

4. Klimageschichte

In diesem Kapitel wird die Klimageschichte der letzten 1000 Jahre chronologisch dargestellt. Im ersten Unterkapitel wird die ganze Zeitspanne anhand von Temperaturrekonstruktionen und Modellsimulationen dargestellt. Ausgehend vom klassischen Schema „Medieval Warm Period“, „Little Ice Age“ und „Greenhouse Effect“ wird die aktuelle Diskussion umrisst und mögliche Forcing-Faktoren quantifiziert. Daneben wird auf spezielle Klimaschwankungen eingegangen. Das zweite Unterkapitel betrifft die letzten 350 Jahre, für welche bereits einige frühinstrumentelle Messreihen vorliegen. Hier stehen insbesondere das „Late Maunder Minimum“, das „Dalton Minimum“ sowie grosse Vulkanausbrüche (Laki 1783, Tambora 1815) im Zentrum. Das dritte Unterkapitel betrifft die letzten 150 Jahre, eine Periode, für welche globale Messungen von der Erdoberfläche vorhanden sind. Das letzte Unterkapitel betrifft schliesslich die letzten 25 Jahre, für welche Satellitendaten vorhanden sind.

4.1. Das Klima der letzten 1000 Jahre

Wenn vom Klima der letzten 1000 Jahre die Rede ist, so bezieht sich dies meist auf die Temperatur der Nordhemisphäre und die aktuelle Frage wie die gegenwärtige (und zukünftige) Klimaerwärmung angesichts der Schwankungen des letzten Jahrtausends einzuordnen ist. In diesem Kapitel gehen wir auf diese Fragestellung ein und diskutieren Temperaturrekonstruktionen und Modellsimulationen. Anschliessend werden einige spezielle Klimaschwankungen der Zeit vor 1700 diskutiert: Dürren in Nordamerika, der Ausbruch des Huaynaputina sowie die Abkühlung in Mitteleuropa im 16. Jahrhundert. Dabei werden auch die Auswirkungen auf Wirtschaft und Gesellschaft kurz dargestellt.

4.1.1. Methoden

Das Klima der letzten 1000 Jahre kann nur durch indirekte Methoden untersucht werden. Aus einigen Regionen existieren historische Quellen (vgl. Fig. 63), namentlich aus Europa und China. In China wurden insbesondere phänologische Merkmale seit 3000 Jahren beobachtet. Für die meisten Regionen der Erde bleiben aber nur die natürlichen Archive. Die Zeitauflösung ist damit limitiert und meistens nur jährlich oder im besten Fall saisonal. In der Regel sind das Baumringe, Korallen, Sedimente oder Eisbohrkerne. Aus diesen Daten werden Mitteltemperaturen für gewisse Regionen oder für die gesamte Nordhemisphäre mit statistischen Methoden rekonstruiert. In selteneren Fällen werden auch Temperaturfelder rekonstruiert, doch ist dafür die räumliche Datendichte meist nicht gegeben.



Fig. 63: Historische Quelle bilden eine wichtige Grundlage für die Klimarekonstruktion (aus Glaser, 2001).

Ein weiteres Werkzeug zum Studium des Klimas der letzten 1000 Jahre sind Klimamodelle. Angetrieben werden die Simulationen mit den besten vorhandenen Schätzungen der externen Forcingfaktoren: Vulkanismus, Sonnenvariabilität, Treibhausgase. Direkte Vergleiche mit Rekonstruktionen sind deshalb nur auf der niederfrequenten Skala möglich.

4.1.2. Der Temperaturverlauf der Nordhemisphäre

Die klassische Sichtweise des Temperaturverlaufs der letzten 1000 Jahre geht zurück auf Arbeiten von H. H. Lamb in den 1960er Jahren, welche sich auf historische Quellen aus West- und Mitteleuropa stützten. Er fand Hinweise für eine wärmere Periode im Mittelalter (1000-1200), eine graduelle Abkühlung, eine kalte Periode zwischen ungefähr 1550 und 1850 und eine Erwärmung in der jüngsten Zeit (Fig. 64). Die Perioden wurden seither in der Literatur als Medieval Warm Period und Little Ice Age (Kleine Eiszeit) bezeichnet und durch zahlreiche weitere Arbeiten aus diesem Raum bestätigt (vgl. Fig. 65).

Die auf Lamb zurückgehende, aus heutiger Sicht relativ einfache Sichtweise des Klimas der letzten 1000 Jahre wirft viele Fragen auf. Zum einen stellt sich heute im Zusammenhang mit der Diskussion über den anthropogenen Treibhauseffekt die Frage, wie warm die mittelalterliche Wärmeperiode tatsächlich war. War das Klima wärmer als heute? Das liesse sich als Argument gegen die Existenz einer anthropogenen Erwärmung missbrauchen. Das ist zwar ein schlechtes Argument, aber Arbeiten welche zum Schluss kommen, dass es damals möglicherweise gleich warm war wie heute werden von den entsprechenden Gruppierungen auf diese Weise ausgeschlachtet. In diesem Zusammenhang ist ein anderes Schema von Interesse: die „Hockey stick“ Kurve von Mann, Bradley und Hughes (vgl. Fig. 64). Sie basiert auf Rekonstruktionen der Temperatur der nördlichen Aussertropen seit 1400 und zeigt eine graduelle Abkühlung bis 1850 und danach eine sehr steile Zunahme der Temperatur. Diese Temperaturkurve wurde im IPCC-Bericht verwendet und ist damit gewissermassen die „offizielle“ Temperaturkurve (vgl. auch Fig. 66). Die Kurve zeigt nur geringe Abweichungen im Hochmittelalter.

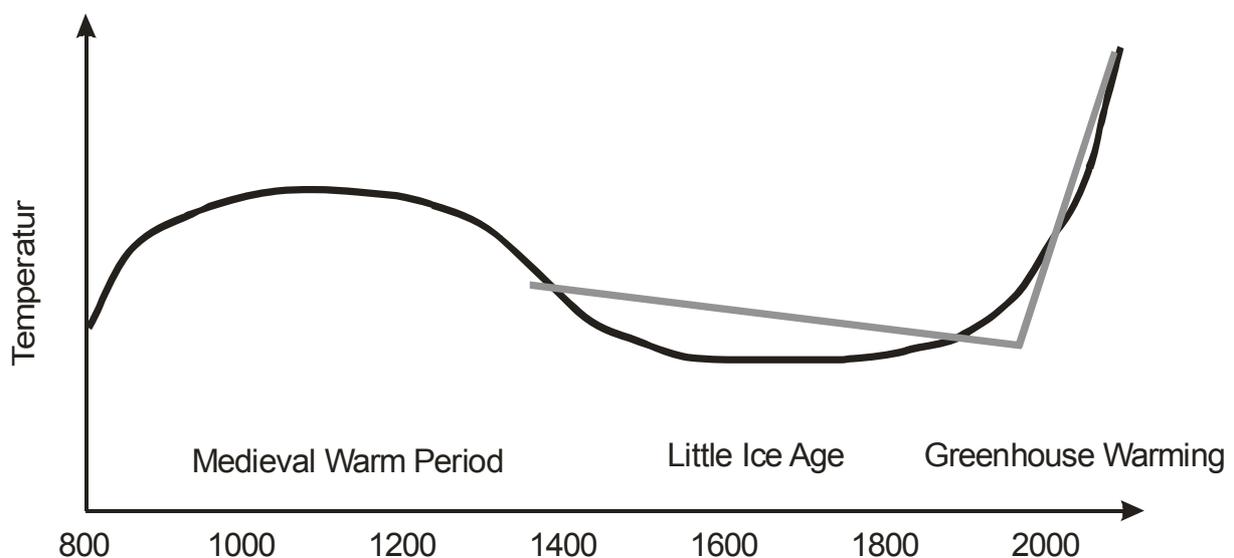


Fig. 64: Klassische Sicht der Klimageschichte der letzten 1000 Jahre, welche auf H. H. Lamb zurückgeht (schwarze Kurve) sowie die „Hockey stick“ Kurve des IPCC (Mann/Bradley/Hughes) (schematisch).



Fig. 65: Teppich aus Frankreich, 15. Jahrhundert mit Ernteszene (links), Gletschergemälde von Jakob Ciancani, 19. Jahrhundert.

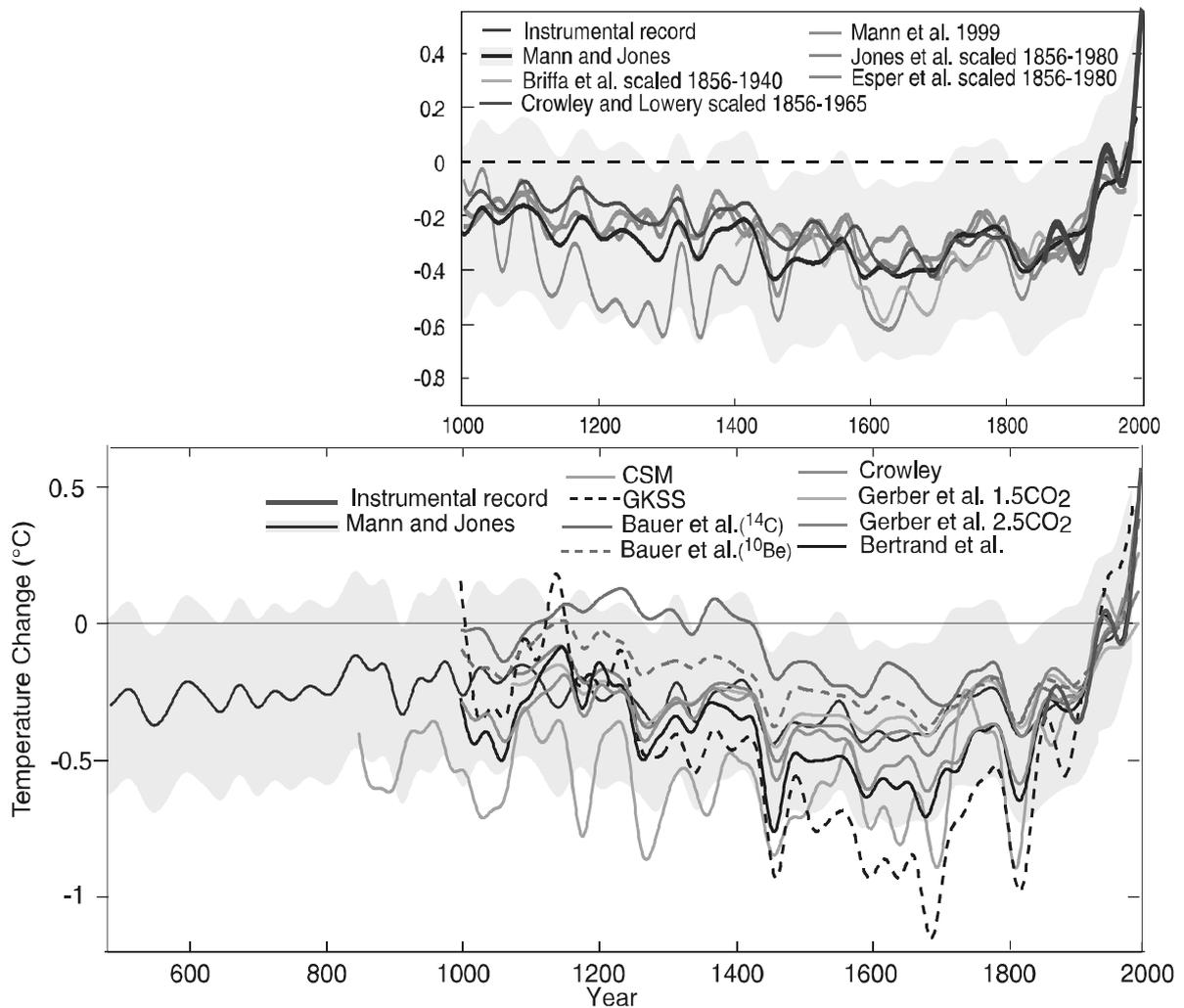


Fig. 66: Temperatur der Nordhemisphäre aus verschiedenen Rekonstruktionen (oben) und Modellrechnungen (unten) (aus Mann und Jones, 2004).

Die zweite (mit der ersten verwandte) Frage betrifft die räumliche Repräsentativität des Konzepts Medieval Warm Period und Little Ice Age. Lamb bezog sich in seiner Arbeit nur auf Westeuropa. In zahlreichen Arbeiten über andere Räume wurde zwar seither auf die Medieval Warm Period verwiesen, oft ist aber höchst unklar, ob es sich um das gleiche Phänomen handelt. Oft wurden Warmperioden zwischen 800 und 1500 in regionalen Temperaturreihen einfach pauschal der Medieval Warm Period zugerechnet. Tatsächlich ist nicht klar, ob die Medieval Warm Period ein hemisphärisches oder sogar globales Phänomen war oder ob es sich um eine regionale, auf Europa beschränkte Klimaschwankung handelte. Ähnliches gilt für die Little Ice Age.

Figur 66 zeigt oben verschiedene Rekonstruktionen der Temperatur der Nordhemisphäre seit 1000. Zwischen den Rekonstruktionen bestehen noch grosse Unterschiede. Einige zeigen eine Medieval Warm Period, andere nicht. Nur wenige der niederfrequenten Merkmale erscheinen in allen Reihen. Die Unsicherheiten sind sehr gross. In der unteren Figur dargestellt sind Ergebnisse von Modellsimulationen, welche mit den bekannten Forcingfaktoren (Sonne, Vulkanismus, Treibhausgase) angetrieben wurden (Fig. 67). Ein direkter Vergleich mit den Rekonstruktionen ist nur im niederfrequenten Bereich möglich. Interessant ist, dass die Modelle tendenziell eine stärkere Medieval Warm Period zeigen als einige der Rekonstruktionen.

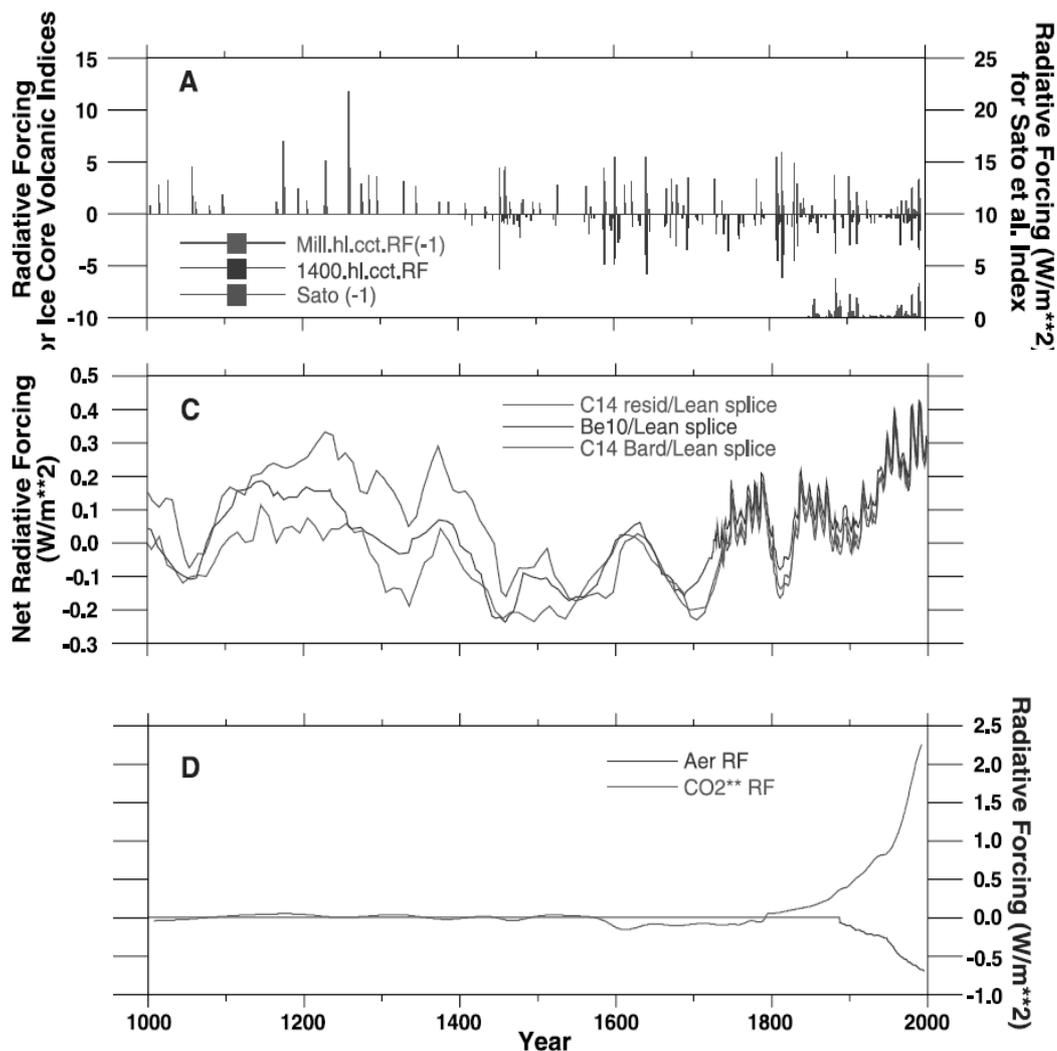


Fig. 67: Forcings für die letzten 1000 Jahre. Oben: verschiedene Datensätze für das vulkanische Forcing (das Vorzeichen ist immer negativ und wurde aus grafischen Gründen für eine der Reihen umgedreht). Mitte: Verschiedene Datensätze für das solare Forcing. Unten: Forcing durch Treibhausgase und Aerosole (aus Crowley, 2000).

Diese Diskussion ist noch nicht beendet, sowohl von der Modellseite als auch von den Rekonstruktionen sind in den nächsten Jahren Fortschritte zu erwarten. Zur Zeit muss die Frage, ob es sich bei der „Medieval Warm Period“ und der „Little Ice Age“ um globale oder regionale Phänomene handelt, noch offen bleiben. Sicher ist bei der Verwendung der Begriffe Vorsicht am Platz.

4.1.3. Dürren in Nordamerika

Im Zusammenhang mit grossräumigen Klimaschwankungen interessieren uns weniger die globalen Temperaturschwankungen als deren räumliche Variabilität und damit verbundene klimatische Abweichungen. Ein sehr interessantes Thema sind dabei Dürren in Nordamerika. Einige starke Dürren sind aus den letzten Jahrzehnten bekannt, so die „Dust Bowl“ Dürren der 1930er Jahre, die Dürren der 1950er Jahre und diejenige seit 1998, welche in Teilen der USA immer noch anhält (vgl. Kapitel 4.3). Manche Klimaszenarien gehen davon aus, dass solche Dürren in der Zukunft als Folge des menschengemachten Treibhauseffekts häufiger und stärker werden könnten. Deshalb besteht grosses Interesse daran, mehr über Dürren in der Vergangenheit zu erfahren.

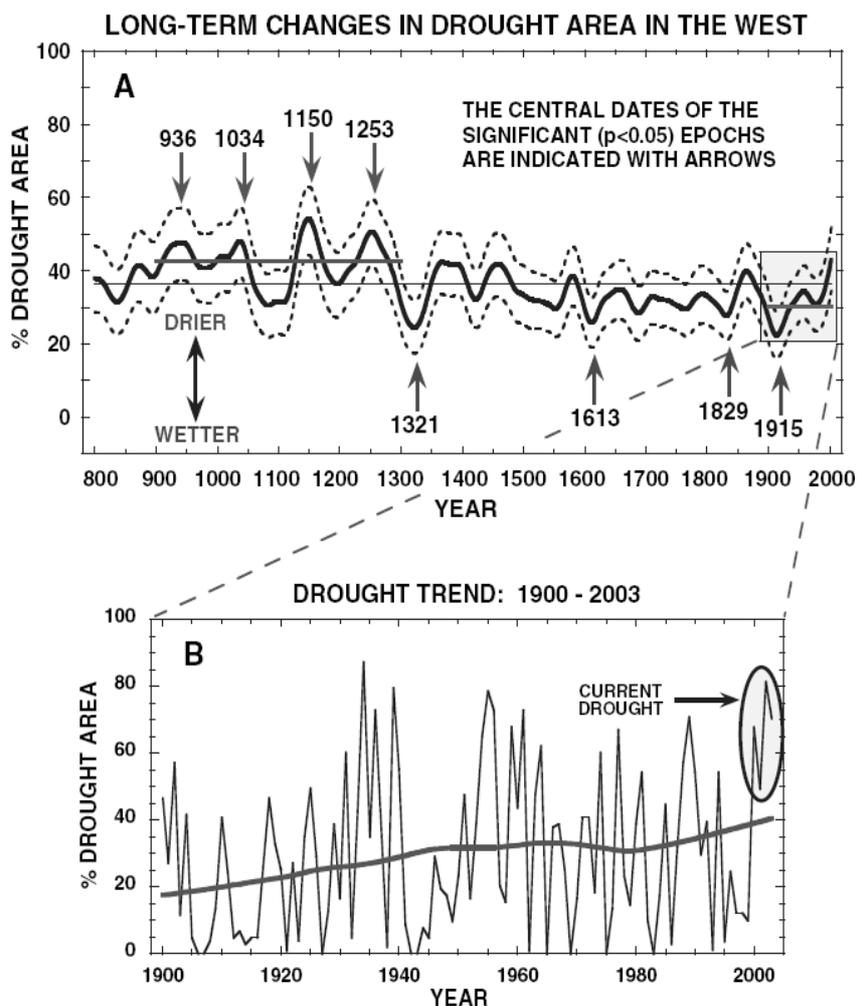


Fig. 68: Von Dürre betroffene Fläche im Westen der USA aus Baumringen rekonstruiert (oben, geglättet) und aus Messungen des 20. Jahrhunderts (Cook et al., 2004).

Es ist einsichtig, dass sich biologische Proxies wie Baumringe besonders gut eignen, um Dürren zu rekonstruieren. Figur 68 zeigt eine auf Baumringdaten beruhende Rekonstruktion der von Dürre betroffenen Fläche im Westen der USA seit 800 (oben) und entsprechende Messungen für das 20. Jahrhundert. Interessant ist, dass das 20. Jahrhundert mit den erwähnten Dürren die feuchteste Periode der letzten 1200 Jahre war! Meistens war es trockener und im Mittelalter (10.-12. Jahrhundert) gab es in diesem Raum „Megadürren“: starke Dürren, welche zum Teil Jahrzehnte andauerten. Es ist möglich, wenn auch unter Archäologen umstritten, dass die letzte dieser Dürren eine der Ursachen dafür war, dass die Anasazi-Indianer im Südwesten der USA um 1300 ihre zum Teil während Jahrhunderten bewohnten Siedlungsplätze Regionen verliessen und hunderte von Felsruinen zurückliessen (Fig. 69). Jedenfalls waren diese Dürren noch um einiges stärker als die uns bekannten.



Fig. 69: Cliff Dwelling der Anasazi im Canyon de Chelly, Arizona. Die Anasazi verschwanden aus vielen Regionen im 13. Jahrhundert – Dürren könnten eine Rolle gespielt haben.

Auch im 16. Jahrhundert gab es in ganz Nordamerika starke Dürren, mit möglicherweise grossen Auswirkungen. Die Dürren um die Jahrhundertmitte haben möglicherweise zur Ausbreitung der von den spanischen Eroberern eingeschleppten Krankheitserreger beigetragen. Diesen Krankheiten, für welche die Ureinwohner keine Immunität entwickelt hatten, fielen in Mexiko in kurzer Zeit 90% der Bevölkerung zum Opfer (ungefähr 20 Millionen Menschen starben!). Niederschlagsrekonstruktionen aus Baumringen (vgl. Fig. 70) bestätigen, dass die Epidemien in mit einer „Megadürre“ zusammenfielen. Starke Dürren gegen Ende des 16. Jahrhunderts haben wohl auch dazu beigetragen, dass die erste englische Kolonie in der Neuen Welt (in Roanoke, Virginia) scheiterte.

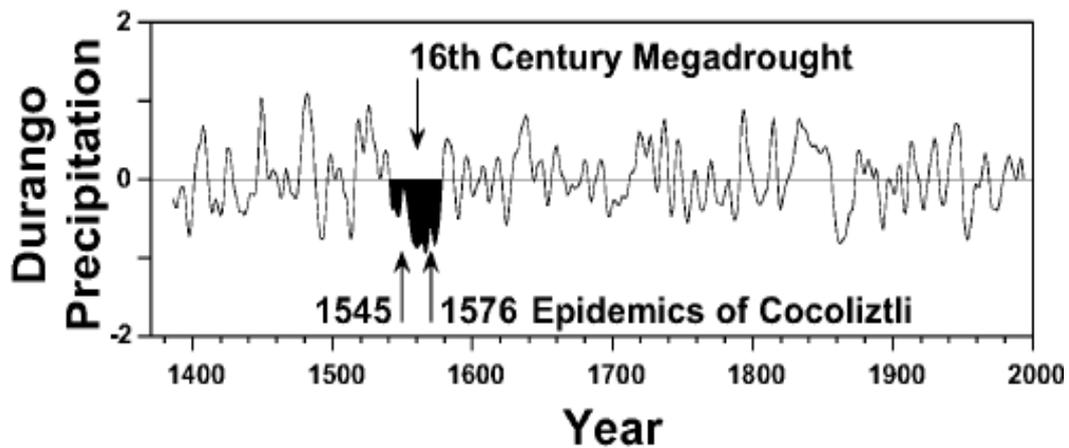


Fig. 70: Niederschlagsrekonstruktionen für Durango, Mexiko, und Ausbruch von Cocoliztli Epidemien (Acuna-Soto et al., 2002).

4.1.4. Vulkanismus: Der Ausbruch des Huaynaputina 1601

Temperaturrekonstruktionen aus Baumringen zeigen eine starke Anomalie im Jahr 1601 (Fig. 71). Der kälteste Sommer der Nordhemisphäre der letzten 600 Jahre war in diesem Jahr. Grund dafür war höchstwahrscheinlich ein starker tropischer Vulkanausbruch im Jahr davor. Der Huaynaputina in Peru brach damals aus, mit einem geschätzten Tephravolumen von 10 km^3 . Dass der Vulkanausbruch auch die Stratosphäre beeinflusste, belegen zahlreiche Schilderungen von optischen Phänomenen aus vielen Teilen der Welt (Island, Skandinavien, Mitteleuropa, China), zum Teil noch drei Jahre nach dem Ausbruch des Vulkans. Auch findet sich in Eisbohrkernen ein sehr starker Peak des Sulfatgehalts. Regionale Temperaturreihen zeigen eine Abkühlung fast in allen Gebieten der nördlichen Aussertropen, für welche Daten verfügbar sind, am stärksten im Mittelmeerraum und dem Nordwesten der heutigen USA.

Das späte 16. und frühe 17. Jahrhundert waren eine Zeit starken vulkanischen Forcings (vgl. Fig. 67).

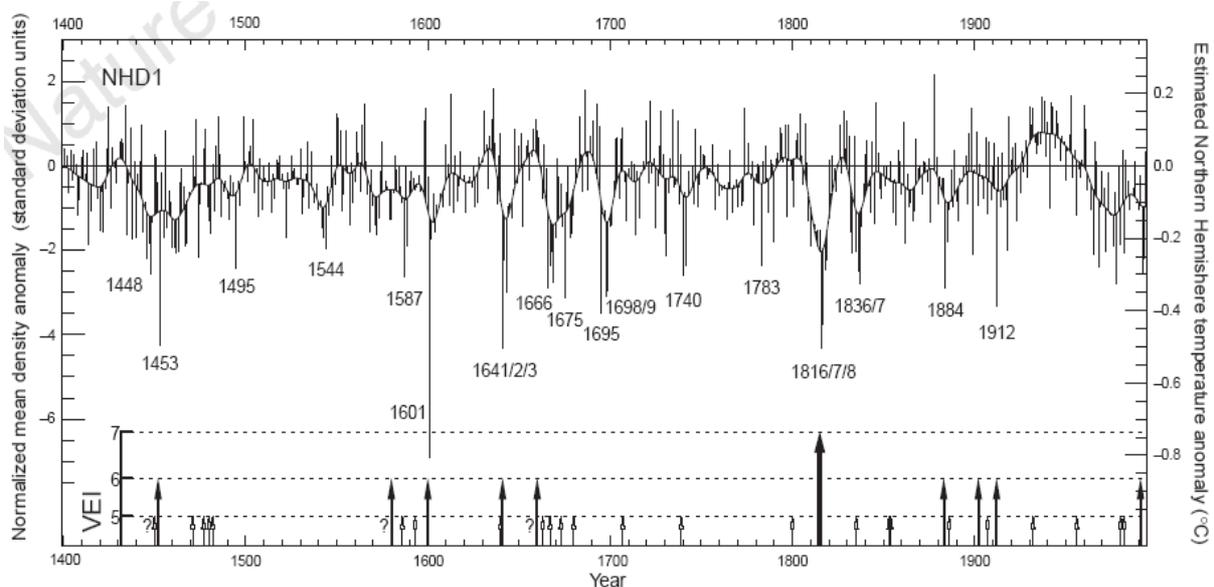


Fig. 71: Aus Baumringen rekonstruierte Temperatur der Nordhemisphäre (oben) sowie geschätzter Volcanic Explosivity Index (unten) (Briffa et al., 1998).

4.1.5. Klimaschwankungen in Mitteleuropa: Die Abkühlung im späten 16. Jahrhundert

Ungefähr zur gleichen Zeit (2. Hälfte des 16. Jahrhunderts) verschlechterte sich das Klima in Mitteleuropa, der erste Höhepunkt der „Kleinen Eiszeit“. Figur 72 zeigt Temperaturschätzungen für Mitteleuropa aus historischen Quellen. Die Abkühlung am Ende des 16. Jahrhunderts (Pfeil) war markant und betrug ungefähr $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

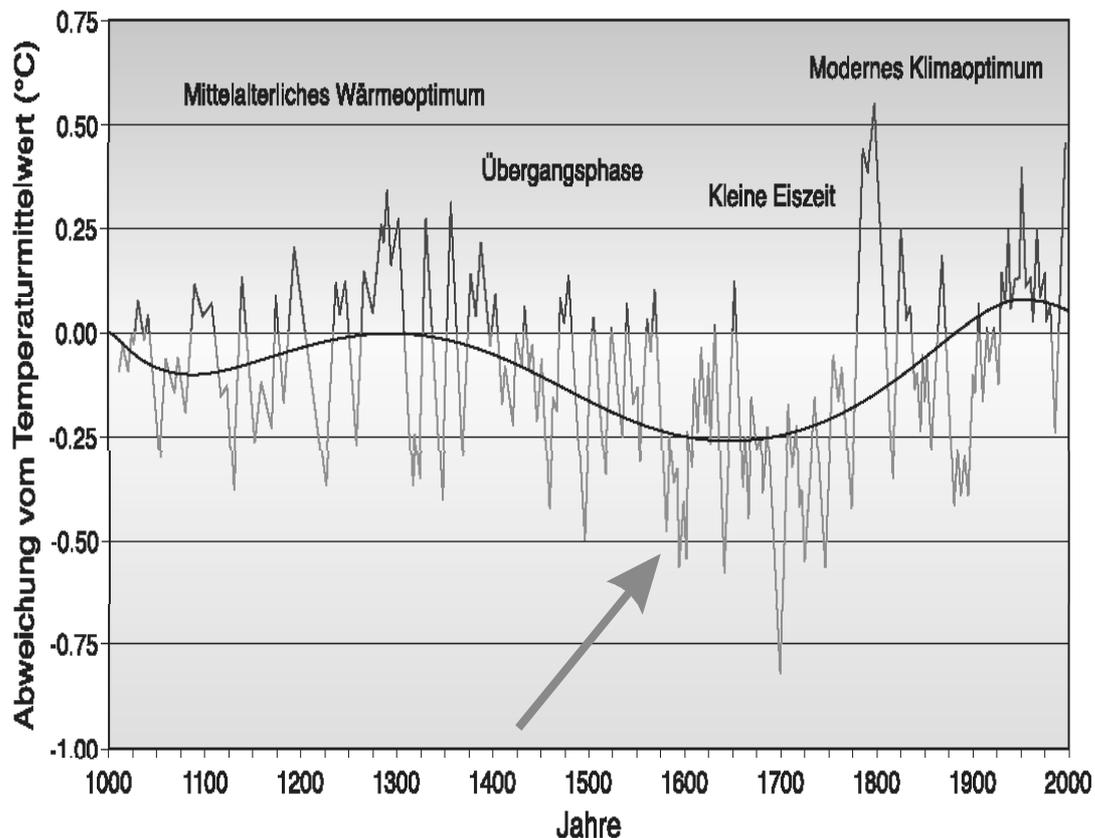


Fig. 72: Temperatur in Mitteleuropa (31-jähriger gleitender Mittelwert und tiefpassgefilterte Kurve, aus Glaser, 2001). Der Pfeil zeigt die Abkühlung am Ende des 16. Jahrhunderts.

Die Klimaverschlechterung ging einher mit häufigeren Überschwemmungen, auch in der Schweiz. Sündenböcke für das schlechte Klima waren schnell gefunden: die Hexen. Man vermutete, dass Hexen das Wetter verändern können. Die 2. Hälfte des 16. Jahrhunderts war die Zeit der häufigsten Hexenverbrennungen (vgl. Fig. 73). Europaweit wurden mehrere Zehntausend Hexen verbrannt.

Die Ursachen der Klimaverschlechterung sind nicht bekannt. Auf eine Verminderung der Sonnenaktivität gibt es keine Hinweise. Die häufigeren Vulkanausbrüche könnten dazu beigetragen haben, doch dürfte diese alleine wohl kaum ausgereicht haben. Möglicherweise waren Veränderungen in den Ozeanen die Ursache für diese Abkühlung, doch gibt es dafür keine Hinweise.



Fig. 73: Flugblatt zu einer Hexenverbrennung in Derneburg im Jahr 1555.