

Hydro-klimatologische Einordnung der Stark- und Dauerniederschläge in Teilen Deutschlands vom 19. Dezember 2023 bis 5. Januar 2024

Autoren: Frank Kaspar, Monika Rauthe, Christoph Brendel, Thomas Junghänel, Armin Rauthe-Schöch, Jennifer Ostermöller, Lisa Kunert, Markus Drüke, Thomas Deutschländer, Markus Ziese, Elke Rustemeier, Zora Schirmeister, Jan Nicolas Breidenbach, Magdalena Zepperitz (Abt. Hydrometeorologie), Jonas Schröter, Miriam Tivig, Philip Lorenz, René Sauerbrei, Frank Kreienkamp (Abt. Klima- und Umweltberatung), Peter Bissolli, Roderick van der Linden, Jan Daßler, Karsten Friedrich (Abt. Klimaüberwachung), Thomas Leppelt (Abt. Agrarmeteorologie), Thomas Kratzsch, Rolf Ullrich (Abt. Beratungs- und Warndienste)

Stand: 16.1.2024, aktualisiert 6.2.2024

Inhalt

Zusammenfassung	1
Abstract	2
Einleitung	3
Wetter- und Ausgangslage	3
Kurzbeschreibung des Warnmanagements	8
Mess- und Beobachtungsdaten	9
Klimatologische Einordnung	21
Blick auf Europa	30
Quellen und weitere Informationen	33
Anhang 1	35
Anhang 2	37

Zusammenfassung

Im nördlichen Teil Deutschlands traten im Zeitraum vom 19. Dezember 2023 bis 5. Januar 2024 ergiebige Niederschläge auf, die vor allem in den Bundesländern Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Sachsen-Anhalt in diesem Zeitraum das Doppelte und teils mehr der üblichen mittleren einmonatigen Niederschlagsmengen für Dezember und Januar (1991–2020) gebracht haben. Dies führte zu einer großräumigen Hochwasserlage im Bereich der

Flüsse Ems, Weser und Elbe mit ihren Nebenflüssen. Eine vorherrschende westliche Strömung brachte kontinuierlich Tiefdruckgebiete und feuchte Luftmassen vom Atlantik nach Mitteleuropa. Auswertungen der beobachteten Niederschlagsmengen zeigen, dass nur in wenigen Fällen lokale Allzeitrekorde auftraten. Das Ereignis zeichnete sich durch die Betroffenheit der relativ großen Region (Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt) und die lange Andauer von insgesamt 18 Tagen mit nur wenigen Regenunterbrechungen aus. Begünstigt wurde das Ereignis von den hohen Meeresoberflächentemperaturen im Nordatlantik, die in 2023 ein neues Rekordniveau erreicht haben. Eine Attributionsstudie liefert vorläufige Hinweise, dass der Klimawandel das Auftreten vergleichbarer Monatsmittelwerte für die betroffene Region wahrscheinlicher gemacht hat.

Dr. Frank Kaspar, Leiter der Abteilung Hydrometeorologie des Deutschen Wetterdienstes:
„Extremereignisse, wie die zurückliegenden intensiven Niederschläge finden eingebettet in einem fortschreitenden Klimawandel statt. Steigende Temperaturen der Meeresoberflächen, wie wir sie in 2023 auf Rekordniveau im Nordatlantik gesehen haben, führen zu einer Zunahme der Verdunstung. Unsere Beobachtungsdaten zeigen uns allgemein eine Zunahme der winterlichen Niederschlagsmengen in Deutschland. Die ergiebigen Niederschläge passen daher in unser Bild des Klimawandels, auch wenn sich das Ereignis nicht durch großräumige neue Niederschlagsrekorde ausgezeichnet hat. Eine Zunahme der winterlichen Niederschlagsmengen wird bei einer weiteren Zunahme der Treibhausgase auch auf Basis von Klimasimulationen erwartet.“

Abstract

In the northern part of Germany, heavy precipitation occurred in the period from 19 December 2023 to 5 January 2024, which brought double or more than the usual average monthly rainfall amounts for December and January (1991–2020), particularly in the federal states of Lower Saxony, North Rhine-Westphalia and Saxony-Anhalt during this period. This led to widespread flooding in the Ems, Weser and Elbe rivers and their tributaries. A prevailing westerly current continuously brought low-pressure systems and humid air masses from the Atlantic to Central Europe. Analyses of the observed precipitation amounts show that local all-time records only occurred in a few cases. The event was characterised by the relatively large region affected (North Rhine-Westphalia, Lower Saxony and Saxony-Anhalt) and the long duration of 18 days in total with only a few interruptions in the rain. The event was favoured by the high sea surface temperatures in the North Atlantic, which reached a new record level in 2023. An attribution study provides preliminary evidence that climate change has made the occurrence of comparable monthly averages more likely for the affected region.

Dr. Frank Kaspar, Head of the Hydrometeorology Department at DWD: *“Extreme events, such as the recent intense rainfall, are embedded in a progressive climate change. Rising sea surface temperatures, as we saw at record levels in the North Atlantic in 2023, are resulting in an increase in evaporation. Our observation data shows us a general increase in winter precipitation in Germany. The intense precipitation therefore fits into our picture of climate change, even if the event was not characterised by large-scale new precipitation records. An increase in winter precipitation is also expected on the basis of climate simulations if greenhouse gases continue to increase“.*

Einleitung

Im Zeitraum ab ca. 19. Dezember traten insbesondere im Norden Deutschlands anhaltende ergiebige Niederschläge auf, die durch eine Folge von Tiefdruckgebieten verursacht waren und zu einer großräumigen Hochwasserlage geführt haben. Betroffen waren vor allem die Flüsse Ems, Weser und Elbe mit ihren Nebenflüssen. In mehreren Orten waren Evakuierungen erforderlich [1]. Einzelne Talsperren füllten sich vollständig, sodass aus Sicherheitsgründen Wasser über Notüberläufe abgegeben werden musste [2]. Über einen Zeitraum von 14 Tagen war im Landkreis Mansfeld-Südharz der Katastrophenfall ausgerufen [3]. Für Niedersachsen schätzt das Ministerium für Inneres und Sport, dass an den Weihnachtstagen rund 100.000 Kräfte der Feuerwehr, des THW sowie der Katastrophenschutzorganisationen in rund 20.000 Einsätzen aktiv waren [4]. Die versicherten Schäden für Deutschland wurden auf unter 1 Mrd. Euro geschätzt [5].

Wetter- und Ausgangslage

Mitte Dezember dominierte das Hochdruckgebiet Fiona kurzzeitig das Wettergeschehen über Mitteleuropa. Es sorgte für ruhiges, nahezu niederschlagsfreies und teilweise auch sonniges Wetter in Deutschland. Ab dem 18. Dezember änderte sich die Großwetterlage, und eine Reihe von Tiefdruckgebieten führte zu zum Teil sehr ergiebigen Niederschlägen bis in die erste Januarwoche des neuen Jahres.

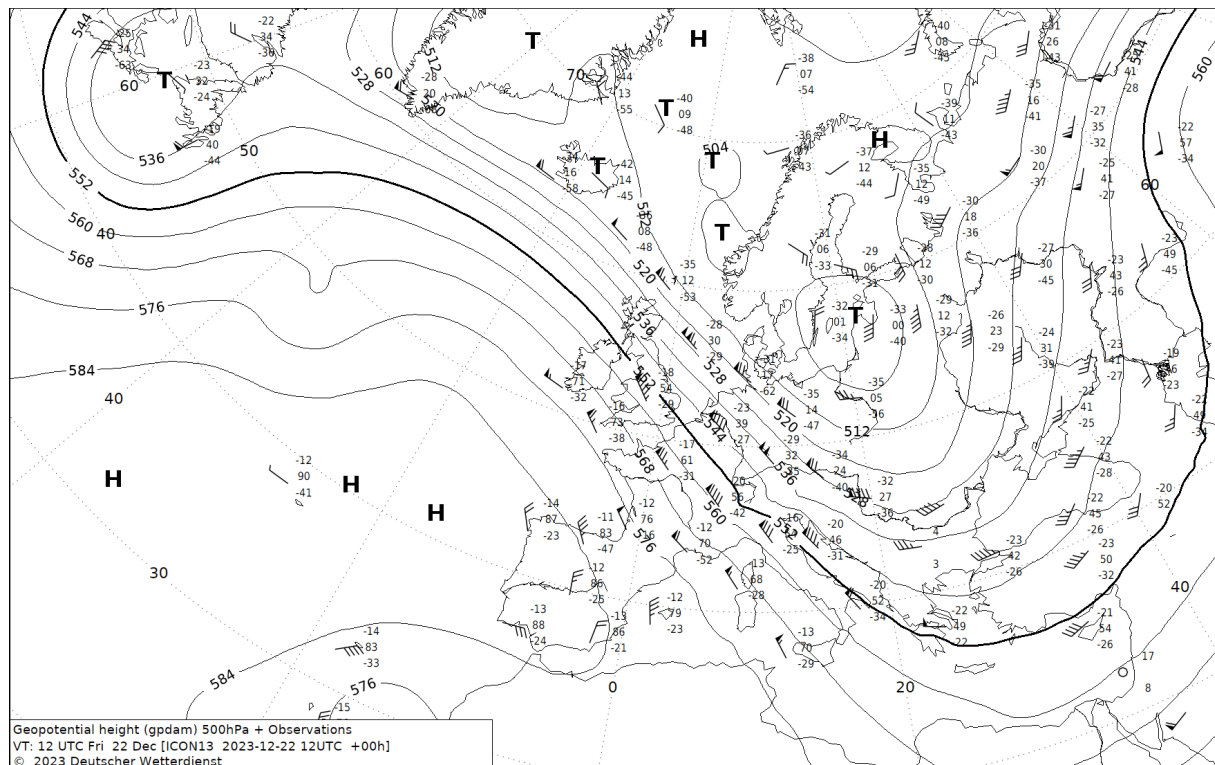


Abb. 1: Höhenwetterkarte (500-hPa-Flächen) mit Analysen aus dem ICON-Modell vom 22.12.2023 12 UTC (13:00 Uhr MEZ), Quelle: DWD, VBZ

Am 18. Dezember erreichten die Frontensysteme des Tiefs Xavi zunächst Norddeutschland und in der Nacht zum 20. Dezember auch die Südhälfte und brachten, nach zwei fast niederschlagsfreien Tagen, erste signifikante Niederschläge. In der weiteren Folge etablierte sich ein sehr ausgeprägter Jetstream entlang einer kräftigen Frontalzone von Neufundland bis nach Mitteleuropa, verursacht durch sehr tiefes Geopotential von Grönland über das Nordmeer bis nach Skandinavien und sehr hohes Geopotential nordöstlich der Azoren und einem rekordverdächtigen Hochdruckgebiet (Gusti) mit knapp 1055 hPa Bodendruck (**Abb. 1**). Darin eingebettet verlagerte sich ab 21. Dezember das Sturmtief Zoltan allmählich über Deutschland südwärts, das neben einer Sturmlage auch ergiebige, langanhaltende Niederschläge mit sich brachte.

Am 22. Dezember bildete sich in der weiterhin nordwestlichen Strömung eine Luftmassengrenze über Deutschland aus, deren Warmfront, die an die Ausläufer des zu diesem Zeitpunkt noch südlich von Grönland liegenden Tiefs Abdul gekoppelt war, nur zögernd nach Osten vorankam und in der Nacht zum 23. Dezember quasistationär wurde bzw. sich wieder ein wenig nach Westen bewegte, ehe sie am Nachmittag bzw. Abend des 23. Dezembers nach Osten durchzog (**Abb. 2**). Dabei wurden entlang der Luftmassengrenze mehrere flache Frontalwellen südostwärts geführt, die zur Intensivierung der Niederschläge führten, wobei auf der kalten Seite der Luftmassengrenze z. T. bis in die Niederungen Schnee fiel. Niederschlagsschwerpunkte waren am 22. Dezember die Mitte und der Süden Deutschlands und hier vor allem das Sauerland, Erzgebirge, Schwarzwald, der Alpennordrand sowie der Bayerische Wald.

Am 23. Dezember lag der Niederschlagsschwerpunkt in einem breiten Streifen von den Ostfriesischen Inseln bis nach Ostbayern mit den ergiebigsten Niederschlagsmengen in Südniedersachsen, dem Thüringer Wald, Erzgebirge und Bayerischen Wald. Mit dem Durchzug der Warmfront nach Osten und der Verlagerung von Tief Abdul in Richtung Island drehte die nordwestliche Strömung ab dem 24. Dezember zunehmend auf westliche Richtung und die in die Westdrift eingebettete, sehr aktive Frontalzone mäandrierte bis einschließlich den 26. Dezember über Deutschland.

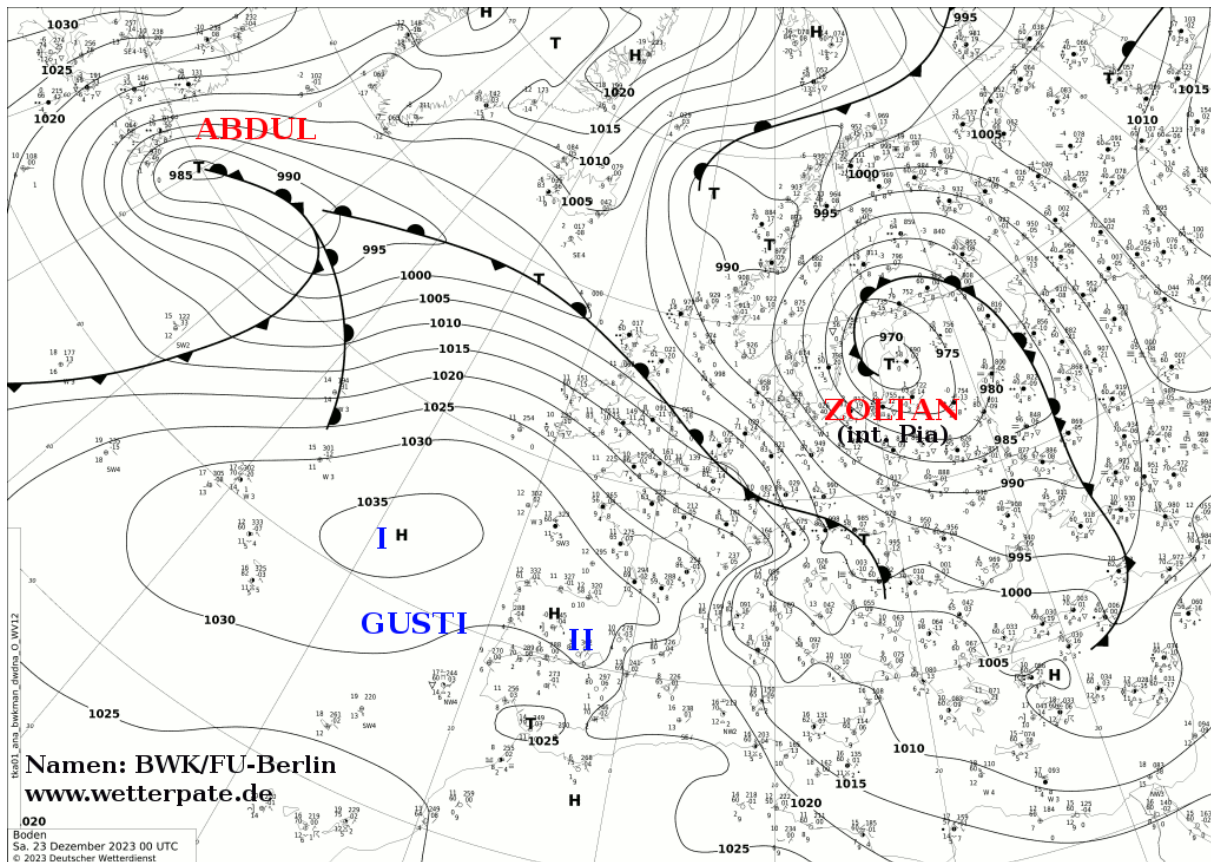


Abb. 2: Bodenwetterkarte mit Analyse vom 23.12.2023 00:00 UTC (01:00 Uhr MEZ), Quelle: <https://www.wetterpate.de>, Abruf: 8.1.2024

Entlang der Frontalzone kam es in der milden und feuchten Luft an Heiligabend und am 1. Weihnachtsfeiertag vor allem in der Mitte und dem Norden immer wieder zu intensiveren Niederschlägen.

Im Verlaufe des 26. Dezembers setzte sich insbesondere in der Südhälfte vorübergehend Zwischenhochdruckeinfluss durch. Dies hatte zur Folge, dass die Niederschlagsmengen im Vergleich zu den Vortagen deutlich zurückgingen, ehe sich jedoch bereits wieder ab dem 28. Dezember eine kräftige zonale Höhenströmung über Mitteleuropa etablierte. In der Folge verlagerte sich das Tiefdruckgebiet Bodo mit seinen Frontensystemen von Schottland nach Skandinavien und hauptsächlich in der Nordhälfte Deutschlands traten erneut größere Niederschlagsmengen auf.

Mit dem Abzug von Tief Bodo kam es am 30. Dezember zu einer leichten Wetterberuhigung über Deutschland, ehe in der Nacht zu Silvester zunächst die Warmfront des über Irland liegenden Sturmtiefs Costa Deutschland von Südwesten nach Nordosten überquerte und am Nachmittag die deutlich wetteraktivere Kaltfront vor allem im Westen und Süden zu Niederschlägen, mit Schwerpunkt über dem Schwarzwald, führte. Ein neues Randtief des weiterhin über Großbritannien liegenden Tiefdruckgebiets Costa sorgte am Neujahrstag mit seiner Okklusionsfront für weitere teils intensive Niederschläge, vor allem über den westlichen Mittelgebirgen und an der Nordseeküste.

Bereits in der Nacht zum 2. Januar geriet ganz Deutschland unter die kräftige Warmluftadvektion des bereits nächsten Tiefdruckgebiets Dietmar, dessen weit vorauslaufende Warmfront am Vormittag den Westen Deutschlands erreichte. Der Warmfront folgte im Tagesverlauf das Tief Annelie, das am Morgen des 2. Januars zunächst noch als Welle südlich von Irland lag und unter deutlicher Verstärkung als Sturmtief mit einem Kerndruck von unter 975 hPa in der Nacht zum 3. Januar in Richtung Deutsche Bucht zog. Verbunden waren hiermit wieder ergiebige Niederschläge, vor allem in Niedersachsen und im Stau der Mittelgebirge, in erster Linie im Hunsrück, Schwarzwald, Odenwald, Spessart, Thüringer Wald, Oberpfälzer Wald und Bayerischen Wald.

Am 3. und 4. Januar beeinflusste Annelie Deutschland weiterhin, da es nur zögerlich in Richtung Osten abzog und der Tiefdruckkern am Morgen des 4. Januars noch über Rügen lag. Gleichzeitig griff von Westen im Tagesverlauf des 4. Januars neuerlich ein flacher Randtrog mit seinem zugehörigen Bodentief Brigitta auf Deutschland über, was die rege konvektive Niederschlagsaktivität weiter am Laufen hielt. Dies brachte über Deutschland sowohl am 3. Januar Niederschläge mit Schwerpunkten an der Ostseeküste, im Sauerland, Harz, Hunsrück, Schwarzwald, Thüringer Wald und Oberpfälzer Wald als auch unter merklicher Abschwächung am 4. und 5. Januar.

Ab dem 6. Januar setzte sich schließlich von Nordwesten mit Hoch Hannelore zunehmend hoher Luftdruck durch und die Strömung drehte auf nordöstliche Richtung, wodurch deutlich kältere, aber auch trockenere Luftmassen nach Deutschland gelangten und die Serie an Tiefdruckgebieten mit intensiven Niederschlägen beendet wurde.

Neben der Wettersituation ist bei der Entstehung von Hochwassersituationen auch die Bodenfeuchte von Bedeutung, für die u. a. die vorangegangenen Niederschläge von Relevanz sind. Der Boden kann einen Teil des Niederschlags aufnehmen und zurückhalten. Dies funktioniert aber nur, wenn der Boden nicht zu feucht und nicht zu trocken ist.

Abb. 4 zeigt die Niederschlagsanomalien für Niedersachsen, Bremen und Hamburg für das Jahr 2023 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961–1990. Das Jahr 2023 war das nasseste Jahr in der Zeitreihe ab 1881 in Niedersachsen. Dies war hauptsächlich verursacht durch den zweitnassesten Herbst und den nassesten Dezember seit 1881. Während der September noch zu trocken war, fiel im Oktober und November deutlich mehr Niederschlag als im vieljährigen Mittel. Dies hatte zur Folge, dass der freie Bodenwasserspeicher zu Beginn der ergiebigen Niederschläge am 19. Dezember 2023 bis auf wenige Ausnahmen (kleine Teile von Thüringen und Sachsen-Anhalt) nicht mehr in der Lage war, noch signifikante Mengen an Wasser aufzunehmen, da die Restkapazität nur noch maximal 10 mm betrug (**Abb. 3**). Der freie Bodenwasserspeicher ist ein Indikator dafür, wieviel Niederschlag der Boden in Situationen mit anhaltendem Regen noch aufnehmen kann. Ist der freie Bodenwasserspeicher in den oberen Schichten klein, dann ist mit mehr Oberflächenabfluss zu rechnen. Da es sich nicht um Messdaten, sondern modellierte Daten handelt, kann die Größe jedoch nur einen Hinweis auf die möglichen Vorbedingungen geben.

Freier Bodenwasserspeicher unter Gras
lokaler Boden, 0 bis 60 cm Tiefe, 19.12.2023

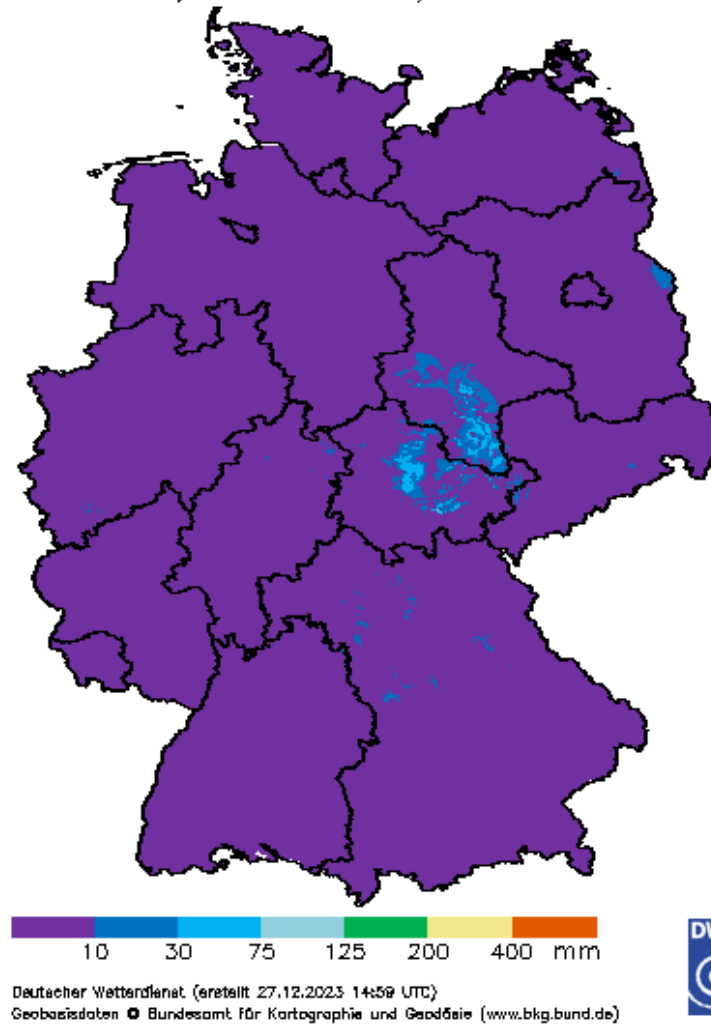


Abb. 3: Freier Bodenwasserspeicher auf einer 60 cm dicken Bodenschicht unter Gras und einem realistischen Boden nach BÜK 1000 (Bodenübersichtskarte 1:1.000.000) vor Beginn der intensiven Dauerniederschläge am 19.12.2023, Quelle: DWD, Agrarmeteorologie

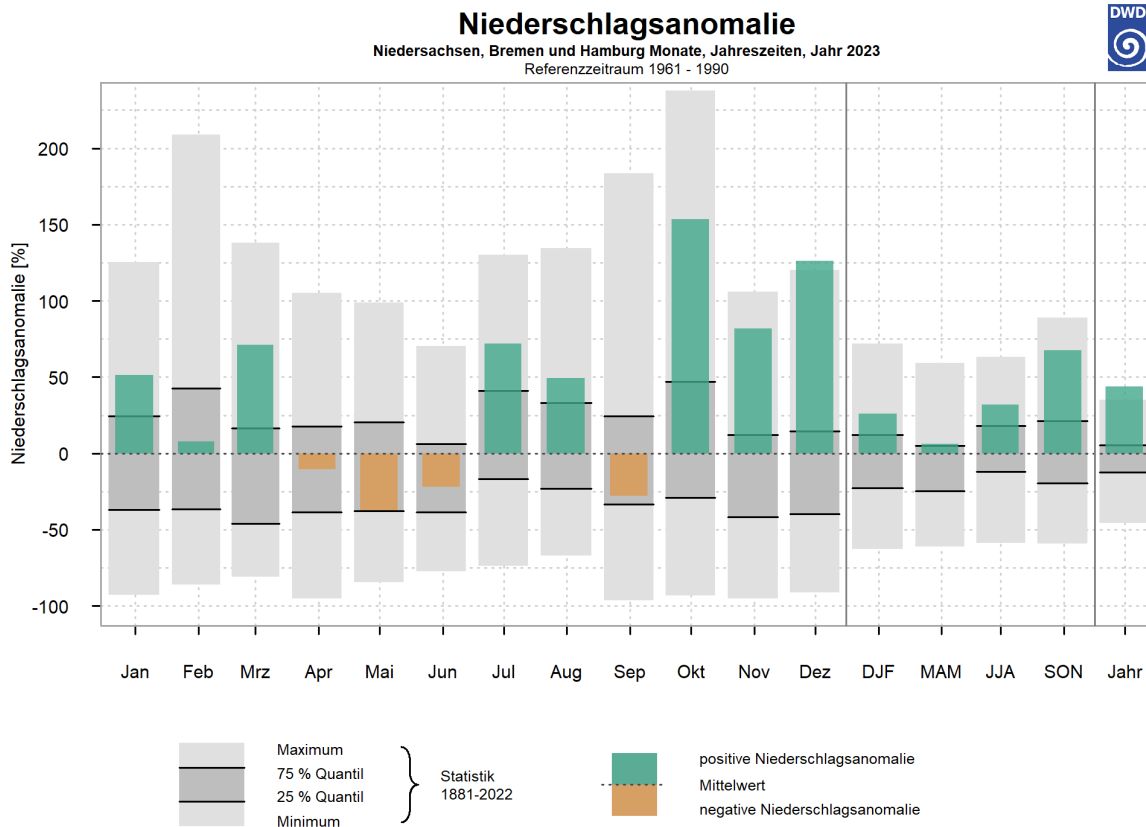


Abb. 4: Niederschlagsanomalie Niedersachsen, Bremen, Hamburg für das Jahr 2023 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961–1990, Quelle: DWD, Nationale Klimaüberwachung

Kurzbeschreibung des Warnmanagements

Bereits am Mittwoch, dem 20.12., wurde zunächst für den Stau des Harzes, später dann auch für das Oberallgäu (unter 1000 m) eine Unwetterwarnung vor Dauerregen mit Gültigkeit bis zum Samstagabend (23.12.) ausgegeben. Dem folgten am Donnerstag, dem 21.12., die Unwetterwarnungen vor Dauerregen für die westlichen Mittelgebirge und die ostbayerischen Mittelgebirge, die zunächst nur bis Heiligabend und dem ersten Weihnachtstag terminiert waren. Nachdem aber absehbar war, dass die Regenfälle vor allem in den Staulagen der westlichen Mittelgebirge teilweise noch bis zum Dienstag (26.12.) anhalten würden, wurden die Unwetterwarnungen dort entsprechend verlängert. Als letzte Dauerregenwarnung liefen die Unwetterwarnungen für den Harz schließlich am 26.12. mittags aus.

Aufgrund der Vorgeschichte mit hohen Dezemberriederschlägen, den im Mittelgebirgsraum noch vorhandenen Schneemengen und den dadurch bedingten erhöhten Pegelständen wurde für die Niederschlagsereignisse, die ab dem Jahreswechsel erwartet wurden, frühzeitig hingewiesen und gewarnt. Die Unwetterwarnungen vor Dauerregen wurden daher am

Silvesterabend (31.12.) und am Montag (Neujahr), im Allgemeinen von Dienstag, dem 2.1. – trotz einer längeren Pause am Mittwoch – gleich bis Donnerstagfrüh, dem 4.1., ausgedehnt und betrafen im Wesentlichen die Weststaulagen der Mittelgebirge. Am Mittwochmorgen wurden sie dann teilweise (Sauerland) bis Freitagfrüh verlängert und gebietsweise mussten ausgegebene markante Dauerregenwarnungen in Anbetracht der gefallenen Mengen auf Unwetter hochgestuft werden.

Typischer Warninhalt:

*Ausgegeben an Silvester (31.12.): am Dienstag (2.1.) und Mittwoch (3.1.)
gebietsweise WARNUNG vor DAUERREGEN
mit Mengen zwischen 40 und 60 l/qm in 48 Stunden im Flachland
und
UNWETTERWARNUNG vor ERGIEBIGEM DAUERREGEN
mit Niederschlagsmengen zwischen 60 l/m² und 80 l/m² in Stau- und Gipfellagen der Mittelgebirge*

Solche oder ähnliche Unwetterwarnungen und Dauerregenwarnungen gab es für den Norden (Niedersachsen), Westen Deutschlands (NRW, Hessen) und den (Süd)Osten (Sachsen-Anhalt, Thüringen, Bayern): Unwetter in den Hochlagen der Mittelgebirge, Dauerregen in Teilen des Flachlandes. **Anhang 1** zeigt einen beispielhaften Warnablauf.

Die Warnaktivitäten der Regionalen Wetterberatungen des DWD wurden von etlichen Zusatzberichten sowie von zahlreichen Telefon- und Videokonferenzen mit den regionalen Hochwasservorhersagezentralen, Lagezentren und Krisenstäben begleitet. Das betraf sowohl den Zeitraum vor Weihnachten als auch den Zeitraum um den Jahreswechsel herum. Bei der Einberufung der Videokonferenzen zeigt sich noch kein einheitliches Vorgehensschema, sie sind regional noch unterschiedlich organisiert. Insgesamt zeigt sich dabei jedoch die Tendenz, dass zunehmend mehr Personen der Katastrophenschutzbehörden sowie der Landesministerien für Inneres und Umwelt an den Videokonferenzen teilnehmen.

In der Sondersitzung der Hochwasserkommission NRW (Kommission: „Hochwasserschutz im Zeichen des Klimawandels“) zum Ereignis am Mittwoch den 10.1.2024 wurde die Kommunikation mit dem DWD und zwischen den betroffenen Ländern sowie mit den Institutionen des Katastrophenschutzes als sehr positiv beschrieben und insbesondere als sehr stark verbessert im Vergleich zu dem Hochwasserereignis im Juli 2021.

Mess- und Beobachtungsdaten

Messdaten liegen einerseits aus dem stationsgebundenen Niederschlagsmessnetz des DWD und der Bundeswehr (Hauptmessnetz) sowie den Verdichtungsmessnetzen unserer Partner (z. B. Landesämter, Stadtentwässerungsbetriebe oder Wasserverbände) vor. Diese werden mit Hilfe von Regionalisierungsmethoden in die Fläche gebracht, um auch gebietsbezogen Aussagen zu ermöglichen. Andererseits können auch Daten aus dem Wetterradarverbund des DWD abgeleitet werden. Im aktuellen Fall von anhaltenden Niederschlagsereignissen, die sich über mehrere Tage erstrecken, liefern stationsgebundene Messungen und deren Regionalisierung gute Ergebnisse, sodass in diesem Bericht nicht näher auf ergänzende Erkenntnisse durch Radardaten eingegangen wird.

In der Rückschau wird von Starkniederschlag gesprochen, wenn die Niederschlagshöhe einer bestimmten Zeiteinheit im statistischen Mittel am betrachteten Ort nur einmal im Jahr oder seltener auftritt. Unabhängig davon sagt der Begriff Dauerregen etwas über die Andauer eines

Ereignisses aus. Von Dauerregen wird in der Regel gesprochen, wenn ein Niederschlagsereignis länger als 6 Stunden anhält. Demnach traten im Ereigniszeitraum langanhaltende Starkniederschläge auf. Synonym dazu wird auch der Begriff „ergiebiger Dauerniederschlag“ verwendet. Dies trifft somit auch auf das im Folgenden näher betrachtete Ereignis von Mitte Dezember 2023 bis in den Januar 2024 zu.

Die Analyse der hydrometeorologischen Rasterdaten (HYRAS-DE-PRE, v5.0, [6]) zeigen, dass die zwischen dem 19.12.2023 und 5.1.2024 gefallenen Niederschläge insbesondere in den Bundesländern Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Sachsen-Anhalt das Doppelte und auch teils mehr der üblichen mittleren einmonatigen Niederschlagsmengen für Dezember und Januar (1991–2020) gebracht haben (siehe **Tab. 1**). Weitere betroffene Bundesländer waren auch Brandenburg, Sachsen und Thüringen.

Tab. 1: Bundesländermittel für 29.12.2023 bis 5.1.2024 aus HYRAS-DE-PRE (v5.0) und das vieljährige Monatsmittel 1991–2020 für die Monate Dezember und Januar, Quelle: DWD, Hydrometeorologie, Datenstand 9.1.2024

Bundesland	Niederschlags- summe 19.12.2023– 05.01.2024 [mm]	Vieljähriges Monats- mittel (Dez und Jan) 1991-2020 [mm]	prozentualer Anteil vom vieljährigen Monatsmittel [%]
Brandenburg inkl. Berlin	86	47	185
Niedersachsen inkl. Bremen u. Hamburg	154	71	218
NRW	163	84	195
Sachsen-Anhalt	91	46	200
Sachsen	103	56	184
Thüringen	97	57	172

Nach den schon feuchten Monaten Oktober und November setzte sich dies im Dezember weiter fort (siehe auch **Abb. 4**). In der Fläche betrachtet ist deutlich zu erkennen, dass in weiten Teilen Deutschlands mehr als 125 mm Monatsniederschlag fielen und die Abweichungen zum vieljährigen Mittel (1991–2020) im Dezember 2023 bis auf wenige Ausnahmen deutlich positiv waren (siehe **Abb. 5** und **Abb. 6**). Hauptsächlich nördlich der Mittelgebirge (mit Ausnahme der unmittelbaren Küstenregion) wurden 200–250 % der im Mittel üblichen Niederschläge beobachtet.

Monatssumme des Niederschlags für Dezember 2023

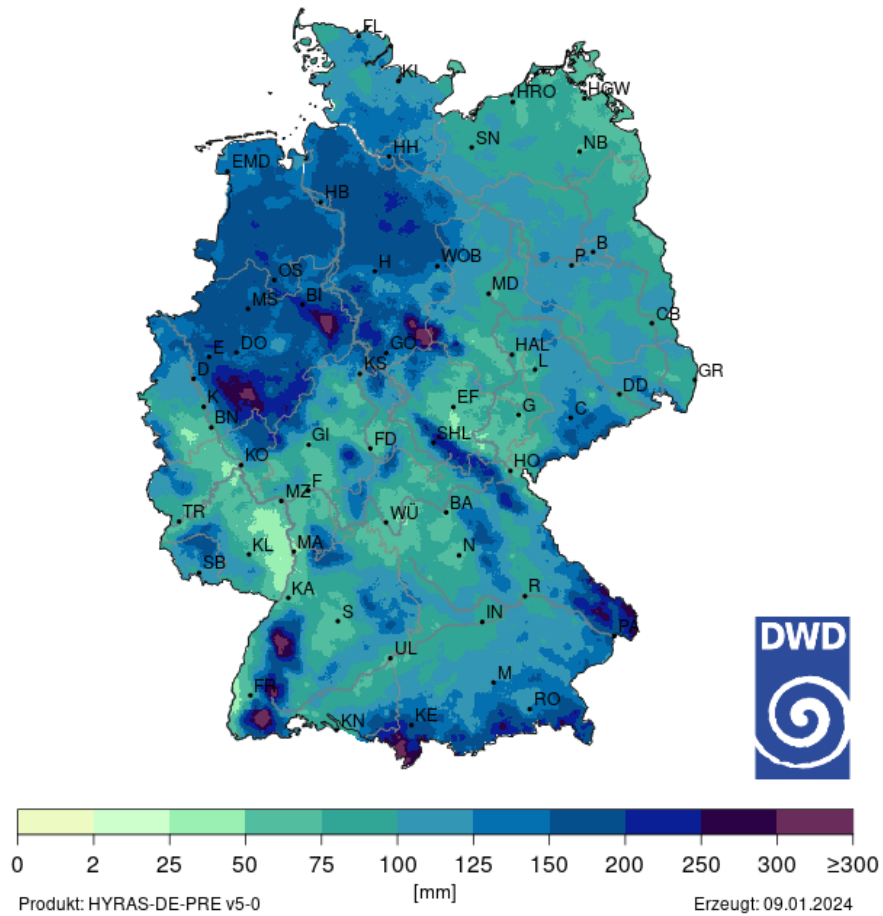


Abb. 5: Monatliche Niederschlagssumme für Dezember 2023 in mm auf Basis von HYRAS-DE-PRE (v5-0),
Quelle: DWD, Hydrometeorologie, Datenstand 9.1.2024

Relative Abweichung der monatlichen
Niederschlagssumme für Dezember 2023
Referenzperiode 1991-2020

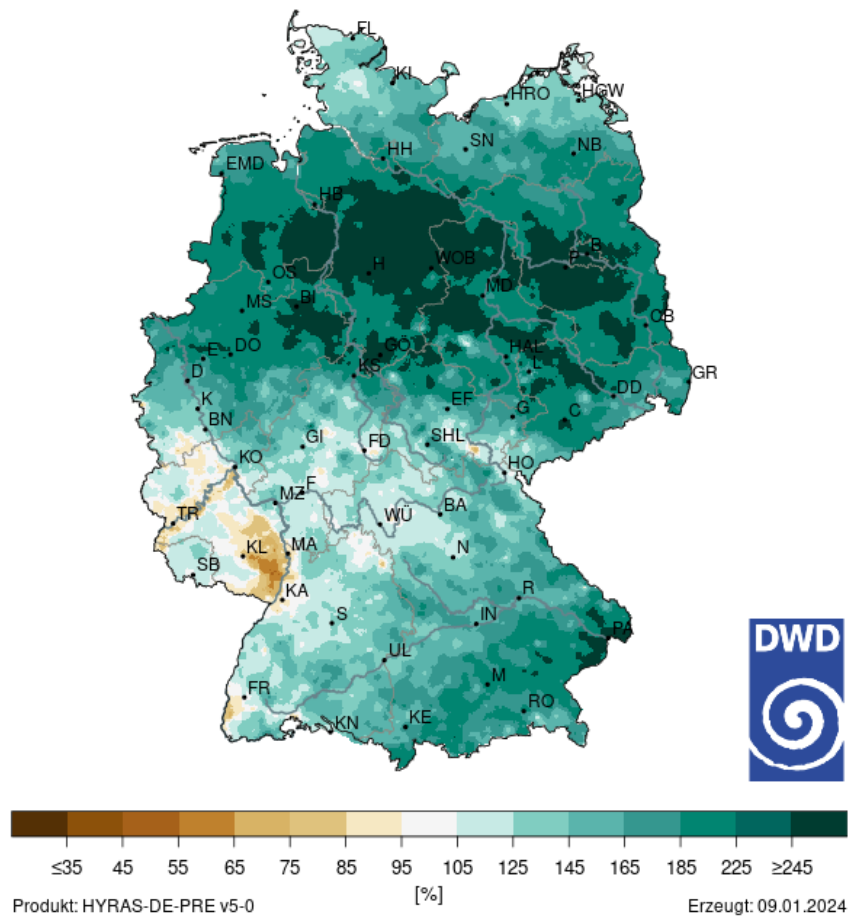


Abb. 6: Relative Abweichung der monatlichen Niederschlagssumme für Dezember 2023 im Vergleich zur Referenzperiode 1991–2020 in % auf Basis von HYRAS-DE-PRE (v5-0), Quelle: DWD, Hydrometeorologie, Datenstand 9.1.2024

Die folgende Auswertung fokussiert sich auf die Periode vom 19.12.2023 bis zum 5.1.2024 und auf das Gebiet nördlich der Mittelgebirge. Dabei zeigt die Analyse der Daten, dass es nach einer ersten sehr intensiven Dauerniederschlagsperiode bis zum 25.12.2023 zu einer kurzen Wetterberuhigung am 29.12. kam, bevor es anschließend erneut größere Niederschläge gab. Nach dem Jahreswechsel gab es dann nochmals intensive Niederschläge, die am 4. und 5.1.2024 wieder nachließen. Beispielhaft ist dieser zeitliche Verlauf für die Flusseinzugsgebiete von Ems und Weser in **Abb. 7** dargestellt. Die flächenhaften Niederschläge für die Gesamtperiode und die zwei Teilperioden finden sich in **Abb. 8**, **Abb. 9** und **Abb. 10**.

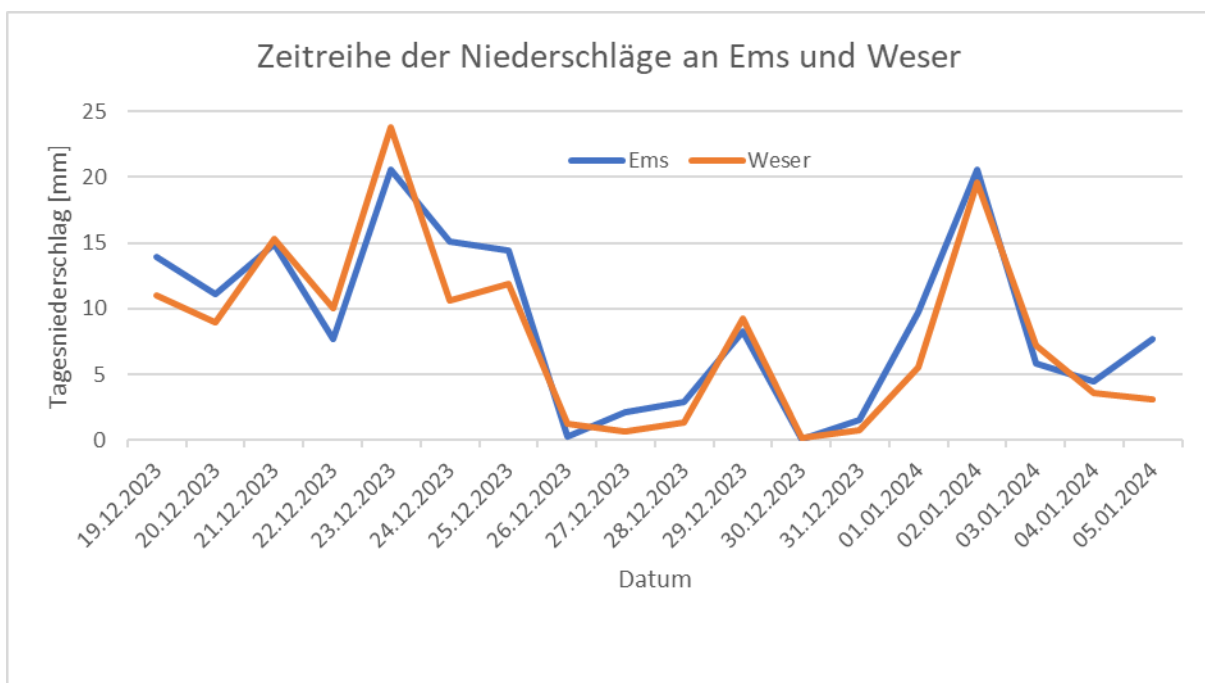
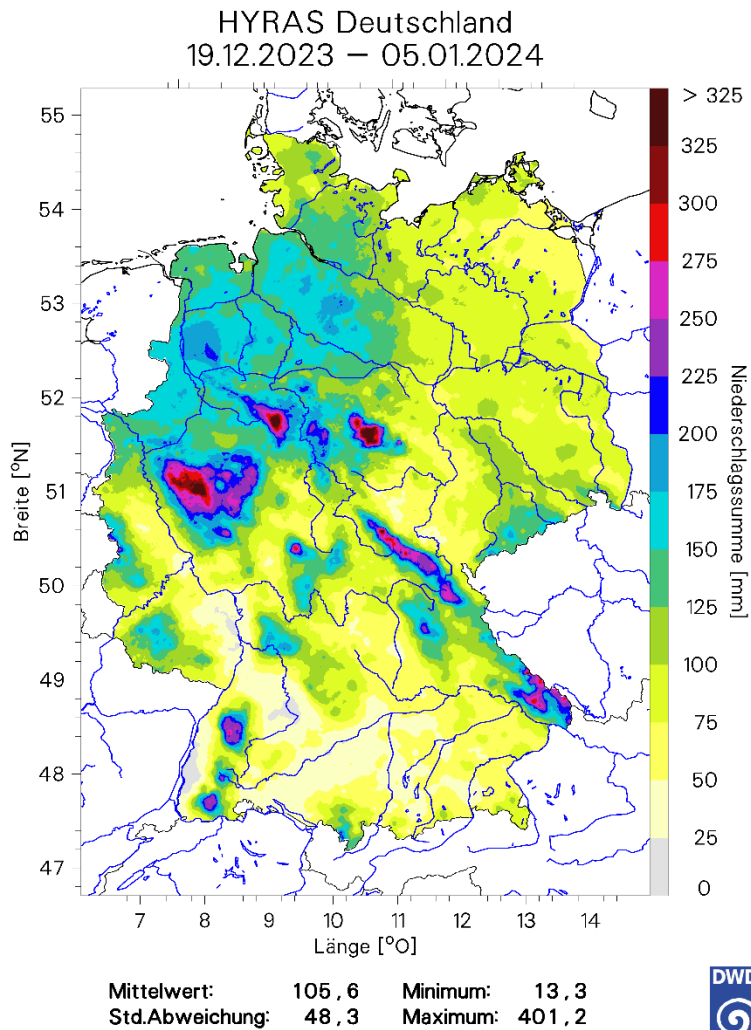
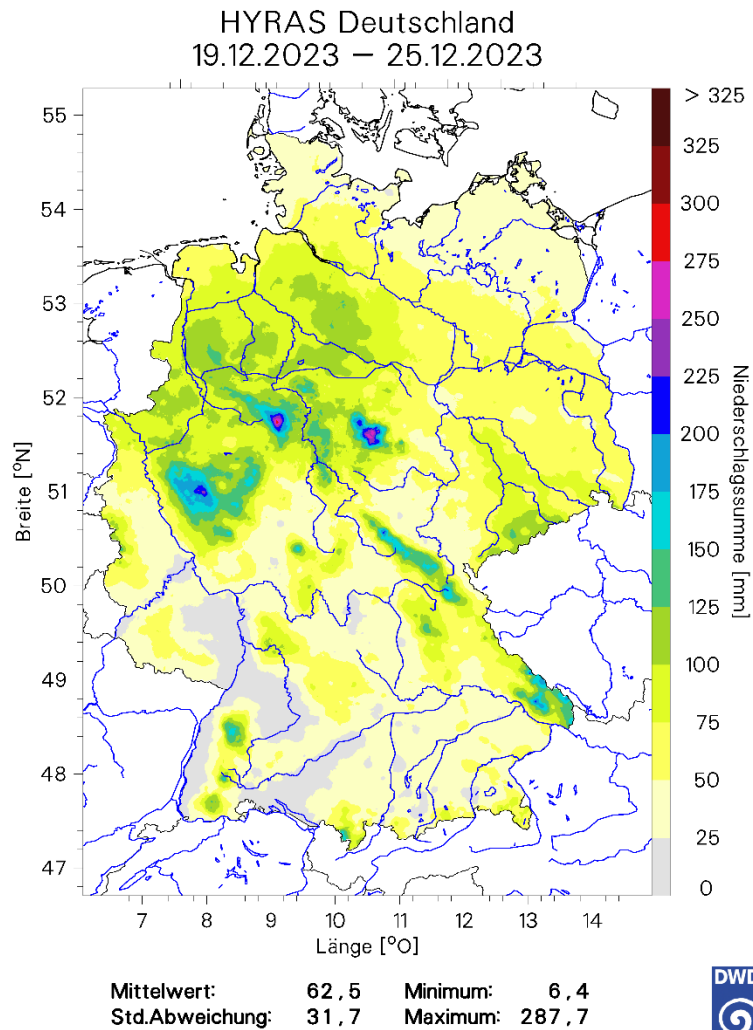


Abb. 7: Niederschlagszeitreihen der Flusseinzugsgebiete Ems und Weser auf Basis von HYRAS-DE-PRE (v5.0) für den Zeitraum 19.12.2023 bis 5.1.2024, Quelle: DWD, Hydrometeorologie, Datenstand 9.1.2024



Geographiedaten: GSHHS/WDBI/GeoBasis-DE/BKG 2020 (c) Deutscher Wetterdienst/Hydrometeorologische Beratungsleistungen (08.01.2024)

Abb. 8: Niederschlagsanalyse auf Basis von HYRAS-DE-PRE (v5.0) für den Zeitraum 19.12.2023 bis 5.1.2024, Quelle: DWD, Hydrometeorologie, Datenstand 9.1.2024



Geographiedaten: GSHHS/WDBI/GeoBasis-DE/BKG 2020 (c) Deutscher Wetterdienst/Hydrometeorologische Beratungsleistungen (11.01.2024)

Abb. 9: Niederschlagsanalyse auf Basis von HYRAS-DE-PRE (v5.0) für den Zeitraum 19.12.2023 bis 26.12.2024, Quelle: DWD, Hydrometeorologie, Datenstand 9.1.2024

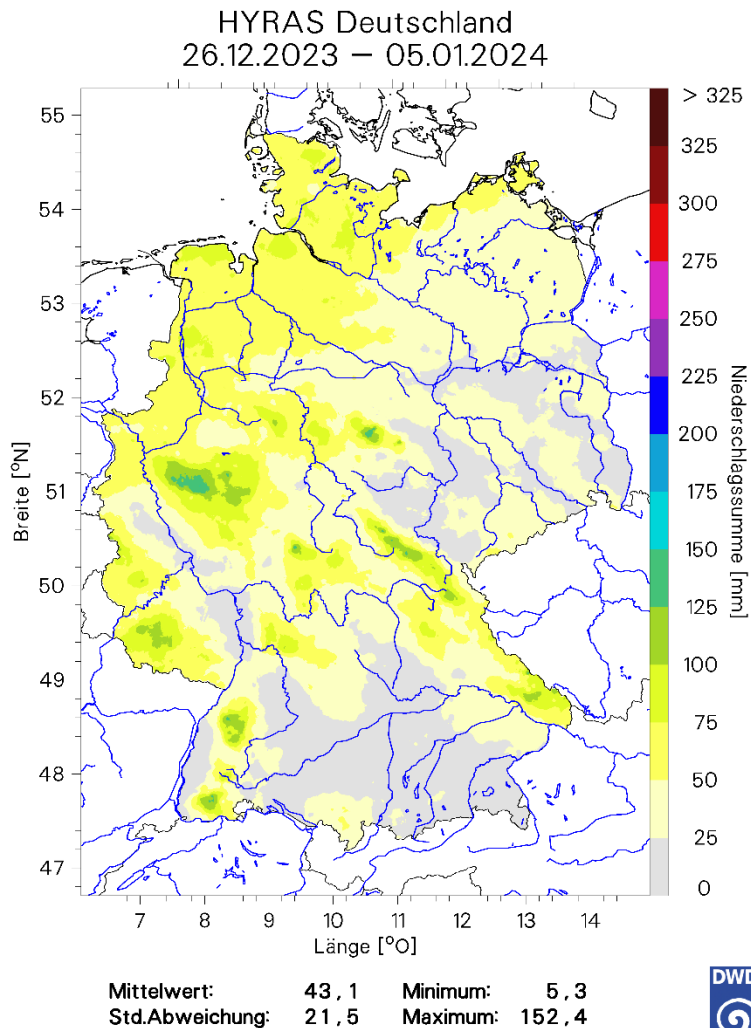


Abb. 10: Niederschlagsanalyse auf Basis von HYRAS-DE-PRE (v5.0) für den Zeitraum 27.12.2023 bis 5.1.2024, Quelle: DWD, Hydrometeorologie, Datenstand 9.1.2024

Über die Niederschläge hinaus gab es im Dezember vom 21. bis 28.12.2023 auch eine *kleinere* Schneeschmelze, die im Erzgebirge noch zu einer weiteren Erhöhung des Niederschlagsdargebots (=abflusswirksames Wasser) führte. Eine Analyse mit Hilfe des SNOW4-Modells zeigt jedoch, dass der Anteil des Schmelzwassers am Niederschlagsdargebot für ganz Deutschland im betrachteten Zeitraum lediglich auf ca. 6,5% abgeschätzt werden kann. Hauptgebiete für die Schneeschmelzen waren dabei der Alpenrand und das Erzgebirge. Damit wurden die zum Hochwasser führenden Abflussmengen zum weitaus größten Teil durch Niederschläge gebildet.

All das führte aufgrund der nahezu vollständig gesättigten Böden zu den großflächigen Hochwassern an vielen Flüssen in Nord- und Mitteldeutschland.

Flusseinzugsgebietsbezogene Auswertungen zeigen, dass die in der Gesamtperiode von 18 Tagen gefallenen Niederschläge die mittleren Monatswerte für die 3 Wintermonate Dezember,

Januar und Februar um das 2- bis 3-fache übersteigen. In **Tab. 2** sind die beobachteten Mengen für den Gesamtzeitraum nach der Höhe sortiert dargestellt. Zusätzlich finden sich hier auch die beiden Teilzeiträume. Dabei zeigt sich deutlich, dass die erste Periode die insgesamt größeren Niederschlagsmengen in allen betrachteten Einzugsgebieten brachte. Bei einem Vergleich der stärksten monatlichen Winterniederschläge seit 1951 zeigt sich zudem, dass nur in vier Einzugsgebieten, Hase, Hunte, Ems und Aller, der Dezember 2023 der nasseste Wintermonat seit 1951 war. Insbesondere im Februar 1946 traten zum Teil höhere Regenmengen in vielen der betrachteten Flusseinzugsgebiete auf.

Um eine Einordnung der 7-Tagesperioden vom 19.12.–25.12.2023 mit den Hauptniederschlägen in die bisher beobachteten Niederschläge in den Flusseinzugsgebieten vornehmen zu können, wurden mit Hilfe der Rasterdaten (HYRAS-DE-PRE, v5.0) alle 7-Tagesperioden gleitend als Mittelwerte für die Flusseinzugsgebiete berechnet und im Anschluss nach der Niederschlagsmenge sortiert. In **Tab. 2** ist in Spalte 5 die für den Zeitraum seit 1951 höchste ermittelte mittlere 7-Tagessumme im Flusseinzugsgebiet, in Spalte 6 die gleiche Auswertung eingeschränkt auf den Winter und in den Spalten 7 und 8 eine Einordnung der 7-Tagesperioden vom 19.12.–25.12.2023 in die Gesamtereignisse bzw. alle Winterereignisse im jeweiligen Flusseinzugsgebiet dargestellt, wobei hier nur unabhängige Ereignisse gezählt wurden.

Dabei ergeben sich folgende Punkte:

- In keinem betrachteten Flusseinzugsgebiet ist die 7-Tagesperiode aus dem Dezember 2023 der jemals im Einzugsgebiet beobachtete Höchstwert. Betrachtet man nur die Winterereignisse, liegt für Ruhr, Sieg, Hase, Ems und Hunte ein Höchstwert vor.
- In den meisten Einzugsgebieten traten die niederschlagsreichsten Ereignisse im Sommer auf; bei Hunte, Ruhr und Sieg waren es Herbstereignisse, bei der Niers ein Frühlingereignis und nur bei Weser und Helme waren es Winterereignisse.
- Bei den Einzugsgebieten Eder, Fulda, Niers, Mulde und Werra ist die 7-Tagesperiode aus dem Dezember 2023 nicht unter den Top-20-Ereignissen und bei Eder und Fulda auch nicht unter den Top-10-Winterereignissen.

Tab. 2: Niederschlagssummen aus dem Datensatz HYRAS-DE-PRE (v5.0) gemittelt über Flusseinzugsgebiete für 19.12.2023 bis 5.1.2024 und weitere Zeitabschnitte (Spalte 2 bis 4), maximaler Niederschlag in einer 7-Tagesperiode seit 1951 für alle Jahreszeiten (Spalte 5) nur für den Winter (Spalte 6). Rang in der Reihenfolge für das Ereignis Dezember 2023 im Gesamtjahr (Spalte 7) und im Winter (Spalte 8) seit 1951. Fett hervorgehoben sind Gebiete, in denen der Dezember 2023 die nasseste 7-Tage-Winterperiode seit 1951 war. Quelle: DWD, Hydrometeorologie, Datenstand 9.1.2024

Flusseinzugsgebiet	Niederschlag 19.12.23- 5.1.24 [mm]	Niederschlag 19.12.23- 25.12.23 [mm]	Niederschlag 26.12.23 -5.1.24 [mm]	Maximaler Niederschlag in einer 7- Tagesperiode seit 1951 [mm] (Periode)	Maximaler Nieder- schlag in einer 7 Tagesperiode seit 1951 im Winter [mm] (Periode)	Rang in Gesamt- auswertung für Spalte 2	Rang in Winter- aus- wertung für Spalte 2
Ruhr	219,5	126,9	92,6	133,5 (11.9.-17.9.1998)	126,9 (19.12.2023-5.1.2024)	3.	1.
Sieg	205,5	133,1	72,4	136,2 (6.9.-2.9.1998)	133,1 (19.12.2023-5.1.2024)	2.	1.
Hase	175,4	108,1	67,3	127,4 (27.6.-3.7.1981)	108,1 (19.12.2023-5.1.2024)	6.	1.
Ems	161,1	97,7	63,4	116,5 (27.6.-3.7.1981)	97,7 (19.12.2023-5.1.2024)	5.	1.
Leine	158,9	107,9	51	148,9 (19.7. - 25.7.2017)	122,7 (27.12.1986-2.1.1987)	4.	2.
Hunte	158,5	96,3	62,2	108,7 (23.10. - 29.10.1998)	96,3 (19.12.2023-5.1.2024)	4.	1.
Weser	144	91,6	52,4	98,0 (27.12.1986- 2.1.1987)	98,0 (27.12.1986-2.1.1987)	3.	2.
Helme	142,8	98,4	44,4	120 (27.12.1986- 2.1.1987)	120 (27.12.1986-2.1.1987)	2.	2.
Aller	143,5	97	46,5	128,5 (16.-22.7.2002)	104,0 (27.12.1986-2.1.1987)	6.	2.
Diemel	139,5	88	51,5	163,5 (14.-20.7.1965)	99 (26.12.1986-1.1.1987)	9.	2.
Niers	130,5	71,5	59	100,5 (29.5.-4.6.2016)	81,8 (28.12.2002-3.1.2003)	> 20.	5.
Eder	121,3	67	54,3	111,6 (15.-21.7.1965)	83,8 (9.12-15.12.1979)	> 20.	> 10.
Mulde	121	86,9	34,1	190,6 (7.7.-13.7.1954)	100,3 (27.12.1986-2.1.1987)	> 20.	2.
Werra	113,7	69,4	44,3	110,5 (7.7.-13.7.2014)	83,8 (27.12.1986-2.1.1987)	> 20.	4.
Fulda	104,1	59,8	44,3	99,5 (7.7. -13.7.2014)	99,5 (28.12.2002-3.1.2003)	> 20.	> 10.

Bei der extremwertstatistischen Einordnung der Stationsdaten nach KOSTRA-DWD-2020 [7] ergeben sich lokal einige Extremwerte mit Dauerstufen von mehreren Tagen. Details dazu finden sich in **Tab. 3** für zeitlich hochaufgelöste Messungen und in **Tab. 4** für Tageswertmessungen. Es fällt dabei auf, dass nur wenige Stationen Niederschlagswerte mit Wiederkehrzeiten von mehr als 50 Jahren aufweisen. Zudem ergibt sich wie schon bei der Analyse der Rasterdaten eine Zweiteilung des Ereignisses. In der ersten Periode um Weihnachten lagen die Andauern bzw. Dauerstufen, bei denen die extremsten Niederschläge beobachtet wurden, bei 4 bis 7 Tagen. In der zweiten Periode nach Neujahr waren diese mit 3 bis 4 Tagen etwas kürzer. Auch waren die Niederschläge in der zweiten Dauerregenperiode nicht mehr so intensiv wie in der Ersten.

Eine weitere Analyse zeigte, dass es sich nur in wenigen Fällen um lokale Allzeitrekorde handelt. Eines der wenigen Beispiele ist die Station Braunlage, bei der der 7-Tage-Niederschlag (19.12.2023 07 UTC bis 26.12.2023 07 UTC) mit 261 mm den vorherigen Rekord von 244 mm vom 27.10.1998 07 UTC bis 3.11.1998 07 UTC überboten hat.

Tab. 3: Messwerte von Stationen mit zeitlich hochaufgelösten Messungen für ausgewählte Orte und Zeitpunkte sowie deren Wiederkehrzeiten nach KOSTRA-DWD-2020 und der entsprechende Starkregenindex (SRI) für die Niederschläge vom 19.12.2023 bis 4.1.2024 in Deutschland, Datengrundlage: DWD, Bundeswehr und Partner, Datenstand: 5.1.2024

Ort	Land	Niederschlagsmenge [l/m ²]	Andauer [Tage]	Wiederkehrintervall [a]	SRI [-]	Messzeitpunkt [MEZ]
Schmücke	TH	204,3	6	> 100	7	24.12.2023 16:40
Fichtelberg/Oberfranken-Hüttstadl	BY	155,9	5	> 100	7	23.12.2023 23:55
Braunlage	NI	254,7	6	97	7	25.12.2023 08:25
Meinerzhagen-Redlendorf	NW	209,5	6	92	7	25.12.2023 11:00
Saldenburg-Entschenreuth	BY	183,0	4	73	7	23.12.2023 20:20
Lage, Kreis Lippe-Hörste	NW	155,8	6	65	7	25.12.2023 08:55
Wernigerode-Schierke	ST	200,4	6	61	7	25.12.2023 08:20
Ilmenau-Frauenwald	TH	155,9	5	58	7	24.12.2023 18:00
Bielefeld-Deppendorf	NW	138,5	6	45	6	25.12.2023 06:30
Fichtelberg/Oberfranken-Hüttstadl	BY	99,7	3	19	4	3.1.2024 14:45
Ilmenau-Frauenwald	TH	105,0	3	16	4	3.1.2024 19:10
Essen-Bredeneu	NW	72,7	3	7	3	4.1.2024 01:00

Tab. 4: Messwerte von Stationen mit täglicher Messung für ausgewählte Orte und Zeitpunkte sowie deren Wiederkehrzeiten nach KOSTRA-DWD-2020 und der entsprechende Starkregenindex (SRI) für die Niederschläge vom 19.12.2023 bis 4.1.2023 in Deutschland, Datengrundlage: DWD, Bundeswehr und Partner, Datenstand: 5.1.2024

Ort	Land	Niederschlagsmenge [l/m ²]	Andauer [Tage]	Wiederkehrintervall [a]	SRI [-]	Messzeitpunkt [MEZ]
Horn-Bad Meinberg - Leopoldstal	NW	224,1	6	> 100	7	25.12.2023 07:00
Driburg, Bad-Pömbesen	NW	157,6	6	> 100	7	25.12.2023 07:00
Brand/Oberpfalz	BY	138,9	5	67	7	25.12.2023 07:00
Brand/Oberpfalz	BY	103,4	4	19	3	5.1.2024 07:00

Die Messungen und Erkenntnisse aus punktuellen Stationsdaten können mittels geostatistischer Verfahren auch in die Fläche übertragen werden. Dabei wurden in diesem Fall die hydrometeorologischen Rasterdatensätze (HYRAS-DE-PRE, aktuell v5.0) für die tägliche Niederschlagsmenge benutzt und ausgewertet, welche Wiederkehrzeiten sich für die einzelnen Raster bei KOSTRA-DWD-2020 ergeben. Es zeigte sich, dass die in der Fläche höchsten Wiederkehrzeiten für die Andauerstufe von 7 Tagen zu finden sind (siehe **Abb. 11**). Hier sieht man sehr deutlich, dass es einige Regionen mit Wiederkehrzeiten von 50 bis 100 Jahren gibt und auch Bereiche mit Wiederkehrzeiten größer 100 Jahre (östliches Nordrhein-Westfalen und Harz). Weite Teile der vom Hochwasser betroffenen Gebiete haben aber, wie es sich auch schon in den Stationsdaten gezeigt hat, deutlich moderatere Wiederkehrzeiten von 20 oder weniger Jahren.

Bei Betrachtung der Niederschläge ab dem 31.12.2023 zeigt sich, dass bei Andauern von 3 bis 6 Tagen in ganz Deutschland nur noch in wenigen Gebieten Wiederkehrzeiten von 10 bis 20 Jahren gefunden werden konnten.

Niederschlagssumme vom 19.12.2023 bis 26.12.2023 07 MEZ
und entsprechende Wiederkehrzeit für D = 7 Tage

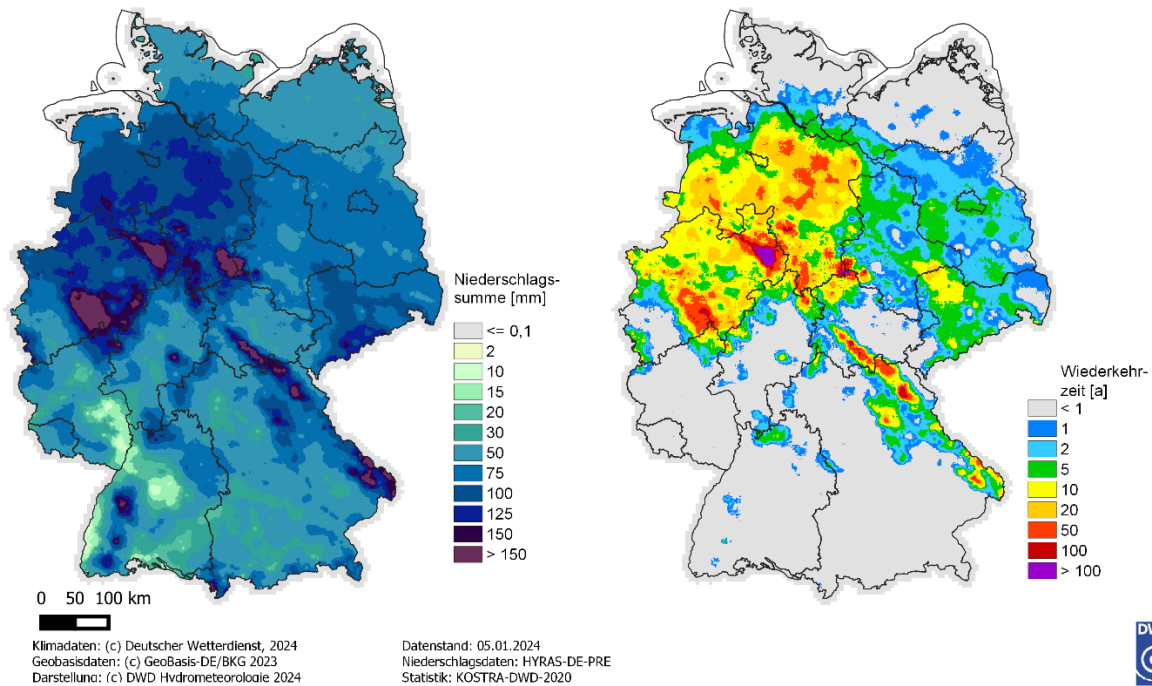


Abb. 11: Niederschlagssumme auf Basis von HYRAS-DE-PRE (v5.0) vom 19.12. bis 25.12.2023 (links), und dazugehörige Darstellung der Wiederkehrzeit für die Dauerstufe 7 Tage nach KOSTRA-DWD-2020 (rechts), Quelle: DWD, Hydrometeorologie, Datenstand 9.1.2024

Klimatologische Einordnung

Bezogen auf die konkreten Ereignisse wurden für Andauern von 4 bis 7 Tagen seltene Wiederkehrintervalle (100 Jahre und mehr) nur in der ersten Periode und an einzelnen Stationen in den Mittelgebirgen erreicht. Ansonsten bewegen sich die Wiederkehrintervalle eher im Bereich von 5 bis 20 Jahren, selten auch darüber hinaus. In der zweiten Periode lagen die ermittelten Wiederkehrintervalle bei 1 bis 10 Jahren, in einzelnen Fällen bis rund 20 Jahren für Andauern von 3 bis 4 Tagen. Gleiches zeigt auch die Analyse der Rasterdaten. Insgesamt kann also festgehalten werden, dass die beobachteten Niederschlagsmengen zwar groß waren, aber nur punktuell wirklich extrem. Das Ereignis zeichnete sich insbesondere durch die Betroffenheit einer relativ großen Region (Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt) und die lange Andauer von insgesamt 18 Tagen mit nur wenigen Regenunterbrechungen aus. Die 7-Tagesperiode im Dezember ist für die meisten der betrachteten 15 Flusseinzugsgebiete der drei hauptsächlich betroffenen Bundesländer im Winter eines der höchsten jemals gemessenen Ereignisse (aber nur zum Teil auch das allerhöchste).

Weltweit und auch in Deutschland findet ein fortschreitender Klimawandel statt und daher stellt sich bei meteorologischen Extremereignissen grundsätzlich die Frage, ob ein Zusammenhang zum Klimawandel besteht. Das Jahr 2023 fiel erneut durch Rekordwerte, sowohl für die globalen, als auch die deutsche Jahresmitteltemperatur auf. Für Deutschland zeigen die Auswertungen des DWD, dass erstmals eine Jahresmitteltemperatur von 10,6 °C erreicht wurde (<https://www.dwd.de/zeitreihen>).

Laut der Presseerklärung der Weltorganisation für Meteorologie vom 12.1.2024 war 2023 auch weltweit das mit deutlichem Abstand wärmste Jahr seit Beginn der Wetteraufzeichnungen [8]. Sechs führende internationale Datensätze zeigen, dass die globale Jahresdurchschnittstemperatur im Jahr 2023 um $1,45 \pm 0,12$ °C über dem vorindustriellen Niveau (1850–1900) lag und dass die globalen Temperaturen in jedem Monat zwischen Juni und Dezember 2023 neue monatliche Rekorde aufgestellt haben.

Vor allem seit ca. 1970 steigen die nationalen und weltweiten Temperaturen kontinuierlich an [9]. Der Anstieg ist in seiner Gesamtheit nur durch den Anstieg der atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen, der sich auch in 2023 fortgesetzt hat, erklärbar und wird sich ohne eine deutliche Reduktion der Treibhausgasemissionen weiter fortsetzen.

Mit steigenden Temperaturen können mehrere Mechanismen zu einer Intensivierung von Niederschlägen führen: Das Aufnahmevermögen der Luft von Wasserdampf nimmt mit steigender Temperatur zu (Temperaturabhängigkeit des Gleichgewichtsdruckes beschrieben durch die Clausius-Clapeyron-Beziehung). Weiterhin verdunstet über wärmeren Meeresoberflächen mehr Wasser, wodurch sich ein Potential für diese zusätzliche Feuchtigkeitsaufnahme der Luft ergibt.

Verbunden mit den generell weltweit hohen Temperaturen im Jahr 2023 traten auch außergewöhnlich hohe Meeresoberflächentemperaturen im Nordatlantik auf, die ab März bis zum Jahresende deutlich über den höchsten bisher beobachteten Werten lagen (siehe **Abb. 12** und **Abb. 13**). Auch zum Jahresbeginn 2024 lagen die Oberflächentemperaturen im Nordatlantik weiterhin auf Rekordniveau. Im Herkunftsgebiet der Tiefdruckgebiete lagen somit zum Zeitpunkt des Ereignisses außergewöhnlich hohe Meeresoberflächentemperaturen vor.

Daily Sea Surface Temperature, North Atlantic (0–60°N, 0–80°W)

Dataset: NOAA OISST V2.1 | Image Credit: ClimateReanalyzer.org, Climate Change Institute, University of Maine

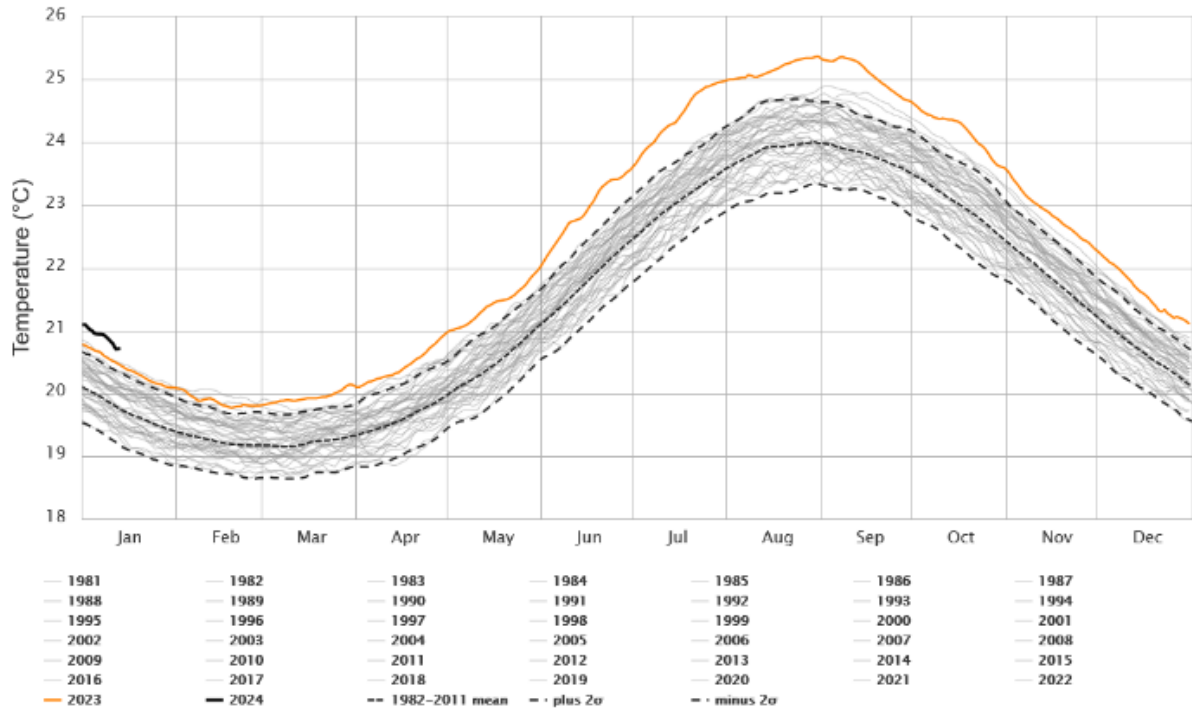


Abb. 12: Jährlicher Verlauf der Meeresoberflächentemperatur im Nordatlantik für die Jahre seit 1981. Orange zeigt die Werte des Jahres 2023, die grauen Kurven zeigen den Verlauf in allen früheren Jahren. Datengrundlage: NOAA OISST v2.1, Quelle: Climate Reanalyzer. Climate Change Institute, University of Maine. <https://climatereanalyzer.org>, CC-BY, Abruf: 16.1.2024

NOAA OISST V2.1 SST Anomaly (°C) [1971-2000 baseline]
Sun, Dec 31, 2023 | preliminary

ClimateReanalyzer.org
Climate Change Institute | University of Maine

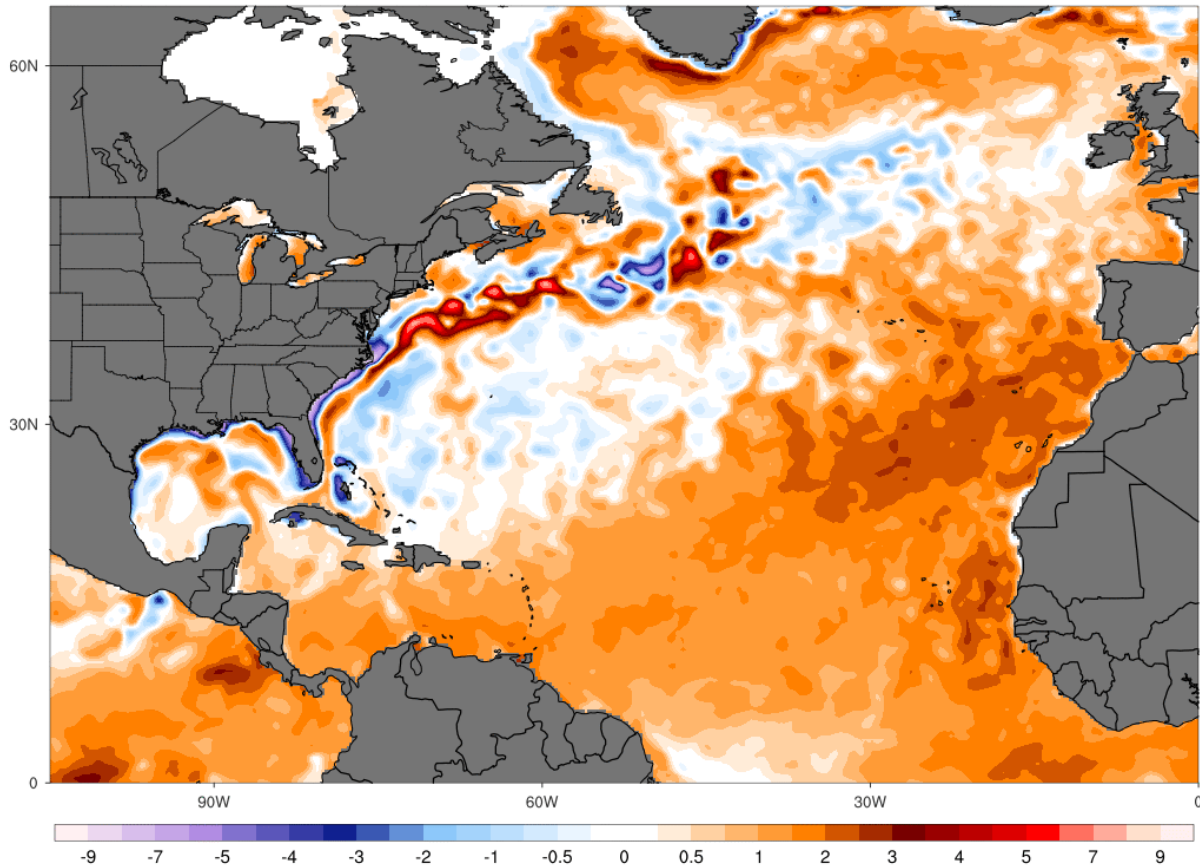


Abb. 13: Karte der Meeresoberflächentemperaturen am 31.12.2023, dargestellt als Abweichung gegenüber dem Bezugszeitraum 1971-2000. Datengrundlage: NOAA OISST v2.1, Quelle: Climate Reanalyzer. Climate Change Institute, University of Maine. <https://climatereanalyzer.org>, CC-BY, Abruf: 16.1.2024

Die regionale Niederschlagsbildung wird jedoch von vielen weiteren Faktoren beeinflusst, sodass regionale Trends generell unterschiedlich ausfallen können. So hat beispielsweise eine Auswertung von Stationsdaten für Mitteleuropa insgesamt eine Zunahme von extremen Niederschlagsereignissen ergeben, allerdings mit deutlichen regionalen Unterschieden und einem Rückgang in einigen Regionen Deutschlands [10].

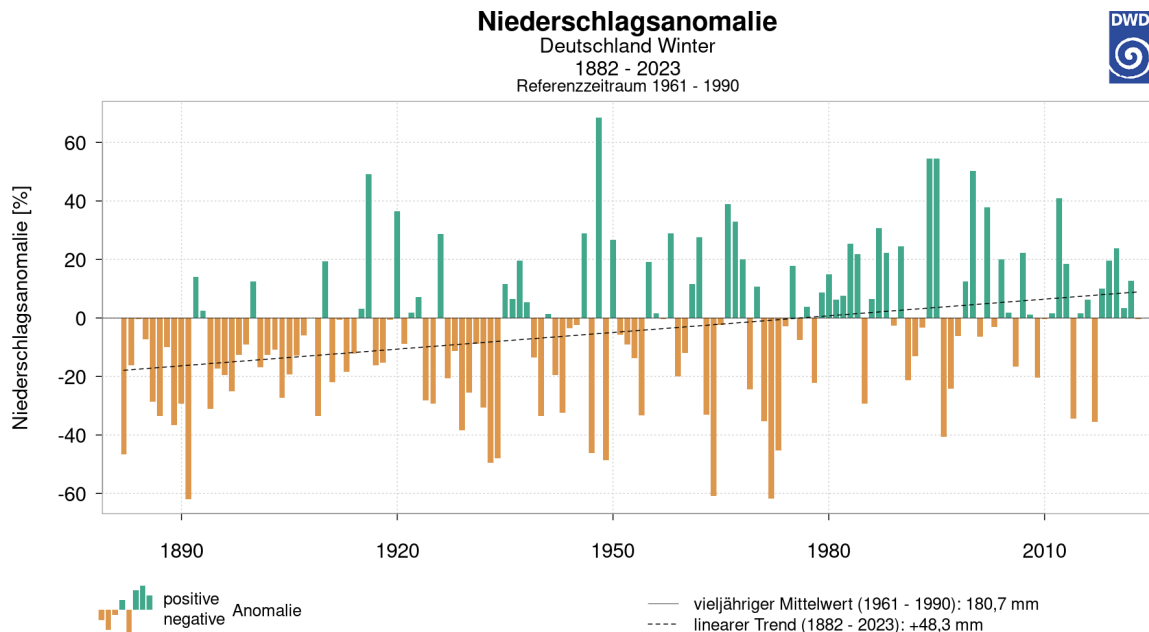


Abb. 14: Relative Anomalien der monatlichen Niederschlagssummen für Deutschland im Winter seit 1881 im Vergleich zur Referenzperiode 1961–1990 auf Basis der Monatsdaten der Nationalen Klimaüberwachung, DWD, siehe auch <https://www.dwd.de/zeitreihen>, Datenstand: 8.1.2024

Die Auswertung der vieljährigen Messreihen des DWD (**Abb. 14**) zeigen für die Wintermonate eine Zunahme der Niederschlagsmengen für Deutschland (<https://www.dwd.de/zeitreihen>). Im Zeitraum von 1882 bis 2023 haben die mittleren Winterniederschläge um 48,2 mm zugenommen (im Vergleich zum mittleren Wert des Referenzzeitraums 1961–1990 von 180,7 mm hat sich die mittlere Niederschlagsmenge also um >26% verändert). Der Winter ist damit die Jahreszeit mit der deutlichsten Veränderung. Für die Sommerniederschläge liegt im Zeitraum 1881 bis 2023 keine statistisch signifikante Veränderung vor. Beide Entwicklungen sind konsistent zu den Ergebnissen aus regionalen Klimaprojektionen, die die Klimaentwicklung in Deutschland bei steigenden Treibhausgaskonzentrationen simulieren. In Niedersachsen und Sachsen-Anhalt traten die höchsten Dezemberniederschläge seit 1881 auf.

Im Kontext der konkreten Niederschlagsereignisse stellt sich neben der generellen Entwicklung der Niederschläge die Frage, ob unter einem fortschreitenden Klimawandel Veränderungen bei Dauerniederschlägen vergleichbarer Andauer zu erwarten sind. Auswertungen von Klimaprojektionen für Deutschland zeigen insbesondere für Szenarien mit einem ausgeprägt fortschreitenden Klimawandel („weiter-wie-bisher“) eine Tendenz zur Zunahme der maximalen Niederschlagsmengen bei Dauerregenereignissen von mehrtägiger Andauer für alle Jahreszeiten (maximaler 5-tägiger Niederschlag, siehe Abbildung 2-3 auf Seite 27 in [\[11\]](#)).

Um die verantwortlichen Prozesse des vorliegenden Ereignisses klimatologisch einzuordnen, können zunächst Anomalien für die Zirkulationsverhältnisse in der mittleren Troposphäre (**Abb. 15**) sowie des für den Niederschlag zur Verfügung stehenden Wassers (**Abb. 16**) betrachtet werden. Diese Anomalien zeigen die Abweichung der mittleren Verhältnisse für die

18 Tage vom 19. Dezember 2023 bis zum 5. Januar 2024 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1991–2020.

Abb. 15 zeigt die Anomalie der geopotentiellen Höhe für die Druckfläche 500 hPa (ca. 5500 m). Die geopotentielle Höhe ist ein Maß, das in der Meteorologie verwendet wird, um die Höhe einer bestimmten Druckfläche in der Atmosphäre zu beschreiben. Vereinfacht ausgedrückt entspricht sie der Höhe, auf der sich ein bestimmter Luftdruck befindet. Hieraus lässt sich ein Bild für die vorherrschende großräumige Zirkulation ableiten.

Es ist zu erkennen, dass im untersuchten 18-tägigen Zeitraum die geopotentielle Höhe der 500-hPa-Fläche im Bereich von Grönland, über Island und Skandinavien bis zum Schwarzen Meer deutlich tiefer lag als im Referenzzeitraum. Gleichzeitig lag sie im Bereich von Neufundland über die Azoren bis in den östlichen Mittelmeerraum höher als im Referenzzeitraum. Hieraus lässt sich schlussfolgern, dass vor allem von Schottland über das südliche Skandinavien bis ins Baltikum häufig Höhenträge mit Tiefdruckgebieten am Boden dominierten, während über dem Mittelmeerraum und Südeuropa Höhenrücken und hoher Luftdruck am Boden bestimmend waren. Zwischen diesen beiden Gegensätzen herrschte eine ausgeprägte zonale westliche Strömung über Mitteleuropa und Deutschland vor.

Das intensivste Wettergeschehen findet gewöhnlich entlang der Frontalzone statt, die sich meist im Übergangsbereich solcher dominierenden Luftdruckgegensätze befindet und kältere von wärmeren, aber auch feuchteren Luftmassen trennt und an der es zu Hebungsprozessen und in deren Folge zu Niederschlägen kommt. **Abb. 16** zeigt die Anomalie für das zur Verfügung stehende niederschlagbare Wasser, das ein Anhaltspunkt für zu erwartende Niederschlagsmengen darstellt. Deutlich positive Abweichungen sind in einem Streifen von Großbritannien über Benelux und Deutschland bis nach Osteuropa zu sehen, mit den höchsten Werten vom Ärmelkanal bis in den Nordwesten Deutschlands. Es ist anzunehmen, dass die Ursache der erhöhten Werte für das niederschlagbare Wasser im Zeitraum vom 19.12.2023 bis zum 5.1.2024 in der vorherrschenden westlichen Strömung lag, die kontinuierlich milde und feuchte Luftmassen vom Atlantik nach Mitteleuropa transportierte.

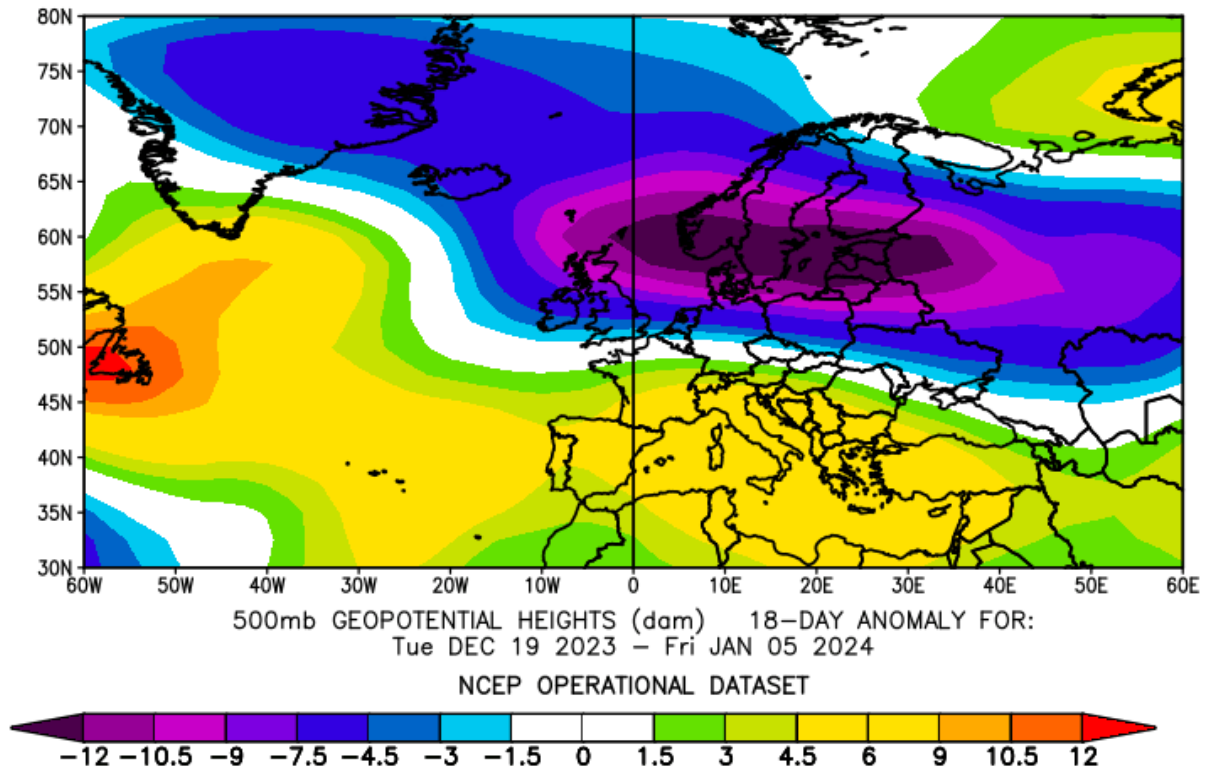


Abb. 15: Anomalien NCEP Reanalyse für den Zeitraum 19.12.2023 bis 5.1.2024 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1991–2020 für die geopotentiellen Höhe in 500 hPa, Quelle: NOAA: <https://psl.noaa.gov/data/histdata/>, Abruf: 8.1.2024

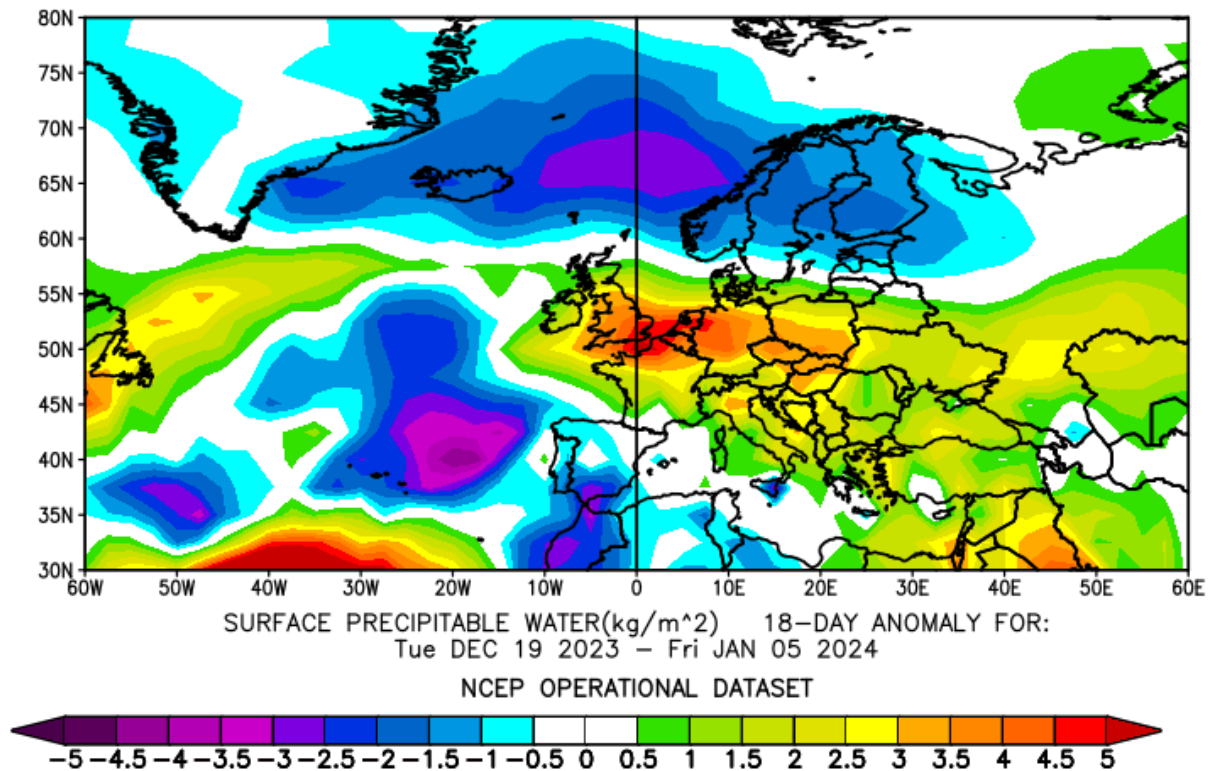


Abb. 16: Anomalien NCEP Reanalyse für den Zeitraum 19.12.2023 bis 5.1.2024 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1991–2020 und das niederschlagbare Wasser, Quelle: NOAA: <https://psl.noaa.gov/data/histdata>, Abruf: 8.1.2024

Regionale Niederschlagsereignisse können im Kontext großräumiger Klimamuster auftreten, die durch etablierte Klimaindizes beschrieben werden, insbesondere die „El Niño Southern Oscillation“ (ENSO), sowie die Nordatlantische Oszillation (NAO). El Niño ist eine ozeanische Anomalie die in Abständen von wenigen Jahren auftritt und unter anderem eine Erwärmung des östlichen und zentralen Pazifiks mit sich bringt. Sie ist gekoppelt mit einer atmosphärischen Anomalie in den Tropen, der sogenannten Southern Oscillation. Derzeit ist ein El Niño aktiv, der im Dezember 2023 seinen Höhepunkt erreicht hatte und nach den Vorhersagen im Lauf des Frühjahrs 2024 abklingen wird. Gerade im nordhemisphärischen Winter hat El Niño Auswirkungen auf die Witterung in vielen Teilen der Erde. Das vom Deutschen Wetterdienst betriebene Weltzentrum für Niederschlagsklimatologie (GPCC) hat die Korrelation zwischen dem Auftreten von El Niño Ereignissen auf Basis des Southern Oscillation Index (SOI) und den monatlichen Niederschlagsmengen im Zeitraum 1901 bis 2020 untersucht. Hier zeigt sich für den Winter eine positive Korrelation (siehe **Abb. 17**), was heißt, dass es während eines El Niños mehr Niederschlag gibt als in La Niña oder ENSO-neutralen Jahren. Demnach hat der El Niño das Niederschlagsereignis eher begünstigt.

Correlation (GPCC Full V2022 - SOI) * -1.
low pass filtered, sig >= 90%
1901-2020, winter

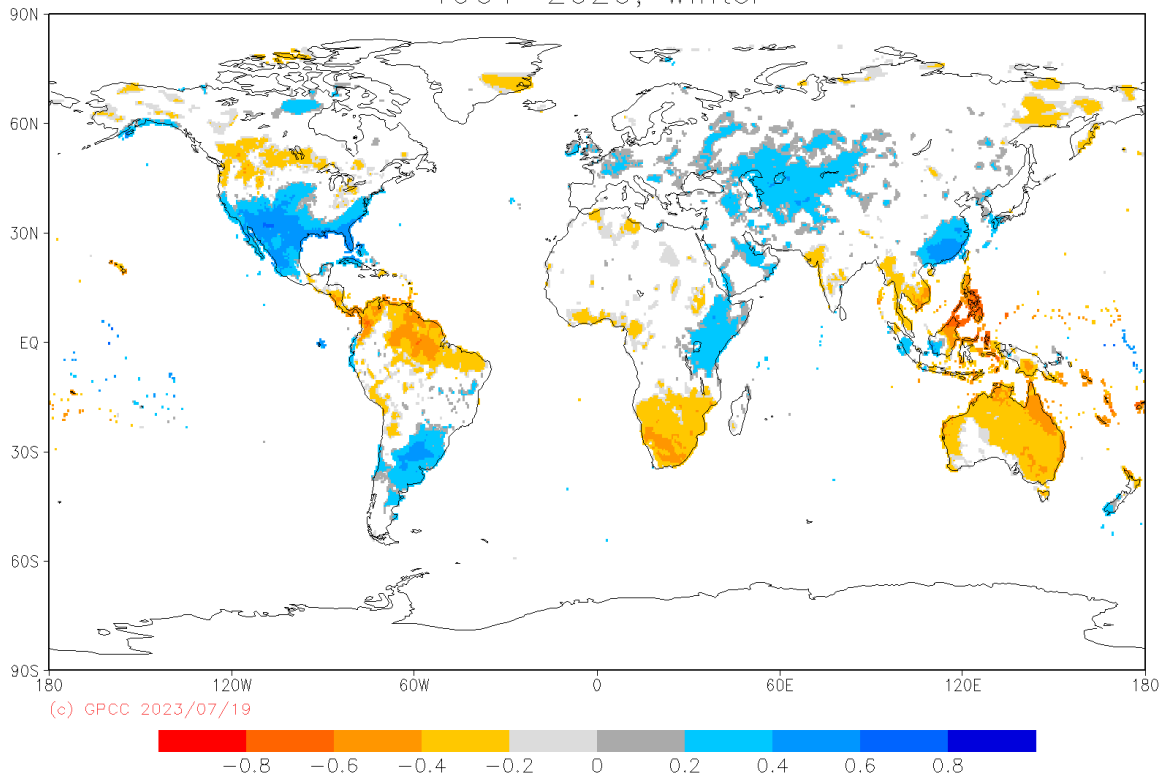


Abb. 17: Korrelation zwischen dem SOI als Indikator für El Niño/La Niña und monatlichen Niederschlagsmengen. In den blauen Regionen ist es bei einem El Niño feuchter und bei La Niña trockener als üblich. Umgekehrt ist es in den orangenen Regionen bei einem La Niña feuchter und bei El Niño trockener als normal. Quelle DWD, GPCC

Der Index der NAO beschreibt die Luftdruckdifferenz zwischen dem Islandtief und dem Azorenhoch. Ein positiver Index bedeutet, dass diese Differenz größer ist als normal, ein negativer Index, dass sie kleiner ist. Im Dezember 2023 war die NAO mit Ausnahme der ersten Tage durchweg in einer positiven Phase, welche erst Anfang Januar beendet war, als sich die Wetterlage umstellte. Eine Korrelationsanalyse des GPCC von NAO und Monatsniederschlag (ohne Abbildung) zeigt, dass vor allem an der Nordwestküste der Britischen Inseln und Skandnaviens sowie der Südostküste der Nordsee überdurchschnittliche Niederschlagsmengen bei einer positiven NAO-Phase fallen. Dies ist ein weiteres Indiz dafür, dass diesem Ereignis eine besondere, länger andauernde Zirkulationsanomalie zugrunde lag.

Während es in der zweiten Dezemberhälfte im Bereich des Golfstroms unterdurchschnittliche Meeresoberflächentemperaturen gab, waren sie südlich Grönlands sowie in der Labrador- und Irmingersee überdurchschnittlich hoch. Die meisten der in diesem Zeitraum das Wetter beeinflussenden Tiefdruckgebiete bildeten sich in dieser Region oder zogen darüber. Damit konnten sie größere Wassermengen aufnehmen als es bei durchschnittlichen Meeresoberflächentemperaturen der Fall wäre.

Zusammenfassend ergibt sich also, dass die drei Faktoren El Niño, positive NAO-Phase und überdurchschnittliche Meeresoberflächentemperaturen südlich Grönlands im Zusammenspiel die überdurchschnittlichen Niederschlagsmengen in weiten Teilen West-, Mittel- und Osteuropas ermöglicht haben.

Auch wenn also ein Zusammenhang mit den ausgeprägten Rekordtemperaturen plausibel ist, kann der Einfluss des fortschreitenden Klimawandels auf einzelne Extremereignisse nicht pauschal beantwortet werden. Mit "Attributionsstudien" lässt sich grundsätzlich abschätzen, inwieweit der vom Menschen verursachte Klimawandel für das Auftreten individueller Wetter- oder Klimaextreme verantwortlich ist. Für derartige statistische Analysen werden Klimasimulationen verwendet, da die Beobachtungszeitreihen dafür meistens zu kurz sind und keine Abschätzung in der Zukunft ermöglichen.

Der Deutsche Wetterdienst analysiert derzeit mit diesem Verfahren die extremen Niederschläge in Niedersachsen. Dafür wurde ein Bereich ausgewählt, in dem die Niederschläge nicht nur absolut, sondern auch im Vergleich zum klimatologischen Mittelwert (1991–2020) außergewöhnlich hoch waren (siehe **Anhang 2**). Die vorläufigen Ergebnisse zeigen, dass die hier beobachteten Monatsmittelwerte im derzeitigen Klima eher selten vorkommen, durch den Klimawandel aber bereits wahrscheinlicher geworden sind. Auch die Intensität der Niederschläge hat im Vergleich zu einem 1,2 °C kälteren Klima eher zugenommen. Die Studie mit weiteren Details ist unter folgendem Link veröffentlicht: https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaforschung/spez_themen/attributionen/node_finishe_dattributes.html

Die Attributionsuntersuchung wurde im Rahmen des DWD-Beitrags zum BMBF-Forschungsverbund ClimXtreme II (Klimawandel und Extremereignisse – Phase 2) durchgeführt. Weitere Ergebnisse aus Auswertungen der Projektpartner sind auf der Webseite des Projekts zu finden:

<https://www.climxtreme.net/index.php/en/component/content/article/33-news/47-hochwasserlage-dezember-23-januar-24>

Blick auf Europa

Nicht nur in Deutschland, sondern auch in den umgebenden Ländern gab es in diesem Zeitraum überdurchschnittliche Niederschlagsmengen. Das Gebiet des Niederschlagüberschusses erstreckt sich von den Britischen Inseln und dem Ärmelkanal über die Beneluxländer und Deutschland bis nach Osteuropa. Im Süden wird es von den Alpen und dem Nordteil des Karpatenbogens begrenzt. Diese Region deckt sich gut mit dem Gebiet der positiven Anomalie des niederschlagbaren Wassers (**Abb. 18**).

Abweichung von den Bezugswerten, 19.12.2023 bis 5.1.2024

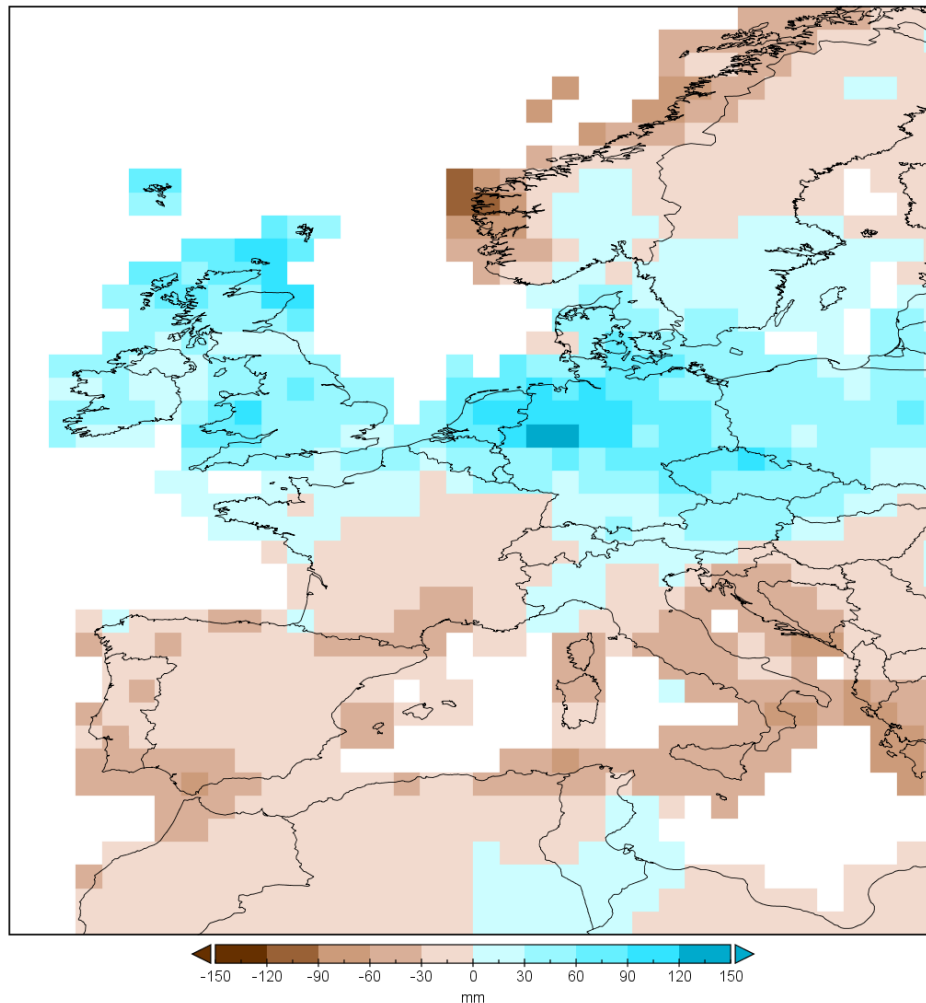


Abb. 18: Differenz zwischen den vom 19.12.2023 bis zum 5.1.2024 gemessenen Gebietsniederschlägen und den Bezugswerten des Zeitraums 1991-2020. In den blauen Regionen fiel mehr Niederschlag als üblich, in den braunen Regionen weniger als üblich. Quelle: DWD, GPCC

In **Irland** wurden im Dezember 2023 Monatssummen von bis zu 294 mm gemessen, der höchste Tageswert war 31 mm. Markant war aber die Vielzahl der wetterwirksamen Tiefdruckgebiete und damit die Anzahl der Tage mit Niederschlag (21 bis 31 Tage).

In **Großbritannien** kam der Niederschlag hauptsächlich durch zwei Tiefdruckgebiete: Bodo (internationaler Name: Gerrit) Ende Dezember und Annelie (internat. Henk) Anfang Januar, je mit verbreitet 30 bis 50 mm Niederschlag, exponiert bis 100 mm. In erster Linie kam es entlang des Flusses Trent (in der Mitte Englands) zu Überschwemmungen, aber auch andernorts wurden Straßen und Häuser überflutet.

Frankreich war erst nach Weihnachten von den ergiebigen Regenfällen betroffen. Diese fielen in den nördlichen Regionen und führten unter anderem an den Flüssen Aa, Helpe Mineure und

Solre zu Überschwemmungen. Es kam zu Stromausfällen und Einschränkungen in der Trinkwasserversorgung.

In **Belgien** war der Dezember überdurchschnittlich niederschlagsreich, auch gab es mit 23 Niederschlagstagen mehr als üblich (19 Tage). Dies führte unter anderem zu Überschwemmungen in der Provinz Luxemburg entlang der Semois und in Ostflandern.

In den **Niederlanden** kam es nach Deichbrüchen an Flüssen zu Überschwemmungen.

Dänemark konnte am 3.1.2024 einen neuen Tagesniederschlagsrekord verzeichnen. Der 138 Jahre alte Rekord wurde um 9 mm überschritten, der neue Rekord ist 59 mm. Darüber hinaus erlebten weite Teile Jütlands einen Schneesturm, der zu sehr großen Verkehrsproblemen führte. In Ostjütland wurde mit 50 cm Schneehöhe der höchste Wert in einem Januar seit 2011 gemessen.

In der **Schweiz** brachte der Dezember regional große Niederschlagsmengen. Auf der Alpennordseite, im Kanton Graubünden und im Wallis, fiel stellenweise etwa das Doppelte der durchschnittlichen monatlichen Niederschlagsmenge. Vielerorts war es einer der fünf nassesten Dezember seit Messbeginn.

In **Österreich** war der Dezember der niederschlagsreichste seit dem Jahr 1918 und der zweitniederschlagsreichste Dezember seit Beginn der Messreihe im Jahr 1851.

In **Tschechien** war der Dezember im Landesdurchschnitt fast doppelt so niederschlagsreich wie im vieljährigen Mittel.

Quellen und weitere Informationen

- [1]: Deutschlandfunk: Behörden ordnen in Hochwassergebieten Evakuierungen an. <https://www.deutschlandfunk.de/hochwasserlage-in-deutschland-dlf-14f6cfa6-100.html>, 28.12.2023
- [2]: Zeit Online: Harzwasserwerke: Talsperren haben Möglichstes getan. <https://www.zeit.de/news/2024-01/13/harzwasserwerke-talsperren-haben-moeglichstes-gegan, 13.1.2024>
- [3]: Süddeutsche: Katastrophenfall im Landkreis Mansfeld-Südharz aufgehoben. <https://www.sueddeutsche.de/panorama/hochwasser-kelbra-kyffhaeuser-katastrophenfall-im-landkreis-mansfeld-suedharz-aufgehoben-dpa.urn-newsml-dpa-com-20090101-240112-99-589149, 12.1.2024>
- [4]: Niedersächsisches Ministerium für Inneres und Sport: Hochwasser in Niedersachsen – Nach ersten Schätzungen rund 100.000 Kräfte in ca. 20.000 Einsätzen unterwegs. <https://www.mi.niedersachsen.de/startseite/aktuelles/presseinformationen/hochwasser-in-niedersachsen-nach-ersten-schatzungen-rund-100-000-kraefte-in-ca-20-000-einsaetzen-unterwegs-228383.html, 2.1.2024>
- [5]: Meyerthole Siems Kohlruss Gesellschaft für aktuarielle Beratung mbH: Hochwasser kostet unter 1 Mrd. Euro – wenn die Deiche halten. Pressemitteilung vom 7.1.2024. <https://aktuare.de/de/presse/pressemitteilungen/2694-pm-hochwasser-januar-2024.html>
- [6]: Rauthe, M., Steiner, H., Riediger, U., Mazurkiewicz, A. Gratzki, A.: A Central European precipitation climatology – Part I: Generation and validation of a high-resolution gridded daily data set (HYRAS)", Meteorologische Zeitschrift, Vol. 22, No. 3, 235 - 256. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0436, 2013>
- [7]: Junghänel, T., Bär, F., Deutschländer, T., Haberlandt, U., Otte, I., Shehu, B., Stockel, H., Stricker, K., Thiele, L.-B., Willems W.: Methodische Untersuchungen zur Novellierung der Starkregenstatistik für Deutschland (MUNSTAR). Synthesebericht. 95 pp., 2022.
- [8]: World Meteorological Organization: WMO confirms that 2023 smashes global temperature record, Pressemitteilung 12.1.2024, <https://wmo.int/media/news/wmo-confirms-2023-smashes-global-temperature-record>
- [9]: Kaspar F., Friedrich, K., Imbery., F.: Observed temperature trends in Germany: Current status and communication tools, Meteorologische Zeitschrift, Vol. 32, No. 4, 279 - 291. <https://doi.org/10.1127/metz/2023/1150, 2023>
- [10]: Zeder, J., Fischer, E. M.: Observed extreme precipitation trends and scaling in Central Europe. Weather and Climate Extremes, 29, 100266. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2020.100266, 2020>.
- [11]: BMDV, 2020: Verkehr und Infrastruktur an Klimawandel und extreme Wetterereignisse anpassen – Ergebnisbericht des Themenfeldes 1 im BMVI-Expertennetzwerk für die Forschungsphase 2016 – 2019, https://www.bmdv-expertennetzwerk.bund.de/DE/Publikationen/TFSPtBerichte/TF1_3Auflage.pdf

Außerdem wurden Daten und Informationen aus folgenden Quellen verwendet:

- NOAA: <https://psl.noaa.gov/data/histdata/>
- FU-Berlin: <https://www.wetterpate.de/>
- Climate Reanalyzer. Climate Change Institute, University of Maine.
<https://climatereanalyzer.org/>
- Deutscher Wetterdienst (DWD), Climate Data Center (CDC): <http://www.dwd.de/cdc>
- Global Precipitation Climatology Center (GPCC): <https://gpcc.dwd.de>
- Deutscher Wetterdienst (DWD), Klimaüberwachungsprodukte (Karten, Berichte):
https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaueberwachung/klimaueberwachung_node.html

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

Anhang 1

Exemplarische Illustration des Warnverlaufs

Tab. 5: Ausgegebene Warnungen des DWD zur Warnkategorie Dauerregen vom 20.12.2023 bis 3.1.2024.

Ausgabezeit	Region	Warnzeitraum	Mengen	Warnfarbe
20.12.2023 12:03 Uhr	Harz	20.12.2023 18 Uhr - 23.12.2023 18 Uhr	60 bis 90, Staulagen bis 120 l/m ²	rot
22.12.2023 15:45 Uhr	Südliches Niedersachsen	23.12.2023 02 Uhr - 24.12.2023 08 Uhr	35 bis 50, Staulagen um 60 l/m ²	ocker
22.12.2023 15:45 Uhr	Harz	22.12.2023 15:45 Uhr - 25.12.2023 08 Uhr	70 bis 100, Staulagen um 120 l/m ² , bereits gefallen 40 bis 70 l/m ²	rot
24.12.2023 09:08 Uhr	Weserbergland	24.12.2023 14 Uhr - 26.12.2023 06 Uhr	bis 35 l/m ²	ocker
24.12.2023 15:56 Uhr	Harz	24.12.2023 15:56 Uhr - 26.12.2023 12 Uhr	50 bis 80, Staulagen um 90 l/m ² , bereits gefallen 50 bis 80 l/m ²	rot
29.12.2023 12:06 Uhr	Harz	29.12.2023 12:06 Uhr - 30.12.2023 09 Uhr	bis 30 l/m ²	ocker
31.12.2023 18:50 Uhr	Harz	02.01.2024 00 Uhr - 04.01.2024 00 Uhr	60 bis 80 l/m ²	rot
31.12.2023 18:50 Uhr	Weite Teile Süd-, West- und Zentralniedersachs ens	02.01.2024 00 Uhr - 04.01.2024 00 Uhr	40 bis 60 l/m ²	ocker
1.1.2024 18:52 Uhr	Weite Teile Süd-, West- und Zentralniedersachs ens	02.01.2024 00 Uhr - 04.01.2024 00 Uhr	Leichte Adaption der bestehenden Warnung bezüglich Gebiet und Niederschlagsmengen,	ocker

Ausgabezeit	Region	Warnzeitraum	Mengen	Warnfarbe
			meist nun 40 bis 50 l/m ² gewarnt	
2.1.2024 09:22 Uhr	Weite Schleswig- Holsteins und kleinräumig Niedersachsen im Bereich der Elbmündung	02.01.2024 17 Uhr - 03.01.2024 17 Uhr	30 bis 45 l/m ²	ocker
03.01.2024 12:06	Harz	03.01.2024 12:06 Uhr 04.01.2024 06 Uhr	noch zu erwarten um 30 l/m ² , bereits gefallen um 50 l/m ²	rot
3.1.2024 12:06	Harzumfeld	03.01.2024 12:06 Uhr 04.01.2024 06 Uhr	noch zu erwarten bis 30 l/m ² , bereits gefallen um 25 bis 35 l/m ²	ocker
3.1.2024 13:03 Uhr	Weserbergland	04.01.2024 00 Uhr - 05.01.2024 09 Uhr	noch zu erwarten bis 35 l/m ² , bereits gefallen um 30 l/m ²	ocker

Anhang 2

Bereich der Attributionsuntersuchung

Anomalie der Monatssumme des Niederschlags für Dezember 2023 Referenzperiode 1991-2020

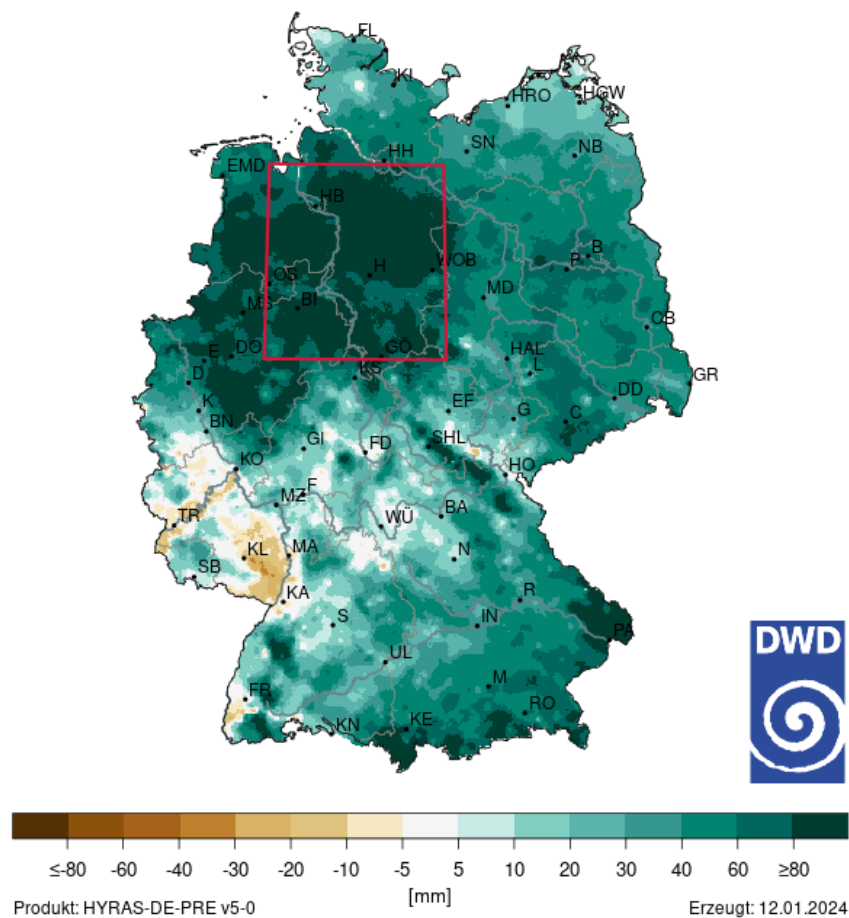


Abb. 19: Absolute Abweichung der monatlichen Niederschlagssumme für Dezember 2023 im Vergleich zur Referenzperiode 1991–2020 in mm auf Basis von HYRAS-DE-PRE (v5-0), rot umrandet der für die Attributionsstudie genutzt Bereich (51.5°N bis 53.5°N und 8°O bis 11°O), Quelle: DWD, Hydrometeorologie, Datenstand 9.1.2024