56816.0	Borstendorf	Flöha	640	11,18	247,42	211,88	35,89	13,68	30,13
56744.0	Flöha 1	Flöha	796	10,83	249,66	212,21	37,91	14,09	27,40
56745.1	Lichtenwalde 1	Zschopau	1572	11,68	260,25	221,37	39,29	14,43	27,35
56747.0	Kriebstein UP	Zschopau	1754	11,23	301,24	256,05	45,54	14,26	28,45
56700.0	Wolfsgrund	Chemnitzbach	35,8	10,68	262,87	227,18	35,70	5,79	18,85
56601.0	Berthelsdorf	Freiberger Mulde	245	11,45	251,78	215,31	36,77	11,04	25,12
56722.1	Krummenhennersdorf 1	Bobritzsch	131	7,27	336,79	289,98	47,20	17,49	21,97
56604.0	Nossen 1	Freiberger Mulde	586	9,10	353,18	304,07	49,41	13,22	26,50

Pegelkennzahl	Name	Fließgewässer	AE [km²]	Gefälle [%]	GPV bis 2m [mm]	FK bis 2m [mm]	LK bis 2m [mm]	Mittlerer kf-Wert [cm/d]	kf-Wert oberste Bodenschicht [cm/d]
56730.0	Oberschöna	Große Striegis	52,8	6,98	240,06	197,93	43,02	15,92	19,87
56731.0	Böhrigen	Striegis	253	6,99	457,33	392,33	65,45	13,51	21,48
56605.5	Mahlitzsch	Freiberger Mulde	910	8,51	403,04	346,09	57,26	13,23	25,18
56608.5	Leisnig	Freiberger Mulde	2878	10,11	366,02	313,67	52,66	13,65	26,58
56002.1	Golzern 1	Vereinigte Mulde	5433	10,01	384,99	332,15	53,13	13,74	25,97
56005.1	Bad Dübén 1	Vereinigte Mulde	6170	9,09	432,18	363,06	69,38	18,07	28,66

4 Die größten Hochwasser im Überblick

Die Chroniken der meisten Orte innerhalb des Einzugsgebietes der Mulde weisen eine Vielzahl von Ereignissen aus, bei denen Schäden („Wassernöte“) infolge von Hochwasser eingetreten sind. Die Schadensursachen sind in der Regel nicht so beschrieben, dass heute eindeutig darauf geschlossen werden kann, ob niederschlagsbedingt wild abfließendes Wasser oder Überschwemmung durch ein ausuferndes Gewässer entscheidend gewesen sind. Anhand der Einzugsgebietsgröße lässt sich unter Umständen aufgrund hydrologischer Erfahrung eine Bewertung vornehmen. Im Umfang der Beschreibungen der Schäden und Schadensursachen spiegelt sich letztendlich der Grad der Beeinflussung der Lebensumstände der Gewässeranlieger wider.

Insbesondere mit Beginn der Industrialisierung in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts rückte in Sachsen zur Vermeidung von Hochwasserschäden auch die Betrachtung der Hochwasserursachen langsam in den Vordergrund. Dazu wurden – vor allem infolge eines Sachsen flächendeckend heimgesuchten großen Hochwassers im Jahr 1897 – um die Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert staatliche Einrichtungen geschaffen, die sich mit der Beobachtung von Wasserständen und Durchflüssen sowie deren Bewertung befassten (FICKERT 1927). Regelmäßige Beobachtungen setzten schrittweise mit der Einrichtung von Lattenpegeln ab 1903 und von Schreibpegeln ab 1909 im Muldegebiet ein. Die bisher einzige, sich mit Ansätzen eines hydrologischen Vergleichs von überlieferten und beobachteten Hochwassern beschäftigende Arbeit erschien als Beilage zum Jahrbuch des Sächsischen Amtes für Gewässerkunde des Jahres 1934 (FICKERT 1935). Die Konzentration auf im Wesentlichen sommerliche Hochwasserereignisse ist insofern verständlich, weil die Winterhochwasser in ihren Scheitelhöhen hinter den Sommerhochwassern, von Ausnahmen abgesehen, zurückstehen (Kapitel 2.6).

POHL (2003) listet eine Vielzahl historischer Hochwasser, beginnend im Jahr 820, auf. Die Quellen dafür gehen hauptsächlich auf Angaben von PÖTZSCH (1784, 1786, 1800) zurück. Dort ist für das Muldegebiet das Eis-Hochwasser im Februar 1342, aber nicht das Magdalenenhochwasser im Juli des gleichen Jahres verzeichnet. Erste differenzierte Überlieferungen weisen auf extreme Hochwasser in der Stadt Grimma auf den 22.07.1432 und den 13.07.1433 hin. Ab der zweiten Hälfte des 16. Jahrhundert werden die Informationen über Hochwasser konkreter. Die seitdem in ihren räumlichen (> 200 km²) und abflussbezogenen Ausmaßen markantesten Hochwasser, die in den genannten Unterlagen für das Muldegebiet verzeichnet und die innerhalb der regelmäßigen Beobachtungen aufgetreten sind, fasst Tabelle 8 zusammen.

Tabelle 8: Die markantesten Hochwasser im Muldegebiet seit 1573

Jahr	Räumliche Ausdehnung der hochwasserauslösenden Niederschläge	Literatur/Bemerkungen
12./14.08.1573	Gebiete von Zwickauer Mulde/Zschopau/Freiburger Mulde	FICKERT (1935)
30.06./01.07.1771	Gebiete von Chemnitz/Zschopau/Flöha	FICKERT (1935)
30.07./01.08.1858	Gebiet der Zwickauer Mulde oberhalb Chemnitz	FICKERT (1935)
29./31.07.1897	Gebiete von Zwickauer Mulde/Zschopau/Freiburger Mulde	FICKERT (1935), Husum-Verlag (2002)
15./16.06.1926	Gebiete von Zschopau/Flöha/Freiburger Mulde	FICKERT (1935)
06.07.1931	Schwarzwasser	FICKERT (1932)/ Lokaler konvektiver Starkniederschlag

Jahr	Räumliche Ausdehnung der hochwasserauslösenden Niederschläge	Literatur/Bemerkungen
03./05.01.1932	Gebiete von Zwickauer Mulde/Zschopau/Freiburger Mulde	FICKERT (1935)/ Regen auf gefrorenen Boden mit vernachlässigbarem Schneeschmelzanteil
12./13.07.1937	Gebiete von Schwarzwasser/Zschopau/Flöha	
30.05.1941	Freiburger Mulde (Mittel- und Unterlauf)/Vereinigte Mulde	
09.02.1946	Gebiet der Chemnitz/Freiburger Mulde (Mittel- und Unterlauf)	Schneeschnelze i. V. m. Regen
10./12.07.1954	Gebiete von Zwickauer Mulde/Zschopau/Freiburger Mulde	BÖER, SCHUBERT & WILSER (1959)
21.07.1955	Preßnitz	Lokaler konvektiver Starkniederschlag
05./06.07.1958	Gebiete von Zwickauer Mulde/Zschopau/Freiburger Mulde	
08./09.12.1974	Gebiete von Zwickauer Mulde/Zschopau/Freiburger Mulde	SCHIRPKE, RICHTER & RIEß (1978)/ Schneeschnelze i. V. m. Regen
08.05.1978	Gebiet der Zwickauer Mulde	
12./13.03.1981	Gebiete von Zwickauer Mulde/Zschopau	Schneeschnelze i. V. m. Regen
05./06.08.1983	Gebiete von Chemnitz/Zschopau	
07./10.04.1987	Gebiete von Zwickauer Mulde/Zschopau/Flöha	Schneeschnelze i. V. m. Regen
06.07.1992	Chemnitzbach/Saidenbach	Lokaler konvektiver Starkniederschlag
30.08./01.09.1995	Gebiet der Zwickauer Mulde	BÜTTNER & RÖDEL (1996)
05./06.07.1999	Schwarze Pockau	BÜTTNER, FÜGNER & WINKLER (2001)/ Lokaler konvektiver Starkniederschlag
12./14.08.2002	Gebiete von Zwickauer Mulde/Zschopau/Freiburger Mulde	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2009)
19.03.2005	Gebiete von Zschopau/Flöha/Freiburger Mulde	Schneeschnelze i. V. m. Regen
27.03./01.04.2006	Gebiete von Zschopau/Flöha/Freiburger Mulde	Schneeschnelze i. V. m. Regen
07.08.2010	Gebiete der Zwickauer Mulde	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2013)
28.09.2010	Gebiet der Freiburger Mulde	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2013)
14./15.01.2011	Gebiete von Zschopau/Flöha/Freiburger Mulde	Schneeschnelze i. V. m. Regen
30.05./04.06.2013	Gebiete von Zwickauer Mulde/Zschopau/Freiburger Mulde	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2015)

Für den Zeitraum vor 1909, dem Beginn der regelmäßigen Beobachtungen, erhebt die Tabelle keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

5 Das Hochwasser im Juli 1954

5.1 Witterungsverlauf

Die erste Hälfte des Jahres 1954 war durch einen Mangel an Niederschlägen gekennzeichnet. Erst ab Juli setzten langanhaltende und ergiebige Niederschläge ein, die auch in abgeschwächter Form im weiteren Verlauf des Jahres anhielten.

Mehrere meteorologische Phänomene riefen in ihrer Kombination ein Hochwasser in ungewöhnlichem Ausmaß hervor:

- besonders intensive Kaltluftzufuhr aus Nord bis Nordwest
- besonders intensive Warmluftzufuhr aus Ost bis Südost
- Blockierung der durchgehenden Strömung über Mitteleuropa durch ein starkes und ortsbeständiges Hochdruckgebiet in Nordosteuropa
- Abschnürung eines Kaltlufttropfens über Mitteleuropa
- Ausbildung eines Vb-Tiefs
- gebietsweise Verstärkung der Niederschläge durch Stau am Gebirge

Die Großwetterlage zeigte im Laufe des 7. Juli die Ausbildung eines Vb-Tiefs über Oberitalien, das den Erfahrungen entsprechend nach Nordosten in Richtung Ungarn zog. Im Anschluss setzte eine Entwicklung ein, die nicht zum regelmäßigen Ablauf derartiger Witterungserscheinungen gehört. Durch die am 8. Juli einsetzende rasche Verlagerung eines Hochdruckrückens aus dem Raum südlich des Urals bis über die Ostsee wurde der Vb-Strömung der weitere Weg nach Nordosten blockiert, sodass das Bodentief über dem südöstlichen Mitteleuropa nahezu ortsfest wurde. In der Zwischenzeit schwächte sich der über dem Ostatlantik liegende Hochdruckrücken ab, wodurch sich die Zufuhr kalter Luftmassen aus dem Norden allmählich reduzierte. Ein nachfolgender, weit im Norden ansetzender atlantischer Warmluftvorstoß führte in der weiteren Entwicklung zur Abschnürung eines Kaltlufttropfens über dem westlichen Mitteleuropa, sodass am 8. und 9. Juli folgende Wetterlage gegeben war:

- hochreichende Kaltluft (Kaltlufttropfen) über dem westlichen Mitteleuropa
- sehr warme feuchte Mittelmeerluft im Südosten Europas
- im Westen in Bodennähe kalte Nordwest- bis Nordströmung
- im Nordosten in der gesamten unteren Troposphäre und weiter westlich nur in großen Höhen warme Ost- bis Südostströmung

Diese Wetterlage führte zu äußerst ergiebigen Niederschlägen. In gleichem Maße, wie die Kaltluft durch erzwungenes Aufsteigen an der Nordseite des Erzgebirges zum Ausregnen gebracht wurde, schob sich die feuchtereiche Luft aus Südosten über die Kaltluft und setzte dabei zusätzlich große Niederschlagsmengen frei. Fast drei Tage lang blieb dieser enorme und äußerst wirksame Mechanismus der Niederschlagsbildung nahezu ortsfest.

Nach der Nordwärtsverlagerung des festländischen, den Blockierungseffekt auslösenden Hochdruckrückens setzte ein langsames Drehen des zyklonalen Systems ein. Der Kaltluftstrom änderte seinen Verlauf mehr

nach Südosten in Richtung Ungarn, der Warmluftstrom verlief mehr nach Nordwesten in Richtung Skandinavien. Das die anhaltenden Regenfälle auslösende Bodentief konnte nun von Ungarn über den Raum zwischen Oder und Weichsel zur westlichen Ostsee ziehen, wo es, der Höhenströmung folgend und dem blockierenden Hoch ausweichend, am 12. Juli eintraf. Damit verlagerte sich das Hauptniederschlagsgebiet aus dem mitteleuropäischen Raum heraus und löste sich allmählich auf.

Abbildung 9 stellt den Verlauf des wetterbestimmenden Tiefs und des Kaltlufttropfens dar:

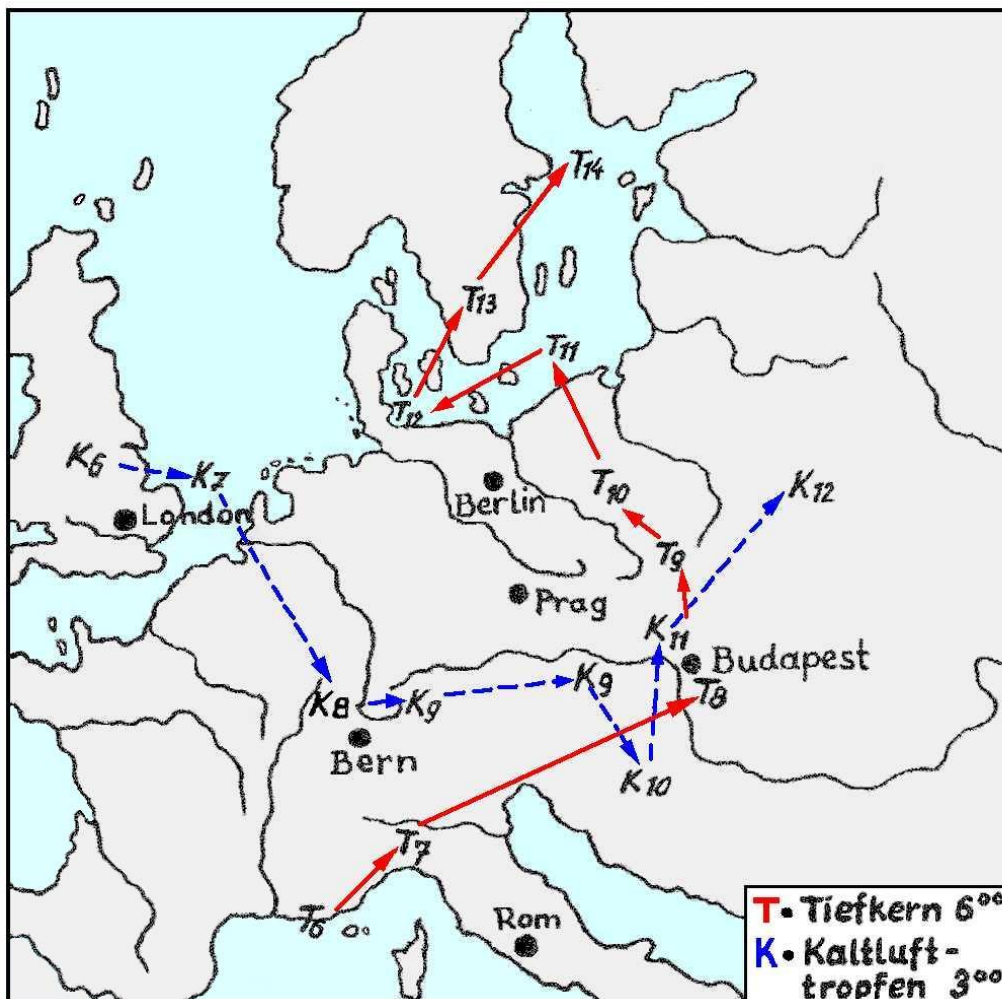


Abbildung 9: Zugbahnen des wetterbestimmenden Tiefs und des Kaltlufttropfens (hoch reichende Kaltluft) vom 06.07. bis 14.07.1954 (aus BÖER et al. 1959)

5.2 Beschreibung der zeitlich und räumlichen Niederschlagsverteilung

Die größten Niederschlagsmengen fielen infolge des Anstaus der bodennahen kalten Nordost-Winde auf der Nordseite des Erzgebirges. Vor allem betroffen waren die Einzugsgebiete der Zwickauer und der Freiburger Mulde. Im Zeitraum vom 9. bis 11. Juli wurden hier die höchsten Niederschläge registriert (Abbildung 10). Einen Überblick über die Unterschiede der Gebietsniederschläge der Haupteinzugsgebiete gibt Tabelle 9:

Tabelle 9: Gebietsniederschlagssummen der Vereinigten Mulde und der drei Hauptteilgebiete vom 07.07.1954 bis zum 13.07.1954

Pegel	Fluss	AE [km ²]	Niederschlagssumme [mm]
Golzern	Vereinigte Mulde	5442	246,1
Wechselburg	Zwickauer Mulde	2326	281,8
Kriebstein UP	Zschopau	1754	228,1
Nossen	Freiberger Mulde	910	223,7

Es handelte sich im Juli 1954 um ein langanhaltendes Niederschlagsereignis, das erst nach etwa 14 Tagen beendet war. Wie aus Abbildung 10 ersichtlich, fiel der Großteil des Niederschlages vom 7. Juli, 12:00 Uhr bis zum 10. Juli, 18:00 Uhr, d. h. innerhalb von 78 Stunden. Die höchsten Tagessummen des Niederschlages traten dabei am 8. und 9. Juli auf. Die räumliche Verteilung des Niederschlages ist durch deutlich höhere Niederschlagswerte im Westteil des Muldegebietes gekennzeichnet. Eine Besonderheit stellt das ausgeprägte Niederschlagsband dar (Abbildung 11, Abbildung 12), das sich vom Westerzgebirge über die Einzugsgebiete von Würschnitz und Zwönitz bis in den Raum Oederan erstreckte.

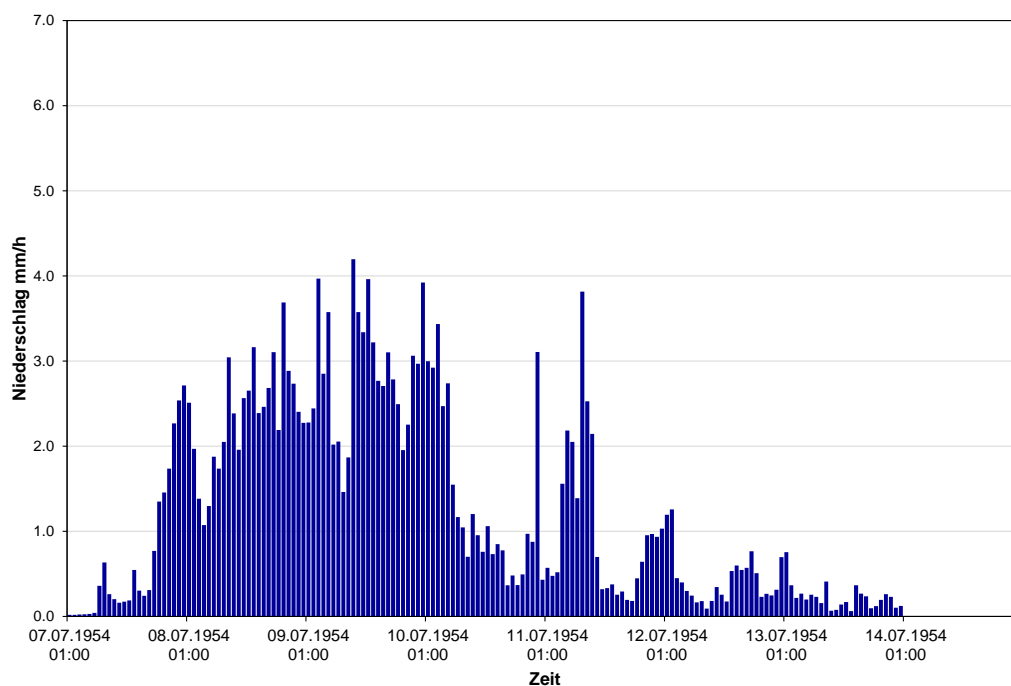


Abbildung 10: Zeitliche Verteilung des Gebietsniederschlages für die Vereinigte Mulde (Pegel Bad Düben 1 [AE = 6.170 km²])

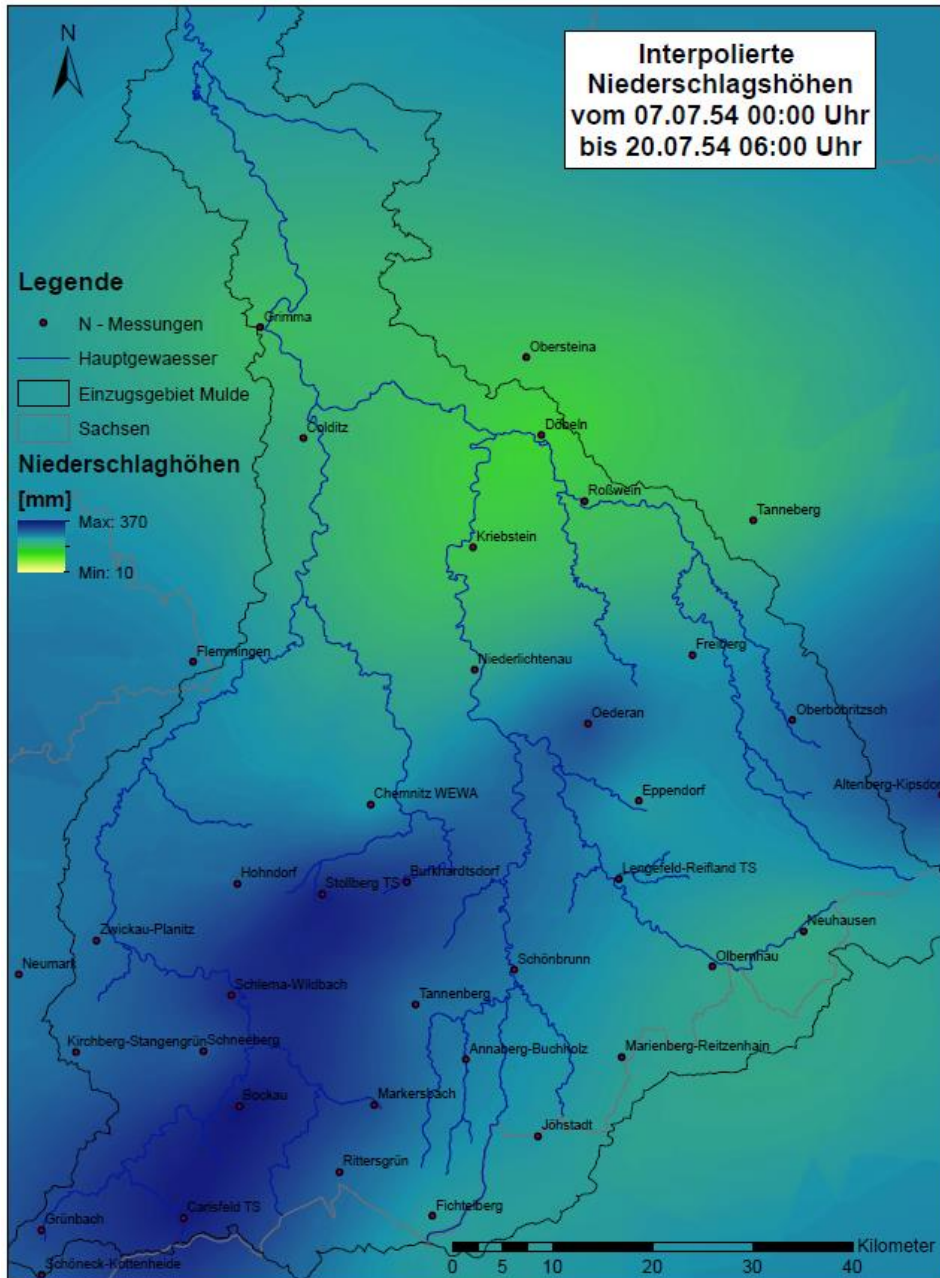


Abbildung 11: Räumliche Verteilung der Niederschlagssummen für den Zeitraum 07.07. - 20.07.1954

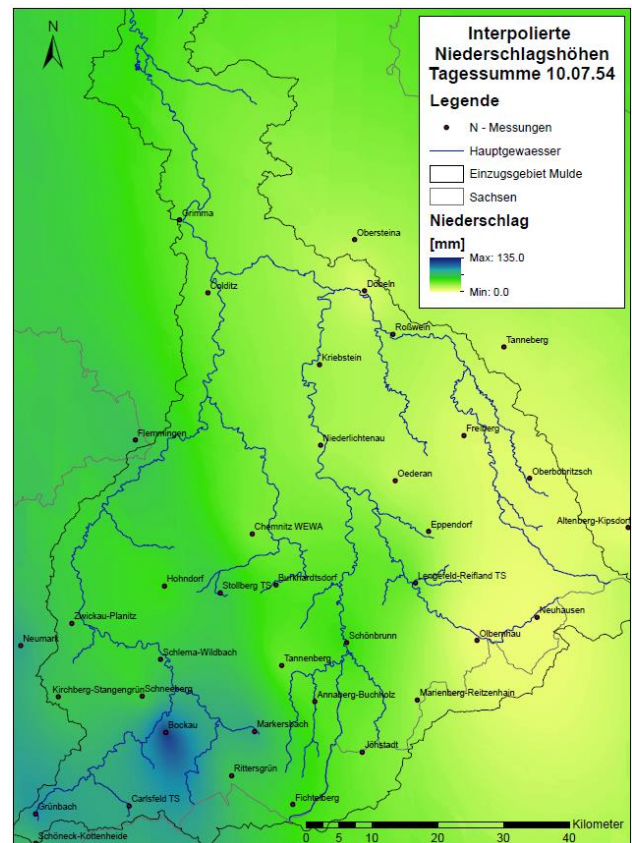
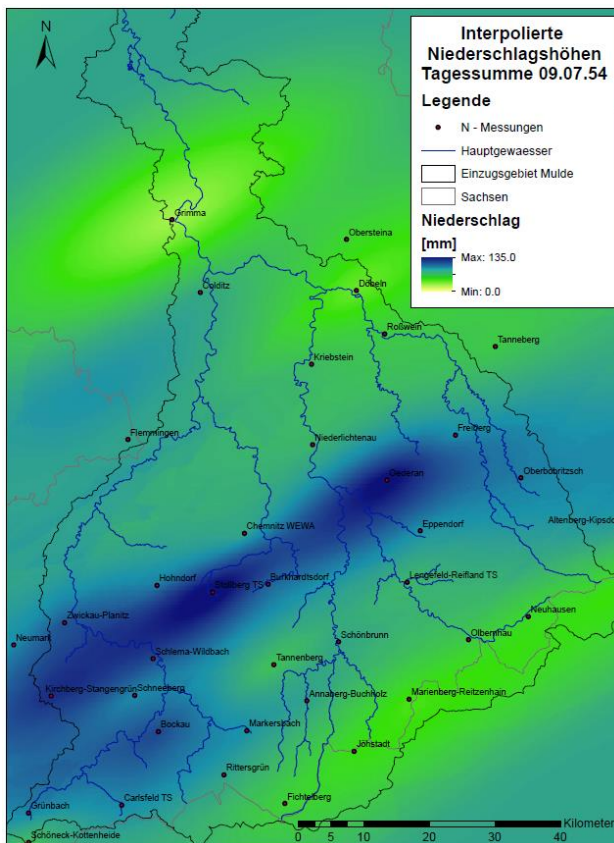
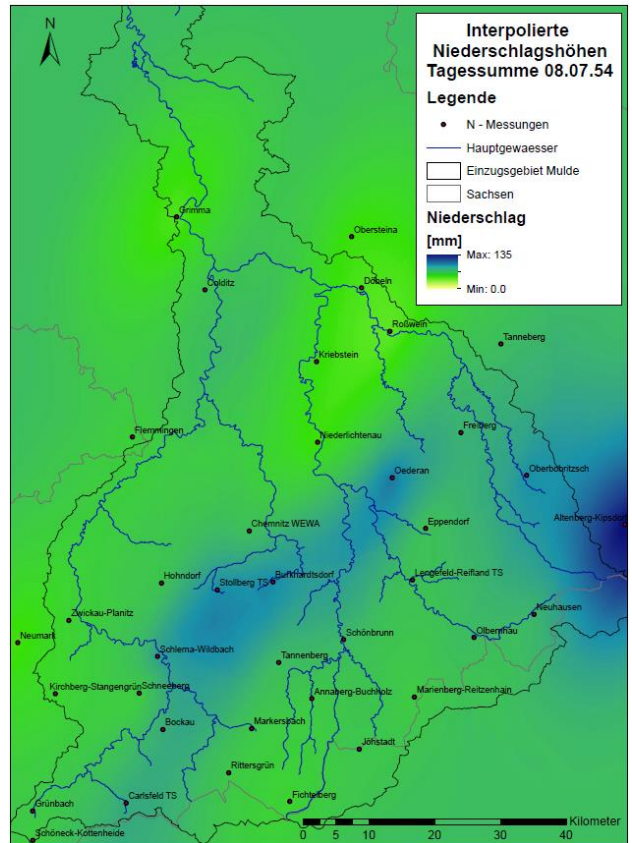
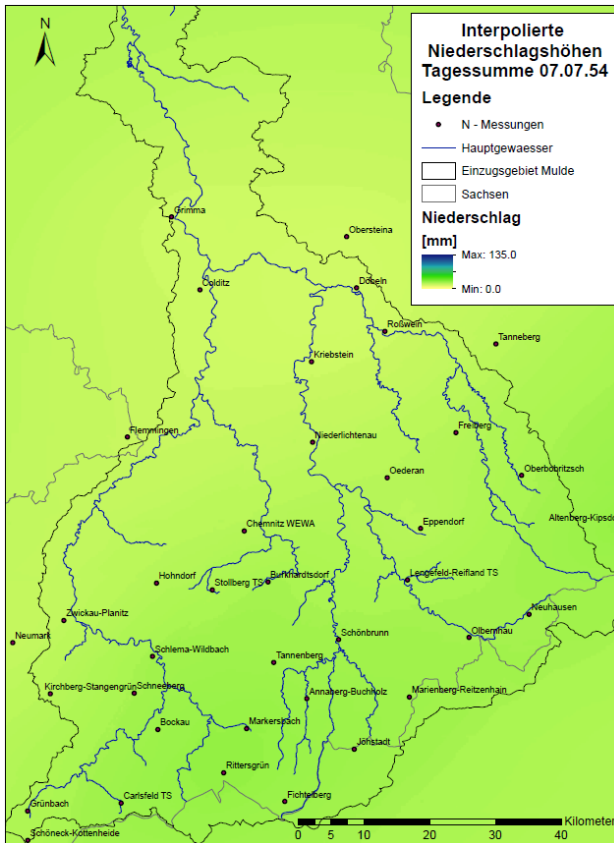


Abbildung 12: Räumliche Verteilung der Niederschlagstagesummen vom 07.07. bis 10.07.1954 (jeweils von 00:00 bis 24:00 Uhr)

5.3 Beschreibung des zeitlichen und räumlichen Abflussverlaufes des Hochwassers

5.3.1 Gesamtbetrachtung

Die Hochwasserabflüsse der Zwickauer und in der Folge der Vereinigten Mulde waren bei diesem Ereignis vergleichsweise wesentlich höher als in den anderen Teilgebieten der Mulde (Tabelle 10).

Aufgrund der langanhaltenden Niederschläge (vgl. Abbildung 13) geringer Intensität wurden für die Separation des Direktabflusses geschätzte Rückgangskurven verwendet. Damit ist zwar eine Unsicherheit in der Abschätzung der Direktabflussmenge verbunden, ein Vergleich zwischen den hochwasserauslösenden Niederschlagsanteilen und den aus diesen resultierenden Abflüssen jedoch nur auf diesem Wege möglich.

Eine Besonderheit des Hochwasserereignisses im Juli 1954 stellt der bei einigen Einzugsgebieten stark ausgeprägte mehrgipflige Ganglinienverlauf (z. B. Abbildung 14) dar. Dieser war durch die zeitliche Niederschlagsverteilung bedingt. In Tabelle 10 werden deshalb mehrfach zwei Hochwasserscheitel angegeben, wenn diese sich im Ganglinienverlauf deutlich voneinander absetzten. Für die Ermittlung der Scheitelabflussspende wurde jeweils nur der höchste Scheitel berücksichtigt.

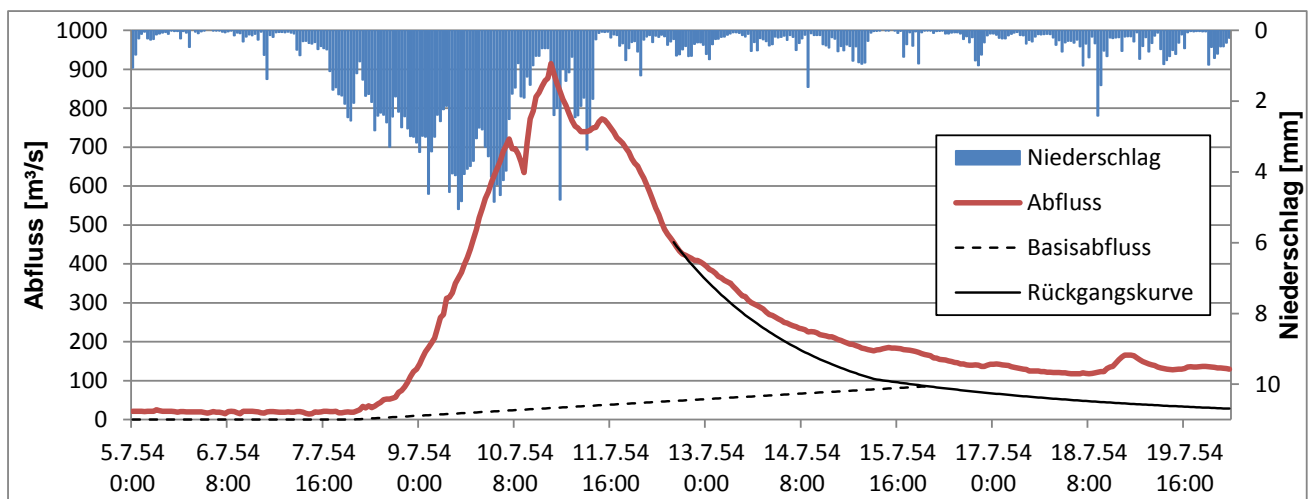


Abbildung 13: Zeitlicher Verlauf des Gebietsniederschlages und des Abflusses am Pegel Wechselburg/Zwickauer Mulde 1954

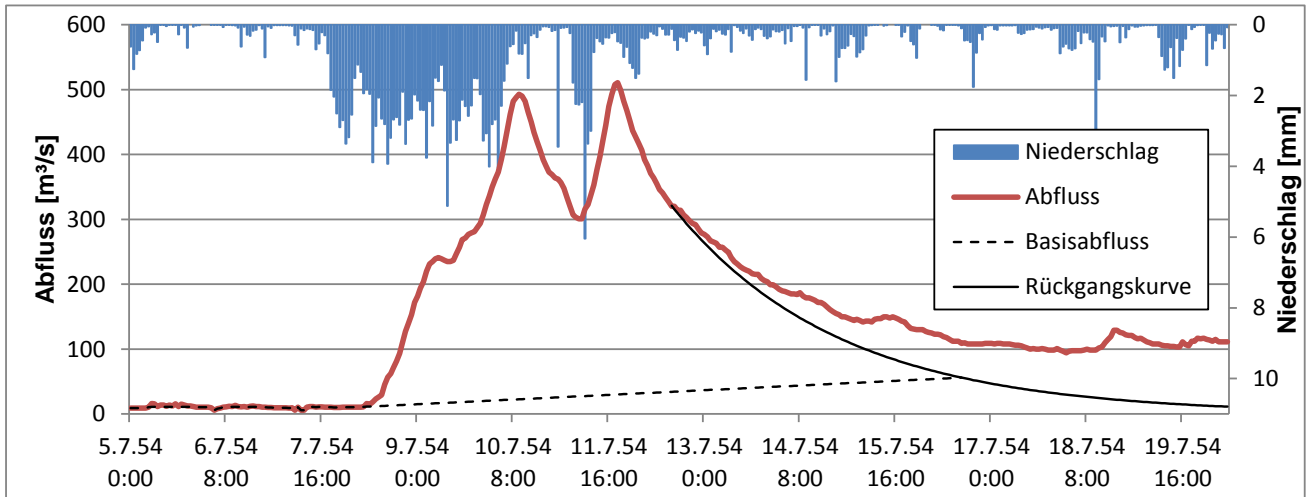


Abbildung 14: Zeitlicher Verlauf des Gebietsniederschlages und des Abflusses am Pegel Lichtenwalde/Zschopau 1954

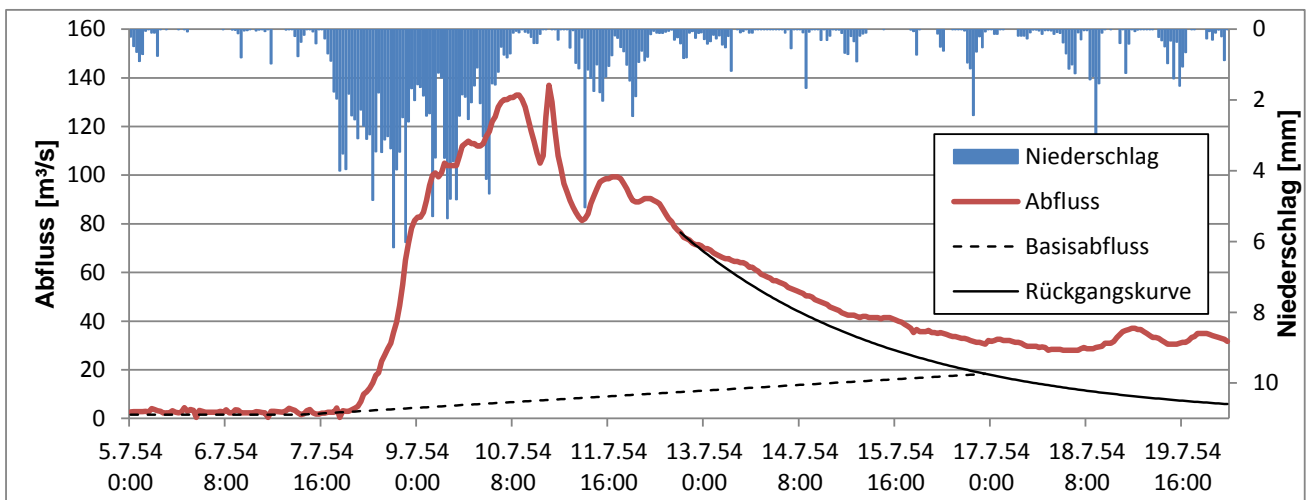


Abbildung 15: Zeitlicher Verlauf des Gebietsniederschlages und des Abflusses am Pegel Nossen 1/Freiburger Mulde 1954

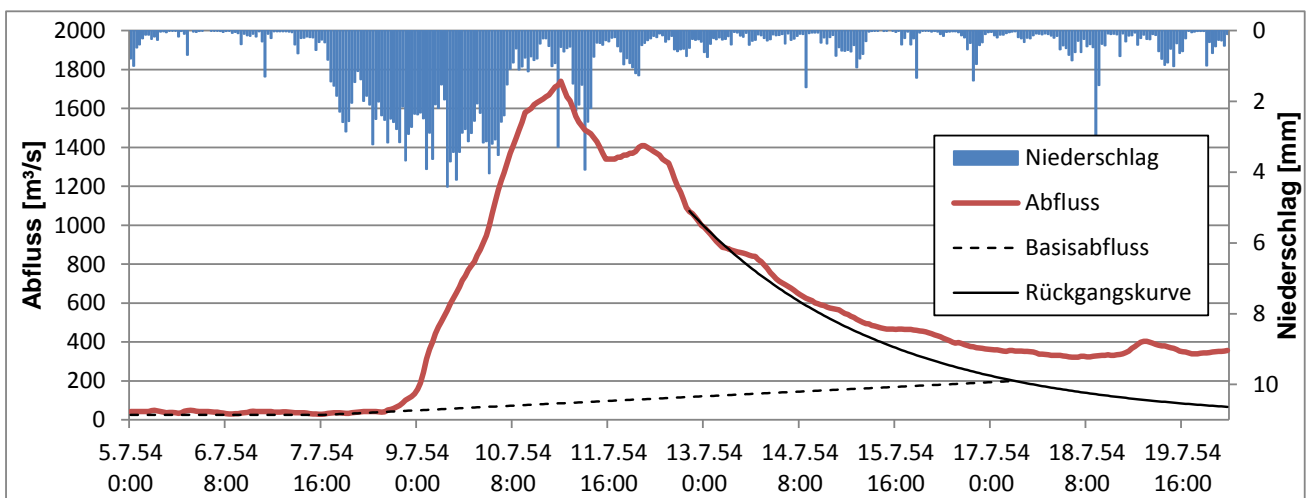


Abbildung 16: Zeitlicher Verlauf des Gebietsniederschlages und des Abflusses am Pegel Golzern/Vereinigte Mulde 1954

Tabelle 10: Hochwasserkennwerte 1954

	AE	Hochwasser- scheitel 1	Eintrittszeit 1	Hochwasser- scheitel 2	Eintrittszeit 2	Direktabfluss- volumen	Direktabfluss- volumen	Niederschlags- summe	Niederschlags- summe	Abflussbeiwert
Gebiete	[km ²]	[m ³ /s]	[-]	[m ³ /s]	[-]	[hm ³]	[mm]	[mm]	[hm ³]	[-]
Aue1	363	224	10.07.54 08:00	124	11.07.54 11:00	45,994	126,7	260,5	94,552	0,49
Niederschlema	754	586	10.07.54 08:00	484	11.07.54 11:00	110,461	146,5	269,3	203,086	0,54
Zwickau-Pölbitz	1021	683	10.07.54 12:00	383	11.07.54 15:00	116,647	114,2	258,8	264,204	0,44
Wechselburg	2099	915	10.07.54 20:00	773	11.07.54 13:00	217,851	103,8	246,2	516,85	0,42
Chemnitz 1	403	206	10.07.54 12:00			41,470	102,9	248,3	100,073	0,41
Göritzhein	532	236	10.07.54 15:00			46,194	88,6	231,0	120,392	0,38
Streckewalde	206	44	10.07.54 04:00	81	11.07.54 12:00	16,112	78,2	192,6	39,669	0,41
Hopfgarten	530	162	10.07.54 08:00	232	11.07.54 14:00	49,756	93,9	209,6	111,114	0,45
Lichtenwalde	1572	493	10.07.54 10:00	511	11.07.54 19:00	142,487	90,6	209,0	328,556	0,43
Kriebstein UP	1754	446	10.07.54 13:00	449	11.07.54 22:00	139,636	79,6	209,0	366,595	0,38
Rothenthal	75,9	12	10.07.54 05:00	13	11.07.54 13:00	3,362	44,3	173,9	13,203	0,25
Zöblitz	125	27	10.07.54 04:00	35	11.07.54 14:00	9,463	75,7	195,1	24,391	0,39
Borstendorf	640	147	10.07.54 08:00	147	11.07.54 15:00	42,834	66,9	182,1	116,533	0,37
Berthelsdorf	243	68	10.07.54 05:00			20,623	84,9	214,2	52,042	0,40
Nossen 1	586	133	10.07.54 09:00	137	10.07.54 20:00	42,414	72,4	210,5	123,356	0,34
Golzern	5433	1740	11.07.54 00:00			515,425	94,9	218,9	1189,414	0,43

5.3.2 Abflussverlauf im Einzugsgebiet der Zwickauer Mulde

Im Flussgebiet der Zwickauer Mulde fielen die höchsten Niederschläge zwischen dem 7. und 11. Juli 1954. Im Westertagegebirge ergaben sich für diesen Zeitraum Gebietsniederschläge von deutlich über 200 mm. Bereits im Tagesverlauf des 8. Juli wurden im Oberlauf der Zwickauer Mulde und des Schwarzwassers Abflüsse gemessen, die den jeweiligen MHQ-Wert überschritten. Im Bereich des Hauptniederschlagsgebietes, das bis zum 9. Juli im Raum Aue lag, kam es entsprechend der wechselnden Intensität zu einem fortlaufenden, nur kurzzeitig unterbrochenen Abflussanstieg des Schwarzwassers, der am 10. Juli zur Ausbildung des Scheitels gegen 08:00 Uhr führte. Dieser Scheitel traf am Zusammenfluss mit den Scheitel der Hochwasserwelle aus der oberen Zwickauer Mulde zusammen (Abbildung 17). Die Hochwasserwelle in Niederschlema zeigt dann einen zweiten Scheitel im Rückgang am 11. Juli gegen 11:00 Uhr (Abbildung 19). Nur vier Stunden nach dem ersten Scheitel in Niederschlema trat der Hochwasserscheitel am Pegel Zwickau-Pölbitz auf (Abbildung 20). Am Morgen des 10. Juli brach dort der Deich unterhalb der Paradiesbrücke, wodurch die Zwickauer Innenstadt überflutet wurde. Ein zweiter Deichbruch erfolgte am Krebsgraben, sodass auch Teile der Nordvorstadt und der Stadtteil Zwickau-Pölbitz überschwemmt wurden. Ein weiterer ereignete sich unterhalb von Waldenburg in Schlagwitz.

In der Chemnitz kam der Hochwasserscheitel am 10. Juli gegen Mittag (Pegel Chemnitz 1) bzw. am Nachmittag (15:00 Uhr am Pegel Görztzhain) zum Abfluss. Weil in Zwickau-Pölbitz der Scheitel der Hochwasserganglinie der Zwickauer Mulde gegen 12:00 Uhr auftrat, kam es am Zusammenfluss der Zwickauer Mulde und der Chemnitz bei Wechselburg zu einer Scheitelüberlagerung.

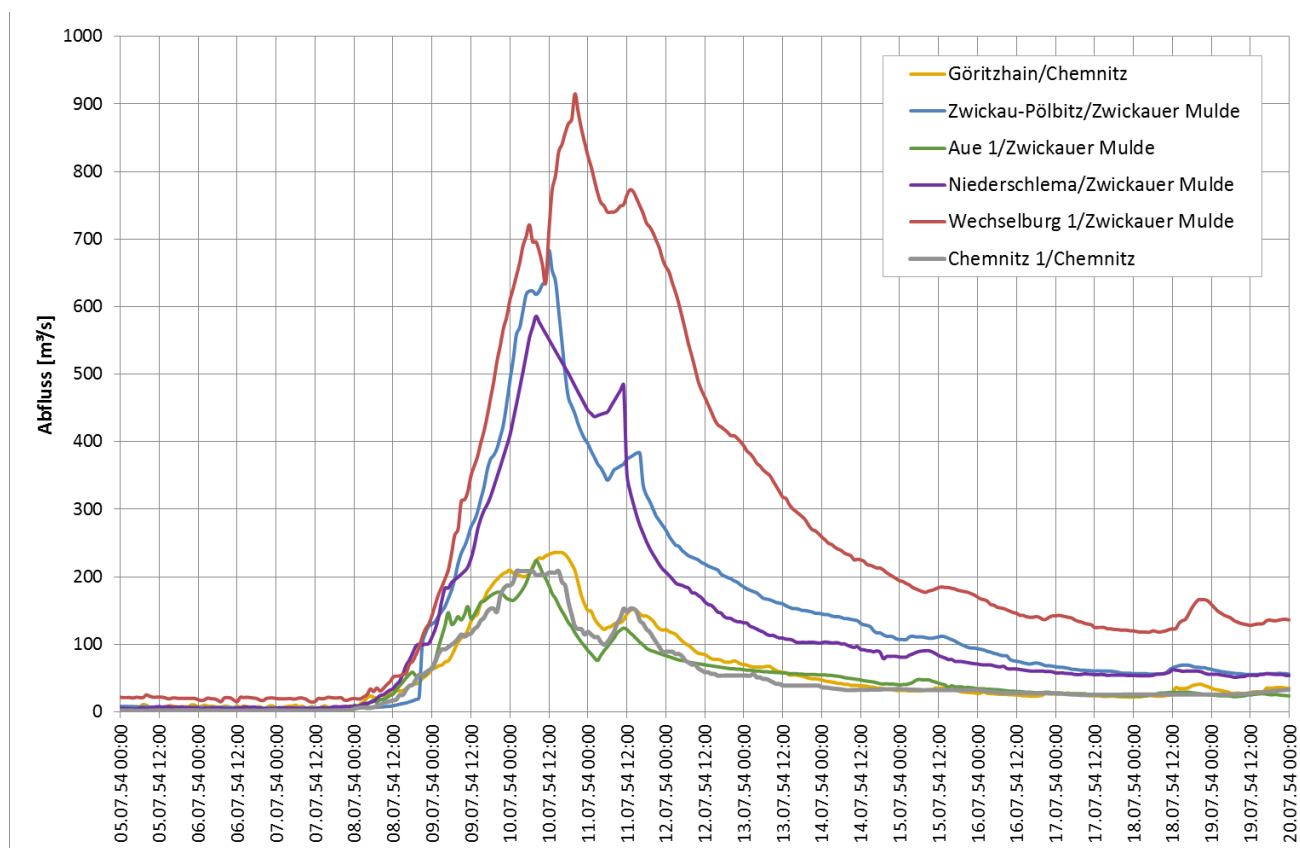


Abbildung 17: Hochwasserabflüsse im Flussgebiet der Zwickauer Mulde 1954

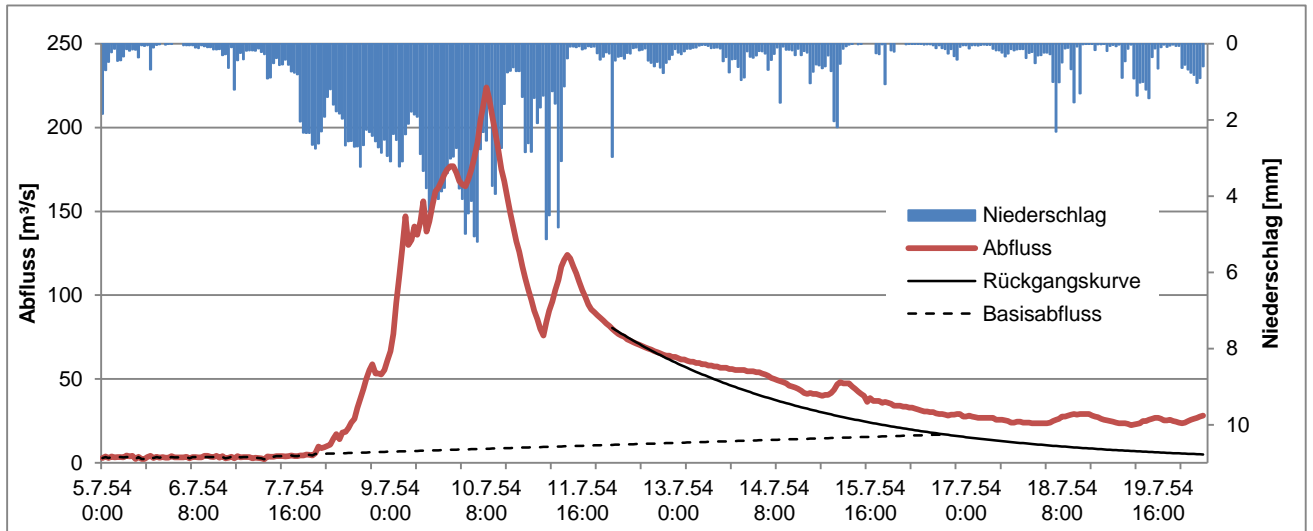


Abbildung 18: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Aue 1/Zwickauer Mulde

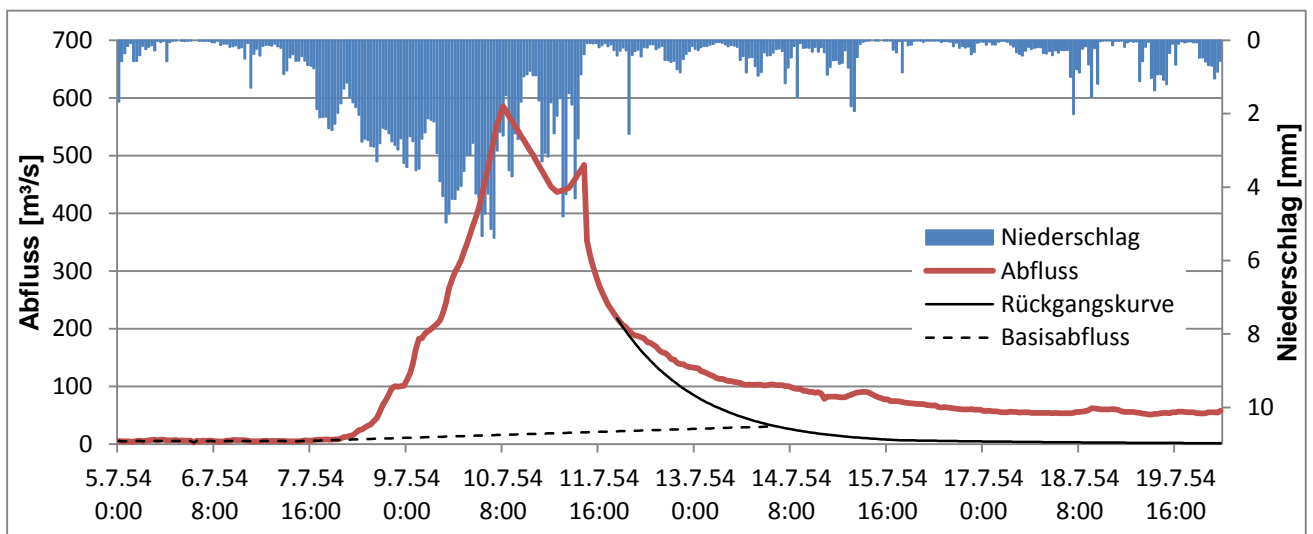


Abbildung 19: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Niederschlema/Zwickauer Mulde

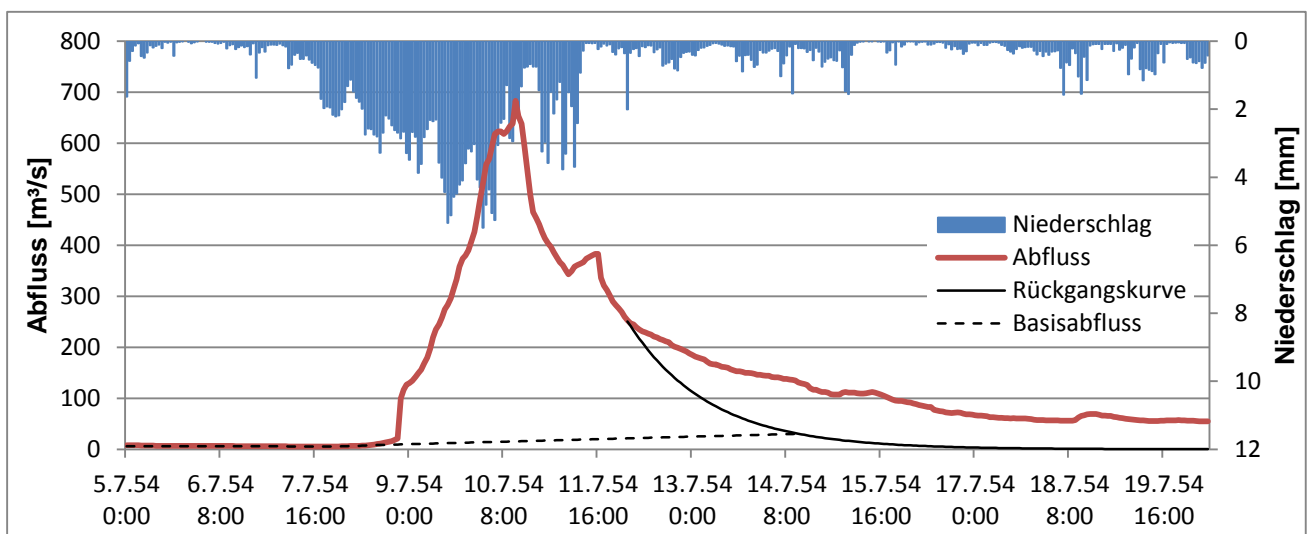


Abbildung 20: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Zwickau-Pölbitz/Zwickauer Mulde

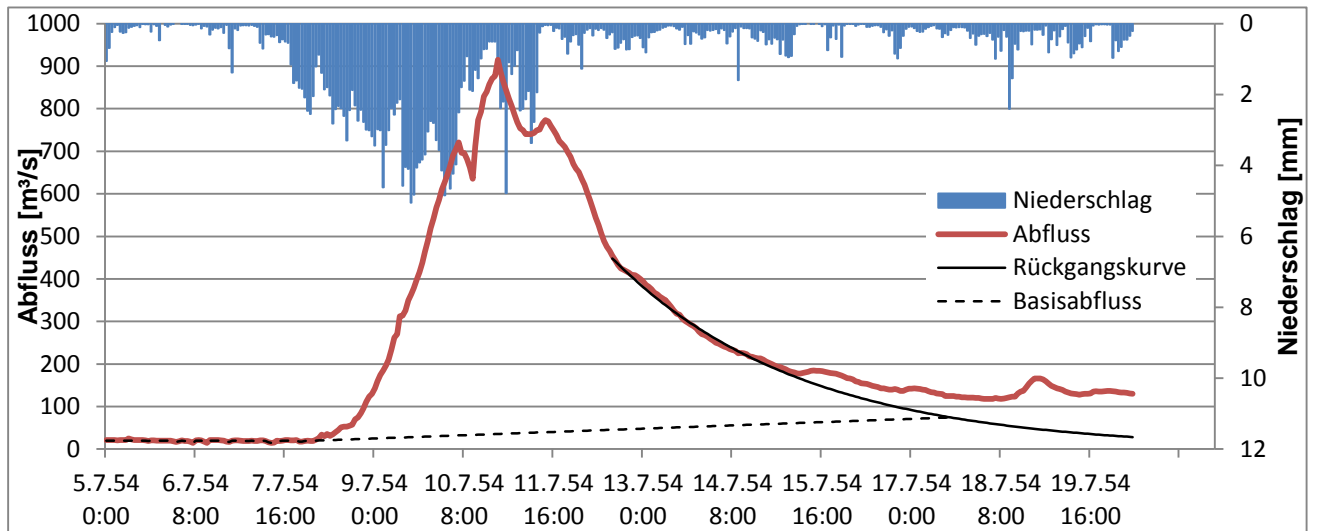


Abbildung 21: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Wechselburg/Zwickauer Mulde

5.3.3 Abflussverlauf im Einzugsgebiet von Zschopau und Flöha

Als Folge des Aufgleitvorgangs der aus Südost anströmenden Warmluft und des resultierenden Steigungsregens am 7. und 8. Juli kam es am Abend des 8. Juli 1954 zunächst in der Natzschung (Pegel Rothenthal) und der Schwarzen Pockau (Pegel Zöblitz) zu deutlichen Abflussanstiegen. Es folgte ein genereller Abflussrückgang am 9. Juli und ein neuerlicher Anstieg in der Nacht zum 10. Juli. Schließlich führte ein, nur wenige Stunden anhaltendes Ansteigen der Niederschlagsintensität im Bereich der oberen Flöha zu einem dritten Scheitel (Abbildung 22, Abbildung 23). Die im Vergleich zur Schwarzen Pockau wesentlich geringere Reaktion der Abflüsse der Natzschung ist aus Abbildung 24 ersichtlich. Die in drei Scheitel gegliederte Hochwasserganglinie der Flöha wurde auch am Pegel Borstendorf registriert (Abbildung 25).

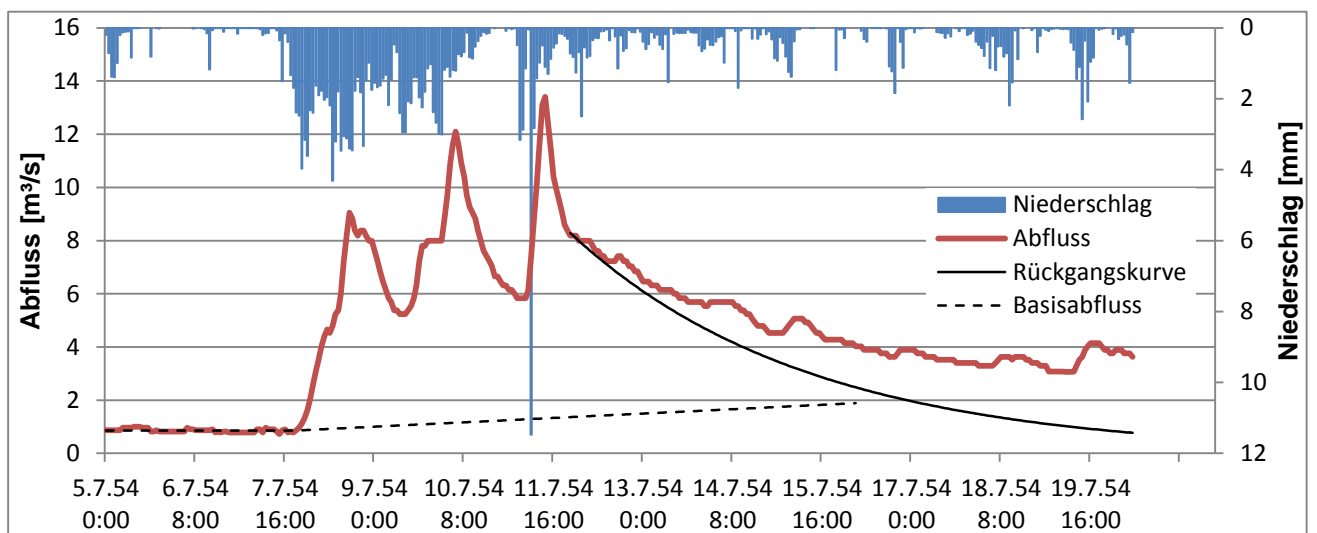


Abbildung 22: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Rothenthal/Natzschung

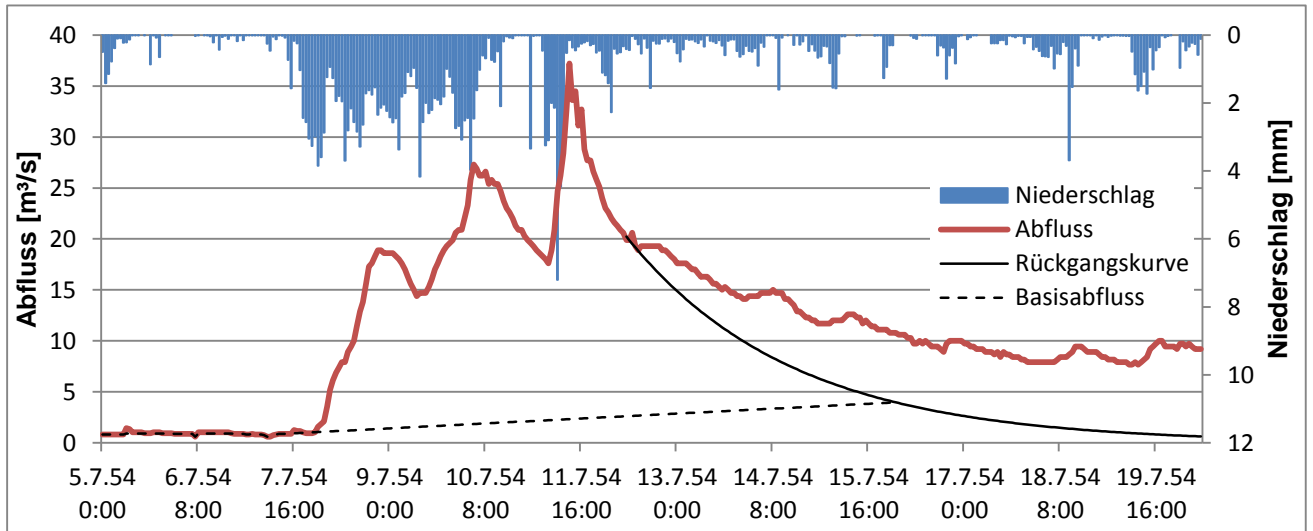


Abbildung 23: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Zöblitz/Schwarze Pockau

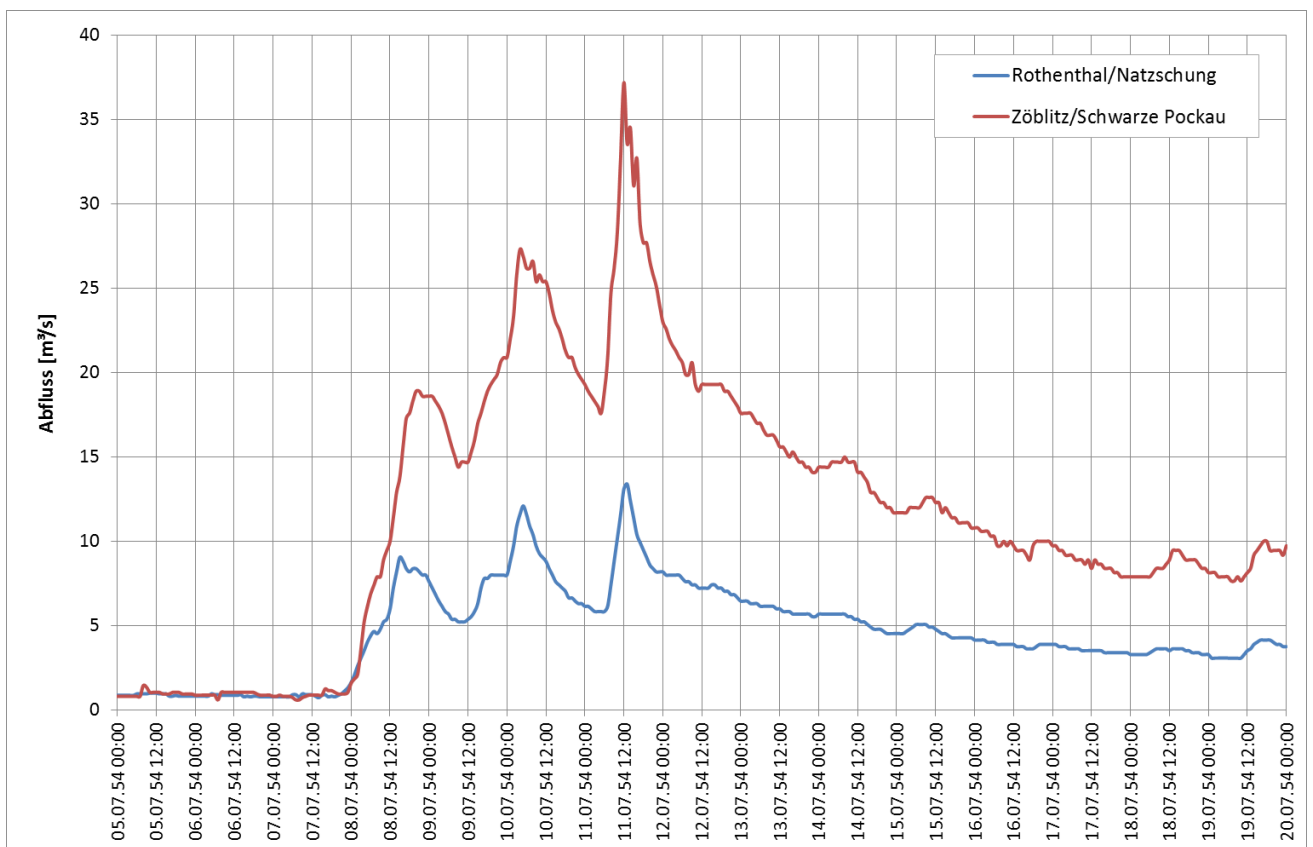


Abbildung 24: Hochwasserabflüsse im Flussgebiet der Flöha (Oberläufe) 1954

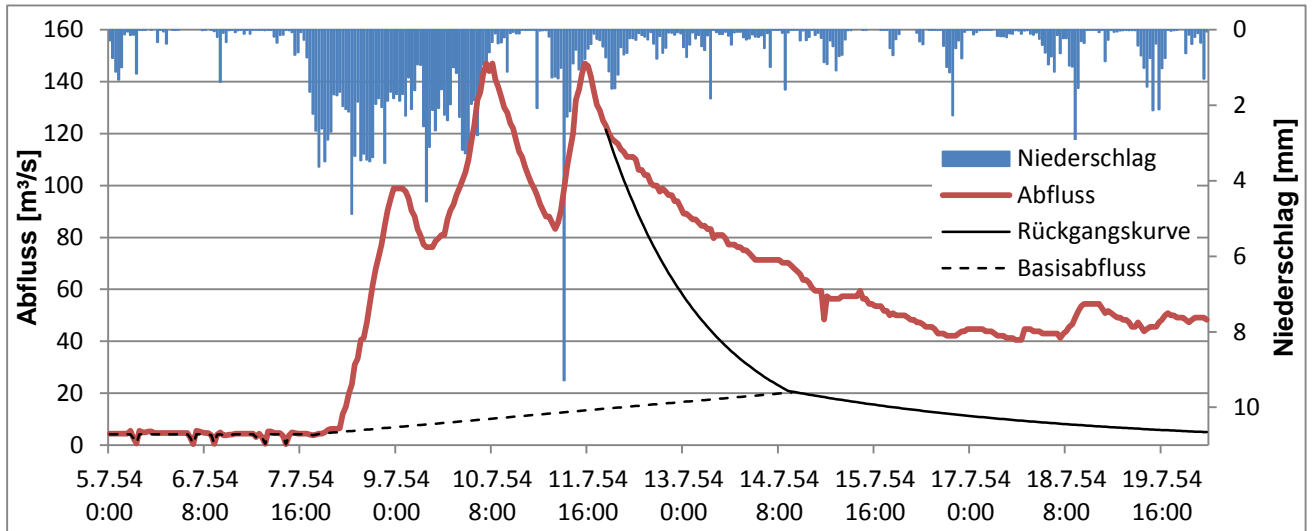


Abbildung 25: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Borstendorf/Flöha

Im Oberlauf der Zschopau waren die ersten beiden Scheitel wesentlich geringer ausgeprägt. An den Pegeln Streckewalde/Preßnitz und Hopfgarten/Zschopau (Abbildung 26, Abbildung 27) war der dritte Scheitel in den Mittagsstunden des 11. Juli maßgebend, der trotz der vorhergehenden Niederschlagspause in Folge des sehr steilen Anstiegs den vorhergehenden Scheitel am 10. Juli wesentlich übertraf.

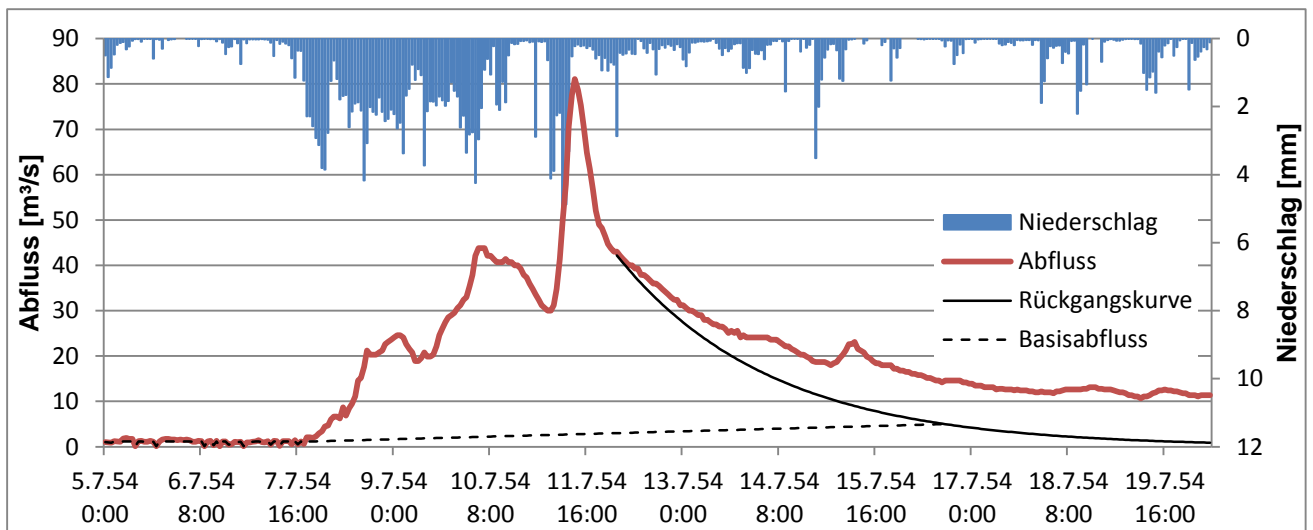


Abbildung 26: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Streckewalde/Preßnitz

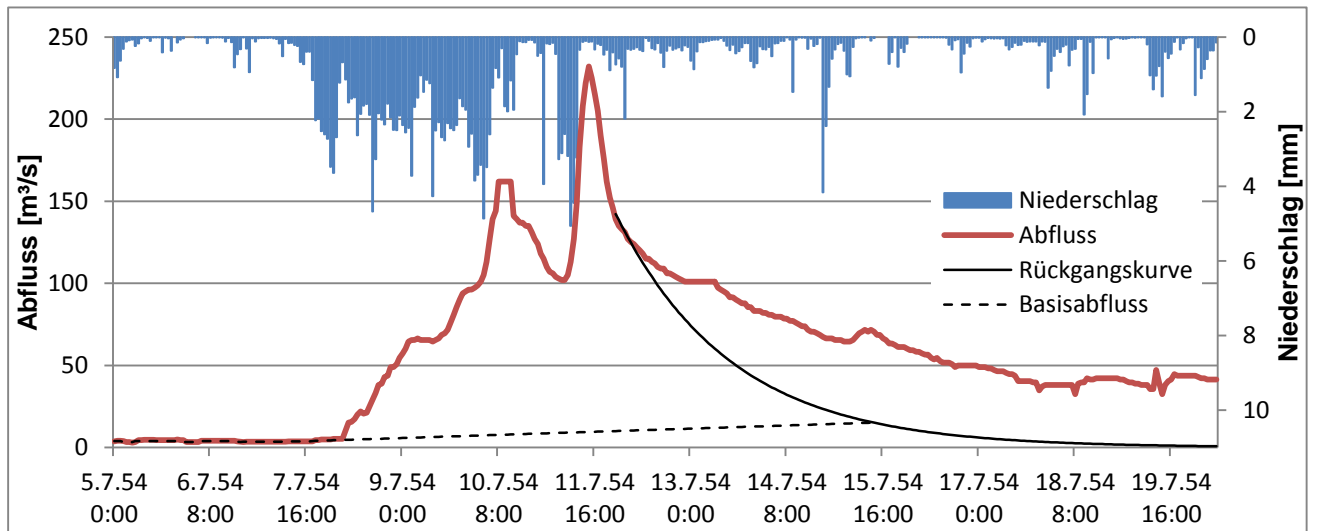


Abbildung 27: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Hopfgarten/Zschopau

Im Ergebnis der Überlagerungen der Scheitel der Hochwasserwellen vom 10. Juli und vom 11. Juli kam es nach dem Zusammenfluss von Zschopau und Flöha zu einer Doppelwelle mit zwei nahezu gleichgroßen Scheitelabflüssen (Abbildung 28, Abbildung 29, Abbildung 30). Weil der erste Scheitel der Flöha in der oberen Zschopau keine Entsprechung fand, ist er nur im Verlauf des ersten Anstiegs der Ganglinie am Pegel Lichtenwalde/Zschopau erkennbar.

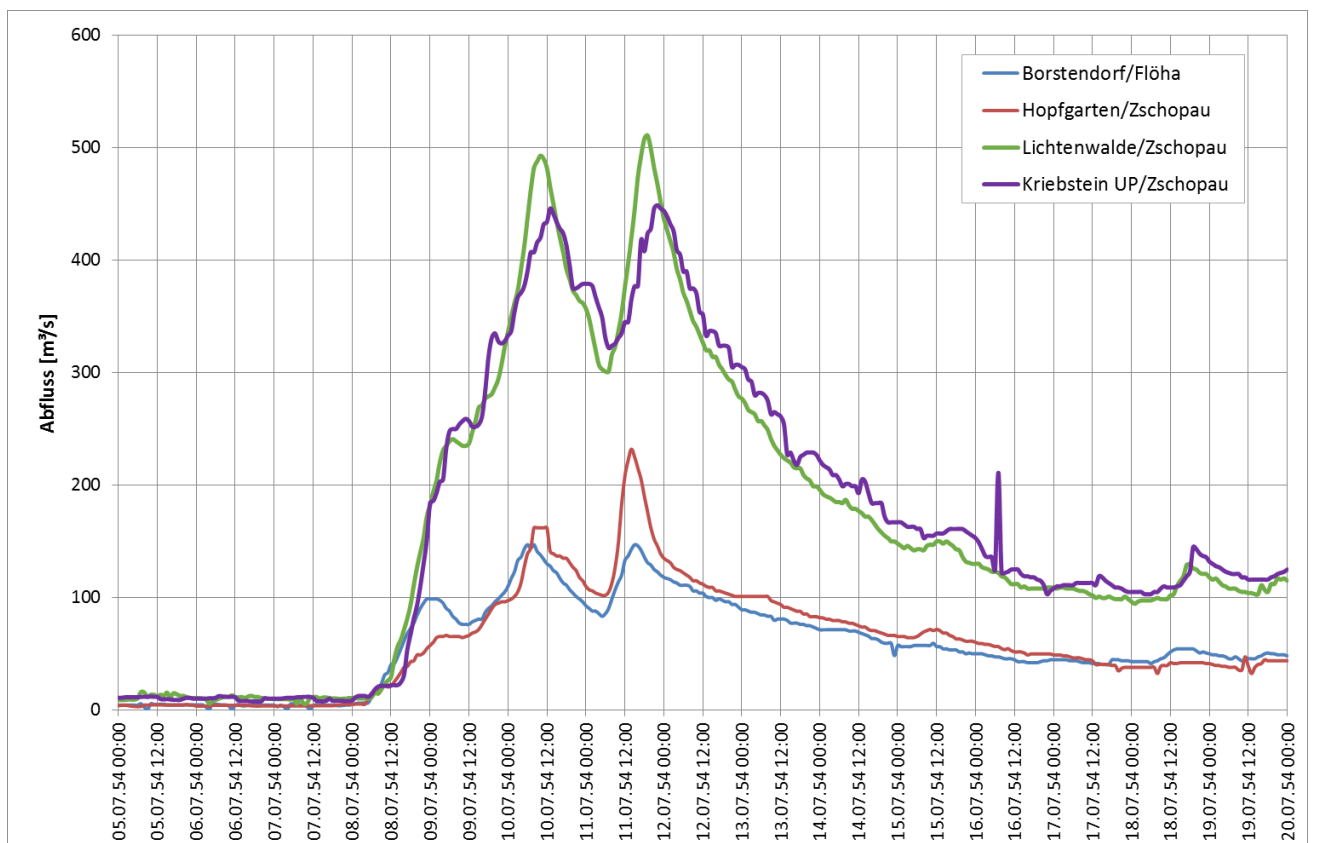


Abbildung 28: Hochwasserabflüsse im Flussgebiet der Zschopau und Flöha (Unterläufe) 1954

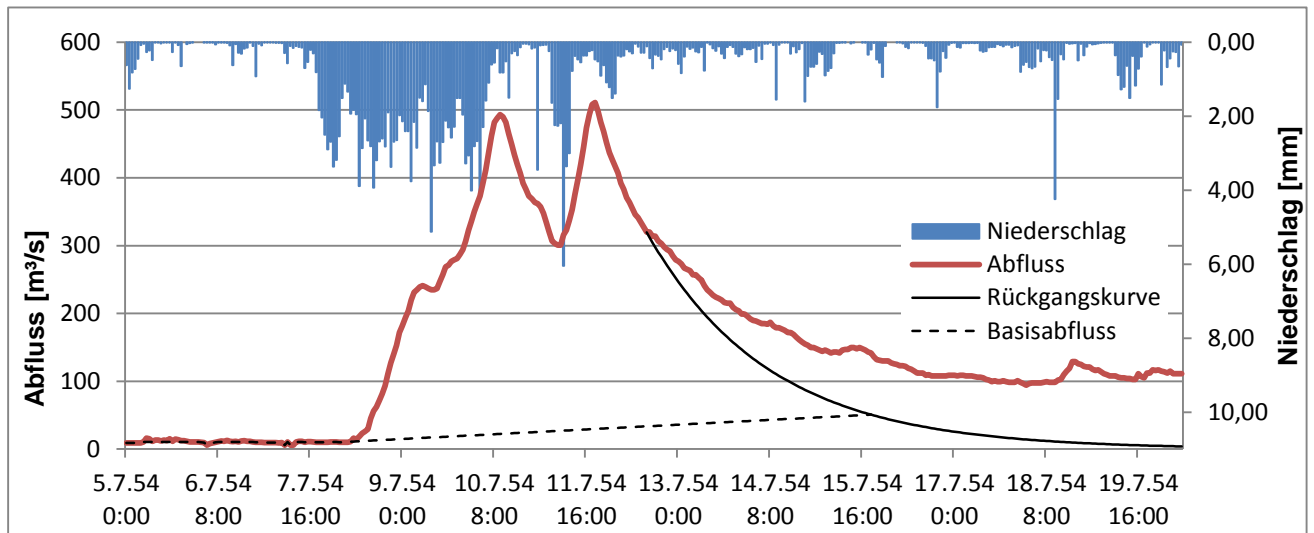


Abbildung 29: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Lichtenwalde/Zschopau

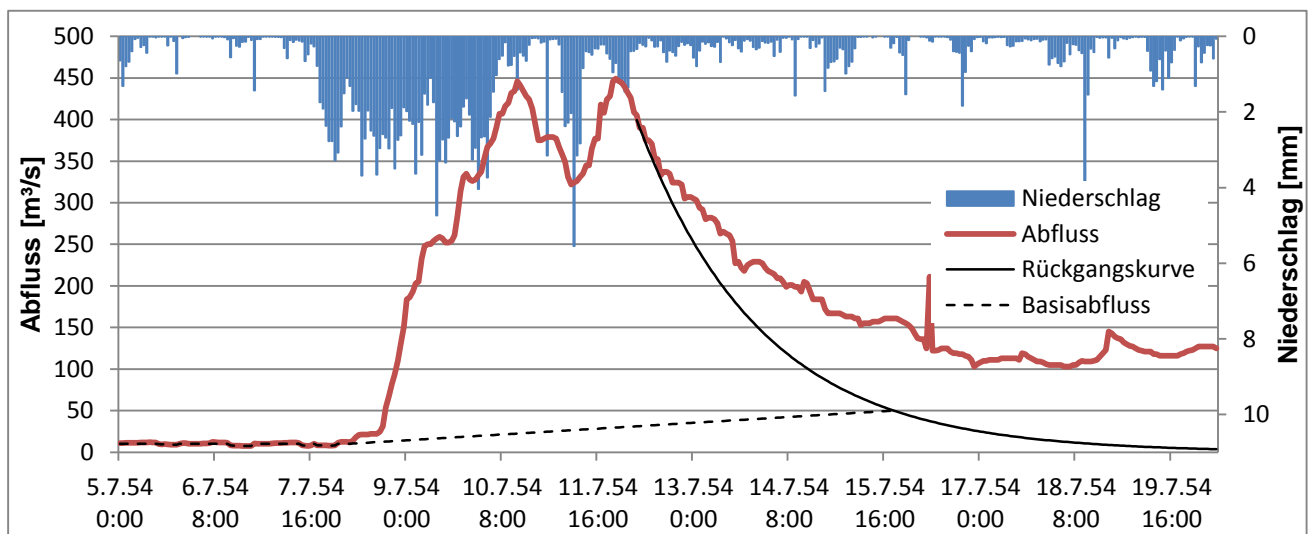


Abbildung 30: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Kriebstein UP/Zschopau

5.3.4 Abflussverlauf im Einzugsgebiet der Freiburger Mulde

Die Hochwasserentstehung in der oberen Freiburger Mulde entsprach in etwa der dargestellten Entwicklung in der Schwarzen Pockau und der Natzschung. Zunächst erfolgte als Folge des Steigungsregens am 8. Juli ein starker Anstieg der Abflüsse, dem ein kurzzeitiger Rückgang und ein erneuter Anstieg in den frühen Morgenstunden des 9. Juli 1954 folgte (Abbildung 31, Abbildung 32). Am Pegel Berthelsdorf trat der Scheitelabfluss am 10. Juli um 05:00 Uhr auf. Der anschließende Rückgang der Abflüsse wurde durch erneute Niederschläge am Vormittag des 11. Juli unterbrochen. In Folge der höheren Speicherkapazität der Böden im Osterzgebirge ergab sich hier eine im Vergleich zu den Oberläufen der Flöha eher ausgeglichene Ganglinie.

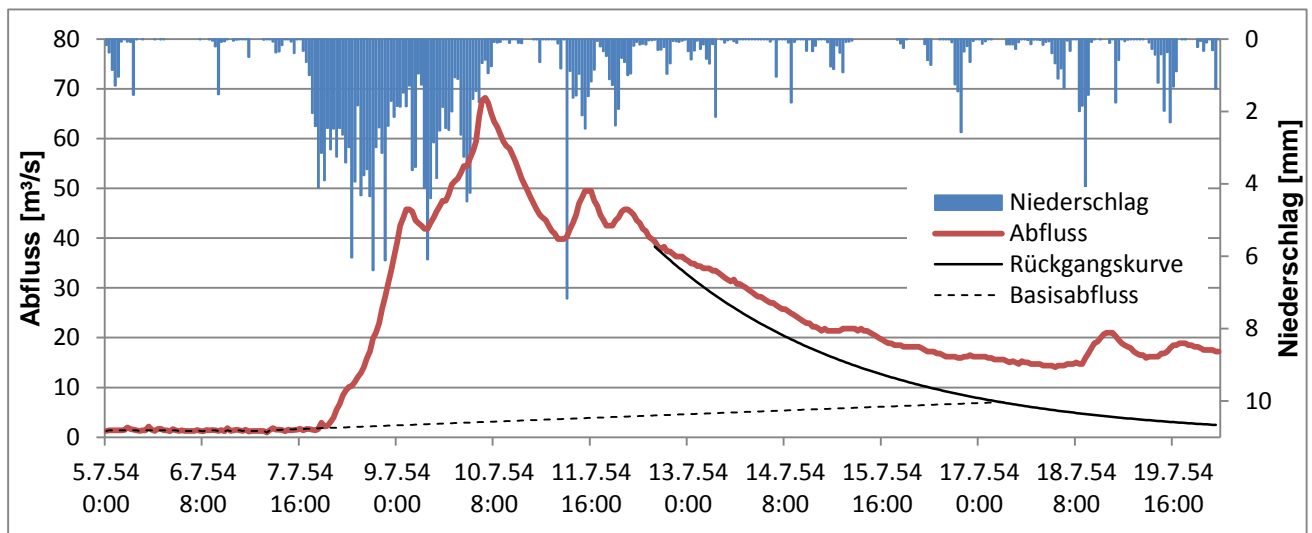


Abbildung 31: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Berthelsdorf/Freiberger Mulde

In Abbildung 32 wird eine Besonderheit des Abflusses am Pegel Nossen 1/Freiberger Mulde sichtbar. Der Abfluss steigt in der Rückgangsphase am 10. Juli von 17:00 bis 20:00 Uhr nochmals steil an. Der damit entstehende zweite Scheitel übersteigt mit $137 \text{ m}^3/\text{s}$ den ersten Scheitel ($133 \text{ m}^3/\text{s}$). Wie aus der Abbildung 32 ersichtlich, zeigt der Gebietsniederschlag am Nachmittag des 10. Juli keine hinreichend großen Werte, die diesen Abflussanstieg begründen könnten. Eine genauere Betrachtung der Stationsniederschläge und deren geostatistische Interpolation (Abbildung 33) belegt jedoch das Vorhandensein von Niederschlagszellen, die zu hohen Niederschlägen im Raum Nossen und im Einzugsgebiet der Striegis führten. Wie aus Abbildung 34 ersichtlich wird, unterscheiden sich auch die Hochwasserganglinien der Freiberger Mulde am Pegel Berthelsdorf und am Pegel Nossen 1 deutlich. Dies zeigt, dass aus dem Zwischengebiet hohe Zuflüsse erfolgten.

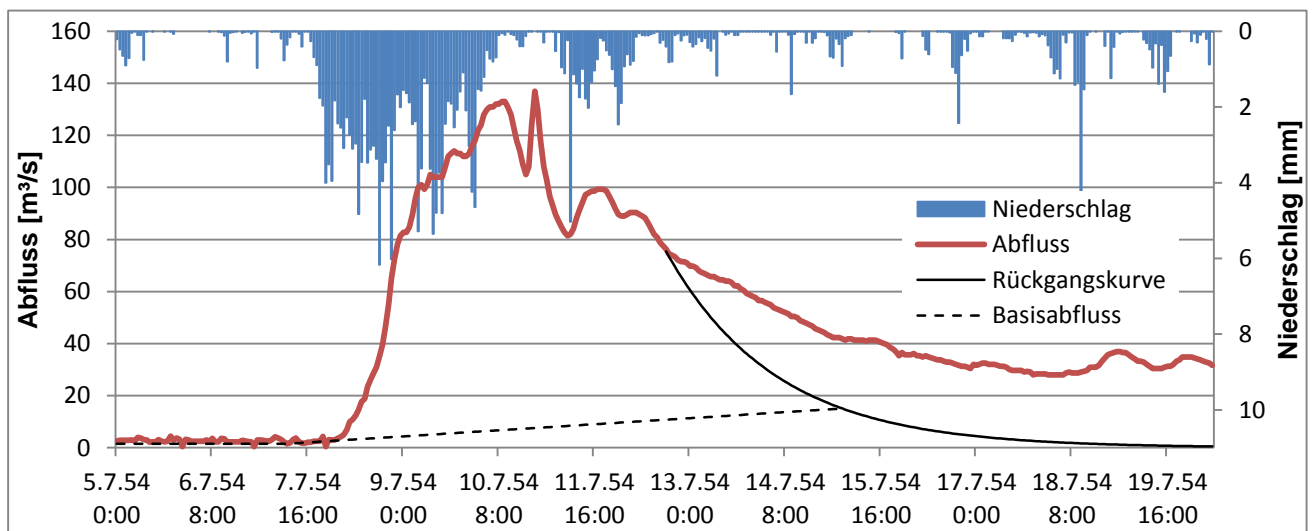


Abbildung 32: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Nossen 1/Freiberger Mulde

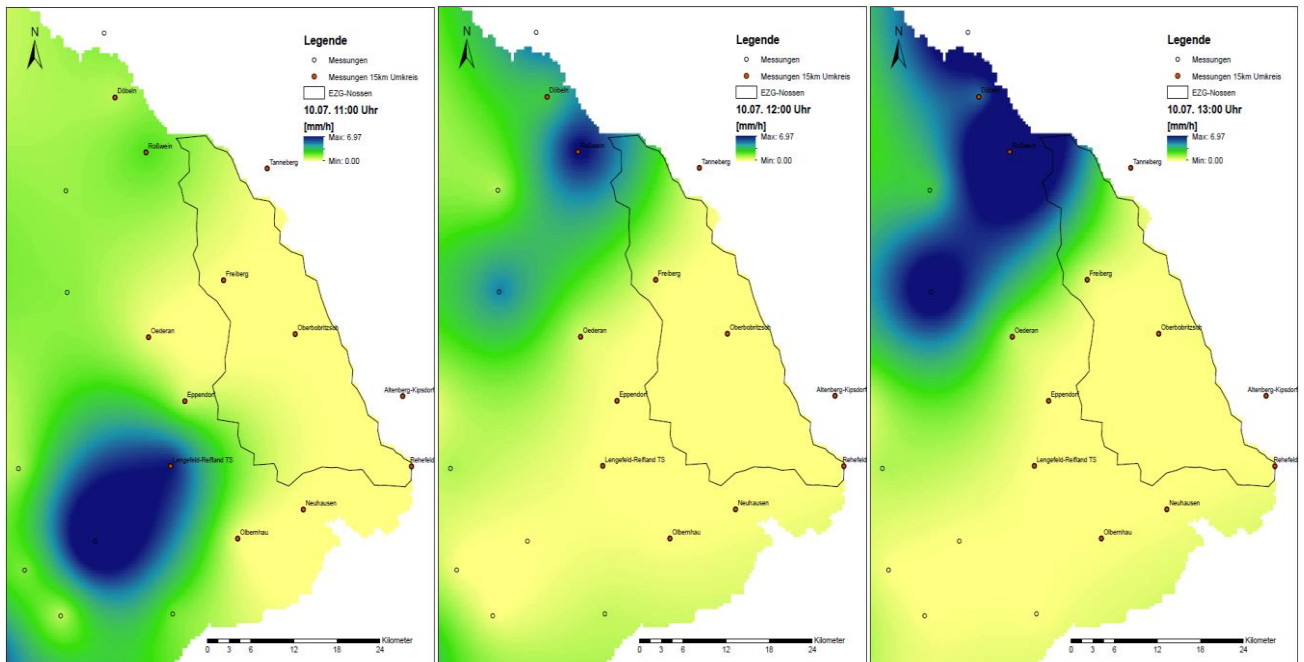


Abbildung 33: Statistisch interpolierte Niederschläge am 10.07.1954 von links nach rechts: 11:00 Uhr, 12:00 Uhr und 13:00 Uhr

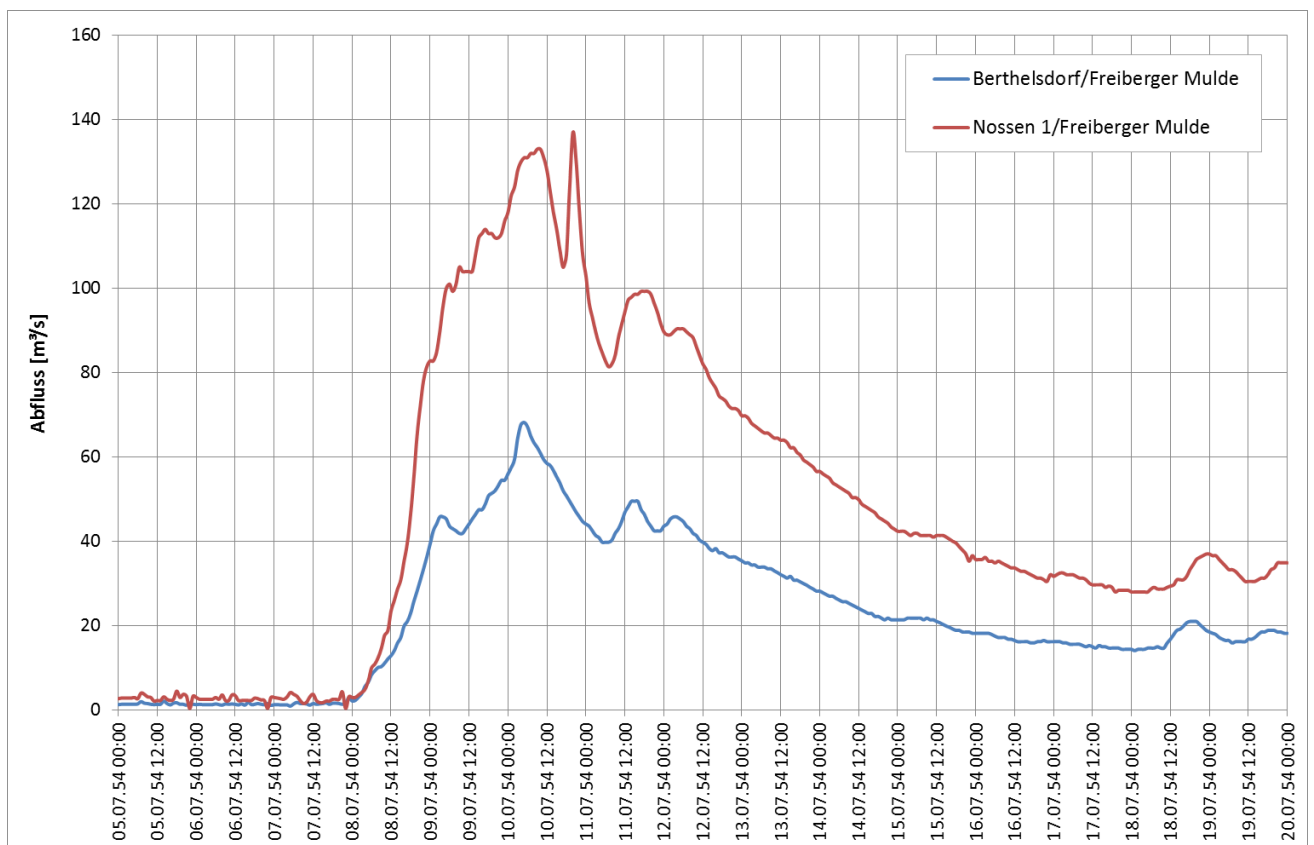


Abbildung 34: Hochwasserabflüsse im Flussgebiet der Freiberger Mulde 1954

5.3.5 Abflussverlauf in der Vereinigten Mulde

Die in Abbildung 35 dargestellte Hochwasserganglinie am Pegel Golzern/Vereinigte Mulde zeigt einen äußerst steilen Anstieg des Abflusses über 36 Stunden. Wie aus Abbildung 36 ersichtlich wird, ist dieser Anstieg in erster Linie durch die Zuflüsse aus der Zwickauer Mulde geprägt. Er wird an der Vereinigung durch die zeitgleichen Zuflüsse aus der Freiburger Mulde verstärkt. Die Zuflüsse aus der Freiburger Mulde stammen zum überwiegenden Teil aus der Zschopau, deren Einzugsgebiet flächenmäßig größer als das der übrigen Freiburger Mulde ist und die außerdem eine deutlicher ausgeprägte zweigipflige Welle aufwies als die obere Freiburger Mulde.

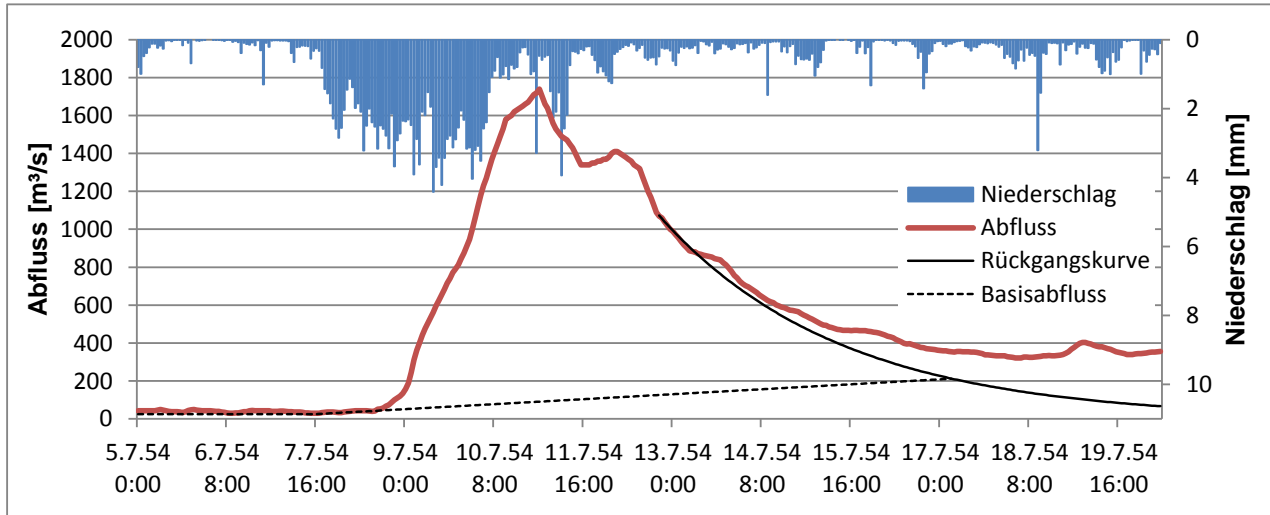


Abbildung 35: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Golzern/Vereinigte Mulde

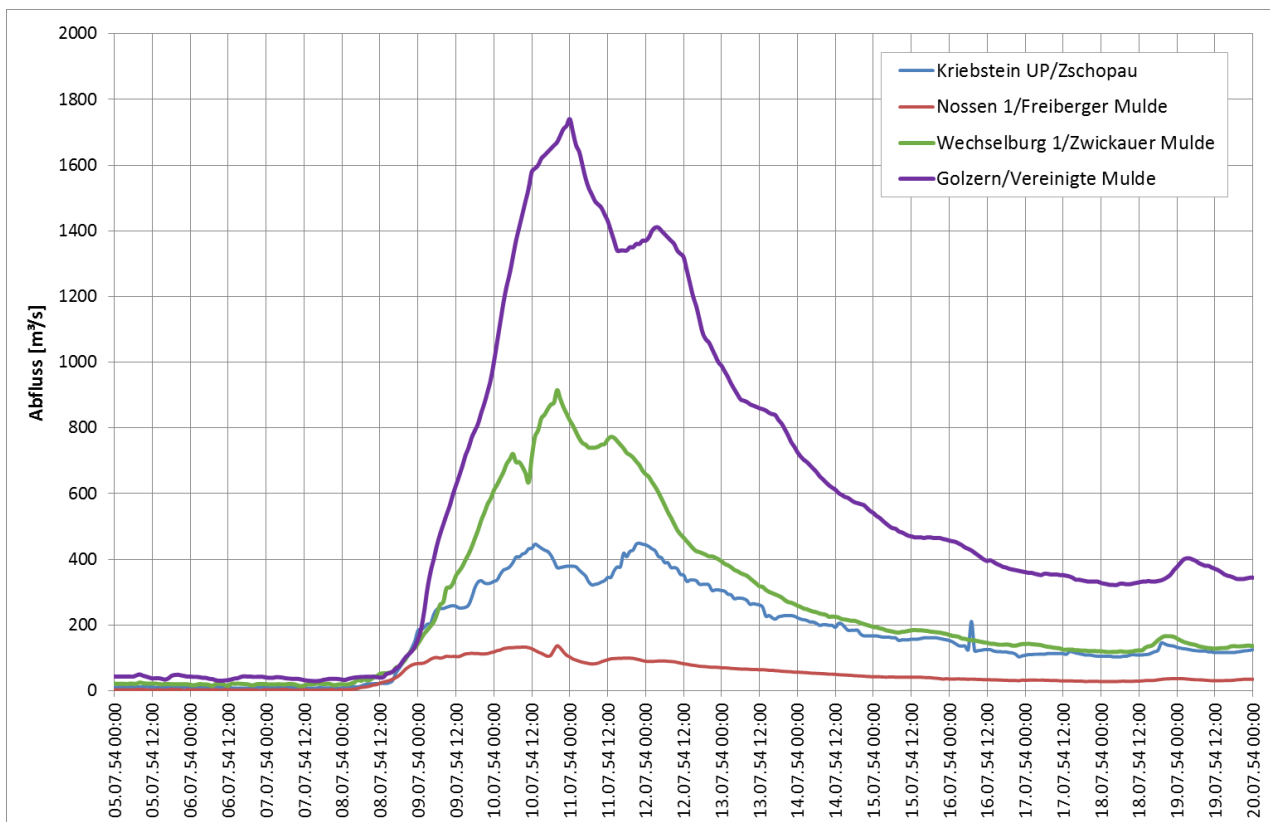


Abbildung 36: Hochwasserabflüsse der Hauptteileinzugsgebiete und der Vereinigten Mulde 1954

5.4 Analyse und Darstellung der Niederschlag-Abfluss-Beziehung mittels Abflussfüllen und -beiwerten

Die Abflussbeiwerte und Scheitelabflussspenden sind in Tabelle 11 zusammengestellt. Der Abflussbeiwert liegt im Mittel aller Gebiete bei 0,42 und schwankt in einem vergleichsweise geringen Maße zwischen 0,34 (Pegel Nossen 1/Freiburger Mulde) und 0,54 am Pegel Niederschlema/Zwickauer Mulde. Eine deutliche Ausnahme bildet das Einzugsgebiet der Natzschung, das nur einen Abflussbeiwert von 0,25 aufweist. Die Summen der Direktabflüsse und Gebietsniederschläge sind in Abbildung 37 dargestellt. Die Trendlinie beschreibt das mittlere Verhalten aller Gebiete und hat einen nahezu linearen Verlauf. Setzt man den Schnittpunkt der Regressionsgeraden auf den Koordinatenursprung ergibt sich ein Anstieg von 0,42, wobei sich jedoch das Bestimmtheitsmaß von 0,863 auf 0,676 verringert. Deutlich geringere Direktabflüsse in Relation zum Gebietsniederschlag weisen die Einzugsgebiete der Chemnitz und der Zwickauer Mulde (mit Ausnahme des Oberlaufs bis zum Pegel Niederschlema) auf. Vergleichsweise hohe Direktabflüsse traten dagegen trotz des geringeren Gebietsniederschlags im Zschopau-/Flöhagebiet auf.

Tabelle 11: Abflussbeiwerte und Scheitelabflussspenden des Hochwassers 1954

Pegel	Gewässer	AE [km ²]	Summe Niederschlag [mm]	Summe Direktabfluss [mm]	Abfluss- beiwert	Abfluss- scheiden [m ³ /s]	Abfluss- spende [m ³ /(skm ²)]
Zwickauer Mulde							
Aue1	Schwarzwasser	362,5	260,5	126,7	0,49	224	0,617
Niederschlema	Zwickauer Mulde	759,4	269,3	146,5	0,54	586	0,777
Zwickau-Pölbitz	Zwickauer Mulde	1029,7	258,8	114,2	0,44	683	0,669
Wechselburg	Zwickauer Mulde	2107	246,2	103,8	0,42	915	0,436
Chemnitz							
Chemnitz 1	Chemnitz	403,2	248,3	102,9	0,41	206	0,512
Göritzchain	Chemnitz	532,3	231,0	88,6	0,38	236	0,453
Flöha/Zschopau							
Streckewalde	Preßnitz	205,9	192,6	78,2	0,41	81	0,394
Hopfgarten	Zschopau	528,8	209,6	93,9	0,45	232	0,438
Lichtenwalde	Zschopau	1574,6	209,0	90,6	0,43	511	0,325
Kriebstein UP	Zschopau	1756,8	209,0	79,6	0,38	449	0,256
Rothenthal	Natzschung	75	173,9	44,3	0,25	13	0,176
Zöblitz	Schwarze Pockau	129,2	195,1	75,7	0,39	35	0,276
Borstendorf	Flöha	643,8	182,1	66,9	0,37	147	0,230
Freiburger Mulde							
Berthelsdorf	Freiburger Mulde	244,4	214,2	84,9	0,40	68	0,281
Nossen 1	Freiburger Mulde	585,2	210,5	72,4	0,34	133	0,227
Vereinigte Mulde							
Golzern	Vereinigte Mulde	5442	218,9	94,9	0,43	1740	0,320

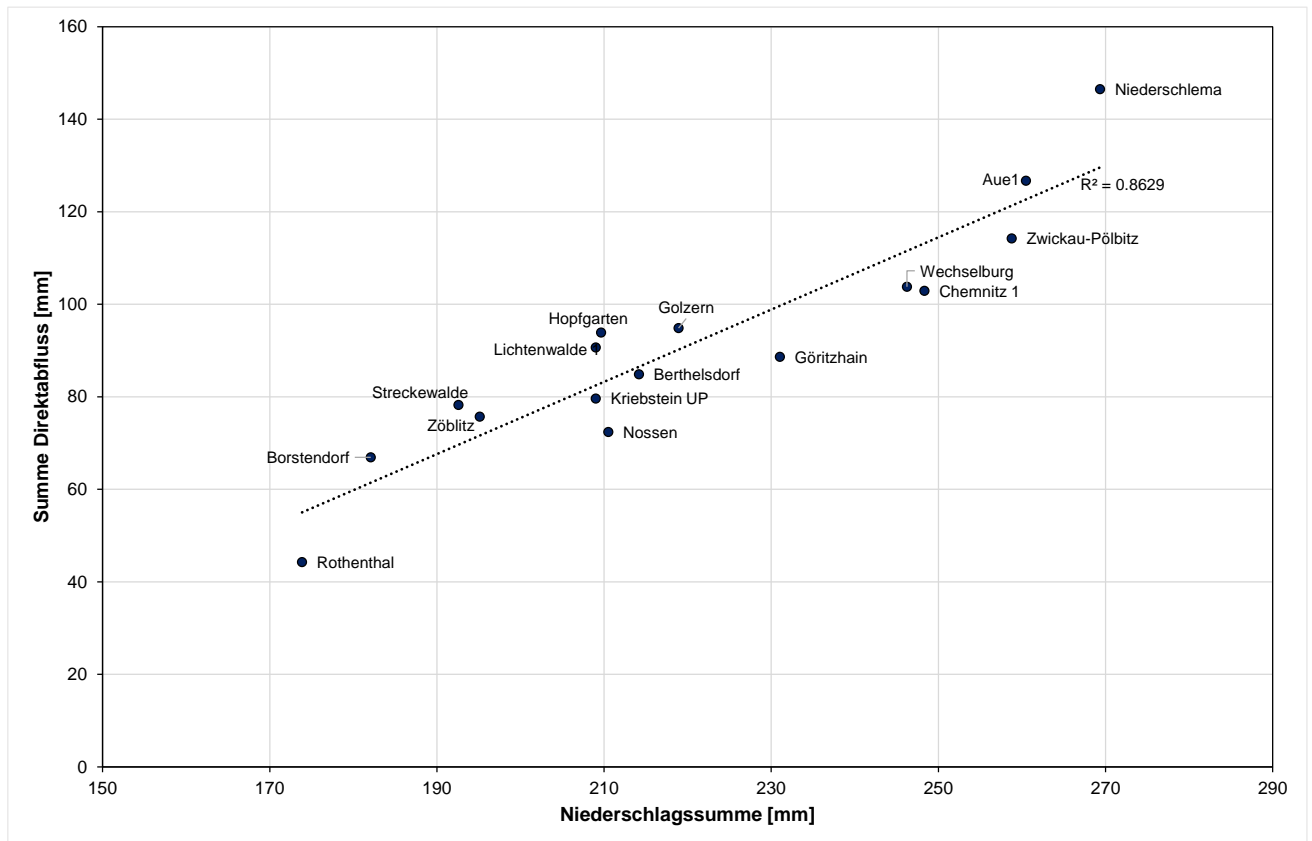


Abbildung 37: Zusammenhang zwischen Niederschlag und Direktabfluss 1954

Der Zusammenhang zwischen der Scheitelabflussspende und dem Abflussbeiwert ist deutlich uneinheitlich (Abbildung 38). Hohe Scheitelabflussspenden (Werte oberhalb der Trendkurve) treten, begründet durch das dort eher kompakte Niederschlagsereignis, in der Zwickauer Mulde und Chemnitz auf. In der Zschopau und Flöha bedingen die Niederschlagspausen sowohl eine mehrgipflige Hochwasserwelle als auch geringere Scheitelabflussspenden. Auch der Zusammenhang zwischen der Niederschlagssumme und den Abflussbeiwerten ist unterschiedlich. Während in der Zwickauer Mulde ein exponentieller Anstieg zu verzeichnen ist (Abbildung 39), zeigt das übrige Gebiet keine Abhängigkeiten. Der Grund dafür könnte auch im ungleichförmigen Niederschlagsverlauf liegen. Niederschlagspausen führen dann bei einem relativ großen Bodenspeicher zur Teilentleerung durch Versickerung, wodurch der Direktabflussanteil folgender Niederschlagsanteile weniger stark zunimmt.

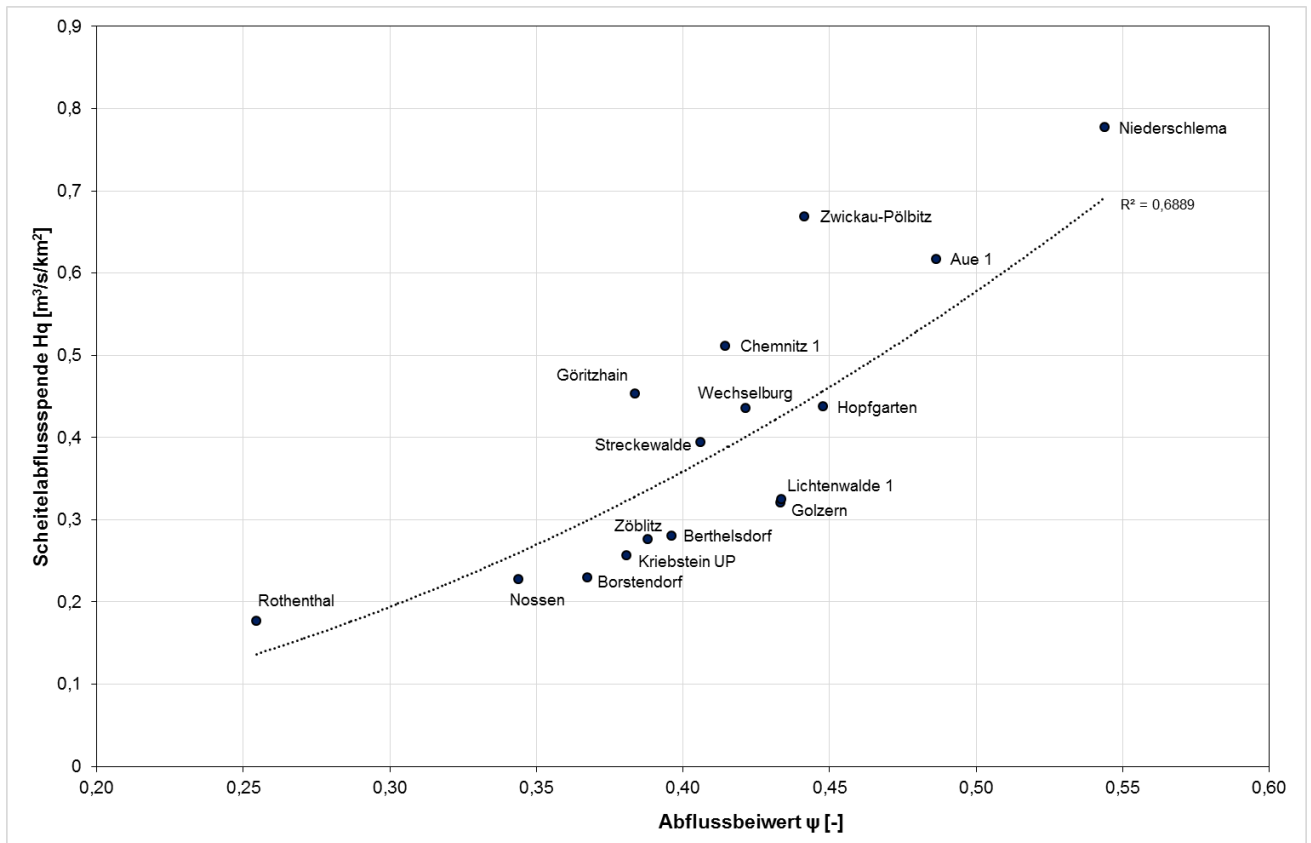


Abbildung 38: Zusammenhang zwischen Scheitelabflussspende und Abflussbeiwert 1954

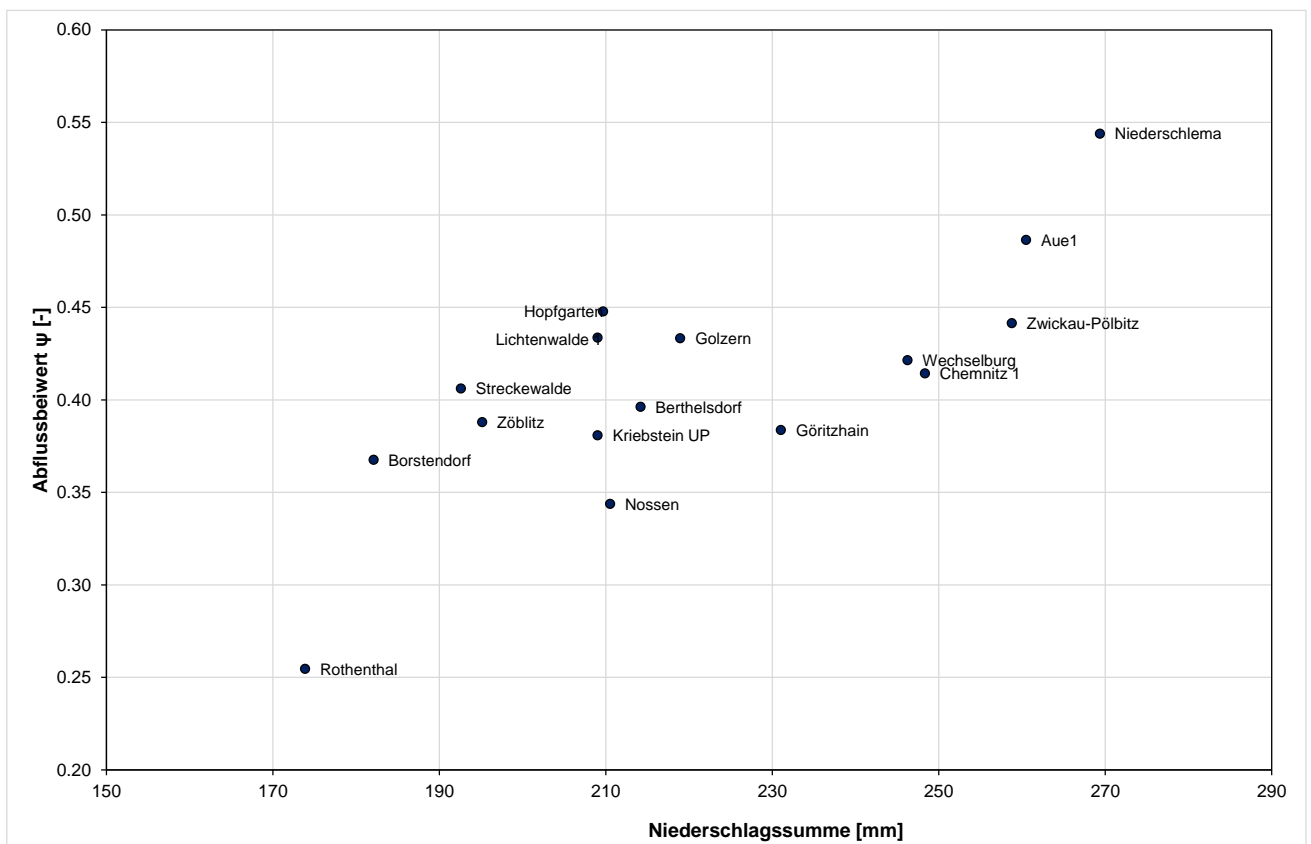


Abbildung 39: Zusammenhang zwischen Abflussbeiwert und Niederschlagssumme 1954

6 Das Hochwasser im Juli 1958

6.1 Meteorologische Ursachen des Hochwassers im Juli 1958

6.1.1 Meteorologische Vorgeschichte und Ereignisverlauf

Nach den Monatlichen Witterungsberichten des Meteorologischen und Hydrologischen Dienstes der DDR für die Monate Juni und Juli 1958 (Meteorologischer und Hydrologischer Dienst 1958) war der Witterungsverlauf im Juni 1958 sowohl durch meridionale als auch zyklonale Zirkulation geprägt, wobei sich die Zahl der Tage beider Zirkulationstypen nahezu entsprachen. Im Ergebnis stellte sich eine kühle und niederschlagsreiche Witterung ein. Nach einer vorübergehenden Wetterberuhigung mit ansteigenden Temperaturen, die durch ein Hochdruckgebiet vom 13. bis 17. Juni mit Kern über Mitteleuropa bedingt war und die vorherige Westströmung ablöste, brachten vom 18. bis 21. Juni über Mitteleuropa nach Osten ziehende Tiefdruckgebiete erneut eine Periode unbeständiger Witterung. Mit einer Westströmung, die sich vom 22. bis 26. Juni trogartig nach Süden ausweitete, zogen im raschen Wechsel Störungen über Mitteleuropa hinweg, die das Wetter anhaltend regnerisch gestalteten. Vom 27. Juni bis zum Monatsende drang an der Südflanke eines Hochs über dem Nordmeer feuchte Warmluft westwärts vor. Unter dem über Mitteleuropa noch herrschenden Tiefdruckeinfluss setzte eine rege Niederschlagstätigkeit ein. Die höchsten Tagessummen des Niederschlages traten am Monatsende auf. So fielen z. B. an der Station Karl-Marx-Stadt am 28. Juni 30,5 mm und am 29. Juni 12,9 mm. Die Juni-Monatssummen lagen in Sachsen zwischen 75 mm und 150 mm. Die Niederschläge wiesen zum großen Teil Schauercharakter auf.

Im Juli 1958 behielt das Ende Juni über dem Nordmeer und Fennoskandien befindliche Hochdruckgebiet seine Lage bis zum 3. Juli. Zwischen diesem Hoch und tiefem Druck im Süden drang feucht-warme Luft aus Südosten nach Mitteleuropa vor. Im Ergebnis zunehmender Gewitterneigung traten teilweise sehr ergiebige Niederschläge auf. Ab dem 4. Juli bildete sich über Mitteleuropa ein abgeschlossenes Tiefdruckgebiet, wobei sich ein über der Biskaya gelegener Kaltlufttropfen langsam nach Osten verlagerte (Abbildung 40). Diese Entwicklung führte zur Verstärkung der Niederschlags- und Gewittertätigkeit. Im Verlauf des 4. Juli verlagerte sich von Westen her ein besonders in der Höhe kräftig ausgebildetes Tiefdruckgebiet langsam nach Mitteleuropa. In seinem Bereich bildete sich ein umfangreiches Regengebiet in Sachsen, weil sehr feuchte und warme Luft, die aus Osten herangeführt wurde, auf den mit dem Höhentief verbundenen Kaltlufttropfen aufglitt. Die Niederschläge wurden an den Nordhängen der Mittelgebirge durch orografische Effekte verstärkt. Örtlich kam es, vielfach mit Gewittern verbunden, zu Starkniederschlägen. Die höchsten Tagessummen des Niederschlages wurden in Sachsen am 5. und 6. Juli gemessen. Sie schwankten entsprechend der unterschiedlichen Intensität der Gewitterschauer sehr stark. Am Morgen des 6. Juli wurden die höchsten 24-h-Niederschläge gemessen, die teilweise über 100 mm lagen. Der monatliche mittlere Niederschlag lag deutlich (in Südsachsen bis zu 150 %) über dem langjährigen Monatsmittelwert.

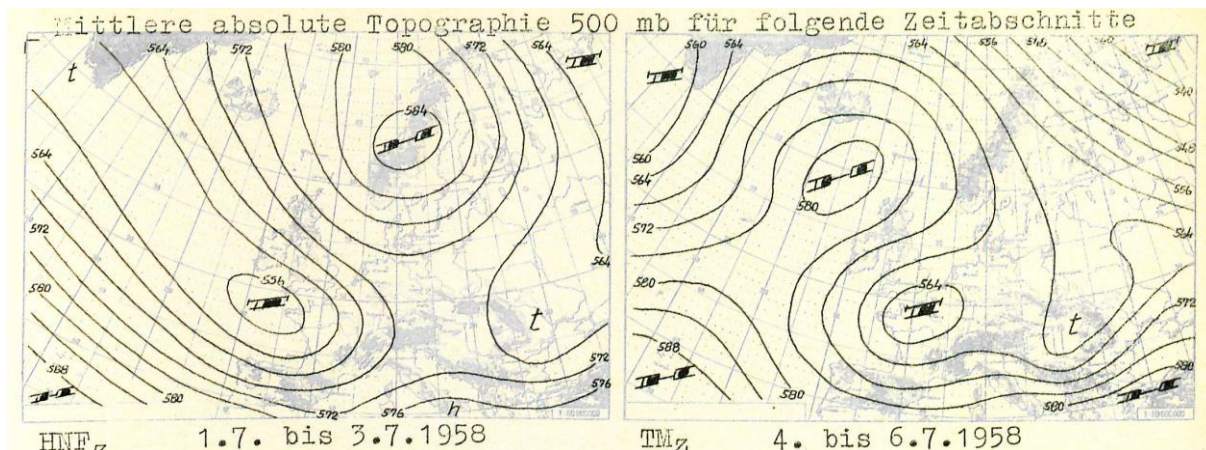


Abbildung 40: Druckverlauf über Mitteleuropa im Zeitraum vom 01.07. bis 03.07. und vom 04. bis 06.07.1958

6.1.2 Beschreibung der zeitlich und räumlichen Niederschlagsverteilung

Während des Hochwasserereignisses im Juli 1958 fielen die höchsten Niederschlagsmengen im Bereich der Freiburger Mulde (Abbildung 41). Die Gebietsniederschläge der westlich gelegenen Haupteinzugsgebiete waren etwa um ein Drittel geringer. Einen Überblick über die Unterschiede der Gebietsniederschläge der Haupteinzugsgebiete vom 2. bis 6. Juli gibt Tabelle 12.

Tabelle 12: Gebietsniederschlagssummen der Vereinigten Mulde und der drei Hauptteilgebiete vom 02.07.1958, 12:00 Uhr bis zum 06.07.1958, 12:00 Uhr

Pegel	Fluss	AE [km ²]	Summe Niederschlag [mm]
Bad Dübener See	Vereinigte Mulde	6170	96,8
Wechselburg	Zwickauer Mulde	2326	83,2
Kriebstein UP	Zschopau	1754	111,6
Nossen 1	Freiberger Mulde	910	145,7

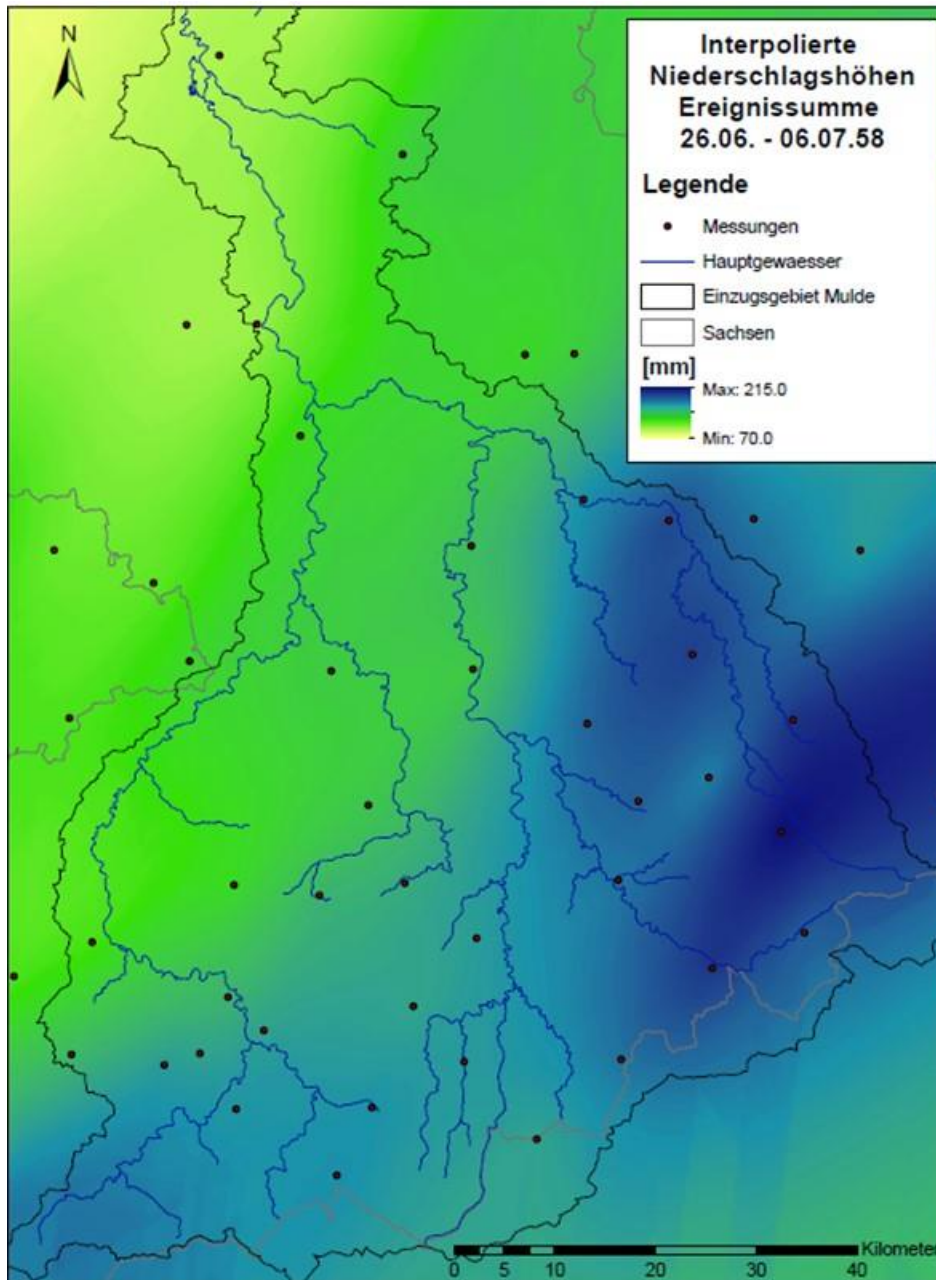


Abbildung 41: Räumliche Verteilung der Niederschlagssummen für den Zeitraum 26.06.–06.07.1958

Der zeitliche Niederschlagsverlauf war über das Ereignis hinweg sehr ungleichförmig (Abbildung 42). Der integrierende Gebietsniederschlag für die Vereinigte Mulde bis zum Pegel Bad Düben zeigt einen intensiven, aber nur einige Stunden andauernden Vorregen in der zweiten Tageshälfte des 2. Juli, ein über neun Stunden anhaltendes Niederschlagsereignis in der Nacht vom 3. zum 4. Juli, eine Niederschlagspause am Vormittag des 4. Juli und einen zeitlich zusammenhängenden Teilniederschlag vom Mittag des 4. Juli bis zum frühen Nachmittag des 5. Juli. Nach einer kurzen Niederschlagspause setzten am 5. Juli erneut Niederschläge ein, die bis in die ersten Stunden des 6. Juli anhielten.

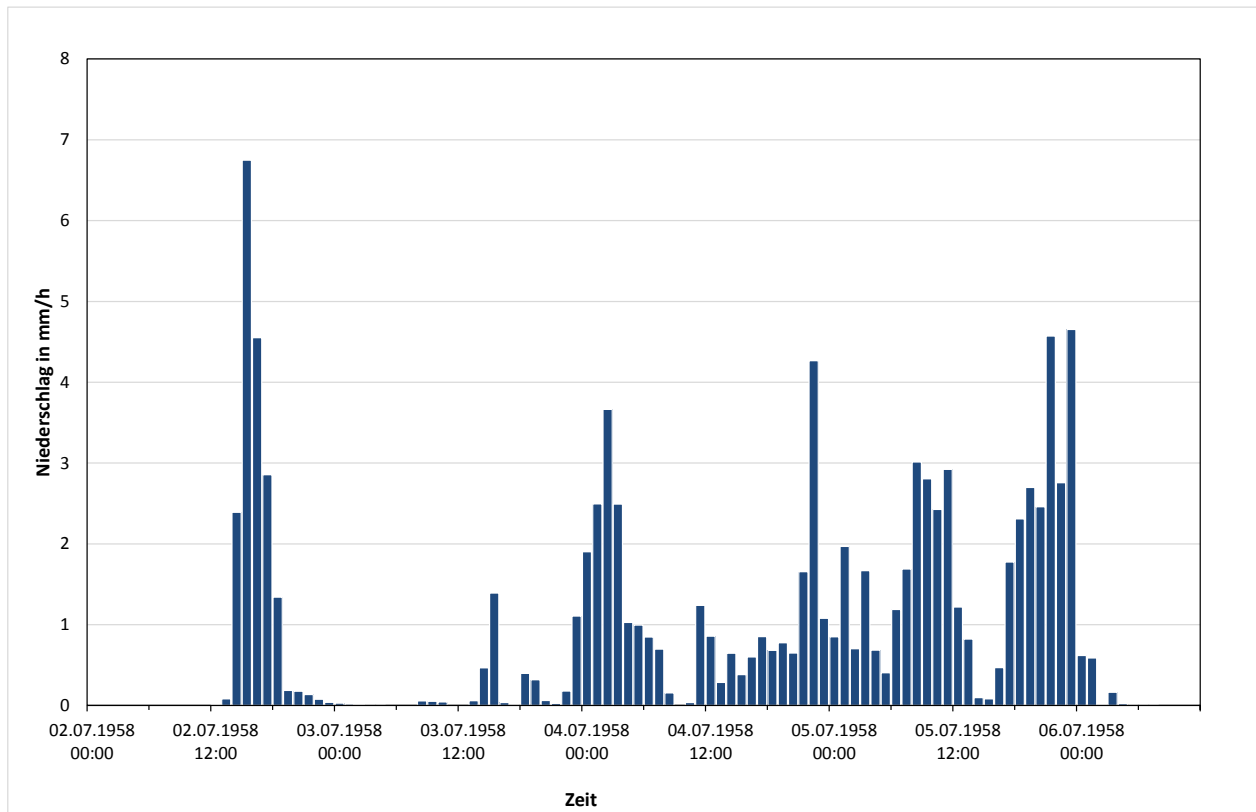


Abbildung 42: Zeitliche Verteilung des Gebietsniederschlags für die Vereinigte Mulde (Pegel Bad Dübener)

Auch die räumlichen Niederschlagsverteilungen unterschieden sich zwischen den genannten Niederschlags-episoden stark. In Abbildung 43 sind die räumlichen Verteilungen für den Zeitraum vom 26. Juni bis 4. Juli 1958 dargestellt. Wie oben beschrieben, traten bereits in den letzten Junitagen hohe Niederschläge auf. Die Niederschlagsschwerpunkte lagen zwischen dem 26. Juni und dem 1. Juli sowohl im Gebiet des Unterlaufs der Freiburger Mulde als auch im Westerzgebirge. Am 2. Juli fielen im Westerzgebirge weniger Niederschläge als im Rest des Muldegebietes, der Niederschlag am 4. Juli war dagegen nahezu gleichmäßig über das Muldegebiet verteilt. Der den folgenden maßgeblichen Hochwasserscheitel auslösende Niederschlag am 5. Juli nahm parallel zur Nordabdachung des Erzgebirges von Norden nach Süden zu. Er wies aber zugleich einen deutlichen Schwerpunkt im Einzugsgebiet der oberen Freiburger Mulde auf. Diese räumliche Differenzierung ist dadurch begründet, dass es sich am 5. Juli um zwei, zeitlich voneinander getrennte Niederschläge handelte. Der erste Teilniederschlag war ein Stauregen an der Nordseite des Erzgebirges, wogegen der Niederschlag in der zweiten Tageshälfte konvektive Anteile hoher Intensität mit Schwerpunkt im Osterzgebirge aufwies.

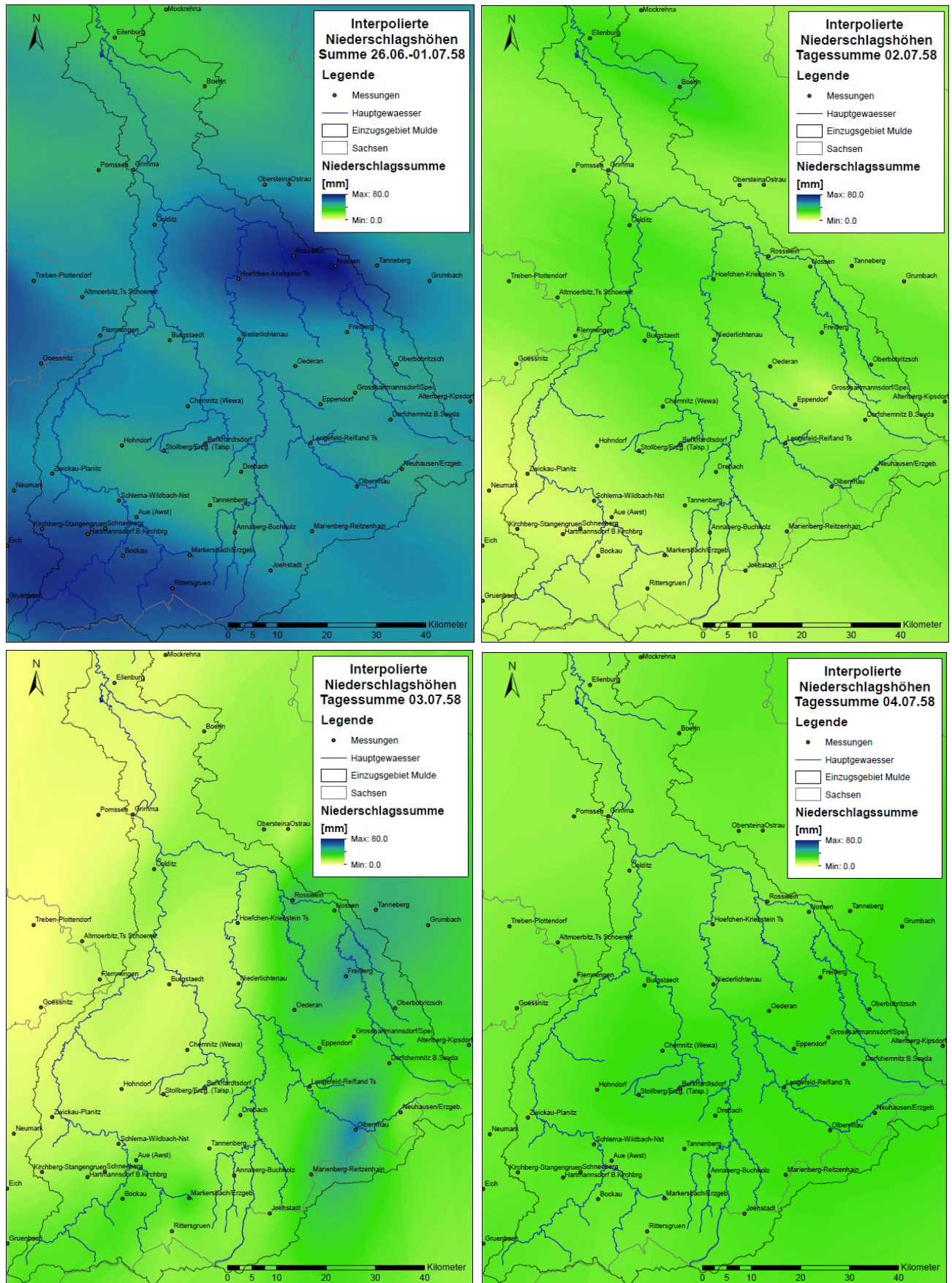


Abbildung 43: Räumliche Verteilung der Niederschlagstagesummen vom 26.06. bis 04.07.1958 (jeweils von 00:00 bis 24:00 Uhr)

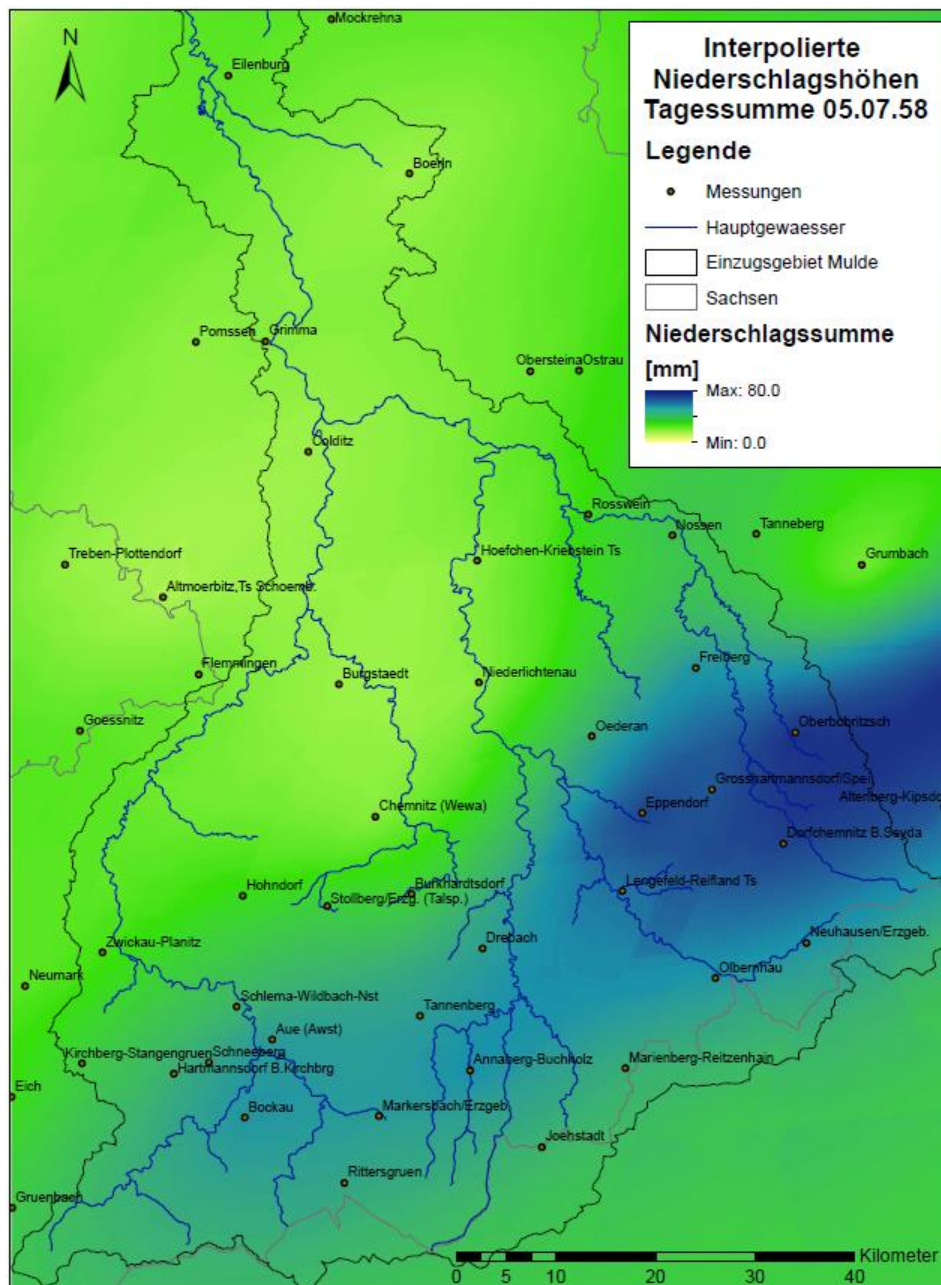


Abbildung 44: Räumliche Verteilung der Niederschlagstagesumme am 05.07.1958 (00:00 bis 24:00 Uhr)

6.2 Beschreibung des zeitlichen und räumlichen Abflussverlaufes des Hochwassers

6.2.1 Gesamtbetrachtung

Wie in der Beschreibung des zeitlichen Niederschlagsverlaufes bereits dargestellt, sind für dieses Hochwasser mehrere voneinander trennbare Niederschlagsperioden maßgebend. Erzielte der Niederschlag am 2. Juli nahezu keine Abflusswirksamkeit, so setzte in den Einzugsgebieten von Zschopau, Flöha und Freiburger Mulde mit den Niederschlägen am 4. Juli ein Abflussanstieg an allen Pegeln ein. In diesen Gebieten folgte auf diesen Anstieg zunächst ein Rückgang (Abbildung 46, Abbildung 47). Die Pegel im Gebiet der Zwickauer Mulde zeigten dagegen erst in der ersten Tageshälfte des 5. Juli einen Anstieg, weil am 4. Juli in diesem Teil des Muldegebietes noch wesentlich geringere Niederschläge fielen. Die hohen Niederschläge in der ersten Tageshälfte des 5. Juli führten dann an allen Pegeln zu einem starken Abflussanstieg, der im Tagesverlauf aufgrund der Regenpause am Nachmittag des 5. Juli kurzfristig unterbrochen wurde (erster Hochwasserscheitel in Tabelle 13). Der Abflussanstieg wurde durch die am späten Nachmittag des 5. Juli erneut einsetzenden, insbesondere im Ostteil des Muldegebietes sehr intensiven Niederschläge fortgesetzt. Diese letzte Niederschlagsperiode führte dazu, dass sich die Hochwasserscheitel dieses Ereignisses um weitere 50–70 % (im Vergleich zu den Scheitelwerten aus den Niederschlägen bis zum 5. Juli, 16:00 Uhr) erhöhten. Letztlich wurde die Höhe der Scheitelabflüsse bei diesem Ereignis wesentlich von der Menge und Intensität des letzten Teilniederschlags beeinflusst. Weil dieser im Osterzgebirge wesentlich größer war als in anderen Teilgebieten, wurden die höchsten Abflussbeiwerte bei diesem Ereignis an Pegeln der Flöha und der Freiburger Mulde erreicht (Tabelle 13). Aufgrund der Wellenüberlagerungen und der abflachenden Wirkung der längeren Fließstrecke ist die Hochwasserganglinie der Vereinigten Mulde am Pegel Golzern wesentlich ausgeglichener als dies der Verlauf des Gebietsniederschlags erwarten lässt (Abbildung 48).

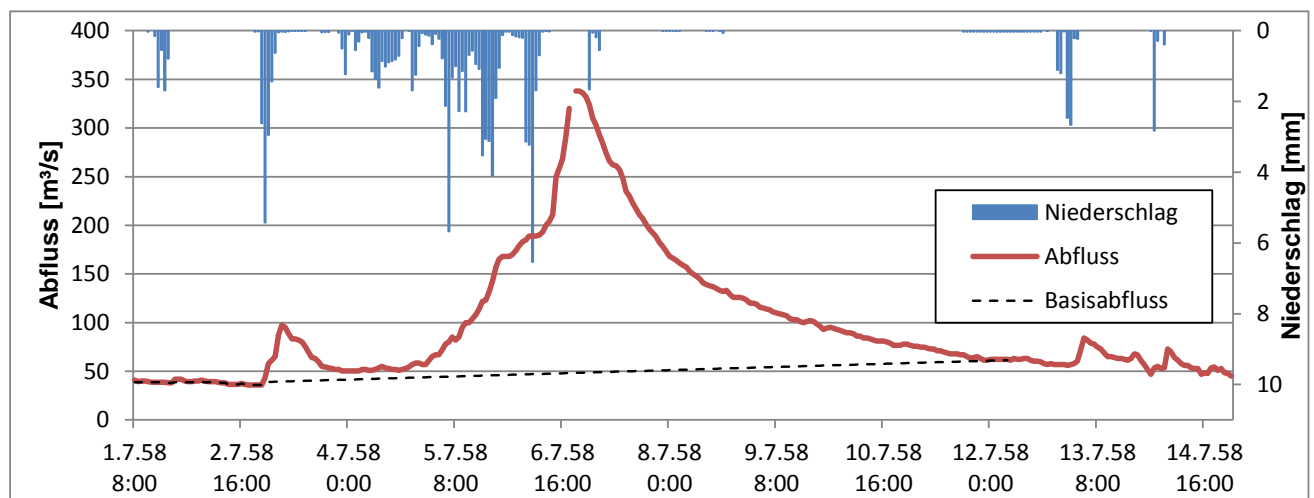


Abbildung 45: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Wechselburg/Zwickauer Mulde 1958

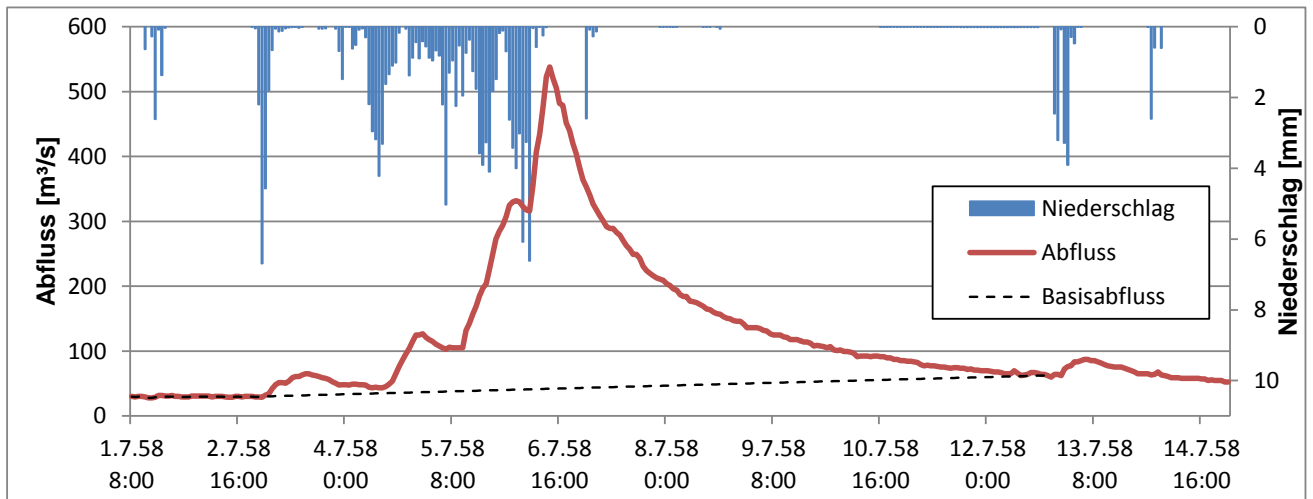


Abbildung 46: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Lichtenwalde/Zschopau 1958

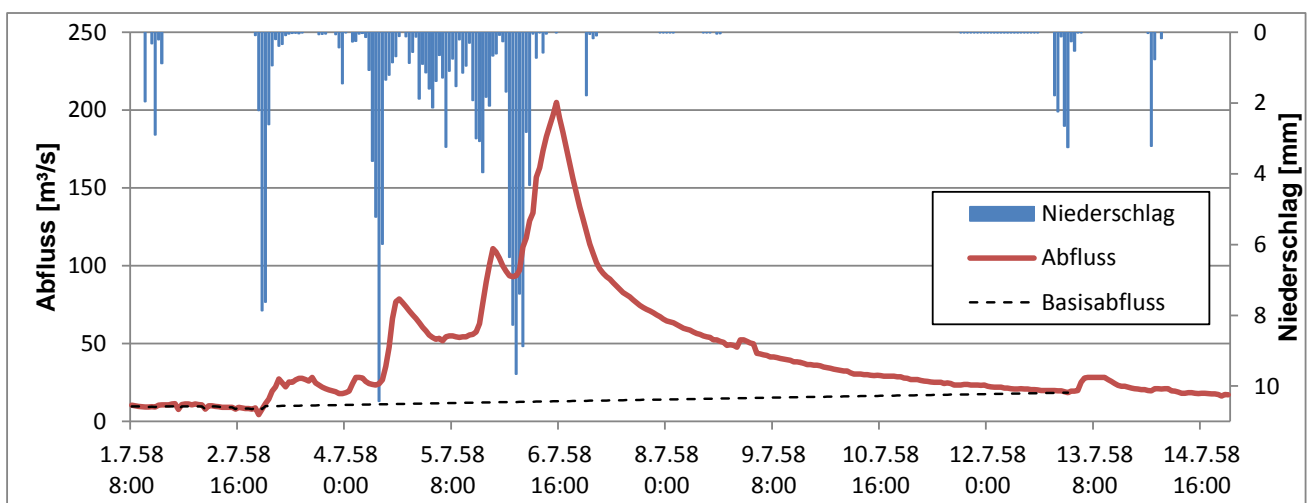


Abbildung 47: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Nossen 1/Freiburger Mulde 1958

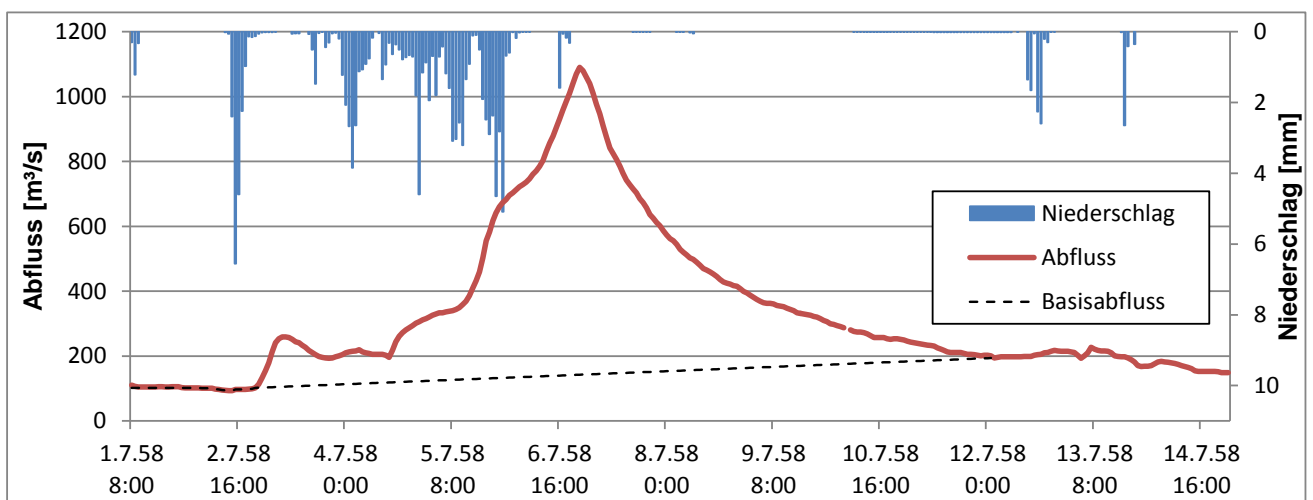


Abbildung 48: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Golzern/Vereinigte Mulde 1958

Tabelle 13: Hochwasserkennwerte 1958

	AE	Scheitel 1	Eintrittszeit 1	Scheitel 2	Eintrittszeit 2	Direktabfluss- volumen	Direktabfluss- volumen	Niederschlags- summe	Niederschlags- summe	Abfluss- beiwert
Gebiete	[km ²]	[m ³ /s]	[-]	[m ³ /s]	[-]	[hm ³]	[mm]	[mm]	[hm ³]	[-]
Aue1	363	54	05.07.58 15:00	96,2	06.07.58 02:00	13,332	36,7	104,2	37,822	0,35
Niederschlema	754	109	05.07.58 18:00	173	06.07.58 03:00	24,667	32,7	105,2	79,301	0,31
Zwickau-Pölbitz	1021	-	-	216	06.07.58 05:00	26,978	26,4	97,7	99,726	0,27
Wechselburg	2099	-	-	338	06.07.58 11:00	55,790	26,6	91,0	190,938	0,29
Chemnitz 1	403	57,8	05.07.58 13:00	75,6	06.07.58 06:00	13,010	32,3	93,9	37,841	0,34
Streckewalde	206	36	05.07.58 15:00	81,1	05.07.58 23:30	9,360	45,4	112,0	23,081	0,41
Hopfgarten	530	93,8	05.07.58 15:00	222	06.07.58 00:30	23,450	44,2	112,4	59,566	0,39
Lichtenwalde	1572	332	05.07.58 19:00	550	06.07.58 04:30	87,790	55,8	125,2	196,741	0,45
Kriebstein UP	1754	320	06.07.58 01:00	428	06.07.58 09:00	84,686	48,3	119,8	210,082	0,40
Pockau 1	388,2	103	05.07.58 16:00	136	06.07.58 03:00	24,139	62,2	144,6	56,144	0,43
Borstendorf	640	167	05.07.58 18:00	208	06.07.58 04:00	43,128	67,4	160,8	102,909	0,42
Rothenthal	75.9	14,4	05.07.58 16:00	17,3	06.07.58 01:00	4,272	56,3	140,6	10,678	0,40
Zöblitz	125	26,6	05.07.58 14:00	33,6	06.07.58 03:00	5,972	47,8	130,3	16,286	0,37
Berthelsdorf	243	52	05.07.58 15:00	120	06.07.58 00:00	17,718	72,9	179,7	43,661	0,41
Nossen 1	586	111	05.07.58 12:00	205	06.07.58 07:00	34,507	58,9	154,3	90,401	0,38
Golzern	5433	641	05.07.58 21:00	1090	06.07.58 22:00	216,545	39,9	103,6	563,035	0,38

6.2.2 Abflussverlauf im Einzugsgebiet der Zwickauer Mulde

In den in Abbildung 49 dargestellten Hochwasserganglinien der Pegel im Gebiet der Zwickauer Mulde wird eine Differenzierung zwischen den Abflussanteilen, die aus den Niederschlägen, die am Nachmittag des 4. Juli einsetzten und bis zum Mittag des 5. Juli anhielten, und dem folgenden längeren Niederschlagsereignis an den Pegeln Aue 1, Niederschlema und Chemnitz deutlich. Die mehrstündige Niederschlagspause hat dagegen für den Ganglinienverlauf in Zwickau-Pölbitz keine Bedeutung mehr. Aus diesen Unterschieden kann auf die Bedeutung der Abflusskonzentrationsphase in Abhängigkeit von der Gebietsgröße geschlossen werden. Eine mehrstündige Niederschlagspause wird danach bei größeren Gebieten im Abflussverlauf kaum sichtbar. Der Ganglinienverlauf in Wechselburg wird durch die Überlagerung der Hochwasserwellen von Zwickauer Mulde und Chemnitz charakterisiert. Leider sind die Aufzeichnungen des Hochwassers am Pegel Göritz/Chemnitz nicht aussagekräftig. Aus dem Vergleich der Ganglinien an den Pegeln Zwickau-Pölbitz, Chemnitz 1 und Wechselburg ist jedoch zu schließen, dass die nördlich von Zwickau und Chemnitz gelegenen Gebietsteile mit relativ hohen Abflüssen zum steilen Verlauf der Ganglinie in Wechselburg beitragen.

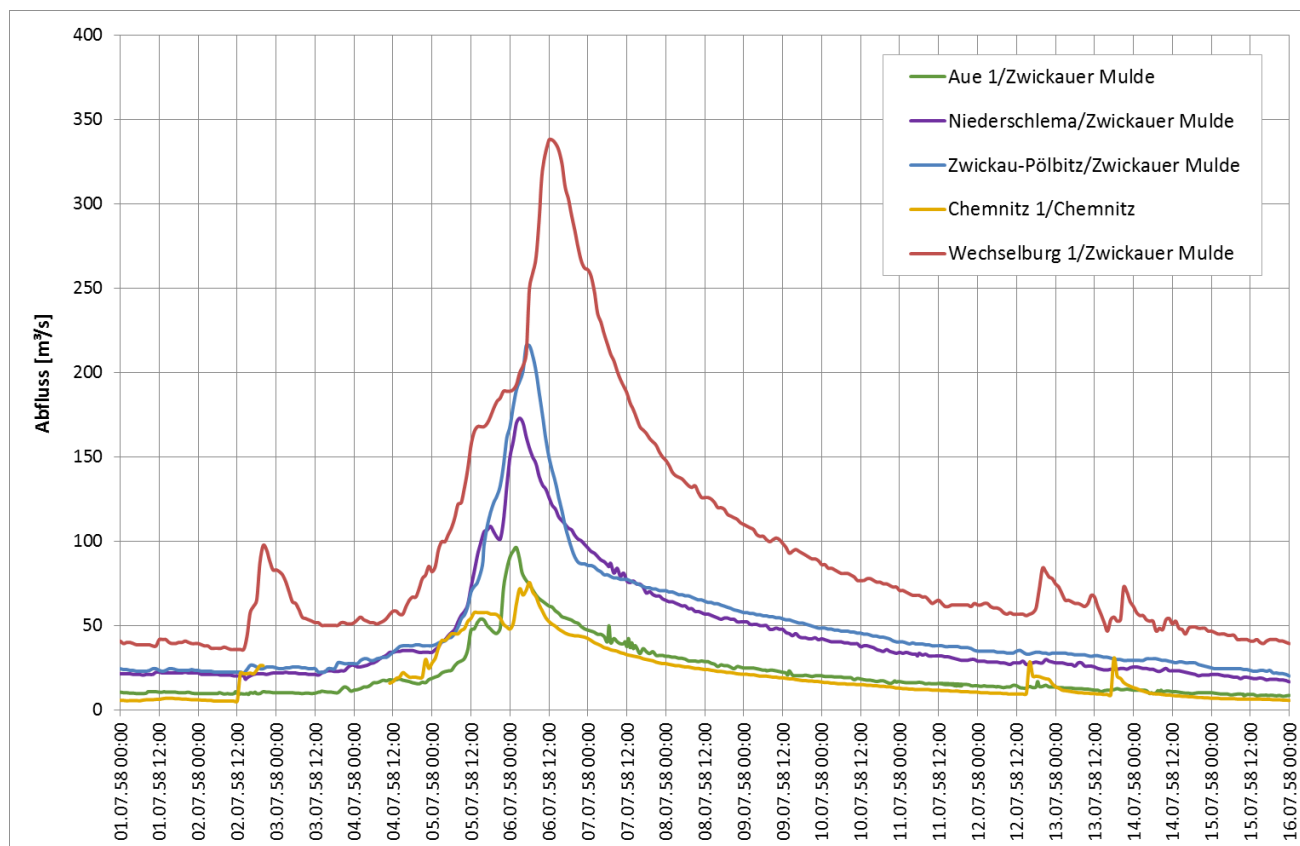


Abbildung 49: Hochwasserabflüsse im Flussgebiet der Zwickauer Mulde 1958

6.2.3 Abflussverlauf in den Einzugsgebieten von Zschopau und Flöha

Wie Abbildung 50 zeigt, traten im oberen Teil des Zschopau-/Flöhagebietes starke räumliche Diversifizierungen der Hochwasserabflüsse auf. Die schnell ansteigende Hochwasserganglinie am Pegel Streckwalde/Preßnitz entstand durch einen intensiveren Teilniederschlag mit einer Niederschlagssumme von 17 mm innerhalb von drei Stunden (5. Juli, 21:00 Uhr bis 6. Juli, 00:00 Uhr). Die Pegel Rothenthal/Natzschung und Zöblitz/Schwarze Pockau weisen durch die niedrigeren Niederschlagsintensitäten (27 bzw. 29 mm Niederschlag innerhalb von sieben Stunden) dagegen deutlich ausgeglichenerer Ganglinienverläufe auf.

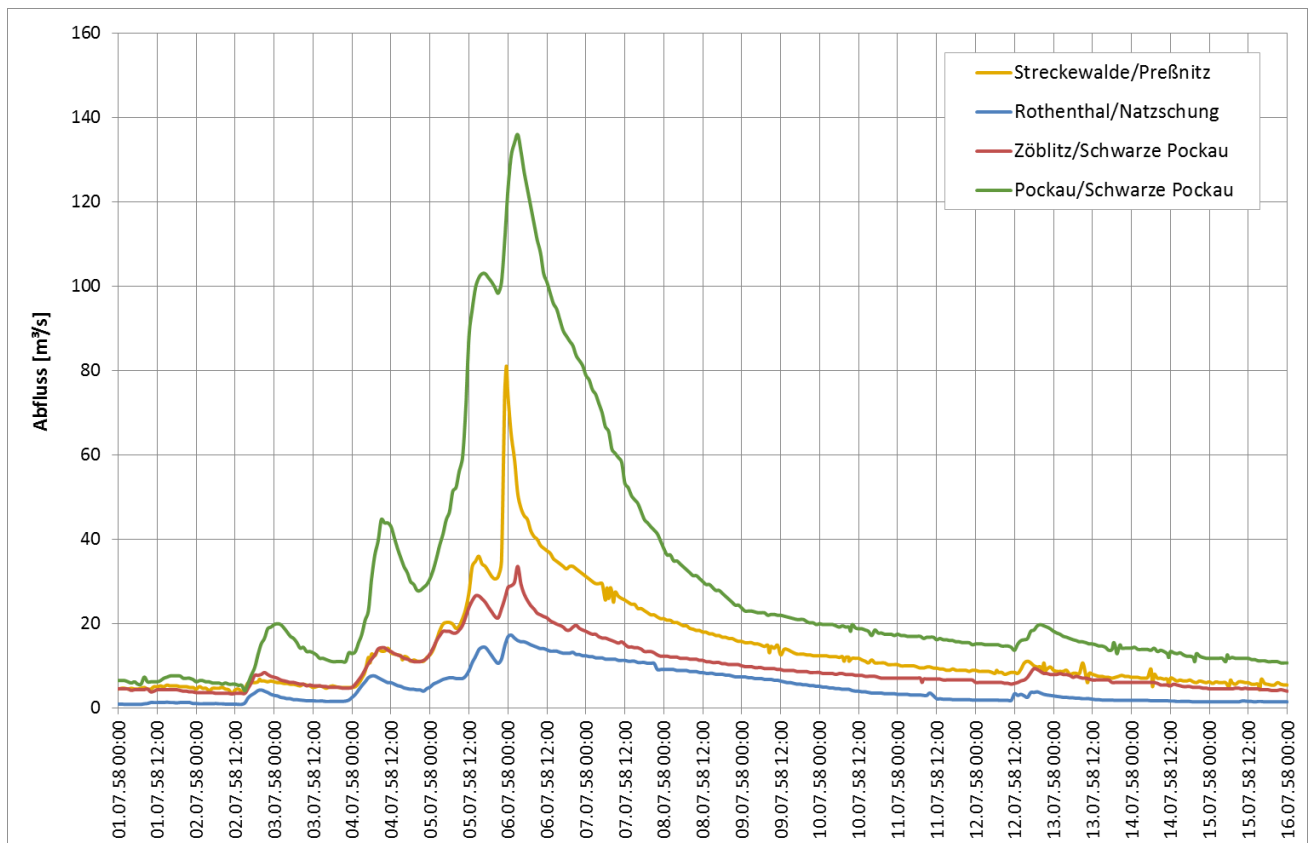


Abbildung 50: Hochwasserabflüsse im Flussgebiet der Zschopau (Oberlauf) und Flöha 1958

Auch die Hochwasserganglinien der Pegel Hopfgarten/Zschopau und Borstendorf/Flöha spiegeln die Unterschiede zwischen dem Abflussverlauf in den Gebieten von oberer Zschopau und Flöha wider (Abbildung 51). Trotz deutlich höherer Niederschlagssummen (161 mm im Vergleich zu 112 mm) entsteht im größeren Einzugsgebiet der Flöha (640 km² bis zum Pegel Borstendorf im Vergleich zu 530 km² am Pegel Hopfgarten) ein geringerer Hochwasserscheitel. Die Relationen zwischen Scheitel und Fülle sind bei diesem Ereignis bei beiden Gebieten somit deutlich unterschiedlich. Durch die Überlagerung der Scheitel ergibt sich eine Ganglinie am Pegel Lichtenwalde/Zschopau, die durch Zuflüsse aus dem Zwischengebiet im Scheitelbereich noch einen deutlichen Zuwachs erfährt.

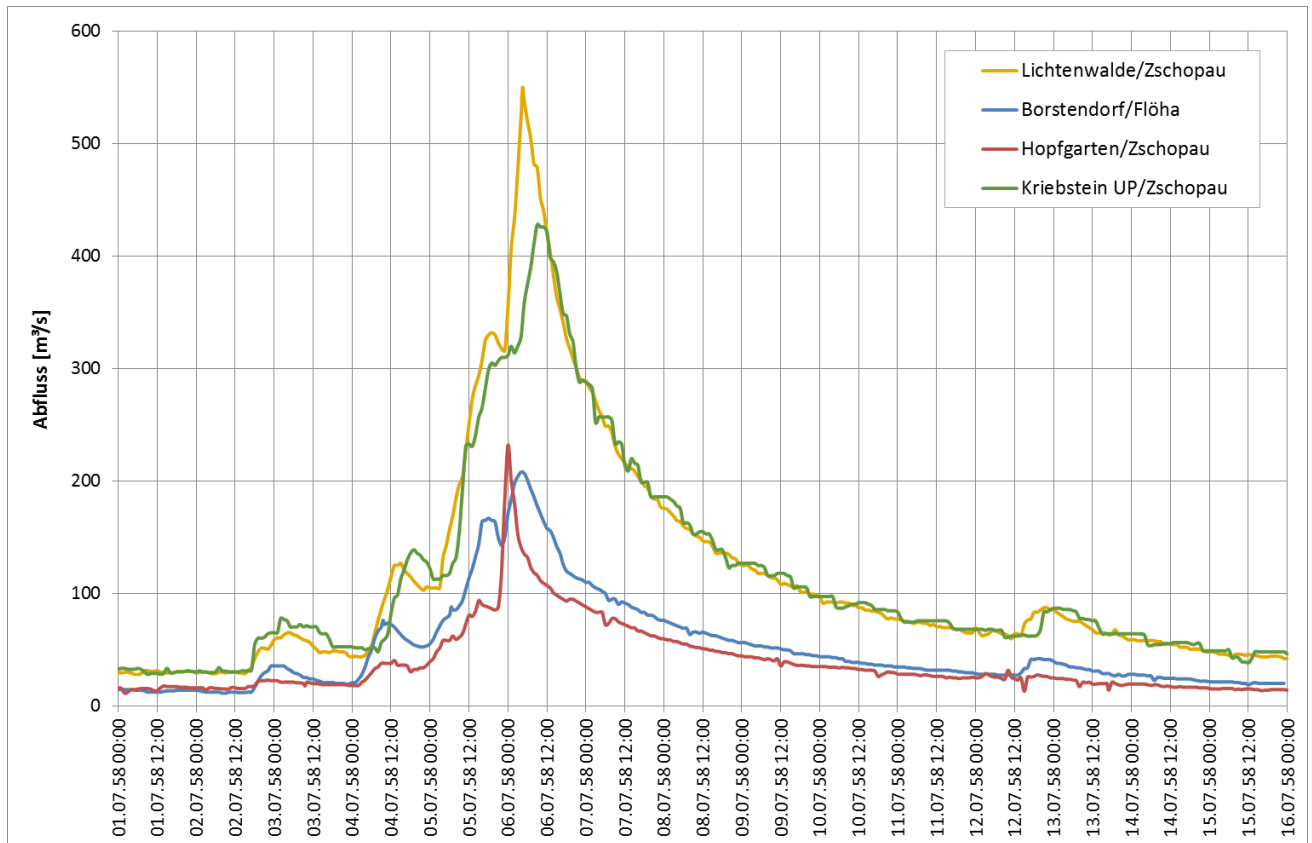


Abbildung 51: Hochwasserabflüsse im Flussgebiet der Zschopau und Flöha (Unterläufe) 1958

6.2.4 Abflussverlauf im Einzugsgebiet der Freiburger Mulde

Die Hochwasserganglinien an den beiden für das Hochwasser 1958 verfügbaren Pegeln der Freiburger Mulde, Berthelsdorf und Nossen 1, unterscheiden sich insbesondere in der Anstiegsphase wesentlich (Abbildung 52). Der Pegel Nossen 1 mit reichlich doppelt so großer Einzugsgebietsfläche zeigte hier teilweise stärkere Reaktionen auf die verschiedenen Niederschlagsereignisse als der Pegel Berthelsdorf. Dies ist einerseits durch die Niederschlagsverteilung zu begründen. So betrug der stündliche Gebietsniederschlag für den Pegel Berthelsdorf zwischen 01:00 Uhr und 02:00 Uhr am 4. Juli 7 mm, für den Pegel Nossen dagegen 10 mm. Vergewahrtigt man sich, dass das Gebiet des Pegels Berthelsdorf etwa 41 % des Gebietes am Pegel Nossen 1 umfasst, müssen in dem verbleibenden Zwischengebiet und insbesondere im Einzugsgebiet der Bobritzsch demnach noch höhere Niederschläge gefallen sein, die insbesondere den Scheitel in der ersten Tageshälfte des 4. Juli bedingten. Allerdings erwies sich auch hier die Gesamtniederschlagshöhe für den Hochwasserscheitel am Pegel Nossen 1 als weniger bedeutsam als die auf sieben Stunden konzentrierten 47 mm Niederschlag in der ersten Nachtstunden vom 5. zum 6. Juli 1958. Es handelte sich dabei um ein Niederschlagsereignis, das auch in den Elbe-Nebenflüssen Weißeritz und Gottleuba zu extremen Abflüssen führte.

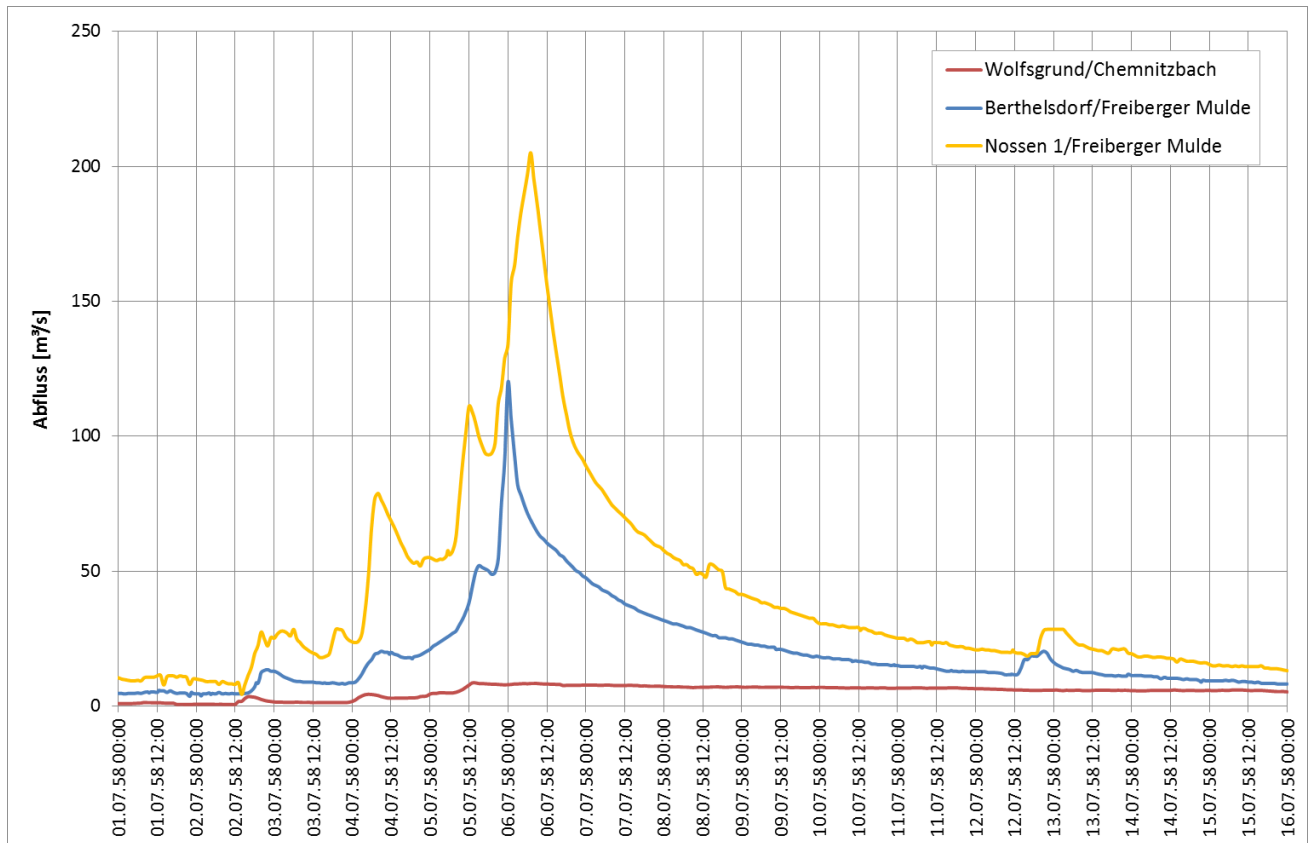


Abbildung 52: Hochwasserabflüsse im Flussgebiet der Freiberger Mulde 1958

6.2.5 Abflussverlauf im Einzugsgebiet der Vereinigten Mulde

Entsprechend der räumlichen Verteilung der Niederschläge entlang der Nordabdachung des Erzgebirges und der zusätzlichen konvektiv geprägten Starkregen in der Nacht vom 5. zum 6. Juli überlagerten sich die Hochwasserwellen aus der Freiberger Mulde, der Zschopau und der Zwickauer Mulde mit unterschiedlichen relativen Abflussanteilen (Abbildung 53). Mit 58 mm Direktabflusshöhe hatte das Einzugsgebiet der Freiberger Mulde bis Nossen eine doppelt so hohe wie die der Zwickauer Mulde (26 mm Abflusshöhe). Die Zuflüsse bewirkten eine Erhöhung der Abflüsse am Pegel Golzern zwischen dem 5. Juli, 06:00 Uhr und dem 6. Juli, 14:00 Uhr um 670 m³/s. Aus der Ganglinie des Pegels Golzern ist ein Anstieg des Abflusses vor dem Eintreffen der stärkeren Anstiege der Hochwasserwellen der Teilgebiete ersichtlic. In Hinblick auf die Abflussbilanz dürfte somit auch das nicht durch Pegel erfasste Zwischengebiet mit wesentlichen Zuflüssen zu dieser Hochwasserwelle beigetragen haben.

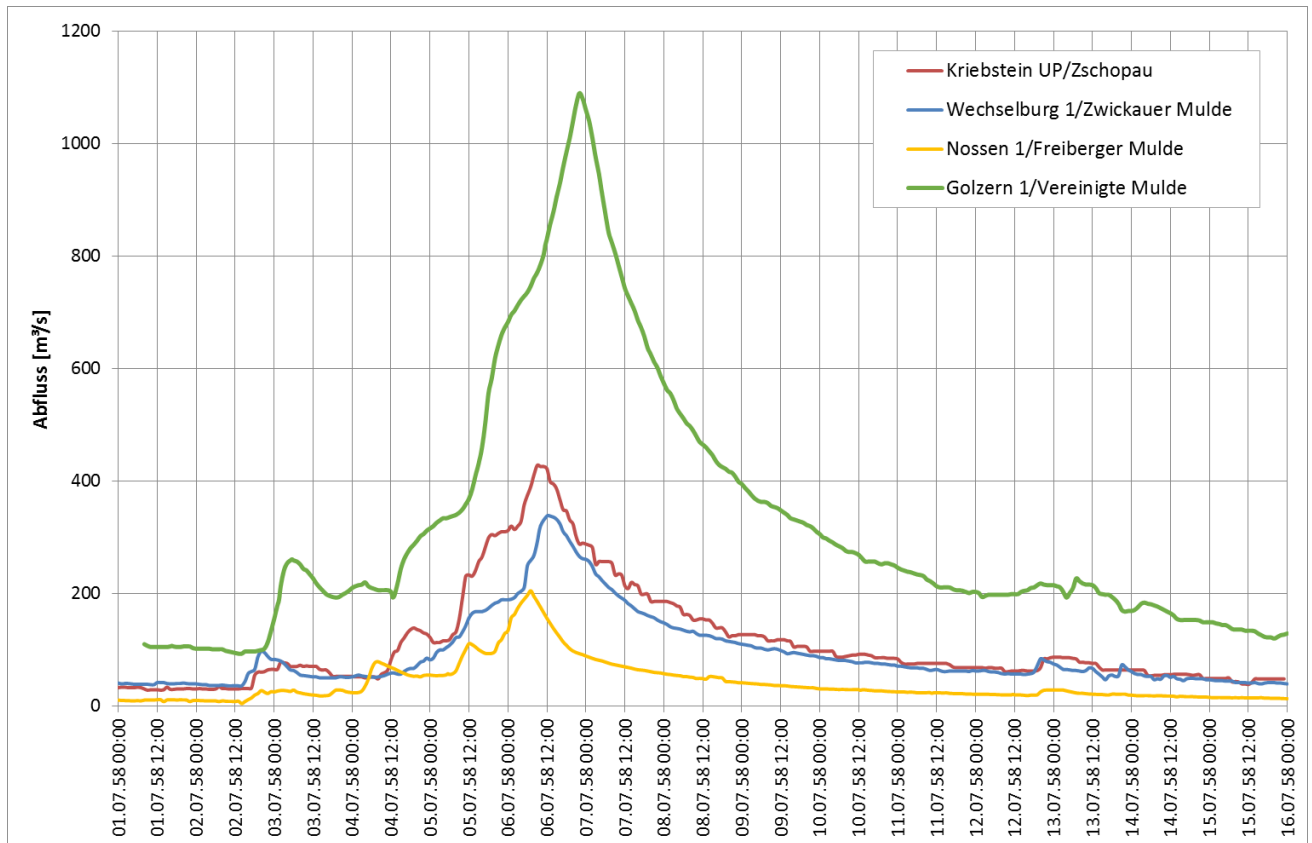


Abbildung 53: Hochwasserabflüsse der Hauptteileinzugsgebiete und der Vereinigten Mulde 1958

6.3 Analyse und Darstellung Niederschlag-Abfluss-Beziehung mittels Abflussfüllen und -beiwerten

Die Abflussbeiwerte und Scheitelabflusspenden sind in Tabelle 14 zusammengestellt. Der mittlere Abflussbeiwert aller Gebiete beträgt 0,38. Dieser wurde über eine Trendgerade (Abbildung 54) mit einer Regression ohne Absolutglied ermittelt. Die Pegel in Einzugsgebieten der Zwickauer Mulde weisen hierbei deutlich niedrigere Abflussbeiwerte auf (z. B. der Pegel Zwickau-Pölbitz 0,27). Die höchsten Abflussbeiwerte treten im Zschopau-Gebiet auf (Pegel Lichtenwalde: 0,45).

Tabelle 14: Abflussbeiwerte und Scheitelabflusspenden des Hochwassers 1958

Pegel	Gewässer	AE[km ²]	Summe Niederschlag [mm]	Summe Direktabfluss [mm]	Abflussbeiwert	Abflussscheitel[m ³ /s]	Abflusspende [m ³ /(skm ²)]
Zwickauer Mulde							
Aue1	Schwarzwasser	362,5	104,2	36,7	0,35	96	0,265
Niederschlema	Zwickauer Mulde	759,4	105,2	32,7	0,31	173	0,230
Zwickau-Pölbitz	Zwickauer Mulde	1029,7	97,7	26,4	0,27	216	0,212
Wechselburg	Zwickauer Mulde	2107	91,0	26,6	0,29	338	0,161
Chemnitz							
Chemnitz 1	Chemnitz	403,2	93,9	32,3	0,34	76	0,188
Göritzhein	Chemnitz	532,3					

Pegel	Gewässer	AE[km ²]	Summe Niederschlag [mm]	Summe Direktabfluss [mm]	Abflussbeiwert	Abflussscheitel[m ³ /s]	Abflussspende [m ³ /(skm ²)]
Flöha/Zschopau							
Streckwalde	Preßnitz	205,9	112,0	45,4	0,41	81	0,363
Hopfgarten	Zschopau	528,8	112,4	44,2	0,39	222	0,419
Lichtenwalde	Zschopau	1574,6	125,2	55,8	0,45	550	0,349
Kriebstein UP	Zschopau	1756,8	119,8	48,3	0,40	428	0,244
Rothenthal	Natzschung	75	140,6	56,3	0,40	17	0,228
Zöblitz	Schwarze Pockau	129,2	130,3	47,8	0,37	34	0,269
Borstendorf	Flöha	643,8	160,8	67,4	0,42	208	0,325
Freiberger Mulde							
Berthelsdorf	Freiberger Mulde	244,4	179,7	72,9	0,41	120	0,494
Nossen 1	Freiberger Mulde	585,2	154,3	58,9	0,38	205	0,350
Vereinigte Mulde							
Golzern	Vereinigte Mulde	5442	103,6	39,9	0,38	1090	0,201

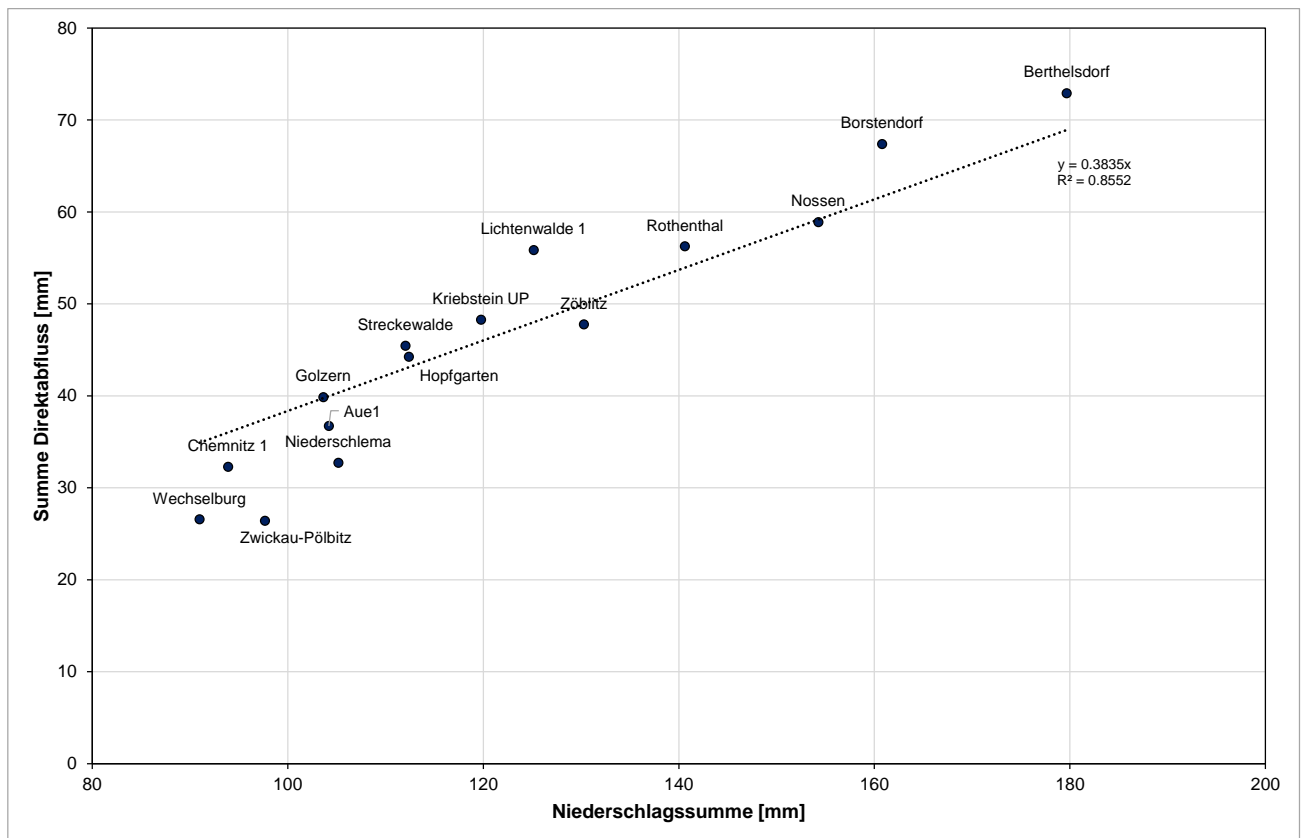


Abbildung 54: Zusammenhang zwischen Niederschlag und Direktabfluss 1958

Der Zusammenhang zwischen der Scheitelabflussspende und dem Abflussbeiwert ist bei diesem Ereignis eher schwach ausgeprägt (Abbildung 55), erklärbar mit der ausgeprägten Niederschlagsintensitätsabhängigkeit der Scheitelabflüsse im östlichen Teil des Muldegebietes. Hohe Scheitelabflussspenden (Werte oberhalb der Trendkurve) ergeben sich durch diese Abhängigkeit des Hochwasserscheitels von der Niederschlagsintensität insbesondere im oberen Zschopau-Gebiet und in der Freiberger Mulde. Vergleichsweise niedrige Scheitelabflüsse in Bezug zu den Abflussbeiwerten treten in Wechselburg, Golzern und Rothenthal auf.

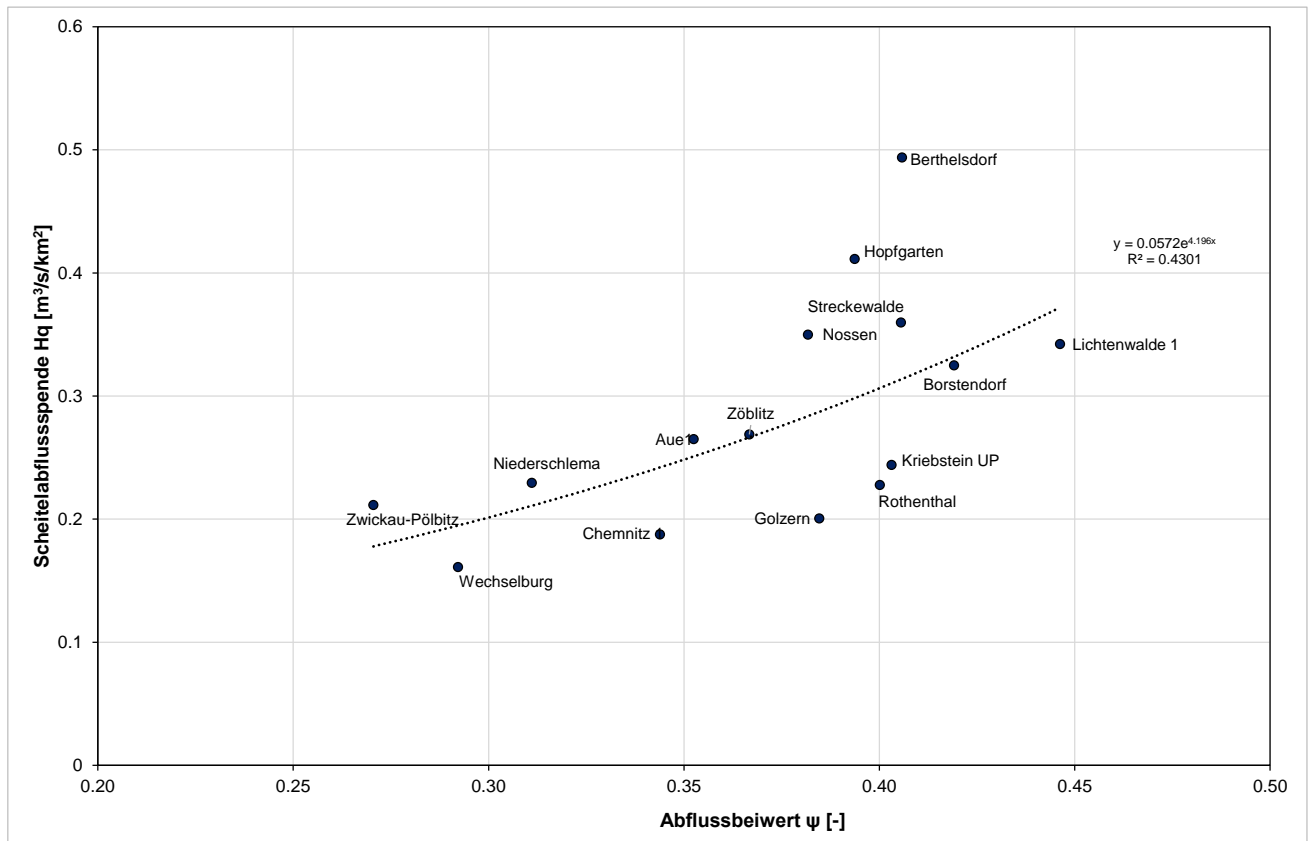


Abbildung 55: Abhängigkeit zwischen Scheitelabflusspende und Abflussbeiwert 1958

Auch der Zusammenhang zwischen der Niederschlagssumme und den Abflussbeiwerten ist schwach und in Folge der Einflüsse der Niederschlagsintensität auch nichtlinear. Gebiete, in denen die Niederschlagsintensität eher gering war (Zwickauer Mulde), weisen kleine Abflussbeiwerte auf. Vergleichsweise hohe Werte finden sich trotz eines geringen Unterschiedes in den Niederschlagsmengen bei den Gebieten der Pegel Streckewalde und Hopfgarten (Abbildung 56).

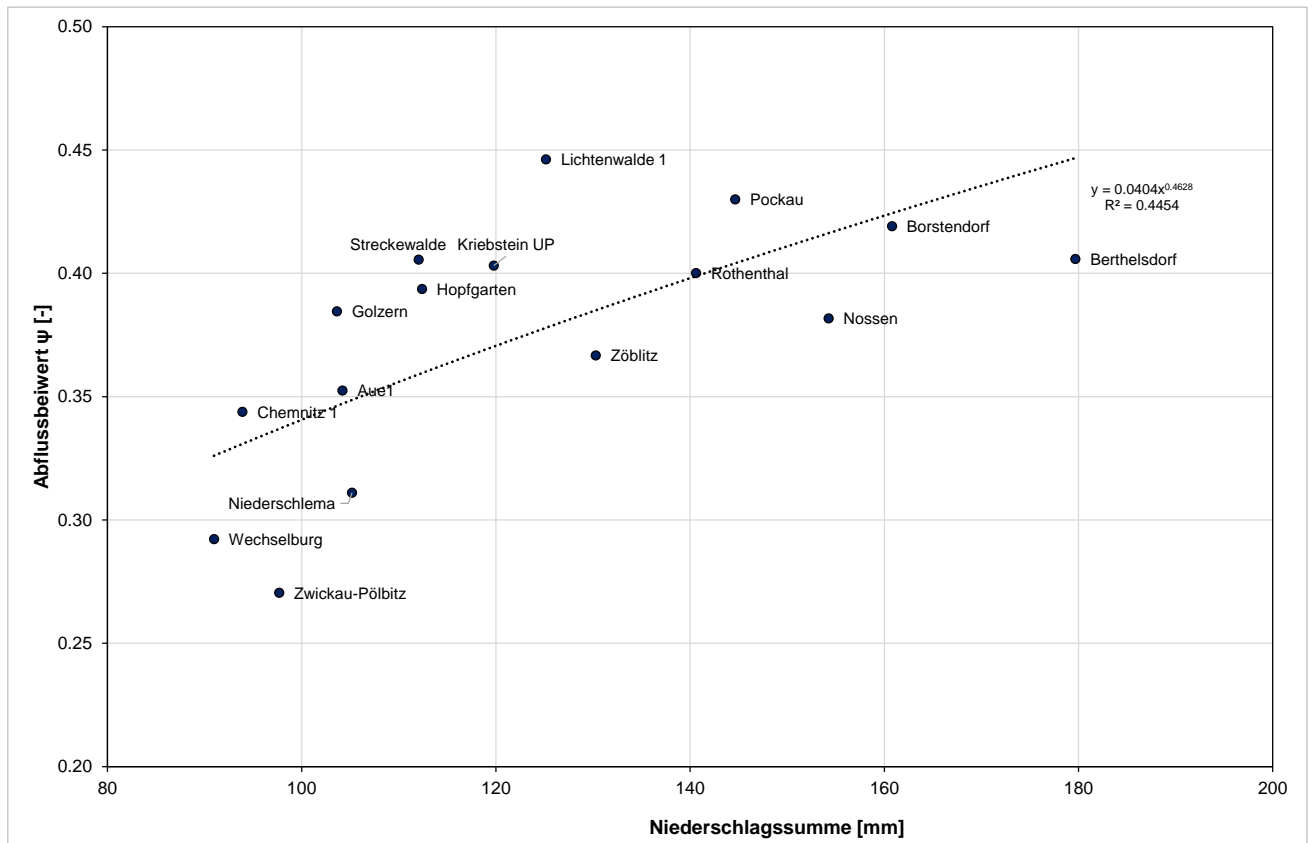


Abbildung 56: Zusammenhang zwischen Abflussbeiwert und Niederschlagssumme 1958

7 Das Hochwasser Anfang September 1995

7.1 Witterungsverlauf

Am Ende eines in Sachsen insgesamt zu nassen Sommers war die letzte Augustdekade durch die Drehung einer zyklonalen Nordwestlage in eine zyklonale Nordlage geprägt. Nachfolgend ist der Witterungsverlauf beschrieben, der zur Hochwassersituation vom 1. bis 2. September 1995 führte. Abbildung 57 zeigt dazu Bodenwetterkarten, die die Abfolge der Wetterfronten vom 28. August bis 2. September dokumentieren. Am 27. August kam es zwischen einem Hoch über dem Westen der Britischen Inseln und einem Tief über Nordskandinavien zur Herausbildung einer nördlichen Strömung. Diese brachte Deutschland in den Zustrombereich maritimer Kaltluft. In Verbindung mit dem Kaltlufteinbruch und den vorderseitig ablaufenden Hebungsprozessen traten in der Nacht vom 27. zum 28. August verbreitet Gewitter mit stärkeren Regenschauern auf, die örtlich auch mit Graupel vermischt waren. Die am Morgen des 28. August registrierten Niederschlagshöhen betragen z. B. in Chemnitz 17 mm, in Plauen 9 mm und auf dem Fichtelberg 20 mm.

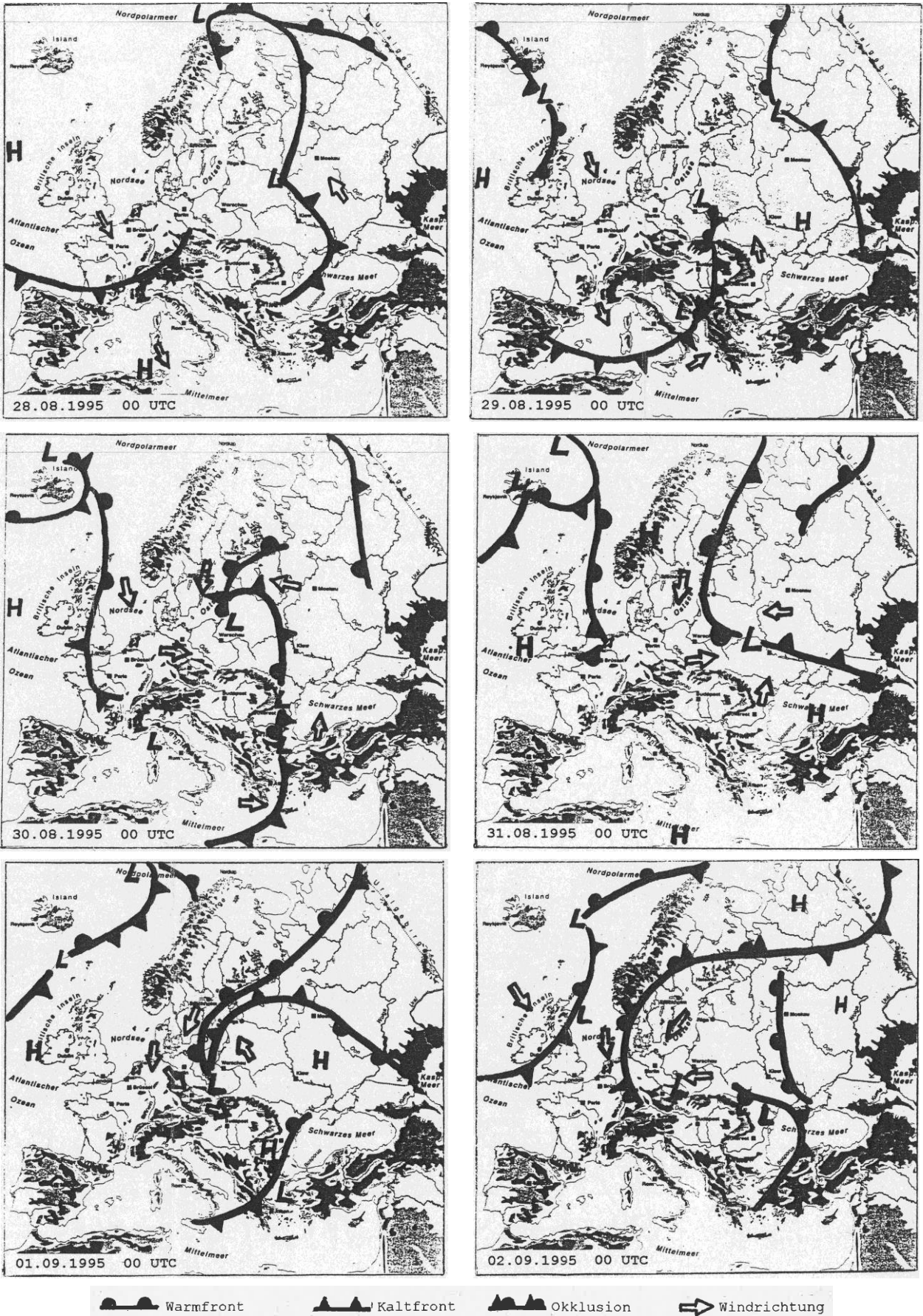


Abbildung 57: Abfolge der Wetterfronten vom 28.08 bis 02.09.1995 (Quelle: Deutscher Wetterdienst)

Auch am 28. August hielt der Kaltluftzustrom aus Norden weiter an. Die zugehörige Front, die in der Nacht vom 27. zum 28. August Westsachsen überquerte, war am Ende des 28. August bereits weit nach Südosten vorgedrungen und verlief jetzt über Polen, den Balkan und Süditalien bis nach Nordafrika. Die Niederschlags-tätigkeit war an diesem Tag im betrachteten Gebiet durch gelegentliche Regen- und Graupelschauer geprägt. Die Niederschläge, die bis zum Morgen des 29. August fielen, erreichten Höhen von 9 mm in Chemnitz, 14 mm in Plauen und 15 mm auf dem Fichtelberg.

Im Verlauf des 29. August war die bereits beschriebene Kaltfront weiter nach Osten abgedriftet und reichte am Ende des Tages von den Karpaten über den Balkan bis in den östlichen Mittelmeerraum. Nördlich an die Kaltfront anschließend entwickelte sich über dem Baltikum eine Zyklone. Nach Deutschland strömte weiterhin aus Norden hochreichende maritime Kaltluft ein, in deren Folge gelegentlich schauerartige Niederschläge fielen. Die am Morgen des 30. August beobachteten Niederschlagshöhen betrugen in Chemnitz 9 mm, in Plauen 5 mm und auf dem Fichtelberg 25 mm.

Am 30. August entwickelte sich aus der bis über die westliche Ukraine gelangten Kaltfront, angeregt durch die am 29. August über dem Baltikum entstandene Zyklone, ein neues Tiefdruckgebiet. Dieses zog, sich weiter verstärkend, in Richtung Baltikum. An seiner Westseite kam es zum Aufgleiten der eingesogenen hochreichenden Warmluft aus Nordrussland und dem Mittelmeerraum auf die sich über Mitteleuropa befindende Kaltluft. Im Zusammenhang damit wurden nach niederschlagsfreien Vormittagsstunden im weiteren Verlauf des Tages und der Nacht gelegentlich leichte Schauer beobachtet. Die am Morgen des 31. August gemessenen Niederschlagshöhen waren jedoch gering und betrugen in Plauen nur 9 mm und auf dem Fichtelberg 4 mm.

Am 31. August verlagerte sich das Tief, das sich am Vortag über Weißrussland befand, weiter westwärts in Richtung Polen. Am Ende des Tages erreichte es dann mit seinem Kern Niederschlesien. Gleichzeitig schwenkte der Keil des Hochs bei den Britischen Inseln über Skandinavien südostwärts. Das bereits am Vortag begonnene Aufgleiten der an der Nordseite des Tiefdruckgebietes nach Westen geführten Warmluft auf die anhaltend nach Deutschland einströmende Kaltluft verstärkte sich. Infolgedessen entstand ein ausgedehntes Regengebiet, das im Laufe des 31. August auf Ostdeutschland übergriff und ab etwa 17:00 Uhr in den Flussgebieten der Mulden, oberen Weißen Elster und oberen Pleiße in Verbindung mit böigen Winden aus Nord bis Nordwest zu anhaltend starkem Dauerregen führte. Dieser war, noch verstärkt durch den Nordstau des Erzgebirges, hochwasserauslösend. Die 24-stündigen Regenmengen betrugen am Morgen des 1. September in Sachsen verbreitet 20 mm bis 50 mm. In Chemnitz wurden 48 mm, in Plauen 25 mm, auf dem Fichtelberg 55 mm- und in Morgenröthe-Rautenkranz (Oberlauf der Zwickauer Mulde) sogar 77 mm Niederschlag gemessen.

Am 1. September zog das für die starken Niederschläge am Vortag und im Tagesverlauf des 1. September verantwortliche Tief von Niederschlesien zum Riesengebirge, schwächte sich dabei langsam ab und löste sich schließlich am 3. September auf. Die zugehörigen Fronten passierten im Laufe des 1. September Westsachsen von Ost nach West, wobei die Okklusion des Warmluftsektors erfolgte. Dadurch und wegen anhaltendem Aufgleitens der Warmluft auf die Kaltluft hielt der in der zweiten Hälfte des Vortages begonnene starke Dauerregen auch noch am 1. September bis in die Nachmittagsstunden an. Nach dem Durchzug der Störung und einer kurzen Regenspase kam es nur noch in den Abendstunden verbreitet zu mäßigem Regen. Ab etwa Mitternacht hörte der Regen schließlich auf. Die am Morgen des 2. September gemessenen Niederschlagshöhen betrugen in Chemnitz 34 mm, in Plauen 20 mm und auf dem Fichtelberg 59 mm.

7.2 Beschreibung der zeitlichen und räumlichen Niederschlagsverteilung

Für das Gesamtgebiet der Mulde lag der zeitliche Schwerpunkt des Niederschlages am Abend des 31. August und in den Nachtstunden des 1. September 1995 (Abbildung 58). Es handelte sich somit um ein zeitlich kompaktes Niederschlagsereignis, das von schauerartigen Niederschlägen an den Vortagen begleitet war.

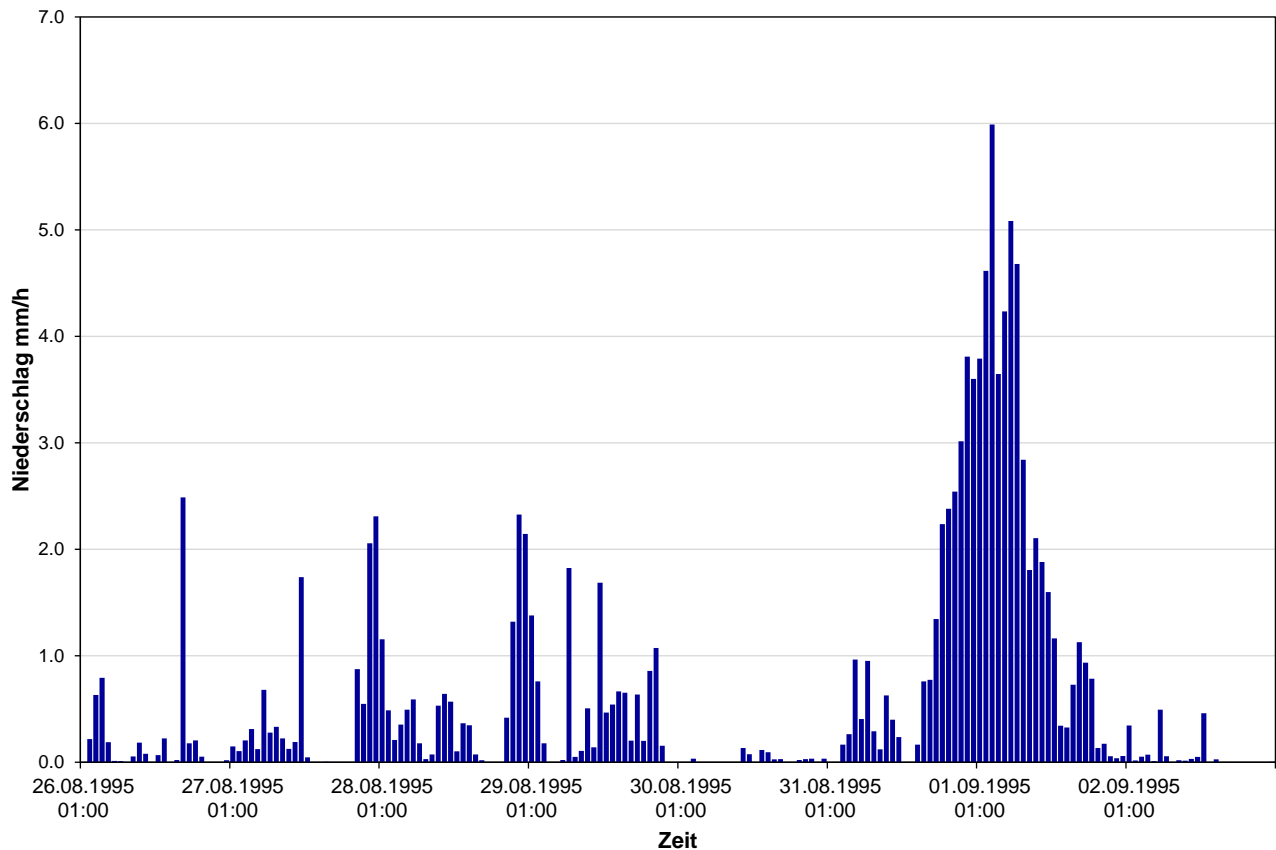


Abbildung 58: Zeitliche Verteilung des Gebietsniederschlages für die Vereinigte Mulde (Pegel Bad Düben)

Die Ergiebigkeit der Niederschläge war räumlich sehr differenziert. Auf der Grundlage von Messergebnissen an 125 Niederschlagsmessstellen des Deutschen Wetterdienstes wurde für den Zeitraum vom 26. August bis zum 1. September eine Karte mit Isohyeten der gemessenen Sieben-Tage-Niederschlagssummen für das betrachtete Gebiet erstellt (Abbildung 59). Die Wahl dieses Zeitraumes erfolgte, um zusätzlich zum Dauerregen vom 31. August und 1. September auch die Höhe des Vorregens vom 26. bis 30. August zu erfassen. Die gleiche räumliche Grundstruktur bildet die geostatistische Interpolation (Abbildung 60) ab.

Die größten Niederschlagssummen mit über 200 mm in sieben Tagen wurden im Einzugsgebiet der Zwickauer Mulde oberhalb der Talsperre Eibenstock registriert. Hier lag auch das Zentrum des Dauerregens vom 31. August und 1. September, in dem Niederschlagshöhen von 194,6 mm in Eibenstock, 132,9 mm in Morgenröthe-Rautenkrantz und 135,5 mm in Muldenberg innerhalb der angegebenen zwei Tage auftraten. Ein weiteres Gebiet geringerer räumlicher Ausdehnung mit 200 mm Niederschlag in sieben Tagen umfasst die Erhebung des Geyerschen Waldes. Im Allgemeinen ging eine Steigerung der Ergiebigkeit der Niederschläge mit dem Anwachsen der geodätischen Höhe einher, wodurch die Bedeutung der stauenden Wirkung des Erzge-

birges bei Winden aus Nord und Nordwest belegt wird. Besonders deutlich zeigte sich dieser Effekt im West-Erzgebirge und Vogtland. Wurden entlang des Tales der Weißen Elster noch Niederschlagssummen um 100 mm in sieben Tagen registriert, waren es bereits ca. 10 km weiter östlich mit steigender Höhenlage im Oberlauf der Trieb um 140 mm. Das obere Einzugsgebiet der Göltzsch, deren Tal sich noch rund 5 km östlicher erstreckt, wies bereits um 180 mm auf.

Im Oberlauf der Zschopau wurden Niederschlagshöhen um 160 mm und in den Oberläufen von Flöha und Freiburger Mulde um 140 mm gemessen. Diese Werte liegen bei vergleichbarer geodätischer Höhe unter denen des Einzugsgebietes der oberen Zwickauer Mulde.

Die Beschreibung des Verlaufes des hochwasserauslösenden Dauerregens vom 31. August und 1. September ist anhand vorliegender Regenschreiberaufzeichnungen an Messstellen des Deutschen Wetterdienstes möglich. Danach begann der Dauerregen am Nachmittag des 31. August zwischen 17:00 Uhr und 18:00 Uhr zeitversetzt von Ost nach West. Nach anfänglich mäßig starker Intensität kam es im Laufe der Nacht und am Morgen des 1. September zu einer weiteren Intensitätszunahme. Dabei wurden maximale Niederschlagsintensitäten von 6,5 mm/h in Rauschenbach, 5,0 mm/h in Chemnitz, 10,1 mm/h auf dem Fichtelberg, 6,5 mm/h in Rodewisch sowie von 6,8 mm/h in Bad Elster beobachtet. Ab Mittag ließ der Dauerregen in seiner Intensität nach und hörte in den Nachmittagsstunden örtlich auf. In den Abendstunden kam es nochmals verbreitet zu mäßigem Regen, in dessen Folge sich dann weitgehend niederschlagsfreies Wetter einstellte. Die räumliche Verteilung der 24-h-Niederschläge am 31. August und 01. September sind aus Abbildung 61 ersichtlich. Die zugrundeliegende geostatistische Interpolation der Niederschlagswerte an den Messstellen ergibt eine streifenförmige, parallel zum Erzgebirgskamm verlaufende Niederschlagsstruktur am 31. August, die in Ost-West-Richtung zu ähnlichen hohen Niederschlagswerten führte.

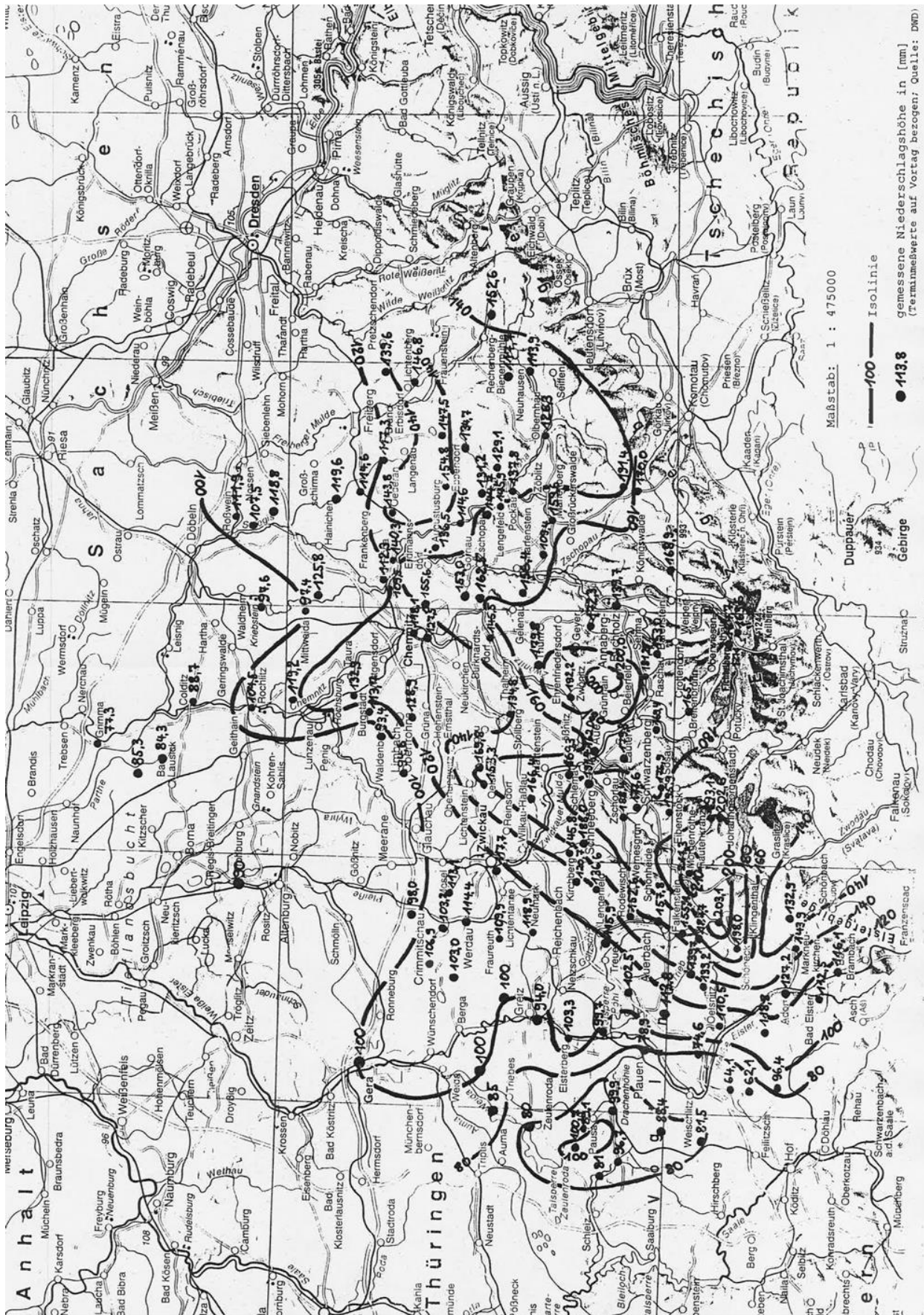


Abbildung 59: Verteilung der Niederschlagshöhen vom 26.08 bis 01.09.1995 in mm (aus BÜTNER & RÖDEL 1996)

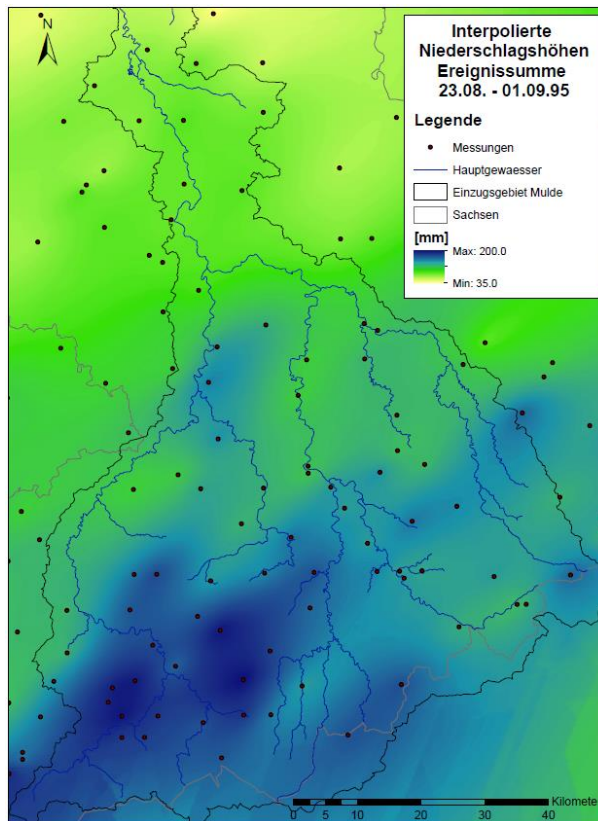


Abbildung 60: Räumliche Verteilung der Niederschlagssummen für den Zeitraum 23.08.- 01.09.1995

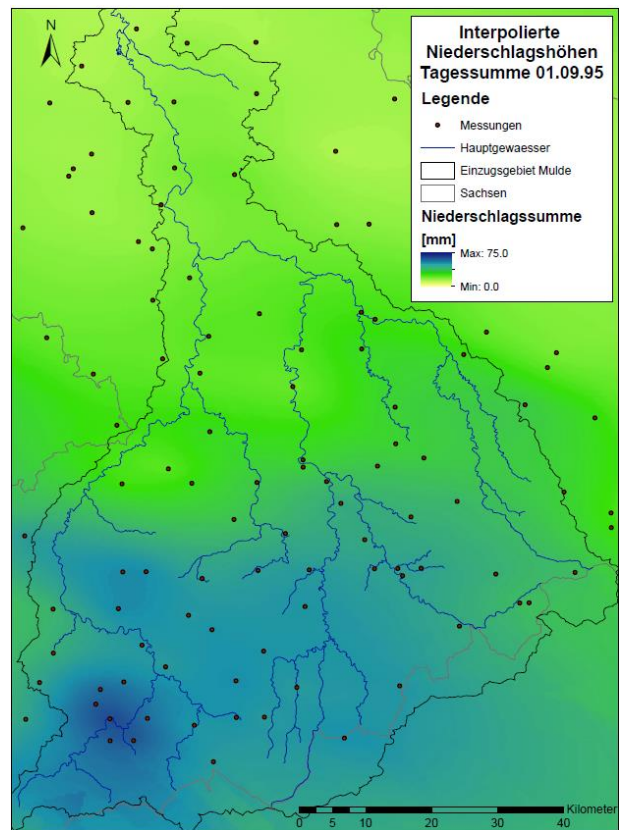
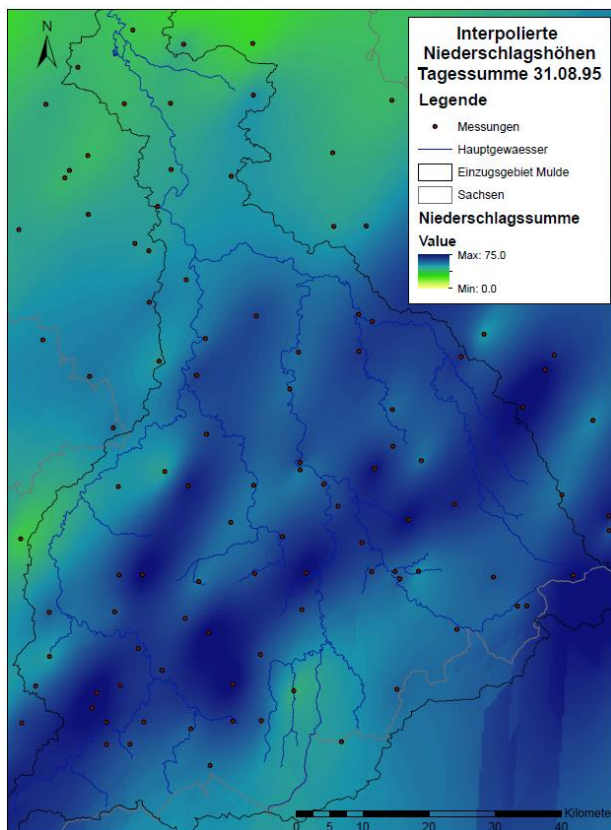


Abbildung 61: Räumliche Verteilung der Niederschlagstagesummen am 31.08. und 01.09.1995 (jeweils von 00:00 bis 24:00 Uhr)

7.3 Beschreibung des zeitlichen und räumlichen Abflussverlaufes des Hochwassers

7.3.1 Gesamtbetrachtung

In allen Teileinzugsgebieten ergab sich aufgrund des kompakten Niederschlagsereignisses ein weitgehend einheitlicher Verlauf der resultierenden Hochwasserwellen. Trotz der geringen Vorregen und daraus resultierend sehr niedrigen Abflüssen am Ereignisbeginn, war mit dem am Nachmittag des 31. August einsetzenden Dauerregen ein bis zum Ende dieses ergiebigen 24-h-Dauerregens (> 50 mm in 24 Stunden) am Nachmittag des 1. September fortwährender Abflussanstieg zu beobachten. Diesem folgte ein rascher Rückgang. Unterschiede zwischen den Ganglinien der drei Hauptflussgebiete bestehen in erster Linie in Hinblick auf den Abflussverlauf im Scheitelbereich. Diese waren durch unterschiedliche Reaktionen auf die relativ geringen Restniederschläge von 4–6 mm nach dem eigentlichen hochwasserauslösenden Niederschlag verursacht. An den Pegeln Wechselburg (Abbildung 62) und Lichtenwalde (Abbildung 63) sind diese Niederschlagsanteile noch im Scheitelabfluss enthalten, am Pegel Nossen 1 (Abbildung 64) wirkten sie sich als Verzögerung des Rückgangs aus. Die in Tabelle 15 zusammengestellten Angaben belegen den Schwerpunkt dieses Ereignisses in der Zwickauer Mulde.

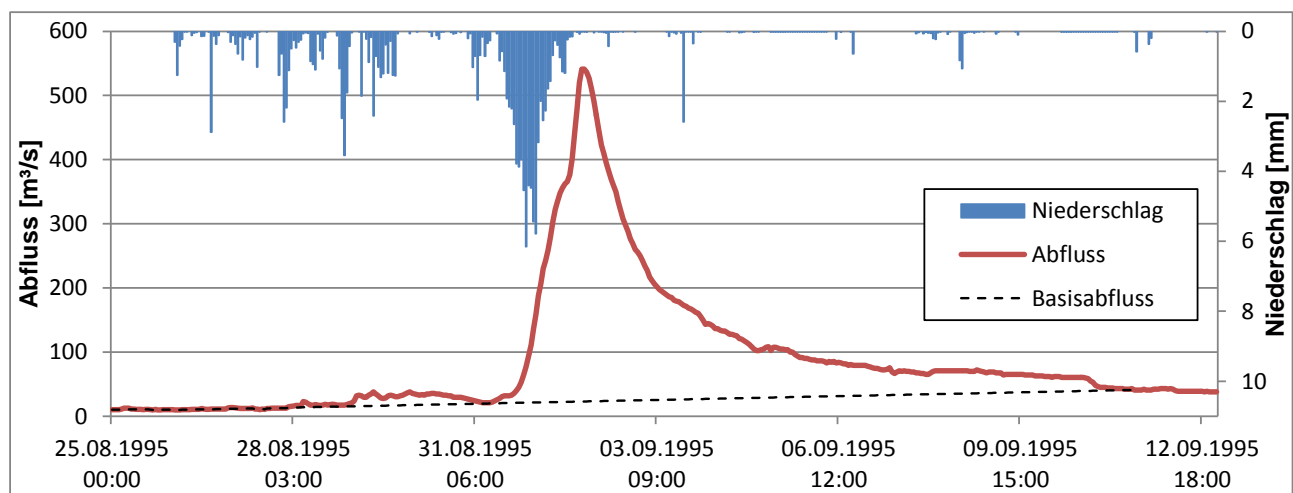


Abbildung 62: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Wechselburg/Zwickauer Mulde 1995

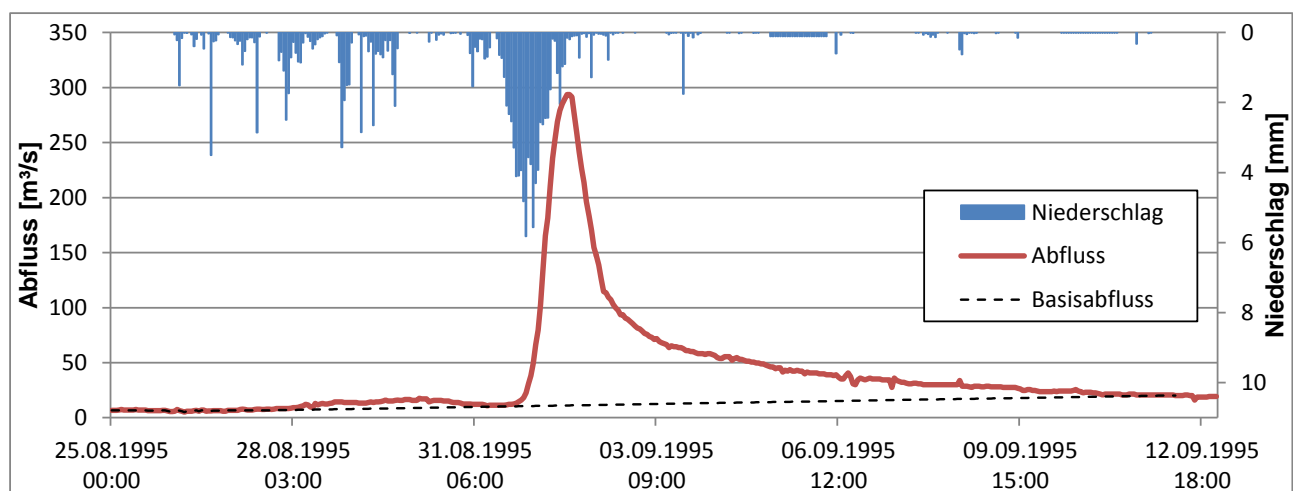


Abbildung 63: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Lichtenwalde/Zschopau 1995

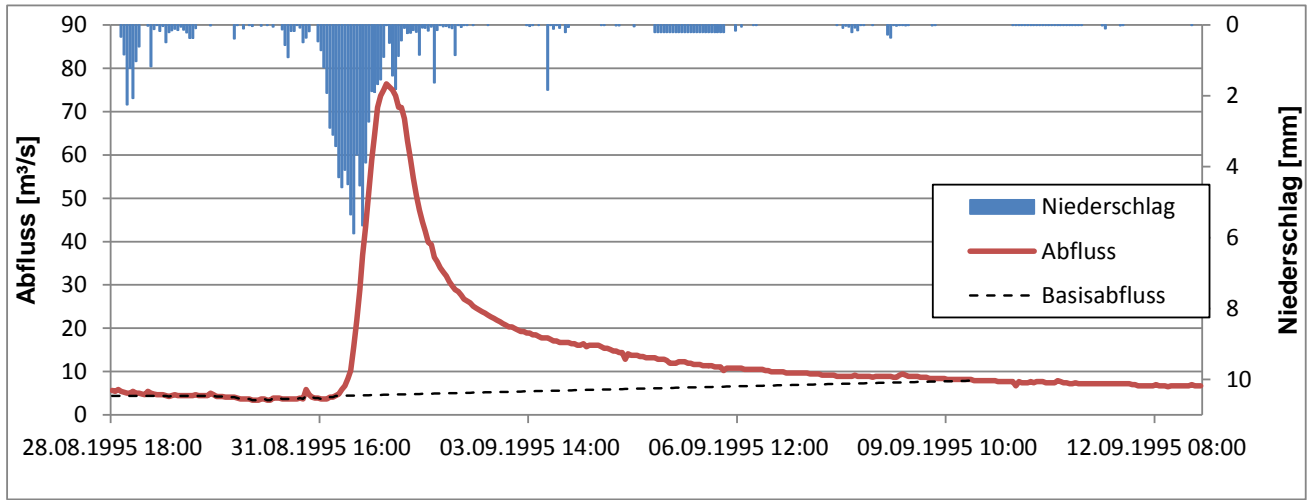


Abbildung 64: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Nossen 1/Freiberger Mulde 1995

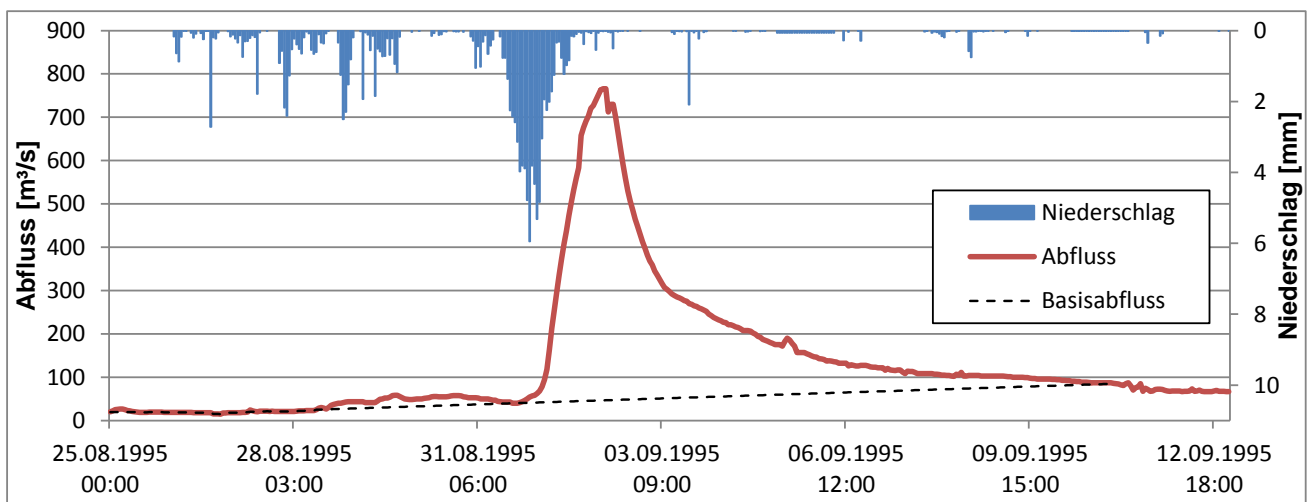


Abbildung 65: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Golzern/Vereinigte Mulde 1995

Tabelle 15: Hochwasserkennwerte 1995

Gebiete	AE	Scheitel	Eintrittszeit	Basisabfluss- volumen	Direktabfluss- volumen	Direktabfluss- volumen	Niederschlags- summe	Niederschlags- summe	Abfluss- beiwert	Relation Direkt/ Basisabfluss
	[km ²]	[m ³ /s]	[-]	[hm ³]	[hm ³]	[mm]	[mm]	[hm ³]	[-]	
Sachsengrund	6,47	2,2	01.09.1995 10:00	0,151	0,396	61,3	148,5	0,961	0,41	2,63
Eibenstock 2	14,2	2,8	01.09.1995 17:00	0,590	0,980	69,0	160,6	2,280	0,43	1,66
Schönheide 3	149	84,8	01.09.1995 14:00	3,712	12,433	83,4	151,2	22,536	0,55	3,35
Markersbach 1	30,1	5,6	01.09.1995 11:00	0,636	1,319	43,9	153,5	4,616	0,29	2,07
Aue 1	363	145	01.09.1995 13:00	7,554	21,172	58,3	158,3	57,476	0,37	2,80
Niederschlema	754	227	01.09.1995 14:00	13,728	45,966	61,0	157,1	118,428	0,39	3,35
Zwickau-Pölbitz	1021	289	01.09.1995 18:00	19,418	59,566	58,3	146,9	149,940	0,40	3,07
Niedermülsen	49,6	16,6	01.09.1995 11:00	0,542	1,482	29,9	128,6	6,373	0,23	2,73
Niederlungwitz	138	37,7	01.09.1995 14:00	1,228	4,201	30,4	127,6	17,610	0,24	3,42
Burkhardtsdorf 2	93,0	50,7	01.09.1995 14:30	2,018	6,161	66,2	160,1	14,897	0,41	3,05
Jahnsdorf	103	14,1	01.09.1995 15:00	0,988	3,263	31,7	138,6	14,274	0,23	3,30
Harthau	136	53,7	01.09.1995 17:00	1,092	5,827	42,8	135,7	18,452	0,32	5,33
Chemnitz 1	403	103	29.08.1995 18:00	5,019	16,762	41,6	140,5	56,623	0,30	3,34
Göritzchain	532	128	02.09.1995 00:00	8,415	21,467	40,4	132,4	70,452	0,30	2,55
Wechselburg	2099	541	02.09.1995 02:00	37,048	101,734	48,5	135,1	283,537	0,36	2,75
Tannenberg	91,5	26,1	01.09.1995 12:00	1,734	4,184	45,7	152,8	13,983	0,30	2,41
Annaberg 1	48,6	9,1	01.09.1995 14:00	0,916	1,892	38,9	145,9	7,093	0,27	2,07
Wiesa	86,4	12,7	01.09.1995 14:00	1,736	2,990	34,6	146,4	12,656	0,24	1,72
Jöhstadt 1	37,8	11,2	01.09.1995 13:00	0,569	1,639	43,3	153,3	5,802	0,28	2,88
Streckewalde	206	35,9	01.09.1995 15:00	2,357	5,829	28,3	152,6	31,442	0,19	2,47
Hopfgarten	530	118	01.09.1995 16:00	8,207	17,738	33,5	148,9	78,930	0,22	2,16
Rothenthal	75,9	12,7	01.09.1995 09:00	0,678	1,304	17,2	138,6	10,526	0,12	1,92
Zöblitz	125	22,6	01.09.1995 13:00	1,495	4,143	33,1	147,7	18,466	0,22	2,77

Gebiete	AE	Scheitel	Eintrittszeit	Basisabfluss- volumen	Direktabfluss- volumen	Direktabfluss- volumen	Niederschlags- summe	Niederschlags- summe	Abfluss- beiwert	Relation Direkt/ Basisabfluss
	[km ²]	[m ³ /s]	[-]	[hm ³]	[hm ³]	[mm]	[mm]	[hm ³]	[-]	
Borstendorf	640	83,1	01.09.1995 13:00	4,309	10,784	16,9	139,6	89,359	0,12	2,50
Lichtenwalde	1572	294	01.09.1995 19:00	19,689	42,883	27,3	140,6	220,997	0,19	2,18
Kriebstein UP	1754	298	02.09.1995 00:00	22,775	52,039	29,7	136,7	239,828	0,22	2,28
Wolfsgrund	35,8	4,2	01.09.1995 09:00	0,421	0,399	11,1	134,7	4,826	0,08	0,95
Berthelsdorf	243	23,8	01.09.1995 13:00	2,640	3,338	13,7	139,2	33,824	0,10	1,26
Krummenhennersdorf	131	34,9	01.09.1995 14:00	1,154	4,763	36,4	136,1	17,835	0,27	4,13
Nossen 1	586	76,4	01.09.1995 14:00	5,845	9,948	17,0	105,7	61,928	0,16	1,70
ErlIn	2925	455	02.09.1995 06:00	36,226	84,896	29,0	131,4	384,460	0,22	2,34
Golzern	5433	766	02.09.1995 09:00	70,680	136,786	25,2	128,6	698,869	0,20	1,94
Bad Düben	6170	660	03.09.1995 13:00	75,912	173,430	28,1	126,9	782,690	0,22	2,28

7.3.2 Abflussverlauf im Einzugsgebiet der Zwickauer Mulde

Der Abflussverlauf in den Einzugsgebieten der Zwickauer Mulde ist, wie bei den anderen Teilen des Muldegebietes, durch den um etwa Mitternacht beginnenden, starken Abflussanstieg bis in die zweite Tageshälfte des 1. September gekennzeichnet (Abbildung 66). Je nach Reaktion auf die geringeren Niederschläge nach dem Ende dieser intensiven Dauerregenphase ergeben sich Unterschiede im Scheitelbereich. Dieser wird insbesondere in der Chemnitz durch die nachfolgenden Niederschläge am Nachmittag des 1. September beeinflusst. Bei fließzeitversetzter Überlagerung der Hochwasserwellen aus der Zwickauer Mulde und der Chemnitz ergab sich ein verglichen mit beiden Zuflüssen deutlich steilerer Ganglinienverlauf am Pegel Wechselburg. Die Direktabflusshöhe des Differenzgebietes beträgt 38 mm und entspricht damit in etwa der des Einzugsgebietes der Chemnitz bis zum Pegel Göritzhein. Die in Tabelle 15 angegebenen Scheitelabflüsse belegen die besondere Bedeutung dieses Ereignisses für das Gebiet der Zwickauer Mulde, die sich besonders in der kurzen Ereignisdauer und dem besonderen Scheitel-Fülle-Verhältnis der resultierenden Ganglinien ausdrückt.

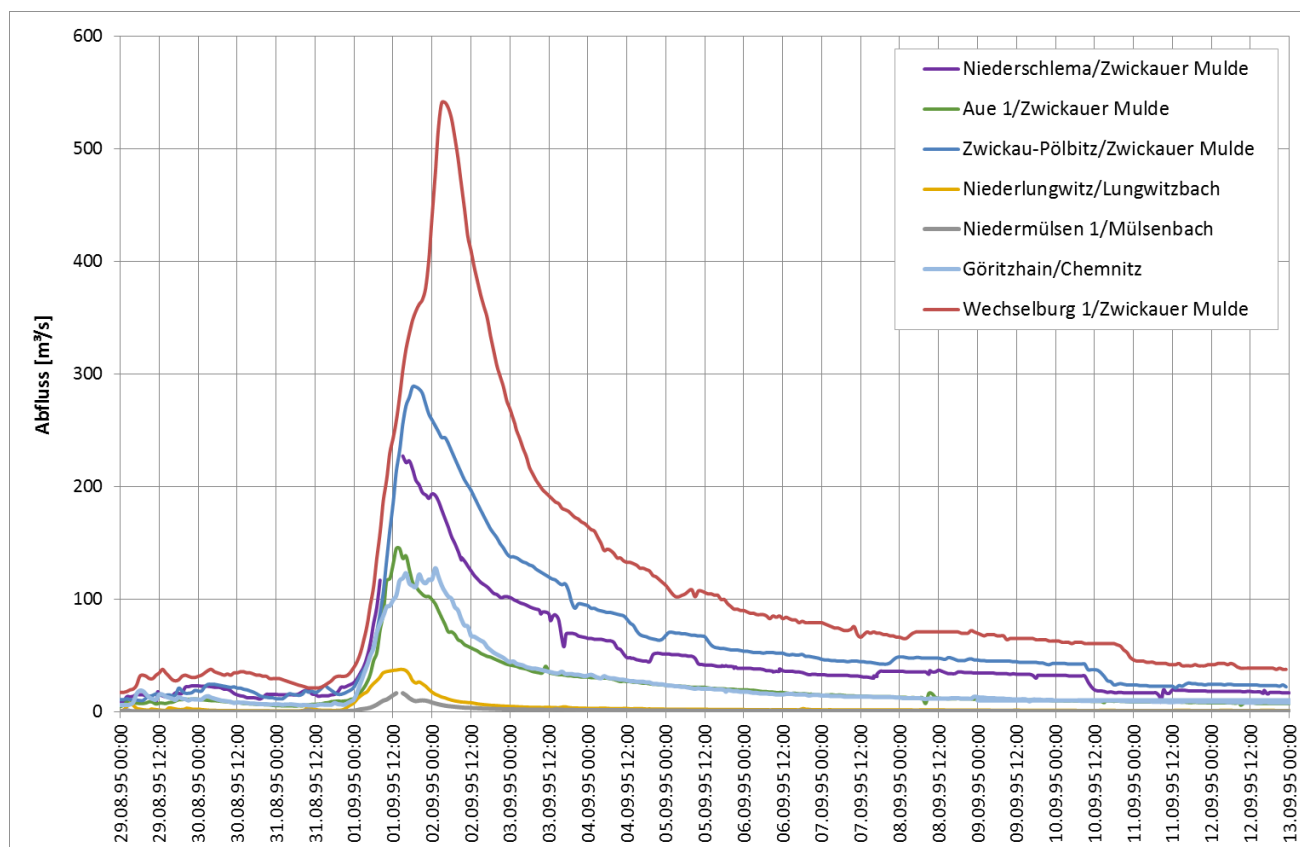


Abbildung 66: Hochwasserabflüsse im Flussgebiet der Zwickauer Mulde 1995

7.3.3 Abflussverlauf im Einzugsgebiet der Zschopau

Im Flussgebiet der Zschopau gab es sehr ähnliche Ganglinienverläufe an den Pegeln Tannenberg/Zschopau und Zöblitz/Schwarze Pockau (Abbildung 67). Die Bereiche der oberen Zschopau und der Flöha ähnelten sich demzufolge in ihren Abflussreaktionen, allerdings waren die Hochwasserganglinien an den Pegeln Annaberg und Wiesa im Bereich der oberen Zschopau ausgeglichener als die des Pegels Tannenberg.

Die Hochwasserganglinien an den Pegeln Hopfgarten/Zschopau und Borstendorf/Flöha unterscheiden sich in ihrer Form (steilerer Verlauf in Hopfgarten und in der Folge ein relativ zur Einzugsgebietsfläche höherer Scheitelabfluss) und Fülle (Abbildung 68). Der letztgenannte Unterschied ist allerdings vermutlich auf Datenerfassungsprobleme zurückzuführen. So beträgt die Direktabflusshöhe in Borstendorf nur 17 mm im Vergleich zu

34 mm in Hopfgarten. An den Pegeln Lichtenwalde und Kriebstein UP ist eher der extreme Ganglinienverlauf als die Höhe des Scheitelabflusses bemerkenswert.

Die Scheitel-Füllen-Beziehung des Hochwassers weicht hier deutlich von den anderen Ereignissen an diesem Pegel ab (vgl. Kapitel 8.3).

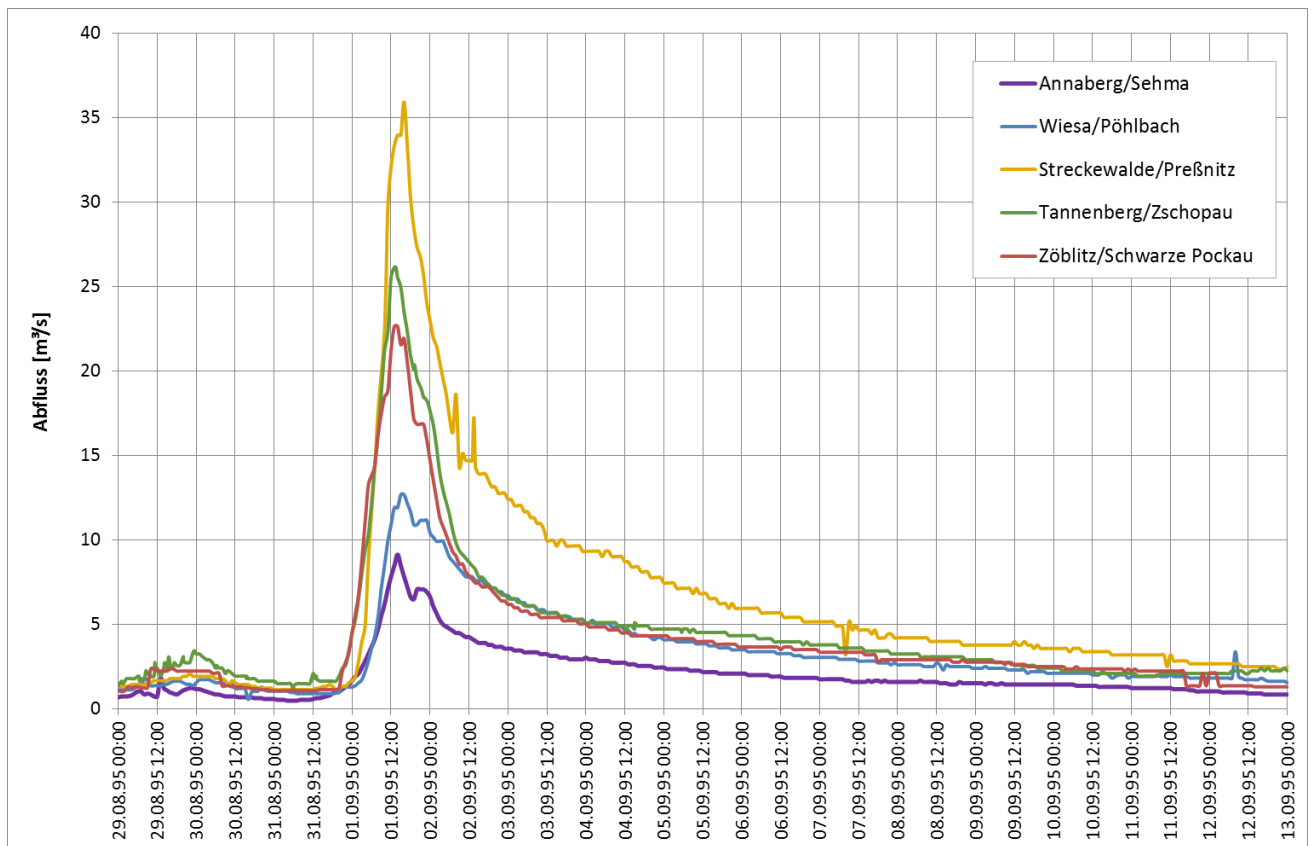


Abbildung 67: Hochwasserabflüsse im Flussgebiet der Zschopau (Oberlauf) und Flöha 1995

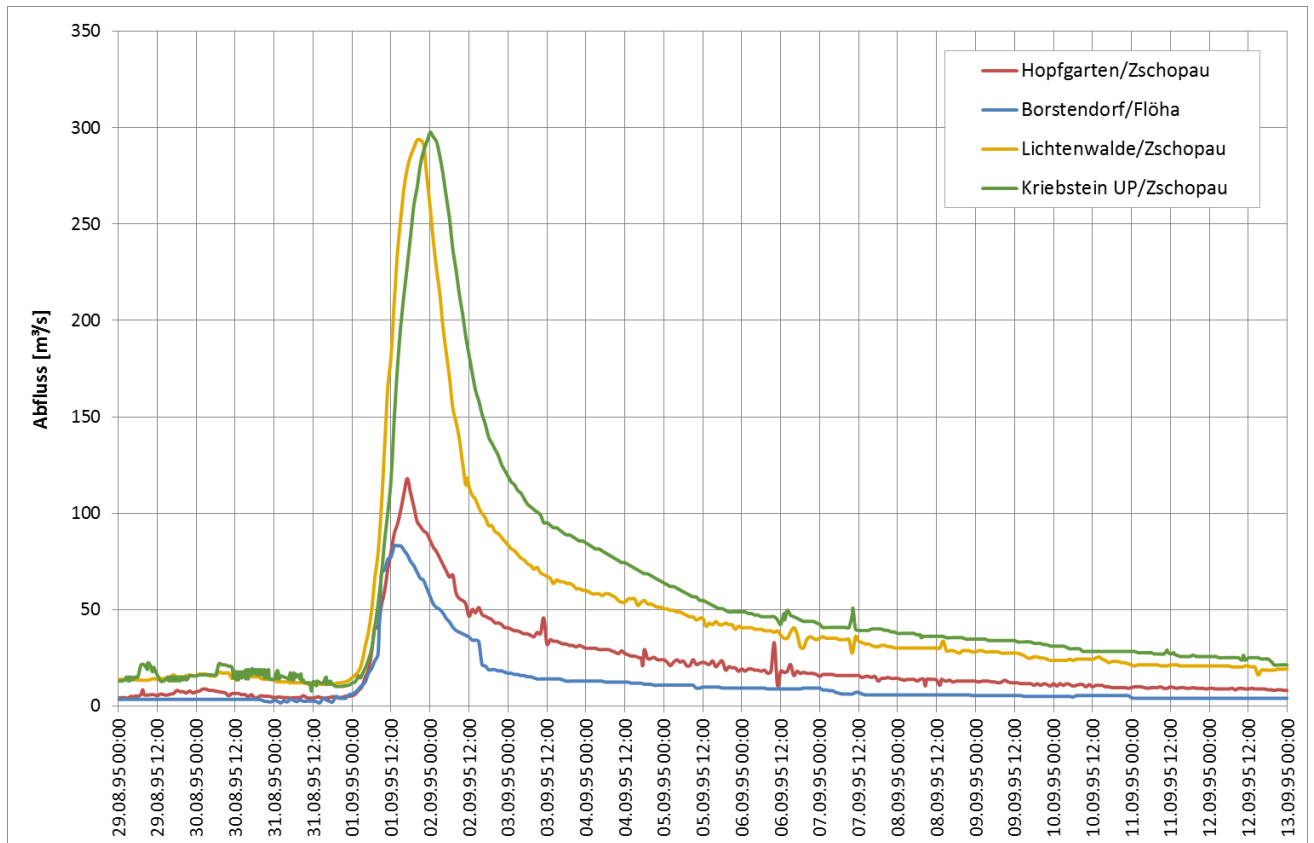


Abbildung 68: Hochwasserabflüsse im Flussgebiet der Zschopau (Unterlauf) und Flöha 1995

7.3.4 Abflussverlauf im Einzugsgebiet der Freiburger Mulde

Im Gebiet der Freiburger Mulde stellt dieses Hochwasser aufgrund seiner Wellenform und der Relationen zwischen Scheitel und Fülle eine Besonderheit dar. Bemerkenswert sind neben den unterschiedlichen Direktabflusshöhen (Abbildung 69) der Pegel Berthelsdorf/Freiburger Mulde und Krummenhennersdorf/Bobritzsch (13,7 mm zu 36,4 mm) der größere Hochwasserscheiteldurchfluss in Krummenhennersdorf trotz halber Einzugsgebietsfläche.

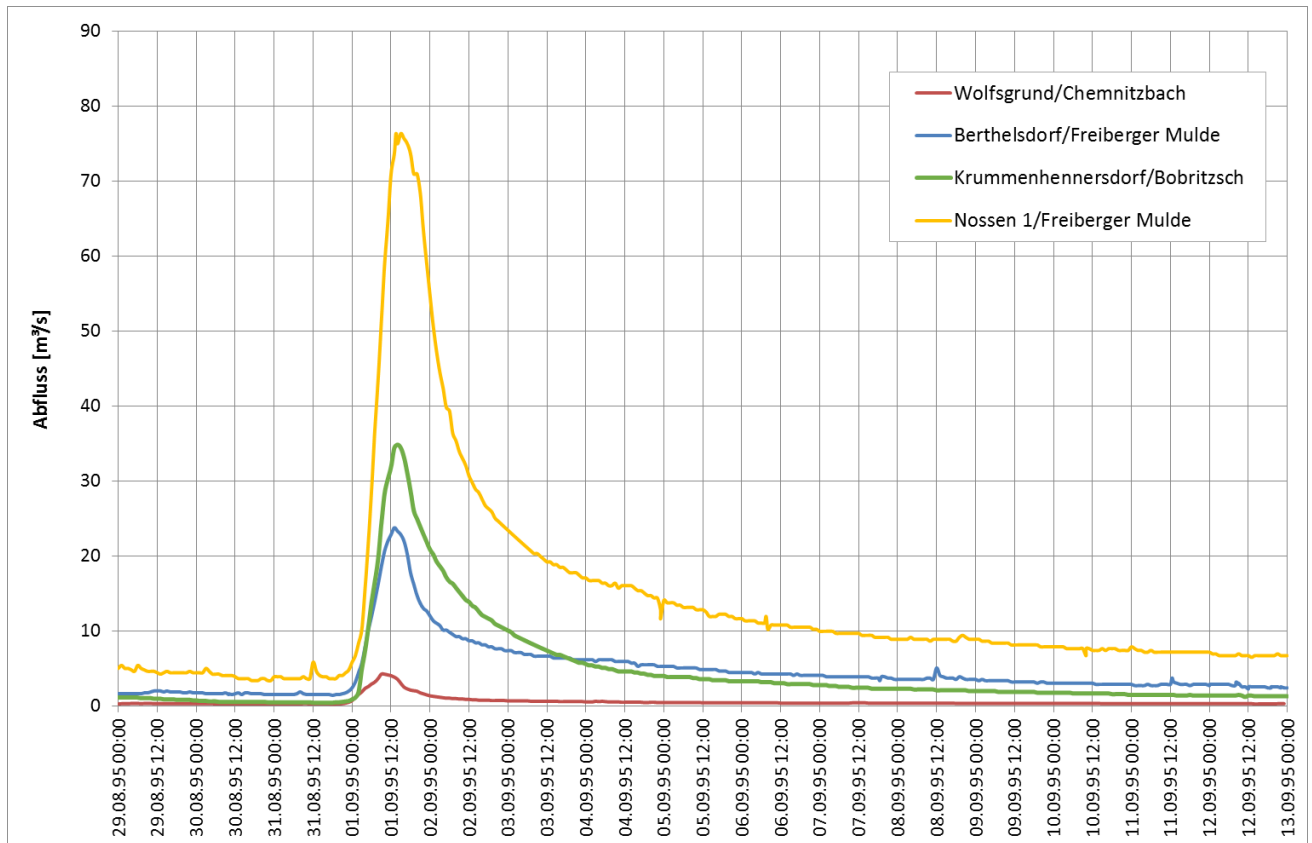


Abbildung 69: Hochwasserabflüsse im Flussgebiet der Freiberger Mulde 1995

7.3.5 Abflussverlauf im Einzugsgebiet der Vereinigten Mulde

Die Hochwasserganglinie der Vereinigten Mulde am Pegel Golzern zeigt in ihrem Scheitelbereich (Abbildung 70) die fast zeitgleiche Überlagerung der Scheitel der Zwickauer und der Freiberger Mulde. Allerdings sind die Abflüsse in Golzern niedriger als die Summe der Zuflüsse. Dies wird aus der Differenzganglinie der Summenganglinien, die zeitlich so verschoben wurden, dass eine möglichst hohe Übereinstimmung mit dem beobachteten Abflussverlauf in Golzern erreicht wird, und den gemessenen Abflüssen am Pegel Golzern deutlich (Abbildung 71).

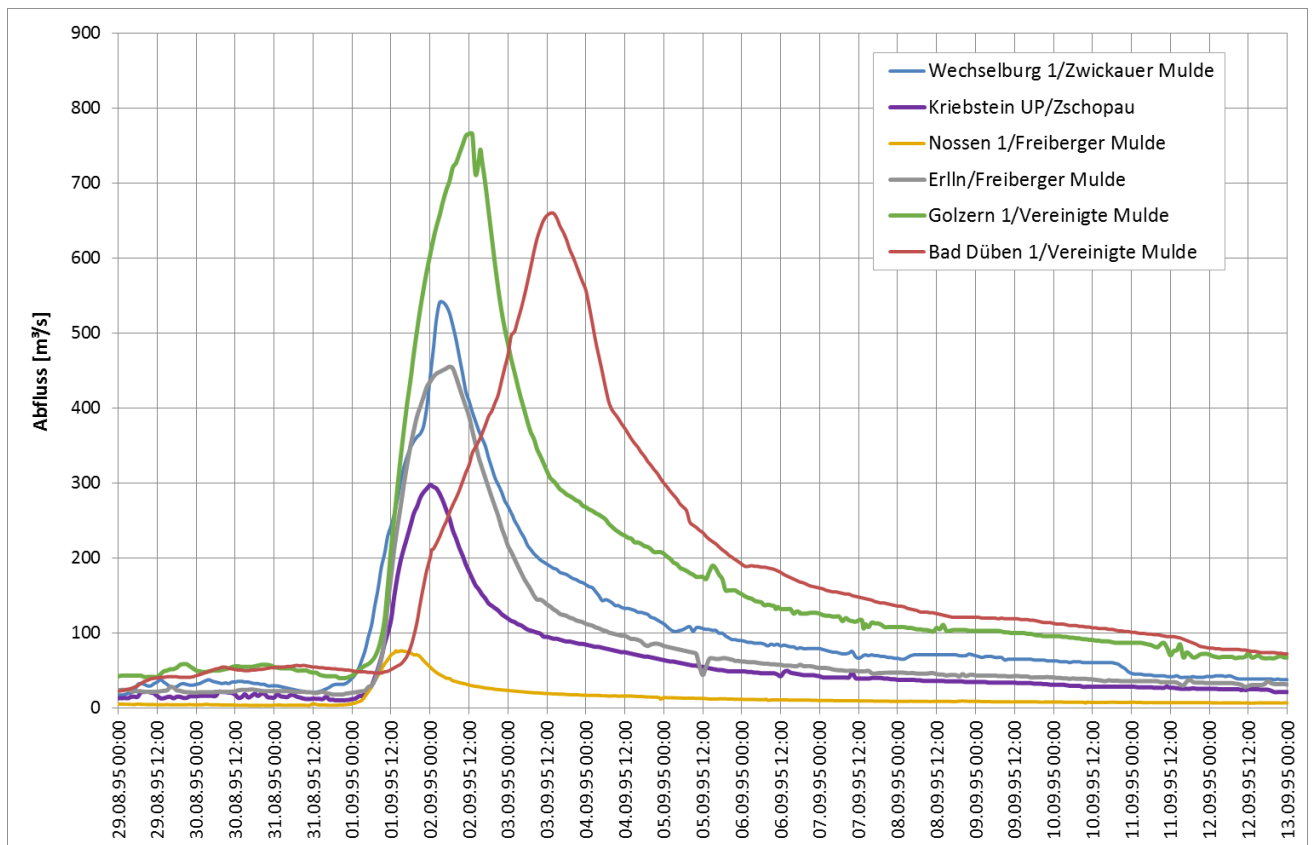


Abbildung 70: Hochwasserabflüsse der Hauptteileinzugsgebiete und der Vereinigten Mulde 1995

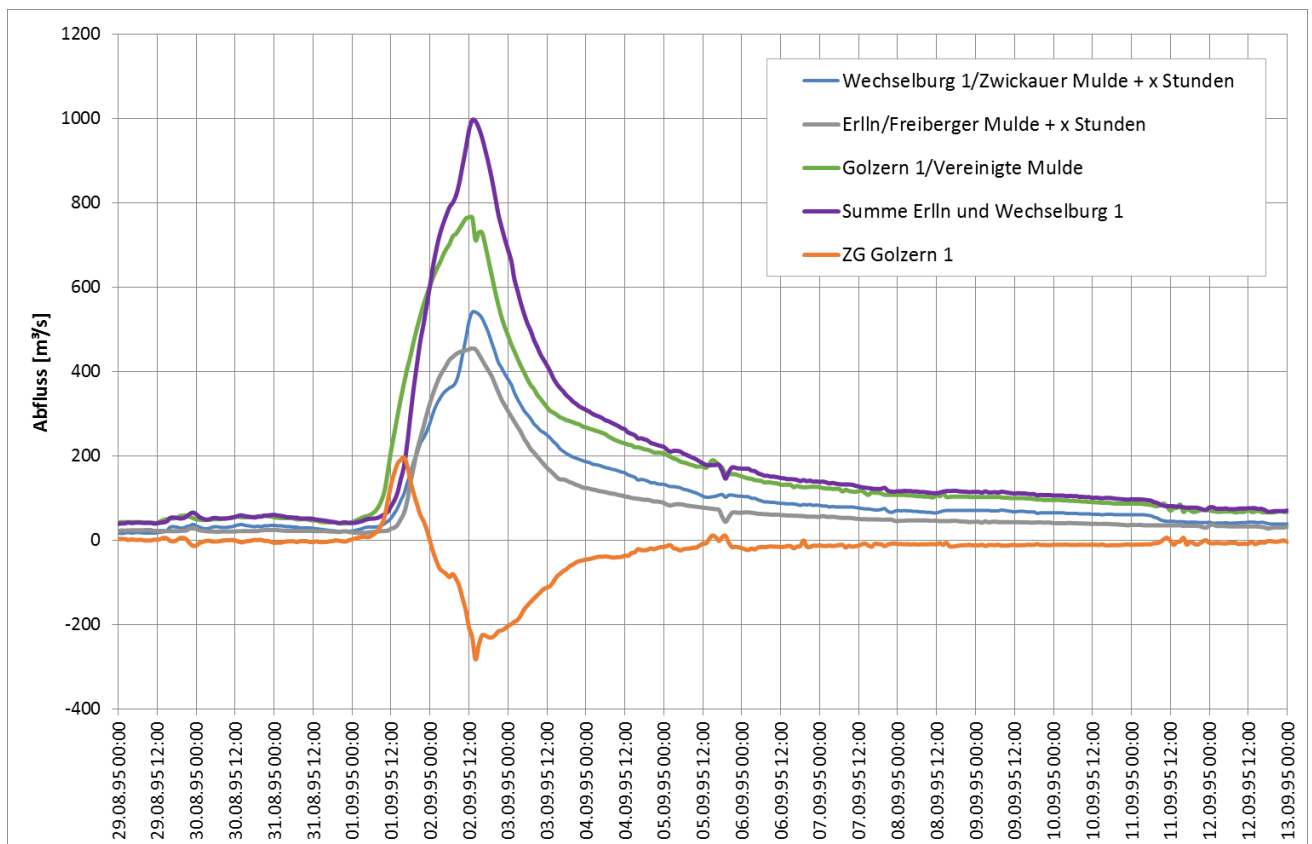


Abbildung 71: Bilanzierung der Abflüsse am Pegel Golzern aus den Zuflussganglinien der Pegel Wechselburg/Zwickauer Mulde und ErlIn/Freiberger Mulde

7.4 Analyse und Darstellung der Niederschlag-Abfluss-Beziehungen mittels Abflussfüllen und -beiwerten

Die Abflussbeiwerte und Scheitelabflusssspenden sind in Tabelle 16 zusammengestellt. Die Abflussbeiwerte variieren bei diesem Ereignis stark. Deutlich wird dies in Abbildung 72 und dem dort dargestellten schwachen korrelativen Zusammenhang zwischen den Niederschlags- und den Direktabflusssummen. Die Abflussbeiwerte betragen im Mittel 0,35 im Gebiet der Zwickauer Mulde, 0,25 im oberen Zschopau-Gebiet bis zum Pegel Hopfgarten, 0,16 im oberen Flöha-Gebiet und 0,15 im Gebiet der Freiburger Mulde.

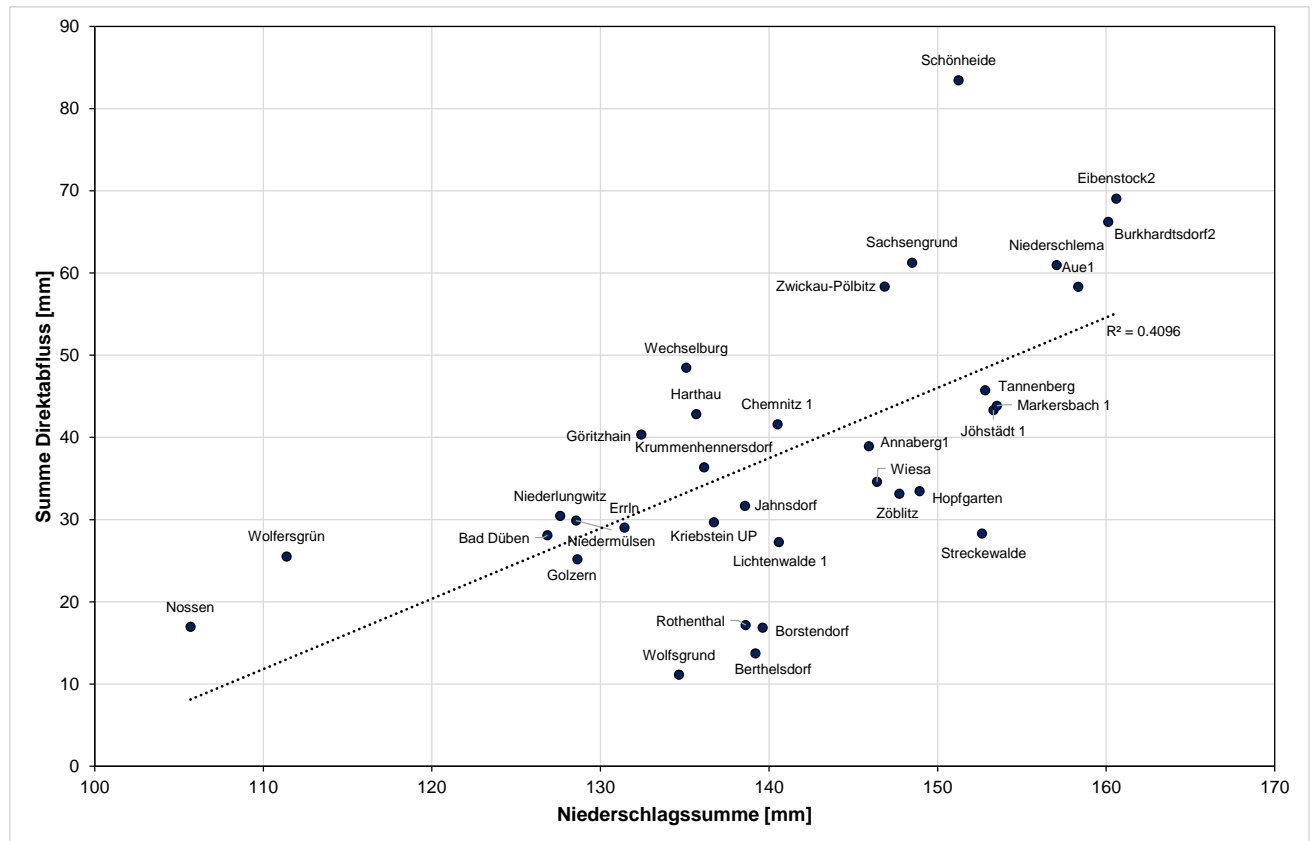


Abbildung 72: Zusammenhang zwischen Niederschlag und Direktabfluss 1995

Weil der hochwasserverursachende Niederschlag kompakt innerhalb eines Zeitraumes von etwa 24 Stunden fiel, ergibt sich ein vergleichsweise enger exponentieller Zusammenhang zwischen der Scheitelabflusssspende und dem Abflussbeiwert (Abbildung 73). Zwar wird die nichtlineare Regression durch den hohen Scheitel am Pegel Schönheide 3 beeinflusst, aber auch nach Entfernung dieses Pegels ergibt sich ein Bestimmtheitsmaß von 0,58 (mit Pegel Schönheide 3: 0,64). Eine Abhängigkeit zwischen der Niederschlagssumme und dem Abflussbeiwert ist bei diesem, durch dauerhaft hohe Niederschlagsintensitäten geprägten Hochwasserereignis nicht feststellbar (Abbildung 74).

Tabelle 16: Abflussbeiwerte und Scheitelabflussspenden des Hochwassers 1995

Pegel	Gewässer	AE [km ²]	Summe Niederschlag [mm]	Summe Direktabfluss [mm]	Abfluss- beiwert	Abfluss- scheitel [m ³ /s]	Abfluss- spende [m ³ /(skm ²)]
Zwickauer Mulde							
Sachsengrund	Große Pyra	6,6	148,5	61,3	0,41	2,2	0,333
Schönheide 3	Zwickauer Mulde	152	160,6	69,0	0,43	2,8	0,197
Markersbach 1	Große Mittweida	30	153,5	43,9	0,29	5,6	0,186
Aue 1	Schwarzwasser	362,5	158,3	58,3	0,37	145	0,400
Niederschlema	Zwickauer Mulde	759,4	157,1	61,0	0,39	227	0,301
Zwickau-Pölbitz	Zwickauer Mulde	1029,7	146,9	58,3	0,40	289	0,283
Niedermülsen 1	Mülsenbach	49,9	128,6	29,9	0,23	16,6	0,335
Niederlungwitz	Lungwitzbach	137,6	127,6	30,4	0,24	37,7	0,273
Wolkenburg	Zwickauer Mulde	1424	135,1	48,5	0,36	541	0,258
Wechselburg	Zwickauer Mulde	2107	148,5	61,3	0,41	2,2	0,333
Chemnitz							
Jahnsdorf	Würschnitz	103	138,6	31,7	0,23	14,1	0,137
Harthau	Würschnitz	135,7	135,7	42,8	0,32	53,7	0,395
Chemnitz 1	Chemnitz	403,2	140,5	41,6	0,30	103	0,255
Göritzhein	Chemnitz	532,3	132,4	40,4	0,30	128	0,240
Flöha/Zschopau							
Tannenberg	Zschopau	90,6	152,8	45,7	0,30	26,1	0,286
Annaberg 1	Sehma	48,6	145,9	38,9	0,27	9,1	0,188
Wiesa	Pöhlbach	86,3	146,4	34,6	0,24	12,7	0,147
Jöhstadt 1	Jöhstädter Schwarzwasser	35,9	153,3	43,3	0,28	11,2	0,295
Streckewalde	Preßnitz	205,9	152,6	28,3	0,19	35,9	0,174
Hopfgarten	Zschopau	528,8	148,9	33,5	0,22	118	0,223
Rothenthal	Natzschung	75	138,6	17,2	0,12	12,7	0,167
Zöblitz	Schwarze Pockau	129,2	147,7	33,1	0,22	22,6	0,181
Borstendorf	Flöha	643,8	139,6	16,9	0,12	83,1	0,130
Lichtenwalde	Zschopau	1574,6	140,6	27,3	0,19	294	0,186
Kriebstein UP	Zschopau	1756,8	136,7	29,7	0,22	298	0,170
Freiberger Mulde							
Wolfsgrund	Chemnitzbach	37,2	134,7	11,1	0,08	4,2	0,119
Berthelsdorf	Freiberger Mulde	244,4	139,2	13,7	0,10	23,8	0,098
Krummenhennersdorf	Bobritzsch	131	136,1	36,4	0,27	34,9	0,266
Nossen 1	Freiberger Mulde	585,2	105,7	17,0	0,16	76,4	0,130
Vereinigte Mulde							
Golzern	Vereinigte Mulde	5442	128,6	25,2	0,20	766	0,141
Bad Düben	Vereinigte Mulde	6170	126,9	28,1	0,22	660	0,107

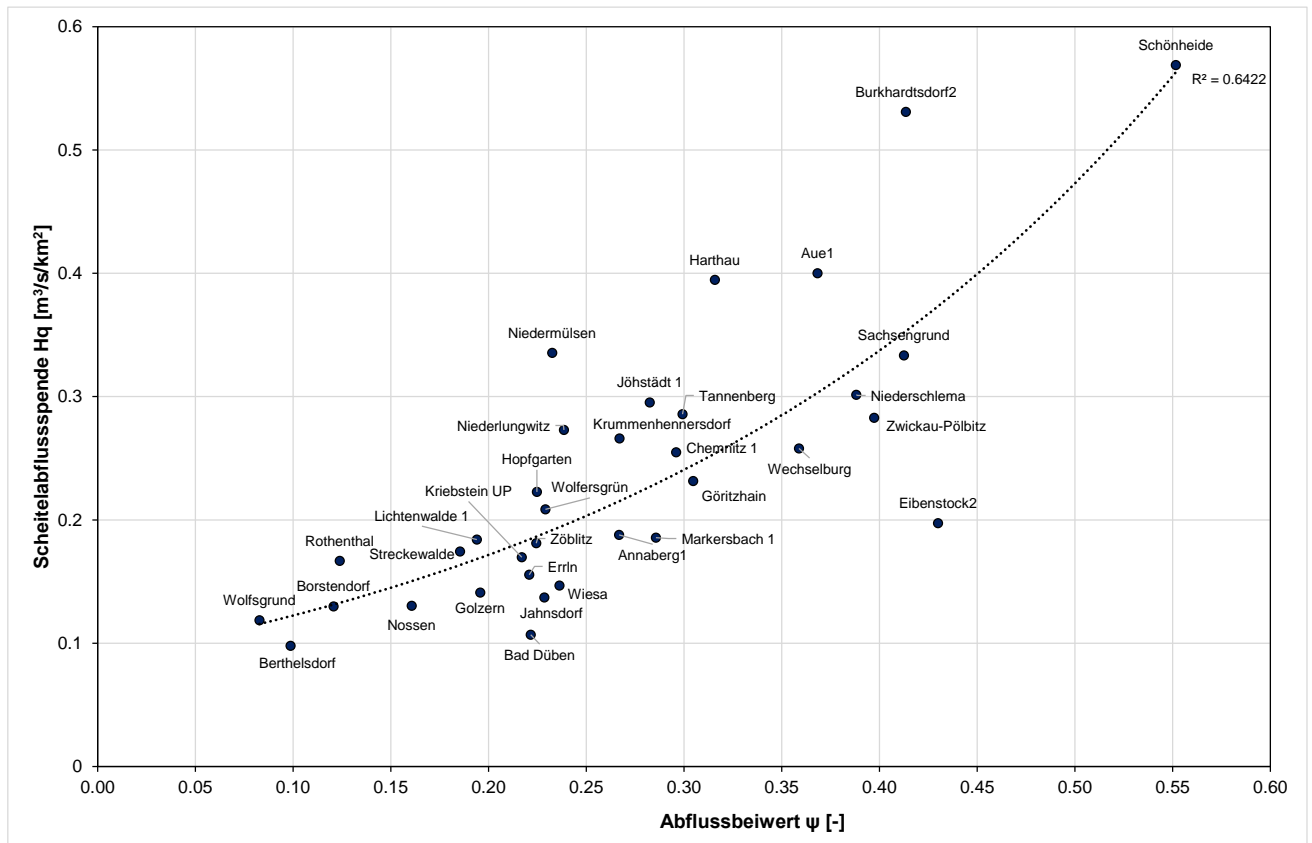


Abbildung 73: Abhängigkeit zwischen Scheitelabflusspende und Abflussbeiwert 1995

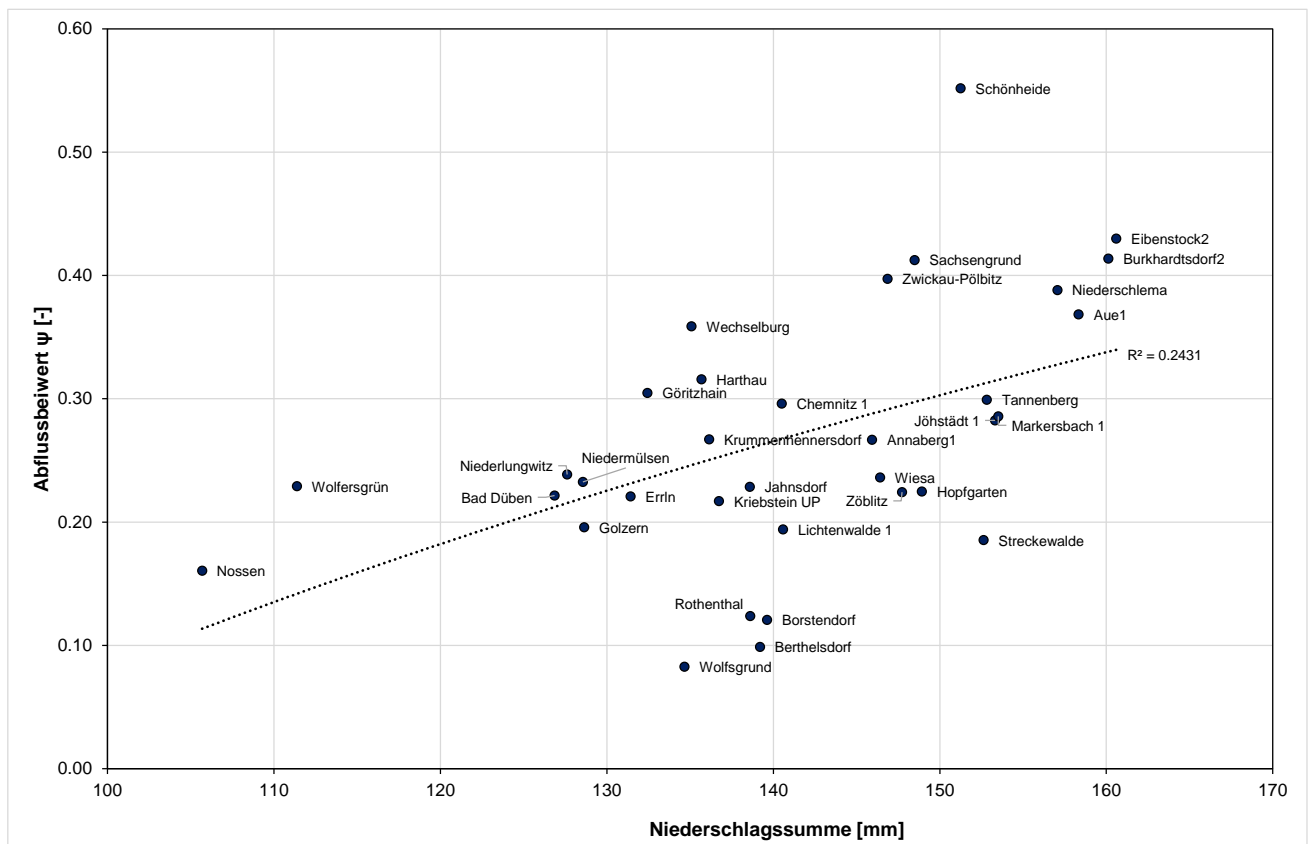


Abbildung 74: Zusammenhang zwischen Abflussbeiwert und Niederschlagssumme 1995

8 Das Hochwasser im August 2002

8.1 Witterungsverlauf

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. Juli und 2. August im Muldegebiet zunächst lokal starke Schauer und Gewitter mit Niederschlagshöhen bis 70 mm auf. Nach einer Wetterberuhigung am 2. und 3. August lebte die Niederschlagstätigkeit in der gleichen Art wie in der Vorwoche ab dem 4. bis zum 9. August 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 mm bis 60 mm im Tiefland sowie auf 50 mm bis 110 mm im Hügel- und Bergland, örtlich sogar bis 125 mm. Damit wurde bereits in der ersten Augustdekade die langjährige mittlere Monatssumme des Niederschlags erreicht. In der Folge erhöhte sich die Bodenfeuchte beträchtlich.

Mit der Ausbildung eines Höhentrog am östlichen Rand des stabilen Azorenhochs – von Island ausgehend in Richtung Südosten – wurde ab dem 8. August 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. August südostwärts über Südengland nach Nordfrankreich zog. Dort löste es sich schließlich auf (Abbildung 75).

Im südlichen Teil des Troges über Südfrankreich spaltete sich am 10. August ein hochwirksames Höhentief („Cut-Off-Low“) ab (Abbildung 76), an dessen Vorderseite (Ostflanke) der Luftdruck über Oberitalien durch dynamische Hebungs Vorgänge stark abfiel. Infolge dessen bildete sich in der Nacht zum 11. August 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 (Abbildung 77). 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. August verlagerte es sich nach Venetien und dem östlichen Teil Norditaliens. Zu diesem Zeitpunkt begann im Westerzgebirge und südwestlich von Leipzig eine Intensivierung des Niederschlags. Unter erheblicher Verstärkung zogen die Ausläufer des Tiefs bis zum Vormittag des 12. August 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 (Abbildung 78).

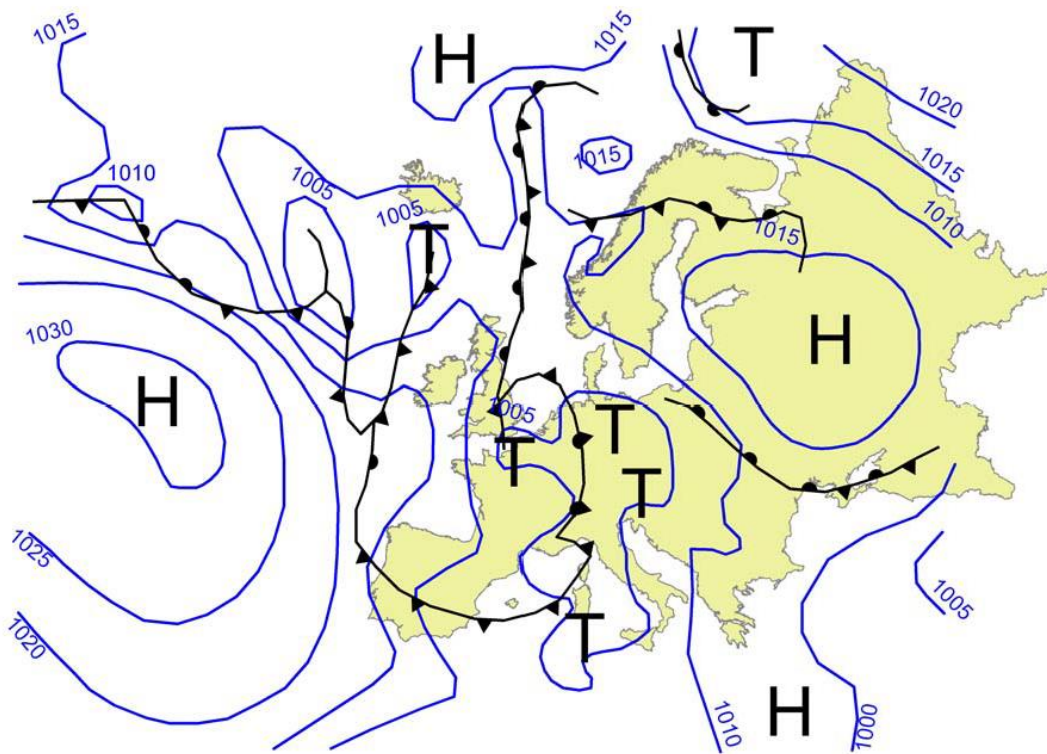


Abbildung 75: Bodenwetterkarte vom 10.08., 12:00 Uhr UTC (Grundlage: Deutscher Wetterdienst 2003)

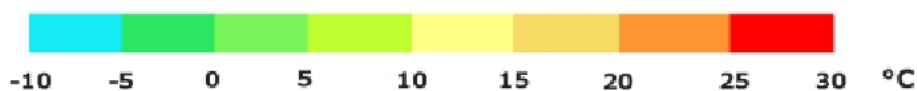
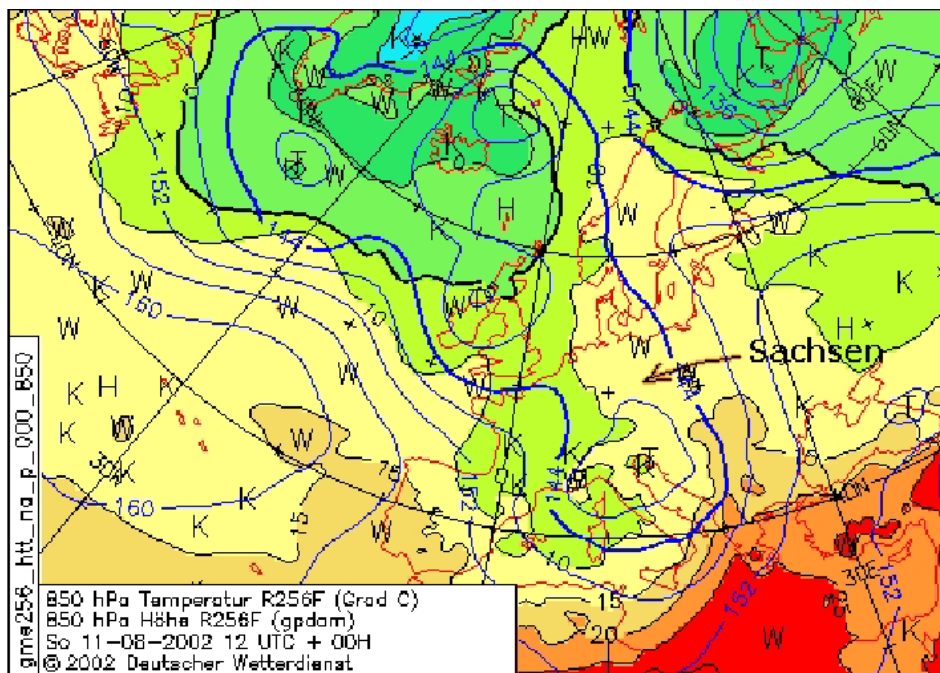


Abbildung 76: Numerische Analyse der Geopotential- und Temperaturverteilung in 850 hPa (etwa 1,5 km Höhe) am 11.08. (Quelle: Deutscher Wetterdienst 2003)

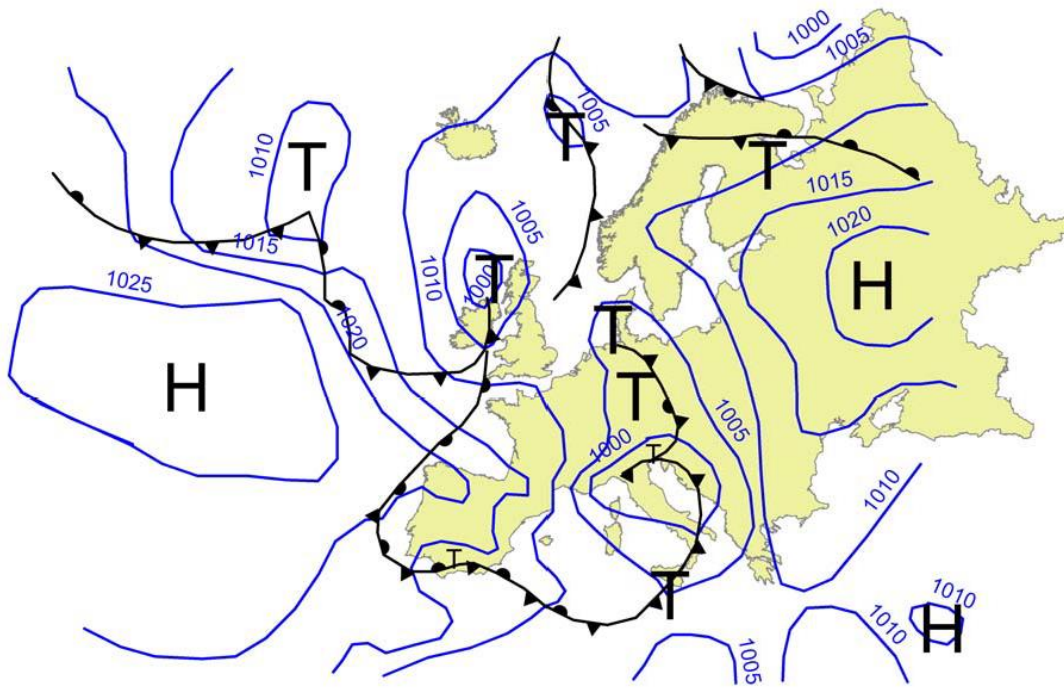


Abbildung 77: Bodenwetterkarte vom 11.08., 06:00 Uhr UTC (Grundlage: Deutscher Wetterdienst 2003)

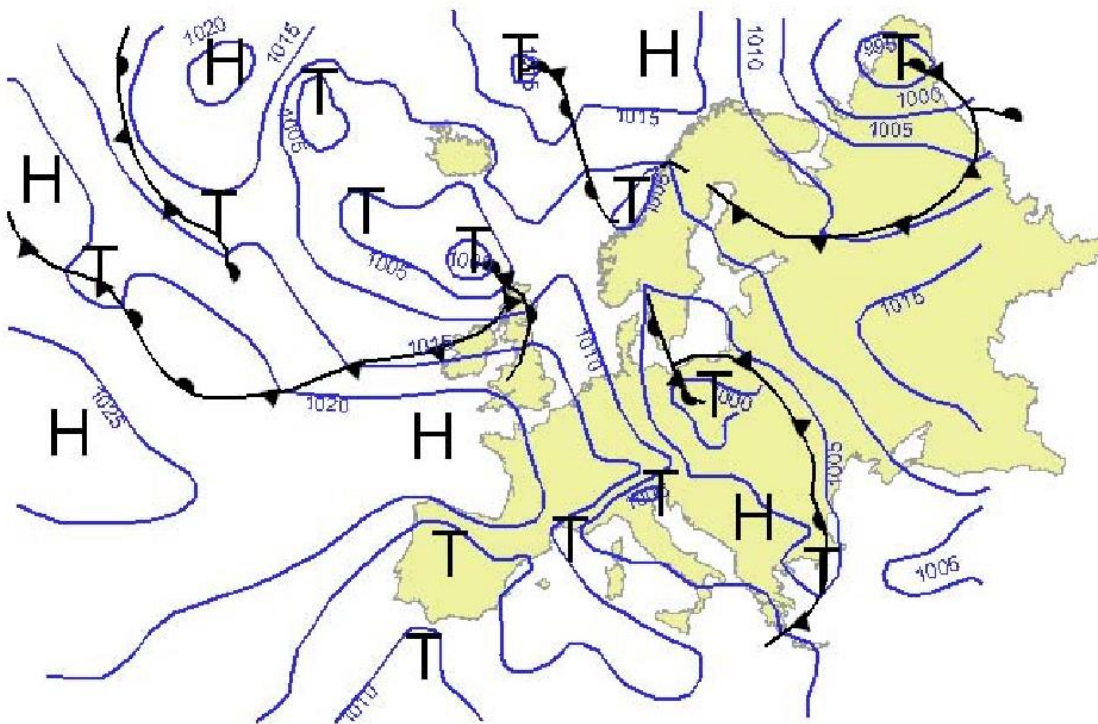


Abbildung 78: Bodenwetterkarte vom 12.08., 06:00 Uhr UTC (Grundlage: Deutscher Wetterdienst 2003)

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 verhin-

dernten den Weiterzug von „Ilse“, sodass sich das Tief stationär über Ostdeutschland eindrehte. Die feuchte Luftmasse regnete sich bis zum späten Abend des 13. August in einem breiten Band – von den Alpen nach Nordostdeutschland reichend – aus. Besonders davon betroffen war das Einzugsgebiet der Elbe oberhalb der Saalemündung, so auch das Muldeinzugsgebiet. Unter weiterer Ostwärtsverlagerung löste sich das Vb-Tief schließlich bis zum 16. August vollständig auf. Abbildung 79 zeigt zusammenfassend seine Zugbahn vom 9. bis 14. August 2002.

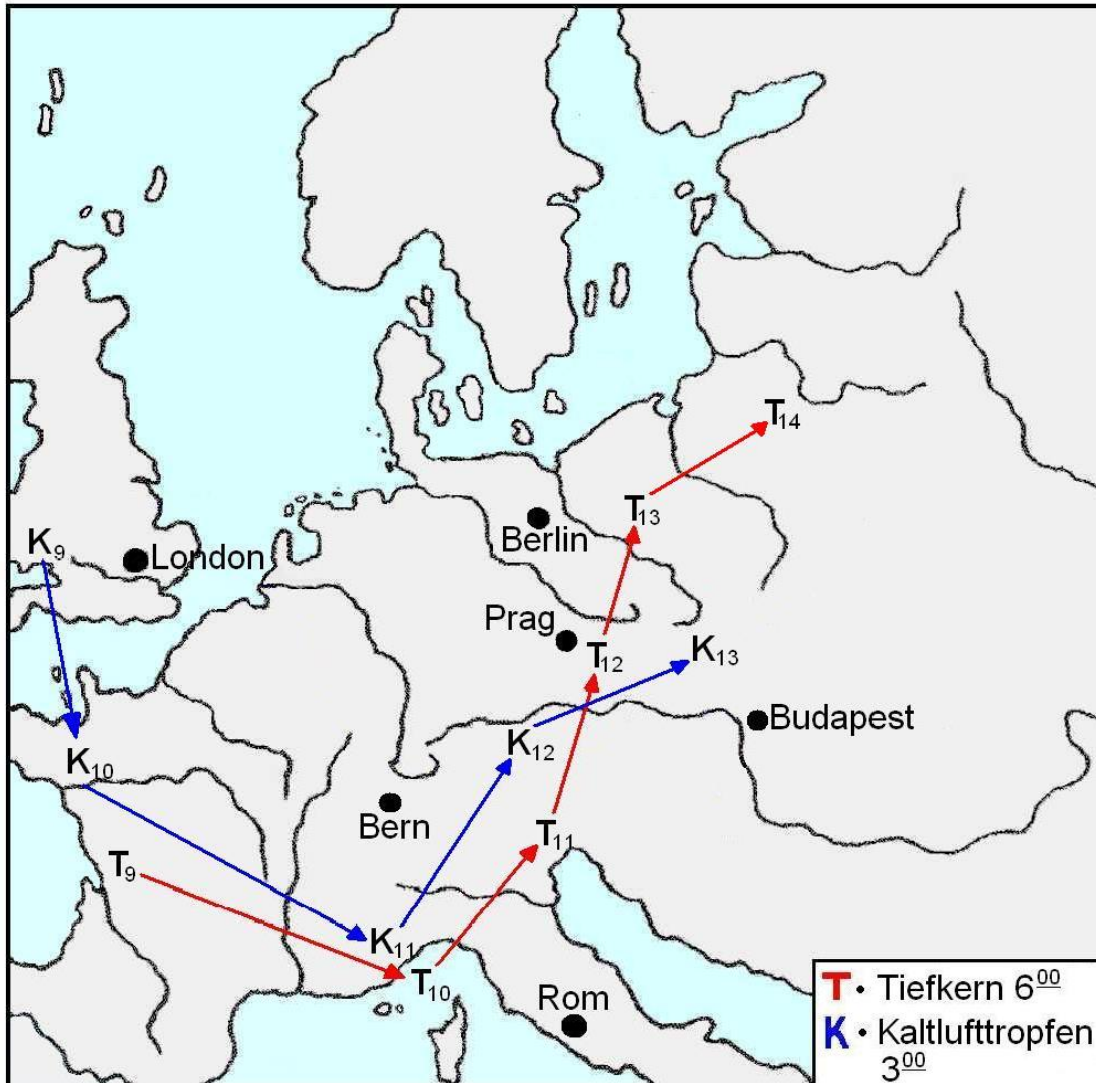


Abbildung 79: Zugbahnen des wetterbestimmenden Tiefs und des Kaltlufttropfens vom 09.08. bis 14.08. (nach RUDOLF & RAPP 2003, ergänzt)

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 des ausgelösten Hochwassers folgende meteorologisch-synoptischen Ursachen:

- Aufgleiten feucht-warmer Mittelmeerluft vor allem in höheren Schichten auf die von Norden einströmende Kaltluft

- 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
- 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
- lange Andauer der Hebungsprozesse infolge der sich nur langsam ändernden großräumigen Druck- und Strömungsverteilung über Mitteleuropa

8.2 Beschreibung der zeitlich und räumlichen Niederschlagsverteilung

Beginnend in den Nachmittagsstunden des 10. August 2002 regnete es in verschiedenen Einzugsgebieten der Mulde bis in die Nachtstunden (ca. 22:00 Uhr) durchschnittlich 11 mm. In einzelnen Gebieten waren deutlich höhere und zeitlich auf einzelne Stunden konzentrierte Niederschläge zu verzeichnen (z. B. Stollberg 45 mm oder Eibenstock 25 mm). Insgesamt handelte es sich bei diesen Niederschlägen um Vorregen, auf die ein niederschlagsfreier Zeitraum folgte, der bis in die späten Nachmittagsstunden des 11. August anhielt. Danach setzten intensive, bis in die frühen Morgenstunden des 13. August anhaltende Niederschläge ein. Zwischen dem 11. August, 17:00 Uhr und dem 13. August, 20:00 Uhr fielen im Flussgebiet der Mulde je nach betrachtetem Einzugsgebiet zwischen 120 bis 300 mm Regen. Bezogen auf das gesamte Flussgebiet bis zum Pegel Bad Dübener Heide 1 (Abbildung 80) ergaben sich 165 mm Niederschlag. Die Gebietsniederschlagssummen der Haupteinzugsgebiete unterschieden sich für diesen Zeitraum deutlich und nahmen von West nach Ost zu (Tabelle 17). Der Niederschlagschwerpunkt lag im östlichen Bereich der oberen Freiburger Mulde (Abbildung 81). Die Abbildung 82 verdeutlicht trotz längerem Betrachtungszeitraumes im Vergleich zu Abbildung 81 die Unterschiede in der Erfassung der räumlichen Niederschlagsverteilung ohne bzw. mit Radardaten. Die extrem hohen Niederschläge im östlichen Bereich des Einzugsgebietes der Freiburger Mulde konnten nur unter Verwendung von Radardaten in ihrer kleinräumigen Unterschiedlichkeit genauer erfasst werden.

Entsprechend der Anfangs- und Endzeiten trat die maximale Tagessumme des Gebietsniederschlages für das Gesamtgebiet am 12. August auf. 70 bis 80 % des Gesamtniederschlages entfielen auf diesen einzelnen Tag. Die zeitliche Verteilung der Gebietsniederschläge im Zeitraum vom 10. bis zum 13. August weist deutliche Unterschiede zwischen den Haupteinzugsgebieten auf (Abbildung 83, Tabelle 18, Tabelle 19, Tabelle 20 und Tabelle 21). Der Niederschlag beginnt am 10. August im westlichen Teil des Einzugsgebietes mit Tagessummen von nicht mehr als 30 mm/d. Auch am 11. August verbleibt das Zentrum des Niederschlages mit Tagessummen lokal bis zu ca. 100 mm über den Einzugsgebieten der Zwickauer Mulde. Am 12. August fallen die höchsten Niederschläge in dieser viertägigen Periode mit Intensitäten von teilweise über 300 mm/d, wobei sich der regionale Schwerpunkt nach Osten in das Quellgebiet der Freiburger Mulde verschoben hat. Am 13. August treten nur noch vergleichsweise geringe Niederschläge mit bis zu ungefähr 30 mm/d auf, wobei eine weitere Verschiebung des Regenpunktes nach Osten zu beobachten ist. Die räumliche Verteilung des Niederschlages am 12. August entspricht nahezu dem Niederschlagsmuster für die gesamte Ereignissumme (Abbildung 81).

Tabelle 17: Gebietsniederschlagssummen der Vereinigten Mulde und der drei Hauptteilgebiete vom 11.08. bis zum 13.08.2002

Pegel	Gewässer	AE [km ²]	Summe Niederschlag [mm]
Bad Dübener 1	Vereinigte Mulde	6170	165,0
Colditz	Zwickauer Mulde	2326	148,7
Kriebstein UP	Zschopau	1754	198,5
Mahlitzsch	Freiberger Mulde	910	234,2

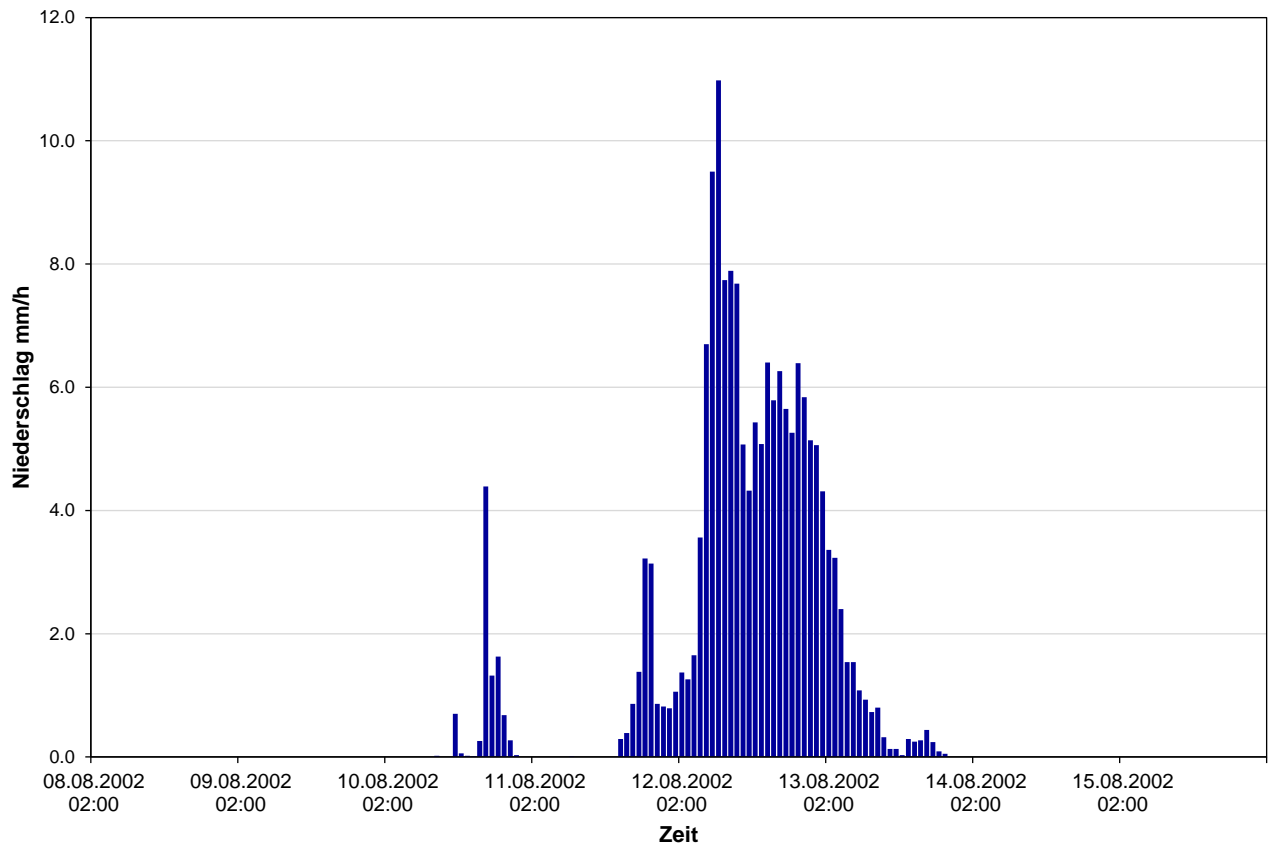


Abbildung 80: Zeitliche Verteilung des Gebietsniederschlages für die Vereinigte Mulde (Pegel Bad Dübener 1)

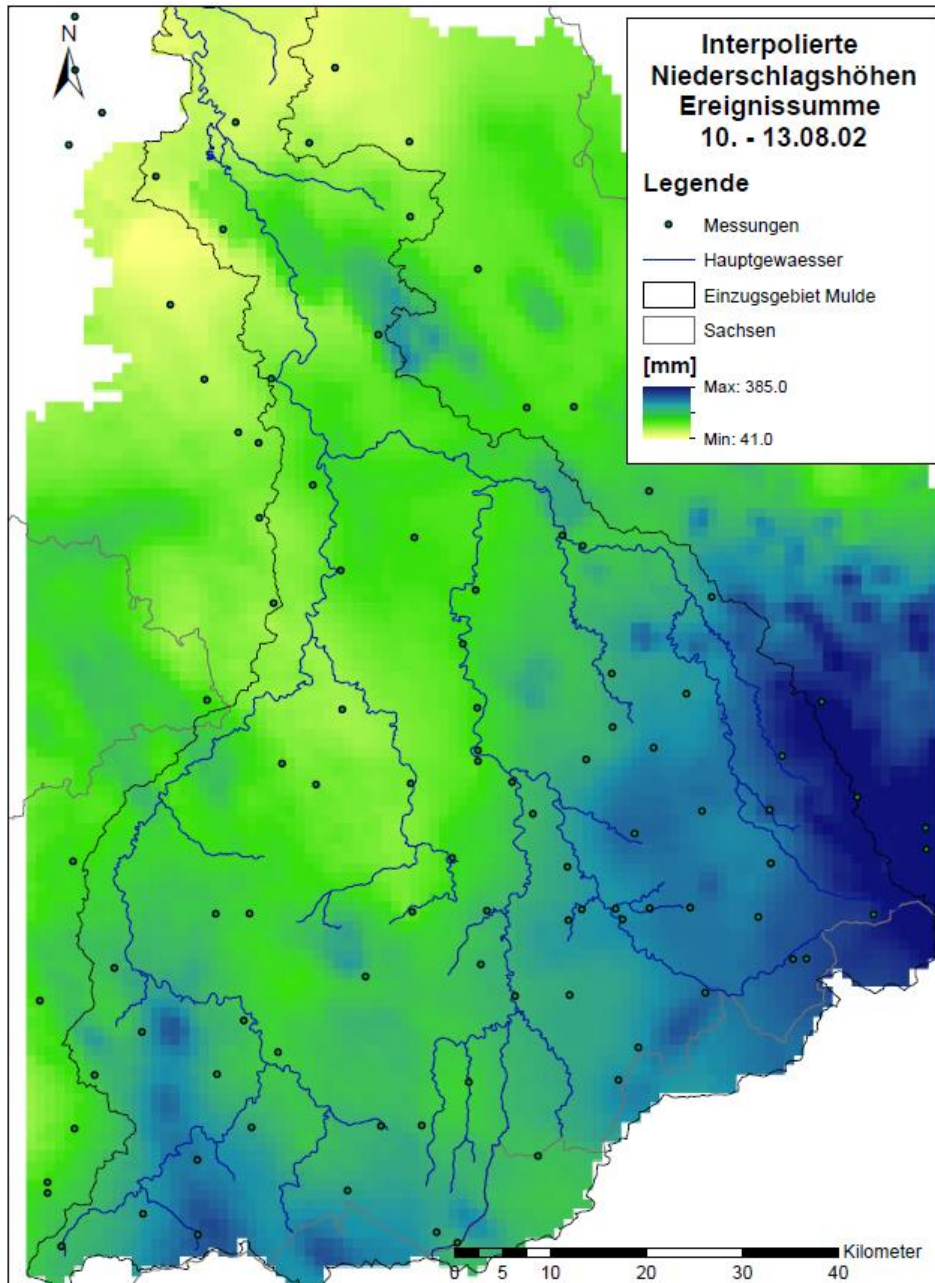


Abbildung 81: Räumliche Verteilung der Niederschlagssummen vom 10.08. bis 13.08.2002

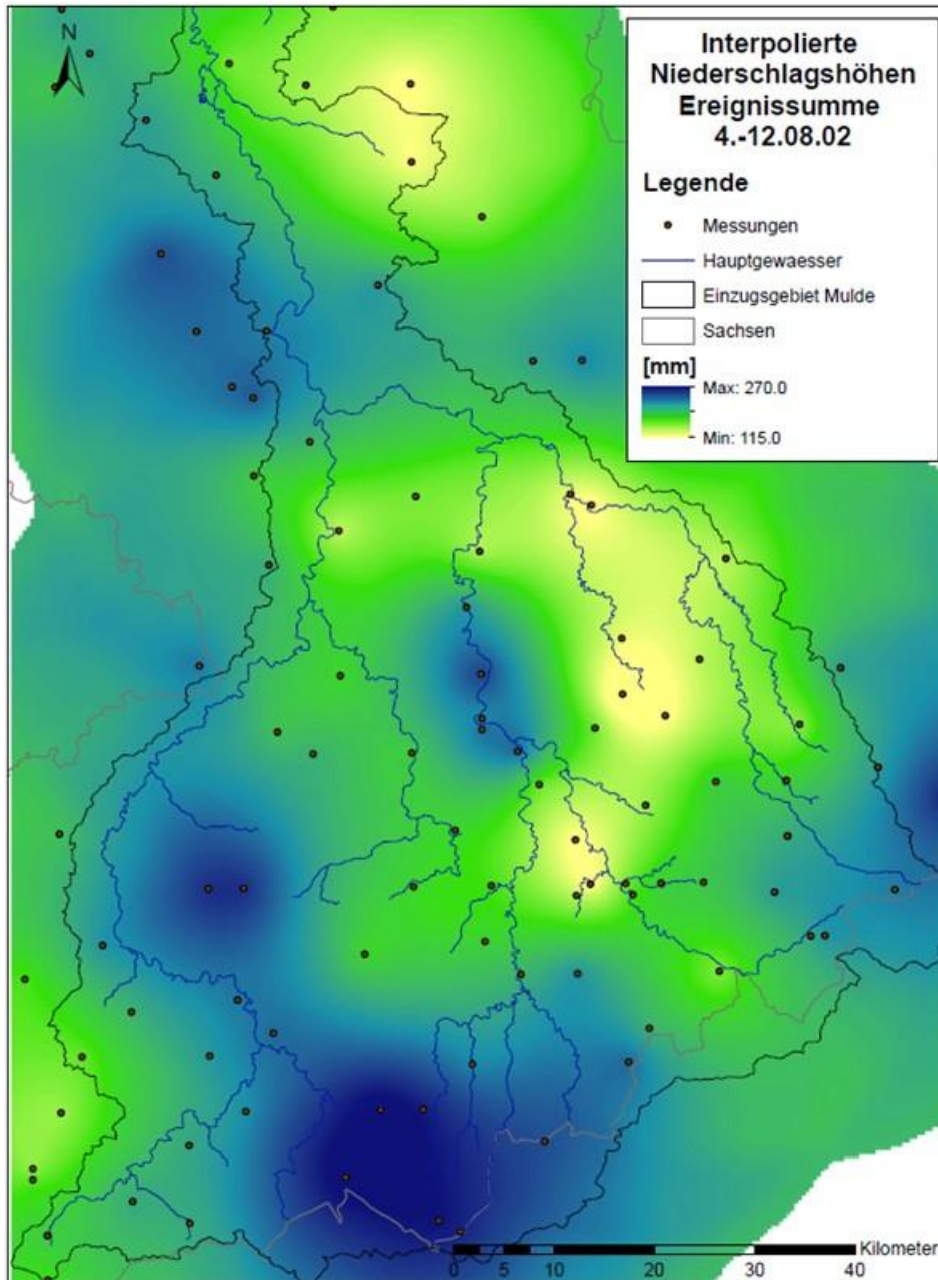


Abbildung 82: Räumliche Verteilung der Niederschlagssummen vom 04.08. bis 12.08.2002 ohne Radardaten

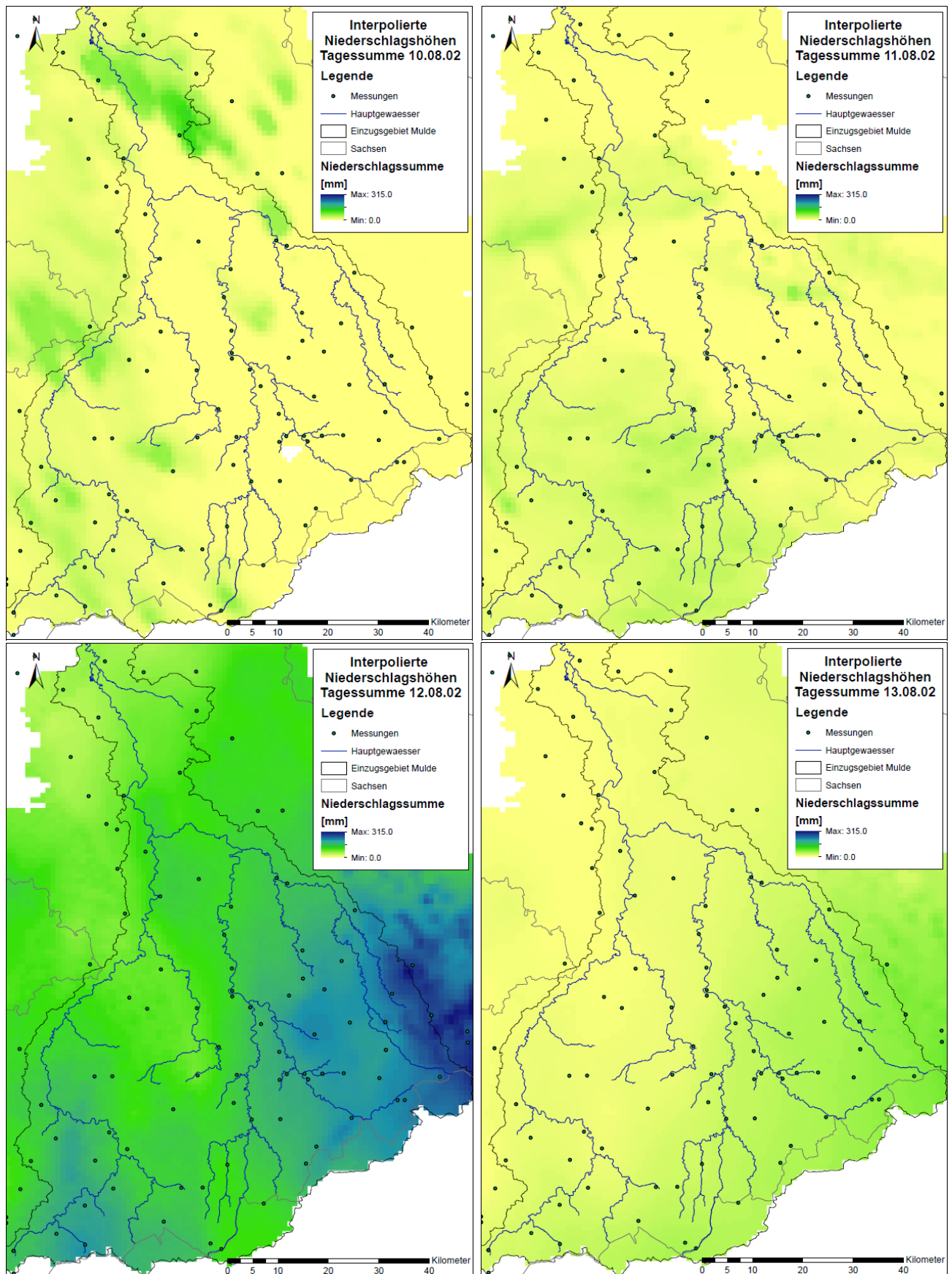


Abbildung 83: Räumliche Verteilung der Niederschlagstagesummen vom 10.08. bis 13.08.2002 (jeweils bis 07:30 Uhr des Folgetages), ermittelt unter Verwendung von Radardaten im Einzugsgebiet der Mulde und der linksseitigen Elbenebenflüsse

Tabelle 18: Summen der einzelnen Gebietsniederschlagsanteile im Flussgebiet der Zwickauer Mulde und für die Einzugsgebiete der Vereinigten Mulde

Pegel	Gewässer	AE [km ²]	Vorregen 10.08. [mm]	Summe 11. - 13.08. [mm]	24h-Summe 11.08. [mm]	24-Summe 12.08. [mm]	24h-Summe 13.08. [mm]	Gesamtsumme [mm]	Anteil der 24h-Summe vom 12.08. an der Gesamtsumme
Sachsengrund	Große Pyra	6,5	14,5	224,8	14,2	182,4	28,2	239,3	0,81
Rautenkranz	Zwickauer Mulde	88,3	8,9	185,3	10,3	153,0	22,0	194,2	0,83
Eibenstock 2	Rählerbach	14,2	33,0	214,4	10,8	178,0	25,7	247,4	0,83
Aue 3	Zwickauer Mulde	681,7	14,7	192,7	18,2	149,7	24,8	207,4	0,78
Johanngeorgenstadt 2	Breitenbach	26,0	12,1	216,2	21,4	160,5	34,3	228,3	0,74
Johanngeorgenstadt 4	Schwarzwasser	74,3	18,6	216,7	26,3	153,5	36,8	235,2	0,71
Markersbach 1	Große Mittweida	30,1	7,3	198,3	29,9	132,6	35,8	205,6	0,67
Wildenau 1	Große Mittweida	166,2	8,6	186,2	25,5	132,3	28,4	194,8	0,71
Aue 1	Schwarzwasser	362,9	12,2	189,6	23,4	138,8	27,4	201,8	0,73
Niederschlema	Zwickauer Mulde	754,1	14,4	189,4	18,5	147,6	23,4	203,8	0,78
Zwickau-Pölbitz	Zwickauer Mulde	1021,1	16,3	183,3	18,2	145,0	20,1	199,6	0,79
Niedermülsen 1	Mülsenbach	49,6	9,8	156,3	17,7	128,6	10,1	166,2	0,82
St. Egidien	Lungwitzbach	122,3	11,1	133,8	18,4	107,3	8,1	144,9	0,80
Wolkenburg	Zwickauer Mulde	1417,0	16,7	169,0	17,2	135,0	16,8	185,7	0,80
Wechselburg 1	Zwickauer Mulde	2098,8	14,2	151,7	16,3	121,2	14,3	165,9	0,80
Colditz	Zwickauer Mulde	2326,0	13,1	148,7	15,1	119,9	13,7	161,7	0,81
Golzern 1	Vereinigte Mulde	5432,5	7,2	177,6	13,0	140,1	24,4	184,7	0,79
Bad Dübén 1	Vereinigte Mulde	6169,9	9,4	165,0	11,8	131,1	22,2	174,4	0,79

Tabelle 19: Summen der einzelnen Gebietsniederschlagsanteile im Flussgebiet der Chemnitz

Pegel	Gewässer	AE [km ²]	Vorregen 10.08. [mm]	Summe 11. - 13.08. [mm]	24h-Summe 11.08. [mm]	24-Summe 12.08. [mm]	24h-Summe 13.08 [mm]	Gesamtsumme [mm]	Anteil der 24h-Summe vom 12.08. an der Gesamtsumme
Jahnsdorf 1	Würschnitz	103,3	20,4	130,9	21,4	100,7	8,9	151,4	0,77
Harthau	Würschnitz	136,1	16,2	126,2	20,7	96,3	9,1	142,4	0,76
Niederzwönitz	Zwönitz	31,5	6,2	167,2	30,6	122,2	14,4	173,3	0,73
Burkhardtsdorf 2	Zwönitz	93,0	17,3	155,0	29,3	112,5	13,2	172,3	0,73
Altchemnitz 2	Zwönitz	143,5	12,0	146,8	27,7	105,7	13,5	158,8	0,72
Chemnitz 1	Chemnitz	402,7	10,6	129,0	21,0	97,2	10,7	139,6	0,75
Göritzhein	Chemnitz	532,4	8,2	122,6	16,9	95,6	10,1	130,8	0,78

Tabelle 20: Summen der einzelnen Gebietsniederschlagsanteile im Flussgebiet der Zschopau/Flöha

Pegel	Gewässer	AE [km ²]	Vorregen 10.08. [mm]	Summe 11. - 13.08. [mm]	24h-Summe 11.08. [mm]	24-Summe 12.08. [mm]	24h-Summe 13.08 [mm]	Gesamtsumme [mm]	Anteil der 24h-Summe vom 12.08. an der Gesamtsumme
Tannenberg	Zschopau	91,5	5,4	167,8	25,1	116,7	26,0	173,2	0,70
Annaberg 1	Sehma	48,6	16,4	166,4	28,3	104,8	33,2	182,7	0,63
Wiesa	Pöhlbach	86,4	9,9	172,7	27,8	110,2	34,7	182,6	0,64
Jöhstadt 4	Jöhstädter Schwarzwasser	40,8	14,3	168,3	27,3	102,9	38,2	182,6	0,61
Streckewalde	Preßnitz	205,9	4,1	183,2	24,6	121,7	36,9	187,2	0,66
Hopfgarten	Zschopau	530,3	5,9	155,6	15,1	108,2	32,3	161,5	0,70
Kunnersdorf	Zschopau	677,7	5,0	175,6	24,7	120,4	30,5	180,6	0,69
Lichtenwalde 1	Zschopau	1572,2	2,4	205,8	15,8	153,7	36,3	208,2	0,75
Kriebstein UP	Zschopau	1754,3	2,7	198,5	14,5	150,0	34,0	201,2	0,76
Rothenthal	Natzschung	75,9	0,9	238,4	13,8	179,6	45,0	239,3	0,75
Olbernhau 3	Flöha	314,0	0,5	262,9	9,3	201,0	52,6	263,4	0,76
Zöblitz	Schwarze Pockau	124,6	0,8	211,2	12,7	160,5	37,9	211,9	0,76
Borstendorf	Flöha	639,6	0,5	243,7	11,2	187,0	45,5	244,2	0,77
Flöha 1	Flöha	795,6	0,5	239,1	9,8	185,9	43,4	239,6	0,78

Tabelle 21: Summen der einzelnen Gebietsniederschlagsanteile im Flussgebiet der Freiberger Mulde

Pegel	Gewässer	AE [km ²]	Vorregen 10.08. [mm]	Summe 11. - 13.08. [mm]	24h-Summe 11.08. [mm]	24-Summe 12.08. [mm]	24h-Summe 13.08 [mm]	Gesamtsumme [mm]	Anteil der 24h-Summe vom 12.08. an der Gesamtsumme
Wolfsgrund	Chemnitzbach	91,5	0,4	249,3	8,6	190,8	49,8	249,7	0,77
Berthelsdorf	Freiberger Mulde	48,6	0,4	270,4	6,8	210,2	53,4	270,8	0,78
Krummenhennersdorf 1	Bobritzsch	86,4	0,4	296,1	4,4	235,7	56,1	296,6	0,80
Nossen1	Freiberger Mulde	40,8	0,5	260,3	6,3	205,6	48,3	260,7	0,79
Oberschöna	Große Striegis	205,9	0,4	235,6	3,3	193,0	39,3	236,0	0,82
Böhrigen	Striegis	530,3	3,6	195,8	5,5	161,8	28,5	199,4	0,83
Mahlitzsch	Freiberger Mulde	677,7	1,5	234,3	6,0	187,7	40,5	235,8	0,80
Leisnig	Freiberger Mulde	1572,2	2,7	205,3	11,3	159,5	34,5	208,0	0,78

8.3 Beschreibung des zeitlichen und räumlichen Abflussverlaufes des Hochwassers

8.3.1 Gesamtbetrachtung

Wie in der Beschreibung des zeitlichen Niederschlagsverlaufes dargestellt, entfielen 70 bis 80 % der Niederschläge auf den 12. August 2002. Innerhalb dieses Tages traten, durch konvektive Niederschlagsanteile bedingt, lokal unterschiedliche Intensitätsverläufe auf. So waren im Einzugsgebiet der Zwickauer Mulde drei deutlich voneinander abgesetzte Intensitätsspitzen ähnlicher Größe zu verzeichnen (Abbildung 84), im Zschopau-/Flöhagebiet war die zweite Intensitätsspitze deutlich höher ausgeprägt (Abbildung 85), wogegen im Einzugsgebiet der Freiburger Mulde eine eher kompakte zeitliche Niederschlagsverteilung mit sehr hohen Intensitätsspitzen auftrat. Trotz dieser zeitlichen Variabilität ergaben sich für größere Einzugsgebiete (ab ca. 500 km² Fläche) meist eine eingipflige Abflussganglinie, die durch die schnelle zeitliche Abfolge der Intensitätswechsel und die ausgleichende Wirkung der Einzugsgebiete bedingt ist. Kleinere, schnell reagierende Gebiete zeigen dagegen mehrgipflige Abflussverläufe (Abbildung 86).

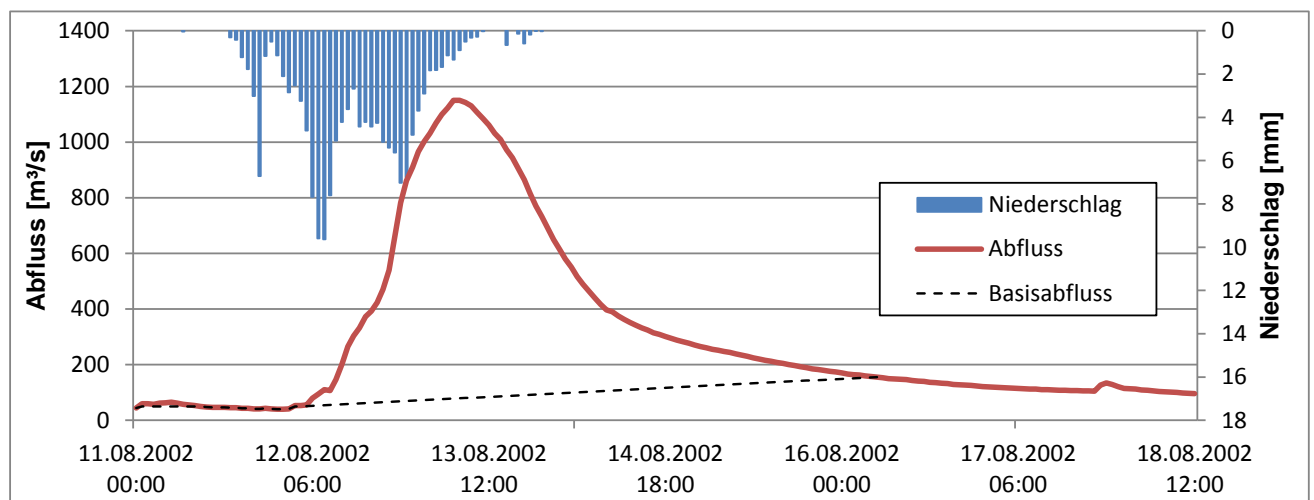


Abbildung 84: Zeitlicher Verlauf des Gebietsniederschlages und der Abflüsse am Pegel Wechselburg 1/Zwickauer Mulde

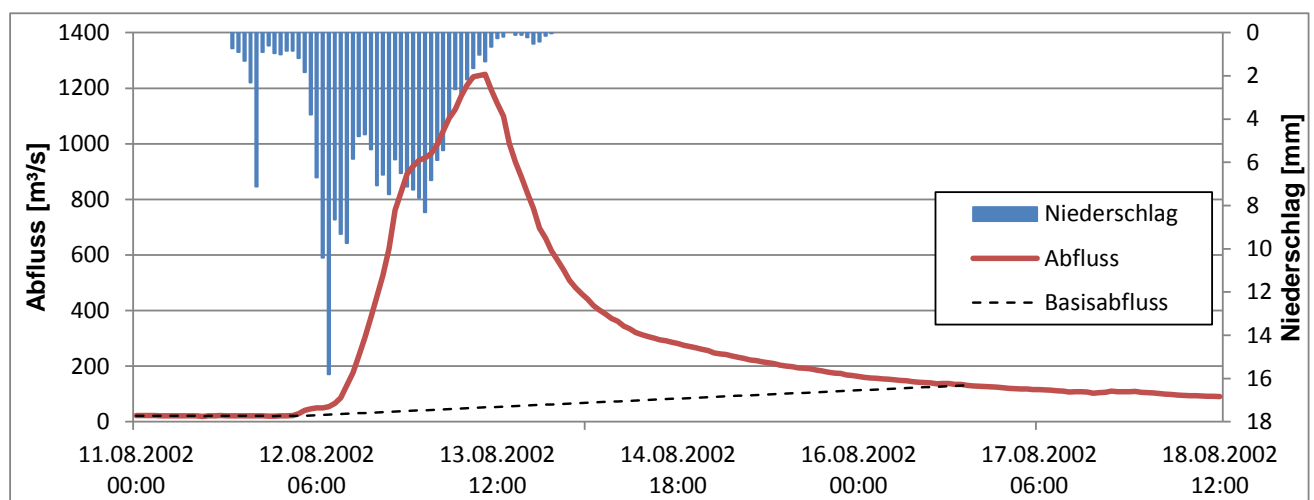


Abbildung 85: Zeitlicher Verlauf des Gebietsniederschlages und der Abflüsse am Pegel Lichtenwalde 1/Zschopau

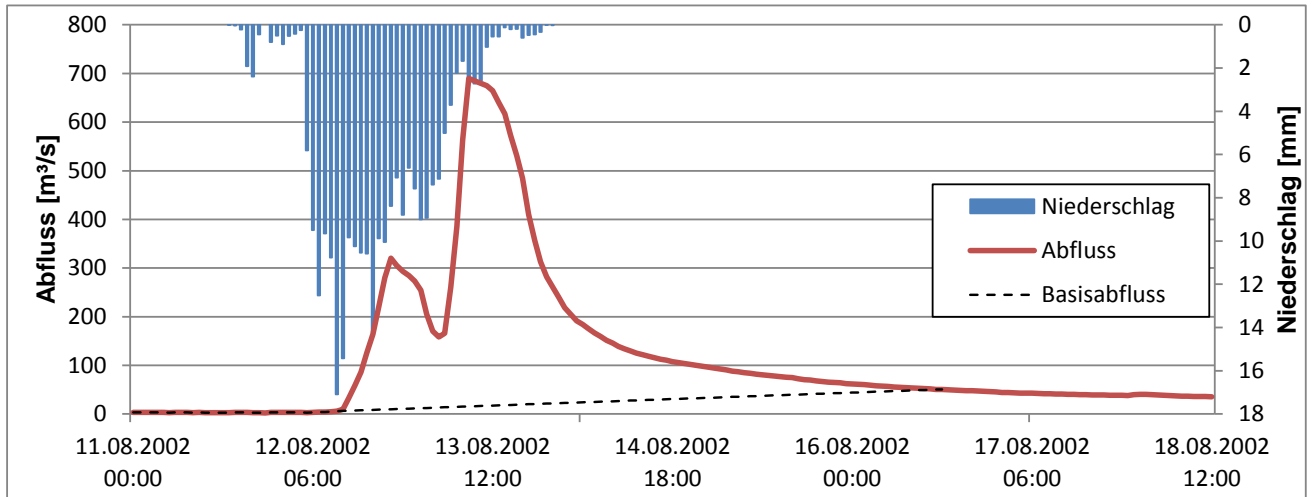


Abbildung 86: Zeitlicher Verlauf des Gebietsniederschlages und der Abflüsse am Pegel Nossen 1/ Freiberger Mulde

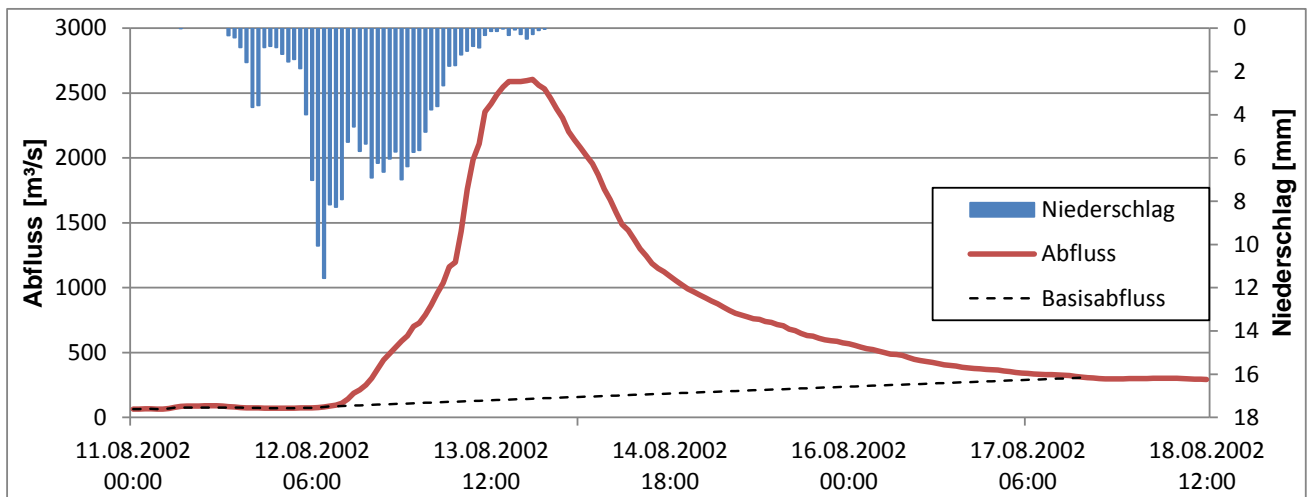


Abbildung 87: Zeitlicher Verlauf des Gebietsniederschlages und der Abflüsse am Pegel Golzern 1/ Vereinigte Mulde

Die Hochwasserscheitelabflüsse traten meist in der ersten Tageshälfte des 13. August auf (Tabelle 22). Je nach Niederschlagsmenge lagen die Scheitelabflüsse zwischen dem 3- bis 10-Fachen der langjährigen mittleren Hochwasserabflüsse.

Tabelle 22: Hochwasserscheitelabflüsse, Scheiteleintrittszeiten und MHQ der Pegel im Muldegebiet

Pegel	Gewässer	AE [km ²]	MHQ [m ³ /s]	Scheitel QS [m ³ /s]	Scheitelspende [m ³ /((s·km ²))]	Scheitel- eintrittszeit	QS/ MHQ
Sachsengrund	Große Pyra	6,6	2,6	6,9	1,045	12.08. 23:00	2,7
Schönheide 3	Zwickauer Mulde	152	34,6	153	1,007	13.08. 01:00	4,4
Markersbach 1	Große Mittweida	30	5,52	29	0,967	12.08. 17:00	5,3
Aue 1	Schwarzwasser	362,5	66,3	315	0,869	13.08. 03:00	4,8
Niederschlema	Zwickauer Mulde	759,4	110	400	0,527	13.08. 04:00	3,6
Wolfersgrün	Hirschfelder Wasser	22,2	2,52	6,1	0,275	12.08. 22:00	2,4
Zwickau-Pölbitz	Zwickauer Mulde	1029,7	128	500	0,486	13.08. 08:00	3,9
Niedermülsen 1	Mülsenbach	49,9	8,13	26,5	0,531	12.08. 08:00	3,3
Niederlungwitz	Lungwitzbach	137,6	25,3	98,5	0,716	12.08. 13:00	3,9
Wolkenburg	Zwickauer Mulde	1424	172	674	0,473	13.08. 06:00	3,9
Wechselburg 1	Zwickauer Mulde	2107	218	1000	0,475	13.08. 06:00	4,6
Jahnsdorf 1	Würschnitz	103	27	90	0,874	13.08. 03:00	3,3
Harthau	Würschnitz	135,7	31,6	115	0,847	13.08. 05:00	3,6
Burkhardtsdorf 2	Zwönitz	93,7	24,8	77	0,822	13.08. 03:00	3,1
Altchemnitz 1	Zwönitz	144,3	28,7	110	0,762	13.08. 06:00	3,8
Chemnitz 1	Chemnitz	403,2	55,4	235	0,583	13.08. 06:00	4,2
Göritzhein	Chemnitz	532,3	71,5	250	0,470	13.08. 08:00	3,5
Tannenberg	Zschopau	90,6	15,3	85	0,938	13.08. 02:00	5,6
Annaberg 1	Sehma	48,6	10,4	39	0,802	13.08. 03:00	3,8
Wiesa	Pöhlbach	86,3	14,1	65	0,753	13.08. 03:00	4,6
Jöhstadt 1	Jöhstädter Schwarzwasser	35,9	7,22	29	0,808	12.08. 14:00	4,0
Streckewalde	Preßnitz	205,9	29	145	0,704	13.08. 04:00	5,0
Hopfgarten	Zschopau	528,8	81	412	0,779	13.08. 04:00	5,1
Lichtenwalde 1	Zschopau	1574,6	219	1250	0,794	13.08. 10:00	5,7
Kriebstein UP	Zschopau	1756,8	234	1245	0,709	13.08. 13:00	5,3
Rothenthal	Natzschung	75	15,1	88	1,173	12.08. 11:00	5,8
Zöblitz	Schwarze Pockau	129,2	23,5	160	1,238	13.08. 03:00	6,8
Pockau 1	Flöha	384,6	66,6	309,6	0,805	13.08. 06:00	4,6
Borstendorf	Flöha	643,8	92,5	540	0,839	13.08. 07:00	5,8
Hetzdorf 1	Flöha	759,8	149	589,3	0,776	13.08. 09:00	4,0
Wolfsgrund	Chemnitzbach	37,2	6,61	29,8	0,801	13.08. 14:00	4,5
Berthelsdorf	Freiberger Mulde	244,4	35,6	360	1,473	13.08. 05:00	10,1
Krummenhennersdorf 1	Bobritzsch	131	24,5	160	1,221	13.08. 05:00	6,5
Nossen 1	Freiberger Mulde	585,2	69,7	690	1,179	13.08. 08:00	9,9
Böhrigen	Striegis	252,96	42,4	160	0,633	13.08. 00:00	3,8
Golzern 1	Vereinigte Mulde	5442	519	2600	0,478	13.08. 20:00	5,0
Bad Düben 1	Vereinigte Mulde	6169,9	487	2200	0,357	14.08. 10:00	4,5

8.3.2 Abflussverlauf im Einzugsgebiet der Zwickauer Mulde

Die mit über 200 mm höchsten Niederschläge fielen im Flussgebiet der Zwickauer Mulde im Bereich des Westertgebirges. Ebenfalls hohe, aber deutlich geringere Niederschläge um 170 mm waren in den Einzugsgebieten im Unterlauf zu verzeichnen. Die Hochwasserganglinien kleiner Einzugsgebiete zeigen die Unterschiede in den zeitlichen Niederschlagsverteilungen (Abbildung 88), wogegen am Pegel Wechselburg 1 durch die Überlagerung der Scheitel von Zwickauer Mulde und Chemnitz eine steile eingipflige Ganglinie auftrat.

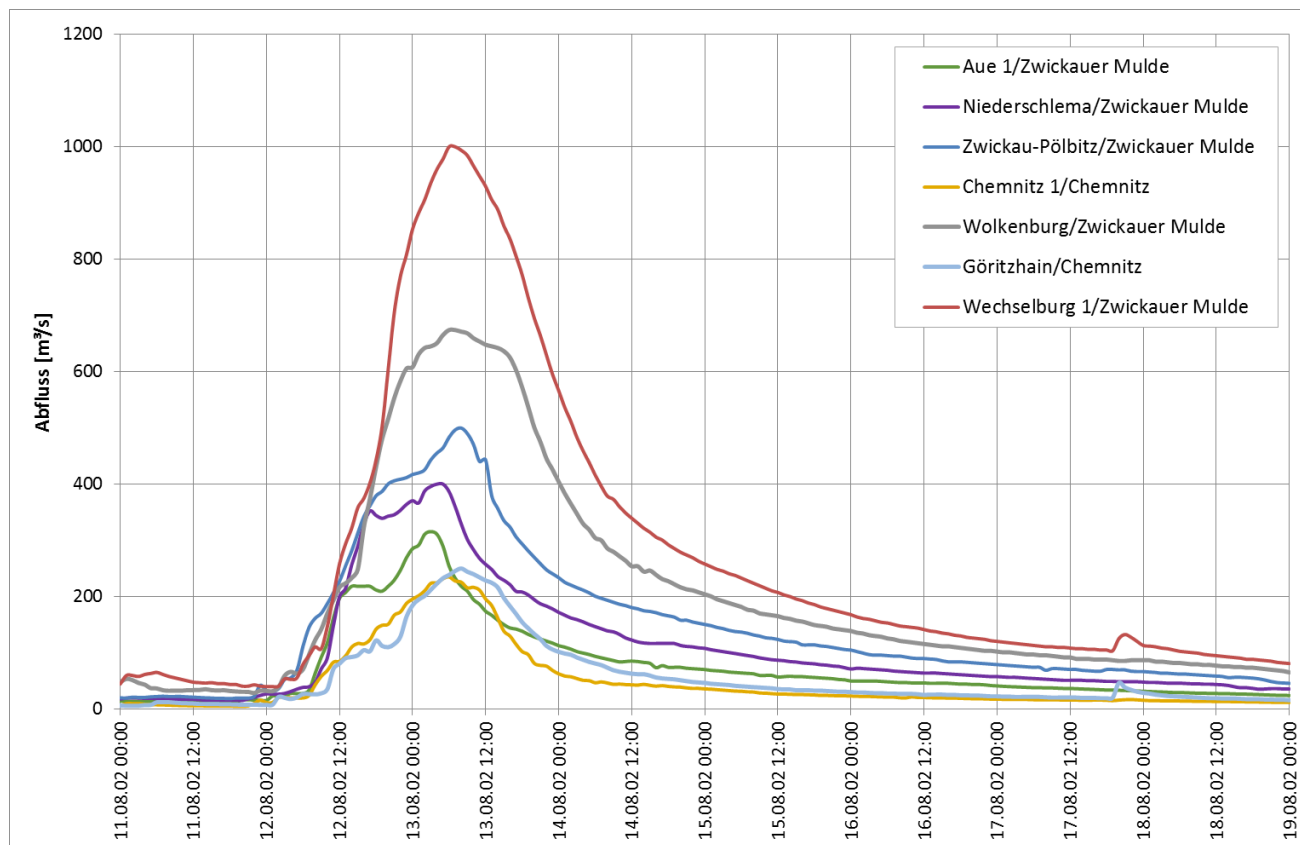


Abbildung 88: Hochwasserabflüsse im Flussgebiet der Zwickauer Mulde 2002

8.3.3 Abflussverlauf im Einzugsgebiet der Zschopau/Flöha

Die Hochwasserganglinien in den Oberläufen der Zschopau und Flöha zeigen selbst bei benachbarten Einzugsgebieten deutliche Unterschiede im Abflussverlauf. Vergleicht man z. B. die Abflussganglinien der nahezu gleichgroßen Einzugsgebiete der Pegel Tannenberg und Wiesa (Abbildung 89), so wird eine deutlich stärkere Reaktion des Gebietes des Pegels Tannenberg ersichtlich. Das Gebiet der Natzschung (Pegel Rothenthal) zeigte einen extrem schnellen und kurzzeitigen Abflussanstieg. Innerhalb von drei Stunden (12.08., 08:00 Uhr bis 12.08., 11:00 Uhr) stieg der Abfluss auf das 8-Fache des Ausgangswertes, nahm dann in den nächsten zwei Stunden um 30 % ab und bildete in den ersten Stunden des 13. August einen zweiten kleineren Scheitel. Die extreme Heterogenität der Abflussverhältnisse beim Hochwasser 2002 im Bereich des mittleren Erzgebirges wird auch durch die steile Hochwasserganglinie am Pegels Zöblitz verdeutlicht, dessen Einzugsgebiet mit 125 km² Fläche etwa 42 % größer als das des Pegels Tannenberg ist, aber einen nahezu doppelt so hohen Scheitelabfluss aufweist. Durch die Überlagerung der Hochwasserwellen der Zschopau und Flöha (Abbildung 90) ergab sich am Pegel Lichtenwalde 1/Zschopau das höchste Hochwasser seit Beginn der Aufzeichnungen 1909.

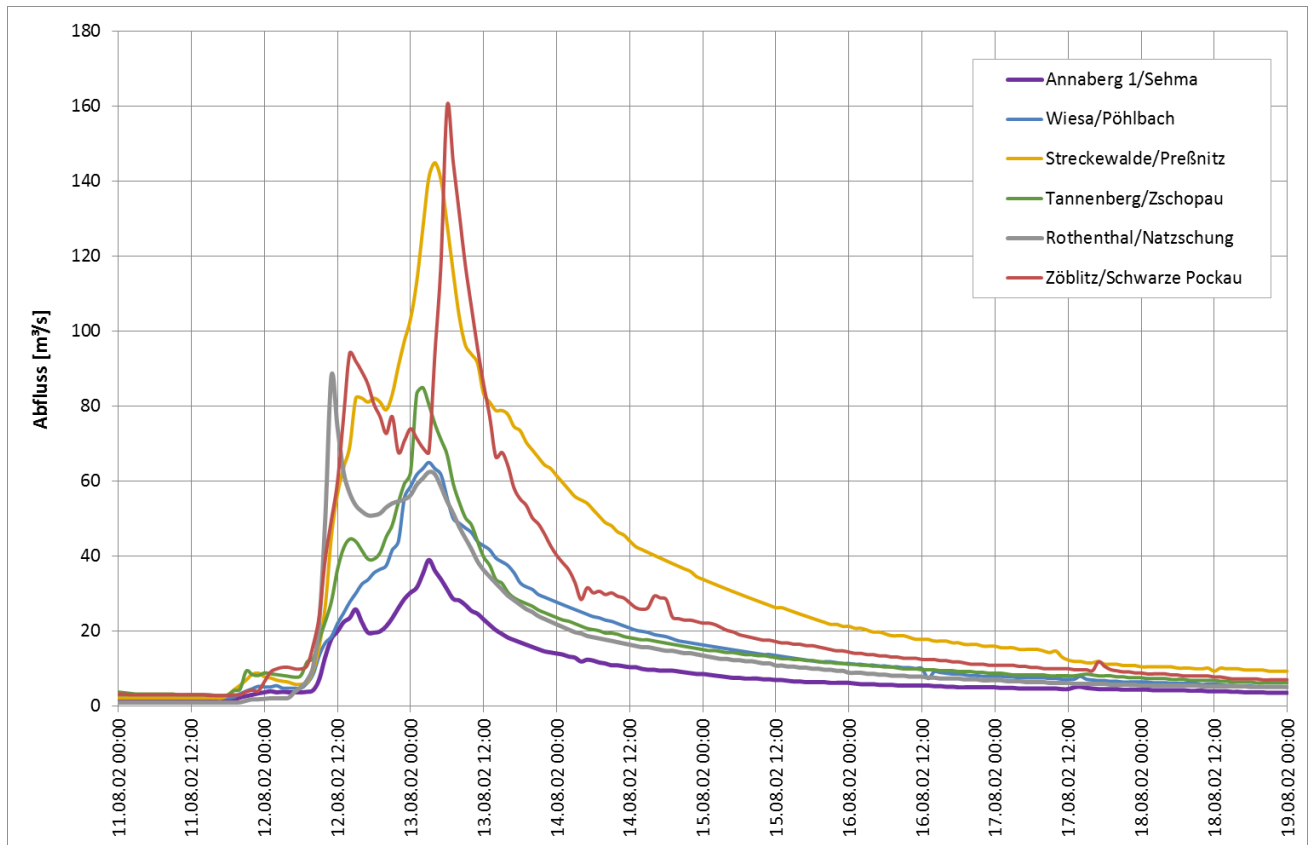


Abbildung 89: Hochwasserabflüsse im Flussgebiet der Zschopau (Oberlauf) und Flöha 2002

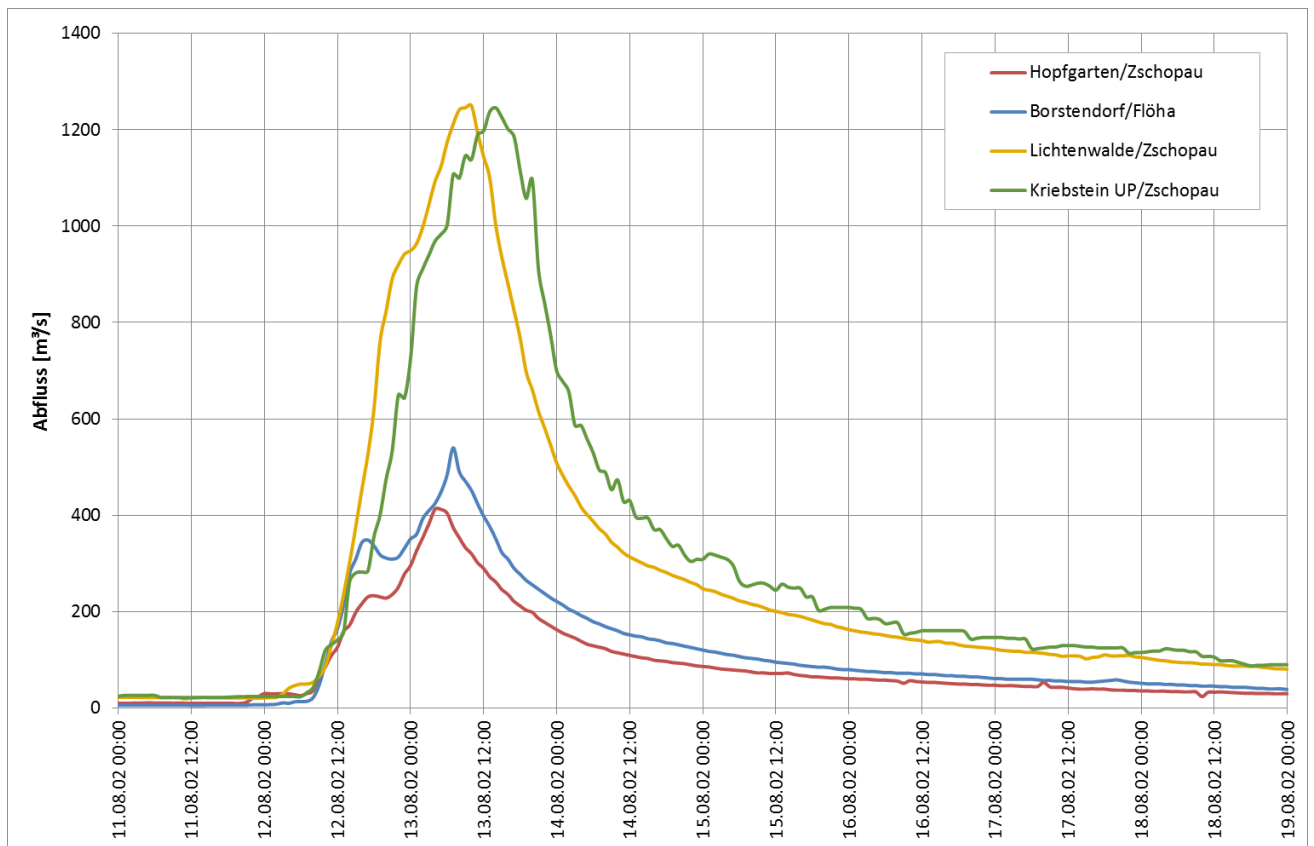


Abbildung 90: Hochwasserabflüsse im Flussgebiet der Zschopau (Unterlauf) und Flöha 2002

8.3.4 Abflussverlauf im Einzugsgebiet der Freiburger Mulde

Wie aus Abbildung 81 ersichtlich, lag der Niederschlags Schwerpunkt des Hochwassers 2002 im Osterzgebirge. Dementsprechend ist die Hochwasserganglinie des Pegels Nossen 1/Freiburger Mulde durch einen extrem steilen Abflussanstieg gekennzeichnet (Abbildung 91). Die Überlagerung der Abflüsse der oberen Freiburger Mulde (Pegel Berthelsdorf AE = 241 km²) und der Bobritzsch (Pegel Krummenhennersdorf 1 AE = 131 km²) ergeben bei Berücksichtigung des Zuwachses der Einzugsgebietsfläche (Pegel Nossen 1 AE = 585 km², d. h. die 1,57-fache Fläche beider Teilgebiete) im Vergleich zum gemessenen einen höheren Scheitelabfluss am Pegel Nossen 1. Damit verbunden ist auch eine größere Abflussfülle. Bis zu einem Abfluss von ca. 300 m³/s am 12. August 2002 um 19:00 Uhr wird der beobachtete Anstieg sehr gut nachgebildet. Der danach folgende Ganglinienverlauf ist aufgrund von Zerstörungen und Aufzeichnungsausfällen mit größeren Unsicherheiten behaftet (Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie 2009). Auch die Radarniederschlagsdaten weisen darauf hin, dass im Zwischengebiet intensive Niederschläge zu hohen, aber zeitlich begrenzten Zuflüssen führten (Abbildung 91).

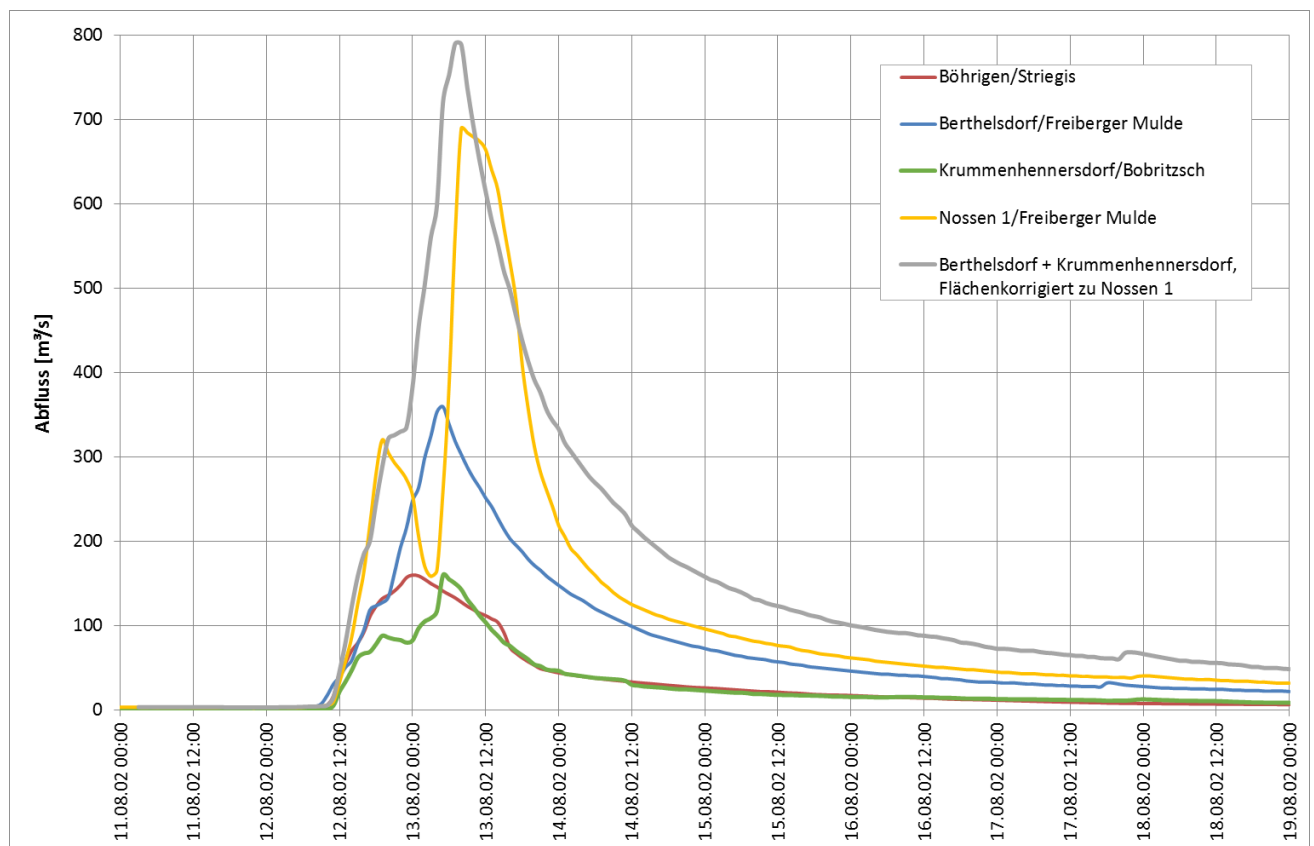


Abbildung 91: Hochwasserabflüsse im Flussgebiet der Freiburger Mulde 2002

8.3.5 Abflussverlauf in der Vereinigten Mulde

Die Abflüsse der Vereinigten Mulde ergeben sich aus den Zuflüssen aus der Zwickauer Mulde und der Freiburger Mulde. Um die Abflussbilanz näherungsweise zu verdeutlichen, sind in Abbildung 92 die Zuflüsse der Hauptteileinzugsgebiete und im Vergleich zur Ganglinie des Pegels Golzern 1 die sich aus den Zuflussganglinien ergebende Summenganglinie ohne Berücksichtigung der tatsächlichen Fließzeit dargestellt. Weil 2002 am Pegel ErlIn/Freiburger Mulde wegen Deichüberströmung und Pegelüberflutung die Wasserstandsaufzeichnungen 1,5 m unter dem Scheitelwasserstand enden und der Pegel Leisnig noch nicht vorhanden war, wird die Freiburger Mulde durch die Zuflüsse aus der Zschopau (Pegel Kriebstein UP) und der oberen Freiburger Mulde bis zum Pegel Nossen 1 repräsentiert. Die so gebildete Abflusssumme entspricht angenähert

der Abflussganglinie am Pegel Golzern 1, wobei der Flächenanteil des nicht berücksichtigten Zwischengebietes jedoch eine Erhöhung der Abflüsse um bis zu 20 % (je nach Beregnung, Höhe des Zwischengebietsabflusses und Entleerung des Retentionsraumes) erfordern würde. Im Vergleich der Abflussganglinien der Pegel Golzern 1 und Bad Düben 1 wird die durch den Wellenablauf bedingte Reduktion des Scheitelabflusses sichtbar, die durch Deichbrüche und Überflutungen des Hinterlandes verstärkt worden ist.

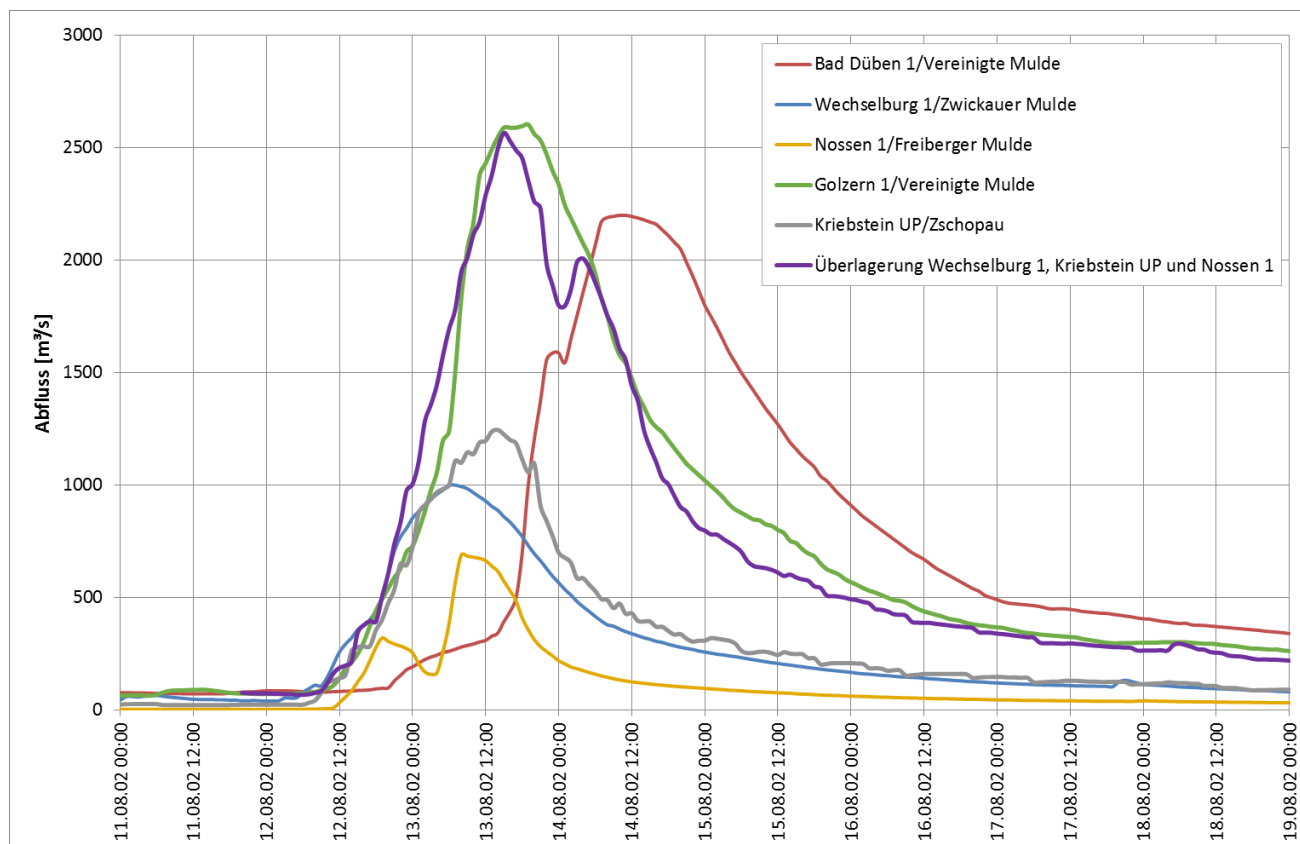


Abbildung 92: Hochwasserabflüsse der Vereinigten Mulde und der Hauptteileinzugsgebiete

8.4 Analyse und Darstellung der Niederschlag-Abfluss-Beziehung mit Hilfe der Abflussbeiwerte und Scheitelabflussspenden

Die Abflussbeiwerte und Scheitelabflussspenden sind in Tabelle 23 zusammengestellt. Der Abflussbeiwert liegt im Mittel aller Gebiete bei 0,46 und schwankt in einem vergleichsweise geringen Maße zwischen 0,39 (Pegel Markersbach 1/Große Mittweida) im Westerzgebirge und 0,64 am Pegel Berthelsdorf/Freiburger Mulde.

Tabelle 23: Abflussbeiwerte und Scheitelabflussspenden des Hochwassers 2002

Minima und Maxima sind gekennzeichnet

Pegel	Gewässer	AE [km ²]	Summe Niederschlag [mm]	Summe Direktabfluss [mm]	Abfluss- beiwert	Abfluss- scheitel [m ³ /s]	Abfluss- spende [m ³ /(skm ²)]
Zwickauer Mulde							
Sachsengrund	Große Pyra	6,6	239,5	96,5	0,40	6,9	1,045
Schönheide 3	Zwickauer Mulde	152	205,2	111,3	0,54	153	1,007
Markersbach 1	Große Mittweida	30	205,6	79,9	0,39	29	0,967
Aue 1	Schwarzwasser	362,5	201,6	116,9	0,58	315	0,869
Niederschlema	Zwickauer Mulde	759,4	203,9	79,9	0,39	400	0,527
Zwickau-Pölbitz	Zwickauer Mulde	1029,7	199,7	80,8	0,40	500	0,486
Niedermülsen 1	Mülsenbach	49,9	166,3	49,8	0,30	26,5	0,531
Niederlungwitz	Lungwitzbach	137,6	144,2	56,5	0,39	98,5	0,716
Wolkenburg	Zwickauer Mulde	1424	185,7	80,1	0,43	674	0,473
Wechselburg 1	Zwickauer Mulde	2107	165,8	76,2	0,46	1000	0,475
Chemnitz							
Jahnsdorf 1	Würschnitz	103	151,1	80,1	0,53	90	0,874
Harthau	Würschnitz	135,7	142,2	64,8	0,46	115	0,847
Burkhardtsdorf 2	Zwönitz	93,7	172,3	91,9	0,53	77	0,822
Altchemnitz 1	Zwönitz	144,3	158,7	85,5	0,54	110	0,762
Chemnitz 1	Chemnitz	403,2	139,4	72,3	0,52	235	0,583
Göritzchain	Chemnitz	532,3	130,7	61,8	0,47	250	0,470
Flöha/Zschopau							
Tannenberg	Zschopau	90,6	173,3	106,5	0,62	85	0,938
Annaberg 1	Sehma	48,6	182,5	103,4	0,57	39	0,802
Wiesa	Pöhlbach	86,3	182,6	106,9	0,59	65	0,753
Jöhstadt 1	Jöhstädter Schwarzwasser	35,9	184	101,3	0,55	29	0,808
Streckewalde	Preßnitz	205,9	187,7	98,5	0,53	145	0,704
Hopfgarten	Zschopau	528,8	181,7	102,5	0,56	412	0,779
Lichtenwalde 1	Zschopau	1574,6	208,5	109,8	0,53	1250	0,794
Kriebstein UP	Zschopau	1756,8	201,5	98,1	0,49	1245	0,709
Pockau 1	Flöha	384,6	258,5	104,4	0,40	309,6	0,805
Borstendorf	Flöha	643,8	244,6	116,8	0,48	540	0,839
Hetzdorf 1	Flöha	759,8	242,2	111,1	0,46	589,3	0,776
Rothenthal	Natzschung	75	239,4	125,8	0,53	88	1,173
Zöblitz	Schwarze Pockau	129,2	213,8	123,5	0,58	160	1,238
Freiberger Mulde							
Wolfsgrund	Chemnitzbach	37,2	250,3	131,1	0,52	29,8	0,801
Berthelsdorf	Freiberger Mulde	244,4	271,3	184,4	0,68	360	1,473
Krummenhennersdorf 1	Bobritzsch	131	296,4	120	0,40	160	1,221
Nossen 1	Freiberger Mulde	585,2	260,8	121,1	0,47	690	1,179
Böhrigen	Striegis					160	0,633
Vereinigte Mulde							
Golzern 1	Vereinigte Mulde	5442	184,9	79,1	0,43	2600	0,478
Bad Düben 1	Vereinigte Mulde	6171	174,9	69,8	0,40	2200	0,357

Die Summen der Direktabflüsse und Gebietsniederschläge sind in Abbildung 93 dargestellt. Die Trendlinie beschreibt das mittlere Verhalten aller Gebiete und hat (bei Annahme der Abhängigkeit des Direktabflusses vom Niederschlag mit einer Potenzfunktion) einen nahezu linearen Verlauf (Exponent 1,0087) bei einem Faktor von 0,4642. Die Differenzierung zwischen den Flussgebieten zeigt die Unterschiede der Niederschlagsmengen und (daraus resultierend) der Abflüsse. Ein deutlich unterschiedliches Abflussverhalten im Vergleich zu den benachbarten Einzugsgebieten zeigen hier die Pegel Berthelsdorf (0,68), Zöblitz (0,64) und Tannenberg (0,62) durch hohe Abflussbeiwerte bzw. die Pegel Niedermülsen 1 (0,30) und Krummenhennersdorf 1 (0,40) durch niedrige Abflussbeiwerte.

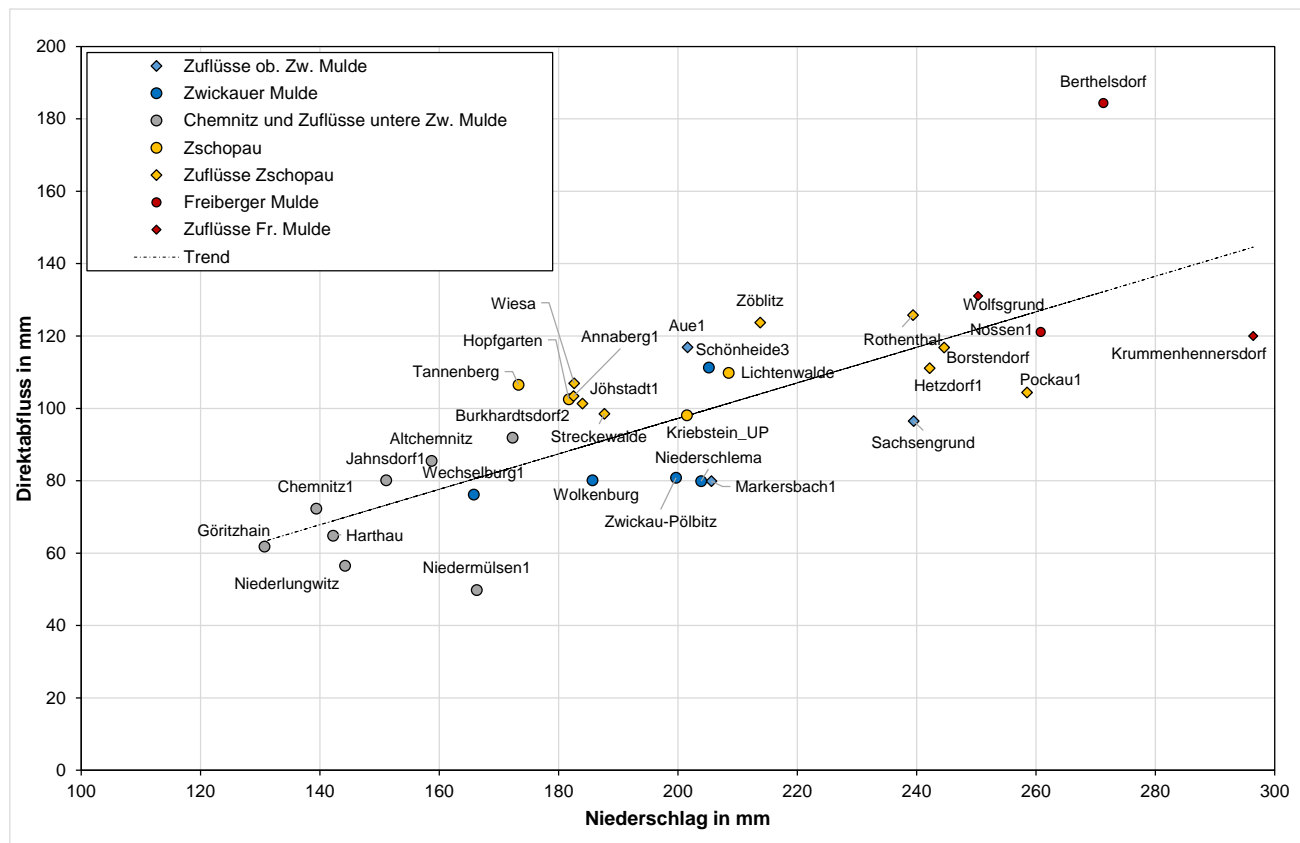


Abbildung 93: Zusammenhang zwischen Niederschlag und Direktabfluss 2002, differenziert nach Teilgebieten. Das Bestimmtheitsmaß der Trendlinie beträgt $R^2 = 0,588$.

Wie aus Abbildung 94 ersichtlich, sind hohe Scheitelabflussspenden nicht zwangsläufig an hohe Abflussbeiwerte gekoppelt. An einigen Pegeln (Krummenhennersdorf 1, Markersbach 1, Sachsendgrund und Nossen 1) bewirken konvektive Niederschlagsanteile hohe Abflussanstiege, ohne die Direktabflusshöhe wesentlich zu vergrößern. Die Abflussbeiwerte zeigen auch keine Abhängigkeit von der Niederschlagssumme (Abbildung 95).

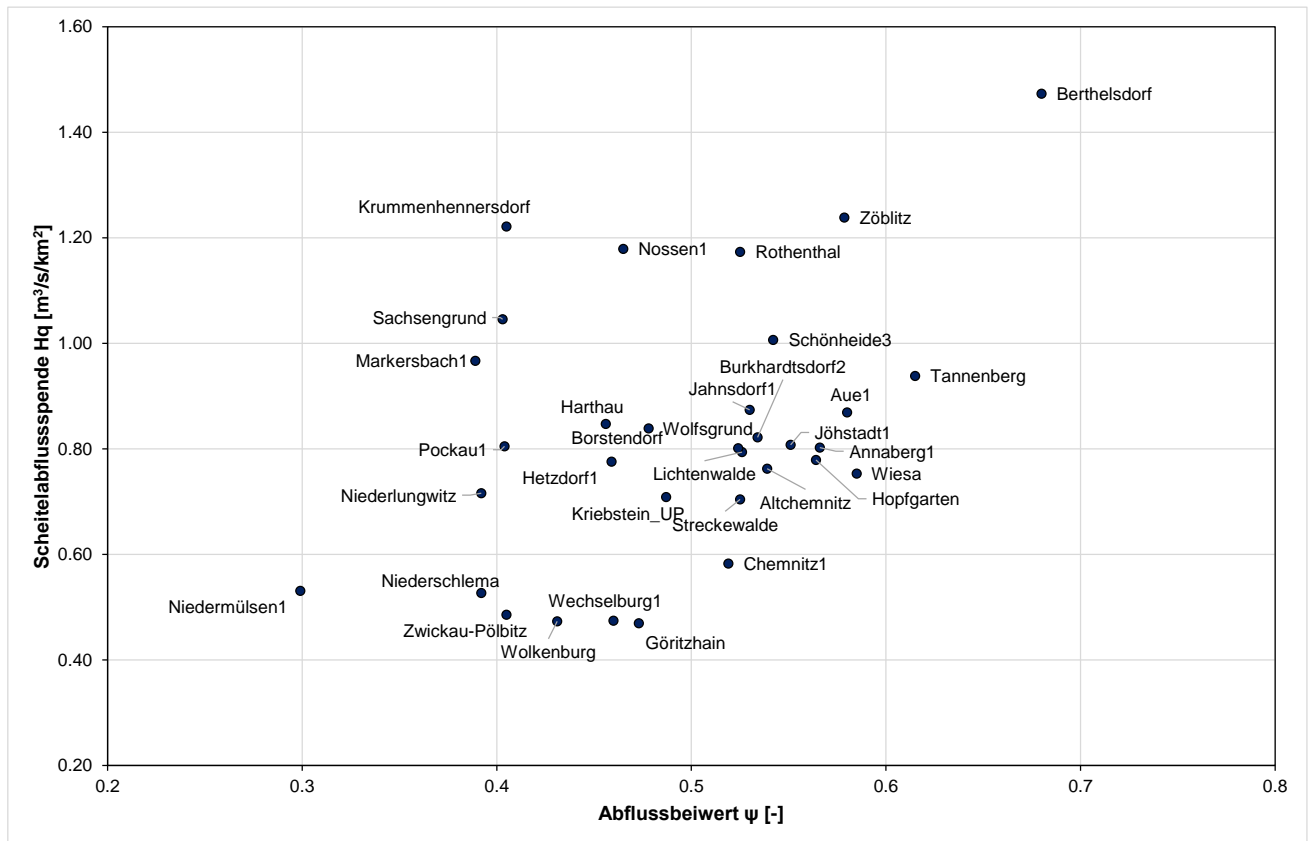


Abbildung 94: Zusammenhang zwischen Scheitelabflusspende und Abflussbeiwert 2002

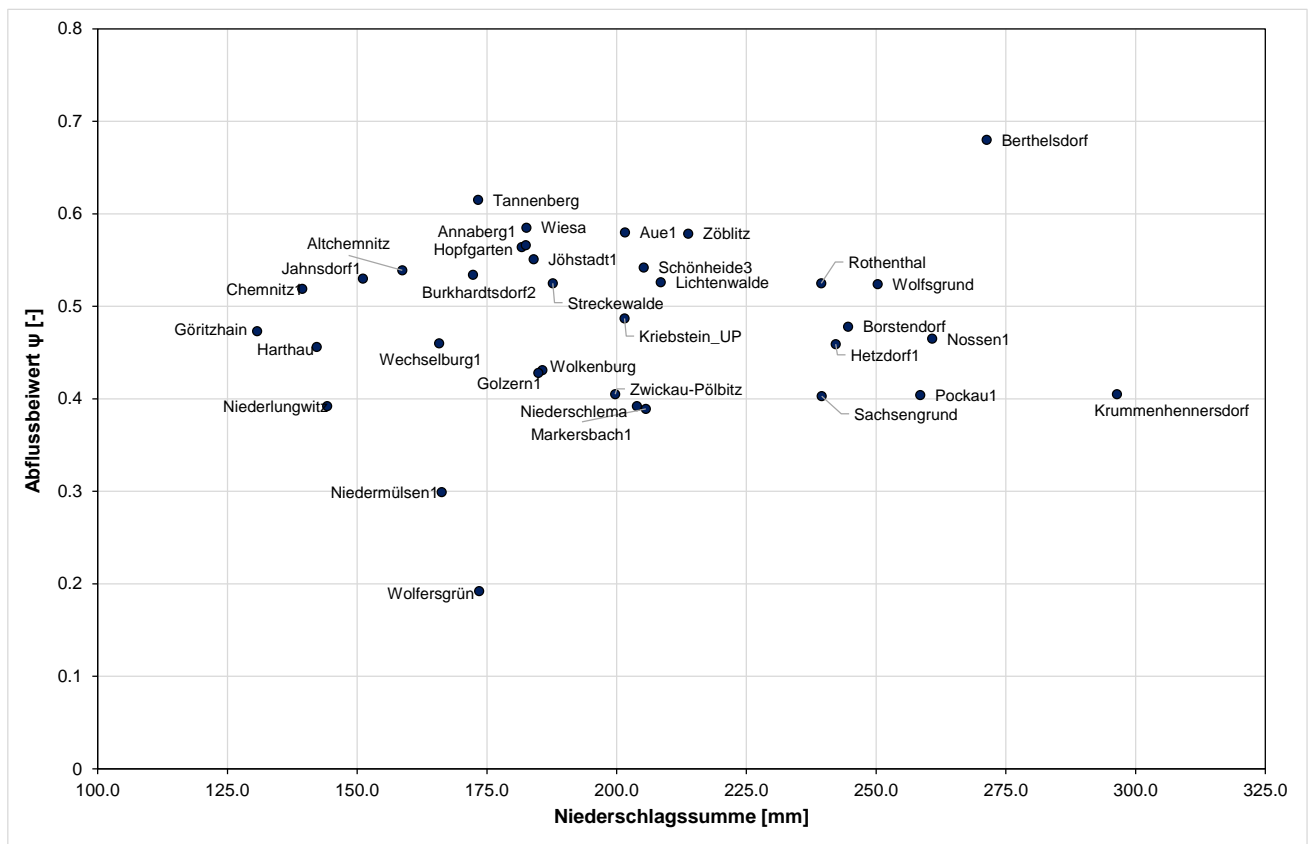


Abbildung 95: Zusammenhang zwischen Abflussbeiwert und Niederschlagssumme 2002

Aufgrund des relativ geringen zeitlichen Abstandes und der vergleichbaren Dimensionen der Hochwasserereignisse 2002 und 2013 lag ein Vergleich der Ereigniskennwerte nahe. In Abbildung 96 wurden hierzu die Abflussbeiwerte der Hochwasser 2002 und 2013 an jeweils den gleichen Pegeln gegeneinander aufgetragen. Ersichtlich werden wesentlich höhere Abflussbeiwerte beim Hochwasser 2013. Die über drei Tage anhaltenden Niederschläge bewirkten um 0,2 bis 0,3 höhere Abflussbeiwerte gegenüber dem Hochwasser 2002. Im Gegensatz dazu waren die Scheitelabflussspenden 2002 wesentlich höher als 2013 (Abbildung 97). Allerdings muss auch der Unterschied in den Niederschlagsmengen berücksichtigt werden. Insbesondere im Osterzgebirge war der Gebietsniederschlag 2002 etwa doppelt so hoch wie 2013. Trotz dieses Unterschiedes sind die wesentlich höheren Scheitelabflüsse des Hochwassers 2002, die z. B. an den Pegeln Rothenthal, Zöblitz, Tannenberg und Berthelsdorf mehr als das 2,5-Fache der Scheitelwerte des Hochwassers 2013 betragen (Abbildung 98) und die geringeren Abflussbeiwerte Indikatoren dafür, dass die Abflussbildung 2002 eher durch extrem hohe Niederschlagsintensitäten, die das Infiltrationsvermögen sehr weit überstiegen, als durch Sättigungsüberschuss bestimmt war.

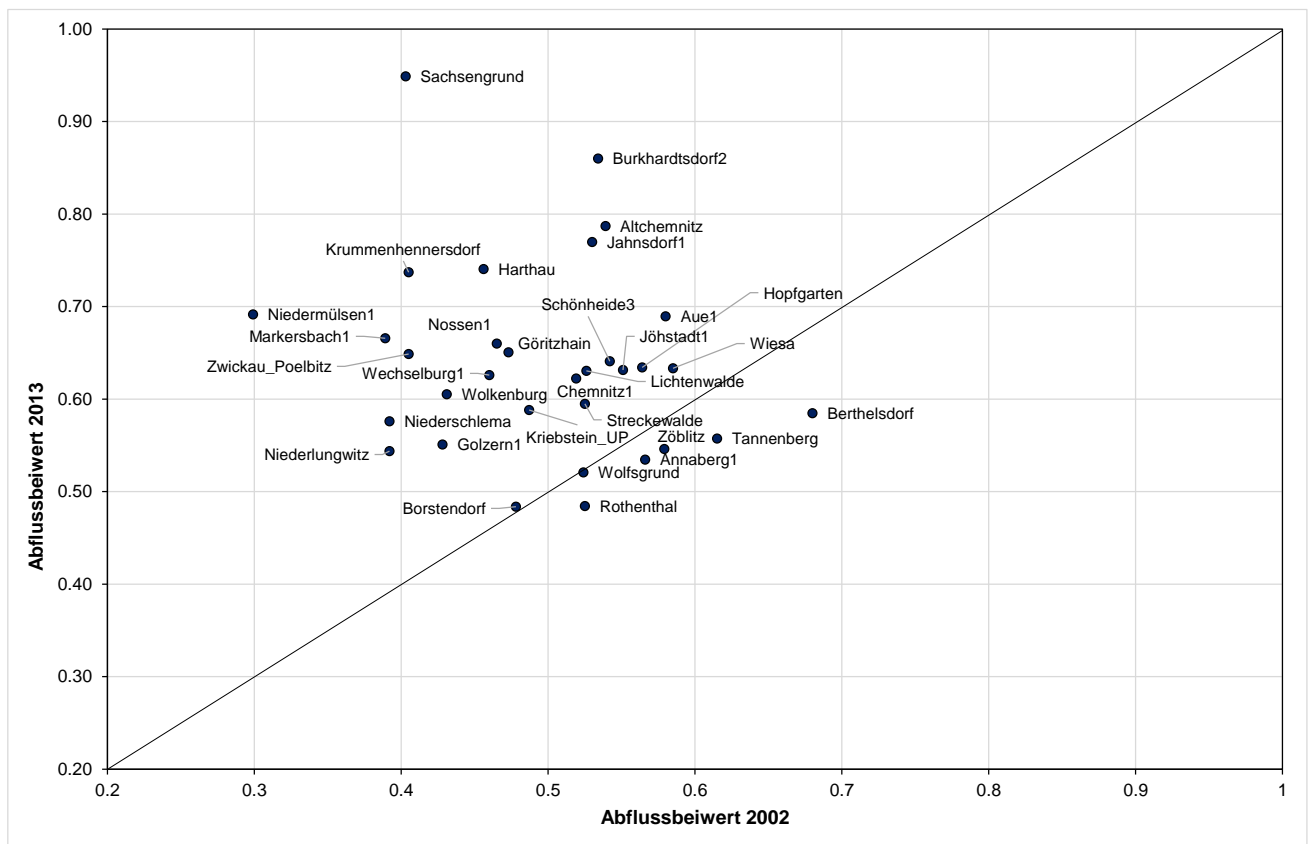


Abbildung 96: Relation zwischen den Abflussbeiwerten 2002 und 2013

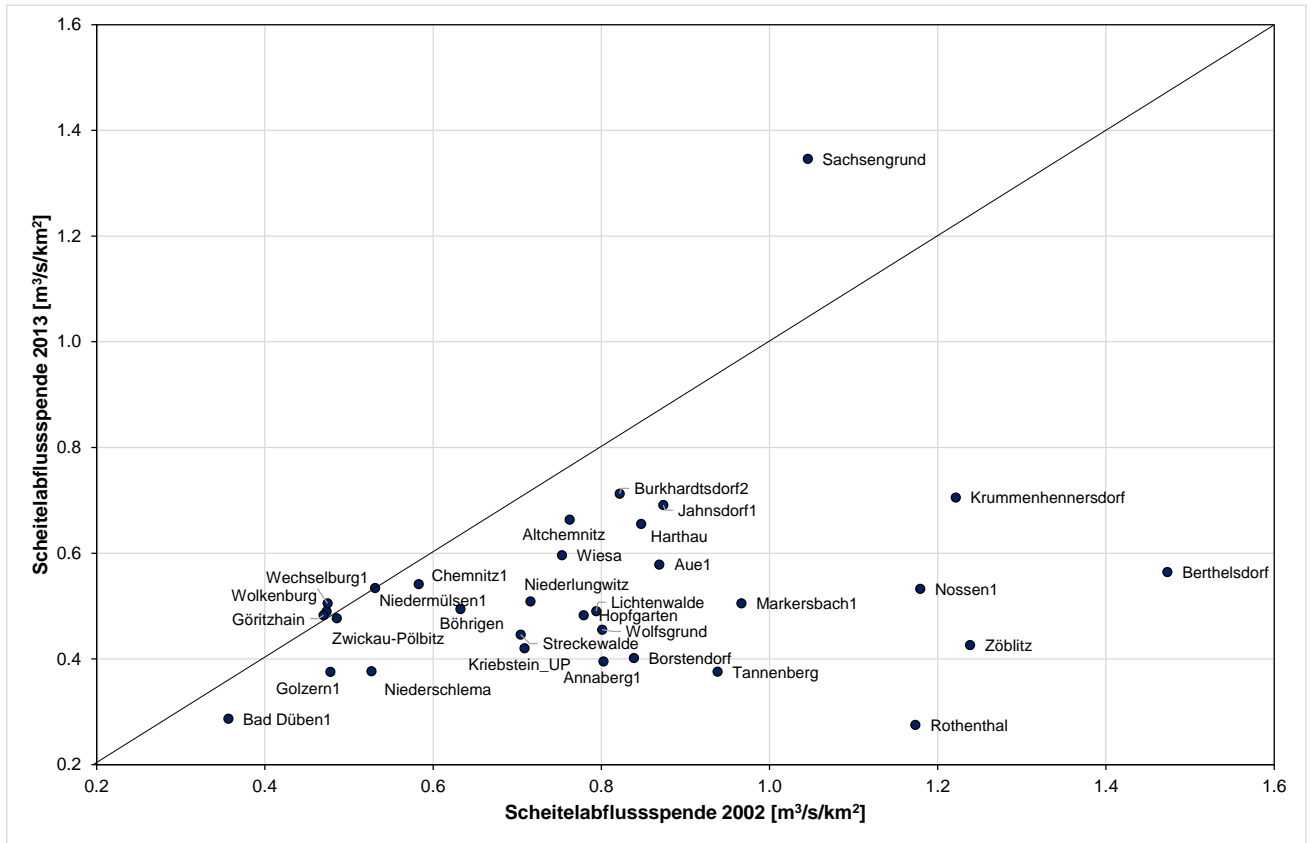


Abbildung 97: Relation zwischen den Scheitelabflussspenden 2002 und 2013

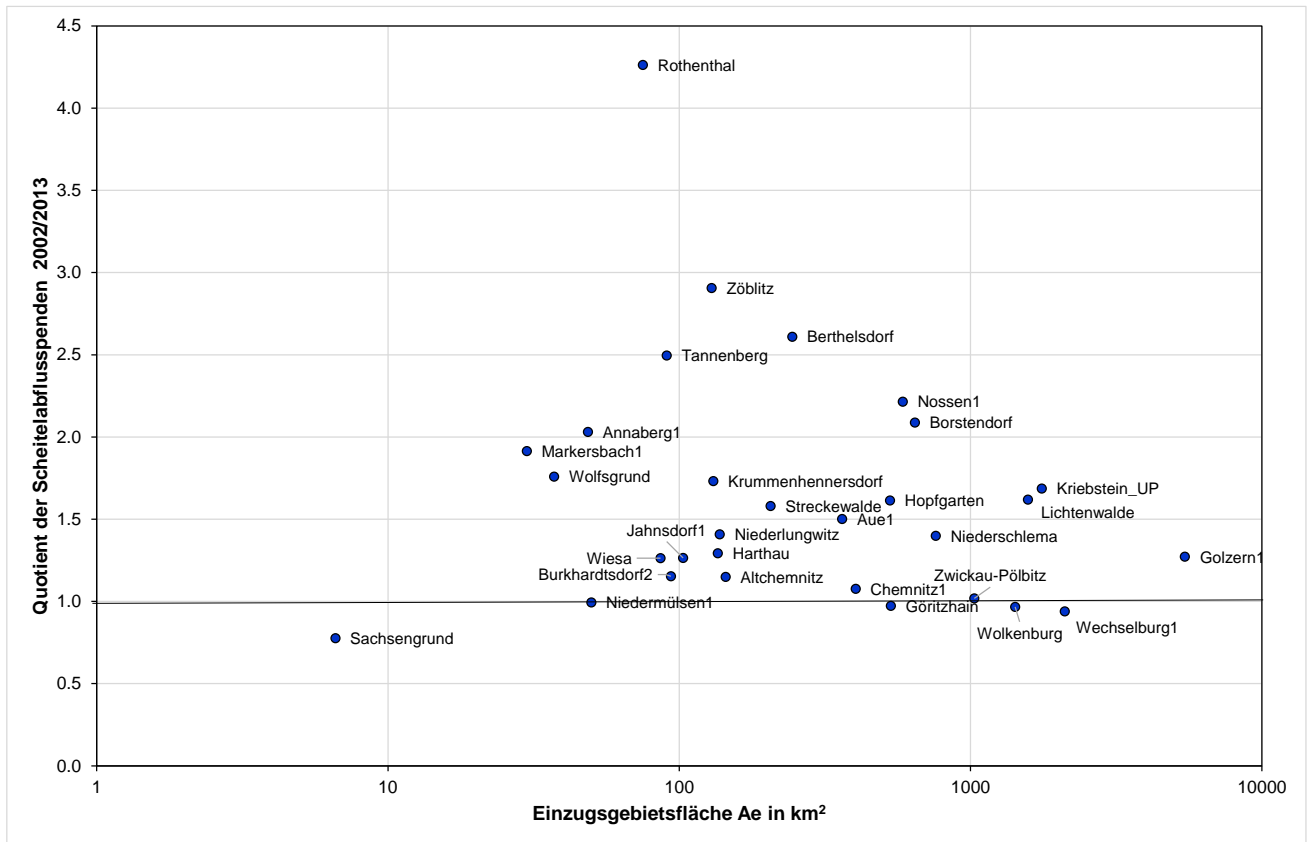


Abbildung 98: Quotient der Scheitelabflussspenden 2002/2013

9 Das Hochwasser im Juni 2013

9.1 Witterungsverlauf

In der ersten Maiwoche des Jahres 2013 war die Großwetterlage „Hochdruckbrücke Mitteleuropa“ (BM) bestimmend. In der zweiten herrschte die sonst bevorzugt im Winterhalbjahr auftretende „winkelförmige Westlage“ (WW) vor. Dabei wurden die vom Atlantik ostwärts ziehenden Tiefausläufer über dem östlichen Mitteleuropa abgebremst und durch die Höhenströmung nach Norden umgelenkt. Vom 15. bis 17. Mai gelangte unter einer „Zyklonalen Südlage“ (Sz) vorübergehend sehr warme Luft ins östliche Mitteleuropa. Vom 18. bis 21. Mai dominierte die Großwetterlage „Tief Mitteleuropa“ (TM). Am 22. Mai begann eine sieben Tage dauernde Phase mit einer „Troglage“ über Mitteleuropa (TrM). Von Nordwesten einströmende Polarluft ließ dabei über Mitteleuropa einen hoch reichenden Kaltluftkörper entstehen. Um diesen kreisten kleine, sehr wetterwirksame Bodentiefs. Es kam verbreitet, vor allem im Norden und in der Mitte Deutschlands, aber auch in Tschechien, zu sehr ergiebigen Niederschlägen. Abbildung 99 enthält die Niederschlagssumme für den Zeitraum 17. bis 29. Mai 2013. Die Verteilung der Niederschläge im Mai 2013 sind in Abbildung 100 (Leipzig) und Abbildung 101 (Eibenstock) dargestellt.

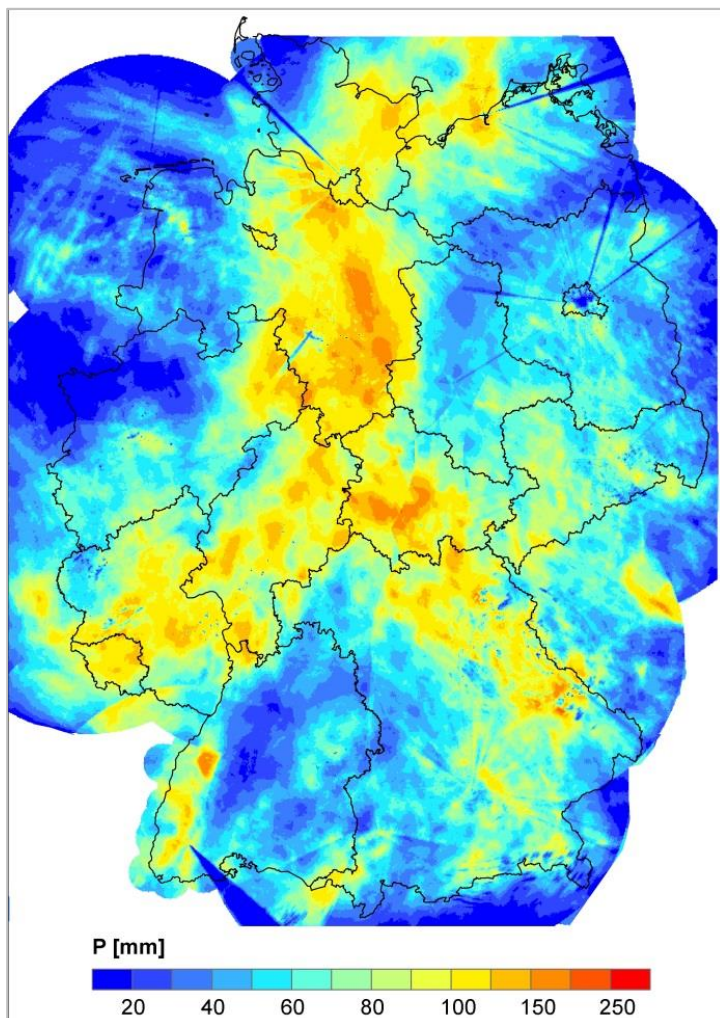


Abbildung 99: Niederschlagssumme [mm] für Deutschland für den Zeitraum 17.05.–29.05.2013, basierend auf RADOLAN-Daten (Datenquelle: Deutscher Wetterdienst)

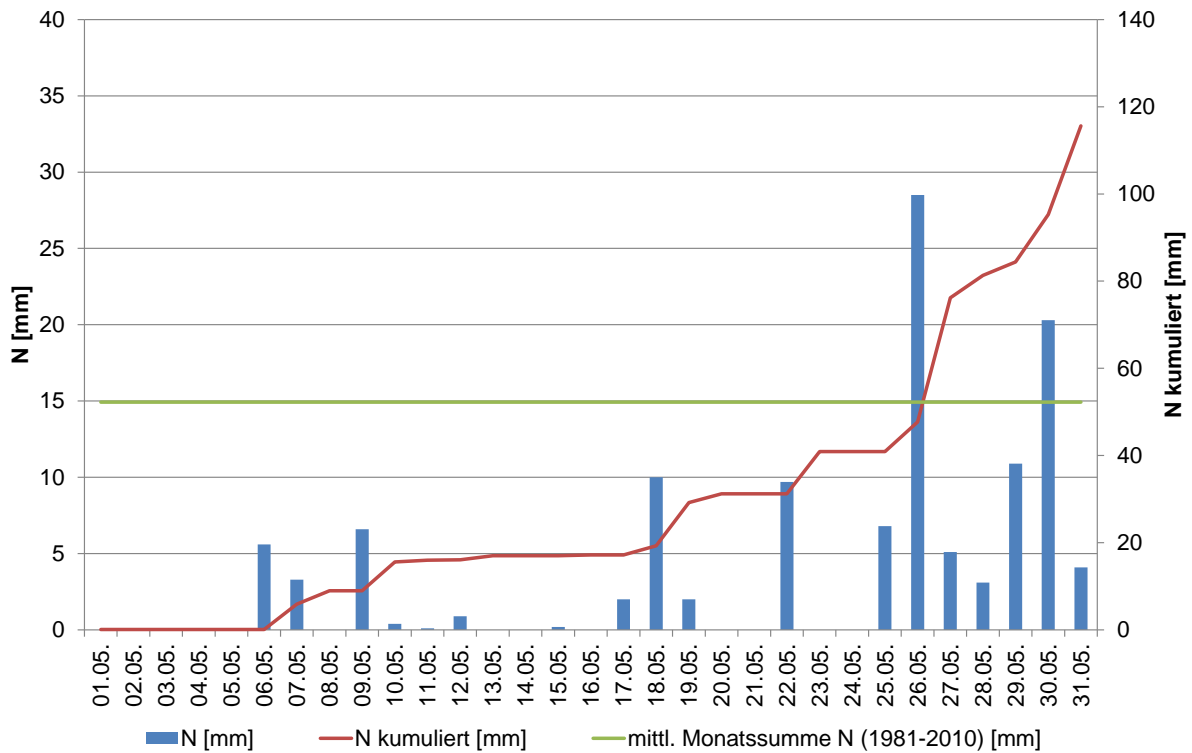


Abbildung 100: Tägliche Niederschlagshöhen [mm] und deren kumulierte Summe [mm] sowie die mittlere monatliche Niederschlagssumme für Mai (1981–2010) für die Station Leipzig-Holzhausen (Quelle: Deutscher Wetterdienst)

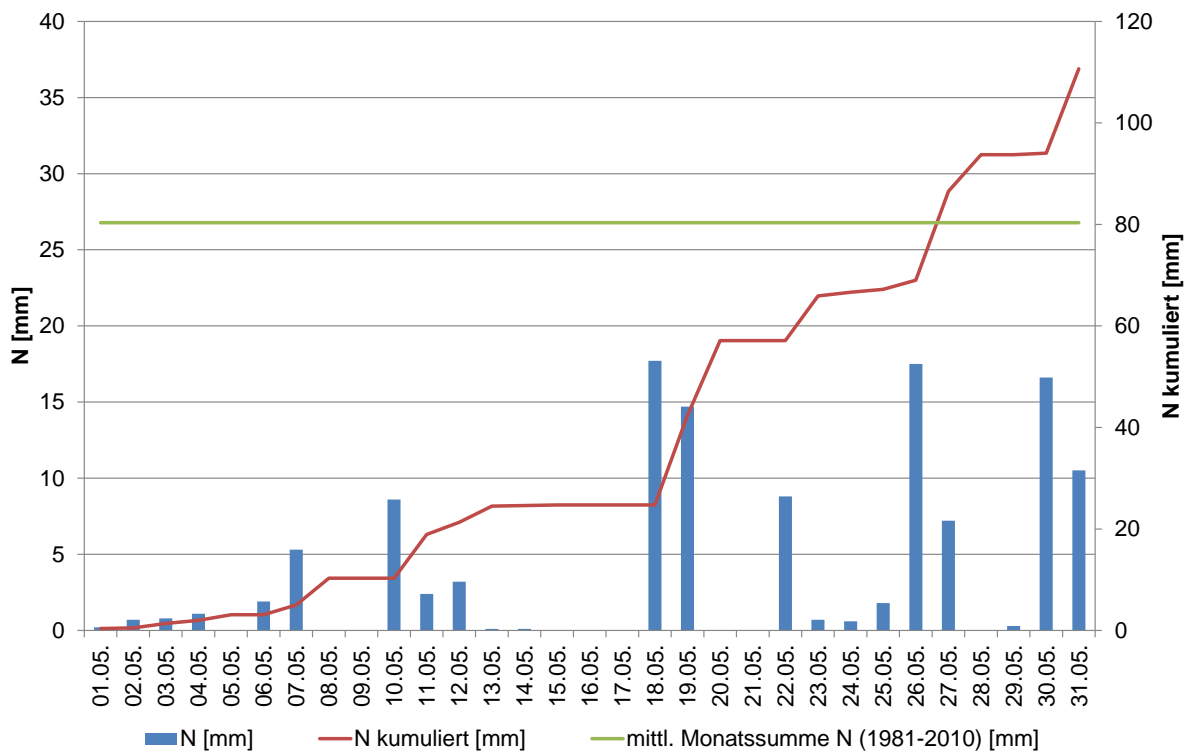


Abbildung 101: Tägliche Niederschlagshöhen [mm] und deren kumulierte Summe [mm] sowie die mittlere monatliche Niederschlagssumme für Mai (1981–2010) für die Station TS Eibenstock (Quelle: Deutscher Wetterdienst)

Diese überdurchschnittlichen Niederschlagssummen sorgten dafür, dass die Böden in weiten Teilen Deutschlands mit Wasser gesättigt und oftmals überstaut waren. Ende Mai wiesen rund 40 % der Fläche Deutschlands so hohe Bodenfeuchtwerte auf, wie sie seit Beginn der Messungen 1962 im Mai noch nicht beobachtet wurden (Deutscher Wetterdienst 2013). Die Bodenfeuchte (angegeben in % nFK) ist für die Nacht vom 29. auf den 30. Mai in Abbildung 102 für Sachsen dargestellt. Es wird deutlich, dass die Böden im Muldegebiet bereits zu diesem Zeitpunkt weitestgehend wassergesättigt waren. Insgesamt lag in Sachsen die Bodenfeuchte in der Nacht des 29. Mai zwischen 79 % nFK (99 % nFK im Muldegebiet) und 112 % nFK und damit zwischen 7 % nFK und 41 % nFK über dem Mittel für den Zeitraum 1981–2010.

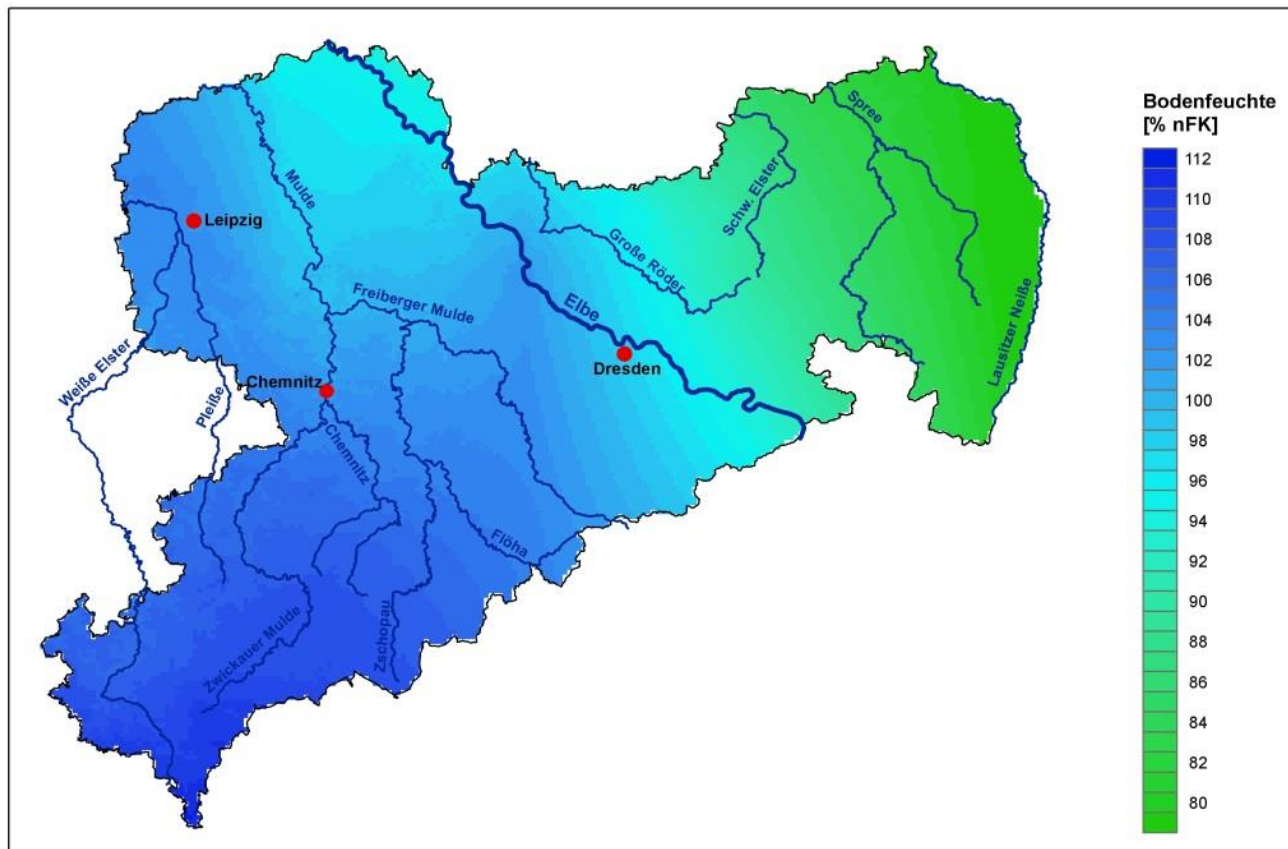


Abbildung 102: Bodenfeuchte [% nFK] am 30.05.2013 für Sachsen (Quelle: Deutscher Wetterdienst)

An der Vorderseite des ausgeprägten Trops über Mitteleuropa bildete sich im Bodenniveau das Tief „Frederik“, das am 29. Mai über Ungarn lag. Damit verbunden war der Übergang zur Großwetterlage „Tief Mitteleuropa“, die die niederschlagsreiche Witterung noch verstärkte. Großflächig von mehrtägigem kräftigem Dauerregen betroffen waren nun vor allem der Süden und der Südosten Deutschlands. Im Verlauf des 30. Mai verstärkte sich das Bodentief und verlagerte sich nach Nordtschechien. Um dieses herum strömte in einem extrem weiten Bogen immer wieder warme und vor allem feuchte Luft aus dem Südosten Europas in Richtung Deutschland. Dort glitt die labil geschichtete Luft, die hochreichend einen großen Flüssigwassergehalt hatte, auf die deutlich kühleren Luftmassen auf, die mit der nördlichen Strömung am Rande des atlantischen Hochs nach Deutschland gelangt waren. Dieser Prozess der Wolkenbildung wurde orografisch noch verstärkt. Durch die nördliche Anströmung auf der Westflanke des Tiefs kam es zusätzlich zu Stauwirkungen an den Nordrändern von Erzgebirge, Thüringer Wald und Alpen. In Sachsen, Thüringen und Bayern wurden am 31. Mai bis 08:00 Uhr Niederschlagsmengen von knapp 50 mm registriert. Die höchste 24-stündige Niederschlagssumme meldete Neuhaus am Rennweg in Thüringen mit 49 mm, aber auch Chemnitz registrierte mit 41,8 mm eine

sehr hohe Summe. Es regnete auch auf dem gesamten Gebiet der Tschechischen Republik mit durchschnittlich 12 mm. Damit war der 30. Mai in Sachsen, Thüringen und Tschechien der regenreichste Tag des Monats Mai.

Danach verlagerte sich „Frederik“ bis zur Nacht vom 31. Mai zum 1. Juni nach Südwesten, befand sich schließlich mit seinem Zentrum über den Alpen (Abbildung 103) und löste sich am 2. Juni über Korsika auf. Zeitgleich dazu entwickelte sich das Tiefdruckgebiet „Günther“, das am 1. Juni über Polen verortet war (Abbildung 103). Im Laufe des 1. Juni zog Tief „Günther“ langsam über den Osten Deutschlands sowie die Tschechische Republik und war ausschlaggebend für die Starkniederschläge am 1. und 2. Juni. Hochdruckgebiete über Nord- und Westeuropa blockierten das weitere Vordringen des Tiefs, wodurch es über Mitteleuropa verharnte. Die Warmfront des Tiefs traf bei der Westverlagerung über Ostdeutschland und Böhmen auf einfließende Kaltluft in den bodennahen Schichten. Dadurch wurde die feuchtwarme Luft zum Aufstieg gezwungen und es konnten sich weitere intensive Niederschlagsgebiete bilden. Diese wurden ebenfalls durch orografische Effekte noch verstärkt und sorgten in Verbindung mit den noch bestehenden Niederschlagsgebieten von Tief „Frederik“ für ergiebige Regenmengen in Deutschland, Tschechien und den Alpenländern. In Sachsen wurden die höchsten 24-stündigen Niederschlagsmengen in Stützengrün-Hundshübel mit 100,4 mm und in Carlsfeld mit 95,5 mm gemessen.

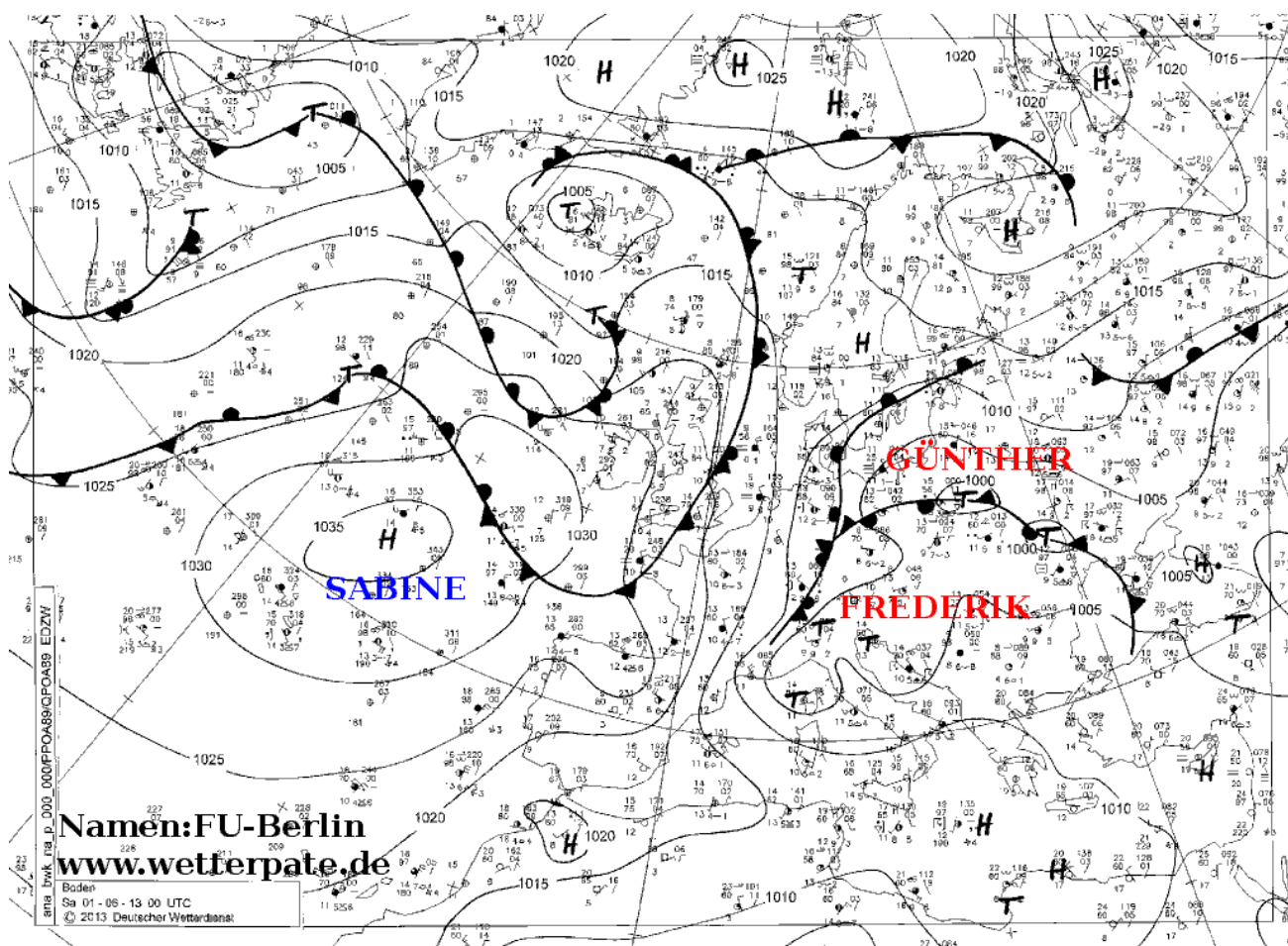


Abbildung 103: Frontenverlauf über Europa am 01.06.2013, 02:00 Uhr (Quelle: Deutscher Wetterdienst, Namensgebung der Hoch- und Tiefdruckgebiete durch FU Berlin)

Am 2. Juni blieb die Großwetterlage unverändert. Es kam erneut zu Starkniederschlägen mit gebietsweiser konvektiv-gewittriger Verstärkung. In Sachsen und Tschechien fielen die Niederschläge an diesem Tag teilweise höher als die des Vortages aus. So wurden an der Station Stollberg-Gablenz 58,7 mm, in Pulsnitz 51,4 mm und in Karlovy Vary 29,1 mm gemessen. Für Mittelböhmen ergab sich eine durchschnittliche Niederschlagssumme von 25 mm. Trotzdem sich die Regengebiete unter Abschwächung nach Süden verlagerten, lag der Niederschlagsschwerpunkt bis zum Morgen des 3. Juni über dem Erzgebirge, in Franken und in Böhmen.

Im Laufe des 3. Juni verschob sich der Niederschlagsschwerpunkt nach Nordmähren, wo örtlich bis zu 50 mm Niederschlag fielen. Erst als Tief „Günther“ ab dem 3. Juni nach Osteuropa abzog und sich abschwächte, ließen die ergiebigen Niederschläge in Mitteleuropa und im Nordalpenraum nach.

9.2 Beschreibung der zeitlich und räumlichen Niederschlagsverteilung

Zwischen dem 25. Mai, 00:00 Uhr und dem 3. Juni, 20:00 Uhr fielen im Flussgebiet der Mulde (je nach betrachtetem Einzugsgebiet) zwischen 164 und 217 mm Regen. Bezogen auf das gesamte Flussgebiet bis zum Pegel Bad Dübener 1 ergaben sich 184 mm Niederschlag. Die Gebietsniederschlagssummen der wesentlichen Hauptteileinzugsgebiete unterschieden sich in diesem Zeitraum nur gering voneinander (Tabelle 24).

Tabelle 24: Gebietsniederschlagssummen der Vereinigten Mulde und der drei Hauptteilgebiete vom 25.05.2013, 00:00 Uhr bis zum 03.06.2013, 20:00 Uhr

Pegel	Fluss	AE [km ²]	Summe Niederschlag [mm]
Bad Dübener 1	Vereinigte Mulde	6170	181,7
Colditz	Zwickauer Mulde	2326	197,5
Kriebstein UP	Zschopau	1754	189,4
Mahlitzsch	Freiberger Mulde	910	190,5

Der Niederschlagszeitraum vom 25. Mai bis zum 3. Juni 2013 kann in drei Teilzeiträume untergliedert werden, die z. B. aus der Darstellung des zeitlichen Verlaufs des Gebietsniederschlags für das Flussgebiet bis Bad Dübener 1 (Abbildung 104) ersichtlich werden (die Teilsummen des Gebietsniederschlags in Bad Dübener sind in Klammern angegeben):

- 1. Episode: vom 25.05., 00:00 Uhr bis zum 27.05., 21:00 Uhr (31,9 mm)
- 2. Episode: vom 30.05., 05:00 Uhr bis zum 31.05., 18:00 Uhr (48,6 mm)
- 3. Episode: vom 01.06., 07:00 Uhr bis zum 03.06., 20:00 Uhr (90,4 mm)

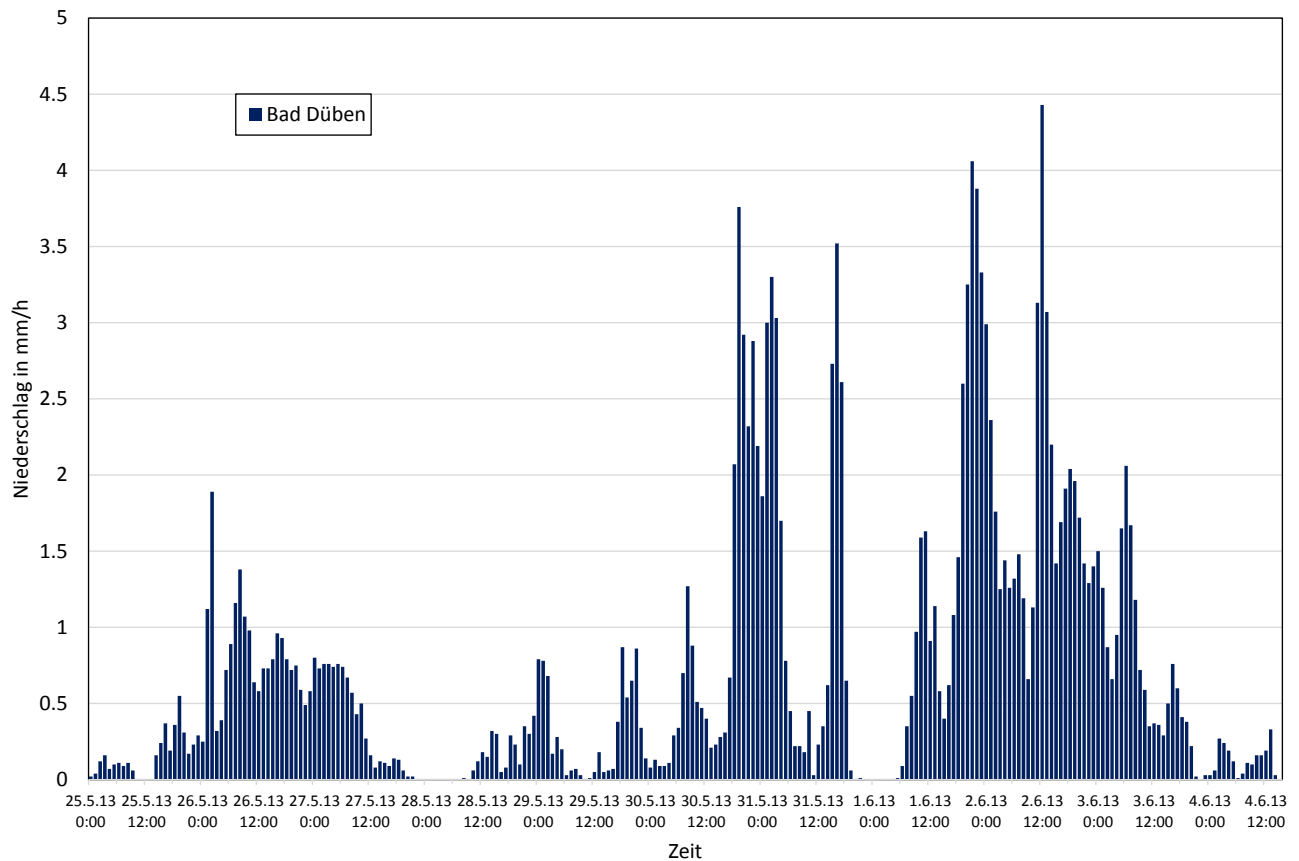


Abbildung 104: Zeitliche Verteilung des Gebietsniederschlages für die Vereinigte Mulde (Pegel Bad Dübener 1)

Im Mittel aller betrachteten 48 Einzugsgebiete fielen im Muldegebiet zwischen dem 25. Mai und dem 3. Juni 192 mm Niederschlag, davon 20 % zwischen dem 25. Mai, 00:00 Uhr und dem 27. Mai, 21:00 Uhr, weitere 30 % vom 30. Mai, 05:00 Uhr bis zum 31. Mai, 18:00 Uhr und der Großteil (50 %) vom 1. Juni, 07:00 Uhr bis zum 3. Juni, 20:00 Uhr. Diese drei Niederschlagsperioden hatten unterschiedliche Auswirkungen auf die Abflussverhältnisse (Abbildung 105). Der erste Teil des Niederschlages bewirkte an allen Pegeln des Muldegebietes nur eine sehr geringfügige Zunahme des Abflusses, der zweite Teilniederschlag verursachte dann einen ersten deutlichen, aber zunächst noch moderaten Anstieg der Abflüsse. Mit der Niederschlagspause vom frühen Abend des 31. Mai bis zum Morgen des 1. Juni war an fast allen Pegeln im Muldegebiet ein Rückgang der Abflüsse zu verzeichnen. Die am 1. Juni gegen 07:00 Uhr wieder einsetzenden Niederschläge bewirkten dann jedoch einen erneuten raschen Anstieg der Abflüsse. Dieser über etwa 60 Stunden anhaltende Dauerregen führte zu hohen und zum Teil katastrophalen Hochwasserabflüssen. In Folge der hohen Vorregensummen, die je nach Flussgebiet 50 bis 90 % des hochwasserverursachenden Regens ausmachten, diesen aber in einzelnen Teilgebieten auch bis zu 120 % überschritten, kam ein hoher Anteil des Niederschlages, der zwischen dem 1. Juni und dem 3. Juni fiel, zum Abfluss.

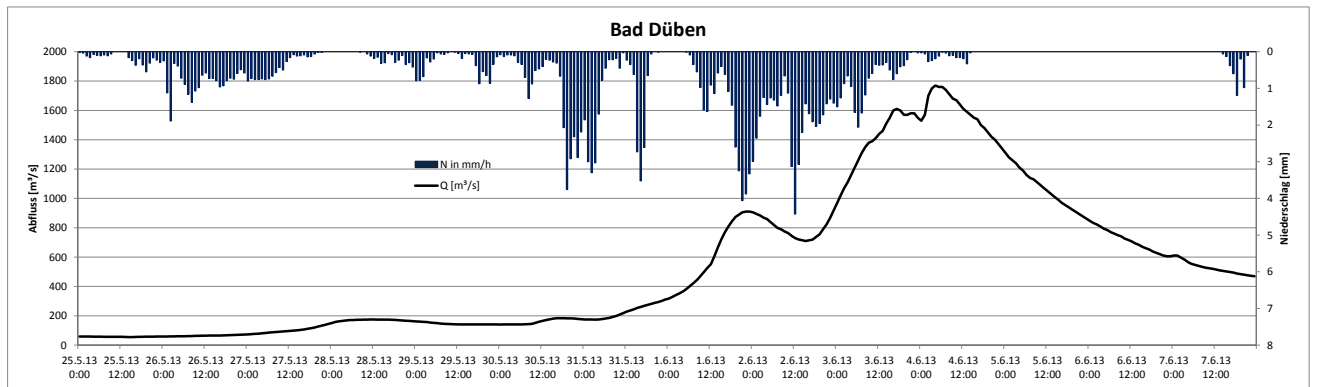


Abbildung 105: Reaktionen des Abflusses am Pegel Bad Düben 1/Vereinigte Mulde, auf den Niederschlag

Tabelle 25, Tabelle 26, Tabelle 27 und Tabelle 28 charakterisieren die räumlichen und zeitlichen Niederschlagsverteilungen im Muldegebiet. Zwei Kartendarstellungen (Abbildung 106, Abbildung 107) zeigen die Flächenverteilungen des ersten und zweiten Teilniederschlages.

Tabelle 25: Summen der einzelnen Gebietsniederschlagsanteile im Flussgebiet der Zwickauer Mulde und der Vereinigten Mulde

Pegel	Gewässer	AE [km ²]	Vorregen 1. Teil ab 25.05. [mm]	Regenbeginn 1. Teil	Dauer 1. Teil [h]	Summe 1. Teil [mm]	Vorregen 2. Teil ab 25.05. [mm]	Regenbeginn 2. Teil	Dauer 2. Teil [h]	Summe 2. Teil [mm]	Gesamte Regenmenge [mm]
Sachsengrund	Große Pyra	6,5	49,4	30.05.2013 16:00	27	48,6	98,0	01.06.2013 08:00	61	107,3	205,4
Rautenkranz	Zwickauer Mulde	88,3	54,8	30.05.2013 16:00	27	56,9	111,7	01.06.2013 08:00	48	94,2	205,9
Eibenstock 2	Rähmerbach	14,2	39,6	30.05.2013 06:00	36	49,7	89,3	01.06.2013 08:00	61	102,2	191,5
Aue 3	Zwickauer Mulde	681,7	34,7	30.05.2013 05:00	37	53,6	88,3	01.06.2013 08:00	60	101,8	190,1
Johanngeorgenstadt 2	Breitenbach	26,0	29,7	30.05.2013 04:00	38	47,7	77,4	01.06.2013 08:00	61	99,0	176,4
Johanngeorgenstadt 4	Schwarzwasser	74,3	28,7	30.05.2013 04:00	38	47,7	76,4	01.06.2013 08:00	61	98,7	175,1
Markersbach 1	Große Mittweida	30,1	32,7	30.05.2013 18:00	24	41,1	73,8	01.06.2013 08:00	60	90,1	164,0
Wildenau 1	Große Mittweida	166,2	34,5	30.05.2013 18:00	24	42,4	76,9	01.06.2013 08:00	60	97,1	174,0
Aue 1	Schwarzwasser	362,9	28,1	30.05.2013 05:00	36	50,8	79,0	01.06.2013 08:00	60	101,1	180,2
Niederschlema	Zwickauer Mulde	754,1	42,4	30.05.2013 15:00	27	47,6	90,1	01.06.2013 08:00	61	102,7	192,8
Zwickau-Pölbitz	Zwickauer Mulde	1021,1	34,5	30.05.2013 05:00	37	59,1	93,8	01.06.2013 08:00	60	101,9	195,6
Niedermülsen 1	Mülsenbach	49,6	40,5	30.05.2013 15:00	27	65,7	106,3	01.06.2013 08:00	48	88,9	195,2
St. Egidien	Lungwitzbach	122,3	40,3	30.05.2013 05:00	37	77,5	117,9	01.06.2013 08:00	58	94,0	211,8
Wolkenburg	Zwickauer Mulde	1417,0	35,5	30.05.2013 05:00	37	62,4	98,0	01.06.2013 08:00	60	97,3	195,3
Wechselburg 1	Zwickauer Mulde	2098,8	49,1	30.05.2013 18:00	24	53,2	102,4	01.06.2013 08:00	60	95,2	197,7
Colditz	Zwickauer Mulde	2326,0	43,8	30.05.2013 05:00	37	60,8	104,8	01.06.2013 08:00	60	92,7	197,5
Golzern 1	Vereinigte Mulde	5432,5	40,8	30.05.2013 05:00	37	51,9	92,8	01.06.2013 07:00	61	97,0	189,8
Bad Düben 1	Vereinigte Mulde	6169,9	42,6	30.05.2013 05:00	37	48,6	91,4	01.06.2013 07:00	78	92,3	183,7

Tabelle 26: Summen der einzelnen Gebietsniederschlagsanteile im Flussgebiet der Chemnitz

Pegel	Gewässer	AE [km²]	Vorregen 1. Teil ab 25.05. [mm]	Regenbeginn 1. Teil	Dauer 1. Teil [h]	Summe 1. Teil in [mm]	Vorregen 2. Teil ab 25.05. [mm]	Regenbeginn 2. Teil	Dauer 2. Teil [h]	Summe 2. Teil in [mm]	Gesamte Re- genmenge [mm]
Jahnsdorf 1	Würschnitz	103,3	39,0	30.05.2013 04:00	38	74,5	113,5	01.06.2013 07:00	59	100,6	214,1
Harthau	Würschnitz	136,1	38,2	30.05.2013 04:00	38	72,2	110,3	01.06.2013 07:00	60	100,0	210,3
Niederzwönitz	Zwönitz	31,5	45,6	30.05.2013 14:00	27	55,5	101,2	01.06.2013 08:00	60	101,0	202,2
Burkhardtsdorf 2	Zwönitz	93,0	33,5	29.05.2013 18:00	47	68,7	102,2	01.06.2013 07:00	61	96,3	198,5
Altchemnitz 2	Zwönitz	143,5	37,4	30.05.2013 04:00	37	64,4	101,8	01.06.2013 07:00	61	96,2	197,9
Chemnitz 1	Chemnitz	402,7	39,0	30.05.2013 04:00	38	67,4	106,4	01.06.2013 07:00	60	97,1	203,5
Göritzchain	Chemnitz	532,4	44,6	30.05.2013 05:00	37	64,5	109,1	01.06.2013 07:00	60	95,3	204,4

Tabelle 27: Summen der einzelnen Gebietsniederschlagsanteile im Flussgebiet der Zschopau/Flöha

Pegel	Gewässer	AE [km²]	Vorregen 1. Teil ab 25.05. [mm]	Regenbeginn 1. Teil	Dauer 1. Teil [h]	Summe 1. Teil in [mm]	Vorregen 2. Teil ab 25.05. [mm]	Regenbeginn 2. Teil	Dauer 2. Teil [h]	Summe 2. Teil in [mm]	Gesamte Regenmenge [mm]
Tannenberg	Zschopau	91,5	39,3	30.05.2013 18:00	24	43,7	83,0	01.06.2013 07:00	61	90,0	173,0
Annaberg 1	Sehma	48,6	25,5	29.05.2013 17:00	50	55,3	80,8	01.06.2013 08:00	60	91,5	172,3
Wiesa	Pöhlbach	86,4	38,8	30.05.2013 18:00	24	42,9	81,7	01.06.2013 08:00	60	94,7	176,4
Jöhstadt 4	Jöhstädter Schwarzwasser	40,8	27,4	30.05.2013 04:00	38	50,0	77,4	01.06.2013 08:00	60	91,6	169,1
Streckewalde	Preßnitz	205,9	38,4	30.05.2013 17:00	25	42,6	81,1	01.06.2013 08:00	60	99,1	180,1
Hopfgarten	Zschopau	530,3	29,2	30.05.2013 03:00	39	53,9	83,1	01.06.2013 07:00	61	96,1	179,2
Kunnersdorf	Zschopau	677,7	41,2	30.05.2013 17:00	25	44,0	85,2	01.06.2013 07:00	61	96,9	182,1
Lichtenwalde 1	Zschopau	1572,2	39,7	30.05.2013 17:00	25	41,9	81,6	01.06.2013 07:00	61	109,3	190,9
Kriebstein UP	Zschopau	1754,3	33,0	30.05.2013 00:00	42	50,2	83,2	01.06.2013 07:00	61	106,2	189,4
Rothenthal	Natzschung	75,9	36,1	30.05.2013 18:00	23	36,3	72,5	01.06.2013 08:00	59	112,6	185,1
Olbernhau 3	Flöha	314,0	32,1	30.05.2013 16:00	25	36,3	68,5	01.06.2013 08:00	59	122,5	191,0
Zöblitz	Schwarze Pockau	124,6	39,6	30.05.2013 17:00	24	41,0	80,8	01.06.2013 08:00	60	113,7	194,5
Borstendorf	Flöha	639,6	27,4	30.05.2013 01:00	40	45,8	73,3	01.06.2013 07:00	61	122,9	196,2
Flöha 1	Flöha	795,6	30,2	30.05.2013 01:00	40	46,2	76,5	01.06.2013 07:00	61	121,5	198,0

Tabelle 28: Summen der einzelnen Gebietsniederschlagsanteile im Flussgebiet der Freiburger Mulde

Pegel	Gewässer	AE [km ²]	Vorregen 1. Teil ab 25.05. [mm]	Regenbeginn 1. Teil	Dauer 1. Teil [h]	Summe 1. Teil in [mm]	Vorregen 2. Teil ab 25.05. [mm]	Regenbeginn 2. Teil	Dauer 2. Teil [h]	Summe 2. Teil in [mm]	Gesamte Regenmenge [mm]
Wolfsgrund	Chemnitzbach	35,8	30,8	30.05.2013 17:00	23	40,3	70,8	01.06.2013 07:00	61	141,0	211,8
Berthelsdorf	Freiberger Mulde	244,5	36,5	30.05.2013 16:00	24	42,5	78,9	01.06.2013 07:00	60	133,6	212,5
Krummenhennersdorf 1	Bobritzsch	130,9	41,5	30.05.2013 16:00	24	44,8	86,4	01.06.2013 07:00	59	130,5	216,9
Nossen 1	Freiberger Mulde	586,1	40,0	30.05.2013 16:00	25	43,1	83,1	01.06.2013 07:00	59	122,8	205,9
Oberschöna	Große Striegis	52,7	42,4	30.05.2013 16:00	25	40,5	82,9	01.06.2013 07:00	59	117,1	199,9
Böhrigen	Striegis	253,0	41,4	30.05.2013 08:00	33	41,1	82,5	01.06.2013 07:00	79	98,7	181,2
Mahlitzsch	Freiberger Mulde	910,3	41,2	30.05.2013 16:00	25	41,3	82,5	01.06.2013 07:00	59	108,1	190,5
Leisnig	Freiberger Mulde	2877,6	42,3	30.05.2013 17:00	24	40,6	83,1	01.06.2013 07:00	61	103,7	186,8

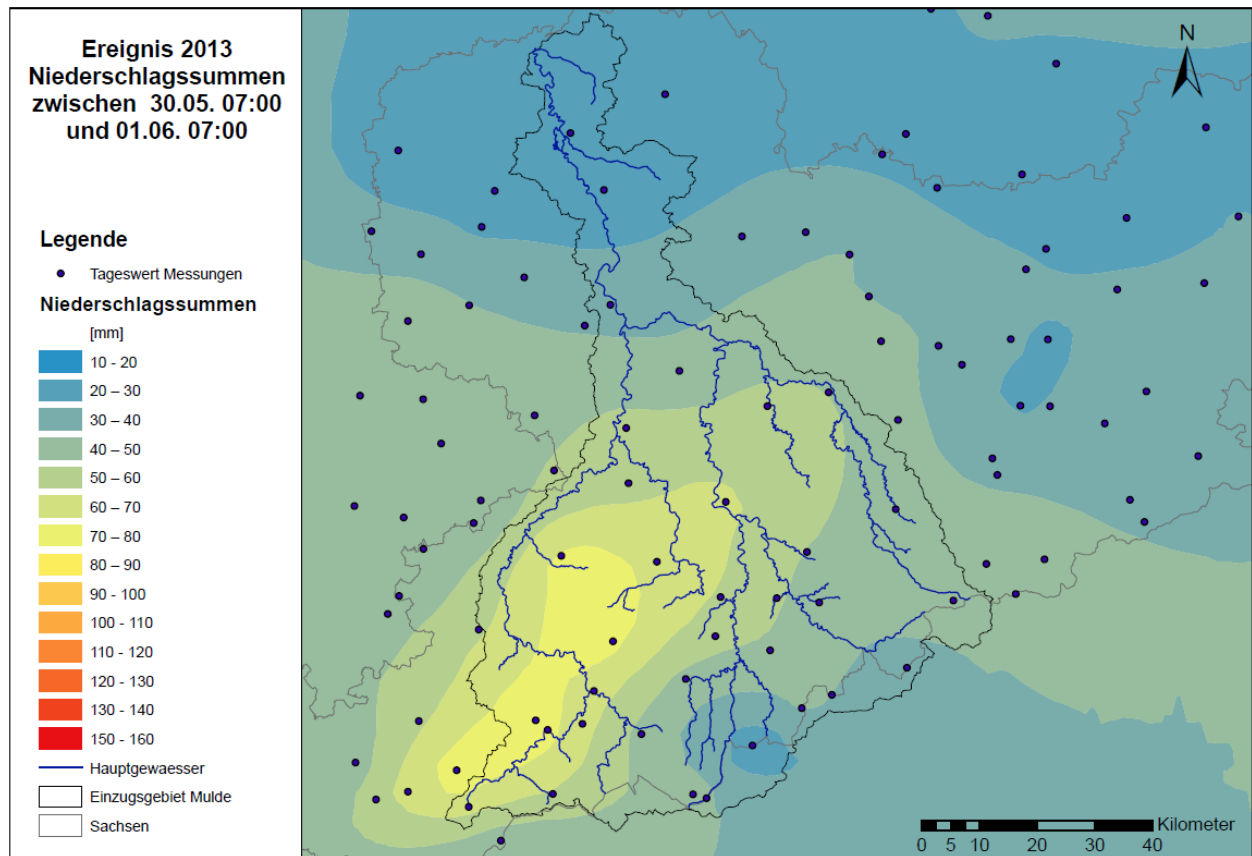


Abbildung 106: Räumliche Verteilung der Summen des ersten Teilregens

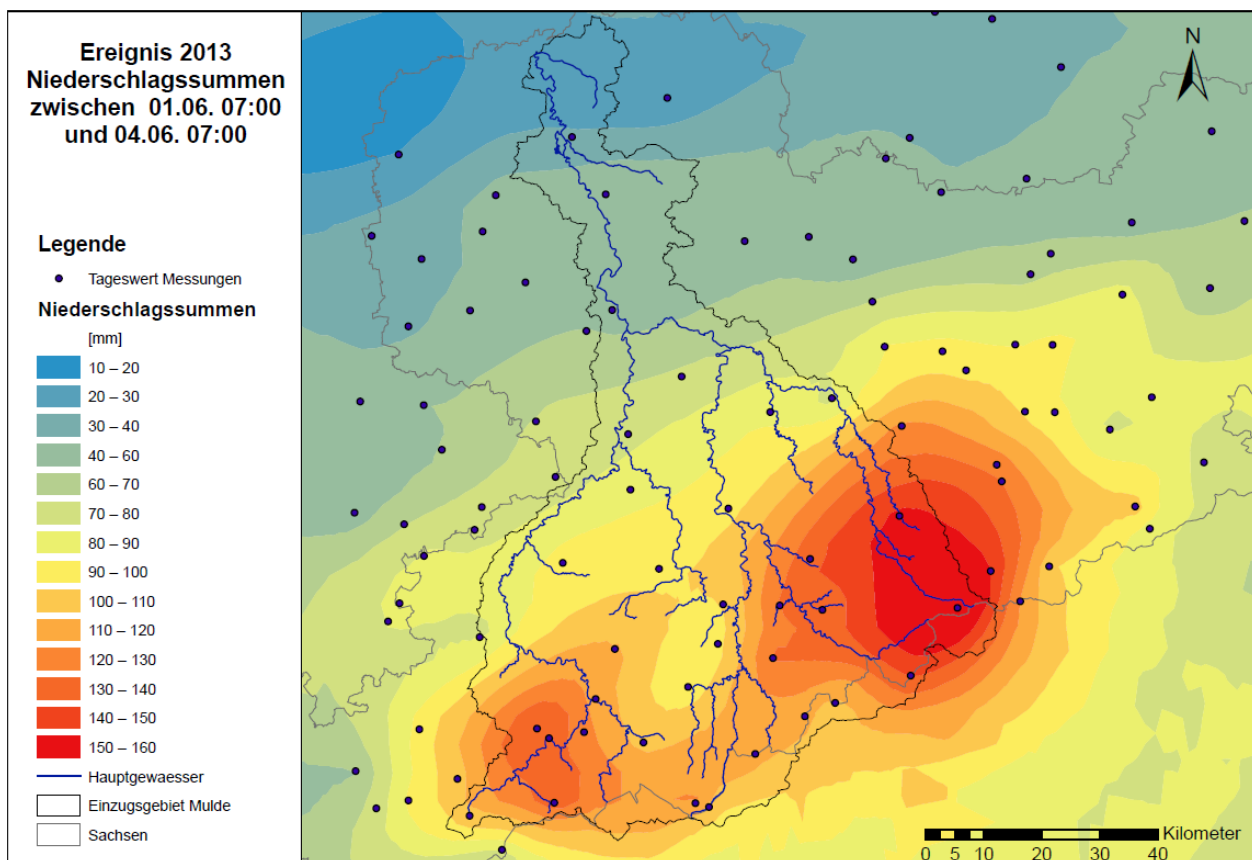


Abbildung 107: Räumliche Verteilung der Summen des zweiten Teilregens

Die Unterschiede in den Summen der beiden Teilniederschläge (30. Mai bis 1. Juni bzw. 1. Juni bis 3. Juni) zeigt Abbildung 108. Der erste Niederschlagsteil war im mittleren Bereich der Zwickauer Mulde (Raum Zwickau, Pegel Niederlungwitz und St. Egidien) sowie im Einzugsgebiet der Chemnitz mit 60 bis 75 mm deutlich höher als im südöstlichen Teil des Flussgebietes. In den Einzugsgebieten der Oberläufe von Zschopau und Freiburger Mulde sowie der Flöha fielen hier nur etwa 45 mm. Der zweite Niederschlag zeigte dagegen sein räumliches Maximum im Oberlauf der Freiburger Mulde (Chemnitzbach, Bobritzsch) sowie der Flöha mit 120 bis 140 mm Niederschlagssumme. Bereits im oberen Zschopaugebiet wurden dagegen niedrigere Werte (um 90 mm) gemessen. Mit abnehmender Höhe verringerten sich die Niederschläge nach Norden zu. So fielen im gesamten Chemnitzgebiet weniger als 100 mm Niederschlag. Die Unterschiede der Verteilung verringerten sich mit zunehmender Gebietsgröße. So zeigten die Einzugsgebiete über 900 km² Fläche in ihren Gebietsniederschlägen beim ersten Teilniederschlag Unterschiede von 10 bis 20 mm (im Mittel lagen die Gebietsniederschläge bei 50 mm), wiesen im zweiten Niederschlagsteil dagegen nahezu keine Unterschiede auf. Das Mittel der Gebietsniederschläge dieser Gebiete betrug 100 mm, das Minimum lag bei 92 mm (Bad Düben 1), das Maximum bei 109 mm (Lichtenwalde 1).

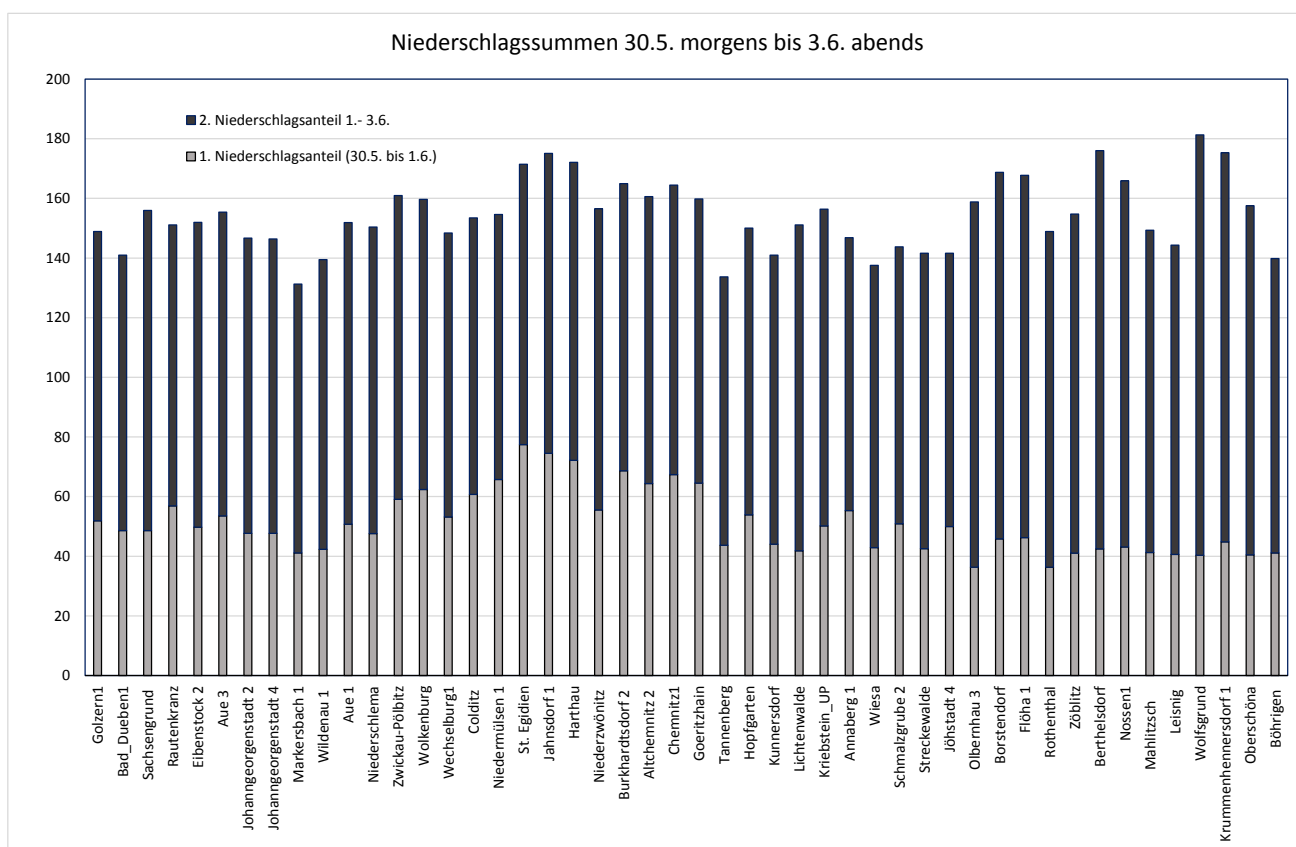


Abbildung 108: Unterschiede in den Niederschlagssummen des ersten und zweiten Teilregens zwischen den verschiedenen Einzugsgebieten

Die zeitliche Verteilung des Hauptniederschlagsanteils zwischen dem 1. Juni, 07:00 Uhr und dem 3. Juni, 20:00 Uhr war in den drei Flussgebieten der Zwickauer Mulde, der Zschopau und der Freiburger Mulde unterschiedlich. In Abbildung 109 sind die stündlichen Werte des Gebietsniederschlags für die Pegel Colditz/Zwickauer Mulde (2.326 km²), Kriebstein UP/Zschopau (1.754 km²) und Mahlitzsch/Freiburger Mulde (910 km²) dargestellt, die Summenlinien dieser Niederschläge zeigt Abbildung 110.

Im Gebiet der Zwickauer Mulde war eine deutlich höhere Niederschlagsintensität vom 1. Juni, 19:00 Uhr bis zum 2. Juni, 01:00 Uhr zu verzeichnen. Die höchste 6-h-Summe des Gebietsniederschlags fiel hier zwischen dem 1. Juni, 19:00 Uhr und dem 2. Juni, 01:00 Uhr (24,7 mm). Im Zschopau-Gebiet (Pegel Kriebstein UP) lag das 6-h-Maximum zwischen dem 1. Juni, 17:00 Uhr und dem 1. Juni, 23:00 Uhr (22 mm). Der gleiche Zeitraum wies im Einzugsgebiet der Freiberger Mulde (Pegel Mahlitzsch) das 6-h-Maximum mit 18,2 mm Niederschlag auf. Im weiteren Verlauf war im Gebiet der Zwickauer Mulde vom 2. Juni, 11:00 Uhr bis zum 2. Juni, 17:00 Uhr der zweithöchste 6-h-Wert des Niederschlags zu verzeichnen (16 mm). Entsprechend hohe 6-h-Werte traten im Zschopau-Gebiet zwischen dem 2. Juni, 10:00 Uhr und dem 2. Juni, 16:00 Uhr (18,8 mm) und im Gebiet der Freiberger Mulde vom 2. Juni, 09:00 Uhr bis zum 2. Juni, 15:00 Uhr (19,4 mm) auf. In diesem Zeitraum waren dort auch die höchsten stündlichen Niederschläge zu verzeichnen. In der Folge kam es mehrfach zu erneuten Anstiegen der Niederschlagsintensitäten, die insbesondere im Einzugsgebiet der Freiberger Mulde bis zu 14,3 mm Niederschlag in 6 h ergaben (vom 3. Juni, 03:00 Uhr bis zum 3. Juni, 09:00 Uhr). Aus Abbildung 110 (Summenlinien des Niederschlags) wird die längere Regendauer im Ostteil des Muldegebietes ersichtlich.

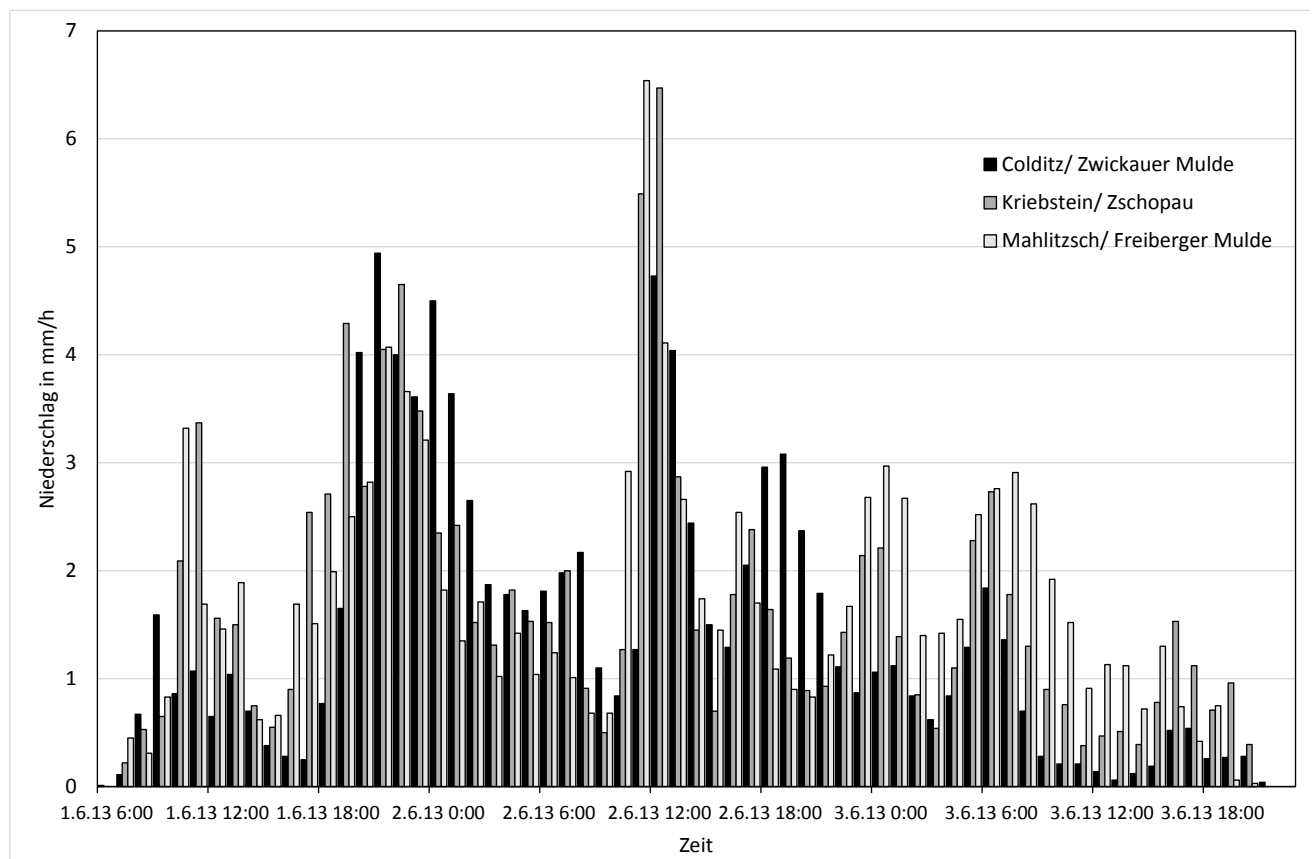


Abbildung 109: Stündliche Werte der Gebietsniederschläge vom 01.06., 06:00 Uhr bis zum 03.06., 22:00 Uhr an den Pegeln Colditz/Zwickauer Mulde, Kriebstein UP/Zschopau und Mahlitzsch/Freiberger Mulde

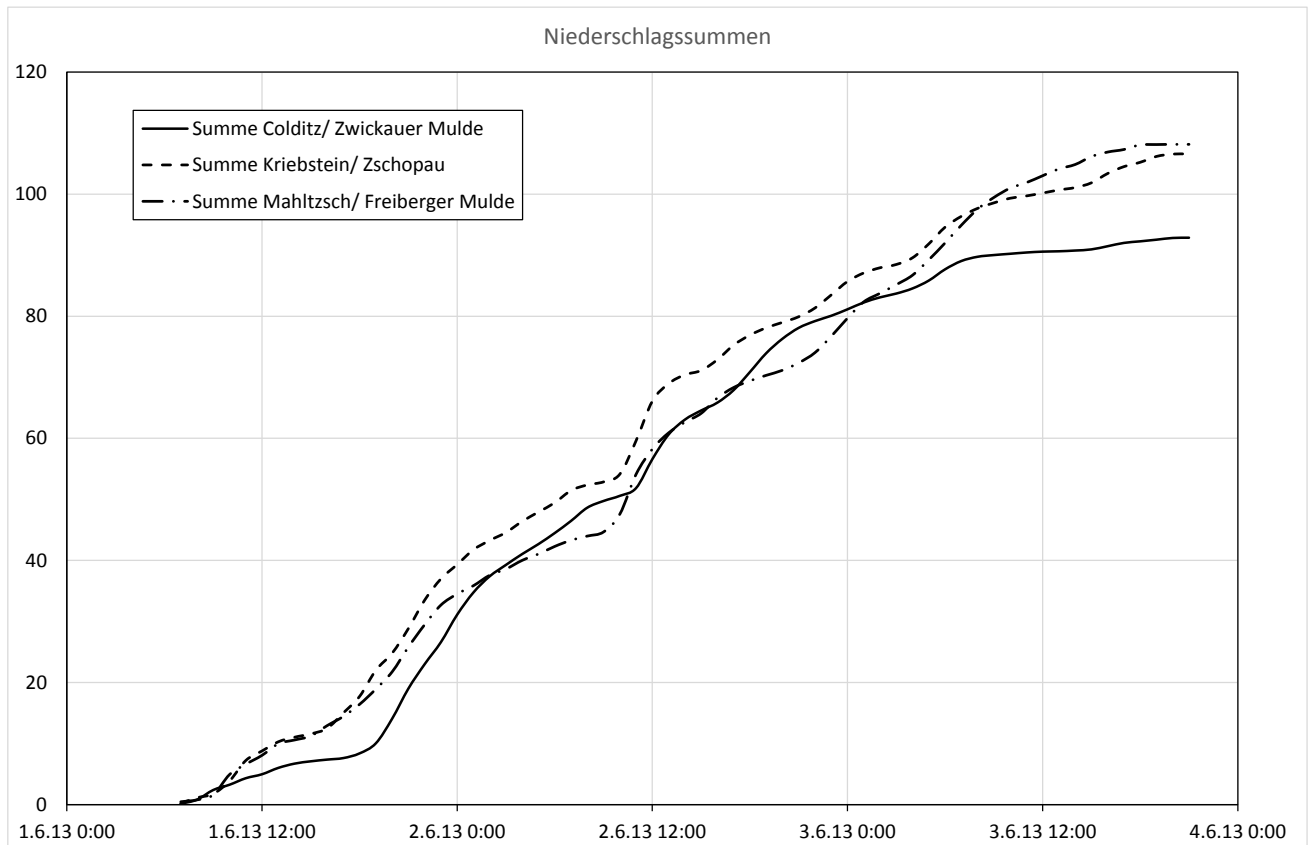


Abbildung 110: Summenlinien der Gebietsniederschläge vom 01.06., 06:00 Uhr bis zum 03.06., 22:00 Uhr an den Pegeln Colditz/Zwickauer Mulde, Kriebstein/Zschopau und Mahltzsch/Freiberger Mulde

Die räumliche Niederschlagsverteilung wird aus den Kartendarstellungen der Niederschlagstageswerte im Muldegebiet deutlich (Abbildung 111). Während am 1. Juni sowohl im südöstlichen als auch im südwestlichen Teil des Flussgebietes hohe Niederschläge auftraten, lag am 2. Juni der Niederschlagsschwerpunkt im Bereich der oberen Freiberger Mulde und der Flöha.

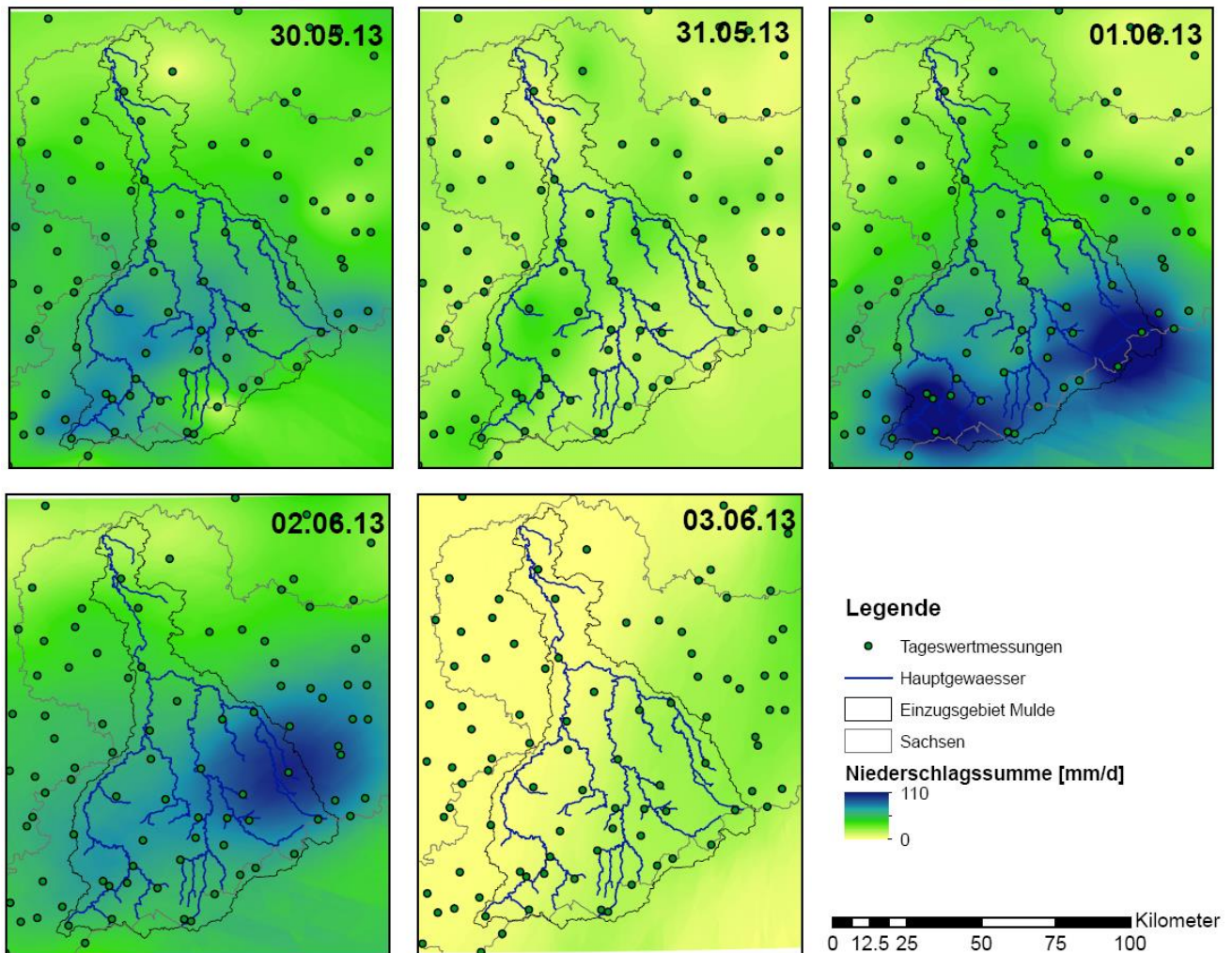


Abbildung 111: Verteilung der Tagesniederschläge vom 30.05. bis zum 03.06.2013 im Muldegebiet

Die Unterschiede im zeitlichen Verlauf des Niederschlages werden aus der Gegenüberstellung der 24-h-Gebietsniederschläge in Tabelle 29 deutlich. Während es am 31. Mai im mittleren und östlichen Erzgebirge weniger regnete als am Vor- bzw. Folgetag, waren im Westerzgebirge und im Erzgebirgischen Becken die täglichen Regensummen an diesen drei Tagen (30. Mai, 31. Mai und 1. Juni) nahezu gleichgroß. Für alle Einzugsgebiete war der 2. Juni der Tag mit der höchsten Niederschlagsbelastung bei diesem Hochwasserereignis. Am 3. Juni verringerte sich der Niederschlag im Vergleich zum Vortag deutlich, wobei dieser Rückgang im Westerzgebirge stärker als im östlichen Erzgebirge ausgeprägt war.

Tabelle 29: 24-h-Summen der Gebietsniederschläge ausgewählter Pegel

Pegel	Gewässer	Niederschlagssumme [mm/d]					
		29.05.	30.05.	31.05.	01.06.	02.06.	03.06.
Eibenstock 2	Rährerbach	0,3	23,6	26,2	35,4	54,4	12,4
St. Egidien	Lungwitzbach	1,2	35,2	42,5	29,3	54,7	10,1
Harthau	Würschnitz	2,9	34,1	38,2	33,6	53,3	13,1
Zwickau-Pölbitz	Zwickauer Mulde	1,2	28,6	30,7	35,2	54,5	12,3
Hopfgarten	Zschopau	3,2	31,9	22,2	33,6	43,1	19,5
Borstendorf	Flöha	4,0	29,5	16,4	50,5	50,0	22,4
Berthelsdorf	Freiberger Mulde	4,6	28,0	16,8	50,2	56,2	27,2
Oberschöna	Große Striegis	9,7	24,2	19,2	38,1	50,7	28,4
Annaberg 1	Sehma	1,9	31,2	22,3	30,0	42,9	18,6
Rothenthal	Natzschung	4,8	31,1	17,7	48,7	43,5	20,6
Wolfsgrund	Chemnitzbach	3,4	27,5	15,5	57,3	57,6	26,2

9.3 Beschreibung des zeitlichen und räumlichen Abflussverlaufes des Hochwassers

9.3.1 Gesamtbetrachtung

Wie aus der Beschreibung des zeitlichen Niederschlagsverlaufes ersichtlich wird, kann das Hochwasserereignis 2013 in zwei aufeinanderfolgende Phasen unterschieden werden. Bei der Diskussion des Hochwasserablaufes wird deshalb zwischen diesen zwei Ereignisteilen differenziert. Die Darstellung der Ereignisabläufe an den einzelnen Pegeln erfolgt an Hand der Scheitelabflüsse, der Abflussfüllen, charakteristischer Zeiten, der räumlichen Verteilung der Abflüsse und der Überlagerungen von Hochwasserwellen an den Zusammenflüssen.

Wie in Kapitel 9.2 beschrieben, kann der Niederschlagsverlauf in zwei Zeitabschnitte (30. Mai, 05:00 Uhr bis 31. Mai, 18:00 Uhr und 1. Juni, 07:00 Uhr bis 3. Juni, 20:00 Uhr) unterteilt werden. Die Abflussganglinien zeigen demzufolge einen ersten Anstieg, der in den späten Abendstunden des 31. Mai beendet war, einen zeitweiligen Abflussrückgang und, mit dem Wiedereinsetzen der Niederschläge am Morgen des 1. Juni, einen erneuten, nunmehr stärkeren und länger anhaltenden Anstieg, der in den Einzugsgebieten des mittleren und westlichen Erzgebirges am Morgen des 2. Juni, in den Unterläufen am späten Abend und den Nachtstunden dieses Tages, im Einzugsgebiet der Freiberger Mulde dagegen erst in den frühen Morgenstunden des 3. Juni beendet war.

In Tabelle 30 sind die Scheitelabflüsse, getrennt nach den beiden Niederschlagszeiträumen, für die betrachteten Pegel zusammengestellt. Die Eintrittszeitpunkte des ersten Scheitels an den Pegeln der kleinen und mittleren Einzugsgebiete (bis 1.000 km²) variieren zwischen dem 30. Mai, 23:00 Uhr (Pegel Wolfsgrund/Chemnitzbach) und dem 31. Mai, 20:00 Uhr (Pegel Rautenkrantz/Zwickauer Mulde). An der Mehrzahl der Pegel tritt der Scheitelabfluss in den frühen Morgenstunden des 31. Mai auf, bei einer Reihe von Pegeln dagegen erst in den Abendstunden dieses Tages. Ursächlich für diesen Unterschied ist ein relativ kurzer, über

zwei bis drei Stunden anhaltender, aber intensiver Niederschlag am Nachmittag des 31. Mai, der insbesondere in kleinen, schnell reagierenden Einzugsgebieten zu einem nochmaligen Abflussanstieg führte. Die unterschiedliche Wirkung dieses Regens kann im Vergleich der Abflüsse an Würschnitz und Zwönitz verdeutlicht werden. In der Würschnitz führte dieser Niederschlag zu einem kurzzeitigen Abflussanstieg in den Abendstunden, der den frühmorgendlichen Scheitel überstieg, in der Zwönitz war die Reaktion auf diesen Regen dagegen geringer, womit der Scheitel des ersten Teils des Hochwassers in den frühen Morgenstunden nicht überschritten wurde. Für die Pegel der großen Einzugsgebiete lag der Abflussscheitel einheitlich am späten Nachmittag bzw. frühen Abend des 31. Mai. Der Scheitel dieser ersten Hochwasserwelle überstieg den Wert des mittleren Hochwasserscheitels (MHQ) am jeweiligen Pegel in der Regel deutlich. Im Mittel aller 48 Pegel lag dieser Scheitelabfluss beim 1,3-Fachen des MHQ-Wertes. Für die großen Einzugsgebiete der Zwickauer und Freiburger Mulde sowie der Vereinigten Mulde ergaben sich durch diesen ersten Niederschlagsteil sogar Scheitel im Bereich des 2-fachen MHQ-Wertes.

Der Eintrittszeitpunkt des zweiten und wesentlich höheren Scheitelabflusses variiert wiederum je nach der lokalen zeitlichen Niederschlagsverteilung und der Reaktion der einzelnen Einzugsgebiete. An den Pegeln der kleineren Einzugsgebiete der Zwickauer Mulde trat der Scheitel in der ersten Tageshälfte des 2. Juni auf, im Zschopau-/Flöha-Gebiet am frühen Nachmittag und im Chemnitzgebiet sowie den übrigen (größeren) Einzugsgebieten am Abend des 2. Juni. Im Einzugsgebiet der Freiburger Mulde waren in Folge des länger anhaltenden Niederschlags die Scheitelwerte erst in den frühen Morgenstunden des 3. Juni erreicht. Diese Scheitelabflüsse waren doppelt bzw. dreifach so hoch wie der erste Scheitelwert. In einzelnen Fällen wurde auch das 4 bis 6-Fache dieses Wertes erreicht. Im Mittel aller 48 Pegel lag dieser Scheitelabfluss beim 3,1-Fachen des jeweiligen MHQ-Wertes. Für die großen Einzugsgebiete der Zwickauer und Freiburger Mulde sowie der Vereinigten Mulde ergaben sich Scheitel im Bereich des 4-fachen MHQ-Wertes. Im Weiteren wird der Abflussverlauf differenziert nach Hauptflussgebieten dargestellt.

Tabelle 30: Abflussscheitel und Scheiteleintrittszeiten an den betrachteten Pegeln

Pegel	Gewässer	AE [km ²]	MHQ [m ³ /s]	Eintrittszeit 1. Scheitel QS1 [MESZ]	Abfluss 1. Scheitel QS1 [m ³ /s]	QS1/ MHQ	Eintrittszeit 2. Scheitel QS2 [MESZ]	Dauer zwischen erstem und zwei- ten Scheitel [h]	Abfluss HQ, 2. Scheitel QS2 [m ³ /s]	Abflussspende Hq 2. Scheitel QS2 [m ³ /((skm ²))]	QS2/ MHQ	QS2/ QS1
Zwickauer Mulde												
Sachsengrund	Große Pyra	6,5	2,6	31.05.13 04	2,21	0,9	02.06.13 05	49	8,71	1,346	3,4	3,9
Rautenkranz	Zwickauer Mulde	88,3	16,6	31.05.13 20	25,8	1,6	02.06.13 06	34	70	0,792	4,2	2,7
Eibenstock 2	Rähmerbach	14,2	2,51	31.05.13 16	3,44	1,4	02.06.13 07	39	6,93	0,488	2,8	2,0
Aue 3	Zwickauer Mulde	681,7	97,2	31.05.13 08	124	1,3	02.06.13 04	44	267	0,392	2,7	2,2
Johanngeorgenstadt 2	Breitenbach	26,0	7,5	31.05.13 18	2,72	0,4	02.06.13 05	35	14,6	0,562	1,9	5,4
Johanngeorgenstadt 4	Schwarzwasser	74,3	22,6	31.05.13 06	20,2	0,9	02.06.13 02	44	58,1	0,782	2,6	2,9
Markersbach 1	Große Mittweida	30,1	5,52	31.05.13 06	4,74	0,9	02.06.13 13	55	15,2	0,505	2,8	3,2
Wildenau 1	Große Mittweida	166,2	21,7	31.05.13 06	23,5	1,1	02.06.13 13	55	80	0,481	3,7	3,4
Aue 1	Schwarzwasser	362,9	66,3	31.05.13 06	63,8	1,0	02.06.13 04	46	200	0,551	3,0	3,1
Niederschlema	Zwickauer Mulde	754,1	110	31.05.13 16	124	1,1	02.06.13 22	54	302	0,400	2,7	2,4
Zwickau-Pölbitz	Zwickauer Mulde	1021,1	128	31.05.13 19	229	1,8	02.06.13 21	50	487	0,477	3,8	2,1
Niedermülsen 1	Mülsenbach	49,6	8,13	31.05.13 18	26,5	3,3	02.06.13 19	63	26,5	0,534	3,3	1,5
St. Egidien	Lungwitzbach	122,3	30	31.05.13 19	57,7	1,9	02.06.13 15	44	62,7	0,513	2,1	1,1
Wolkenburg	Zwickauer Mulde	1417,0	172	01.06.13 02	310	1,8	02.06.13 23	45	703,0	0,496	4,1	2,3
Wechselburg 1	Zwickauer Mulde	2098,8	218	31.05.13 20	523	2,4	02.06.13 22	50	1010	0,481	4,6	1,9
Colditz	Zwickauer Mulde	2326,0	247	01.06.13 01	530,5	2,1	03.06.13 01	48	1049	0,451	4,2	2,0
Chemnitz												
Jahnsdorf 1	Würschnitz	103,3	27	31.05.13 18	51,9	1,9	02.06.13 20	50	72,1	0,698	2,7	1,4
Harthau	Würschnitz	136,1	31,6	31.05.13 21	52,5	1,7	02.06.13 21	48	90,0	0,661	2,8	1,7
Niederzwönitz	Zwönitz	31,5	8,44	31.05.13 03	8,92	1,1	02.06.13 07	52	25,0	0,795	3,0	2,8
Burkhardtsdorf 2	Zwönitz	93,0	24,8	31.05.13 04	30,5	1,2	02.06.13 14	58	66,3	0,713	2,7	2,2
Altchemnitz 2	Zwönitz	143,5	28,7	31.05.13 07	49,6	1,7	02.06.13 19	60	95,2	0,663	3,3	1,9
Chemnitz 1	Chemnitz	402,7	55,4	31.05.13 08	102	1,8	02.06.13 19	59	203,0	0,504	3,7	2,0
Göritzhein	Chemnitz	532,4	71,5	31.05.13 19	178	2,5	02.06.13 21	50	257,0	0,483	3,6	1,4
Zschopau/Flöha												
Tannenberg	Zschopau	91,5	15,3	31.05.13 07	17,9	1,2	02.06.13 15	56	34,9	0,381	2,3	1,9
Annaberg 1	Sehma	48,6	10,4	31.05.13 05	7,72	0,7	02.06.13 13	56	19,6	0,403	1,9	2,5

Pegel	Gewässer	AE [km ²]	MHQ [m ³ /s]	Eintrittszeit 1. Scheitel QS1 [MESZ]	Abfluss 1. Scheitel QS1 [m ³ /s]	QS1/ MHQ	Eintrittszeit 2. Scheitel QS2 [MESZ]	Dauer zwischen erstem und zwei- ten Scheitel [h]	Abfluss HQ, 2. Scheitel QS2 [m ³ /s]	Abflussspende Hq 2. Scheitel QS2 [m ³ /(skm ²)]	QS2/ MHQ	QS2/ QS1
Wiesa	Pöhlbach	86,4	14,1	31.05.13 05	12,4	0,9	02.06.13 13	56	33,6	0,389	2,4	2,7
Jöhstadt 4	Jöhstädter Schwarzwasser	40,8	7,22	31.05.13 05	5,09	0,7	02.06.13 14	57	23,0	0,564	3,2	4,5
Schmalzgrube 2	Preßnitz	62,1	6,7	31.05.13 01	6	0,9	02.06.13 12	59	11,5	0,185	1,7	1,9
Streckewalde	Preßnitz	205,9	29	31.05.13 04	26,4	0,9	02.06.13 14	58	91,8	0,446	3,2	3,5
Hopfgarten	Zschopau	530,27	81	31.05.13 06	71,8	0,9	02.06.13 18	60	259	0,488	3,2	3,6
Kunnersdorf	Zschopau	677,66	133	31.05.13 07	96,5	0,7	02.06.13 20	61	325,1	0,480	2,4	3,4
Lichtenwalde 1	Zschopau	1572,23	219	31.05.13 09	248	1,1	02.06.13 20	59	774	0,492	3,5	3,1
Kriebstein UP	Zschopau	1754,32	234	31.05.13 17	349	1,5	03.06.13 01	56	729	0,416	3,1	2,1
Rothenthal	Natzschung	75,94	15,1	31.05.13 04	12	0,8	03.06.13 06	74	24,1	0,317	1,6	2,0
Olbernhau 3	Flöha	314	42	31.05.13 04	35,1	0,8	02.06.13 13	57	1390	0,443	3,3	4,0
Zöblitz	Schwarze Pockau	124,61	23,5	31.05.13 03	24,9	1,1	02.06.13 16	61	54,3	0,436	2,3	2,2
Borstendorf	Flöha	639,57	92,5	31.05.13 06	98,8	1,1	02.06.13 15	57	257	0,402	2,8	2,6
Flöha 1	Flöha	795,56	132	31.05.13 08	116	0,9	02.06.13 19	59	360	0,453	2,7	3,1
Freiberger Mulde												
Wolfsgrund	Chemnitzbach	35,8	6,61	30.05.13 23	3,67	0,6	03.06.13 00	73	16,3	0,455	2,5	4,4
Berthelsdorf	Freiberger Mulde	244,53	35,6	31.05.13 04	20,9	0,6	03.06.13 02	70	138	0,564	3,9	6,6
Krummenhennersdorf 1	Bobritzsch	130,89	24,5	31.05.13 04	30,4	1,2	03.06.13 05	73	92,3	0,705	3,8	3,0
Nossen 1	Freiberger Mulde	586,05	69,7	31.05.13 05	104	1,5	03.06.13 08	75	312	0,532	4,5	3,0
Oberschöna	Große Striegis	52,72	10,6	31.05.13 04	11,9	1,1	03.06.13 02	70	25,7	0,487	2,4	2,2
Böhrigen	Striegis	252,96	42,4	31.05.13 08	89,9	2,1	03.06.13 11	75	125	0,494	2,9	1,4
Mahlitzsch	Freiberger Mulde	910,25	126	31.05.13 17	221	1,8	03.06.13 09	64	472	0,519	3,7	2,1
Leisnig	Freiberger Mulde	2877,56	362	31.05.13 21	574	1,6	03.06.13 05	56	1210	0,420	3,3	2,1
Vereinigte Mulde												
Golzern 1	Vereinigte Mulde	5432,5	519	01.06.13 05	924	1,8	03.06.13 09	52	2040	0,376	3,9	2,2
Bad Dübén 1	Vereinigte Mulde	6169,93	487	01.06.13 22	910	1,9	04.06.13 04	54	1770	0,287	3,6	1,9

9.3.2 Abflussverlauf im Einzugsgebiet der Zwickauer Mulde

Der Abflussverlauf im Einzugsgebiet der Zwickauer Mulde differenziert sich nach den unterschiedlichen Naturräumen, die dieses Flussgebiet bilden: im Südteil das West- bzw. das Mittlere Erzgebirge, in Fließrichtung gefolgt vom Erzgebirgischen Becken, an das sich im Norden das Mulde-Lösshügelland anschließt. Betrachtet man zunächst den Bereich des Erzgebirges (Abbildung 112), so fällt der lange Scheitelbereich der Hochwasserwellen an den Pegeln Aue 3, Aue 1 und Niederschlema auf. Der Abflussverlauf am Pegel Aue 3 wird durch die Rückhaltung in der Talsperre Eibenstock bedingt. Weil sich durch die Steuerung dieser Talsperre die Höchstabflüsse der Zwickauer Mulde mit den Abflüssen im Rückgang des Schwarzwassers überlagerten, ergaben sich an den Pegeln Aue 3 und Niederschlema hohe Beharrungszeiten von 31 Stunden. Durch hohe Abflüsse aus dem schnell reagierenden Zwischengebiet verringerte sich diese Beharrungszeit bis zum Pegel Zwickau-Pölbitz auf 21 Stunden. Ursächlich hierfür dürfte insbesondere das ebenfalls dem Westerzgebirge zugeordnete Einzugsgebiet des Rödelbaches sein, für den leider keine Abflusswerte vorliegen. Die kleinen Einzugsgebiete im Kammbereich des Erzgebirges zeigen erwartungsgemäß schnelle und unmittelbare Reaktionen auf die hohen Niederschläge in den Abendstunden des 1. Juni (Abbildung 113, Abbildung 114). Einen besonders hohen spezifischen Abfluss und eine sehr spitzgipflige Welle wies der Pegel Sachsengrund/Große Pyra auf (Abbildung 113). Hier traten sowohl in Bezug auf den Abflussbeiwert (0,95) als auch auf die Scheitelabflussspende ($1,346 \text{ m}^3/(\text{s}\cdot\text{km}^2)$) die Höchstwerte dieser relativen Kennwerte des Hochwassers 2013 im Muldegebiet auf. Deutlich unterschiedlich verhielten sich die Abflüsse des Einzugsgebietes des von der Einzugsgebietsfläche ähnlichen Rährerbaches (Pegel Eibenstock 2, Abbildung 115). Hier war der Hochwasserverlauf weitaus ausgeglichener.

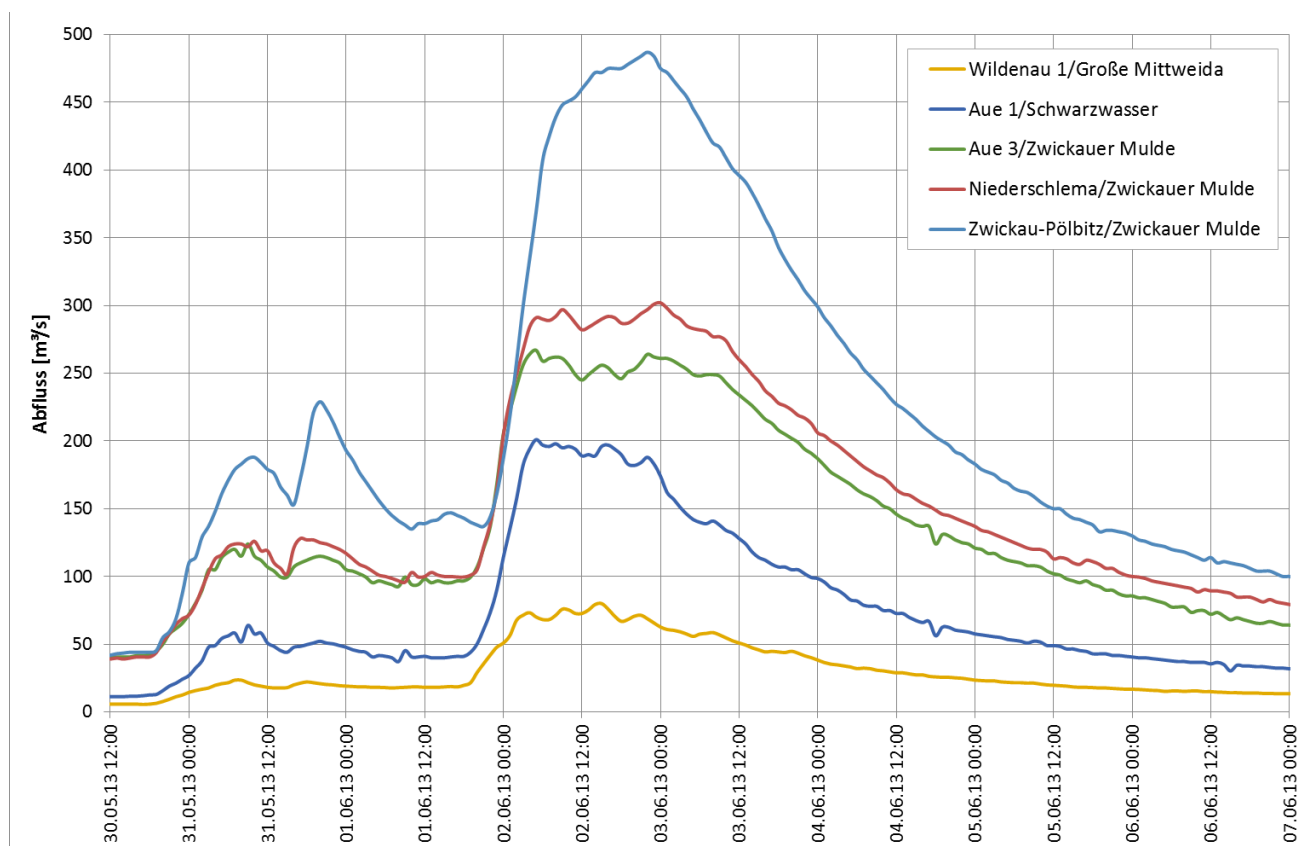


Abbildung 112: Abflussverlauf im Oberlauf der Zwickauer Mulde

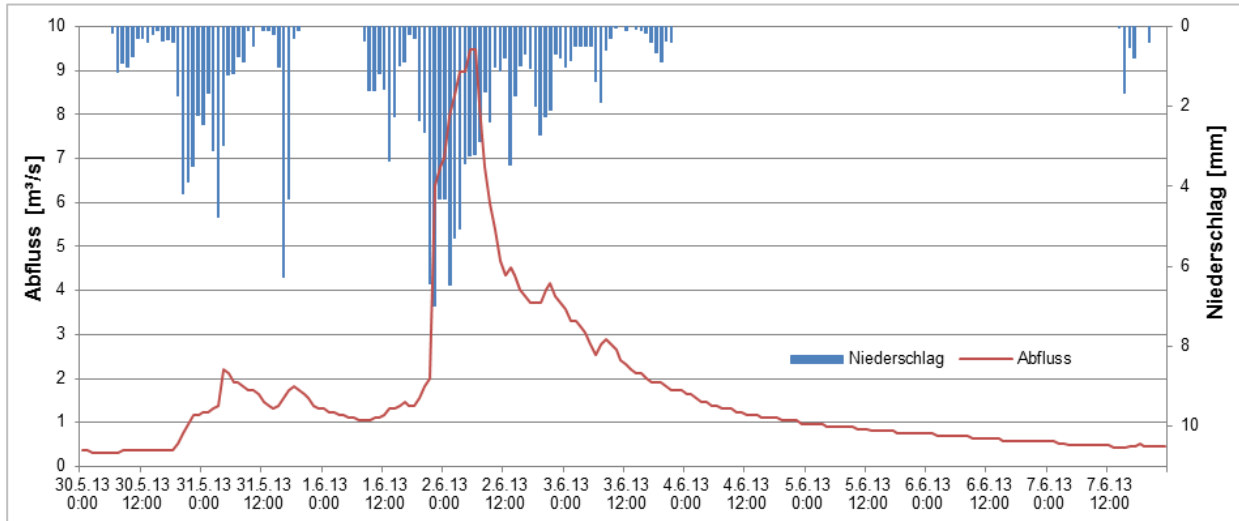


Abbildung 113: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Sachsengrund/Große Pyra

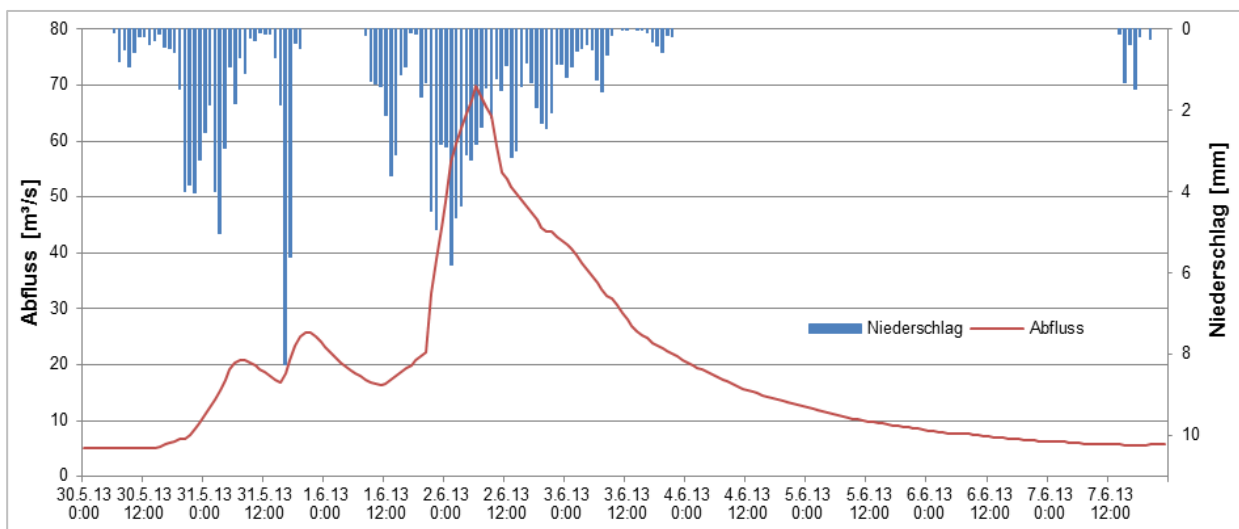


Abbildung 114: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Rautenkranz/Zwickauer Mulde

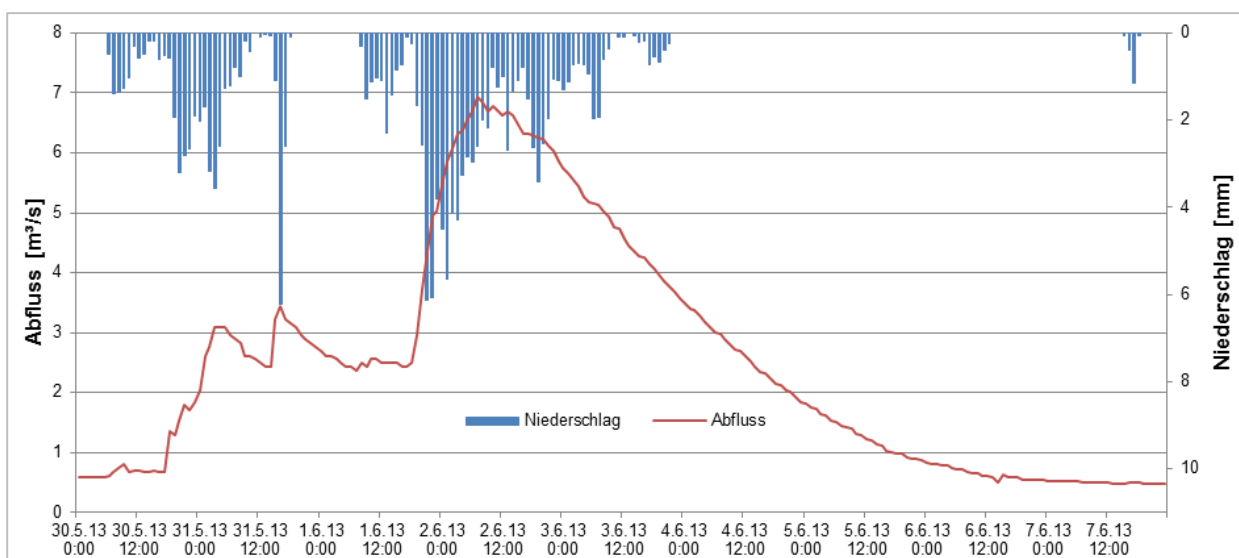


Abbildung 115: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Eibenstock 2/Rählerbach

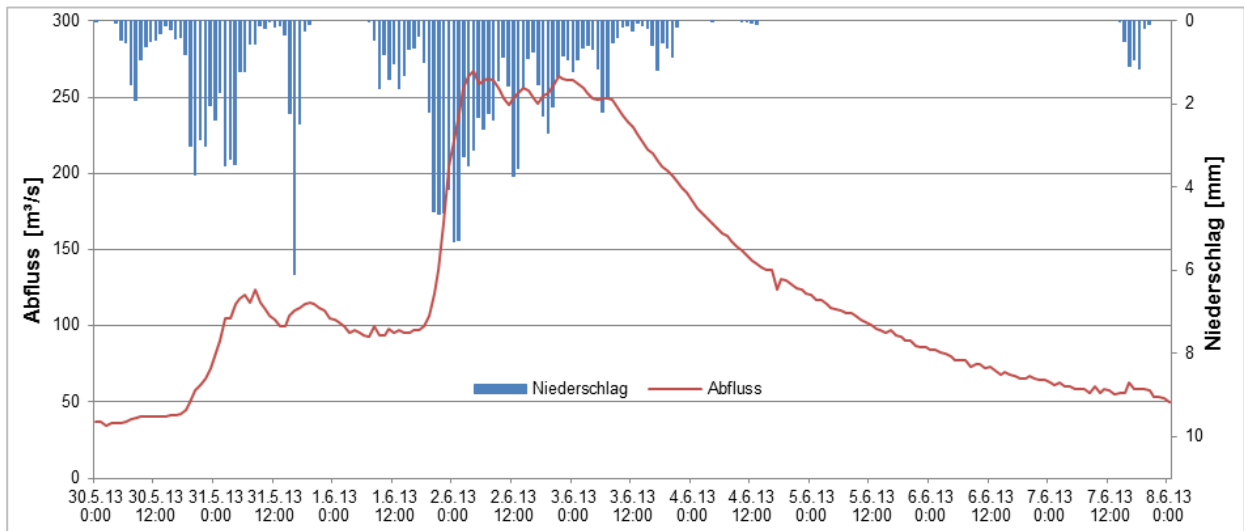


Abbildung 116: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Aue 3/Zwickauer Mulde

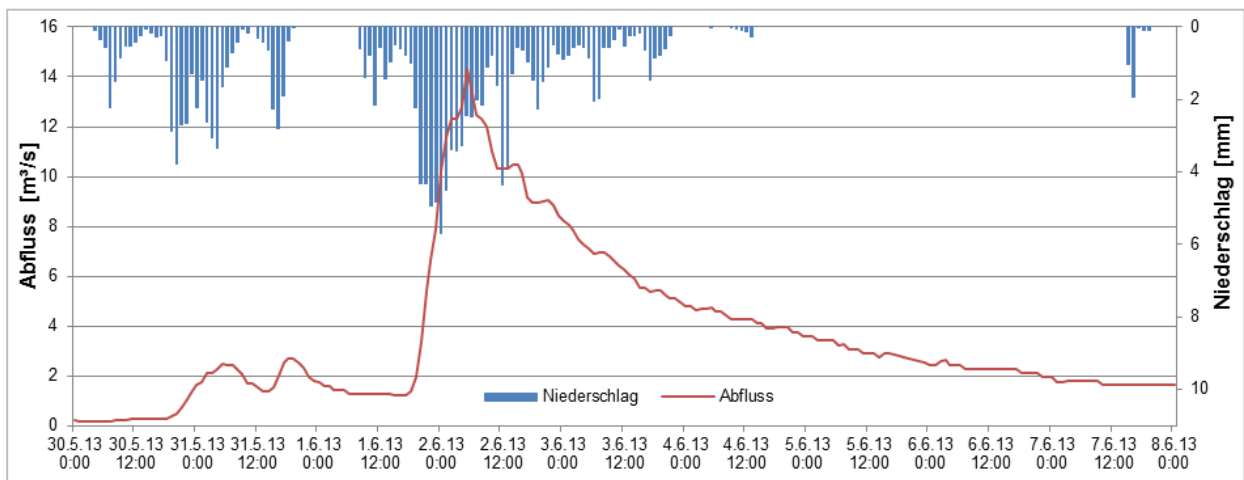


Abbildung 117: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Johanngeorgenstadt 2/ Breitenbach

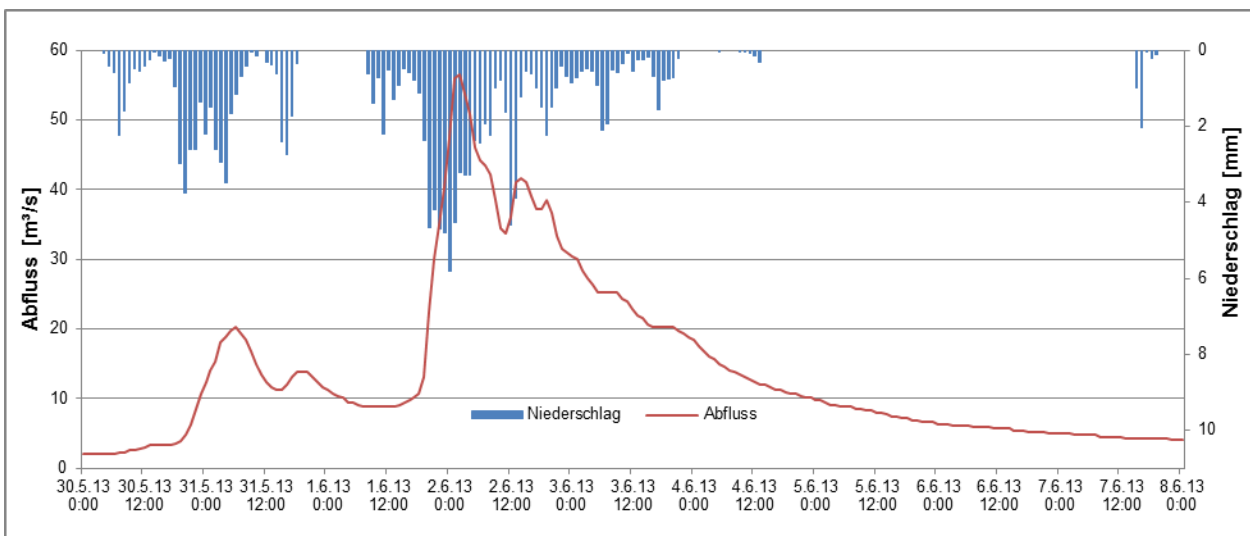


Abbildung 118: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Johanngeorgenstadt 4/ Schwarzwasser

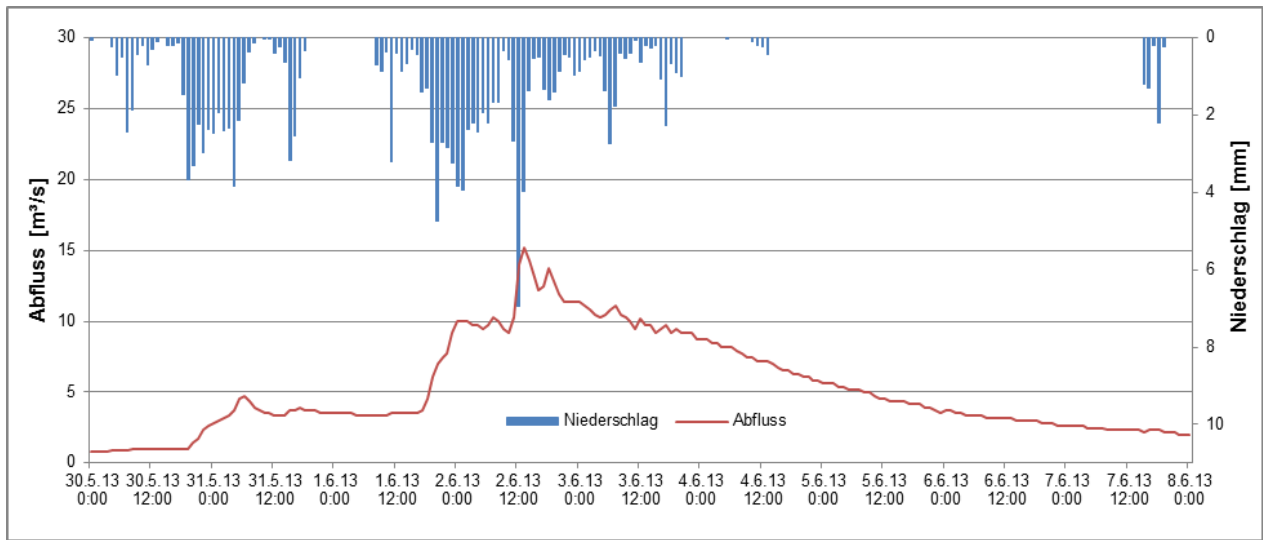


Abbildung 119: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Markersbach 1/Große Mittweida

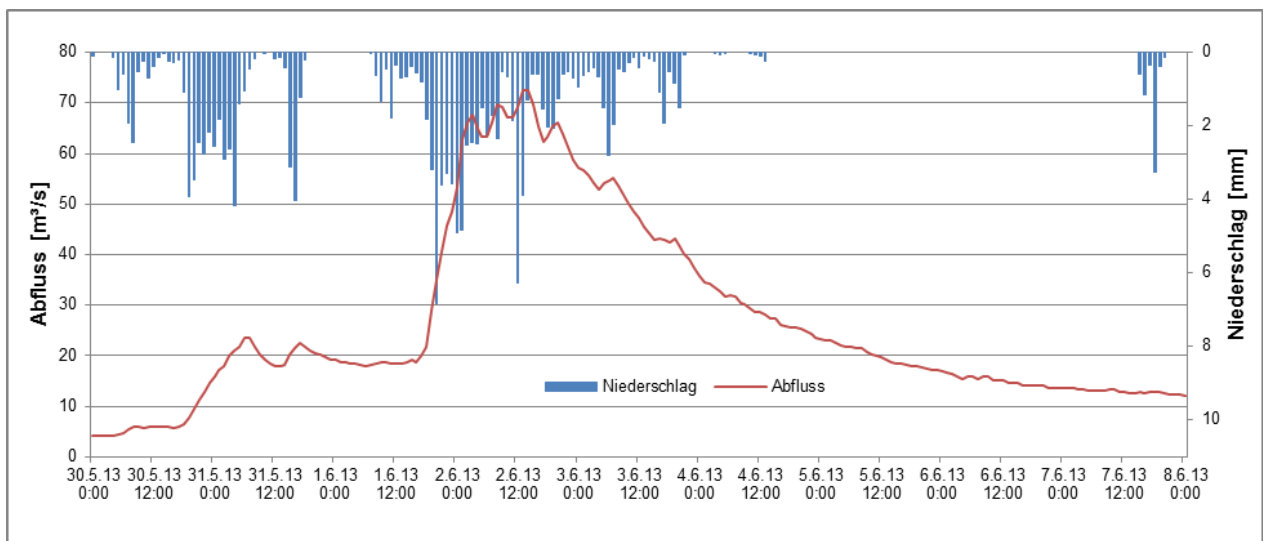


Abbildung 120: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Wildenau 1/Große Mittweida

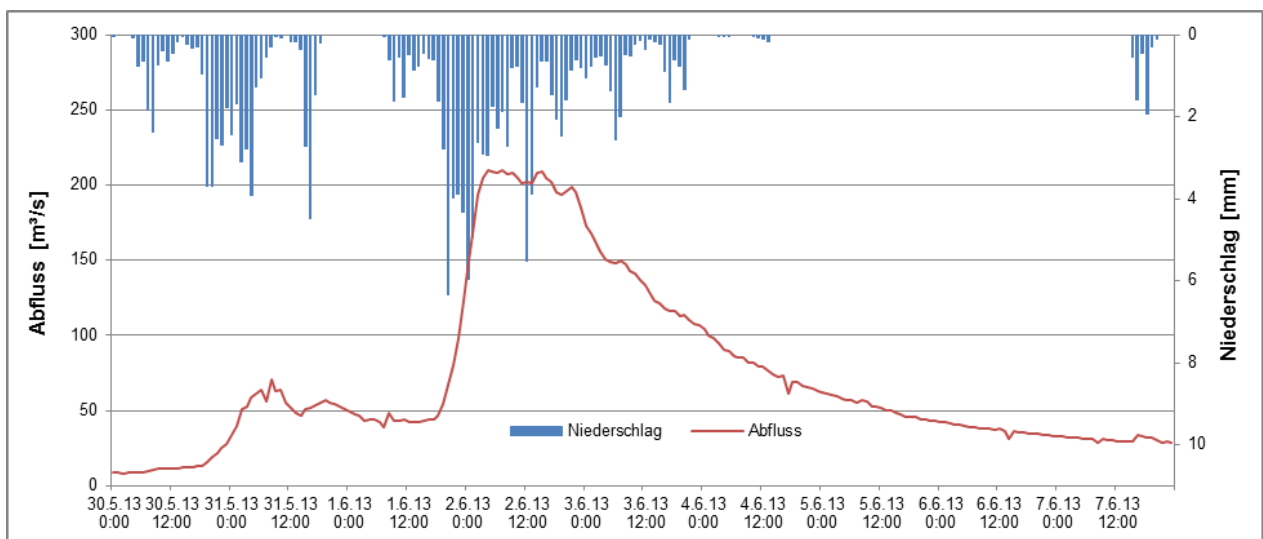


Abbildung 121: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Aue 1/Schwarzwasser

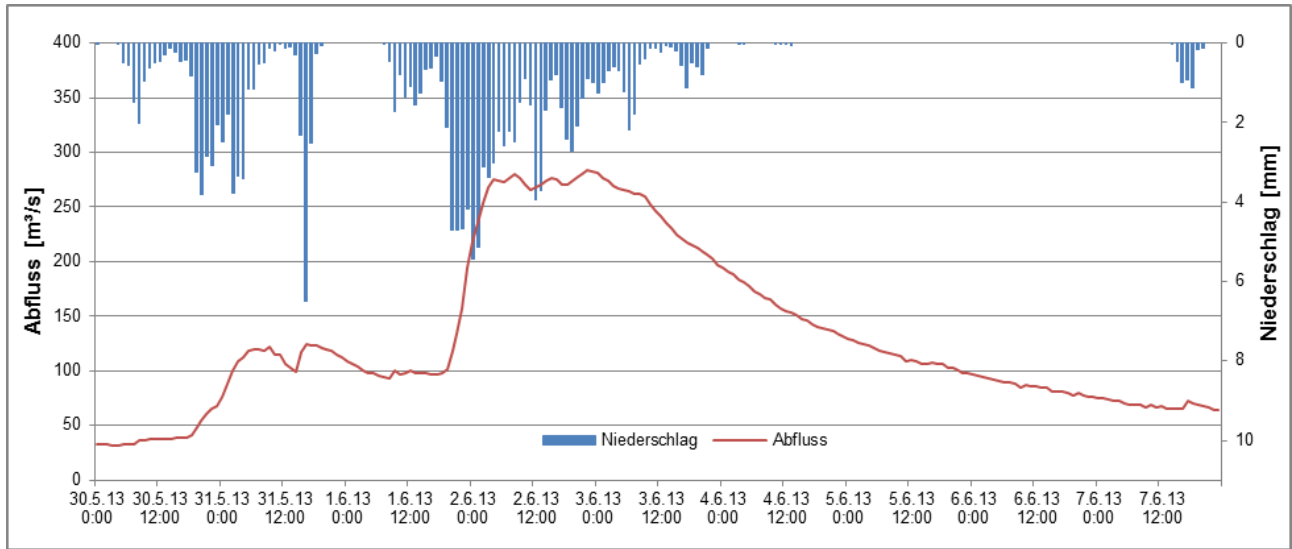


Abbildung 122: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Niederschlema/Zwickauer Mulde

Auch nördlich von Zwickau, im Bereich des Erzgebirgischen Beckens, waren hohe Zuflüsse aus dem Zwischengebiet zu verzeichnen, wie der Unterschied zwischen den Abflussganglinien der Pegel Zwickau-Pölbitz (Abbildung 124) und Wolkenburg (Abbildung 127) zeigt. Die dort befindlichen Pegel Niedermülsen 1 (Abbildung 125) und St. Egidien (Abbildung 126) zeigen entsprechend hohe Abflüsse und steile Verläufe der Hochwasserwellen. Wie aus Abbildung 123 ersichtlich, wird der steile Verlauf der Hochwasserwelle in Wechselburg maßgeblich durch die Zuflüsse aus dem Erzgebirgischen Becken bedingt.

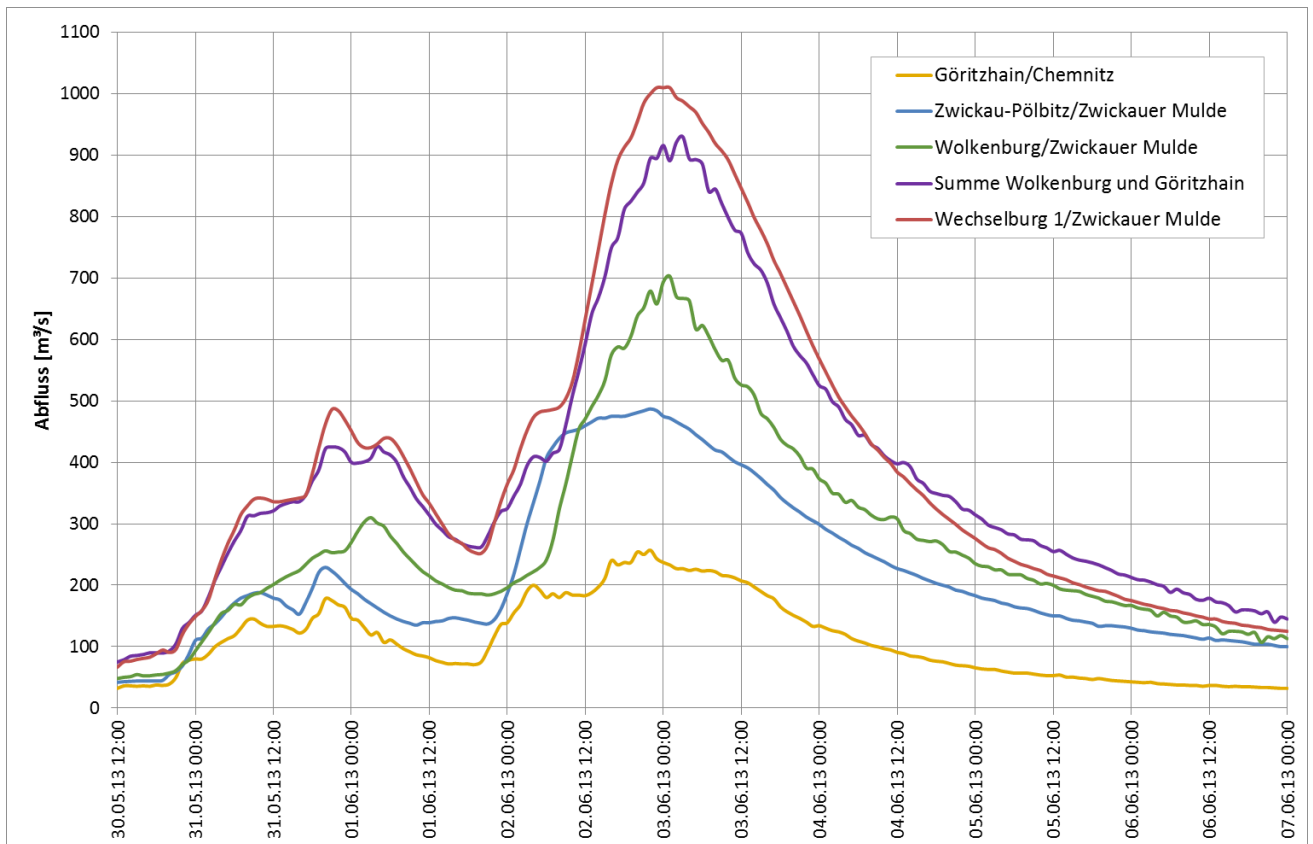


Abbildung 123: Abflussverlauf im Abschnitt von Zwickau bis Wechselburg

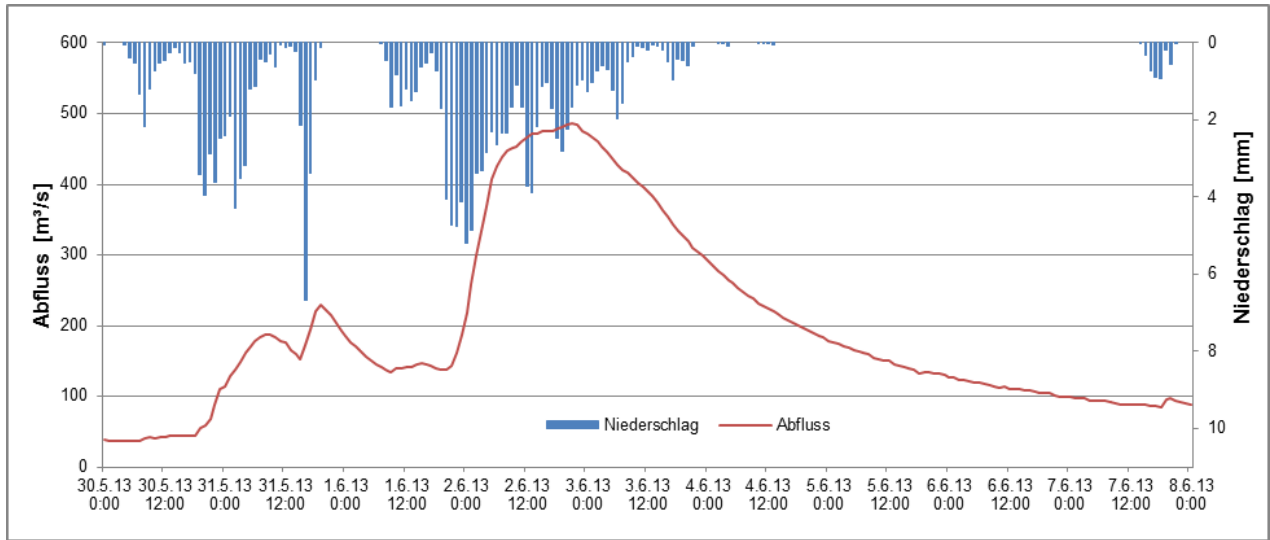


Abbildung 124: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Zwickau-Pölbitz/Zwickauer Mulde

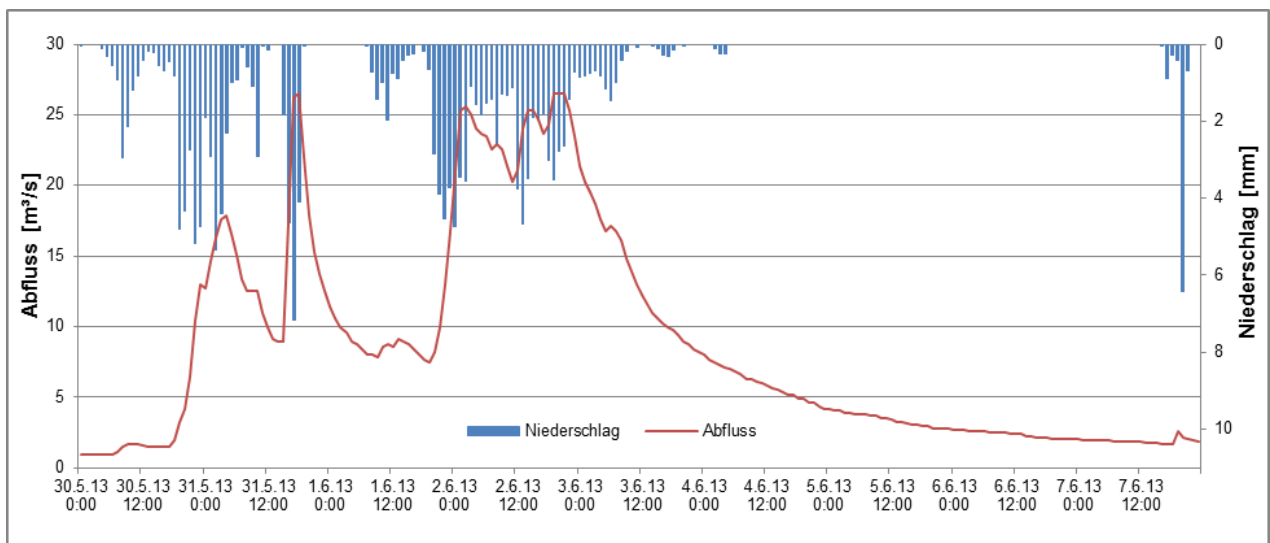


Abbildung 125: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Niedermülsen 1/Mülsenbach

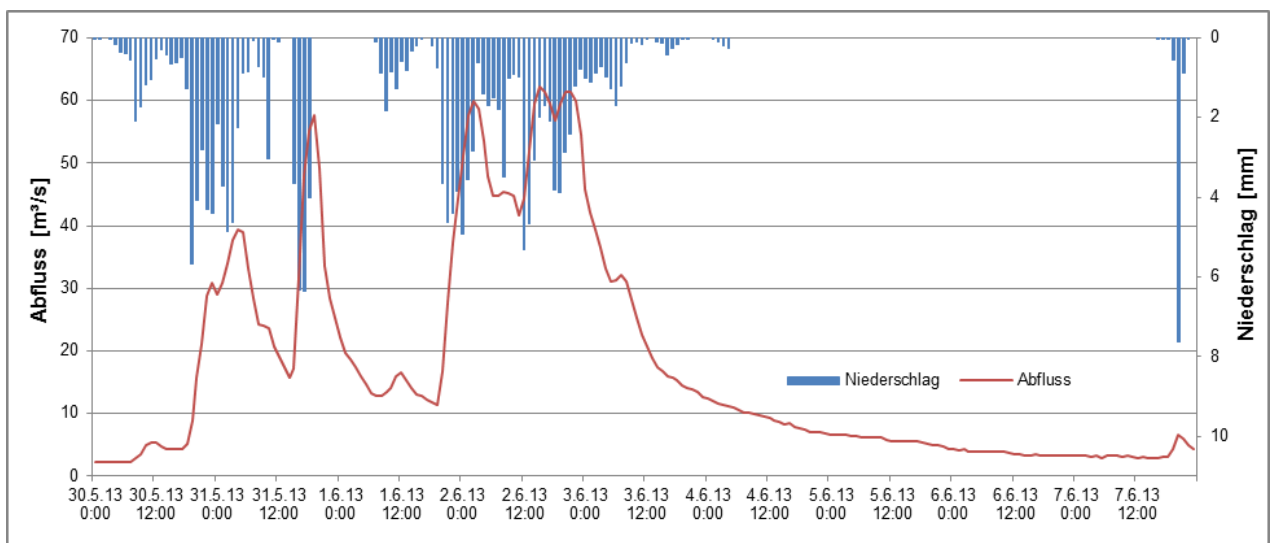


Abbildung 126: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel St. Egidien/Lungwitzbach

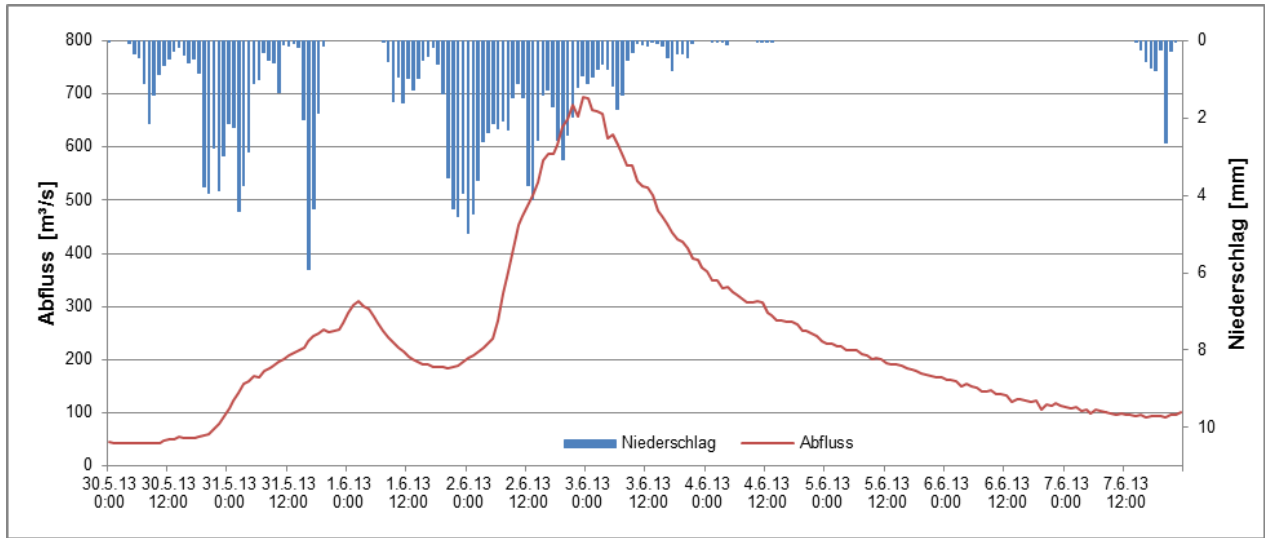


Abbildung 127: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Wolkenburg/Zwickauer Mulde

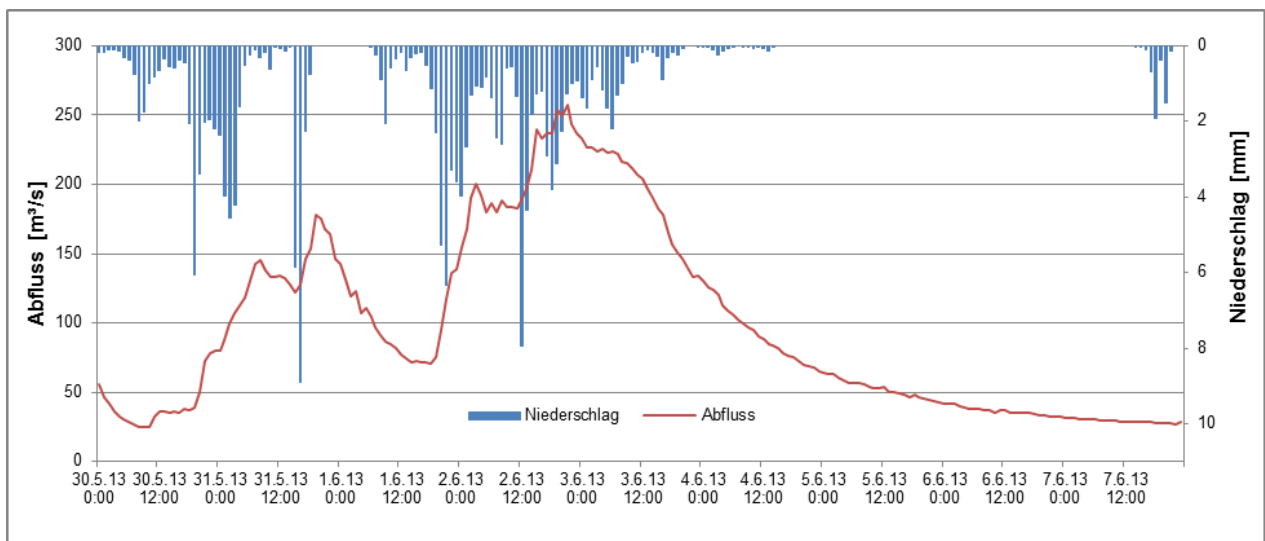


Abbildung 128: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Görzthain/Chemnitz

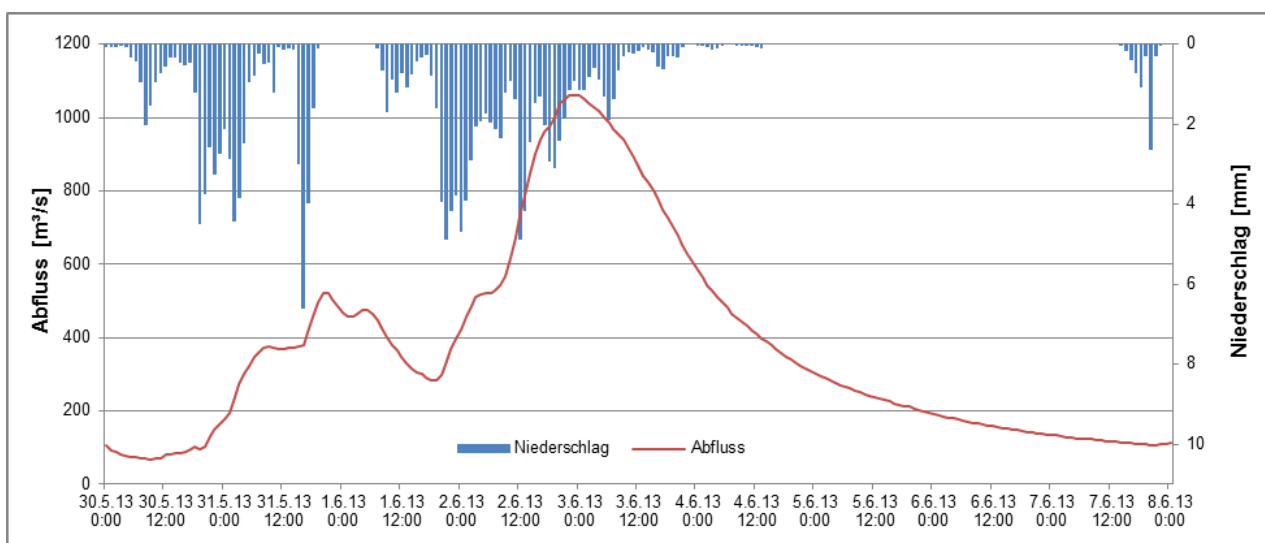


Abbildung 129: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Wechselburg 1/Zwickauer Mulde

Der Abflussverlauf im Einzugsgebiet der Chemnitz (Abbildung 130) wird durch die Wellenüberlagerung der Würschnitz und Zwönitz sowie die urbanen Abflüsse aus dem Raum Chemnitz geprägt. Die Würschnitz und Zwönitz weisen dabei gleichermaßen hohe Scheitelabflusspenden auf, wobei sich der Verlauf der Abflussganglinien zwischen der Würschnitz (Abbildung 134 und Abbildung 135) und der Zwönitz (Abbildung 132 und Abbildung 133) in Hinblick auf die Beharrungszeiten unterscheiden. Die Zwönitz zeigt bei nahezu gleicher Niederschlagsbelastung schnelle und kurzzeitigere Reaktionen. Der urbane Bereich der Stadt Chemnitz reagiert in Folge der unmittelbaren, speicherungsunabhängigen Abflussbildung direkt auf Niederschlag und bildet somit am Pegel Chemnitz 1/Chemnitz die zeitliche Niederschlagsverteilung noch deutlicher ab (Abbildung 136). Durch den Wellenablauf und die Zuflüsse aus dem Zwischengebiet vergleichmäßig sich der Ganglinienverlauf bis zum Pegel Göritz/Chemnitz nur geringfügig (Abbildung 137).

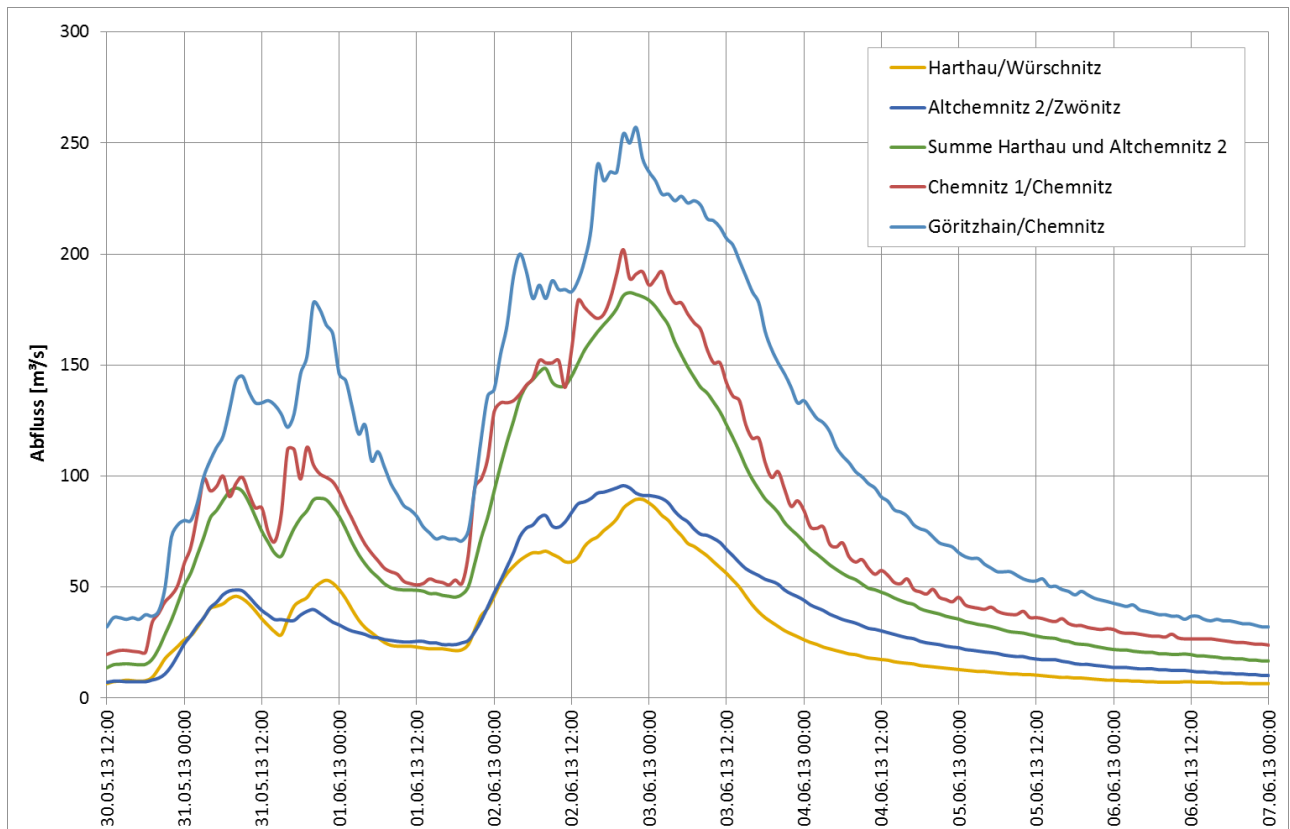


Abbildung 130: Abflussverlauf im Einzugsgebiet der Chemnitz

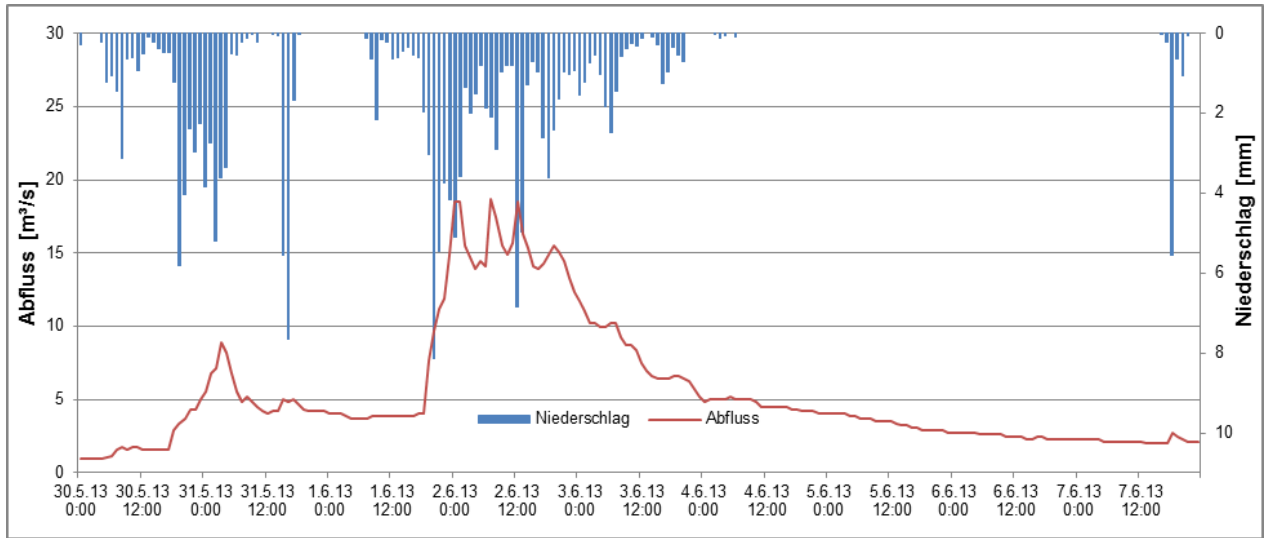


Abbildung 131: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Niederzwönitz/Zwönitz

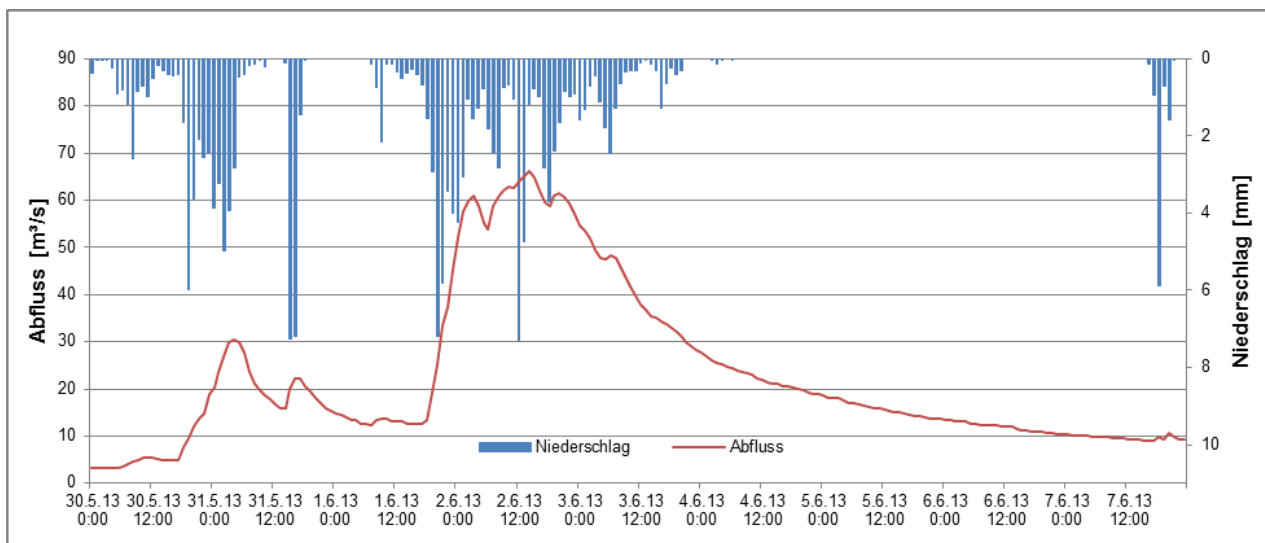


Abbildung 132: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Burkhardtsdorf 2/Zwönitz

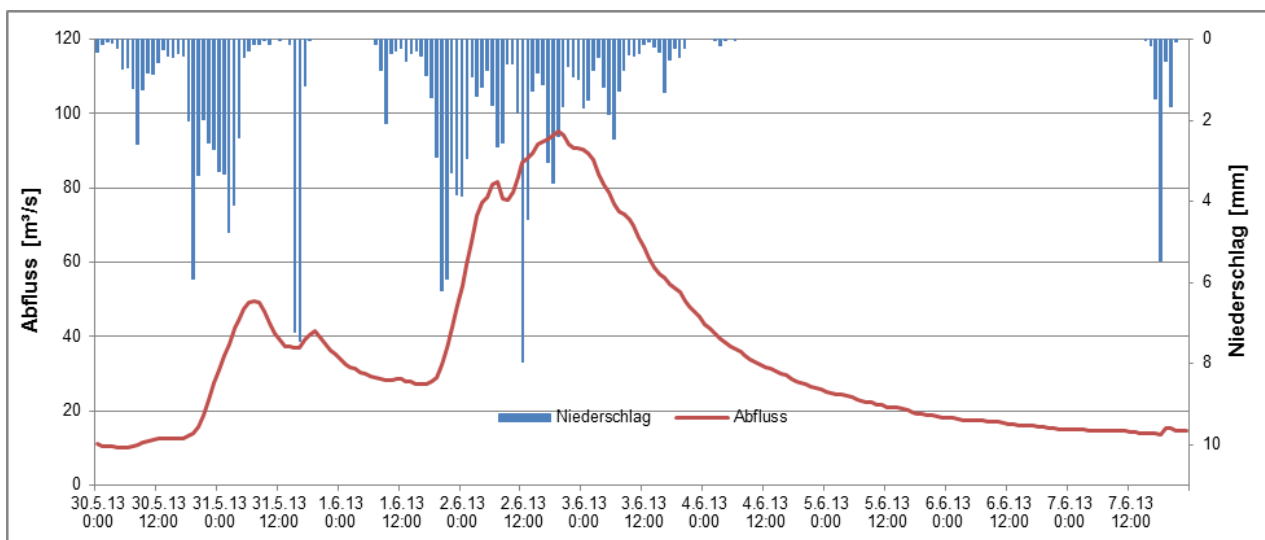


Abbildung 133: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Altchemnitz 2/Zwönitz

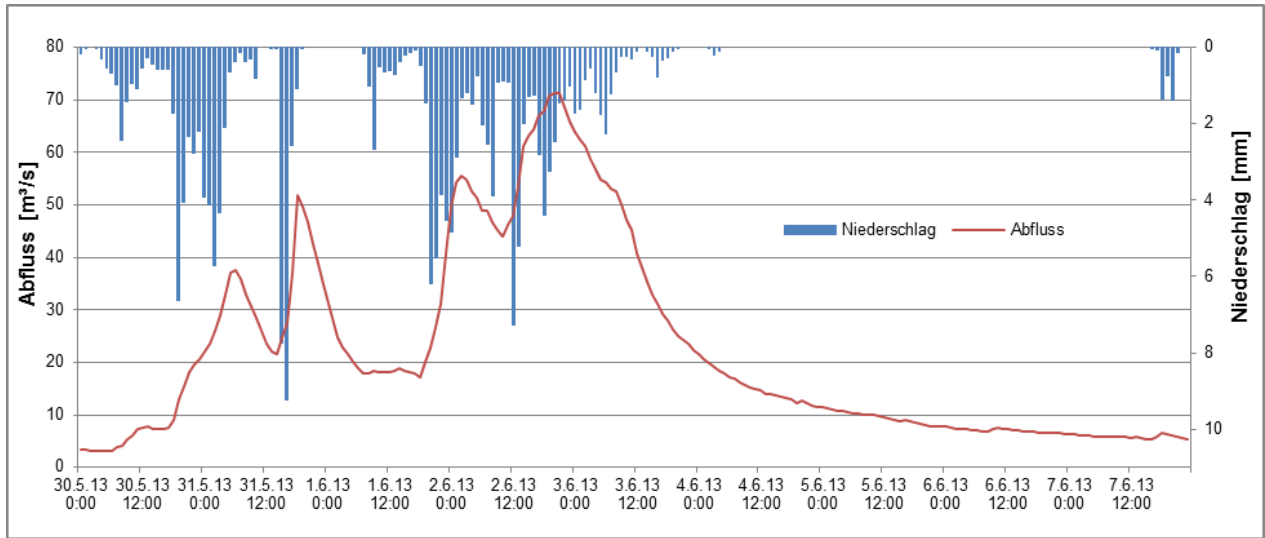


Abbildung 134: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Jahnsdorf 1/Würschnitz

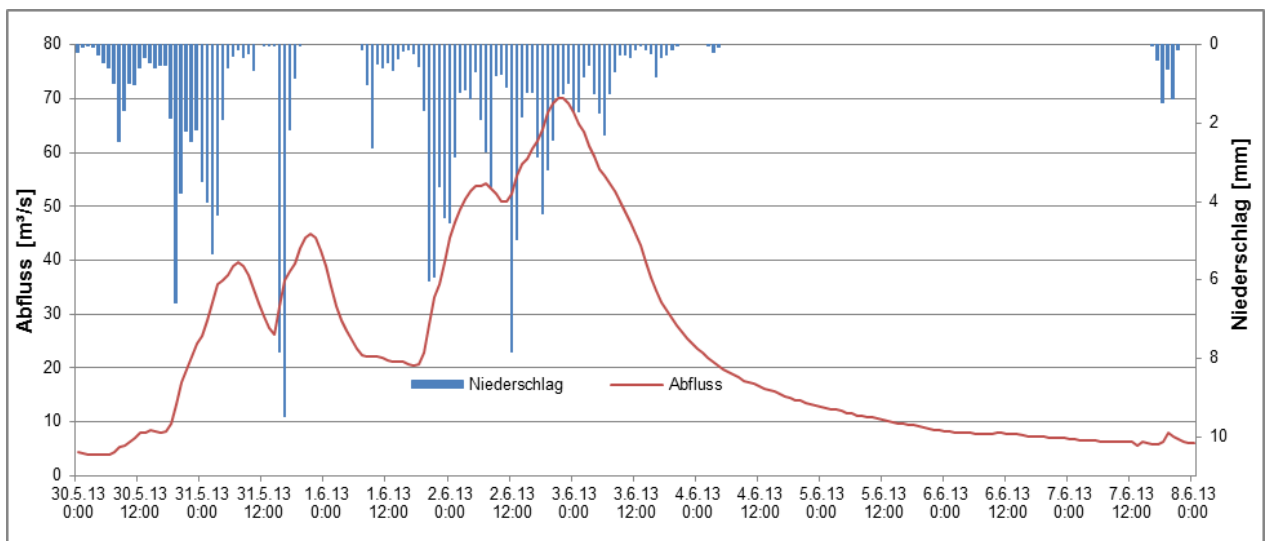


Abbildung 135: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Harthau/Würschnitz

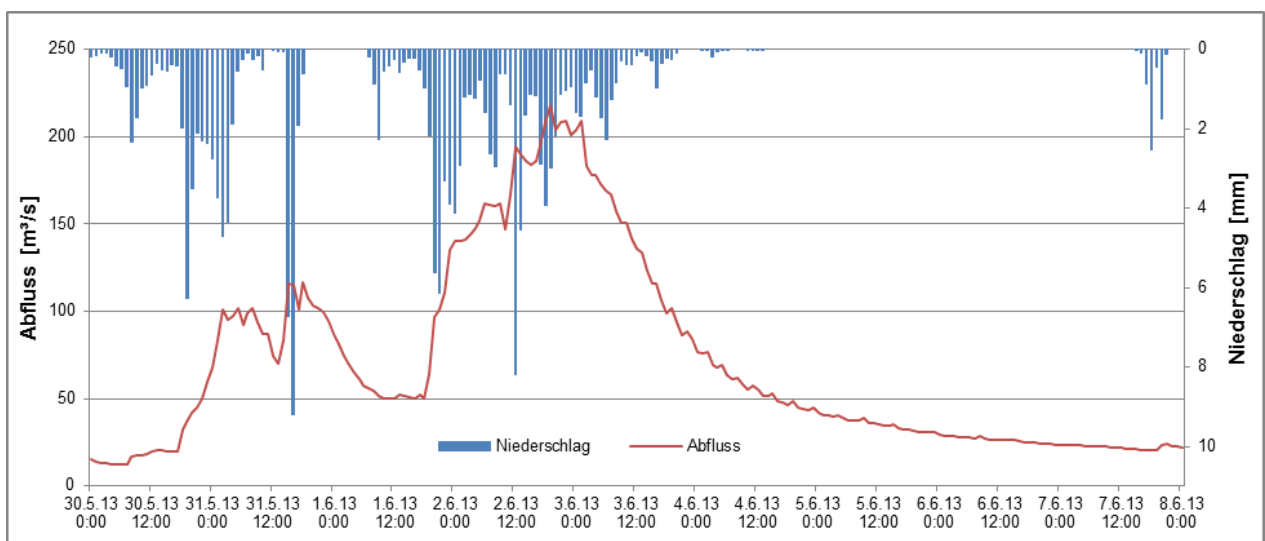


Abbildung 136: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Chemnitz 1/Chemnitz

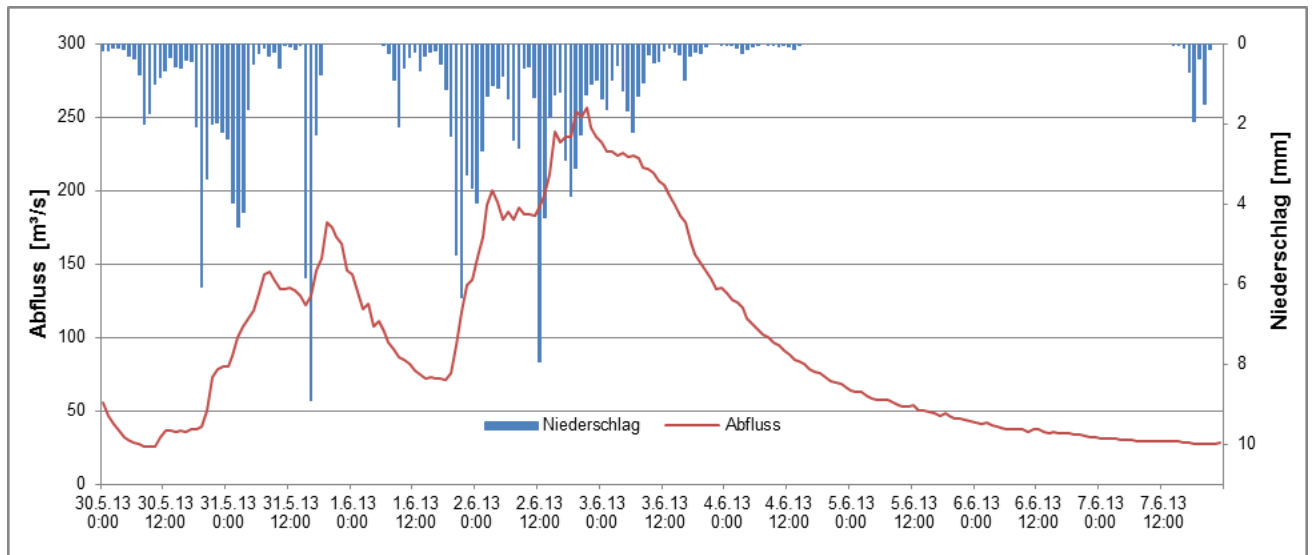


Abbildung 137: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Göritzhain/Chemnitz

9.3.3 Abflussverlauf im Einzugsgebiet der Zschopau/Flöha

Die Hochwasserabflüsse im Verlauf der unteren Zschopau werden durch den Zusammenfluss der Zschopau mit der Flöha bestimmt. Wie Abbildung 138 zeigt, kam es beim Hochwasser 2013 zur Überlagerung zeitgleicher Scheitel. Im Bereich des oberen Mittleren Erzgebirges zeigen die Pegel Annaberg 1 (Abbildung 139), Tannenberg (Abbildung 140) und Wiesa (Abbildung 141) trotz gleicher Niederschlagsbelastungen unterschiedliche Reaktionen. Ist der gleichmäßigere Verlauf der Abflussganglinie am Pegel Tannenberg gegenüber dem Pegel Annaberg 1 durch das doppelt so große Einzugsgebiet zu erklären, unterscheidet sich die Hochwasserganglinie in Wiesa gravierend von der in Tannenberg. Im weiteren Verlauf vergleichmäßigt sich die Hochwasserwelle der oberen Zschopau weiter (Abbildung 142, Abbildung 143). Die Pegel im oberen Flöha-Gebiet zeigen ebenfalls deutliche Unterschiede im Abflussverhalten der jeweiligen Einzugsgebiete. Besonders hervorzuheben ist hier der Pegel Rothenthal (Abbildung 144). Wie aus Abbildung 171 ersichtlich, weist dieser Pegel eine atypisch lange Zeitspanne zwischen Niederschlagsbeginn und dem Ende der Beharrungszeit auf. Weniger ausgeprägt ist die Plateaubildung der Abflussganglinie im Bereich hoher Abflüsse in der Schwarzen Pockau (Abbildung 146) und der oberen Flöha (Pegel Olbernhau 3, Abbildung 145), wobei hier auch der Einfluss der Talsperre Rauschenbach berücksichtigt werden muss. Nach dem Zusammenfluss von Flöha und Zschopau kommt es unterhalb des Pegels Lichtenwalde 1 (Abbildung 149) zu einer Wellenabflachung, die durch den Vergleich der Ganglinie in Lichtenwalde 1 mit der am Pegel Kriebstein UP (Abbildung 150) deutlich wird.

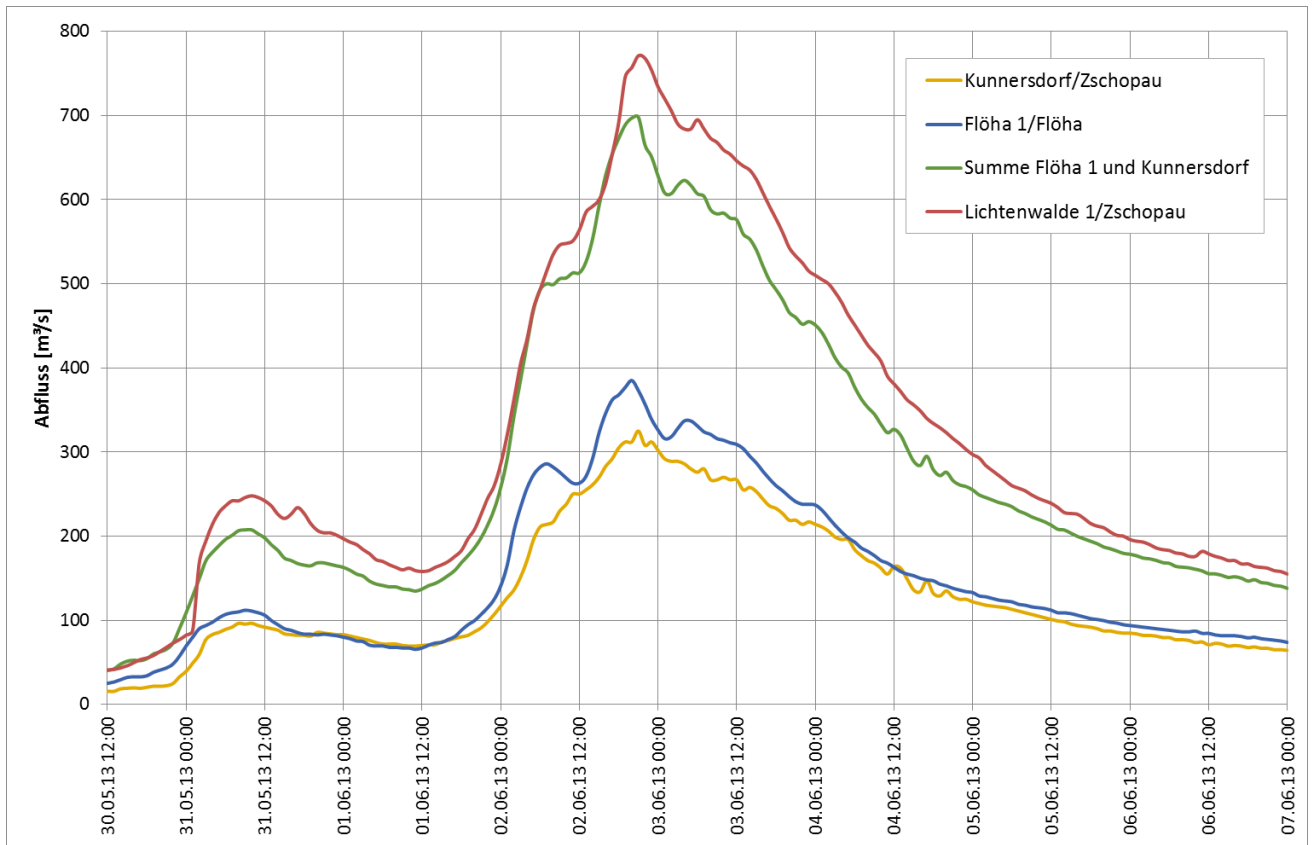


Abbildung 138: Abflussverlauf im Flussgebiet von Zschopau/Flöha

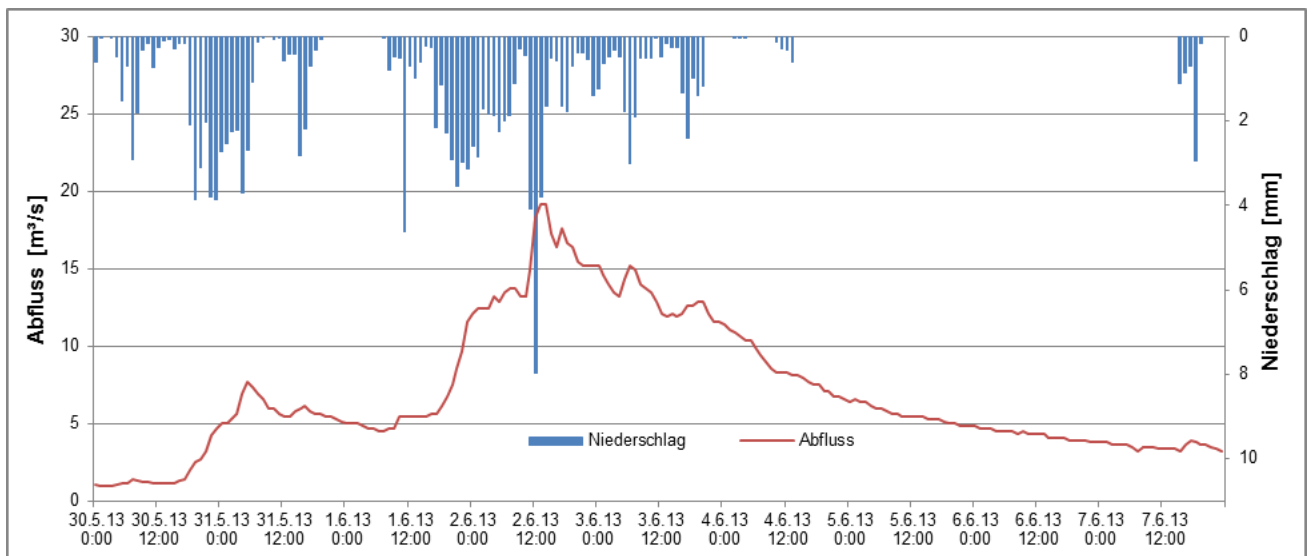


Abbildung 139: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Annaberg 1/Sehma

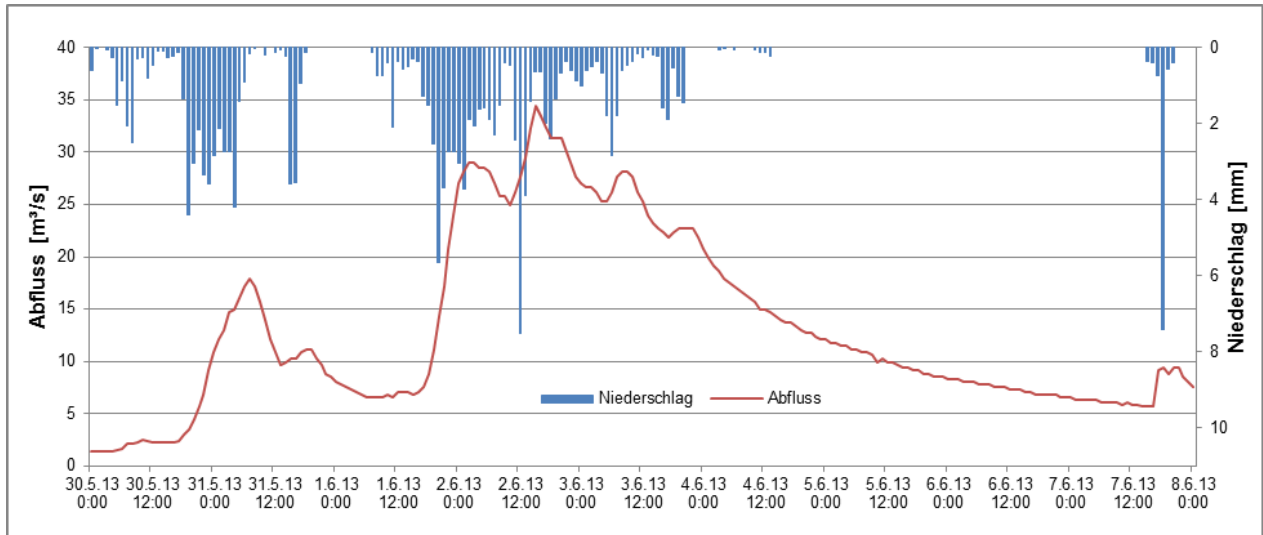


Abbildung 140: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Tannenber/Zschopau

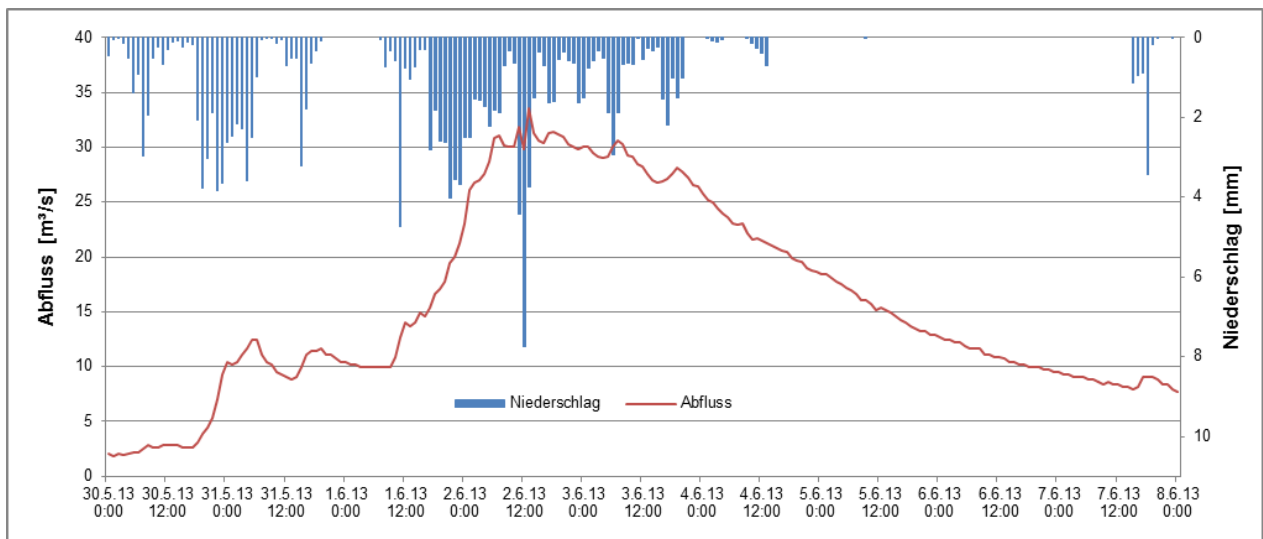


Abbildung 141: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Wiesa/Pöhlbach

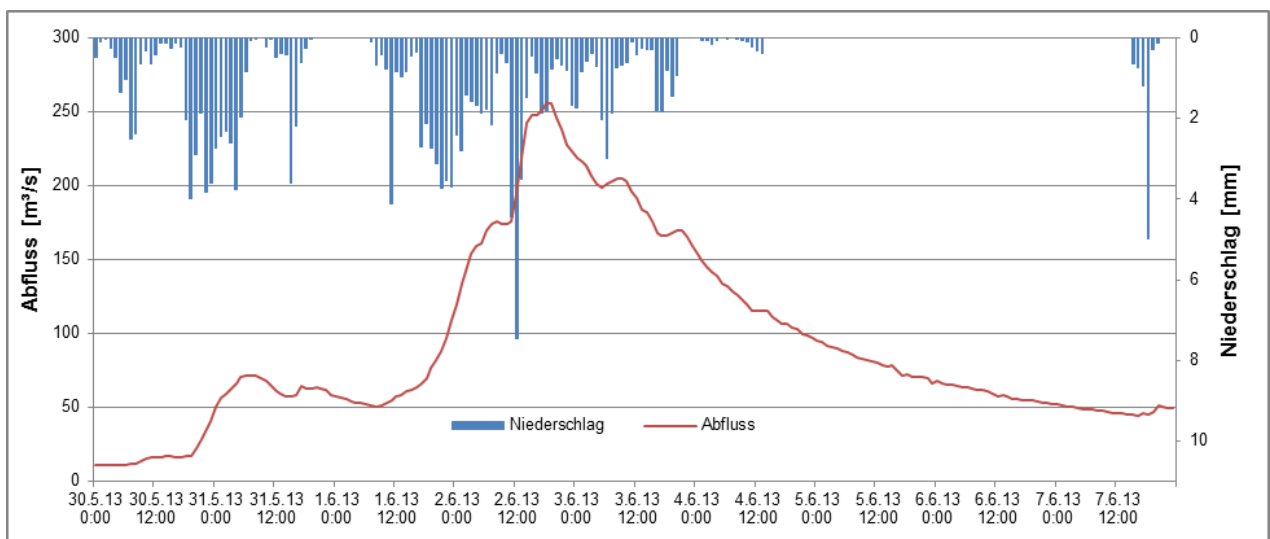


Abbildung 142: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Hopfgarten/Zschopau

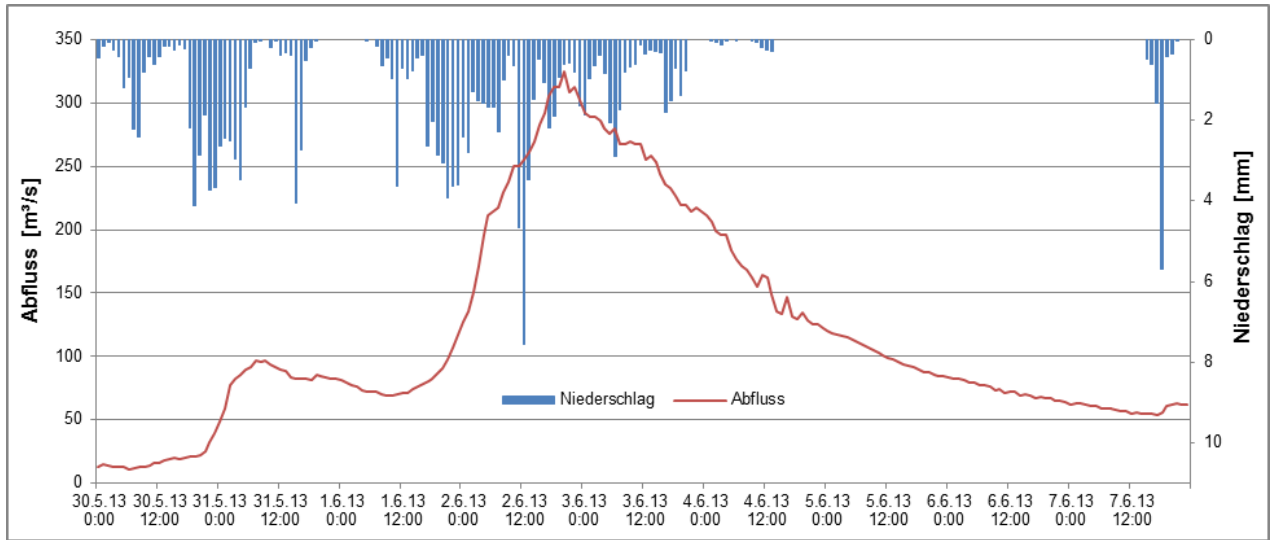


Abbildung 143: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Kunnersdorf/Zschopau

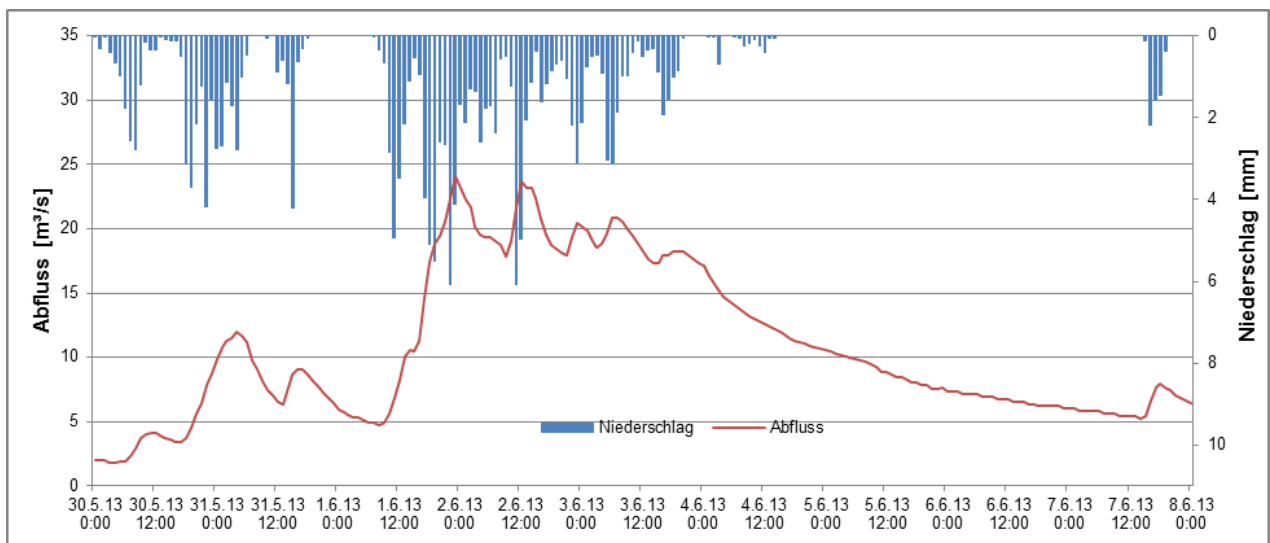


Abbildung 144: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Rothenhal/Natzschung

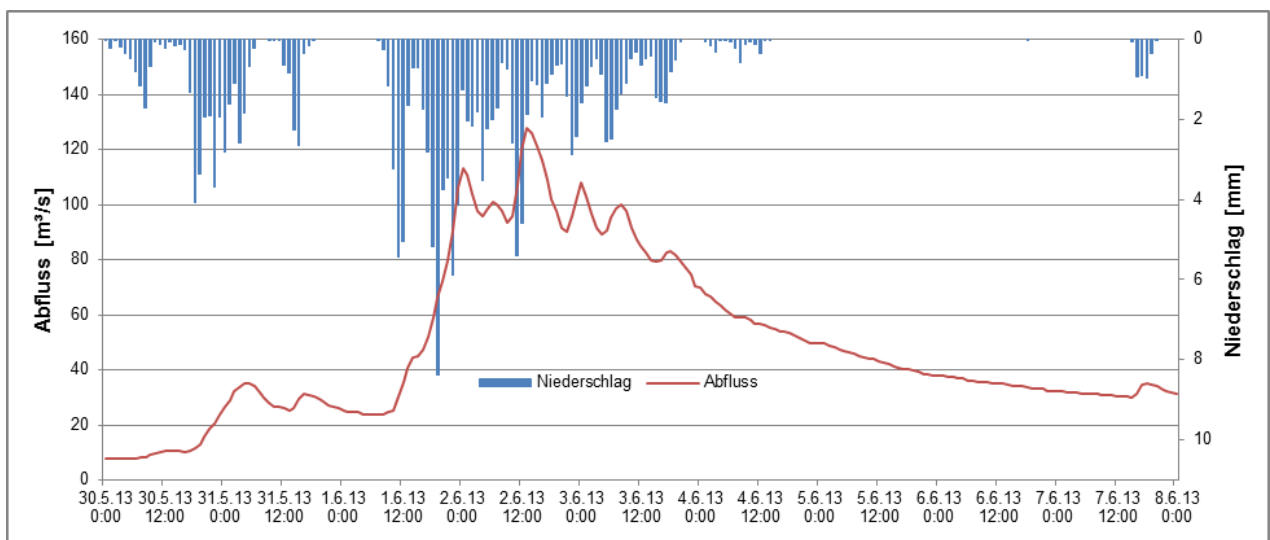


Abbildung 145: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Olbernhau 3/Flöha

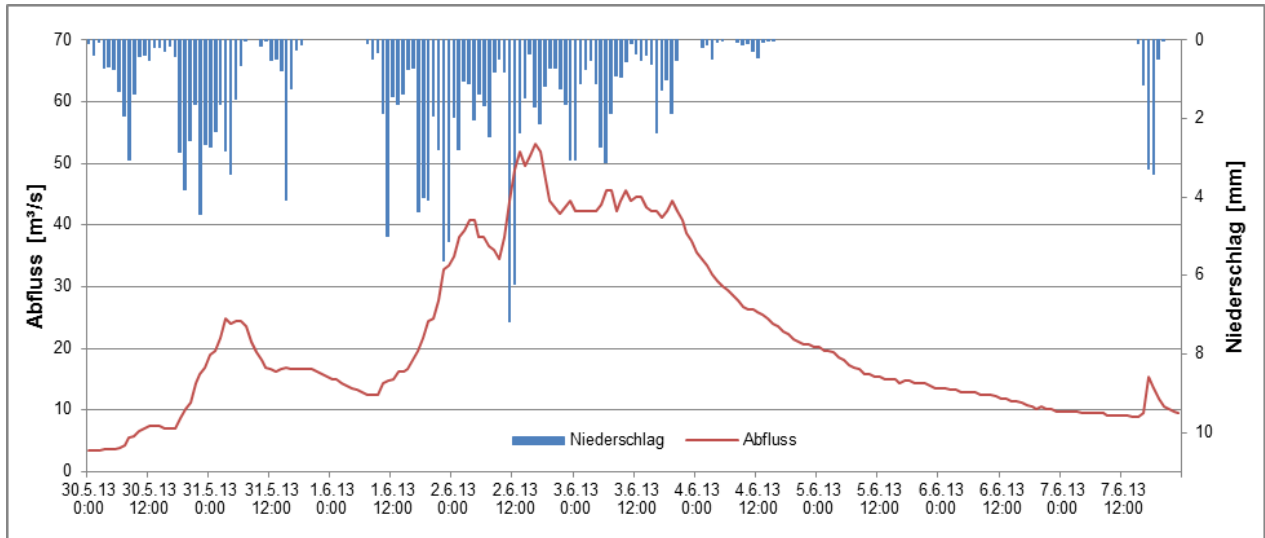


Abbildung 146: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Zöblitz/Schwarze Pockau

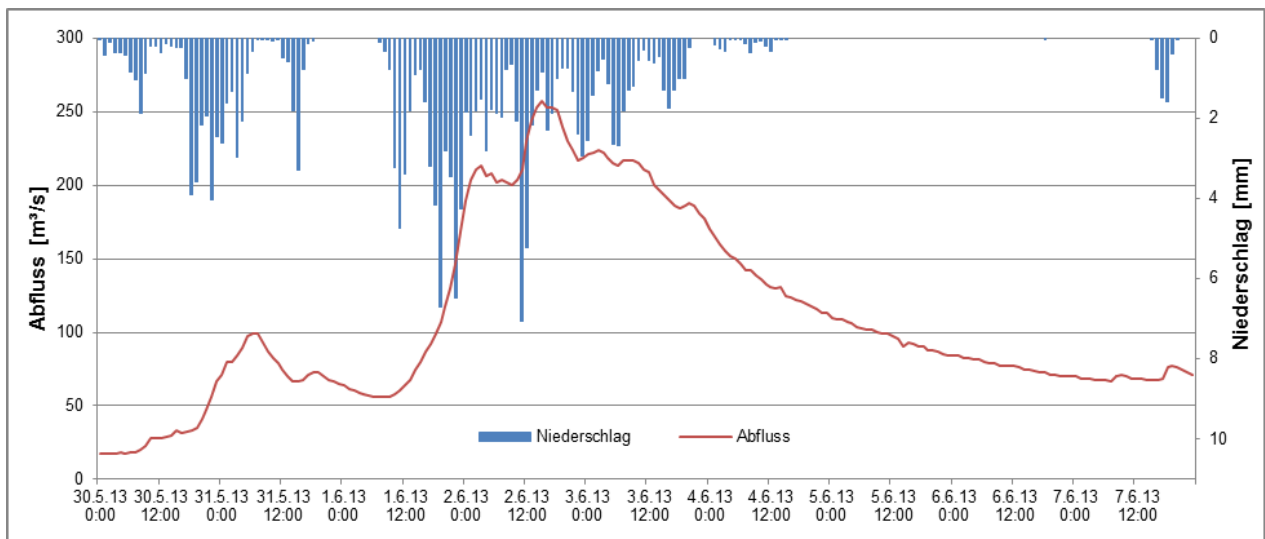


Abbildung 147: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Borstendorf/Flöha

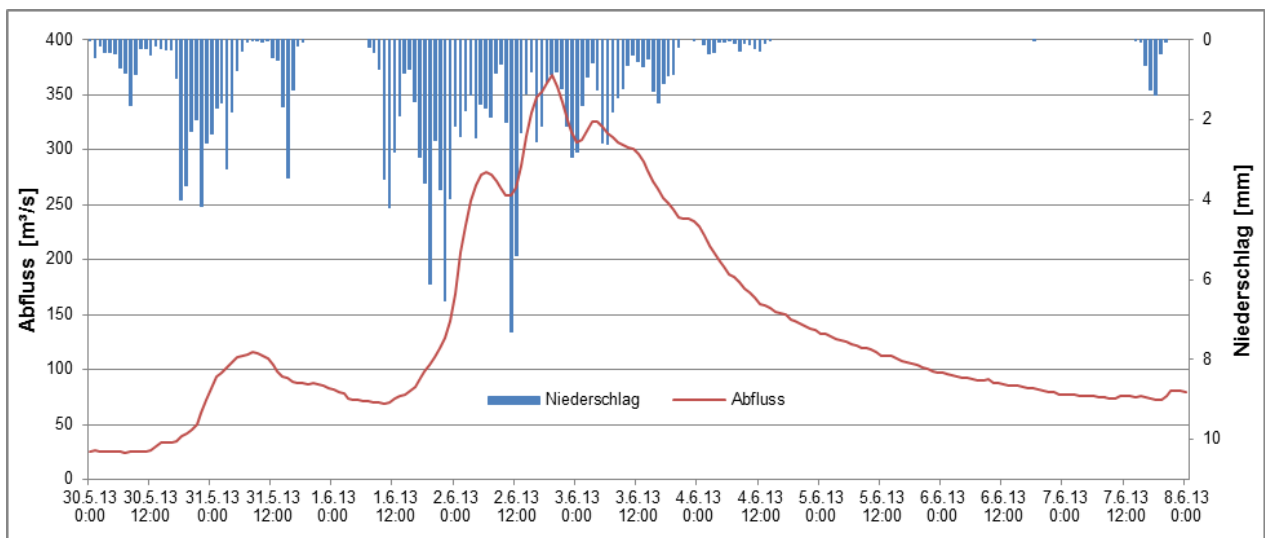


Abbildung 148: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Flöha 1/Flöha

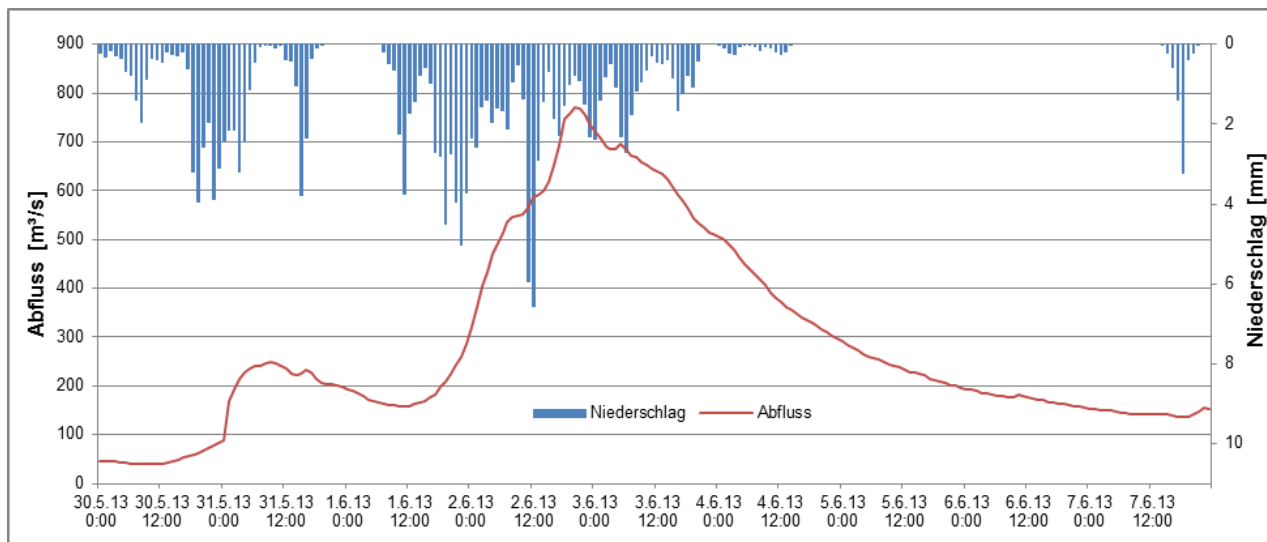


Abbildung 149: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Lichtenwalde 1/Zschopau

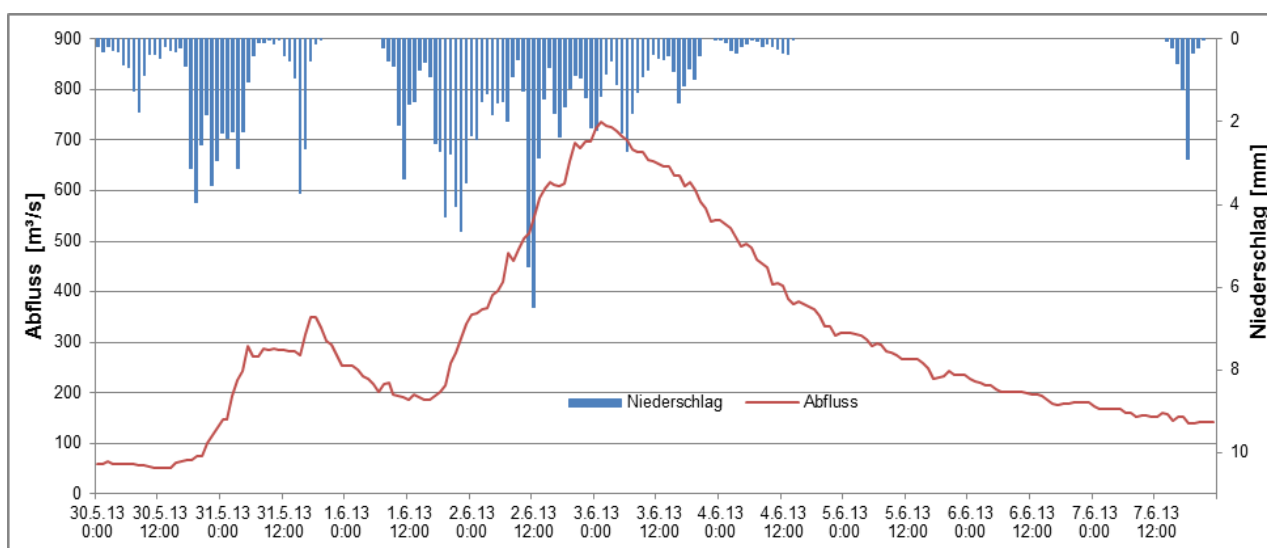


Abbildung 150: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Kriebstein UP/Zschopau

9.3.4 Abflussverlauf im Einzugsgebiet der Freiburger Mulde

Der Abflussverlauf in der Freiburger Mulde vor Einmündung der Zschopau (Pegel Mahlitzsch, Abbildung 158) wird stark durch die hohen Zuflüsse aus dem Mulde-Lösshügelland (Pegel Böhrigen) geprägt (Abbildung 151). Auch die Bobritzsch (Pegel Krummenhennersdorf 1, Abbildung 154) weist einen höheren Abflussbeiwert (0,74) auf als das Gebiet des Oberlaufs der Freiburger Mulde (Pegel Berthelsdorf, Abbildung 153, Abflussbeiwert 0,58), ebenso auch das Einzugsgebiet des Chemnitzbaches (Pegel Wolfgrund, Abbildung 152, Abflussbeiwert 0,52). Während die Striegis einen wesentlichen Beitrag zur Abflussfülle liefert, wird die Form der Ganglinie am Pegel Mahlitzsch durch den zweigipfligen Verlauf der Hochwasserwelle aus der oberen Freiburger Mulde (vgl. Pegel Nossen 1, Abbildung 155) geprägt, die wiederum hauptsächlich durch den Zufluss der Bobritzsch (Pegel Krummenhennersdorf 1, Abbildung 154) bedingt ist.

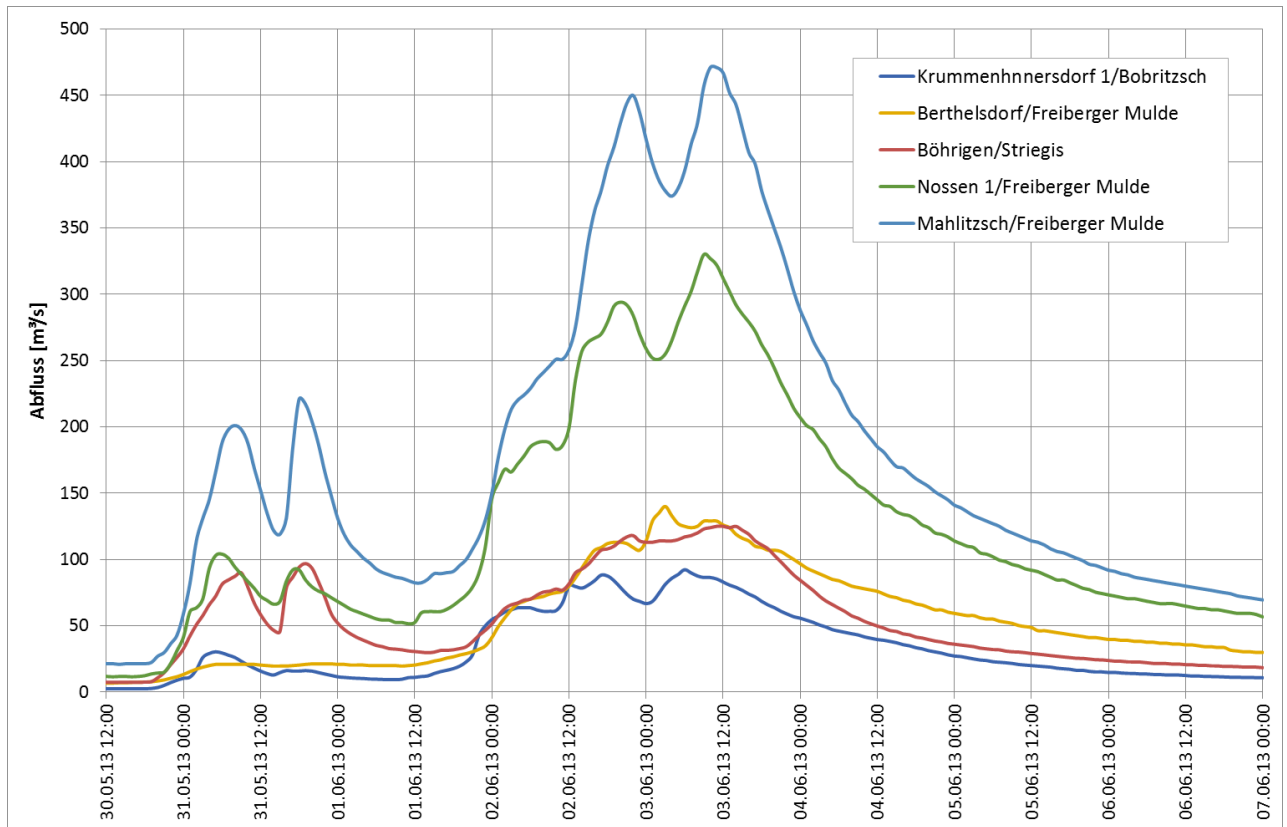


Abbildung 151: Abflussverlauf im Einzugsgebiet der Freiberger Mulde

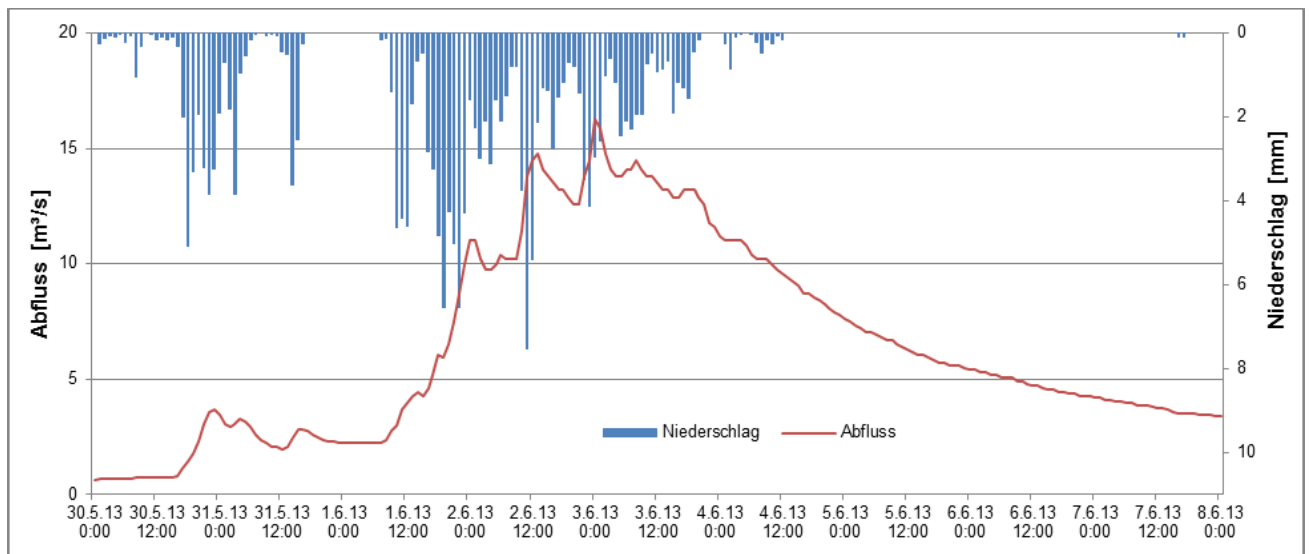


Abbildung 152: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Wolfsgrund/Chemnitzbach

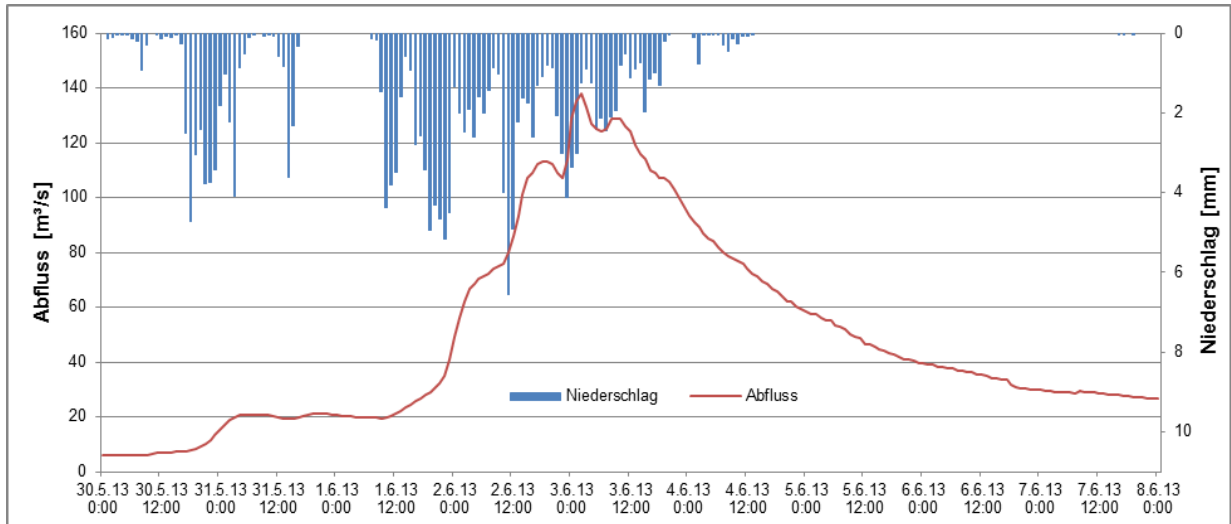


Abbildung 153: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Berthelsdorf/Freiberger Mulde

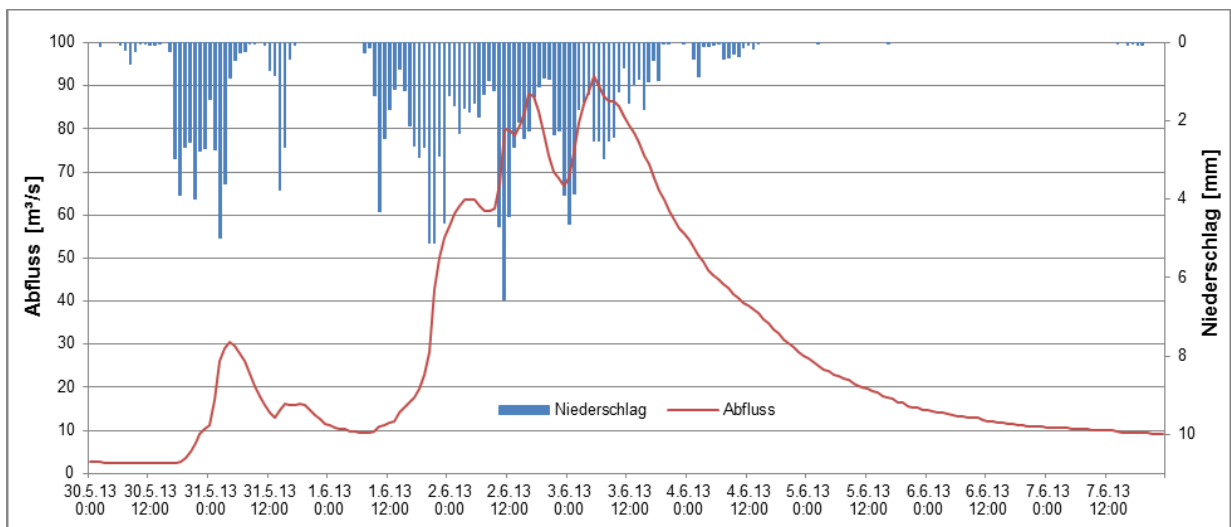


Abbildung 154: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Krummenhennersdorf 1/ Bobritzsch

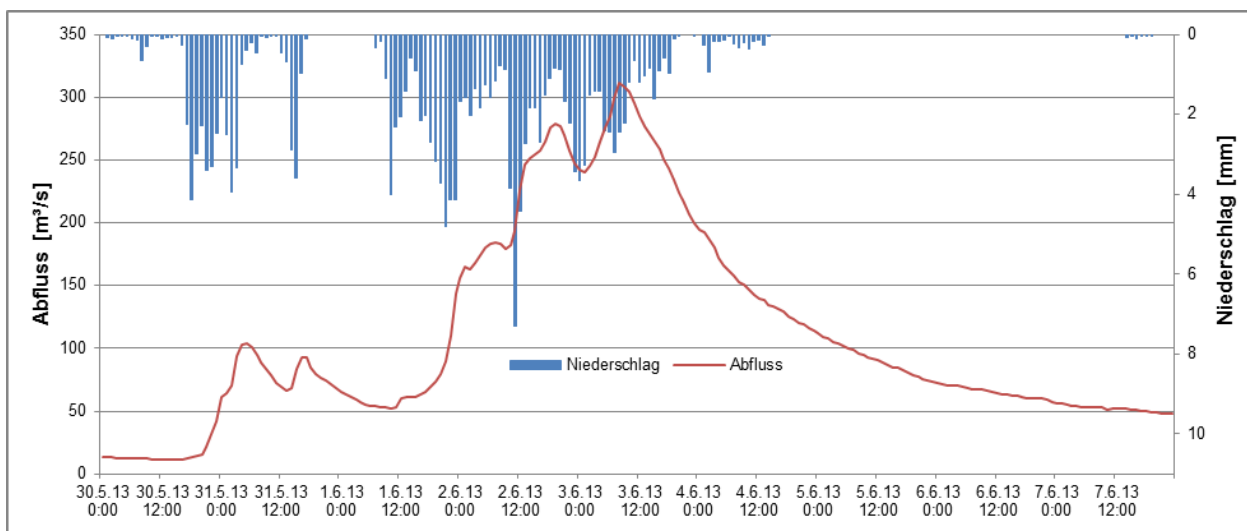


Abbildung 155: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Nossen 1/Freiberger Mulde

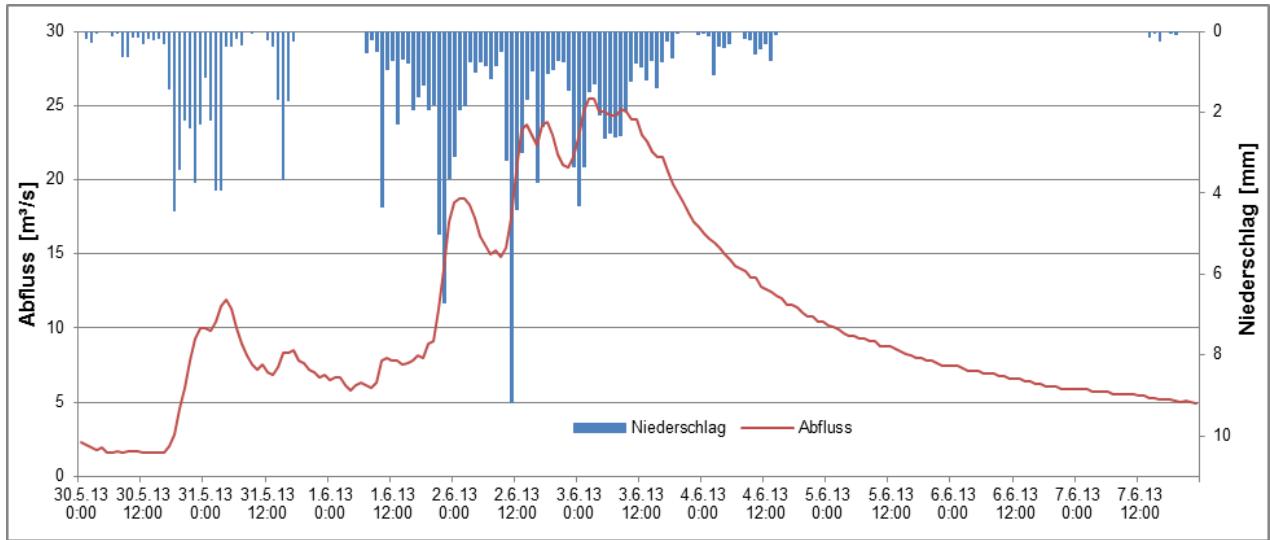


Abbildung 156: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Oberschöna/Große Striegis

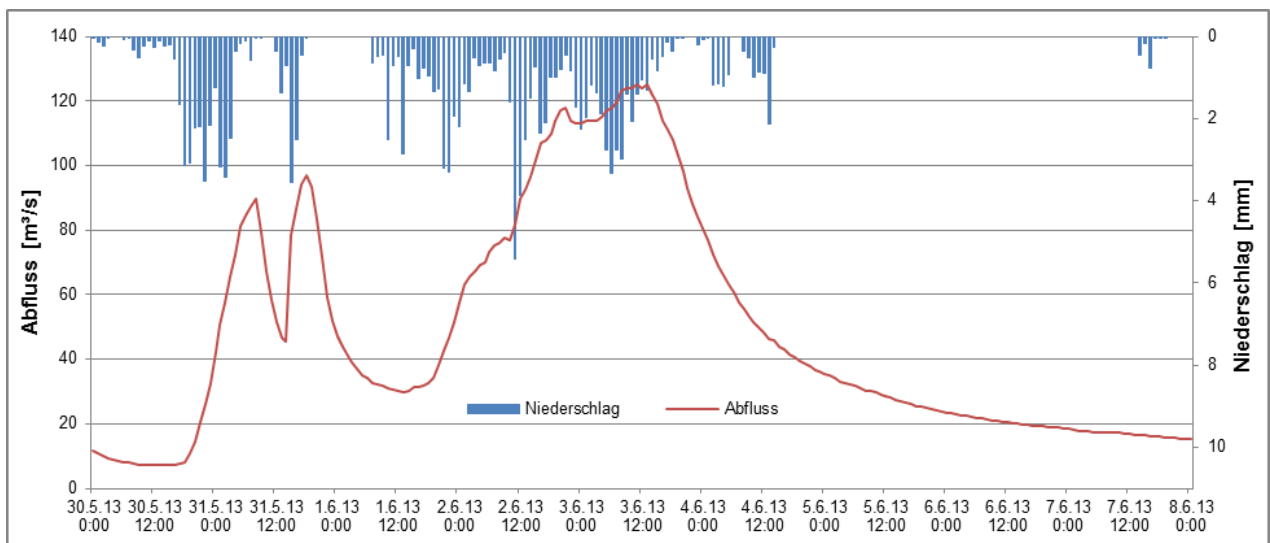


Abbildung 157: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Böhrigen/Striegis

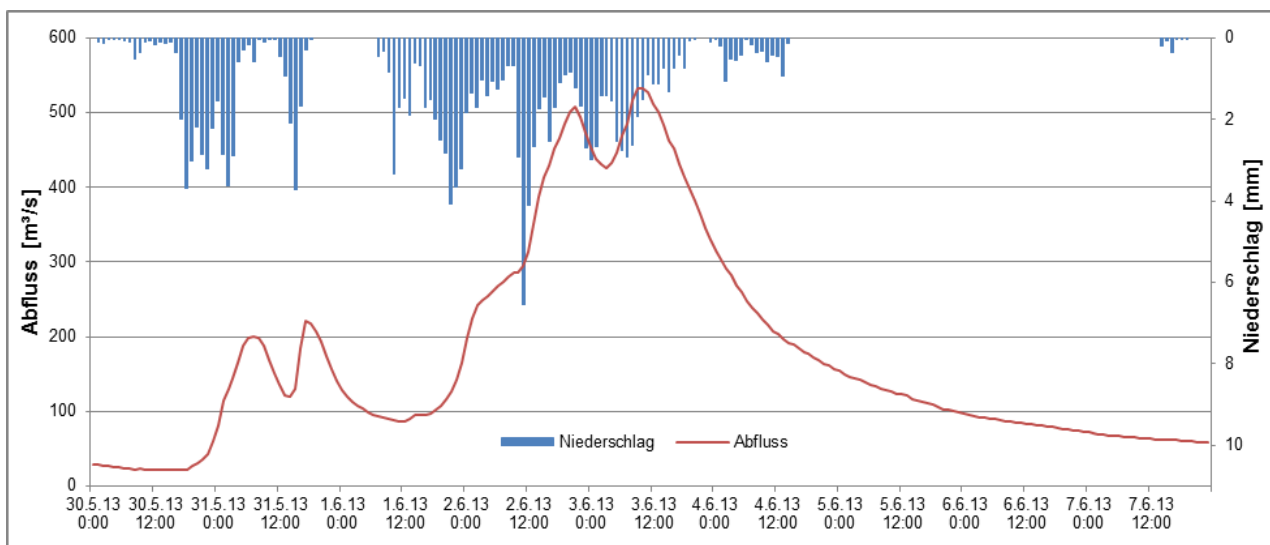


Abbildung 158: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Mahlitzsch/Freiburger Mulde

9.3.5 Abflussverlauf in der Vereinigten Mulde

Der Pegel Golzern 1 erfasst die Summe der Zuflüsse aus der Zwickauer und der Freiburger Mulde (Abbildung 159). Allerdings zeigt sich trotz Berücksichtigung der zeitlichen Verschiebung der Zuflussganglinien eine Abweichung in der Volumenbilanz (Abbildung 160), die im wesentlichen auf der immanenten Ungenauigkeit bei der zeitlichen Verschiebung der Zuflussganglinien und der nicht berücksichtigten Abflachung beim Wellenablauf beruht. Die gemessene Abflussganglinie in Golzern (Abbildung 163) liegt unter der Summenlinie der Abflüsse von Leisnig und Colditz (Abbildung 161, Abbildung 162). Der Abflussbeiwert des Flussgebietes der Zwickauer Mulde ist höher (0,63) als der entsprechende Wert der Freiburger Mulde (0,58). Weil die Abflussbeiwerte der jeweils nächsten flussaufwärts gelegenen Pegel (Wechselburg 1 an der Zwickauer Mulde, ebenfalls 0,63) Mahlitzsch (0,69) und Kriebstein UP (0,59) in einem ähnlich hohen Bereich liegen, erscheint der geringere Abflussbeiwert in Golzern (0,55) als zu niedrig.

Im weiteren Verlauf der Vereinigten Mulde verändert sich die Form der Hochwasserwelle. Der Ganglinienverlauf am Pegel Bad Dübén 1 (Abbildung 164) ist neben der fließzeitbedingten Verschiebung durch eine deutliche Verminderung des Scheitelabflusses infolge von Deichüberströmungen und -brüchen gekennzeichnet.

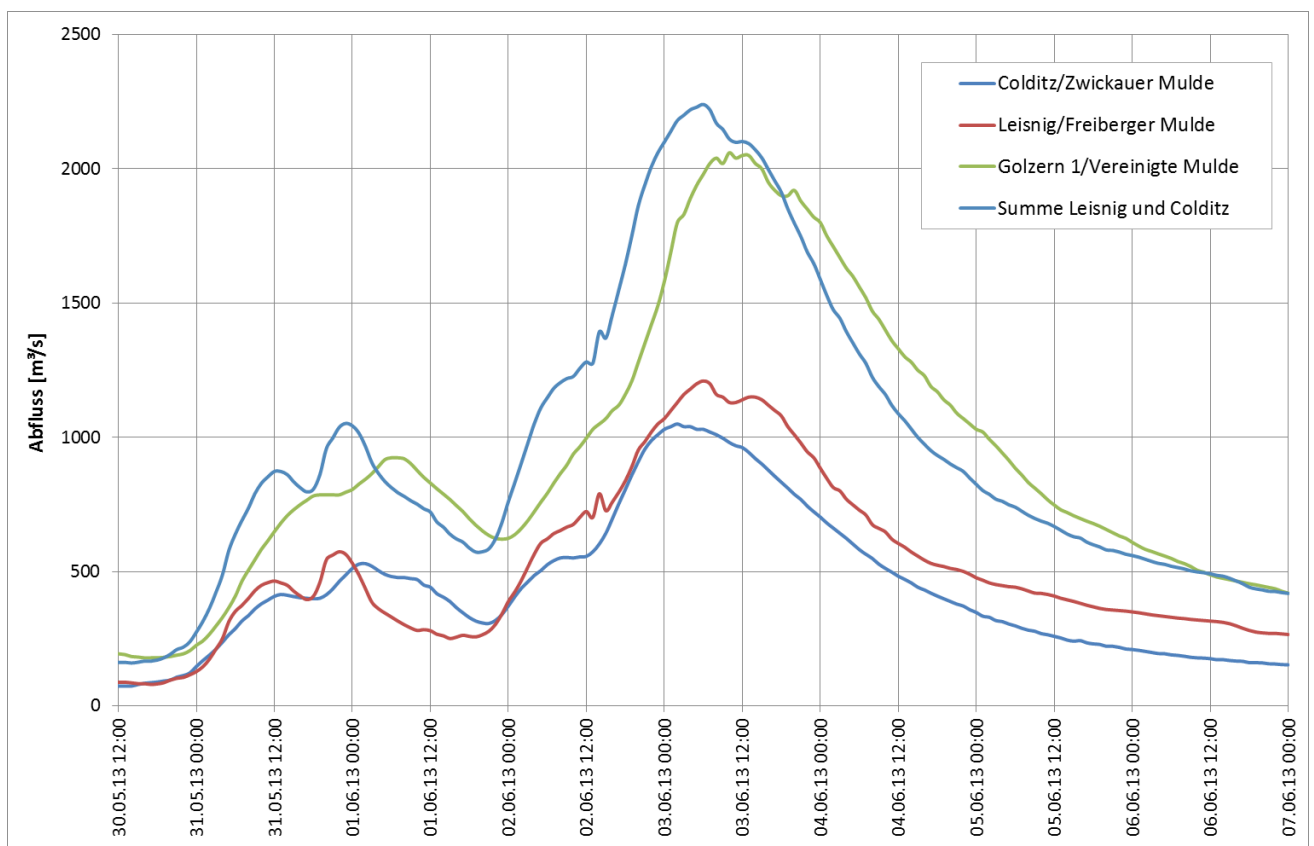


Abbildung 159: Abflussverlauf am Zusammenfluss von Zwickauer und Freiburger Mulde

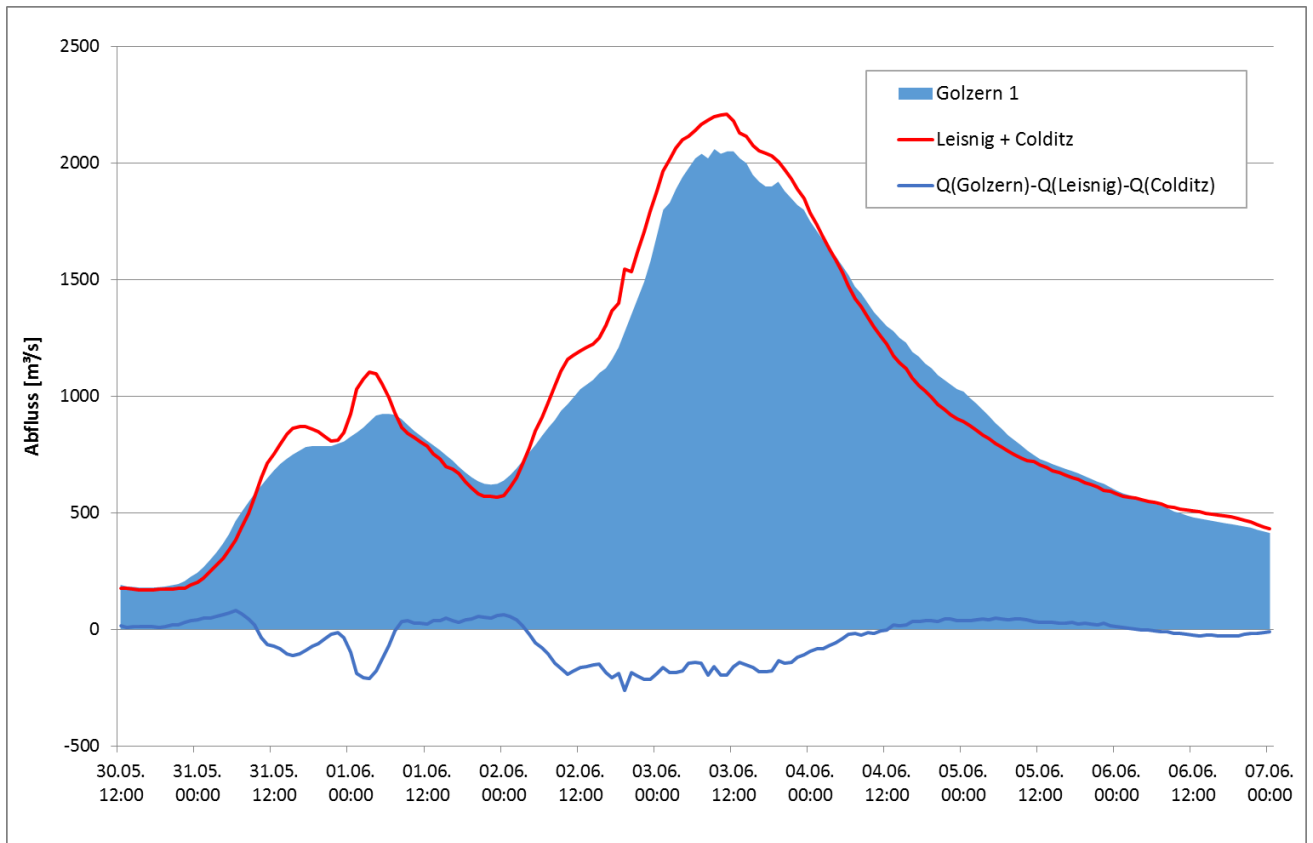


Abbildung 160: Abflussdifferenz zwischen der Summe der Abflüsse von Colditz/Zwickauer Mulde und Leisnig/Freiberger Mulde und dem Abfluss am Pegel Golzern 1/Vereinigte Mulde

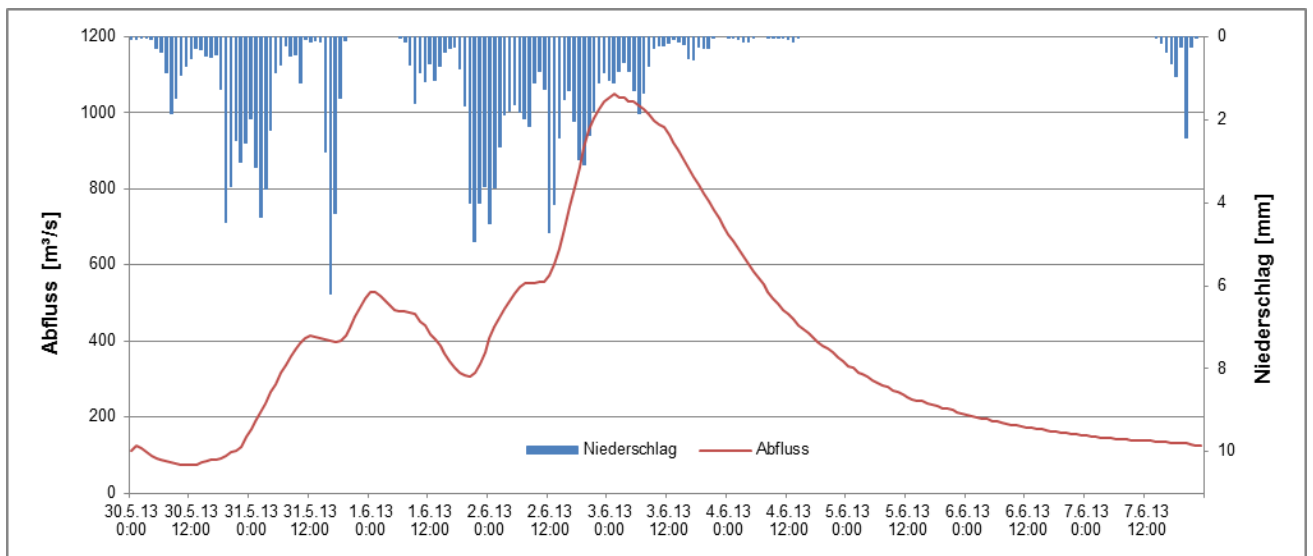


Abbildung 161: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Colditz/Zwickauer Mulde

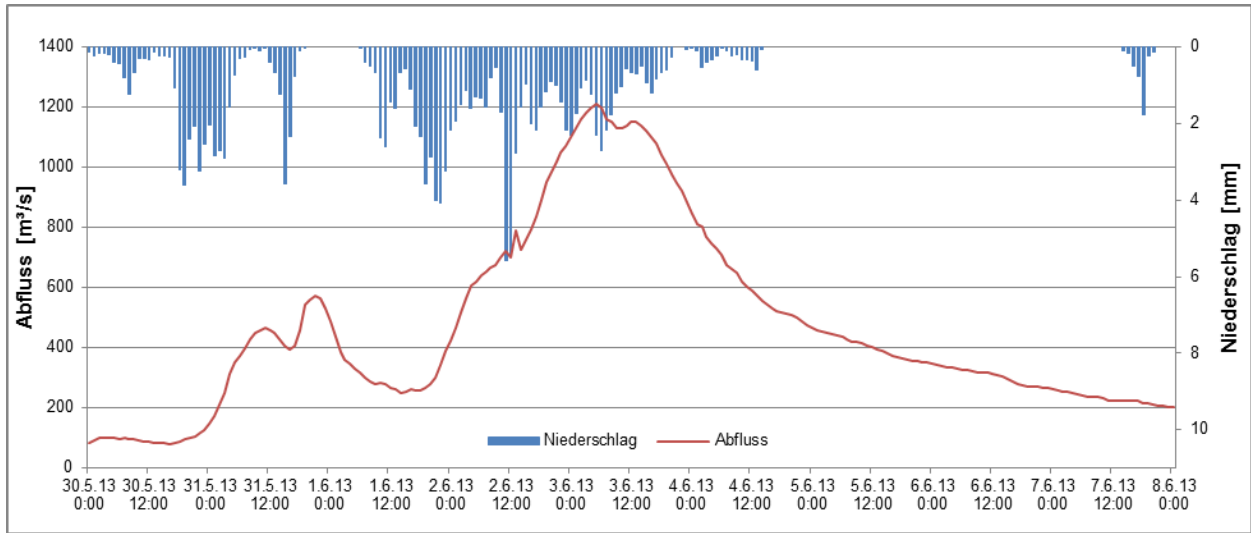


Abbildung 162: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Leisnig/Freiberger Mulde

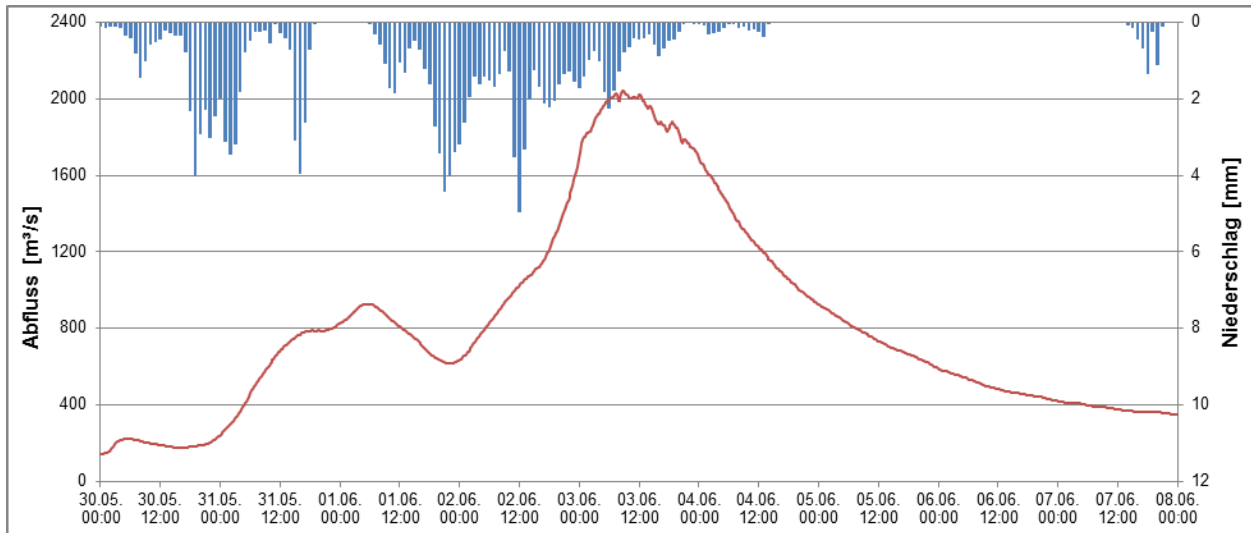


Abbildung 163: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Golzern 1/Vereinigte Mulde

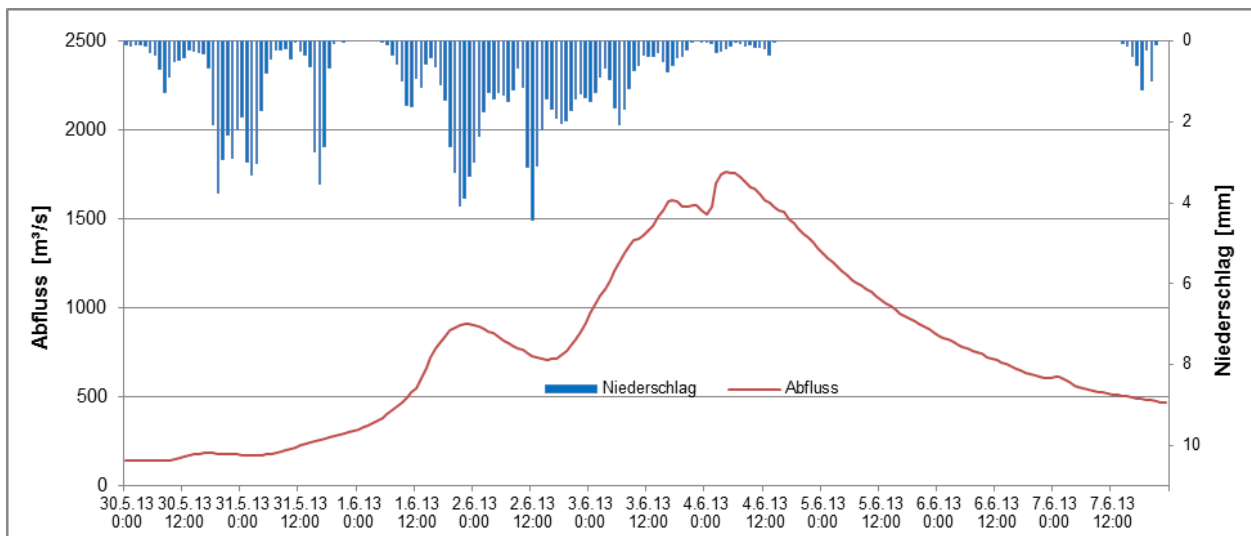


Abbildung 164: Abflussganglinie und Gebietsniederschlag am Pegel Bad Dübener Mulde

9.4 Analyse und Darstellung der Niederschlag-Abfluss-Beziehung mit Hilfe der Abflussbeiwerte und Scheitelabflussspenden

Die Scheitelabflussspenden zeigen keine Abhängigkeit von der Größe der Einzugsgebiete (Abbildung 165). In Tabelle 31 sind die Mittelwerte der Scheitelabflussspenden sowie die Minima und Maxima, geordnet nach Größenklassen der Einzugsgebietsfläche zusammengestellt. Die Mittelwerte in den einzelnen Klassen ähneln sich in ihrer Größe stark, nehmen aber mit zunehmender Einzugsgebietsfläche etwas ab. Im Gegensatz zu Hochwasserereignissen aus Regen kurzer Dauer war bei diesem im Entstehungszeitraum des Hochwasserscheitels über drei Tage anhaltenden Niederschlagsereignis, auch bei größeren Einzugsgebieten die gesamte Fläche gleichzeitig an der Abflussbildung beteiligt. Damit verliert die Abflusskonzentrationsphase an Bedeutung. Die Angabe der Minima der Scheitelabflussspenden je Klasse belegen in zwei Fällen (an den Pegeln Schmalzgrube 2/Preßnitz und Niederschlema/Zwickauer Mulde) die Wirkung von Talsperreneinflüssen (Talsperre Preßnitz mit 46 km² bzw. Talsperre Eibenstock mit 200 km² Einzugsgebiet). Die geringere Scheitelabflussspende am Pegel Düben 1 kann im Vergleich zu dem höheren Wert (0,376 m³/(s·km²)) in Golzern durch die Wellenabflachung auf der dazwischen gelegenen Fließstrecke erklärt werden.

Tabelle 31: Mittelwerte, Minima und Maxima der Scheitelabflussspenden in m³/(s·km²) für verschiedene Einzugsgebietsklassen

AE in km ²	Mittelwert	Minimum	Pegel mit Minimum	Maximum	Pegel mit Maximum
≤ 100	0,565	0,185	Schmalzgrube 2/ Preßnitz	1,346	Sachsengrund/ Große Pyra
> 100 bis ≤ 300	0,563	0,426	Zöblitz/ Schwarze Pockau	0,705	Krummenhennersdorf 1/ Bobritzsch
> 300 bis ≤ 1000	0,472	0,377	Niederschlema/ Zwickauer Mulde	0,579	Aue 1/ Schwarzwasser
> 1000	0,430	0,287	Bad Düben1/ Vereinigte Mulde	0,505	Wechselburg 1/ Zwickauer Mulde

In Tabelle 32 sind Pegel aufgeführt, deren Scheitelabflussspenden über 0,65 m³/(s·km²) lagen und somit die Spitzenwerte im Muldegebiet erreichten. Bemerkenswert ist, dass in diese Gruppe vier Pegel an der Würschnitz und Zwönitz fallen. Weiterhin sind drei Pegel aus dem Einzugsgebiet der oberen Zwickauer Mulde (Westerzgebirge) aber auch ein Pegel (Krummenhennersdorf 1) des Osterzgebirges vertreten.

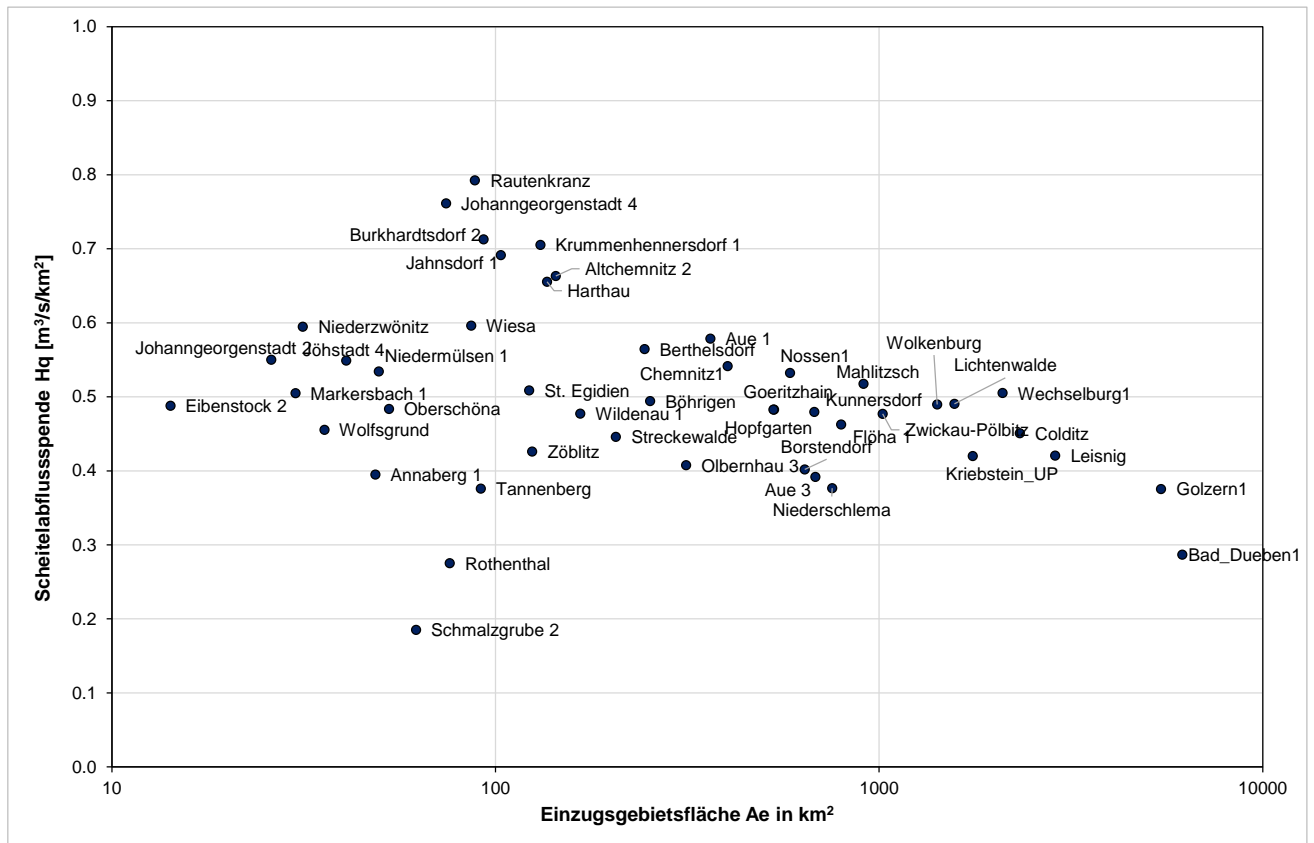


Abbildung 165: Darstellung der Scheitelabflussspende (2. Scheitel) über der Einzugsgebietsfläche

Tabelle 32: Pegel, an denen mit über 0,65 m³/(s·km²) die Höchstwerte der Scheitelabflussspenden auftraten

Pegel	Gewässer	AE [km²]	Hq [m³/(s·km²)]
Harthau	Würschnitz	136,1	0,655
Altchemnitz 2	Zwönitz	143,5	0,663
Jahnsdorf 1	Würschnitz	103,3	0,691
Krummenhennersdorf 1	Bobritzsch	130,9	0,705
Burkhardtsdorf 2	Zwönitz	93,0	0,713
Johanngeorgenstadt 4	Schwarzwasser	74,3	0,761
Rautenkranz	Zwickauer Mulde	88,3	0,792
Sachsengrund	Große Pyra	6,5	1,346

Der Höchstwert der Scheitelabflussspenden tritt am Pegel Sachsengrund/Große Pyra auf. Ein Vergleich der Niederschlags- und Abflusswerte mit dem Pegel Eibenstock 2/Rährerbach, dem nächsten Pegel mit ähnlicher Einzugsgebietsgröße, zeigt, dass die starke Reaktion dieses Gebietes nicht durch übergroße Niederschläge bedingt wird, sondern durch wesentlich kürzere Reaktionszeiten dieses Gebietes (Abbildung 166).

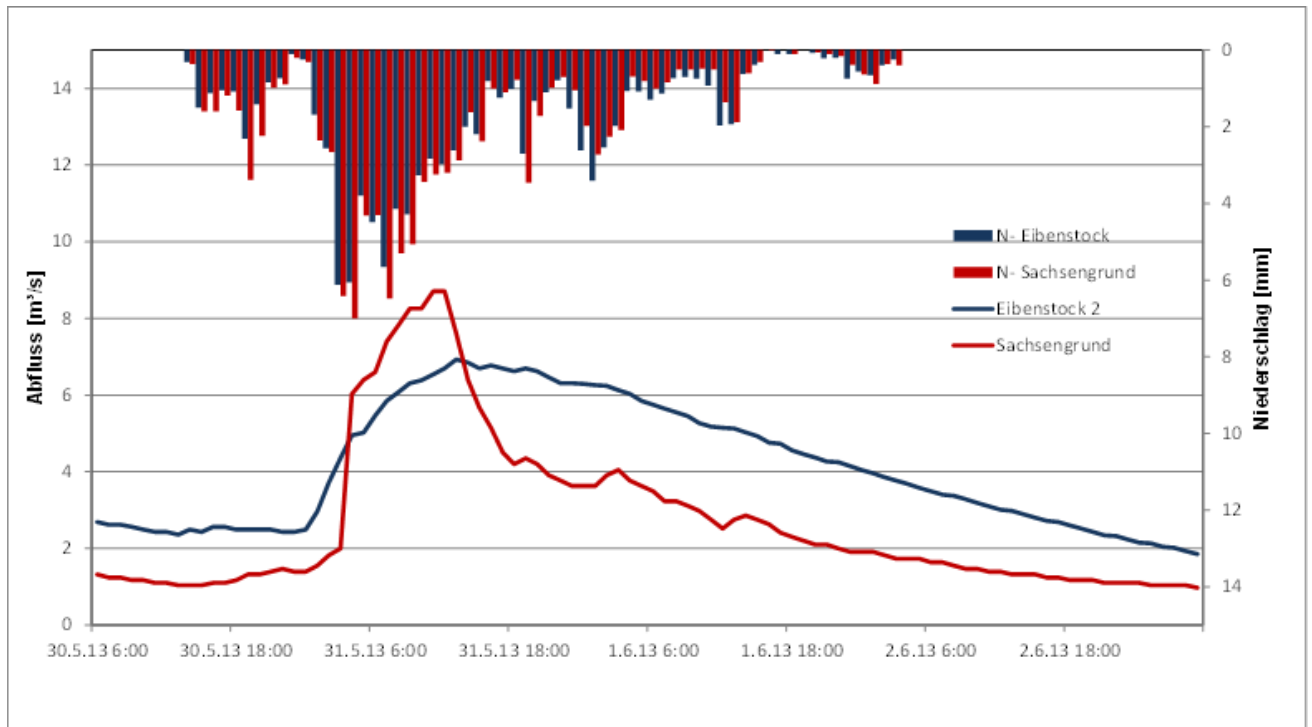


Abbildung 166: Unterschiede im Ganglinienverlauf der Pegel Sachsengrund/Große Pyra und Eibenstock 2/Rählerbach

Eine Besonderheit des Hochwassers 2013 war der besonders bei kleinen und mittleren Einzugsgebieten zu beobachtende langgezogene Scheiteltbereich mit drei bzw. vier kleinen Gipfeln innerhalb von ca. 36 Stunden. Diese sind auf die in der Regel drei- bzw. viermaligen starken Niederschlagsintensitätsschwankungen während des am 01.06.2013 mittags einsetzenden Dauerregens zurückzuführen. Ein Beispiel ist in Abbildung 167 mit der Abflussganglinie des Pegels Burkhardtsdorf 2/Zwönitz gegeben. Um dieses Phänomen auf andere Weise zu charakterisieren, wurde an den verschiedenen Pegeln der zusammenhängende Zeitraum innerhalb der Abflussganglinie ermittelt, in dem die Abflüsse mindestens 90 % der Scheitelabflusswerte betragen (Tabelle 33). Diese Zeiträume sind besonders groß, wenn im Einzugsgebiet größere Speicher vorhanden sind, deren Leerlaufen den Abflussrückgang verzögert. Dies ist z. B. in der Zwickauer Mulde mit der Talsperre Eibenstock der Fall. Der Abfluss verbleibt am Pegel Aue 3 über 32 Stunden auf diesem hohen Niveau, am Pegel Zwickau-Pölbitz ist dieser Effekt noch mit einer Beharrung von 22 Stunden merklich. Pegel mit großen Einzugsgebieten wie z. B. Colditz/Zwickauer Mulde, Leisnig/Freiburger Mulde und Golzern 1/Vereinigte Mulde zeigen aufgrund der langen Abflusskonzentrationszeiten generell ein längeres Beharrungsvermögen des Abflusses (je 17 Stunden). Hohe Werte weist allerdings auch die Zwönitz (Pegel Burkhardtsdorf 2, Altchemnitz 2) auf (14 bzw. 15 Stunden), wogegen die Pegel der benachbarten Würschnitz trotz gleicher zeitlicher Niederschlagsverteilung nur acht Stunden Beharrungszeit aufweisen. Überdurchschnittlich hohe Zeiten weisen auch der Mülsenbach (49,6 km² Einzugsgebiet, 10 h Beharrung) im Erzgebirgischen Becken sowie einzelne Einzugsgebiete im Osterzgebirge (Pegel Berthelsdorf/Freiburger Mulde, 244,5 km², 12 h; Pegel Oberschöna/Große Striegis, 52,7 km², 12 h; Pegel Böhrigen/Striegis, 253,0 km², 22 h) auf.

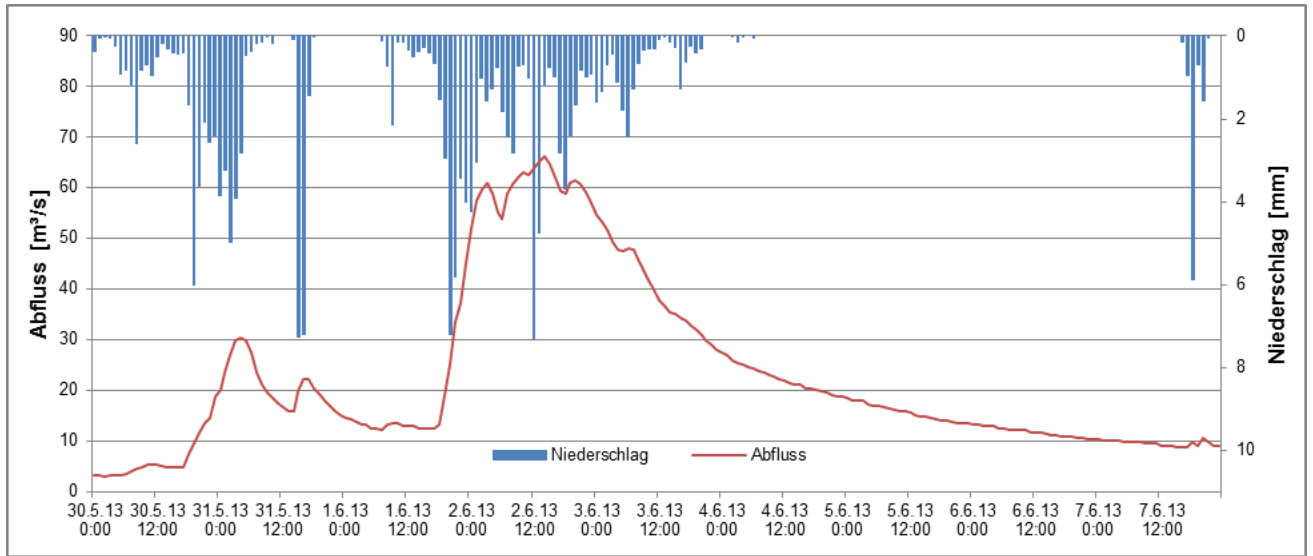


Abbildung 167: Hochwasserganglinie am Pegel Burkhardtsdorf 2/Zwönitz, ersichtlich wird der über 14 Stunden anhaltende hohe Abfluss im Bereich des Scheitels

Tabelle 33: Zusammenhängende Zeiträume, in denen die Abflüsse über 90 % des jeweiligen Scheitelabflusswertes lagen

Pegel	Gewässer	AE [km ²]	Scheiteleintrittszeit [MESZ]	Scheitel [m ³ /s]	Beginn Zeitraum mit Q _z ≥ 90% HQ	Ende Zeitraum mit Q _z ≥ 90% HQ	Dauer hoher Abflüsse [h]
Sachsengrund	Große Pyra	6,5	02.06.13 05	8,71	02.06.13 03	02.06.13 06	4
Rautenkrantz	Zwickauer Mulde	88,3	02.06.13 06	70	02.06.13 04	02.06.13 09	6
Eibenstock 2	Rähmerbach	14,2	02.06.13 07	6,93	02.06.13 03	02.06.13 20	18
Aue 3	Zwickauer Mulde	681,7	02.06.13 04	267	02.06.13 02	03.06.13 09	32
Johanngeorgenstadt 2	Breitenbach	26,0	02.06.13 05	14,6	02.06.13 05	02.06.13 06	2
Johanngeorgenstadt 4	Schwarzwasser	74,3	02.06.13 02	58,1	02.06.13 01	02.06.13 03	3
Markersbach 1	Große Mittweida	30,1	02.06.13 13	15,2	02.06.13 12	02.06.13 14	3
Wildenau 1	Große Mittweida	166,2	02.06.13 13	80	02.06.13 07	02.06.13 20	14
Aue 1	Schwarzwasser	362,9	02.06.13 04	201	02.06.13 02	02.06.13 22	21
Niederschlema	Zwickauer Mulde	754,1	02.06.13 22	302	02.06.13 03	03.06.13 09	31
Zwickau-Pölbitz	Zwickauer Mulde	1021,1	02.06.13 21	487	02.06.13 07	03.06.13 04	22
Niedermülsen 1	Mülsenbach	49,6	02.06.13 19	26,8	02.06.13 13	02.06.13 22	10
St. Egidien	Lungwitzbach	122,3	02.06.13 15	62,7	02.06.13 14	02.06.13 22	9
Wolkenburg	Zwickauer Mulde	1417,0	02.06.13 23	703	02.06.13 19	03.06.13 03	9
Wechselburg 1	Zwickauer Mulde	2098,8	02.06.13 22	1010	02.06.13 17	03.06.13 08	16
Colditz	Zwickauer Mulde	2326,0	03.06.13 02	1050	02.06.13 20	03.06.13 12	17
Jahnsdorf 1	Würschnitz	103,3	02.06.13 21	72,1	02.06.13 16	02.06.13 23	8
Harthau	Würschnitz	136,1	02.06.13 22	90,3	02.06.13 18	03.06.13 01	8
Niederzwönitz	Zwönitz	31,5	02.06.13 07	25,0	02.06.13 07	02.06.13 08	2
Burkhardtsdorf 2	Zwönitz	93,0	02.06.13 14	66,3	02.06.13 08	02.06.13 21	14
Altchemnitz 2	Zwönitz	143,5	02.06.13 19	95,7	02.06.13 12	03.06.13 02	15
Chemnitz 1	Chemnitz	402,7	02.06.13 19	202	02.06.13 18	03.06.13 01	8
Göritzchain	Chemnitz	532,4	02.06.13 21	257	02.06.13 15	03.06.13 00	10
Tannenberg	Zschopau	91,5	02.06.13 15	34,9	02.06.13 14	02.06.13 20	7
Annaberg 1	Sehma	48,6	02.06.13 13	19,6	02.06.13 12	02.06.13 15	4
Wiesa	Pöhlbach	86,4	02.06.13 13	33,6	02.06.13 13	02.06.13 13	1
Jöhstadt 4	Jöhstädter Schwarzwasser	40,8	02.06.13 14	22,9	02.06.13 13	02.06.13 16	4
Schmalzgrube 2	Preßnitz	62,1	02.06.13 12	11,5	02.06.13 12	02.06.13 13	2
Streckewalde	Preßnitz	205,9	02.06.13 14	91,8	02.06.13 13	02.06.13 18	6

Pegel	Gewässer	AE [km ²]	Scheiteleintrittszeit [MESZ]	Scheitel [m ³ /s]	Beginn Zeitraum mit Q _{≥ 90%} HQ	Ende Zeitraum mit Q _{≥ 90%} HQ	Dauer hoher Abflüsse [h]
Hopfgarten	Zschopau	530,3	02.06.13 18	259	02.06.13 14	02.06.13 21	8
Kunnersdorf	Zschopau	677,7	02.06.13 20	325	02.06.13 17	02.06.13 23	7
Lichtenwalde 1	Zschopau	1572,2	02.06.13 20	774	02.06.13 18	03.06.13 01	8
Kriebstein UP	Zschopau	1754,3	03.06.13 01	746	02.06.13 20	03.06.13 09	14
Rothenthal	Natzschung	75,9	03.06.13 06	27,7	03.06.13 04	03.06.13 11	8
Olbernhau 3	Flöha	314,0	02.06.13 13	139	02.06.13 12	02.06.13 16	5
Zöblitz	Schwarze Pockau	124,6	02.06.13 16	54,3	02.06.13 12	02.06.13 17	6
Borstendorf	Flöha	639,6	02.06.13 15	257	02.06.13 13	02.06.13 19	7
Flöha 1	Flöha	795,6	02.06.13 19	385	02.06.13 15	02.06.13 21	7
Wolfsgrund	Chemnitzbach	35,8	03.06.13 00	16,3	03.06.13 00	03.06.13 02	3
Berthelsdorf	Freiberger Mulde	244,5	03.06.13 02	140	03.06.13 00	03.06.13 11	12
Krummenhennersdorf 1	Bobritzsch	130,9	03.06.13 05	92,3	03.06.13 03	03.06.13 10	8
Nossen 1	Freiberger Mulde	586,1	03.06.13 08	330	03.06.13 06	03.06.13 12	7
Oberschöna	Große Striegis	52,7	03.06.13 02	25,7	03.06.13 01	03.06.13 12	12
Böhrigen	Striegis	253,0	03.06.13 11	125	02.06.13 19	03.06.13 16	22
Mahlitzsch	Freiberger Mulde	910,3	03.06.13 09	471	03.06.13 07	03.06.13 14	8
Leisnig	Freiberger Mulde	2877,56	03.06.13 05	1210	03.06.13 00	03.06.13 16	17
Golzern 1	Vereinigte Mulde	5432,5	03.06.13 09	2060	03.06.13 03	03.06.13 19	17
Bad Dübén 1	Vereinigte Mulde	6169,93	04.06.13 04	1770	04.06.13 02	04.06.13 12	11

Ein Vergleich der Beharrungszeiten (Abbildung 168) zeigt, dass diese aufgrund der längeren Fließzeiten bei großen Gebieten zwangsläufig länger sind. Deutlich wird aber auch der Einfluss von Talsperren. So zeigt der Pegel Aue 3 (und in der Folge die Pegel Niederschlema und Zwickau-Pölbitz) eine deutlich höhere Beharrungszeit, da die Abgabe aus dem Hochwasserrückhalteraum der Talsperre Eibenstock längere Zeit anhält. Um die Unterschiede der Beharrungszeiten näher zu erläutern, sind in Abbildung 169 nur Pegel mit Einzugsgebieten zwischen 10 und 1000 km² Fläche und Beharrungszeiten unter 16 Stunden dargestellt. Ersichtlich wird die besondere Reaktion der Zwönitz (Pegel Burkhardtsdorf 2 mit AE = 93,0 km² und Altchemnitz 2 mit AE = 143,5 km², allerdings nicht sichtbar am Pegel Niederzwönitz wegen relativ geringer AE = 31,5 km²), der Großen Striegis und der oberen Freiberger Mulde. Die Pegel, die Einzugsgebiete des Erzgebirgischen Beckens erfassen, weisen generell hohe Beharrungszeiten auf.

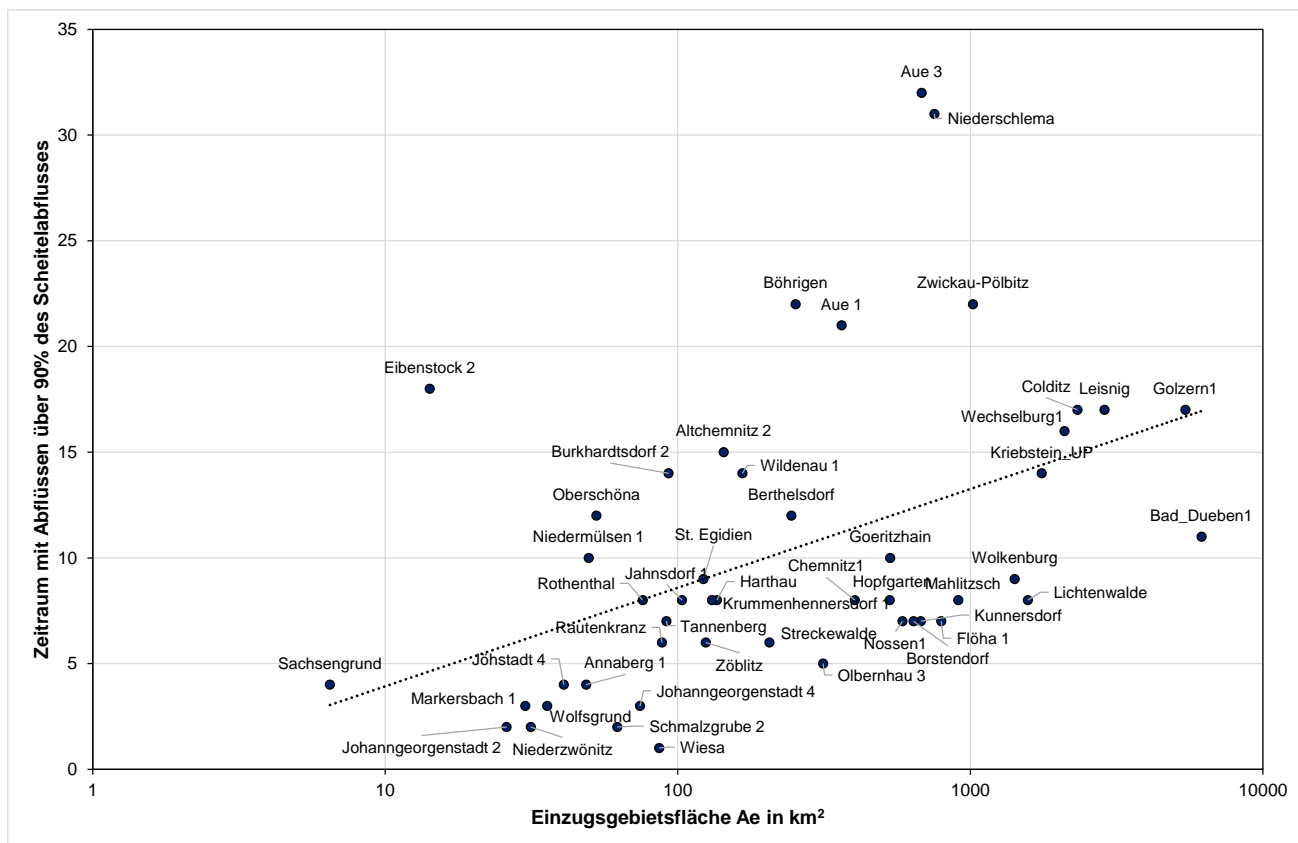


Abbildung 168: Beharrungszeit der Abflüsse auf einem Niveau ≥ 90 % des Scheitelabflusses, dargestellt über der Einzugsgebietsfläche AE in km²

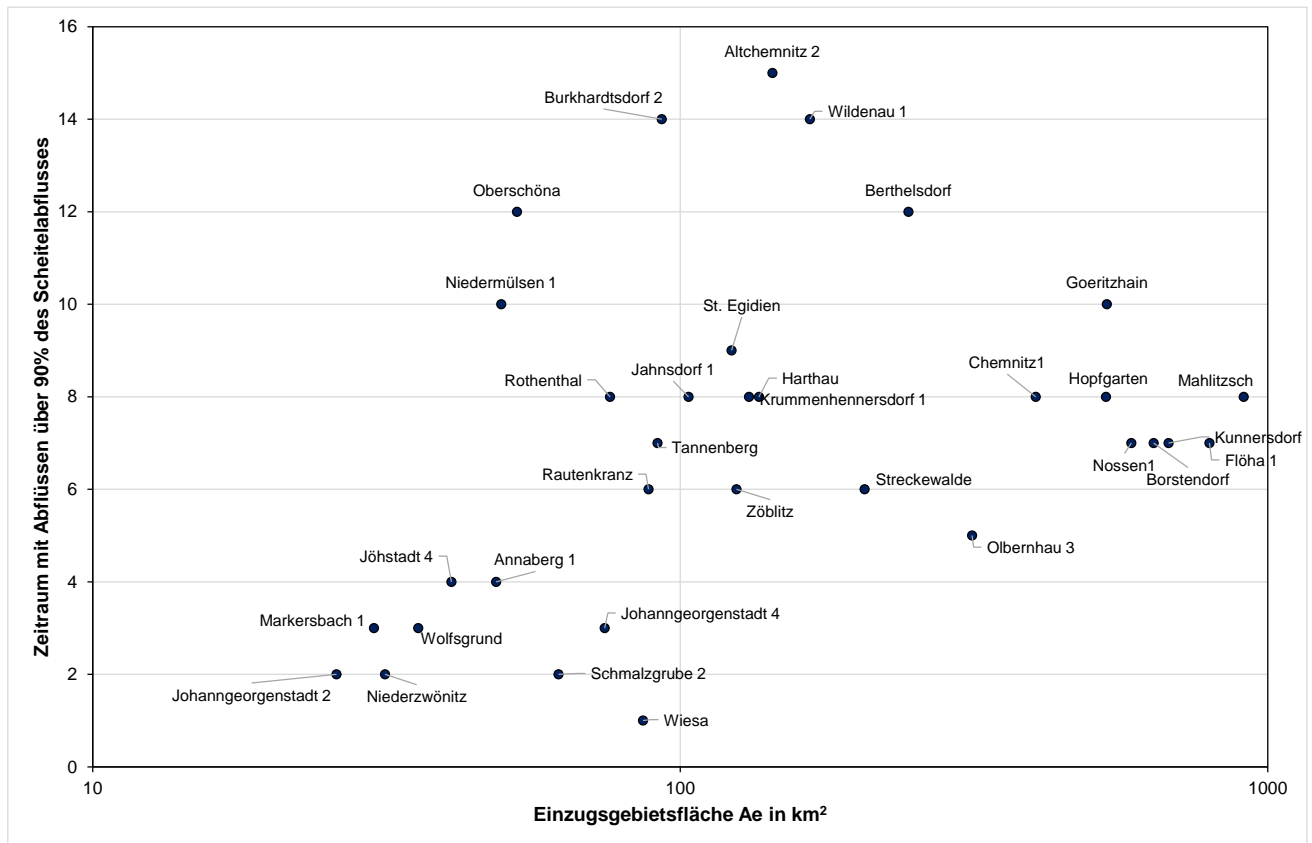


Abbildung 169: wie Abbildung 168, aber nur Einzugsgebiete bis 1.000 km² Fläche und Beharrungszeiten bis 16 Stunden

Um den zeitlichen Verlauf des Abflusses detaillierter zu erfassen, wurden die Zeitspannen vom Niederschlagsbeginn (zweiter Niederschlagsteil) bis zum Ende des Beharrungszeitraumes ermittelt. Dies war erforderlich, da die gebräuchlichere Ermittlung der Wellenanstiegszeiten (Niederschlagsbeginn bis Scheitelabfluss) in Folge der Besonderheit des breiten Verlaufs des Abflusses im Scheitelbereich und der Zufälligkeit des Eintretens des Höchstwertes innerhalb dieses Bereiches eine hohe Variabilität dieses Kennwertes bedingte. Diese Zeitspannen können als Maß für die Reaktions- bzw. Konzentrationszeiten der verschiedenen Einzugsgebiete angesehen werden, da sich die mittleren Niederschlagsdauern zwischen den drei Teilflussgebieten nur geringfügig unterschieden (59 Stunden für die Zwickauer Mulde, 60 Stunden für Zschopau/Flöha, 62 Stunden für die Freiburger Mulde). Die zeitlichen Unterschiede in den Reaktionen der Flussgebiete werden in Abbildung 170 und Abbildung 171 deutlich. Generell zeigen alle Flussgebiete einen engen nichtlinearen Zusammenhang zwischen diesen Zeiträumen und der Einzugsgebietsfläche, wobei die Zeitspannen vom Niederschlagsbeginn bis zum Ende der Beharrungszeit mit dem Logarithmus der Einzugsgebietsfläche zunehmen. Das geringere Bestimmtheitsmaß der logarithmischen Regressionsbeziehung dieser Zeiten zur Einzugsgebietsfläche im Gebiet der Freiburger Mulde ist durch den Pegel Wolfgrund bedingt (der Pegel Rothenthal wurde in der Regressionsbeziehung für das Zschopau/Flöha-Gebiet nicht einbezogen). In der Zwickauer Mulde nehmen diese Zeiträume wesentlich schneller mit der Einzugsgebietsfläche zu als in der Freiburger Mulde oder dem Zschopau/Flöha-Gebiet. Die Mittelwerte unterscheiden sich zwischen den Pegeln der Einzugsgebiete der Zwickauer Mulde und des Zschopau/Flöha-Gebietes allerdings nur geringfügig. Vergleichsweise hohe Zeiträume treten in den Flussgebieten der Würschnitz und Zwönitz auf. Im Gegensatz hierzu zeigen die Einzugsgebiete der Freiburger Mulde generell höhere Werte (im Mittel 53 Stunden) im Vergleich zu den Pegeln der beiden anderen Flussgebiete (jeweils 38 Stunden in der Zwickauer Mulde und der Zschopau/Flöha). Einen

niedrigeren Wert als andere Pegel im Gebiet der Freiburger Mulde zeigt der Pegel Wolfsgrund (44 h), wo- gegen im Zschopau/Flöha-Gebiet der Pegel Rothenthal eine deutlich längere Reaktionszeit aufweist (52 h).

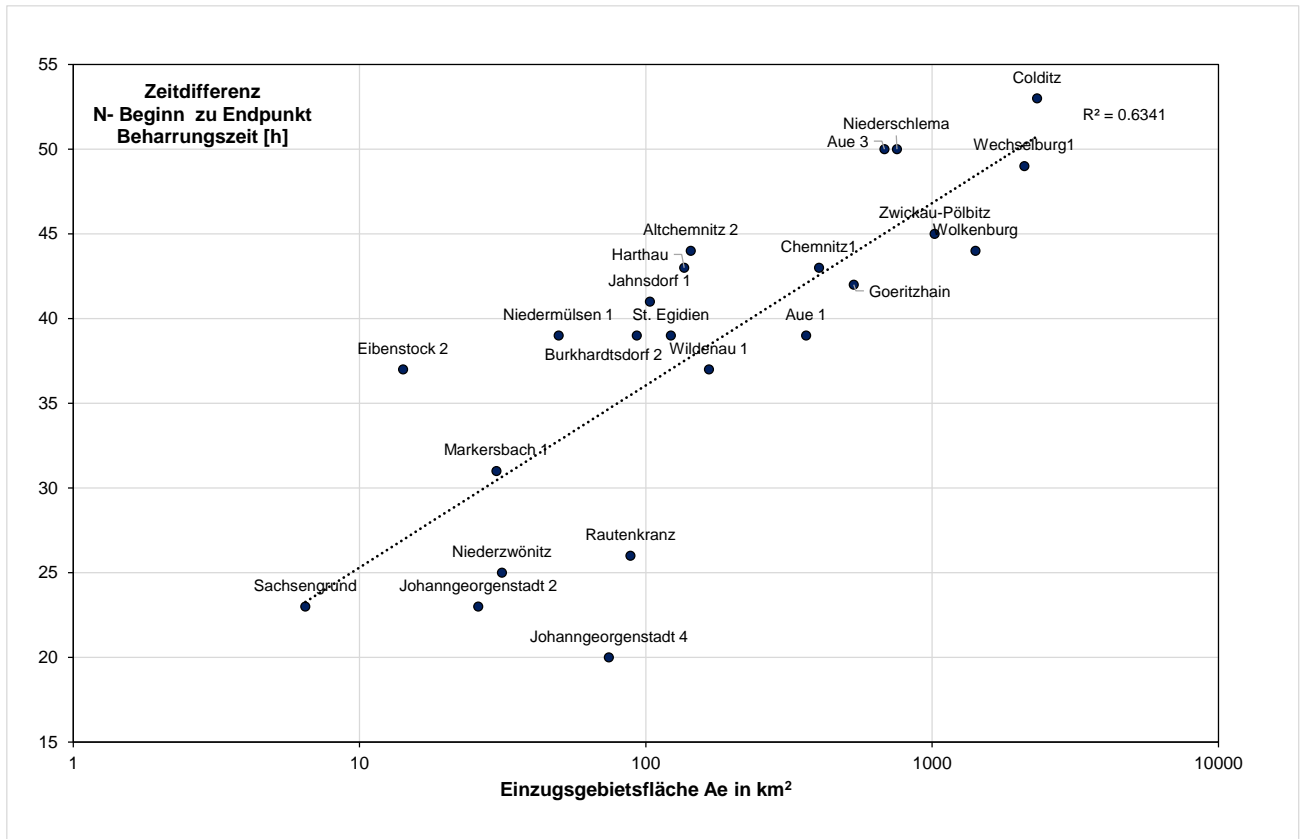


Abbildung 170: Zeitdifferenzen zwischen dem Niederschlagsbeginn und dem Ende der Beharrungszeit des Scheitelabflusses, Einzugsgebiet der Zwickauer Mulde mit Chemnitz

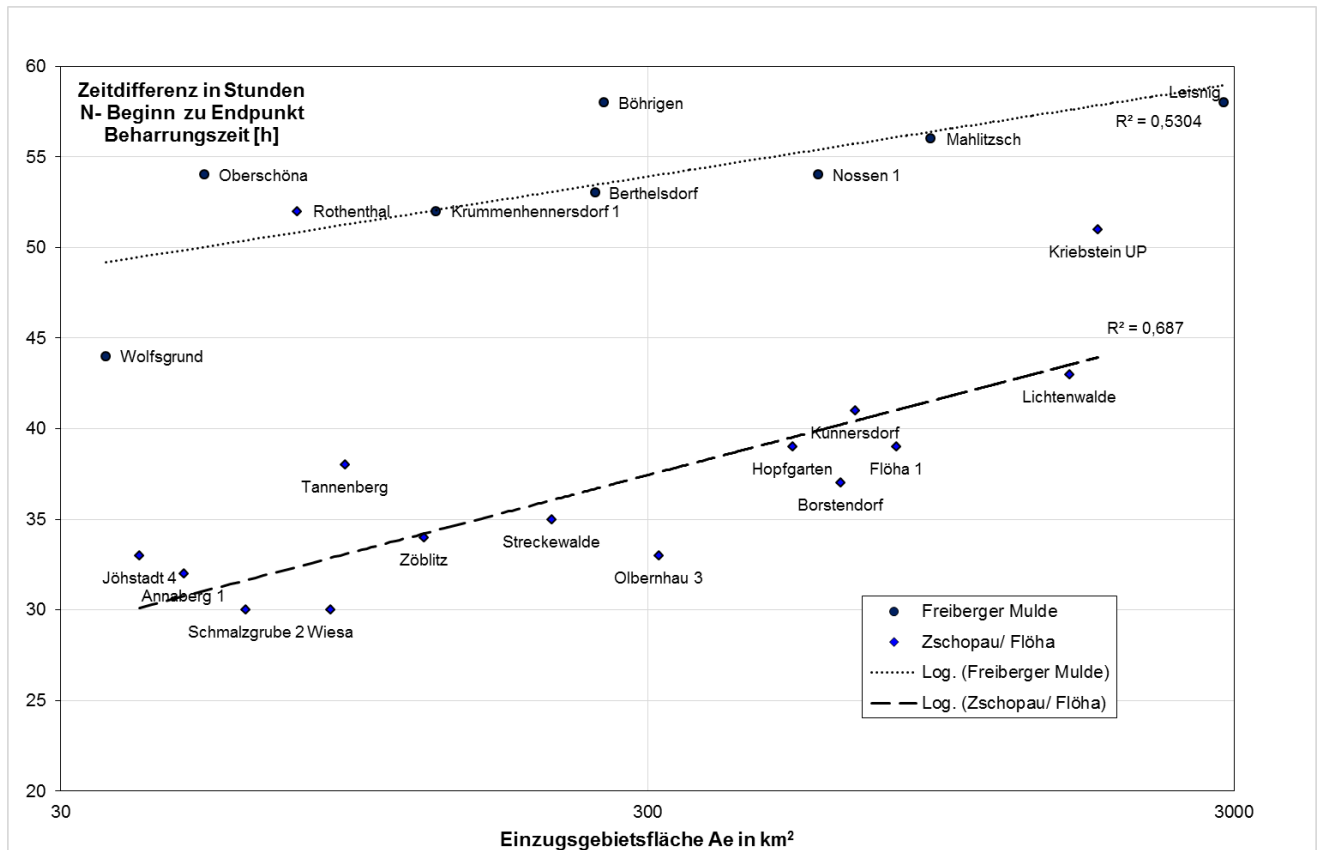


Abbildung 171: Zeitdifferenzen zwischen dem Niederschlagsbeginn und dem Ende der Beharrungszeit des Scheitelabflusses, Einzugsgebiete der Freiberger Mulde mit Zschopau und Flöha

Im Weiteren wurden die Abflussganglinien separiert, um den Anteil des Direktabflusses am Gesamtabfluss zu ermitteln. Dieser wurde in Bezug zum jeweiligen Gebietsniederschlag gesetzt, um die Abflussbeiwerte zu ermitteln (Tabelle 34).

Tabelle 34: Abflussvolumina und Abflussbeiwerte

Pegel	Gewässer	Bezugszeitraum		Dauer [h]	Basisabfluss [hm³]	Direktabfluss [hm³]	Direktabfluss [mm]	Gesamtabfluss [hm³]	Gebietsniederschlag [mm]	Abflussbeiwert [-]
		Beginn	Ende							
Flussgebiet der Zwickauer Mulde										
Sachsengrund	Große Pyra	30.05.13 08	07.06.13 13	197	0,265	0,990	153,0	1,255	161,2	0,95
Rautenkrantz	Zwickauer Mulde	30.05.13 15	07.06.13 15	192	3,647	10,635	120,4	14,283	157,0	0,77
Schönheide 3	Zwickauer Mulde	30.05.13 08	07.06.13 23	207	6,517	15,698	105,0	22,215	163,9	0,64
Eibenstock 2	Rähmerbach	30.05.13 06	07.06.13 13	199	0,377	1,552	109,3	1,929	152,0	0,72
Johanngeorgenstadt 2	Breitenbach	30.05.13 08	06.06.13 22	182	0,700	1,991	76,6	2,691	147,3	0,52
Johanngeorgenstadt 4	Schwarzwasser	30.05.13 07	06.06.13 22	183	2,326	8,241	110,9	10,567	147,0	0,75
Markersbach 1	Große Mittweida	30.05.13 04	07.06.13 04	192	1,143	2,815	93,5	3,957	140,5	0,67
Wildenau 1	Große Mittweida	30.05.13 05	07.06.13 05	192	5,924	14,485	87,2	20,409	148,9	0,59
Aue 1	Schwarzwasser	30.05.13 06	07.06.13 08	195	12,971	38,209	105,3	51,180	152,7	0,69
Aue 3	Zwickauer Mulde	30.05.13 06	07.06.13 15	201	32,417	61,988	90,9	94,405	155,9	0,58
Niederschlema	Zwickauer Mulde	30.05.13 07	07.06.13 16	201	36,795	68,745	91,2	105,540	158,2	0,58
Zwickau-Pölbitz	Zwickauer Mulde	30.05.13 07	07.06.13 18	203	43,829	106,973	104,8	150,802	161,5	0,65
Niedermülsen 1	Mülsenbach	30.05.13 07	07.06.13 15	200	0,951	5,706	115,0	6,657	166,4	0,69
St. Egidien	Lungwitzbach	30.05.13 08	07.06.13 14	199	1,907	11,465	93,7	13,372	172,4	0,54
Wolkenburg	Zwickauer Mulde	30.05.13 07	07.06.13 18	203	48,585	137,408	97,0	185,993	160,2	0,61
Niederzwönitz	Zwönitz	30.05.13 05	07.06.13 14	201	1,061	3,292	104,7	4,353	166,8	0,63
Burkhardtsdorf 2	Zwönitz	30.05.13 06	07.06.13 16	201	4,452	12,928	139,0	17,380	161,6	0,86
Altchemnitz 2	Zwönitz	30.05.13 07	07.06.13 14	199	5,108	18,162	126,5	23,270	160,8	0,79
Jahnsdorf 1	Würschnitz	30.05.13 05	07.06.13 16	202	3,076	13,960	135,2	17,036	175,6	0,77
Harthau	Würschnitz	30.05.13 06	07.06.13 17	202	3,084	17,388	127,7	20,471	172,5	0,74
Chemnitz 1	Chemnitz	30.05.13 08	07.06.13 17	201	12,105	41,347	102,7	53,452	165,1	0,62
Göritzhein	Chemnitz	30.05.13 11	07.06.13 22	204	19,071	55,813	104,8	74,884	161,1	0,65
Wechselburg 1	Zwickauer Mulde	30.05.13 11	07.06.13 21	202	59,776	208,330	99,3	268,106	158,6	0,63
Colditz	Zwickauer Mulde	30.05.13 14	08.06.13 00	202	74,356	226,229	97,3	300,585	154,4	0,63
Flussgebiet der Zschopau										
Tannenberg	Zschopau	30.05.13 05	07.06.13 11	198	2,659	7,196	78,6	9,855	141,1	0,56
Annaberg 1	Sehma	30.05.13 04	07.06.13 08	196	1,483	3,804	78,3	5,286	146,4	0,53
Wiesa	Pöhlbach	30.05.13 04	07.06.13 07	195	3,828	8,190	94,8	12,018	149,7	0,63

Pegel	Gewässer	Bezugszeitraum		Dauer [h]	Basisabfluss [hm³]	Direktabfluss [hm³]	Direktabfluss [mm]	Gesamtabfluss [hm³]	Gebietsniederschlag [mm]	Abflussbeiwert [-]
		Beginn	Ende							
Jöhstadt 4	Jöhstädter Schwarzwasser	30.05.13 06	07.06.13 12	198	1,593	3,705	90,8	5,297	143,8	0,63
Streckewalde	Preßnitz	30.05.13 06	07.06.13 10	196	4,532	18,902	91,8	23,434	154,3	0,59
Hopfgarten	Zschopau	30.05.13 07	07.06.13 16	201	20,044	50,952	96,1	70,995	151,5	0,63
Kunnersdorf	Zschopau	30.05.13 07	07.06.13 16	201	23,668	67,273	99,3	90,941	152,7	0,65
Deutschgeorgenthal 2	Rauschenbach	30.05.13 16	07.06.13 16	192	0,420	1,176	126,7	1,596	165,1	0,77
Neuwermsdorf	Wernsbach	30.05.13 17	07.06.13 10	185	0,257	0,848	122,1	1,106	164,2	0,74
Rauschenbach 2	Rauschenfluss	30.05.13 17	07.06.13 11	186	0,297	0,897	122,0	1,194	169,0	0,72
Rothenthal	Natzschung	30.05.13 05	07.06.13 03	190	3,029	5,949	78,3	8,978	161,7	0,48
Olbernhau 3	Flöha	30.05.13 07	07.06.13 15	200	13,098	24,870	79,2	37,968	167,2	0,47
Zöblitz	Schwarze Pockau	30.05.13 06	07.06.13 04	190	4,461	11,485	92,2	15,946	168,8	0,55
Borstendorf	Flöha	30.05.13 06	07.06.13 16	202	30,617	52,690	82,4	83,306	170,3	0,48
Flöha 1	Flöha	30.05.13 11	07.06.13 19	200	35,056	69,912	87,9	104,968	169,3	0,52
Lichtenwalde 1	Zschopau	30.05.13 11	07.06.13 19	200	63,964	159,798	101,6	223,762	161,2	0,63
Kriebstein UP	Zschopau	30.05.13 15	07.06.13 19	195	64,327	163,216	93,0	227,544	158,2	0,59
Flussgebiet der Freiburger Mulde										
Mulda 1	Freiberger Mulde	30.05.13 18	07.06.13 15	189	3,062	10,716	139,3	13,777	173,3	0,80
Wolfsgrund	Chemnitzbach	30.05.13 16	07.06.13 16	192	1,476	3,432	95,9	4,907	184,1	0,52
Berthelsdorf	Freiberger Mulde	30.05.13 18	07.06.13 19	193	12,025	25,515	104,3	37,540	178,5	0,58
Krummenhennersdorf 1	Bobritzsch	30.05.13 18	07.06.13 19	194	3,567	17,246	131,8	20,813	178,8	0,74
Nossen 1	Freiberger Mulde	30.05.13 17	07.06.13 21	196	21,301	65,582	111,9	86,883	169,5	0,66
Oberschöna	Große Striegis	30.05.13 17	07.06.13 16	191	2,320	5,641	107,0	7,961	162,4	0,66
Böhrigen	Striegis	30.05.13 17	07.06.13 20	194	4,646	25,965	102,6	30,611	137,8	0,74
Mahlitzsch	Freiberger Mulde	30.05.13 18	08.06.13 17	215	28,478	98,360	108,1	126,838	155,6	0,69
Leisnig	Freiberger Mulde	30.05.13 17	08.06.13 00	200	101,302	258,355	89,8	359,657	154,0	0,58
Vereinigte Mulde										
Golzern 1	Vereinigte Mulde	30.05.13 18	08.06.13 18	216	196,893	453,464	83,5	650,358	151,5	0,55
Bad Dübén 1	Vereinigte Mulde	31.05.13 04	08.06.13 17	205	212,285	407,678	66,1	619,962	141,4	0,47
Talsperrenbeeinflusste Gebiete										
Muldenberg UP	Zwickauer Mulde	30.05 12 30	07.06.13 13	192	1,186	0,671	42,2	1,858	135,4	0,31

Pegel	Gewässer	Bezugszeitraum		Dauer [h]	Basisabfluss [hm³]	Direktabfluss [hm³]	Direktabfluss [mm]	Gesamtabfluss [hm³]	Gebietsniederschlag [mm]	Abflussbeiwert [-]
		Beginn	Ende							
Neidhardtsthal 1	Zwickauer Mulde	30.05.13 05	07.06.13 07	194	12,448	10,416	51,1	22,864	163,4	0,31
Markersbach 2	Große Mittweida	30.05.13 05	07.06.13 04	191	2,255	1,554	41,9	3,809	141,1	0,30
Schmalzgrube 2	Preßnitz	30.05.13 06	07.06.13 09	195	2,277	2,802	45,2	5,079	146,0	0,31
Rauschenbach 3	Flöha	30.05.13 17	07.06.13 17	192	5,920	2,141	27,5	8,061	153,4	0,18
Neuhausen 1	Flöha	30.05.13 17	07.06.13 15	190	7,442	4,655	45,8	12,098	159,3	0,29
Deutschgeorgenthal 1	Flöha	30.05.13 17	07.06.13 16	191	2,568	3,299	56,0	5,867	148,0	0,38

Die Scheitelabflussspenden zeigen bei diesem Hochwasser nur einen geringen Zusammenhang zur Einzugsgebietsfläche (Abbildung 172). Die Abflussspenden liegen zwischen 0,4 und 0,6 m³/s·km². Deutlich höhere Scheitelabflussspenden treten an den Pegeln der Würschnitz und Zwönitz (mit Ausnahme des Pegels Niederzwönitz), in Rautenkranz, Johannegeorgenstadt 4 und Krumpfenhennersdorf 1 auf. Eine vergleichsweise sehr niedrige Abflussspende war am Pegel Rothenthal zu verzeichnen.

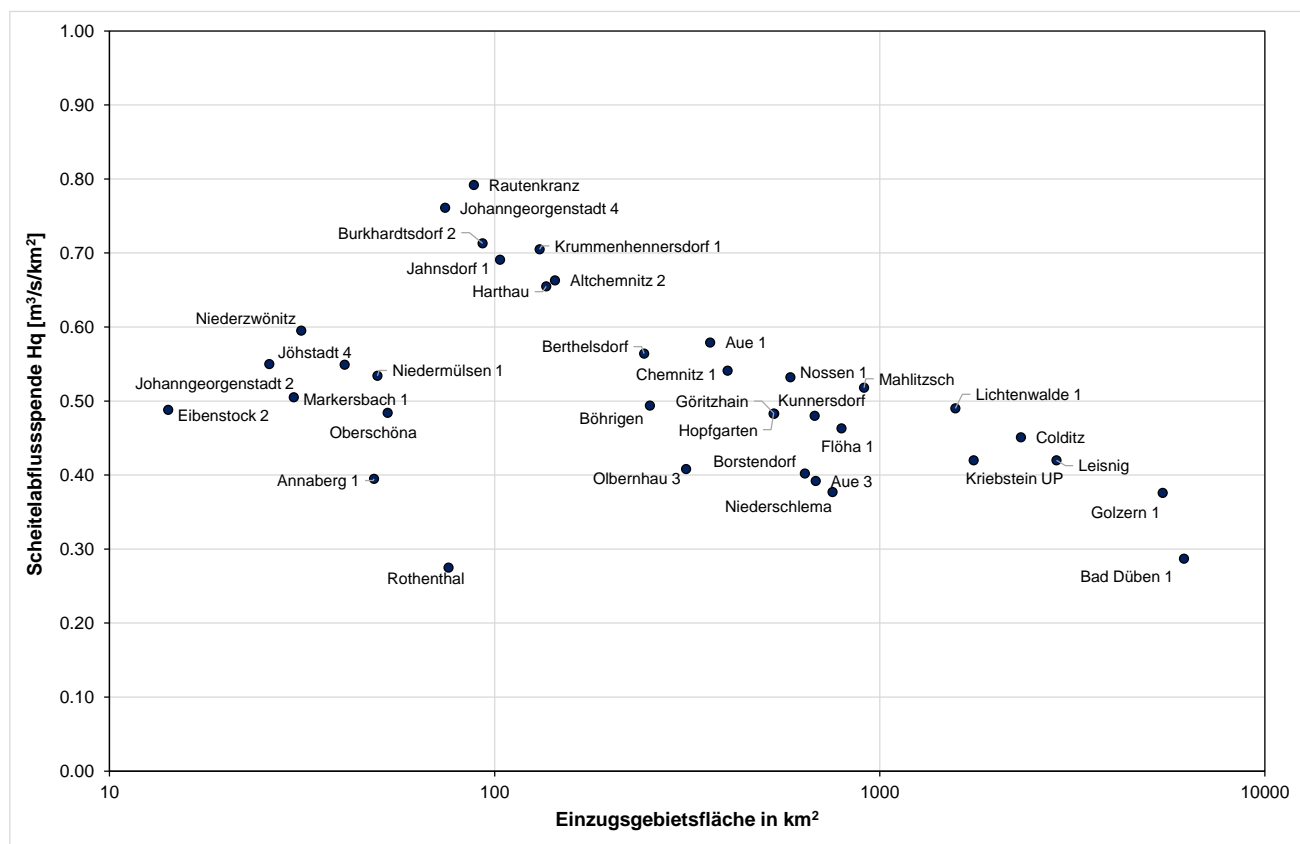


Abbildung 172: Zusammenhang zwischen den Scheitelabflussspenden und der Einzugsgebietsfläche

Zwischen der Scheitelabflussspende und dem Abflussbeiwert besteht ein deutlicher nichtlinearer Zusammenhang. Mit zunehmendem Abflussbeiwert nimmt auch die Scheitelabflussspende zu (Abbildung 173). Weil der Abflussbeiwert die Abflussbereitschaft des Einzugsgebietes darstellt, wird aus diesem Zusammenhang deutlich, dass die Scheitelabflüsse bei diesem Ereignis von der Abflussmenge und, in Folge nahezu gleicher Niederschlagssummen in allen Einzugsgebieten, von den gebietsspezifischen Abflussbildungsprozessen und nicht von der Abflusskonzentrationsphase geprägt waren.

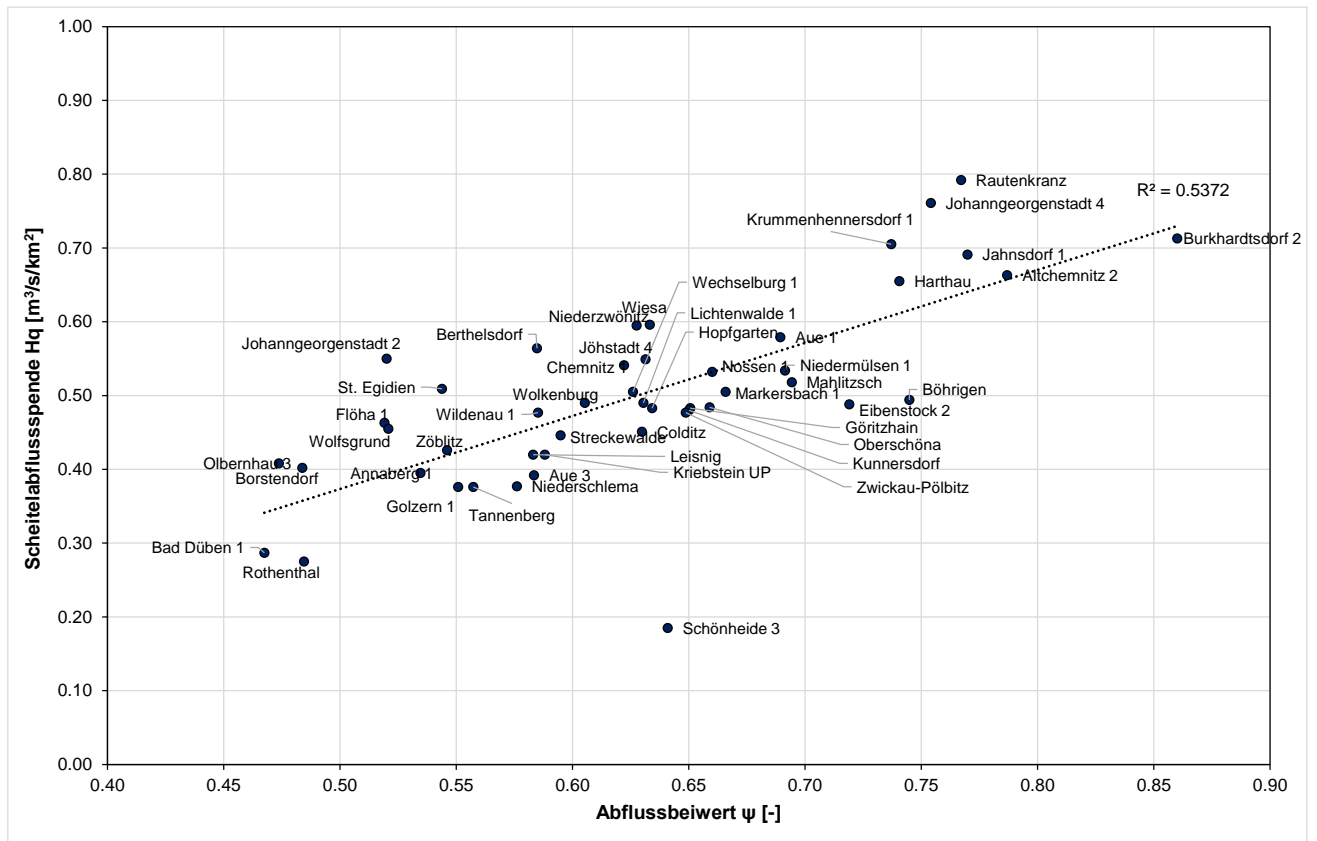


Abbildung 173: Zusammenhang zwischen der Scheitelabflussspende und den Abflussbeiwerten

Der Abflussbeiwert (Tabelle 34) stellt ein wesentliches Merkmal zur Charakterisierung der räumlichen Unterschiede der Hochwasserverhältnisse dar. In Abbildung 174 sind die Direktabflusshöhen über den Summenwerten der Gebietsniederschläge, differenziert nach Flussgebieten, dargestellt. Bei genereller (zwangsläufiger) Abhängigkeit des Direktabflusses von der Niederschlagsmenge gibt es eine Reihe von Pegeln, an denen die Direktabflüsse bei gleicher Niederschlagsmenge deutlich geringer sind als an der Mehrzahl aller Pegel (Bereich unten rechts), im Weiteren Gruppe 2. Ebenso ist ein Bereich ersichtlich, in dem die Direktabflüsse vergleichsweise deutlich höher sind (links oben), im Weiteren Gruppe 1. Nachfolgend werden die beiden Gruppen von Pegeln, an denen die Relationen zwischen Niederschlag und Direktabfluss von der Mehrheit abweicht, verglichen.

Tabelle 35: Pegel mit besonders hohen Direktabflüssen (Gruppe 1)

Pegel	Gewässer	AE [km ²]	Gebietsniederschlag [mm]	Direktabfluss [mm]	Abflussbeiwert
Sachsengrund	Große Pyra	6,47	161,2	153,0	0,95
Eibenstock 2	Rähmerbach	14,20	152,0	109,3	0,72
Johanngeorgenstadt 4	Schwarzwasser	74,34	147,0	110,9	0,75
Markersbach 1	Große Mittweida	30,07	140,5	93,5	0,67
Rautenkranz	Zwickauer Mulde	88,34	157,0	120,4	0,77
Burkhardsdorf 2	Zwönitz	93,04	161,6	139,0	0,86
Altchemnitz 2	Zwönitz	144,00	160,8	126,5	0,79
Böhrigen	Striegis	253,00	137,8	102,6	0,74
Mittelwerte		87,93	152,2	119,4	0,78

Tabelle 36: Pegel mit besonders niedrigen Direktabflüssen (Gruppe 2)

Pegel	Gewässer	AE [km ²]	Gebietsniederschlag [mm]	Direktabfluss [mm]	Abflussbeiwert
St. Egidien	Lungwitzbach	122,0	172,4	93,7	0,54
Rothenthal	Natzschung	75,9	161,7	78,3	0,48
Olbernhau 3	Flöha	314,0	167,2	79,2	0,47
Zöblitz	Schwarze Pockau	125,0	168,8	92,2	0,55
Borstendorf	Flöha	640,0	170,3	82,4	0,48
Flöha 1	Flöha	796,0	169,3	87,9	0,52
Berthelsdorf	Freiberger Mulde	245,0	178,5	104,3	0,58
Wolfsgrund	Chemnitzbach	35,8	184,1	95,9	0,52
Mittelwerte		294,2	171,5	89,2	0,52

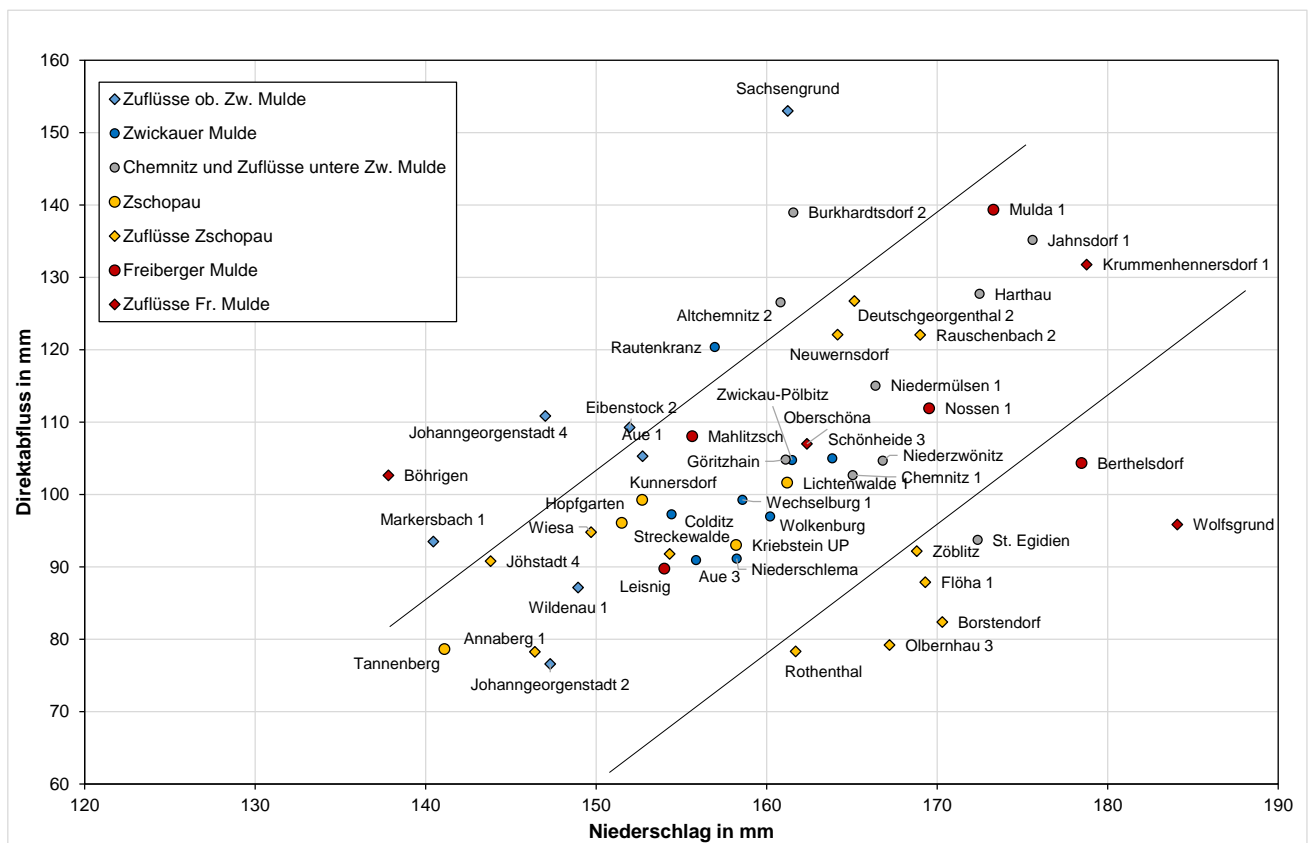


Abbildung 174: Verhältnis zwischen den Niederschlagssummen und den Direktabflüssen differenziert nach Flussgebieten und die drei Gruppen von Pegeln

Es ist zu berücksichtigen, dass die Anteile des Direktabflusses nicht gemessen, sondern durch Separation aus der Abflussganglinie ermittelt werden. Weil Separationsverfahren eine subjektive Komponente besitzen, wird zunächst die Relation zwischen den Abflusskomponenten Direkt- und Basisabfluss zwischen beiden Pegelgruppen verglichen (Tabelle 37). Es zeigt sich, dass der Quotient aus separiertem Direktabfluss und Basisabfluss (im Direktabflusszeitraum) deutliche Unterschiede zwischen beiden Gruppen aufweist. Im Mittel ist der Direktabfluss in Gruppe 1 3,6-mal so groß wie der Basisabfluss, in Gruppe 2 beträgt er dagegen nur das 2,6-Fache des Basisabflusses. Entfernt man aus beiden Gruppen jeweils den Pegel mit den höchsten Quotienten zwischen Direkt- und Basisabfluss (den Pegel Böhrgen in Gruppe 1, Pegel St. Egidien in Gruppe 2), wird der Unterschied mit 3,3 zu 2,1 noch deutlicher. Wenn der Unterschied zwischen den Direktabflüssen durch einen

systematischen Fehler bei der Abflusseparation bedingt wäre, würden sich beide Gruppen in Hinblick auf den Gesamtabflussanteil am Niederschlag nicht unterscheiden. Um dies zu prüfen, wurden die Gesamtabflüsse im Direktabflusszeitraum mit den Gebietsniederschlägen verglichen. Es zeigt sich, dass auch die Quotienten aus Gesamtabfluss zu Gebietsniederschlag deutliche Unterschiede aufweisen: Bei Pegeln mit hohen Direktabflüssen ist auch die Gesamtabflusssumme deutlich höher (Tabelle 38). Auffällig sind Quotienten über 1,0 an vier Pegeln der Gruppe 1. Dies kann durch drei Ursachen begründet sein:

- es wurden nicht alle Niederschläge erfasst
- die gemessenen Abflüsse sind zu niedrig
- es sind Abflussanteile enthalten, die aus vorhergehenden Niederschlägen stammen

Die erste Ursache ist an den Pegeln Sachsengrund und Rautenkranz zu vermuten, wogegen die beiden Zwönitz-Pegel eher durch den Vorregen im Zeitraum 25. bis 27. Mai beeinflusst sind.

Tabelle 37: Relationen des Direktabflusses zum Basisabfluss für die Pegel beider Gruppen

Pegel mit hohen Direktabflüssen (Gruppe 1)					Pegel mit niedrigen Direktabflüssen (Gruppe 2)				
Pegel	AE [km ²]	Basisabfluss [hm ³]	Direktabfluss [hm ³]	Quotient Direkt- zu Basisabfluss	Pegel	AE [km ²]	Basisabfluss [hm ³]	Direktabfluss [hm ³]	Quotient Direkt- zu Basisabfluss
Sachsengrund	6,47	0,265	0,990	3,74	St. Egidien	122,00	1,907	11,465	6,01
Eibenstock 2	14,20	0,377	1,552	4,11	Rothenthal	75,94	3,029	5,949	1,96
Johanngeorgenstadt 4	74,34	2,326	8,241	3,54	Olbernhau 3	314,00	13,098	24,870	1,90
Markersbach 1	30,07	1,143	2,815	2,46	Zöblitz	125,00	4,461	11,485	2,58
Rautenkranz	88,34	3,647	10,635	2,92	Borstendorf	640,00	30,617	52,690	1,72
Burkhardtsdorf 2	93,04	4,452	12,928	2,90	Flöha 1	796,00	35,056	69,912	1,99
Altchemnitz 2	144,00	5,108	18,162	3,56	Berthelsdorf	245,00	12,025	25,515	2,12
Böhrigen	253,00	4,646	25,965	5,59	Wolfsgrund	35,84	1,476	3,432	2,33
Mittelwerte	87,93			3,60	Mittelwerte	294,2			2,58

Tabelle 38: Relationen des Gesamtabflusses zum Gebietsniederschlag

Pegel mit hohen Direktabflüssen (Gruppe 1)					Pegel mit niedrigen Direktabflüssen (Gruppe 2)				
Pegel	AE [km ²]	Gesamt- abfluss [mm]	Gebiets- nieder- schlag [mm]	Quotient Ge- samt- abfluss zu Gebiets- niederschlag	Pegel	AE [km ²]	Gesamt- abfluss [mm]	Gebiets- nieder- schlag [mm]	Quotient Ge- samt- abfluss zu Gebiets- niederschlag
Sachsengrund	6,47	193,9	161,2	1,20	St. Egidien	122,00	109,3	172,4	0,63
Eibenstock 2	14,20	135,8	152,0	0,89	Rothenthal	75,94	118,2	161,7	0,73
Johanngeorgen- stadt 4	74,34	142,1	147,0	0,97	Olbernhau 3	314,00	120,9	167,2	0,72
Markersbach	30,07	131,5	140,5	0,94	Zöblitz	125,00	128,0	168,8	0,76
Rautenkranz	88,34	161,7	157,0	1,03	Borstendorf	640,00	130,3	170,3	0,76
Burkhardtsdorf 2	93,04	186,8	161,6	1,16	Flöha 1	796,00	131,9	169,3	0,78
Altchemnitz 2	144,00	162,1	160,8	1,01	Berthelsdorf	245,00	153,5	178,5	0,86
Böhrigen	253,00	121,0	137,8	0,88	Wolfsgrund	35,84	137,1	184,1	0,74
Mittelwerte	87,9			1,01	Mittelwerte	294,2			0,75

Im Weiteren wurde versucht, die Unterschiede in den Abflussbedingungen beider Gruppen kausal unter Berücksichtigung der Gebietseigenschaften, zunächst anhand des Einflusses des Bodens, zu begründen. Ausgangspunkt war die Bestimmung der mittleren Feldkapazität über die verschiedenen Bodenarten und deren Schichtung für jedes Gebiet. Unter Annahme eines trockenen Bodens am Ereignisbeginn entspricht diese der Niederschlagsmenge, die über den Verlauf des Ereignisses im Boden gespeichert wird. Zusätzlich ist die Perkolations in tiefere Bodenschichten maßgebend. Generell ist der Quotient zwischen Niederschlag und Feldkapazität unter Berücksichtigung einer Sprungschicht bei einer Reihe von Pegeln der Gruppe 1 deutlich höher als bei den Pegeln der Gruppe 2 (Tabelle 39). Allerdings gibt es Ausnahmen, die der Annahme, dass ein höheres Speichervermögen des Bodens den Direktabfluss mindert, widersprechen. So ist die mittlere Feldkapazität unter Berücksichtigung von Durchlässigkeitssprungschichten im Einzugsgebiet des Pegels Rothenthal wesentlich geringer als in anderen Einzugsgebieten der Gruppe 2. Dies kann durch die Hochmooranteile und damit gegebenenfalls, ergänzenden Speicherkapazitäten im Gebiet begründet sein. Der abflussintensive Pegel Böhrigen weist im Gegensatz zu den anderen Pegeln der Gruppe 1 einen großen Bodenspeicher auf, gleiches gilt für die Gebiete Burkhardtsdorf 2 und Altchemnitz 2, die sich diesbezüglich nicht von Pegeln der Gruppe 2 unterscheiden. Vermutlich muss sowohl der zeitliche Verlauf des Niederschlages (Niederschlagsintensität) und der Anteil wassergesättigter Gebietsteile Berücksichtigung finden.

Tabelle 39: Unterschiede im Speichervermögen des Bodens

Pegel mit hohen Direktabflüssen (Gruppe 1)					Pegel mit niedrigen Direktabflüssen (Gruppe 2)				
Pegel	Mittl. FK bis 2m Tiefe [mm]	Mittl. FK bis 2m/ Sprungschicht des kf-Wertes	Gebietsniederschlag [mm]	Quotient Niederschlag zu mittl. FK bis 2 m bzw. Sprungschicht	Pegel	Mittl. FK bis 2m Tiefe [mm]	Mittl. FK bis 2m/ Sprungschicht des kf-Wertes	Gebietsniederschlag [mm]	Quotient Niederschlag zu mittl. FK bis 2 m bzw. Sprungschicht
Sachsengrund	105,0	13,0	161,2	12,40	St. Egidien	104,2	91,7	172,4	1,88
Eibenstock 2	114,0	14,1	152,0	10,76	Rothenthal	105,0	13,0	161,7	12,44
Johanngeorgenstadt 4	105,0	13,0	147,0	11,31	Olbernhau 3	105,8	28,1	167,2	5,95
Markersbach 1	106,7	13,3	140,5	10,56	Zöblitz	94,8	44,4	168,8	3,80
Rautenkranz	105,4	32,3	157,0	4,86	Borstendorf	97,4	54,0	170,3	3,16
Burkhardtsdorf 2	100,7	56,0	161,6	2,89	Flöha 1	104,9	69,9	169,3	2,42
Altchemnitz 2	103,9	67,5	160,8	2,38	Berthelsdorf	104,4	76,0	178,5	2,35
Böhrigen	222,5	202,5	137,8	0,68	Wolfgrund	100,0	80,6	184,1	2,28
Mittelwerte	120,4	51,5		6,98	Mittelwerte	102,1	57,2		4,28

10 Betrachtungen zu ausgewählten Hochwasserereignissen seit 1897

Die Heterogenität der Hochwassererscheinungen im Muldegebiet wird durch den zeitlichen Verlauf der Hochwasserscheitel in den Hauptfließgewässern deutlich. Ausschlaggebend ist jeweils der stochastische Charakter der Niederschläge in Raum und Zeit, d. h. deren zufällige Unregelmäßigkeiten. Die Art der Abbildung 175 bis Abbildung 183 geht auf Darstellungen von FICKERT (1935 – siehe Anhang) zurück. Im Zuge der allmählichen Verdichtung des Pegelnetzes seit Beginn der regelmäßigen Beobachtungen werden die Abbildungen zwangsläufig detailreicher. Die sich ergebenden Muster können als Vorstufe für den in Kapitel 11 folgenden Vergleich ausgewählter Hochwasser betrachtet werden.

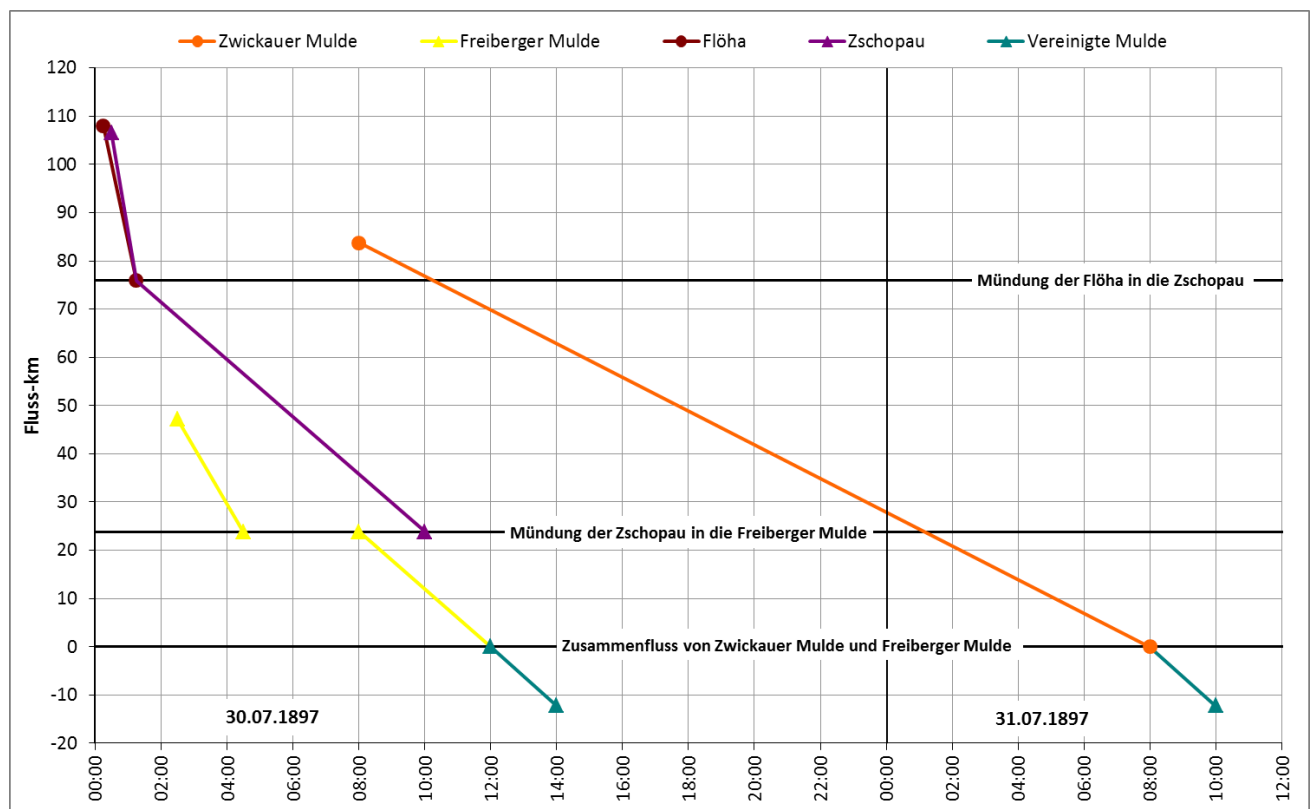


Abbildung 175: Zeitlicher Verlauf der Hochwasserscheitel in den Hauptfließgewässern des Muldegebietes am 30./31.07.1897

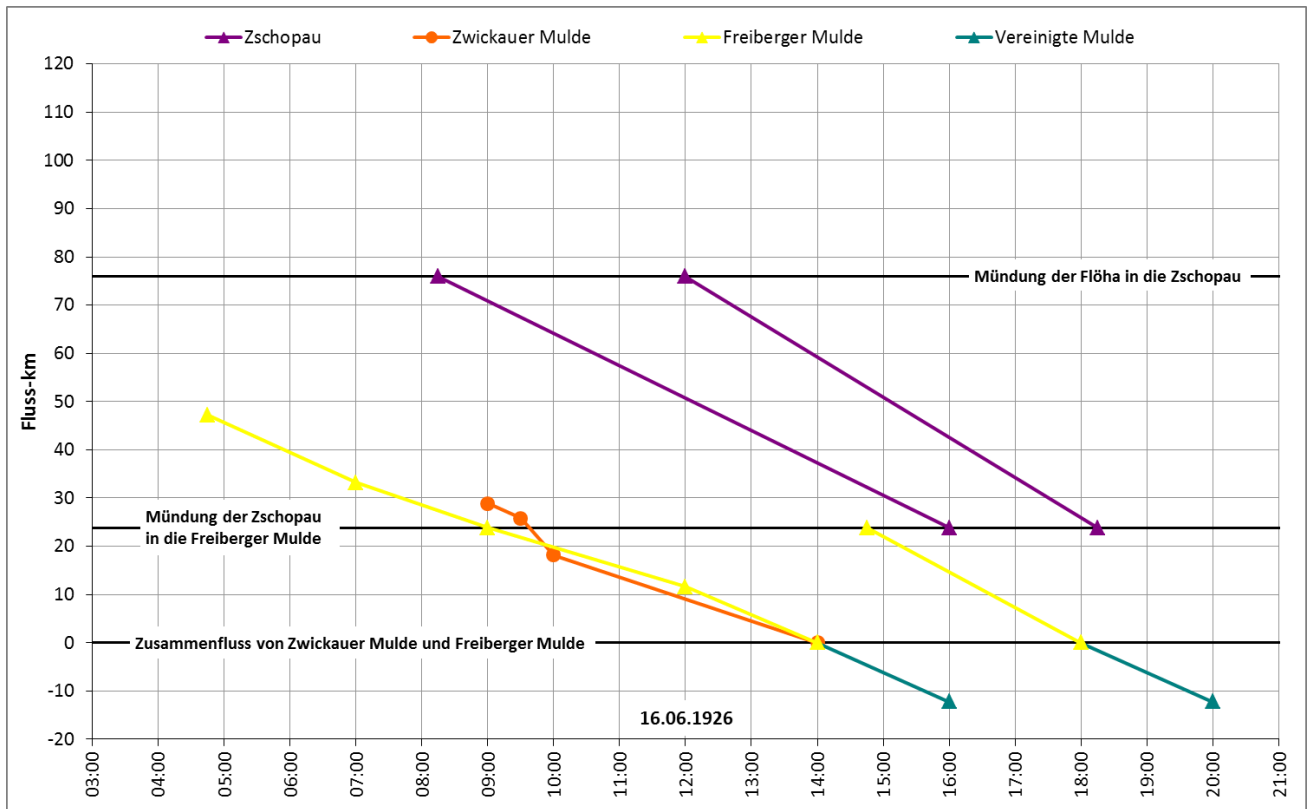


Abbildung 176: Zeitlicher Verlauf der Hochwasserscheitel in den Hauptfließgewässern des Muldegebietes am 16.06.1926

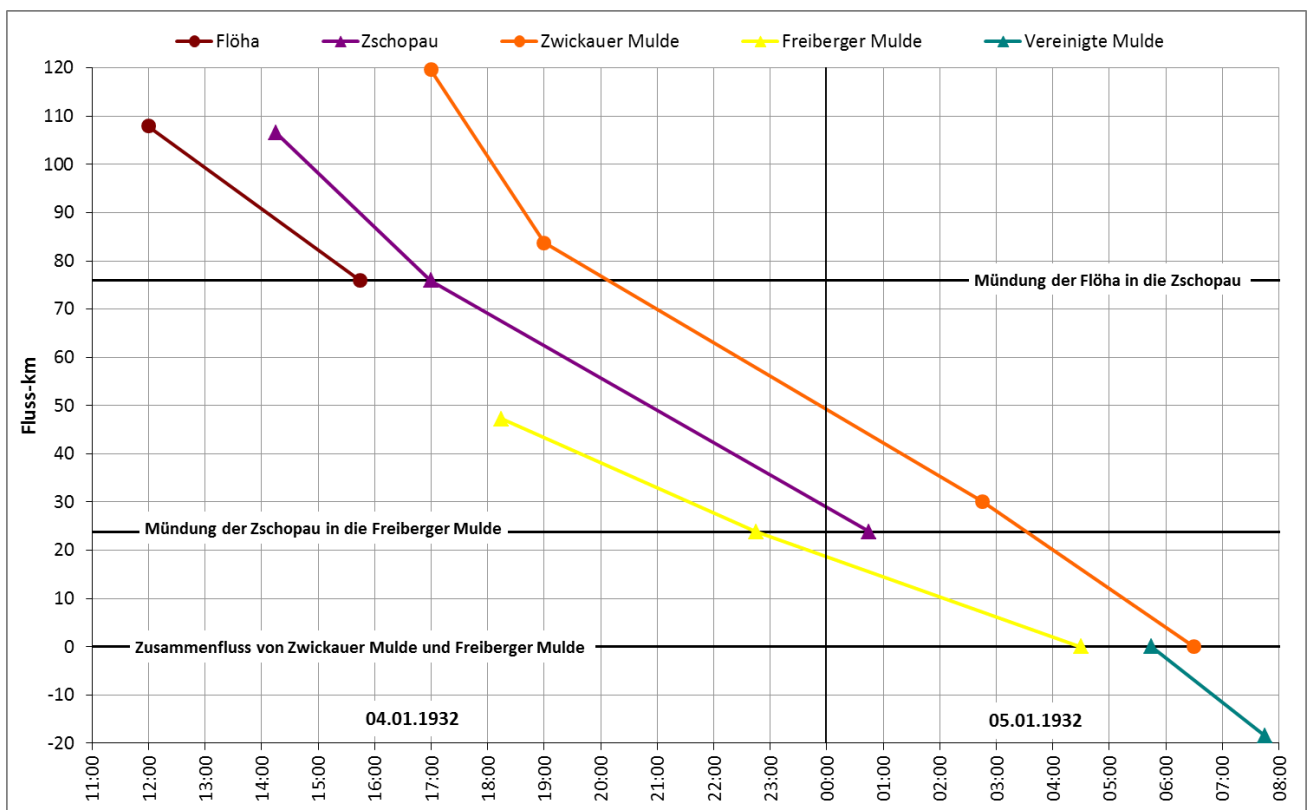


Abbildung 177: Zeitlicher Verlauf der Hochwasserscheitel in den Hauptfließgewässern des Muldegebietes am 04./05.01.1932

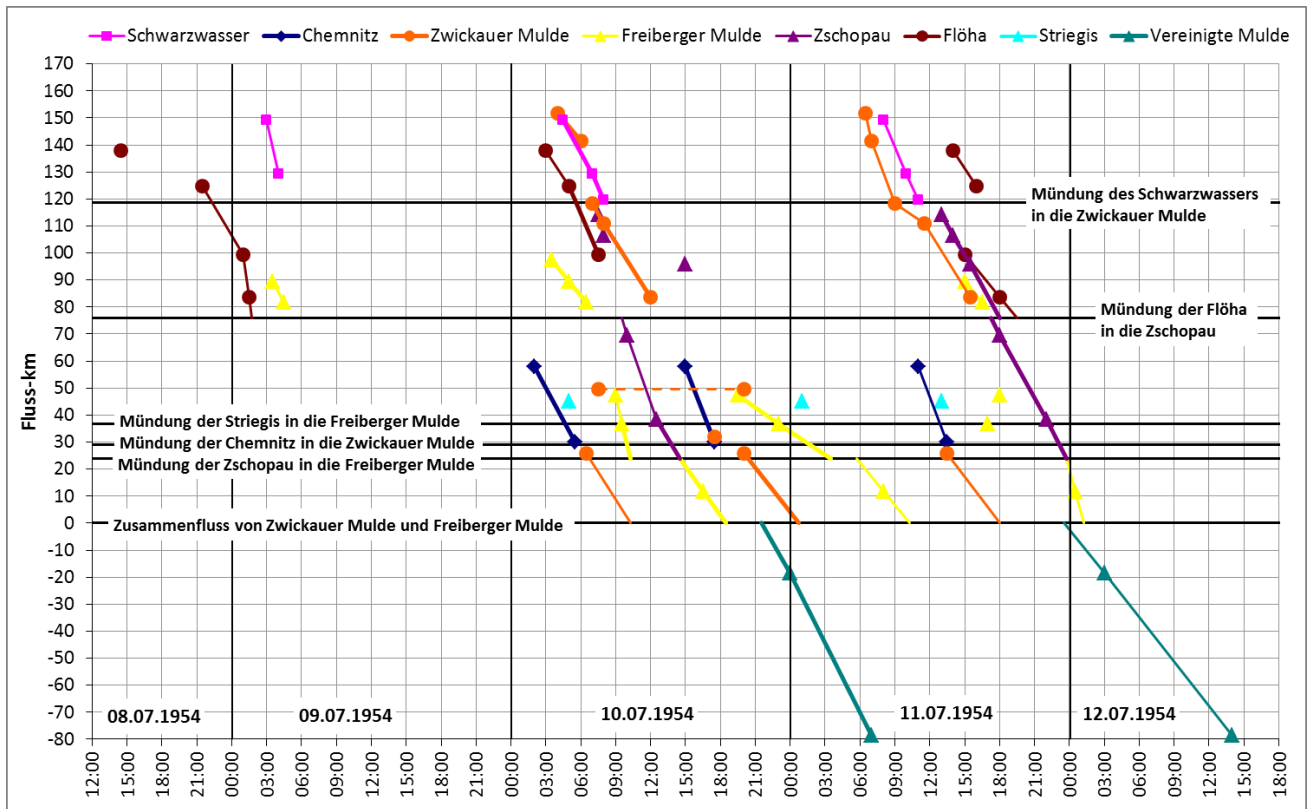


Abbildung 178: Zeitlicher Verlauf der Hochwasserscheitel in den Hauptfließgewässern des Muldegebietes vom 08. bis 12.07.1954

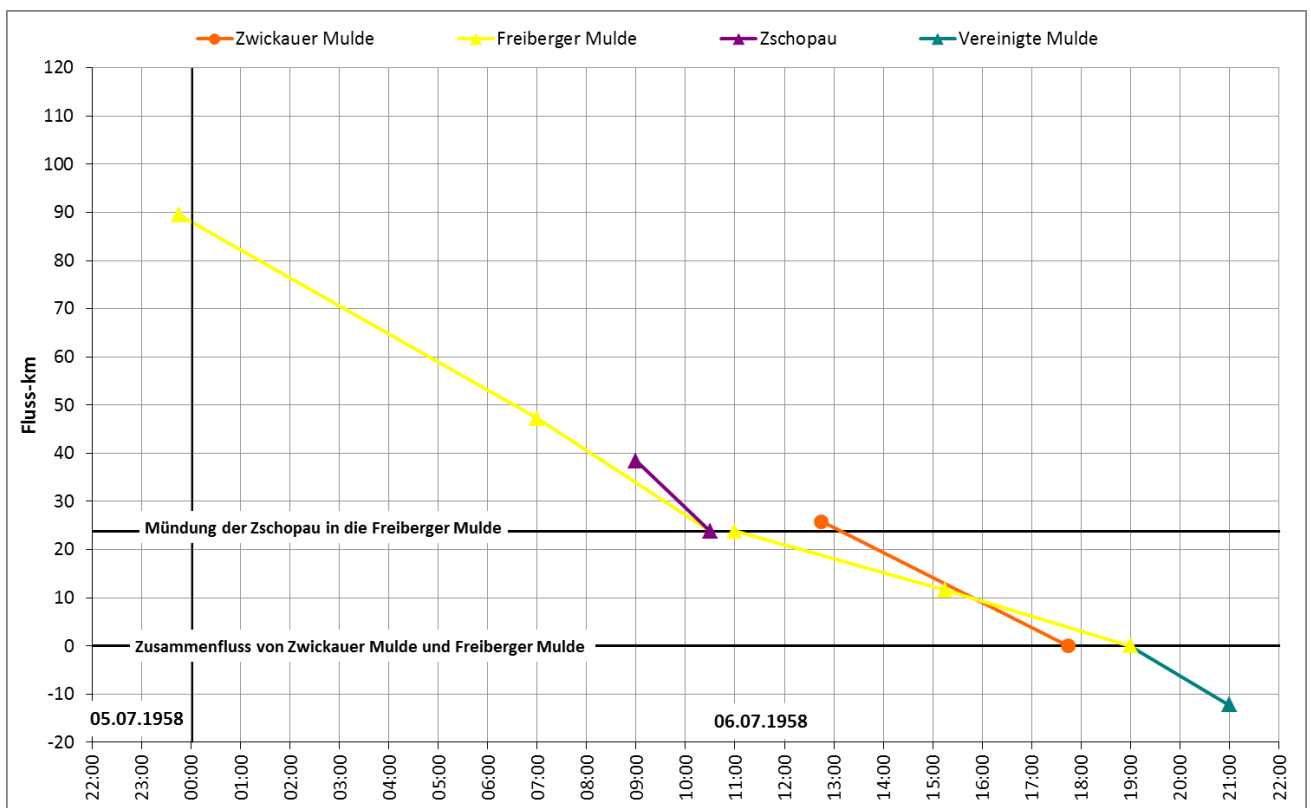


Abbildung 179: Zeitlicher Verlauf der Hochwasserscheitel in den Hauptfließgewässern des Muldegebietes am 05./06.07.1958

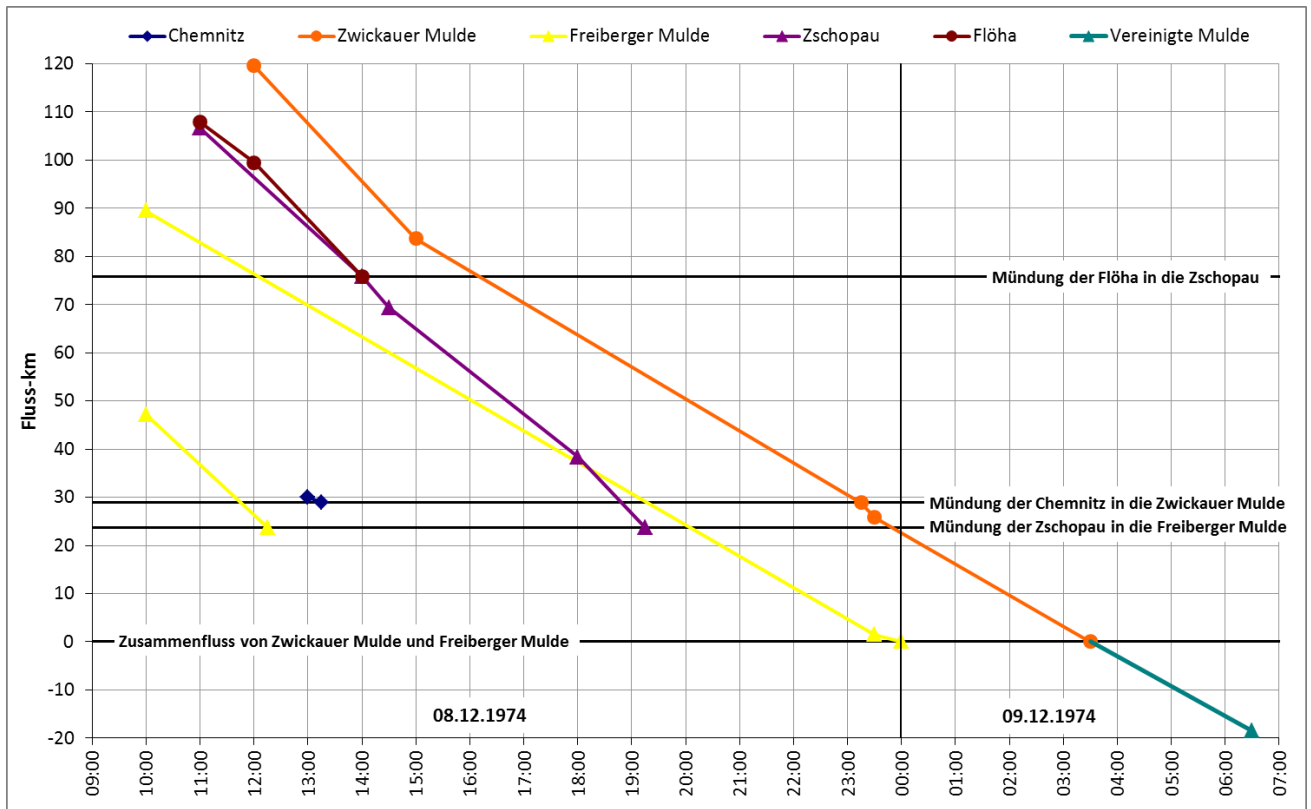


Abbildung 180: Zeitlicher Verlauf der Hochwasserscheitel in den Hauptfließgewässern des Muldegebietes am 08./09.12.1974

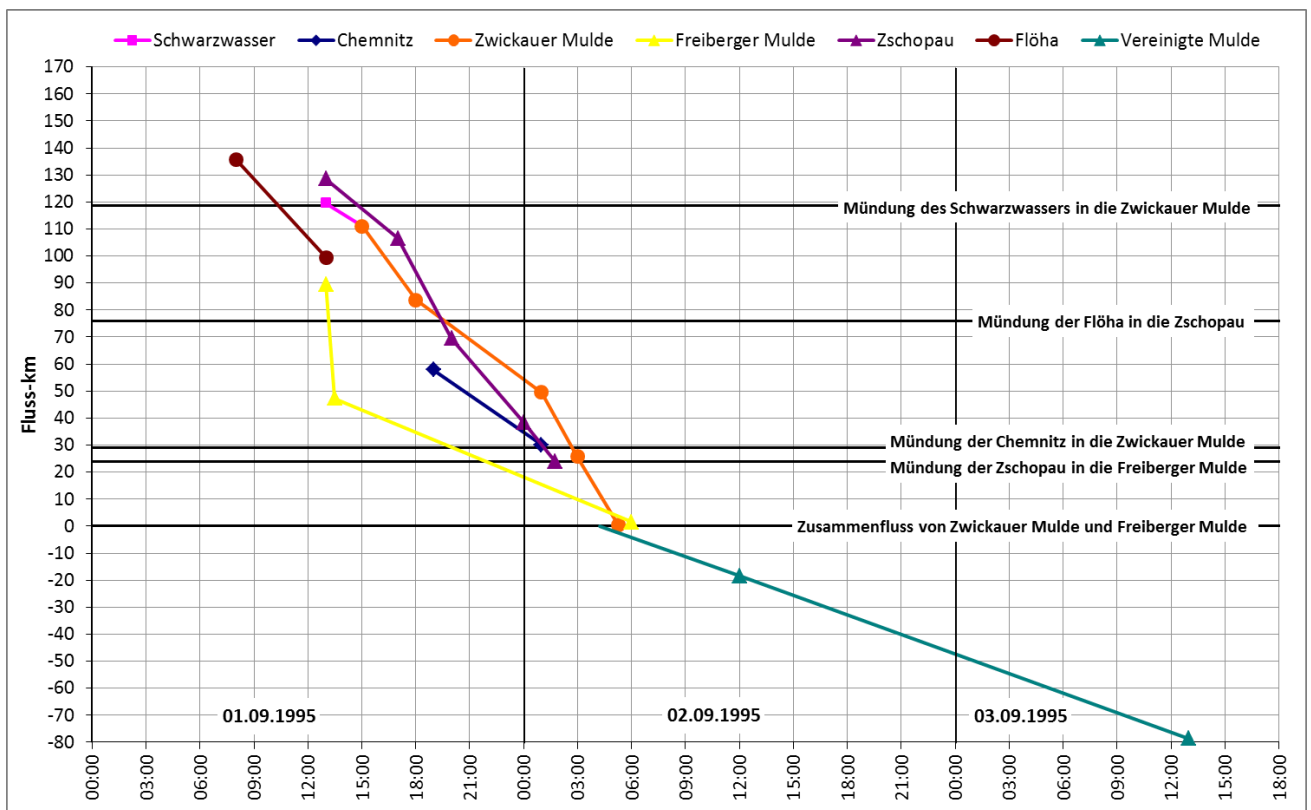


Abbildung 181: Zeitlicher Verlauf der Hochwasserscheitel in den Hauptfließgewässern des Muldegebietes am 31.08./01.09.1995

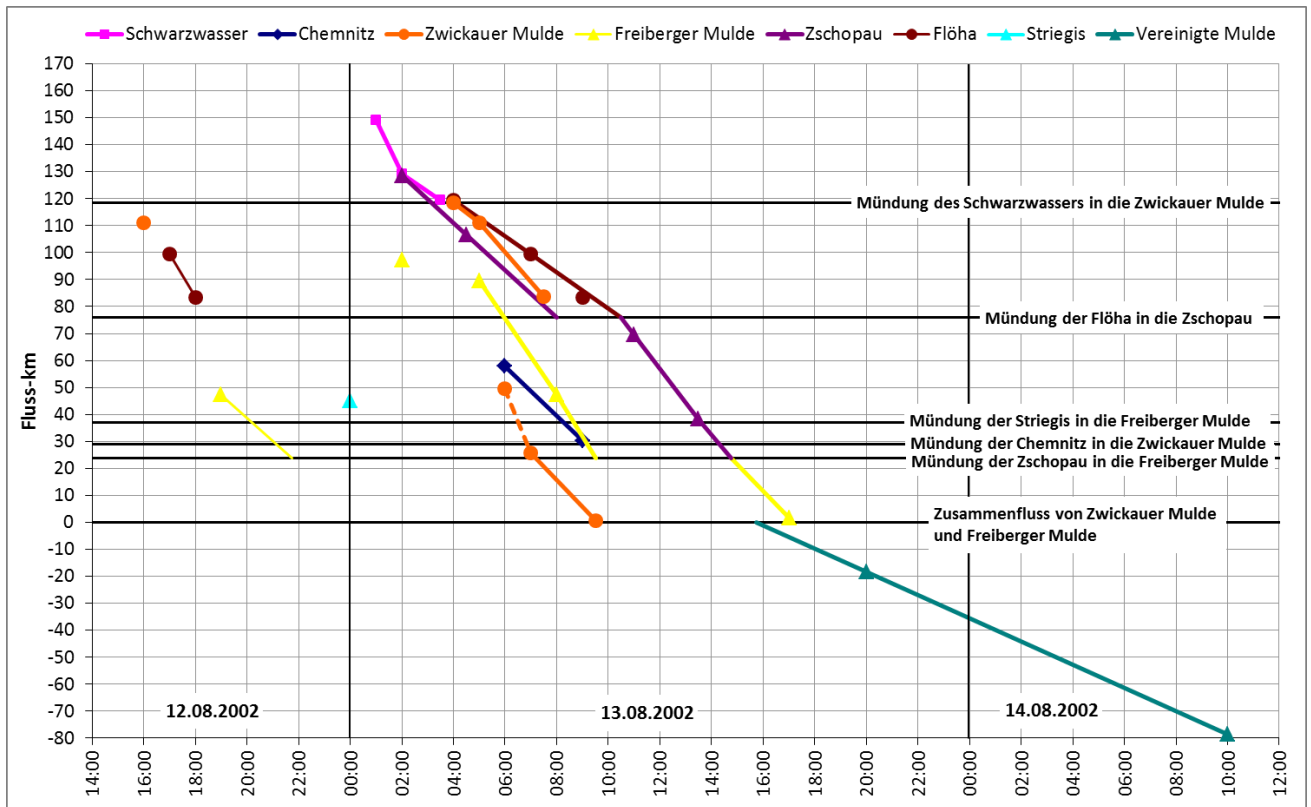


Abbildung 182: Zeitlicher Verlauf der Hochwasserscheitel in den Hauptfließgewässern des Muldegebietes vom 12. bis 14.08.2002

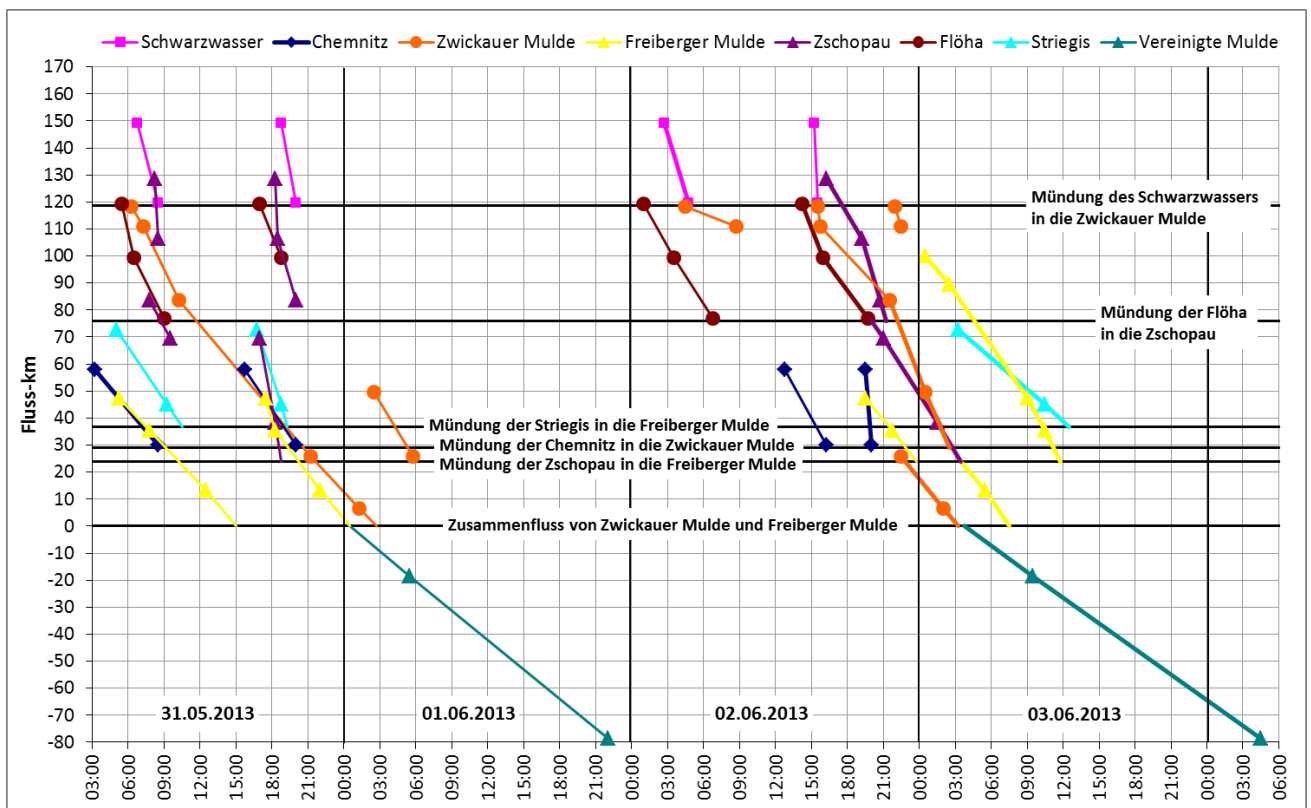


Abbildung 183: Zeitlicher Verlauf der Hochwasserscheitel in den Hauptfließgewässern des Muldegebietes vom 31.05. bis 03.06.2013

11 Vergleich ausgewählter nach 1950 aufgetretener Hochwasserereignisse

Ein Vergleich von Hochwassern ist in entscheidendem Maß von der Verfügbarkeit aussagekräftiger Daten zu Niederschlag und Abfluss abhängig, die sowohl räumliche als auch zeitliche Unterschiede deutlich machen. Entsprechende Unterlagen sind – von wenigen Ausnahmen abgesehen – erst für die Zeit nach dem Zweiten Weltkrieg vorhanden. Bei Erhöhung der Stationsdichten und analoger Dokumentation der Beobachtungen bis etwa zur Mitte der 1990er-Jahre hat sich seitdem die Datenverfüg- und -verarbeitbarkeit mit zunehmender digitaler Erhebung deutlich verbessert. Die oben näher beschriebenen Hochwasser wurden unter Beachtung ihrer auslösenden Faktoren und Auswirkungen sowie ihrer Wahrnehmung durch Betroffene für einen Vergleich ausgewählt. Dieser erfolgt anhand der Beobachtungen an 16 langjährig betriebenen Pegeln, die alle diese Hochwasser aufgezeichnet haben: Golzern 1, Niederschlema, Zwickau-Pölbitz, Wechselburg 1, Aue 1, Chemnitz 1, Göritzhein, Berthelsdorf, Nossen 1, Hopfgarten, Lichtenwalde 1, Kriebstein UP, Streckewalde, Borstendorf, Rothenthal und Zöblitz. Wie aus den vorhergehenden Kapiteln ersichtlich, hat sich die Anzahl der Pegel mit verwertbaren Hochwasseraufzeichnungen von 16 Pegeln beim Hochwasser 1954 bis auf 48 Pegel beim Ereignis 2013 erhöht. Im Sinne der Vergleichbarkeit wurden jedoch keine weiteren Pegel in diese Betrachtungen einbezogen.

11.1 Vorregen und hochwasserauslösende Niederschläge

11.1.1 Vorregen

Die Vorregen bestimmen die Anfangsfeuchte der Böden und damit die ereignisspezifische Abflussreaktion der Einzugsgebiete. Weil es sich bei den betrachteten Hochwasserereignissen stets um Ereignisse in den Sommermonaten handelte, ist hier der Vorregen über kürzere Zeiträume vor dem Ereignis von Interesse. Der oft betrachtete 30-Tage-Vorregenwert ist in Folge einer etwaigen zwischenzeitlichen Verdunstung im Sommer weniger aussagefähig. Die in Tabelle 40 zusammengestellten Werte der Gebietsniederschläge über 5, 10 und 30 Tage vor dem jeweiligen hochwasserauslösenden Niederschlag zeigen die Unterschiede zwischen den jeweils betrachteten Zeiträumen und den einzelnen Ereignissen. Zur besseren Differenzierung des 10-Tages-Niederschlags wurde zusätzlich der Niederschlag über die zweite Hälfte dieses Zeitraumes (6 bis 10 Tage) angegeben. Die Höchstwerte einer Vorregenstufe sind rot, die niedrigsten Werte grün markiert. Aus der farblichen Darstellung wird ersichtlich, dass die höchsten Vorregenwerte über fünf Tage mit den Ereignissen 1958 und 2013 auftraten. Das Ereignis 2002 hatte den höchsten 30-Tage-Vorregen, gefolgt von den Ereignissen 2013 und 1958. Die Ereignisse 1954 und 2002 wiesen den höchsten Vorregen über 10 Tage auf. Um die Anfangsfeuchtebedingungen besser vergleichen zu können, wurde eine gewichtete Summe der Vorregenwerte berechnet. Die 5-Tage-Vorregen wurden mit 0,5; die Vorregen, die 6 bis 10 Tage vor dem Hochwasserereignis fielen, mit 0,3 und die Vorregen über 11 bis 20 Tage vor dem Ereignis mit 0,2 gewichtet (Tabelle 41). Die in der letzten Spalte von Tabelle 41 dargestellten Relationen der so gebildeten Indexwerte der einzelnen Ereignisse zu ihrem Maximalwert (Hochwasser 2002) zeigen eine starke Ähnlichkeit dieser Werte zwischen den Ereignissen 2002, 1958 und 2013. Das Hochwasser 1954 hatte demgegenüber einen, zu etwa einem Drittel geringeren Vorregen. Das Ereignis 1995 wies im Vergleich zu den anderen vier Ereignissen einen deutlich geringeren Vorregen auf.

Tabelle 40: Vorregenwerte über 5, 6 bis 10, 10 und 30 Tage der fünf Hochwasserereignisse

Jahr	Wechselburg 1				Lichtenwalde 1				Nossen 1			
	5 Tage	6 - 10 Tage	10 Tage	30 Tage	5 Tage	6 - 10 Tage	10 Tage	30 Tage	5 Tage	6 - 10 Tage	10 Tage	30 Tage
1954	12,3	56,2	68,6	84,2	14,2	41,3	55,5	81,4	9,7	44,8	54,4	81,3
1958	51,5	3,2	54,7	107,4	50,3	0,6	50,9	103,7	50,3	1,7	52,0	106,7
1995	21,8	6,6	28,5	48,9	23,4	6,0	29,4	45,4	22,0	8,1	30,1	51,1
2002	34,7	31,1	65,8	124,0	34,6	30,3	64,9	123,7	34,0	30,3	64,3	129,4
2013	43,0	10,9	53,9	111,2	38,4	8,6	47,0	119,7	42,0	8,5	50,5	118,3

Tabelle 41: Gewichtet ermittelte Vorregen

(5-Tage-Vorregen mit dem Gewicht 0,5; (6 bis 10)-Tage-Vorregen mit dem Gewicht 0,3 und (11 bis 30)-Tage-Vorregen mit dem Gewicht 0,2)

Hochwasser	Wechselburg 1	Lichtenwalde 1	Nossen 1	Mittelwert über 3 Gebiete	Relation zum Maximum (2002)
1954	26,2	24,7	23,6	24,8	0,644
1958	37,3	35,9	36,6	36,6	0,950
1995	17,0	16,7	17,6	17,1	0,444
2002	38,3	38,1	39,1	38,5	1,000
2013	36,2	36,3	37,1	36,6	0,949

Neben den Vorregen kann der Abfluss vor Beginn des Hochwassers als eine Kenngröße für den Anfangsfeuchtezustand des jeweiligen Einzugsgebietes betrachtet werden. In Tabelle 42 sind die entsprechenden Abflusswerte vor dem Anstieg der Hochwasserwelle für die drei Hauptpegel für alle fünf Hochwasser zusammengestellt. Um diese zu vergleichen und zu bewerten wurden die Relationen zum Sommer-Mittelwasserabfluss des jeweiligen Pegels mit angegeben. Ersichtlich wird ein besonders hohes, über dem zweifachen MQ(Sommer) liegendes Basisabflussniveau bei den Ereignissen 1958 und 2013, das sich auch in hohen Vorregenwerten widerspiegelt. Der Basisabfluss war beim Hochwasser 1954 am Ereignisbeginn deutlich niedriger als bei den vorgenannten Ereignissen, lag jedoch auch nicht im Niedrigwasser-, sondern im Mittelwasserbereich. Die Ereignisse 1954 und 2002 zeigten von West nach Ost abnehmende relative Basisabflusswerte.

Tabelle 42: Werte des Basisabflusses vor Hochwasserbeginn

Hochwasser	Wechselburg 1		Lichtenwalde 1		Nossen 1	
	Q [m³/s]	Relation MQ(Sommer)	Q [m³/s]	Relation MQ(Sommer)	Q [m³/s]	Relation MQ(Sommer)
1954	19,2	0,88	10,7	0,65	2,86	0,59
1958	56,8	2,59	53,9	3,29	23,5	4,82
1995	30,7	1,40	10,4	0,63	4,8	0,98
2002	40,0	1,83	20,9	1,27	3	0,61
2013	66	3,01	38,3	2,34	12,6	2,58

Zusammenfassend waren die Ereignisse 1958, 2002 und 2013 durch hohe Vorfeuchte, das Ereignis 1954 durch mittlere und das Hochwasser 1995 durch relativ niedrige Vorregen gekennzeichnet.

11.1.2 Räumliche Verteilung der hochwasserauslösenden Niederschläge

Die Unterschiede der räumlichen Niederschlagsverteilungen werden in den Kartendarstellungen (Abbildung 184) deutlich. Um die Niederschlagsereignisse unterschiedlicher Dauer vergleichen zu können, wurde für jedes der 16 Einzugsgebiete das jeweilige Maximum der Summen der Gebietsniederschläge über 72 Stunden ermittelt. Die Abbildung 186 zeigt sowohl die Unterschiede der Gebietsniederschläge zwischen den Ereignissen als auch die ungleichförmige Verteilung der Niederschläge über das Muldegebiet 1954, 1958 und 2002. Hinsichtlich der Unterschiede in der Niederschlagsverteilung zwischen dem Ost- und dem Westteil des Muldegebietes können drei Ereignistypen unterschieden werden:

- Gleichmäßige Verteilungen (Ereignisse 1995, 2013)
- Niederschlagsverteilungen mit dem Schwerpunkt im östlichen Bereich des Muldegebietes (hierin waren die Ereignisse 1958, 2002 sehr ähnlich)
- Verteilungen mit dem Niederschlagsschwerpunkt im Westteil des Muldegebietes (Ereignis 1954)

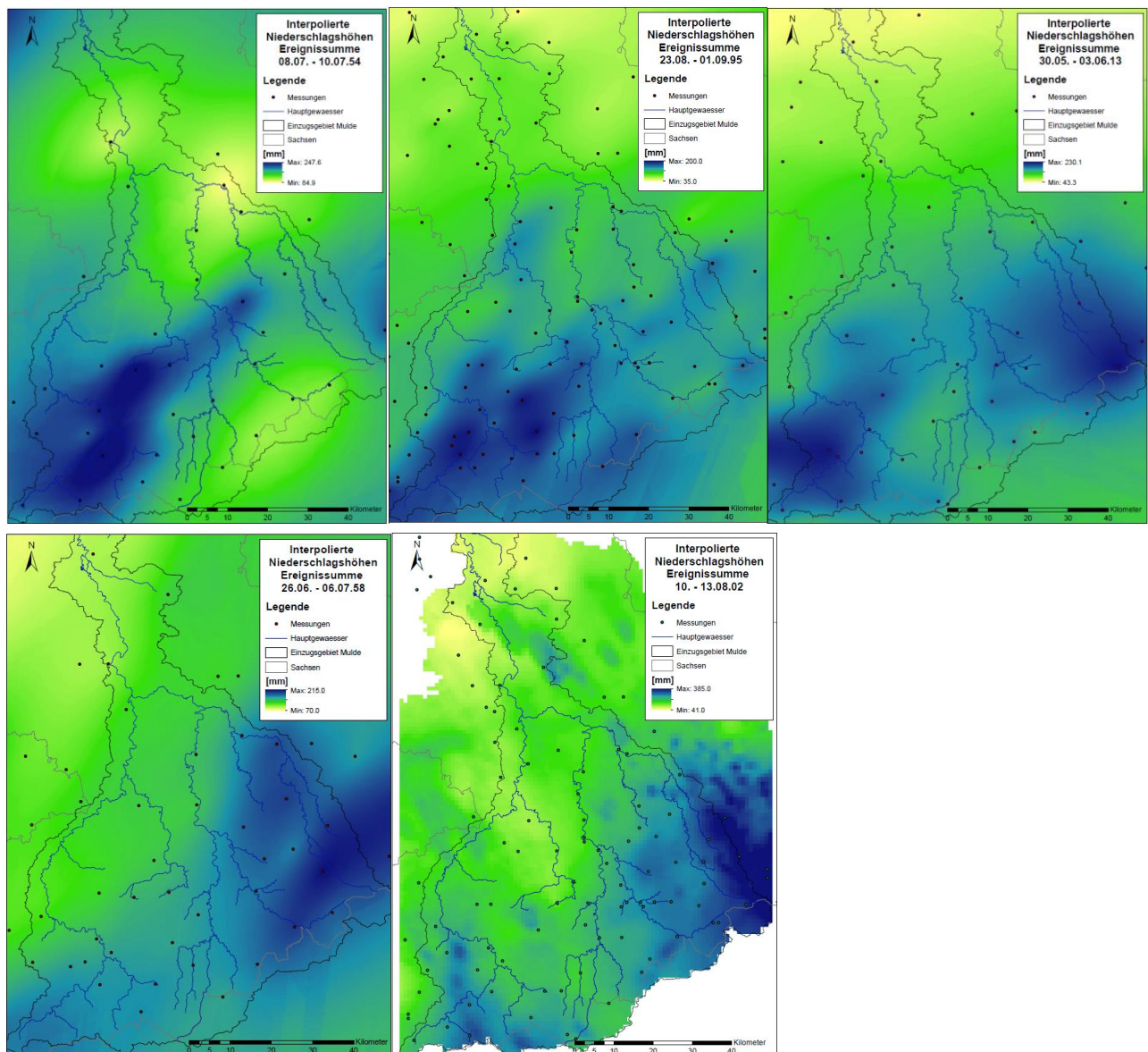


Abbildung 184: Räumliche Verteilung der Niederschläge der untersuchten Hochwasserereignisse
 Oben: Ereignis 1954: Niederschlagsschwerpunkt im Westteil, Ereignisse 1995 und 2013 mit eher gleichmäßige Niederschlagsverteilung; Unten: Ereignisse 1958 und 2002 mit Niederschlagsschwerpunkten im Ostteil

Zeitliche Verteilung

Für den Abflussverlauf ist neben der räumlichen auch die zeitliche Verteilung des Niederschlages maßgebend. Die fünf analysierten Hochwasserereignisse unterscheiden sich hierin wie folgt (Abbildung 185):

- Die Ereignisse 2013 und 1954 sind durch längere, d. h. mindestens vier Tage anhaltende Niederschläge gekennzeichnet. Die Intensitätsmaxima liegen nur bei etwa 4 mm/h (der hier diskutierte Gebietsniederschlag für den Pegel Bad Dübener 1/Vereinigte Mulde (AE = 6170 km²) ist aufgrund der Mittelung über eine große Fläche deutlich kleiner als ein Teilgebiets- oder Stationsniederschlag). Das Niederschlagsereignis 2013 war weniger kompakt als das Ereignis 1954 und kann wegen der ca. neunstündigen Niederschlagsunterbrechung innerhalb der vier Regentage in mehrere Teilniederschläge aufgelöst werden.
- Die Regenereignisse 2002 und 1995 unterscheiden sich zwar in ihrem räumlichen Schwerpunkt und in ihrer Intensität, sie nehmen aber einen ähnlichen zeitlichen Verlauf. Der Großteil des Niederschlages ist auf etwa zwei Tage konzentriert, die maximalen Intensitäten des Gebietsniederschlages für Bad Dübener 1 sind mit 6 (1995) und 11 mm/h (2002) deutlich höher als 2013 oder 1954, obwohl nur auf einen relativ kleinen Teil des hier betrachteten Einzugsgebietes extrem hohe Niederschläge fallen.
- Das Ereignis 1958 setzt sich im Gegensatz zu den anderen Ereignissen aus mehreren Teilereignissen zusammen, die wiederum hohe Schwankungen der Niederschlagsintensität aufweisen. Es unterscheidet sich hierin von den anderen Ereignissen.

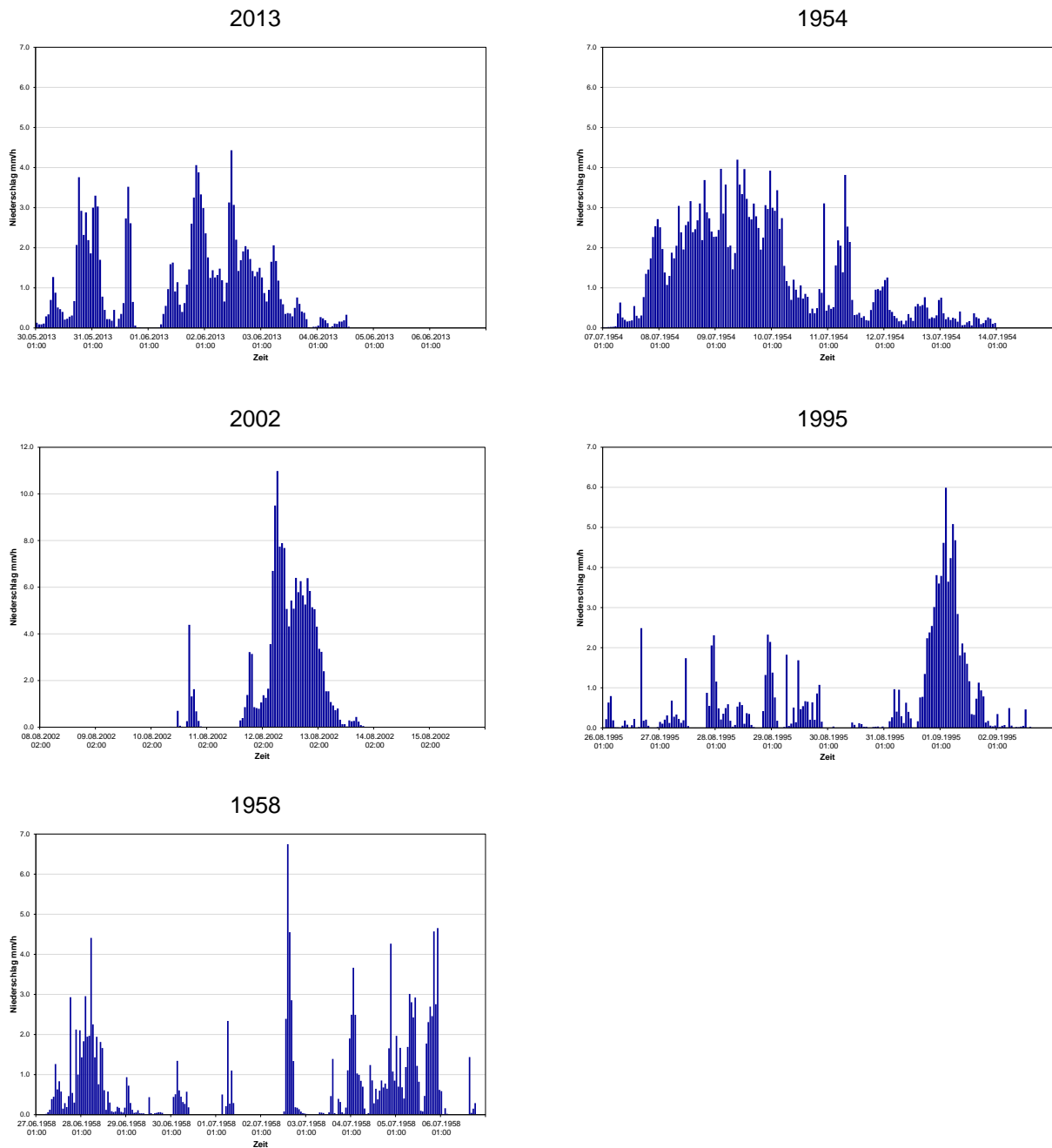


Abbildung 185: Unterschiede in der zeitlichen Verteilung des Gebietsniederschlags des Gesamtgebietes der Mulde (Pegel Bad Dübener 1/Vereinigte Mulde)

In Hinblick auf die Intensitätsabhängigkeit der Abflussbildung sind die maximalen Niederschlagsintensitäten von Interesse. Die maximalen Summen des Gebietsniederschlags über 72 Stunden sind in Abbildung 186 dargestellt. Neben der Lage der Niederschlagschwerpunkte wird auch die extreme Höhe dieses Niederschlags beim Ereignis 2002 deutlich. Auch die Darstellungen der 24-h- und 6-h-Maxima (Abbildung 187, Abbildung 189) zeigen die extrem hohen Niederschlagswerte beim Hochwasserereignis 2002. Um den Vergleich zwischen den anderen Ereignissen zu ermöglichen, wurden deshalb zusätzliche Darstellungen ohne 2002 eingefügt (Abbildung 188, Abbildung 190).



Abbildung 186: 72-h-Niederschlagsmaxima der fünf Hochwasserereignisse
 Die Pegel sind, beginnend mit Aue 1 im Uhrzeigersinn, in West-Ost-Richtung dargestellt.

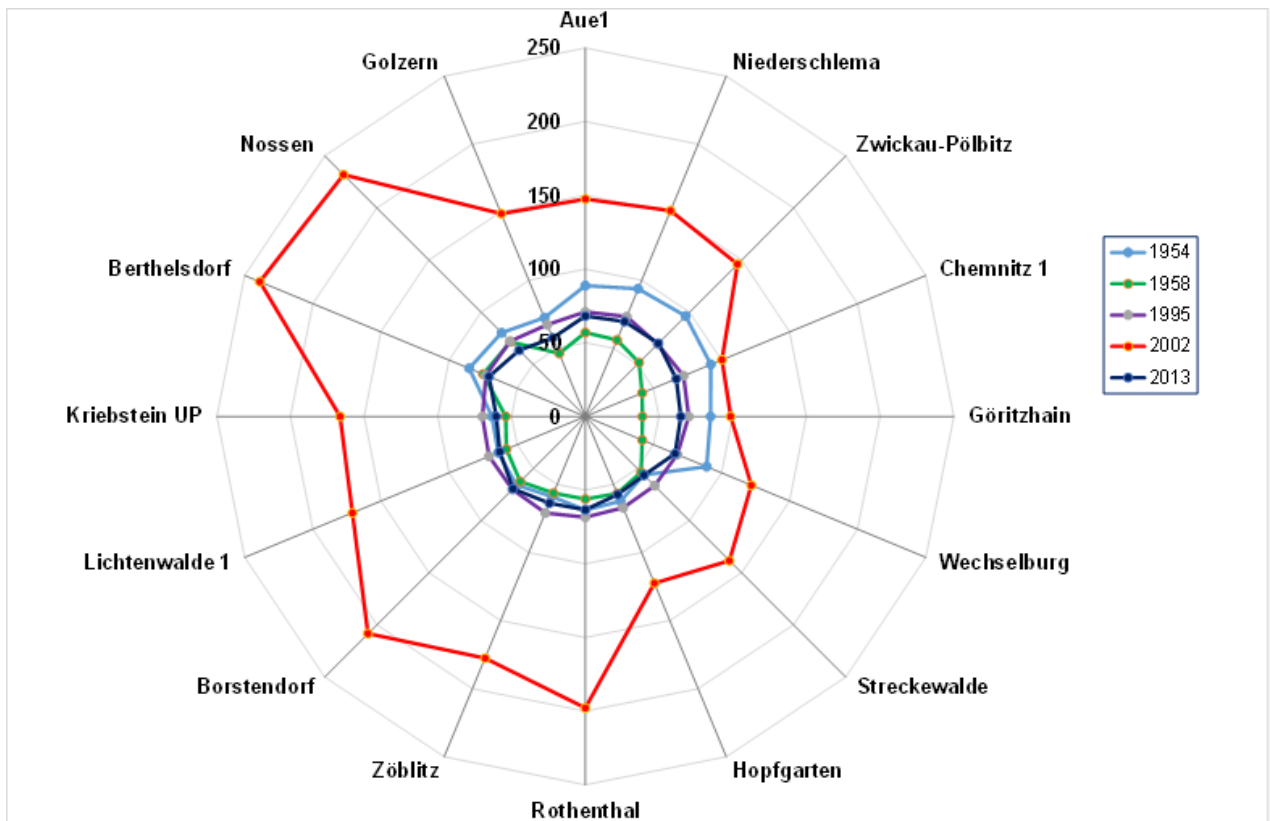


Abbildung 187: 24-h-Niederschlagsmaxima der fünf Hochwasserereignisse
 Die Pegel sind, beginnend mit Aue 1 im Uhrzeigersinn, in West-Ost-Richtung dargestellt.

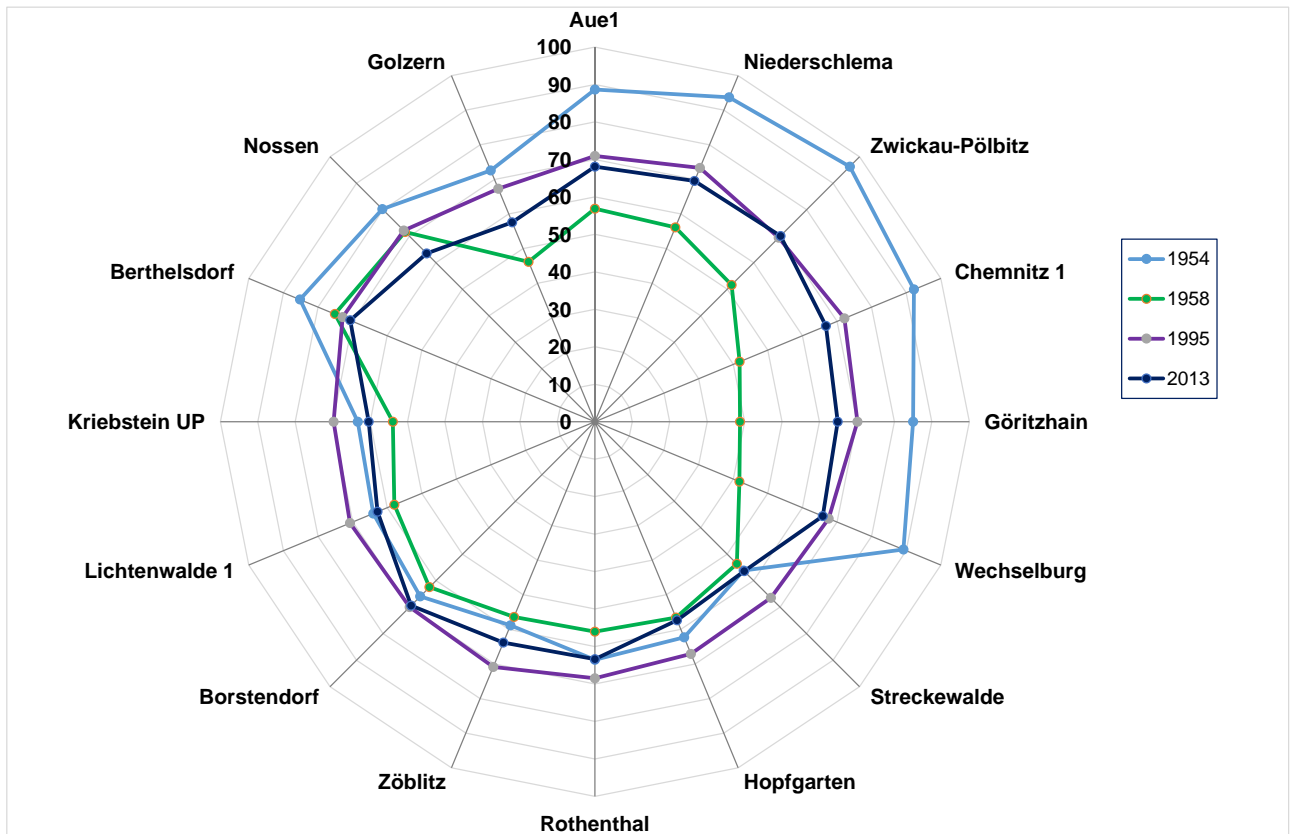


Abbildung 188: 24-h-Niederschlagsmaxima wie in Abbildung 187, aber ohne Ereignis 2002

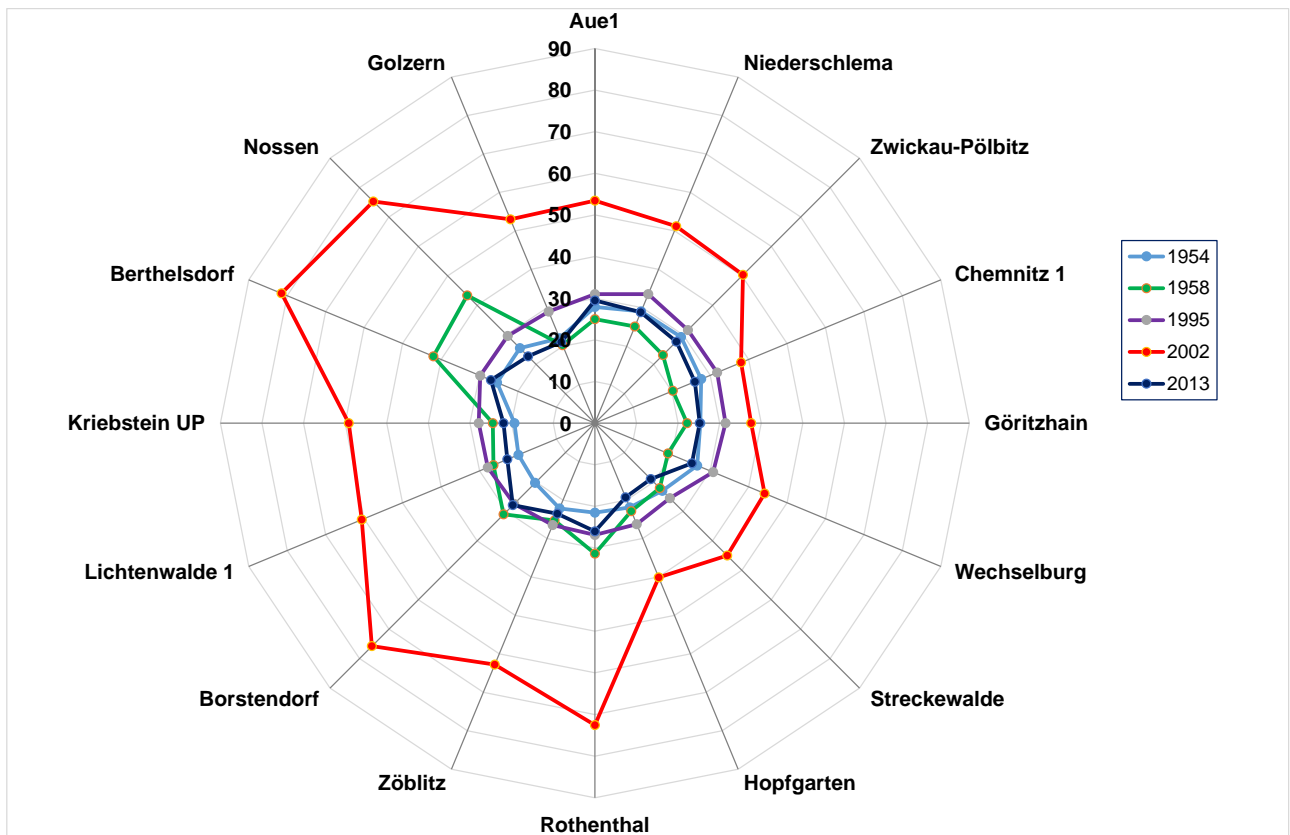


Abbildung 189: 6-h-Niederschlagsmaxima der fünf Hochwasserereignisse
Die Pegel sind, beginnend mit Aue 1 im Uhrzeigersinn, in West-Ost-Richtung dargestellt.

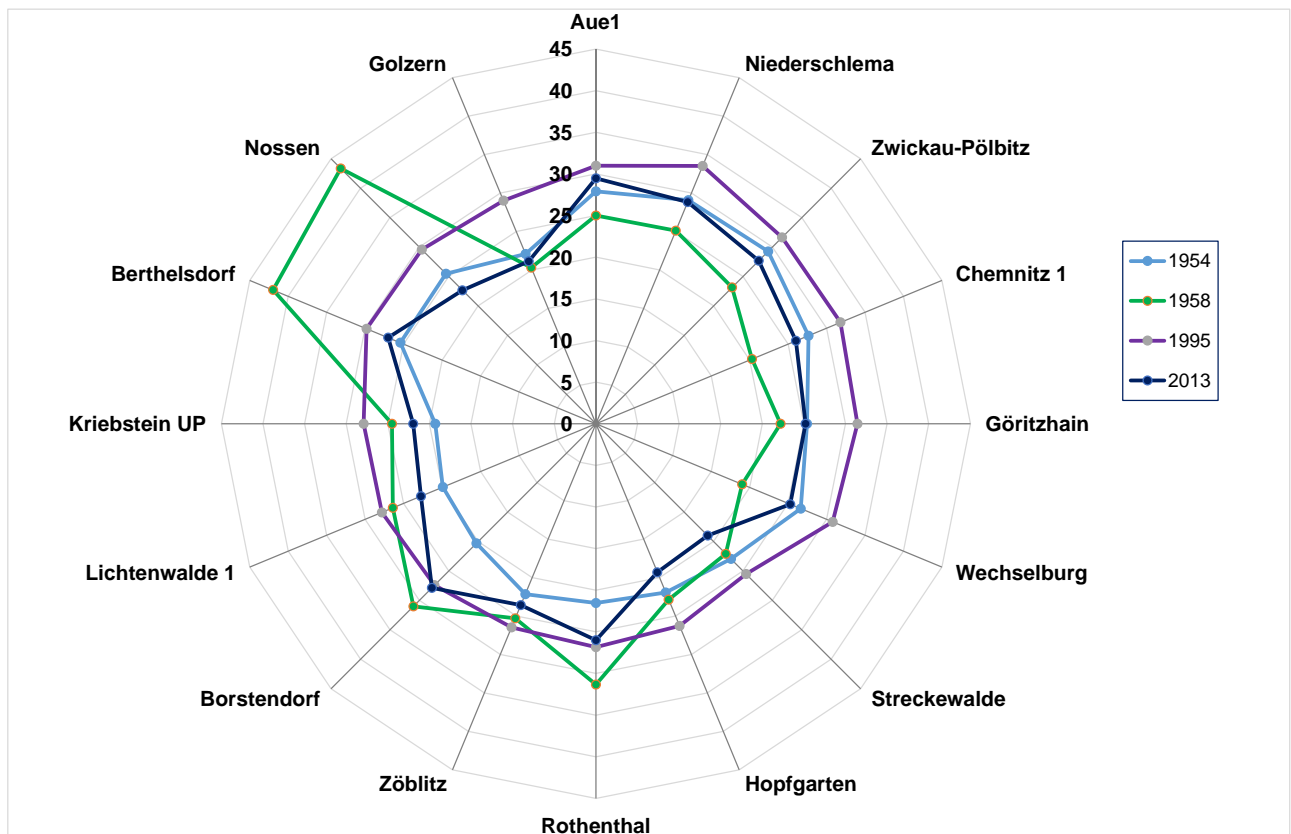


Abbildung 190: 6-h-Niederschlagsmaxima wie in Abbildung 189, aber ohne Ereignis 2002

Die 24-h-Maxima zeigen (bei Ausklammerung des Ereignisses 2002) ihre Höchstwerte zwischen 90 und 100 mm 1954 im Gebiet der Zwickauer Mulde (Abbildung 188). Die 24-h-Summen aller anderen Ereignisse waren deutlich kleiner. Das Hochwasser 1958 wies im Vergleich zu den anderen Ereignissen ein deutliches Intensitätsmaximum im Bereich der Freiburger Mulde auf. Die 6-h-Maxima dieses Ereignisses sind im Gebiet der Freiburger Mulde ebenfalls sehr hoch (Abbildung 190). Das Ereignis 1995 unterscheidet sich durch seine nahezu gleichmäßig in allen Gebieten auftretenden Intensitätsmaxima zwischen 25 und 35 mm in 6 Stunden bzw. etwa 50 mm in 12 Stunden (Tabelle 43) von den anderen Ereignissen.

Tabelle 43: 6- und 12-h-Maxima der Gebietsniederschläge bei den verschiedenen Hochwasserereignissen.

Die höchsten (ohne Ereignis 2002) und niedrigsten Werte für jeden Pegel aus den Ereignissen 1954, 1958, 1995 und 2013 sind rot bzw. grün markiert. Das Ereignis 2002 wurde aufgrund der Höhe der Maxima nicht in den Vergleich einbezogen.

Pegel	6-h-Maxima in mm					Pegel	12-h-Maxima in mm				
	1954	1958	1995	2013	2002		1954	1958	1995	2013	2002
Zwickauer Mulde											
Aue 1	27,9	25,0	31,0	29,5	53,4	Aue 1	47,6	38,7	52,0	44,8	79,0
Niederschlema	29,1	25,1	33,5	28,8	51,2	Niederschlema	49,8	40,6	54,7	45,4	79,8
Zwickau-Pölbitz	29,3	23,1	31,6	27,7	50,4	Zwickau-Pölbitz	50,4	38,0	51,7	44,5	78,6
Chemnitz 1	27,7	20,3	31,8	26,0	38,0	Chemnitz 1	48,5	29,0	53,2	36,6	57,3
Göritzshain	25,4	22,2	31,4	25,2	37,6	Göritzshain	44,8	29,3	52,4	34,9	57,2
Wechselburg 1	26,6	19,0	30,8	25,3	44,2	Wechselburg 1	46,7	31,9	50,1	37,9	67,8
Zschopau-/Flöhagebiet											
Streckewalde	23,0	22,1	25,5	19,0	45,0	Streckewalde	30,1	28,7	46,0	33,5	73,2
Hopfgarten	21,9	22,9	26,3	19,3	40,1	Hopfgarten	35,3	29,7	47,0	34,0	68,3
Rothenthal	21,5	31,3	26,8	26,0	72,5	Rothenthal	34,1	37,1	48,4	39,0	112,3
Zöblitz	22,2	25,3	26,5	23,6	62,8	Zöblitz	30,0	32,1	48,9	36,9	98,8
Borstendorf	20,3	31,0	27,4	27,9	75,8	Borstendorf	36,5	39,0	49,5	41,5	122,2
Lichtenwalde 1	19,9	26,4	27,8	22,8	60,6	Lichtenwalde 1	34,8	33,3	49,7	35,3	95,8
Kriebstein UP	19,3	24,5	27,9	22,0	59,1	Kriebstein UP	33,7	30,9	49,5	33,9	94,2
Freiberger Mulde											
Berthelsdorf	25,4	42,0	29,8	27,0	81,5	Berthelsdorf	48,9	51,5	53,6	40,1	143,0
Nossen 1	25,5	43,4	29,6	22,7	75,3	Nossen 1	45,2	50,9	53,0	33,5	140,8
Vereinigte Mulde											
Golzern 1	22,1	20,3	29,0	21,1	53,0	Golzern 1	37,8	26,4	49,5	31,7	87,0

Tabelle 44: 24- und 48-h-Maxima der Gebietsniederschläge bei den verschiedenen Hochwasserereignissen,

Die höchsten (ohne Ereignis 2002) und niedrigsten Werte für jeden Pegel aus den Ereignissen 1954, 1958, 1995 und 2013 sind rot bzw. grün markiert, Das Ereignis 2002 wurde aufgrund der Höhe der Maxima nicht in den Vergleich einbezogen.

	24h- Maxima in mm					48h- Maxima in mm					
	1954	1958	1995	2013	2002	1954	1958	1995	2013	2002	
Zwickauer Mulde											
Aue 1	88,7	56,9	70,9	68,1	147,4	Aue 1	151,2	80,4	84,6	93,6	189,3
Niederschlema	93,7	56,1	73,3	69,6	151,1	Niederschlema	161,7	78,7	87,1	97,3	189,1
Zwickau-Pölbitz	96,3	51,6	69,4	70,1	146,1	Zwickau-Pölbitz	163,2	72,3	82,5	97,5	183,0
Chemnitz 1	92,3	41,8	72,1	66,8	100,3	Chemnitz 1	169,8	64,2	80,2	92,6	127,9
Göritzthain	85,0	38,8	70,2	64,8	98,7	Göritzthain	155,8	58,8	77,5	90,6	121,5
Wechselburg	89,2	41,8	67,6	65,9	122,0	Wechselburg	155,5	63,5	77,9	91,4	150,8
Zschopau-/Flöhagebiet											
Streckewalde	56,1	53,6	66,5	56,4	138,4	Streckewalde	104,5	84,7	77,6	89,1	182,2
Hopfgarten	62,3	56,6	67,1	57,4	122,5	Hopfgarten	117,6	84,8	78,4	86,2	154,8
Rothenthal	63,5	56,1	68,5	63,4	197,8	Rothenthal	105,6	104,4	79,1	103,8	236,3
Zöblitz	58,9	56,4	70,9	63,8	177,6	Zöblitz	109,2	97,5	81,9	103,4	209,6
Borstendorf	65,9	62,5	70,0	69,4	208,5	Borstendorf	114,8	104,5	80,4	112,7	241,6
Lichtenwalde 1	64,0	57,9	70,7	62,8	171,0	Lichtenwalde 1	124,8	93,3	80,9	99,7	204,3
Kriebstein UP	63,3	53,9	69,7	60,4	166,4	Kriebstein UP	123,1	87,8	79,5	96,8	197,1
Freiberger Mulde											
Berthelsdorf	85,2	75,1	72,9	70,7	239,0	Berthelsdorf	145,1	117,1	84,1	122,1	269,2
Nossen 1	80,2	71,6	72,1	63,5	232,0	Nossen 1	143,7	118,0	80,8	112,3	259,2
Vereinigte Mulde											
Golzern 1	72,6	46,2	67,3	57,6	148,9	Golzern 1	134,8	76,0	76,5	89,9	176,3

Um die Ungleichförmigkeit in der zeitlichen Niederschlagsverteilung und den Anteil konvektiver Niederschläge bei den einzelnen Ereignissen zu charakterisieren, wurden für jedes der 16 Einzugsgebiete die maximalen Summen der Gebietsniederschläge über unterschiedliche Zeiträume Δt ($\Delta t = 6 \text{ h}, 12 \text{ h}, 24 \text{ h}, 48 \text{ h}$; Tabelle 43, Tabelle 44) mit den Werten bei einer gleichmäßigen Verteilung der maximalen Niederschlagssumme der nächst höheren Dauerstufe verglichen. Hierzu wurde der Quotient zwischen den 24-h- und 48-h-Maxima, den 24-h- und 12-h-Maxima sowie den 12-h- und 6-h-Maxima berechnet. Bei einer Gleichverteilung ergäbe sich hier stets ein Wert von 0,5. Werte über 0,5 zeigen somit an, dass im jeweils kürzeren Niederschlagszeitraum überproportional viel Regen gefallen ist. In Tabelle 45 sind die Quotienten der Niederschlagsmaxima für das Hochwasser 2013 zusammengestellt. Ersichtlich wird, dass im Gebiet der Zwickauer Mulde das 24-h-Maximum über 70 % des 48-h-Niederschlagsmaximums ausmachte. Im Einzugsgebiet der Chemnitz belief sich das 6-h-Maximum auf 70 % des 12-h-Maximums, womit ein Hinweis auf eine konvektive Niederschlagskomponente gegeben ist. Die Ungleichförmigkeit des Niederschlages für die anderen Ereignisse ist in Tabelle 46 dargestellt. Tabelle 47 beinhaltet die Mittelwerte, Standardabweichungen, Minima und Maxima der Ungleichförmigkeitsquotienten der fünf Hochwasserereignisse.

Tabelle 45: Ungleichförmigkeit der zeitlichen Verteilung des Gebietsniederschlages beim Hochwasser 2013. Die Überschreitung des Wertes 0,5 bezeichnet die Abweichung von der zeitlich gleichmäßigen Verteilung.

	Quotient der Niederschlagsmaxima		
	6 h zu 12 h	12 h zu 24 h	24 h zu 48 h
Aue 1	0,658	0,658	0,727
Niederschlema	0,635	0,652	0,715
Zwickau-Pölbitz	0,622	0,635	0,720
Chemnitz 1	0,711	0,548	0,721
Göritzhein	0,721	0,539	0,716
Wechselburg 1	0,667	0,575	0,721
Streckewalde	0,568	0,593	0,633
Hopfgarten	0,569	0,592	0,665
Rothenthal	0,667	0,616	0,611
Zöblitz	0,639	0,578	0,617
Borstendorf	0,672	0,597	0,616
Lichtenwalde 1	0,645	0,562	0,630
Kriebstein UP	0,647	0,561	0,624
Berthelsdorf	0,673	0,567	0,579
Nossen 1	0,677	0,527	0,566
Golzern 1	0,666	0,550	0,641
Mittel	0,65	0,58	0,66
Standardabweichung	0,042	0,039	0,056
Minimum	0,568	0,527	0,566
Maximum	0,721	0,658	0,727

Tabelle 46: Ungleichförmigkeit der zeitlichen Verteilung des Gebietsniederschlags der Ereignisse 1954, 1958, 1995 und 2002

Hochwasser Pegel	1954			1958			1995			2002		
	6 h zu 12 h	12 h zu 24 h	24 h zu 48 h	6 h zu 12 h	12 h zu 24 h	24 h zu 48 h	6 h zu 12 h	12 h zu 24 h	24 h zu 48 h	6 h zu 12 h	12 h zu 24 h	24 h zu 48 h
Aue1	0,586	0,537	0,647	0,647	0,680	0,707	0,596	0,733	0,838	0,676	0,536	0,779
Niederschlema	0,583	0,532	0,619	0,619	0,723	0,713	0,613	0,746	0,842	0,641	0,528	0,799
Zwickau-Pölbitz	0,580	0,524	0,608	0,608	0,737	0,714	0,612	0,745	0,841	0,641	0,538	0,798
Chemnitz 1	0,570	0,526	0,700	0,700	0,693	0,651	0,598	0,738	0,899	0,663	0,572	0,784
Göritzchain	0,566	0,527	0,758	0,758	0,756	0,659	0,600	0,747	0,905	0,658	0,579	0,812
Wechselburg	0,571	0,523	0,596	0,596	0,765	0,658	0,614	0,742	0,868	0,652	0,556	0,809
Streckewalde	0,764	0,536	0,770	0,770	0,535	0,633	0,555	0,692	0,857	0,615	0,529	0,759
Hopfgarten	0,622	0,566	0,771	0,771	0,524	0,668	0,559	0,701	0,856	0,587	0,558	0,791
Rothenthal	0,631	0,537	0,845	0,845	0,661	0,537	0,554	0,707	0,865	0,646	0,567	0,837
Zöblitz	0,739	0,510	0,787	0,787	0,570	0,578	0,541	0,690	0,865	0,636	0,556	0,847
Borstendorf	0,556	0,554	0,795	0,795	0,624	0,598	0,554	0,708	0,870	0,620	0,586	0,863
Lichtenwalde 1	0,572	0,543	0,792	0,792	0,575	0,621	0,560	0,703	0,874	0,633	0,560	0,837
Kriebstein UP	0,573	0,533	0,794	0,794	0,572	0,614	0,563	0,710	0,878	0,628	0,566	0,845
Berthelsdorf	0,520	0,574	0,816	0,816	0,685	0,642	0,557	0,735	0,867	0,570	0,598	0,888
Nossen	0,564	0,563	0,851	0,851	0,711	0,607	0,559	0,734	0,892	0,535	0,607	0,895
Golzern	0,584	0,521	0,767	0,767	0,573	0,608	0,587	0,735	0,880	0,609	0,584	0,844

Aus Tabelle 47 wird ersichtlich, dass es sich bei den hochwasserscheitelbestimmenden Niederschlägen der Ereignisse 1995 und 2002 nahezu um 24-h-Ereignisse handelte, weil im Mittel die 24-h-Maxima über 80 % der 48-h-Maxima umfassten. Demgegenüber sind die 24-h-Anteile bei den Ereignissen 1954, 1958 und 2013 mit 56 % bis 66 % der 48-h-Werte weitaus geringer, d. h. die Niederschlagsdauer dieser Ereignisse lag über 48 h. Das Hochwasser 1995 hatte noch eine wesentlich ungleichförmigere Niederschlagsverteilung, weil hier das 12-h-Maximum 72 % des 24-h-Maximums erreichte. Die 6-h-Maxima des weitgehend auf 12 Stunden konzentrierten Niederschlags betragen dann nur etwa 60 % des 12-h-Wertes, d. h. dieser Niederschlag kommt einem Blockregen nahe.

Bei allen Ereignissen werden konvektive Niederschlagsanteile aus dem Vergleich der 6-h- und der 12-h-Maxima ersichtlich. Diese beschränken sich auf einzelne Teilgebiete und werden somit nicht im Mittelwert der Ungleichförmigkeit, sondern nur im Maximalwert sichtbar. Während des Hochwassers 1954 traten hohe 6-h-Anteile (0,76 bzw. 0,74) z. B. in den Einzugsgebieten der Preßnitz und der Schwarzen Pockau auf. Beim Hochwasser 1958 waren im gesamten Flussgebiet der Freiburger Mulde 6-h-Maxima zu verzeichnen, die über 77 % der 12-h-Maxima umfassten (ein Spitzenwert von 85 % ergab sich für das Einzugsgebiet des Pegels Nossen 1). Die übrigen Hochwasserereignisse wiesen eine geringere Ungleichförmigkeit in der zeitlichen Niederschlagsverteilung auf.

Tabelle 47: Mittelwerte, Standardabweichungen, Minima und Maxima der Ungleichförmigkeitsquotienten der einzelnen Hochwasserereignisse

	Quotient der Niederschlagsmaxima			
	Hochwasser 1954	6 h zu 12 h	12 h zu 24 h	24 h zu 48 h
Mittel		0,60	0,54	0,56
Standardabweichung		0,065	0,018	0,028
Minimum		0,52	0,51	0,51
Maximum		0,76	0,57	0,60
Hochwasser 1958				
Mittel		0,74	0,65	0,64
Standardabweichung		0,084	0,081	0,049
Minimum		0,60	0,52	0,54
Maximum		0,85	0,76	0,71
Hochwasser 1995				
Mittel		0,58	0,72	0,87
Standardabweichung		0,025	0,020	0,020
Minimum		0,54	0,69	0,84
Maximum		0,61	0,75	0,91
Hochwasser 2002				
Mittel		0,63	0,56	0,82
Standardabweichung		0,037	0,024	0,039
Minimum		0,53	0,53	0,76
Maximum		0,68	0,61	0,89
Hochwasser 2013				
Mittel		0,65	0,58	0,66
Standardabweichung		0,042	0,039	0,056
Minimum		0,57	0,53	0,57
Maximum		0,72	0,66	0,73

Durch die oben dargestellten Auswertungen der Vorregenverhältnisse sowie der räumlichen und der zeitlichen Niederschlagsverteilungen können die analysierten Hochwasser in Hinblick auf die hochwasserauslösenden Niederschläge wie nachfolgend dargestellt charakterisiert werden. Die Vorfeuchtebedingungen ergeben sich aus Tabelle 48. Es wird deutlich, dass ein hoher Vorregen im Sommer nicht immer mit hoher Vorfeuchte und hohen Basisabflüssen verbunden sein muss. Die Anfangsfeuchte der Teilgebiete der Mulde war 1954 überwiegend niedrig, 1958 hoch, 1995 niedrig bis durchschnittlich, 2002 durchschnittlich, im Einzugsgebiet der Freiburger Mulde niedrig, und 2013 hoch.

Tabelle 48: Vorregen und Basisabfluss am Ereignisbeginn

Hochwasser	Niederschlagszeitraum	Vorregen	Basisabfluss, bezogen auf den Sommer-MQ-Wert		
			Zwickauer Mulde	Zschopau/Flöha	Freiburger Mulde
1954	07.07. – 12.07.	mittel	normal	niedrig	niedrig
1958	02.07. – 05.07.	hoch	hoch	hoch	hoch
1995	27.08. – 01.09.	niedrig	mittel	niedrig	normal
2002	11.08. – 13.08.	hoch	mittel	normal	niedrig
2013	01.06. – 04.06.	hoch	hoch	hoch	hoch

Die Niederschlagsverhältnisse sind in Tabelle 49 charakterisiert. Neben dem räumlichen Schwerpunkt werden in Auswertung der Ungleichförmigkeitsquotienten Angaben zur maßgebenden Niederschlagsdauer, die sich aus der Abweichung des Quotienten vom Wert 0,5 ableiten lassen, und zu den konvektiven Anteilen gemacht. Ersichtlich werden sehr unterschiedliche räumliche und zeitliche Verteilungen des hochwasserauslösenden Regens.

Tabelle 49: Überblick über die Niederschlagsbedingungen

Hochwasser	Niederschlagszeitraum	Gebietsniederschlag (Golzern) [mm]	Maßgebende Regendauer	Räumlicher Schwerpunkt	Konvektive Anteile (Maxima über 6 h)
1954	07.07. – 12.07.	219	über 48 h	Westerzgebirge	Einzugsgebiete der Preßnitz und Schwarzen Pockau
1958	02.07. – 05.07	104	über 48 h	Osterzgebirge	Im gesamten Flussgebiet der Freiburger Mulde
1995	27.08. – 01.09.	129	12 h	gleichmäßig	-
2002	11.08. – 13.08.	185	24 h	Osterzgebirge	Im Gebietsniederschlag nur für das Schwarzwasser ersichtlich
2013	01.06. – 04.06.	152	über 48 h	gleichmäßig	Einzugsgebiet der Chemnitz

11.2 Niederschlag-Abfluss-Verhältnisse

In den Kapiteln 5 bis 9 wurden die Niederschlag-Abfluss-Verhältnisse der einzelnen analysierten Sommerhochwasser dargestellt. Bei der Gesamtbetrachtung aller fünf Ereignisse muss berücksichtigt werden, dass die zeitlichen und räumlichen Niederschlagsverteilungen ebenso wie die Vorregen deutliche Unterschiede zwischen den Ereignissen aufweisen. Daraus ergeben sich Probleme für die Ableitung verallgemeinerbarer Niederschlags-Abfluss-Relationen. Beispielsweise zeigen die Ereignisse 1954, 1958 und 2002 aufgrund der räumlichen Variabilität des Niederschlages eine stärkere Abhängigkeit des Direktabflusses vom Niederschlag (Abbildung 191) als die Ereignisse 1995 und 2013, bei denen die Gebietsniederschläge im Muldegebiet nur in geringem Maße variierten. In Tabelle 50 sind die, aus linearen Regressionen ohne Regressionskonstante (homogene Regression) berechneten mittleren Abflussbeiwerte der Ereignisse zusammengestellt. Weil sich die Ereignissummen der Gebietsniederschläge bei den Ereignissen 1995 und 2013 von Gebiet zu Gebiet nur wenig unterscheiden, kann für diese Ereignisse keine belastbare Relation zwischen Direktabfluss und Niederschlag gefunden werden, wie auch das niedrige Bestimmtheitsmaß zeigt. In Hinblick auf die höheren Bestimmtheitsmaße der Ereignisse 1954, 1958 und 2002 sind die Einflüsse der räumlichen und zeitlichen Niederschlagsvariabilitäten zu beachten. Die Regression wird durch die jeweils stärker berechneten Gebiete bestimmt. Bei den in Hinblick auf die Anfangsfeuchte sehr unterschiedlichen Ereignissen 1995 (trocken) und 2013 (sehr feucht) ergeben sich den Anfangsbedingungen entsprechende Abflussbeiwerte von 0,25 bzw. 0,6. Wie aus Abbildung 192 ersichtlich, passen die jeweiligen Wertepaare (Gebietsniederschlag, Direktabfluss) beider Ereignisse jedoch gut in den Gesamtzusammenhang, der aus allen Ereignissen geschätzt werden kann. Für alle Gebiete und Ereignisse ergibt sich danach ein Abflussbeiwert von 0,45 (Anstieg der Regressionsgerade in Abbildung 192, homogene Regression). Die Punktwolke des Ereignisses 2013 liegt in Folge der höheren Vorfeuchte über der Regressionsgeraden, die des Ereignisses 1995 aufgrund der geringeren Vorregen darunter (Abbildung 193).

Tabelle 50: Relationen zwischen den Direktabflusssummen und den Niederschlagsummen bei Anwendung eines homogenen Regressionsmodells

Hochwasserereignis	Relation Direktabfluss/Niederschlag	Bestimmtheitsmaß
1954	0,42	0,6761
1958	0,38	0,8552
1995	0,25	0,1771
2002	0,52	0,6625
2013	0,60	0,0016

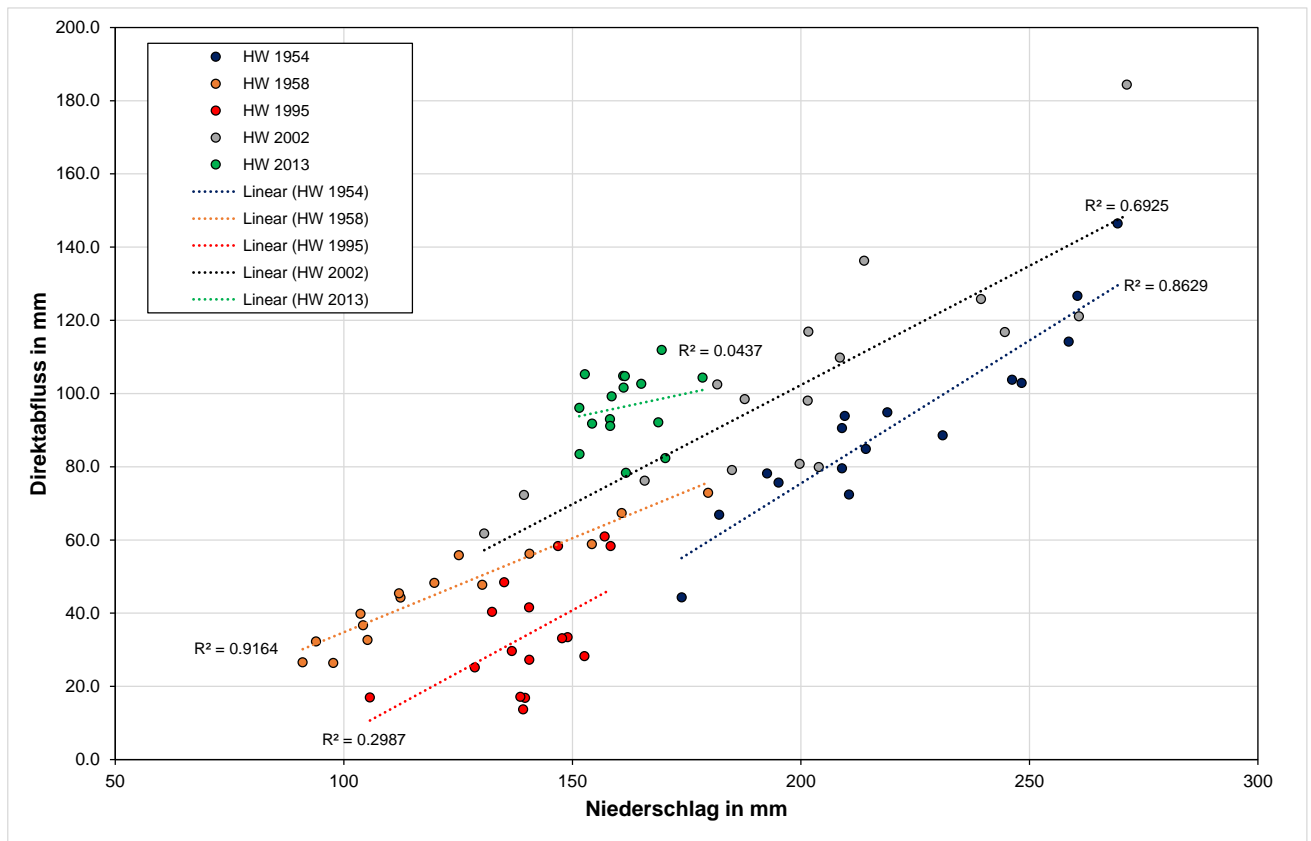


Abbildung 191: Zusammenhang zwischen Niederschlag und Direktabfluss, differenziert nach den Einzelereignissen

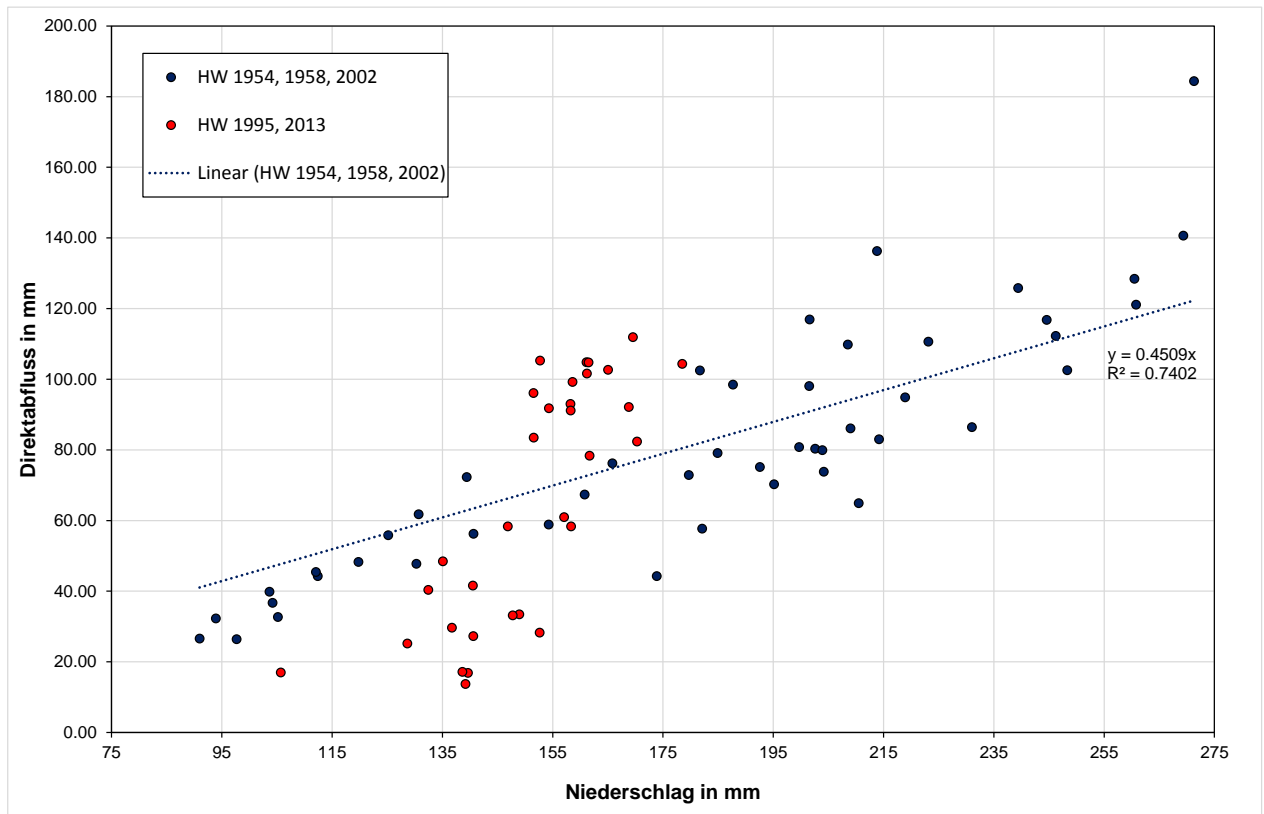


Abbildung 192: Zusammenhang zwischen Niederschlag und Direktabfluss, differenziert nach den Ereignisgruppen (1954, 1958, 2002) und (1995, 2013)

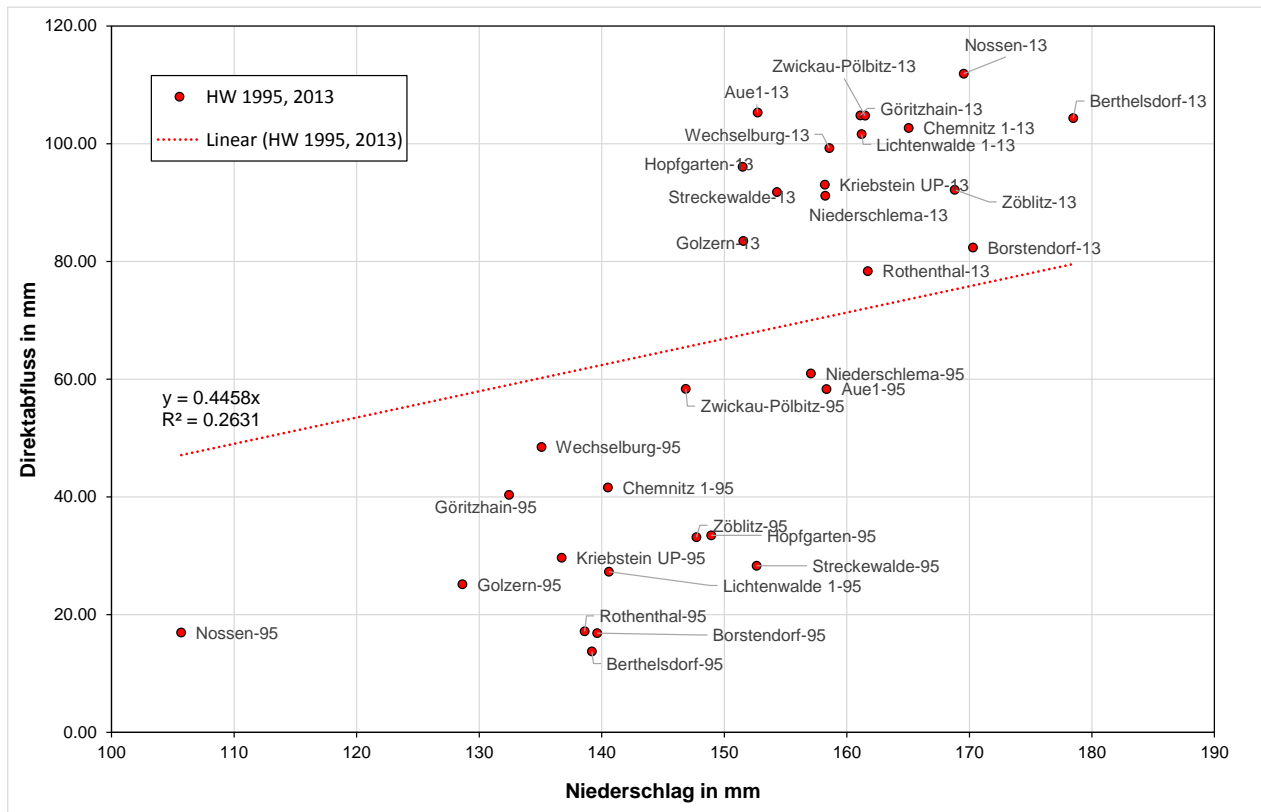


Abbildung 193: Zusammenhänge zwischen Niederschlag und Direktabfluss für die Ereignisse 1995 (geringe Vorfuchte) und 2013 (hohe Vorfuchte) mit der Regressionsgeraden einer homogenen Regression aus allen Ereignissen

Ein Grundproblem des Vergleichs der Hochwasserereignisse besteht in der Vielfalt der Einflussfaktoren. Hierzu zählen neben den Gebietseigenschaften, die Abflussfülle und Ganglinienverlauf beeinflussen, in erster Linie die Niederschlagsverhältnisse. Beispielsweise zeigen die Pegel Borstendorf/Flöha (Abbildung 194) und Berthelsdorf/Freiberger Mulde (Abbildung 195) beim Hochwasser 1958 sehr unterschiedliche Scheitelabflüsse. Die Gebietsniederschläge des Ereignisses unterscheiden sich zwischen beiden Einzugsgebieten nur um 11 %, die Spitzenniederschlagssumme über fünf Stunden dagegen um 56 %. Im Ergebnis wird der Scheitelabfluss am Pegel Berthelsdorf durch die sehr intensiven Niederschläge am Abend des 05.07.1958 bestimmt, die in dieser Intensität im Einzugsgebiet der Flöha nicht auftraten.

Tabelle 51: Vergleich der Hochwasserkennwerte der Pegel Berthelsdorf/Freiberger Mulde und Borstendorf/Flöha für das Ereignis 1958

Hochwasserkennwerte	Berthelsdorf/Freiberger Mulde	Borstendorf/Flöha
Einzugsgebietsfläche [km ²]	244,5	639,5
Gebietsniederschlag [mm]	180	161
Spitzenniederschlagssumme 05.07., 16:00 bis 21:00 Uhr [mm]	39	25
Höchste stündliche Niederschlagsintensität [mm/h]	9,3	6,8
Abflussbeiwert	0,41	0,42
Scheitelabflusspende [m ³ /(s · km ²)]	0,4938	0,3250

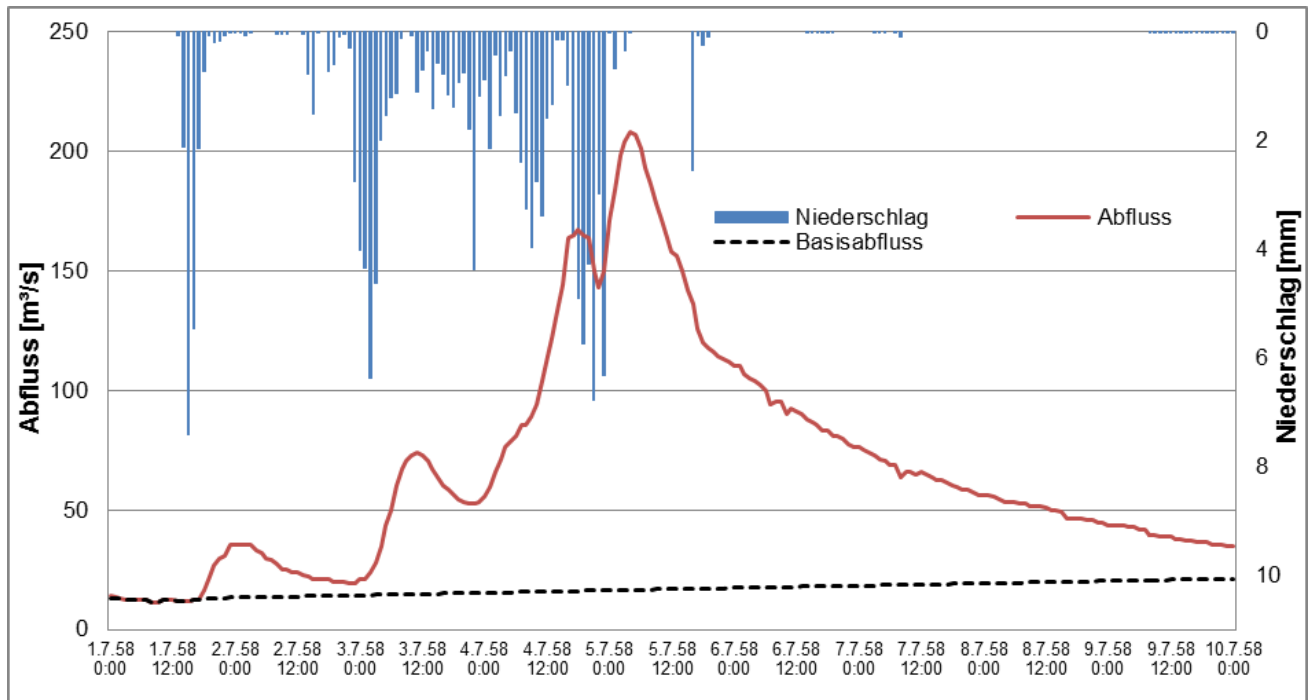


Abbildung 194: Hochwasserganglinie 1958 am Pegel Borstendorf/Flöha

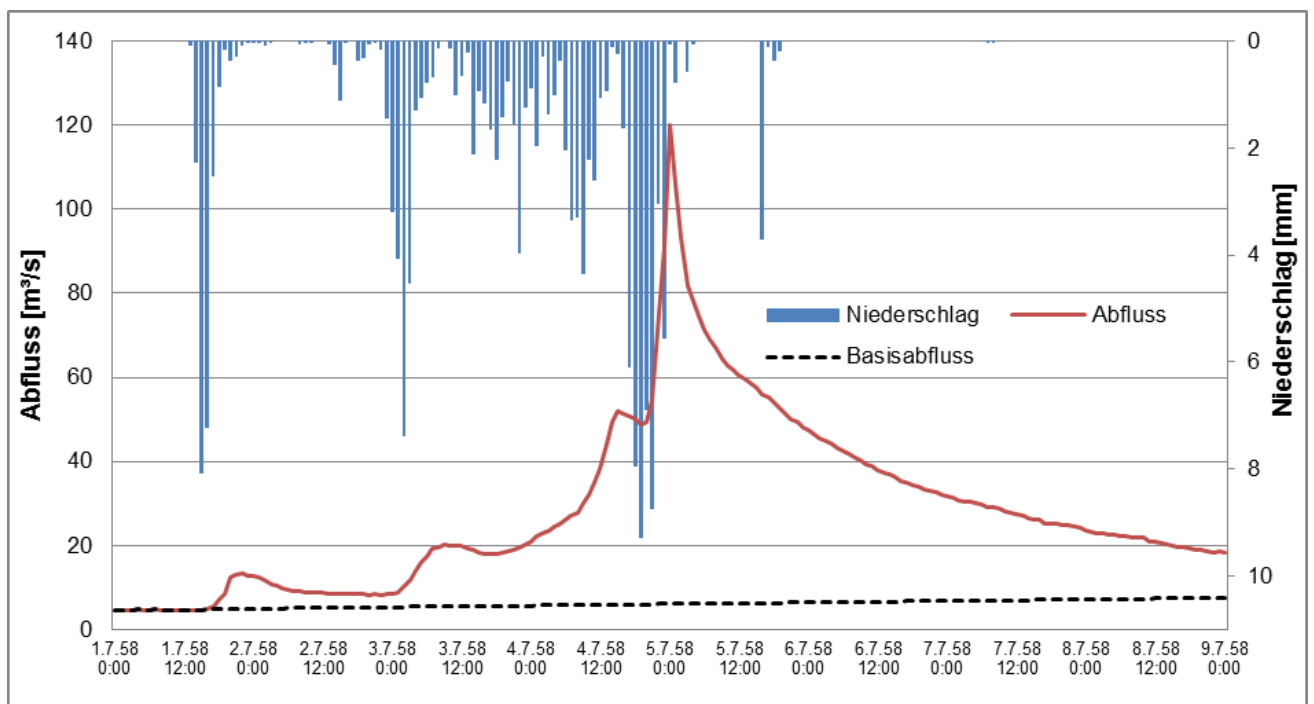


Abbildung 195: Hochwasserganglinie 1958 am Pegel Berthelsdorf/Freiburger Mulde

Im Ergebnis ergibt sich aus der sowohl ereignis- als auch einzugsgebietspezifischen Analyse der Niederschlag-Abfluss-Bedingungen kein einheitliches Bild. Versucht man an Hand der Ungleichförmigkeit des Niederschlagsverlaufs und der visuellen Gegenüberstellung von Niederschlag- und Abflussverlauf die eher mengenabhängigen Hochwasserganglinien von den eher intensitätsabhängigen Ereignisverläufen zu trennen (bei einem Hochwasserereignis aus Dauerregen mit konvektiven Niederschlagsanteilen ist dies aller-

dings problematisch), so ergeben sich die in Abbildung 196 und in Abbildung 197 dargestellten Beziehungen zwischen den Gebietsniederschlagssummen und den Direktabflusssummen.

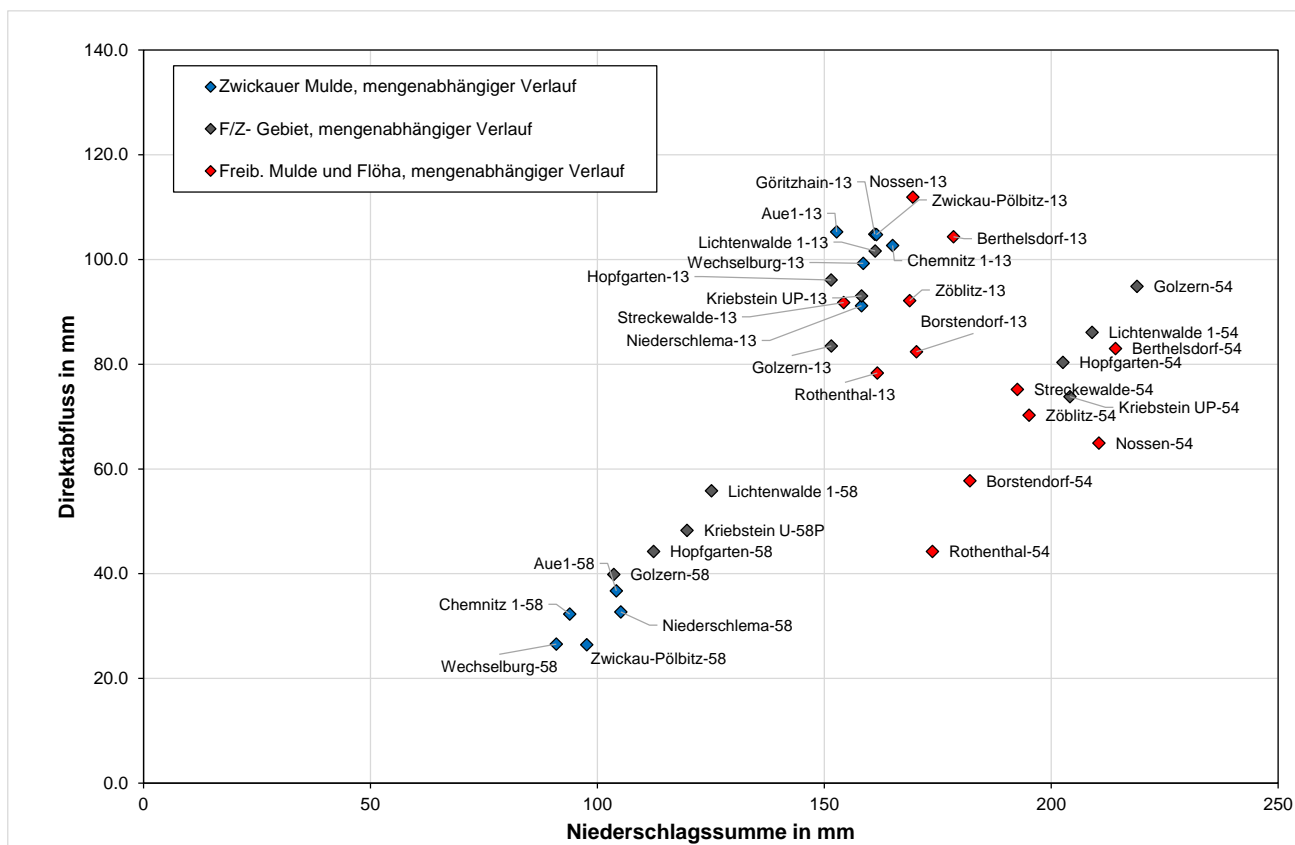


Abbildung 196: Zusammenhang zwischen Niederschlag und Direktabfluss für Hochwasser mit mengenabhängigem Ganglinienverlauf

Das Ereignis 2013 bildet aufgrund nahezu gleicher Gebietsniederschläge ein Cluster zugehöriger Direktabflüsse ohne Differenzierung zwischen den Hauptflussgebieten. Die Direktabflüsse der Pegel, bei denen keine deutliche Intensitätsabhängigkeit des Abflussverlaufes ersichtlich war, zeigen für die Hochwasserereignisse 1958 und 1954 zwar eine Differenzierung zwischen den Flussgebieten, diese ist aber durch die Unterschiede zwischen den Gebietsniederschlägen bedingt. Im Gegensatz dazu besteht bei deutlich intensitätsabhängigen Ganglinien ein flussgebiets- und ereignisübergreifender Zusammenhang zwischen Niederschlag und Direktabfluss. Hierbei stimmen die mittleren Abflussbeiwerte der Pegel der Zwickauer Mulde und der Freiberger Mulde (die hier gemeinsam mit den vom Niederschlagsverlauf ähnlichen Pegeln im oberen Flöhagebiet betrachtet werden) sehr gut überein (Abbildung 197).

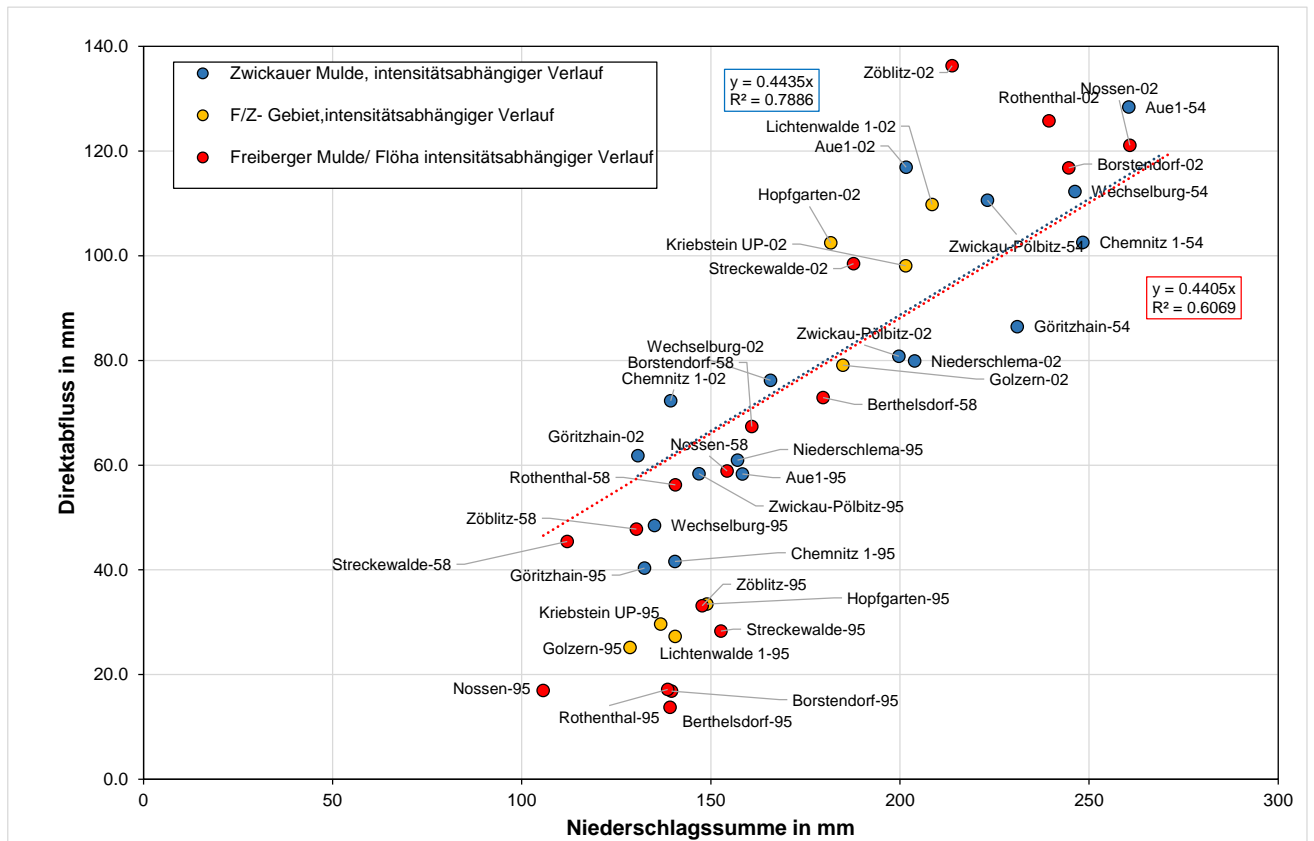


Abbildung 197: Zusammenhang zwischen Niederschlag und Direktabfluss für Hochwasser mit intensitätsabhängigem Ganglinienverlauf

Der Zusammenhang zwischen Abflussbildung und Abflusskonzentration kann durch die Darstellung der Scheitelabflussspende über den Abflussbeiwert verdeutlicht werden (Abbildung 198 bis 202). Bei Anwendung des gleichen Potenzmodells zeigen die Scheitelabflussspenden der Ereignisse 1954 und 2002 eine deutlich nichtlineare Abhängigkeit vom Abflussbeiwert, die Ereignisse 1958, 1995 und 2013 dagegen einen eher linearen Zusammenhang (Abbildung 199). Vergleicht man die Relationen der Gruppen (2002, 1954 und 1958) sowie (2013, 1995 und 1958) (das Ereignis 1958 kann beiden Gruppen zugeordnet werden), so zeigen sich die deutlich unterschiedlichen Abhängigkeiten: eine Nichtlinearität zwischen Abflussbeiwert und Scheitelabflussspende besteht bei den Ereignissen 1954, (1958) und 2002, die Ereignisse 1995 und 2013 zeigen eine eher lineare Beziehung. Die Ursachen für die Nichtlinearität 1954 und 2002 dürften im zusätzlichen Einfluss der Niederschlagsintensitätsspitzen auf den Scheitelabfluss bestehen.

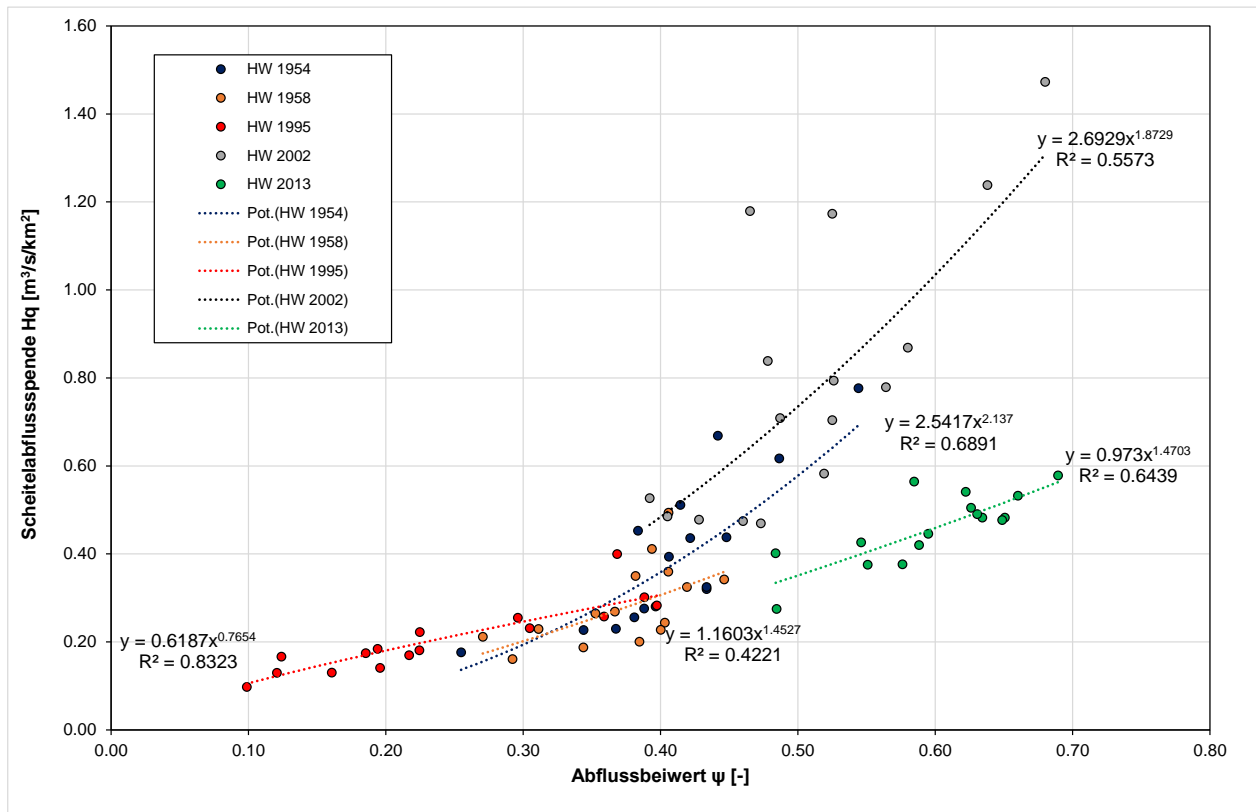


Abbildung 198: Abhängigkeit zwischen Scheitelabflusssspende und Abflussbeiwert, differenziert nach Ereignissen (Pegelnamen siehe Abbildungen 201 und 202)

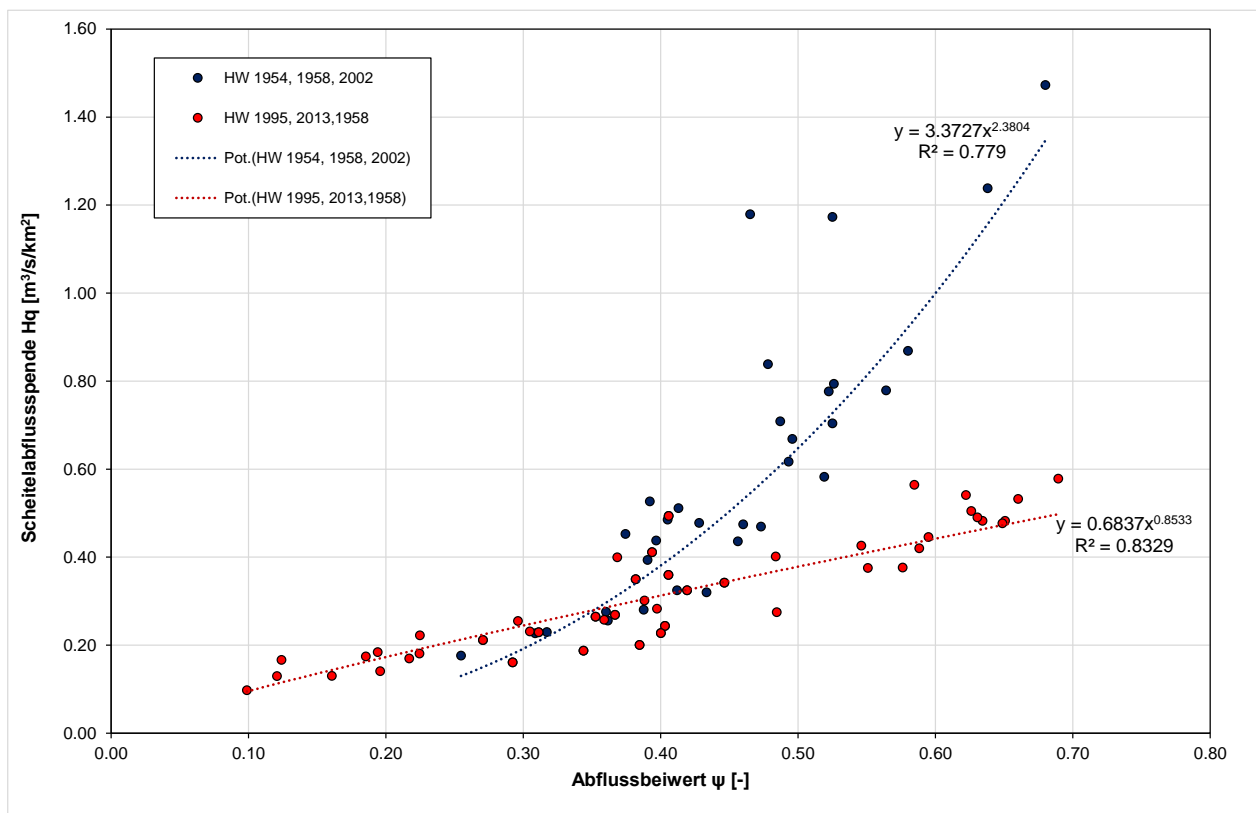


Abbildung 199: Abhängigkeit zwischen Scheitelabflusssspende und Abflussbeiwert, alle Ereignisse bei Differenzierung zweier Ereignistypen (HW 1995, 2013, 1958 und HW 1954, 1958, 2002)

Die Einzugsgebiete mit intensitätsabhängigen Hochwasserverläufen (1995, 2002 nach Abbildung 197) zeigen hier einen stark nichtlinearen Anstieg der Scheitelabflusspende mit dem Abflussbeiwert (Abbildung 200). Bei den eher von der Niederschlagsmenge abhängigen Hochwasserganglinien (1954, 2013 nach Abbildung 196) ist der Zuwachs der Scheitelabflusspende mit dem Abflussbeiwert generell geringer. Die Zuordnung der Pegel und Ereignisse zu beiden Gruppen erfolgte wieder entsprechend der Ungleichförmigkeit des Niederschlages.

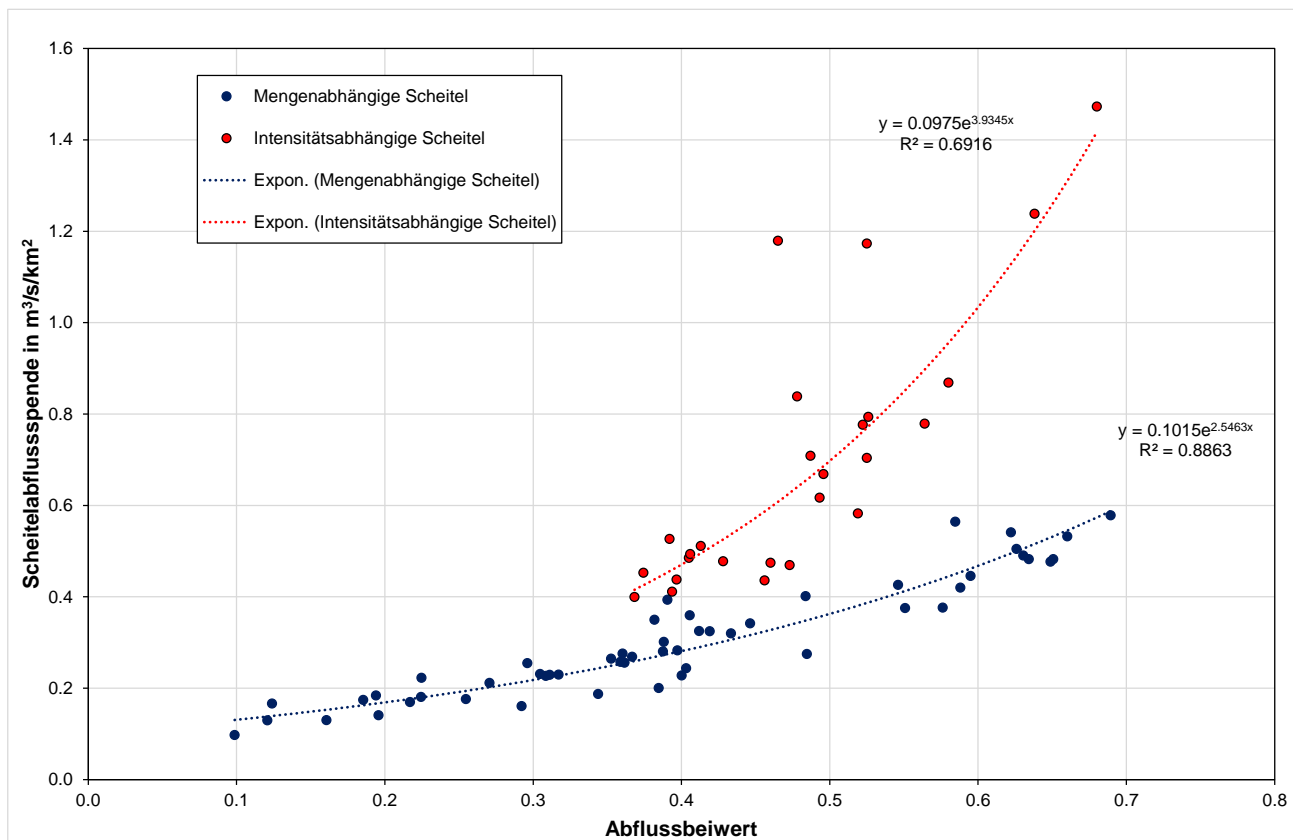


Abbildung 200: Zusammenhänge zwischen dem Abflussbeiwert und der Scheitelabflusspende, differenziert für Hochwasser mit mengenabhängigen und intensitätsabhängigen Scheitelabflüssen (Pegelnamen und Ereignisse – siehe Abbildung 201 und Abbildung 202)

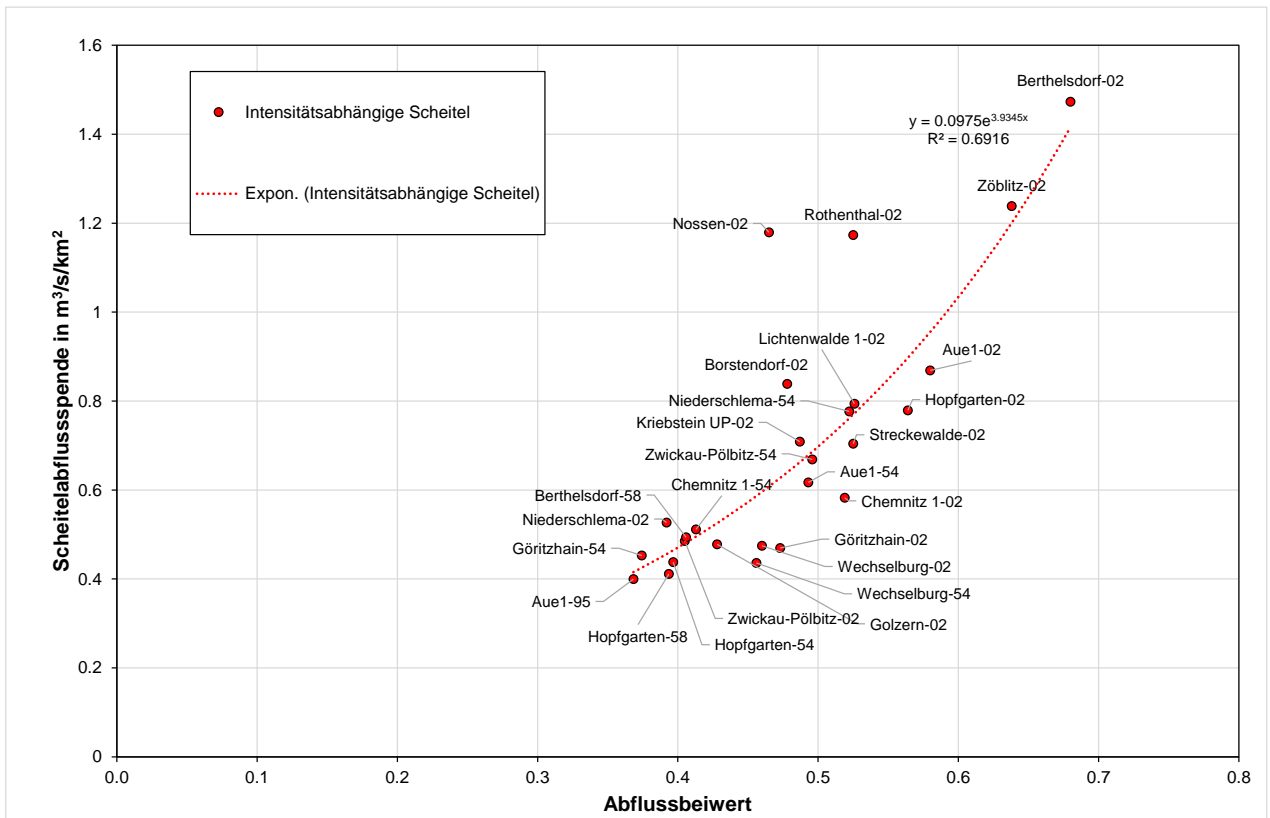


Abbildung 201: Zusammenhang zwischen dem Abflussbeiwert und der Scheitelabflusspende für Hochwasser mit intensitätsabhängigen Scheitelabflüssen

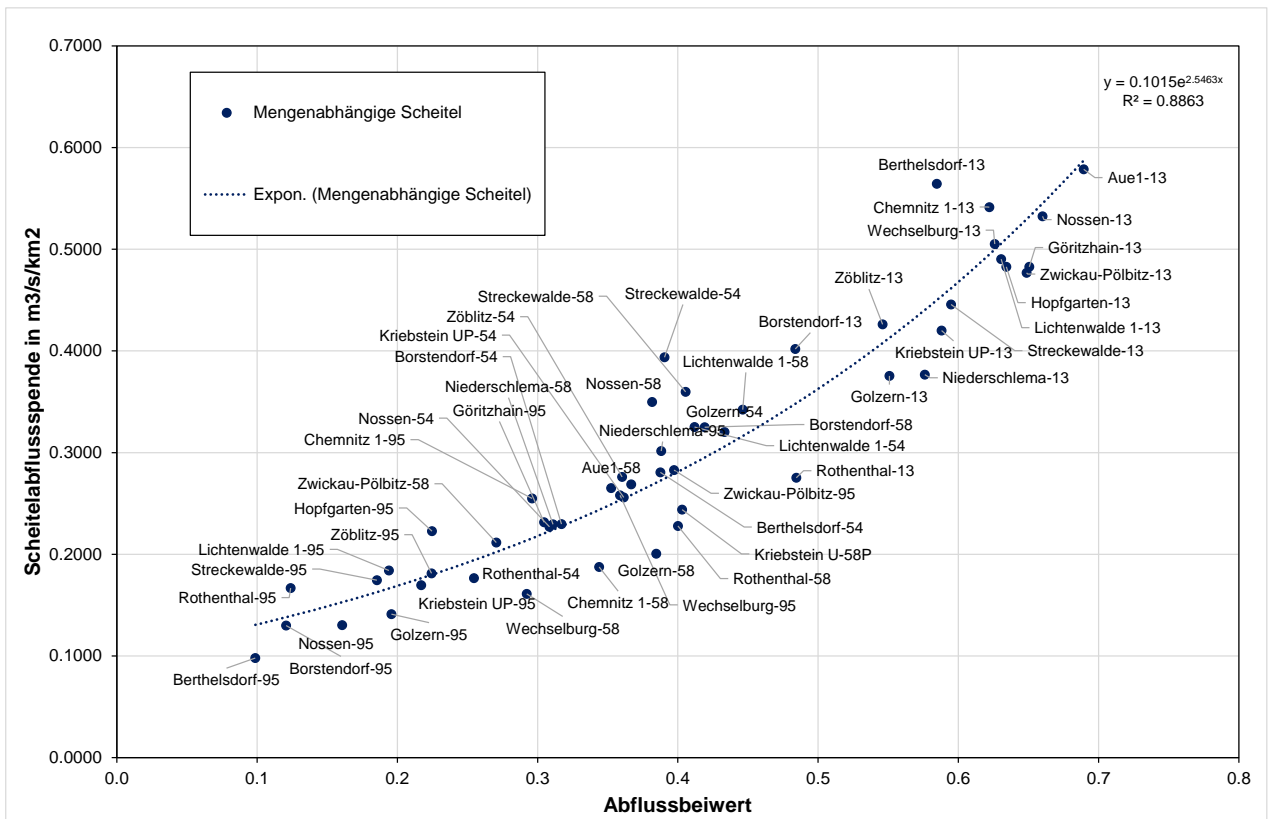


Abbildung 202: Zusammenhang zwischen dem Abflussbeiwert und der Scheitelabflusspende für Hochwasser mit mengenabhängigen Scheitelabflüssen

Auch die Abhängigkeit des Abflussbeiwertes von der Niederschlagshöhe ist ereignisabhängig deutlich unterschiedlich (Abbildung 203). Bei dem Hochwasserereignis 2013 waren die Abflussbeiwerte generell hoch und die Niederschlagshöhen wiesen zwischen den Gebieten nur geringe Unterschiede auf. Auch das ebenfalls durch hohe Abflussbeiwerte geprägte Ereignis 2002 zeigt trotz deutlicher Unterschiede in den Niederschlagshöhen keine Abhängigkeit der Abflussbeiwerte. Eine deutlichere Abhängigkeit wird dagegen beim Ereignis 1954 sichtbar.

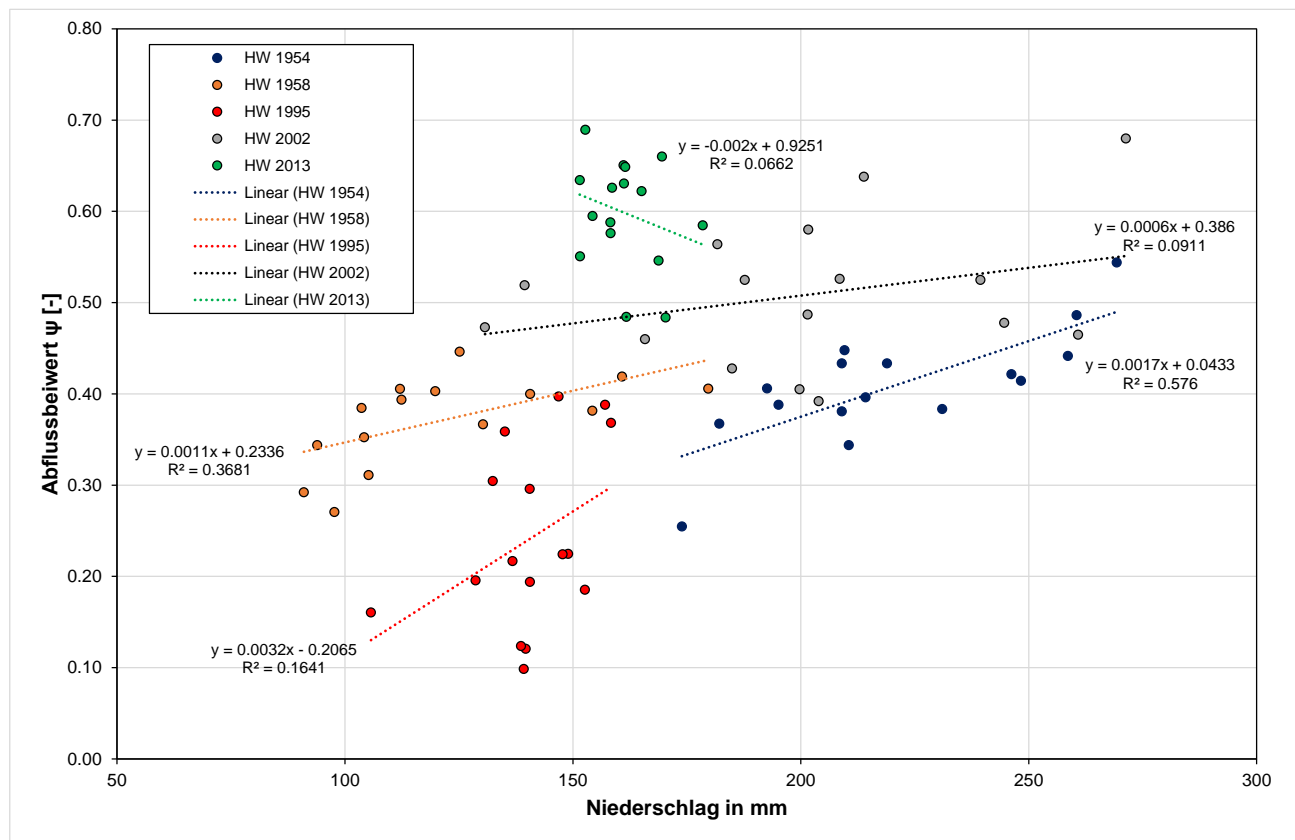


Abbildung 203: Zusammenhang zwischen Abflussbeiwert und Niederschlagssumme, differenziert nach Ereignissen

Diese Auswertung verdeutlicht die Problematik der vergleichenden Diskussion von unterschiedlichen Hochwasserereignissen in einem Flussgebiet: **Selbst bei ähnlich großen Abflüssen am Auslasspegel des Flussgebietes gibt es sehr unterschiedliche Ausprägungen der einzelnen Hochwasserereignisse, die vorrangig durch die Unterschiede in der räumlichen und zeitlichen Niederschlagsverteilung und den daraus resultierenden verschiedenen Abflussreaktionen der Flussgebiete bedingt sind. Somit ergeben sich von Ereignis zu Ereignis unterschiedliche Beziehungen zwischen Niederschlag und Abfluss im Flussgebiet, je nachdem, welche Gebietsteile stärker oder schwächer überregnet werden und wie diese Gebiete auf hohe Niederschlagsmengen oder hohe Niederschlagsintensitäten reagieren.** Um die Ereignisse in Bezug zum jeweiligen Hochwasserregime der einzelnen Einzugsgebiete zu setzen, erfolgte die Ermittlung zweier zusätzlicher Kennwerte, des TQ- und des r-Wertes (Kapitel 11.3).

11.3 Einordnung der Ereignisse in das Hochwasserregime der einzelnen Einzugsgebiete

Um die hier betrachteten Hochwasserereignisse in Bezug zum Regime der Sommerhochwasser am jeweiligen Pegel zu setzen, wurden die Reihen der Sommerhochwasser seit Beginn der Pegelaufzeichnungen ausgewertet. Für jedes Ereignis wurden zwei Kennwerte ermittelt:

- Der **r-Wert** ergibt sich aus dem Quotienten des Scheitelwertes zum zugehörigen Tagesmittelwert. Sein mittlerer Wert charakterisiert die Abflusskonzentrationsverhältnisse eines Einzugsgebietes, die von der Gebietsgröße abhängen. Je kleiner der r-Wert ist, umso stärker werden im Tagesverlauf zeitliche Schwankungen der Niederschlagsintensität ausgeglichen. Im Vergleich der Hochwasserereignisse eines Einzugsgebietes wird die Abhängigkeit des Scheitelabflusses von kurzzeitigen Intensitätsschwankungen des Niederschlages, d. h. der Einfluss konvektiver Niederschlagsanteile mit dem r-Wert erfasst. Ein hoher r-Wert lässt auf ein Ereignis mit kurzzeitig hohen Niederschlägen (zumindest im Scheitelbereich der Hochwasserganglinie) schließen, ein kleiner r-Wert dagegen auf ein eher langes Ereignis mit geringen Abflussgradienten. In Abbildung 204 sind zwei Beispiele für unterschiedliche r-Werte gegeben.

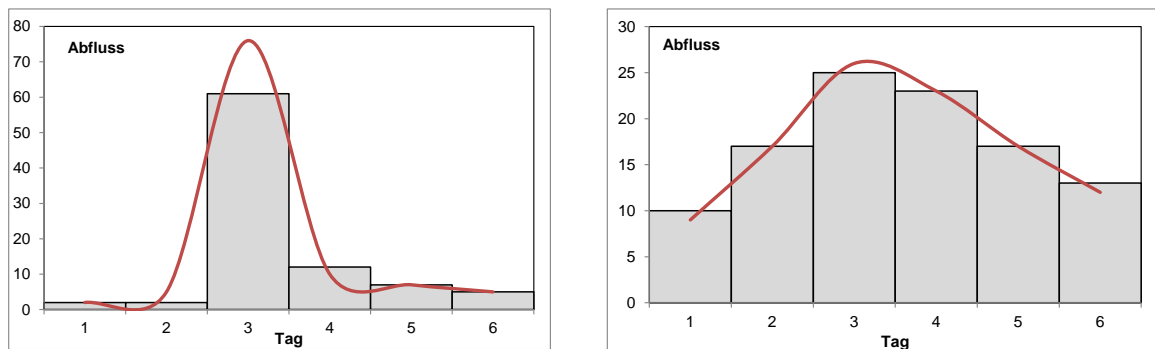


Abbildung 204: Beispiele für r-Werte (links: r-Wert = 1,25; rechts: r-Wert = 1,04)

- Der TQ-Wert (GAAL et al. 2012) wird auch als „flood timescale“ (im Weiteren als „Zeitskala“ verwendet) bezeichnet und als Quotient aus dem Volumen der Hochwasserwelle und dem Scheitelabfluss berechnet:

$$TQ = \frac{(1000 \cdot V)}{HQ \cdot 3,6} \quad [h]$$

mit HQ in m³/s und V in Mio m³.

Der Kennwert charakterisiert die Form der Hochwasserganglinie. In Abbildung 205 ist ein Beispiel für zwei Hochwasserganglinien mit gleichem Scheitelabfluss aber unterschiedlichen Volumina und somit verschiedenen TQ-Werten gegeben. Die Zeitskalen TQ unterscheiden sich in der gleichen Relation wie die Abflussfüllen. Der TQ-Wert kann z. B. genutzt werden, um Hochwasser, die durch konvektive Niederschläge bedingt werden und einen hohen Anstieg des Abflusses in kurzer Zeit mit entsprechend schnellem Rückgang aufweisen (kleine TQ-Werte) von Hochwasserereignissen, die durch stratiforme Regen entstehen (große TQ-Werte) zu unterscheiden. Zu beachten ist dabei, dass die Relationen zwischen Scheitel und Volumen sowohl durch die Niederschlagsdauer als auch durch die gebietsspezifischen Abflusskonzentrationsprozesse bedingt werden.

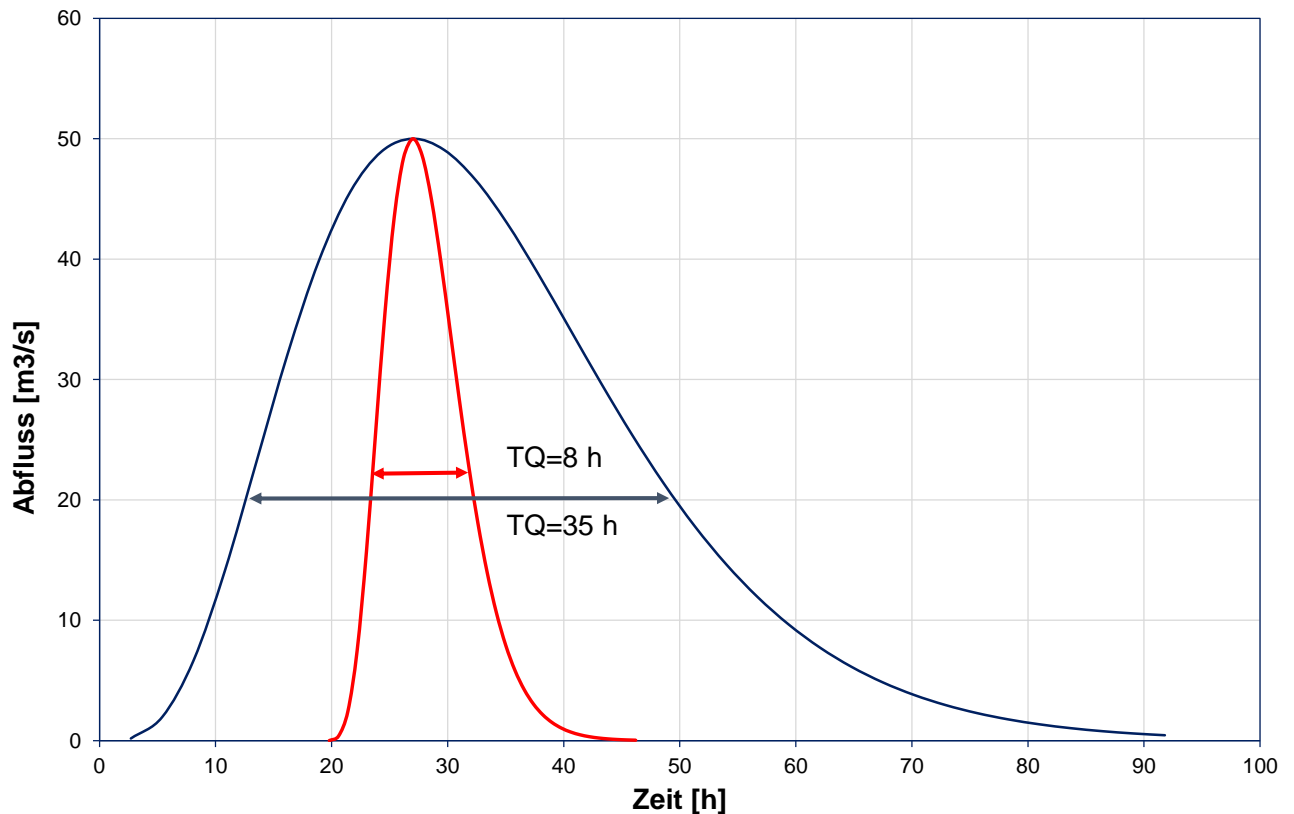


Abbildung 205: Beispiele für unterschiedliche TQ- Werte bei gleichem Hochwasserscheitelabfluss

Die Kennwerte r und TQ hängen in unterschiedlicher Art und Weise von der Einzugsgebietsgröße ab. Der TQ-Wert nimmt mit der Fläche zu, der r -Wert dagegen ab. Beide Werte beschreiben verschiedene Prozesse in der Kombination von Niederschlag und Abflussbildung. Der r -Wert bezeichnet die innertägliche Variabilität des Abflusses. Er charakterisiert die Anfälligkeit der Hochwasserentstehung eines Einzugsgebietes auf Niederschläge kurzer Dauer (konvektive Ereignisse). Der TQ-Wert beschreibt dagegen die Abhängigkeit des Hochwasserscheitels von der Abflussbildung unter Berücksichtigung des Gesamtniederschlagsereignisses. Erfolgt die Abflussbildung in Abhängigkeit von der Niederschlagsintensität ergibt sich ein kleiner TQ-Wert, wird der Scheitelabfluss dagegen von der Abflussmenge und diese von der Niederschlagsmenge bestimmt, ergibt sich ein hoher TQ-Wert.

Für alle Sommerhochwasser (zugeordnet wurden Ereignisse der Monate Juni bis September um Schneeschmelzanteile auszuschließen), die in den langjährigen Beobachtungsreihen der Pegel vorhanden waren, lagen aus einer Forschungsarbeit (SCHULTE 2015) separierte Hochwasserabflussganglinien vor, die in Ermangelung zeitlich hochaufgelöster Abflussdaten (erforderlich wären Stundenwerte) aus der Disaggregation von Tageswerten nach dem modifizierten Verfahren von WAGNER (2012) ermittelt wurden. Aus diesen wurden die TQ- und die r -Werte ermittelt. Deren Mittelwerte sind in Tabelle 52 zusammengestellt.

Tabelle 52: Mittlere r- und TQ-Werte der Sommerhochwasser ausgewählter Pegel des Muldegebietes

Pegel	AE [km ²]	Mittlere r-Werte	Mittlere TQ-Werte [h]
Aue 1	363,0	1,81	22,97
Niederschlema	754,0	1,56	26,28
Zwickau-Pölbitz	1021,0	1,52	30,40
Göritzshain	532,0	2,42	19,21
Wechselburg 1	2099	1,49	35,40
Streckewalde	206	2,26	18,18
Hopfgarten	530	1,85	22,20
Rothenthal	75,94	2,09	19,98
Zöblitz	125	1,96	24,14
Borstendorf	640	1,75	24,47
Lichtenwalde 1	1572	1,58	33,12
Wolfsgrund	35,84	2,49	14,16
Berthelsdorf	243	1,70	30,06
Nossen 1	586	1,59	25,77
Niederstriegis 1	286	1,83	21,36
Golzern 1	5433	1,36	42,40

Um die einzelnen Hochwasserereignisse zu kategorisieren, wurden mit Hilfe der mittleren r- und TQ-Werte (Tabelle 52) vier Ereignisgruppen definiert:

- Gruppe 1: Ereignisse mit kurzer Zeitskala und flachem Ganglinienverlauf im Scheitelbereich (TQ < Mittlerer TQ-Wert) und (r < Mittlerer r-Wert)
- Gruppe 2: Ereignisse mit kurzer Zeitskala und steilem Ganglinienverlauf im Scheitelbereich (TQ < Mittlerer TQ-Wert) und (r > Mittlerer r-Wert)
- Gruppe 3: Ereignisse mit langer Zeitskala und flachem Ganglinienverlauf im Scheitelbereich (TQ > Mittlerer TQ-Wert) und (r < Mittlerer r-Wert)
- Gruppe 4: Ereignisse mit langer Zeitskala und steilem Ganglinienverlauf im Scheitelbereich (TQ > Mittlerer TQ-Wert) und (r > Mittlerer r-Wert)

Die Gruppe 2 und 3 differenzieren zwischen kurzen Ereignissen mit sehr ungleichförmigen Scheitelbereichen, die im Ergebnis konvektiver Niederschläge entstehen (Gruppe 2) und lang anhaltenden Hochwasserereignissen mit ausgeglichenem Verlauf im Scheitelbereich, die häufig durch stratiforme Niederschläge bedingt werden (Gruppe 3). Die Ereignisse der Gruppen 1 entstehen durch stratiforme Niederschläge kürzerer Dauer und/oder bei einer Teilberegnung des Einzugsgebietes und weisen einen gleichmäßigen Scheitelverlauf aber ebenfalls eine unterdurchschnittliche Zeitskala auf. Hochwasser der Gruppe 4 sind durch stratiforme Niederschlagsereignisse (hohe TQ-Werte) mit eingebetteten konvektiven Niederschlägen gekennzeichnet, die einen steilen Abflussverlauf im Scheitelbereich bei längerer Hochwasserdauer bedingen. Ein Beispiel für die Unterteilung der Sommerhochwasser mit Hilfe der r- und TQ-Werte ist in Abbildung 206 gegeben.

Die Anteile der Gruppen an den Sommerhochwasserereignissen sowie die mittleren r-, TQ- und HQ-Werte jeder Gruppe sind in Tabelle 53 zusammengefasst. Etwa ein Drittel der Sommerhochwasserereignisse wei-

sen eine lange Zeitskale TQ und einen gleichmäßigen Scheitelverlauf auf. Unterdurchschnittliche Zeitskalen und ein gleichmäßiger Scheitelverlauf sind ein Merkmal für etwa 25 % aller Sommerhochwasser. Die Hochwasser mit kurzer Zeitskale und sehr ungleichmäßigem Scheitel (Merkmale konvektiver Hochwasser) stellen ein weiteres Drittel aller Ereignisse. Die vierte Gruppe ist nur mit etwa 6 % aller Hochwasser belegt. Auf eine Darstellung der Mittelwerte der TQ- und r-Werte in Tabelle 53 wird für die Gruppe 4 deshalb verzichtet.

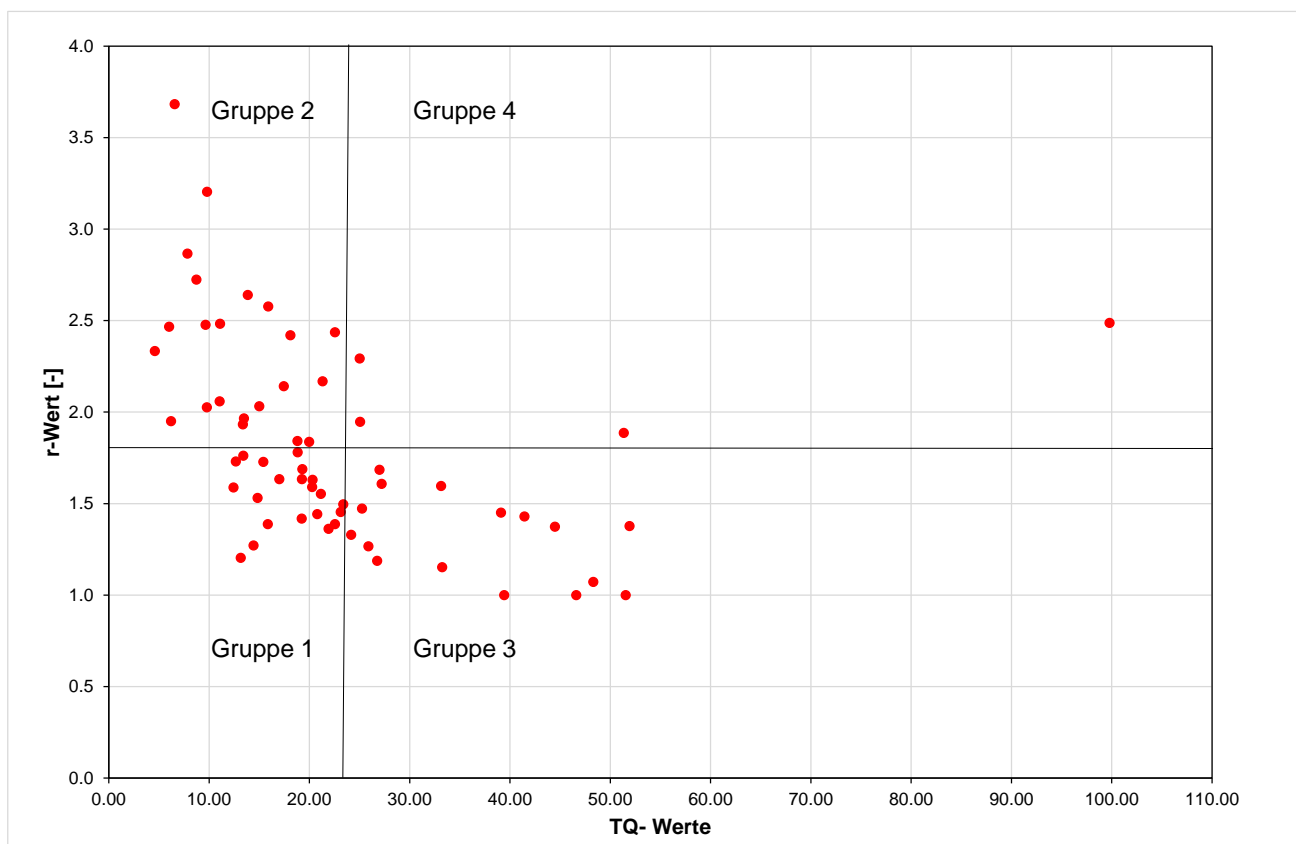


Abbildung 206: TQ- und r-Werte aller Sommer-HQ-Werte am Pegel Aue 1/Schwarzwasser und deren Einteilung in Ereignisgruppen

Tabelle 53: Anteile der r-TQ-Gruppen, mittlere r- und TQ-Werte und mittlere Scheitelabflüsse jeder Gruppe

Pegel	AE [km ²]	Anzahl	Gruppe 2			Gruppe 3					HQ2/HQ3 [-]
			Anteil Ereignisse	Mittlerer TQ-Wert [h]	Mittlerer r-Wert [-]	Mittlerer HW- Scheitel HQ2 [m ³ /s]	Anteil Ereignisse	Mittlerer TQ-Wert [h]	Mittlerer r-Wert [-]	Mittlerer HW- Scheitel HQ3 [m ³ /s]	
Aue 1	363	63	0,35	12,8	2,38	39,65	0,24	34,1	1,32	52,5	1,32
Niederschlema	754	62	0,29	16,2	2,03	50,84	0,34	35,9	1,24	117,2	2,31
Zwickau-Pölbitz	1021	62	0,27	17,2	1,95	59,21	0,27	42,4	1,25	200,8	3,39
Göritzchain	532	83	0,39	8,2	3,78	40,64	0,42	30,8	1,40	80,8	1,99
Wechselburg 1	2099	84	0,30	20,3	1,96	102,24	0,35	55,7	1,24	243,9	2,39
Streckewalde	206	66	0,30	7,9	3,60	19,52	0,35	31,7	1,48	32,1	1,64
Hopfgarten	530	74	0,36	12,2	2,53	38,26	0,39	34,2	1,31	72,5	1,89
Rothenthal	75,9	59	0,32	9,6	3,15	13,03	0,39	30,9	1,38	12,6	0,97
Zöblitz	125	54	0,26	10,5	3,22	12,95	0,33	38,2	1,40	18,2	1,41
Borstendorf	640	58	0,36	13,5	2,42	41,23	0,41	36,0	1,28	89,7	2,18
Lichtenwalde 1	1572	70	0,39	22,0	2,07	139,29	0,30	53,7	1,15	202,5	1,45
Wolfsgrund	35,8	69	0,32	5,3	4,10	3,59	0,32	27,4	1,43	4,7	1,31
Berthelsdorf	243	53	0,40	12,7	2,23	9,84	0,32	57,2	1,23	24,6	2,50
Nossen 1	586	64	0,34	13,2	2,16	24,28	0,39	38,1	1,21	63,0	2,60
Niederstriegis 1	286	63	0,27	12,7	2,78	14,58	0,44	28,1	1,37	23,8	1,64
Golzern 1	5433	76	0,22	27,4	1,74	271,99	0,34	61,8	1,18	563,0	2,07

Pegel	AE [km²]	Anzahl	Gruppe 1				HQ1/HQ3	Gruppe 4
			Anteil Ereignisse	Mittlerer TQ-Wert [h]	Mittlerer r-Wert [-]	Mittlerer HW-Scheitel HQ1 [m³/s]		Anteil Ereignisse
Aue 1	363	63	0,30	17,5	1,54	39,3	4,1	0,11
Niederschlema	754	62	0,27	21,1	1,35	51,1	7,2	0,10
Zwickau-Pölbitz	1021	62	0,31	25,5	1,27	64,6	11,7	0,15
Göritzhein	532	83	0,18	15,6	1,88	55,1	9,8	0,01
Wechselburg 1	2099	84	0,32	27,2	1,28	159,1	12,0	0,04
Streckewalde	206	66	0,33	13,3	1,85	15,2	4,1	0,02
Hopfgarten	530	74	0,20	17,2	1,63	41,1	6,0	0,04
Rothenthal	75,94	59	0,24	15,6	1,75	7,5	1,3	0,05
Zöblitz	125	54	0,35	19,5	1,57	18,0	1,7	0,06
Borstendorf	640	58	0,21	20,2	1,50	76,5	6,7	0,02
Lichtenwalde 1	1572	70	0,27	25,4	1,28	78,4	9,2	0,04
Wolfsgrund	35,84	69	0,35	10,1	1,97	3,5	0,9	0,01
Berthelsdorf	243	53	0,25	20,8	1,44	17,5	1,9	0,04
Nossen 1	586	64	0,22	21,5	1,32	31,3	4,8	0,05
Niederstriegis 1	286	63	0,22	17,3	1,53	14,7	1,9	0,06
Golzern 1	5433	76	0,20	15,6	1,88	55,1	2,1	0,24

Die Unterschiede der statistischen Kennwerte der Hochwasserscheitelabflüsse zwischen den Gruppen sind exemplarisch am Beispiel der Pegel Aue 1/Schwarzwasser und Lichtenwalde 1/Zschopau, d. h. für zwei Einzugsgebiete unterschiedlicher Größe, in Tabelle 54 dargestellt.

■ Für den Pegel Aue 1 wird aus den Unterschieden zwischen den Median- und Quartilwerten deutlich, dass die Gruppe 2 wesentlich kleinere Scheitelabflüsse beinhaltet als Gruppe 3 (das obere Quartil der Gruppe 2 entspricht in etwa dem Median der Gruppe 3). Dieser Unterschied wird auch in der größeren Schiefe der Gruppe 2 deutlich. Auch die Werte, die das obere Quartil überschreiten, unterscheiden sich bei Gruppe 3. In der Gruppe 1 liegen diese Werte im Bereich von 54,9 bis 97,5 m³/s, in der Gruppe 2 zwischen 49,1 und 144 m³/s, in Gruppe 3 dagegen zwischen 105 und 315 m³/s. Überschreitungen eines Scheitelabflusses von 100 m³/s treten in der Gruppe 1 nicht auf, in der Gruppe 2 ist dies bei zwei Ereignissen der Fall (1957 und 1995). In der Gruppe 3 sind dagegen 5 derartige Ereignisse (1937, 1954, 2002, 2010, 2013) zu verzeichnen. Am 06.07.1931 trat ein extremes Hochwasser der Gruppe 2 auf, dessen Scheitel (200 m³/s), r-Wert (8,7) und TQ-Wert (3,5) derart deutliche Abweichungen von den beiden Ereignissen mit Scheitelabflüssen über 100 m³/s in der Gruppe 2 zeigte (1957: HQ = 107 m³/s; r = 1,8; TQ = 18,8 h; 1995: HQ = 144 m³/s; r = 2,2; TQ = 21,3), dass dieses Ereignis als ein „Ausreißer“ bei der statistischen Auswertung der Gruppe 2 nicht berücksichtigt wurde. Es handelt sich hier um ein sehr außergewöhnliches Unwetterereignis, das aufgrund seiner extremen Form eine gesonderte Kategorie bilden müsste.

■ Auch das größere Einzugsgebiet des Pegels Lichtenwalde 1 belegt den Unterschied zwischen den Ereignissen der Gruppe 3 und den übrigen Hochwasserereignissen. Die Gruppe 2 zeigt im Vergleich zur Gruppe 3 allerdings aufgrund der Gebietsgröße geringere Unterschiede in der Häufigkeitsverteilung als dies für den Pegel Aue 1 der Fall war. Ungleichmäßige Abflüsse im Scheitelbereich werden hier durch die längere Abflusskonzentration ausgeglichen. So stimmen die unteren und oberen Quartilwerte beider Gruppen weitgehend überein. Der Median der Gruppe 3 ist allerdings deutlich höher als der der Gruppen 1 oder 2. Bei der Diskussion der Unterschiede der Gruppe 1 zu den anderen Ereignissen muss die Besonderheit des Hochwassers 2002 berücksichtigt werden. In Bezug auf seine r- und TQ-Werte zählt dieses Ereignis eindeutig zur Gruppe 1. Sein Scheitelabfluss (1250 m³/s) ist jedoch sechsmal so groß wie der des nächstkleineren Ereignisses in dieser Gruppe (Hochwasser vom 20.07.1981). Das Hochwasser 2002 hat somit einen sehr großen Einfluss auf die Werte der Standardabweichung und der Schiefe.

Tabelle 54: Unterschiede zwischen den statistischen Kennzahlen der Hochwasserscheitelabflüsse der verschiedenen Gruppen

Pegel Aue 1/Schwarzwasser, AE = 363 km²

Gruppe	Anzahl	Mittelwert HQ [m ³ /s]	Median HQ [m ³ /s]	Standardabweichung [m ³ /s]	Minimum [m ³ /s]	Maximum [m ³ /s]	Unteres Quartil [m ³ /s]	Oberes Quartil [m ³ /s]	Schiefe
G1	19	39,3	30,0	24,43	10,5	97,5	17,3	54,9	0,905
G2	22	39,6	29,9	32,15	14,0	144	20,3	49,1	2,167
G3	18	85,5	55,4	84,50	8,3	315	28,2	105	1,630

Pegel Lichtenwalde 1/Zschopau, AE = 1572 km²

Gruppe	Anzahl	Mittelwert HQ [m ³ /s]	Median HQ [m ³ /s]	Standardabweichung [m ³ /s]	Minimum [m ³ /s]	Maximum [m ³ /s]	Unteres Quartil [m ³ /s]	Oberes Quartil [m ³ /s]	Schiefe
G1 ohne HW 2002	18	91,96	89,3	52,8	27,2	205	57	107	0,981
G1	19	152,91	92,8	270,6	27,2	1250	57	120	4,106
G2	27	139,29	118,0	87,7	31,5	395	71,1	214	1,090
G3	21	202,54	167,0	191,0	30,8	774	71,1	211	1,803

Für jeden Pegel wurden die fünf untersuchten Hochwasserereignisse in eine der vier Ereignisgruppen eingeordnet (Tabelle 56). Die Verteilung der Häufigkeiten in Tabelle 55 zeigt die Unterschiede zwischen diesen Ereignissen und spiegelt sowohl die Heterogenität der Niederschlagsverteilungen als auch der Reaktionen der einzelnen Teilgebiete wider. Ersichtlich wird, dass die Ereignisse 1954 und 2013 einheitlich an allen betrachteten Pegeln dem Ereignistyp 3 zuzuordnen sind. Die Ereignisse 1958, 1995 und 2002 verteilen sich stets auf mehrere Gruppen. Bei diesen Ereignissen waren kurze Zeitskalen (Gruppen 1 und 2) bei jeweils etwa einem Drittel der betrachteten Pegel zu verzeichnen. Für das Ereignis Anfang September 1995 liegen nicht an allen Pegeln Einordnungen vor, weil die TQ-Werte nur für Ereignisse, die das Sommer-HQ darstellen, ermittelt wurden. Dies war nicht an allen Pegeln im östlichen Teil des Muldegebietes der Fall. Dort hatte verschiedentlich das Hochwasser im Juni 1995 höhere Scheitelabflüsse.

Tabelle 55: Häufigkeiten der Einordnung der Ereignisse in vier r-TQ- Gruppen

Hochwasserereignis	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4
1954			16	
1958	1	3	11	1
1995	3	2	3	4
2002	3	3	8	1
2013			16	

Tabelle 56: Zuordnung der Hochwasserereignisse zu Ereignisgruppen anhand ihrer r- und TQ-Werte

	Hochwasser 1954					Hochwasser 1958			Hochwasser 1995			Hochwasser 2002			Hochwasser 2013		
	Mittel r-Wert	Mittel TQ- Wert	r-Wert 1954	TQ- Wert 1954	HW- Gruppe	r-Wert 1958	TQ- Wert 1958	HW- Gruppe	r-Wert 1995	TQ- Wert 1995	HW- Gruppe	r-Wert 2002	TQ- Wert 2002	HW- Gruppe	r-Wert 2013	TQ- Wert 2013	HW- Gruppe
Aue 1	1,81	22,97	1,37	44,5	3	1,47	25,2	3	2,17	21,3	2	1,68	27,0	3	1,07	48,3	3
Niederschlema	1,56	26,28	1,14	46,7	3	1,34	26,9	3	1,70	32,6	4	1,50	29,1	3	1,05	63,0	3
Zwickau-Pölbitz	1,52	30,40	1,25	42,6	3	1,58	27,0	2	1,30	44,3	3	1,36	35,4	3	1,13	57,1	3
Göritzhein	2,42	19,21	1,13	53,2	3	1,31	33,8	3	1,55	28,8	3	1,28	27,6	3	1,23	55,9	3
Wechselburg 1	1,49	35,40	1,23	74,9	3	1,25	49,7	3	2,46	38,1	4	1,15	31,4	1	1,32	58,1	3
Streckewalde	2,26	18,18	1,66	43,4	3	2,06	17,8	1				1,56	21,5	3	1,28	50,7	3
Hopfgarten	1,85	22,20	1,67	43,3	3	1,99	19,4	2	2,04	24,3	4	1,57	24,6	3	1,29	47,0	3
Rothenthal	2,09	19,98	1,63	44,4	3	1,25	32,1	3				2,76	21,3	4	1,30	53,5	3
Zöblitz	1,96	24,14	1,45	54,3	3	1,47	33,4	3	1,44	22,7	1	2,36	17,9	2	1,27	53,4	3
Borstendorf	1,75	24,47	1,20	62,3	3	1,32	33,2	3				1,53	25,8	3	1,15	57,5	3
Lichtenwalde 1	1,58	33,12	1,33	85,4	3	1,34	37,6	3	2,14	21,8	2	1,40	27,8	1	1,25	46,9	3
Berthelsdorf	1,70	30,06	1,45	35,4	3	1,88	19,1	2	1,70	18,4	1	1,48	23,7	1	1,18	45,7	3
Nossen 1	1,59	25,77	1,11	67,4	3	1,42	29,1	3	1,60	28,0	4	1,80	18,3	2	1,20	51,8	3
Golzern 1	1,36	42,40	1,33	75,6	3	1,25	59,8	3	1,13	41,2	1	1,38	36,7	2	1,07	61,2	3

Das Hochwasser 2002 unterscheidet sich in seinem Ganglinienverlauf erheblich von den durch Dauerregen bestimmten Ereignissen der Gruppe 3. Dieser Unterschied wird in der hohen Zahl der Zuordnungen dieses Hochwassers zu den Ereignissen mit kurzen Zeitskalen (Gruppen 1 und 2) an den einzelnen Pegeln deutlich. Die Bedeutung dieser Zuordnung ist dabei unterschiedlich. Für das Einzugsgebiet der Freiburger Mulde stellt es ein außergewöhnlich großes Hochwasser der Gruppe 1 bzw. 2 dar (Abbildung 207). Am Pegel Nossen 1 ist der maximale Scheitelabfluss aus den Gruppen der Ereignisse mit einem noch kleineren TQ-Wert 23-mal geringer als der Scheitelabfluss des Hochwassers 2002. Das vom Scheitel her nächstkleinere Hochwasser (2013) weist den dreifachen Wert der Zeitskale (25 h im Vergleich zu 18 h 2002). Am Pegel Borstendorf/Flöha, an dem insgesamt viele Sommerereignisse mit kurzer Zeitskale auftreten (Abbildung 208) handelt es sich 2002 um ein Ereignis der Gruppe 3, da in diesem Gebiet die TQ-Werte der Sommerhochwasser insgesamt sehr niedrig sind. Es ist hier mit dem Ereignis 1958 vergleichbar (1958: HQ = 208 m³/s, TQ = 33 h; 2002: HQ = 540 m³/s, TQ = 26 h). Für den Pegel Wechselburg 1/Zwickauer Mulde (Abbildung 209) ist das Ereignis 2002 insofern außergewöhnlich als die beiden anderen Ereignisse (1954 und 2013) in dieser Größenklasse des Scheitels doppelte so große TQ-Werte aufweisen. Das Ereignis 2002 ist aufgrund des wesentlich geringeren r-Wertes auch nicht mit dem Ereignis 1995 vergleichbar (2002: r-Wert = 1,15, 1995: r-Wert = 2,46). Sein Verlauf entspricht nach diesen Kennwerten eher dem hier nicht ausgewerteten Ereignis im August 2010 (HQ = 521 m³/s; TQ = 36 h; r-Wert = 1,49). Wie diese Beispiele zeigen, geben die r- und TQ-Werte eine Vielzahl von Möglichkeiten, um Hochwasserereignisse zu gruppieren und zwischen dem Hochwasserregime von Einzugsgebieten zu differenzieren.

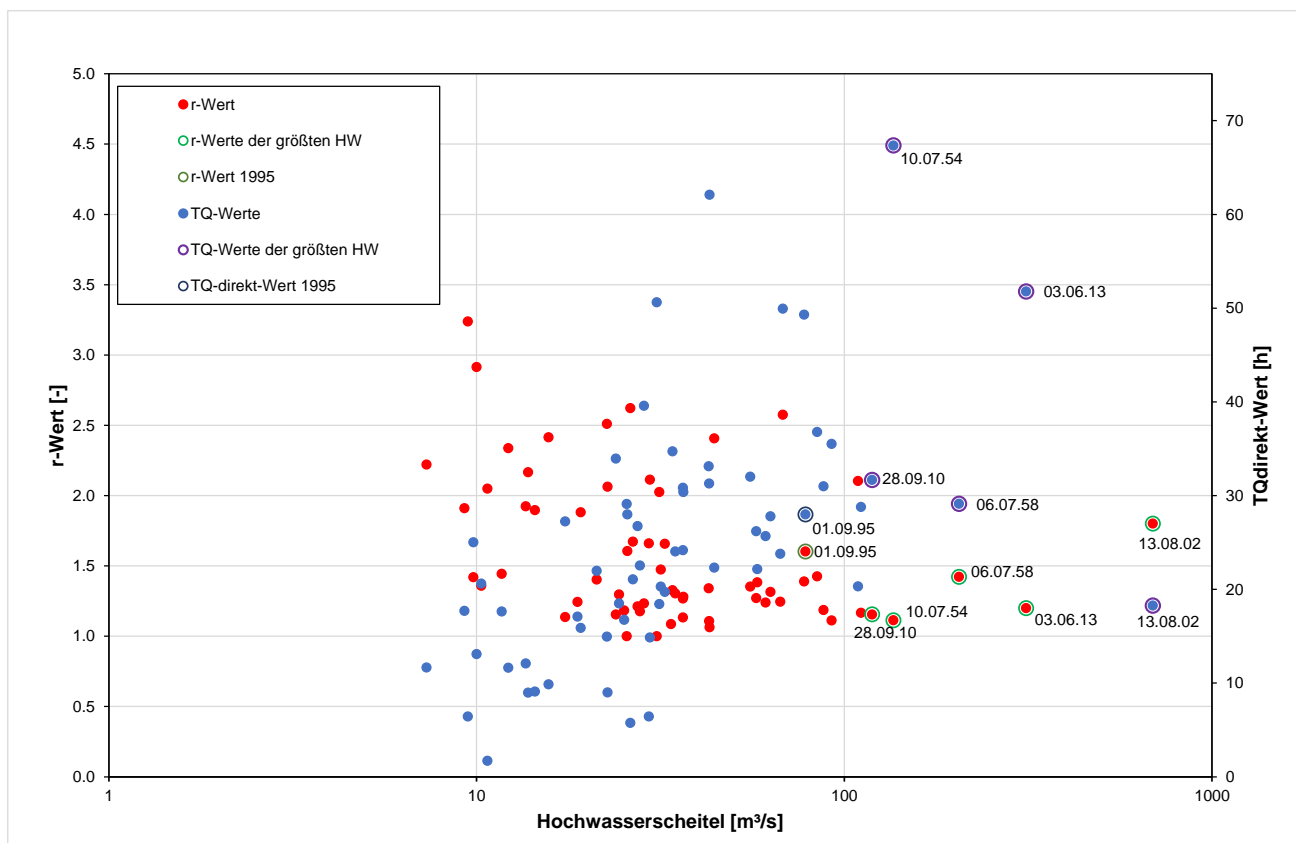


Abbildung 207: TQ- und r-Werte der Sommerhochwasser (Juni bis September) am Pegel Nossen 1/ Freiburger Mulde mit Markierung der fünf Hochwasser mit den größten Scheitelabflüssen

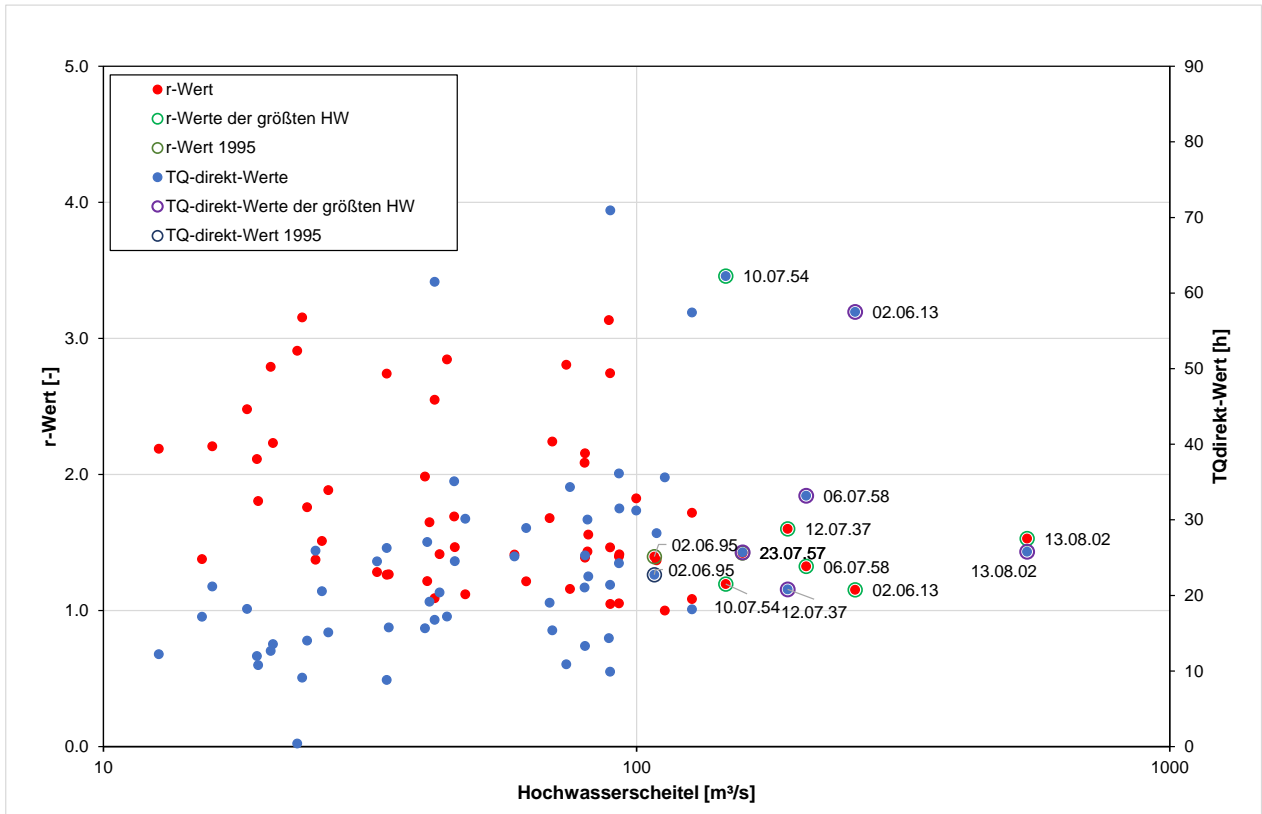


Abbildung 208: TQ- und r-Werte der Sommerhochwasser (Juni bis September) am Pegel Borstendorf/Flöha mit Markierung der fünf Hochwasser mit den größten Scheitelabflüssen

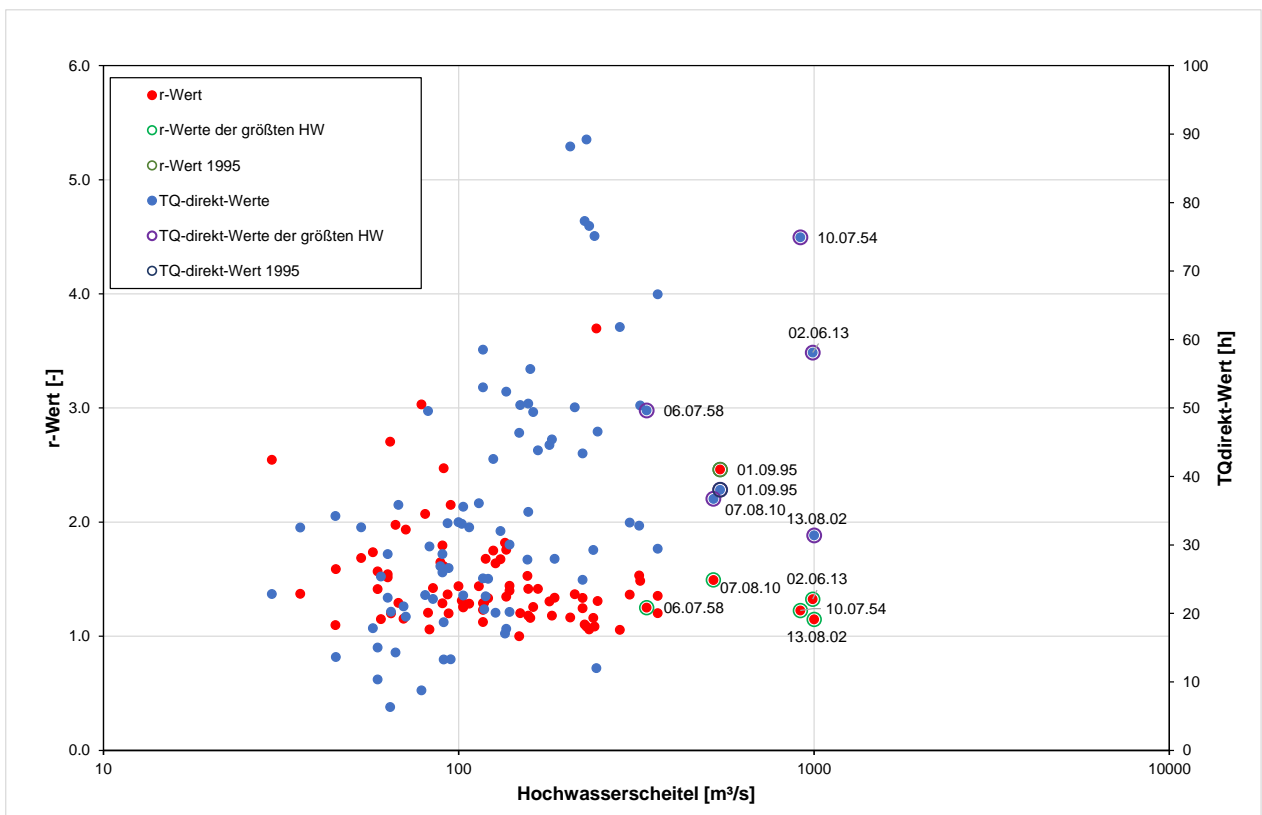


Abbildung 209: TQ- und r-Werte der Sommerhochwasser (Juni bis September) am Pegel Wechselburg 1/Zwickauer Mulde mit Markierung der fünf Hochwasser mit den größten Scheitelabflüssen

Bei der Diskussion der TQ-Werte ist deren Skalenabhängigkeit zu berücksichtigen. Generell nimmt die Zeitskala TQ bei allen Gruppen mit der Größe des Einzugsgebietes zu. Um diese Abhängigkeit zu vergleichen, wurden die mittleren TQ-Werte je Gruppe und Pegel (Tabelle 53) in Bezug zur Einzugsgebietsfläche der Pegel gesetzt. Weil die betrachteten extrem großen Ereignisse die Mittelwerte verändern und die Abweichungen dieser Ereignisse von den mittleren Verhältnissen diskutiert werden sollte, wurden die mittleren TQ-Werte dabei ohne die fünf hier betrachteten Hochwasser berechnet. Im Ergebnis kann ein nichtlinearer Zusammenhang zwischen der Einzugsgebietsfläche und den TQ-Werten festgestellt werden. Diese nehmen mit zunehmender Fläche zu. Der Zusammenhang ist aber in den einzelnen Gruppen unterschiedlich stark ausgeprägt (Abbildung 210). Die TQ-Mittelwerte der Ereignisse mit kurzen Zeitskalen (Gruppe 1 und 2) zeigen eine deutlich stärkere Abhängigkeit als die Ereignisse mit langen Zeitskalen, weil bei letzteren die Niederschlagsdauer mehr Einfluss auf die Zeitskala nimmt. In Abbildung 210 werden auch die Unterschiede im Niveau der Zeitskalen $TQ(2) < TQ(1) < TQ(3)$ deutlich. Es ist zu beachten, dass die Ableitung dieser Beziehungen ohne den Pegel Golzern 1 erfolgte, weil dieser die Schätzung der Regressionsbeziehung zu stark beeinflusst hätte.

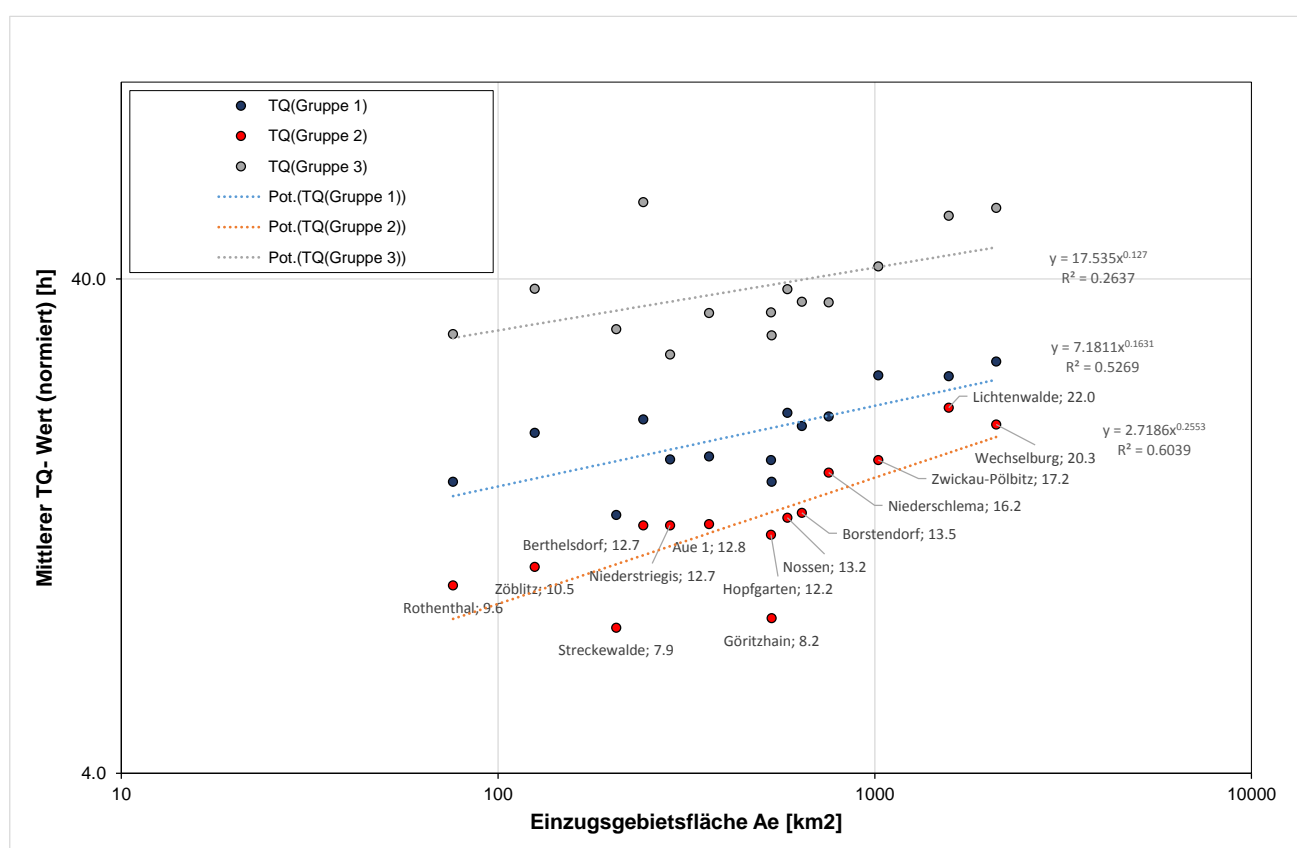


Abbildung 210: Zusammenhang zwischen den Zeitskalen der Gruppen 1, 2 und 3 und der Einzugsgebietsfläche

11.4 Hochwasserkoinzidenz

Der Begriff der Hochwasserkoinzidenz bezeichnet das zeitliche Zusammenfallen von Hochwasserereignissen in den verschiedenen Einzugsgebieten und zugleich (auf Pegel bezogen) das räumliche Zusammentreffen von Hochwasserabflüssen aus verschiedenen Gebietsteilen. Die im Folgenden angegebenen Jährlichkeiten sind mit den entsprechenden offiziellen Veröffentlichungen des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie insofern nicht vergleichbar als die univariaten Verteilungsfunktionen anders geschätzt wurden. Die vorliegenden Betrachtungen dienen der Beschreibung des Phänomens der Hochwasserkoinzidenz im verästelten Gewässernetz des Muldegebiets, das methodisch nur mit den Möglichkeiten der Copula-Statistik gefasst werden kann. Für das Muldegebiet bietet sich vorrangig eine Koinzidenzbetrachtung der Zuflüsse zur Vereinigten Mulde (Pegel Golzern 1) an. Betrachtet man die zeitgleichen Sommerhochwasser der Pegel Wechselburg 1/Zwickauer Mulde, Lichtenwalde 1/Zschopau und Nossen 1/Freiberger Mulde im Zeitraum 1926 bis 2013, so sind, unter der Vorgabe eines maximal zulässigen zeitlichen Abstandes des Scheitelwertes von einem Tag, 31 Ereignisse zu verzeichnen, die diese Bedingung der Zeitgleichheit erfüllen. Vergleicht man diese Zuflüsse der drei Pegel hinsichtlich der univariaten Jährlichkeiten der Scheitelabflüsse, so unterscheiden sich diese bei 18 von 31 Ereignissen um weniger als drei Jahre. Von diesen 18 Ereignissen weisen 15 Ereignisse Jährlichkeiten auf, die im Maximum der drei Pegel drei Jahre nicht überschreiten. Größere und seltenere Hochwasserereignisse (bezogen auf den Pegel Golzern 1) sind räumlich differenzierter. So traten höhere Abflüsse in der Zwickauer Mulde, charakterisiert durch die Jährlichkeiten der Scheitels in Wechselburg, in fünf Fällen (darunter die Hochwasserereignisse 1954, 1995 und 2013) auf (Tabelle 57). Bei weiteren fünf Ereignissen traten dagegen die höchsten Jährlichkeiten der Scheitelabflüsse in der Freiberger Mulde auf (darunter zählen die Ereignisse 1958 und 2002). Ein Hochwasserschwerpunkt in der Zschopau ist seltener, weil Hochwasser im Muldegebiet durch Ost- oder Westwetterlagen bedingt werden. Nur bei drei Ereignissen tritt am Pegel Lichtenwalde 1 eine höhere Jährlichkeit als in Wechselburg oder Nossen auf.

Tabelle 57: Univariete Jährlichkeiten der zeitgleichen Sommerhochwasser mit deutlicher Ost-West-Differenzierung an den Pegeln Wechselburg 1/Zwickauer Mulde, Lichtenwalde 1/Zschopau, Nossen 1/Freiberger Mulde und Golzern 1/Vereinigte Mulde

Datum des Scheitels	HQ(Golzern 1) [m³/s]	T (Wechselburg 1) [a]	T (Lichtenwalde 1) [a]	T (Nossen 1) [a]	T (Golzern 1) [a]
Höchste Abflüsse in der Zwickauer Mulde					
15.06.1946	693	7	3	1	6
11.07.1954	1740	117	20	14	108
30.06.1966	445	5	2	1	2
02.09.1995	760	27	5	4	7
03.06.2013	2040	179	57	75	192
Höchste Abflüsse in der Zschopau					
13.07.1937	774	3	10	5	8
12.05.1965	632	2	10	7	5
06.08.1983	874	4	11	6	11

Datum des Scheitels	HQ(Golzern 1) [m ³ /s]	T (Wechselburg 1) [a]	T (Lichtenwalde 1) [a]	T (Nossen 1) [a]	T (Golzern 1) [a]
Höchste Abflüsse in der Freiburger Mulde					
30.05.1941	1050	1	3	14	20
06.07.1958	1090	8	22	33	22
23.07.1980	722	7	5	9	6
13.08.2002	2600	151	213	348	474
28.09.2010	697	4	2	11	6

Betrachtet man das zeitliche Zusammentreffen der Hochwasserscheitel der Zwickauer und Freiburger Mulde und differenziert die Hochwasserabflüsse der Freiburger Mulde noch zwischen den Abflüssen aus der Zschopau (Pegel Lichtenwalde 1) und den Abflüssen aus der oberen Freiburger Mulde (Pegel Nossen 1), wird die Bedeutung der Hochwassertypisierung an Hand der TQ- und r-Werte deutlich. Das Ereignis 2013 entsprach in Golzern einem Dauerregenhochwasser (Gruppe 3). Überlagert man die drei Ganglinien der Pegel Wechselburg 1, Lichtenwalde 1 und Nossen 1 unter Berücksichtigung der zeitlichen Differenzen beim Eintreten der Scheitel an diesen Pegeln so, dass die resultierende Summenganglinie im Scheitelbereich eine minimale Abweichung von der beobachteten Ganglinie aufweist, ergibt sich die in Abbildung 211 dargestellte Abfolge der Scheitelzuflüsse am Pegel Golzern 1. Im ungünstigsten Fall, d. h. bei einer angenommenen zeitgleichen Überlagerung der drei Scheitel, wäre der Höchstabfluss in Golzern nur etwa 100 m³/s oder 5 % höher. Die Jährlichkeit würde sich damit von 190 a auf 230 a erhöhen. Betrachtet man jetzt das Ereignis 2002, das für den Pegel Golzern 1 ein Starkregenhochwasser mit kurzer Zeitskala (Gruppe 2) darstellt, so bekommt die zeitliche Abfolge der Teilabflüsse eine wesentlich größere Bedeutung. Die optimal geschätzte Überlagerung ist in Abbildung 212 dargestellt. Nimmt man jetzt den ungünstigsten Fall der Scheitelüberlagerung (Abbildung 213) an, würde sich der Scheitelabfluss in Golzern um 350 m³/s oder 13 % erhöhen. In Jährlichkeiten ausgedrückt würde diese Erhöhung einem Übergang von einer Jährlichkeit von 470 auf 750 a entsprechen. Aus diesem Vergleich wird deutlich, dass die Ereignisse kurzer Zeitskalen in Hinblick auf die Hochwasserkoinzidenz wesentlich kritischer sind als die durch Dauerregen bedingten Ereignisse. Bei Dauerregen ergibt sich ein ausgeglichenerer Verlauf der Hochwasserganglinie. Damit verringert sich das Risiko kritischer Überlagerungen von Teilgebietszuflüssen. Bei Ereignissen mit kurzer Zeitskala ist das Risiko kritischer Überlagerungen der Scheitel dagegen höher. Im günstigsten Fall ergibt sich hier eine mehrgipflige Hochwasserwelle, im ungünstigsten Fall jedoch die Überlagerung der Scheitel der Teilgebietszuflüsse. Für Risikoabschätzungen mit Hilfe kritischer Hochwasserszenarien sollten die verschiedenen, von den jeweiligen Niederschlagsbedingungen abhängigen Überlagerungsverhältnisse einer Vielzahl von Hochwasserereignissen mit unterschiedlicher Genese analysiert werden. Hierzu können multivariate statistische Modelle genutzt werden.

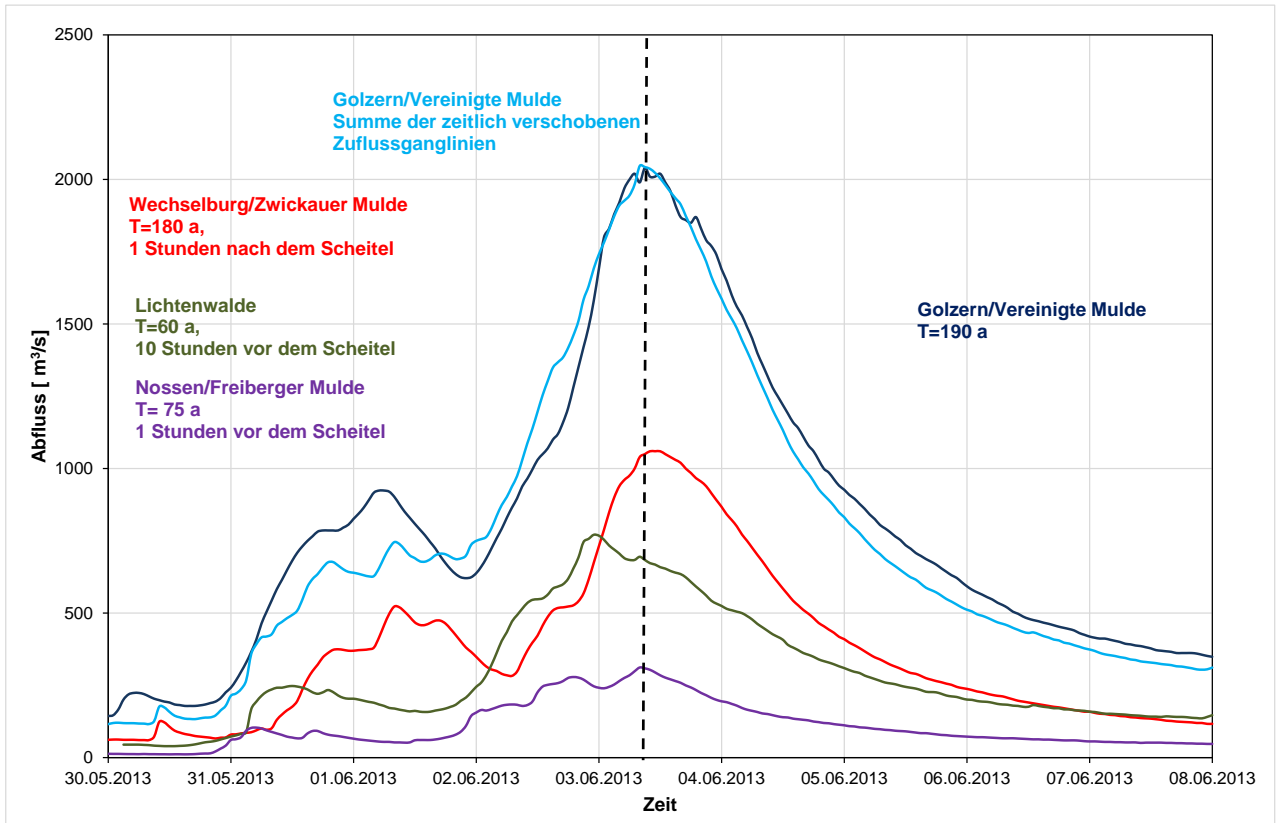


Abbildung 211: Optimale Überlagerung der zeitlich versetzten Hochwasserganglinien der Zwickauer Mulde, Zschopau und Freiberger Mulde (Pegel Nossen 1) 2013

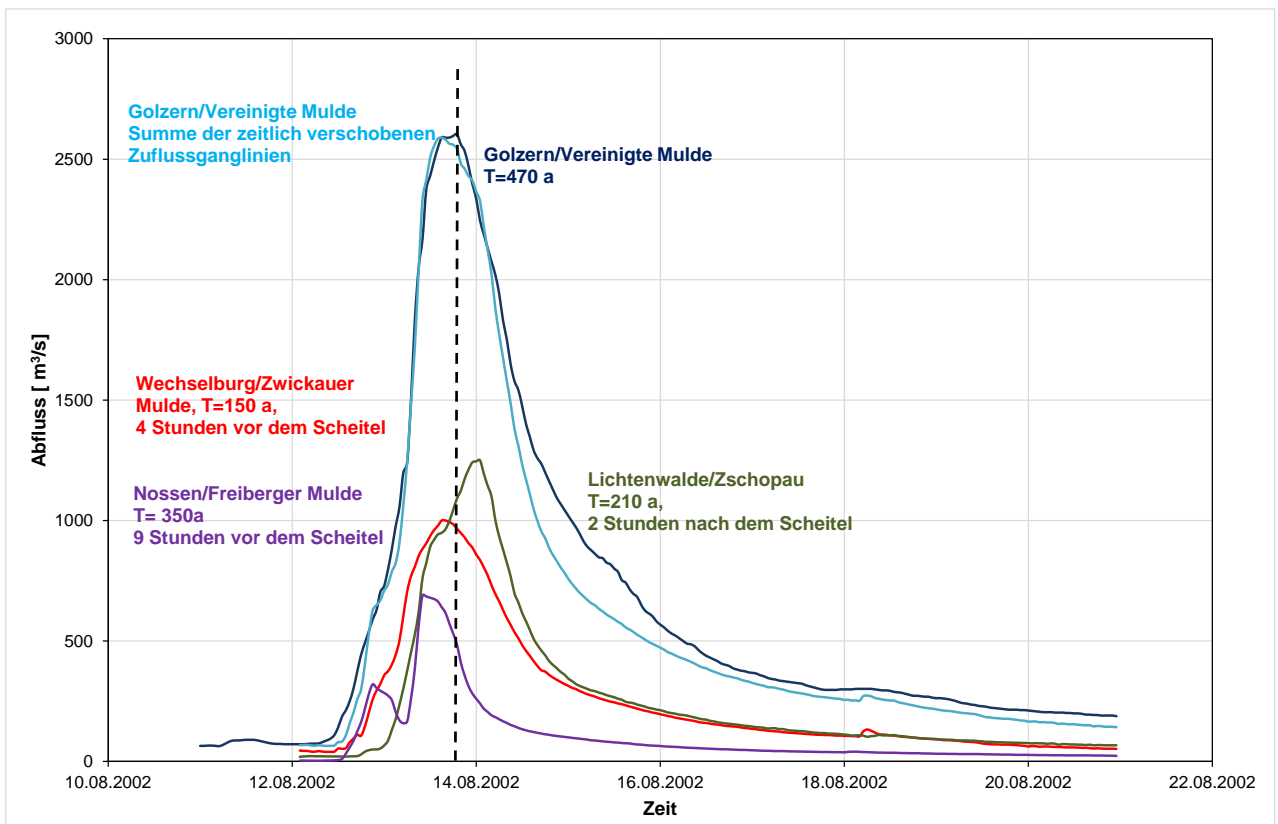


Abbildung 212: Optimale Überlagerung der zeitlich versetzten Hochwasserganglinien der Zwickauer Mulde, Zschopau und Freiberger Mulde (Pegel Nossen 1) 2002

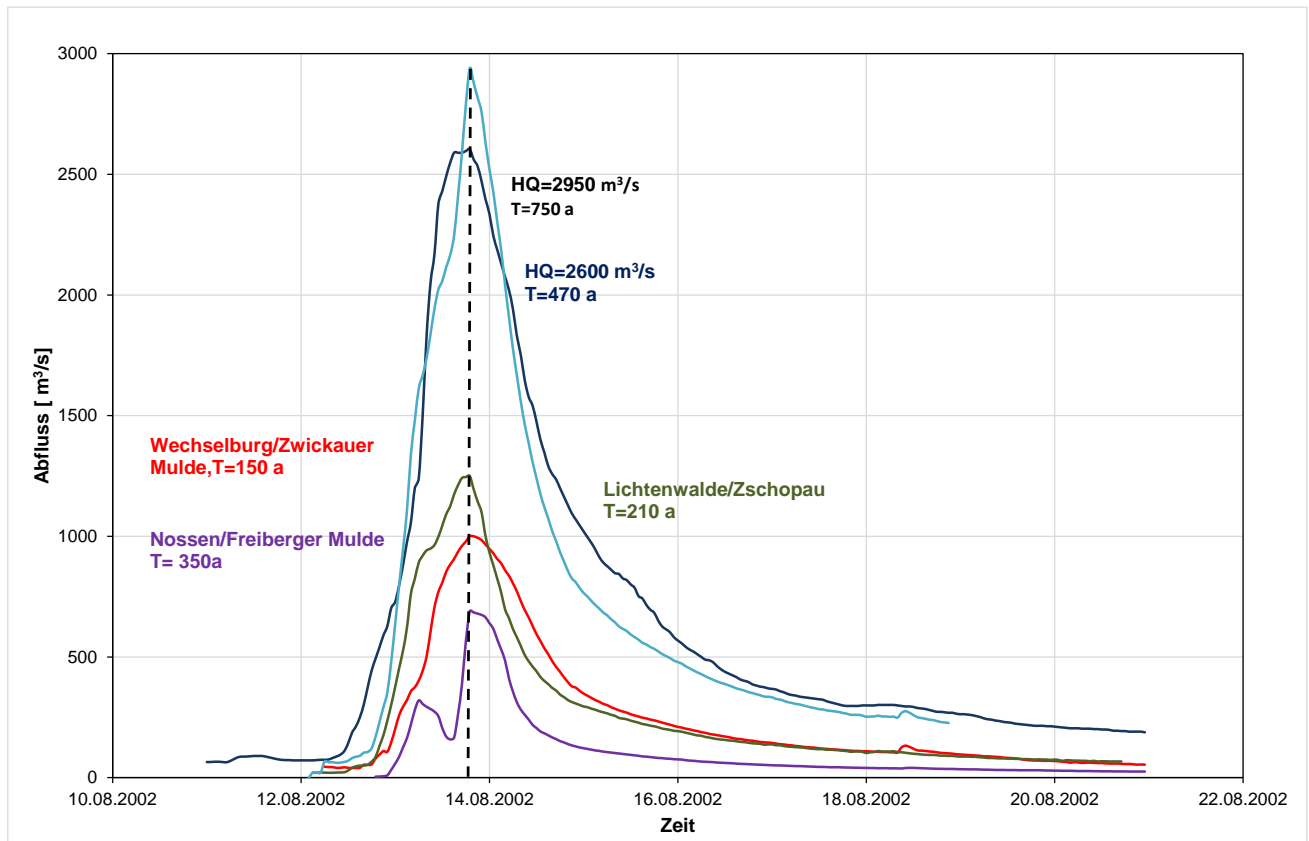


Abbildung 213: Scheitelgleiche Überlagerung der zeitlich versetzten Hochwasserganglinien der Zwickauer Mulde, Zschopau und Freiburger Mulde (Pegel Nossen 1) für das Ereignis 2002 (Annahme)

Mit Hilfe neuer multivariater statistischer Modelle, den sogenannten Copulas (SCHULTE 2015), kann der räumliche Zusammenhang der Hochwasserwahrscheinlichkeiten mehrerer Zuflüsse in Hinblick auf die Wahrscheinlichkeit von bestimmten Überlagerungen von Hochwasserscheitelzuflüssen beurteilt werden. Beispielsweise ergibt sich hier die Wahrscheinlichkeit des Scheitelabflusses in Golzern aus der Kombination der Wahrscheinlichkeiten der drei Zuflüsse. Bei der Schätzung der Copula, mit der die trivariate Wahrscheinlichkeit des resultierenden Scheitels beschrieben werden kann, wird von einem Rangkorrelationsmodell zwischen den ereignisgleichen Hochwasserscheitelabflüssen an den drei Zuflusspegeln ausgegangen. Im Ergebnis bezeichnen die in Tabelle 58 zusammengestellten Copula-Jährlichkeiten die Wahrscheinlichkeit, dass die drei Zuflussscheitel, die den Scheitelabfluss in Golzern bedingen, bei einem Hochwasser gemeinsam überschritten werden (logisches „und“). Aufgrund der Berücksichtigung der Kombinationen unterscheiden sich die Jahrliehkeiten, die mit Hilfe der Copulas geschätzt wurden, von der univariaten Jahrliehkeit am Pegel Golzern 1. Erstere sind generell höher, weil sie die geringeren Überschreitungswahrscheinlichkeiten einzelner Zuflüsse berücksichtigen. Vergleicht man die Unterschiede zwischen den univariaten und multivariaten Wahrscheinlichkeiten, wird wiederum die exponierte Besonderheit des Ereignisses 2002 deutlich. Die Kombination derart hoher univariater Wahrscheinlichkeiten ist äußerst selten. Bezogen auf den Pegel Golzern 1 beschreibt die univariate Wahrscheinlichkeit nur die Wahrscheinlichkeit des Scheitelabflusses ohne Berücksichtigung der Vielfalt der möglichen Kombinationen von Zuflüssen, die zu diesem Scheitel geführt haben können. Resultiert z. B. der Scheitelabfluss aus drei Zuflüssen mit einer Jahrliehkeit von jeweils 50 Jahren, so ergeben sich in den univariaten Wahrscheinlichkeiten keine Unterschiede, wenn ein gleich hoher Scheitelabfluss aus der Kombination von Hochwasserzuflüssen der Jahrliehkeiten $T = 200$ a, 50 a und 20 a resultiert. Die multivariate Wahrscheinlichkeit berücksichtigt dagegen, dass der Zufluss eines Gebietes

beim zweiten Ereignis eine wesentlich geringere Wahrscheinlichkeit besitzt und berücksichtigt dies durch eine wesentlich geringere Überschreitungswahrscheinlichkeit dieser Kombination.

Tabelle 58: Jährlichkeiten der Hochwasserscheitelabflüsse der Zuflüsse zur Vereinigten Mulde, der Scheitel am Pegel Golzern und die zugehörigen multivariaten Copula-Jährlichkeiten

Hochwasser	T (Wechselburg 1) [a]	T (Lichtenwalde 1) [a]	T (Nossen 1) [a]	T (Golzern 1) [a]	T (Copula nach Joe) [a]	T (3d-Pair-Copula) [a]
1954	117	20	14	108	167	168
1958	10	22	33	22	40	43
2002	383	213	348	474	556	627
2013	396	58	75	172	257	274

Um die zeitliche Koinzidenz von Hochwasserereignissen in den Kopfgebieten mittlerer Größe (Einzugsgebietsflächen zwischen 200 und 700 km²) zu untersuchen, wurden die zeitgleichen Hochwasser an den Pegeln Aue 1/Schwarzwasser, Hopfgarten/Zschopau, Borstendorf/Flöha und Berthelsdorf/Freiburger Mulde ermittelt und deren Scheitelabflüsse und Jährlichkeiten in Tabelle 59 zusammengestellt. Beginnend mit dem Ereignis 1937 traten nur 15 Sommerhochwasser auf, bei denen der Scheitelabfluss zeitgleich bzw. mit einem zeitlichen Unterschied von maximal 12 Stunden an allen vier Pegeln auftrat. Hierzu zählen die fünf hier dargestellten Ereignisse. Bei diesen Ereignissen spiegelt sich die räumliche Niederschlagsverteilung in den Jährlichkeiten der Scheitelabflüsse wider. So finden die höheren Niederschläge im westlichen Teil des Muldegebietes 1954 ebenso ihre Entsprechung wie die höheren Niederschläge im Ostteil 1958. Der Unterschied zwischen den Hochwasserereignissen der Jahre 2002 und 2013 wird ebenso deutlich. Das Beispiel des Ereignisses 2013 zeigt, dass auch bei weitgehend ähnlicher Niederschlagssumme und Abflussbereitschaft trotz Beobachtungsreihenlängen von mehr als 80 Jahren statistisch unterschiedlich einzuordnende Scheitelabflüsse auftreten können.

Tabelle 59: Jährlichkeiten zeitgleicher Hochwasserscheitelabflüsse der Pegel Aue 1/Schwarzwasser, Hopfgarten/Zschopau, Borstendorf/Flöha und Berthelsdorf/Freiburger Mulde

Aue 1/Schwarzwasser		Hopfgarten/Zschopau		Borstendorf/Flöha		Berthelsdorf/Freiburger Mulde		Jährlichkeiten T [a]			
Datum	HQ [m³/s]	Datum	HQ [m³/s]	Datum	HQ [m³/s]	Datum	HQ [m³/s]	Aue 1	Hopfgarten	Borstendorf	Berthelsdorf
12.07.1937	105	12.07.1937	108	12.07.1937	192	12.07.1937	36	7	5	17	4
15.09.1941	64	16.09.1941	77	15.09.1941	93	16.09.1941	30	3	3	3	3
14.06.1946	74	14.06.1946	93	14.06.1946	80	14.06.1946	15	4	4	2	1
10.07.1954	225	11.07.1954	233	10.07.1954	148	09.07.1954	68	33	39	8	15
23.07.1957	108	23.07.1957	91	23.07.1957	159	23.07.1957	30	7	4	10	3
06.07.1958	96	06.07.1958	230	06.07.1958	209	05.07.1958	121	6	38	22	45
11.05.1965	82	11.05.1965	79	11.05.1965	144	11.05.1965	61	4	3	8	12
30.06.1966	86	30.06.1966	79	30.06.1966	75	30.06.1966	17	5	3	2	1
22.07.1980	98	22.07.1980	99	22.07.1980	128	22.07.1980	45	6	4	6	6
05.08.1983	46	05.08.1983	68	05.08.1983	128	05.08.1983	38	2	2	6	5
01.09.1995	145	01.09.1995	121	01.09.1995	83	01.09.1995	24	13	7	2	2
13.08.2002	315	13.08.2002	420	13.08.2002	540	13.08.2002	360	67	214	424	320
03.06.2010	85	03.06.2010	37	03.06.2010	43	03.06.2010	16	5	1	1	1
07.08.2010	114	07.08.2010	46	07.08.2010	57	07.08.2010	16	8	1	1	1
02.06.2013	210	02.06.2013	259	02.06.2013	257	03.06.2013	138	28	53	40	57

12 Unsicherheiten und offene Fragen

Die Auswertungen von fünf großen Hochwasserereignissen belegt die Vielfalt der Entstehungsbedingungen extremer Hochwasser im Muldegebiet. Die hier analysierten Niederschlag-Abfluss-Beziehungen sind aus folgenden Gründen unsicher:

- Für die Abläufe von Extremhochwasserereignissen sind in erster Linie die Niederschlagsverhältnisse maßgebend. Damit ergeben sich wesentliche Unsicherheiten aus den Schwierigkeiten der Erfassung der zeitlichen und räumlichen Niederschlagsvariabilität. Die Auswertung des Hochwassers 2002 zeigte, dass insbesondere konvektive Niederschlagsanteile durch punktuelle Messungen an Niederschlagsschreibern nicht erfasst werden können, sondern hierzu Radardaten benötigt werden. Diese beinhalten jedoch in Hinblick auf die auftretenden, sehr hohen Intensitäten das Problem der Zuordnung von Niederschlagsmengen zu den erfassten Reflektivitäten des Radarsignals. Die zeitliche Verteilung des Niederschlages und insbesondere die Niederschlagshöhe in zeitlich begrenzten Abschnitten mit hoher Intensität erweist sich, wie das Beispiel in Abbildung 184 und Abbildung 185 zeigt, als maßgebend für den Scheitelabfluss. Damit ergeben sich z. B. kleinräumig ausgeprägte Unterschiede in den Jährlichkeiten der Hochwasserscheitel.
- Der hochwasserauslösende Niederschlag ist in den Vorregen, der die Anfangsfeuchte des Einzugsgebietes erhöht, aber noch nicht zu einem Anstieg der Abflüsse an den Pegeln führt, und dem eigentlichen abflusswirksamen Niederschlag zu unterteilen. Letzterer wird im Abflussbeiwert berücksichtigt. Wie das Beispiel des Hochwassers 2013 zeigte, ist der Übergang zwischen Vorregen und abflusswirksamen Niederschlag nicht eindeutig festlegbar.
- Zur Ereignischarakterisierung sollen in der Regel die Relationen zwischen dem abflusswirksamen Niederschlag und dem Direktabfluss ermittelt werden. Letzterer ist hierzu vom Basisabfluss zu separieren. Bei anhaltenden oder erneut einsetzenden Niederschlägen im Bereich des Abflussrückgangs besteht hierbei das Problem der Annahme der niederschlagsunbeeinflussten Rückgangsverläufe, wie dies zum Beispiel beim Ereignis 1954 an einer Reihe von Pegeln der Fall war. Der angenommene Rückgangsverlauf hat ebenso wie die Abschätzung des Basisabflusses einen Einfluss auf die Direktabflusshöhe.

Die hier durchgeführten Ereignisanalysen beruhen insbesondere bei den Ereignissen 1954 und 1958 auf wenigen Pegeln. Mittlerweile hat sich das Pegelnetz in Sachsen derart verdichtet, dass es sinnvoll wäre, auch kleinere Sommerereignisse anhand möglichst vieler Pegel zu analysieren. Damit wäre es möglich, die gebietspezifischen Reaktionsunterschiede zu detektieren. Bei den hier betrachteten Extremereignissen werden diese Unterschiede durch die hohen Niederschläge überdeckt. Als Beleg hierfür können die relativ geringen Abflussunterschiede zwischen verschiedenartigen Einzugsgebieten bei den Hochwasserereignissen 1995 und 2013 dienen.

Die Differenzierungen der Sommerereignisse mit Hilfe der r - und TQ-Werte wurde für alle Sommerhochwasser seit Beginn der Hochwasserbeobachtungen durchgeführt. Im Ergebnis gibt es in den verschiedenen Gruppen Ereignisse, die Ähnlichkeiten mit den hier betrachteten Extremhochwassern aufweisen. Diese Ereignisse traten teilweise in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts auf und könnten zu einem weitergehenden ereignistypischen Vergleich von Hochwasserentstehungsprozessen genutzt werden. Es zeigte sich, dass die Zuordnung von Jährlichkeiten mit Hilfe der univariaten Pegelstatistik unter Umständen aufgrund der verschiedenen verwendeten Datengrundlagen und unterschiedlich angewandter statistischer Verfahren zu deutlichen Unterschieden in den Ergebnissen führen kann. Ein Beispiel hierfür ist die Hochwasserstatistik am Pegel Wechselburg 1, dessen Verteilungsfunktion sich nach Einbeziehung historischer Hochwasser stark von der des oberliegenden Pegels Zwickau-Pölbitz unterscheidet. Fragen des räumlichen Zusammen-

hangs zwischen den Hochwasserwahrscheinlichkeiten bei Extremereignissen erfordern jedoch andere, multivariate statistische Ansätze, wie das Beispiel Golzern (Kapitel 11.4) zeigt. In Hinblick auf die Verbesserung statistischer Aussagen sollte die Ereignisdifferenzierung stärker berücksichtigt werden. Wie das Beispiel des Hochwassers 2002 zeigt, unterscheiden sich Extremereignisse von anderen nicht in jedem Fall nur in der Ausprägung ihrer Höhe. Hat sich ein Hochwasserereignis als eine gesonderte, aufgrund seiner Höhe seltenere Realisierung eines insgesamt wiederum selteneren Ereignistypes manifestiert, wie dies 2002 der Fall war, so ist dieses Ereignis im Vergleich zu häufig auftretenden Ereignistypen statistisch anders zu bewerten. Generell bestehen somit weitere Möglichkeiten, das Hochwasserregime der Mulde zu analysieren. Hierzu zählen multivariate statistische Analysen der Zusammenhänge zwischen Vorregen, Vorfeuchte, Bodenspeicherkapazität, Niederschlagsintensität, Infiltrationsintensität und der Direktabflusshöhe, aber auch zwischen Gefälle, Gewässernetz, Direktabflusshöhe und Scheitelabfluss. Derartige Analysen wären die Grundlage, um eine regionale Abschätzung des Hochwasserrisikos unter Berücksichtigung der Vielfalt der Ereignisausprägungen vorzunehmen, die sich zum Beispiel in den üblichen Betrachtungen der Reihen der Jahres- oder Halbjahreshöchstabflüsse nicht widerspiegeln kann.

13 Zusammenfassung

Im Rahmen der hier dargestellten Untersuchungen wurden folgende neue Erkenntnisse gewonnen:

- Sommerliche Extremhochwasser im Muldegebiet ergeben sich aus Realisierungen unterschiedlicher Ereignistypen. Die Untersuchung zeigte, dass es sich bei drei Ereignissen (1954, 1958 und 2013) um Hochwasser aufgrund von Dauerregen handelte. Das Ereignis 1958 zeigte im Osterzgebirge an einzelnen Pegeln zusätzliche Abweichungen vom typischen Ganglinienverlauf, die durch einen starken konvektiven Einfluss am Ende des hochwasserauslösenden Niederschlages bedingt waren. Die Ereignisse 1995 und 2002 unterscheiden sich im Niederschlags- und daraus folgend im Abflussverlauf deutlich von diesen „Normalhochwasserereignissen“. Sie sind durch kompakte, intensive Niederschläge mit einer maßgebenden Dauer von 12 bis 24 Stunden charakterisiert. Unterschiede bestehen zwischen den Ereignissen 1995 und 2002 allerdings in der räumlichen Verteilung des Niederschlages. War dieser 1995 relativ gleichmäßig über das Muldegebiet verteilt (Abbildung 177), lag der Niederschlagsschwerpunkt 2002 im Bereich des Osterzgebirges. Daraus ergibt sich die Frage, wie das schlimmste anzunehmende Hochwasser im Muldegebiet zu charakterisieren wäre. Eine Maximierung der Niederschlagsmengen des Ereignisses 1995 oder eine räumliche Übertragung und Erweiterung des Niederschlagsgebietes 2002 könnten hierfür Anhaltspunkte liefern.
- Die Abflussreaktion bei den extremen Hochwasserereignissen werden weniger durch die Gebietseigenschaften als vielmehr durch die zeitliche und räumliche Niederschlagsverteilung geprägt. Insbesondere die Darstellungen in Kapitel 11 belegen, dass die Niederschlagsmenge und die Anfangsfeuchte bei derartigen Ereignissen wesentlich größeren Einfluss haben als die Gebietseigenschaften. Unterschiede in der Landnutzung und der Bodenstruktur werden durch die großen Einflüsse unterschiedlicher Niederschlagsverläufe überdeckt.
- Die Scheitelabflussspenden bei hohen Abflussbeiwerten werden primär durch den Intensitätsverlauf des Niederschlages und nicht durch die Niederschlagsmenge bestimmt. Dieses Ergebnis (Abbildung 189) hat wesentliche Implikationen auf die Hochwasservorhersage. Bei sommerlichen Hochwasserereignissen wird der Scheitelabfluss von der Intensität der Niederschläge über einen Zeitraum von etwa sechs Stunden bedingt. Wenn es nicht möglich wird, diese Intensitätsmaxima in der quantitativen Niederschlagsvorhersage zuverlässig bereitzustellen, wird die Genauigkeit der Scheitelabflussvorhersage auch bei Hochwasserereignissen, die aufgrund von Dauerregen entstehen, aber durch konvektive Niederschlagsanteile beeinflusst werden, immer stark begrenzt sein.

Die hier durchgeführten Untersuchungen unterscheiden sich von ähnlichen Ereignisanalysen, die meist nur Einzelereignisse beschreiben, durch den Bezug auf Ereignisse aus vergangenen Jahrzehnten. Es wurde damit möglich, die beiden Extremhochwasser 2002 und 2013 im Kontext ähnlicher Ereignisse im Muldegebiet zu analysieren und zu diskutieren. Es zeigen sich Unterschiede und Ähnlichkeiten, die belegen, dass nur derartige kausale Untersuchungen einer Anzahl exponierter Ereignisse der großen Variabilität der Hochwasser in Sachsen gerecht werden können.

Literaturverzeichnis

- BERNHARDT, A., G. HAASE, K. MANNSFELD, H. RICHTER & R. SCHMIDT (1986): Naturräume der sächsischen Bezirke. – In: Sächsische Heimatblätter 32 (4 und 5)
- BÖER, W., H. SCHUBERT & O. WILSER (1959): Das Sommerhochwasser der Elbe im Juli 1954. – Besondere Mitteilungen zum Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch Nr. 19. Akademie-Verlag, Berlin
- BÜTTNER, U.; D. FÜGNER & U. WINKLER (2001): Das Hochwasser am 05./06. Juli 1999 im Raum Marienberg im Erzgebirge. – In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 45 (3)
- BÜTTNER, U. & T. RÖDEL (1996): Das Hochwasser im Muldengebiet, in der oberen Weißen Elster und oberen Pleiße im September 1995. – Staatliche Umweltfachämter Chemnitz und Plauen (unveröffentlicht)
- Deutscher Wetterdienst (2003): Starkniederschläge in Sachsen im August 2002. – Zusammengestellt im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (unveröffentlicht)
- Deutscher Wetterdienst (2013): Das Hochwasser an Elbe und Donau im Juni 2013. – Berichte des Deutschen Wetterdienstes 242, Offenbach
- FICKERT, R. (1927): Forschungsarbeiten des Sächsischen Amtes für Gewässerkunde. – Der Kulturtechniker 30 (3), Breslau
- FICKERT, R. (1932): Das Hochwasser im sächsischen Schwarzwassergebiet am 6. Juli 1931. – Sonderdruck aus „Deutsche Wasserwirtschaft“, Heft 2/3
- FICKERT, R. (1935): Die größten Sommerhochwasser des sächsischen Muldengebietes in den letzten Jahrzehnten. – Beilage zum Jahrbuch des Sächsischen Amtes für Gewässerkunde – Abflußjahr 1934, Dresden
- GAÁL, L.; SZOLGAY, J.; KOHNOVÁ, S.; PARAJKA, J.; MERZ, R.; VIGLIONE, A.; BLÖSCHL, G. (2012): Flood time-scales: Understanding the interplay of climate and catchment processes through comparative hydrology. In: Water Resour. Res. 48 (4), S. n/a. 2012, DOI: 10.1029/2011WR011509.
- Husum Verlag (2002): Die grosse Wassernot in Sachsen 1897. – Sächsischer Volksschriftenverlag, Leipzig, 1897. - Reprint
- Meteorologischer und Hydrologischer Dienst (1953): Klima-Atlas für das Gebiet der DDR. – Herausgegeben vom Meteorologischen und Hydrologischen Dienst der DDR. – Akademie-Verlag, Berlin
- Meteorologischer und Hydrologischer Dienst (1958) Monatlicher Witterungsbericht, 12. Jg., Nr. 6 (Juni 1958) und Nr. 7 (Juli, 1958). - Herausgegeben vom Meteorologischen und Hydrologischen Dienst der DDR
- Meteorologischer Dienst (1973): Klima und Witterung im Erzgebirge. – Abhandlungen des Meteorologischen Dienstes der DDR, Nr. 104, Akademie-Verlag, Berlin
- PÖTZSCH, C. G. (1784): Chronologische Geschichte der großen Wasserfluthen des Elbestroms seit tausend und mehr Jahren. – Waltherische Hofbuchhandlung, Dresden
- PÖTZSCH, C. G. (1786): Nachtrag und Fortsetzung seiner Chronologischen Geschichte der großen Wasserfluthen des Elbestroms seit tausend und mehr Jahren. – Waltherische Hofbuchhandlung, Dresden
- PÖTZSCH, C. G. (1800): Zweyter Nachtrag und Fortsetzung seiner Chronologischen Geschichte der großen Wasserfluthen des Elbestroms seit tausend und mehr Jahren von 1786 bis 1800. – Waltherische Hofbuchhandlung, Dresden
- POHL, R. (2003): Hochwasser im Erzgebirge in der Vergangenheit - von der Gottleuba bis zur Mulde. – TU Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik/Gesellschaft für Wissens- und Technologietransfer der TU Dresden mbH

- RUDOLF, B. & J. RAPP (2003): Das Jahrhunderthochwasser der Elbe. – In: Klimastatusbericht 2002, Deutscher Wetterdienst, Offenbach
- Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2009): Hochwasser 2002 im Muldegebiet; Schriftenreihe, Heft 32, Dresden; <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/15073>
- Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2013): Ereignisanalyse Hochwasser im August und September 2010 und im Januar 2011 in Sachsen. – Dresden; <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/12162>
- Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2015): Ereignisanalyse Hochwasser Juni 2013. – Dresden; <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/15180>
- SCHIRPKE, H., I. RICHTER & B. RIESS (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, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin
- SCHULTE, M. (2015): Anwendung von Copula- Modellen in der Hochwasserstatistik zur Planung technischer Rückhaltemaßnahmen, Schriftenreihe Hydrologie/Wasserwirtschaft des Lehrstuhls für Hydrologie, Wasserwirtschaft und Umwelttechnik Heft 28, 2015
- SCHUMANN, A. (2005): Hochwasserstatistische Bewertung des Auguthochwassers 2002 im Einzugsgebiet der Mulde unter Anwendung der saisonalen Statistik. - Hydrologie und Wasserbewirtschaftung (49), H. 4.
- WAGNER, M. (2012): Regionalisierung von Hochwasserscheiteln auf Basis einer gekoppelten Niederschlag-Abfluss-Statistik mit besonderer Beachtung von Extremereignissen. - Dresdner Schriften zur Hydrologie H. 9, Dresden

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: +49 351 2612-0
Telefax: +49 351 2612-1099
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de
www.smul.sachsen.de/lfulg

Autoren:

Prof. Dr. Andreas Schumann
Lehrstuhl für Hydrologie, Wasserwirt und Umwelttechnik
Ruhr-Universität Bochum
Universitätsstraße 150, 44801 Bochum
Telefon: +49 234 32-24693
E-Mail: Andreas.Schumann@hydrology.ruhr-uni-bochum.de
Björn Fischer
DHI-WASY GmbH, Niederlassung Dresden
Comeniusstraße 109, 01309 Dresden
Telefon: +49 351 31616-11, E-Mail: bfi@dhigroup.com
Uwe Büttner, Evelin Bohn, Petra Walther, Erhard Wolf
LfULG, Abteilung Wasser, Boden, Wertstoffe/
Referat Landeshochwasserzentrum, Gewässerkunde

Redaktion:

Uwe Büttner, Evelin Bohn
LfULG, Abteilung Wasser, Boden, Wertstoffe/
Referat Landeshochwasserzentrum, Gewässerkunde
Zur Wetterwarte 11, 01109 Dresden
Telefon: +49 351 8928-263
E-Mail: LHWZ.LfULG@smul.sachsen.de

Titelbild:

Großmühle Grimma (BfUL)

Redaktionsschluss:

11.08.2016

ISSN:

1867-2868

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <https://publikationen.sachsen.de/bdb/> heruntergeladen werden.

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben.

Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.