

# KLIMASTATUSBERICHT ÖSTERREICH 2021

Autor\_innen:

**Climate Change Centre Austria – CCCA**

Mag.<sup>a</sup> Martha Stangl  
Claudia Michl, MSc

**Universität für Bodenkultur Wien – BOKU**

Dr. Herbert Formayer

**Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik – ZAMG**

Dr. Johann Hiebl  
Mag. Georg Pistotnik  
Alexander Orlik  
Manuela Kalcher, MSc

Der Klimastatusbericht 2021 wurde durch finanzielle Unterstützung des Klima- und Energiefonds sowie der Bundesländer Burgenland, Kärnten, Niederösterreich, Oberösterreich, Salzburg, Steiermark, Tirol, Vorarlberg und Wien realisiert.

Wir bedanken uns bei allen Personen und Institutionen, die uns mit Auskünften für diesen Bericht weitergeholfen haben: Sabine Kamraner-Köpf und Kurt Weinberger (Österreichische Hagelversicherung), Johanna Grießer (Regional Medien Salzburg), Silvia Jahn (Abt. Land- und Forstwirtschaft der Oberösterreichischen Landesregierung), Veronika Müller-Reinwein (Abt. Landwirtschaftsförderung der Niederösterreichischen Landesregierung), Johannes Hundsdorfer (Amt der Burgenländischen Landesregierung), Alois Poppeller (Gruppe Agrar, Amt der Tiroler Landesregierung), Anita Glantschnig und Christian Gamsler (Unterabt. Feuerwehrwesen, Katastrophenschutz und Zivildienst der Kärntner Landesregierung), Anita Mogg und Erwin Dampfhofer (Referat Landwirtschaft und Ländliche Entwicklung, Amt der Steiermärkischen Landesregierung)

Der Bericht wurde durch das Climate Change Centre Austria (CCCA) koordiniert.

Wissenschaftliche Leitung: Dr. Herbert Formayer

Redaktion: Mag.<sup>a</sup> Martha Stangl

Layout und Foto Titelblatt: Mag.<sup>a</sup> Heide Spitzer

**Impressum und offizieller Kontakt:**

CCCA Geschäftsstelle  
Dänenstraße 4, 1190 Wien  
ZVR: 664173679  
[www.ccca.ac.at](http://www.ccca.ac.at)

Zitiervorschlag: Stangl M., Formayer H., Hiebl J., Pistotnik G., Orlik A., Kalcher M., Michl C., (2022):  
Klimastatusbericht Österreich 2021, Graz

© Klimastatusbericht Österreich 2021, Hrsg. CCCA 2022

## Inhalt

<b>1 Klimarückblick Österreich 2021</b> .....	3
1.1 Das Jahr 2021 im Überblick.....	3
1.2 Klima- und Wetterstatistik.....	4
1.3 Witterungsverlauf.....	5
1.4 Räumliche Verteilung.....	8
1.5 Langfristige Einordnung.....	9
1.6 Klimaindizes.....	12
<b>2 Kleinräumige, heftige Gewitter prägten das Jahr 2021</b> .....	15
2.1 Beschreibung und Landkarte der Unwetterereignisse.....	15
2.2 Kleinräumige Starkniederschläge und Gewitter in einem veränderten Klima.....	9
2.3 Analyse von zwei Gewitterereignissen im Sommer 2021.....	20
2.4 Ausmaß und Auswirkungen der Gewitterereignisse im Jahr 2021.....	23
<b>3 Anpassung an kleinräumige, heftige Gewitter</b> .....	26
3.1 Vorhersagbarkeit von lokalen Gewittern.....	26
3.2 Anpassungsmöglichkeiten und Restrisiko.....	27
<b>4 Zusammenschau</b> .....	32
<b>Glossar und Referenzen</b> .....	33

## Vorwort

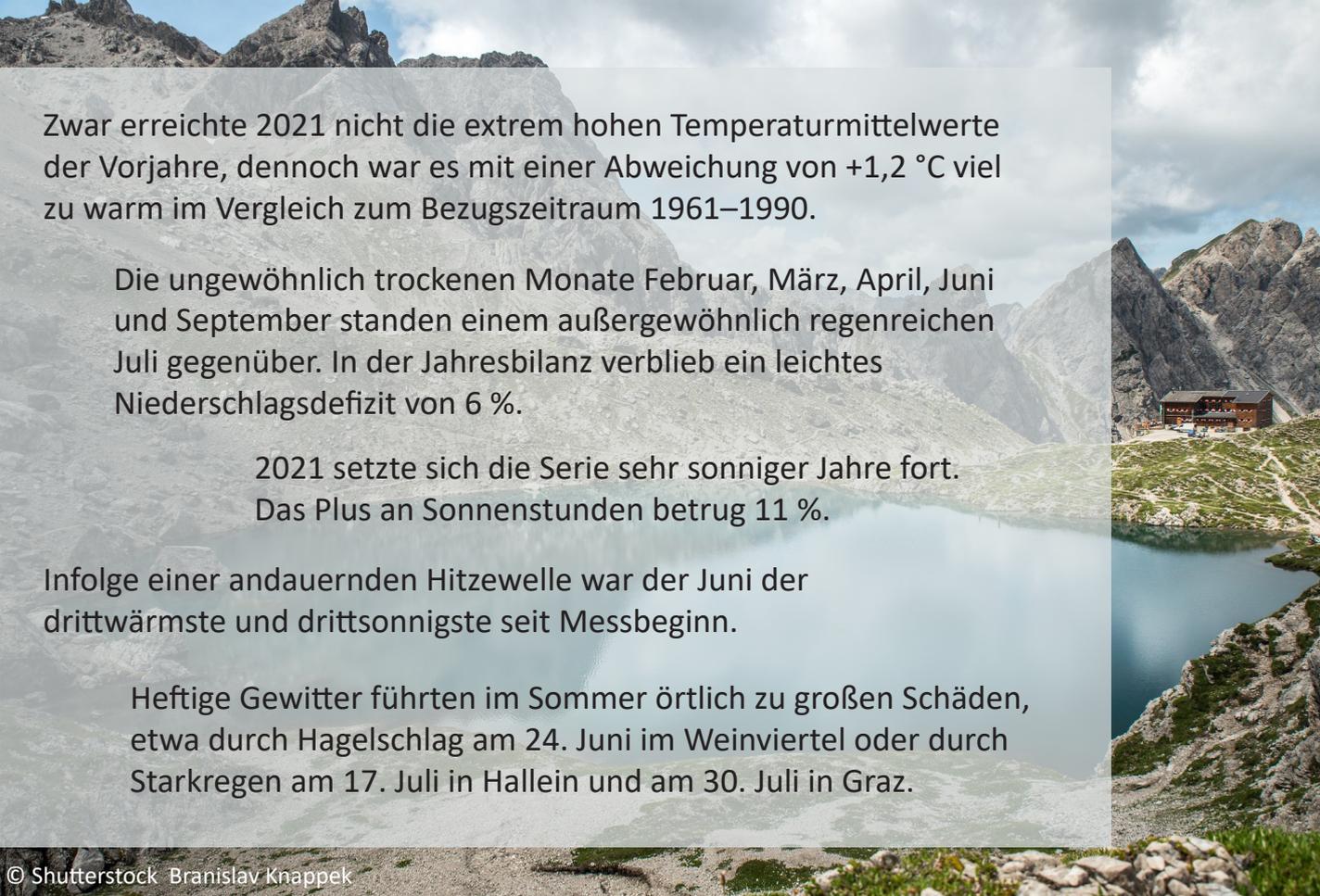
Die österreichische Bevölkerung war im Jahr 2021 stark von lokalen, heftigen Gewittern betroffen. Lokale Gewitter sind nicht nur schwer vorhersagbar, sie verursachen in Verbindung mit Hagel, Sturm, Überschwemmungen oder Muren oft große Schäden. Besonders Sturzfluten, die durch lokale Starkregenereignisse ausgelöst werden und auch abseits von Gewässern auftreten können, stellen aufgrund ihrer schweren Vorhersagbarkeit und ihres hohen Schadenspotenzials eine große Herausforderung für Betroffene und Einsatzkräfte dar.

Die Intensität und die Häufigkeit von kleinräumigen Starkniederschlägen sind in Österreich in einem sich erwärmenden Klima im Zunehmen begriffen. Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts ist von einer weiteren Zunahme von schweren, schadensverursachenden Gewittern in Österreich auszugehen. Diese wird umso stärker ausfallen, je mehr Treibhausgase ausgestoßen werden.

Welches Ausmaß die Schäden durch Gewitter im Sommer 2021 annahmen und wie diese extremen Wetterereignisse im Zusammenhang mit dem Klimawandel einzuordnen sind, zeigt der diesjährige Klimastatusbericht. Der Bericht geht nicht nur auf die Betroffenheit der österreichischen Bevölkerung ein, sondern auch darauf, welche Anpassungsmöglichkeiten und Handlungsoptionen zur Verfügung stehen, um negative Folgen von Starkregenereignissen zu verhindern oder abzumildern. Schließlich enthält er eine Zusammenstellung von weiterführenden Unterlagen (Leitfäden, Faktenblätter, Forschungsprojekte usw.) zu Anpassungs- und Vorsorgemaßnahmen.

Martha Stangl, Herbert Formayer, Johann Hiebl

## 1 Klimarückblick Österreich 2021



Zwar erreichte 2021 nicht die extrem hohen Temperaturmittelwerte der Vorjahre, dennoch war es mit einer Abweichung von +1,2 °C viel zu warm im Vergleich zum Bezugszeitraum 1961–1990.

Die ungewöhnlich trockenen Monate Februar, März, April, Juni und September standen einem außergewöhnlich regenreichen Juli gegenüber. In der Jahresbilanz verblieb ein leichtes Niederschlagsdefizit von 6 %.

2021 setzte sich die Serie sehr sonniger Jahre fort.  
Das Plus an Sonnenstunden betrug 11 %.

Infolge einer andauernden Hitzewelle war der Juni der drittwärmste und drittsonnigste seit Messbeginn.

Heftige Gewitter führten im Sommer örtlich zu großen Schäden, etwa durch Hagelschlag am 24. Juni im Weinviertel oder durch Starkregen am 17. Juli in Hallein und am 30. Juli in Graz.

© Shutterstock Branislav Knappek

### 1.1 Das Jahr 2021 im Überblick

2021 war in Österreich ein überdurchschnittlich warmes und sonnenreiches Jahr. Mit einer Mitteltemperatur von 7,3 °C, was einer Abweichung zur Norm des Bezugszeitraumes 1961–1990 von +1,2 °C entspricht, war es zwar viel zu warm, reichte aber trotzdem nicht an die teilweise außergewöhnlich warmen Jahre 2014 bis 2020 heran.

Im Bundesmittel fielen etwa 1000 mm Niederschlag, womit der Erwartungswert nicht ganz erreicht wurde (-6 %). Die Folge sehr sonniger Jahre bleibt ungebrochen: Etwa 1710 Sonnenstunden bedeuten einen Überschuss von 11 %.

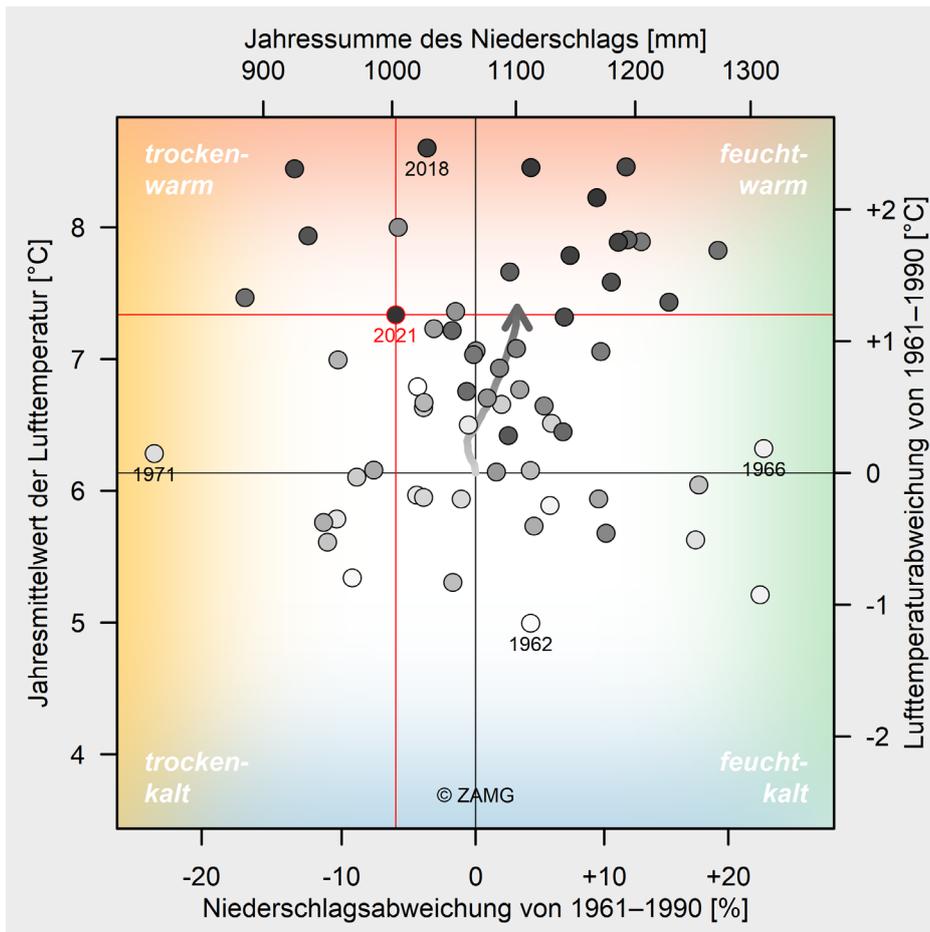
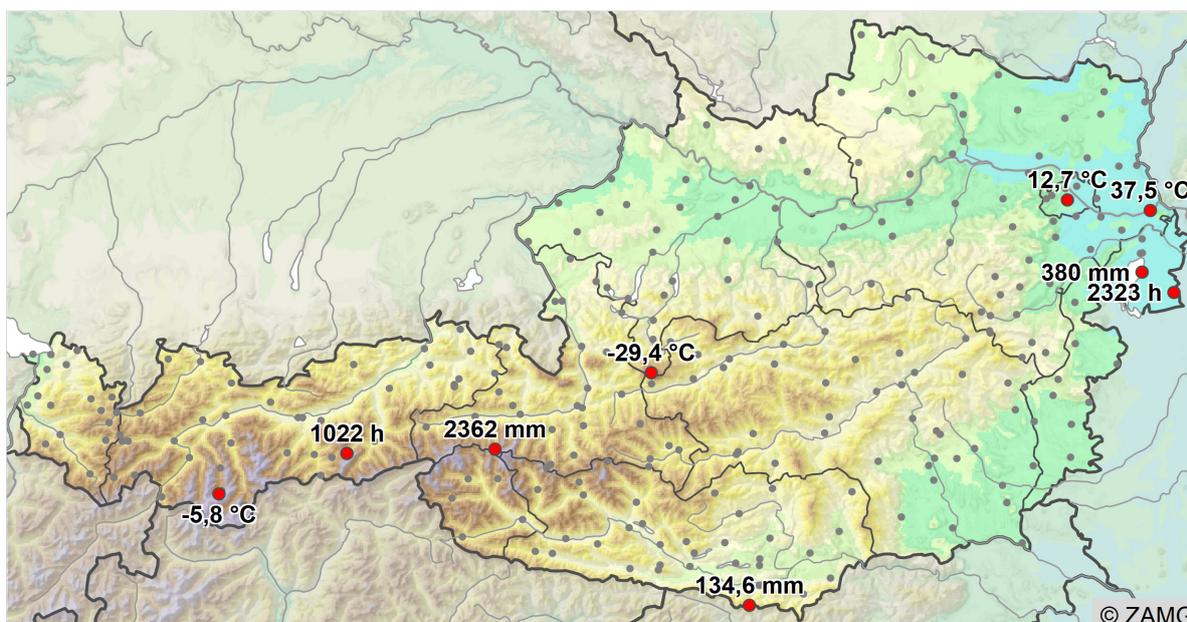


Abbildung 1: Das kombinierte Lufttemperatur-Niederschlag-Diagramm platziert die einzelnen Jahre von 1961 bis 2021 (helle bis dunkle Punkte) ihrer Klimacharakteristik entsprechend zwischen relativ kalt (unten) und warm (oben) sowie relativ trocken (links) und feucht (rechts). Angegeben sind Flächenmittelwerte über Österreich als Absolutwerte und als Abweichungen vom Mittelwert des Bezugszeitraumes 1961–1990. Das Berichtsjahr ist rot hervorgehoben. Der Pfeil verfolgt die Verlagerung der laufenden 30-jährigen Mittelwerte von 1961–1990 bis 1992–2021.

## 1.2 Klima- und Wetterstatistik

	Jän	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Lufttemperatur abs. [°C]	-2,9	1,1	2,2	4,6	9,1	17,5	17,5	15,3	13,8	7,6	2,8	-0,7	7,3
Abw. [°C]	+0,8	<u>+3,2</u>	+0,8	-0,9	-1,0	<u>+4,2</u>	<u>+2,3</u>	+0,4	<u>+1,8</u>	+0,1	+1,2	+1,8	<u>+1,2</u>
Niederschlag abs. [mm]	88	33	40	40	128	74	187	165	49	40	89	71	1004
Abw. [%]	+36	<u>-46</u>	<u>-41</u>	<u>-48</u>	+23	<u>-42</u>	<u>+38</u>	+30	<u>-44</u>	-40	+14	+0	-6
Sonnenschein abs. [h]	47	123	150	161	144	264	211	156	191	144	68	48	1707
Abw. [%]	-14	<u>+54</u>	<u>+25</u>	+11	-19	<u>+48</u>	+3	<u>-18</u>	<u>+23</u>	+16	+11	+5	<u>+11</u>

Tabelle 1: Monatliche und jährliche Mittelwerte der Lufttemperatur sowie Summen von Niederschlag und Sonnenscheindauer. Angegeben sind Flächenmittelwerte über Österreich als Absolutwerte und als Abweichungen vom Mittelwert des Bezugszeitraumes 1961–1990. Abweichungen unter bzw. über der (doppelten) Standardabweichung sind (doppelt) unterstrichen.



		Messwert	Datum	Klimastation	Seehöhe
Lufttemperatur	niedrigster Jahresmittelwert	-5,8 °C		Brunnenkogel (T)	3437 m
	niedrigste Einzelmessung	-29,4 °C	13.02.	Schladminger Gletscher (O)	2520 m
	höchster Jahresmittelwert	12,7 °C		Wien-Innenstadt (W)	177 m
	höchste Einzelmessung	37,5 °C	08.07.	Bad Deutsch-Altenburg (N)	169 m
Niederschlag	niedrigste Jahressumme	380 mm		Podersdorf (B)	116 m
	höchste Jahressumme	2362 mm		Rudolfshütte (S)	2317 m
	höchste Tagessumme	134,6 mm	07.02.	Loibl (K)	1097 m
Sonnenschein	niedrigste Jahressumme	1022 h		Hintertux (T)	1505 m
	höchste Jahressumme	2323 h		Andau (B)	117 m

Abbildung 2: Räumlicher Überblick der an Klimastationen beobachteten Wetterextreme im Jahr 2021 in Österreich.

### 1.3 Witterungsverlauf

Mit relativ ausgeglichenen Temperaturverhältnissen startete das Jahr 2021. Bis Ende Jänner lag die Temperaturabweichung österreichweit nur 0,8 °C über dem Mittelwert des Bezugszeitraumes 1961–1990. Die Niederschlagsverhältnisse waren im Jänner österreichweit um 36 % überdurchschnittlich, wobei sich im Westen und Südwesten des Landes, wie schon im Dezember des Vorjahres, außerordentlich viel Niederschlag akkumulierte. Eine kurze Phase mit polarer Kaltluft und eine lange, extrem milde Wetterphase prägten den Februar, der letztlich um 3,2 °C zu warm verlief. Mehr als 20 Klimastationen der ZAMG verzeichneten neue absolute Temperaturrekord für den Februar. Außerdem gab es an sechs Tagen in Folge zumindest eine Klimastation in Österreich, an der ein Tagesmaximum von 20 °C erreicht wurde. Die bisher längste vergleichbare Serie dauerte fünf Tage und trat im Februar 1998 auf.

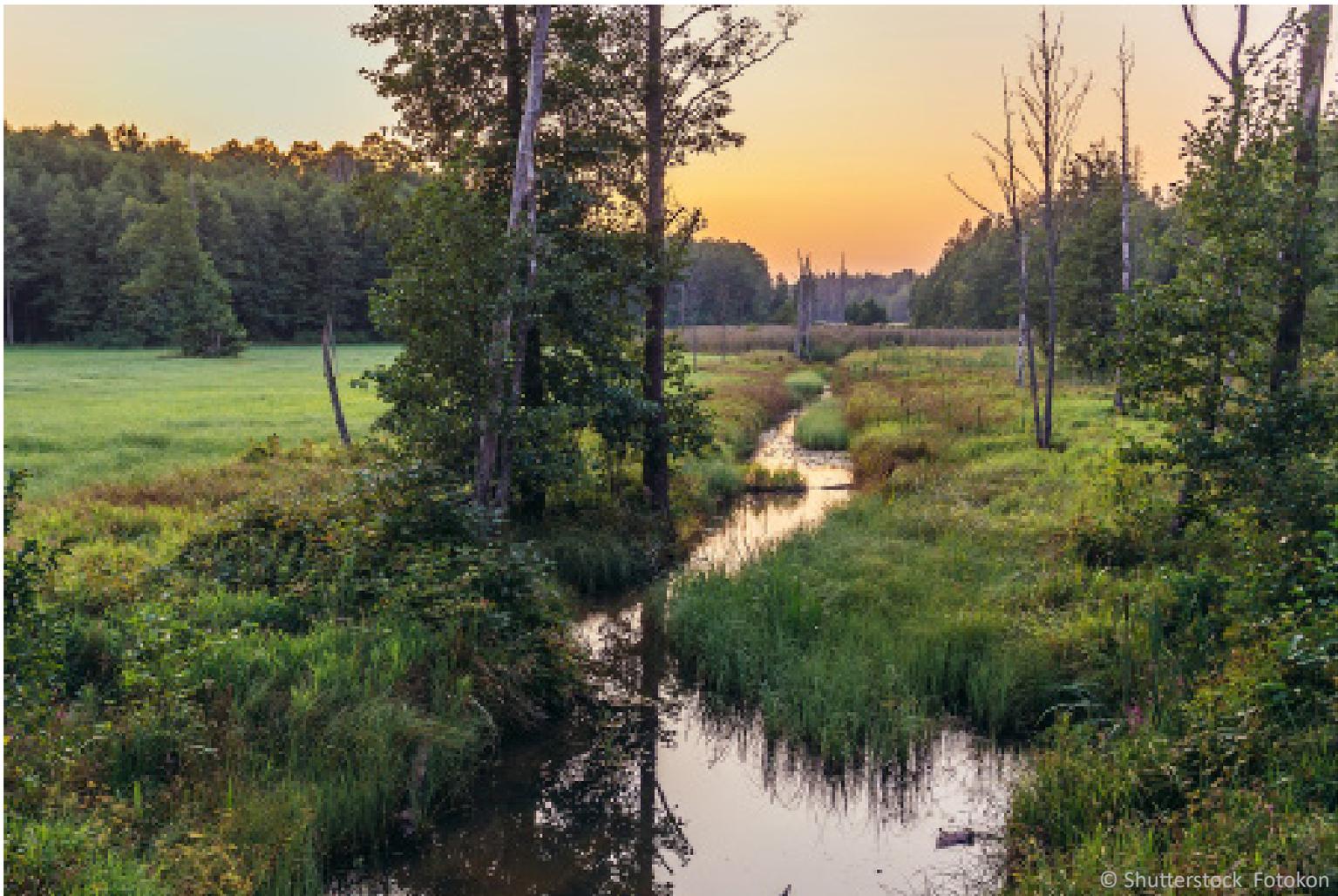
Mit dem Februar begann eine niederschlagsarme und sonnige Phase, die bis Mitte Mai andauerte und in der sehr warme und kalte Episoden mitunter rasch wechselten. Von Februar bis April lagen die monatlichen Niederschlagsdefizite zwischen 41 und 48 %, während die Sonnenscheinverhältnisse ein Plus von 11 bis 54 % erreichten. Dem Sonnenscheinüberschuss von 25 % im März steht eine relativ geringe Temperaturabweichung von +0,8 °C gegenüber. Der April war aber mit einer Abweichung von -0,9 °C der kälteste in Österreich seit 1997. Aufgrund der relativ kalten Witterungsbedingungen gab es bis zur Monatsmitte immer wieder Schneefälle, die bis in tiefe Lagen reichten. Speziell im Nordstau der Alpen, vom Sengengebirge bis zur Hohen Wand, aber auch weiter westlich, summierte sich die doppelte bis zehnfache Neuschneemenge des langjährigen Durchschnitts.

Im Mai dominierten feuchte und kühle Wetterlagen. So gab es um 19 % weniger Sonnenstunden und um 23 % mehr Niederschlag, außerdem war es um 1,0 °C kühler als in einem durchschnittlichen Mai. Ähnlich kalt und niederschlagsreich verlief ein Mai zuletzt im Jahr 2019.

Auf die relativ kühlen Frühlingsmonate folgte ein außergewöhnlich heißer Juni, der als drittwärmster (+4,2 °C) und drittsonnigster (+48 %) Juni in die Messgeschichte Österreichs eingeht. Des Weiteren war er mit einem Niederschlagsdefizit von 42 % einer der drei niederschlagsärmsten Junimonate der vergangenen 60 Jahre. Obwohl Trockenheit im Juni vorherrschte, gingen gegen Ende des Monats die heftigsten Unwetter des Jahres nieder. Das Temperaturniveau normalisierte sich im Verlauf des Sommers wieder. Im Juli war es mit einem Plus von 2,3 °C noch deutlich zu warm. Der August zeigte mit einer Temperaturabweichung von +0,4 °C wieder einen relativ normalen Verlauf.

Die relative Trockenheit, die zum Sommerbeginn vorherrschte, wurde vor allem in den westlichen und nördlichen Bundesländern ab dem Juli beendet.

Mit September und Oktober folgten wieder zwei trockene und sonnige Monate, die bundesweit rund 40 % weniger Niederschlag und 20 % mehr Sonnenschein als normal brachten. Deutlich zu warm zeigte sich aber nur der September, der 1,8 °C wärmer als ein durchschnittlicher September verlief. Er war aber auch der trockenste September seit dem Jahr 1975. Die beiden letzten Monate des Jahres wiesen bei den Niederschlags- und Sonnenscheinsummen keine Auffälligkeiten auf, waren aber mit Temperaturabweichungen von +1,2 bzw. +1,8 °C deutlich zu warm. Die Dezemberwärme steigerte sich zu Jahresende. In weiten Teilen Ostösterreichs wurde an einem Silvestertag noch nie eine derart hohe Temperatur verzeichnet.



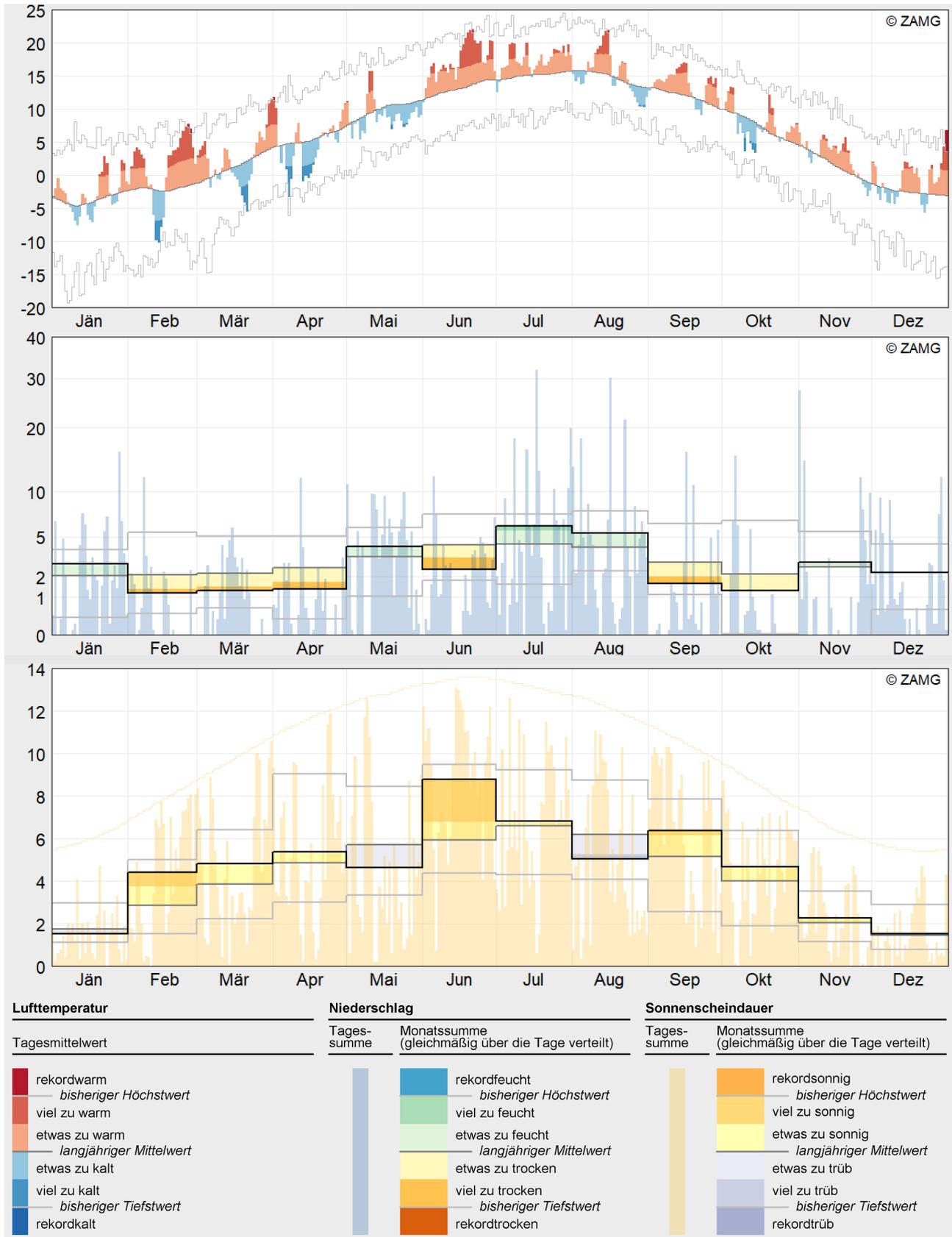


Abbildung 3: Verläufe von täglicher Lufttemperatur, Niederschlagssumme und Sonnenscheindauer im Jahr 2021 in Bezug auf die Mittelwerte des Zeitraumes 1961–1990. Angegeben sind Flächenmittelwerte über Österreich.

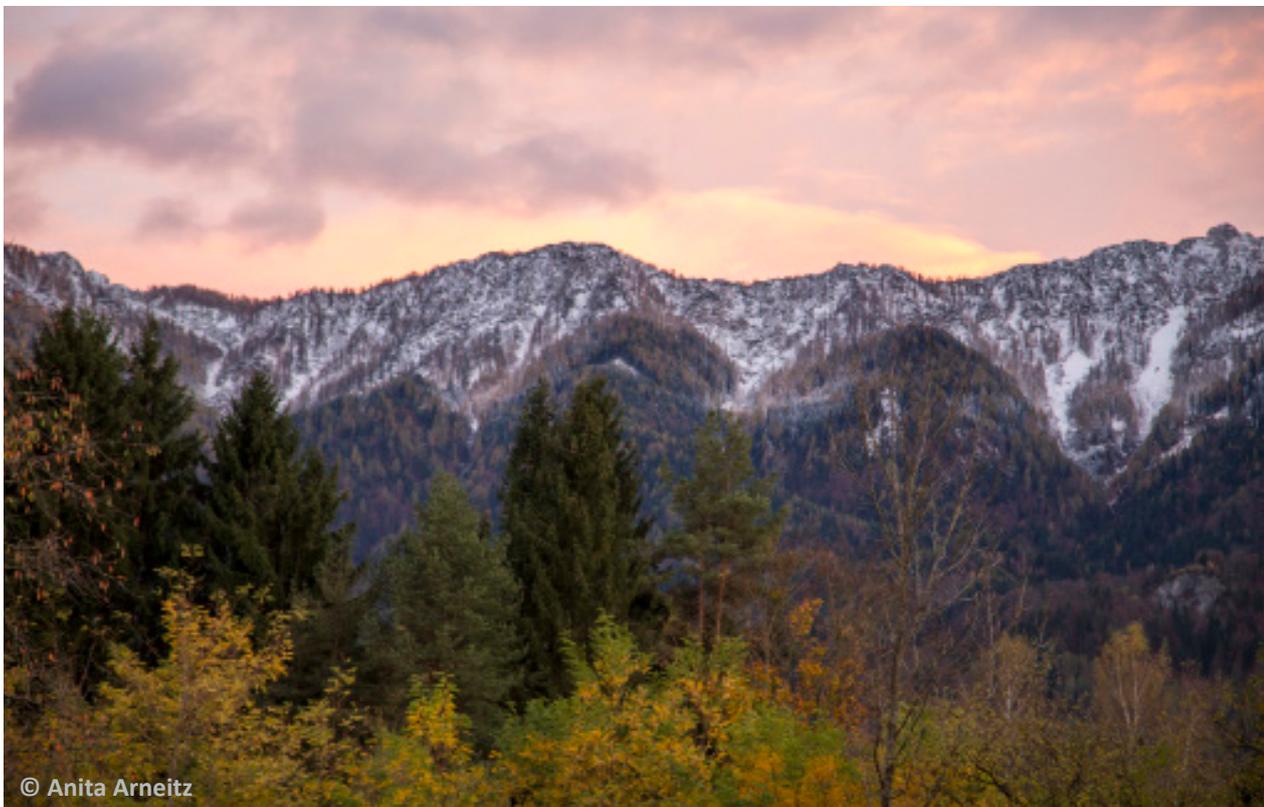
## 1.4 Räumliche Verteilung

Der Jahresmittelwert der Lufttemperatur betrug 2021 im Durchschnitt über ganz Österreich 7,3 °C. Er reichte dabei von unter -7 °C im Gipfelbereich von Großglockner und Wildspitze bis über 12 °C im Wiener Stadtzentrum. In den dicht besiedelten Niederungen lag der Jahresmittelwert meist bei 9 bis 11 °C. Somit war das Jahr österreichweit gegenüber dem Mittelwert des Bezugszeitraums 1961–1990 um 1,2 °C zu warm. Eher gering fiel die Temperaturabweichung mit rund +0,5 °C stellenweise in Oberkärnten und Osttirol, etwa im inversionsgeprägten Lienzener Becken, aus. Im oberen Ennstal sowie regional in Niederösterreich war das Vorjahr hingegen über 1,5 °C zu warm.

Der Flächenmittelwert der Jahressumme des Niederschlags lag 2021 bei 1000 mm. Nur rund 400 mm Niederschlag fielen im Laufe des Jahres lokal im Nordburgenland, während für Hochlagen des Bregenzerwalds und den Tauernkamm bis zu 2800 mm angenommen werden können. In weiten Teilen des Landes entspricht das in etwa dem lang-

jährigen Erwartungswert. So liegt die Abweichung nördlich und entlang der Alpen sowie in Osttirol und Oberkärnten meist zwischen -10 und +10 %, im Bregenzerwald auch bei +15 %. Zu trocken bilanzierte das Jahr 2021 hingegen in Unterkärnten, der Steiermark, dem Industrieviertel und dem Burgenland. In der Weststeiermark fehlten sogar bis zu 30 % auf die normale Jahressumme. Bundesweit ergibt das ein schwaches Niederschlagsdefizit von 6 %.

Im österreichweiten Durchschnitt schien die Sonne im Vorjahr etwa 1710 h lang, am längsten in der Südsteiermark und im Nordburgenland, wo sich bis zu 2300 Sonnenstunden summierten. Im Bundesmittel beträgt die Abweichung der Sonnenscheindauer +11 %. Während in den westlichen Gebirgsregionen ein weitgehend durchschnittlicher Strahlungsgenuss verzeichnet wurde, war die Besonnung im Großteil Österreichs überdurchschnittlich. In der Südsteiermark machte der Überschuss an Sonnenstunden sogar bis zu 25 % aus.



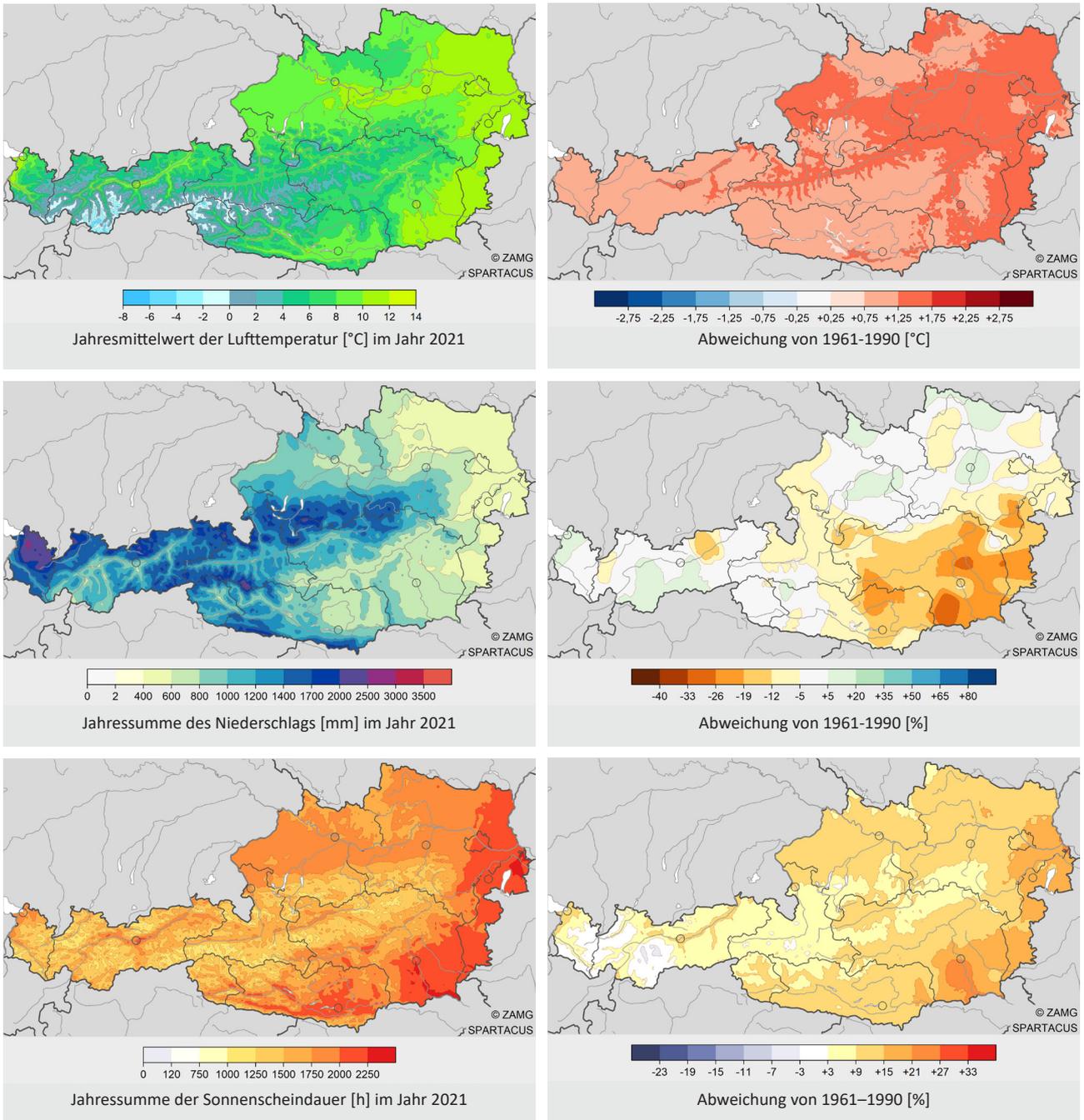


Abbildung 4: Räumliche Verteilung der Jahreswerte 2021 von Lufttemperatur (oben), Niederschlagssumme (Mitte) und Sonnenscheindauer (unten) in Österreich als Absolutwerte (links) und als Abweichungen vom Mittelwert des Bezugszeitraumes 1961–1990 (rechts).

## 1.5 Langfristige Einordnung

Die langfristige Klimaentwicklung in Österreich über die letzten 254 Jahre wird anhand der Mittelwerte über homogenisierte Zeitreihen von besonders lange betriebenen Klimastationen nachvollzogen. Abgesehen von geringfügigen Abweichungen besteht eine hohe Übereinstimmung mit den zuvor besprochenen Flächenmittelwerten, die das Klima nach 1961 in größerer Genauigkeit beschreiben.

Der Trend der Lufttemperatur bewegte sich in Österreich vom Spätbarock ausgehend in einem aus heutiger Sicht niedrigen Bereich und ging bis etwa 1890 langfristig sogar leicht zurück. Ende des 19. Jahrhunderts setzte eine zunächst schwache Erwärmung ein, die sich um 1980 verstärkte und seither ungebrochen anhält. Bereits etwa 1990 verließ das Temperaturniveau den bis dahin aus Messungen bekannten Bereich. Das Jahr 2021 bestätigt mit einer Abweichung von +1,1 °C den starken Erwärmungstrend. Es reiht sich an die 21. Stelle der wärmsten Jahre.

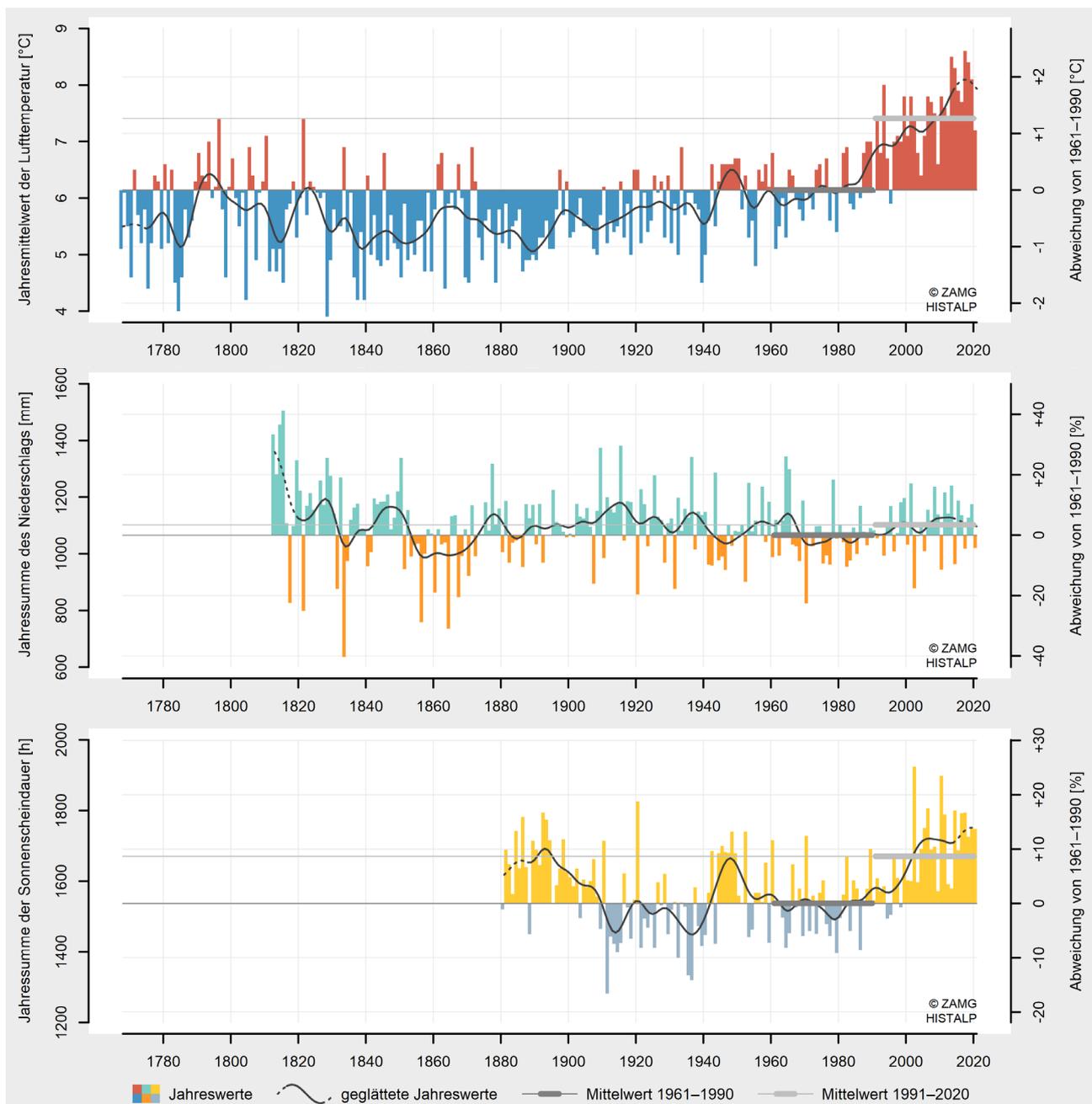


Abbildung 5: Langfristige Entwicklung der Jahreswerte von Lufttemperatur (oben), Niederschlagssumme (Mitte) und Sonnenscheindauer (unten) in Österreich vom Beginn instrumenteller Messungen bis 2021. Die Niveaus der Mittelwerte des Bezugszeitraumes 1961–1990 bzw. der letzten 30 Jahre 1991–2020 sind als dunkelgraue bzw. hellgraue Linien eingetragen.

Noch vor 30 Jahren hätte eine derart hohe Temperaturabweichung den dritten Platz bedeutet. 15 der 16 wärmsten Jahre aus mehr als zweieinhalb Jahrhunderten traten nach 2000 ein. Das letzte leicht unterdurchschnittlich temperierte Jahr liegt mittlerweile 26 Jahre zurück.

Beim über Österreich gemittelten Jahresniederschlag sind hingegen keine langfristigen Änderungen auszumachen. Die auffälligsten niederschlagsreichen und trockenen Phasen finden sich im 19. Jahrhundert. Bei hoher Variabilität von Jahr zu Jahr liegt 2021 unter dem geringfügig erhöhten Niveau der Jahresniederschläge der letzten beiden Jahrzehnte und unterschreitet auch den langjährigen Mittelwert leicht. Allerdings gibt das Österreichmittel der Jahressumme keine Auskunft über regionale und jahreszeitliche Unterschiede der Niederschlagsverteilung.

Die Verteilung kleinräumiger und kurzfristiger Ereignisse ist daraus naturgemäß nicht abzulesen.

Ebenfalls um 1980 nahm eine Erhöhung der Sonnenscheindauer ihren Ausgang. In den letzten etwa 20 Jahren liegt die Jahressumme der Sonnenscheindauer auf einem hohen Niveau, wie es nur aus Messungen des späten 19. Jahrhunderts bekannt ist. 2021 hält mit einer Abweichung von

+14 % das hohe Niveau. Es reiht sich unter den 141 Jahren der Zeitreihe auf Platz 14 der sonnigsten Jahre ein.

Global wurde 2021 mit einer Abweichung von +0,76 °C gegenüber dem Zeitraum 1961–1990 das siebtwärmste Jahr seit 1850 verzeichnet.[1] In der Gegenüberstellung der Temperaturentwicklung in Österreich und weltweit fällt zunächst die stark unterschiedliche Jahr-zu-Jahr-Variabilität auf. Der Mittelwert über die gesamte Erdoberfläche ist regionalen Schwankungen gegenüber wesentlich unempfindlicher als die nur punktuell gültigen Messungen einzelner Stationen.[2] Weiters ist der Temperaturanstieg der letzten vier Jahrzehnte in Österreich etwa doppelt so stark ausgeprägt als global. Das liegt hauptsächlich daran, dass sich die Luft inmitten eines Kontinents rascher erwärmt als über den thermisch trägen Ozeanen, die 71 % der Erdoberfläche bedecken. Zusätzlich könnte eine gleichzeitige Zunahme der bodennahen Sonneneinstrahlung in Mitteleuropa Einfluss genommen haben. Als Ursachen hierfür werden abnehmende atmosphärische Aerosolkonzentration sowie abnehmende Wolkenbedeckung infolge geänderter atmosphärischer Zirkulation diskutiert.[3, 4]

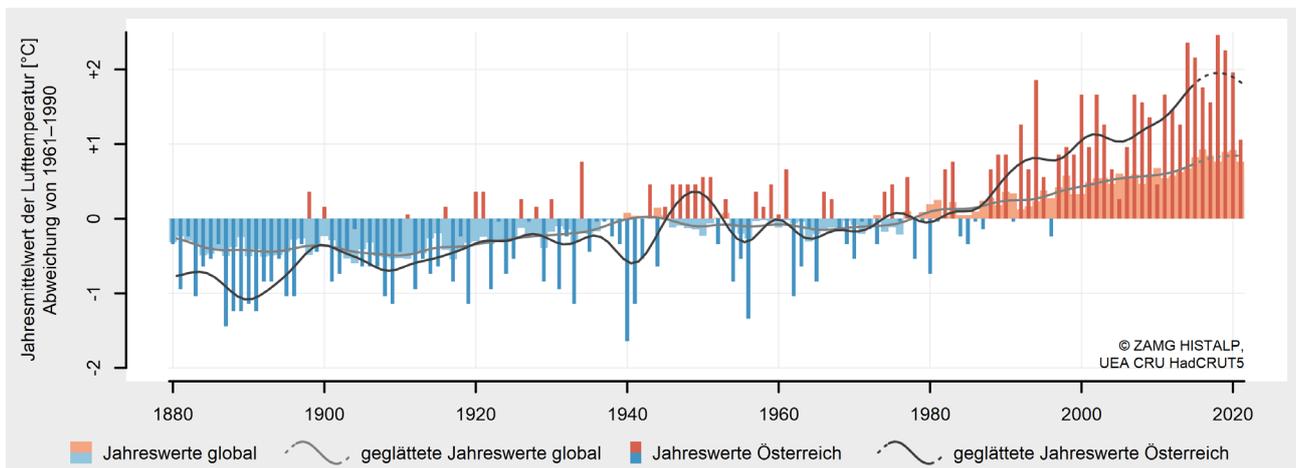


Abbildung 6: Langfristige Entwicklung der Jahreswerte der Lufttemperatur global und in Österreich von 1880 bis 2021. Dargestellt sind Abweichungen von den jeweiligen Mittelwerten des Bezugszeitraumes 1961–1990.

## 1.6 Klimaindizes

Höhenstufe	unter 500 m			500–1000 m			1000–1500 m			1500–2000 m			über 2000 m		
	2021	1961–1990	Abweichung	2021	1961–1990	Abweichung	2021	1961–1990	Abweichung	2021	1961–1990	Abweichung	2021	1961–1990	Abweichung
<b>Klimaindex</b>															
Sommertage [d]	71	44	+27	40	24	+16	15	7	+8	1	1	±0	0	0	±0
Hitzetage [d]	18	6	+12	5	1	+4	0	0	±0	0	0	±0	0	0	±0
Tropennächte [d]	2	0	+2	0	0	+0	0	0	±0	0	0	±0	0	0	±0
Hitzeperiode [d]	19	3	+16	3	0	+3	0	0	±0	0	0	±0	0	0	±0
Kühlgradtagzahl <sup>1</sup> [°C]	141	50	+91	44	12	+32	6	2	+4	0	0	±0	0	0	±0
Vegetationsperiode [d]	234	228	+6	203	204	-1	176	174	+2	131	132	-1	89	58	+31
Frosttage [d]	94	105	-11	132	136	-4	158	164	-6	181	191	-10	227	247	-20
Heizgradtagzahl [°C]	3269	3552	-283	3902	4217	-315	4570	5025	-455	5504	6007	-503	7160	7589	-429
Normaußentemperatur <sup>2</sup> [°C]	-10,5	-13,3	+2,8	-12,4	-14,9	+2,5	-13,9	-15,8	+1,9	-16,0	-17,5	+1,5	-19,6	-21,2	+1,6
Niederschlags-tage [d]	108	112	-4	129	134	-5	135	142	-7	140	148	-8	141	149	-8
Starknieder-schlagstage [d]	5	6	-1	10	10	±0	14	15	-1	16	17	-1	18	17	+1
Niederschlags-intensität [mm]	6,2	6,4	-0,2	7,4	7,6	-0,2	8,5	8,7	-0,2	9,1	9,1	±0,0	9,5	9,0	+0,5
max. 5-Tages-Niederschlag [mm]	67	70	-3	86	91	-5	96	109	-13	102	117	-15	106	117	-11
Trockenepisode [d]	22	24	-2	21	21	±0	22	21	+1	22	20	+2	20	20	±0

Tabelle 2: Wichtige Klimaindizes im Jahr 2021 in Bezug auf die Mittelwerte des Zeitraumes 1961–1990. Angegeben sind Flächenmittelwerte über verschiedene Höhenstufen in Österreich. Die Indizes sind im Glossar am Ende des Berichts definiert.

<sup>1</sup> In den Klimastatusberichten 2019 und 2020 wurde der Klimaindex Kühlgradtagzahl einer fehlerhaften Definition folgend berechnet, welche gegenüber gebräuchlichen Definitionen zu einer systematischen Unterschätzung der Indexwerte führt. Daher wurde dieser Klimaindex neu definiert und die angepassten Indexwerte in den genannten Berichten eingesetzt. Die aktualisierten Berichtsversionen können Sie unter <https://ccca.ac.at/wissenstransfer/klimastatusbericht> downloaden.

<sup>2</sup> Für den Index Normaußentemperatur gelten abweichende zeitliche Bezüge (siehe Glossar).

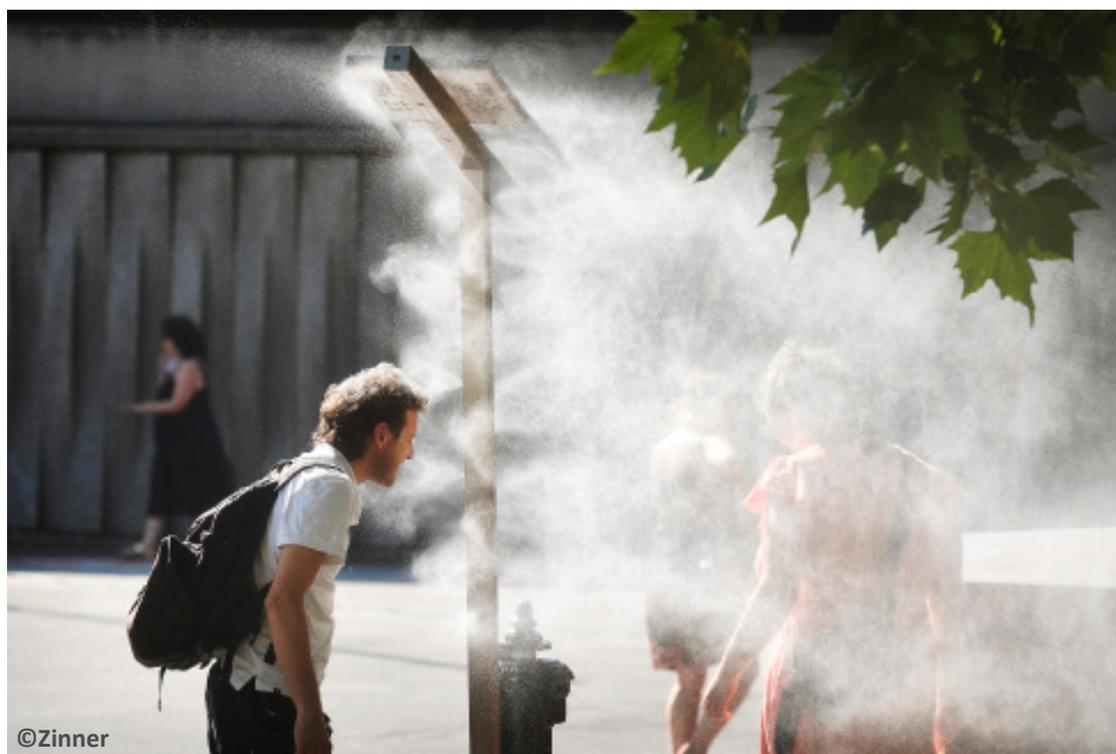
Die übermäßig warmen Verhältnisse des Jahres 2021 drückten sich in beinahe allen temperaturabhängigen Klimaindizes über alle Höhenstufen aus. Da die Monate von Juni bis September durchwegs – und teils viel – zu warm ausfielen, liegt die Zahl der Sommer- und Hitzetage sowie Tropennächte deutlich über den Sollwerten. 71 Sommertage im Mittel über die unter 500 m Seehöhe gelegenen Flächen bedeuten beispielsweise einen Überschuss von 27 Tagen gegenüber dem langjährigen Durchschnitt des Zeitraums 1961–1990 und den achthöchsten Wert seit 1961. Selbst in Seehöhen zwischen 500 und 1000 m traten im Mittel fünf Hitzetage auf. Hier ist dem Klimamittel entsprechend mit einem Hitzetag pro Jahr zu rechnen. Die Kühlgradtagzahl betrug in der untersten Höhenstufe etwa 141 °C, was zwar von den Rekorden der letzten Jahre weit entfernt ist, aber den längerfristigen Trend zu steigendem Kühlbedarf in tiefen Lagen bestätigt.

Demgegenüber entsprach die Dauer der Vegetationsperiode, die aufgrund teils spätwinterlicher Bedingungen im Frühling in den Höhenstufen unter 2000 m Seehöhe etwas verspätet einsetzte, letztlich gut dem Durchschnitt des Zeitraumes 1961–1990. Besonders sensibel für die zeitliche Ausdehnung der Vegetationsperiode zeigt sich je-

doch abermals die alpine Höhenstufe über 2000 m Seehöhe, wo sie knapp drei statt normalerweise rund zwei Monate umspannte.

Auch im Vorjahr wurde in allen Höhenstufen der Erwartungswert an Frosttagen nicht erreicht, wobei das Minus in der untersten und obersten Höhenstufe größer ausfiel als in mittleren Höhenlagen. Der Heizbedarf (Heizgradtagzahl) lag recht einheitlich zwischen 6 und 9 % unter dem Durchschnitt. Der Anstieg der Normheizlast (Normaußentemperatur) ist in tiefen Lagen etwas stärker ausgeprägt als in hohen Lagen. Sie stieg unter 500 m Seehöhe von -13,3 °C für die Jahre 1961–1980 auf -10,5 °C für die Jahre 2002–2021<sup>2</sup>.

Im Gegensatz zu den temperaturbasierten Indizes weisen die über das ganze Jahr berechneten Niederschlagsindizes keine Auffälligkeiten auf. Meist wurden im Vorjahr etwas weniger Niederschlagstage als üblich verzeichnet, während das Klimamittel der Anzahl der Starkniederschlagstage gut getroffen wurde. Auch Niederschlagsintensität und Dauer der längsten Trockenperiode lagen durchwegs nahe an den klimatologischen Erwartungswerten.



<sup>2</sup> Als Klimareferenzwert wird bei der Normaußentemperatur statt einem Mittelwert des Zeitraumes 1961–1990 der Jahreswert 1980 (1961–1980) herangezogen.

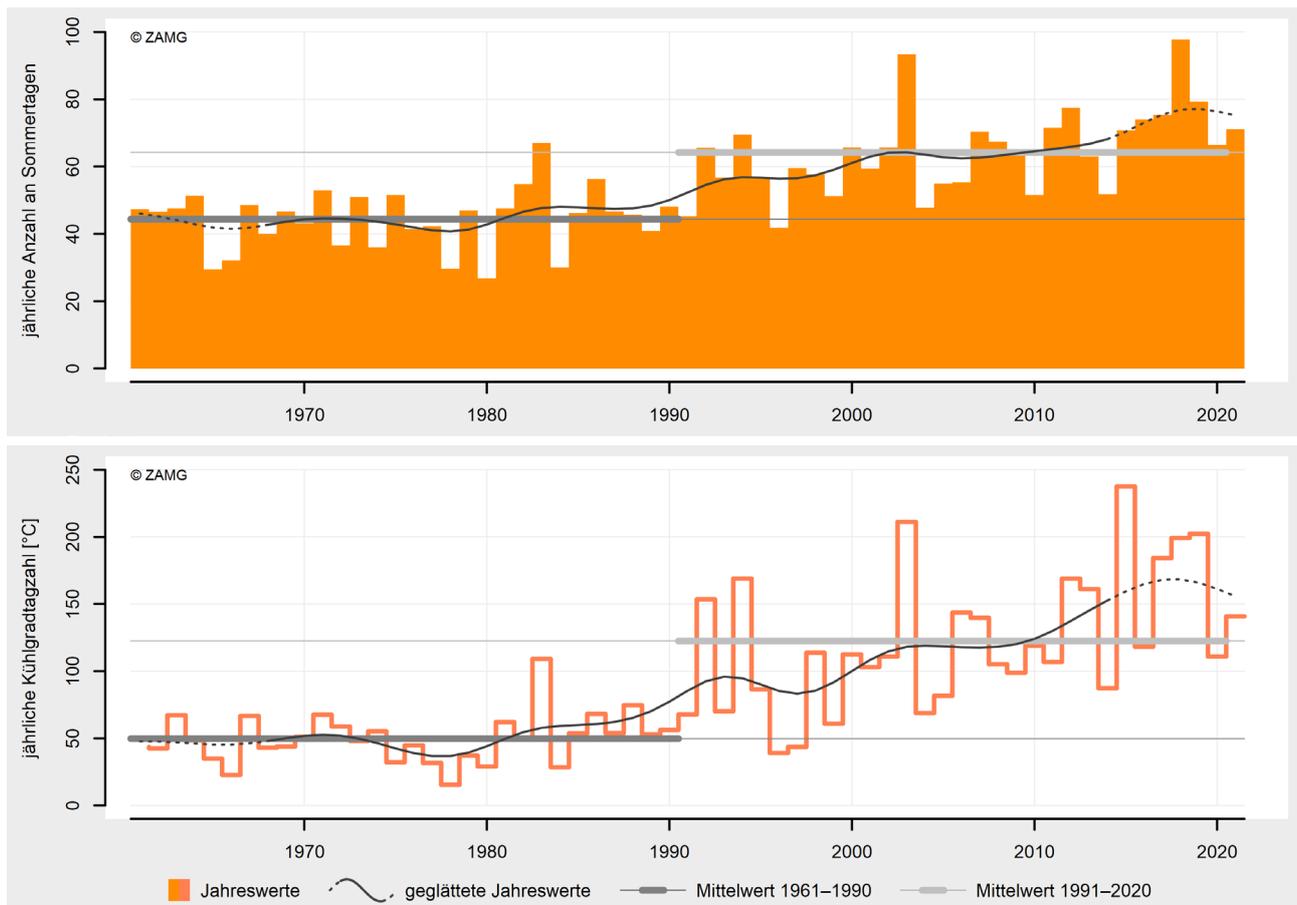


Abbildung 7: Entwicklung der jährlichen Anzahl an Sommertagen (oben) und Kühlgradtagzahl (unten) in Österreich von 1961 bis 2021. Angegeben sind Mittelwerte der unter 500 m Seehöhe gelegenen Flächen. Die Niveaus der Mittelwerte des Bezugszeitraumes 1961–1990 bzw. der letzten 30 Jahre 1991–2020 sind als dunkelgraue bzw. hellgraue Linien eingetragen.

## 2 Kleinräumige, heftige Gewitter prägten das Jahr 2021

### 2.1 Beschreibung und Landkarte der Unwetterereignisse

**Jänner:** Schneefälle sorgten für Verkehrsbehinderungen

Im Jänner kam es auf Österreichs Straßen immer wieder zu witterungsbedingten Verkehrsunfällen und -behinderungen. Intensive und langanhaltende Schneefälle führten Mitte des Monats in Teilen Vorarlbergs und Nordtirols zu zahlreichen Straßensperren. Einzelne Orte waren vorübergehend nicht mehr erreichbar. Zudem fiel in mehr als 7400 Haushalten der Strom aus.

**Februar:** Glatteisbedingt zahlreiche Verletzte

Das markanteste Wetterereignis im Februar war das durch gefrierenden Regen ausgelöste Glatteis am 17. des Monats. Betroffen waren vor allem das Wald- und Weinviertel sowie Wien. Während im Straßenverkehr dadurch kaum Probleme auftraten, kamen auf den vereisten Gehwegen zahlreiche Fußgänger zu Sturz. Die Berufsrettung Wien fuhr rund 250 Einsätze wegen verletzter Personen. Aufgrund der heiklen Glatteislage wurde in Wien erstmals seit dem Jahr 2015 das Streusalzverbot vorübergehend aufgehoben.

**März:** Verkehrsunfälle auf winterlichen Fahrbahnen

Nach einem frühlingshaft warmen Start in den Monat führten insbesondere in der Zeit von 14. bis 20. März winterliche Witterungsverhältnisse bundesweit zu Verkehrsunfällen und -behinderungen.

**April:** Regional Frostschäden im Obstbau

Mit einem Kälteeinbruch nach Ostern und den damit einhergehenden kalten Nächten wurden in Vorarlberg erhebliche Frostschäden gemeldet. Rund 80 % der Apfelblüte wurden durch den nächtlichen Frost zerstört. Aufgrund des starken Windes konnten die Frostberegnungsanlagen nicht in Betrieb genommen werden. Auch in der Oststeiermark wurden landwirtschaftliche Schäden aufgrund mehrerer Frostnächte verzeichnet. Während dabei beträchtliche Schäden bei Marillenbäumen gemeldet wurden, waren andere Obstsorten wie Kirsche, Pfirsich oder Apfel nicht so stark betroffen. Die Schäden an Obstkulturen beliefen sich in der Oststeiermark laut Österreichischer Hagelversicherung auf rund 35 Millionen Euro.

**Mai:** Sturmtief, Ernteeinbußen und erste heftige Gewitter

Am ersten Sonntag im Mai rückten im Osten Österreichs zahlreiche Feuerwehren zu witterungsbedingten Einsätzen aus. Sturmtief „Daniel“ fegte mit Windspitzen bis zu 120 km/h über Niederösterreich, Wien sowie das nördliche Burgenland. Entwurzelte Bäume, abgedeckte Dächer und herumwirbelnde Gegenstände waren die Folge, zudem wurden mehrere Personen verletzt. In Wien wurden aufgrund des Sturms mehrere Ausflugsziele (z. B. Lobau, Prater Hauptallee) sowie die U-Bahn-Linie U4 in Teilabschnitten gesperrt.



In der Steiermark führten überdurchschnittlich niederschlagsreiche Witterungsverhältnisse zu Ernteeinbußen bei Hauptkulturen wie Mais, Ölkürbis und Soja. Zudem konnten aufgrund des durchnässten Bodens Felder mit landwirtschaftlichen Maschinen kaum befahren werden.

Gewitter mit Starkregen und Hagel verursachten am 27. Mai zusätzlich erhebliche Schäden an Pflanzenkulturen in der Südoststeiermark. Neben landwirtschaftlichen Schäden kam es in den betroffenen Bereichen zu überfluteten Straßen und Kellern sowie zu rund 50 witterungsbedingten Feuerwehreinsätzen.

### Juni: Rekord an hitzebedingten Rettungseinsätzen, Hagelschläge in Ober- und Niederösterreich

Die zweite Monatshälfte brachte mit Höchstwerten bis 35 °C die erste Hitzewelle des Jahres, die nur kurzfristig um den 25. Juni unterbrochen wurde. Die anhaltende Hitze setzte den Menschen in Österreich zu. So meldete Oberösterreich ein vermehrtes Aufkommen von Rettungseinsätzen in Hinblick auf Hitzenotfälle wie Kreislaufbeschwerden, Hitzschläge oder Sonnenstiche. In Wien verursachte die Hitzewelle am 21. Juni einen Rekord in der Einsatzstatistik der Wiener Berufsrettung: Innerhalb von 24 Stunden rückten die Einsatzkräfte zu 1191 Hitzeeinsätzen aus. In Kärnten wurde ein Anstieg der hitzebedingten Rettungseinsätze von bis zu 30 % verzeichnet.

Außerdem trat vom 21. bis 24. Juni die erste herausragende sommerliche Unwetterepisode mit Schwerpunkt an der Alpennordseite auf, wie sie sich im Verlauf des Sommers noch mehrmals wiederholen sollte. Die Kombination aus sehr warmen bis heißen, feuchten und instabil geschichteten Luftmassen sowie einer starken Südwestströmung in der Höhe löste heftige und langlebige Gewitter aus, die oft von Hagel und Sturm begleitet waren. Besonders große Schäden an landwirtschaftlichen Kulturen, Gebäuden und Fahrzeugen traten am 21. im Innviertel entlang der bayrischen Grenze, am 22. vom Salzburger Flachgau quer über Oberösterreich bis in den Raum Steyr, am 23. von Mittelkärnten bis ins obere Murtal in der Steiermark und am 24. schließlich in vielen Teilen Ober- und Niederösterreichs auf. Das Hagelereignis vom 24. Juni ist in Abschnitt 2.3 genauer beschrieben. An diesem Tag zog ein Tornado knapp nördlich des Weinviertels eine lange Schneise der Zerstörung durch Südmähren und forderte sechs Todesopfer sowie rund 200 Verletzte.

### Juli: Enorme Niederschlagsmengen u. a. in Hallein und Graz

Das größte Unwetterereignis im Juli war ein Höhentief am Wochenende des 17. und 18. Juli mit Starkregen vor allem von Tirol bis Niederösterreich. Von großen Schäden betroffen waren etwa Kufstein, Mittersill (Bezirk Zell am See), Hallein, Neuhofen an der Ybbs, Ferschnitz (Bezirk Amstetten) und Schönbühel-Aggsbach (Bezirk Melk). Auch dieses Ereignis wird in Abschnitt 2.3 genauer beschrieben.

Ab 24. Juli stellte sich wieder eine feuchtwarme Südwestwetterlage ein, die bis Monatsende vor allem an der Alpennordseite von Vorarlberg bis Niederösterreich fast täglich heftige Gewitter mit Hagel, Sturmböen und Starkregen auslöste. Die größten Schäden entstanden neuerlich in Ober- und Niederösterreich, nämlich durch Starkregen am 24. vom Raum Steyr bis ins angrenzende Mostviertel, am 25. durch einen schweren Sturm in fast ganz Oberösterreich und im westlichen Niederösterreich, am 26. durch einen Hagelschlag im Dunkelsteiner Wald (insbesondere wurden in Rossatz viele Hausdächer schwer beschädigt) und am 28. durch eine Kombination aus Sturm und Hagel in einem Streifen vom südlichen Innviertel bis in die Welser Heide.



Am 30. Juli sorgten heftige Gewitter in und um Graz für neue Niederschlagsrekorde. In Graz-An-dritz (Hydrografischer Dienst Steiermark) fielen 171 mm, an den Stationen Graz-Universität und Laßnitzhöhe (jeweils ZAMG) 112 mm beziehungsweise 96 mm Niederschlag binnen sechs Stunden. Vor allem in den nördlichen und östlichen Stadtteilen und Vororten von Graz wurden durch Sturzfluten in den vielen kleinen Bächen und Überlastung des städtischen Kanalnetzes Straßen, Keller, Gebäude und Gärten unter Wasser gesetzt. Mehrere Dutzend Fahrzeuge blieben auf den überschwemmten Straßen stecken. In Judendorf (Bezirk Graz-Umgebung) mussten drei Personen aus ihren Autos gerettet werden. Zudem richteten großer Hagel und Sturmböen weitere Schäden an Gebäuden, Stromleitungen und Bäumen an. Alleine die Berufsfeuerwehr der Stadt Graz meldete über 200 witterungsbedingte Einsätze innerhalb weniger Stunden.

### August: Heftige Gewitter zur Monatsmitte

Wie schon in den Vormonaten traten auch im August zwar nicht außergewöhnlich viele, dafür aber mitunter heftige Gewitter auf. Besonders konzentriert waren sie zur Monatsmitte gegen Ende der letzten Hitzeperiode dieses Sommers.

Am 14. August verlegte eine große Mure das Flussbett der Krimmler Ache mit Schlamm und Geröll, worauf diese austrat und ihrerseits weite Flächen überflutete. In den Gemeinden Wald im Pinzgau und Krimml (Bezirk Zell am See) wurde Zivilschutzalarm ausgelöst. Einige Häuser und zwei Campingplätze wurden aus Sicherheitsgründen evakuiert. An den folgenden beiden Tagen breiteten sich die Unwetter auf weite Teile Österreichs aus.

Am 15. August zog eine Gewitterfront mit Sturmböen über fast ganz Oberösterreich, entwurzelte Bäume und beschädigte Dächer sowie Telefon- und Stromleitungen. Neuerliche Gewitter führten am 16. August in verschiedenen Teilen Ober- und Niederösterreichs zu hunderten überfluteten Wohnhäusern, Kellern und Straßen. In Gmunden stand die Innenstadt unter Wasser. Der Gleiskörper der Almtalbahn wurde zwischen Voitsdorf und Pettenbach (Bezirk Kirchdorf) unterspült, was eine Sperre nach sich zog. In Niederösterreich war der Bezirk Baden am meisten betroffen.

Auch in Kärnten und der Steiermark sorgten heftige Gewitter mit Starkregen, Hagel und Sturmböen an beiden Tagen für Feuerwehreinätze.

Die größten Schäden in der Landwirtschaft wurden am 15. August aus der Südoststeiermark gemeldet, hier verursachte Hagel Schäden in Millionenhöhe besonders an Kulturen von Mais, Soja, Kürbis und Wein.

In Tirol und Salzburg ereigneten sich im Tiroler Oberland, im Zillertal sowie im Pinzgau und Pongau am 16. August neuerliche Sturzfluten, Murenabgänge und Erdrutsche, die Straßen blockierten (z. B. Fernpass, Öztalstraße) und Fahrzeuge festsetzten. Im Pinzgau mussten etwa 70 Personen und im Pongau zwischen St. Johann und Wagrain 84 Personen aus ihren Fahrzeugen gerettet werden. An der Pinzgauer Lokalbahn entstand ein Schaden von rund 15 Millionen Euro. Im Pongau wurde für die überflutete Reinbachsiedlung in St. Johann Zivilschutzalarm ausgelöst. Zudem standen mehrere Ortszentren (z. B. Wagrain, Altenmarkt im Pongau), Keller und Straßen unter Wasser. In Dienten wurden ein Linienbus und ein Auto von den Wassermassen erfasst und mitgerissen, wobei vier Personen verletzt wurden.

### September 2021: Keine besonderen Wetterereignisse

Der warme und trockene September, in dem ruhiges Hochdruckwetter vorherrschte, verlief ohne nennenswerte witterungsbedingte Schäden.

### Oktober 2021: Anhaltende Trockenheit und ein Großbrand oberhalb von Reichenau an der Rax

Die niederschlagsarme Witterung setzte sich auch im Oktober fort und erhöhte die Waldbrandgefahr. Am 25. Oktober brach am Mittagsstein, einem Gipfel oberhalb von Reichenau an der Rax (Bezirk Neunkirchen), ein vermutlich menschlich ausgelöster Waldbrand aus. Mit einer betroffenen Fläche von letztendlich über 115 ha war es einer der größten Waldbrände der letzten Jahrzehnte in Österreich. Im Gebiet der Katastralgemeinde Hirschwang, welche im Zuge des Brandes zum Katastrophengebiet erklärt wurde, standen insgesamt 9000 Einsatzkräfte mit zahlreichen bodengebundenen Fahrzeugen sowie 16 Hubschraubern und Flugzeugen im Einsatz. Bei den Löscharbeiten erhielt Österreich Unterstützung aus Italien, der Slowakei und Deutschland. 13 Tage später, am 6. November, konnte von den Einsatzkräften „Brand aus“ gegeben werden.

Weitere Waldbrände wurden aus Passail (Bezirk Weiz, betroffene Fläche ca. 100 m<sup>2</sup>) und dem Innsbrucker Stadtteil Hötting gemeldet. Diese Brände konnten rasch gelöscht werden.

### November: Winterliche Fahrverhältnisse

Ende November hielt in vielen Landesteilen der Winter Einzug. Dabei schneite es verbreitet bis in tiefe Lagen und zum Teil auch recht kräftig. Von 26. bis 30. November kam es auf den schneebedeckten Straßen immer wieder zu Verkehrsbehinderungen, Straßensperren und Unfällen. Der Schneefall in Kombination mit Wind und den damit einhergehenden Schneeverwehungen sorgten beispielsweise am 30. November in Oberösterreich für zahlreiche Unfälle, durchschnittlich ereignete sich alle 15 Minuten ein Zusammenstoß. Zusätzlich hielt Ende November starker Wind die Einsatzkräfte der Wiener Berufsfeuerwehr auf Trab.

### Dezember: Neuschnee im Süden

Im ersten Dezemberdrittel sorgten bundesweit teils ergiebige Schneefälle für Behinderungen im Straßen- und Bahnverkehr sowie Stromausfälle. Besonders betroffen war das südlichste Bundesland Kärnten. Hier fielen beispielsweise um den 8. Dezember bis zu 50 cm Neuschnee. Zahlreiche Bäume brachen unter der Schneelast zusammen, in mehreren Gemeinden kam es zu Problemen mit der Stromversorgung.

Um Weihnachten fiel in Verbindung mit einer Störungszone stellenweise gefrierender Regen, besonders betroffen davon waren der oberösterreichische Zentralraum sowie das Innviertel. Auf den glatten Straßen und Gehwegen kam es zu mehreren Verkehrsunfällen und zahlreichen Stürzen. In Linz mussten am Weihnachtswochenende daher etliche Personen in Unfallambulanzen behandelt werden.

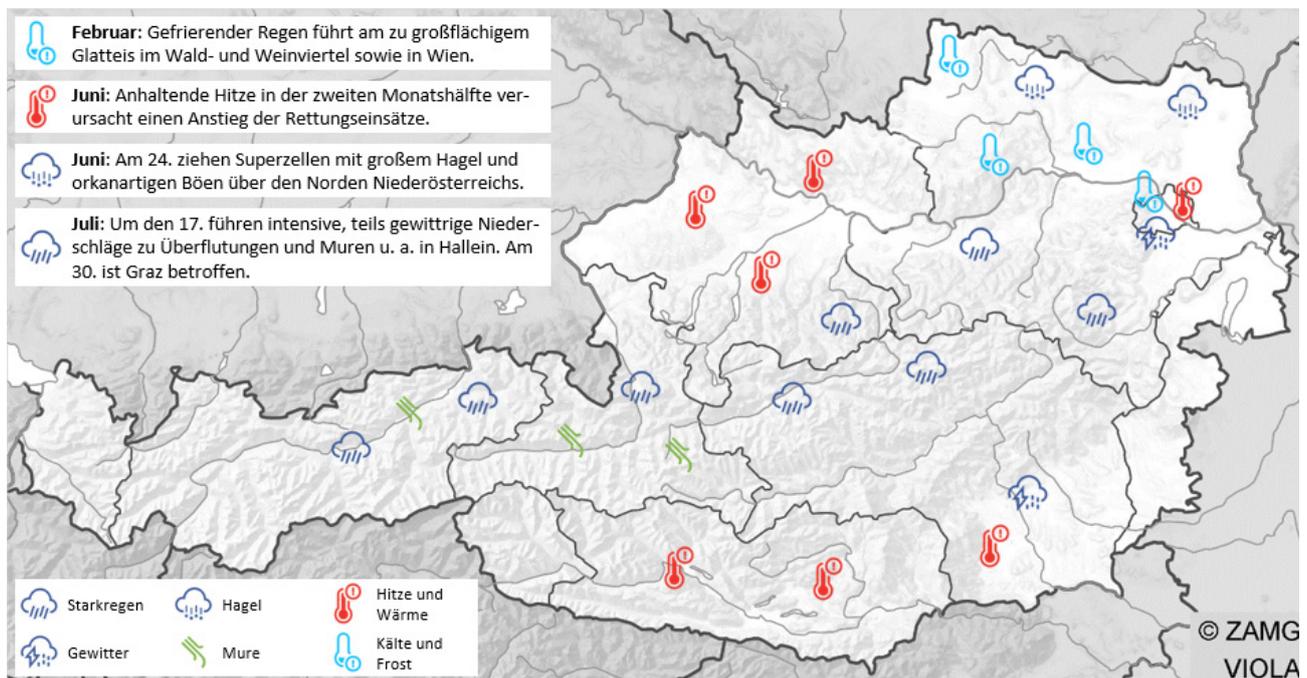


Abbildung 8: Räumlicher Überblick der bedeutenden Wetterereignisse im Jahr 2021 in Österreich.

## 2.2 Kleinräumige Starkniederschläge und Gewitter in einem veränderten Klima

Der anthropogene Klimawandel beeinflusst über vielfältige Wechselwirkungen das Wetter in Österreich, so auch die Intensität und Häufigkeit von Gewittern. Die kleinräumigen, aber hohen Niederschlagsspitzen in kurzer Zeit bei Gewittern entfalten ein hohes Schadenspotenzial. Sie werden durch starke Aufwinde in den Gewitterwolken produziert, wobei ein Gutteil des lokal in der Atmosphäre vorhandenen Wasserdampfs kondensiert und zum Abregnen gebracht wird. Die Menge an Wasserdampf, die von der Luft aufgenommen werden kann und daher auch einer Gewitterwolke zur Verfügung steht, hängt von der Lufttemperatur ab und nimmt um rund 7 % pro Grad Erwärmung zu. Niederländische Wissenschaftler haben als erste gezeigt, dass auch die Niederschlagsintensität von extremen Tagesniederschlägen eine hohe Temperaturabhängigkeit zeigt und teilweise stärker als 7 % pro Grad Erwärmung ansteigt. [5] Für Österreich konnte gezeigt werden, dass derartige **Starkniederschläge sogar um 10 % pro Grad Erwärmung intensiver werden.** [6]

Die generelle Schwere bzw. Gefährlichkeit eines Gewitters hängt mit der Geschwindigkeit der Auf- und Abwinde innerhalb der Wolke zusammen, und diese werden wiederum vor allem von der vertikalen Stabilität der Atmosphäre bestimmt. Analysen von Maßzahlen für die Stabilität zeigen, dass **die Luftschichtung im Alpenraum in den letzten 40 Jahren deutlich instabiler geworden ist [7,8] und gemäß Auswertungen der aktuellen regionalen Klimamodelle für Österreich [9] noch instabiler werden dürfte.** [10,11] Instabilere Luftschichtungen lassen sich in eine Wahrscheinlichkeit für häufigere, intensivere und niederschlagsreichere Gewitter übersetzen.

Etwas größer sind die Unsicherheiten bei Sturmböen und Hagel. Ihr Auftreten hängt nicht nur an einer instabilen Luftschichtung, sondern auch an starken Höhenwinden, die eine bessere „Or-

ganisation“ von Gewittern (also Trennung von Auf- und Abwindbereichen) erlauben. Da sich das Westwindband des Jetstreams im Zuge des Klimawandels langsam polwärts und in größere Höhen zurückzieht, dürften Situationen mit starken Höhenwinden im Sommerhalbjahr in Mitteleuropa seltener werden. Vermutlich wird der Effekt instabilerer Luftschichtungen auch hier dominieren und das Risiko für Sturm und Hagel erhöhen. [12, 13]

Über mögliche zeitliche und räumliche Verschiebungen der Gewittertätigkeit im Zuge des Klimawandels gibt es derzeit noch keine belastbaren Aussagen. Aufgrund der früheren Ausaperung schneebedeckter Flächen ist es jedoch denkbar, dass die Gewittersaison vor allem im Frühjahr eher beginnen und sich im Sommer auch stärker in das bisher nur selten betroffene Hochgebirge ausdehnen wird. Darüber hinaus ist die zukünftige Häufigkeit bestimmter Wetterlagen, die Gewitter in bestimmten Regionen fördern oder unterdrücken, noch weitgehend unerforscht. Die räumliche Verteilung von Gewittern im Alpenraum wird aber auch stark durch die topografischen Verhältnisse (Gebirge, Alpenvorland) diktiert und ist weitgehend invariant gegenüber dem Klimawandel.

**Die Kombination aus einer gesicherten Zunahme der Niederschlagsintensität um etwa 10 % pro Grad Erwärmung und einer wahrscheinlichen Zunahme der Häufigkeit instabiler Luftschichtungen im Alpenraum lässt mehr schwere, schadensverursachende Gewitter während des 21. Jahrhunderts in Österreich erwarten.** Diese Zunahme wird umso stärker sein, je höher die menschlichen Treibhausgasemissionen ausfallen. Gelingt ein Erreichen der Pariser Klimaziele, sollte es ab der Mitte des 21. Jahrhunderts zu einer Stabilisierung kommen. Auf die Veränderungen der nächsten Jahrzehnte müssen wir uns aber auf jeden Fall vorbereiten.

## 2.3 Analyse von zwei Gewitterereignissen im Sommer 2021

### Hagelschläge am 24. Juni in Ober- und Niederösterreich

Die Ausdehnung und Intensität der Hagelschläge am 24. Juni kann seit mindestens mehreren Jahrzehnten in Mitteleuropa als beispiellos angesehen werden. In Ober- und Niederösterreich

trat Schadenshagel am 24. Juni bei insgesamt 18 verschiedenen Gewittern auf (Abb. 9). Daneben waren auch noch Teile Tschechiens, der Slowakei und Polens betroffen.

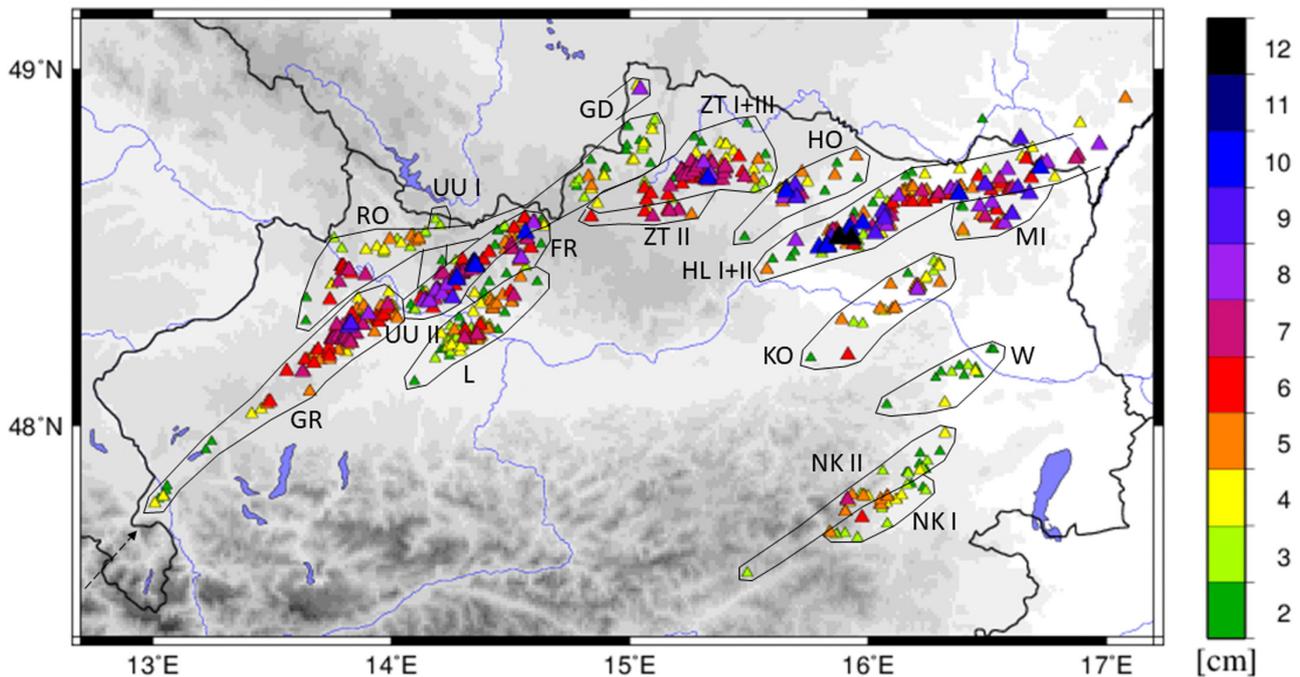


Abb. 9: Dokumentierte oder aus Schäden rückgeschlossene Hagelkorngrößen ( $\geq 2$  cm) am 24. Juni, die von Augenzeug\_innen (über [wettermelden.at](http://wettermelden.at)) und Feuerwehren gemeldet sowie aus sozialen Netzwerken gesammelt wurden. Die 18 Hagelzüge wurden mit Radardaten abgeglichen und nach den am stärksten betroffenen politischen Bezirken bezeichnet.

Eine erste Welle an Gewittern bildete sich ab dem frühen Nachmittag über den steirisch-niederösterreichischen Kalkalpen und zog mit vier Hagelstrichen, deren Schäden sich mit Ausnahme von Stockerau noch in Grenzen hielten, ins Wiener Becken und Tullnerfeld hinaus. Fast zeitgleich entstand eine zweite Welle an Gewittern im nördlichen Alpenvorland. Diese verstärkten sich im oberösterreichischen Zentralraum und besonders nördlich der Donau im Mühl-, Wald- und Weinviertel gewaltig und produzierten oft seit Menschengedenken nicht erlebte Hagelschläge. Mancherorts gingen Hagelschloßen von 7 bis 10 cm Durchmesser, also mehr als Faustgröße, nieder, die nahezu alle Gebäude und Fahrzeuge massiv beschädigten und auch einige Menschen schwer verletzten. In Ziersdorf (Bezirk Hollabrunn) wurden sogar mehrfach bis zu 12 cm große Hagelbrocken fotografiert, womit der bisher bekannte österreichische Rekord

aus den Jahren 1929 (Pöndorf, Oberösterreich) und 1984 (St. Oswald, Niederösterreich) eingestellt wurde.

Bei den nördlichen oder späteren Gewittern waren die Hagelkörner zwar tendenziell weniger groß, fielen dafür aber oft so dicht und von Sturm begleitet, dass sie schwere landwirtschaftliche Schäden anrichteten. Ungewöhnlich war auch eine Überlappung mancher Hagelzüge, wodurch einige Orte binnen weniger Stunden zwei oder sogar drei Mal Schadenshagel erlebten. Der schlimmste „Doppelschlag“ betraf einen Streifen im Bezirk Hollabrunn, wo eineinhalb Stunden nach dem ersten Riesenhagel, den zumindest die Landwirtschaft noch relativ glimpflich überstanden hätte, ein zweiter, dichter und windgetriebener Hagelschlag Feldkulturen fast bis zur Unkenntlichkeit zerstörte und Weinstöcke oft völlig kahlschlug.

Die verheerenden Schadensausmaße des 24. Juni 2021 bedeuteten für viele Betroffene große mentale und materielle Belastungen. Alleine die Feuerwehreinsätze zur notdürftigsten Abdichtung der Dächer dauerten oft mehrere Tage. Die eigentlichen Reparaturen waren auch bis Jahresende 2021 noch nicht abgeschlossen, da nicht nur Materialbestände, sondern auch die Verfügbarkeiten ausgebildeter Dachdecker\_innen überregional an ihre Grenzen stießen.

#### Starkregen am 17. und 18. Juli an der Alpennordseite

Mitte Juli schnürte sich das Tief „Bernd“ über Frankreich vom Westwindband ab und driftete über den Alpenraum zur Adria. An seiner Nordflanke bezog es warme und äußerst feuchte Luftmassen aus Osteuropa und dem Ostseeraum in seine Zirkulation ein, die gehoben und zu intensiven Niederschlägen „ausgepresst“ wurden. Verstärkend wirkte hier die extrem warme Ostsee, deren Wassertemperatur nach einer mehrwöchigen Hitzewelle oft 22 bis 26 °C betrug und damit um rund vier Grad über den langjährigen Mittelwerten lag.

Dasselbe Tief hatte bereits am 13. und 14. Juli in Westdeutschland, Belgien und den Niederlanden das schlimmste Hochwasser seit Menschengedenken ausgelöst, in dem mehr als 220 Menschen ums Leben kamen. Am 17. und 18. Juli wurde ein neuer Schwall besonders feuchter Luft aus Nordosten gegen die österreichischen und bayrischen Alpen gedrückt und löste auch hier ergiebige Niederschläge aus. Dabei entwickelten sich vor allem zwei Problemzonen (Abb. 10).

Einerseits löste die beginnende Hebung an den Alpen vor allem in einem Streifen von Wien über Traismauer, Melk und Amstetten in Niederösterreich bis nach Steyr und Kirchdorf in Oberösterreich wiederholt und verbreitet Gewitterbildungen aus. Sehr feuchte Luft und schwache Winde nahe des Tiefzentrums unterdrückten diesmal die Bildung von Sturmböen und Hagel weitgehend, erzeugten allerdings fast tropisch anmutende Wolkenbrüche, die oft auch mehrere Stunden die gleichen Gebiete betrafen, da sich die Gewitter gegen den steuernden Wind rückwärts in die noch „unverbrauchte“ Luft regelrecht hineinfraßen.

In Wien stellten 80 mm Niederschlag auf der Hohen Warte (ZAMG, Beginn automatischer Niederschlagsmessungen 1992) einen neuen Rekord der dreistündigen Regenmenge dar und sind statistisch deutlich seltener als einmal in 50 Jahren zu erwarten; an der Station Blumental (Stadt Wien) fielen sogar 88 mm in zwei Stunden. In Amstetten (ZAMG, Beginn automatischer Niederschlagsmessungen 1993) wurde der bisherige Rekord des zwölfstündigen Niederschlages auf nun 125 mm nahezu verdoppelt. In Traismauer (privat) wurden sogar 156 mm Niederschlag in vier Stunden gemessen. Auch radarbasierte Summen machten Niederschlagsspitzen in der Größenordnung von 150 bis 200 mm binnen weniger Stunden plausibel. Viele Verkehrswege, Gebäude und landwirtschaftliche Nutzflächen wurden von Sturzfluten oder Oberflächenwasser überschwemmt, beschädigt und in Einzelfällen sogar zerstört. Zeitgleich mussten in den Anliegergemeinden auch noch die Schutzwände gegen ein aufkommendes Donauhochwasser errichtet werden, das allerdings zum Glück unter Kontrolle blieb.

Die zweite Problemzone entstand in den Nordalpen von der Obersteiermark bis in den Bregenzer Wald, wo die Reste der Gewitter in die ohnehin schon laufenden Stauniederschläge eingebettet wurden. Dies erhöhte die Niederschlagssummen auf verbreitet 100 bis 150 mm binnen 36 Stunden, was in den betroffenen Regionen örtlich seltener als einmal in 100 Jahren zu erwarten ist. Viele größere Flüsse wie Enns, Salzach und Inn führten Hochwasser, Bäche traten über die Ufer. Die schlimmsten Auswirkungen entstanden im Salzburger Tennengau und Pinzgau sowie im Tiroler Unterland und Außerfern. In Hallein überschwemmte der Kothbach nach Verklausungen binnen Minuten fast den gesamten Stadtkern, beschädigte viele Häuser und Straßen schwer und spülte sogar mehrere Fahrzeuge davon. Ähnliche Schäden richtete die Ausuferung von drei ansonsten kleinen Bächen in der Innenstadt von Kufstein an, wo die dortige ZAMG-Station mit 163 mm binnen 36 Stunden die höchste Niederschlagssumme des gesamten Ereignisses empfing. Im Bezirk Kitzbühel wurden insbesondere in Hopfgarten im Brixental etliche Straßen blockiert oder sogar weggerissen und mussten Häuser evakuiert werden. Manche Flüsse in den Bezirken Kitzbühel und Kufstein überschritten die Marken für ein 30-jährliches Hochwasser, zudem richteten Murenabgänge große Schäden an.

Mit Fortdauer der Niederschläge traten auch die Ziller im Bezirk Schwaz und der Lech im Außerfern großflächig über die Ufer, ebenso die obere Salzach und ihre tauernseitigen Zubringer im Pinzgau, die sogar die historisch bekannten Höchststände (etwa aus 2005) überstiegen. Anders als bei früheren Ereignissen fielen die Niederschläge diesmal bis fast in die höchsten Gipfellagen der Hohen Tau-

ern durchwegs als Regen, wodurch eine Pufferung in Form einer Schneedecke vollkommen entfiel. Immerhin erwiesen sich die seit 2005 massiv verstärkten Schutzbauten als erfolgreich und konnten die Überschwemmung von Mittersill und anderen Ortszentren knapp verhindern, wurden allerdings stundenlang bis aufs Äußerste strapaziert.

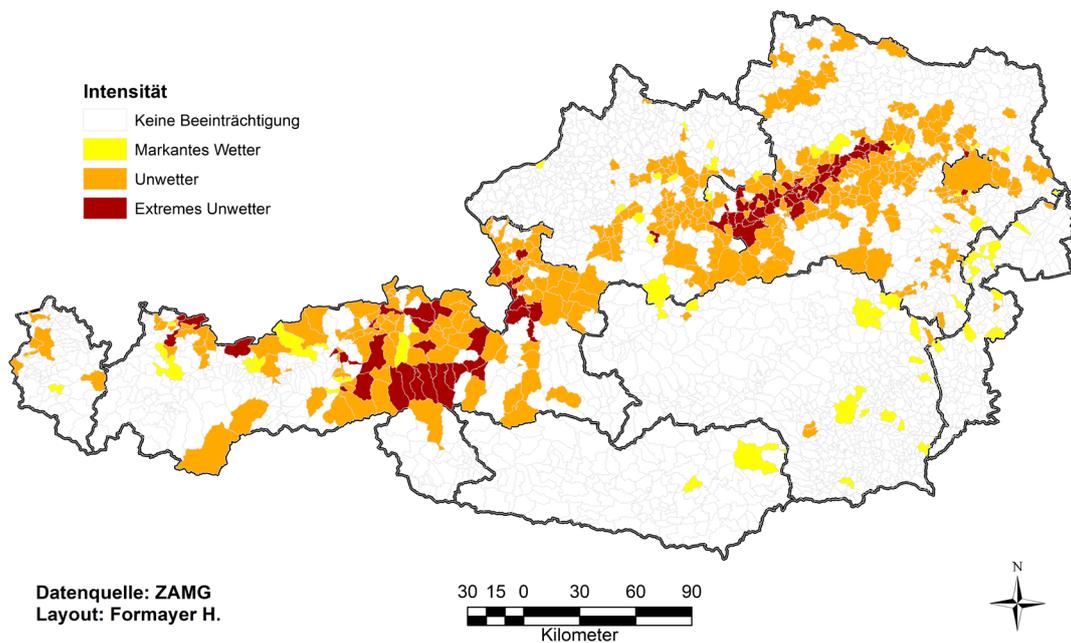


Abb. 10: Überblick über die Folgen des Starkregens vom 17. und 18. Juli 2021. Information aus den Einsatzdaten und -berichten von Feuerwehren wurde anhand eines vordefinierten Kriterienkataloges auf Gemeindeebene in ein dreistufiges Intensitätsschema klassifiziert, das sich in groben Zügen so interpretieren lässt: „markantes Wetter“ – Vorbeugung und nur geringe Schäden an neuralgischen Orten, „Unwetter“ – Beseitigung von Schäden, „extremes Unwetter“ – Bewältigung einer Katastrophensituation. (Anm.: Die Vorbeugung fällt überwiegend nicht in den Zuständigkeitsbereich der Feuerwehren, daher sind die verwendeten Daten für die unterste Intensitätsstufe inhärent unvollständig.)

## 2.4 Ausmaß und Auswirkungen der Gewitterereignisse im Jahr 2021

Die Jahressumme an Niederschlägen 2021 im Mittel für ganz Österreich war leicht unterdurchschnittlich. In Summe war es um 6 % trockener als im Durchschnitt des Zeitraumes 1961–1990. Die räumliche und zeitliche Verteilung von Niederschlagsereignissen ist daraus aber nicht abzulesen. Das Jahr 2021 war einerseits regional durch das wiederholte Auftreten von kleinräumigen, ungewohnt heftigen Gewittern geprägt. Auffällig war, dass diese Unwetter, auch wenn sie nur einige Stunden andauerten, mit Rekordmengen an Regen verbunden oder von großem Hagel begleitet waren. Andererseits kam es aber auch zu längeren Trockenphasen. In Österreich gab es im Jahr 2021 also gleichzeitig zu wenig und zu viel Niederschlag

und das sowohl in zeitlicher (Hitze und Trockenheit im Juni, Starkregen und Unwetter im Juli und August) als auch in räumlicher Nähe (andauernde Trockenheit in Kärnten, der Steiermark und dem Burgenland, Übermaß an Regen an der Alpennordseite).

Wie bereits der Klimastatusbericht für das Jahr 2020 aufzeigt, hat sich die Verteilung der täglichen Niederschlagsmenge besonders im Sommer in den letzten Jahrzehnten deutlich geändert: Während die Zahl der Tage, an denen es überhaupt regnet, seltener wurden, wurden Tage, an denen es sehr viel regnet, häufiger.

### Die unterschätzten Risiken von Starkregen und Sturzfluten

Im Gegensatz zu Hagel oder Sturm entstehen die Schäden von Starkregen nicht durch seine unmittelbare Einwirkung, sondern durch eine Kombination aus Intensität und Andauer. **Starkniederschläge werden zur Naturgefahr, wenn sie eine Intensität erreichen, die Sturzfluten, Überschwemmungen oder Erdbeben auslösen können.**

Im Jahr 2017 untersuchten Forscher\_innen den Gefährdungsgrad von Wohngebäuden auf hydrologische Naturgefahren in Österreich und der Schweiz und stellten fest, dass 14 % der Wohngebäude potenziell Flusshochwässern oder Muren ausgesetzt sind. In den Hochgebirgsgebieten ist die Gefährdung systematisch höher als im Alpenvorland. [14] In den stark von Flusshochwässern bedrohten Gebieten ist das Bewusstsein für die Problematik hoch und die Anpassungsbereitschaft groß. **Sturzfluten, die durch lokale Starkregenereignisse ausgelöst werden (eng. „flash floods“), können jedoch auch an kleinen, mitunter nicht ständig präsenten Gewässern auftreten oder sich im Extremfall in Form von abrinnendem Hangwasser sogar ganz von diesen entkoppeln.** Solche Ereignisse entziehen sich einer Überwachung durch fernübertragende Pegelmessungen, können daher weder in der Hochwasserzonierung adäquat berücksichtigt, noch im Akutfall zeitgerecht bewahrt werden. Gerade aufgrund der meist fehlenden Vorlaufzeiten und der hohen Fließgeschwindigkeiten stellen sie aber die größte Gefahr nicht nur für Bauwerke und Infrastruktur, sondern auch für Mensch und Tier dar. Dennoch kommen diese

Ereignisse erst langsam im kollektiven Bewusstsein an, unterstützt durch das oft immens beeindruckende Foto- und Videomaterial, das im Smartphone-Zeitalter verfügbar geworden ist.

Die häufigsten Schäden durch Starkregenereignisse sind überflutete Keller, Garagen, Häuser, Straßen und landwirtschaftliche Nutzflächen. Im geneigten Gelände kommt es zudem oft zum Transport von Festmaterial, das sich an Brücken, Durchlässen, Einlaufgittern und sonstigen Engstellen verkeilen (verklauen) und die Überschwemmungsgefahr zusätzlich steigern kann. Sekundärschäden von Starkregen können mannigfaltig sein und reichen von Austritten von Heizöl oder anderen Schadstoffen über Kurzschlüsse und elektronische Defekte in Gebäuden bis zu Unterspülungen von Verkehrswegen und Erosion auf landwirtschaftlichen Nutzflächen. Im städtischen Bereich kommt es häufig zu Überlastungen der Abwasser- und Entwässerungssysteme, sodass abgehobene Kanaldeckel und offene Schächte zu zusätzlichen Gefahren für Verkehrsteilnehmer\_innen und Einsatzkräfte werden. Da Starkregenereignisse meist von Gewittern verursacht werden, treten oft zusätzlich Schäden durch Hagel, Sturmböen oder Blitzeinschläge auf. Während viele der auftretenden Schäden sofort sichtbar sind, richten Sicker- und Stauwasser insbesondere in ebenen Gebieten oft erst auf den zweiten Blick Schäden an. Das eindringende Regenwasser verursacht Feuchtigkeitsschäden an Gebäuden, die mit Schimmelbildung oder Zermürbung der Mauersubstanz einhergehen können.

## Das Ausmaß der Schäden durch lokale, heftige Gewitter im Sommer 2021

Das Ausmaß der heftigen Unwetter im Jahr 2021 wird ersichtlich, wenn man einen Blick auf die eingemeldeten Schäden einerseits bei der Österreichischen Hagelversicherung (HV) und andererseits beim Katastrophenfonds wirft.

Die **in der Landwirtschaft eingemeldeten Schäden bei der HV im Jahr 2021 durch Hagel und Sturm** (20.300 Schadensmeldungen) beliefen sich in Summe auf **110 Millionen Euro**. Alle Bundesländer waren von Hagel betroffen, wobei die Schäden in Ober- und Niederösterreich deutlich höher, hingegen in Kärnten deutlich geringer als üblich ausfielen (Abb. 11). In Summe beträgt die geschädigte Fläche 200.000 Hektar.

Zu den geschädigten landwirtschaftlichen Kulturen zählen das Grünland, Gemüse-, Obst- und Weinbaukulturen, Glas- und Folienhäuser. Das Unwetter am 22. Juni im Salzburger Flachgau und in Oberösterreich war das teuerste Einzelereignis (22 Millionen Euro Schaden), der 24. Juni mit seiner Vielzahl extremer Hagelschläge in Ober- und Niederösterreich der teuerste Tag (28 Millionen Euro Schaden) in der mehr als 70-jährigen Geschichte der HV.

Zusätzlich gingen **2.700 Schadensmeldungen** mit einer Fläche von 7.900 ha bei der HV **durch Überschwemmungen ein**, die eingemeldeten Schäden belaufen sich auf 5 Millionen Euro.

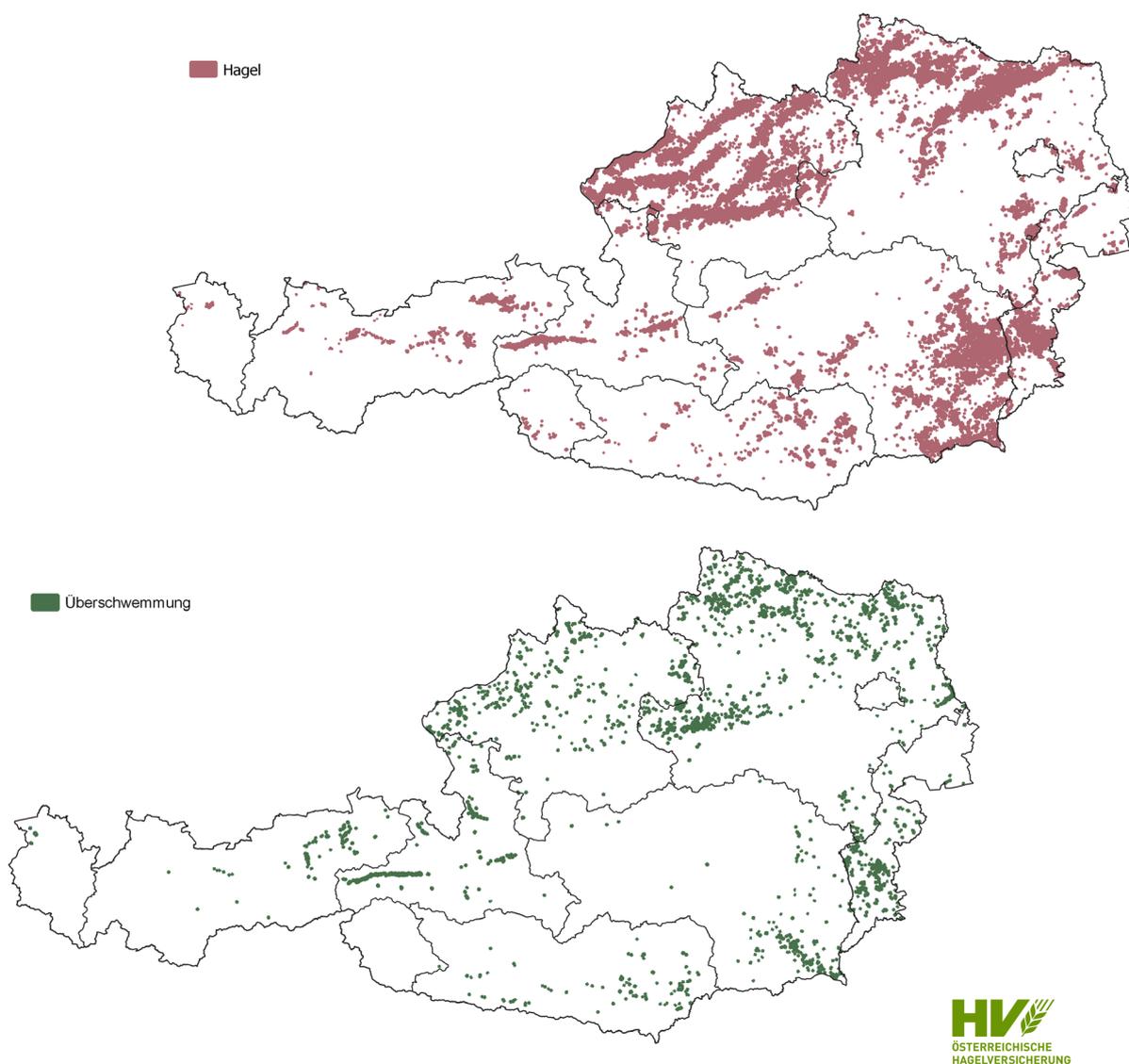


Abb. 11: Bei der Österreichischen Hagelversicherung im Jahr 2021 eingemeldete Schäden durch Hagel und Sturm (oben) sowie Überschwemmung (unten).

Neben den Landwirtinnen und Landwirten waren private Haushalte sowie öffentliche Stellen durch die Schäden an Gebäuden und Infrastruktur wie Straßen, Bahnstrecken usw. betroffen. Für diesen Bereich lassen **Zahlen und Daten aus den eingemeldeten Schäden an den Katastrophenfonds** Schätzungen auf das Gesamtausmaß zu.

Im **Burgenland** und in **Kärnten** war das Schadausmaß durch die Unwetter im Sommer eher gering. Durch lokale Gewitterstürme im Juni und Juli 2021 kam es in Kärnten (Gemeinden Mörtschach und Friesach) hauptsächlich zu Waldschäden.

In **Nieder- und Oberösterreich** gab es jedoch vor allem durch Hagel und Hochwasser erhebliche Schäden. In Summe belaufen sich die eingemeldeten Katastrophenschäden des Landes Niederösterreich durch Privatpersonen und Betriebe durch die Unwetter im Sommer auf insgesamt über 29 Millionen Euro (bisher abgewickelte Anträge, Stand Jänner 2022). 27,7 Millionen Euro Schaden wurden dabei allein durch zwei Ereignisse im Sommer verursacht (Unwetter am 24. Juni, Starkniederschläge von 17. Bis 18. Juli).

In Oberösterreich traten neben Schäden durch Hagel und Hochwässer auch Sturmschäden im Wald auf mit einer Gesamtschadensfläche von ca. 300 Hektar.

Das Land **Salzburg** beziffert den Gesamtschaden im Bundesland, der von den Extremereignissen im Juli und August verursacht wurde, mit fast 25 Millionen Euro. Besonders betroffen waren der Pinzgau und der Pongau. [15]

In der **Steiermark** gingen rund 400 Schadensmeldungen durch die Sommerunwetter beim Katastrophenfonds ein, davon allein 149 durch die Unwetter am 30. und 31. Juli im Raum Graz. Bisher wurde eine Summe von über 1,6 Mio. Euro an Beihilfen für über 160 Geschädigte zugesagt, die übrigen Schadensmeldungen sind noch in Bearbeitung.

Die Länder **Tirol** und **Vorarlberg** waren etwas weniger stark betroffen. In Tirol wurden bisher 3,2 Millionen Euro Schaden an gewerblichen Betrieben, 3 Millionen Euro im Wohnbereich und 2 Millionen Euro im land- und forstwirtschaftlichen Bereich eingemeldet. Betroffen waren hier vor allem die Bezirke Kufstein und Kitzbühel.



### 3 Anpassung an kleinräumige, heftige Gewitter

Die Anpassung an lokale, heftige Gewitter und ihre Folgen ist sehr herausfordernd. Der Schutz vor Naturgefahren hat in Österreich zwar eine lange Tradition und funktioniert seit Jahrzehnten gut. Heute wird jedoch die grundlegende Problematik durch den Klimawandel verschärft. [16] Denn – wie in Kapitel 2.2 beschrieben – führt das sich ändernde Klima zu Änderungen der Häufigkeit und Intensität kleinräumiger Starkniederschläge. Seit den 2000er-Jahren haben Wetterlagen mit Unwetterpotenzial in Österreich bereits deutlich zugenommen. [17]

#### 3.1 Vorhersagbarkeit von lokalen Gewittern

Wettervorhersagen und vor allem Unwetterwarnungen stellen eine zentrale Säule der Anpassung an Unwetter dar. Obwohl gerade im Fall von Gewittern oft weniger als eine Stunde Zeit bleibt, um zuverlässige Warnungen auszugeben, können auch spontane, wenig koordinierte Maßnahmen unter hohem Zeitdruck nicht nur im Extremfall Menschenleben retten, sondern generell finanzielle Schäden drastisch reduzieren.

Das Warnwesen wurde in den vergangenen Jahren durch eine stetige Steigerung der Rechenleistung von Computern, feinere Auflösung der Wettervorhersagen, methodische Verbesserungen und vielfältigere Distributionsmöglichkeiten immer weiter verbessert. Bei den numerischen Wetterprognosen selbst ist die wichtigste Schwelle für eine bessere und realistischere Vorhersage von Gewittertätigkeit allerdings schon überschritten: Es handelt sich dabei um eine horizontale Auflösung feiner als 5 km, ab der nicht mehr die Effekte von Gewittern indirekt simuliert werden müssen, sondern Gewitterwolken explizit modelliert werden können. Weitere Verbesserungen der Wetterprognosen selbst haben also einen immer geringeren Spielraum und streben einer Sättigung entgegen (eine doppelt so feine Auflösung erfordert eine 16 Mal so hohe Rechenleistung). Eine explizite Modellierung noch feinerer Prozesse (z. B. Strahlungsflüsse, Reibung und Turbulenz) muss von intensiver Forschung vorbereitet und begleitet werden.

Mehr Verbesserungspotenzial besteht also weiter „stromabwärts“, nämlich in der Veredelung, Interpretation und Verwendung des bereits vorliegen-

Trotz getroffener Vorkehrungen und Schutzmaßnahmen bleibt ein erhöhtes Restrisiko bei besonders extremen Ereignissen bestehen. Zusätzlich ergibt sich bei lokalen Unwettern die Problematik, dass diese sehr **schwer bzw. nur sehr kurzfristig vorher-sagbar** sind. Nach einer Warnung vor Starkregen und Sturzfluten können in der verbleibenden, kurzen Zeit höchstens noch einfache Maßnahmen wie das Schließen von Türen und Fenstern oder das Sichern von Kellereingängen durchgeführt, jedoch keine grundlegenden Schutzmaßnahmen mehr ergriffen werden.

den Prognosematerials. Ein wichtiger Schritt, der 2015 von der Weltmeteorologischen Organisation empfohlen wurde und seither laufend besser umgesetzt wird, ist der Übergang von rein meteorologischen zu auswirkungsorientierten Unwetterwarnungen, inklusive einem Mitliefern von konkreten Handlungsempfehlungen für bestimmte Situationen. Ein derzeitiger Schwerpunkt an der ZAMG ist dabei das Stärken und Schließen robuster „Feedback Loops“ zwischen Meteorolog\_innen und Einsatzkräften, mit denen nicht nur der Informationsfluss zu den Einsatzkräften kanalisiert, sondern insbesondere auch ein Rückfließen von Echtzeit-Information über bereits auftretende Auswirkungen von Unwettern an die diensthabenden Warnmeteorolog\_innen eingerichtet werden soll.

Da sich die Auswirkungen bestimmter Wetterereignisse nicht direkt messen, sondern allenfalls grob aus meteorologischen Messdaten vermuten lassen, sind direkte Beobachtungen von Unwettern vor Ort (z. B. durch Augenzeug\_innen und Feuerwehren) unerlässlich, um unmittelbar bedrohte Gebiete optimal zu bewarnen, wenn sich etwa Sturm und Hagel bei langlebigen Gewittern mit einer gewissen Kontinuität verlagern oder auch Sturzfluten und Hochwasserwellen bach- und flussabwärts fortpflanzen. Auch eine noch bessere Abschätzung des Hauptrisikos von Gewittern ist ein wichtiges Ziel, da etwa die Handlungsempfehlungen bei der Gefahr von Sturm (Aufsuchen möglichst solider Gebäudeteile, z. B. Keller oder Nassräume) jenen bei der Gefahr von Starkregen (Aufsuchen erhöhter Gebäudeteile, z. B. oberer Stockwerke) nahezu diametral entgegenstehen.

### 3.2 Anpassungsmöglichkeiten und Restrisiko

#### Die Rolle der Gemeinden

Da eine Vorwarnung vor kleinräumig auftretenden Unwettern aufgrund der schwierigen Vorhersagbarkeit nur sehr kurzfristig möglich ist, ist es umso wichtiger, präventive Maßnahmen zu setzen und das richtige Verhalten im Ereignisfall zu üben. Dies gilt für Einzelpersonen genauso wie für die Gemeinden, denen eine entscheidende Rolle in der Anpassung an Unwetter zukommt. Ihnen obliegen die Aufgaben, sowohl die eigenen Schutzmaßnahmen in der Gemeinde zu planen und umzusetzen als auch mögliche Schutzmaßnahmen der Bürger\_innen zu kommunizieren sowie gegebenenfalls planerisch zu begleiten. Programme wie [KLAR! – Klimawandel-Anpassungsmodellregionen](#), [KEM! – Klima- und Energiemodellregionen](#), das [e5-Programm](#) sowie [LEADER](#) oder auch die [Klimabündnis-Gemeinden](#) und Programme der einzelnen Länder unterstützen die Gemeinden dabei, Maßnahmen zu Klimaschutz und Klimawandelanpassung umzusetzen.

Für das Risikomanagement von Starkregen und Sturzfluten ist aber auch **eine überregionale Koordination und Planung nötig**. Denn die Schutzmaßnahmen einer Gemeinde könnten eventuell zu Lasten einer anderen gehen und die geringe Vorwarnzeit sowie die Intensität einer Sturzflut erfordern schnelles und effektives Handeln. Schutzmaßnahmen sind so zu planen, dass sich eine Flut nicht von einem Ort zum nächsten verlagert und die Probleme nur verschoben werden. Auch sind Einsatzplanungen der (ehrenamtlichen) Helfer\_innen, Gewässer- und Hochwassermanagement, Abwasserbeseitigung usw. Aufgaben, die eine einzelne Gemeinde allein häufig weder finanziell noch praktisch leisten kann. Eine enge Zusammenarbeit aller Behörden und betroffenen Akteur\_innen ist hier gefragt. Auch in der Nachsorge (z. B. im Bereich der Reparatur von Infrastruktur oder dem Beseitigen von Schäden) können kleine Gemeinden bei hohen Schäden leicht an die Grenze ihrer Belastbarkeit stoßen.

Im Jahr 2021 wurde durch den Klima und Energiefonds in Kooperation mit dem BMK und aller neun Bundesländer ein [Klimawandel-Anpassungsnetzwerk \[18\]](#) gegründet, um bestehende Aktivitäten zu bündeln und zu vernetzen. Die Arbeitsgruppe „Katastrophenschutz“ des Netzwerks hat zum Ziel, betroffene Personen bestmöglich auf diverse Szenarien vorzubereiten und die Auswirkungen der Katastrophen einzudämmen. Dies soll durch die Erstellung einer Landkarte der Ansprechpartner\_innen entlang des gesamten Risikokreislaufs und durch Schulungen gelingen.

## Restrisiko und Überlastfall

Seit den 1960er-Jahren hat sich die Zahl der vom forsttechnischen Dienst der Wildbach- und Lawinerverbauung errichtete Schutzbauten in Österreich nahezu verdreifacht. [19] Betrachtet man jedoch heftige Gewitter und damit einhergehende Gefahren durch Hagel, Blitzeinschlag oder Sturzfluten, so bleibt in den meisten Fällen ein erhöhtes **Restrisiko** bestehen, also ein **erhöhtes Risiko, das nach Umsetzung von baulichen und nichtbaulichen Schutzmaßnahmen** (technischen, rechtlichen, planerischen, organisatorischen, bewusstseinsbildenden usw.) **bestehen bleibt**. Denn die bestehenden Schutzmaßnahmen schützen in der Regel ein Gebiet bzw. die Bevölkerung vor potenziell gefährlichen Ereignissen nur bis zu einem gewissen Ausmaß bzw. bis zu einer gewissen Intensität – nicht jedoch vor sogenannten **Überlastfällen**, also Ereignissen mit einer sehr geringen Eintrittswahrscheinlichkeit (oft in Verbindung mit einem großen Schadenspotenzial). Natürlich spielt hier der Kostenfaktor bzw. die Kosteneffektivität eine entscheidende Rolle. Die Planung, der Bau und die Instandhaltung von baulichen Schutzmaßnahmen

sind oft sehr kostenintensiv, weshalb eine Abwägung des Risikos mit der finanziellen Leistungskraft und der Bereitschaft der Gesellschaft für Ausgaben stattfinden muss. [20]

Dazu kommt, dass der Schutz vor Sturzflutschäden aufgrund der schwierigen Vorhersagbarkeit im Vergleich zum Schutz vor Flusshochwasser besonders herausfordernd ist. Während man bei Flusshochwasser oft aus der Erfahrung vergangener Ereignisse weiß, wo und zu welchem Zeitpunkt das Hochwasser auftreten wird, ist eine Vorhersage, wo Hochwasser, Vermurungen oder Verklausungen durch Sturzfluten auftreten werden, wesentlich schwieriger. Zwar ist jede Schutzmaßnahme gegen Flusshochwasser größtenteils auch eine gegen Starkregenschäden, doch für Starkregen und Sturzfluten gibt es etliche weitere Besonderheiten, die zusätzliche Maßnahmen benötigen. [21] Bewährte wasserbauliche Maßnahmen für Flusshochwasser sind weitgehend wirkungslos, wenn die Wassermengen unerwartet und abseits der Gewässer auftreten. [22]



© Hans Braxmeier

## Vorsorgemaßnahmen für Starkregen

Während das Gefahrenbewusstsein in der Bevölkerung prinzipiell gestiegen und auf hohem Niveau ist, ist die Eigenvorsorge noch zu wenig verankert. [23] **Eigenverantwortliche Vorsorgemaßnahmen können jedoch das Schadensausmaß maßgeblich verringern.** Wie bereits erwähnt, entsteht Hochwasser jeglicher Art, wenn große Niederschläge nicht mehr im Boden versickern oder nicht mehr von den Gewässern aufgenommen werden können und somit unkontrolliert abfließen. Insofern leisten alle Maßnahmen, welche das Wasser gar nicht erst zum Abfluss gelangen lassen oder den Abfluss selbst bremsen, d. h. die natürliche Versickerung fördern, einen Beitrag zum Hochwasser- und Sturzflutschutz.

**Mögliche Maßnahmen zur Schadensvorsorge beinhalten die Flächenvorsorge, die Bauvorsorge, die Risikovorsorge und die Verhaltensvorsorge.** [24]

- Die **Flächenvorsorge** umfasst alle Maßnahmen, die über die Flächennutzung auf die Minderung von Schadenspotenzialen und Schäden Einfluss nehmen. Von Bedeutung ist hier vor allem das Freihalten gefährdeter Gebiete von einer Bebauung und die Schaffung von Flächen zum Rückhalt von Regenwasser. Dazu zählen etwa Entsiegelungsmaßnahmen, die Schaffung von Rückhaltebecken, die Anlage von Schotterrasen als wasserdurchlässige Befestigungsflächen sowie die Schaffung und Erhaltung von „grüner Infrastruktur“ (ein geplantes Netzwerk natürlicher und naturnaher Grünflächen) und die Förderung des „Schwammstadt-Prinzips“ [25] in Städten, um das Abwassersystem zu entlasten.
- Die **Bauvorsorge** umfasst eine angepasste Bauweise und bauliche Schutzvorkehrungen zur Verringerung möglicher Schäden durch Oberflächenwasser, eindringendes Grundwasser oder Kanalisationswasser. Maßnahmen der Bauvorsorge beinhalten schadensmindernde und vorbeugende Maßnahmen wie feste und mobile Schutzeinrichtungen, Rückstauklappen, Schwellen und Aufkantungen, Dachbegrünung, die Errichtung von Entwässerungsanlagen und die Verwendung wasserbeständiger Baustoffe. [26,27]
- Unter **Risikovorsorge** versteht man die Vorsorge für den Notfall, also einerseits die finanzielle Vorsorge mittels Versicherungsschutzes und andererseits die Vorsorge durch zielgerichtete Einsatz- und Katastrophenpläne.
- Die **Verhaltensvorsorge** beinhaltet die grundsätzliche und rechtzeitige Information und Vorbereitung sowohl durch kurzfristige Informationen wie z. B. Unwetterwarnungen als auch längerfristige Maßnahmen wie Informationen über Gefährdungslage eines Grundstücks, Gefahrenzonenpläne, Dokumentation vergangener Ereignisse, Informationen über Möglichkeiten zur Vorsorge und Bauberatung. [28]



Um die Vorsorge von österreichischen Gemeinden zu stärken, wurde die **Web-Plattform [Vorsorgecheck Naturgefahren im Klimawandel](#)** [29] durch das Umweltbundesamt im Auftrag des Bundesministeriums für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (BMLRT) ins Leben gerufen. Gleichzeitig bietet das Umweltbundesamt in Zusammenarbeit mit den Klimaschutz-Koordinationsstellen der Bundesländer auch eine **Beratung für Gemeinden** zur Anpassung an den Klimawandel. [30] Gemeinden in KLAR! Regionen können für die Durchführung des Vorsorgechecks eine Förderung beim Klima und Energiefonds beantragen.

## WEITERFÜHRENDE INFORMATIONEN

- Der **Leitfaden: Eigenvorsorge bei Oberflächenabfluss**, herausgegeben vom Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (BMLRT), hilft dabei, zunächst die Gefahrenlage für das eigene Haus oder Grundstück zu bewerten und gibt darauf aufbauend Hinweise auf mögliche Schwachstellen am Gebäude oder Grundstück und auf Vorsorgemaßnahmen, die bei der Planung, beim Neubau aber auch zur Anpassung an bestehenden Gebäuden getroffen werden können. <https://info.bmlrt.gv.at/themen/wasser/schutz-vor-hochwasser/richtlinien-leitfaeden/leitfaden-eigenvorsorge-bei-oberflaechenabfluss.html>
- Der **Vorsorgecheck Naturgefahren im Klimawandel** bietet Gemeinden die Möglichkeit, gemeinsam mit relevanten Gemeindeakteur\_innen Maßnahmen zur Eigenvorsorge in der Gemeinde zu reflektieren. <https://www.naturgefahrenimklimawandel.at>, [https://www.naturgefahren.at/projekte/vorsorgecheck\\_naturgefahren.html](https://www.naturgefahren.at/projekte/vorsorgecheck_naturgefahren.html)
- Das **Handbuch „Die unterschätzten Risiken „Starkregen“ und „Sturzfluten“** ist ein Leitfaden für Bürger\_innen und Gemeinden, in dem anhand vieler Beispiele aus betroffenen Gemeinden die verschiedenen Schutzmaßnahmen und ihre Einsatzmöglichkeiten dargestellt werden. [https://www.flussgebiete.nrw.de/system/files/atoms/files/bbk\\_starkregen.pdf](https://www.flussgebiete.nrw.de/system/files/atoms/files/bbk_starkregen.pdf)
- **Die Good-Practice-Broschüre:** Unsere Gemeinden im Klimawandel, herausgegeben vom Umweltbundesamt, zeigt zahlreiche, erfolgsversprechende Anpassungsbeispiele aus ganz Österreich auf. [https://www.bmk.gv.at/themen/klima\\_umwelt/klimaschutz/anpassungsstrategie/publikationen/good\\_practice\\_broschuere.html](https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/klimaschutz/anpassungsstrategie/publikationen/good_practice_broschuere.html)
- **HORA** bietet Naturgefahrenkarten für ganz Österreich, die der Erstinformation über mögliche Gefährdungen durch verschiedene Naturgefahren wie Hochwasser, Erdbeben, Sturm, Hagel und Schnee dienen. Weiters sind auch aktuelle Wetterwarnungen für Hochwasser, Hagel und Starkregenereignisse, Erdbeben usw. abrufbar. <https://www.hora.gv.at>
- Das **Faktenblatt Starkregen**, herausgegeben vom Amt der Steiermärkischen Landesregierung, beinhaltet Maßnahmen und Empfehlungen für Vorsorgemaßnahmen. [https://www.technik.steiermark.at/cms/dokumente/12532986\\_133000927/375fd2bd/Factsheet%20Starkregenereignisse.pdf](https://www.technik.steiermark.at/cms/dokumente/12532986_133000927/375fd2bd/Factsheet%20Starkregenereignisse.pdf)
- Das **Forschungsprojekt RAINMAN** bietet Informationen und Werkzeuge zur Eigenvorsorge und Risikomanagement bei Starkregen für Bürger\_innen und Gemeinden. U. a. wurde im Projekt auch ein interaktives Modell zur Visualisierung von Verlauf und Folgen von möglichen Hochwasserszenarien durch Starkregen für die Stadt Graz entwickelt. <https://www.interreg-central.eu/Content.Node/RAINMAN.html>
- Im **Projekt Regen//Sicher** wurde untersucht, welche Aktivierungsformate besonders geeignet sind, um die Eigenvorsorge von Bürger\_innen für Starkregenereignisse in Deutschland zu stärken. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/erprobungevaluierung-von-kommunikationsformaten>

- Das **Forschungsprojekt SEVERE** (StartClim2017) untersuchte die Bedeutung von kleinräumigen Starkniederschlägen als Auslöser von Naturgefahren. [https://startclim.at/fileadmin/user\\_upload/StartClim2017/StCl2017B\\_lang.pdf](https://startclim.at/fileadmin/user_upload/StartClim2017/StCl2017B_lang.pdf)
- Das **Projekt SAFFER-CC** untersuchte die Auswirkung des Klimawandels auf Sturzflutereignisse. <https://www.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/16/B464786-ACRP7-SAFFER-CC-KR14AC7K11882-EB.pdf>
- Im **Projekt CHIANTI** werden die Ansätze globaler und regionaler Klimamodelle kombiniert, um Änderungen in extremen Sommerniederschlägen simulieren zu können. <https://www.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/16/C061002-ACRP12-CHIANTI-KR19AC0K17553.pdf>
- Im **Projekt ARISE: Globale Probleme – Lokale Risiken**, wurde ein Leitfaden für Gemeinden entwickelt, um die regionalen Auswirkungen des Klimawandels strukturiert zu erfassen und Risiken frühzeitig entgegenzuwirken. <https://www.alp-s.at/projekte/detail/project/arise-adaptation-and-decision-support-via-risk-management-through-local-burning-embers>
- Das **Forschungsprojekt EXTEND** macht sichtbar welche AkteurInnen aus den Bereichen Verwaltung, Versicherung, Infrastrukturunternehmen, Forschung oder Blaulichtorganisationen in Österreich Daten sammeln, beispielsweise nach einem Hochwasser. [https://startclim.at/fileadmin/user\\_upload/StartClim2017/StCl2017C\\_lang.pdf](https://startclim.at/fileadmin/user_upload/StartClim2017/StCl2017C_lang.pdf)
- Das **Forschungsprojekt GOAL** entwickelte Handlungsempfehlungen, um die Thematisierung und Umsetzung von Klimawandelanpassung in kleineren österreichischen Gemeinden zu unterstützen. <https://www.klimawandelanpassung.at/goal>
- Das **Projekt CC-ACT** unterstützt Gemeinden und Regionen mittels Online-Website, Trainingskonzepten und Infomaterialien bei der Anpassung. [www.cact.anpassung.at](http://www.cact.anpassung.at)
- Das **Land Steiermark** hat ein neues Beratungsservice für Gemeinden rund um die Themen Klima und Energie eingerichtet. <https://www.gemeindeservice-stmk.at>
- Das **Land Tirol** stellt den Gemeinden eine Gemeindemappe zu Klimaschutz und Anpassung zur Verfügung, die zum Einlesen in das Thema dient und Klimawandel-Anpassungs-Lösungen aufzeigt. [www.klimaschutz-tirol.at//images/doku/gemeindemappe.pdf](http://www.klimaschutz-tirol.at//images/doku/gemeindemappe.pdf)

## 4 Zusammenschau

**Der diesjährige Klimastatusbericht fokussiert auf die Auswirkungen von lokalen, heftigen Gewittern und erklärt, wie diese im Zusammenhang mit dem anthropogenen Klimawandel einzuordnen sind.** Dieser Fokus gründet sich vor allem auf das große Schadensausmaß, das diese kleinräumigen, intensiven Unwetter im Jahr 2021 mit sich brachten und der breiten Betroffenheit in der österreichischen Bevölkerung.

Das Jahr 2021 war insgesamt in Österreich mit einem Plus von 1,2 °C im Vergleich zum Bezugszeitraum 1961–1990 deutlich wärmer als im langjährigen Mittel. Besonders der Juni sticht heraus. Mit einer Abweichung von +4,2 °C war er der drittwärmste der Messgeschichte. Trotz regional intensiver Gewitter weist das Jahr 2021 österreichweit ein leichtes Niederschlagsdefizit auf. Mit 1000 mm Niederschlag im Bundesmittel fiel um 6 % weniger Niederschlag als im Durchschnitt. Den ungewöhnlich trockenen Monaten Februar, März, April, Juni und September standen ein außergewöhnlich regenreicher Juli sowie ein niederschlagsreicher Januar und August gegenüber.

Wirft man einen Blick auf die meteorologischen Extremereignisse im Jahr 2021, so sticht zunächst der Kälteeinbruch nach Ostern hervor, der zu Frostschäden im Obstbau führte und etwa in Vorarlberg 80 % der Apfelblüte schädigte. Mit besonders großen Schäden waren jedoch vor allem die heftigen Starkregenereignisse und Gewitter mit Hagel in den Sommermonaten verbunden. Nach einer ungewöhnlich langen Hitzewelle im Juni traten am 24. des Monats Gewitter in Ober- und Niederösterreich auf, die durch die Ausdehnung und Intensität der Hagelschläge zumindest in den letzten Jahrzehnten beispiellos waren. Im Bezirk Hollabrunn kam es zu extrem großem Hagel mit Korngrößen von bis zu 12 cm Durchmesser. An manchen Orten zogen gleich mehrere Hagelzüge hintereinander durch. Mitte Juli gelangte dann das Tief „Bernd“ nach Österreich, das zuvor in Westdeutschland, Belgien und den Niederlanden das schlimmste Hochwasser seit Menschengedenken ausgelöst hatte. Es führte in Österreich an der Alpennordseite zu heftigen Starkniederschlägen, die oft mehrere Stunden die gleichen Gebiete betrafen.

So wurden von Wien bis Oberösterreich und von der Obersteiermark bis in den Bregenzerwald hohe Niederschlagssummen innerhalb kurzer Zeit verzeichnet, wie sie örtlich seltener als einmal in 100 Jahren zu erwarten sind. Flüsse wie die Enns, Salzach und der Inn führten Hochwasser, Bäche traten über die Ufer. In Hallein wurde beispielsweise der Stadtkern geflutet. Am 30. Juli sorgten heftige Gewitter im Raum Graz mit Rekordniederschlägen zu Sturzfluten, die das städtische Kanalnetz überlasteten und Straßen, Keller, Gebäude und Gärten unter Wasser setzten. Auch im August setzten sich die Unwetter fort.

Die finanziellen Schäden dieser Unwetter liegen in Millionenhöhe. Bei der Österreichischen Hagelversicherung wurden 2021 durch Hagel und Sturm allein in der Landwirtschaft in Summe Schäden von 110 Millionen Euro eingemeldet, davon 28 Millionen Euro allein am 24. Juni. Aber auch Privatpersonen erlitten enorme finanzielle Einbußen. In Niederösterreich etwa wurden beim Katastrophenfonds durch nur zwei Unwetter im Juni und Juli 27,7 Millionen Euro an Schäden eingemeldet.

Die veränderten Bedingungen aufgrund des Klimawandels lassen die Intensität für solche Ereignisse in Österreich steigen. Extreme Starkniederschläge werden pro Grad Erwärmung um rund 10 % intensiver werden. Erste Untersuchungen zur Wahrscheinlichkeit derartiger Ereignisse lassen zudem befürchten, dass auch die Häufigkeit dieser Ereignisse weiter zunehmen wird.

Einer entsprechenden Vorsorge und Vorwarnsystemen kommt daher eine entscheidende Rolle zu. Das Warnwesen wurde in den vergangenen Jahren u. a. durch eine stetige Steigerung der Rechenleistung von Computern, methodische Verbesserungen, eine feinere Auflösung der Wettervorhersagen und Echtzeit-Informationsaustausch mit Einsatzkräften immer weiter verbessert. Gleichzeitig gilt es, neben Maßnahmen zur Anpassung auch solche zum Klimaschutz zu setzen. Denn je höher die Temperatur ansteigt, umso stärker wird die Zunahme an schweren, schadensverursachenden Gewittern während des 21. Jahrhunderts und darüber hinaus in Österreich ausfallen.

## Glossar und Referenzen

### Wetter – Witterung – Klima

Das Wetter ist der physikalische Zustand der Atmosphäre zu *einem bestimmten Zeitpunkt* an einem bestimmten Ort oder in einem Gebiet, wie er durch das Zusammenwirken der meteorologischen Elemente (Luftdruck, Luftfeuchtigkeit, Lufttemperatur, Bewölkung, Niederschlag, Wind usw.) gekennzeichnet ist.

Als Witterung wird der allgemeine Charakter des Wetterablaufs *von einigen Tagen bis zu ganzen Jahreszeiten*, der durch die jeweils vorherrschende Wetterlage bestimmt ist, bezeichnet (z. B. Altweibersommer).

Das Klima wird als der mittlere Zustand der Atmosphäre definiert. Es wird durch statistische Eigenschaften (Mittelwerte, Streuungsmaße, Extremwerte, Häufigkeiten usw.) über einen ausreichend langen Zeitraum, üblicherweise *mindestens 30 Jahre*, dargestellt.

### Klimanormalperiode (Bezugszeitraum)

Um das Klima international standardisiert vergleichen zu können, werden von der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) nicht-überlappende 30-jährige Zeiträume (z. B. 1961–1990, 1991–2020) vorgegeben. Sie werden fachsprachlich Klimanormalperioden genannt. In dieser Berichtsreihe wird, sofern nicht anders angegeben, die Klimanormalperiode 1961–1990 herangezogen und meist der verständlichere Begriff Bezugszeitraum verwendet.

Der Vergleich mit dem Bezugszeitraum 1961–1990 ermöglicht die Einordnung gegenüber einem vorwiegend natürlichen Klimazustand vor dem vollen Einsetzen des menschlich verstärkten Treibhauseffekts in den 1980er-Jahren. Der Bezugszeitraum 1991–2020 entspricht der Erinnerung der meisten Menschen besser und ist für die Aktualisierung technischer Normen relevant.

### Klimaindizes

**Sommertage:** Jährliche Anzahl an Tagen, an denen das Maximum der Lufttemperatur 25 °C erreicht oder überschreitet.

**Hitzetage:** Teilmenge der Sommertage, an denen das Maximum der Lufttemperatur 30 °C erreicht oder überschreitet.

**Tropennächte:** Jährliche Anzahl an Tagen, an denen das Minimum der Lufttemperatur 20 °C nicht unterschreitet.

**Hitzeperiode:** Jährliche Anzahl an Tagen, die innerhalb einer Hitzeperiode liegen. Nach der Definition des tschechischen Meteorologen Jan Kyselý liegt eine Hitzeperiode vor, sobald das Maximum der Lufttemperatur an mindestens drei aufeinanderfolgenden Tagen 30 °C überschreitet, und dauert an, solange das Tagesmaximum der Lufttemperatur gemittelt über die gesamte Periode über 30 °C bleibt und an keinem Tag 25 °C unterschreitet.

**Kühlgradtagzahl:** Jährliche Summe der täglichen Temperaturdifferenzen zwischen der mittleren Lufttemperatur und der Normraumlufttemperatur von 20 °C, an Tagen mit einer mittleren Lufttemperatur von mehr als 20 °C.

**Vegetationsperiode:** Die Dauer der Vegetationsperiode entspricht der jährlichen Anzahl der Tage zwischen Beginn und Ende der Vegetationsperiode. Ausgangspunkt ist die Bestimmung von Vegetationstagen mit einer mittleren Lufttemperatur von mindestens 5 °C. Die längste durchgehende Folge an Vegetationstagen ist die Kernperiode, davor und danach können unterbrochene Teilperioden auftreten. Der Beginn der Vegetationsperiode wird vom ersten Tag der Kernperiode auf den ersten Tag einer Teilperiode vorverlegt, falls diese Teilperiode mehr Tage als die Summe aller Nicht-Vegetationstage vor der Kernperiode beinhaltet. Das Ende der Vegetationsperiode wird mit umgekehrten Kriterien bestimmt.

**Frosttage:** Jährliche Anzahl an Tagen, an denen das Minimum der Lufttemperatur 0 °C unterschreitet.

**Heizgradtagzahl:** Jährliche Summe der täglichen Temperaturdifferenzen zwischen der Normraumlufitemperatur von 20 °C und der mittleren Lufttemperatur, an Tagen mit einer mittleren Lufttemperatur von weniger als 12 °C.

**Normaußentemperatur:** Tiefster Zwei-Tages-Mittelwert der Lufttemperatur, der zehn Mal in 20 Jahren erreicht oder unterschritten wird. Aufgrund dieser 20-jährlichen Indexdefinition gilt z. B. der Jahreswert 2021 für den Zeitraum 2002–2021. Als Klimareferenzwert wird statt einem Mittelwert des Zeitraumes 1961–1990 der Jahreswert 1980 (1961–1980) herangezogen.

**Niederschlagstage:** Jährliche Anzahl an Tagen, an denen die Niederschlagssumme mindestens 1 mm beträgt.

**Starkniederschlagstage:** Teilmenge der Niederschlagstage, an denen die Niederschlagssumme mindestens 20 mm beträgt.

**Niederschlagsintensität:** Jährliche durchschnittliche Niederschlagssumme an Niederschlagstagen.

**Maximum der Fünf-Tages-Niederschlagssumme:** Jährliches Maximum der Gesamtniederschlagssumme von fünf aufeinanderfolgenden Tagen.

**Trockenepisoden:** Dauer der längsten jährlichen Folge an Tagen, an denen die Niederschlagssumme weniger als 1 mm beträgt.

## Verwendete Daten

Die Auswertungen in dieser Berichtsreihe beruhen großteils auf Messdaten aus dem Klimastationsnetz der ZAMG. Der *gemessene* Niederschlag ist gegenüber dem angenommenen *tatsächlichen* Niederschlag erfahrungsgemäß meist systematisch herabgesetzt. Diese Diskrepanz ist bei starkem Wind und Schneefall besonders hoch. Aufgrund großer Unsicherheiten bei der Korrektur kann diese Art des Messfehlers nicht verlässlich berücksichtigt werden. Um eine hohe Datenqualität zu gewährleisten, werden alle Messdaten qualitätsgeprüft und nach Möglichkeit homogenisiert. Daher kann es auch nachträglich zu geringfügigen Wertänderungen kommen. Aus den Stationsdaten wurden die Datensätze SPARTACUS und HISTALP entwickelt.

Der Datensatz SPARTACUS besteht aus räumlichen Gitterfeldern über Österreich in Tagesauflösung ab 1961. Er ermöglicht die Beurteilung der räumlichen Verteilung von Klimaparametern und die flächengetreue Auswertung der Klimaentwicklung.

[www.zamg.ac.at/cms/de/forschung/klima/klimatografien/spartacus](http://www.zamg.ac.at/cms/de/forschung/klima/klimatografien/spartacus)

Hiebl J., Frei C. (2016): Daily temperature grids for Austria since 1961—concept, creation and applicability. *Theoretical and Applied Climatology* 124, 161–178, doi:10.1007/s00704-015-1411-4

Hiebl J., Frei C. (2018): Daily precipitation grids for Austria since 1961—development and evaluation of a spatial dataset for hydro-climatic monitoring and modelling. *Theoretical and Applied Climatology* 132, 327–345, doi:10.1007/s00704-017-2093-x

Der Datensatz HISTALP enthält punktbezogene Stationsreihen verteilt über den gesamten Alpenraum in Monatsauflösung. Die Daten wurden zusätzlich homogenisiert und erlauben die verlässliche langfristige Einordnung des Klimas, je nach Parameter teilweise bis ins 18. Jahrhundert zurück.

[www.zamg.ac.at/histalp](http://www.zamg.ac.at/histalp)

Auer I. et al. (2007): HISTALP—historical instrumental climatological surface time series of the greater Alpine region 1760–2003. *International Journal of Climatology* 27, 17–46, doi:10.1002/joc.1377

Der Datensatz VIOLA ist das digitale Unwetterarchiv und reicht bis ins Jahr 1961 zurück.

[www.zamg.ac.at/cms/de/forschung/klima/datensatze/viola](http://www.zamg.ac.at/cms/de/forschung/klima/datensatze/viola)

Zwischen den Datensätzen herrscht eine hohe Übereinstimmung. In den Abschnitten *Das Jahr im Überblick*, *Monatswerte*, *Witterungsverlauf*, *Räumliche Verteilung* und *Klimaindizes* wird SPARTACUS, im Abschnitt *Langfristige Einordnung HISTALP* und im Abschnitt *Bedeutende Wetterereignisse VIOLA* verwendet.

Weitere Informationen zum Thema kleinräumige heftige Gewitter und Klimawandel finden Sie auch bei folgenden übergeordneten Organisationen:

**WMO** – World Meteorological Organization

<https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate>

**Copernicus** – das Erdbeobachtungsprogramm der Europäischen Union

<https://www.copernicus.eu/de/dienste/klimawandel>

**ESSL** – European Severe Storms Laboratory

<https://www.essl.org/cms>

**DWD** – Deutscher Wetterdienst

[https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/deutsches\\_klimaportal.html](https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/deutsches_klimaportal.html)

**ZAMG** –Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

<https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klimaforschung>

## Referenzen

- [1] Morice C. P. et al. (2021): An updated assessment of near-surface temperature change from 1850: the HadCRUT5 data set. *Journal of Geophysical Research* 126, e2019JD032361, doi:10.1029/2019JD032361
- [2] von Schuckmann K. et al. (2020): Heat stored in the Earth system: where does the energy go? *Earth System Science Data* 12, 2013–2041, doi:10.5194/essd-12-2013-2020
- [3] Wild M. (2009): Global dimming and brightening: A review. *Journal of Geophysical Research* 114, D00D16, doi:10.1029/2008JD011470
- [4] Scherrer S.C., Begert M. (2019): Effects of large-scale atmospheric flow and sunshine duration on the evolution of minimum and maximum temperature in Switzerland. *Theoretical and Applied Climatology* 138, 227–235, doi:10.1007/s00704-019-02823-x
- [5] Lenderink, G., & Van Meijgaard, E. (2008): Increase in hourly precipitation extremes beyond expectations from temperature changes. *Nature Geoscience*, 1(8), 511-514.
- [6] Formayer, H., & Fritz, A. (2017): Temperature dependency of hourly precipitation intensities – surface versus cloud layer temperature. *International Journal of Climatology*, 37(1), 1-10. doi:10.1002/joc.4678
- [7] Taszarek, M., et al. (2019): A climatology of thunderstorms across Europe from a synthesis of multiple data sources. *Journal of Climate*, 32(6), 1813-1837. doi:10.1175/JCLI-D-18-0372.1
- [8] Yaqub, A. (2017): Precipitation and weather patterns in Austria under climate change conditions. In *Niederschlag und Wetterlagen in Österreich unter Klimawandelbedingungen* (pp. 109 Seiten, Diagramme, Karten): Wien
- [9] Jacob, D., et al. (2014): EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, 14(2), 563-578. doi:10.1007/s10113-013-0499-2
- [10] Achleitner, S., et al. (2019): SAFFER-CC, Sensitivity assessment of critical condition for local flash floods, Austrian Climate Research Programme – 7th Call (B464786); Publizierbarer Endbericht
- [11] Pistotnik, G., et al. (2016): Validation of Convective Parameters in MPI-ESM Decadal Hindcasts (1971–2012) against ERA-Interim Reanalyses. *Meteorol. Z.*, 25 (6), 59-70, doi:10.1127/metz/2016/0649
- [12] Rädler, A.T., et al.(2018): Detecting severe weather trends using an Additive Regressive Convective Hazard Model (ARCHaMo). *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 57, 569-587, doi:10.1175/JAMC-D-17-0132.1

- [13] Pistotnik, G., Hofstätter, M., Lexer, A. (2020): Starkregen und Hagel. In: T. Glade, M. Mergili, K. Sattler (Hrsg.), Extrema 2019. Aktueller Wissensstand zu Extremereignissen alpiner Naturgefahren in Österreich. Vienna University Press, S. 141-172 <https://www.vandenhoeck-ruprecht-verlage.com/themen-entdecken/sozialrechts-und-wirtschaftswissenschaften/naturlandschaft/55101/extrema-2019?c=1824>
- [14] Schneiderbauer S., et al. (2018): Über das Erwartete hinaus: Umgang mit dem Überlastfall und dem Restrisiko im Zusammenhang mit Naturgefahren im Alpenraum. Schlussbericht, Bozen
- [15] <https://service.salzburg.gv.at/lkorj/detail?nachrid=66145>, zuletzt aufgerufen am 7.3.2022
- [16] [https://www.bmk.gv.at/themen/klima\\_umwelt/klimaschutz/anpassungsstrategie/publikationen/oe\\_strategie.html](https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/klimaschutz/anpassungsstrategie/publikationen/oe_strategie.html), zuletzt aufgerufen am 7.3.2022
- [17] Pistotnik, G., et al. (2016): Validation of Convective Parameters in MPI-ESM Decadal Hindcasts (1971–2012) against ERA-Interim Reanalyses. Meteorol. Z., 25 (6), 59-70, doi:10.1127/metz/2016/0649
- [18] <https://anpassungsnetzwerk.at/>, zuletzt aufgerufen am 7.3.2022
- [19] Schlögl M., et al. (2021): Trends in torrential flooding in the Austrian Alps: A combination of climate change, exposure dynamics, and mitigation measures, erschienen in „Climate Risk Management“, <https://doi.org/10.1016/j.crm.2021.100294>
- [20] Schneiderbauer S., et al. (2018): Über das Erwartete hinaus: Umgang mit dem Überlastfall und dem Restrisiko im Zusammenhang mit Naturgefahren im Alpenraum. Schlussbericht, Bozen
- [21] Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe BKK (2015): Die unterschätzten Risiken Starkregen und Sturzfluten, Bonn [https://www.flussgebiete.nrw.de/system/files/atoms/files/bbk\\_starkregen.pdf](https://www.flussgebiete.nrw.de/system/files/atoms/files/bbk_starkregen.pdf)
- [22] Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus BMLRT (2019): Eigenvorsorge bei Oberflächenabfluss. Ein Leitfaden für Planung, Neubau und Anpassung, Wien <https://info.bmlrt.gv.at/themen/wasser/schutz-vor-hochwasser/richtlinien-leitfaeden/leitfaden-eigenvorsorge-bei-oberflaechenabfluss.html>
- [23] Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (2021): Zweiter Fortschrittsbericht zur österreichischen Strategie zur Anpassung an den Klimawandel, Wien
- [24] Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe BKK (2015): Die unterschätzten Risiken Starkregen und Sturzfluten, Bonn [https://www.flussgebiete.nrw.de/system/files/atoms/files/bbk\\_starkregen.pdf](https://www.flussgebiete.nrw.de/system/files/atoms/files/bbk_starkregen.pdf)
- [25] <https://www.wien.gv.at/umwelt/coolswien/schwammstadt.html#:~:text=Wiener%20Wasser,%22Schwammstadt%22%20macht%20B%C3%A4ume%20f%C3%BCr%20den%20Klimawandel%20fit,Parkpl%C3%A4tzen%20und%20Gehwegen%20mehr%20Raum>, zuletzt aufgerufen am 7.3.2022
- [26] [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-05-29\\_texte\\_55-2019\\_starkregen-stadtentwicklung.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-05-29_texte_55-2019_starkregen-stadtentwicklung.pdf), zuletzt aufgerufen am 7.3.2022
- [27] Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Projekt LIFE LOCAL ADAPT (2018): Faktenblatt Starkregen. Maßnahmen und Empfehlungen bei Starkregen, Graz
- [28] Regionalmanagement Steirischer Zentralraum (2021): Klimawandelanpassung im Steirischen Zentralraum, Graz
- [29] <https://www.naturgefahrenimklimawandel.at/>, zuletzt aufgerufen am 7.3.2022
- [30] <https://www.klimawandelanpassung.at/anpassungspraxis/kwa-sektoren/kwa-kwa-beraterinnen>, zuletzt aufgerufen am 7.3.2022