
Hydro-klimatologische Einordnung der Stark- und Dauerniederschläge in Teilen Deutschlands im Zusammenhang mit dem Tiefdruckgebiet „Bernd“ vom 12. bis 19. Juli 2021

Autoren: T. Junghänel, P. Bissolli, J. Daßler, R. Fleckenstein, F. Imbery, W. Janssen, F. Kaspar, K. Lengfeld, T. Leppelt, M. Rauthe, A. Rauthe-Schöch, M. Rocek, E. Walawender und E. Weigl
Stand: 21.07.2021

Zusammenfassung

Im Zusammenhang mit dem Tief "Bernd" traten in Deutschland und den Nachbarländern insbesondere im Zeitraum 12. bis 15.07.21 regional sehr ausgeprägte Starkregenereignisse auf. Diese führten insbesondere in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz zu ausgeprägten Überschwemmungen, die Ursache für eine hohe Zahl von Todesfällen und erhebliche Schäden an der Infrastruktur waren. Dieser Text liefert eine Beschreibung der Wetter- und Ausgangslage, eine Zusammenstellung der beobachteten Niederschlagswerte und eine klimatologische Einordnung, sowie eine Übersicht über die Situation in den Nachbarländern.

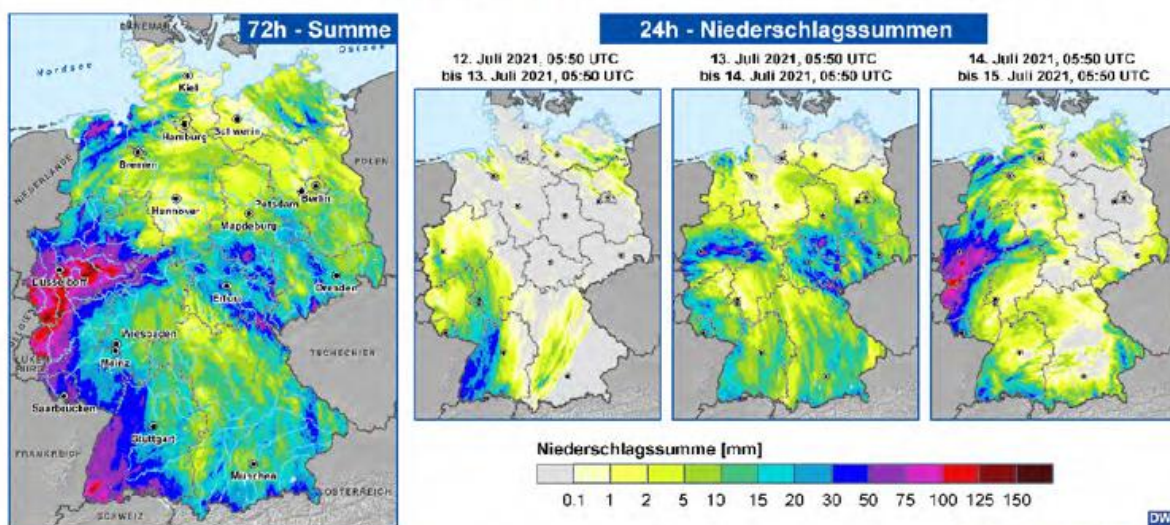
Abstract

In connection with the low-pressure system "Bernd", regionally very pronounced heavy rainfall events occurred in Germany and neighbouring countries, especially in the period from 12 to 15 July 2021, which led to severe flooding, particularly in North Rhine-Westphalia and Rhineland-Palatinate. The flooding resulted in a high number of fatalities and considerable damage to the infrastructure. This text provides a description of the meteorological situation, a compilation of observed precipitation values and a climatological assessment, as well as an overview of the situation in the neighbouring countries.

Einleitung

Nach bereits mehreren Episoden mit Starkregen sorgte das Tief „Bernd“ für anhaltende bzw. wiederkehrende Starkniederschläge. Betroffen waren lokal die mittleren Landesteile, großflächig jedoch der Westen von Rheinland-Pfalz und die Südhälfte Nordrhein-Westfalens. In der Folge kam es zunächst örtlich zur Ausuferung kleiner Fließgewässer und Sturzfluten. Mit anhaltender Niederschlagstätigkeit traten auch mittlere und größere Flüsse wie Ahr, Emscher, Erft, Kyll, Lippe, Prüm, Ruhr, Rur, Sieg und Wupper über die Ufer. Daraus entwickelte sich eine ausgedehnte Hochwassersituation von der Eifel (Rheinland-Pfalz) über das Rheinland und dem Ruhrgebiet bis hin nach Südwestfalen (Nordrhein-Westfalen). Neben immensen Sachschäden verloren über 160 Menschen (Stand 21.07.21) ihr Leben. Mit Abzug von Tief „Bernd“ waren außerdem das Osterzgebirge, die Lausitz und das Berchtesgadener Land betroffen. Auch hier kam es zu Starkniederschlägen, die regional zu Hochwasser führten.

Tief Bernd über Deutschland,
Summe des Niederschlags aus Radar: 12. Juli, 05:50 UTC - 15. Juli 2021, 05:50 UTC



Klimadaten und Darstellung: © Deutscher Wetterdienst: 2021 (Stand: 15.07.2021); Geodaten: © GeoBasis-DE/BKG 2020 (Stand: 01.01.2020)

Abb. 1: Niederschlagsanalyse auf Basis von RADOLAN für die Dauerstufe 24 Std. bzw. 72 Std. bis zum 15.07.2021 05:50 UTC (07:50 Uhr MESZ). Quelle: DWD, Hydrometeorologie

Wetter- und Ausgangslage

Die Wetterlage an den Tagen vom 12. bis 15.07.21 zeichnete sich vor allem durch tiefen Luftdruck über Mitteleuropa aus. In Verbindung mit einem Höhentief, das sich langsam von Frankreich her näherte, war die Troposphäre zunehmend instabil geschichtet. Warme und sehr feuchte Luftmassen gelangten aus dem Mittelmeerraum in einer Drehbewegung um das Bodentief „Bernd“ nach Deutschland. Durch erzwungene Hebung (orografisch und dynamisch) und leichte Staueffekte an den westlichen Mittelgebirgen (Sauerland, Westerwald und Eifel), kam es zunächst regional, später großflächig zu wiederkehrendem bzw. anhaltendem Starkregen. In den folgenden Tagen drängte Hoch „Dana“ Tief „Bernd“ in Richtung Südosteuropa ab. Dadurch kam es noch einmal zu anhaltenden Starkniederschlägen im Osterzgebirge und der Lausitz, sowie im Berchtesgadener Land. Ab dem 19.07.21 entspannte sich die Wettersituation etwas.

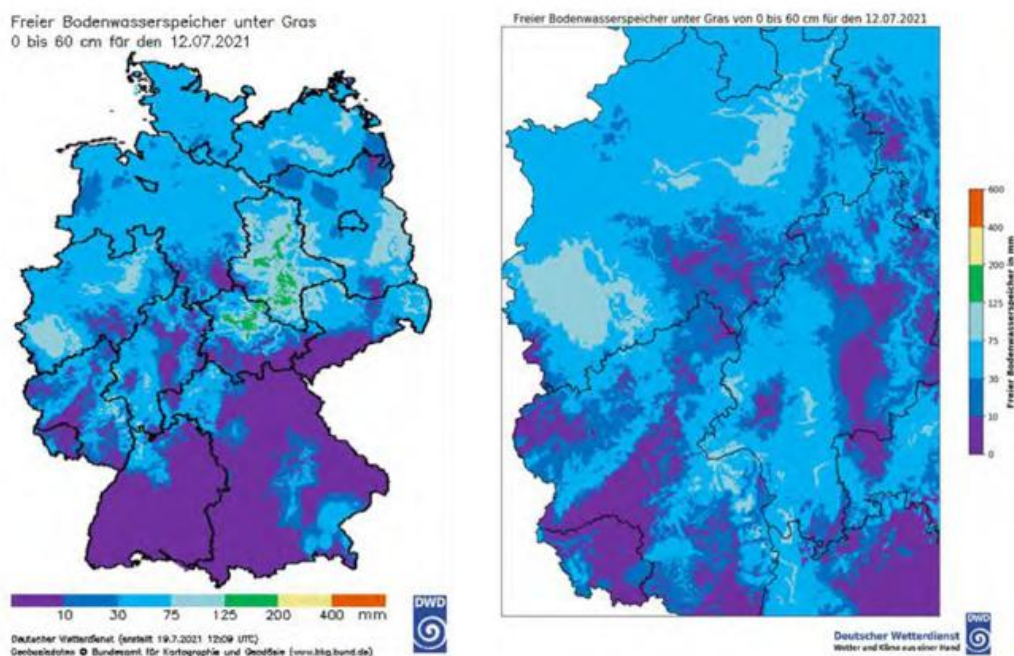


Abb. 2: Freier Bodenwasserspeicher auf einer 60 cm dicken Bodenschicht unter Gras und einem realistischen Boden nach BÜK 1000 vor der Unwettersituation am 12.07.2021. Quelle: DWD, Agrarmeteorologie

Neben der Wettersituation ist bei der Entstehung von Hochwassersituationen auch die momentane Bodenfeuchtesituation von Bedeutung. Denn der Boden kann einen Teil des Niederschlags speichern und zurückhalten. Dies funktioniert aber nur, wenn der Boden nicht zu feucht und nicht zu trocken ist. Die drei Wochen vor dem Hochwasserereignis waren in ganz Deutschland von wiederkehrenden Niederschlagsereignissen geprägt, die die Böden regional bereits gut gefüllt haben (Abb. 2). Während in Rheinland-Pfalz und in Südwestfalen die Böden regional kaum noch Wasser aufnehmen konnten (teils weniger als 10 mm freier Bodenwasserspeicher), waren die Böden im Südwesten von Nordrhein-Westfalen noch bedingt aufnahmefähig (über 75 mm freier Bodenwasserspeicher). Ähnlich viel freier Speicher stand in Ostsachsen und Südostbayern zur Verfügung. Hinzu kommt, dass sehr intensiver Niederschlag meist nicht oder nur im geringen Maße von den Böden aufgenommen werden kann und somit direkt an der Oberfläche abfließt. Auch Talsperren übernehmen eine wichtige Funktion im Hochwasserschutz, da sie ebenfalls Wasser zurückhalten können. Laut einer Mitteilung des Wupperverbandes senkten Talsperren-Betriebe auf Grund der Vorwarnungen des DWD bereits ab dem 12.07.21 die Wasserpegel vorsorglich ab [14].

Zeitlicher und Regionaler Verlauf

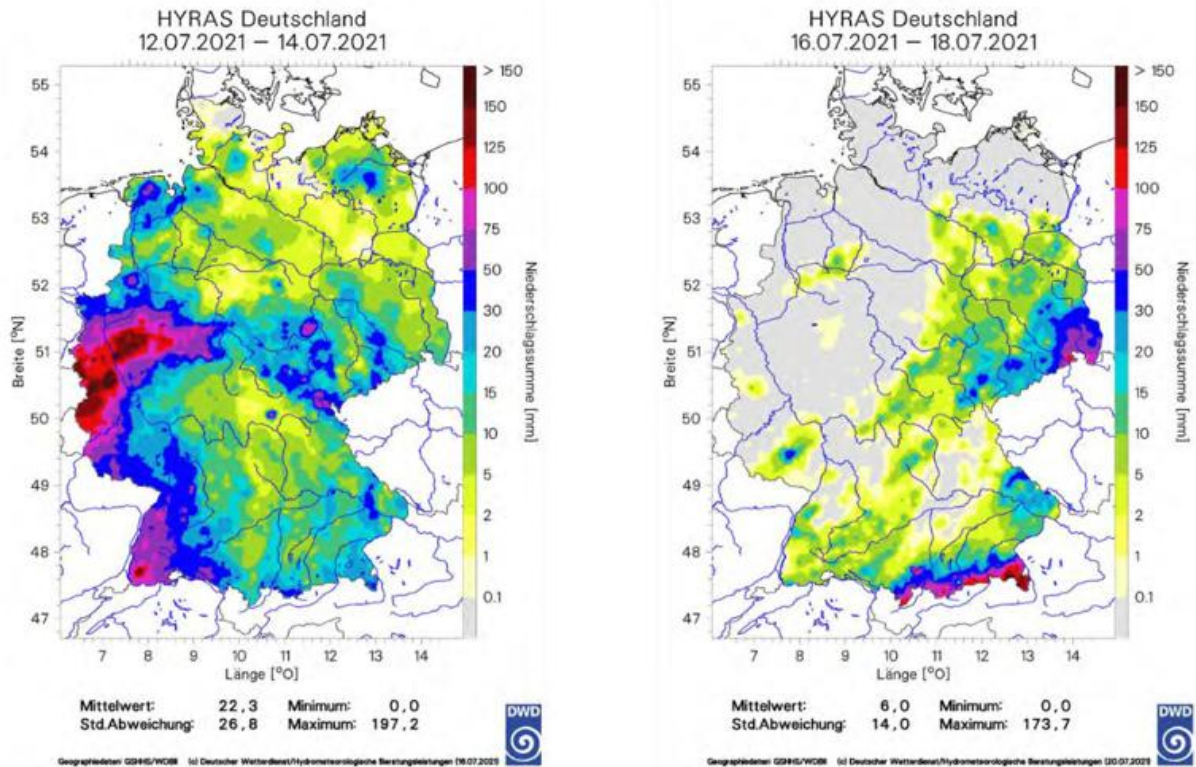


Abb. 3: Niederschlagsanalyse auf Basis von Hydrometeorologischen Rasterdaten (HYRAS), für die Dauerstufe 72 Std. bis zum 15.07.2021 08:00 Uhr MESZ (links) bzw. bis zum 19.07.2021 08:00 Uhr MESZ (rechts). Quelle: DWD, Hydrometeorologie

Zunächst waren ab dem 12.07.21 Baden-Württemberg (bis über 50 l/m² in 24 Std.), aber auch Teile von Hessen, Rheinland-Pfalz, dem Saarland und Nordrhein-Westfalen (bis über 20 l/m² in 24 Std.) betroffen (Abb. 1). Im Laufe der Zeit verlagerte sich der Kern des Tiefdruckgebietes nur langsam von Südwesteuropa weiter in Richtung Deutschland.

Am 13.07. lag die Niederschlagstätigkeit vor allem in der Mitte Deutschlands (Abb. 1). Zum Beispiel fielen im Erzgebirge (Region Marienberg) laut Radarmessung bis 87 l/m² in 2 Stunden (Tab. 2). Im Hofer Land (Oberfranken) fielen in Selbitz laut Radarmessungen 43 l/m² in nur 30 Minuten. In Querfurt (Saalekreis) wurden 66 l/m² in nur 2 Stunden an der Station Mühle-Lodersleben registriert. Aber auch die nördlichen Teile von Hessen (Kreis Waldeck-Frankenberg) und vor allem das Ruhrgebiet und Südwestfalen waren stark betroffen. Die Städte Solingen und Hagen, sowie Wuppertal waren stark von großen Überschwemmungen betroffen. In Hagen wurden an einer Station des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV) mehr als 241 l/m² Niederschlag in nur 22 Stunden gemessen [13].

Beginnend am 14.07.21 und bis in die Morgenstunden des 15.07.21 kam es dann zu ergiebigem Dauerregen, der lokal immer wieder durch Regenschauer verstärkt wurde. Der Schwerpunkt der Niederschlagstätigkeit erstreckte sich in einem Gebiet von Dortmund über Köln, Euskirchen, Gerolstein, Bitburg bis hin nach Trier (Abb. 3). Hier wurden weitflächig mehr als 100 l/m² Niederschlag in 72 Stunden registriert. Regional fielen sogar über 150 l/m² Niederschlag in 24 Stunden (siehe Tab. 2 und Tab. 3).

Durch den großflächigen und anhaltenden Starkniederschlag wurden große Teile von Flusseinzugsgebieten beregnet. Das Wasser sammelte sich und wurde teils in den engen Flusstälern kanalisiert. Die enormen Regenmengen, aber vor allem auch die orographischen Gegebenheiten und die gesättigten Böden führten zu einer Potenzierung der Schadenswirkung. Besonders das Ahrtal war von dieser Situation betroffen. Binnen kurzer Zeit entstanden hohe Personen- und Sachschäden. Alleine in diesem Landkreis sind über 110 Menschenleben zu beklagen. In Bad Neuenahr-Ahrweiler, Sinzig und Schuld wurden viele Häuser komplett zerstört und es gab verheerende Schäden an der Infrastruktur. Im Ahrtal wurden sämtliche Bahnbrücken zerstört, Straßen und Schienen weggespült. Die Strom- und Trinkwasserversorgung sowie Kommunikationsmittel fielen aus. Im Kreis Euskirchen mussten mehrere Orte evakuiert werden, weil der Damm der Steinbachtalsperre zu brechen drohte.

Ebenfalls betroffen waren Städte und Gemeinden an den Flüssen Erft, Swist und Rur.

In Köln, Leverkusen, Düsseldorf und längs der westfälischen Ruhr kam es ebenfalls nach den ergiebigen und andauernden Niederschlägen zu Personenschäden, zahlreiche Keller und Straßen wurden überflutet und teilweise mussten flussnahe Wohngebiete evakuiert werden.

Die Talsperren der betroffenen Region konnten einen Teil des Niederschlages eine Zeit lang zurückhalten. Da aber der Zufluss aus den Einzugsgebieten den Ablauf um ein Vielfaches überstieg, liefen einige von ihnen über [14].

Mit dem Abzug von Tief „Bernd“ in Richtung Südosteuropa kam es noch einmal vom 15.07.21 bis 19.07.21 zu anhaltenden bzw. wiederkehrenden Starkniederschlägen in Ostsachsen und Südbayern (Abb. 3). Erneut verstärkte die Orographie (Erzgebirge, Lausitzer Gebirge, Alpen) die Niederschlagstätigkeit durch Staueffekte. In Sachsen kam es in den kleinen Oberläufen und engen Tallagen teils zu Sturzfluten und die Flüsse Sebnitz, Polenz und Wesnitz, sowie die Lausitzer Neiße führten kurze Zeit große Hochwässer.

Im Süden Bayerns, insbesondere im Berchtesgadener Land, sorgten vor allem Starkniederschläge mit kurzen Andauerstufen (Dauerstufe D = 1 bis 3 Std.) für das schnelle Anschwellen von kleinen Gebirgsbächen. Damit verbunden waren auch kleinere Sturzfluten und Erdrutsche, die lokal zu erheblichen Schäden führten.

Einzugs- gebiet	12.07.21		13.07.21		14.07.21		3-Tage- Summe	Referenz (1991-2020) Monat Juli
	Mittel	Max	Mittel	Max	Mittel	Max		
Agger	9,2	18,7	14,7	39,9	82,5	124,4	106,4	100,6
Ahr	8,7	13,0	12,1	23,5	94,5	147,5	115,3	69,4
Emscher	1,1	3,3	20,9	31,2	45,6	83,8	67,6	82,5
Erft	11,9	26,3	23,8	56,8	93,8	169,1	129,5	67,9
Kyll	4,0	15,8	17,8	33,8	103,7	145,7	125,5	73,1
Lippe	0,7	4,0	15,0	50,1	29,1	88,8	44,8	84,1
Mosel	5,2	17,7	18,8	52,3	50,9	145,7	74,9	71,6
Prüm	2,6	12,4	25,5	35,0	97,5	124,3	125,6	74,5
Ruhr	3,7	18,7	34,5	76,1	62,2	121,4	100,4	96,4
Rur	3,2	13,4	36,0	66,8	82,8	154,1	122,0	74,4
Sieg	10,9	24,0	8,2	39,9	47,3	124,4	66,4	93,7
Wupper	2,9	9,6	35,4	66,9	105,4	151,4	143,7	100,7

Tab. 1: Mittlere und Maximale Niederschläge pro Tag bzw. über 3 Tage je Flusseinzugsgebiet in l/m², sowie die mittlere Summe für den Juli (Referenzzeitraum 1991-2020) auf Basis von HYRAS. Quelle DWD, HM.

Messung	Datum/ Uhrzeit (MESZ)	Ort/ Region	Niederschlags- höhe	Wiederkehr- intervall [a]
Station	13.07.21 08:00	Malsburg-Marzell (BW)	57,1 l/m ² / 12 h	3 a
Station	13.07.21 13:00	Malsburg-Marzell (BW)	80,1 l/m ² / 24 h	6 a
Station	15.07.21 20:00	Malsburg-Marzell (BW)	171,8 l/m ² / 72 h	54 a
Station	14.07.21 08:00	Marienberg-Reitzenhain (SN)	49,3 l/m ² / 24 h	1 a
Radar	13.07.21 21:00	Region Marienberg (SN)	87,5 l/m ² / 2 h	>100 a
Station	13.07.21 22:00	Hof (BY)	60,1 l/m ² / 2 h	>100 a
Station	13.07.21 22:00	Hof (BY)	83,8 l/m ² / 6 h	>100 a
Radar	13.07.21 16:25	Selbitz (BY)	43,3 l/m ² / 30 min	>100 a
Station	14.07.21 04:00	Querfurt-Mühle Lodersleben (ST)	66,1 l/m ² / 2 h	>100 a
Station	14.07.21 05:00	Querfurt-Mühle Lodersleben (ST)	80,1 l/m ² / 6 h	>100 a
Station	14.07.21 01:00	Hagen-Holthausen (LANUV, NW) [13]	66,0 l/m ² in 1 h	>100 a
Station	14.07.21 20:00	Hagen-Holthausen (LANUV, NW) [13]	241,3 l/m ² in 22h	>100 a
Station	14.07.21 22:00	Wipperfurth-Gardeweg (NW)	74,1 l/m ² in 6 h	76 a
Station	14.07.21 22:00	Wipperfurth-Gardeweg (NW)	132,0 l/m ² in 12h	>100 a
Station	14.07.21 22:00	Wipperfurth-Gardeweg (NW)	162,4 l/m ² in 24h	>100 a
Station	14.07.21 22:00	Wipperfurth-Gardeweg (NW)	167,9 l/m ² in 48h	>100 a
Station	14.07.21 22:00	Köln-Stammheim (NW)	84,6 l/m ² in 6 h	>100 a
Station	14.07.21 22:00	Köln-Stammheim (NW)	144,6 l/m ² in 12h	>100 a
Station	14.07.21 22:00	Köln-Stammheim (NW)	159,8 l/m ² in 24h	>100 a
Station	14.07.21 22:00	Köln-Stammheim (NW)	169,5 l/m ² in 48h	>100 a
Station	14.07.21 22:00	Wuppertal-Buchenhofen (NW)	78,4 l/m ² in 6 h	>100 a
Station	14.07.21 22:00	Wuppertal-Buchenhofen (NW)	89,5 l/m ² in 12 h	>100 a
Station	14.07.21 22:00	Wuppertal-Buchenhofen (NW)	151,0 l/m ² in 24h	>100 a
Station	14.07.21 22:00	Wuppertal-Buchenhofen (NW)	155,2 l/m ² in 48h	>100 a
Station	14.07.21 22:00	Dahlem-Schmidtheim (NW)	79,1 l/m ² in 6 h	>100 a
Station	14.07.21 22:00	Dahlem-Schmidtheim (NW)	108,6 l/m ² in 12h	>100 a
Station	15.07.21 06:00	Dahlem-Schmidtheim (NW)	129,3 l/m ² in 24h	>100 a
Station	15.07.21 02:00	Dahlem-Schmidtheim (NW)	137,3 l/m ² in 48h	>100 a

Tab. 2: Messwerte von Stationen und Wetterradar für ausgewählte Orte und Zeitpunkte, sowie deren Wiederkehrzeiten nach KOSTRA-DWD-2010R für die Niederschläge vom 12. bis 19.07.2021 in Deutschland. Quellen: DWD und LANUV NRW (Station Hagen-Holthausen) [13].

Messung	Datum/ Uhrzeit (MESZ)	Ort/ Region	Niederschlags- höhe	Wiederkehr- intervall [a]
Station	14.07.21 22:00	Kall-Sistig (NW)	88,5 l/m ² in 6 h	>100 a
Station	14.07.21 22:00	Kall-Sistig (NW)	111,0 l/m ² in 12h	>100 a
Station	14.07.21 22:00	Kall-Sistig (NW)	152,4 l/m ² in 24h	>100 a
Station	14.07.21 23:00	Kall-Sistig (NW)	165,7 l/m ² in 48h	>100 a
Station	14.07.21 22:00	Schneifelforsthaus (LfU, RP)	72,6 l/m ² in 6 h	>100 a
Station	14.07.21 22:00	Schneifelforsthaus (LfU, RP)	113,1 l/m ² in 12 h	>100 a
Station	15.07.21 01:00	Schneifelforsthaus (LfU, RP)	124,9 l/m ² in 24 h	>100 a
Station	15.07.21 21:00	Schneifelforsthaus (LfU, RP)	139,2 l/m ² in 48 h	>100 a
Station	15.07.21 00:00	Trier (RP)	63,9 l/m ² / 12 h	70 a
Station	15.07.21 00:00	Trier (RP)	91,1 l/m ² / 48 h	>100 a
Station	17.07.21 19:00	Lichtenhain-Mittelndorf (SN)	77,5 l/m ² in 6 h	59 a
Station	17.07.21 18:00	Lichtenhain-Mittelndorf (SN)	79,4 l/m ² in 12 h	25 a
Station	17.07.21 19:00	Lichtenhain-Mittelndorf (SN)	111,7 l/m ² in 24 h	72 a
Station	17.07.21 22:00	Bertsdorf-Hörnitz (SN)	38,4 l/m ² in 6 h	4 a
Station	17.07.21 22:00	Bertsdorf-Hörnitz (SN)	54,9 l/m ² in 12 h	8 a
Station	17.07.21 22:00	Bertsdorf-Hörnitz (SN)	92,5 l/m ² in 24 h	56 a
Station	17.07.21 22:00	Bertsdorf-Hörnitz (SN)	95,1 l/m ² in 48 h	13 a
Station	17.07.21 21:00	Berchtesgaden (BY)	45,5 l/m ² in 1 h	16 a
Station	17.07.21 21:00	Berchtesgaden (BY)	59,1 l/m ² in 2 h	23 a
Station	17.07.21 21:00	Berchtesgaden (BY)	67,5 l/m ² in 3 h	25 a
Station	18.07.21 13:00	Berchtesgaden (BY)	99,3 l/m ² in 24 h	8 a
Station	18.07.21 22:00	Berchtesgaden (BY)	120,5 l/m ² in 48 h	5 a
Station	19.07.21 08:00	Bischofswiesen-Winkl (BY)	150,7 l/m ² in 48 h	15 a
Radar	18.07.21 22:00	Raum Berchtesgaden	156,1 l/m ² in 48 h	18 a
Station	18.07.21 21:00	Ramsau-Schwarzeck- Schmuck (BY)	48,4 l/m ² in 6 h	2 a
Station	18.07.21 13:00	Ramsau-Schwarzeck- Schmuck (BY)	92,9 l/m ² in 24 h	2 a
Station	18.07.21 23:00	Ramsau-Schwarzeck- Schmuck (BY)	122,7 l/m ² in 48 h	8 a

Tab. 3: Fortsetzung von Tabelle 1.

Klimatologische Einordnung

Im Ereigniszeitraum traten Starkniederschläge verschiedener Andauer auf. Zu Beginn spielten kurze extreme Regenschauer eine Rolle (Dauerstufe D = 1 bis 6 Std.). Danach kam es zu einer Mischung von wiederkehrenden (mit Regenspausen) und anhaltenden Ereignissen (ohne Regenspausen). Beide Typen führten zu hohen Niederschlagssummen in den mittleren bis langen Andauerstufen (D = 9 bis 48 Std.). Die meisten Ereignisse in der ersten Phase (Mittel- und Westdeutschland) konnten mindestens als Jahrhundertereignis (Wiederkehrintervall $T \geq 100$ Jahre) eingestuft werden (siehe Tab. 2 und Tab. 3, sowie Abb. 4). In vielen Teilen wurde diese Marke sehr deutlich überschritten. Bei den Ereignissen der zweiten Phase (Sachsen, Südbayern) war dies eher nicht der Fall.

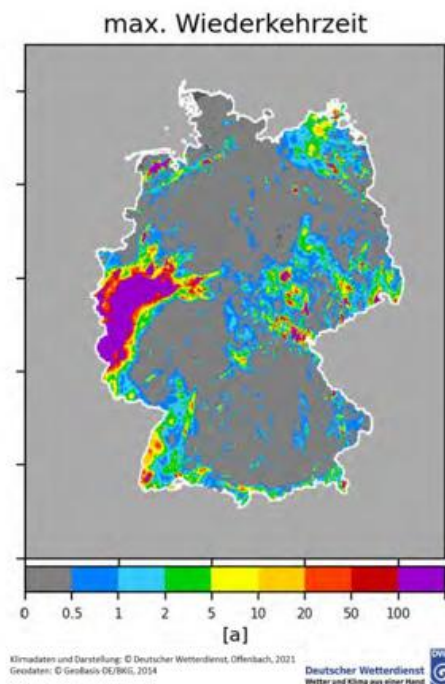


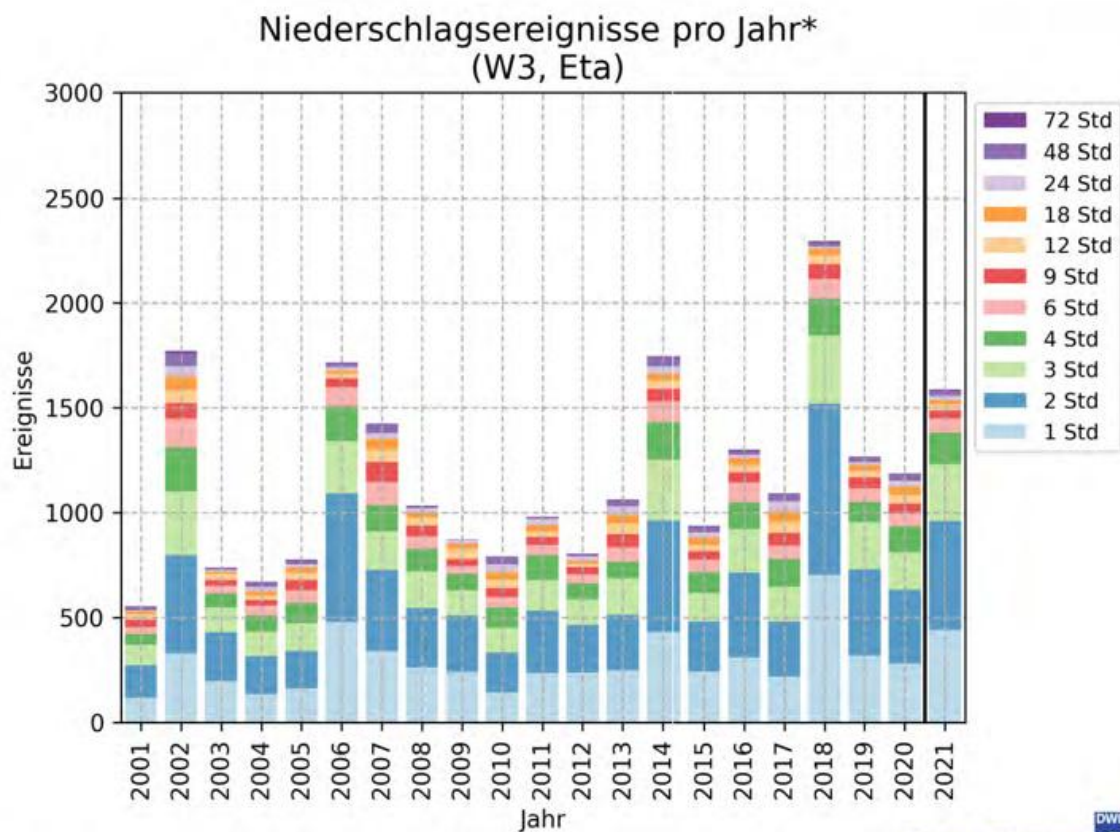
Abb. 4: Maximale Wiederkehrzeit in Jahren über alle Dauerstufen von D = 1 Std. bis D = 72 Std. auf Basis von Radardaten (RADOLAN) im Ereigniszeitraum 12.07.21 05:50 UTC (07:50 MESZ) bis 19.07.21 05:50 UTC (08:00 MESZ). Quelle: DWD, Hydrometeorologie

Auch wenn keine deutschlandweiten Allzeit-Rekorde eingestellt wurden (vgl. Tab. 4), ist zu bemerken, dass an einer ungewöhnlich großen Zahl von Stationen im Westen bisherige Rekorde weit übertroffen wurden. Innerhalb weniger Stunden oder Tage wurde im Mittel über ganze Flusseinzugsgebiete das 1,5 bis 2,0-fache des mittleren Niederschlages im Juli bezogen auf die Referenzperiode 1991-2020 erreicht (vgl. Tab. 1).

Menge	Ort	Dauer	Datum
126 mm	bei Füßen (Ostallgäu)	8 Min.	25.05.1920
245 mm	Münster (Nordrhein-Westfalen)	2 Std.	28.07.2014
354 mm	Zinnwald-Georgenfeld (Osterzgebirge)	24 Std.	12./13.08.2002
515 mm	Schneizlreuth-Weißbach (Berchtesgaden Land)	7 Tage	7.-14.09.1899
779 mm	Stein (Kreis Rosenheim)	1 Monat	Juli 1954

Tab. 4: Höchste bisher gemessene Niederschlagssummen seit Beginn der Wetteraufzeichnung in Deutschland. Quelle: DWD, Hydrometeorologie

Die aufgetretenen Starkniederschläge ordnen sich in eine Serie von Ereignissen ein, die schon seit Mai 2021 anhält. Bereits jetzt rangiert das Jahr 2021 unter den Top 5 der Jahre mit den meisten aufgetretenen Einzelereignissen seit 2001 (siehe Abb. 5). Die meisten und intensivsten Starkniederschläge treten in der Regel in Deutschland zwischen Mai und September auf. Es ist also davon auszugehen, dass noch weitere Ereignisse in 2021 hinzukommen werden. Grundsätzlich kann Starkniederschlag an jedem Ort in Deutschland auftreten. Es gibt jedoch eine Tendenz, dass Extremereignisse mit steigender Dauerstufe vermehrt in den Mittel- und Hochgebirgsregionen auftreten.



* Daten (c) DWD, bis 19.07.2021 05:50 UTC

Abb. 5: Anzahl mittels Radar erfasster Starkregenereignisse pro Jahr seit 2001 aus klimatologisch aufbereiteten Radardaten. Als Schwellenwert wurden die Warnkriterien Level 3 (Unwetter) für Stark- bzw. Dauerregen genutzt. Für das Jahr 2021 wurden archivierte Echtzeit-Radardaten bis zum 19.07.2021 05:50 UTC (07:50 MESZ) berücksichtigt. Quelle: DWD, Hydrometeorologie.

Insbesondere während der letzten Jahrzehnte war weltweit und in Deutschland ein Temperaturanstieg zu beobachten [2], der nur durch den Anstieg der atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen erklärbar ist. Es stellt sich daher die Frage, wie sich dieser Klimawandel regional auf die Häufigkeit und Intensität von Starkregenereignissen auswirkt.

Analysen der letzten 70 Jahre auf Basis von Tagesdaten zeigen, dass die Intensität und die Häufigkeit von Starkniederschlagstagen (in [4] definiert als $>20 \text{ l/m}^2$ pro Tag) in Deutschland geringfügig zugenommen haben. Die stärksten Änderungssignale zeigen sich für den Winter. Im Sommer gibt es noch kein klares Bild. Dies liegt vermutlich daran, dass hier zwei Effekte gegenläufig sind. Die Anzahl der Tage mit Niederschlag nimmt eher ab, während sich der Niederschlag selbst an den verbliebenen Tagen intensiviert [4].

Auf Basis von Klimaprojektionen kann abgeschätzt werden, dass sich diese Tendenz fortsetzt. Die Niederschlagsmengen an Starkniederschlagstagen im Sommer werden wahrscheinlich weiter steigen. Auch die maximalen 1-Tages- und 5-Tagesniederschlagssummen sollen zunehmen. Für subtägliche Andauern ($D < 24$ Std.) gibt es derzeit nur wenige Mess- und Modelldaten für Deutschland. Aber auch hier zeichnet sich in Modelldaten eine Tendenz zur Zunahme der Häufigkeit und Intensität von Starkniederschlägen in der Zukunft ab [4].

Ein Grund, warum bei steigenden Temperaturen eine Zunahme von Starkniederschlägen erwartet werden kann, liegt im steigenden Aufnahmevermögen der Luft von Wasserdampf mit steigender Temperatur (Anstieg Sättigungsdampfdruck, Clausius-Clapeyron-Beziehung) [1]. Weiterhin verdunstet über wärmeren Meeresoberflächen mehr Wasser, wodurch sich ein Potential für diese zusätzliche Feuchtigkeitsaufnahme der Luft ergibt.

Neben diesem Zusammenhang können aber auch Änderungen der Zirkulationsmuster in der Atmosphäre eine wichtige Rolle spielen. So stellt sich zum Beispiel die Frage, ob im Rahmen des Klimawandels eine Veränderung in der Verweildauer einzelner Wetterlagen festzustellen ist. Eine Auswertung zum Wissensstand über sogenannte blockierende Wetterlagen [15] kommt allerdings zu keiner eindeutigen Bewertung bezüglich entsprechender Trends und zur Schlussfolgerung, dass die natürliche Variabilität in den nächsten Jahrzehnten dominieren wird. Weiterhin haben sich verschiedene Studien der Frage gewidmet, ob der stärkere Temperaturanstieg in der Arktis zu verändertem Verhalten der Wetterlagen führen kann. Dabei ist die Annahme, dass die veränderten Temperaturunterschiede zwischen hohen und mittleren Breitengraden Auswirkungen auf die Eigenschaften des um den Nordpol verlaufenden Starkwindbands („Jetstream“) haben und über diesen Mechanismus auch die Persistenz von Wetterlagen in den mittleren Breiten beeinflusst wird. Auch hier kommen allerdings Bestandsaufnahmen der vorhandenen Studien nicht zu einer eindeutigen Schlussfolgerung [16, 17].

Allgemein sind extreme Einzelereignisse zunächst kein direkter Beleg für den Klimawandel. Nur langjährige Beobachtungen können zeigen, ob die Häufigkeit bestimmter Ereignisse zugenommen hat oder nicht. Gerade bei extremen Ereignissen, die also nur selten vorkommen, ist es besonders wichtig, einen sehr langen Zeitraum zur betrachten. Ob der Klimawandel nun ein bestimmtes Unwetterereignis verstärkt hat, kann nicht ohne weiteres oder gar pauschal beantwortet werden. Zwar konnte bereits mittels Attributionsforschung für ausgewählte Extremereignisse (z. B. Hitzewellen) gezeigt werden, dass durch den Klimawandel die Eintrittswahrscheinlichkeit erhöht wurde; dies bedarf aber im Einzelfall umfangreicher Untersuchungen [5]. Für den Parameter Niederschlag zeigt eine kürzlich veröffentlichte Studie zu täglichen Maxima des Niederschlags auf globaler Ebene, dass die Intensivierung von Starkniederschlägen, zum Beispiel in Mitteleuropa, zumindest teilweise durch den anthropogenen Klimawandel verstärkt wurde [3]. Eine Attributionsstudie zum aktuellen Ereignis wird derzeit durch das World Weather Attribution Project vorbereitet [18].

Situation in benachbarten Ländern

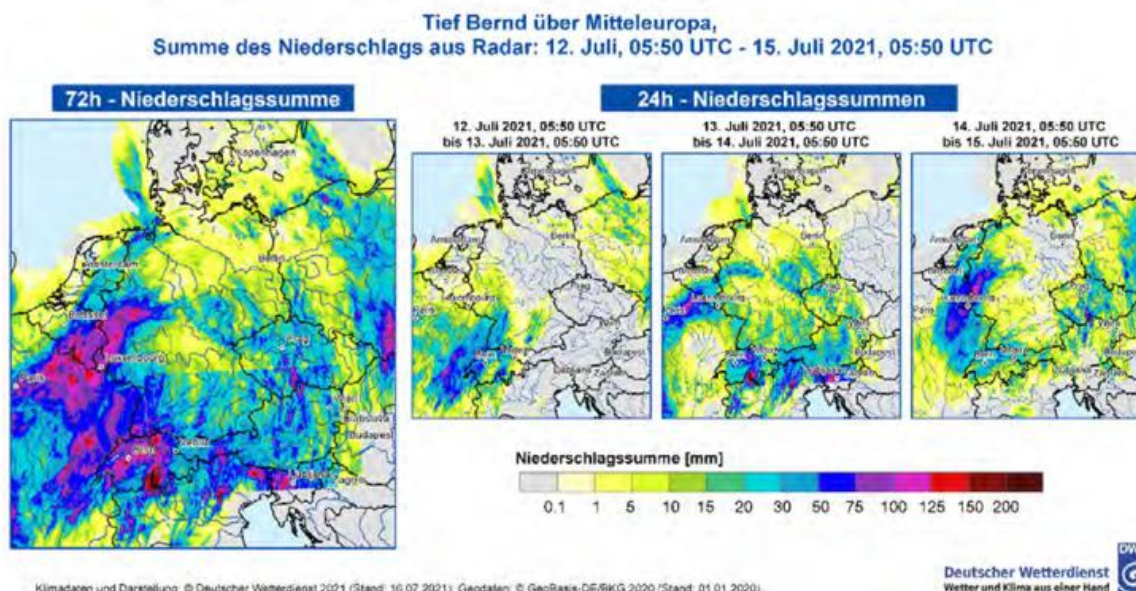


Abb. 6: Niederschlagsanalyse auf Basis von RADOLAN für Mitteleuropa für die Dauerstufe 24 Std. bzw. 72 Std. bis zum 15.07.2021 05:50 UTC (07:50 Uhr MESZ). Quelle: DWD, Hydrometeorologie.

Außer Deutschland waren auch unsere Nachbarländer zum Teil sehr stark vom Unwetter betroffen. Das Hauptniederschlagsgebiet setzte sich vom Westen Deutschlands noch weiter in die Benelux-Länder, nach Frankreich und in die Schweiz fort (Abb. 6), später auch weiter südostwärts bis zum Balkan. Einen weiteren Schwerpunkt gab es aber auch im östlichen Mitteleuropa, besonders über Polen (Abb. 7). Insgesamt kann ein Gebiet von Frankreich bis Polen deutlich abgegrenzt werden, wo die Wochenniederschläge flächendeckend mehr als doppelt so hoch, teilweise mehr als viermal so hoch waren wie im klimatologischen Mittel. Starkniederschläge traten lokal meist im Zusammenhang mit Gewittern auf, darunter gab es auch ausgeprägte Multi- und Superzellengewitter. Darüber hinaus gab es in Großbritannien lediglich lokale Starkniederschläge.

Aus den einzelnen Ländern liegen folgende Informationen vor:

Großbritannien:

In Großbritannien ereigneten sich einige isolierte Starkregenfälle, insbesondere in London, wo am 12.07.21 über 54 l/m² in einer Stunde gemessen wurden. Sturzfluten setzten Straßen in London unter Wasser, auch der öffentliche Nahverkehr war stark beeinträchtigt [12].

Niederlande:

In der Region Limburg ereigneten sich Überschwemmungen in Gebäuden und auf Straßen. Auch Teile der Autobahn A79 waren unter Wasser. Militär wurde zur Evakuierung von Hochwassergeschädigten eingesetzt. An den beiden Tagen 13. Und 14.07.21 zusammen sind in Limburg an einigen Stellen mehr als 150 l/m² gefallen. Das ist mehr als das Doppelte der normalen Niederschlagsmenge im Juli [6], [12].

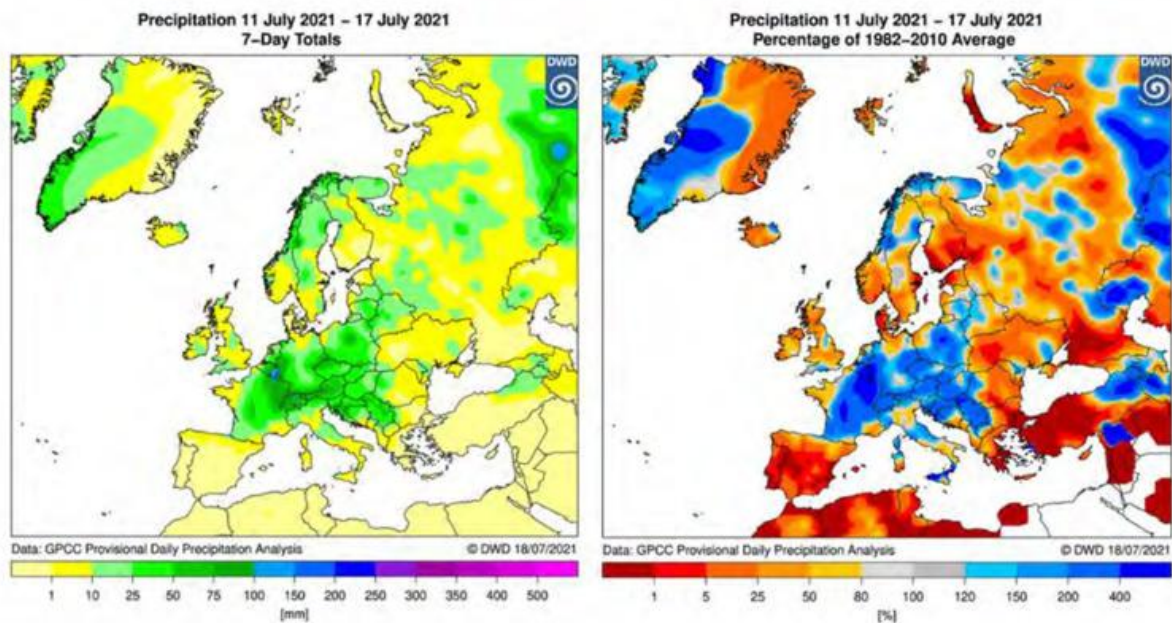


Abb. 7: Niederschlagswochensummen vom 11. bis 17.07.2021 in Europa absolut (links) und in Prozent vom Mittelwert 1982-2010 (rechts, für 1981 liegen nicht genug Tagesdaten vor) in der Woche des Unwetters. Die Auflösung des Datensatzes beträgt $1^\circ \times 1^\circ$. Quelle: DWD, Weltzentrum für Niederschlagsklimatologie (WZN).

Belgien:

Neben Deutschland war auch der Osten von Belgien stark von diesem Ereignis betroffen.

Nach Starkregen war am Morgen des 14.07.21 der Schienenverkehr in den Provinzen Namur und Lüttich unterbrochen. Auch hier gab es schwere Überflutungen, auf einigen Straßen stand das Wasser 2 Meter hoch. In Lüttich mussten ca. 2.000 Personen evakuiert werden. Insgesamt wurden aus Belgien mindestens 27 Todesopfer gemeldet. Die an Stationen gemessenen 48-stündigen Niederschlagsmengen erreichten bis $271,5 \text{ l/m}^2$ in Jalhay mit einer Wiederkehrzeit von mehr als 100 Jahren [7], [12].

Luxemburg:

An der Station Luxemburg-Findel wurde der Julirekord sowohl für die 12- als auch die 24-stündige Niederschlagssumme gebrochen mit $74,2$ bzw. $79,4 \text{ l/m}^2$ am 14. bzw. 15.07.21 [8], [12].

Frankreich:

Teile Frankreichs waren auch von Überschwemmungen betroffen, nachdem innerhalb von zwei Tagen Regenmengen fielen, die sonst üblicherweise innerhalb von zwei Monaten fallen. Innerhalb von drei Tagen (12. bis 15.07.21) fielen im Osten von Frankreich flächendeckend über 100 l/m^2 Niederschlag, örtlich über 150 l/m^2 . Hohe Niederschläge bis über 70 l/m^2 in 2,5 Stunden wurden insbesondere im Elsass gemessen [9], [12].

Schweiz:

Die Schweiz war in einigen Gegenden von intensiven Regenfällen betroffen mit Niederschlagssummen um 26 l/m^2 in 30 Minuten in den Kantonen Zürich und Aargau in der Nacht vom 12. zum 13.07.21, im Einzelfall sogar 27 l/m^2 in 10 Minuten an der Station Zürich-

Affoltern. Im ganzen Monat Juli fallen hier normalerweise 112 l/m^2 Regen. Somit fiel hier innerhalb von 10 Minuten ein Viertel des normalen Juli-Niederschlags. Schwere Sturmböen ließen Bäume umstürzen, Straßen waren blockiert, es gab Schäden an Gebäuden und Fahrzeugen. Für den Bahnverkehr waren mehrere Gebirgspässe und Tunnel gesperrt. Der Starkregen verursachte auch Erdbeben, da die gesättigten Böden kein Wasser mehr aufnehmen konnten. Einige Seen in der Schweiz hatten die höchste oder zweithöchste Hochwasserwarnstufe, allen voran der Vierwaldstätter See in der Zentralschweiz. Auch an der Alpensüdseite gab es heftige Niederschläge, im Tessin bis über 140 l/m^2 in 3 Stunden. Für den Zeitraum der ersten beiden Juliwochen (01. bis 14.07.21) wurden beachtliche Rekorde vermeldet. An der Station Sedrun im Vorderrheintal wurden knapp 300 l/m^2 in diesem Zeitraum gemessen – etwa das Doppelte des bisherigen Rekords in der 60-jährigen Messreihe [11], [12].

Italien:

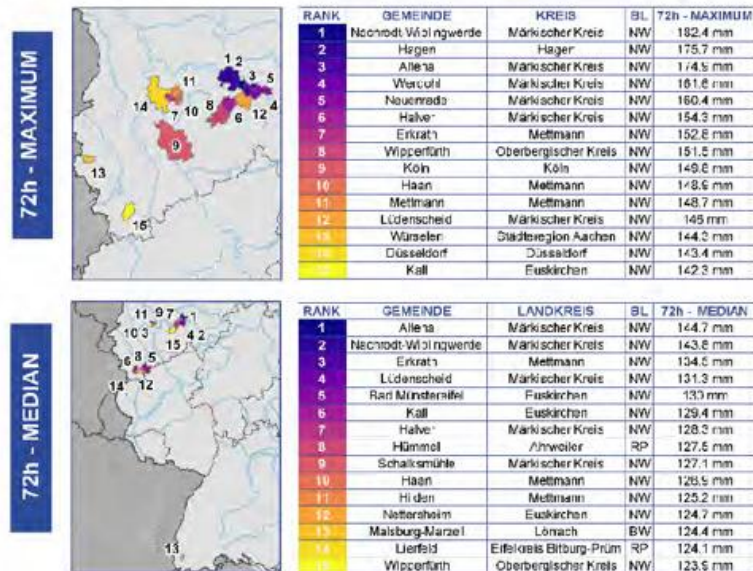
Der Tiefdruckkomplex breitete sich bis zum 13.07.21 auch nach Norditalien aus, wo sich im Bodendruckfeld ein neuer Tiefdruckkern ausbildete. Auch dort traten intensive Gewitter auf, insbesondere in der Lombardei, in Emilia-Romagna und im Piemont mit Hageldurchmessern bis zu 7 cm und Starkregen bis über 83 l/m^2 in 30 Minuten. Schwere Sturmböen ließen Bäume entwurzeln und deckten Dächer ab [12].

Österreich:

In Österreich gab es nach intensivem Regen einen größeren Erdbeben im Ötztal (Tirol). 5 Meter hohes Geröll blockierte die Ötztal-Bundesstraße. In Niederösterreich wurden Überflutungen von Straßen und Hagelkörner bis zu 8 cm Durchmesser beobachtet. Auch hier führten Sturmböen zu Schäden an Gebäuden und blockierten Straßen. In der Region Wien blieben nach Blitzeinschlägen etwa 3.000 Haushalte ohne Strom. Am 17.07.21 gab es weitere Erdbeben besonders in der Region Salzburg. An der Hohen Warte in Wien wurden am gleichen Tag 77 l/m^2 Niederschlag in 3 Stunden gemessen [12].

Ergänzendes Material

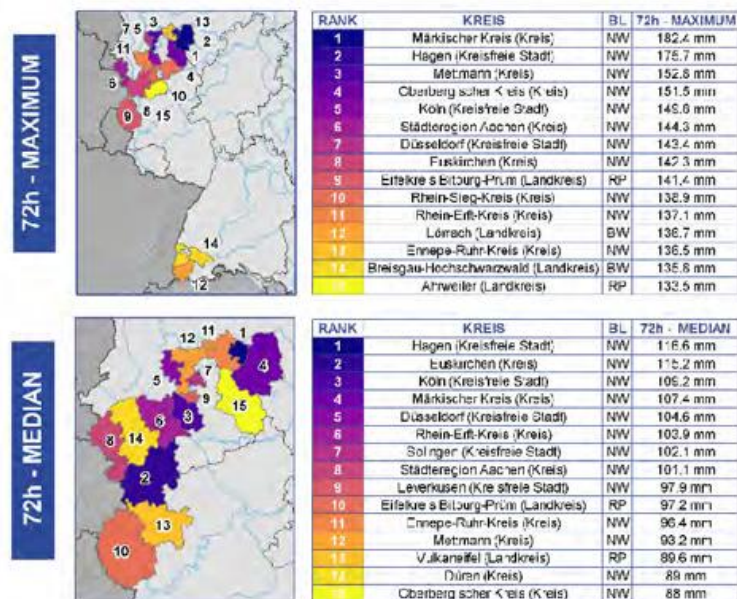
TOP 15 Gemeinden nach 72h - Summe des Niederschlags aus Radar:
12. Juli, 05:50 UTC - 15. Juli 2021, 05:50 UTC



Klimadaten und Darstellung: © Deutscher Wetterdienst (Stand 15.07.2021).
Geodaten: © GeoBasis-DE/BKG 2020 (Stand: 01.01.2020).

Abb. 8: Maxima und Zentralwerte (Median) des 72-Stunden-Niederschlags aus Radarmessung (RADOLAN) bis 15.07.2021 05:50 UTC (07:50 MESZ) bezogen auf Gemeindeflächen. Quelle: DWD, Hydrometeorologie.

TOP 15 Kreise nach 72h - Summe des Niederschlags aus Radar:
12. Juli, 05:50 UTC - 15. Juli 2021, 05:50 UTC



Klimadaten und Darstellung: © Deutscher Wetterdienst (Stand 15.07.2021).
Geodaten: © GeoBasis-DE/BKG 2020 (Stand: 01.01.2020).

Abb. 9: Maxima und Zentralwerte (Median) des 72-Stunden-Niederschlags aus Radarmessungen (RADOLAN) bis 15.07.2021 05:50 UTC (07:50 MESZ) bezogen auf Landkreisflächen. Quelle: DWD, Hydrometeorologie.

Quellen und weitere Informationen

- [1] Becker P., Becker A., Dalelane C., Deutschländer T., Junghänel T., und Walter A., 2016: Die Entwicklung von Starkniederschlägen in Deutschland. Plädoyer für eine differenzierte Betrachtung. [\[LINK\]](#)
- [2] Kaspar F, Friedrich K, Imbery F, 2020: 2019 global zweitwärmstes Jahr: Temperaturentwicklung in Deutschland im globalen Kontext. Bericht des Deutschen Wetterdienstes. [\[LINK\]](#)
- [3] Madakumbura G. D., Thackeray C. W., Norris J., Goldenson N. and Hall, A., 2021: Anthropogenic influence on extreme precipitation over global land areas seen in multiple observational datasets. *Nat Commun* 12, 3944, [\[DOI\]](#)
- [4] Rauthe M., Brendel C., Helms., Lohrengel A.-F., Meine L., Nilson E., Norpoth M., Rasquin C., Rudolph E., Schade N. H., Deutschländer T., Forbriger M., Fleischer C., Ganske A., Herrmann C., Kirsten J., Möller J., Seiffert R., 2020: Klimawirkungsanalyse des Bundesverkehrsnetzes im Kontext Hochwasser: Schlussbericht des Schwerpunktthemas Hochwassergefahren (SP-103) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertenetzwerks. [\[DOI\]](#)
- [5] van Oldenborgh G.J., van der Wiel K., Kew S. Philip S., Otto F., Vautard R., Andrew King A., Lott F., Arrighi J., Singh R., van Aalst M., 2021: Pathways and pitfalls in extreme event attribution. *Climatic Change*, 166, 13. [\[DOI\]](#)
- [6] Online-Angebot Königliches Niederländisches Meteorologisches Institut (KNMI) [\[LINK\]](#)
- [7] Online-Angebot Königliches Meteorologisches Institut von Belgien (KMI) [\[LINK\]](#)
- [8] Online-Angebot MeteoLux [\[LINK\]](#)
- [9] Online-Angebot Meteo France [\[LINK\]](#)
- [10] Online-Angebot Meteo Paris [\[LINK\]](#)
- [11] Online-Angebot Meteo Schweiz [\[LINK\]](#), [\[LINK\]](#), [\[LINK\]](#)
- [12] Online-Angebot European Severe Weather Data Base (ESWD) [\[LINK\]](#)
- [13] Online-Angebot Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz (LANUV) NRW [\[LINK\]](#)
- [14] Online Angebot Wupperverband [\[LINK\]](#), [\[LINK\]](#)
- [15] Woollings T., Barriopedro D., Methven J., Son S. W., Martius O., Harvey B., Sillmann J., Lupo A. R., Seneviratne S., 2018: Blocking and its response to climate change. *Current climate change reports*, 4(3), 287-300. [\[DOI\]](#)
- [16] Stendel, M., Francis, J., White, R., Williams, P. D., & Woollings, T., 2021: The jet stream and climate change. In *Climate Change* (pp. 327-357). Elsevier. [\[DOI\]](#)

[17] Cohen J., Screen J. A., Furtado J. C., Barlow M., Whittleston D., Coumou D., Francis J., Dethloff K., Entekhabi D., Overland J., Jones J., 2014: Recent Arctic amplification and extreme mid-latitude weather. *Nature geoscience*, 7(9), 627-637. [\[DOI\]](#)

[18] Online Angebot des World Weather Attribution Project [\[LINK\]](#), [\[LINK\]](#)

Hinweis: Die im Bericht aufgeführten Daten geben den Stand der Niederschrift wieder.