

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 taglichen 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)*

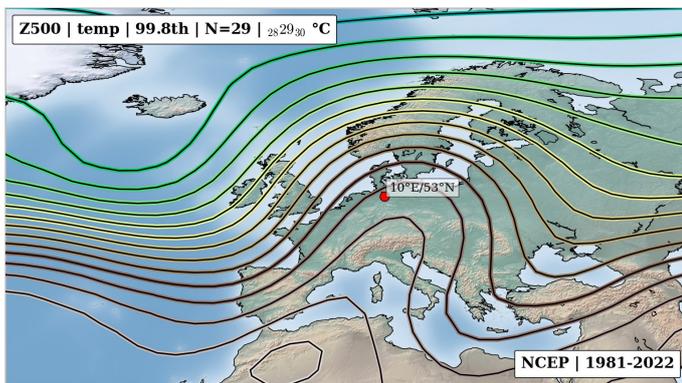
80 Auslöser für Hitzewellen in Mitteleuropa sind Wetterlagen
81 mit einer anti-zyklonalen Krümmung der Konturlinien im
82 Geopotential. Die Europakarte in **Abbildung 2** zeigt das
83 Mittel des Geopotentials an den 29 heißesten Tagen (99.8%-
84 Perzentil) in Hamburg von 1981 bis 2022 unter Verwendung
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.

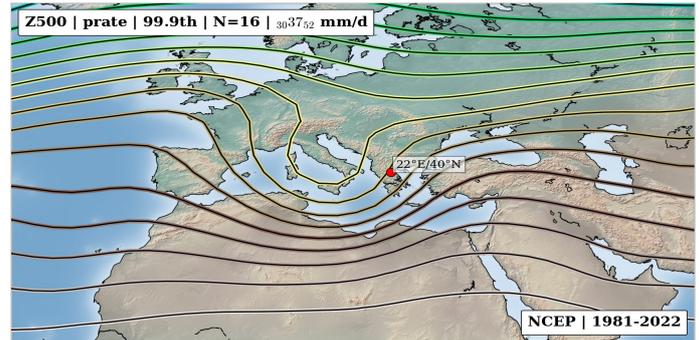


14
15 **Abbildung 2:** Karte der mittleren Strömungsbedingungen für Tage
16 an denen die Temperaturwerte in Hamburg (10°O/53°N) für den
17 Zeitraum 1981-2022 über dem 99.8%-Perzentil lagen (N=29).

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).

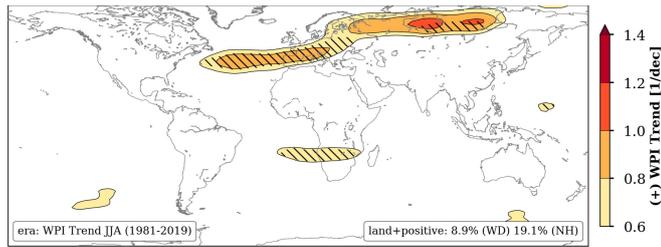
46 **Beständigkeit (zu lange)**

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.

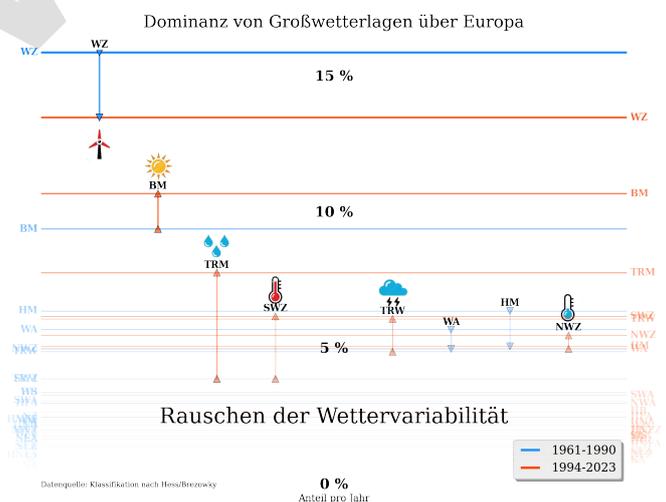
20 **Großwetter (zu kontrastreich)**

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 nachwievom 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.
73

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 erahnen. 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