

21/10/2008 |

Klima

Unter K. wird die charakterist. Abfolge der meteorolog. Erscheinungen innerhalb eines Gebiets und einer festgelegten Zeitspanne verstanden. Die wichtigsten Komponenten sind die Lufttemperatur, die Niederschläge und die Einwirkung der Sonne. Die geo- und topograf. Verhältnisse, insbesondere die [Alpen](#), sind für das K. der Schweiz von Bedeutung. Das K. wirkt durch Veränderungen der [Umwelt](#) auch auf demograf., wirtschaftl., polit. und gesellschaftl. Prozesse ein und wird seinerseits durch menschl. Faktoren beeinflusst.

1 - Methoden der Klimageschichte

Hinweise zum K. der Vergangenheit lassen sich aus natürl. und kulturellen Archiven gewinnen. In natürl. Archiven sind Spuren von klimatisch beeinflussten Prozessen gespeichert. Diese gliedern sich in zwei Untergruppen: Einerseits in die nicht organ. Datenträger wie Eisbohrkerne, Ablagerungen in stehenden Gewässern (Seeablagerungen, Warven, kalkreiche Sedimente), Moränen verschwundener und geschrumpfter [Gletscher](#), Rinnenfüllungen, Talaufschüttungen oder Terrassenbildungen, andererseits in organ. Datenträger wie Baumringe (ab ca. 700), pflanzl. und tier. Überreste (z.B. Käfer, Köcherfliegenlarven), fossile Pollen und Sporen, fossiles Holz, Moorbildungen.

Kulturelle Archive enthalten neben Beobachtungen von klimatisch beeinflussten Prozessen auch Beschreibungen von Wettererscheinungen sowie instrumentelle Messungen von Klimatelementen ([Meteorologie](#)). Die Beschreibungen umfassen anomale Witterungsverläufe, Naturkatastrophen, Aufzeichnungen des tägl. Wetters sowie jahreszeitliche und monatl. Witterungsverläufe ([Klimatologie](#)). Beobachtungen von klimatisch beeinflussten Prozessen gliedern sich wie die natürl. Archive zunächst in die beiden Gruppen der organ. und der nicht organ. Daten. Zu den Ersteren gehören Beschreibungen des Entwicklungsstands von Kultur- und Wildpflanzen sowie Angaben zur Rebenkultur (Erträge, Zuckergehalt des Weinmosts), zu den Letzteren Erscheinungen von Schnee und Eis sowie Hinweise auf die Höhe der Gewässerstände. Dazu kommen Bildquellen (z.B. von ehemaligen Gletscherständen) sowie Inschriften (z.B. Sprüche an Hausfassaden und Hochwassermarken). Die Sachquellen, z.B. alte Wege, archäolog. Reste usw., bilden eine eigenständige Gruppe.

Autorin/Autor: Christian Pfister, Conradin A. Burga

1.1 - Messmethoden

Die Daten aus fossilen Baumstämmen, aus Ansammlungen fossiler Insekten, pflanzl. Makrofossilien, Eisbohrkernen, Gletschern und Warven widerspiegeln frühere Klimaverhältnisse unvermittelt. Meist indirekte Hinweise liefern dagegen z.B. pollenanalyt. und geomorpholog. Daten. Bei der Auswertung von kulturellen Daten sind die übl. Methoden der hist. Quellenkritik anzuwenden.

Bei den indirekten Daten aus natürl. und kulturellen Archiven werden die Beziehungen zwischen den abgebildeten Prozessen und Klimatelementen mittels Kalibration statistisch ermittelt. Für die natürl. Daten kommen zudem spezielle Datierungsmethoden zur Anwendung, z.B. Leitfossilien, Dendrochronologie, Radiokarbon-Methode (C-14), chem. Methoden.

Autorin/Autor: Christian Pfister, Conradin A. Burga

1.2 - Klimageschichtliche Datendichte

Gemäss der klassischen, inzwischen revidierten Gliederung in [Eiszeiten](#), die hier noch verwendet wird, werden die ältesten eiszeitl. Ablagerungen mit erheblichen Unsicherheiten der Mindel-Eiszeit (älter als ca. 245'000 Jahre) und der vorletzten Zwischeneiszeit (Mindel/Riss, vor 245'000-230'000 Jahren) zugeordnet. Die Ablagerungen der letzten Zwischeneiszeit (Riss/Würm, vor 130'000-115'000 Jahren) sind in ihrer Zeitstellung wesentlich sicherer. Sie liefern zusammen mit Hinweisen aus dem Früh- (vor 115'000-60'000 Jahren) und dem Mittelwürm (vor 60'000-30'000 Jahren) die ältesten verwendbaren qualitativen Daten zu den früheren Klimaverhältnissen. Ab dem Spätwürm (vor 17'000-10'000 Jahren) nimmt die Datenfülle zu. Es sind dies jedoch bis zum Einsetzen der am weitesten zurückreichenden Baumringkurven und der ersten schriftl. Quellen vorwiegend qualitative Angaben, die mittels der Vegetations-, Gletscher- und Landschaftsgeschichte gewonnen werden.

Ab ca. 1300 wurden Anomalien und Naturkatastrophen, ab ca. 1500 jahreszeitl. Witterungsverläufe in Chroniken beschrieben. Von 1550 an liegen Witterungsbeschreibungen für jeden einzelnen Monat, über längere Zeitabschnitte hinweg sogar für jeden einzelnen Tag vor. Die meisten dieser Daten stammen aus dem Mittelland, vorwiegend aus dem Dreieck Basel-Luzern-Bodensee. Alle diese Informationen werden ab 1500 in zahlenmässige Aussagen zu Temperatur und Niederschlag auf einer Skala umgerechnet und mit statist. Rechenverfahren in Beziehung zu den instrumentellen Messreihen gesetzt. Für die Zeit ab 1675 kann die mittlere monatl. Verteilung des Luftdrucks, der Temperatur und des Niederschlags über Europa mit statist. Modellen abgeschätzt werden.

Die frühesten instrumentellen Messungen von Luftdruck, Temperatur, Niederschlag und Pegel wurden 1708 von Johann Jakob Scheuchzer in Zürich vorgenommen. Die längste Messreihe von Temperatur und Luftdruck (ab 1755) stammt aus Basel, die längste Niederschlagsreihe (ab 1778) aus Genf. Auf der Alpensüdseite ist die Temperatur ab 1753 durch die lange Messreihe von Turin, jene des Niederschlags durch die Messreihe von Mailand dokumentiert. Von diesen Reihen kann auf die Verhältnisse in der Südschweiz geschlossen werden. 1863 nahmen 88 Stationen des ersten nationalen meteorolog. Messnetzes ihren Betrieb auf. 2001 betrieb MeteoSchweiz (ehemalige Schweiz. Meteorologische Anstalt) 815 Beobachtungsstationen, die in Netztypen mit unterschiedl. Beobachtungsprogrammen organisiert sind.

Autorin/Autor: Christian Pfister, Conradin A. Burga

2 - Das Klima bis 1200 n.Chr.

2.1 - Von den Eiszeiten bis 8000 v.Chr.

Die Maximalphasen der drei letzten Eiszeiten Mindel, Riss (vor 180'000-120'000 Jahren) und Würm (vor 115'000-10'000 Jahren) waren durch sehr kaltes, trockenes K. und Waldfreiheit gekennzeichnet. Die Jahresmitteltemperaturen lagen unter 10°C. In den jeweiligen Späteiszeiten mit zunächst noch kaltem, halbwüstenartigem K. erfolgte im Zuge der Erwärmung die Wiederbewaldung ([Wald](#)) durch zunächst anspruchslose Gehölze wie Birke und Föhre ([Flora](#)). In den beiden letzten Zwischeneiszeiten sowie in der Nacheiszeit (Beginn vor ca. 10'000 Jahren) breiteten sich wärmeliebende Holzarten wie Eiche, Buche, Hainbuche und Hasel rasch aus. Das Temperaturoptimum der letzten Zwischeneiszeit lag im Vergleich zu den heutigen Sommermitteltemperaturen deutlich höher. Das Ende einer Zwischeneiszeit und der Übergang zur nächsten Eiszeit manifestierten sich durch die Ausbreitung von Nadelwäldern (Tanne und Fichte), durch eine erneute Zunahme klimatisch anspruchsloser Holzarten sowie die stärkere Ausbreitung der Gräser und Kräuter.

Die vorletzte Zwischeneiszeit (Mindel/Riss) ist durch eine Phase kühl gemässigten Klimacharakters zweigeteilt. Die zweite Warmphase war eher trockener und etwas kühler. Der Beginn der Riss-Eiszeit ist in mind. vier Warmphasen (wärmere Zeitabschnitte innerhalb einer Eiszeit) kühl-gemässigten Klimatyps mit dazwischenliegenden halbwüstenartigen Kaltphasen (Kaltzeiten innerhalb einer Eiszeit) zu gliedern. Das kalte und trockene Riss-Maximum ähnelte klimatisch dem Würm-Maximum. Die Riss-Späteiszeit war wie die Würm-

Späteiszeit durch einen Wechsel von anfänglich sehr kalt-halbwüstenartigen zu kühl-gemässigten Klimaverhältnissen geprägt. Als charakteristisch für die letzte Zwischeneiszeit gilt das kühl-gemässigte K. mit hoher Niederschlagsmenge, günstig für das Wachstum von Nadel- und Laubwäldern. Anfang und Ende waren von ausgeprägten Erosionsphasen geprägt. In der Hauptphase mit warm-gemässigtem K. dominierten Laubmischwälder. Die Klimaverhältnisse der Hauptphase waren den nacheiszeitlichen ähnlich, jedoch wahrscheinlich durch grössere Schwankungen mit z.T. trockeneren Sommern und milderem Wintern gekennzeichnet.

In der Frühwürm-Eiszeit sind drei Kaltphasen mit kalt-trockenem K., geprägt von Steppentundra mit Birken- und Föhrenbeständen, und drei Warmphasen kühl-gemässigten K.s zu unterscheiden. Am kältesten war die erste Kaltphase, am wärmsten die erste und zweite Warmphase. Die dritte Warmphase dürfte im Vergleich zu den vorangehenden deutlich trockener gewesen sein. Das Mittelwürm kann in mehrere Kalt- und Warmphasen gegliedert werden, wobei das K. kalt-halbwüstenartig bzw. kühl-gemässigt war. Im Vergleich zum Frühwürm dürfte das Mittelwürm eher trockener gewesen sein. Das Würm-Maximum (vor ca. 20'000-18'000 Jahren) war von den grössten Gletscherausdehnungen bei sehr kalt-halbwüstenartigem K. (Jahresmitteltemperatur ca. 12-15°C tiefer als heute) und völliger Waldfreiheit geprägt. Die Sommermitteltemperaturen lagen im Gebiet der Schweiz um rund 8-10°C tiefer als gegenwärtig. Die Jahresniederschlagsmenge dürfte gegenüber heute um ca. 500 mm/Jahr geringer gewesen sein. In der Würm-Späteiszeit erfolgte in mehreren Schüben vor ca. 16'000 Jahren, 14'500 Jahren, 13'000 Jahren und 10'000 Jahren eine signifikante globale Erwärmung.

Während der Spätwürm-Kaltphasen - der sog. Ältesten und Jüngeren Dryas - herrschte in den Alpen kalt-halbwüstenartiges K. vor. In der Ältesten Dryas (vor ca. 17'000-15'000 Jahren) lagen die Jahresmitteltemperaturen um ca. 7-11,5°C tiefer als heute. Die Alpengletscher stiessen mehrmals vor. Nach dem Erwärmungsschub vor 14'500 Jahren stiegen die Julimitteltemperaturen im westl. Mittelland auf ca. 10-12°C. Während der signifikanten Erwärmung vor 13'000 Jahren nahm die Jahresmitteltemperatur im Mittelland innerhalb weniger Jahrzehnte um ca. 4,3-7,2°C zu. In den Warmzeiten der späteiszeitl. Wiederbewaldung Bölling (vor 13'000-12'000 Jahren) und Alleröd (vor 11'700-10'700 Jahren) lagen die Jahresmitteltemperaturen nur etwa um ca. 2-3°C tiefer als heute. Diese beiden klimatisch recht einheitl. Warmphasen wurden durch zwei schwache Kaltphasen voneinander getrennt. In der nachfolgenden Kaltphase der sog. Jüngeren Dryas (vor 11'000-10'000 Jahren) erfolgte vor ca. 11'000 Jahren eine abrupte Abkühlung von ca. 3-4°C innerhalb weniger Dekaden und damit verbunden eine Senkung der Waldgrenze um ca. 200 m. Die durch mehrere Gletschervorstösse gegliederte Jüngere Dryas endete mit einer raschen Zunahme der Jahresmitteltemperatur um ca. 3-5°C innerhalb weniger Jahrzehnte. Zudem gab es allgemein mehr Niederschläge. Im Präboreal, nach dem Ende der letzten Eiszeit vor 10'000 Jahren, verlängerten sich die Vegetationsperioden um ca. 4-5 Wochen, was die Waldgrenze in den Alpen um ca. 400 m ansteigen liess. Die Alpengletscher schmolzen auf neuzeitl. Grössenordnungen zurück.

Autorin/Autor: Conradin A. Burga

2.2 - Von 8000 v.Chr. bis 1200 n.Chr.

Nach diesem raschen Temperaturanstieg wurde eine Periode eingeleitet, die als Nacheiszeit (Postglazial oder Holozän) bekannt ist. Im Vergleich zur vorangegangenen Eiszeit war diese durch bedeutend höhere Temperaturen gekennzeichnet, die mit geringer Amplitude um einen Mittelwert schwankten. Nach heutigem Kenntnisstand wichen die Sommertemperaturen im längerfristigen Mittel um nur plus/minus 0,6 bis 0,7°C von den heutigen ab. Die Temperaturschwankungen innerhalb der geringen Bandbreite von 1,2 bis 1,4°C schlugen sich einerseits in einer Verlagerung der Waldgrenze um plus/minus 100 m gegenüber der heutigen nieder, bewirkten andererseits aber auch, dass die Seespiegel schwankten und die Alpengletscher mehrmals vorstiessen und wieder zurückschmolzen. Analog zu den Temperaturschwankungen bewegten sich diese in der Nacheiszeit innerhalb einer räuml. Bandbreite, die durch das sog. Gletschervorfeld zwischen dem heutigen Gletscherrand und dem Hochstandswall von 1850 bis 1860 gut abgrenzbar ist.

Die Nacheiszeit wird in acht ausgeprägte Kaltphasen gegliedert, die z.T. mehrere hundert Jahre umfassten und durch ausgeprägte Warmphasen voneinander getrennt waren. Die bekannteste nacheiszeitl. Kaltphase war die **Kleine Eiszeit** (ca. 1300-1850), an die sich unsere heutige Warmphase anschloss. Klimageschichtlich kann die Nacheiszeit in zwei Abschnitte unterteilt werden: Nach einer Kaltphase vor ca. 9500 Jahren (Palü-Schwankung) mit Gletscherhochständen folgte vor 9000-5500 Jahren eine mehrere tausend Jahre dauernde Warmphase mit überwiegend geringer Ausdehnung der Alpengletscher (erstes postglaziales Klimaoptimum). Eher schwache Klimaschwankungen innerhalb dieses Wärmeoptimums sind durch die Schams- und die Misoxer-Schwankung dokumentiert (vor 8700-7700 bzw. 7500-6000 Jahren). Im zweiten Abschnitt von vor 5500 Jahren bis heute folgten sich in unregelmässigen und relativ kurzen Abständen vermehrt Kalt- und Warmphasen. Als längster wärmerer Abschnitt heben sich im Anschluss an die Piora Kaltphasen I und II (vor 5200-4500 Jahren) das zweite postglaziale Klimaoptimum (ca. 2900-2250 v.Chr.) und anschliessend als ausgeprägteste Klimaverschlechterung die Lössen Kaltphase (vor 3500-3100 Jahren) ab. Nach einer 200-300 Jahre dauernden Warmphase, dem sog. Optimum der Bronzezeit (ca. 1500/1400-1200 v.Chr.), folgten erneut von Gletschervorstössen begleitete Kaltphasen. Eine erste dauerte von ca. 1200-600/500 v.Chr. (Göschener Kaltphase I). Nach einer längeren Warmphase, dem sog. eisenzeitl./römerzeitl. Klimaoptimum, setzte zwischen 50-100 n.Chr. eine zweite Klimaverschlechterung ein (Göschener Kaltphase II). In dieser Zeit stiessen die Gletscher mind. dreimal kräftig vor, so zwischen 100-300 n.Chr., zwischen 400-600 n.Chr. und vermutlich auch zwischen 750-850 n.Chr. Gegen Ende des 9. Jh. traten wärmere Klimabedingungen ein, die bis zum Beginn der Kleinen Eiszeit andauerten. Diese als ma. Klimaoptimum bezeichnete Warmphase war kurzfristig von einer Klimaverschlechterung mit einer schwachen Gletschervorstossphase um 1100 unterbrochen.

Autorin/Autor: Hanspeter Holzhauser

2.3 - Das Auftreten des Menschen im Eiszeitalter und in der Nacheiszeit

Während der Zwischeneiszeiten lebten im Jura, im Mittelland und in den Voralpen vermutlich Menschen, so z.B. in der Riss/Würm-Zwischeneiszeit in der Region Zürich und im Rheintal bei Basel. Entsprechende Spuren bzw. Funde fehlen jedoch. Während den Eiszeiten war das K. im Bereich der grossen Vereisungen für den Menschen ungünstig. Mit den klimat. Veränderungen und den versch. Gletscherausdehnungen liess sich der Mensch periodisch nieder und zog sich wieder zurück. Streufunde lassen auf erste menschl. Aktivitäten in der Altsteinzeit (vor rund 400'000 Jahren) schliessen. Im Jura, im Mittelland sowie im Rheintal zwischen Schaffhausen und Basel sind Freilandstationen, Höhlen und Abris aus dem Mittelpaläolithikum (vor ca. 130'000-35'000 Jahren) belegt. Jäger lebten in kleinen Gruppen als Nomaden an Seen, Flüssen und in Höhlen.

Vor ca. 50'000-40'000 Jahren ist im Gebiet der Schweiz eine dichtere Besiedlung nachweisbar. Menschen lebten in Freilandstationen, bewohnten Höhlen und Abris und lebten auch in Höhlenstationen in den Alpen (**Paläolithikum**). Sie jagten in den Wäldern, die mit der dazugehörigen **Fauna** (Säugetiere wie z.B. Rentier, Mammut, Wollnashorn) in den Warmphasen entstanden waren. Es ist anzunehmen, dass sie auch Beeren und Früchte sammelten. Auch im Früh- und Mittelwürm war das Gebiet der heutigen Schweiz in den Warmphasen besiedelt. Zur Zeit der grössten Ausdehnung der Gletscher der Würm-Eiszeit mied der Mensch die unwirtl. gletschernahen Bereiche. Im Spätwürm folgte er dem zurückweichenden Eis. Phasen der Wiederbesiedlung erfolgten v.a. vor ca. 12'000-10'000 Jahren.

Zu Beginn der Nacheiszeit bestanden v.a. im Mittelland offene Wasserflächen, Seen und Tümpel, deren Uferbereiche von den Menschen genutzt wurden (**Mesolithikum**). Im **Neolithikum** erfolgte der Übergang von der Sammel- zur Landwirtschaft (Getreideanbau, Haustierhaltung, Waldweide), wobei vorzugsweise an den Seeufern und Flussläufen des Mittellands und Juras sowie im Unter- und Mittelwallis gesiedelt wurde. Nach dem derzeitigen Kenntnisstand der Ur- und Frühgeschichte hatten die nacheiszeitl. Kaltphasen in den Alpen keinen Siedlungsunterbruch zur Folge. In der **Bronzezeit** wurden erstmals Flächen von 1-2 ha überbaut.

Autorin/Autor: Conradin A. Burga

3 - Der Klimaverlauf im Mittelland vom Mittelalter bis in die Gegenwart

Bis um 1300 lagen die Temperaturen im Sommerhalbjahr zeitweise etwas höher als im Durchschnitt des 20. Jh., namentlich im 11. und im 13. Jh. Strenge Winter waren v.a. im 13. Jh. seltener als in der Periode zwischen 1300 und 1900. Feigenbäume gediehen bis auf die geogr. Breite von Köln. Die Alpengletscher waren damals so weit zurückgeschmolzen wie heute. Ein Sturz der durchschnittl. Wintertemperaturen von mehr als 1°C leitete um 1300 die Kleine Eiszeit ein, die durch häufige strenge Winter gekennzeichnet war. Eine Serie nasser und teilweise extrem kalter Sommer (1342-47) liess die Alpengletscher bis um 1380 auf einen Hochstand anwachsen. Ausgeprägte Gletscherhochstandsphasen gab es auch zwischen 1600 und 1670 und zwischen 1820 und 1860. Bis um 1420 lagen die Temperaturen im Sommerhalbjahr um etwa 0,5°C höher als 1901-60, wodurch die Gletscherzungen zurückschmolzen.

Autorin/Autor: Christian Pfister

3.1 - Die Winter- und Frühjahrsperioden

Die Winter blieben bis zum Ende des 19. Jh. mit Ausnahme von wenigen Jahren kälter und erheblich trockener als heute. Hochdruckgebiete etablierten sich relativ häufig und lange über der Nordsee oder über Skandinavien und führten an ihrer Ostflanke kalt-trockene Festlandluft in Form von Bise nach Mitteleuropa. Besonders ausgeprägt trat diese Tendenz im späten 16. Jh., im späten 17. Jh. und um 1890 hervor. In den Extremwintern 1572-73 und 1694-95 waren die meisten Seen im Mittelland zugefroren. Sogar der Thunersee wurde in seiner ganzen Länge mit Schlitten befahrbar. 1572-73 blieb der Bodensee 60 Tage lang mit Eis bedeckt; er begann erst Anfang April aufzutauen. Kleinere Seen wie der Bielersee waren im 18. Jh. jedes zweite oder dritte Jahr zugefroren. Dagegen kamen in dieser Kaltzeit einzelne Winter (u.a. 1529-30) den wärmsten Wintern des 20. Jh. gleich. Die Kirschbäume standen schon Mitte März in Blüte. Nach 1895 ging die Zahl der kalten Wintermonate mit anhaltenden Bisenlagen schlagartig zurück. Diese Erwärmung ist noch als natürl. Übergang von einer Kaltphase zu einer Warmphase zu verstehen, wie sie auch im MA nachgewiesen ist. Zwar fiel das Klimasystem während dieser Erwärmungsphase zeitweilig in alte Muster zurück, z.B. im Winter 1962-63, als der Bodensee und der Zürichsee letztmals zugefroren und für Fussgänger und Fahrzeuge tragfähig waren. Zu Beginn der 1970er Jahre brach eine lange Phase vorwiegend warmer und sehr warmer Winter an. Dies zeigte sich v.a. an der Dauer der Schneebedeckung im Mittelland. In den letzten drei Jahrhunderten lassen sich drei unterschiedl. Niveaus erkennen: 60 Tage Schneebedeckung verkörperten den Normalwert der Kleinen Eiszeit bis um 1895. Im Durchschnitt der Jahre 1895-1987 lag der Schnee während 46 Tagen, auf 27 Tage schrumpfte die Schneedauer in den Jahren 1988-97 zusammen. In den letzten zehn Jahren erreichte die Schneebedeckung nie auch nur den Durchschnitt der Periode 1895-1987. Seit 1901 nahmen die Niederschläge deutlich zu: im Mittelland, im Jura und in Teilen des Wallis bis zu 20%. Dabei wurden die einzelnen Niederschlagsereignisse intensiver, was mit der Ankurbelung des Wasserkreislaufs zusammenhängt.

Die Frühjahrsperioden waren im mittleren Drittel des 16. Jh. nur geringfügig kälter als heute. Nach 1560 sanken die Temperaturen unter dem Einfluss häufiger Bisenlagen in kurzer Zeit um 1°C ab, zugleich wurden die Niederschläge spärlicher. Der Typ des kalten, trockenen Frühjahrs blieb für die Kleine Eiszeit - abgesehen von der Periode 1656-85 - bis 1855 bestimmend. Am häufigsten und extremsten trat er in den 1690er Jahren und 1738-47 auf, als die Temperaturen mittelfristig bis zu 2°C unter dem heutigen Mittel lagen. Neben kalt-trockenen sind auch kalt-feuchte Extreme dokumentiert: So fiel im Mai 1740 im höheren Mittelland fast anhaltend Schnee. In Höhenlagen um 900 m schmolz die Schneedecke erst Anfang Juni. Nach 1840 stiegen die Niederschlagsmengen langfristig an, ab 1855 allmählich auch die Temperaturen. Abgesehen von den 1940er Jahren traten warme Frühjahrsperioden bisher jedoch nicht gehäuft auf.

Autorin/Autor: Christian Pfister

3.2 - Die Sommer- und Herbstperioden

Die Sommer waren im 1. Drittel des 16. Jh. kühl und feucht, im 2. Drittel vorwiegend warm und trocken. Im letzten Drittel waren sie unter dem Einfluss häufiger Staulagen kalt und extrem nass, v.a. im Hochsommer begleitet von Schneefällen in den Bergen. 1555-95 sank die Temperatur in der warmen Jahreszeit um 1,5°C und es fiel 25% mehr Niederschlag. Weit herabreichende Gletscher wie der Untere Grindelwaldgletscher stiessen innert weniger Jahrzehnte um mehr als einen Kilometer weit vor und begruben Heuställe und Wohnhäuser unter sich. 1600-80 pendelten die Sommertemperaturen bei etwas höheren Niederschlägen um den Mittelwert der Jahre 1901-60. Eine Ausnahme bildete eine kühle Zwischenphase in den 1620er Jahren. 1685-1705 dominierten kühl-feuchte Sommer, 1706 dehnte sich das Azorenhoch erstmals wieder für mehrere Wochen nach Mitteleuropa aus. Im 18. Jh. waren die Sommer bis um 1780 mehrheitlich wärmer als im 20. Jh. und teilweise sehr trocken, so in den Jahren 1718, 1719 und 1724. 1812-17 folgten sich unter dem Einfluss von gewaltigen Vulkanausbrüchen (v.a. Tambora 1815) sechs kalte Sommer mit einem Kältemaximum 1816, dem "Jahr ohne Sommer", das die letzte grosse Hungersnot zur Folge hatte. In diesen sechs Jahren wurden erneut weit reichende Vorstösse der Alpengletscher ausgelöst. Bei tiefen Temperaturen blieben die Sommer bis um 1835 eher trocken. Das folgende Wechselspiel kühl-feuchter (1835-55, 1876-95) und warm-trockener (1856-75) Zwanzigjahresperioden spiegelte sich in den Bewegungen der Gletscherzungen und den Konjunkturen des Weinbaus. Im 20. Jh. kam es zu einer für die letzten 500 Jahre einmaligen Häufung warmer und zeitweise sehr trockener Sommer insbesondere in der Periode 1943-52 (**Dürreperioden**). Durchgehend kalte und verregnete Sommer, die zu den bestimmenden Elementen des K.s in den letzten Jahrhunderten gehört hatten, sind seit 1956 nicht mehr belegt.

Die Herbste des 16. Jh. können wie die Sommer in drei Teile gegliedert werden. Das Wärmemaximum lag jedoch schon in den frühen 1530er Jahren und die Abkühlung nach 1570 - verbunden mit mehr Feuchtigkeit - fiel weniger deutlich aus. 1600-1750 pendelten die Temperaturen um den Mittelwert der Jahre 1901-60, die Niederschläge lagen darunter. Um 1750 bahnte sich eine tiefgreifende Änderung der herbstl. Witterung an, indem die Temperaturen langfristig zurückgingen und die Niederschläge um über 25% zunahmen. Abgesehen von einem Unterbruch um 1815-25 blieben die Herbste bis um 1895 sehr nass. Grundlegend veränderte sich diese Jahreszeit um 1920: Die Temperaturen stiegen um etwa 1°C an und die Niederschläge gingen mit wenigen Ausnahmen auf den langjährigen Mittelwert zurück.

Autorin/Autor: Christian Pfister

3.3 - Anomalien der Temperaturen seit 1500

Werden für die letzten 500 Jahre die bedeutenden positiven oder negativen Abweichungen der monatl. Durchschnittstemperatur über alle Monate des Jahres hinweg betrachtet und nach ihrem Niederschlagscharakter gegliedert, lässt sich Folgendes feststellen: In "ruhigen" Zeiten wie z.B. in der Mitte des 16. und des 17. Jh. wurden kaum Anomalien verzeichnet. Dies kann mit den vorwiegend von Westen nach Osten verlaufenden Zirkulationsformen in Zusammenhang gebracht werden. Daneben fallen turbulente Phasen auf, z.B. die Jahre 1676-85, als sich positive und negative Extreme in ausserordentl. Masse häuften. Diese waren Ausdruck einer vorwiegend von Norden nach Süden gerichteten Zirkulationsform. Gesamthaft gesehen lässt sich feststellen, dass kalte und trockene Anomalien im Winterhalbjahr als Ergebnis anhaltender Bisenlagen 1560-1900 häufiger auftraten als vor und nach dieser Zeitspanne. Sprunghafte Wechsel von einem Klimazustand zum anderen lassen sich um 1560 und um 1986 feststellen. Um 1560 kippte das K. auf die kalte, um 1986 auf die warme Seite, wobei die seither anhaltende Tendenz zu warmen Anomalien alles Bekannte der letzten Jahrhunderte in den Schatten stellt.

Autorin/Autor: Christian Pfister

4 - Der Klimaverlauf auf der Alpensüdseite und im zentralen Alpenraum

Für das K. der Alpensüdseite liegen die Werte erst ab 1753 vor. Die Winter waren abgesehen von wenigen Jahren durchwegs kälter und meist trockener als 1901-60. Wie auf der Alpennordseite lag die kälteste Phase in den frühen 1890er Jahren. Um 1970 war ein markanter Anstieg der Temperaturen zu beobachten. Die

Frühjahrsperioden waren bis um 1835 kälter als auf der Alpennordseite und trocken, dann stiegen die Temperaturen deutlich an, während sie auf der Alpennordseite bis um 1860 weiterhin tief blieben. Markantere Unterschiede zeigten sich in den Sommern, die zwischen 1760 und 1835 durchwegs um 1-2°C zu kalt waren. Dann erreichten die Temperaturen fast das Niveau der Jahre 1901-60. Kühle, aber trockene Sommer häuften sich in den Jahren 1960-90. Die markantesten Veränderungen traten im Herbst auf: Die sprunghafte Zunahme der Niederschläge in den Jahren 1835-80 stand in unmittelbarem Zusammenhang mit der Häufigkeit der schweren Überschwemmungen. Um 1940 stiegen die Temperaturen mit Verspätung auch auf der Alpennordseite um etwa 0,5°C an.

Die Zunahme der **Überschwemmungen** auf der Alpensüdseite und im zentralen Alpenraum am Ende des 20. Jh. warf die Frage nach dem Zusammenspiel natürl. und anthropogener Einflüsse auf. Um dies abzuklären, sind möglichst lange Beobachtungsreihen notwendig. Dies gilt auch für Naturkatastrophen, die regelmässig zwischen dem 20. August und dem 10. November auftreten. Sie stehen im Zusammenhang mit der Entstehung von Tiefdruckgebieten über dem Golf von Genua. Diese sog. Kaltluftpropfen steuern warme und feuchte Luftmassen aus dem noch erwärmten Mittelmeer gegen die Alpen und erreichen immer die gleichen Gebiete. In den vergangenen 500 Jahren traten solche Ereignisse mit unterschiedl. Häufigkeit auf. Perioden mit geringer Überschwemmungshäufigkeit waren 1641-1706 und 1876-1975, solche mit grosser Überschwemmungshäufigkeit 1550-80 und 1827-75. Die Überschwemmungen am Ende des 20. Jh. bewegen sich demgemäss noch innerhalb der natürl. Variabilität des K.s.

Autorin/Autor: Christian Pfister

5 - Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die Agrargesellschaften

Auf Grund der bis heute gesicherten Kenntnisse können die Auswirkungen von Klimavariationen auf Agrargesellschaften (bis ca. 1860) untersucht werden. Dabei ist davon auszugehen, dass die gesamte, weitgehend auf der Produktion von Biomasse (Nahrungsmittel, Futtermittel, Holz) beruhende Nahrungs- und Wärmeproduktion dieser Gesellschaften von der Abfolge der erforderlichen klimat. Konstellationen abhing. Die Unstetigkeit dieser Verhältnisse schlug sich in heftigen Schwankungen der Getreidepreise nieder, die den mittelfristigen Verlauf der Konjunktur bestimmten. Zur Verminderung von Produktions- und Existenzrisiken hatten diese Gesellschaften eine Reihe von Pufferstrategien entwickelt (Ersatzprodukte, Mischsorten, horizontale und vertikale Streuung, Vorratshaltung). Bei der Festlegung von Kriterien zur Definition von "günstigen" bzw. "ungünstigen" Perioden ist einerseits von Optimaljahren auszugehen, in denen alle Zweige der Landwirtschaft - Getreidebau, Weinbau, Obstbau, Vieh- und Milchwirtschaft - gute Erträge erbrachten, andererseits von Fehljahren, die alle Produktionszweige in Mitleidenschaft zogen.

Generell beeinflussten Wärme und Sonnenschein in den Frühjahrsmonaten bei ausreichender Feuchtigkeit die Erträge bei allen Kulturen sowie die Viehzucht grundsätzlich positiv, Kälte und anhaltende Nässe durchwegs negativ. Als besonders ungünstig auf die Preisentwicklung wirkten sich ein grosses Wärmedefizit in den Frühjahrsmonaten (März und April) sowie hohe Niederschläge im Hochsommer (Juli) aus. Dies gilt v.a., wenn sie kumulativ und/oder in mehreren aufeinanderfolgenden Jahren eintraten. Kälte und lange Schneebedeckung oder übermässige Nässe im Frühjahr hielten das Wachstum des Grases zurück, erstickten die Saat, verhinderten die Obstblüte und schoben den Beginn der Grünfütterung hinaus. Anhaltende Niederschläge und Sonnenmangel im Juli liessen das Getreide auswachsen, die feuchten Körner litten in den Speichern unter Schimmel und Insektenfrass. Im Futter fehlte es an Nährstoffen, was im folgenden Winter die Milchleistung auf den Alpen und den Ertrag des Viehs drückte. Die Trauben verrieselten und kamen kaum zur Reife, die Weinernte war spärlich und das Gewächs sauer.

Die meisten Teuerungen und **Hungersnöte** der letzten Jahrhunderte (u.a. 1529-30, 1570-71, 1586-87, 1627-28, 1688-89, 1692-93, 1770-71, 1816-17, 1851-52) sind auf die Kombination dieser Faktoren zurückzuführen. Katastrophale Fehljahre dieser Art waren Ausdruck lang anhaltender Grosswetterlagen, die weite Teile Mitteleuropas in ähnl. Weise trafen. In manchen Perioden traten positive (z.B. 1531-65, 1818-44)

und negative (z.B. 1566-1600, 1679-1720) Klimaeinflüsse gehäuft auf. Dies trug zur Entspannung oder Verschärfung sozialer Probleme bei und wirkte sich über veränderte Stimmungslagen gemeinsam mit anderen Faktoren auch auf Kultur, Politik und Gesellschaft aus.

Autorin/Autor: Christian Pfister

6 - Das Klima der Zukunft

Die Wissenschaft ist nach wie vor weit davon entfernt, das globale Klimasystem in seiner ganzen Komplexität zu verstehen. Ob sich die Witterungs- und Klimabedingungen durch menschl. Einflüsse künftig ausserhalb des bisher gewohnten Rahmens bewegen werden, ist auf Grund der grossen natürl. Variabilität nur schwer zu beurteilen. Die Klimatologie spricht deshalb von Klimaprojektionen, wenn sie in die Zukunft blickt. Dabei handelt es sich um Modelle zur mögl. künftigen Entwicklung des K.s. Klimaprojektionen sind deshalb niemals Klimaprognosen im Sinne von Vorhersagen.

Die Diskussion über die Klimaänderung schliesst immer auch die Frage ein, ob unser zukünftiges Klima stärker von Extremereignissen geprägt sein wird. Im Alpenraum stehen diese primär in Verbindung mit Wasser: Starkniederschläge, sei es in Form von Regen, Schnee oder auch Hagel, verursachen regelmässig grosse Schäden. Verlässl. Abschätzungen des zukünftigen Niederschlagsverhaltens im Alpenraum sind heute für die Jahreszeiten Herbst, Winter und Frühling, nicht aber für den Sommer verfügbar. Sie zeigen, dass eine Erwärmung um 2°C im Winterhalbjahr zu einer markanten Zunahme von starken Niederschlagsereignissen führen kann. Ereignisse mit einem Tagesniederschlag von 30 mm dürften um 20% bis 30% ansteigen. Die Häufigkeit von Niederschlägen geringer Intensität bleibt indessen praktisch unverändert. Die Alpensüdseite ist von dieser Entwicklung speziell betroffen.

Falls sich der nordatlant. Bereich in Zukunft stärker erwärmt als der trop. Atlantik, muss über Europa mit einer Abschwächung der Westwindzirkulation gerechnet werden. Entsprechend werden die Bewegungen der Tiefdrucktröge und Hochdruckrücken langsamer und ihre Einflussdauer auf ein Gebiet länger. Extremniederschläge mit katastrophalen Folgen wie im Jahr 2000 in Gondo werden somit wahrscheinlicher. Die mit einer Erwärmung verbundene Verkürzung der Schnee- bzw. Verlängerung der Regenbedingungen würde die Wahrscheinlichkeit für Hochwasserereignisse zusätzlich erhöhen.

Zur zukünftigen Entwicklung von sommerl. Hagelschlägen in der Schweiz liegen weniger klare Befunde vor. Weder die mittlere Sommertemperatur noch die mittlere saisonale Niederschlagsmenge korrelieren mit der Anzahl von starken Hagelereignissen. In der jüngsten Vergangenheit sind jedoch diejenigen Typen von Wetterlagen signifikant häufiger geworden, welche die meisten Fälle von schlimmen Hageltagen verursachen. Ein Trend, dass starke Hagelunwetter häufiger werden, lässt sich jedoch nicht nachweisen. Auf Grund des heutigen Erkenntnisstands kann nur gesagt werden, dass bei erhöhten Sommertemperaturen mit einer Zunahme der Hagelaktivität gerechnet werden muss.

Die winterl. Sturmentwicklung in der Schweiz ist wie die Entwicklung der Starkniederschläge weitgehend an die Ereignisse im Nordatlantik gebunden (Stürme). Seit 100 Jahren nehmen die Wintersturmereignisse in der Schweiz ab. Dies aber nicht, weil eine allg. Temperaturzunahme eine zunehmend ausgleichende Wirkung auf den atlant. Raum hat, sondern weil sich die Sturmtiefs offenbar seit einiger Zeit auf nördlicheren Bahnen bewegen. In Nordeuropa haben sich die Zyklonen entsprechend intensiviert. Bei einer in Zukunft starken Erwärmung der nördl. Breiten gelten die gleichen Schlussfolgerungen wie im Falle der mögl. Entwicklung von extremen Niederschlagsereignissen. Die Schweiz gelangt im Winter wieder vermehrt in den Einflussbereich aktiver Wettersysteme als Folge der häufigeren Ausbildung von Tiefdrucktrögen über Europa. Es ist davon auszugehen, dass dann die Sturmaktivität in der Schweiz wieder zunimmt. Für katastrophale Ereignisse wie die Stürme Vivian (1990) und Lothar (1999) müssen aber wie bei starken Hagelschlägen einige Faktoren optimal zusammenspielen. Wie häufig solche Kombinationen sein werden, ist nicht abzuschätzen, weil sie nach den bisherigen Erkenntnissen in grossem Masse zufällig sind. Alles in allem ist die Annahme realistisch, dass eine globale Temperaturzunahme zu einer Aktivierung oder Intensivierung der Witterungsabläufe im

Alpenraum führt. Aussagen zur zukünftigen Häufigkeit von extremen Ereignissen sind aber nach wie vor kaum möglich.

Da anthropogene Einflüsse auf die klimat. Entwicklung immer deutlicher werden, ist das K. auch ein polit. Thema geworden. Seit den späten 1980er Jahren wird der Klimaschutz als Folge seiner globalen Dimension - im Zentrum steht die Frage der Erderwärmung - auf internat. Konferenzen thematisiert, wobei die UN-Conference on Environment and Development (Unced) von 1992 in Rio de Janeiro, an der die Klimakonvention verabschiedet wurde, eine bedeutende Rolle spielte. Die Schweiz hat an den seit 1995 jährlich stattfindenden Klimagipfeln teilgenommen und sich zu einer Reduktion der Treibhausgas-Emissionen (**Umwelt**) bereit erklärt.

Autorin/Autor: Stephan Bader

Quellen und Literatur

Literatur

- E. Le Roy Ladurie, *Histoire du climat depuis l'an mil*, 1967 (⁴1989,)
- M. Welten, *Pollenanalyt. Untersuchungen im Jüngeren Quartär des nördl. Alpenvorlandes der Schweiz*, 1982
- H. Holzhauser, *Zur Gesch. der Aletschgletscher und des Fieschergletschers*, 1984
- C. Pfister, *Das K. der Schweiz von 1525-1860*, 2 Bde., ³1988
- M. Welten, *Neue pollenanalyt. Ergebnisse über das jüngere Quartär des nördl. Alpenvorlandes der Schweiz (Mittel- und Jungpleistozän)*, 1988
- *Atlas of Paleoclimates and Paleoenvironments of the Northern Hemisphere*, hg. von B. Frenzel et al., 1992
- S. Wegmüller, *Vegetationsgeschichtl. und stratigraph. Untersuchungen an Schieferkohlen des nördl. Alpenvorlandes*, 1992
- G. Lang, *Quartäre Vegetationsgesch. Europas*, 1994
- H. Holzhauser, «Gletscherschwankungen innerhalb der letzten 3200 Jahre am Beispiel des Grossen Aletsch- und des Gornergletschers», in *Gletscher im ständigen Wandel*, 1995, 101-122
- S. Bader, P. Kunz, *Klimarisiken - Herausforderung für die Schweiz*, 1998
- C.A. Burga, *Vegetation und K. der Schweiz seit dem jüngeren Eiszeitalter*, 1998
- C. Pfister, *Wetternachhersage*, 1999
- F.D. Meyer, *Rekonstruktion der Klima-Wachstumsbeziehungen und der Waldentwicklung im subalpinen Waldgrenzökoton bei Grindelwald*, 2000
- H. Wanner et al., *Klimawandel im Alpenraum*, 2000