

## KLIMA IM WANDEL DER ZEITEN

Der derzeitige Klimawandel gab frühzeitig Anlass zur intensiveren Untersuchung früherer Klimaänderungen und ihren möglichen Ursachen. Dadurch hat sich das Verständnis vom Klimasystem Erde wesentlich verbessert. Mess- und Beobachtungsreihen von Klimaparametern reichen nur wenige Jahrhunderte zurück und werden mit dem zeitlichen Abstand zu heute zunehmend lückenhafter und ungenauer. Dies gilt ähnlich auch für wesentlich weiter in die Vergangenheit zurückreichende Rekonstruktionen von Klimaparametern, sogenannte Proxy-Daten zum Beispiel aus Baumringen, Korallen, Kalkschalen, Tropfsteinhöhlen, Eisbohrkernen oder See- und Ozeansedimenten sowie anderen geologischen Klimaarchiven. Klimaproxy's müssen in der Regel instrumentell kalibriert werden, um quantitative Daten vergangener Klimazustände zu gewinnen, wie Temperaturen, Zusammensetzung der Atmosphäre, Sonneneinstrahlung usw. Zum Verständnis der Zusammenhänge leisten auch Klima- und Erdsystemmodelle einen wesentlichen Beitrag.

### *Klimaänderungen in der frühen Erdgeschichte*

In den „Kindertagen“ der Erde vor über vier Milliarden Jahren hatte die Strahlung unserer Sonne nur etwa 70 % der heutigen Intensität. Dennoch liefern Analysen geologischer Formationen keinen Hinweis auf eine großflächige Vereisung der Erde über einen Zeitraum etwa der ersten zwei Milliarden Jahre. Dies lässt sich durch einen sehr hohen Treibhauseffekt der jungen Atmosphäre erklären, mit anfangs hohen Anteilen an Kohlendioxid und später Methan.

Neben geologischen und vulkanischen Prozessen spielten biologische Stoffwechselprozesse von Mikroben eine zunehmende Rolle bei Klimaänderungen in der Erdgeschichte. Schon vor 3,7 Milliarden Jahren haben erste einzellige Lebewesen mittels Photosynthese Kohlendioxid verbraucht und Sauerstoff produziert. Beim Treibhauseffekt wurde der Rückgang an Kohlendioxid in der Atmosphäre durch den von Mikroben bewirkten Anstieg von Methan kompensiert. Der produzierte Sauerstoff reicherte sich erst vor etwa 2,3 Milliarden Jahren in der Atmosphäre spürbar an. Als eine Folge gingen der Anteil an Methan in der Atmosphäre und damit der Treibhauseffekt zurück und es kam zu den ersten globalen Vereisungen.

Dass die Erde seitdem nicht als „Schneeball“ endete, verdanken wir dem Vulkanismus und mikrobiellen Prozessen. Mikroben haben das Klima auf der Erde entweder als „Heizer“ oder als „Kühler“ geändert.\* „Heizer“ haben durch die Produktion von Methan den Treibhauseffekt erhöht, „Kühler“ ihn durch Einbau von Kohlenstoff aus der Atmosphäre in Kalkschalen verringert. Der Mensch ist also nicht die erste Spezies, die an der „Klimaschraube“ dreht. Im Unterschied zu jenen Mikroben hat der Mensch aber die Möglichkeit, die möglichen Konsequenzen seiner Eingriffe in das Klimasystem zu erkennen und sein Handeln danach auszurichten.

### *Das Klima im Auf und Ab der Eiszeiten*

Der wichtigste Faktor für ein lebensfreundliches Klima auf der Erde ist die Sonneneinstrahlung. Diese hat sich, wie oben erwähnt, im Laufe der Jahrtausende allmählich erhöht, zeigt aber quasiperiodische Schwankungen.

Neben den Schwankungen der Leuchtkraft der Sonne selbst, Stichwort „Sonnenflecken“, sind quasiperiodische Veränderungen der Erdbahnparameter Auslöser von Klimaänderungen. Diese Parameter sind die Exzentrizität der Erdbahn um die Sonne, die Obliquität (Schiefe) der Erdachse und ihre Präzession (Richtungsänderung der Rotationsachse). Die früheren und auch die zukünftigen Veränderungen dieser astronomischen Parameter sind bekannt.

Die vergleichsweise kleinen Schwankungen der Sonneneinstrahlung hätten an sich nur geringfügige Temperaturänderungen auf der Erde zur Folge. Die Reaktionen darauf von Atmosphäre, ozeanischen

Strömungen und anderen Teilen des Klimasystems können jedoch den Effekt verstärken und so das beobachtete Auf und Ab der Temperaturen während der Eiszeiten erklären.

Mehrere Übergänge von Phasen großflächiger Vereisung zu interglazialen Warmperioden erfolgten relativ rasch in Sprüngen von wenigen tausend Jahren. Der Prozess wurde wahrscheinlich durch Abtauen von Eisflächen eingeleitet, was eine rasche Erwärmung durch die verringerte Albedo zur Folge hatte, gefolgt von einer langsamer ablaufenden Verstärkung durch Anstieg der Treibhausgase. Inzwischen lassen sich Klimaveränderungen der letzten Eiszeiten mit Klimamodellen ansatzweise nachvollziehen.

### *Das relativ stabile Klima der jetzigen Warmzeit*

Im Vergleich zum stark schwankenden Eiszeitklima ist das Klima im Holozän der letzten zehntausend Jahre relativ stabil, vergleichbar mit der letzten warmen Interglazialzeit vor etwa 120.000 Jahren. Als Stabilitätsfaktor werden Regelprozesse vermutet, die in nach der Eiszeit entstandenen Feuchtgebieten wirksam wurden. Diese Stabilität der klimatischen Bedingungen ist ein wesentlicher Faktor für die agrarische Basis von erfolgreichen Zivilisationen.

Doch auch die relativ kleinen Temperaturschwankungen im Holozän und in der Geschichte machten sich durchaus in ihren Auswirkungen bemerkbar. So wird zum Beispiel eine Klimaänderung vor etwa 6000 Jahren mit der Vergrößerung der Wüste Sahara in Verbindung gebracht, was wiederum das Entstehen der Hochkulturen an Euphrat und Tigris oder am Nil begünstigt haben könnte.

Temperaturrekonstruktionen der letzten 2000 Jahre auf der Nordhalbkugel beschreiben sehr unterschiedliche und wechselnde regionale Klimaverhältnisse. Der Übergang von einer Warmperiode zur Hochzeit des Römischen Reiches zu etwas kühleren Verhältnissen könnte Auslöser der Völkerwanderung gewesen sein.

Alle Daten belegen auch, dass es heute wärmer ist als zur Warmzeit im Mittelalter. Dennoch finden sich immer noch gegenteilige Behauptungen in nichtwissenschaftlichen Publikationen. Für die Klimaänderung von der mittelalterlichen Warmzeit zur sogenannten kleinen Eiszeit findet man in historischen Dokumenten eine Vielzahl von Hinweisen für deutliche und teilweise dramatische Auswirkungen von Klimaänderungen auf unsere Zivilisation.\*\* Diese historisch belegten Auswirkungen zusammen mit den zugehörigen rekonstruierten Klimadaten sind Untersuchungsgegenstand der Klimafolgenforschung.

Der derzeitige anthropogen verursachte Klimawandel vollzieht sich innerhalb von Jahrzehnten mit Temperaturänderungen, für die in den letzten Eiszeiten Jahrhunderte erforderlich waren. Geht die globale Erwärmung mit dieser beispiellos hohen Geschwindigkeit weiter, besteht unter anderem die Gefahr einer erneuten Instabilität des Klimasystems.

\* Kasting, J. F. (2004). Als Mikroben das Klima steuerten, in: Spektrum, 9, S. 62-68. Verfügbar unter: <https://www.spektrum.de/magazin/als-mikroben-das-klima-steuerten/839578> [Stand: 21.05.2019]

\*\* Glaser, R. (2001). Klimageschichte Mitteleuropas: 1000 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen, Darmstadt: Primus Verlag.