



**u<sup>b</sup>**

**UNIVERSITÄT  
BERN**

**OESCHGER CENTRE  
CLIMATE CHANGE RESEARCH**

sc | nat 

Geosciences  
Platform of the Swiss Academy of Sciences  
Atmospheric Chemistry and Physics ACP



Funded by the  
Framework Programme  
of the European Union

## Dezember 1916: Weisser Tod im Ersten Weltkrieg

**Im Winter 1916/17 ereignete sich in den südöstlichen Alpen eine der folgenreichsten Wetterkatastrophen überhaupt. Auf ein massives Schneefallereignis folgten zahlreiche Lawinen, welche tausende von Soldaten und Zivilisten unter sich begruben. Eine anhand von Wettervorhersagemodellen erstellte, detaillierte Rekonstruktion des Ereignisses ermöglicht neue Einblicke und verdeutlicht das Potential, welches die Kombination von numerischen Techniken und historischen Dokumenten mit sich bringt. Extreme Wetterereignisse der Vergangenheit sowie in der Zukunft können damit besser verstanden werden.**

Vor einem Jahrhundert befand sich Europa inmitten des Ersten Weltkriegs. An der italienischen Front standen sich die österreichisch-ungarische und die italienische Armee auf einem der rauen Schlachtfelder der Geschichte, den Berggipfeln der südöstlichen Alpen, gegenüber (Box 1). Während eines Grossteils des Jahres ruhten die Gefechte allerdings weitgehend, denn es begann ein anderer Kampf – derjenige gegen Kälte, Eis und Schnee.<sup>1,2</sup> Mit einem durchschnittlichen Niederschlag von 2 m pro Jahr gehört diese Region der Alpen zu den feuchtesten Gebieten des Kontinents. Die Soldaten wurden damals buchstäblich unter Schnee begraben. Noch heute geben die schmelzenden Gletscher jährlich Leichen dieses katastrophalen Ereignisses frei, eine traurige Erinnerung an das absurde Gemetzel des Ersten Weltkriegs.

Das Schicksal meinte es nicht gut mit jenen Männern, denn der Winter 1916/17 wurde, wie schon von Zeitgenossen bemerkt,<sup>3,4</sup> zu einem der schneereichsten des Jahrhunderts (Abb. 1). Zwischen November 1916 und Januar 1917 verzeichnete ein Regenmesser, der sich heute auf der Grenze zwischen Italien und Slowenien befindet, 1432 mm Niederschlag, was rund 80 % der durchschnittlichen Jahresmenge entspricht. Zusätzlich fielen nach einem trockenen Februar nochmals 560 mm im März und April 1917.

Es war aber vor allem ein einzelner Tag, der tragischerweise in die Geschichtsbücher einging: der 13. Dezember 1916. Nach einer Woche reichlichen Schneefalls brachten an diesem Tag warme und feuchte Luftmassen aus dem Mittelmeerraum starken Niederschlag, was zu einem Anstieg der Schneegrenze führte. Diese Bedingungen lösten in der ganzen Region zahlreiche Lawinen aus (Box 2). Die



**Foto 1:** Schützengraben nahe Monte Scorzuzzo, Stiffler Joch.

**Autoren:** Yuri Brugnara<sup>a,b</sup>, Stefan Brönnimann<sup>a,b</sup>, Marcelo Zamuriano<sup>a,b</sup>, Jonas Schild<sup>b</sup>, Christian Rohr<sup>a,c</sup>, Daniel Marc Segesser<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Oeschger-Zentrum für Klimaforschung, Universität Bern, Bern, Schweiz

<sup>b</sup> Geographisches Institut, Universität Bern, Bern, Schweiz

<sup>c</sup> Historisches Institut, Universität Bern, Bern, Schweiz

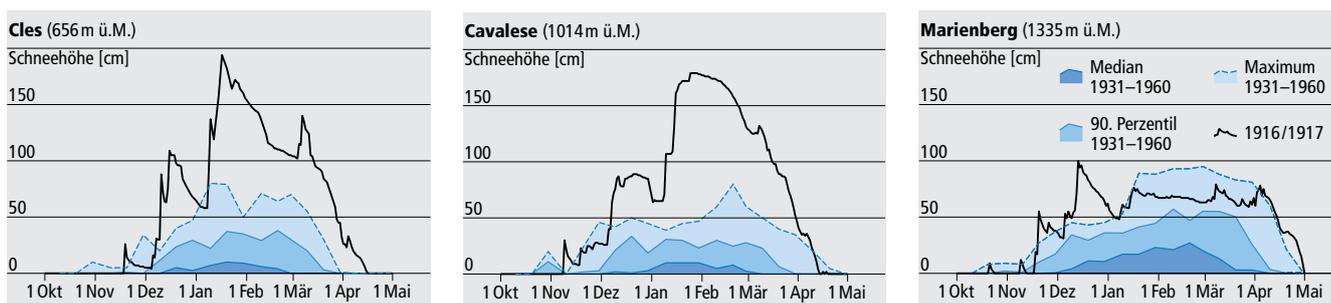
**Zitieren als:** Brugnara Y, Brönnimann S, Zamuriano M, Schild J, Rohr C, Segesser DM (2016) Dezember 1916: Weisser Tod im Ersten Weltkrieg. *Geographica Bernensia* G91. ISBN 978-3-905835-48-9, doi:10.4480/GB2016.G91.02

## Box 1: Die italienische Front

Am 23. Mai 1915 erklärte das italienische Königreich der österreichisch-ungarischen Monarchie den Krieg, fast ein Jahr nach Beginn des Ersten Weltkriegs. Die Grenze zwischen den beiden Ländern zog sich grösstenteils durch alpines Gelände, wo sich die österreichisch-ungarische Armee auf gut organisierte Verteidigungslinien zurückzog. Die räumliche Lage der Front veränderte sich anfangs kaum, bis dann im Oktober 1917 deutsche Truppen der österreichisch-ungarischen Armee zu einem Durchbruch der italienischen Linien verhalfen (bekannt als die «Schlacht von Caporetto»). Dieser Angriff zwang die Italiener zum Rückzug um mehr als 100 km zum Fluss Piave,

im Flachland des Veneto. Zwischen Stilfser Joch und Monte Grappa blieb die Front bis zum Ende des Krieges unverändert. Im Jahre 1918 zerbrach schliesslich die österreichisch-ungarische Monarchie und Italien stand auf der Seite der Sieger.

Die Bilanz der Todesopfer war erschreckend: in dreieinhalb Jahren wurden rund 650 000 italienische und 400 000 österreichisch-ungarische Soldaten getötet. In den hochgelegenen Abschnitten der Front (teils über 3 000 m ü. M.) fielen gleich viele Männer den Lawinen und der Unterkühlung zum Opfer, wie an feindlichen Schüssen starben.



**Abb. 1:** Entwicklung der täglich beobachteten Schneedecke während des Winters 1916/17 an drei Stationen in Südtirol im Vergleich zur jeweiligen Statistik der Periode 1931–1960.<sup>10</sup>

Opferzahl dieser Lawenniedergänge war beispiellos. Die genaue Zahl ist nicht eruierbar, aber die Schätzung von 10 000 Todesfällen, welche zuweilen genannt wird<sup>5</sup>, ist sicherlich zu hoch. Offizielle Zahlen aus Österreich geben für die Periode 5.–14. Dezember 1 300 Tote und 650 Verwundete an.<sup>6</sup> Die Zahl der Lawinentoten vom 12. und 13. Dezember wurde später auf 2 000 korrigiert.<sup>7</sup> Für Italien existieren keine Schätzungen,<sup>8</sup> aber zahlreiche einzelne Überlieferungen lassen auf eine ähnliche Zahl wie auf der österreichisch-ungarischen Seite schliessen. Nicht nur Soldaten, sondern auch dutzende Zivilisten wurden von den Lawinen getötet<sup>9</sup>, welche oft bis in die niedrig gelegenen und als sicher geltenden Siedlungen vordrangen. Aus unbekanntem Gründen wird der 13. Dezember 1916 im Internet sowie in Büchern<sup>5</sup> als der «Weisse Freitag» betitelt.

Da es sich bei dem Datum allerdings um einen Mittwoch<sup>4</sup> handelt, werden wir diesen irreführenden Ausdruck nicht weiterverwenden.

Da sich das Unglück inmitten einer weit grösseren Tragödie, dem Ersten Weltkrieg, zutrug, blieb sie zu jener Zeit so gut wie unbeachtet (Box 3). Nichtsdestotrotz handelt es sich gemessen an der Opferzahl um eine der schlimmsten wetterverursachten Katastrophen der europäischen Geschichte. Als «Worst Case», bei dem alles zusammen kam, hilft das Ereignis bei der Beurteilung gegenwärtiger und künftiger Extreme. Ein tragisches Ereignis wird so zu einem Lehrstück. Die Auswirkungen sind gut dokumentiert, aber können wir auch die atmosphärischen Vorgänge detailliert und quantitativ rekonstruieren?

## Rekonstruktion des vergangenen Wetters

Klimarekonstruktionen gehören schon lange zu den wichtigen Werkzeugen der Klimawissenschaft. Oft ist es aber nicht das Klima, sondern einzelne Wetterereignisse, welche die grössten Auswirkungen auf die Gesellschaft haben. Deshalb sind nicht nur Klimarekonstruktionen, sondern auch Wetterrekonstruktionen notwendig. Tatsächlich wurde das Wetter der Vergangenheit schon oft von Historikern sehr genau rekonstruiert, allerdings nur lokal und auf eine beschreibende Art und Weise. Immer mehr sind aber quantitative Datensätze gefragt, mit denen beispielsweise das Risiko in Computersimulationen berechnet werden kann. Über das Wetter vom Dezember 1916 waren bisher vor allem qualitative Beschreibungen aus Tagebüchern oder Memoiren vorhanden sowie Anekdoten, die von Generation zu Generation überliefert wurden. Dazu liegen einige Messungen von Stationen der nationalen Wetterdienste vor. Diese Stationen waren aber mehrheitlich in den Tälern in Siedlungsnähe positioniert und



**Foto 2:** Lawine in Vermiglio, Trentino (1916).

## Box 2: Lawinen an der Front

Ab Anfang November schneite es entlang der gesamten Frontlinie sehr viel.<sup>2,4</sup> Berichte von Zeitzeugen zeigen, dass die Schaufel fast überall entlang der gebirgigen Frontlinie zwischen dem Stilsfer Joch und dem Krn zum wichtigsten Instrument sowohl für die Soldaten als auch für Zivilisten wurde. Fast täglich gab es Lawinen, die immer wieder neue Opfer forderten. An der Frontlinie wurden Tunnel gegraben, um die vordersten Positionen zu erreichen.

Angesichts der Tatsache, dass Angriffe der Gegenseite unmöglich waren, verlangten Offiziere vor Ort oft, dass die Soldaten von Positionen abgezogen würden, die von Lawinen bedroht waren. In den meisten Fällen befahlen die in warmen Stuben im Tal sitzenden höheren Kommandeure, dass die Truppen in ihren Stellungen verblieben. Am frühen 13. Dezember und auch später an diesem Tag fielen etliche grosse Lawinen auf österreichische wie italienische Stellungen – meist dort, wo sie von denjenigen vor Ort erwartet worden waren. Das grösste Einzelereignis traf Männer am höchsten Berg der Dolomiten, der Marmolada (3343 m ü. M.), wo eine Lawine am Gran Poz (2242 m ü. M.) zwischen 270 und 332 Männer tötete, von welchen einige erst im Juli 1917 geborgen werden konnten. Der dort stationierte Josef Strohmeier kommentierte die Situation wie folgt: «Ständig rauschten die Lawinen hernieder, jeder Tag forderte neue Opfer unter den Kameraden» und nach der Warnung, dass die Lawine komme, «wir wollten rasch zur Türe hinaus, [aber in diesem Moment wurde] die Aussenwand durch Schnee und Eis eingedrückt. [...] Mein Schlafkamerad



**Foto 3:** 25. November 1916: Eine Feldmesse auf dem Gletscher von Marmolada zu Ehren des neuen Kaisers von Österreich, Karl I. Viele dieser Männer fielen 18 Tage später der Lawine von Gran Poz zum Opfer.

sagte: «Kruzifix iaz san mir hin».»<sup>2</sup> Diese Soldaten – und manche anderen auf beiden Seiten – wurden dennoch gerettet<sup>4,11</sup> und in Spitälern gebracht wie dasjenige in Cortina d'Ampezzo, wo der Arzt Nicola Ragucci diente. Er kommentierte: «Die Sturzflut aus Schnee [...] überrannte eine zweistöckige Baracke [...] mit einer Kompanie von 200 Männern. [...] Sie wurden alle von der Lawine begraben, etwa 40 starben leider.»<sup>12</sup>

## Box 3: Die Lawinenkatastrophe in den Zeitungen



Obwohl es sich bei den Lawinenabgängen des Dezembers 1916 um die schwersten seit Menschengedenken handelte, wurde diesen in der österreichischen Presse nur am Rande Aufmerksamkeit gewidmet. Eine Analyse von ausgewählten Tageszeitungen<sup>13</sup> – drei überregionalen Zeitungen aus der Habsburgermonarchie, «Arbeiter-Zeitung» (sozialdemokratisch), «Neue Freie Presse» (liberal) und «Reichspost» (konservativ), sowie von drei Tiroler Tageszeitungen, «Der Tiroler» (Bozen), «Innsbrucker Nachrichten» (Innsbruck) und «Tiroler Anzeiger» – macht die Gründe für diese geringe Beachtung deutlich. Zum einen dominierte die politische Berichterstattung über mögliche Friedensverhandlungen nach dem Tod Kaiser Franz Josephs I. am 21. November 1916, zum anderen unterlagen die Berichte über den italienischen Kriegsschauplatz einer offenbar sehr strengen Zensur: Während ausführlich über Kriegshandlungen im heutigen Rumänien berichtet wurde, findet sich zur Dolomitenfront fast täglich die gleichlautende lapidare Meldung, dass am italienischen Kriegsschauplatz «die Lage unverändert» sei. In den Tiroler Tageszeitungen wird auf Lawinentote im Frontverlauf nur bei prominenten Einzelfällen eingegangen, etwa beim Tiroler

Schriftsteller und Redakteur Josef Burger, der am 5. Dezember von einer Lawine in seiner Hochgebirgsstellung verschüttet und getötet worden war. Deutlich ergiebiger sind die Berichte in den Tiroler Tageszeitungen über Lawinenabgänge und die damit verbundenen Todesziffern und sonstigen Schäden im Hinterland, etwa im Südtiroler Vinschgau und im Passeiertal, aber auch in der Südostschweiz (Tiroler Anzeiger vom 15. Dezember 1916, S. 3). Eine umfassende Analyse dieser Nachrichten ist bislang noch nicht geschehen, wird es aber zukünftig ermöglichen, die Opferzahlen und die Verteilung der Lawineneignisse im Hinterland relativ genau zu rekonstruieren. Interessant sind auch einige detaillierte Schilderungen der Wetterlage: Über dem Golf von Genua brachte ein Zyklon zahlreiche Schiffe in Seenot, selbst im Hafen von Genua (Tiroler Anzeiger vom 15. Dezember 1916, S. 3). «Der Tiroler» schreibt am 15. Dezember 1916 zur Situation in Südtirol (S. 3):

«Die ältesten Leute, wie man so sagt, können sich nicht erinnern, jemals ein solches Wetter wie jetzt erlebt zu haben. Täglich schneit oder regnet es bei Südwind, was in den Höhen riesiges Anwachsen der Schneemenge zur Folge hat. In den Talniederungen ist der Schnee allerdings inzwischen wieder weggeschwemmt worden. Durch den schweren, klebrigen Schnee sind vielerorts die Telegraphenleitungen abgedrückt worden.»

Die Unterbrechung der Telegraphenverbindungen war wohl der Hauptgrund dafür, dass die Nachrichten über Lawinenabgänge in vielen Fällen erst mit ein bis zwei Wochen Abstand Eingang in die Zeitungen fanden.

## Box 4: Was ist eine Reanalyse?

Meteorologische Beobachtungen liefern Informationen über die reale Atmosphäre, sind aber zeitlich und räumlich unvollständig. Numerische Wettervorhersagemodelle sind physikalisch konsistent und bilden die vollständige Atmosphäre ab, können aber von der Realität abweichen. In einer Reanalyse werden die Vorteile beider vereint. Dies wird durch eine kontinuierliche Korrektur der Modellvorhersage in Richtung der Beobachtungen erreicht. Diese Korrektur wird nicht nur am Ort der Beobachtung vollzogen, sondern der Zustand des gesamten Modells wird konsistent korrigiert. Reanalysen sind daher physikalisch konsistent, räumlich vollständig und beinhalten auch Variablen (z. B. Strahlung), für welche keine Beobachtungen vorhanden sind. Es darf aber nicht vergessen werden, dass Reanalysen nicht Beobachtungen sind.

Im Falle von 1916 fließen nur Luftdruckbeobachtungen in die Korrektur des Modellzustandes ein. Das Modell wird also dazu gezwungen, realistische Wettersysteme (mit Windfeld, Temperatur, Feuchtetransport und vielem mehr) zu generieren, welche mit allen beobachteten raum-zeitlichen Luftdruckschwankungen konsistent sind.

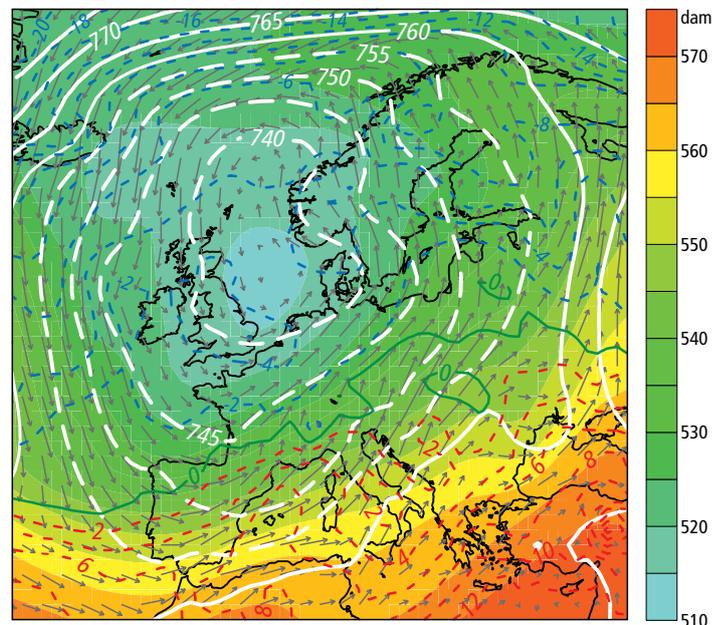
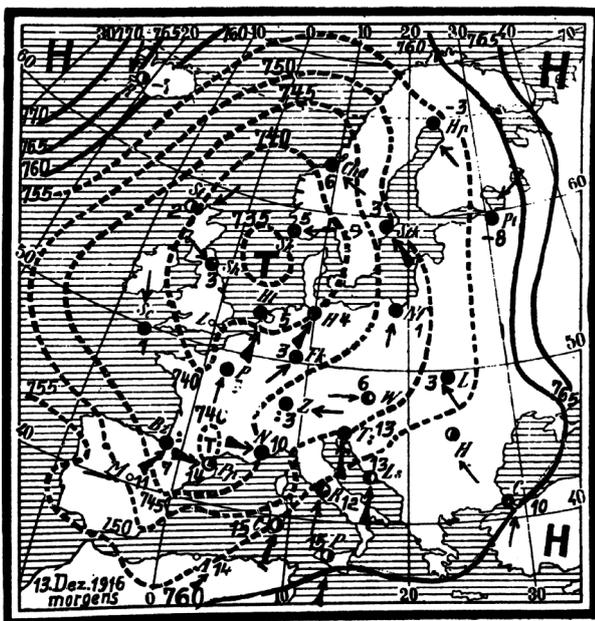
liefern somit nur wenig Information über die Bedingungen auf den Gipfeln und in den Berghängen, in welchen das Ereignis stattgefunden hat. Zusätzlich führte der Krieg vielerorts zu einem Unterbruch der Messungen und zum Verlust von Wetteraufzeichnungen, insbesondere bei Stationen nahe der Front.<sup>14</sup>

In den letzten Jahren wurden neue numerische Techniken entwickelt, die es ermöglichen, nicht nur das Klima, sondern auch das Wetter zu rekonstruieren. Sogenannte Reanalysen (Box 4), welche Wetterbeobachtungen und numerische Wettervorher-



**Foto 4:** Schweizerische Soldaten beim Skispringen oberhalb des Umbrailpasses, in der Nähe der ersten italienischen Linie und im Schussfeld der österreichischen und italienischen Artillerie.

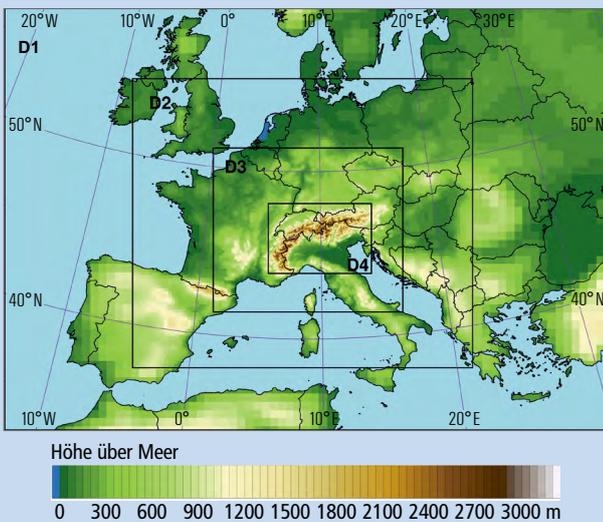
sagemodelle kombinieren, gehören in den Klimawissenschaften heute zu den Standarddatensätzen. Bis vor kurzem waren diese Daten aber auf die letzten 30–50 Jahre beschränkt, für welche genügend Wetterballondaten vorhanden waren. Neue Entwicklungen ermöglichen nun, bereits mit wenigen Beobachtungen das Wetter zu rekonstruieren. Luftdruckmessungen von ein paar dutzend Stationen genügen, um in sechsständlichen Zeitschritten ein dreidimensionales Bild der Atmosphäre zu konstruieren. Somit ist es möglich, die globalen Datensätze zurück bis zum Beginn der nationalen Messnetze im 19. Jahrhundert zu verlängern. Verschiedene globale Datenprodukte<sup>15,16</sup> reproduzieren heute die meteorologische Situation vom Dezember 1916 (Abb. 2). Allerdings ist deren Auflösung zu schlecht, um ein regionales Ereignis in der komplexen Topographie der Alpen zu analysieren. Eine Lösung für dieses Problem stellt das dynamische «Downscaling» (Box 5) dar. Auf dieselbe Weise werden in der



**Abb. 2:** (Links) Handgezeichnete Wetterkarte von Europa am Morgen des 13. Dezembers 1916<sup>17</sup>; die schwarzen Linien stellen den Luftdruck auf Meeressniveau (in mmHg) dar. Die Karte beruht auf über mehrere Stunden verteilte Beobachtungen. (Rechts) Wetterkarte für den 13. Dezember 1916 um 06:00 UTC von der Reanalyse ERA-20C; die weissen Linien stellen den Luftdruck auf Meeressniveau dar (in mmHg als Vergleich), die farbigen Linien (grün für Null, rot für positive Werte, blau für negative Werte) und Pfeile jeweils die Temperatur (°C) und den Wind auf dem isobarischen Höhenniveau von 850 hPa (die Pfeillänge ist proportional zur Windgeschwindigkeit). Die eingefärbten Flächen entsprechen der geopotentiellen Höhe auf 500 hPa (dam).

## Box 5: Dynamisches «Downscaling»

Reanalysen sind das Produkt atmosphärischer Modelle (sogenannter «General Circulation Models»), die den ganzen Globus abdecken. Deren räumliche Auflösung ist in der Regel eher grob, im Bereich von 100–200 km. Mit dieser Auflösung werden die Alpen zu einem Plateau von nur circa 1 km Höhe, wodurch viele rekonstruierte Variablen, wie zum Beispiel Niederschlag, an Aussagekraft verlieren. Um dieses Problem zu lösen, werden die Felder der Reanalyse in ein hochaufgelöstes Modell, welches nur eine kleine Region umfasst, eingespeist. Dieser Vorgang kann mehrere Male wiederholt werden, wobei die Auflösung mit jedem Durchlauf verbessert und das betrachtete Gebiet verkleinert wird. Um das Wetter vom Dezember 1916 zu rekonstruieren, haben wir eine vierfach verschachtelte Simulation des Modells WRF-ARW Version 3.7.1<sup>18</sup> (mit einer Auflösung von 54, 18, 6, und 2 km) verwendet.



Wettervorhersage aus globalen Prognosen genaue Vorhersagen auf regionaler Skala gemacht.

Diese neuen Techniken ersetzen die Arbeit der Historiker nicht, aber liefern eine wertvolle Ergänzung: Während die Reanalyse

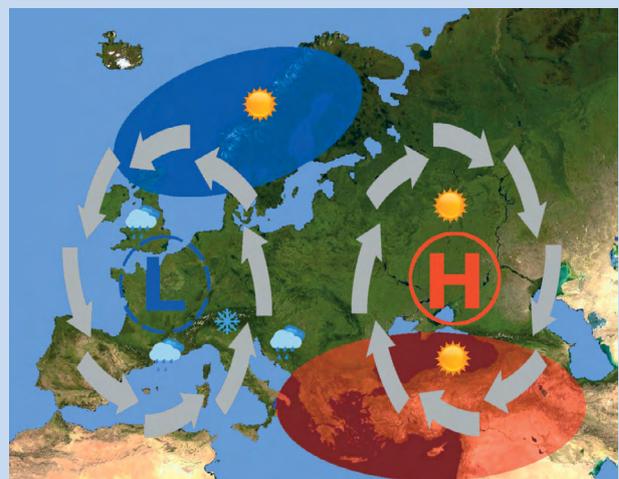
## Dezember 1916 neu aufgerollt

Zeitgenössische Meteorologen hatten schon damals die Wetersituation des 13. Dezembers 1916 analysiert. Ihre handgezeichneten Karten (Abb. 2, links) wurden in meteorologischen Zeitschriften und Jahrbüchern publiziert. Sie zeigen ein über Schottland und Dänemark liegendes Tiefdruckgebiet und ein zweites Tiefdrucksystem, das sich über Südfrankreich zu formen beginnt. Auf der rechten Seite von Abb. 2 wird die Situation anhand der Reanalyse ERA-20C dargestellt (eine 100 Jahre zurückreichende Reanalyse, die aus dem EU-finanzierten Projekt ERA-CLIM<sup>16</sup> hervorging).

Obwohl die meisten grossen Lawinen am 13. Dezember ausgelöst wurden, waren sie das Resultat von neun Tagen unablässigen Niederschlags.<sup>4</sup> Die Reanalyse hilft uns, die meteorologischen Faktoren, welche diese extreme Situation hervorrufen, zu verstehen. Die atmosphärische Zirkulation (Abb. 3) verharrte in einer

## Box 6: Das Ostatlantik/Westrusland-Muster

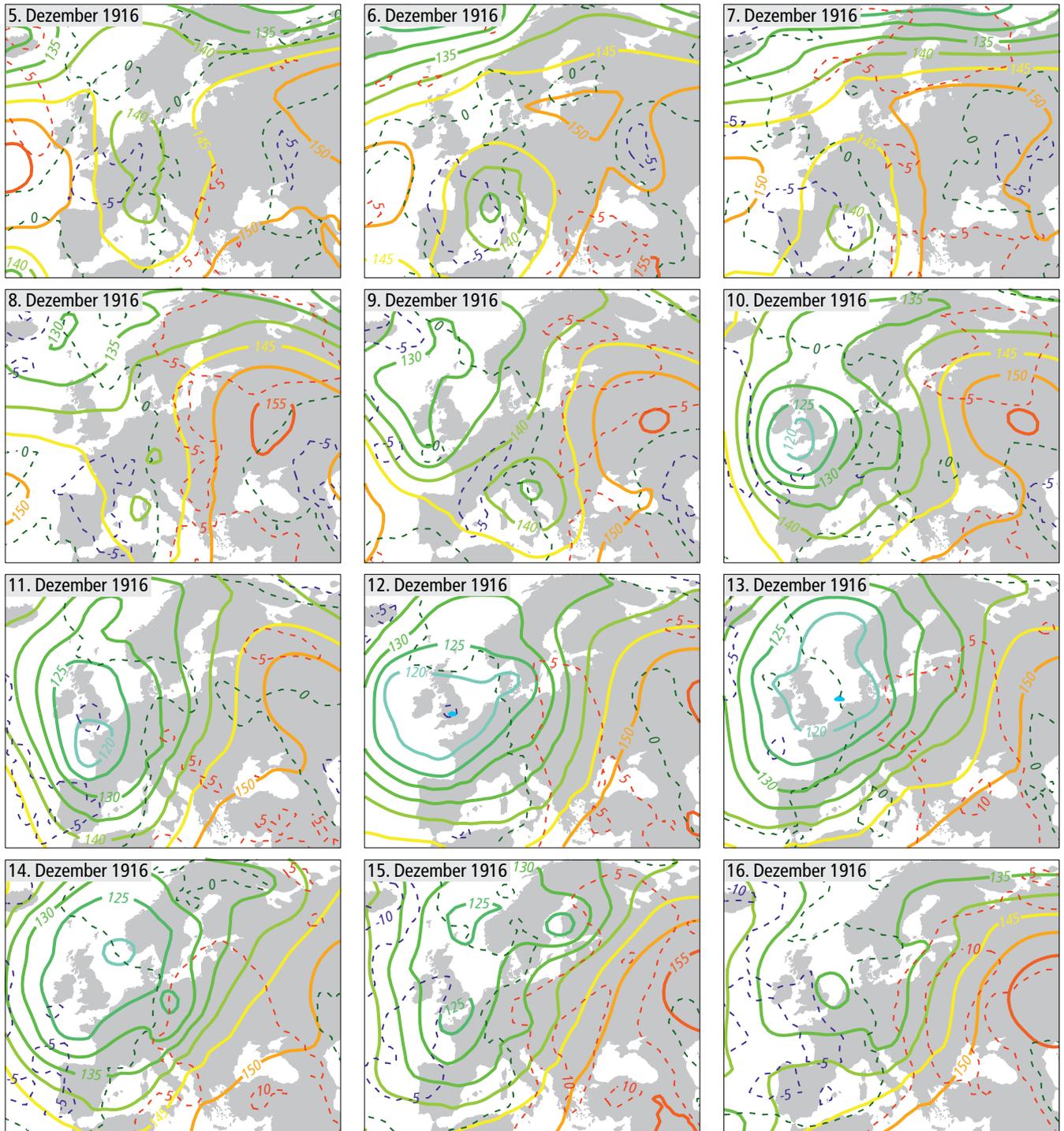
Gewisse atmosphärische Zirkulationsmuster treten öfter auf als andere und bleiben mehrere Tage oder sogar Wochen erhalten. Unter solchen Bedingungen ist die Wahrscheinlichkeit von Extremereignissen (wie Hitzewellen, Kältewellen oder Starkniederschlägen) grösser. Das Zirkulationsmuster, welches das grösste Potential für Starkniederschläge in den südlichen Alpen mit sich bringt, setzt sich aus einem Hochdruckrücken über Westrussland und einem Tiefdruckgebiet über Westeuropa zusammen (negatives Ostatlantik/Westrusland-Muster). So werden die warmen und feuchten Luftmassen aus dem westlichen mediterranen Raum gegen die Alpen gedrückt, angehoben und dadurch gekühlt, was schlussendlich zur Kondensation des Wasserdampfes und zu Niederschlag über dem südlichen Alpenhang führt.



die dynamische Interpretation des dokumentierten Ereignisses ermöglicht, beschreiben die historischen Dokumente die Auswirkungen des rekonstruierten Wettersystems. Dadurch entsteht eine neue Art der interdisziplinären Zusammenarbeit, wie am Beispiel vom Dezember 1916 gezeigt wird.

«blockierten» Situation, welche unter dem Namen «Ostatlantik/Westrusland-Muster» bekannt ist und eines der dominierenden Zirkulationsmuster über Europa darstellt<sup>19</sup> (Box 6). Diese Konstellation führt in den südlichen Alpen oft zu Starkniederschlägen<sup>20</sup> und ungewöhnlich hohen Temperaturen im östlichen Mittelmeerraum<sup>21</sup> (Temperaturreihen von Griechenland deuten darauf hin, dass der Dezember 1916 dort der wärmste der letzten 120 Jahre war<sup>22</sup>; vgl. Abb. 3). Eine weitere Konsequenz sind über dem Durchschnitt liegende Wassertemperaturen im Mittelmeer, die Hauptquelle von Wasserdampf für die südlichen Alpen, besonders bei Extremereignissen.<sup>23</sup>

Im «Downscaling» der ERA-20C-Reanalyse auf 2 km werden in den Julischen Alpen am 13. Dezember Werte von über 200 mm in 24 Stunden erreicht. Diese stimmen mit den monatlichen Maxima der täglichen Werte im Dezember 1916 überein (die Kalender-

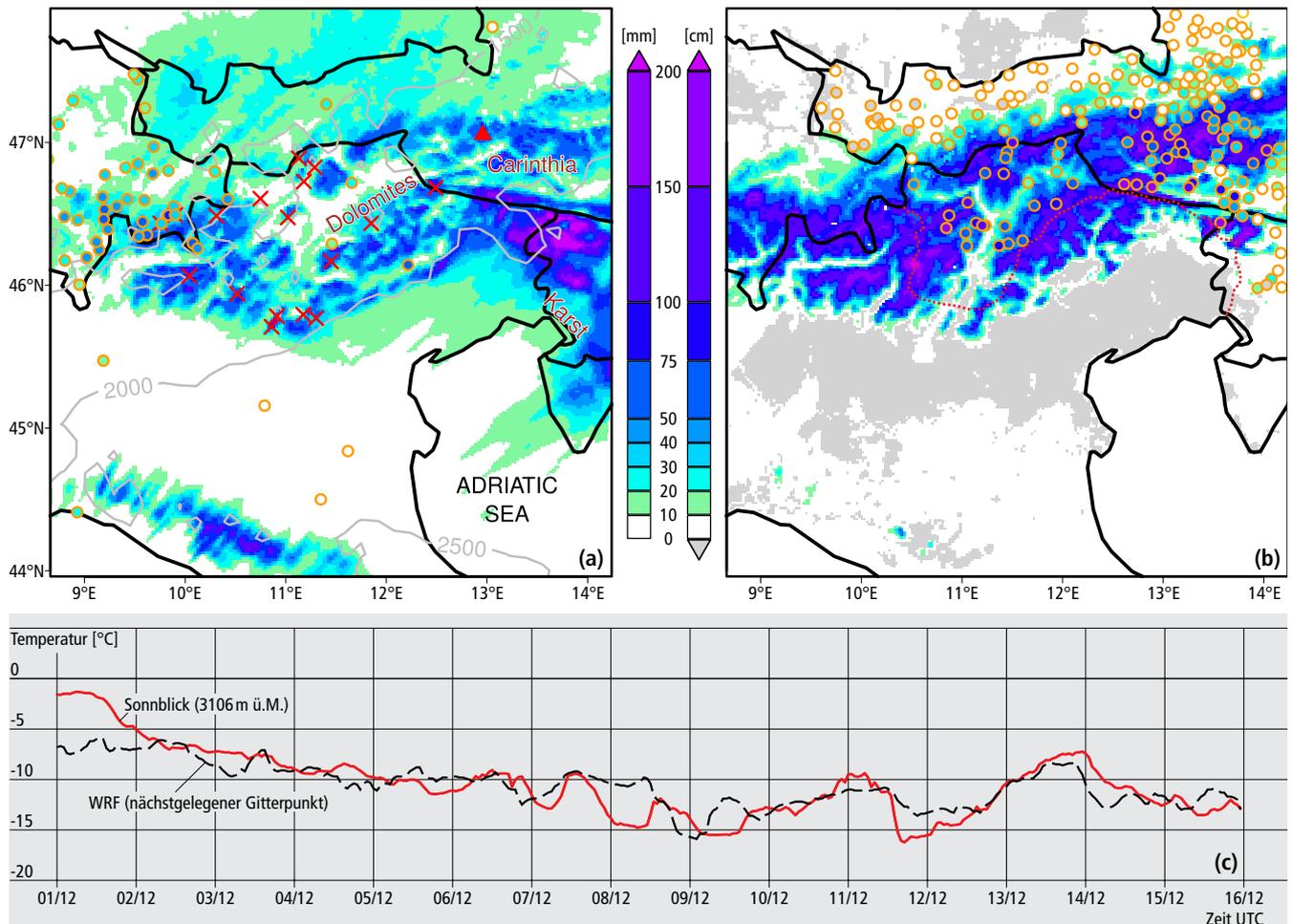


**Abb. 3:** 850 hPa geopotentielle Höhe (dicke durchgezogene Linien; dam) und 850 hPa Temperaturabweichungen relativ zur Referenzperiode 1961–1990 (gestrichelte Linien; °C) um 00:00 UTC vom 5. bis 16. Dezember 1916 (ERA-20C-Reanalyse).

tage sind hier leider nicht bekannt). Auch die für die komplexe Topographie typische räumliche Variation des Niederschlags ist in der Reanalyse gut wiedergegeben (Abb. 4a). Dieser Niederschlag verlieh dem Schneepaket, welches während der letzten Tage um bis zu 2.5 m gewachsen war, ein kritisches Gewicht (Abb. 4b). Zudem führte der Temperaturanstieg zu Regen bis in die Höhe von 2000 m ü. M., wodurch die Schneemassen dichter und schwerer wurden. Diese Kombination von intensivem Niederschlag und hohen Temperaturen verursachte zudem den höchsten je beobachteten Seespiegel des Wörthersees, des grössten Sees von Kärnten.<sup>24</sup> An der Front musste ein geplanter italienischer Angriff aufgeschoben werden, da die Truppen im tiefgelegenen Karstplateau «im Schlamm versanken», wie es General Luigi

Cadorna ausdrückte.<sup>5</sup> Der Angriff verzögerte sich ganze fünf Monate, was Österreich-Ungarn Zeit verschaffte, Verstärkung von der östlichen Front zu holen.

Zeitgenössische meteorologische Beobachtungen, die nicht in der Reanalyse verwendet wurden – vor allem Temperatur und Niederschlag (v. a. in der Schweiz) sowie die Höhe der Schneedecke (in Österreich-Ungarn) –, stimmen mit den simulierten Werten gut überein (obwohl lokal und speziell auf der täglichen Skala starke Abweichungen vorkommen; vgl. Abb. 4a). Die Beobachtungen allein würden nur ein unvollständiges Bild ergeben, da gerade für die am meisten betroffenen Regionen nur für wenige Tage Beobachtungen existieren. «Downscaling» und Beobachtungen



**Abb. 4:** Resultate des dynamischen «Downscalings» der ERA-20C-Reanalyse. a) Gesamtniederschlag am 13. Dezember 1916 (d. h. von 07:00 UTC am 13. Dez. bis 07:00 UTC am 14. Dez.) mit der mittleren Nullgradgrenze (m) als graue Linie; Kreise stellen die Beobachtungen aus öffentlichen Datensätzen<sup>25</sup> oder von den Autoren digitalisierte Werte dar; rote Kreuze signalisieren dokumentierte Lawinen des 13. Dezembers 1916. b) Veränderung der Schneedecke zwischen dem 5. und 13. Dezember 1916 (jeweils um 07:00 UTC); Kreise repräsentieren Beobachtungen des Österreichisch-Ungarischen Hydrographischen Diensts<sup>26</sup>; der Frontverlauf 1916 ist als rot gestrichelte Linie abgebildet. c) Stündliche Lufttemperatur vom 1. bis 15. Dezember 1916, beobachtet am Sonnblick-Observatorium (zu dieser Zeit die höchstgelegene bemannte Wetterstation der Welt) im Vergleich zur Simulation (die Temperaturen auf der Stationshöhe wurden von den zwei benachbarten Modelllevels interpoliert); die Position des Sonnblick-Observatoriums ist in a) mit einem roten Dreieck markiert.

zusammen geben aber einen detaillierten Einblick in das Ereignis und erlauben eine physikalisch sinnvolle Interpretation. Damit sind die wichtigsten Zutaten der extremen Wettersituation (über Tage blockierte Zirkulation, warmes Mittelmeer, Feuchtetransport,

Temperaturanstieg) und der gesellschaftlichen Verletzlichkeit erfasst. Dies erlaubt, Veränderungen dieser Faktoren in einem zukünftigen Klima und einer zukünftigen Gesellschaft zu untersuchen, um das zukünftige Risiko zu beurteilen.

## Ein Werkzeug mit grossem Potential

Reanalysen sind bereits heute als kontinuierliche, sechsstündliche Datensätze bis in die 1850er Jahre zurück verfügbar. Erfolgreiche Tests wurden für die Jahre 1815–1817 (mit dem «Jahr ohne Sommer» 1816, welches dem Ausbruch des Vulkans Tambora<sup>27</sup> 1815 folgte) durchgeführt. In Zukunft scheinen zumindest für Mitteleuropa kontinuierliche Reanalysen zurück bis in die Mitte des 18. Jahrhunderts möglich. Allerdings basieren Reanalysen auf Luftdruckmessungen, welche lange Zeit nicht als wertvoll betrachtet wurden und daher oft nicht digitalisiert wurden; diese Arbeit steht noch aus. Tatsächlich hat das grosse Potential der Reanalysen den historischen Beobachtungen jetzt neuen Wert verliehen.

Reanalysen liefern nicht immer eine gute Rekonstruktion der atmosphärischen Zirkulation, gerade auf der lokalen Skala. Des-

halb ist es wichtig, Reanalysen nicht als absolute Wahrheit zu verstehen, sondern vielmehr als eine physikalisch konsistente, mögliche Wahrheit, welche erst durch den Abgleich mit Dokumenten zum realen Wetter Bedeutung erlangt.

Die hier präsentierten Resultate für den Dezember 1916 deuten darauf hin, dass mit wenigen Messungen eine verlässliche, hochaufgelöste Rekonstruktion möglich ist. Kombiniert mit detaillierten historischen Quellen wird ein Einblick in ein Ereignis geschaffen, das nicht nur historisch relevant, sondern auch heute noch präsent ist. Solche Analysen liefern wertvolle Informationen, die verschiedenste Verwendung finden, wie die Analyse von Ursachen und Auswirkungen, Risikoeinschätzungen und die Beurteilung der gesellschaftlichen Reaktion und Wahrnehmung.



**Foto 5:** Gebirgshaubitzbatterie (Schussrichtung Val Rimbianco Zinnenplateau), Drei Zinnen, Dolomiten. Fotograf Flamm.



**Foto 6:** Überreste einer Gefechtsstellung am Monte Piano.

## Bibliographie

- Labanca N, Überegger O (2015) Krieg in den Alpen: Österreich-Ungarn und Italien im Ersten Weltkrieg (1914–1918). Böhlau, Wien, Köln, Weimar.
- Jordan A (2008) Krieg um die Alpen: Der Erste Weltkrieg im Alpenraum und der bayerische Grenzschutz in Tirol. Duncker & Humblot, Berlin.
- Handl L (1917) Von der Marmolata-Front II. Zeitschrift des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins 48, 149–161.
- Diario Storico Militare, 49° Reggimento Fanteria, Brigata Parma dal 1 Ottobre 1916 al 30 Novembre 1918. <http://www.cimeetrinnee.it/49reggimento.pdf> (abgerufen 23. Oktober 2016).
- Thompson M (2008) The White War: Life and death on the Italian front 1915–1919. Faber & Faber, London.
- Glaise-Horstenuau E (1934) Das Kriegsjahr 1916: Zweiter Teil: Die Ereignisse von August bis zur Jahreswende (Österreich-Ungarns letzter Krieg 1914–1918; Bd 5). Verlag der Militärwissenschaftlichen Mitteilungen, Wien.
- Wiedemayr L (2007) Weltkriegsschauplatz Osttirol: Die Gemeinden an der Karnischen Front im östlichen Pustertal. Osttiroler Bote, Lienz.
- Leoni D (2015) La guerra verticale: Uomini, animali e macchine sul fronte di montagna 1915–1918. Giulio Einaudi editore, Torino.
- Höllner P (2014) Die Lawinenwinter 1916/17, 1950/51 und 1974/75: Ursachen und Folgen der Lawinenkatastrophen mit besonderem Bezug zu Südtirol. Der Schleren, 88 (3), 37–45.
- Ufficio Idrografico del Magistrato delle Acque di Venezia, Annali Idrologici. Istituto Poligrafico dello Stato, Roma. Online verfügbar unter <http://www.acq.isprambiente.it/annalipdf/> (abgerufen 7. November 2016).
- Mörwald J (2014) Feuerbereit: Kriegstagebuch aus den Karnischen Alpen 1915–1917. Morisel, München.
- Ragucci N (2010) Ospedale da Campo 040 di Cortina: La guerra di montagna vista da un medico, Edited by P. Giacomei. Gaspari editore, Udine.
- Austrian Newspapers Online (ANNO), <http://www.anno.onb.ac.at> (abgerufen 31. Oktober 2016), open access-Plattform zu digitalisierten Zeitungen aus der Österreichisch-Ungarischen Monarchie (derzeit 47 verschiedene Tageszeitungen für Dezember 1916 verfügbar).
- Auer I, Böhm R, Schöner W (2011) Austrian long-term climate 1767–2000: Multiple instrumental climate time series from central Europe. ZAMG, Wien.
- Compo GP et al. (2011) The Twentieth Century Reanalysis project. Q.J.R. Meteorol. Soc., 137, 1–28.
- Poli P et al. (2016) ERA-20C: An Atmospheric Reanalysis of the Twentieth Century. J. Clim., 29, 4085–4097.
- Billwiller R (1917), in: Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Zentral-Anstalt 1916. Zürcher & Furrer, Zurich.
- Skamarock WC et al. (2008) A Description of the Advanced Research WRF version 3. NCAR, Boulder, CO.
- Barnston AG, Livezey RE (1987) Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. Mon. Weather Rev., 115, 1083–1126.
- Casanueva A, Rodríguez-Puebla C, Frías MD, González-Reviriego N (2014) Variability of extreme precipitation over Europe and its relationships with teleconnection patterns. Hydrol. Earth Syst. Sci., 18, 709–725.
- Beranová R, Huth R (2008) Time variations of the effects of circulation variability modes on European temperature and precipitation in winter. Int. J. Climatol., 28, 139–158.
- Lawrimore JH et al. (2011) An overview of the Global Historical Climatology Network monthly mean temperature data set, version 3. J. Geophys. Res., 116, D19121.
- Sodemann H, Zubler E (2010) Seasonal and inter-annual variability of the moisture sources for Alpine precipitation during 1995–2002. Int. J. Climatol., 30, 947–961.
- Schulz, L et al. (2004) Der Wörthersee: Limnologische Langzeitentwicklung des Wörthersees und limnologische Untersuchungen des Jahres 1999 unter besonderer Berücksichtigung der Planktonbiocönos. Kärntner Institut für Seenforschung, Klagenfurt.
- Klein Tank AMG et al. (2002) Daily dataset of 20<sup>th</sup> century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. Int. J. Climatol., 22, 1441–1453.
- K. k. Hydrographischer Dienst in Österreich (1917) Wochenberichte über die Schneebeobachtungen im österreichischen Rhein-, Donau-, Oder- und Adriagebiete für den Winter 1916/1917. K. k. Hof- und Staatsdruckerei, Wien.
- Brönnimann S, Krämer D (2016) Tambora and the „Year Without a Summer“ of 1816. A Perspective on Earth and Human Systems Science. Geographica Bernensia G90. ISBN 978-3-905835-46-5.

**Danksagung:** ERA-20C wurde innerhalb des EU-finanzierten und vom ECMWF (Paul Poli, Dick Dee) geleiteten Projekts ERA-CLIM produziert. Roberto Buizza und Patrick Lalouaux (ECMWF) haben hilfreiche Beiträge zu dieser Broschüre geliefert. Weiter möchten wir uns bei Ingeborg Auer für die Bereitstellung der österreichisch-ungarischen Schneebulletins und bei Oswald Überegger, Nicola Fontana und Tadej Koren für die Hilfe mit den historischen Dokumenten der Augenzeugen bedanken. Wir danken Leonie Villiger und Monika Wälti für ihre Unterstützung bei der Herstellung dieser Broschüre.

**Bildnachweise:** (Titel) Fotolia/ID: #80793814, (1,2,3,5) Österreichische Nationalbibliothek, Fotosammlung des k.u.k. Kriegspressequartiers 1914–1918, (Inventar-Nummern: WK1/ALB007/01879, WK1/ALB064/18019, WK1/ALB007/01840 und WK1/ALB006/01668), (4) Schweizerisches Bundesarchiv, Signatur: CH-BA R#E27#1000/721#14094#3301\*, Skispringen Darin: Battalion IV/93 Original: Negativ; Glasplatte; Silberbromid; 10x15cm, (6) Lorenzo Zardini–S.Jeep M.Piana

**Layout:** Alexander Hermann, Geographisches Institut, Universität Bern

© GEOGRAPHICA BERNENSIA 2016, Geographisches Institut, Universität Bern, Schweiz

