

1.3. Extremereignisse in der Schweiz

1.3.1. Typisierung von klimatologischen Extremereignissen

Heinz Wanner

Die wichtigsten Extremereignisse in der Schweiz können aufgrund ihres Zusammenhangs mit charakteristischen Wetterlagen typisiert werden. Für die Entstehung extremer Werte von Temperatur und Feuchte/Niederschlag sind der horizontale Transport von Luftmassen und somit die grossräumigen Windströmungen entscheidend. Für Stürme und Gewitter sind im Winter grossräumige Druckdifferenzen und im Sommer lokalere Effekte wie Bodenfeuchte und Luftmassenstabilität wichtig. Hochwasser sind eine Folge von Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre, Oberflächenbeschaffenheit und Topographie.

Ein möglicher Weg zur Typisierung wichtiger Extremereignisse führt über die entsprechenden Wetterlagen sowie über die damit verbundene Ausprägung und Wirkung des Ereignisses in einem bestimmten Gebiet. Die Typisierung der klimatologischen Extremereignisse in der Schweiz ist in Tabelle 1 zusammengefasst. Weil die Extremereignisse unterschiedlich grosse Gebiete betreffen, sind zusätzlich deren räumliche Skalen angegeben. Folgeereignisse wie Lawinen oder Hangrutschungen sind nicht dargestellt. Diese schematische Erfassung hat allerdings ihre Grenzen, da sich bei Extremereignissen oft verschiedene Prozesse gegenseitig verstärken oder in ihrer zeitlichen Abfolge kumulieren. Die einzelnen Fälle können dann zwar gruppiert werden, aber bei genauer Analyse lassen sich immer wieder fallspezifische Unterschiede feststellen.

Das Klima einer Region wird durch das Zusammenspiel der grossräumigen Luftströmungen (Zirkulation) und der lokalen Topographie und Oberflächenbeschaffenheit bestimmt. In der Schweiz wird das Klima massgeblich durch den Verlauf der Westwindströmung über dem Atlantik und Europa geprägt. Auch der Zustand des Ozeans (Strömungen, Oberflächentemperaturen, Meereisverteilung) spielt eine wichtige Rolle, indem er den Verlauf der Hauptzugstrassen der Tiefdruckgebiete (Storm Tracks) beeinflusst. Ebenfalls von grosser Bedeutung sind die Land-Meer-Verteilung (Atlantik, Mittelmeer und eurasischer Kontinent) und die Topographie der Alpen. Letztere modifizieren mit ihrer Form („Nussgipfel“) und Höhe die Strömung und die Eigenschaften der Luftmassen. Dadurch werden Extremereignisse erzeugt wie beispielsweise starke Hangabwinde (Föhnstürme), inneralpine Trockenheit (Wallis) oder Tiefdruckbildung auf der vom Wind abgekehrten Seite der Alpen (Lee- oder Genuazyklonen).

Für das Auftreten extremer Temperaturen und Niederschläge (Tabelle 1, oben) spielen horizontale Verschiebungen von Luftmassen (Advektion), die durch die grossräumige Zirkulation gesteuert werden, die entscheidende Rolle. Wichtig ist dabei vor allem, woher diese Luftmassen stammen, wie sie sich auf ihrem Weg zur Schweiz bezüglich Temperatur und Feuchtigkeit verändern und wie rasch sie über unser Gebiet hinwegziehen. Der langfristige Einfluss natürlicher Faktoren (Sonne, Vulkane), menschlicher Einflüsse (Treibhaus- und Aerosoleffekt, Oberflächenveränderungen) oder zufälliger Schwankungen im Klimasystem auf kontinentale bis regionale Schwankungen der Zirkulation und der Häufigkeit extremer Temperaturen und Niederschläge ist nach wie vor unklar.^{1,2}

Für Stürme und Gewitter (Tabelle 1, Mitte) spielen je nach Jahreszeit entweder grossräumige Druckdifferenzen (vor allem im Winter) oder lokalere Effekte wie Luftmassenstabilität und Bodenfeuchte (vor allem im Sommer) eine wichtige Rolle. Luftmassen können Energie direkt in Form von fühlbarer Wärme oder indirekt in Form von Feuchtigkeit speichern. Die im Wasserdampf gespeicherte Energie wird bei der Kondensation wieder freigesetzt. Diese so genannte Kondensationswärme ist die Energiequelle für Hurrikane, die aber nur über warmem Oberflächenwasser bei genügend grosser Verdunstung entstehen können. Für die Schweiz sind direkte und indirekte Wärmeflüsse sowohl grossräumig (vor allem bei Stürmen, die über dem Westatlantik entstehen) als auch regional (bei Sommergewittern) wichtig.³ Winterstürme, wie beispielsweise der Orkan Lothar, sind auf sehr komplexe Entwicklungen zurückzuführen.⁴

Am vielfältigsten präsentiert sich die Situation bei den Hochwassern (Tabelle 1, unten). Sie sind eine Folge von Wechselwirkungen zwischen

Tabelle 1: Typisierung der wichtigsten klimatologischen Extremereignisse für das Gebiet der Schweiz über die entsprechenden charakteristischen Wetterlagen.

| Extremereignis | Winter | Sommer |
|--|---|---|
| Wetterelemente: Temperatur Niederschlag | (a) Kalt-trocken: Anhaltender Kaltluftzustrom infolge des kontinentalen sibirischen Bodenhochdrucks: <i>Frost- und Trockenschäden</i> <i>Skala: semikontinental</i> (c) Kühl-feucht: Anhaltende Nordwestströmung: <i>Massenschneefälle, Lawinen</i> <i>Skala: regional</i> | (b) Heiss-trocken: Einfluss von Wärme und Trockenheit im Absink- oder Subsidenzbereich des auf den Kontinent vorgedrungenen Azorenhochs: <i>Hitze- und Trockenschäden</i> <i>Skala: semikontinental</i> (d) Kalt-feucht: Von Nordwesten nach Südosten driftende Tiefdruckgebiete: <i>Vegetationsschäden</i> <i>Skala: regional bis semikontinental</i> |
| Stürme/ Gewitter | Starke Druckgradienten, z.T. mit Sekundärwirbeln: <i>Sturmwinde, Böen, Orkane</i> <i>Skala: regional bis semikontinental</i> | Schwache Druckgradienten, Hitzetiefs, Gewitter: <i>Starkregen, Hagel, Böen</i> <i>Skala: lokal bis regional</i> |
| Hochwasser | Alpennordseite: Eher anhaltende Südwest-, West- und Nordwest-Wetterlagen bei südwärts verlagelter Zugbahn der Tiefdruckgebiete. Zustrom von warmer, sehr feuchter Luft, die unter extremen Hebungsbedingungen aufsteigt und damit zu anhaltenden, ausgiebigen Niederschlägen führt. Eventuell kombiniert mit Erwärmung, Schneeschmelze und in seltenen Fällen mit Staueffekten an den Alpen. (Vorkommen: warme und Übergangsjahreszeiten, vorzugsweise Frühling bis Frühsommer) <i>Massive Überflutungen von Tal- und Seenlandschaften</i> <i>Skala: regional bis semikontinental</i> Alpensüdseite und inneralpiner Raum: Kombination von Luftmassenzustrom, extremem Aufsteigen (sowohl luftmassenbedingt als auch an der Topographie der Alpen) und anschliessendem Ausregnen. Alpensüdseite: vorherrschende südliche Alpenanströmung (vor allem bei südlich vorbeiziehenden Tiefdruckgebieten); oft verbunden mit dem Phänomen der hochtroposphärischen „Streamer“. Inneralpiner Raum: auch verbunden mit stationären Tiefdruck-Trögen. (Vorkommen: kältere und Übergangsjahreszeiten, vorzugsweise im Herbst) <i>Massive Überflutungen von Tal- und Seenlandschaften</i> <i>Inneralpin: Auslösung von extremen hydro- und geomorphologischen Schadeneignissen wie Massenbewegungen, Murgängen etc.</i> <i>Skala: lokal bis grossregional</i> | |

Atmosphäre, Oberflächenbeschaffenheit und Topographie. Im Gebirgsraum spielen auch das Aufsteigen und das anschliessende Ausregnen der Luftmassen als Folge grossräumiger Verschiebungen sowie die Luftströmungen in der gesamten Troposphäre eine wichtige Rolle. Etwas weniger wichtig ist die Auslösung von Niederschlägen durch das Aufsteigen der Luft an der Topographie der Alpen.⁵ Lang anhaltende, massive Niederschläge können den Boden mit Wasser sättigen und, zum Teil kombiniert mit der Schneeschmelze im Alpenraum, zu regionalen bis grossräumigen Hochwassern führen. Im mitteleuropäischen Raum nördlich der Alpen sind vor allem die Zug-

bahnen der Tiefdruckgebiete zu beachten. Deren Verlagerungen nach Süden treten vor allem bei negativer Nordatlantischer Oszillation (d.h. bei warmem Nordatlantik und kühlem Südatlantik) auf und führen zu lange anhaltenden Südwest- bis Nordwestlagen.² Zum Teil treten abgeschnürte Kaltlufttropfen auf, die tagelang über einer Region verharren und dort zu andauernden Niederschlägen führen. Südlich der Alpen sind, abgesehen von der bereits erwähnten leeseitigen Tiefdruckbildung, vor allem die Fälle mit Tiefdruckgebieten zu beachten, die aus dem Atlantikraum langsam via Mittelmeer gegen den Alpenostrand und dann nach Polen wandern.

1.3.2. Ein Blick auf die letzten 500 Jahre

Christian Pfister

Der Nachweis von Trends für Extremereignisse anhand von instrumentellen Messdaten stösst wegen der Kürze der Messreihen und der Seltenheit der Ereignisse an Grenzen. Mit Hilfe von historischen Dokumenten⁶ können die Datenreihen verlängert werden. Für die Zeit zwischen ca. 1100 und 1800 enthalten sie die aussagekräftigsten Informationen über Extremereignisse. Der Nachweis von Naturkatastrophen ist nur anhand von Berichten in historischen Dokumenten möglich: Je aussergewöhnlicher und extremer ein Ereignis war, desto mehr und desto ausführlichere Berichte liegen vor.

Im Gegensatz zu natürlichen Archiven wie Baumringen, die nur Rückschlüsse auf Extremereignisse in einem bestimmten Jahresabschnitt zulassen, decken historische Dokumente alle Jahreszeiten und Kalendermonate ab. In den Dokumenten sind die Ereignisse auf den Tag, später oft auf die Stunde genau datiert. Um die Grössenordnung von Anomalien anzugeben, verwiesen die Beobachter häufig auf geeignete natürliche Indikatoren, die sich anhand von analogen Ereignissen heute quantifizieren und kalibrieren lassen. So blühen die Kirschen nach einem sehr kalten März und April um drei Wochen zu spät. Dies entspricht nach heutigem Wissen einem Temperaturdefizit von insgesamt 5°C.⁷

Die einzelnen Dokumente decken jeweils nur einen beschränkten Zeitraum ab, sind heterogen und meist lückenhaft. In der Regel sind sie nicht quantifizierbar und können deshalb statistisch nicht bearbeitet werden. Für eine aussagekräftige Quantifizierung muss daher eine möglichst grosse Menge verlässlicher Quellen zusammengetragen werden. So lassen sich die Angaben ergänzen und überprüfen. Für die Schweiz wurden für den Zeitraum von 1500–1864 ungefähr 40000 Einzelbeobachtungen aus rund 350 Quellen zusammengetragen.^{6,8} Für die Zeit nach 1550 liegen für 99% aller Monate Witterungsbeschreibungen und/oder Beobachtungen von Indikatoren vor.

Temperatur- und Niederschlagsinformationen für jeden Monat werden einem siebenstufigen Intensitäts-Index zugeordnet. Die entstehenden Indexreihen werden mit solchen aus benachbarten Re-

gionen verglichen. Sorgfältig erarbeitete Indexreihen stimmen fast gleich gut überein wie instrumentelle Messreihen.⁹

Entsprechend der Typisierung der Extremereignisse in Kapitel 1.3.1. sind in der Folge für die Schweiz einige klimatologische Extremereignisse der letzten 500 Jahre dargestellt.⁶ Die Interpretation der Zeitreihen in diesem Kapitel beruht auf der einfachen Feststellung von Perioden mit häufigen und weniger häufigen Berichten über Extremereignisse. Ob es sich bei den Variationen um eher zufällige Fluktuationen handelt oder um tatsächliche Änderungen der Ereigniswahrscheinlichkeit, kann aufgrund der Seltenheit der Ereignisse nicht eindeutig entschieden werden (vgl. Kapitel 1.4.).

Kalt-trocken im Winter

Von 1496–1566 sind kalt-trockene Extreme überhaupt nicht, in den folgenden 110 Jahren nur selten aufgetreten (Abbildung 3). Zwischen 1676 und 1895 häufen sie sich. In jedem Jahrzehnt sind 1 bis 8 kalt-trockene Monate mit anhaltendem



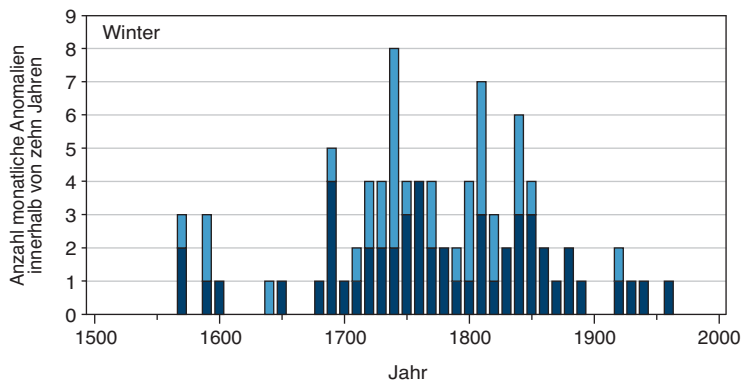


Abbildung 3: Häufigkeit kalter (dunkelblau) und kalt-trockener (hellblau) Monate im Winterhalbjahr (November–März/April) von 1496–2000 (Zehnjahressummen).

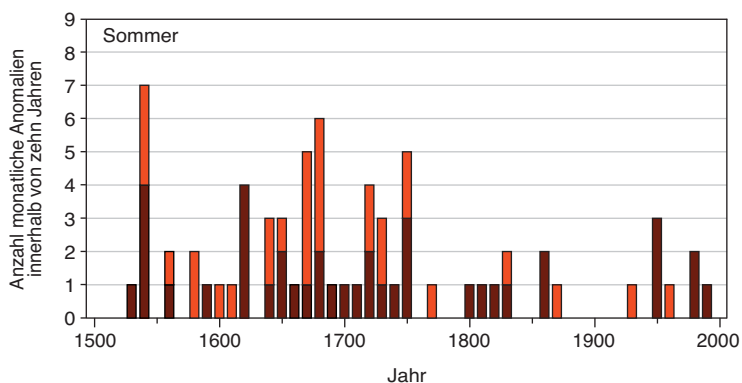


Abbildung 4: Häufigkeit warmer (dunkelrot) und warm-trockener (rot) Monate im Sommerhalbjahr (April–September) von 1496–2000 (Zehnjahressummen).

Kaltluftzustrom aus dem sibirischen Bodenhoch nachgewiesen. Für die Menschen im 18. Jahrhundert war die völlige Eisbedeckung des Bielersees nichts Ausserordentliches. Zwischen 1895 und Januar 1963 (letztmaliges Zufrieren des Zürichsees) sind die kalt-trockenen Monate wieder selten geworden und seitdem völlig ausgeblieben (bis März 2003).

Kühl-feucht im Winter

Zur Auslösung von zahlreichen Schadenlawinen genügen unter geeigneten Bedingungen mehrtägige intensive Nordwestströmungen, die im Monatsmittel der Temperatur und der Niederschläge nicht hervortreten. Die beschriebenen Indexreihen bieten daher hier kein gutes statistisches Hilfsmittel.

Die zeitliche Verteilung der schadenreichen Lawinenwinter ist weitgehend ausgeglichen. Sie sind im 20. Jahrhundert nicht häufiger als in den vorangehenden Jahrhunderten.

Warm-trocken im Sommer

Vor 1730 waren warm-trockene Monate deutlich häufiger als danach (Abbildung 4). Zwischen 1718 und 1728 war jeder zweite Sommer wesentlich zu trocken. Zwar trat in diesen Jahren kein meteorologisches Jahrhundertextrem (wie z.B. 1540 oder 1947) auf. Aber zweimal (1718/19 und 1723/24) kamen unmittelbar aufeinander folgende Trockensommer und dazwischenliegende regenarme Winter und Frühjahrsperioden in ihrer kumulativen Wirkung einem solchen gleich.

Im 20. Jahrhundert sind warm-trockene Monate während der Vegetationsperiode – abgesehen vom Jahrzehnt 1946–1955 – verhältnismässig selten aufgetreten.

Kalt-feucht im Sommer

Vor der Ankoppelung der Schweizer Wirtschaft an das globale Verkehrsnetz um 1880 führten kalt-feuchte Sommer wegen der Vegetationsschäden zu Preissteigerungen, zu Versorgungsengpässen und unter Umständen zu Hungersnöten (z.B. 1816/17). Von 1576–1635 waren kalt-feuchte Sommermonate besonders häufig und die Gletscher wuchsen. Seither sind solche Extremereignisse selten geworden.

Stürme im Winter

Die allgemeine statistische Tendenz für die Alpennordseite weist für das 20. Jahrhundert eine Reduktion der Anzahl Sturmtage und im Winterhalbjahr eine Abnahme der Ereignisdauer der Winde mit Stärke 7–9 aus.¹⁰

Zwischen 1500 und 1960 traten die meisten Stürme im Dezember auf, die extremsten jedoch im Januar und Februar. Immer wieder gab es lange Perioden ohne schwere Stürme (Abbildung 5). Das Mittelland wurde zwischen 1600 und 1900 in jedem Jahrhundert von einem „Jahrhundertsturm“ betroffen: Dabei handelte es sich um winterliche West-Stürme, die über grosse Distanzen hinweg schwere Schäden an Wäldern, Gebäuden und Infrastruktur anrichteten. Im 20.

Jahrhundert wurden innerhalb von nur 33 Jahren drei Jahrhundertstürme registriert: im Februar 1967, im Februar 1990 (Vivian) und im Dezember 1999 (Lothar). Wegen der Seltenheit der Ereignisse lässt sich daraus aber kein langfristiger statistischer Trend ableiten.

Hochwasser Alpennordseite

Im Mittelland ereignen sich die meisten Hochwasser im Früh- und Hochsommer, wenn die Schneeschmelze in den Bergen gross ist und in weiten Teilen des Einzugsgebietes die höchsten Jahresniederschläge fallen.

Bis 1762 trat der Rhein bei Basel durchschnittlich alle 10 Jahre über die Ufer (Abbildung 6). In den folgenden 120 Jahren verlangsamte sich dieser Rhythmus. Zwischen 1882 und 1992 sind extreme Hochwasser völlig ausgeblieben. Weil die Abflussbildung in den letzten 120 Jahren durch verschiedene Eingriffe verändert wurde, kann diese Entwicklung nicht nur nach meteorologischen und hydrologischen Kriterien interpretiert werden.

Hochwasser in den zentralen Alpen und auf der Alpensüdseite

Über die letzten fünf Jahrhunderte hinweg lassen sich in den vier Kantonen Wallis, Uri, Tessin und Graubünden zwei Perioden mit niedriger Überschwemmungsdichte (1641–1706; 1927–1975) und zwei Perioden mit hoher Überschwemmungsdichte (1550–1580; 1827–1875) nachweisen (Abbildung 7). Langfristige Schwankungen in der Häufigkeit von Überschwemmungen sind auch in den Pyrenäen und in Deutschland nachgewiesen.¹¹ Sie sind durch natürliche Klimavariationen bedingt und stehen nicht in erkennbarer Weise mit menschlichen Einflüssen in Zusammenhang.

Gegenüber den Mittelwerten des 20. Jahrhunderts hat die Zahl extremer inner- und südalpiner Überschwemmungen in den letzten 15 Jahren zugenommen (August 1987, September

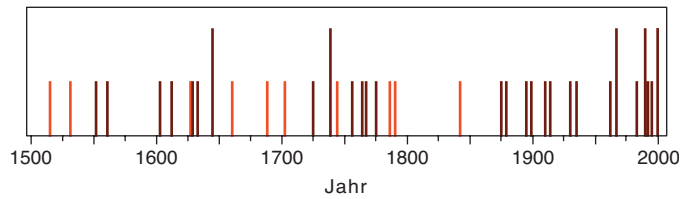


Abbildung 5: Schwere (kurze Balken) und extreme (lange Balken) Winterstürme in der Schweiz in den letzten 500 Jahren. In einigen Fällen (orange) sind die historischen Daten nicht eindeutig.⁶

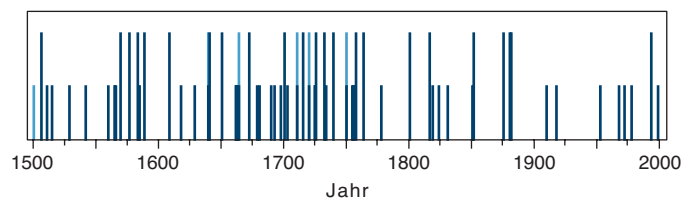


Abbildung 6: Schwere (kurze Balken) und extreme (lange Balken) Hochwasser des Rheins bei Basel in den letzten 500 Jahren. In einigen Fällen (hellblau) sind die historischen Daten nicht eindeutig.⁶

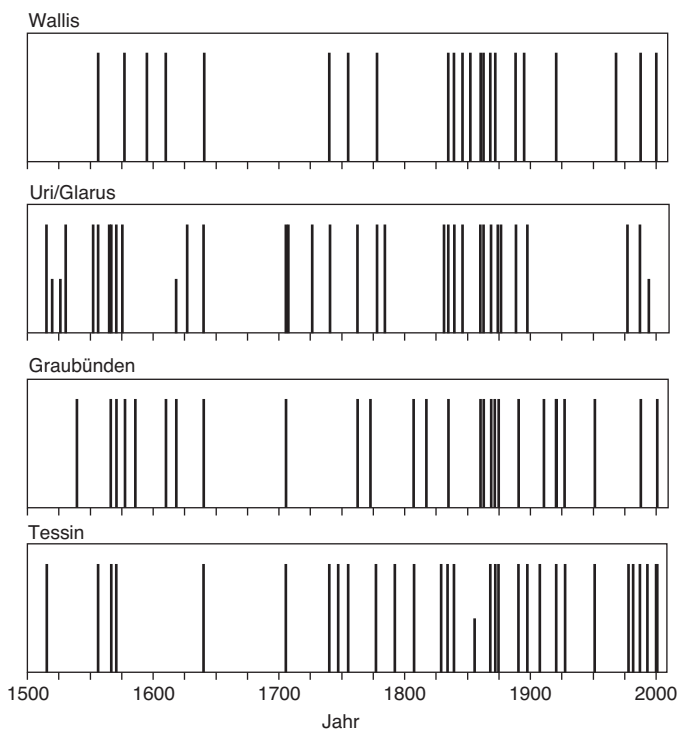


Abbildung 7: Schwere (kurze Balken) und extreme (lange Balken) Überschwemmungsereignisse in den vier Gotthardkantonen Wallis, Uri, Tessin und Graubünden in den letzten 500 Jahren. Als extrem gelten Überschwemmungen, die in mindestens zwei Alpentälern und/oder im benachbarten Ausland Schäden anrichten.⁶

1993, Oktober 2000), doch liegt die Häufigkeit dieser Ereignisse noch in der Bandbreite bisheriger Ereignisse.

-
- 1 Easterling D. R., G. A. Meehl, C. Parmesan, S. A. Changnon, T. R. Karl, and L. O. Mearns, Climate extremes: Observations, modeling, and impacts. *Science* 289, 2068–2074, 2000.
 - 2 Wanner H., S. Brönnimann, C. Casty, D. Gyalistras, J. Luterbacher, C. Schmutz, D. B. Stephenson, and E. Xoplaki, North Atlantic Oscillation – concepts and studies. *Surveys in Geophysics*, 2002.
 - 3 Schär C., D. Lüthi, U. Beyerle, and E. Heise, The soil-precipitation feedback: A process study with a regional climate model. *J. Climate* 12, 722–741, 1999.
 - 4 Wernli H., S. Dirren, M. Liniger, and M. Zillig, Dynamical aspects of the life-cycle of the winter storm ‘Lothar’ (24–26 December 1999). *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 128, 405–429, 2002.
 - 5 Frei C. and C. Schär, Detection probability of trends in rare events: Theory and application to heavy precipitation in the Alpine region. *J. Clim.*, 14, 1568–1584, 2001.
 - 6 Pfister C., *Wetternachhersage. 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen 1496–1995*, Haupt Verlag, Bern, 304 S., 1999.
 - 7 Summe der Abweichung von der Durchschnittstemperatur 1901–1960 in beiden Monaten.
 - 8 Eine vollständige Fassung ist in der Datenbank Euro-Climhist gespeichert. Ausschnitte sind als Pilotversion freigegeben unter www.euroclimhist.com.
 - 9 Pfister C., *Raum-zeitliche Rekonstruktion von Witterungsanomalien und Naturkatastrophen*, vdf, Zürich, 142 S., 1998.
 - 10 Schiesser H. H., C. Pfister, and J. Bader, Winter storms in Switzerland North of the Alps 1864/65–1993/94, *Theor. Appl. Climatol.*, 58, 1–19, 1997.
 - 11 Glaser R., *Klimageschichte Mitteleuropas. 1000 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen*, Primus Verlag, Darmstadt, 227 S., 2001.