



**University of
Zurich**^{UZH}

**Zurich Open Repository and
Archive**

University of Zurich
University Library
Strickhofstrasse 39
CH-8057 Zurich
www.zora.uzh.ch

Year: 2022

Übersterblichkeit während extremer Hitzewellen in der Schweiz

Vicedo-Cabrera, Ana ; Staub, Kaspar ; Kestenholz, Christoph

DOI: <https://doi.org/10.4480/GB2022.G98.01>

Posted at the Zurich Open Repository and Archive, University of Zurich

ZORA URL: <https://doi.org/10.5167/uzh-218725>

Book Section

Published Version



The following work is licensed under a Creative Commons: Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0) License.

Originally published at:

Vicedo-Cabrera, Ana; Staub, Kaspar; Kestenholz, Christoph (2022). Übersterblichkeit während extremer Hitzewellen in der Schweiz. In: Brönnimann, Stefan; Imfeld, Noemi; Stucki, Peter. Hitze- und Trockensommer in der Schweiz : Ursachen und Folgen der Jahrhundertssummer 1947, 2003 und 2018. Bern: Geographica Bernensia, 22-24.

DOI: <https://doi.org/10.4480/GB2022.G98.01>

Übersterblichkeit während extremer Hitzewellen in der Schweiz

Hitze spielt eine wichtige Rolle in Bezug auf die Mortalität und Morbidität in der Schweiz: Das Sterberisiko stieg während Hitzeperioden in den wichtigsten Schweizer Städten um 16 Prozent¹³⁴ und die Zahl der Spitalaufenthalte aufgrund von psychischen Störungen nahm während Hitzewellen zu. Über die gesundheitlichen Auswirkungen historischer Hitzeereignisse vor 2003, wie etwa der Hitzewelle von 1947, ist jedoch wenig bekannt. In diesem Beitrag schätzen wir die Übersterblichkeit für acht Schweizer Städte und bewerten die gesundheitlichen Auswirkungen auf die Schweizer Bevölkerung während der jüngsten Hitzewellen (2003, 2015, 2018) im Vergleich zur historischen Hitzewelle von 1947.

Seit in den letzten Jahrzehnten aussergewöhnlich warme Sommer häufiger wurden, rückten auch die Auswirkungen von Hitze auf die Gesundheit ins öffentliche Bewusstsein. Neben der rekordbrechenden europäischen Hitzewelle von 2003 gelten vier der sechs Sommer zwischen 2015 und 2021 in der Schweiz als die wärmsten Sommer seit Beginn der Aufzeichnungen im Jahr 1864 (siehe Seite 9). Die damit verbundenen Hitzewellen führten zu einer beträchtlichen Anzahl Todesfälle. Während der beiden Hitzesommer 2003 und 2015 wurden in der Schweiz zusätzliche 6,9 bzw. 5,4 Prozent Todesfälle registriert, und die Spitaleinweisungen stiegen im Sommer 2015 um 2,4 Prozent.^{135–137}

Die Hitzewellen betrafen Bevölkerungsgruppen mit unterschiedlichen demografischen Merkmalen und sozialen Kontexten: Welche Rolle spielen mögliche Anpassungsmechanismen und Akklimatisierung, welche die Veränderungen in der demografischen Exposition und im Klima? Um Antworten dazu zu finden, quantifizieren wir die Gesamt-Übersterblichkeit während der Hitzewelle von 1947 und vergleichen sie mit der Übersterblichkeit während der Hitzewellen in den Jahren 2003, 2015 und 2018 in acht grösseren Schweizer Städten (Basel, Bern, Genf, Lausanne, Luzern, St. Gallen, Winterthur und Zürich).

Quantifizierung der Übersterblichkeit

Die Schätzung der Übersterblichkeit ist ein etablierter Ansatz zur Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen externer Faktoren, wie beispielsweise saisonaler Infektionskrankheiten (z. B. Influenza, Covid-19) oder Umweltstressfaktoren wie Hitze oder Hitzewellen. Die Übersterblichkeit bezeichnet dabei die Anzahl oder den Prozentsatz der beobachteten Todesfälle, die oberhalb der Sterblichkeitslast liegen, die wir in einem bestimmten Zeitraum aufgrund früherer Trends erwarten würden. Diese erwartete Sterblichkeit wird anhand statistischer Modelle berechnet, die auf saisonalen und langfristigen Mustern vergangener Beobachtungen basieren.

Die Daten für unsere Abschätzungen zur Gesamtmortalität für den Zeitraum zwischen 1999 und 2018 stammen vom Bundesamt für Statistik (BFS). Todesfälle von Ausländerinnen und Ausländern sowie Todesfälle ausserhalb der Schweiz sind dabei nicht berücksichtigt. Für den Zeitraum zwischen 1941 und 1960 verwenden wir transkribierte historische Aufzeichnungen zur Gesamtmortalität auf Wochenebene aus dem «Bulletin des Eidgenössischen Gesundheitsamtes».¹³⁸ Diese enthalten keine Totgeburten, gelten aber sowohl für die Wohnbevölkerung als auch für die nicht ansässige Bevölkerung. Die Qualität dieser historischen Statistiken wird in der Literatur als sehr hoch eingeschätzt.¹³⁹

Die wöchentliche Übersterblichkeit wird dann als Differenz zwischen der beobachteten und der erwarteten Sterblichkeit für jedes Ereignis (Sommerperiode von Mai bis September) und für jede Stadt berechnet. Die erwartete Zahl der Todesfälle in jeder Woche wird mithilfe von Regressionsmodellen geschätzt, die an die beobachteten Sterblichkeitsdaten in jeder Stadt und für die zwei Zeiträume 1941–1960 und 1999–2018 angepasst werden. Damit sollen Verzerrungen durch die Verwendung zweier unterschiedlicher Datenquellen vermieden werden. Obwohl sich die Daten auf dieselben Städte beziehen, wissen wir nicht, ob es systematische Unterschiede bei der Registrierung von Todesfällen gab.

Die Ergebnisse werden dann als prozentualer Anteil der Sterbefälle relativ zur Gesamtzahl der beobachteten Todesfälle in jeder Woche dargestellt. Dieses relative Mass der Auswirkungen ermöglicht einen besse-

ren Vergleich zwischen den Zeiträumen 1941–1960 und 1999–2018, den Hitzewellenepisoden und den Städten, da das Mass Unterschiede in der Grösse der Bevölkerung oder der Länge des Untersuchungszeitraums (d. h. Hitzewellendauer) nicht widerspiegelt. Wir fassen die wöchentliche Übersterblichkeit als Durchschnitt über den gesamten Sommerzeitraum (definiert als «Sommer-Übersterblichkeit») und über die Wochen der einzelnen Hitzewellen (definiert als «Hitzewellen-Übersterblichkeit») zusammen. Dabei betrachten wir eine gemeinsame Hitzewellenperiode für alle Städte auf der Grundlage der Episoden auf nationaler Ebene. Dies war der Fall in den Wochen vom 22. Juli bis 4. August und vom 12. bis 21. August 1947⁵, vom 1. bis 13. August 2003¹³⁴, vom 1. bis 7. Juli und vom 16. bis 24. Juli 2015⁷⁹ sowie vom 30. Juli bis 8. August 2018¹⁴⁰. Die so geschätzte Übersterblichkeit stellt jedoch nur ein indirektes Mass für die angenommene Hitzeexposition dar, da auch andere Ursachen zu einer erhöhten Übersterblichkeit führen können. Zudem enthalten die Schätzungen keine Unsicherheitsmasse.

Übersterblichkeit während der Hitzewelle im Vergleich

Tabelle 9.1 zeigt, dass die Hitzewellen im Sommer 1947 besonders die Bevölkerung in Luzern und Basel trafen. Dort betrug die Übersterblichkeit in den Wochen der Hitzewelle über 30 Prozent, gefolgt von Bern und St. Gallen mit Werten von 20 Prozent und mehr. Auch der sogenannte Hitzeschock war in diesen Gebieten sehr hoch: In Luzern zum Beispiel war die Übersterblichkeit während der Hitzewellenwochen etwa sechsmal höher als während des gesamten Sommers. Im Gegensatz dazu waren die Auswirkungen in Lausanne, Genf, Winterthur und Zürich (Abb. 9.2) weniger spürbar (Übersterblichkeit unter 10 Prozent).

	1947		2003		2015		2018	
	HW	Sommer	HW	Sommer	HW	Sommer	HW	Sommer
Basel	32,8	12,3	66,0	13,1	40,1	9,3	40,7	-0,5
Bern	23,2	4,8	7,4	1,5	34,8	2,5	31,3	12,1
Genève	5,7	6,2	42,1	11,8	12,6	3,9	13,3	0,3
Lausanne	7,0	-2,1	25,0	1,1	3,0	-6,1	10,6	9,2
Luzern	38,5	6,0	27,9	3,0	25,6	9,4	7,9	3,2
St. Gallen	19,7	-4,6	-7,7	-2,0	15,7	0,3	8,4	-3,6
Winterthur	8,2	1,8	21,4	14,5	-4,0	1,0	1,9	-9,4
Zürich	-4,9	-2,1	15,8	8,1	21,1	5,1	42,9	6,5

Tab. 9.1: Übersterblichkeit in den Sommern 1947, 2003, 2015 und 2018 für die acht verschiedenen Städte (in Prozent). Die Schätzungen werden als durchschnittliche Hitzewellen-Übersterblichkeit (HW) und als durchschnittliche Sommer-Übersterblichkeit (Sommer) angegeben.

Im Vergleich dazu waren die Auswirkungen der Hitzewelle 2003 in fast allen Städten deutlich grösser (Abb. 9.1), mit Übersterblichkeitswerten von bis zu 20 Prozent oder mehr in Lausanne, Luzern, Winterthur und Zürich und von 40 bis über 60 Prozent in Genf und Basel. Die Hitzewelle von 2015 führte zu einer insgesamt niedrigeren Übersterblichkeit im Vergleich zu 2003 und zu einer leicht höheren im Vergleich zu 1947. Für die Hitzewelle 2018 sind die Schätzungen der Übersterblichkeit in Basel, Bern und Genf ähnlich wie bei der Hitzewelle 2015. Nur in Zürich gab es in diesem Sommer mehr Todesfälle.

Insgesamt war die Bevölkerung der Stadt Basel bei allen untersuchten Hitzewellen am stärksten betroffen, während sich die Hitzewellen in den anderen Städten unterschiedlich auswirkten. Die Hitzewelle von

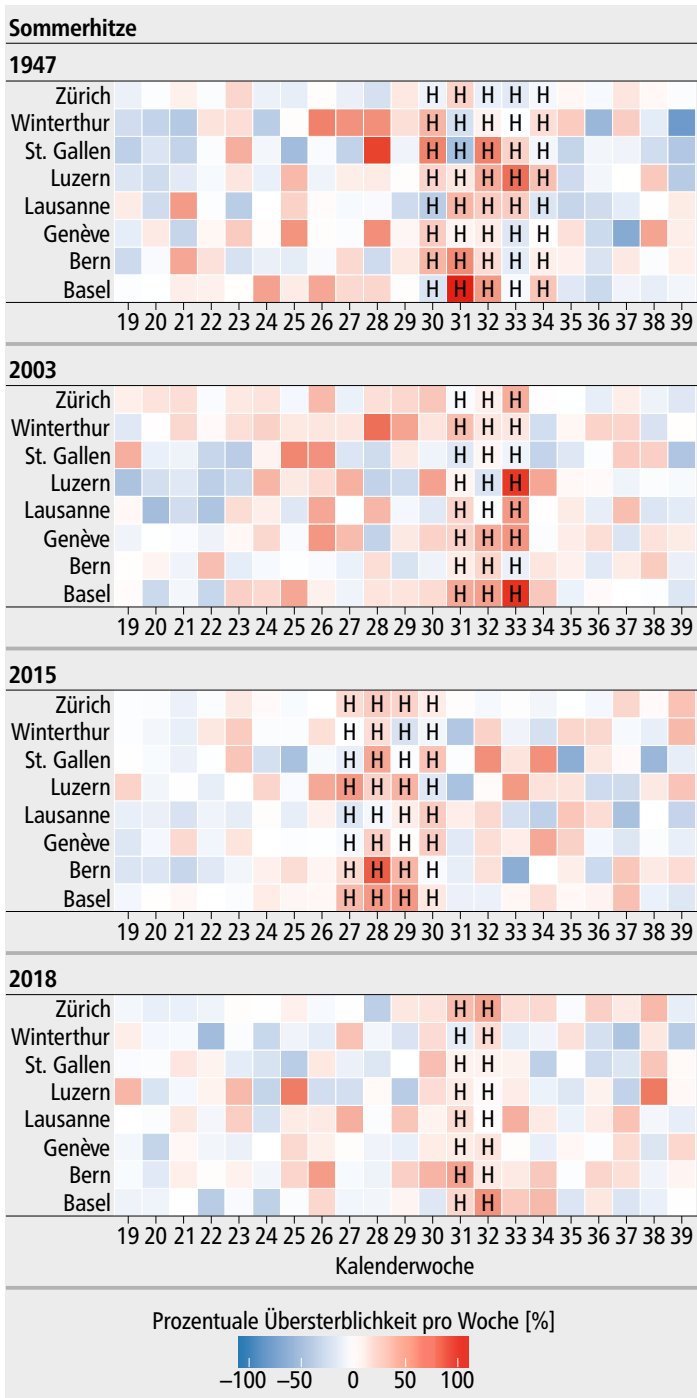


Abb. 9.1: Wöchentliche Übersterblichkeit (in Prozent) in den Städten Basel, Bern, Genf, Lausanne, Luzern, St. Gallen, Winterthur und Zürich in den Sommern (Mai–September) von 1947, 2003, 2015 und 2018. Der Grossbuchstabe H kennzeichnet die Wochen, in denen die Hitze-welle auftrat.

1947 beispielsweise traf die Stadt Luzern am stärksten, während für die jüngeren Hitzewellen deutlich geringere Werte geschätzt wurden. In Zürich nahm die Übersterblichkeit während Hitzewellen mit der Zeit zu. Umgekehrt war Genf während der Hitzewelle 2003 am stärksten betroffen, während der beiden späteren Hitzewellen jedoch deutlich weniger. Diese unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Muster könnten unter anderem auf zwei Faktoren zurückzuführen sein: Einerseits führen die komplexe Orographie und das heterogene Klima zu unterschiedlichen Ausprägungen der Höchsttemperaturen und Hitzewellenlängen in den verschiedenen Städten der Schweiz.^{79,134,140,141} Andererseits spielen die unterschiedlichen Bevölkerungsstrukturen in

den verschiedenen Städten und im Zeitverlauf eine Rolle. Dies beinhaltet sowohl demografische Strukturen wie sozioökonomische und kulturelle Merkmale, die bereits als Risikofaktoren für hitzebedingte Sterblichkeit identifiziert wurden.¹⁴²

Im Gegensatz zu den anderen Einschätzungen finden wir für 1947 keine klaren zeitlichen Muster, die auf eine mögliche Anpassung der Bevölkerung an die Hitze hindeuten.¹³⁸ Allerdings war die Übersterblichkeit während der Hitzewellen nach 2003 insgesamt etwas geringer, trotz der beschleunigten Erwärmung in den letzten Jahrzehnten. Dies gilt insbesondere für Genf und Lausanne. Nach 2003 wurde ein landesweiter Plan für die öffentliche Gesundheit umgesetzt und einige Kantone haben zusätzliche Massnahmen ergriffen, darunter Genf, Tessin, Waadt, Wallis und Freiburg.¹⁴¹ Das deutet darauf hin, dass die Umsetzung dieser zusätzlichen Massnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor Hitze (z. B. durch die Einführung von Warnmeldungen während Hitzewellen) die gesundheitlichen Auswirkungen der Ereignisse nach 2003 wirksam verringert hat.

Auch wird die Vergleichbarkeit der Schätzungen zwischen den Städten und vor allem zwischen den Hitzewellen der letzten Jahre und der von 1947 durch die unterschiedliche demografische Struktur der Bevölkerung beeinträchtigt. 1947 waren laut der Human Mortality Database 9 Prozent der Schweizer Bevölkerung 65-jährig oder älter, im Gegensatz zu 2003, als dieser Anteil 16 Prozent erreichte. Da ältere Menschen am stärksten durch Hitze gefährdet sind sowie angesichts der aktuellen Alterungstendenzen könnte die Belastung durch die jüngsten Hitzewellen vor allem auf den im Vergleich zu den 1940er Jahren hohen Anteil der älteren Bevölkerung zurückzuführen sein.

Solche Belastungen können in Zukunft noch zunehmen. Hitze gilt heute als eine der tödlichsten Umweltgefahren mit schwerwiegenden Auswirkungen auf die öffentliche Gesundheit und die Wirtschaft.^{143–145} Der Klimawandel verstärkt diese Auswirkungen durch die Zunahme der Häufigkeit und Stärke von Hitzeextremen. Es wird erwartet, dass die Auswirkungen auf die öffentliche Gesundheit mit fortschreitender Erwärmung exponentiell zunehmen. Dies erfordert wirksame Anpassungsmassnahmen^{146,147}, die 1947 natürlich nicht ohne Weiteres verfügbar waren.



Abb. 9.2: Badende suchen Abkühlung im Schwimmbad Dolder, Comet Photo AG, Zürich, 1947.

Referenzen

- 1 BAFU (Hrsg.). Hitze und Trockenheit im Sommer 2018. Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. *Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1909*, 96 (2019).
- 2 CH2018. *CH2018 – Climate Scenarios for Switzerland, Technical Report. National Centre for Climate Services, Zurich* (2018).
- 3 Vogel, M. M., Zscheischler, J., Wartenburger, R., Dee, D. & Seneviratne, S. I. Concurrent 2018 Hot Extremes Across Northern Hemisphere Due to Human-Induced Climate Change. *Earth's Future* **7**, 692–703 (2019).
- 4 BAFU (Hrsg.). Hitze und Trockenheit im Sommer 2015. Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. *Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1629* 108 (2016).
- 5 Grütter, J., Lehmann, S., Auchmann, R., Martius, O. & Brönnimann, S. The heatwaves in Switzerland in summer 1947. *Geogr. Bernensia* **G89** 69–80 (2013).
- 6 Hirschi, E., Auchmann, R., Martius, O. & Brönnimann, S. The 1945–1949 droughts in Switzerland. *Geogr. Bernensia* **G89**, 81–90 (2013).
- 7 Calanca, P. Climate change and drought occurrence in the Alpine region: How severe are becoming the extremes? *Glob. Planet. Change* **57**, 151–160 (2007).
- 8 Rathgeb, U., Bürgi, M. & Wohlgemuth, T. Waldschäden wegen Dürre von 1864 bis 2018 in der Schweiz und insbesondere im Kanton Zürich. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* **171**, 249–256 (2020).
- 9 Baumgartner, A. Niederschlagsschwankungen und Dürregefährdung mit Bezug auf den Waldbau. *Forstwissenschaftliches Cent.* **69**, 636–662 (1950).
- 10 Mercanton, P.-L. Les variations périodiques des glaciers des Alpes suisses. Soixante-huitième rapport – 1947. *Les Alpes* **24**, 8 (1948).
- 11 Dewitz, H. A. Versteppung bedroht unseren Kontinent. *Die Zeit* **Nr. 33** (1947).
- 12 Schweizer Filmwochenschau. Verfügbar unter: <https://memobase.ch/de/recordSet/bar-001>.
- 13 Die Forschungsarbeiten zu diesem Heft wurden durch den Schweizerischen Nationalfonds (Projekt WeaR, 188701) und die Europäische Kommission (ERC Grant PALAEO-RA, 787574) unterstützt.
- 14 Der Beitrag von Matthias Röthlisberger wurde durch den European Research Council (ERC) unter dem Horizon 2020 Programm finanziert, durch Grant Nummer 787652.
- 15 Kaspar Staub dankt der Stiftung für wissenschaftliche Forschung an der Universität Zürich (STWF-21-011) für die Finanzierung sowie Inga Birkhäuser und Julia Simola für die Hilfe bei der Transkription der historischen Daten.
- 16 MeteoSchweiz. MeteoSchweiz Blog vom 18. Januar 2021. (2021). Verfügbar unter: <https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/aktuell/meteoschweiz-blog/meteoschweiz-blog.subpage.html/de/data/blogs/2021/1/waermstes-jahrzehnt-sein-messbeginn.html>.
- 17 BAFU (Hrsg.). Klimawandel in der Schweiz. Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Massnahmen. *Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 2013*, 105 (2020).
- 18 Mörikofer, W. Die Trockenheit des Sommers 1947 in der Schweiz. *Prisma* **2 (7)**, 201–206 (1947).
- 19 MZA. Die Dürre des Sommers 1947. in *Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt 1947, 84. Jahrgang Zürich* (1948).
- 20 Begert, M. & Frei, C. Long-term area-mean temperature series for Switzerland – Combining homogenized station data and high resolution grid data. *Int. J. Climatol.* **38**, 2792–2807 (2018).
- 21 Bider, M. Die ungewöhnliche Wärmeperiode 1947 statistisch untersucht. *Experientia* **IV/4**, 14 (1948).
- 22 MeteoSchweiz. Hitze und Trockenheit im Sommerhalbjahr 2018 – eine klimatologische Übersicht. *Fachbericht MeteoSchweiz* **272**, 38 (2018).
- 23 Bader, S. Die extreme Sommerhitze im aussergewöhnlicher Witterungsjahr 2003. *Arbeitsbericht der MeteoSchweiz* **200**, 23 (2004).
- 24 BUWAL. Auswirkungen des Hitzesommers 2003 auf die Gewässer. *Schriftenreihe Umwelt Nr. 369* 174 (2004).
- 25 Pfister, C. & Rutishauser, M. Dürresommer im Schweizer Mittelland seit 1525. *Unterlagen zum OcCC/ProClim-Work.* **1525**, (2000).
- 26 Scherrer, S. C., Hirschi, M., Spirig, C., Maurer, F. & Kotlarski, S. Trends and drivers of recent summer drying in Switzerland. *Env. Res. Commun.*, 4 (2022).
- 27 MZA. Description synoptique de l'évolution du temps au cours des mois particulièrement secs de l'année 1947. in: *Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt 1947, 84. Jahrgang, Zürich* (1948).
- 28 Schorer, M. Extreme Trockensommer in der Schweiz und ihre Folgen für Natur und Wirtschaft. *Geographica Bernensia* **G40**, Bern (1992).
- 29 Isotta, F. A., Begert, M. & Frei, C. Long-Term Consistent Monthly Temperature and Precipitation Grid Data Sets for Switzerland Over the Past 150 Years. *J. Geophys. Res. Atmos.* **124**, 3783–3799 (2019).
- 30 Bieli, M., Pfahl, S. & Wernli, H. A lagrangian investigation of hot and cold temperature extremes in Europe. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* **141**, 98–108 (2015).
- 31 Zschenderlein, P., Fink, A. H., Pfahl, S. & Wernli, H. Processes determining heat waves across different European climates. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* **145**, 2973–2989 (2019).
- 32 Pfahl, S. & Wernli, H. Quantifying the relevance of atmospheric blocking for co-located temperature extremes in the Northern Hemisphere on (sub-)daily time scales. *Geophys. Res. Lett.* **39**, (2012).
- 33 Sousa, P. M., Trigo, R. M., Barriopedro, D., Soares, P. M. M. & Santos, J. A. European temperature responses to blocking and ridge regional patterns. *Clim. Dyn.* **50**, 457–477 (2018).
- 34 Röthlisberger, M. & Martius, O. Quantifying the Local Effect of Northern Hemisphere Atmospheric Blocks on the Persistence of Summer Hot and Dry Spells. *Geophys. Res. Lett.* **46**, 10101–10111 (2019).
- 35 Altenhoff, A. M., Martius, O., Croci-maspoli, M., Schwierz, C. & Davies, H. C. Linkage of atmospheric blocks and synoptic-scale Rossby waves: A climatological analysis. *Tellus, Ser. A Dyn. Meteorol. Oceanogr.* **60**, 1053–1063 (2008).
- 36 Woollings, T. *et al.* Blocking and its Response to Climate Change. *Curr. Clim. Chang. reports* **4**, 287–300 (2018).
- 37 Fink, A. H. *et al.* The 2003 European summer heatwaves and drought--synoptic diagnosis and impacts. *Weather* **59**, 209–216 (2004).
- 38 Black, E., Blackburn, M., Harrison, G., Hoskins, B. & Methven, J. Factors contributing to the summer 2003 European heatwave. *Weather* **59**, 217–223 (2004).
- 39 Spensberger, C. *et al.* Dynamics of concurrent and sequential Central European and Scandinavian heatwaves. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* **146**, 2998–3013 (2020).

- 40 Schneidereit, A. *et al.* Large-Scale Flow and the Long-Lasting Blocking High over Russia: Summer 2010. *Mon. Weather Rev.* **140**, 2967–2981 (2012).
- 41 Trenberth, K. E. & Fasullo, J. T. Climate extremes and climate change: The Russian heat wave and other climate extremes of 2010. *J. Geophys. Res. Atmos.* **117**, 17103 (2012).
- 42 Fragkoulidis, G., Wirth, V., Bossmann, P. & Fink, A. H. Linking Northern Hemisphere temperature extremes to Rossby wave packets. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* **144**, 553–566 (2018).
- 43 Shutts, G. J. The propagation of eddies in diffluent jetstreams: Eddy vorticity forcing of ‘blocking’ flow fields. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* **109**, 737–761 (1983).
- 44 Steinfeld, D. & Pfahl, S. The role of latent heating in atmospheric blocking dynamics: a global climatology. *Clim. Dyn.* **53**, 6159–6180 (2019).
- 45 Röthlisberger, M., Frossard, L., Bosart, L. F., Keyser, D. & Martius, O. Recurrent Synoptic-Scale Rossby Wave Patterns and Their Effect on the Persistence of Cold and Hot Spells. *J. Clim.* **32**, 3207–3226 (2019).
- 46 Hersbach, H. *et al.* The ERA5 global reanalysis. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* **146**, 1999–2049 (2020).
- 47 Sprenger, M. & Wernli, H. The LAGRANTO Lagrangian analysis tool – Version 2.0. *Geosci. Model Dev.* **8**, 2569–2586 (2015).
- 48 Scherrer, S. C., Croci-Maspoli, M., Schwierz, C. & Appenzeller, C. Two-dimensional indices of atmospheric blocking and their statistical relationship with winter climate patterns in the Euro-Atlantic region. *Int. J. Climatol.* **26**, 233–249 (2006).
- 49 Slivinski, L. C. *et al.* Towards a more reliable historical reanalysis: Improvements for version 3 of the Twentieth Century Reanalysis system. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* **145**, 2876–2908 (2019).
- 50 Hoskins, B. J. & Karoly, D. J. The Steady Linear Response of a Spherical Atmosphere to Thermal and Orographic Forcing. *J. Atmos. Sci.* **38**, 1179–1196 (1981).
- 51 Walter, K., Luksch, U. & Fraedrich, K. A Response Climatology of Idealized Midlatitude Thermal Forcing Experiments with and without a Storm Track. *J. Clim. Clim.* **14**, 467–484 (2001).
- 52 Cassou, C., Terray, L. & Phillips, A. S. Tropical Atlantic Influence on European Heat Waves. *J. Clim.* **18**, 2805–2811 (2005).
- 53 Duchez, A. *et al.* Drivers of exceptionally cold North Atlantic Ocean temperatures and their link to the 2015 European heat wave. *Environ. Res. Lett.* **11**, 074004 (2016).
- 54 Ghosh, R., Müller, W. A., Baehr, J. & Bader, J. Impact of observed North Atlantic multidecadal variations to European summer climate: a linear baroclinic response to surface heating. *Clim. Dyn.* **48**, 3547–3563 (2017).
- 55 Zhang, R., Sun, C., Zhu, J., Zhang, R. & Li, W. Increased European heat waves in recent decades in response to shrinking Arctic sea ice and Eurasian snow cover. *npj Clim. Atmos. Sci.* **2020** **31**, 3, 1–9 (2020).
- 56 Petoukhov, V., Rahmstorf, S., Petri, S. & Schellnhuber, H. J. Quasiresonant amplification of planetary waves and recent Northern Hemisphere weather extremes. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **110**, 5336–5341 (2013).
- 57 Kornhuber, K., Petoukhov, V., Petri, S., Rahmstorf, S. & Coumou, D. Evidence for wave resonance as a key mechanism for generating high-amplitude quasi-stationary waves in boreal summer. *Clim. Dyn.* **49**, 1961–1979 (2017).
- 58 Wirth, V. Waveguidability of idealized midlatitude jets and the limitations of ray tracing theory. *Weather Clim. Dyn.* **1**, 111–125 (2020).
- 59 Trenberth, K. E. & Shea, D. J. Atlantic hurricanes and natural variability in 2005. *Geophys. Res. Lett.* **33**, 12704 (2006).
- 60 Hadley Centre for Climate Prediction and Research. HadISST1.1 – Global Monthly Mean Gridded SSTs (1870–2015). *NCAS Br. Atmos. Data Cent.* (2007).
- 61 Mitchell, D. *et al.* Attributing human mortality during extreme heat waves to anthropogenic climate change. *Environ. Res. Lett.* **11**, 074006 (2016).
- 62 Bastos, A. *et al.* Impacts of extreme summers on European ecosystems: a comparative analysis of 2003, 2010 and 2018. *Philos. Trans. R. Soc. B* **375**, 20190507 (2020).
- 63 Beillouin, D., Schauburger, B., Bastos, A., Ciais, P. & Makowski, D. Impact of extreme weather conditions on European crop production in 2018. *Philos. Trans. R. Soc. B* **375**, (2020).
- 64 Meehl, G. A. & Tebaldi, C. More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science* **305**, 994–997 (2004).
- 65 Cattiaux, J. *et al.* Winter 2010 in Europe: A cold extreme in a warming climate. *Geophys. Res. Lett.* **37**, L20704 (2010).
- 66 Fischer, E. M., Seneviratne, S. I., Lüthi, D. & Schär, C. Contribution of land-atmosphere coupling to recent European summer heat waves. *Geophys. Res. Lett.* **34**, 1–6 (2007).
- 67 Seneviratne, S. I., Lüthi, D., Litschi, M. & Schär, C. Land-atmosphere coupling and climate change in Europe. *Nature* **443**, 205–209 (2006).
- 68 Koster, R. D. *et al.* Regions of Strong Coupling Between Soil Moisture and Precipitation. *Science (80-.)*. **305**, 1138–1140 (2004).
- 69 Seneviratne, S. I. *et al.* Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate: A review. *Earth-Science Rev.* **99**, 125–161 (2010).
- 70 Teuling, A. J. *et al.* A regional perspective on trends in continental evaporation. *Geophys. Res. Lett.* **36**, 2404 (2009).
- 71 Schwingshackl, C., Hirschi, M. & Seneviratne, S. I. Quantifying Spatiotemporal Variations of Soil Moisture Control on Surface Energy Balance and Near-Surface Air Temperature. *J. Clim.* **30**, 7105–7124 (2017).
- 72 Schär, C. *et al.* The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nat.* **2004** **4276972** **427**, 332–336 (2004).
- 73 Schär, C., Lüthi, D., Beyerle, U. & Heise, E. The soil-precipitation feedback: A process study with a regional climate model. *J. Clim.* **12**, 722–741 (1999).
- 74 Pal, J. S. & Eltahir, E. A. B. Pathways Relating Soil Moisture Conditions to Future Summer Rainfall within a Model of the Land-Atmosphere System. *J. Clim.* **14**, 1227–1242 (2001).
- 75 Koster, R. D., Suarez, M. J., Higgins, R. W. & Van den Dool, H. M. Observational evidence that soil moisture variations affect precipitation. *Geophys. Res. Lett.* **30**, (2003).
- 76 Guo, Z. *et al.* GLACE: The Global Land-Atmosphere Coupling Experiment. Part II: Analysis. (2006).
- 77 Findell, K. L., Gentine, P., Lintner, B. R. & Kerr, C. Probability of afternoon precipitation in eastern United States and Mexico enhanced by high evaporation. *Nat. Geosci.* **4**, 434–439 (2011).
- 78 Christidis, N., Jones, G. S. & Stott, P. A. Dramatically increasing chance of extremely hot summers since the 2003 European heatwave. *Nat. Clim. Chang.* **2014** **51** **5**, 46–50 (2014).

- 79 Russo, S., Sillmann, J. & Fischer, E. M. Top ten European heatwaves since 1950 and their occurrence in the coming decades. *Environ. Res. Lett.* **10**, 124003 (2015).
- 80 Santanello, J. A. *et al.* Land–Atmosphere Interactions: The LoCo Perspective. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **27**, 3713–3730 (2018).
- 81 López-Moreno, J. I. *et al.* Recent temperature variability and change in the Altiplano of Bolivia and Peru. *Int. J. Climatol.* **36**, 1773–1796 (2016).
- 82 Teuling, A. J. A hot future for European droughts. *Nat. Clim. Chang.* **2018** *8*, 364–365 (2018).
- 83 Vogel, M. M. *et al.* Regional amplification of projected changes in extreme temperatures strongly controlled by soil moisture-temperature feedbacks. *Geophys. Res. Lett.* **44**, 1511–1519 (2017).
- 84 Samaniego, L. *et al.* Anthropogenic warming exacerbates European soil moisture droughts. *Nat. Clim. Chang.* **2018** *8*, 421–426 (2018).
- 85 García-Herrera, R., Díaz, J., Trigo, R. M., Luterbacher, J. & Fischer, E. M. A Review of the European Summer Heat Wave of 2003. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* **40**, 267–306 (2010).
- 86 Ogi, M., Yamazaki, K. & Tachibana, Y. The summer northern annular mode and abnormal summer weather in 2003. *Geophys. Res. Lett.* **32**, 1–4 (2005).
- 87 Miralles, D. G., Teuling, A. J., Van Heerwaarden, C. C. & De Arellano, J. V. G. Mega-heatwave temperatures due to combined soil desiccation and atmospheric heat accumulation. *Nat. Geosci.* **2014** *7*, 345–349 (2014).
- 88 Toreti, A. *et al.* The Exceptional 2018 European Water Seesaw Calls for Action on Adaptation. *Earth's Futur.* **7**, 652–663 (2019).
- 89 Dirmeyer, P. A., Balsamo, G., Blyth, E. M., Morrison, R. & Cooper, H. M. Land–Atmosphere Interactions Exacerbated the Drought and Heatwave Over Northern Europe During Summer 2018. *AGU Adv.* **2**, e2020AV000283 (2021).
- 90 Seneviratne, S. I. *et al.* Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. in *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (eds. Masson-Delmotte, V. *et al.*) (Cambridge University Press, 2021).
- 91 Vogel, M. M., Zscheischler, J. & Seneviratne, S. I. Varying soil moisture-atmosphere feedbacks explain divergent temperature extremes and precipitation projections in central Europe. *Earth Syst. Dyn.* **9**, 1107–1125 (2018).
- 92 Pfister, C. *Wetternachhersage 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen (1496–1995)*. Haupt, Bern, Stuttgart, Wien, (1999).
- 93 Schorer, M. Klimaänderung Schweiz: Trockenheit in der Schweiz. in *Workshop Bericht* (ed. OcCC) 17 (OcCC, 2000).
- 94 Brugger, H. *Statistisches Handbuch der schweizerischen Landwirtschaft*. (Kommissionsverlag, Verbandsdruckerei AG, 1968).
- 95 SNB. 40. Geschäftsbericht der Schweizerischen Nationalbank. Bern, 67 (1947).
- 96 Erdin, D. *Das Trockenjahr 2018. AGRISTAT Aktuell* (2018).
- 97 Keller, F. & Fuhrer, J. Die Landwirtschaft und der Hitzesommer 2003. *Agrar. Schweiz* **11**, 403–410 (2004).
- 98 Fossati, D. & Brabant, C. Die Weizenzüchtung in der Schweiz. *Agrarforschung* **10**, 447–458 (2003).
- 99 SBV. *Statistische Erhebungen und Schätzungen auf dem Gebiete der Landwirtschaft*. (Schweizerisches Bauernsekretariat, 1948).
- 100 SBV. *Statistische Erhebungen und Schätzungen über Landwirtschaft und Ernährung (SES)*. SBV (Ed.) (2021).
- 101 Wir danken Christoph Frei von der MeteoSchweiz für die Bereitstellung konsistenter monatlicher Niederschlags- und Temperatur-Felder für die Jahre 1947, 2003 und 2018.
- 102 Schüepp, M., Schiesser, H. H., Huntrieser, H., Scherrer, H. U. & Schmidtke, H. The winterstorm “Vivian” of 27 February 1990: About the meteorological development, wind forces and damage situation in the forests of Switzerland. *Theor. Appl. Climatol.* **1994** *493* **49**, 183–200 (1994).
- 103 Usbeck, T. *et al.* Increasing storm damage to forests in Switzerland from 1858 to 2007. *Agric. For. Meteorol.* **150**, 47–55 (2010).
- 104 Müller, H. Forstliche Chronik 1947. *Schweiz. Z. Forstwes.* **99**, 438–443 (1948).
- 105 Heinis, F. Beobachtungen über den Einfluss der Trockenheit des Sommers 1947 auf die Vegetation im unteren Baselbiet. *Tätigkeitsber. Naturforsch. Ges. Basell.* **18**, 156–159 (1949).
- 106 Zoller, H. & Lüdi, W. Einige Beobachtungen über die Dürreschäden des Sommers 1947 in der Nordschweiz und am Schweizerischen Jura. *Ber. Geobot. Forschungsinst. Rübel* **73–85** (1949).
- 107 Schweizer Illustrierte. 27.08.1947
- 108 Keller, J. Erhebung über den Borkenkäferbefall im Jahre 1949. *Prakt. Forstwirt Schweiz* **1950**, 118–127 (1950).
- 109 Bütikofer, N. Historische Waldschäden in der Schweiz 1800–1960. (Historisches Institut der Universität Bern, 1987).
- 110 Brunner, I. Naturchronik für das Jahr 1947. *Jahresber. Naturforsch. Ges. Graubünden* **81**, 9–13 (1948).
- 111 Bavier, B. Der Waldbrand am Calanda im August/September 1943. *Schweizerische Zeitschrift für das Forstwes.* **95**, 291–298 (1944).
- 112 Gimmi, U., Bürgi, M. & Wohlgemuth, T. Wie oft brannte der Walliser Wald im 20. Jahrhundert? *Schweizerische Zeitschrift für Forstwes.* **155**, 437–440 (2004).
- 113 Wohlgemuth, T. *et al.* Früher Laubfall der Buche während der Sommertrockenheit 2018: Resistenz oder Schwächesymptom? *Schweizerische Zeitschrift für Forstwes.* **171**, 257–269 (2020).
- 114 Dubach, V. *et al.* Waldschutzüberblick 2020. *WSL Berichte* **107**, 1–58 (2021).
- 115 Jakoby, O., Lischke, H. & Wermelinger, B. Climate change alters elevational phenology patterns of the European spruce bark beetle (*Ips typographus*). *Glob. Chang. Biol.* **25**, 4048–4063 (2019).
- 116 Haag, E. Die Wiederherstellung der käfergeschädigten Waldungen der ersten Jurakette ob dem Bielersee. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwes.* **112**, 693–699 (1961).
- 117 Baltensweiler, A. *et al.* Räumliche Analyse von Trockenheitssymptomen im Schweizer Wald mit Sentinel-2-Satellitendaten. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwes.* **171**, 298–301 (2020).
- 118 Pfister, C., Bütikofer, N., Schuler, A. & Volz, R. Witterungsextreme und Waldschäden in der Schweiz. Eine historisch-kritische Untersuchung von Schadenmeldungen aus schweizerischen Wäldern in ihrer Beziehung zur Klimabelastung, insbesondere durch sommerliche Dürreperioden. (1988).
- 119 BAFU. Medienmitteilung: Winterstürme Anfang 2018: Rund 1.3 Mio m³ Holz liegen am Boden. 18.01.2018

- 120 Usbeck, T. Wintersturmschäden im Schweizer Wald von 1865 bis 2014. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwes.* **166**, 184–190 (2015).
- 121 Brändli, U. B., Abegg, M. & Allgaier Leuch, B. Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der vierten Erhebung 2009–2017. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Bundesamt für Umwelt BAFU, Birmensdorf, Bern (2020).
- 122 Bürgi, M. & Schuler, A. Driving forces of forest management – an analysis of regeneration practices in the forests of the Swiss Central Plateau during the 19th and 20th century. *For. Ecol. Manage.* **176**, 173–183 (2003).
- 123 Nagel, J.-L. Influences des éléments météorologiques sur l'accroissement des forêts. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwes.* **101**, 512–530 (1950).
- 124 WGMS. Global Glacier Change Bulletin No. 4 (2018–2019). (ISC(WDS)/IUGG(IACS)/UNEP/UNESCO/WMO, World Glacier Monitoring Service, Zürich, 2021).
- 125 Steiner, D. *et al.* Sensitivity of European glaciers to precipitation and temperature – two case studies. *Clim. Chang.* **90**, 413–441 (2008).
- 126 GLAMOS (1881–2021). The Swiss Glaciers 1880–2018/19, Glaciological Reports No 1–140. Yearbooks of the Cryospheric Commission of the Swiss Academy of Sciences (SCNAT), published since 1964 by VAW / ETH Zurich.
- 127 Zumbühl, H. J., Nussbaumer, S. U., Holzhauser, H. & Wolf, R. Die Grindelwaldgletscher – Kunst und Wissenschaft. (Bern: Haupt, 2016).
- 128 Haefeli, R. & Kasser, P. Beobachtungen im Firn- und Ablationsgebiet des grossen Aletschgletschers. *Schweizerische Bauzeitung* **66**, 489–494 (1948).
- 129 Huss, M. Extrapolating glacier mass balance to the mountain-range scale: the European Alps 1900–2100. *Cryosph.* **6**, 713–727 (2012).
- 130 Hoinkes, H. C. Glacier variation and weather. *J. Glaciol.* **7**, 3–19 (1968).
- 131 Brönnimann, S. *et al.* Last phase of the Little Ice Age forced by volcanic eruptions. *Nat. Geosci.* **12**, 650–656 (2019).
- 132 Huss, M. & Hock, R. Global-scale hydrological response to future glacier mass loss. *Nat. Clim. Chang.* **8**, 135–140 (2018).
- 133 Klebelsberg, R. Die Gletscher der österreichischen Alpen 1947–1949. Bericht über die Gletschermessungen des Österreichischen Alpenvereins. *Zeitschrift für Gletscherk. und Glazialgeol.* **1**, 203–219 (1950).
- 134 Ragettli, M. S., Vicedo-Cabrera, A. M., Schindler, C. & Rössli, M. Exploring the association between heat and mortality in Switzerland between 1995 and 2013. *Environ. Res.* **158**, 703–709 (2017).
- 135 Ragettli, M. S., Vicedo-Cabrera, A. M., Flückiger, B. & Rössli, M. Impact of the warm summer 2015 on emergency hospital admissions in Switzerland. *Environ. Health* **18**, (2019).
- 136 Vicedo-Cabrera, A. M., Ragettli, M. S., Schindler, C. & Rössli, M. Excess mortality during the warm summer of 2015 in Switzerland. *Swiss Med. Wkly.* **146**, w14379 (2016).
- 137 Grize, L., Huss, A., Thommen, O., Schindler, C. & Braun-Fahrlander, C. Heat wave 2003 and mortality in Switzerland. *Swiss Med. Wkly.* **135**, 200–205 (2005).
- 138 Vicedo-Cabrera, A. M. *et al.* A multi-country analysis on potential adaptive mechanisms to cold and heat in a changing climate. *Environ. Int.* **111**, 239–246 (2018).
- 139 Preston, S. H., Keyfitz, N. & Schoen, R. Causes of death: life tables for national population. (Seminar Press, 1972).
- 140 Kueh, M. T. & Lin, C. Y. The 2018 summer heatwaves over northwestern Europe and its extended-range prediction. *Sci. Reports 2020 101* **10**, 1–18 (2020).
- 141 Ragettli, M. S. & Rössli, M. Heat-health action plans to prevent heat-related deaths – experiences from Switzerland. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforsch. - Gesundheitsschutz* **62**, 605–611 (2019).
- 142 Sera, F. *et al.* How urban characteristics affect vulnerability to heat and cold: a multi-country analysis. *Int. J. Epidemiol.* **48**, 1101–1112 (2019).
- 143 Romanello, M. *et al.* The 2021 report of the Lancet Countdown on health and climate change: code red for a healthy future. *Lancet* **398**, 1619–1662 (2021).
- 144 Zhao, Q. *et al.* Global, regional, and national burden of mortality associated with non-optimal ambient temperatures from 2000 to 2019: a three-stage modelling study. *Lancet. Planet. Heal.* **5**, e415–e425 (2021).
- 145 Green, H. *et al.* Impact of heat on mortality and morbidity in low and middle income countries: A review of the epidemiological evidence and considerations for future research. *Environ. Res.* **171**, 80–91 (2019).
- 146 Vicedo-Cabrera, A. M. *et al.* The burden of heat-related mortality attributable to recent human-induced climate change. *Nat. Clim. Chang.* **11**, 492–500 (2021).
- 147 Gasparrini, A. *et al.* Projections of temperature-related excess mortality under climate change scenarios. *Lancet. Planet. Heal.* **1**, e360 (2017).
- 148 IPCC (2021) Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- 149 climateactiontracker.org. Verfügbar unter: <https://climateactiontracker.org/global/cat-thermometer>.
- 150 Giorgi, F. Thirty Years of Regional Climate Modeling: Where Are We and Where Are We Going next? *J. Geophys. Res. Atmos.* **124**, 5696–5723 (2019).
- 151 Kotlarski, S. *et al.* Regional climate modeling on European scales: A joint standard evaluation of the EURO-CORDEX RCM ensemble. *Geosci. Model Dev.* **7**, 1297–1333 (2014).
- 152 Jacob, D. *et al.* Regional climate downscaling over Europe: perspectives from the EURO-CORDEX community. *Reg. Environ. Chang.* **20**, 1–20 (2020).
- 153 Brogli, R., Kröner, N., Sørland, S. L., Lüthi, D. & Schär, C. The Role of Hadley Circulation and Lapse-Rate Changes for the Future European Summer Climate. *J. Clim.* **32**, 385–404 (2019).
- 154 Kröner, N. *et al.* Separating climate change signals into thermodynamic, lapse-rate and circulation effects: theory and application to the European summer climate. *Clim. Dyn.* **48**, 3425–3440 (2017).
- 155 Klimaszenarien Schweiz. Verfügbar unter: www.klimaszenarien.ch.
- 156 Schweizerische Eidgenossenschaft. Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz: Aktionsplan 2020–2025, Bern, 164 (2020).
- 157 Feigenwinter Iris *et al.* Exploring quantile mapping as a tool to produce user tailored climate scenarios for Switzerland – MeteoSchweiz. (2018).
- 158 Mastai, A. Storylines of future climate extremes in Switzerland. (Master's Thesis ETH Zurich/MeteoSwiss, 2022).

Bildnachweis

Umschlag (oben): Privates Archiv, Diakon Pascal Huguenin

Umschlag (unten): Keystone, Anthony Anex

Abb. 1.1: Keystone, Anthony Anex

Abb. 1.3: Schweizer Illustrierte, 27. August 1947, mit freundlicher Genehmigung des Ringier Axel Springer Verlags

Abb. 1.4: Privates Archiv, Diakon Pascal Huguenin

Abb. 7.1: Schweizer Illustrierte, 27. August 1947, mit freundlicher Genehmigung des Ringier Axel Springer Verlags

Abb. 7.2: Foto Ulrich Wasem

Abb. 7.3: Winterthurer Bibliotheken, Sammlung Winterthur

Abb. 8.4: Foto Paul-L Mercanton, Les variations périodiques des glaciers des Alpes suisses. Soixante-huitième rapport – 1947. *Les Alpes* 24, 8 (1948)

Abb. 9.2: ETH-Bibliothek Zürich, Bildarchiv / Fotograf: Comet Photo AG (Zürich) / Com_M01-0455-0006 / CC BY-SA 4.0

Abb. 10.6: Peeradontax/Shutterstock.com