

2. Wie kam der Ötzi ins Eis? Paläoklima: Methoden, Erkenntnisse und Lehren

Im Jahre 1991 sorgte ein Leichenfund in den Ötztaler Alpen für internationales Aufsehen, aber nicht kriminalistisches Interesse stand hierbei im Vordergrund. Es stellte sich heraus, dass diese Leiche, heute als Ötzi bekannt, seit mehr als 5000 Jahren im Gebirgseis eingeschlossen war. Besonders interessant war dieser Fund für Historiker, da durch die Eiskonservierung der ganze Körper samt Bekleidung erhalten war und geborgen werden konnte.

Aber auch in klimatologischer Hinsicht ist dieser Fund bemerkenswert. Er zeigt auf, dass es vor 5000 Jahren möglich war zu Fuß die Alpen in Höhen von über 3000 m zu überqueren. Dies ist nur denkbar, wenn die Alpen damals bis hoch hinauf besiedelt und genutzt wurden und die Wege nicht durch Schnee- und Eisfelder unpassierbar waren. Also muss es zu jener Zeit deutlich wärmer gewesen sein als heute. Da die Leiche so gut erhalten ist, bedeutet es aber auch, dass Ötzi bald nach seinem Tod eingeschneit wurde und innerhalb der letzten 5000 Jahre nie wieder auftaute. Erst der Gletscherrückgang der letzten 150 Jahre hat die Leiche wieder freigegeben.

Nicht nur der »Fall« Ötzi erinnert uns an die Wechselhaftigkeit des Klimas. Die Besiedlung Grönlands und die Entdeckung Amerikas durch die Wikinger zeugt von einer mittelalterlichen Warmzeit im nordatlantischen Raum. Die letzten großen Gletschervorstöße der Alpen in der Mitte des 19. Jahrhunderts kennzeichnen das Ende der »kleinen Eiszeit«, die ganz Europa über einige Jahrhunderte hinweg immer wieder Kälteperioden beschert hat. Begeht man sich in geologische Zeiträume, die Millionen Jahre überblicken, so scheint es überhaupt ein permanentes Auf und Ab der Temperaturen zu geben: Es gibt das Eiszeitalter mit seinen Kalt-

und Warmphasen oder die milden Temperaturen zur Zeit der Dinosaurier und der Kohlewälder des Karbons. Die Einteilung der Erdgeschichte in Epochen wie Trias, Jura usw. wird abgeleitet aus Veränderungen, die sich in den Gesteinsarten, Sedimentablagerungen und Ähnlichem widerspiegeln. Diese Veränderungen waren auch häufig mit klimatischen Verschiebungen verbunden.

Liegt es also in der Natur des Klimas, sich immer wieder zu verändern? Um dies beantworten zu können, muss man sich mit der Definition des Begriffs »Klima« beschäftigen und verstehen, wodurch das Klima beeinflusst wird.

Es hat schon viele Versuche gegeben den Begriff »Klima« zu definieren. Gemeinsam ist allen, dass sie versuchen »normale« oder »mittlere« Verhältnisse in einer Region zu beschreiben. Das Maß dafür, was als »mittlere« Verhältnisse zu verstehen ist – also über welchen Zeitraum man die Verhältnisse betrachtet –, ist nahe-liegenderweise der Mensch. Alles, was wir selbst schon erlebt haben, beeinflusst unser Verständnis von »normal« und »extrem«. Eventuell kann man noch die Erlebnisse der Eltern- und Großel-terngeneration, von denen uns berichtet wurde, dazuzählen. Damit ergibt sich als Mittelungszeitraum eine Zeitspanne von einigen Jahrzehnten bis zu einem Jahrhundert. In der Meteorologie versteht man heute unter dem Begriff »Klima« die statistischen Eigenschaften von meteorologischen Elementen wie Temperatur, Niederschlag etc., ermittelt über 30 Jahre. Dieser Definition liegt implizit die Annahme zugrunde, dass das Klima sich in dieser Zeitspanne nicht ändert und man daher einen mittleren Zustand, aber auch die Abweichungen von diesem Zustand, beschreiben kann. Begibt man sich jedoch in geologische Zeiträume von Tausenden oder gar Millionen von Jahren, werden langsam wirkende Prozesse relevant, die weit jenseits der menschlichen Zeitskala liegen. In diesen Zeiträumen ist das Klima jedenfalls nicht mehr konstant. Aber auch die sehr rasch ablaufenden Veränderungen des letzten Jahrhunderts bringen die Klimadefinition in Schwierigkeit, da man selbst in der kurzen Zeitspanne von einigen Jahrzehnten nicht mehr von konstanten Bedingungen sprechen kann.

Andere Klimadefinitionen beinhalten neben rein meteorologischen Elementen auch Angaben über die Tier- und Pflanzenwelt, die Verfügbarkeit von Wasser und Ähnliches. Damit ist man aber bereits mitten in der Problematik: Was beeinflusst unser Klima? Treibende Kraft für unser Wetter und Klima ist die Sonne. Wie sich deren Energie jedoch über die ganze Erde verteilt und regional auswirkt wird durch ein vielfältiges Zusammenspiel verschiedenster Medien und Bereiche bestimmt. Man verwendet heute gern den Begriff der Sphären um dies zu verdeutlichen. Das Klima ergibt sich also aus dem Energieeintrag der Sonne und der Wechselwirkung zwischen Atmosphäre (Luft), Hydrosphäre (Wasser, Wasserdampf), Lithosphäre (Boden), Kryosphäre (Eis) und Biosphäre (Tiere und Pflanzen). Erst die Interaktion der verschiedenen Prozesse, die in und zwischen den Sphären ablaufen, führt zur globalen Verteilung jener meteorologischen Kenngrößen wie Temperatur und Niederschlag, die üblicherweise gemessen werden.

Die verschiedenen Prozesse in den einzelnen Sphären sind durch ihre unterschiedlichen Geschwindigkeiten charakterisiert. In der Atmosphäre laufen alle Prozesse relativ rasch ab. Die Bandbreite reicht von Millisekunden, die ein Blitz benötigt um die Erde zu erreichen, bis hin zu einigen Monaten, wie etwa die Dauer des Monsuns in Asien. Am langsamsten reagiert die Lithosphäre, in der Prozesse, wie Gebirgsbildung oder Kontinentaldrift Millionen Jahre benötigen bevor sie klimatisch wirksam werden.

Die Sonne selbst, der einzige Energielieferant für das Klimasystem, unterliegt auch Schwankungen, wie etwa dem Sonnenfleckenzyklus und der Sonnenaktivität. Diese kurzfristigen Schwankungen (einige Wochen bis Jahre) haben aber energetisch so wenig klimawirksame Auswirkungen, dass man bei der Energieabstrahlung der Sonne von der »Solarkonstante« spricht. In Zeiträumen von Millionen bis Milliarden von Jahren macht die Sonne jedoch eine Entwicklung durch, in der sich die abgestrahlte Energiemenge verändert und das Erdklima beeinflusst.

Für die Energiebilanz der Erde und damit für das Klimasystem besonders wichtig ist die Lage der Kontinente. Die Erde befindet

sich deshalb gerade in einem Eiszeitalter, weil große Landmassen sich am oder in der Nähe der Pole befinden. Liegt ein Kontinent – wie derzeit die Antarktis – über dem Pol, so kühlt er durch die monatelange Polarnacht stark aus, und Niederschlag fällt nur als Schnee. Da Schnee rund 90 Prozent der eingestrahlten Sonnenstrahlung reflektiert, kann sich der Kontinent auch am Polartag erst dann erwärmen, wenn der Schnee geschmolzen ist. Die während der Tageszeit aufgenommene Energie reicht nicht aus, um die nächtliche Abkühlung zu kompensieren. Mit der Zeit vereist der Kontinent und die Sonnenenergie, die am Polartag auf ihn fällt, wird großteils in das Weltall reflektiert. Sie ist für das Klimasystem Erde verloren. Diesen Prozess nennt man Schnee-Albedo-Rückkopplung. Am Nordpol selbst liegt derzeit zwar kein Kontinent, aber die großen Landmassen von Asien, Europa und Nordamerika haben dazu geführt, dass ein Großteil des arktischen Meeres das ganze Jahr über vereist ist und daher ähnlich wirkt wie eine Landmasse. Kommt ein Meer über dem Pol zu liegen, kann sich keine Schneedecke bilden, und der Aufschaukelungsprozess der Schnee-Albedo-Rückkopplung bleibt aus. Da sich die Landmassen durch die Kontinentaldrift nur im Zentimeterbereich pro Jahr bewegen, dauert es jeweils Millionen von Jahren, bis sich klimarelevante Verschiebungen ergeben.

Die Land/Meer-Verteilung und die Gebirgsbildung sind ebenfalls wichtige Klimafaktoren. Da Wasser weniger Sonnenenergie reflektiert als Boden oder Vegetation, wird dem Klimasystem mehr Energie zugeführt, je größer der Anteil der Wasserfläche an der Gesamtoberfläche ist. Derzeit bestehen rund zwei Drittel der Erdoberfläche aus Wasser. Über lange geologische Zeiträume hinweg waren jedoch weite Teile der Kontinente von seichten Meeren bedeckt, wie etwa zur Zeit der Dinosaurier. Der Anteil der Wasseroberfläche war also noch größer als heute. Die Land/Meer-Verteilung hängt mit der Gebirgsbildung zusammen, und auch diese Prozesse benötigen Hunderttausende bis Millionen von Jahren um klimawirksam zu werden.