

# Zu heiß, zu nass - über den Zusammenhang dieser gegensätzlichen Wetterextreme

Peter Hoffmann

## 1 Zusammenfassung

Setzt man lokale Witterungsverläufe in einen zeitlichen klimatischen Kontext, so resultieren daraus mehr oder weniger starke Abweichungen der Temperaturverhältnisse, die mitunter mehrere Grad betragen können. Die entsprechenden räumlichen Muster zeigen dann oftmals ein Wechsel von positiven und negativen Anomalien, die sich bevorzugt entlang der Langenrade in mittleren geografischen Breiten aneinanderreihen. Extreme Witterungsbedingungen wie bspw. Hitzewellen, die an einem Ort zu markanten positiven Temperaturabweichungen führen, können andernorts infolge von Kaltluftausbrüchen nach Süden schwere Überschwemmungen auslösen. Verantwortlich dafür ist der Verlauf der Hohenwinde (Jet Stream). Je stärker diese aus westlichen Richtungen nach Europa wehen, desto stärker der Wettereinfluss vom Nordatlantik und desto unwahrscheinlicher sind extreme Witterungsbedingungen in Europa. Verstärkt sich dagegen im räumlichen Verlauf der Hohenwinde der Transport über Breitengrade hinweg, können Wetterlagen länger ortsfest bleiben, was das Auftreten von gegensätzlichen Wetterextremen begünstigen kann. Retrospektive Auswertungen über Zusammenhänge von Großwetterlagen über Europa und dem Auftreten von lokalen Extremwetterbedingungen zeigen, dass vor allem in der warmen Jahreszeit meridionale Wetterlagen einen höheren Anteil an der Wettervariabilität erklären und sich damit die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von hydroklimatischen Extremen (Hitzewellen und Starkregen) erhöht.

## 30 Einleitung

In diesem Artikel sollen ganz grundsätzlich meteorologische Phänomene dargestellt werden, die einen Teil der Wettervariabilität ausmachen und deren räumliche Muster des Großwetters wiederkehrend Extremwetterbedingungen auslösen können. Treten lokale Witterungsbedingungen auf, die deutlich vom Mittelwert der vergangenen Jahrzehnte abweichen, so liegen die Werte am Rande der bisherigen Häufigkeitsverteilung, die retrospektiv betrachtet, durch eine geringe Eintrittswahrscheinlichkeit gekennzeichnet sind. Im Sommerhalbjahr können kritische Schwellen meteorologischer Größen überschritten werden, die sich ungünstig auf Mensch und Natur auswirken können. Sind die Wetterbedingungen über Tage bis zu Wochen anhaltend zu heiß oder zu nass im Vergleich zu mehrjährigen Mittelwerten, können sich daraus Situationen entwickeln, die sozio-ökonomische Auswirkungen nach sich ziehen und den gesellschaftlichen Alltag darüber hinaus stören (Geiger, 2021). Beispielhaft dafür sind großräumigen Hitzewellen, welche die Arbeitsproduktivität einschränken und das Gesundheitssystem belasten können oder aber Überschwemmungen infolge anhaltender Regenfälle, die zu ungünstigen Regenwasseransammlungen in flussnahen

Bereichen bzw. Tallagen mit Bebauungen führen können und oftmals mit enormen materiellen Schäden verbunden sind (bspw. die Ahrtalkatastrophe im Juli 2021, DWD20210721). Im Vergleich der meteorologischen Extreme zueinander verursachen Hitzewellen die höchsten Sterbezahlen. Infolge anhaltend hoher Temperaturen wurde im Jahr 2018 eine hitzebedingte Übersterblichkeit von ca. 8000 Fällen registriert (Winklmayr et al., 2022).

Im weiteren Verlauf soll gezeigt werden, dass das Auftreten von lokalen Extremwerten in einem großräumigen Kontext steht, deren Muster in der Regel mit charakteristischen Transportwegen von Luftmassen kausal verknüpft sind. Dafür werden Atmosphärenfelder der geopotentielle Höhe der Standarddruckfläche in 500 hPa genutzt, um den Verlauf der Hohenlinien räumlich zu verfolgen. Diese repräsentiert die Zirkulationsverhältnisse in der mittleren Troposphäre in ca. 5-6 km über Grund. Die Felder können Berge und Täler aufweisen sowie Bereiche, wo die Konturlinien enger gedrängt beieinander liegen. Anhand deren Verlauf und Krümmung lassen sich so großräumige Transportwege verfolgen und interpretieren. Je nach vorherrschender Großwetterlage verändern sich die Strukturen oder verlaufen über die Zeit in ähnlichen Bahnen. Dann bleibt auch der lokale Witterungsverlauf vergleichsweise unverändert oder beständig. Ähnlichkeit ist also ein wichtiges Merkmal, um wiederkehrendes Wetter durch Attribute der großräumigen Strömungsverhältnisse zu kennzeichnen.

Wurde man sich bei der Betrachtung lokaler Extremwerte von Temperatur und Niederschlag allein auf statistische Maßzahlen beschränken, so wurde der kausale Kontext verloren gehen. Dieser ist jedoch von zentraler Bedeutung, um Zusammenhänge zu Extremwetterbedingungen und deren mögliche Veränderungen im Kontext klimatischer Veränderungen einzuordnen. Analog zur täglichen Wetterberichterstattung, die in der Regel mit der Beschreibung des großräumigen Zustands und dessen Entwicklung startet, so schließen wir hier über die exemplarische Auswahl von Extremereignissen auf den entsprechenden großräumigen Kontext der Großwetterbedingungen.

An ausgewählten Beispielen lokaler Temperatur- und Niederschlagsextreme in Europa soll aufgezeigt werden, welcher Zusammenhang zum großräumigen Kontext besteht und wie die resultierenden Wettermuster zu deuten sind. Darüberhinaus wird auf beobachtete Tendenzen der Wetterbeständigkeit eingegangen und eine Verknüpfung zu veränderten Erscheinungen im Großwetter über Europa hergestellt.

## 01 Ursache

Jeder Wert einer meteorologischen Messgröße ist Teil einer Verteilung, welche einen Wertebereich aufspannt. Die Ursache dafür sind natürliche Variationen von

# Zu heiß, zu nass - über den Zusammenhang dieser gegensätzlichen Wetterextreme

Peter Hoffmann

1 Luftmassentransporten unterschiedlicher Herkunft und  
2 Eigenschaften. Sie bestimmen, wo es Regen geben kann oder  
3 wo es eher trocken bleibt. Aus diesem Grund sind  
4 Betrachtung von wiederkehrenden Merkmalen im  
5 Großwetter von zentraler Bedeutung in der Wetter- und  
6 Klimadiagnostik (Baur, 1937).

## 7 **Wetterextreme im großräumigen Kontext**

8 Im Laufe klimatologischer Zeiträume von mindestens 30  
9 Jahren gibt es für jeden Ort z.B. in Europa eine mittlere  
10 Anzahl von Tagen über 30 Grad. Je südlicher desto mehr und  
11 je nördlicher desto weniger. Dazwischen kann es je nach  
12 vorherrschender Wetterlage größere Schwankungen in der  
13 Anzahl von Jahr-zu-Jahr geben. Dominieren im Sommer  
14 stabile Hochdruckwetterlagen bzw. Südwestlagen das  
15 Witterungsgeschehen über Mitteleuropa, dann können auch  
16 in Norddeutschland überdurchschnittlich viele Tage über 30  
17 Grad gemessen werden. Reist dagegen der Zustrom  
18 atlantischer Luftmassen aus Westen bzw. Nordwesten über  
19 Wochen nicht ab, dann bleibt es vergleichsweise kühl.  
20 **Abbildung 1** illustriert schematisch, dass jedes lokale  
21 Wettergeschehen (Icon) durch eine räumlich Karte  
22 (Großwetterlage) veranschaulicht werden kann. Fasst man  
23 viele Tage mit deutlich über 30 Grad zusammen, so ergibt  
24 sich ein für den Ort und Extreme definiertes  
25 charakteristisches Muster der Großwetterbedingungen.  
26 Gleiches gilt auch für Tage mit örtlich hohen Regenmengen.  
27 Je nach Extrem unterscheiden sich diese im Transportweg  
28 von Luftmassen.



29  
30 **Abbildung 1:** Jeder lokale Wetterzustand (Icon) besitzt einen  
31 großräumigen Kontext (Karte): Wiederkehrende Merkmale des  
32 Großwetters sind mit örtlich charakteristischen  
33 Witterungsbedingungen verknüpft.

## 34 **Wetterextreme im zeitlichen Kontext**

35 Betrachtungen über klimatologische Zeiträume hinweg  
36 erlauben es, systematische Verschiebungen von  
37 Werteverteilungen zu diagnostizieren. Dann resultieren  
38 Abweichungen nicht mehr allein aus den vorherrschenden  
39 Großwetterbedingungen, sondern zudem aus klimatischen  
40 Veränderungen. Eine direkte Zuordnung der Anteile ist in  
41 der Regel sehr aufwendig und nur mittels Modellsimulationen

42 abschätzbar. Vor dem Hintergrund aktueller klimatischer  
43 Entwicklungen sind statistische Zusammenhänge weniger  
44 belastbar, resultieren sie aus Jahrzehnten vergangenen  
45 Klimabedingungen. Immer mehr großräumige  
46 Wetterbedingungen können dann Tage mit 30 Grad  
47 erreichen. Kritische Südwestlagen hatten zudem das Potential  
48 auch Temperaturen an die 40 Grad und darüber hinaus in  
49 Regionen zu transportieren, wo man es klimatologisch nicht  
50 erwarten würde. Denn neben dem mittleren  
51 Temperaturanstieg, der das Eintreten von Hitzebedingungen  
52 wahrscheinlicher macht, sind es auch veränderte  
53 Eigenschaften in der zeitlichen Abfolge von großräumigen  
54 Wetterlagen (z.B. Beständigkeit). In der Folge dieser  
55 Faktoren können Extreme einen stärkeren Anstieg aufweisen  
56 als es für Mittelwerte der Fall ist.

## 57 **Wirkung**

58 Im Folgenden sollen nun Bedingungen diskutiert werden, die  
59 Auslöser für extreme Witterungsbedingungen darstellen.  
60 Dazu werden die globalen Felder des Geopotentials in 500  
61 hPa von 1981 bis 2022 zeitlich gefiltert und gemittelt: einmal  
62 für die 0.2% höchsten Temperaturwerte (N=29d) in  
63 Hamburg (Deutschland) und dann für die 0.1% höchsten  
64 Niederschlagswerte (N=16) in Larisa (Griechenland).  
65 Hintergrund für die Auswahl sind jüngste Ereignisse  
66 entgegengesetzter Wetterextreme, die im Juli 2022 für  
67 Rekordhitze in Hamburg sorgten (DWD20220921) und im  
68 September 2023 für sintflutartige Regenmengen in  
69 Griechenland (DWD20230907).

70 Die daraus resultierenden Unterschiede in den Karten der  
71 Strömungsmuster verdeutlichen den Zusammenhang dieser  
72 beiden gegensätzlichen Wetterextreme. Beide Beispiele sind  
73 motiviert durch Ereignisse der zurückliegenden Jahre und  
74 machen deutlich, welche entscheidende Rolle die  
75 Orientierung von Luftmassentransporten spielt, und wie nah  
76 sich ein solcher Kontrast im Wettergeschehen abspielen  
77 kann, wenn man sich die Lage der entsprechenden Muster  
78 vergegenwärtigt.

## 79 **Hitze (zu heiß)**

80 Auslöser für Hitzewellen in Mitteleuropa sind Wetterlagen  
81 mit einer anti-zyklonalen Krümmung der Konturlinien im  
82 Geopotential. Die Europakarte in **Abbildung 2** zeigt das  
83 Mittel des Geopotentials an den 29 heißesten Tagen (99.8%-  
84 Perzentil) in Hamburg von 1981 bis 2022 unter Verwendung  
85 von NCEP/NCAR Reanalysedaten (Kalnay et al., 1996). Im  
86 Zustrom südwestlicher Luftmassen gelangen ruckseitig  
87 ungewöhnlich heiße Temperaturen weit nach Norden. Die  
88 dichte Drängung der Konturlinien deutet zudem auf hohe  
89 Windgeschwindigkeiten in Bereichen Westeuropas hin.

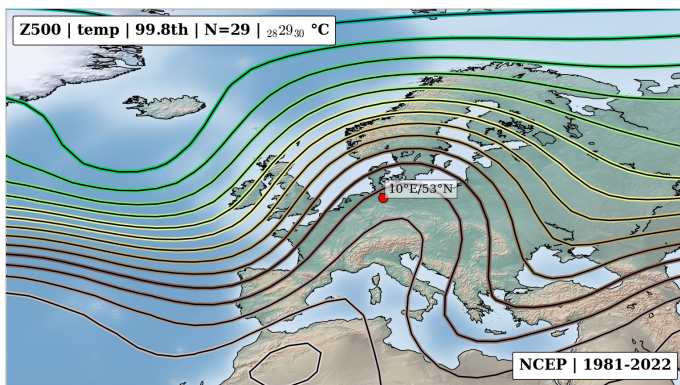
90 Zeitgleich ist ein zyklonaler Hohentrog über dem östlichen  
91 Mittelmeerraum erkennbar, der Starkregenfälle in der  
92 Region auslösen kann. Im Ausgleich zur heißen



# Zu heiß, zu nass - über den Zusammenhang dieser gegensätzlichen Wetterextreme

Peter Hoffmann

1 Sudwestströmung über Westeuropa strömen über dem Osten  
2 Europa's kühlere Luftmassen in höheren Luftschichten nach  
3 Süden und können dort die atmosphärische Stabilität  
4 verringern. Verschiebungen in der Lage eines solchen  
5 Musters verschiebt auch der Schwerpunkt von Extremwerten.  
6 Verbleibt eine solche Struktur der Strömung länger als  
7 bislang gewohnt ortsfest, kann sich aus ein paar heißen Tagen  
8 eine ausgedehnte Hitzewellen entwickeln. Es ist empirisch  
9 belegt, dass solche Temperaturextreme mit einer  
10 Übersterblichkeit einhergehen (Winklmayr et al., 2022). Es  
11 sterben statistisch mehr Menschen, wenn an  
12 aufeinanderfolgenden Tagen sich auch die Nächte nicht  
13 deutlich unter 20 Grad abkühlen.

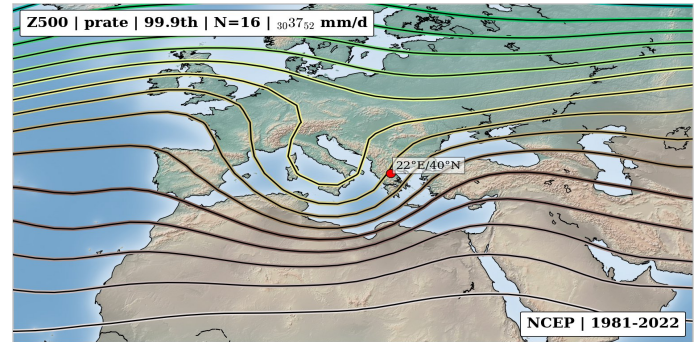


14  
15 **Abbildung 2:** Karte der mittleren Strömungsbedingungen für Tage  
16 an denen die Temperaturwerte in Hamburg (10°O/53°N) für den  
17 Zeitraum 1981-2022 über dem 99.8%-Perzentil lagen (N=29).

## 18 **Starkregen (zu nass)**

19 Betrachten wir nun im Gegenzug solche atmosphärischen  
20 Bedingungen, die im östlichen Mittelmeerraum (hier in  
21 Griechenland) Starkregenereignisse begünstigen. Die Form  
22 der Konturen (siehe [Abbildung 3](#)) zeigt einen Trog bzw. ein  
23 Hohentief westlich von Griechenland. Vorderseitig wird  
24 Feuchtigkeit aufgenommen und nach Norden transportiert,  
25 was das Potential für intensive Regenereignisse in  
26 Griechenland begünstigt. Die Rolle steigender  
27 Meeresoberflächentemperaturen im Mittelmeer wird hierbei  
28 nicht explizit berücksichtigt.

29 Die Lage des Trogmusters verschiebt sich in Abhängigkeit  
30 vom betrachteten Ort. Es gibt viele weitere Beispiele, wo  
31 vergleichbare Wetterlagen zu sintflutartigen Regenfällen  
32 bzw. Hochwasserkatastrophen geführt haben:  
33 Elbehochwasser (August, 2002 / Juni, 2013),  
34 Ahrtalkatastrophe (Juli, 2021, [DWD20210721](#)) oder Zagora  
35 (GR) im September, 2023. Dort fielen mit 750 mm  
36 Regenmengen innerhalb von 24 Stunden, die sonst  
37 typischerweise im Gesamtjahr fallen ([Muhr et al., 2023](#)). In  
38 Anbetracht dieser Rekordwerte wird klar, dass vergleichbare  
39 Regenmengen auch in Deutschland nicht ausgeschlossen  
40 sind, auch wenn bislang „nur“ etwas über 300 mm pro Tag  
41 gemessen worden ist.



42  
43 **Abbildung 3:** Karte der mittleren Strömungsbedingungen für Tage  
44 an denen der Tagesniederschlag in Larisa (22°O/40°N) für den  
45 Zeitraum 1981-2022 über dem 99.9%-Perzentil lagen (N=16).

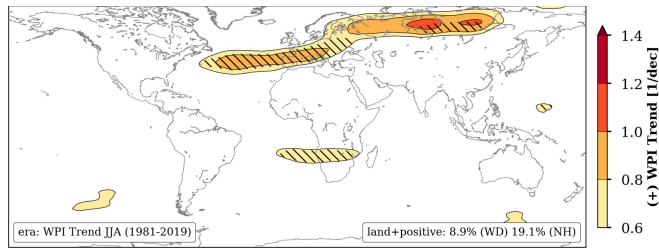
## 46 **Beständigkeit (zu lange)**

47 Wetterlagen, die einen ausgeprägten Transport über  
48 Breitenkreise hinweg aufweisen, sind durch eine geringere  
49 Verlagerungsgeschwindigkeit in West-Ost-Richtung  
50 gekennzeichnet. Während sich atlantische Tiefs in westlicher  
51 Grundströmung rasch ostwärts bewegen, können  
52 blockierende Hochs deren Verlagerung verlangsamen und in  
53 eine abweichende Richtung lenken. Die damit verbundenen  
54 Regengebiete, die in der Regel von West nach Ost das Land  
55 überqueren bleiben aus.

56 Zum Diagnostizieren von allgemeiner Wetterbeständigkeit  
57 eignet sich ein Verfahren aus der Bilderkennung. Dieses  
58 wurde in ([Hoffmann u. a., 2021](#)) auf Atmosphärenfelder  
59 angewendet, um die Ähnlichkeit von aufeinanderfolgenden  
60 Strömungsmustern zu quantifizieren. Verlaufen die  
61 Konturlinien der Geopotentialfelder über Tage bis Wochen  
62 hinweg in vergleichbaren Bahnen, dann ähneln sich die  
63 Strukturen der Bilder und es herrscht hohe  
64 Wetterbeständigkeit. Sogenannte Omega-Lagen sind dafür  
65 ein weit verbreitetes Phänomen für beständige  
66 Großwetterbedingungen. Im Einflussbereich können zeitlich  
67 entgegengesetzte Extreme an verschiedenen Orten  
68 gleichzeitig auftreten. Im nordhemisphärischen Sommer  
69 haben sich die Entstehungsbedingungen dafür begünstigt.  
70 [Abbildung 4](#) zeigt den Langzeittrend der Wetterbeständigkeit  
71 in den Sommermonaten (Juni-August) von 1981 bis 2019.  
72 Vor allem in einem Band vom Nordatlantik über Europa bis  
73 nach Sibirien sind die Trends positiv und das mit Folgen.  
74 Denn die Wetterbeständigkeit über Europa ist positiv mit der  
75 Temperatur korreliert – d.h. beständige Sommer sind in der  
76 Regel Hitze- und auch Trockensommer. In Mitteleuropa  
77 jedoch können unter diesen Bedingungen auch mögliche  
78 Hochwasserereignisse infolge langsam ziehender Tiefs nicht  
79 ausgeschlossen werden (so die Autoren). Im Rest der Welt  
80 sind bislang keine Hinweise für eine Zunahme der  
81 Wetterbeständigkeit erkennbar.

# Zu heiß, zu nass - über den Zusammenhang dieser gegensätzlichen Wetterextreme

Peter Hoffmann



1  
2 **Abbildung 4:** Karte der sommerlichen Zunahme der  
3 Wetterbeständigkeit (WPI) über den Zeitraum 1981-2019 abgeleitet  
4 aus ERA5 Reanalysefeldern (Hoffmann et al., 2021).

5 Das Ausmaß von Extremereignissen ist nicht nur von der  
6 Magnitude/Intensität bestimmt, sondern auch von der  
7 Dosis/Andauer. Je länger kritische Witterungsbedingungen  
8 über Tage bis Wochen anhalten, desto tiefgreifender können  
9 die Folgen sein – Hitzebelastung die zu Übersterblichkeit  
10 führt, Trockenstress zu landwirtschaftlichen Ertragsausfällen  
11 oder Regenmassen, die auf gesättigte Boden, gefüllte  
12 Speicher und versiegelte Flächen treffen und sich somit  
13 gefährlich ansammeln können. Auf derartige Gefahren kann  
14 unsere bestehende Infrastruktur nur sehr mühsam angepasst  
15 werden, um Folgen abzumildern. Eine sich abzeichnende  
16 Tendenz, die von langfristigen Klimamodellsimulationen  
17 wahrscheinlich unterschätzt wird. Gerade anhaltenden  
18 Trockenphasen sind davon betroffen, die durch blockierende  
19 Hochdruckwetterlagen ausgelöst werden.

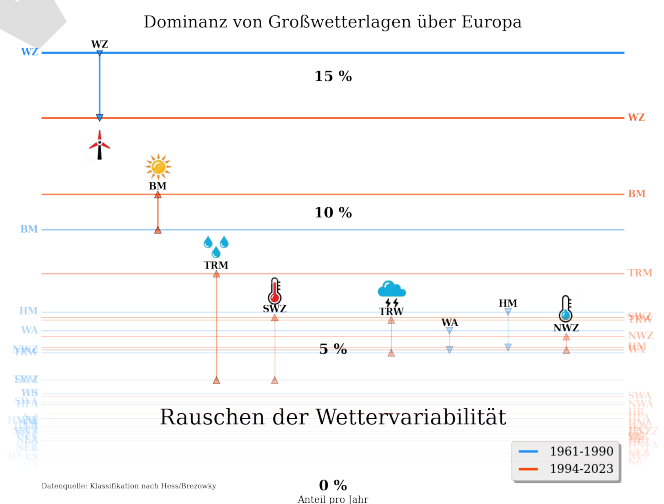
## 20 **Großwetter (zu kontrastreich)**

21 Die Klassifizierung von wiederkehrenden Stromungsmustern  
22 nach Typen von Großwetterlagen über Europa überführt  
23 Eigenschaften von Atmosphärenfeldern in Merkmale  
24 (Werner & Gerstengarbe, 2010). Deren zeitliche Abfolgen  
25 charakterisieren das Wesen der Wettervariabilität jenseits  
26 lokaler Temperatur und Niederschlagsbedingungen. Der  
27 entsprechende Kontext des Großwetters bestimmt  
28 maßgeblich, wo charakteristische Luftmassentransportwege  
29 für zu heiße bzw. zu nasse Witterungsbedingungen führen  
30 können. Mögliche Veränderungen in der Häufigkeit von  
31 bislang dominanten Großwetterlagen vom Nordatlantik,  
32 hatten substantielle Folgen auf die Wettervariabilität und die  
33 Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von extremen  
34 Witterungsbedingungen (Hoy et al. 2013) die länger als  
35 bislang gewohnt anhalten. Deshalb soll in Ergänzung zu den  
36 vorangegangenen Betrachtungen ein Blick auf  
37 Veränderungen im Großwettergeschehen über Europa  
38 geworfen werden. Eine zentrale Frage diesen Kontext  
39 betreffend wäre, ob sich der bislang dominante  
40 Großwettereinfluss vom Nordatlantik abgeschwächt hat, und  
41 wenn ja, welche neue dominante Wetterlagen diese Lücke  
42 ausfüllen.

43 Auswertungen von Großwetterlagen über Europa nach  
44 Hess/Brezowsky (1977) seit den 60er Jahren lassen eine  
45 solche Tendenz erkennen. Die Klassifikation wird  
46 nachwievor vom DWD unter dem Link

47 <https://www.dwd.de/DE/leistungen/grosswetterlage/grosswetterlage.html> bereitgestellt. **Abbildung 5** stellt die qualitative  
48 Dominanz von Merkmalen des Großwetters für die  
49 Zeiträume 1961-1990 (blau) und 1994-2023 (rot) gegenüber.  
50 Je dominanter desto höher die Lage der entsprechenden  
51 Niveaulinien. West-Zyklonal (WZ) gehört mit ca. 16%  
52 Anteil an der Gesamtvariabilität zu den häufigsten und  
53 markiert den verbreitet wechselhaften Witterungscharakter  
54 vom Nordatlantik. Das Bündel am unteren Rand repräsentiert  
55 das eher chaotische Rauschen der Wettervariabilität. Der  
56 qualitative Vergleich beider offenbart relevante Unterschiede  
57 im mittleren Bereich. Neue dominante Wetterlagen  
58 (Hoffmann, 2018) rücken stärker aus dem Rauschen der  
59 Wettervariabilität heraus und erklären bereits gegenwärtig  
60 einen höheren Anteil von 5-10 % an der Wettervariabilität.  
61 Bei diesen handelt es sich um kritische Wetterlagen, die  
62 verbreitet Luftmassen über Breitenkreise hinweg  
63 transportieren: SWZ (SüdWest-Zyklonal), TRW (Trog  
64 Westeuropa) und TRM (Trog Mitteleuropa). Sie neigen  
65 jahreszeitlich bedingt zu Extremwetterbedingungen  
66 (Hitzewellen bzw. Dauerregen), was durch die jeweiligen  
67 Symbole ausgedrückt wird. Auch wenn immer noch der  
68 größte Anteil der Luftmassentransporte aus westlichen  
69 Richtungen nach Europa getragen wird, so mischen sich  
70 immer stärker davon abweichende Transportwege unter, die  
71 letzten Endes auch das Empfinden von Witterungsverläufen  
72 im Gesamtjahr von eher gemäßigt zu kontrastreich verändert.

74



75

76 **Abbildung 5:** Illustration der veränderten Wettervariabilität auf  
77 Grundlage von einer Klassifikation von Großwetterlagen nach  
78 Hess/Brezowsky (1977): 1961-1990 (blau) und 1994-2023 (rot).  
79 Markiert sind kritische Wetterlagen, die aus dem Rauschen der  
80 Wettervariabilität heraustraten und heute einen höheren  
81 prozentualen Anteil an der Gesamtvariabilität erklären. Die  
82 Symbole entsprechen dem jeweiligen Witterungscharakter in  
83 Mitteleuropa.

84 Was dies konkret bedeuten kann, lässt sich bislang nur  
85 erraten. Klar ist, der Einfluss von Nordatlantik hat eine  
86 gemäßigte Ausstrahlung auf die Witterungsverläufe in  
87 Mitteleuropa. Mischen sich stärker als bislang der Fall



# Zu heiß, zu nass - über den Zusammenhang dieser gegensätzlichen Wetterextreme

Peter Hoffmann

1 Großwetterlagen vom Typ TRM (Trog Mitteleuropa) und  
2 SWZ (SudWest-Zyklonal) unter, dann werden  
3 entgegengesetzte Wetterextreme wahrscheinlicher, weil der  
4 großräumige Luftmassentransport dann verbreitet aus  
5 entgegengesetzten Richtungen (nordlich/sudlich) bestimmt  
6 wird. Entsprechend retrospektiv abgeleiteter  
7 Zusammenhänge folgt daraus ein höherer Kontrast und  
8 Gegensatz im Witterungsgeschehen, wenn sich die Hinweise  
9 erhalten. Im ungünstigsten Fall kann dann auf eine  
10 ausgedehnte Hitzewelle (SWZ) ein Hochwasser (TRM) in  
11 ein und derselben Region aufeinander folgen.

12 Der Hochsommermonat August ist im Jahresverlauf durch  
13 seine hohe Wetterbeständigkeit von ca. 5-7 Tagen  
14 gekennzeichnet. Dann bestimmen Phasen anhaltender  
15 Wärme und Trockenheit den Witterungscharakter in  
16 Deutschland. Verschiebungen der Beständigkeit machen sich  
17 gegenwärtig vor allem auch im Juni und Juli bemerkbar. Eine  
18 Zunahme von 3-4 Tagen auf 5-7 Tage lassen die  
19 Sommermonate angleichen. Dadurch erhöht sich die  
20 Wahrscheinlichkeit für Witterungsextreme wie Hitze und  
21 Trockenheit. Eine ähnliche Tendenz zu beständigeren  
22 Wetterlagen ist auch im Monat April zu erkennen.

23 Anhand der Abfolge von wiederkehrenden Merkmalen des  
24 Großwetters lassen sich zudem kritische Sequenzen  
25 identifizieren, wenn über Tage hinweg Wetterlagen anhalten,  
26 die bereits in der Vergangenheit mit extremen  
27 Witterungsverläufen verbunden waren. Zur Illustration sollen  
28 zwei Sequenzen von entgegengesetzten Extremen der Länge  
29 von jeweils 8 Tagen gegenübergestellt werden.

## 30 40 Grad in Hamburg:

31 2022-07-16: HM, HM, HM, SWA, SWA, SWA, SWA, SWA

## 32 Elbe Hochwasser:

33 2013-05-24: TRM, TRM, TRM, TRM, TM, TM, TM, TM

34 In der Entstehung und Entwicklung von hydroklimatischen  
35 Extremen spielen die Abfolgen der neuen dominanten  
36 Großwetterlagen SWZ/SWA und TRM eine maßgebliche  
37 Rolle.

## 38 Fazit

39 Die Zunahme von Extremwetterereignissen im Kontext des  
40 Klimawandels sind eine Folge der veränderten  
41 Wettervariabilität und der gesteigerten Energieaufnahme  
42 einer wärmeren Atmosphäre. Letzteres allein kann jedoch  
43 die schwere der jüngsten Ereignisse nur in Teilen erklären.  
44 Mitursache dafür sind sehr wahrscheinlich auch veränderte  
45 Großwetterlagen. Stellen sie doch einen Teilausschnitt des  
46 weltumspannenden Jet Stream dar. Seine Stärke steuert die  
47 Verlagerung von Hoch und Tiefs, was wiederum auch vom  
48 Temperaturkontrast zwischen Pol und Äquator abhängt  
49 (Coumou et al., 2018). Je stärker der Gegensatz, desto straffer

50 das von West nach Ost gerichtete Starkwindband in mittleren  
51 Breiten. Dieses hält kalte Luftmassen im Norden und warme  
52 Luftmassen im Süden, was für ein gemäßigtes Klima  
53 charakteristisch ist. Bekanntermaßen kommt es durch die  
54 globale Erwärmung zu Störungen, denn die Arktis und  
55 Landmassen erwärmen sich überproportional gegenüber dem  
56 Rest der Welt. In der Folge verringern sich  
57 Temperaturkontraste. Dann erwartet man, dass sich das  
58 straffe Windband lockert und häufiger nach Norden oder  
59 Süden ausschlagen kann. Im Extremfall können die  
60 Wellenmuster durch Resonanz ins Stocken geraten und  
61 zeitgleich entgegengesetzte Wetterextreme an verschiedenen  
62 Orten auslösen. Ein prominentes Beispiel dafür ist die  
63 Hitzewelle in Russland 2010 (Di Capua et al., 2021), die  
64 durch eine beständige Omega-Lage ausgelöst wurde. Im  
65 Zuge dessen traten zeitgleich verheerende  
66 Überschwemmungen in Pakistan auf. Auch in den  
67 Folgejahren (z.B. 2018) konnten derartige Phänomene  
68 beobachtet werden (Kornhuber u. a., 2019).

69 Die Kontextualisierung von lokalen Wetterextremen und  
70 langfristigen Entwicklungen scharft das Bild über bestehende  
71 kausale Zusammenhänge und der zu erwartenden  
72 Veränderungen im Zuge des Klimawandels und seinen  
73 unterschiedlich starken regionalen Ausprägungen. Kleine  
74 Verschiebungen im Gleichgewicht jenseits der natürlichen  
75 Variabilität können langfristige Folgen auf unser Wetter  
76 bedeuten. Aus den verschiedenen Betrachtungsebenen  
77 hinsichtlich des Zusammenhangs von entgegengesetzten  
78 Wetterextremen kann folgendes festgehalten werden:

79 **Kontext:** Auslöser für lokale extreme Werte von Temperatur  
80 und Niederschlag sind in der Regel mit charakteristischen  
81 Strömungsmustern verknüpft, die durch einen ausgeprägten  
82 Luftmassentransport über Breitenkreise gekennzeichnet  
83 sind.

84 **Beständigkeit:** Die objektive Beobachtung der Zunahme  
85 von Wetterbeständigkeit kann die Schwere von kritischen  
86 Strömungsmustern verstärken, wenn der Zustrom von zu  
87 heißen bzw. zu feuchten Luftmassen nicht abreißt.

88 **Großwetterlagen:** Die Klassifikation von wiederkehrenden  
89 Strömungsmustern vereinfacht den Zugang zu  
90 grundsätzlichen Einsichten zu Veränderungen im Wesen der  
91 Wettervariabilität und den damit verbundenen Extremen.  
92 Denn sie erklären gegenwärtig einen höheren Anteil an der  
93 Wettervariabilität.

## 94 Literatur

- 95 Hoffmann, P., Lehmann, J., Fallah, B., und Hattermann, F. F.:  
96 *Atmosphere similarity patterns in boreal summer show an increase*  
97 *of persistent weather conditions connected to hydro-climatic risks, Sci*  
98 *Rep.* 11, 22893, <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01808-z>, 2021.  
99  
100 Hoffmann, P., 2018, *Enhanced seasonal predictability of the*  
101 *summer mean temperature in Central Europe caused by new*

# Zu heiß, zu nass - über den Zusammenhang dieser gegensätzlichen Wetterextreme

Peter Hoffmann

- 1 dominant weather patterns. *Climate Dynamics*, 50: 7-8, 2799–2812,  
2 <https://link.springer.com/article/10.1007/s00382-017-3772-0>  
3
- 4 Kornhuber, K., Osprey, S., Coumou, D., Petri, S., Petoukhov, V.,  
5 Rahmstorf, S., und Gray, L.: Extreme weather events in early  
6 summer 2018 connected by a recurrent hemispheric wave-7 pattern,  
7 *Environ. Res. Lett.*, 14, 054002, [https://doi.org/10.1088/1748-](https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab13bf)  
8 [9326/ab13bf](https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab13bf), 2019  
9
- 10 Hoy, A., Mait, S. and Matschullat, J. (2013) Atmospheric  
11 circulation variability in Europe and northern Asia (1901 to  
12 2010). *Theor Appl Climatol* 113 (1-2): 105-126.  
13 <http://link.springer.com/article/10.1007/s00704-012-0770-3>  
14
- 15 Werner, P.C. und Gerstengarbe, FW: Katalog der Großwetterlagen  
16 Europas (1881-2009) nach Hess und Brezowsky, 7. Verbesserte  
17 Auflage, 2010. [https://www.pik-](https://www.pik-potsdam.de/en/output/publications/pikreports/files/pr119.pdf)  
18 [potsdam.de/en/output/publications/pikreports/files/pr119.pdf](https://www.pik-potsdam.de/en/output/publications/pikreports/files/pr119.pdf)  
19
- 20 Baur, F. (1937) Einführung in die Großwetterforschung  
21 Introduction in Grosswetter research; in German. Verlag BG  
22 Teubner. Leipzig/ Berlin, 51  
23
- 24 Winklmayr, C., Muthers, S., Niemann, H., Mücke, H.G., an der  
25 Heiden, M.: Heat-related mortality in Germany from 1992 to  
26 2021. *Dtsch Arztebl Int* 2022; 119: 451–7.  
27 DOI: 10.3238/arztebl.m2022.0202  
28
- 29 Kalnay, E., et al. (1996). The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis  
30 Project, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77(3),  
31 437-472. [https://doi.org/10.1175/1520-](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2)  
32 [0477\(1996\)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2)  
33
- 34 Di Capua G., Sparrow S., Kornhuber K., Rousi E., Osprey S.,  
35 Wallom D., van den Hurk B. & Coumou D. (2021). Drivers behind  
36 the summer 2010 wave train leading to Russian heatwave and  
37 Pakistan flooding. *npj Clim Atmos Sci* 4, 55.  
38 <https://doi.org/10.1038/s41612-021-00211-9>  
39
- 40 Geiger, T. (2021): Regionale Klimamodellierung zur Abschätzung  
41 sozioökonomischer Klimafolgen DOI:  
42 10.5676/dwd\_pub/promet\_104\_13  
43
- 44 Hess, P., Brezowsky, H. (1977) Catalog of the general weather  
45 situations of Europe 1981-1976. German Meteorological Service  
46
- 47 Muhr, B., Daniell, J.E., Schafer, A.M., Mohr, S., Kunz, M.: TI  
48 CEDIM Forensic Disaster Analysis Group (FDA): Starkregen  
49 Griechenland & Libyen (Sept. 2023),  
50 <https://doi.org/10.5445/IR/1000163284>  
51
- 52 Coumou, D., Di Capua, G., Vavrus, S. et al. The influence of Arctic  
53 amplification on mid-latitude summer circulation. *Nat Commun* 9,  
54 2959 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05256-8>  
55
- 56 DWD20210721:  
57 [https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/niederschlag/](https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/niederschlag/20210721_bericht_starkniederschlaege_tief_bernd.pdf)  
58 [20210721\\_bericht\\_starkniederschlaege\\_tief\\_bernd.pdf](https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/niederschlag/20210721_bericht_starkniederschlaege_tief_bernd.pdf)  
59
- 60 DWD20230907:  
61 [https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/niederschlag/](https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/niederschlag/20230907_bericht_starkniederschlaege_griechenland.pdf)  
62 [20230907\\_bericht\\_starkniederschlaege\\_griechenland.pdf](https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/niederschlag/20230907_bericht_starkniederschlaege_griechenland.pdf)  
63
- 64 DWD20220921:  
65 [https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/2](https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20220921_bericht_sommer2022.pdf)  
66 [0220921\\_bericht\\_sommer2022.pdf](https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondereereignisse/temperatur/20220921_bericht_sommer2022.pdf)  
67