

Konrad Miegel, Dietmar Mehl, Gabriele Malitz und Heinz Ertel

# Ungewöhnliche Niederschlagsereignisse im Sommer 2011 in Mecklenburg-Vorpommern und ihre hydrologischen Folgen – Teil 1: Hydrometeorologische Bewertung des Geschehens

## Unusual rainfall events in Mecklenburg-Vorpommern during the summer of 2011 and their hydrological consequences – Part 1: Hydrometeorological event appraisal

Im Sommer 2011 ereigneten sich in Mecklenburg-Vorpommern Niederschläge, die in vielerlei Hinsicht äußerst ungewöhnlich gewesen sind. Ihren Höhepunkt erreichten sie in der dritten Juli-Dekade, gefolgt von einem weiteren heftigen Ereignis Anfang August. Daneben brachten in beiden Monaten weitere Tage nicht unerhebliche Niederschläge. Insgesamt waren außergewöhnliche Hochwasser in mehreren Einzugsgebieten Mecklenburg-Vorpommerns die Folge. In diesem Beitrag werden zunächst die zeitliche und räumliche Verteilung der Niederschläge sowie ihre meteorologischen Ursachen besprochen. Dabei erfolgt bereits eine erste statistische Einordnung anhand ausgewählter Kennzahlen. Daran schließt sich ihre weiterführende extremwertstatistische Bewertung an, die auf der Grundlage von KOSTRA DWD-2000 (2005) und VERWORN & KUMMER (2003/2006) erfolgt. Die Analysen erfolgen vorrangig anhand von Messwerten der Station des Deutschen Wetterdienstes (DWD) Rostock-Warnemünde, da diese von allen schweren Niederschlagsereignissen jeweils mit am stärksten betroffen war. Hier summierten sich die Niederschläge im Juli zu einem Monatswert auf, der den bisherigen Monatsrekord in der Zeitreihe seit 1901 um ca. 80 % übertraf. Die statistische Einordnung der beiden Hauptereignisse vom 22./23. und 29./30. Juli macht deutlich, dass in Rostock-Warnemünde gleich zwei Ereignisse beobachtet worden sind, deren Regenhöhe in Bezug auf Dauern > 12 h deutlich größer als die des 100-jährlichen Starkniederschlags ist. Die Ergebnisse bestätigen eindrucksvoll die Ungewöhnlichkeit der Ereignisse, die mit dieser Ausprägung nur selten in Messreihen zu finden sind. Sie bestätigen den Bedarf an möglichst langjährigen Beobachtungen und an einer höheren räumlichen Informationsdichte über Extremniederschläge, wofür radargestützte Messungen neue Ansatzpunkte liefern.

**Schlagwörter:** Extremereignis, Regenhöhe, Starkniederschlag, Wiederkehrintervall

In the summer of 2011, a number of rainfall events occurred in Mecklenburg-Vorpommern which were extremely unusual for various reasons. Their climax was reached in the third decade of July followed by another extreme event in the beginning of August. In addition, significant rainfall amount was observed on a number of days during both months causing extraordinary floods in several catchments of Mecklenburg-Vorpommern. This abstract initially discusses the temporal and spatial distribution of precipitation as well as their meteorological causes. In the process, a first statistical classification is provided using selected coefficients. This is followed by a further evaluation of the results in terms of extreme value statistics, implemented on the basis of KOSTRA DWD-2000 (2005) and VERWORN & KUMMER (2003/2006). The analyses were primarily implemented on the basis of the values measured by the weather station Rostock-Warnemünde of the Deutscher Wetterdienst DWD (German Weather Service) as the latter had been especially hard hit by all extreme precipitation events. Here, the rainfalls of the month July summed up to an amount which exceeded the former monthly record of the time series since 1901 by 80 %. A statistical classification of the two main events on July 22<sup>nd</sup>/23<sup>rd</sup> and July 29<sup>th</sup>/30<sup>th</sup> reveals that even two events were observed in Rostock-Warnemünde whose rainfall depth in relation to periods > 12 hours was considerably higher than the 100-year heavy precipitation. The results impressively confirm the unusual intensity of the events that can rarely be found in measurement series. They assert the need for long-term monitoring and an increased spatial information density on extreme rainfall, with radar-based measurements supplying new starting points.

**Keywords:** Extreme event, heavy rain, rainfall depth, return period

### 1 Einordnung der Sommerniederschläge in das Jahr 2011

Im Sommer 2011 ereignete sich in Mecklenburg-Vorpommern (M-V) eine Reihe an Regenereignissen, die sowohl im Einzelnen als auch monatlich aufgrund ihrer Häufung innerhalb weniger Wochen ungewöhnliche Regenmengen mit sich brachten. Dabei waren bei den beiden größten Ereignissen am 22./23. und 29./30. Juli nicht die Spitzenintensitäten entscheidend, sondern ihre lange Dauer, weswegen statistisch betrachtet diese Ereignisse bis zu einer Dauer von 24 h immer extremer geworden sind. Für ihre lange Andauer waren nicht ungewöhnlich ausgedehnte Niederschlagsfelder verantwortlich, sondern die sehr langsame Verlagerung der beiden maßgeblichen Tiefs „Otto“ und „Quentin“, wenn auch mit ganz unterschiedlichen Zugrichtungen.

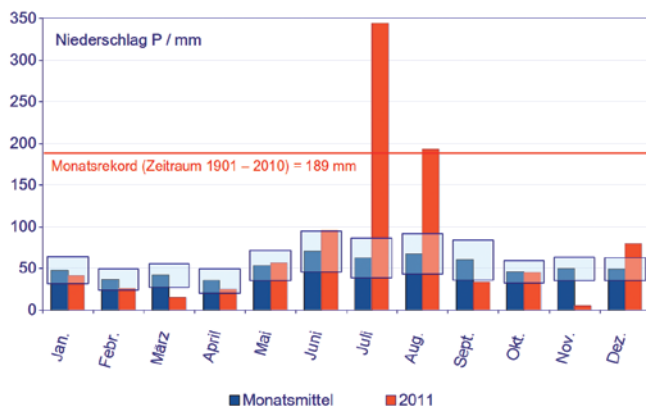
Die meisten Fließgewässer in M-V führten infolgedessen und aufgrund einer hohen Abflussbereitschaft durch Vorniederschläge Hochwasser. Dabei waren es statistisch betrachtet nicht die größeren Einzugsgebiete, wie die von Warnow und Peene, die Spitzenabflüsse produzierten, sondern aufgrund der relativ geringen Ausdehnung der Niederschlagsgebiete und kleinräumiger, konvektiver Verstärkungen eher einzelne Einzugsgebiete kleinerer Fließgewässer mit Wiederkehrintervallen der Scheitelabflüsse > 100 a. So reagierten vor allem auch einige küstennahe Fließgewässer mit so großen Abflussmengen, dass die Kapazitäten ihrer Schöpfwerke nicht ausreichten und Küstenniederungen unter Wasser gingen. Die Bildung von Sättigungsabfluss führte örtlich, und z.T. fernab von einem Fließgewässer, zu noch nie beobachteten Überschwemmungen in einzelnen Siedlungen – und dies gleich drei Mal innerhalb von ca. zwei Wochen.

Ziel von MIEGEL et al. (2014) und MEHL et al. (2014) ist, diese ungewöhnlichen Ereignisse möglichst umfassend zu dokumentieren, zu analysieren und extremwertstatistisch einzuordnen. In diesem Beitrag stehen die Extremniederschläge selbst im Mittelpunkt, in MEHL et al. (2014) die hydrologischen Folgen. Beide Beiträge knüpfen an eine Ausarbeitung von SCHUMANN et al. (2013) an.

Abbildung 1 vermittelt einen ersten Eindruck über die ungewöhnlichen Regenmengen in den Monaten Juli und August 2011. Es ist zu erkennen, dass der bisherige Monatsrekord des 110-jährigen Zeitraums 1901 bis 2010, beobachtet mit 189 mm im August 1946, im Juli 2011 mit 344 mm deutlich und im August 2011 mit 193 mm gleich noch einmal übertroffen worden ist! Bis zum Juli 2011 (1.326 Monate seit Januar 1901) war in Warnemünde die monatliche Niederschlagsmenge elf Mal größer als 140 mm und nur drei Mal größer als 160 mm. Die Niederschläge des Juli und August 2011 zusammen gerechnet entsprechen mit 537 mm mehr als dem 4-Fachen des Normalen beider Monate, der Juli-Niederschlag für sich allein genommen sogar ca. dem 5,5-Fachen des Julimittelwertes. Der mittlere Jahresniederschlag (1951 bis 2010) beträgt in Rostock-Warnemünde vergleichsweise 602 mm.

Abbildung 1 macht darüber hinaus deutlich, dass 2011 insgesamt ein Jahr der Extreme war, denn dem regenreichen Sommer ging ein ungewöhnlich trockenes Frühjahr voraus. In den Monaten Februar bis April sind in Warnemünde nur 57 % des langjährigen, mittleren Niederschlags beobachtet worden. Streng genommen dauerte dieser trockene Witterungsabschnitt sogar vom 16. Januar bis 11. Mai an, d.h. 116 Tage mit 70 mm Niederschlag in Rostock-Warnemünde. Auffallend sind auch die ungewöhnlich langen Phasen, in denen örtlich kein bzw. kein messbarer Niederschlag gefallen ist (DWD 2011). Dies gilt z.B. in Warnemünde für den 12. Februar bis 8. März (25 Tage) und in Schwerin für den 14. April bis 10. Mai (27 Tage).

Da lange trockene Witterungsabschnitte meist großräumige Entstehungsursachen haben, verwundert es nicht, dass im Frühjahr 2011 Deutschland insgesamt sowie insbesondere auch Frankreich und

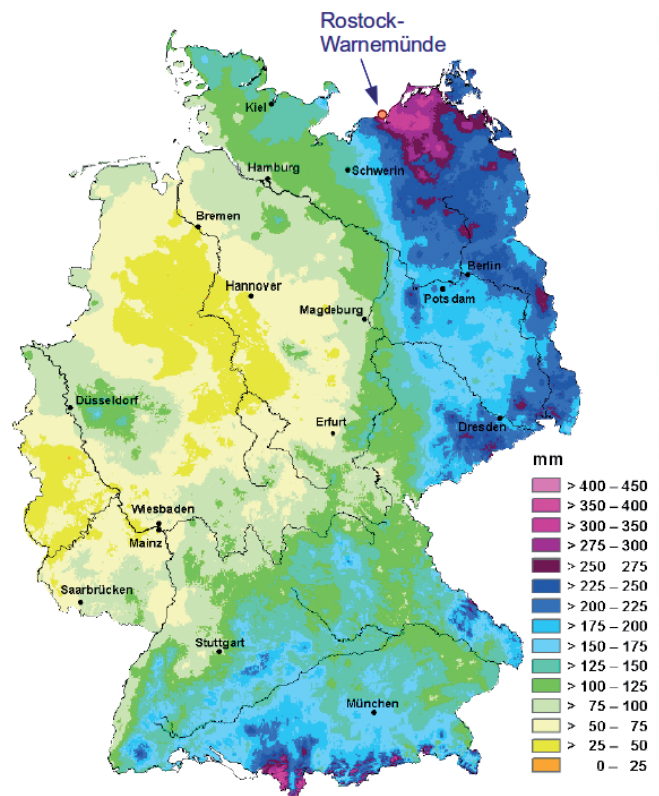


**Abbildung 1**  
 Monatsniederschläge der DWD-Station Rostock-Warnemünde im Jahr 2011 im Vergleich zu den langjährigen Monatsmittelwerten (Zeitraum 1981–2010; die Boxen entsprechen dem Wertebereich zwischen dem 25 %- und 75 %-Quantil im jeweiligen Monat)  
 Monthly precipitation depth (P in mm) of the DWD-station Rostock-Warnemünde in 2011 compared with long-term monthly means (period 1981–2010; boxes show monthly ranges between 25 %- and 75 %-quantile)

der Südosten Englands unter Trockenheit zu leiden hatten. Die meteorologische Ursache war ein beständiger Hochdruckrücken über West- und Mitteleuropa, der die über dem Nordatlantik vorherrschende starke Westströmung blockierte, so dass Tiefdruckgebiete nicht in unseren Raum vordringen konnten. Diese an sich schon stabile Wetterlage dauerte zudem noch ungewöhnlich lange an (WMO 2011). Die relativen Flächenmittelwerte des Niederschlags betragen in Deutschland im März 36 %, im April 43 % und im Mai 62 % des langjährigen, monatlichen Mittelwertes (DWD 2011). M-V war relativ betrachtet mit 52 %, 54 % und 89 % weniger stark betroffen als die westlichen Bundesländer, wobei in M-V jedoch die ohnehin kleineren, langjährigen Mittelwerte zu beachten sind.

Insgesamt war in Deutschland das Frühjahr von März bis Mai 2011 das trockenste seit 1893 und der April nach ähnlich trockenen Aprilmonaten 2007, 2009 und 2010 einer der zehn trockensten Aprilmonate seit 1881. Im Mai herrschten an den meisten deutschen Flüssen Pegelstände vor, die in dieser Jahreszeit in den letzten 100 Jahren noch nie so niedrig gewesen sind (WMO 2011). Der im Bundesdurchschnitt betrachtet wieder normale Juni 2011 brachte in M-V sogar 33 % mehr Niederschlag als im langjährigen Mittel. Nach den außergewöhnlichen Sommerniederschlägen erwies sich das Jahr 2011 auch an seinem Ende als Jahr extremer Gegensätze, denn gemessen am Normal waren die Niederschläge im November und Dezember mit 10 % bzw. 161 % noch einmal sehr unterschiedlich ausgeprägt (Abb. 1).

In Abbildung 2 ist die Niederschlagsverteilung in Deutschland im Juli 2011 dargestellt. Es wird deutlich, dass abgesehen von einigen Gebieten in den Alpen mit geringer räumlicher Ausdehnung



**Abbildung 2**  
 Niederschlagshöhen in Deutschland im Juli 2011 (Quelle: DWD 2011)  
 Depth of rainfall in Germany in July 2011 (acc. DWD 2011)

die größten Niederschlagsmengen im Nordosten Deutschlands gefallen sind. Ein größeres geschlossenes Gebiet mit Niederschlägen > 250 mm ist einzig im mittleren Landesteil M-V's zu erkennen. Da hier Rostock-Warnemünde noch herausragt und die resultierenden Messwerte von besonders hohem Informationsgehalt sind, erfolgt die Analyse der Niederschlagsereignisse des Sommers 2011 und ihre statistische Einordnung hier anhand von Daten der dortigen DWD-Station.

Die Auswertungen beruhen überwiegend auf Tageswerten, die mit Niederschlagsmessern nach Hellmann erfasst worden sind. Dies betrifft auch die Tageswerte aller anderen Stationen des DWD, die hier Eingang finden. Für die Analyse von Niederschlagshöhen mit höherer zeitlicher Auflösung stehen an der Station Rostock-Warnemünde 5-Minuten-Werte seit 1951 zur Verfügung, die bis 2009 auf Messungen mit dem Regenschreiber nach Hellmann in Sommermonaten (Mai bis September) beruhen. Seit 2009 erfolgt die automatische Registrierung mit einem Pluviometer. Für die statistische Einordnung der Extremniederschläge des Sommers 2011 wurden sowohl Starkniederschlagsangaben des Zeitraums 1951 bis 2000 nach KOSTRA-DWD-2000 (2005), als auch Stationsanalysen für die Sommermonate Mai bis September (Zeitraum 1951 bis 2010) herangezogen.

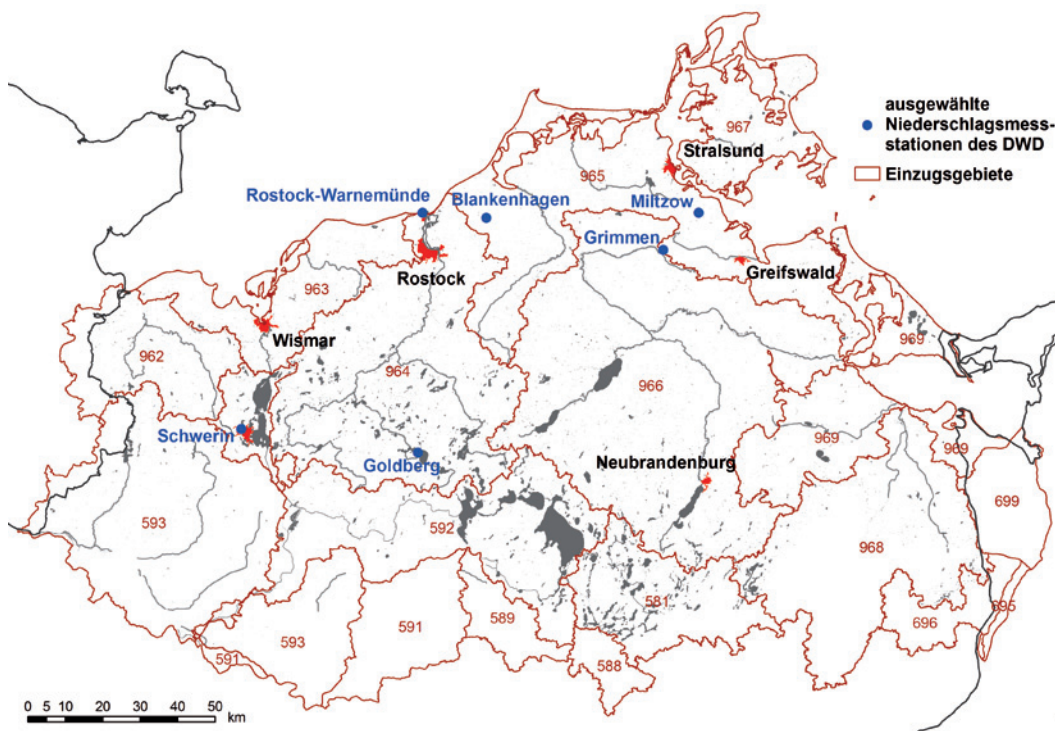
## 2 Zum Niederschlagsverlauf im Sommer 2011

Die Diskussion des Niederschlagsgeschehens soll im Weiteren anhand der Tageswerte der Station Rostock-Warnemünde (Stationslage s. Abb. 3) im Zeitraum 21. Mai bis 10. September 2011 (elf Dekaden) erfolgen (Abb. 4). Da es bereits im Vorfeld der Extremereignisse Ende Juli ergiebige Niederschläge gegeben hat, sind diese für die Beurteilung der Vorgeschichte des resultierenden Hochwassergeschehens relevant. So beträgt die Niederschlagshöhe der 6 Dekaden vom 21. Mai bis 20. Juli immerhin 223 mm, d.h. mehr als ein Drittel des mittleren Jahresniederschlags. Davon sind im Juli vor der letzten Juli-Dekade 108 mm Niederschlag ge-

fallen. Auch nach dem 6. August bis zum 10. September waren die Regenmengen mit 161 mm nicht unerheblich. Der Gesamtniederschlag dieser 11 Dekaden übertrifft mit 697 mm den mittleren Jahresniederschlag von 602 mm deutlich.

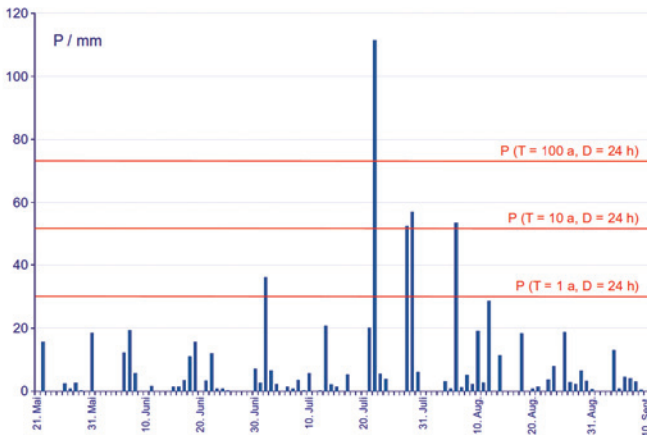
Das Hauptgeschehen konzentrierte sich jedoch auf die dritte Juli-Dekade mit den Tagesniederschlägen 111,4 mm, 52,3 mm und 56,8 mm am 22., 28. und 29. Juli, gefolgt vom 6. August mit 53,3 mm. Im Datenbestand des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommerns (kein Anspruch auf Vollständigkeit) sind nur zwei größere Tagesniederschläge als der vom 22. Juli 2011 zu finden, nämlich der Tagesniederschlag am 15. August 1959 in Goldberg mit 124 mm, gefolgt von 119 mm am 24. Juni 1969 in Schwerin (LUNG 2011; Lage der Stationen s. Abb. 3). In dieser Größenordnung liegt auch der am 22. August 2007 in Blankenhagen (zwischen Rostock und Ribnitz-Damgarten) registrierte Niederschlag in Höhe von 104 mm (DWD 2007), der aber nur 3 h dauerte und dem nach VERWORN & KUMMER (2003/2006) ein Wiederkehrintervall > 10.000 a zuzuordnen ist (MEHL & SCHNEIDER 2009).

Von einem besonders außergewöhnlichen Ereignis, das an der Station Miltzow südöstlich von Stralsund mit einem Tageswert von 245 mm erfasst worden ist, berichten SCHULTZ & HÄNSCH (1969). Demnach war die Regenhöhe sogar noch größer gewesen, da der örtliche Beobachter um 04:30 Uhr in der Nacht die Sammelkanne und das Unterteil des Messgerätes überlaufvoll vorgefunden hat. Die Rede ist von einem Wolkenbruch mit bis zu taubeneigroßem Hagel und der stärksten Regenintensität in der Zeit von 01:30 bis 02:30 Uhr. Da die nächstgelegenen Messstellen mit einer Entfernung zu Miltzow von 15 km bis 20 km weit aus geringere Tageswerte registrierten (zweitgrößter Wert mit 34 mm in Grimmen), wurde im Bericht vermutet, dass ähnliche Niederschläge im Norddeutschen Tiefland bis dahin zwar bereits aufgetreten, aufgrund einer zu geringen Dichte des Messnetzes aber noch nicht erfasst worden sind.



**Abbildung 3**  
 Lage ausgewählter Niederschlagsmessstellen in Mecklenburg-Vorpommern  
 Location of selected rain gauges in Mecklenburg-Vorpommern





**Abbildung 4**

Tägliche Niederschlagshöhen an der DWD-Station Rostock-Warnemünde vom 21. Mai bis 10. September 2011 im Vergleich zu den statistischen Starkniederschlägen für Sommermonate der Dauer  $D = 24$  h gemäß KOSTRA-DWD-2000 (2005); verändert nach MIEGEL (2011)  
*Daily precipitation in Rostock-Warnemünde from 21 May to 10 September 2011, compared with design rainfall amounts of the duration  $D = 24$  h according to KOSTRA-DWD-2000 (2005); modified according to MIEGEL (2011)*

Zum Vergleich mit den oben genannten Tageswerten beträgt in Rostock-Warnemünde der Starkniederschlag  $P(T, D)$  des Wiederkehrintervalls  $T = 10$  a und der Dauer  $D = 24$  h (Sommermonate Mai bis September, Zeitraum 1951 bis 2000) gemäß KOSTRA-DWD-2000 (2005) 51,6 mm. Dies bedeutet, dass im Sommer 2011 innerhalb von drei Wochen das 10-jährliche 24-h-Ereignis gleich vier Mal durch einen Tagesniederschlag übertroffen worden ist. Korrekter ist jedoch der Vergleich der statistisch ermittelten 24-h-Niederschläge definierter Jährlichkeit mit den tatsächlich größten Regenmengen, die jeweils innerhalb von 24 h gefallen sind, denn das Auftreten extremer Niederschlagshöhen für die Dauer 24 h richtet sich nicht nach dem Messzeitpunkt 06:50 Uhr (Folgetag) für Tageswerte. Insofern erhält man auf der Grundlage von Stundenwerten den größten 24-h-Niederschlag am 22./23. Juli mit 116,9 mm (Zeitraum 22. Juli, 04:00 Uhr bis 23. Juli, 04:00 Uhr; Tab. 1).

Überraschend ist die genauere Auswertung des Geschehens am 28. und 29. Juli 2011, die zeigt, dass der Tagesniederschlag des 28. Juli fast vollständig in der Nacht zum 29. Juli von 02:00 bis 07:00 Uhr gefallen ist. Diese Niederschlagsphase war aber nicht um 07:00 Uhr abgeschlossen. Sie hielt bis 14:00 Uhr mit teilweise großen Intensitäten weiter an, gefolgt von einer 7-stündigen Regenpause, bevor dann während einer zweiten 6-stündigen Regenphase ab 21:00 Uhr weitere 25,2 mm Regen gefallen sind. Die größte 24-h-Regenmenge realisierte sich dabei mit 107,0 mm im Zeitraum 29. Juli, 02:00 Uhr bis 30. Juli, 02:00 Uhr. Der größte 24-h-Wert am 6./7. August war dagegen mit 54,2 mm nur unwesentlich größer als der Tageswert des 6. August.

Vergleicht man die 24-h-Regenmengen des 22./23. Juli und 29./30. Juli 2011 mit dem entsprechenden KOSTRA-DWD-Wert für  $T = 100$  a (Sommermonate), der 73,3 mm beträgt, dann wird deutlich, dass der 100-jährliche 24-h-Niederschlag innerhalb einer Dekade gleich zwei Mal überboten worden ist. Beide 24-h-Summen waren wie auch die Monatssumme des Juli 2011 insgesamt die größten in Deutschland (DWD 2011).

Bei solchen Vergleichen beobachteter Extremniederschläge mit Starkniederschlägen  $P(T, D)$  gemäß KOSTRA-DWD-2000 (2005) ist

zu beachten, dass diese mit Unsicherheiten behaftet sind (s. auch Abschnitt 5). Zu den Ursachen gehören ganz allgemein lokale Besonderheiten in dem Gebiet, das durch das betrachtete KOSTRA-DWD-Rasterfeld überdeckt wird, und die orographischen Bedingungen im näheren Umfeld der jeweiligen Niederschlagsstation. Aber auch Stichprobenfehler der KOSTRA-DWD-2000 (2005) zu Grunde liegenden Datenkollektive und weitere statistische Modellfehler tragen dazu bei. Dies führt zu der Empfehlung, bei der Anwendung der  $P(T, D)$  für Planungszwecke Toleranzbereiche zu berücksichtigen. Diese betragen bei  $T$  von 0,5 a bis 5 a + 10 %, bei  $T < 5$  a bis 50 a + 15 % und bei  $T < 50$  a bis 100 a + 20 % (KOSTRA 1997).

Angesichts zahlreicher weiterer Niederschlagsereignisse, z.B. mit Tagesniederschlägen der Höhe 36,0 mm am 2. Juli und 20,7 mm am 13. Juli, ist die Steigerung des bisherigen Monatsrekords im Juli 2011 (s. oben) die logische Folge. Aber auch hier gilt Ähnliches wie beim Vergleich von Tageswerten mit 24-h-Starkniederschlägen, d.h. exakter ist die Einordnung anhand von jährlichen Größtwerten der Dauer  $D = 30$  d, unabhängig von der gewissermaßen subjektiven Einteilung eines Jahres in Monate. Dabei ist besonders zu prüfen, ob nicht vereinzelt größere 30-Tage-Summen als innerhalb des Kalenderjahres über den Jahreswechsel hinweg aufgetreten sind, was aber nicht der Fall war.

Im Jahr 2011 ergibt sich die größte 30-Tage-Summe mit 401 mm vom 20. Juli bis 18. August. Im Zeitraum 1951 bis 2010 übertrifft mit 223 mm nur eine 30-Tage-Summe den Schwellenwert 200 mm. Mittelwert und Standardabweichung aller Jahresgrößtwerte der Dauer 30 d dieses Zeitraums, die sich bei statistischer Prüfung als normalverteilt erweisen, betragen 124 mm bzw. 28,6 mm. Dies bedeutet, dass der 30-d-Größtwert von 2011 um beinahe das 10-Fache der Standardabweichung vom Mittelwert dieses Zeitraums abweicht, so dass sich dieser mit hoher statistischer Sicherheit als Ausreißer erweist.

### 3 Analyse der meteorologischen Ursachen

Im Juli und August 2011 dominierten in Europa mit nur geringfügigen Unterbrechungen durch andere Großwetterlagen (GWL) lang anhaltend zyklonale GWL (West-, Südwest- und Südlagen) und Troglagen über West- oder Mitteleuropa. Typisch für zyklonale GWL sind steuernde Tiefdruckgebiete über dem Raum Island, um die südlich davon gegen den Uhrzeigersinn Bodentiefs geführt und die über unserem Raum meist durch ihre Fronten wetterwirksam werden. Für Troglagen sind Labilisierungen und Hebungen an der Trogvorderseite typisch, die gleichfalls zu Ausbildung kräftiger Bodentiefs führen können. Die Häufung solcher GWL führte zu einer ungewöhnlichen Abfolge regenreicher Witterungsabschnitte.

Im Juli und August 2011 kam noch hinzu, dass insbesondere der Einflussbereich der steuernden Tiefs z.T. weit nach Süden reichte, d.h. bis in das Gebiet zwischen der Westküste der Britischen Inseln und der östlichen Nordsee. Dadurch war ihr Einfluss auf das Wettergeschehen im Küstengebiet Nordostdeutschlands besonders ausgeprägt, sei es durch kräftige Fronten oder den Kern des zugehörigen Bodentiefs. Teilweise lag der Aufgleitschirm des jeweiligen Bodentiefs direkt über der Ostseeküste. Dies betrifft vor allem die Ereignisse um den 22. Juli bzw. 29. Juli 2011, auf die nachfolgend etwas genauer eingegangen wird (DWD 2011; s. auch SCHUMANN et al. 2013).

Für das Niederschlagsgeschehen um den 22. Juli war das Tief „Otto“ verantwortlich, das sich am 21. Juli nahezu ortsfest über Polen befand und von Norden feuchte und kühle Luft heranzführte, verbunden mit anhaltendem Regen östlich der Elbe. Am 22. und 23. Juli zog dieses Tief mit seinem ausgedehnten Niederschlagsgebiet von Polen Richtung WNW über die südliche Ostsee bis nach Dänemark. Es führte vor allem aufgrund seiner sehr langsamen Verlagerung über M-V zu lang anhaltenden und ergiebigen Niederschlägen. Den Radarbildern (s. [www.niederschlagsradar.de](http://www.niederschlagsradar.de)) ist zu entnehmen, dass in diesem Zeitraum die Struktur des Regengebietes ständigen Veränderungen unterworfen war, mit örtlich konvektiven Verstärkungen.

Am 29. Juli beeinflusste das kräftige Tief „Quentin“, das sich an der Vorderseite einer Tiefdruckrinne über Nordosteuropa über der südlichen Ostsee gebildet hatte, von Norden kommend das Geschehen an der Ostseeküste maßgeblich. Sein Niederschlagsgebiet dehnte sich dabei immer weiter nach Süden aus, wobei die Niederschläge bis in den 30. Juli hinein anhielten. Aufgrund seiner gleichermaßen langsamen Verlagerung nach Süden war auch dieses Tief lange wirksam, mit noch stärkeren Veränderungen in der Struktur des zugehörigen Niederschlagsgebietes.

Im Gegensatz zu diesen beiden Ereignissen war der Rostocker Raum bei einzelnen zyklonalen Lagen wie z.B. am 6. und 26. August nicht direkt durch den Kern des jeweiligen Tiefs, sondern von heftigen Labilisierungen auf der Rückseite seiner kräftigen Kaltfront betroffen. In den Nachmittags- und Abendstunden des 6. August strömte aus SSW feuchte Warmluft aus Südwest-Europa nach Deutschland ein. Dabei kam es bereits aus der Luftmasse heraus zu heftigen Gewittern, die über Rostock mit 11,5 mm in 10 Minuten die größten Regenintensitäten des Sommers 2011 hervorriefen (Tab. 1). Am folgenden 7. August sorgte der Durchgang einer Kaltfront, ebenfalls verbunden mit kräftigen Schauern, für eine deutliche Abkühlung. Weitaus heftiger war die Abkühlung beim Durchgang der Kaltfront des Tiefs „Bert“ in der Nacht vom 26. zum 27. August, die zu einem Temperatursturz um ca. 20 Grad führte!

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass folgende Faktoren für die außergewöhnlichen Regenmengen im Sommer 2011 ursächlich sind: Häufung schwerer Regenereignisse; großräumige Niederschlagsfelder mit darin eingebettet konvektiven Verstärkungen, d.h. zum Teil hohe Intensitäten der niederschlagsbildenden Prozesse; Zugrichtung einzelner Tiefs direkt über die Ostseeküste hinweg mit teilweise langsamer Verlagerung (SCHUMANN et al. 2013).

#### 4 Räumliche Verteilung der Niederschläge

Abbildung 2 macht deutlich, dass neben M-V auch andere Regionen Ostdeutschlands im Juli 2011 von schweren Niederschlägen betroffen waren, wenn auch mit geringer Ausdehnung von Gebieten mit Monatsniederschlägen  $P > 250$  mm. So registrierten neben Rostock-Warnemünde weitere Stationen in M-V bis nach Sachsen einen neuen Monatsrekord (DWD 2011). Beispielhaft seien hier Tribsees mit 326 mm, Groß Lüsewitz mit 317 mm, Barth mit 297 mm und Teterow mit 288 mm genannt. Dabei ist eine Abnahme in Richtung Osten (z.B. Greifswald mit 274 mm und Uecker- und Mündemünde mit 253 mm) zu verzeichnen. Der Gebietsmittelwert des Landes M-V betrug 336 % des langjährigen Juli-Mittelwertes (DWD 2011). In M-V ist im Vergleich zu Rostock-Warnemünde im

Juli nur in Schwinkendorf (nördlich der Müritz) mit 364 mm eine größere Niederschlagshöhe gemessen worden, das ähnlich wie Warnemünde einen regionalen Hotspot bildete (Abb. 2).

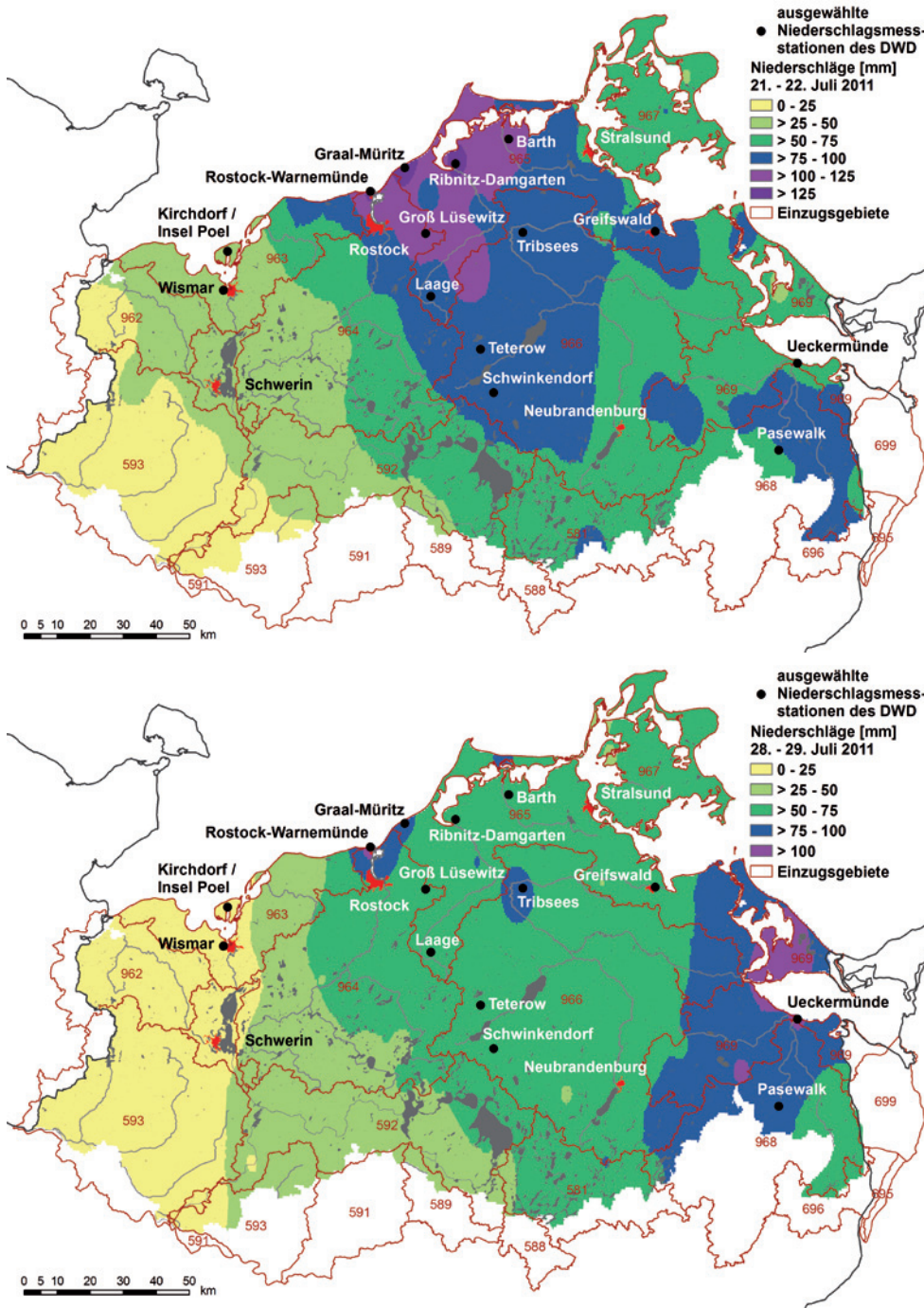
Im August 2011 fielen vor allem an der Nord- und Ostseeküste bis einschließlich Rügen heftige Niederschläge, mit den größten Mengen im nördlichen Schleswig-Holstein. Weitaus größere räumliche Unterschiede als im Juli waren die Folge. So stehen z.B. den 193 mm in Rostock-Warnemünde 103 mm in Groß Lüsewitz (ca. 10 km östlich von Rostock) und 56 mm in Greifswald gegenüber. Dies macht deutlich, dass im August Ereignisse mit geringer räumlicher Ausdehnung dominierten.

In Abbildung 5 sind die räumlichen Verteilungen der beiden Hauptereignisse vom 21. und 22. Juli bzw. 28. und 29. Juli 2011 in M-V dargestellt, abgeleitet aus Daten von 162 Stationen des DWD in M-V und angrenzenden Gebieten der benachbarten Bundesländer. Zu erkennen sind am 21. und 22. Juli die höchsten Belastungen im Dreieck Rostock-Barth-Laage mit  $P > 100$  mm und Hotspots über Graal-Müritz, Ribnitz-Damgarten und beinahe lokal über Warnemünde mit  $P > 125$  mm. Am 28. und 29. Juli sind die größten Regenhöhen im Osten Vorpommerns beobachtet worden, d.h. in einem Gebiet von der Nordspitze Usedom bis in den Nordosten Brandenburgs hinein. Hotspots bilden hier das östliche Usedom mit dem Westteil des Stettiner Haffs und ein kleinerer Flecken bei Pasewalk mit  $P > 100$  mm. Außerhalb davon sind wiederum in Rostock-Warnemünde sehr lokal Niederschläge dieser Größenordnung gefallen. Am 6. August fielen vorrangig in weiten Teilen Mecklenburgs Niederschläge mit Höhen im Bereich von 25 bis 50 mm. Kleinräumige Hotspots mit  $P > 50$  mm sind an diesem Tag die Insel Poel, Wismar, Graal-Müritz und erneut Rostock-Warnemünde.

Die Ausführungen machen deutlich, dass von den 3 Hauptereignissen im Juli und August 2011 die Ortschaften Rostock-Warnemünde und Graal-Müritz mit am stärksten betroffen waren, und dies teilweise sehr lokal. Die Größe und zufällige Häufung dieser Ereignisse innerhalb weniger Tage brachte enorme Belastungen für den Rostocker Raum mit sich. Die am Stromgraben in Graal-Müritz anfallenden Wassermassen waren so groß, dass wegen Versagens des Schöpfwerkes die Überschwemmung von Ortsteilen drohte. Um dies zu verhindern, entschloss man sich, die Küstendüne zu schlitzen. In der Rostocker Laakniederung gerieten nahezu flächendeckend hunderte Kleingärten unter Wasser, um nur zwei Beispiele zu nennen.

#### 5 Weiterführende statistische Einordnung der Niederschläge in Warnemünde

In Abschnitt 2 ist für Rostock-Warnemünde bereits eine erste statistische Einordnung der Ereignisse im Juli und August 2011 anhand von Tagesniederschlägen bzw. der größten 24-h-Regenhöhen erfolgt, auf die hier weiterführend eingegangen werden soll. Die Grundlage bilden Starkniederschläge gemäß KOSTRA-DWD-2000 (2005) und Stationsanalysen für Warnemünde (Zeitraum 1951 bis 2000 bzw. 1951 bis 2010). Gegenstand der Betrachtungen sind zunächst die größten Niederschlagshöhen verschiedener Dauern im Bereich von 10 min bis 24 h. Darüber hinaus soll gezeigt werden, wie oft im Juli und August 2011 ausgewählte Starkniederschläge (je nach Dauer und Wiederkehrintervall) durch beobachtete Niederschläge übertroffen worden und wie genau diese jeweils statistisch einzuordnen sind.



**Abbildung 5**  
 Räumliche Niederschlagsverteilung am 21. und 22. Juli (oben) bzw. 28. und 29. Juli 2011 (unten), aus: SCHUMANN et al. (2013)  
*Spatial distribution of precipitation on July 21 and 22 (above) and 28 and 29 July 2011 (below), from: SCHUMANN et al. (2013)*

In Tabelle 1 sind neben der Dauer  $D = 24$  h die Größtwerte für weitere Dauerstufen aufgelistet. Dabei ist zu beachten, dass die Regenhöhen für die Dauern 10 bis 60 Minuten aus 5-Minuten-Werten und die sonstigen Summen aus Stundenwerten gebildet worden sind. Einerseits ist die 48-stündige Niederschlagsmenge, die am 22./23.7.2011 gefallen war, als herausragend zu bezeichnen, denn die 100-jährliche 48-h-Starkniederschlagshöhe ( $84,5 \text{ mm} \pm 20 \%$ ) wurde weit übertroffen. Andererseits verdeutlichen die Zahlen, dass die kurzzeitig größten Regenintensitäten am 6. August 2011

registriert worden sind, d.h. nicht in der dritten Juli-Dekade. Daneben zeigt sich, dass die Ereignisse am 22./23. Juli und 29./30. Juli mit zunehmender Regendauer immer extremer geworden sind, worauf weiter unten noch genauer eingegangen wird. Bei solchen Auswertungen spielt es keine Rolle, ob es innerhalb der betrachteten Dauer Unterbrechungen gegeben hat oder diese nur einen zeitlichen Ausschnitt aus einem längeren Niederschlagsereignis darstellt.

Tabelle 2 zeigt darüber hinaus, wie oft im Juli und August 2011 extremwertstatistische Starkniederschlagshöhen  $P(T, D)$  unterschiedlicher Jährlichkeit  $T$  und Dauer  $D$  überschritten worden sind. Damit soll nochmals die zeitlich enge Aufeinanderfolge ungewöhnlicher Niederschlagshöhen betont werden. Dabei sollte beachtet werden (und dies gilt auch für Tab. 3), dass sich hinter den Angaben beider Tabellen statistisch betrachtet nicht in jedem Fall voneinander unabhängige Ereignisse verbergen, sondern diese z.T. sogar zu ein und demselben längeren Niederschlagsereignis gehören, in dem gleich mehrere Zeitabschnitte kürzerer Dauer  $D$  enthalten sind, die extreme Niederschlagshöhen dieser Dauer aufweisen. Dies trifft insbesondere für die sehr lang andauernden Extremniederschläge um den 22. Juli und den 29. Juli 2011 zu. Daraus folgt, dass die Anzahl der Ereignisse mit der Dauer abnimmt. Es ist aber auch zu erkennen, dass z.B. der 1-jährliche Niederschlag der Dauer 6 h häufiger, nämlich acht Mal, übertroffen worden ist als der 1-jährliche Niederschlag der kürzeren Dauer 30 Minuten (6 Überschreitungen).

Dies ist kein Widerspruch in sich, sondern besagt nur, dass nicht große Intensitäten kurzer Dauer maßgeblich waren, sondern die Kumulation zu extremen Niederschlagsmengen über mehrere Stunden hinweg.

Die Abhängigkeit der statistischen Einordnung des Regenereignisses um den 22. Juli 2011 von der betrachteten Dauer macht auch Abbildung 6 deutlich. Anders als bei Niederschlag-Höhen-Dauer-Häufigkeits-Beziehungen üblich, ist hier nicht die Abhän-



**Tabelle 1**  
 Die größten Niederschlagssummen in Rostock-Warnemünde im Juli und August 2011 in Abhängigkeit von der Regendauer, mit Einordnung des Wiederkehrintervalls T für  $D < 12$  h anhand von KOSTRA-DWD-2000 (2005) und für  $D \geq 12$  h laut VERWORN & KUMMER (2003/2006); jeweils für den Zeitraum 1951 bis 2000 und die Monate Januar bis Dezember  
*Maximum rainfall depths in Rostock-Warnemünde in July and August 2011 in dependence on duration of rainfall and their grading related to design rainfall amounts P (T, D) (period 1951 to 2000, January to December; T = return period)*

Dauer	Zeitspanne	Niederschlagssumme	Einordnung
10 min	6. August, 14:10 Uhr bis 14:20 Uhr	11,5 mm	T = 10 a
30 min	6. August, 14:00 Uhr bis 14:30 Uhr	21,0 mm	T = 12 a
60 min	6. August, 13:50 Uhr bis 14:40 Uhr	21,7 mm	T = 5 a
2 h	29. Juli, 04:00 Uhr bis 06:00 Uhr	35,0 mm	T = 20 a
3 h	29. Juli, 03:00 Uhr bis 06:00 Uhr	44,5 mm	T = 45 a
4 h	29. Juli, 02:00 Uhr bis 06:00 Uhr	48,1 mm	T = 50 a
6 h	22. Juli, 07:00 Uhr bis 13:00 Uhr	64,3 mm	T = 100 a
9 h	22. Juli, 06:00 Uhr bis 15:00 Uhr	78,9 mm	T = 100 a
12 h	22. Juli, 07:00 Uhr bis 19:00 Uhr	95,0 mm	T ≈ 1.000 a
18 h	22. Juli, 04:00 Uhr bis 22:00 Uhr	111,0 mm	T ≈ 1.000 a
24 h	22./23 Juli, 04:00 Uhr bis 04:00 Uhr	116,9 mm	T ≈ 1.000 a
48 h	21. Juli, 13:00 Uhr bis 23. Juli, 13:00 Uhr	136,4 mm	T ≈ 1.000 a
72 h	21. Juli, 09:00 Uhr bis 24 Juli, 09:00 Uhr	137,0 mm	T < 1.000 a

**Tabelle 2**  
 Anzahl der Niederschlagsereignisse in Rostock-Warnemünde im Juli und August 2011 mit Überschreitung von extremwertstatistischen Niederschlagshöhen P (T, D) verschiedener Dauer D und Jährlichkeit T nach KOSTRA-DWD 2000 (2005; Zeitraum 1951 bis 2000; Monate Januar–Dezember)  
*Frequency of heavy rain events in Rostock-Warnemünde in July and August 2011 with depth greater than design rainfall amounts P (T, D) of different duration D and return period T according to KOSTRA-DWD-2000 (2005; period 1951 to 2000, January to December)*

Dauer	T > 1	T > 2	T > 5	T > 10	T > 20	T > 50	T > 100
10 min	5	4	3				
30 min	6	3	1				
1 h	6	3					
2 h	9	6	2	1	1		
3 h	8	5	2	2	1		
6 h	8	5	3	2	2	1	1
12 h	4	3	3	2	2	2	2
24 h	4	4	3	2	2	2	2
48 h	5	4	3	2	2	2	2

gigkeit der Niederschlagshöhe vom Wiederkehrintervall dargestellt, woraus sich Kurvenscharen für unterschiedliche Dauern ergeben. Hier sind gewissermaßen die Parameter D und T vertauscht, woraus Kurven für unterschiedliche Wiederkehrintervalle resultieren. Die Transformation von D in  $\ln D$  sorgt außerdem für eine annähernde Linearisierung der Funktionsverläufe.

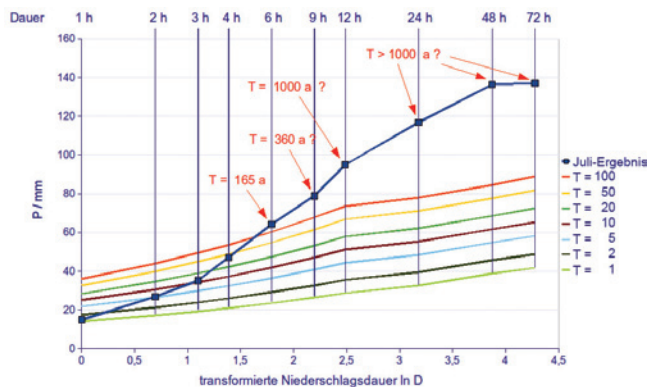
Daneben sind in Abbildung 6 die größten Niederschlagshöhen entsprechender Dauer eingetragen, die um den 22. Juli beobachtet worden sind, und zu einem Linienzug verbunden. Es ist zu erkennen, dass bei Einordnung der Niederschlagshöhen nach VERWORN & KUMMER (2003/2006) trotz aller Unsicherheiten ab  $D = 12$  h von einem 1.000-jährlichen Ereignis gesprochen werden kann. Prinzipiell ähnlich sieht die Entwicklung beim Ereignis um den 29. Juli aus. Damit bestätigt sich die oben getroffene Aussage, nach der beide Ereignisse mit der Dauer immer extremer geworden sind.

In Abbildung 7 sind für die Dauer 3 h und bis  $T = 100$  a die Starkniederschläge P (T, D) nach KOSTRA-DWD-2000 (2005; blaue Kurve; 1951 bis 2000; für die Monate Januar bis Dezember) bzw.

als Ergebnis von Stationsanalysen (rote Kurve; 1951 bis 2010; für das Sommerhalbjahr bzw. die Monate Mai bis September) durch ihre Verteilungsfunktionen dargestellt. Zusätzlich sind die größten im Juli und August beobachteten Einzelereignisse dieser Dauer aufgetragen und statistisch eingeordnet. Die Eintragung der P (T, D) für die Wiederkehrintervalle 200 a und 1.000 a erfolgte durch freie Extrapolation der Verteilungsfunktion. Der so ermittelte Starkniederschlag P (T = 1.000 a, D = 12 h) entspricht fast exakt dem entsprechenden praxisrelevanten Extremwert PEN nach VERWORN & KUMMER (2003/2006). Auch hier ist die ungewöhnliche Häufung schwerer Niederschläge in kurzer Zeit zu erkennen. Vergleichbare Darstellungen für Dauern von 1 h bis 48 h bestätigen, dass mit der Dauer D = 12 h das Ereignis vom 22. Juli zu einem ca. 1.000-jährlichen Ereignis geworden ist. Bei der Dauer D = 24 h liegt sowohl das Ereignis um den 22. Juli als auch das Ereignis um den 29. Juli im Bereich des 1.000-jährlichen PEN-Wertes gemäß Ausgleichsfunktion. Insgesamt ist bei der Einordnung der beobachteten Starkniederschläge anhand der P (T, D) noch einmal auf deren Toleranzbereiche bzw. die Unsicherheiten der zu Grunde liegenden statistischen Analysen zu verweisen (s. Abschnitt 2).

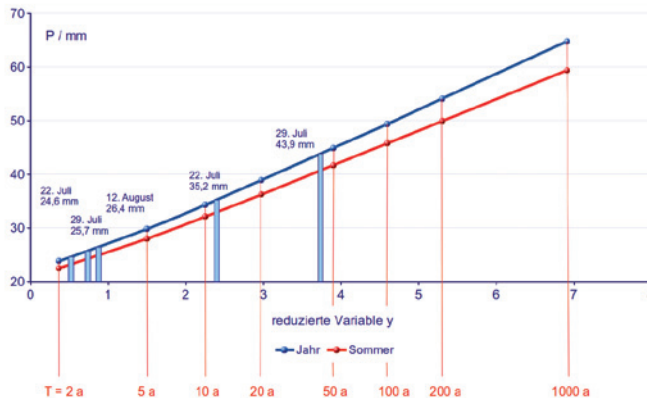
Ergänzend zu Abbildung 7 enthält Tabelle 3 eine Übersicht über die größten Regenhöhen in Abhängigkeit von der Dauer. Für die Dauer  $D = 48$  h, die hier nicht aufgeführt ist, ergibt sich eine ganz ähnliche Einordnung wie für  $D = 24$  h, wobei sich das Ereignis vom 28. bis 30. Juli zwischen dem 100- und 1.000-jähr-

lichen Starkniederschlag einordnet und das Ereignis vom 10. bis 12. August beinahe ein 2-jährliches Ereignis ist. In Bezug auf die Dauer  $D = 12$  h ließen sich die beiden Ereignisse vom 22. und 29. Juli unter Einbeziehung der Stunden davor und danach auf zwei zeitlich benachbarte Regenphasen der Dauer 12 h aufteilen, wo-



**Abbildung 6**

Zunahme der Niederschlagssumme mit der Regendauer während des Ereignisses um den 22. Juli 2011 im Vergleich zu den  $P(T, D)$  in Rostock-Warnemünde nach KOSTRA-DWD-2000 (2005); Zeitraum 1951 bis 2000; Monate Januar bis Dezember; aus: MIEGEL (2011)  
*Increase in rainfall depth in dependence on duration of rainfall during the event around 22 July 2011, compared to  $P(T, D)$  in Rostock-Warnemünde after KOSTRA-DWD-2000 (2005); period 1951 to 2000, January to December; from MIEGEL (2011)*



**Abbildung 7**

Starkniederschläge  $P(T, D)$  am Standort Rostock-Warnemünde (KOSTRA-DWD-2000, 2005) für die Dauer  $D = 3$  h und Einordnung der größten beobachteten Niederschläge dieser Dauer im Juli und August 2011 (mit  $y = -\ln \ln T / (T - 1)$ ) gemäß Extremwertverteilung Typ I)  
*Design rain amounts  $P(T, D)$  in Rostock-Warnemünde (KOSTRA-DWD-2000, 2005) of the duration  $D = 3$  h and comparison with biggest rain events of this duration in July and August 2011 (with  $y = -\ln \ln T / (T - 1)$ ) according to Gumbel distribution)*

Dauerstufe	Datum	Niederschlagshöhe	statistische Einordnung
1 h	6. August	21,4 mm	$T \approx 5$ a
	29. Juli	18,1 mm	$T > 2$ a
	29. Juli	18,1 mm	$T > 2$ a
	29. Juli	16,9 mm	$T \approx 2$ a
daneben 3 weitere 1-h-Regen mit $T \approx 1$ a oder $1 a < T < 2 a$			
3 h	29. Juli	43,9 mm	$T \cdot 50$ a
	22. Juli	35,2 mm	$T > 10$ a
	12. August	26,4 mm	$2 a < T < 5 a$
	29. Juli	25,7 mm	$2 a < T < 5 a$
	22. Juli	24,6 mm	$T > 2$ a
daneben 6 weitere 3-h-Regen mit $T \approx 1$ a oder $1 a < T < 2 a$			
6 h	22. Juli	64,3 mm	$T > 100$ a
	29. Juli	53,2 mm	$T < 50$ a
	6. August	39,8 mm	$5 a < T < 10 a$
daneben 5 weitere 6-h-Regen mit $1 a < T < 2 a$			
12 h	22. Juli	95,0 mm	$T \approx 1.000$ a
	29. Juli	83,1 mm	$100 a < T < 1.000 a$
	6./7. August	51,1 mm	$T = 10$ a
	2. Juli	31,2 mm	$T > 1$ a
	12. August	28,5 mm	$T = 1$ a
24 h	22./23. Juli	116,9 mm	$T \approx 1.000$ a
	29./30. Juli	107,0 mm	$T \approx 1.000$ a
	6./7. August	54,2 mm	$T \approx 10$ a
	2./3. Juli	39,5 mm	$T = 2$ a
	11./12. August	30,0 mm	$T < 1$ a



bei unterschiedliche Anfangs- und Endzeitpunkte möglich sind. So führt eine der möglichen Aufteilungen in jeweils 12-stündige Zeitabschnitte (beachte auch hier deren nicht gegebene Unabhängigkeit) zu Wiederkehrintervallen der Größe  $T = 100$  a und 3 a bzw.  $T = 10$  a und 1 a.

Da die Häufung extremer Einzelereignisse innerhalb eines relativ kurzen Zeitraums wie der Juli und August 2011 als eines der Indizien, nicht aber als alleiniges Indiz für Klimaänderungen angesehen darf, soll hier abschließend geprüft werden, ob sich in Rostock-Warnemünde eine Zunahme schwerer Regenereignisse in den letzten Jahrzehnten erkennen lässt. Anlass dafür sind ein gewisses subjektives Empfinden in der Rostocker Bevölkerung, aber vor allem Untersuchungen von MÜLLER & PFISTER (2011), nach denen in den Einzugsgebieten von Emscher und Lippe Sturzflut-relevante Starkregen mit einer Dauer von 1 min bis 30 min im Zeitraum 1975 bis 2009 signifikant zugenommen haben. Wie bei MÜLLER & PFISTER (2011) erfolgt hier die Untersuchung anhand von Häufigkeiten und nicht für Starkniederschläge  $P(T, D)$ , weil diese zu sehr vom zufälligen Auftreten seltener Extremereignisse im Untersuchungszeitraum abhängen (MIEGEL & BÜTTNER 2003). Das Spektrum der Dauern ist mit 15 min bis 24 h ganz bewusst breiter gewählt.

In Abbildung 8 ist die Entwicklung der Häufigkeiten von Ereignissen mit einer Regenhöhe größer als der Starkniederschlag  $P(T 0,5 a; D)$  entsprechender Dauer  $D$ , der folglich durchschnittlich zwei Mal pro Jahr durch ein reales Ereignisse übertroffen wird, für 30-jährige Zeiträume dargestellt. Der Gesamtzeitraum 1951 bis 2010, über den in Jahresschritten ein 30-jähriges Zeitfenster gleitend verschoben worden ist, umfasst insgesamt 60 Jahre. Das Jahr 2011 ist ausgeklammert, um einen entsprechenden Einfluss auf die Stichprobe zu vermeiden.

Abbildung 8 macht deutlich, dass insbesondere bei den kürzeren Dauern bis  $D = 3$  h eine zunehmende Häufigkeit solcher Ereignisse seit ca. Mitte der 1990er Jahre auch in Rostock-Warnemünde zu verzeichnen ist. Dem geht eine leichte Abnahme der Häufig-

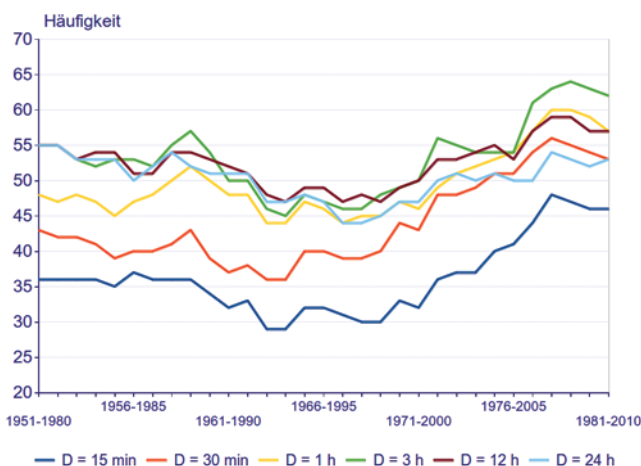
keit von 1951 bis ca. 1990 voraus, so dass die Kurvenverläufe in ihrem Mittelteil eine Depression aufweisen. Ungeachtet dessen deutet sich in den letzten 10 bis 15 Jahren eine deutlich zunehmende Überschreitungshäufigkeit des jeweiligen  $P(T 0,5 a; D)$  an. Bei der Dauer 6 h, die hier nicht veranschaulicht ist, und der Dauer 12 h ist diese Entwicklung weniger deutlich. Bei der Dauer 24 h sind die anfänglichen Häufigkeiten sogar etwas größer als in den letzten 30-Jahre-Abschnitten, so dass hier deren Abnahme im Mittelteil des Gesamtzeitraums besonders auffällt. Der Anstieg aller Kurven, ca. ab Beginn bis Mitte der 90iger Jahre, korrespondiert um einige Jahre zeitverzögert mit dem globalen Anstieg der Temperaturen. Um die regionale Aussagekraft dieser Betrachtung zu erhöhen, sollten weitere Niederschlagsstationen M-V's in die Analyse einbezogen werden.

Angesichts solcher Schwankungen oder sogar Veränderungen im Auftreten extremer Niederschläge, möglicherweise verursacht durch den Klimawandel, stellt sich die Frage nach der Stationarität ihrer Entstehungsbedingungen und der Gültigkeit von Angaben zu Starkniederschlägen bestimmter Jährlichkeit in der Zukunft. Wer mit Angaben gemäß KOSTRA-DWD-2000 (2005) arbeitet, sollte sich bewusst sein, dass diese generell mit Unsicherheiten behaftet sind, was mit der Angabe von Toleranzbereichen zum Ausdruck gebracht wird (Abschnitt 2). Es ist zu beachten, dass auch das Klima selbst in unterschiedlichen Zeitskalen natürlichen Schwankungen unterworfen ist. Hinzu kommen das zufällige Auftreten extremer Größtwerte in den Datenkollektiven und weitere Effekte, die zu Stichprobenfehlern führen. Angaben zu Starkniederschlägen für größere Wiederkehrintervalle sind allein schon aus statistischen Gründen besonders unsicher. Einerseits sind weitaus längere Beobachtungszeiträume erforderlich, um diese Unsicherheiten einzugrenzen, andererseits wächst mit der Dauer der Beobachtungen die Gefahr klimabedingter Instationaritäten. Der Nutzer extremwertstatistischer Ergebnisse kann deshalb nie aus der Pflicht entlassen werden, diese mit kritischem Blick und Sachverstand anzuwenden.

## 6 Zusammenfassung

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass abgesehen von lokalen Ereignissen kurzer Dauer die beiden Niederschlagsereignisse um den 22. und 29. Juli 2011 weit außerhalb des Erfahrungsbereiches der Menschen im Raum Rostock und anderen Gebieten Mecklenburg-Vorpommerns gelegen haben, sowohl durch ihre Größe als auch aufgrund ihrer dichten Aufeinanderfolge innerhalb einer Dekade. Dies gilt gleichermaßen für die monatlichen Regenmengen im Juli und August 2011, denn darüber hinaus hatten wir es in beiden Monaten mit einer Reihe weiterer schwerer Regenereignisse zu tun. Die meteorologische Hauptursache dafür waren zwei kräftige Bodentiefs, die unmittelbar und sehr langsam über den Nordosten Deutschlands hinweg gezogen sind und dadurch ungewöhnlich lange wetterwirksam waren.

Die statistische Analyse macht dementsprechend deutlich, dass nicht die Niederschläge kurzer Dauer besonders außergewöhnlich waren, sondern die lang anhaltenden Niederschläge um den 22. und 29. Juli 2011, die bis zu Dauer 24 h immer extremer geworden sind. Nach den vorliegenden statistischen Ergebnissen (VERWORN & KUMMER 2003/2006) sind beide Ereignisse ab einer Dauer von 12 h ca. als 1.000-jährliche Ereignisse einzustufen. In Bezug auf die Dauern 12 h und 24 h sind in beiden Monaten



**Abbildung 8**  
Häufigkeit der Überschreitung des Starkniederschlags  $P(T 0,5 a; D)$  unterschiedlicher Dauer  $D$  gemäß KOSTRA-DWD-2000 (2005) in 30-jährigen Zeiträumen (Sommermonate)  
*Frequency of rain events exceeding design rainfall amounts  $P(T 0,5 a; D)$  of different duration  $D$  according to KOSTRA-DWD-2000 (2005) during 30-yearly periods (summer months)*

drei weitere Ereignisse aufgetreten, die einem Wiederkehrintervall im Bereich von 1 a bis 10 a entsprechen. Damit findet die Häufung extremer Niederschläge im Juli und August 2011 auch statistisch ihre Bestätigung. Eine generelle Tendenz zur Zunahme extremer Niederschläge zeichnet sich in Rostock-Warnemünde in den letzten 10 bis 15 Jahren eher in Bezug auf kürzere Dauern ab, wobei 15 Jahre nicht ausreichen, um von einer langfristigen Veränderung sprechen zu können.

Die statistische Einordnung des Geschehens macht deutlich, dass selbst bei einer Zeitreihe von 100 Jahren Ereignisse möglich sind, die aufgrund des Zusammenwirkens mehrerer begünstigender Faktoren die bisherigen Höchstwerte von Niederschlag, Wasserstand oder Durchfluss noch deutlich übertreffen. Dies zeigen z.B. auch Beobachtungen wie an den sächsischen Nebenflüssen während des Elbe-Hochwassers 2002 oder die Sturmflut in der südwestlichen Ostsee von 1872, deren Scheitelwasserstand seitdem nicht annähernd wieder erreicht worden ist. Die statistische Analyse von Extremwerten leidet in vielen Fällen darunter, dass solche Ereignisse bisher noch nicht beobachtet werden konnten. Zu den möglichen Folgen gehört die Unterschätzung von Extremwerten für große Wiederkehrintervalle (MIEGEL & BÜTTNER 2003), insbesondere im Extrapolationsbereich, ebenso wie die Zuweisung eines deutlich zu großen Wiederkehrintervalls zu solchen beobachteten Einzelereignissen, wenn diese einmal aufgetreten sind.

Daraus ergibt sich einmal mehr die Notwendigkeit, dass auch lange Beobachtungen fortgesetzt werden sollten. Verfahren zur Abschätzung maximal möglicher Niederschläge und Abflüsse sind auf dieser Grundlage zu verbessern und weiterzuentwickeln. Beim Niederschlag sind in den kommenden Jahren vor allem durch die Kombination von Messungen am Boden mit automatisierten Radarbeobachtungen erhebliche Informationsgewinne zu erwarten. Dies betrifft sowohl die Reihenlängen bei den Radardaten als auch die Identifikation von Extremwerten, die durch das Polygonnetz der Bodenstationen hindurch fallen, d. h. die Erhöhung der räumlichen Informationsdichte über Extremereignisse, insbesondere kürzerer Dauer.

## Summary

Conclusively, it can be said that, apart from short-term local events, the two rainfall events around 22 and 29 July 2011 were located way beyond the field of experience of the population near Rostock and other regions of Mecklenburg-Vorpommern, both in terms of their size, but also of their close succession within one decade. This is also true of the monthly rain amounts in July and August 2011, as we had to deal with a number of further serious rainfall events in both months. The meteorological main cause were two strong surface lows directly and very slowly passing over the North-East of Germany and thus having an extraordinarily long-lasting effect on the weather.

A statistical analysis reveals that it were not the short-term rainfalls that were highly exceptional but the long-lasting rainfalls around 22 and 29 July 2011 that became increasingly more extreme up to a duration of 24 hrs. Pursuant to the present statistical results (VERWORN & KUMMER 2003/2006), both events are to be classified as 1,000-yearly events as from a duration of approx. 12 hrs. As regards the durations of 12 and 24 hrs, three further events have occurred in the two months that correspond to a

return period in the range of 1 a to 10 a. Thus the accumulation of extreme precipitation events in July and August 2011 is also confirmed statistically. A general trend towards an increase in extreme rainfall in Rostock-Warnemünde in the recent 10 to 15 years is looming rather with a view to shorter durations, while 15 years do not suffice to justify talking about a long-term change.

The statistical classification of the events reveals that even after 100 years of monitoring hydrometeorological or hydrological parameters such as precipitation, water level or discharge, events may occur that clearly exceed any previous maximum values in the data series due to a coincidence of various promotive factors. This is mirrored e.g. by observations made at Saxonian tributaries during the Elbe floods in 2002 or the storm surges in the South-West Baltic Sea in 1872, whose peak water level has been unparalleled ever since. The statistical analysis of extreme values in many cases suffers from the fact that such events could not be observed so far. Possible consequences include an underestimation of extreme values for large return periods (MIEGEL & BÜTTNER 2003), especially in the extrapolation range as well as the allocation of a clearly oversized return period observed single events once they have occurred.

This reveals the necessity of continuing long-term monitoring. Procedures to estimate maximum possible rainfall and runoff have to be improved and further developed using this basis. Significant improvements in gaining information on rainfall can be expected in the years to come due to the combination of measurements on the ground with automated radar observations. This concerns both the length of series of radar data as well as the identification of extreme values falling through the cracks of the ground stations' polygon mesh, i.e. increasing the spatial information density on extreme events, particularly of a shorter duration.

## Danksagung

Alle hier verwendeten Niederschlagsdaten entstammen der Datenbank des DWD. Dem Deutschen Wetterdienst sei dafür an dieser Stelle ausdrücklich gedankt. Ein besonderer Dank gilt der Abteilung Hydrometeorologie für die Bereitstellung statistischer Vergleichswerte und von Niederschlagsdaten mit hoher zeitlicher Auflösung der Station Rostock-Warnemünde.

## Anschriften der Verfasser:

Prof. Dr. K. Miegel  
Universität Rostock  
Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät  
Professur Hydrologie  
Universitätsplatz 1, 18051 Rostock  
konrad.miegel@uni-rostock.de

Dr. Dr. D. Mehl  
biota – Institut für ökologische Forschung und Planung GmbH  
Nebelring 15, 18246 Bützow  
dietmar.mehl@institut-biota.de

Dr. G. Malitz  
H. Ertel  
Deutscher Wetterdienst  
Abteilung Hydrometeorologie in der Dienststelle Berlin-Buch  
Lindenberger Weg 24, 13125 Berlin-Buch  
gabriele.malitz@dwd.de

**Literaturverzeichnis**

- DWD (2007): Beurteilung des Auftretens von Kurzzeit-Starkniederschlag am 22.08.2007 im Raum Blankenhagen. – Amtliches Gutachten des Deutschen Wetterdienstes, Abteilung Hydrometeorologie, Offenbach am Main, 6 S.
- DWD (2011): Witterungsreport Express des Deutschen Wetterdienstes. Jahrgang 13, Ausgaben 03/2011 (März), 04/2011 (April), 05/2011 (Mai), 07/2011 (Juli) und 08/2011 (August). – Hrsg. DWD, Offenbach am Main
- KOSTRA (1997): Starkniederschlagshöhen für Deutschland. – Bearb. von BARTELS, H.; MALITZ, G.; ASMUS, S.; ALBRECHT, F. M.; DIETZER, B.; GÜNTHER, Th. & H. ERTEL. – Hrsg. Deutscher Wetterdienst, Geschäftsfeld Hydrometeorologie, Offenbach am Main
- KOSTRA-DWD-2000 (2005): Starkniederschlagshöhen für Deutschland (1951–2000). – Hrsg. Deutscher Wetterdienst, Abteilung Hydrometeorologie, Offenbach am Main, Software/Vertrieb: itwh Hannover
- LUNG (2011): Monatsbericht zur Lage im Wasserhaushalt – Wassermenge – Berichtsmonat Juli 2011, vom 15. September 2011. – Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, Abteilung Wasser
- MEHL, D. & M. SCHNEIDER (2009): Ein Hochwasseraktionsplan für einen Tieflandbach? – Wasser und Abfall 3, 44–49
- MIEGEL, K. (2011): Niederschlagsereignisse in Mecklenburg-Vorpommern im Sommer 2011. – In: Erhöhung der Effektivität von Abwasserentsorgungsanlagen (Tagungsband). – Schriftenreihe Umweltingenieurwesen 31, 147–166; Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Universität Rostock, Eigenverlag
- MIEGEL, K. & U. BÜTTNER (2003): Zum Einfluss der Datenverfügbarkeit und von extremen Ereignissen auf das Ergebnis hochwasserstatistischer Analysen. – Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 47 (3), 94–102
- MÜLLER, E.N. & A. PFISTER (2011): Increasing occurrence of high-intensity rainstorm-events relevant for the generation of soil erosion in a temperate lowland region in Central Europe. – Journal of Hydrology 411, 266–278
- SCHULTZ, R. & W. HÄNSCH (1969): Bericht über einen wolkenbruchartigen Starkniederschlag am 15. September 1968 in Miltzow, Kreis Grimmen, Bezirk Rostock. – Täglicher Wetterbericht des Meteorologischen Dienstes der DDR, 23. Jahrgang, Nr. 28 vom Dienstag, den 28. Januar 1969 (Teil 1) und Nr. 29 vom Mittwoch, den 29. Januar 1969 (Teil 2); Hrsg. Wetterdienststelle Leipzig
- SCHUMANN, A., D. MEHL, K. MIEGEL, A. BACHOR & J. EBERTS (2013): Das Sommerhochwasser 2011 in Mecklenburg-Vorpommern. Dokumentation und Auswertung. – Materialien zur Umwelt 2; Hrsg. Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern, Güstrow
- VERWORN, H.-R. & U. KUMMER (2003 / 2006): Praxisrelevante Extremwerte des Niederschlags (PEN). – Forschungsbericht des Instituts für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau der Leibniz Universität Hannover
- WMO RA VI Pilot RCC on Climate Monitoring, DWD, Offenbach (2011): Die außergewöhnliche Trockenperiode in Europa vom Februar bis Mai 2011. – Mitteilungen DMG 02/2011 der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft, S. 3