

## **20000 Jahre Klimawandel und Kulturgeschichte – von der Eiszeit in die Gegenwart -**

*Verunsichert durch Meldungen über zunehmende Sturmtätigkeit, Hochwasserbedrohung oder Dürre bangt die Menschheit einer "Klimakatastrophe" entgegen. Der Geist ist aus der Flasche, und er ist so schnell nicht wieder hineinzuzwingen: Gemeint sind die noch nicht zu bestimmenden Ausmaße und Folgen eines eskalierenden Einsatzes fossiler Kohlenwasserstoffe (= über lange Zeiträume gespeicherte Sonnenenergie) und eines radikalen Landschaftsverbrauchs in geologisch kürzesten Zeiträumen. Damit verbunden ist eine mögliche Temperaturerhöhung, die in ihrer synergetischen Wirkung auf das globale Klimasystem und seine Dynamik nur schwer zu fassen ist.*

Rekonstruktionen des Klimas in immer feinerer zeitlicher Auflösung sollen helfen, Ursache und vor allem Wirkung klimatischer Veränderungen besser zu verstehen und prognostische Vorstellungen zu entwickeln. Aus der Physischen Geographie sowie der Geologie und Paläontologie stammten bereits aus dem 19. Jahrhundert Hinweise auf teils drastische klimatische Veränderungen auch in der jüngsten erdgeschichtlichen Entwicklung, v. a. die Wechselfolge von Eiszeiten und Warmzeiten – anfänglich verbunden mit recht abenteuerlichen Vorstellungen [1]. Inzwischen ist (Paläo-) Klimaforschung zum zentralen Objekt zahlreicher Wissenschaftszweige geworden. Auch am Lehrstuhl für Physische Geographie der Universität Stuttgart werden einschlägige Fragen bearbeitet.

Der folgende grobe Überblick beleuchtet u. a. eine ungewohnte Facette des Faches Geographie – die Schnittstelle der Paläoklimatologie mit der Kulturgeschichte und der historischen Siedlungsforschung. Der Blick geht zurück in eine Zeit, als die Welt noch nicht so drangvoll eng war. (Die erste Milliarde Menschen dürften etwa um das Jahr 1820 erreicht worden sein.) Folglich erscheint die Be-

troffenheit gegenüber Naturkatastrophen geringer, das Risiko stärker im Raum verteilt. Das Maß der Abhängigkeit von physisch-geographischen Determinanten in der Nahrungssicherung war aber weit gewichtiger als in einer Zeit technologisch unterstützter oder gar substituierter Lebensmittelproduktion mit Kunstdünger, Treibhäusern und teils unartgerechter Massentierhaltung. Die Grenzen der Ökumene, die Wurzeln des heutigen Siedlungsmusters, "Völkerwanderungen", Hochkulturen usw. stehen meist in kausalem Zusammenhang mit dem Naturpotenzial. Letzteres bestimmt "Gunst-" und "Ungunstfaktoren". Diese wiederum stehen in starker Abhängigkeit vom Klima als ökologischem Regelfaktor. Zwar soll hier keine pauschalierende Determinismus-Lehre verfolgt werden, doch auf die unterschätzte Tragweite selbst kleiner klimatischer Fluktuationen verwiesen werden, innerhalb derer klimatische Variabilitäten zusätzliche Stress- oder Gunstsituationen zur Folge haben. Als solche Variabilitäten innerhalb einer Klimaperiode können in Trockengebieten beispielsweise die biblischen "sieben fetten oder mageren Jahre" betrachtet werden.

*"KLIMA ist die für einen Ort, eine Landschaft oder einen größeren Raum typische Zusammenfassung der erdnahen und die Oberfläche beeinflussenden atmosphärischen Zustände und Witterungsvorgänge während eines längeren Zeitraumes in charakteristischer Verteilung der häufigsten, mittleren und extremen Werte."* (J. BLÜTHGEN 1966)

Laufende Untersuchungen zur jüngeren und jüngsten Klimageschichte zeigen, dass es immer die wärmeren Phasen waren, in denen es dem Menschen gut ging, seine Lebensumstände angenehmer und seine kulturellen Entwicklungsmöglichkeiten größer waren. (Im Hinblick auf ein anthropogen verstärktes "Global

### **Aufrechter Gang durch Trockenheit?**

Das wohl älteste Beispiel für die Interdependenz Mensch – Klima mag in der menschlichen Evolution selber zu sehen sein. Die Umstellung der ostafrikanischen Vor- und Frühmenschen (Ramapithecus; Australopithecus) auf den aufrechten Gang seit ca. 12 Millionen Jahren wird häufig mit der Savannisierung in Verbindung gebracht – der Entstehung von offenen, baumdurchsetzten Graslandschaften, wie sie heute für Teile der trockenen Tropen typisch sind [2]. Diese lösten regional mehr oder minder geschlossene Waldlandschaften ab als Folge der sich seit dem Miozän (ca. 20 Millionen Jahre) vollziehenden allmählichen Abkühlung des gesamten Globus. Ursache der weltweiten Abkühlung ist der Kontinent Antarktika, mit dessen plattentektonischer Drift in eine polare Lage seine Vereisung initiiert wird und nach erfolgter Isolierung von den übrigen Südkontinenten der circum-antarktische Kaltwasserstrom seine Fernwirkung in die angrenzenden Ozeanbecken ausüben

Warming" und seine Folgen in einer überbevölkerten Welt muss diese positivistische Aussage jedoch in Frage gestellt werden.) Andererseits ist in klimatischen Krisensituationen häufig ein Stimulanz für technologische Innovationen und Anpassungsstrategien erkennbar.

kann. Zu einer Zeit, als Antarktika seinen bis heute persistenten Eispanzer aufbaute, herrschte auf dem gesamten übrigen Globus ein "tropoides" Warm-Klima mit Waldvegetation – u. a. Lebensraum der Hominiden-Vorfahren in Afrika. (Noch während des älteren und mittleren Tertiärs wurden auf Spitzbergen aus Sumpfwäldern Kohlelagerstätten gebildet. Heute herrscht hier ein baumloses Polarklima.)

Das Herunterkühlen der Atmosphäre vollzog sich vor allem über Meeresströmungen im Rahmen globaler Konvektionssysteme. Es führte zu einer zunehmenden Aridisierung der Kontinente und damit zur Entstehung "offener" Landschaften wie Savannen, Steppen oder Wüsten. Die Vor- und Frühmenschen als auf den tropischen Bäumen lebende Primaten mussten zumindest zeitweilig von ihren Nahrungsspendern herabsteigen, um zu den nächsten zu gelangen. Der Weg führte durch hohe Gräser – ein Grund, sich aufzurichten, um den lebenswichtigen Überblick zu erhalten -

eine noch umstrittene Hypothese, aber nicht ohne Logik. Die Ausbreitung der Hominiden erfolgte von Afrika aus. Ihre Migration nach Eurasien wurde durch offene Landschaften sicherlich erleichtert.

**Klima der Jetztzeit- stabil oder labil?**

Eine Retrospektive in die jüngste und bedeutsamste Phase menschlicher Entwicklung beginnt meist 20000 – 18000 Jahre vor heute zur Zeit des letzten Hoch-Glazials, dem Höhepunkt der Würm- oder Weichsel-Kaltzeit/-Eiszeit. Daran schließt sich die bis heute anhaltende Warmzeit / Interglazial an, das sog. Holozän

(Beginn 10200 Jahre vor heute; s. Abb. 1), in der sich entscheidende kulturelle und siedlungsgeschichtliche Entwicklungen einstellten. Diese Periode von etwa 10000 Jahren gilt unter Klimaforschern als klimatisch ausgesprochen stabil und von bemerkenswert langer Dauer: Eisbohrkerne und Analysen von Meeressedimenten belegen immer deutlicher, dass das gesamte Eiszeitalter (Beginn vor 2,4 Millionen Jahren) gekennzeichnet war durch häufigen Klimawandel, nicht selten durch rapide "Sprünge". Zehn Jahrtausende klimatischer Stabilität in einem Interglazial wie der Jetztzeit erscheinen als bemerkenswerte Seltenheit.

Jahre vor heute	Jüngerer Subatlantikum	P o s t g l a z i a l		
1000	Älteres Subatlantikum		EISENZEIT	
2800	Subboreal		BRONZEZEIT	
4800	Jüngerer Atlantikum		NEOLITHIKUM = JUNGSTEINZEIT	
6000	Älteres Atlantikum		MESOLITHIKUM = MITTL. STEINZEIT	
7500	Boreal			
8800	Präboreal			
10200	Jüngerer Dryas			
11000	Alleröd		S p ä t g l a z i a l	PALÄOLITHIKUM = ALT-STEINZEIT
11800	Ältere Dryas			
12000	Bölling			
13000	Älteste Dryas			
ca. 15000 ?	..... Würm - Hochglazial	Hochglazial		

Abb. 1: Zeitskala und kulturgeschichtliche Gliederung des jüngeren Pleistozäns

Betrachtet man jedoch die Klimaentwicklung in höherer zeitlicher Auflösung und versucht, das Augenmerk auch auf weniger dramatische Fluktuationen mit entsprechend kleinerer Amplitude zu lenken, so wird eine signifikante "Instabilität" sichtbar und ihre Auswirkungen auf menschliche Aktivitäten wie die Ausbreitung und Veränderung der Ökumene betont. Die genauere Rekonstruktion solcher Klimafluktuationen, ihre hochauflösende zeitliche Einordnung und die Abschätzung ihrer Wirkung auf die Kultur- und Siedlungsgeschichte oder die Änderung von natürlichen Ökosystemgrenzen (z. B. Wüstengrenzen) ist ein Teil der Forschungen am Institut für Geographie der Universität Stuttgart. Im Kontext dieses Überblicks sollen einige ausgewählte globale Beispiele angesprochen werden.

Vor 10 Jahren wurde die von Stuttgart aus organisierte und koordinierte dreijährige "*Geowissenschaftliche Spitzbergen-Expedition*" (SPE 90-92) abgeschlossen. An ihr nahmen insgesamt 150 Wissenschaftler/-innen verschiedener geographischer, geologischer und biowissenschaftlicher Disziplinen teil,

die 17 Teilprojekten angehörten [3, 4]. Eines der Teilprojekte widmete sich der Untersuchung von auch gegenwärtig beobachtbaren Gletscherschwankungen in der Hohen Arktis seit dem Ende der letzten Eiszeit. Es zeigte sich ein überraschendes Ergebnis: Hier in den nördlichsten Landmassen der Erde erwartete man eigentlich eine recht stabile Klimasituation. Eine intensive geomorphologische Spurensuche und Grabungstätigkeit förderte datierbare Ablagerungen zu Tage, vor allem Humus-Horizonte, die beweisen, dass allein in den letzten 3600 Jahren die hochpolaren Gletscher Nord-Spitzbergens mindestens siebenmal kräftige Vorstöße und entsprechende Rückschmelzphasen erlebt haben (s. Abb. 2). Diese Schwankungen blieben innerhalb der Reichweite, die das Rückschmelzen der Gletscher seit dem Jahr 1850 – dem Ende der "*Kleinen Eiszeit*" vollzogen haben (Abb. 4). Hierbei muss es sich zwangsläufig um natürlich induzierte Klimaschwankungen handeln. Interessant ist nun die Frage, wie diese Fluktuationen ausgelöst werden und ob es sich hier um nur regional oder um global wirksame Schwankungen handelt.

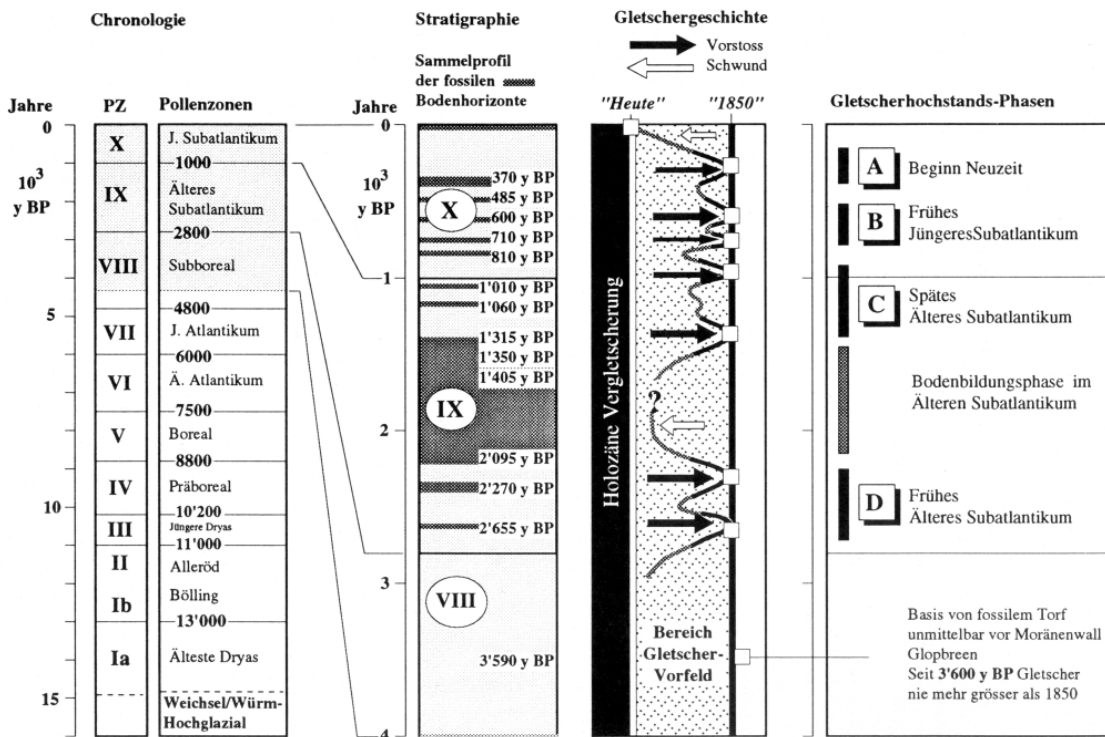


Abb. 2: Absolute <sup>14</sup>C-Altersdatierungen an fossilen Humushorizonten belegen zahlreiche Gletscherschwankungen in der Hohen Arktis Spitzbergens (ca. 80°N) allein im Zeitraum der letzten viertausend Jahre (nach Furrer, aus Blümel 1992). Die Pfeile in der dritten Spalte symbolisieren die Zeiten mit Gletschervorstößen in diesem Raum.

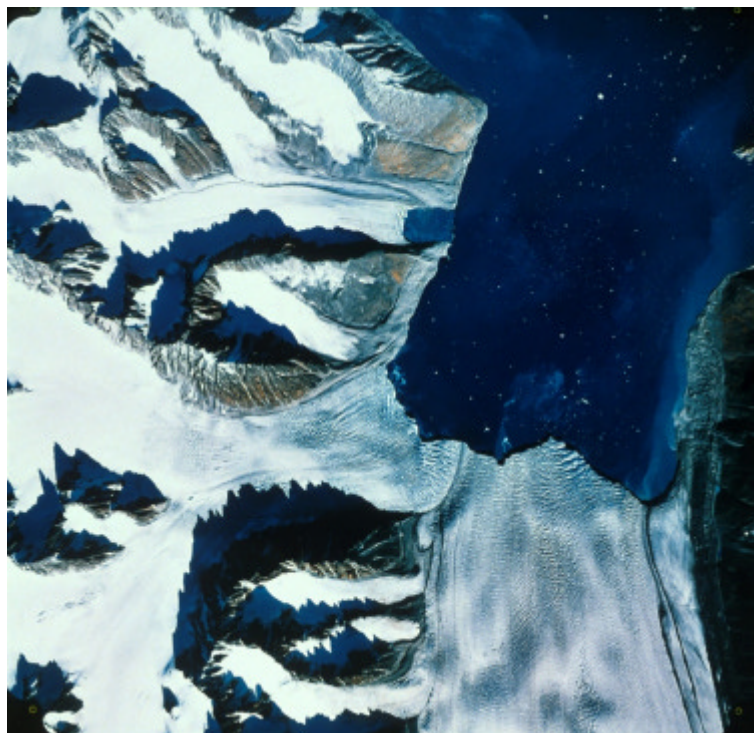


Abb. 3: Luftaufnahme des Monaco-Gletschers (Liefde-Fjord / Nordwest-Spitzbergen) aus dem Jahr 1990. Die Kalbungsfront des größten Fjord-Gletschers Spitzbergens liegt heute ca. 8 km südlich der "Lerner-Inseln" (oberer Bildrand). Der Beginn des Eisrückgangs konnte auf die Mitte des 19. Jahrhunderts datiert werden (s. Abb. 2, 4).



Abb. 4: Die an eine Mondlandschaft erinnernde Ablagerung am Rand der "Lerner-Insel" (s. Abb. 3) ist eine Endmoräne des Monaco-Gletschers. Sie markiert den Eisrand etwa um das Jahr 1850 am Ende der "Kleinen Eiszeit".

### **Zu Fuß von Sibirien nach Amerika**

Bevor dieses Thema global wirksamer holozäner Klimafluktuationen weiter verfolgt wird, zunächst einen Schritt zurück in die letzte Eiszeit. Die Bildung gigantischer Eismassen auf dem nordamerikanischen Kontinent (Laurentischer Eisschild), über Nordwest-Europa (Fennoskandischer Eisschild), die Zunahme der antarktischen und grönländischen Vereisung sowie die verstärkte Vergletscherung der Hochgebirge ließen den Weltmeeresspiegel um ca. 130 Meter absinken. Manche Schelfmeere fielen trocken, die damalige Küstenlinie war regional deutlich zurückgewichen, die Festlandsfläche damit größer. Im Hoch- und Spätglazial der Würm-(Weichsel-)Eiszeit (ca. 25000 – 11000 Jahre vor heute; Abb.1) vollzog sich die letzte transkontinentale Einwanderung: Asiatisch-

mongolische Stämme kamen über die trockengefallene Beringstraße von Ost-Sibirien nach Alaska, das damals nur teilweise vergletschert war. Entlang der Rocky Mountains gelangten sie auf das Territorium der heutigen USA, wo sie die Ureinwohnerschaft der beiden amerikanischen Kontinente begründeten – die paläo-indianische Urbevölkerung, aus der die Inuits hervorgingen ebenso wie die Indios Südamerikas. Abb. 5 zeigt die rekonstruierten Einwanderungswege. Gen-Forscher, die mehrere Einwanderungswellen ermittelten, warfen die Frage nach der überraschend schnellen Ausbreitung der Kulturen auf, die ihrerseits durch archäologische Funde belegt und datiert sind [5]: Wie konnten altsteinzeitliche Jäger- und Sammler-Gruppen sich in nur wenigen Jahrtausenden bis nach Chile ausbreiten, wo sie bereits vor 13000 Jahren vor heute die Monte Verde-Kultur begründeten?

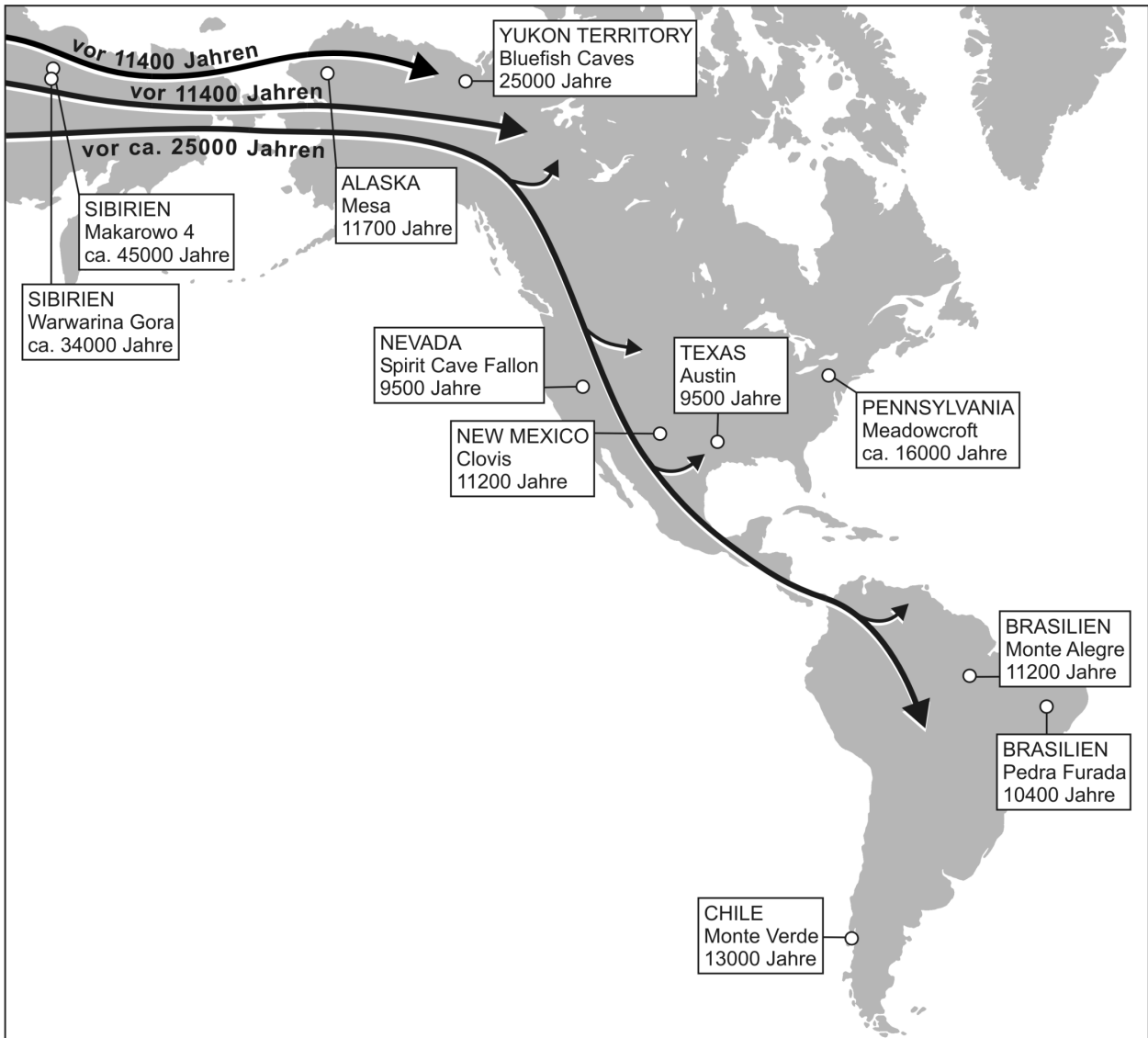


Abb. 5: Rekonstruktion der Einwanderung mongolischer Stämme von Sibirien über die trockengefallene Bering-Straße nach Nordamerika während des letzten Hoch- und Spätglazials. Markiert sind datierte Kulturen (verändert nach DER SPIEGEL, 1999).

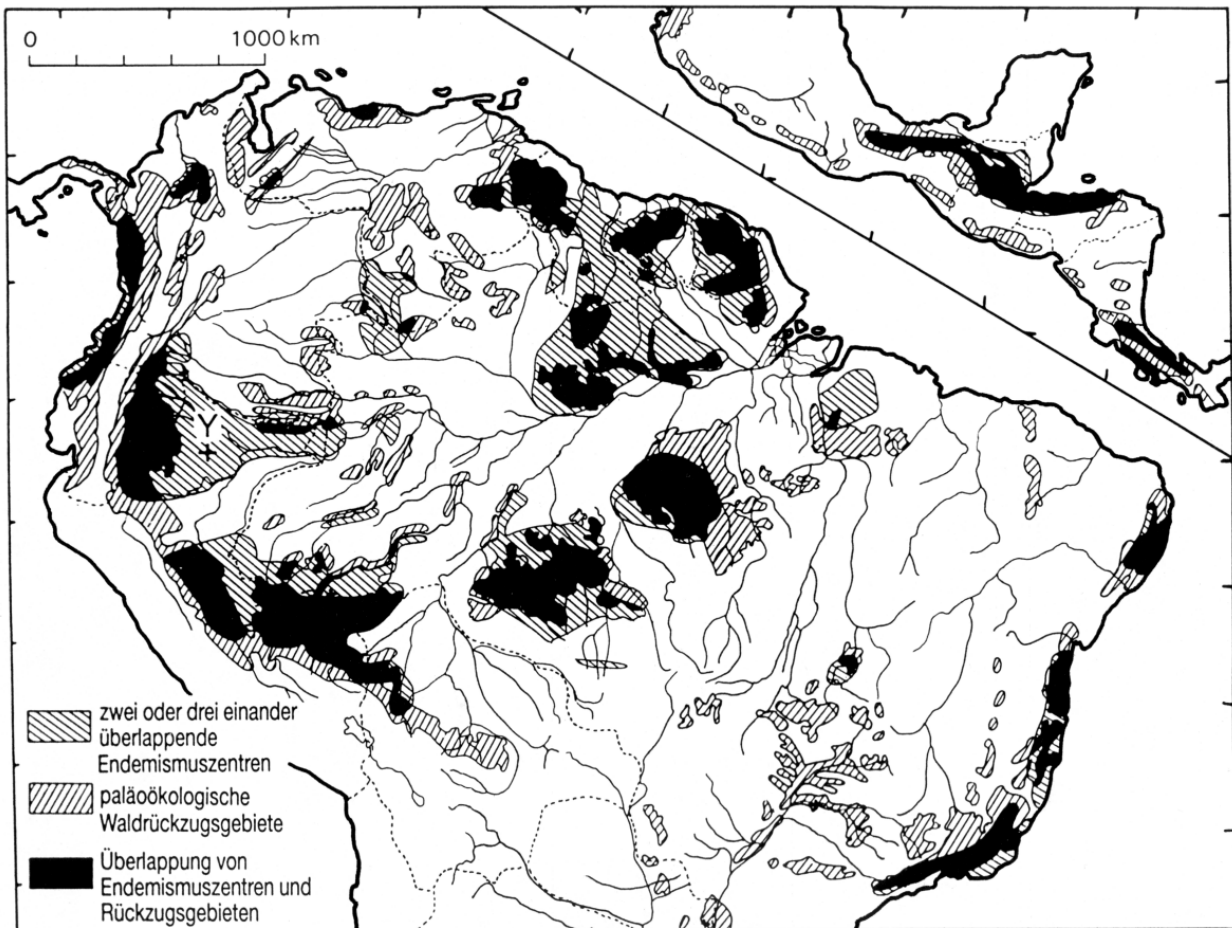


Abb.6: Die erstaunlich schnelle Ausbreitung der eiszeitlichen / steinzeitlichen Kulturen auf beiden amerikanischen Kontinenten erklärt sich durch die paläogeographische Situation: Das globale "Kaltklima" der letzten Eiszeit begünstigte offene Landschaften (Savannen, Steppen, Halbwüsten, Wüsten) und damit auch die Migration von Jäger- und Sammler-Kulturen. Der schwer durchdringliche tropische Regenwald Mittel- und Südamerikas konnte nur in kleineren Rückzugsgebieten überdauern, von wo aus er sich in der Nacheiszeit (Holozän) wieder ausbreiten konnte (nach Whitmore 1998 [6]).

Eine plausible Antwort kann die Paläogeographie geben: Weltweite kühle oder kalte Klimaperioden sind durch einen Rückgang von Waldgesellschaften gekennzeichnet. Im Gegenzug breiten sich Savannen, Steppen und Wüsten aus. Die Ursache dafür liegt in der kälteren troposphärischen Luft, die weniger Feuchtigkeit aufnehmen kann und damit generell weniger Niederschläge produziert. Änderung in den Strukturen der gesamten atmosphärischen Zirkulation stellten sich ein. (In der letzten Kaltzeit/Eiszeit sank die Globaltemperatur auf 11°C; die

der jetzigen Warmzeit liegt bei etwa 15°C.) Die nach Nord-Amerika eingewanderten Völkerschaften trafen also vornehmlich Tundren und Steppen an, in denen sie jagen und ihre Lebensform weit verbreiten konnten. Die im Naturzustand schwer durchdringlichen tropischen Regenwälder Mittelamerikas und Amazoniens waren nur noch in inselartigen Rückzugsgebieten erhalten geblieben (s. Abb. 6). Dazwischen existierten die erwähnten offenen, gut passierbaren Savannen-Ökosysteme. Stellenweise finden sich unter der aktuellen Regenwalddecke Amazoniens und in

Teilen Venezuelas äolische Ablagerungen wie Dünen, Flugsanddecken oder lössartige Sedimente, die beweisen, dass regional sogar halbwüsten- oder wüstenhafte Verhältnisse während der letzten Kaltzeit herrschten. In der Nacheiszeit breitete sich der heute anthropogen stark reduzierte amazonische Regenwald unter den warmzeitlich-feuchten Klimabedingungen wieder aus und verdrängte die kaltzeitlich-trockeneren Vegetationsgesellschaften. Ähnlich verlief die Entwicklung im Kongo-Becken und vermutlich auch in Teilen der asiatischen Tropen. Das Beispiel, zeigt, welche Veränderungen an Ökosystemen und Lebensraumgrenzen durch eine nur um 4 K abgesenkte Globaltemperatur nach sich zieht (vgl. auch Abb. 8, 10).

### **Kälterückfall in der Tundrenzeit**

Das sog. Spätglazial steht für das Abklingen der Würm-/Weichselzeitlichen Vereisungsphase. Der Übergang zur nachfolgenden jetzigen Warmzeit ("Holozän", Abb. 1). erfolgt un stetig und global nicht völlig synchron. Das nordamerikanische Inlandeis schmilzt ab und erzeugt einen riesigen Schmelzwasserstausee, der die Fläche der kanadischen Provinzen Saskatchewan, Manitoba sowie der amerikanischen Staaten N- und S-Dakota und Minnesota umfasst ("Agassiz-Eisstausee"). Ein Ausbruch gewaltiger Wassermassen und Eisbergtrümmer über die heutigen kanadisch-amerikanischen Seen weiter über den St. Lorenz-Strom ergießt sich in den Nordatlantik und unterbricht den wieder angelaufenen Golfstrom. Das leichtere Süßwasser vermindert die thermo-haline Zirkulation, d. h. das Absinken besonders

salzhaltiger, kalter und damit dichter Wassermassen. Der zugehörige Nachstrom warmen Tropik-Wassers in den Nord-Atlantik wird blockiert, die "Fernwärme" bleibt aus: In West- und Nordeuropa zieht für knapp 1000 Jahre erneut die Eiszeit ein. Die erst junge Wiederbewaldung geht zurück. Permafrost breitet sich wieder im Untergrund aus, Gebirgsgletscher wie auch die restlichen Inlandeis Massen über Skandinavien stoßen erneut vor. Die spätglazialen Jäger-Kulturen in Europa müssen sich an neue, restriktive Lebensbedingungen eines Tundren-Klimas anpassen – an die Phase der "Jüngerer Tundren-Zeit" oder "Jüngere Dryas-Zeit" zwischen 11000 und 10200 Jahren vor heute (Abb. 1). Dieser Vorgang demonstriert eindringlich die Wechselwirkung zwischen Ozean und Festlandklima, wobei dem Energieaustausch über Meeresströmungen eine steuernde Rolle zukommt. Das Szenarium der Jüngerer Tundren-Zeit – mangelnde Kaltwasserreproduktion im Nordatlantik durch vermehrten Zustrom leichten Süßwassers – mag ein lehrreiches Beispiel abgeben für potentielle Folgen von "Global Warming", wenn z. B. durch starken Eisabbau zukünftig zuviel Süßwasser in das Nordpolarmeer oder den Nordatlantik geliefert wird.

### **Nacheiszeitliches Wärmeoptimum: Paradiesische Zustände**

Nach dem drastischen Kälterückschlag im Spätglazial folgt beinahe unvermittelt eine globale Wärmezeit – ein neues Interglazial. Man kann davon ausgehen, dass mit dem Datum "10200 Jahre vor heute" die letzte Kaltzeit mit dem Zerfall der Gletschermassen definitiv zu Ende war und sich unmittelbar die bisher

wärmste nacheiszeitliche Klimaperiode anschloss – das sog. "Postglaziale Wärmeoptimum" (Boreal und Atlantikum, s. Abb. 1). Es dauerte mehrere tausend Jahre und brachte ganz entscheidende kulturgeschichtliche Entwicklungen in Gang. Die Temperaturen dürften 2 – 2,5°C höher gelegen haben als heute.

Der Übergang von kaltzeitlichen zu interglazial-warmzeitlichen Klimabedingungen vollzog sich jedoch nicht völlig synchron. Die atmosphärische Zirkulation und die sie teilweise steuernden ozeanischen Bedingungen mussten sich umstellen und Platz greifen. Selbstverstärkungseffekte brauchten Zeit, sich klimatisch auszuprägen. Die Folge war schließlich ein Globus mit neuen Klima-, Vegetations- und Bodenzonen. Bei unseren Untersuchungen zur Landschaftsentwicklung im südwestlichen

Afrika konnte beispielsweise festgestellt werden, dass der Großteil namibischen Territoriums während des letzten Hoch- und Spätglazials deutlich trockener war als heute. Das gesamte Land wurde von Wüsten und Halbwüsten bestimmt. Vorzeitliche Dünenbildungen in der heutigen Dornbusch- oder Trockensavanne konnten auf 16000 – 8000 vor heute datiert werden (vgl. Abb. 8). Es gelang, die riesigen Längsdünenfelder der westlichen Kalahari zeitlich einzuordnen: Ihre Dynamik (Aufbau, Verlagerung usw.) endete vor ca. 9000 – 8000 Jahren (Abb. 7). Seit her ist die Kalahari kein Wüsten-Ökosystem, sondern eine Savanne oder regional allenfalls eine Halbwüste (s. Abb. 8). Von Norden und Nordosten her hielt das monsunale geprägte randtropische Klima wieder Einzug im südwestlichen Afrika und ließ die Wüsten schrumpfen [7].



*Abb.: 7 Flanke einer Längsdüne am Rand der Kalahari (SO-Namibia): Während der Eiszeit war die Kalahari eine Sandwüste. Seit etwa 8000 Jahren hat sich unter den feuchteren holozänen Klimabedingungen eine Trockensavanne mit Baum- und Graswuchs ausgebreitet und die Dünen weitgehend fixiert.*

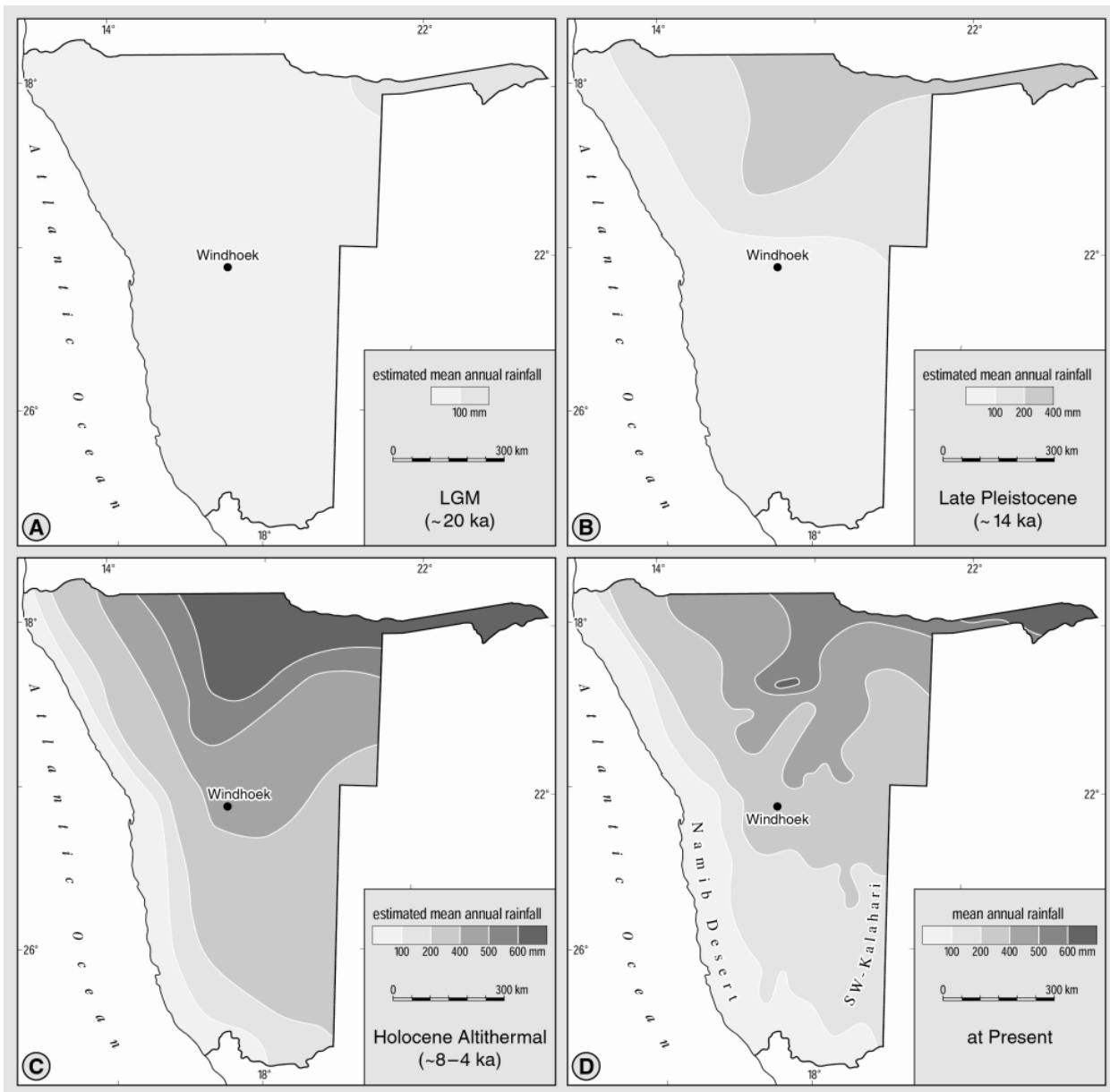


Abb. 8: Mittels eines multiplen Methodenspektrums konnte die eiszeitliche und nach-eiszeitliche Klimaentwicklung im südwestlichen Afrika rekonstruiert werden. Zeitangaben in ka = tausend Jahre; LGM = Last Glacial Maximum / Letztes Hochglazial; Holocene Altithermal = postglaziales Wärmeoptimum). Oben links: Zur Zeit des LGM vor 20000 Jahren war das gesamte Areal des heutigen Namibia Wüste oder Halbwüste. Oben rechts: Im Spätglazial setzt der monsunale Einfluss im Norden und Nordosten des Landes wieder ein und bewirkt das Aufkommen von Dornbusch- und Trockensavannen, während im Süden und Südosten (Kalahari) noch wüstenhafte Verhältnisse mit Dünenbildung herrschen. Unten links: Zur Zeit des Postglazialen Wärmeoptimums (8000 – 4000 J. v.h.) sind alle Landesteile wesentlich feuchter und üppiger bewachsen als heute (s. Abb. unten rechts). Die Wüste Namib ist deutlich schmaler als gegenwärtig. Buschmann-Kulturen können sich in dieser Zeit besonders weitflächig ausbreiten. Unten rechts: Seit etwa vier- bis 5000-tausend Jahren ist das Klima wieder kühler und damit trockener geworden. Der Globus geht langsam wieder auf die nächste Eiszeit zu (aus Eitel, Blümel & Hüser, 2002 [7]).

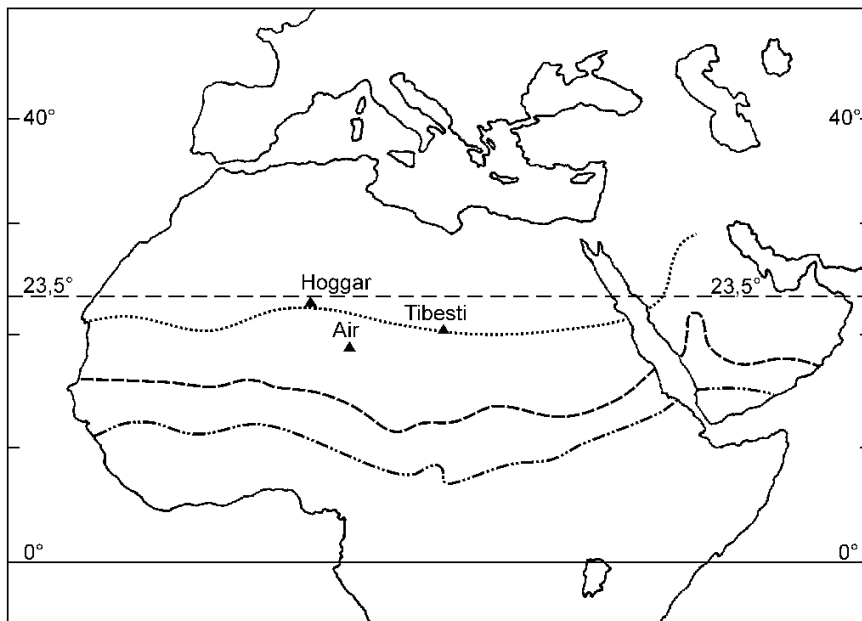
Das postglaziale Wärmeoptimum mit seiner Feuchte veränderte die paläogeographische Situation vollkommen. Felsmalereien und Gravuren, wie man sie in heute wieder wüsten- oder halbwüstenhaften Landschaften findet (Abb. 9), belegen sowohl für den Bereich der Wüsten Namib (Abb. 8) wie der Sahara (Abb. 10) vgl. üppige Lebensmöglichkeiten auch für Großwild und seine Jäger [8]. Datierungen geben Hinweis darauf, dass seit etwa 8000 Jahren – in der Zeit des Atlantikums - vermehrte Feuchte existierte, die von monsunaltropischen Niederschlägen stammt. Das südwestliche Afrika war insgesamt feuchter, die Wüste Namib deutlich geschrumpft (Abb. 8). Große Teile der heutigen Wüste Sahara waren "grün", dürften etwa dem Ökosystem einer Trockensavanne

mit Galeriewäldern entlang der Wadis entsprochen haben. Elefanten, Giraffen und Antilopen fanden gute Lebensmöglichkeiten vor; in Flusskolken oder Seen lebten Flusspferde und Krokodile. Die Ost-Sahara mit dem Murzuk-Becken oder der Serir Calancio waren von zahlreichen Seen durchsetzte Landschaften [9]. Zahlreiche Kulturspuren wie Artefakte, Fesselsteine oder Keramik sind unter heute extrem wüstenhaften Bedingungen zu finden. Bekannte Felsmalereien wie die "Schwimmer in der Wüste" vom Djebel Uweinat (Abb. 9) belegen eindrucksvoll die ökologische Gunst durch vermehrte Niederschläge in diesem Raum. Im Verlauf des Postglazialen Klimaoptimums war in der Sahara sogar die Domestikation von Rindern möglich.



*Abb. 9: Oben: Steinzeitliche Felsgravuren wie in Twyfelfontein (Damara-Land / Namibia) zeigen die ehemalige weite Verbreitung von Savannentieren auch an Standorten, die heute deutlich trockener und damit lebensfeindlicher sind.*

*Unten (nächste Seite): "Schwimmer in der Wüste": Zeichnung einer Felsmalerei im Djebel Uweinat (Ägyptisch-Libysche Wüste), die auf Seen und Flusskolke während der Jungsteinzeit im heutigen Extremwüstengebiet der Ost-Sahara hinweist.*



Südgrenze der Sahara / Reichweite des Monsuns (nach Petit-Maire 1991):




-  Gegenwart (150 mm Niederschlag)
-  zur Zeit des letzten Hoch-Glazials (vor ca. 20 000 Jahren)
-  während des holozänen Klimaoptimums / postglaziales Wärmeoptimum (ca. 10 000 - 5 000 Jahre vor heute)

Abb. 10: Während des Höchststandes der letzten Eiszeit war die Wüste Sahara deutlich weiter nach Süden ausgedehnt als heute. Zur Zeit des Postglazialen Wärmeoptimums mit seinem wesentlich höheren atmosphärischen Feuchtegehalts war die Wüste fast nicht existent. Der Monsun brachte Niederschläge bis in das heutige Kerngebiet der Wüste Sahara.

## Die Erfindung der Sesshaftigkeit

Der Eishaushalt ging im Atlantikum auf sein bisheriges Minimum zurück – der zugehörige Meeresspiegelanstieg ließ zahlreiche Küstenabschnitte untergehen: Die sog. "Flandrische Transgression" erreichte einen Stand ca. 1 m über dem heutigen. Küstenkulturen gingen unter – eine Interpretationsmöglichkeit für die biblische "Sintflut". Doch die Gunstfaktoren dieses Klimaoptimums überwiegen: Im Bereich des "Fruchtbaren Halbmonds" (Palästina, Libanon, Syrien, Mesopotamien, Türkei, Persien; s. Abb. 11) vollzieht sich die "Neolithische Revolution" (ca. 7000 v. Chr.): Aus nomadisierenden Wildbeuter-Kulturen entwickeln sich sesshafte Ackerbauern-Gesellschaften und Viehzüchter. Jericho wird gegründet, die älteste Stadt der Welt. Ein stationäres Städteleben und -wesen wird möglich, weil geregelte Versorgung aus dem nahen Umland besteht. Die Agrartechnik entwickelt dabei schon unterstützen-

de, die Produktivität steigernde Bewässerungssysteme.

Vom Fruchtbaren Halbmond aus verbreitet sich (seit 8000 Jahren v. h.) die Lebensform sesshafter Bauern durch Einwanderung oder durch Kontaktdiffusion bis nach Zentraleuropa (Abb. 11). In bestimmten Bereichen wird die Megalithkultur (Großsteingräber) gepflegt (Südostspanien, Bretagne, England, Irland, Nordwestdeutschland; Abb. 12). Leistungen, wie z. B. beim Aufbau gigantischer Großsteingräber von Antequera/SO-Spanien oder New-Grange/Irland, der Steinanlage Stonehenge/England (Abb. 13), aber auch bei den unzähligen kleineren Dolmen und Hügelgräbern nötig waren, werden nicht von ausgemergelten Kräften erbracht. Diese Gesellschaften konnten sich auf eine produktive, überschüssige Landwirtschaft stützen – erklärbar durch eine ausgesprochen günstige Klimasituation mit optimalem Jahreszeitenverlauf und verlässlichen Ernten.

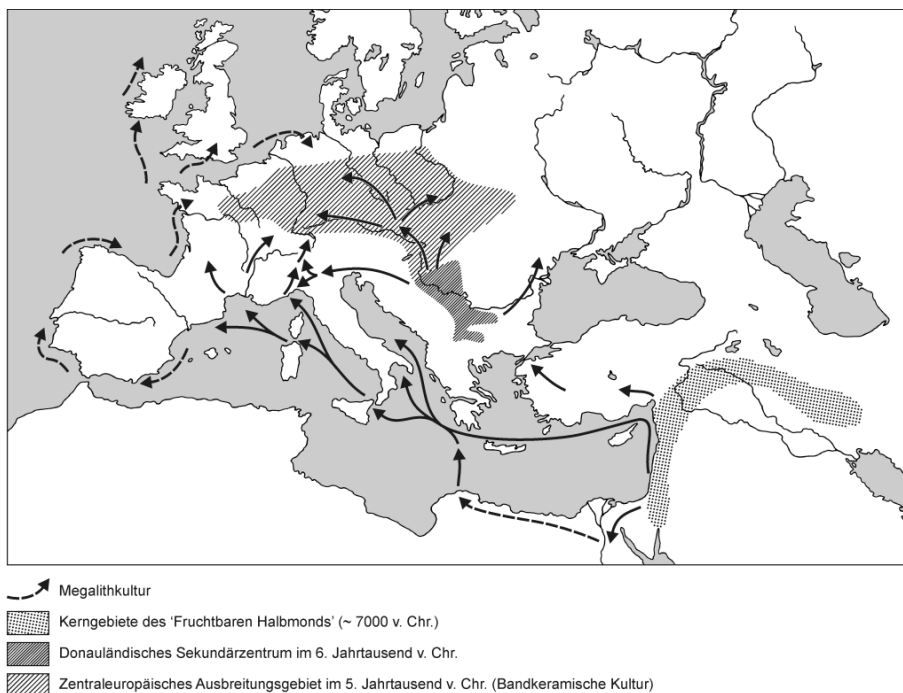


Abb.11: Entstehungsgebiete bäuerlicher Wirtschaftsformen im Bereich des "Fruchtbaren Halbmonds" (etwa 7000 v. Chr.) und Ausbreitung der Bandkeramischen Kultur in Zentraleuropa (5. Jahrtausend v. Chr.) (verändert aus H. Müller-Beck, 1983 [10 ])

Es sind vor allem Bandkeramische Kulturen, die Mitteleuropa besiedeln. Eine der am besten erhaltenen Siedlungen aus der Jungsteinzeit ist bei Vaihingen/Enz freigelegt worden. Sie datiert auf 7500 v. h. [11]. Dr. S. Hönscheidt (ehemalige Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Geographie) war an der Bearbeitung und Auswertung der Grabung beteiligt, und zwar an der Rekonstruktion der jungsteinzeitlichen Umweltverhältnisse. Aus reliktschen Böden und Sedimenten und ihrer multiplen Analyse lassen sich Aussagen über paläoökologische Verhältnisse treffen und der damals einsetzende anthropogene Landschaftswandel analysiert werden [12]. Auffällig waren die sehr dunklen, teils schwarzen Bodenrelikte im Grabungsfeld, die an Steppenschwarzerden der Ukraine oder amerikani-

scher Prärien erinnern (Abb. 14, 15). Die Untersuchungen zeigten, dass der neolithischen Besiedlung ein Steppenklima mit Schwarzerdebildung vorausging und sich in abgeschwächter Form in den südwestdeutschen Beckenlandschaften erhielt. Grau- und Braunhuminsäurereiche Böden und ihren kaltzeitlichen Löss-Beimengungen sind als ein wesentlicher Grund für die weit überdurchschnittliche, nachhaltige Fruchtbarkeit zu sehen, die die Grundlage bildete für eine über Jahrhunderte durchhaltende Besiedlung und Nutzung dieses Raumes. Das milde sommerwarme Klima des Atlantikums mit seinen verlässlichen Witterungsverläufen ist verantwortlich für eine hohe agrarische Produktivität und die erfolgreiche Behauptung der Jungsteinzeitlichen Kulturen in Mitteleuropa.



Abb. 12: Großsteingräber in heutigen Heidelandschaften Niedersachsens sind selten Kultstätten oder "Fürstengräber", sondern jungsteinzeitliche Bestattungsplätze einer sesshaften Bauernkultur.



*Abb. 13: Das von Mythen umrankte Megalith-Kunstwerk von Stonehenge (Süd-England) steht sinnbildlich für die Vitalität seiner Schöpfer: Eine darbende Agrargesellschaft wird kaum die erforderlichen überschüssigen Kräfte mobilisieren können, den Ferntransport gigantischer Gesteinsblöcke (über mehr als 200 km) zu leisten. Immerhin waren an Steigungen geschätzt etwa 1000 Mann nötig, um die Riesenblöcke auf Schlitten über Steigungen zu ziehen. Das damalige landwirtschaftliche Produktionsklima muss sehr günstig, längerfristig stabil und damit berechenbar gewesen sein. Die Funktion der Steinsetzung ist noch unbekannt. Vielleicht war es ein Kalender zur Bestimmung z. B. optimaler Saatzeiten und zeitgleich Kultstätte zur Beschwörung anhaltender Fruchtbarkeit?*



*Abb. 14: Freigelegte Palisadengräben markieren die Befestigung der neolithischen Siedlung Vaihingen/Enz (Kr. Ludwigsburg). Auffällig sind die dunkel-humosen Bodenfarben, die an fruchtbare Steppenschwarzerden erinnern.*



Abb. 15: Eines von mehr als hundert Skeletten, die im Graben der bandkeramischen Siedlung Vaihingen/Enz gefunden wurden. Die große Zahl deutet auf eine längere Siedlungskontinuität hin.

*(Im Rahmen eines DFG-Projektes untersuchen Frau Dr. U. Maier und Dipl.-Geogr. R. Vogt in Zusammenarbeit mit dem Landesdenkmalamt Stuttgart siedlungsarchäologische Fragestellungen im Bodensee- und Federsee-Gebiet/ Oberschwaben. Auch hier steht das Klima des Neolithikums, die Rekonstruktion der Lebensbedingungen und die anthropogene Landschaftsentwicklung im Vordergrund detaillierter und systematischer Untersuchungen [13]).*

Eine andere Entwicklung als im südlichen Deutschland nahmen die ebenfalls im Atlantikum besiedelten Gebiete auf den sandigen Gletscherablagerungen Niedersachsens und Schleswig-Holsteins. Die im Klimaoptimum auch optimalen Lebensmöglichkeiten dokumentieren sich in den oben angesprochenen Großsteingräbern, die meist nicht als Kultbauten einzustufen sind, sondern als Bestattungsplätze, die eine Siedlungskontinuität in unmittelbarer Nähe dokumentieren (Abb. 12). Zahlreiche Heidestandorte Nordwestdeutsch-

lands entstanden bereits früh als Folge von jungsteinzeitlicher Übernutzung und erntebedingter Auslaugung ehemaliger Laubwaldböden. Aufgrund ihrer quarzreichen, sandig-kiesigen Ausgangssubstrate waren sie weit weniger "nachhaltig" in ihrer Fruchtbarkeit als die lössbürtigen Schwarzerden und Parabraunerden südwestdeutscher Becken- und Talandschaften. Verheidung und Podsolierung beendete die landwirtschaftliche Nutzung primär günstiger, leicht zu bearbeitender Sandböden.

**Fazit:** Generell lässt sich betonen, dass die klimatische Gunstperiode und in ihrem Gefolge das gesamte paläoökologische Milieu verantwortlich war für die weitreichende Ausbreitung neolithischer Kulturen. Die damalige, rein auf physisch-geographische Parameter (klimatische Gunst und nachhaltig fruchtbare Böden) gestützte agrarische Tragfähigkeit ermöglichte bereits vor mehr als sechstausend Jahren auch die intensive Besiedlung peripherer Räume wie Irland, Schottland und der Hebriden-Inseln. Das postglaziale Wärmeoptimum mit seinen etwa 2°/2,5°C höheren Jahrestemperaturen und regional deutlich höheren Niederschlägen hatte globale Auswirkungen. Die Waldgrenze auf der Nordhalbkugel (Borealer Nadelwaldgürtel Kanadas und Skandiaviens/Sibiriens) war um 300 – 400 km nach Norden verschoben, die asiatischen Steppenareale waren geschrumpft. Die Wüsten der Erde hatten ihre kleinste Ausdehnung, die Hochgebirge ihre geringste Vergletscherung. Dies wird auch durch den sensationellen Fund des "Mannes vom Hauslabjoch" ("Ötzi", 1991) untermauert: Zu dessen Lebzeiten war Transhumanz praktiziert worden. In den Sommermonaten wurden vom heutigen Südtirol aus Weidegebiete oberhalb der Waldgrenze genutzt. (Schnalstaler Bauern üben noch heute traditionelle Weiderechte nördlich des Alpenhauptkammes im Ötztaler Gebiet aus und treiben ihre Schafherden über vereiste Joche.) Auch das alpine Neolithikum zu Zeiten des "Ötzi" war durch deutlich verringerte Vergletscherung gegenüber heute und eine um 200 – 300 m höhere Waldgrenze (bis 2300 m ü. M.) klimatisch zu charakterisieren. Die natürlichen Bedingungen erlaubten somit eine offensichtlich unproblematische saisonale Nutzung der oberen alpinen Höhenstufen. Funde von datierten Brandhorizonten belegen eine Nutzungstätigkeit an der oberen Waldgrenze zur Zeit des neolithischen Wärmeoptimums.

### **"Ötzi's" Tod - abruptes Ende der nacheiszeitlichen Klimagunst**

Der mit immer neuen Spekulationen kommentierte Tod des "Ötzi" vor 3300 Jahren v. Chr. lässt sich als frappierendes Klimazeugnis interpretieren: Entgegen immer wieder kolportierten Berichten, der Mann sei in einen Gletscher gefallen, ist festzuhalten, dass er auf einem Joch starb – einem eisfreien Sattel in der Nähe von Vent /Ötztaler Alpen. Der Tod auf einem Gletscher oder in einer Gletscherspalte hätte den sensationellen Fund einer neolithischen Mumie unmöglich gemacht. Die Leiche wäre längst mit der Gletscherbewegung abtransportiert worden und spätestens in einer Moräne verwest. Der "Eismann" wurde (geschwächt,

gesundheitlich angegriffen, im Kampf verletzt?) möglicherweise Opfer eines Schneesturms, zumindest aber in einer Schneedecke eingebettet. Sein Tod vor 5300 Jahren bestätigt einen sprunghaften Klimawechsel, der das postglaziale Wärmemaximum schlagartig beendete. "Ötzi" wurde in einer wachsenden Schnee- und Firndecke konserviert, sein Körper durch Sublimationsprozesse dehydriert und damit mumifiziert (Abb. 16). Ohne zwischenzeitlich länger wieder aufgedeckt zu werden – dann wäre die Leiche zerfallen – überdauerte der "Eismann" mehr als fünf Jahrtausende, bis durch die aktuelle klimatische Erwärmung die abtauende Firnkappe am Hauslabjoch die Mumie wieder freigab. Paläobotaniker hatten be-

reits früher auf Grund von Pollenanalysen eine Klimaveränderung (Abkühlung) für den genannten Zeitraum begründet, die sog. "Piora-Schwankung". Mit der  $^{14}\text{C}$ -Datierung

am "Eismann" wird das Datum bestätigt. Die angesprochenen Umstände seiner Konservierung belegen, dass hier ein abrupter Klimawechsel eintrat.



Abb. 16: "Ötzi", der "Mann vom Hauslabjoch" (Öztaler Alpen) wurde bei einem sprunghaften Klimawechsel (= Ende des postglazialen Wärmeoptimums) vor 5300 Jahren in einer Firnschnee-/Firneisdecke eingebettet, sein Körper darin dehydriert und bis zum Jahr 1991 konserviert.

### **Vertreibung aus dem Paradies?**

Es liegt nahe, solche paläoklimatischen Befunde mit prähistorischen oder historischen Überlieferungen und Ereignissen abzugleichen. Das postglaziale Wärmeoptimum hat zweifellos der Kulturgeschichte entscheidende Impulse gegeben und völlig neue Entwicklungen in Gang gesetzt. Gern wird deshalb von der "Neolithischen Revolution" gesprochen, wenn die Erfindung des sesshaften Ackerbaus gemeint ist. Die wahrhaft günstigen Lebensmöglichkeiten, die hier nur exemplarisch angedeutet werden konnten, sind möglicherweise dem biblischen Paradies gleichzusetzen, einer Leichtigkeit des Lebens: Die Mythologie der

Antike kennt den Garten Eden, das Elysium, das "Goldene Zeitalter" u. a.. Es ist sicherlich nicht allzu gewagt, hierin eine Übereinstimmung mit dem Klimaoptimum des Holozäns zu sehen, dessen Ursache in erster Linie mit der Konstellation der Erdbahnparameter erklärt werden kann (Sonnenwinkel, Energieeinstrahlung, Selbstverstärkungseffekte). Mit dem Ende dieser paradiesischen Epoche geht der Globus wieder der nächsten Eiszeit entgegen, jedoch nicht geradlinig, sondern auf einer seichten klimatischen Achterbahn mit Temperaturamplituden von nur 1 – 2°C, aber beträchtlichen Folgen. Um im Bild zu bleiben – es ist die "Vertreibung aus dem Paradies".

## **Klimapessimium der Bronzezeit (3200 – 2600 v. h.)**

Auf die nacheiszeitliche Wärmezeit folgt eine ausgeprägte Kaltepoche – zumindest in Europa: die Bronzezeit. Die Jahresmitteltemperatur 1 – 2°C niedriger als heute. Es ist die kälteste Periode seit dem Ende der Würm-Kaltzeit. Verbreitet stoßen die alpinen Gletscher weit vor. Regional verursachen Missernten gravierende Versorgungsprobleme. Möglicherweise sind die Folgen der Klimaverschlechterung aber auch ein Stimulans für technologische Fortschritte in der Bronzezeit.

Vielfältige geographische Untersuchungen und Datierungen vor allem in der Zentral- und Ostsahara belegen ein Ende der Feuchtperiode und damit der "Grünen Sahara" ebenfalls um die Zeit 5200 Jahre vor heute – entsprechend der Piora-Schwankung in den Alpen (s. oben). Wüstenhafte Verhältnisse breiten sich auf verschiedenen Kontinenten erneut aus. Es entwickelt sich der ungefähre heutige Stand der Wüstengrenzen (s. Abb. 10). Das nördliche Afrika erlebt in der Folge der Aridisierung das Aufblühen einer Hochkultur vor allem in Ägypten: "Wüstenflüchtlinge" entdeckten die Möglichkeiten sesshaften Bewässerungs-Ackerbaus in der hydrologisch verlässlichen Nil-Oase. Vielleicht stimulieren die veränderten Klima- und Lebensraumbedingungen auch hier die Innovationsfähigkeit und den technologischen Fortschritt. In der Zeit um 3000 v. Chr. entstehen die ersten Pyramiden – Gigantismus als Ausdruck von Überschuss?

## **Römerzeitliches Klimaoptimum (2300 – 1600 Jahre vor heute)**

Auffällig ist im weiteren Verlauf der klimatischen Entwicklung ein zyklisches Auf und Ab der Temperaturkurve im Abstand von einigen hundert Jahren. So lässt sich die Ausdehnung des Römischen Imperiums zumindest teilweise durch eine klimatisch günstige Situation unterstützen: Die Jahresmitteltemperatur in Europa ist 1 – 1,5°C höher als heute. Die Expansion des Imperium Romanum wird erleichtert, indem z. B. die Alpenpässe auch im Winter benutzt werden können. (Hannibal überquerte 217 v. Chr. Mit 38000 Mann Fußtruppen, 8000 Reitern und 40 Elefanten die Alpen.) Die Römer kolonisierten Süd- und Südwestdeutschland. Wie im Neolithikum waren die Beckenlagen und Flussläufe bevorzugte Siedlungsbereiche. Es kam zu Städtegründungen (Trier als älteste Stadt Deutschlands) – ein Hinweis auf eine leistungsfähige Landwirtschaft und eine leistungsfähige Infrastruktur auch in peripheren Lagen (Kontaktachsen mit Rom).

Im Jahr 54 v. Chr. gelang die römische Invasion in Britannien. Die Römer führten den Weinbau in England ein – ein deutliches Signal für ein damals wärmebegünstigtes Klima. Der Handel Nord - Süd florierte ebenso wie der West – Ost - Handel über die Seidenstraße, die dank entsprechender Versorgungsmöglichkeiten (Wasser, Agrarprodukte) bis 400 n. Chr. aktiv war. Klimatisch herrschten berechenbare, stabile Verhältnisse, wenig die Versorgung beeinträchtigende Variabilität (Abb. 17).



Abb. 17: Das römische Weinschiff von Trier: Ausdruck einer klimatisch begünstigten Überfluss-Gesellschaft, der "fun" und "wellness" offensichtlich nicht fremd war.

**Zeit der Völkerwanderungen:  
Klimapessimum (3. – 6. Jahrh. n.  
Chr.)**

Die Klimaschaukel neigt sich wieder zur anderen Seite: Anschließend an das römerzeitliche Optimum zieht ein kühles, stark wechselhaftes Klima in Süd- und Mitteleuropa ein. In den Alpen wachsen die Gletscher; römische Straßen und Goldgruben werden zerstört. Ebenfalls sinkt in Folge der Klimaverschlechterung die Baumgrenze. Europäische Küsten erleben eine Zeit heftiger Sturmfluten und geomorphologischer Veränderungen. Gletscher als sehr sensible Klimaindikatoren signalisieren auch hier mit ihren Vorstößen die klimatische Veränderung.

In Nord- und Nordwesteuropa stellen sich auf Grund von Ernteaussfällen gravierende Versorgungsprobleme und Hungersnöte ein. Letztere geben sehr wahrscheinlich den entscheidenden Anstoß für eine Nord - Süd-, West- und Südwest - Wanderung ganzer Volksstämme. Ab 300 n. Chr. bestimmen sinkende Temperaturen und Trockenheit das "Pessimum der Völkerwanderungszeit". Für 270 n. Chr. werden Abkühlung und Aridisierung auch aus Italien, Arabien und Innerasien berichtet [14]. Zwischen 300 und 400 n. Chr. lassen Dürreperioden den Handel über die Seidenstraße zum Erliegen kommen; sie verfällt [15]. Die zeitgleichen Hunnen-Einfälle in Europa, die häufig (und wohl fälschlich) als Auslöser der Völkerwanderungen gesehen werden, könnten selbst wiederum klima-

tisch mit verursacht worden sein, und zwar durch die Austrocknung der Weideflächen in Zentralasien. Kunde über üppigere Weidemöglichkeiten im regenreicheren Westen Europas dürfte über die Seidenstraße verbreitet worden sein. In den Hunnen-Einfällen ist ein weiterer Dominoeffekt im Prozess der Völkerwanderung zu vermuten, nicht aber die Ursache. Sie liegt in einer klimatisch begründeten physischen und sozialen Krise.

### **Mittelalterliches Wärmeoptimum (1000 – ca. 1230 n. Chr.)**

Mit Annäherung an die Gegenwart werden die Zeugnisse für klimatische

Fluktuationen und ihre Rekonstruktion verständlicherweise etwas häufiger und präziser. Nach der schwierigen Ära Karls des Großen steigen die mittleren Temperaturen im Vergleich zu heute um 1,5 – 2°C. Die Anbaugrenzen in den deutschen Mittelgebirgen reichen ca. 200 m höher als gegenwärtig. Es beginnt damit die eigentliche Erschließung dieser Räume bzw. Höhenstufen. Vom 11. bis zur Mitte des 14. Jahrhunderts erlebt die Kulturlandschaft Deutschlands ihre bisher größte Ausdehnung und höchste Bevölkerungsdichte. Der Flächenanteil des Waldes geht unter 20 % zurück. Ackerflächen und insbesondere das Dauergrünland nehmen entsprechend zu (vgl. Abb. 18).

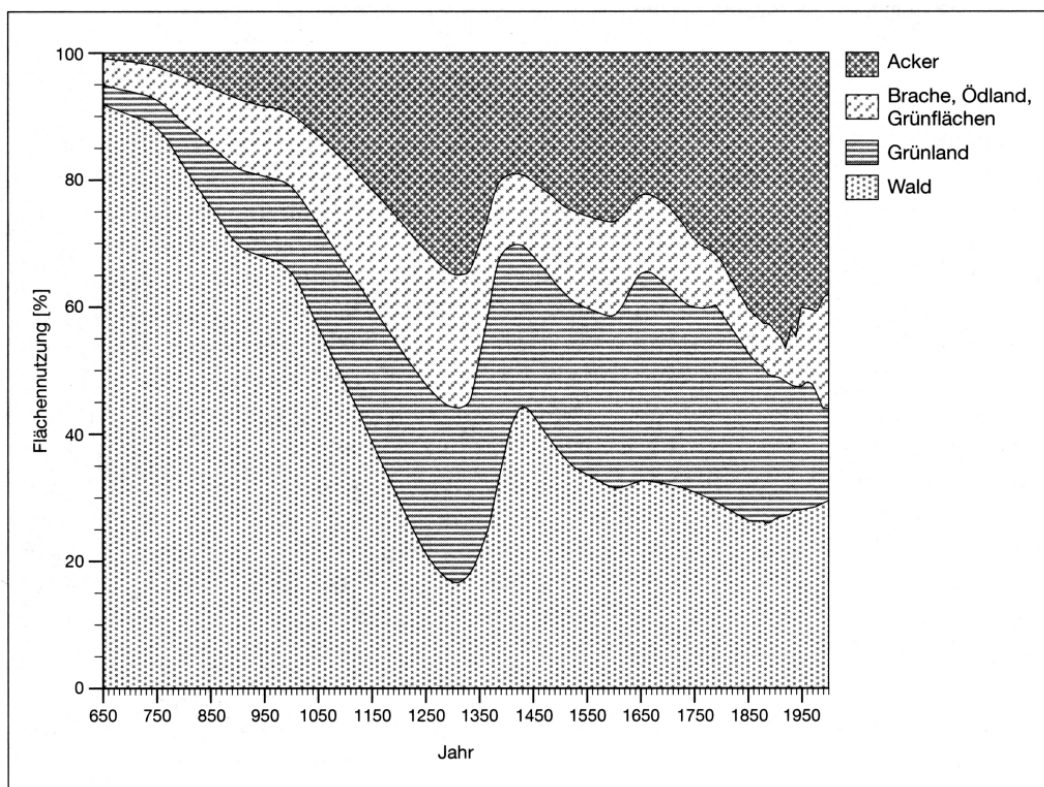


Abb. 18: Wandel der Landnutzung in Deutschland seit der Zeit der Völkerwanderung. Bemerkenswert ist die drastische Entwaldung zu Gunsten von Acker, Weideland und Energiegewinnung vor allem im Mittelalter. In Folge der "Kleinen Eiszeit" und den damit verbundenen Hungersnöten, Pestepidemien führen die Bevölkerungsverluste zu Siedlungsaufgaben, Rückgang der Ackerflächen und einer Regeneration der Waldgebiete (aus Bork et al. 1998 [16])

In den Altsiedelgebieten erfolgen vermehrt Städtegründungen. Das mittelalterliche Wärmeoptimum ermöglicht aufgrund idealer und nachhaltiger agrarischer Produktionsbedingungen die Versorgung einer wachsenden städtischen Bevölkerung und damit auch den Ausbau von Handel und Gewerbe. Ausdruck einer leistungsfähigen, Überschuss



erzeugenden Gesellschaft sind m. E. Bauweise und Stil der Gotik. Eine himmelstrebende, aufwändige Architektur, ausgeführt mit handwerklicher Perfektion, erscheint sinnbildlich für die physische Gunst und damit für die Vitalität, Kreativität und Leistungsfähigkeit der Bevölkerung in dieser Zeit (Abb. 19).



Abb. 19: Die Stadt Rothenburg o.d.T. und der Regensburger Dom stehen für das aufblühende mittelalterliche Städtewesen und das "Himmelstreben" der gotischen Architektur – Sinnbild einer klimatisch verwöhnten, äußerst produktiven Agrarwirtschaft im Umland der Städte.

### Wärmegunst auch in hohen Breiten

Dieser mittelalterliche Temperaturanstieg erlaubte Weinbau nun auch in klimatisch bisher ungeeigneten Lagen Ostpreußens, Pommerns oder Südschottlands. In Norwegen war zu dieser Zeit Getreideanbau bis in 65° nördlicher Breite möglich. Periphere Ungunstgebiete hoher Breite wie Island und Grönland (nomen est omen!) wurden jetzt durch die Wikinger besiedelt. Auf dem randpolaren Island wuchsen damals Wälder.

Das neue Klimaoptimum gestattete dort neben der Schafzucht auch Getreideanbau.

Es stellt sich die grundsätzliche Frage, der wir an unserem Institut in einigen Projekten nachgehen, ob solche in ihrer thermischen Amplitude kleinen Klimafluktuationen auch globale Reichweiten haben. Als Exkurs sei auf zwei Befunde aus unseren Arbeitsgebieten in Namibia und in der Antarktis hingewiesen. Abb. 20 zeigt einen noch gefrorenen See

an der Nordspitze der Antarktischen Halbinsel. In der Südsommerzeit taut er bis zu 2 m Tiefe auf. Darunter liegt eine ca. 6 m dicke Eisschicht. Eine Bohrung im Jahr 1987 lieferte organisches Material von der Basis des Eises, also vom ehemaligen Seeboden. Eine  $^{14}\text{C}$ -Datierung ergab ein Alter von etwa 1000 Jahren vor heute. Dies bedeutet, dass zur mittelalterlichen Ablagerungszeit

der organischen Sedimente der See im Sommer bis zur Sohle aufgetaut gewesen sein muss, das damalige (Sommer-)Klima bei ca.  $63^\circ$  südl. Breite also deutlich wärmer war. Auch in der Hohen Arktis Spitzbergens schmelzen die Gletscher in diesem Zeitraum zurück (s. Abb. 2) – ein Hinweis auf die mögliche globale Ausdehnung der mittelalterlichen Wärmephase.



Abb. 20: Blick aus dem Hubschrauber auf die Nordspitze der Antarktischen Halbinsel, ca. 1300 km Luftlinie von Feuerland (Südamerika) entfernt. Oberhalb der argentinischen Station Esperanza ist ein gefrorener See erkennbar (s. Pfeil; Aufnahme Okt. 1987)

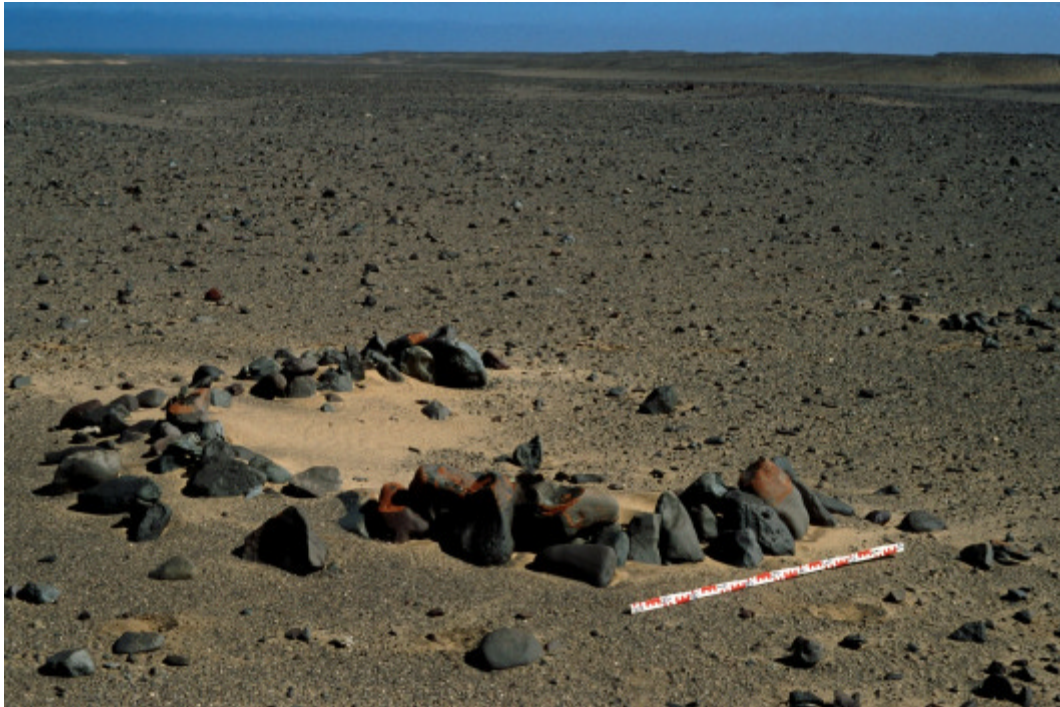


Abb. 21: Reste früherer Buschmann-Hütten in der heutigen Vollwüste (Skelettküste / Namibia). Der beigelegte Maßstab ist 2 m lang. Der Wuchs großer roter Flechten deutet ein hohes Alter der Steinsetzung an (Aufnahme 1999)

### Mittelalter: Regen in der Namib?

Ein weiteres Beispiel für eine mittelalterliche Klimaschwankung stammt ebenfalls von der Südhalbkugel, und zwar aus der Skelettküsten-Wüste Namibias. Bei unseren geomorphologisch-paläoökologischen Untersuchungen in einem der extremsten Abschnitte der Namib fielen zahlreiche – wohl mehrere hundert - unterschiedlich gut erhaltene Steinsetzungen auf (s. Abb. 21). Es sind Siedlungsspuren aus groben Geröllen oder Blockwerk auf einem vorzeitlichen Schwemmfächer eines ehemals geröll- und wassereichen Flusses. Die runden Steinsetzungen von < 2,0 bis > 3,0 m Durchmesser sind Begrenzungssteine kuppelförmiger oder spitzer Schutzhütten, die von Wildbeutern aus dünnen Stämmen oder dem Geäst von Sträuchern errichtet und mit Fellen oder Buschwerk bedeckt wurden. Die nomadi-

sierenden Buschleute in diesem gegenwärtig äußerst lebensfeindlichen Raum hatten sich gegen den scharfen, kühlen Südwestwind vom kalten Bequela-Strom zu schützen. Zu jeder Hütte gehörte eine kleine Feuerstelle. Die bisher einzige <sup>14</sup>C-Datierung an Holzasche und Knochen erbrachte ein Alter von knapp 1000 Jahren v. h.. Das entspricht der Zeit des hochmittelalterlichen Klimaoptimums in Europa [18]. Die Beobachtung vergangenen Lebens in gegenwärtig fast steriler Umgebung ohne Bäume, Sträucher und Gräser wirft die Frage auf, ob dieser Raum damals unter geänderten Klimabedingungen üppigeres Pflanzenleben für Tier und Mensch zu bieten hatte. Es ist kaum vorstellbar, dass die Jäger und Sammler das Holz für ihre Hütten über weite Strecken mit sich führten. Selbst wenn die Wildbeuter hier in Atlantiknähe v. a. Muscheln gesammelt, vereinzelt Robben geschlagen

und von Seevögeln gelebt haben – es muss zumindest Buschwerk vorhanden gewesen sein zum Hüttenbau.

Im vergangenen Jahr entdeckten wir beiläufig in einem riesigen Sanddünengebiet mit 10 – 25m hohen Dünen, ca. 8 km vom Atlantik entfernt, eine wiederaufgedeckte Feuerstelle mit Knochenresten, Holzkohle, Keramikscherben und Straußeneierschalen. Die Bestimmung der Knochenreste durch Frau Dr. D. Mörke (Staatliches Museum für Naturkunde, Stuttgart) zeigte, dass hier Antilopen verzehrt wurden (Springbock und Oryx-Antilope) – keine Meerestiere, wie zunächst vermutet. (Die Altersbestimmung an diesem Fund ist noch nicht abgeschlossen.). Der Befund stützt die genannte Hypothese einer ehemaligen savannenartigen Vegetation in diesem Raum, zumindest in der Nähe der Gerinnebetten. Das bedeutet entsprechend

### **Neuzeitliches Klimapessimum: Die "Kleine Eiszeit" (ab 1330; v. a. 1550 – 1850 n. Chr.)**

Bereits Anfang des 14. Jahrhunderts kann man den Beginn der sog. "Kleinen Eiszeit" ansetzen – einen erneuten Klimawandel zu kaltem, wechselhaftem Klima mit entsprechend negativen Auswirkungen auf den wirtschaftenden Menschen. 1313 bis 1319 stellten sich Extremereignisse mit Überschwemmungen ein. 1342 kam es zu einer ungeheuren Hochwasserkatastrophe in Mitteleuropa, verbunden mit einer beträchtlichen Umgestaltung der Kulturlandschaft durch Bodenerosion [16]. Während einer außergewöhnlichen Wetterlage generiert sich aus einem mehrtägigen wolkenbruchartigen Dauerregen eine "Jahrtausendflut". Der Bodenab-

hohe Niederschläge zumindest im Einzugsgebiet des Uniab-Flusses, der als Fremdlingsfluss sicherlich regelmäßig durch das Wüstengebiet geflossen ist als heute, so dass sich eine Galeriewald-artige Begleitvegetation mit Graswuchs eingestellt hat. Möglicherweise fielen auch flächenhaft innerhalb der heutigen Extremwüste, wo gegenwärtig im Jahresmittel weniger als 20 mm Regen fallen, ausreichend hohe Niederschläge für eine Strauch- oder Trockensavanne.

Die aufgeführten Einzelbefunde sind noch kein Beweis für eine weltweit wirksame Klimafluktuation, sondern nur ein Hinweis. Es wird vielleicht deutlich, wie diffizil sich eine paläoklimatische "Spurensicherung" gestaltet, da ein Klimatyp sich nicht unmittelbar in eindeutigen Relikten dokumentiert, sondern indirekt erschlossen werden muss.

trag auf den Nutzflächen ist gewaltig. Man schätzt, dass auf dieses Ereignis die Hälfte des gesamten Bodenverlustes der letzten 2000 Jahre entfällt. Im Gefolge dieser Entwicklung treten Pestepidemien (zw. 1347 und 1352) auf – die Bevölkerung ist auf Grund der Mangelversorgung durch die Klimakrise geschwächt und für Seuchen disponiert. Zusammen mit den Opfern der Hungersnöte reduziert sich die Bevölkerung um mehr als 40 %. Mitteleuropa erlebt einen zivilisatorischen Rückfall mit Aberglauben und Hexenverfolgung.

### **Krise und Auswanderung**

Vor allem vom 16. bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts lassen sich

kräftige Gletschervorstöße in den Alpen registrieren (Abb. 26). Die Waldgrenze sinkt wieder spürbar ab. Der Höhepunkt der Entwicklung wird in Mitteleuropa um 1640 erreicht, zur Zeit des 30-jährigen Krieges. Vor allem Süd- und Südwestdeutschland leidet unter häufigen Missernten durch nasskalte Sommer und extreme Jahreszeitemausprägungen (s. Abb. 22). Das Getreide reift nicht mehr aus, die Ernte verfault, Mehltau- oder anderer Pilzbefall beeinträchtigt das Erntergebnis, Teile der

Bevölkerung werden durch Mutterkornvergiftungen betroffen. Unmittelbare Folgen der Agrarkrise sind Wüstungen in Mittelgebirgen; die Höhenlandwirtschaft wird aufgegeben. Mit der Abwanderung der Bevölkerung in die Städte verschärft sich dort, wie auch auf dem Lande, die Versorgungslage (Mangelernährung, Hygiene-Probleme). Getreide wird sehr knapp und damit teuer [17, 20]. Mitteleuropa erlebt einen weiteren drastischen Bevölkerungsrückgang um 30 – 40 % und Auswanderungswellen in die Neue Welt.

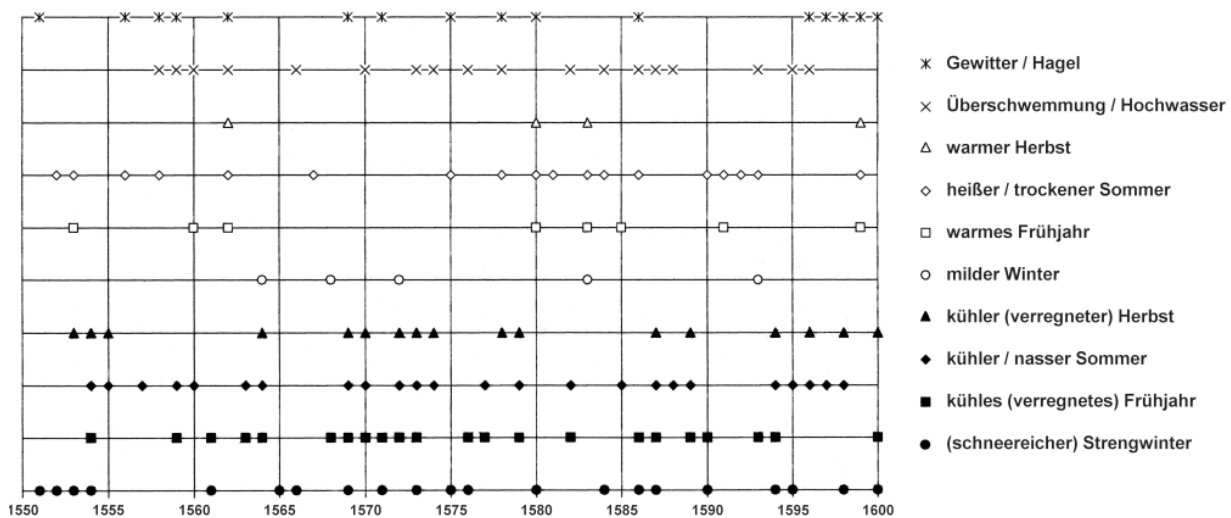


Abb. 22: Die Rekonstruktion von Witterungsereignissen im 16. Jahrhundert zeigt, dass Deutschland in der "Kleinen Eiszeit" immer wieder von mehrjährigen Phasen besonders schlechter Witterungsabläufe heimgesucht wurde. Hungersnöte führten vermehrt zu Auswanderungen. ( aus B. Hummler, 1993[17]).

Im nördlichen Europa erreicht die sog. Kleine Eiszeit ihren absoluten Höhepunkt um 1680 – 1700 mit schlechten Getreideernten in Schottland, Irland, Skandinavien und dem Baltikum. Während der Renaissance werden zum Teil die Loggien verbaut. Im Nordatlantik nimmt die saisonale Eisbedeckung wieder zu. Grönland wird vom Mutterland abgeschnitten. Die Inuits verdrängen die

Wikinger, übernehmen deren Siedlungen. Island wird zunehmend vom Packeisgürtel blockiert.

Innerhalb der "Kleinen Eiszeit" (1550 – 1850) treten auch mildere Abschnitte und sogar sehr warme Einzeljahre auf. Klimatisch ist die Phase durch eine große Variabilität und damit durch ein großes Produktivitätsrisiko gekennzeichnet. Variabili-

tät bedeutet damit (gegenüber stabilen, "berechenbaren" Klimasituationen, s. oben) Lebensbedrohung und Zukunftsangst. Spontane wie auch prophylaktische Auswanderungswellen in die "Neue Welt" sind die verständliche Folge. In das Klimapessimismus der Kleinen Eiszeit fallen zu-

sätzliche Extremereignisse, die die Versorgungssituation verschärfen, z. B. Vulkanausbrüche 1812 – 1817 in Indonesien. 1815 explodierte der Vulkan Tambora. Der um den Globus ziehende gewaltige Aschenauswurf bescherte Teilen der Welt ein "Jahr ohne Sommer".



Abb. 23: Die Apokalyptischen Reiter von A. Dürer stehen sinnbildlich für die neuzeitliche Klima- und Lebenskrise der "Kleinen Eiszeit": Hungersnot, Pest, Krieg, Tod.

### Hochasien - Jahresringe als Klima-zeiger

Ein weitere Ergänzung der "klimatischen Spurensuche" für eine global wirksame Klimaverschlechterung der Neuzeit findet sich auch in Teilen Hochasiens. Die Dendrochronologie

und -ökologie wird hier als Methode zur Klimarekonstruktion eingesetzt. Dr. A. Bräuning, Wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl für Physische Geographie in Stuttgart versucht, über die Analyse von maximalen Spätholzdichten an Bäumen (insbes. Fichten und Wacholder), die Som-

mentemperaturen vergangener Jahrhunderte / Jahrtausende in Tibet zu rekonstruieren (Abb. 24). Es zeigt sich, dass die Zeiträume mit den kältesten Sommern während der letzten knapp 400 Jahre in der Mitte des 17. Jahrhunderts und um 1700 auftraten. Jedoch kommen auch um 1780 – 1790, 1810 – 1820, 1860 –

1870, 1905 – 1920 und 1950 – 1970 Perioden mit einer erhöhten Häufigkeit kalter Sommer vor. (Es ist denkbar, dass solche kurzen Schwankungen innerhalb einer längeren kühlen Klimaperiode auf Sonnenfleckentätigkeit zurückgeführt werden können.)

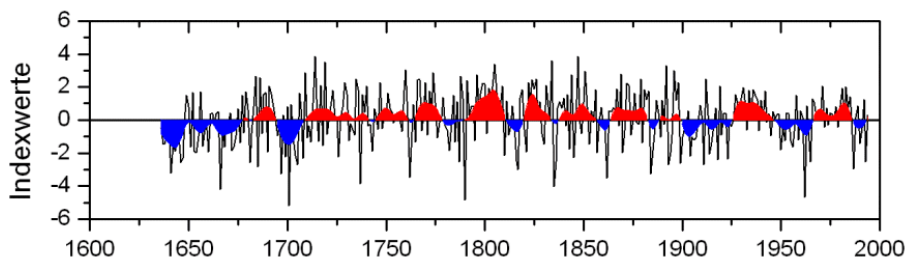


Abb. 24: Rekonstruktion der Temperaturen von August und September für Ost-Tibet anhand der maximalen Spätholzdichte von Fichten. (Die beprobten Bäume wachsen in über 4400 m Höhe nahe der Waldgrenze.) Gefüllte Kurven stellen das 5-jährige Mittel dar. Blaue Bereiche sind kühler, rote Bereiche wärmer als das langjährige Mittel, (Entwurf A. Bräuning, 2002)

Der Beginn der "Kleinen Eiszeit" lässt sich in Tibet anhand über 1000 Jahre alter Wacholderchronologien auf etwa 1420 datieren und führte auch in Tibet zu einem verbreiteten Vorstoß der Gebirgsgletscher. Dies dürfte überwiegend auf verminderte sommerliche Abschmelzraten der im Sommerhalbjahr fallenden monsonalen Niederschläge zurückzuführen sein. Jedoch stellt sich dieser Zeitabschnitt nicht als in sich einheitliche Periode unterdurchschnittlicher Temperaturen dar, sondern wurde immer wieder durch kurze Phasen erhöhter Temperaturen, wie etwa um 1680 – 1690 oder 1790 – 1810, unterbrochen (Abb. 24).

#### Verschütteter Galeriewald in der Wüste

In unserem südwestafrikanischen Arbeitsgebiet verfolgen wir Fragen zum Phänomen der unstillen Wüs-

tengrenzen und Ökosystemveränderungen in der jüngeren Erdgeschichte im Rahmen internationaler Forschungsprogramme (IGCP: International Geological Correlation Program. Unter dem Leitthema "Shifting Desert Margins and Palaeomonsoons" laufen entsprechende Untersuchungen auf verschiedenen Kontinenten.) Noch unklar ist, ob das nachfolgende bisher singuläre Beispiel repräsentativ ist und tatsächlich die Reaktion eines Trockengebiets auf eine noch trockenere Klimasituation belegt: Von VOGEL UND RUST [19] wurde ein „in der Kleinen Eiszeit verschütteter Wald“ am Hoanib-Rivier in NW-Namibia beschrieben. In geschichteten Fluss-Sedimenten gefundene Hölzer erbrachten Alter, die auf eine Verschüttung in der Zeit 1640 – 1720 n. Chr. schließen lassen. Spätestens im 18. Jahrhundert war die Akkumulationsperiode zu Ende. Damit fällt das Ereignis voll in

die Zeitscheibe des neuzeitlichen Klimapessimums. Kritiker vermuteten, die datierten Hölzer seien nicht in situ, sondern vom Fluss verlagert – es handele sich wohl nicht um einen am Ort verschütteten Galeriewald. Die paläoklimatische Interpretation der Autoren – eine deutlich verschärfte Trockenheit dieses Raumes während der Kleinen Eiszeit – sei damit nicht zu belegen. Im vergangenen Jahr hat unsere kollegiale Arbeitsgruppe, zu der die Profs. Dr. B. Eitel (Heidelberg) und Dr. K. Hüser (Bayreuth) gehören, diesen schwer zugänglichen Wüstenraum systematisch untersucht. Gefunden wurden fossile Bäume, die heute durch die aktuelle Erosion des episodisch fließenden Flusses exhumiert werden (s. Abb. 25). Sie waren tatsächlich in situ (stehend an Ort und Stelle ihres Wachstums) von deutlich geschichteten, bis über 10 m mächtigen feinkörnigen Flussablagerun-

gen verschüttet worden. Eine neue absolute Altersbestimmung an den Hölzern ist in Arbeit. Die Sedimente mit ihrer differenzierten Schichtung zeigen, dass hier nicht eine einzige katastrophale Schlammflut diesen fluss-begleitenden Wald verschüttet hat, sondern zahlreiche Einzelereignisse. Der Hoanib hat eine Zeit lang seine schlammigen Sedimente auf seinem Lauf durch die Wüste zum Atlantik absetzen müssen, da sein Wasseraufkommen zum Weitertransport nicht mehr ausreichte. Größere Gerölle fehlen im Sediment, ein Hinweis auf die stark verminderte Schleppkraft. Der Fluss, der heutzutage im Abstand von einigen Jahren zum Atlantik durchbrechen kann, blieb förmlich im Inland Namibias stecken und verschüttete die Landschaft – ein Hinweis auf die Ausweitung von trockenen, wüstenhaften Verhältnissen in kühleren Zeiten.



*Abb. 25: Der episodische Hoanib-Fluss in NW-Namibia erodiert gegenwärtig einen Teil seiner eigenen Sand- und Schlammflutablagerungen. Dabei werden Bäume, die vor wenigen Jahrhunderten während der "Kleinen Eiszeit" in Lebensstellung verschüttet wurden, heute wieder exhumiert. Vorne rechts ist erkennbar, wie ein Ast des Baumes noch in den Sedimentkörper hineinragt (Aufnahme Sept. 2001)*

## Neuzeitliches Wärmeoptimum (seit 1850)

Mit dem Jahr 1850 geht die krisengeschüttelte "Kleine Eiszeit" zu Ende. Zuletzt zwingt die Kartoffelfäule in Irland und Schottland zahllose Menschen zur Auswanderung nach Übersee. Nun lässt nach mehreren Jahr-

hunderten ein neuer, natürlich bedingter Temperaturanstieg die Gletscher weltweit und deutlich sichtbar abnehmen (Abb. 3, 26). In fast allen Hochgebirgen markieren Endmoränenwälle den Maximalstand des Eisvorstoßes und den Beginn der jüngsten Klimafluktuation (Abb. 26).



Abb. 26: Der Tschiergletscher (Graubünden/Schweiz) zeigt mit seinen Seitenmoränen eindrucksvoll den Stand des Vorstoßes während der "Kleinen Eiszeit". Seit etwa 1850 schmilzt der Gletscher, wie die meisten alpinen Tal- und Kargletscher, kräftig zurück.

Für diesen Prozess der Erwärmung und des Eisrückgangs kommt nur schwerlich eine unmittelbar anthropogene Verursachung in Betracht. Zwar ist die Entwaldung speziell in Europa im Laufe der vergangenen Jahrhunderte kräftig vorangeschritten, die Folgen der Industrialisierung verbunden mit dem eskalierenden Verbrauch fossiler Brennstoffe und der landschaftsschädigenden, emissionsfördernden Bevölkerungsexplosion dürften aber zu diesem Zeitpunkt noch kein klimasteuerndes Ausmaß erreicht haben. Verantwortlich für das Auftreten der neuen Wärmephase ist wiederum wohl eine der hier beschriebenen klimatischen Wellen, deren Ursachen noch weitgehend unbekannt sind. Weder Sonnenfleckenzyklen noch Vulkanereignisse lassen hier eine überzeugende kausale Verknüpfung erkennen. Eine Steuerungsgröße für derartige klimatische Fluktuationen in den angedeuteten Wellenzyklen könnte in Interaktionen von Meeresströmungen mit arktischen und antarktischen Meereisbedeckungen bzw. Kaltwässern zu suchen sein. Möglicherweise stellt sich eine phasenhafte Ausdehnung resp. Verminderung der saisonalen polaren Meereisdecke ein und damit eine Abschwächung oder Verstärkung der ozeanischen Zirkulation. Abnehmende Kaltwasserproduktion schwächt den Nachstrom wärmeren Wassers und umgekehrt (Abb. 27). Die Atmosphäre reagiert(e) entsprechend in Form mehr oder minder zyklischer Fluktuationen, die sich in den hier beschriebenen Auswirkungen auf die Kultur- und Siedlungsgeschichte dokumentieren.

Viel zu wenig Beachtung fand in der Vergangenheit die klimatische Wech-

selwirkung Ozean – Troposphäre. Der Hauptwärmetransport und globale Energieaustausch geschieht über die ozeanischen Wassermassen und Strömungen. Angetrieben wird ein gigantisches weltweites Konvektionssystem (global conveyor belt) maßgeblich von der thermo-halinen Zirkulation [22]: Die in den polaren Breiten erzeugten dichten (besonders salzhaltigen und kalten) Wassermassen sinken in tiefere Bereiche des Ozeans ab und müssen durch nachströmende wärmere Oberflächenwasser ersetzt werden. Ein gutes Beispiel dafür ist der eingangs erwähnte Golf-Strom, dessen Ausläufer bis in das Nordpolarmeer reichen, wo auch die Abkühlung des Wassers mit Hilfe der Meereisbildung und Luftmassen erfolgt (Abb. 27). So wird auch heute mit den Szenarien zu "Global Change" oder "Global Warming" zunehmend und sicherlich begründet auch die Reaktion des Golfstroms auf eine mögliche, kräftige Erwärmung der Atmosphäre diskutiert.

Sollte die zur Zeit laufende natürliche Klimaerwärmung durch anthropogene Verstärkung (Emissionen, Waldvernichtung usw.) die natürliche Steuerung des Klimasystems abwandeln, könnte der Antrieb des Golfstroms mangels ausreichender Kaltwasserproduktion abgeschwächt werden oder gar zu Erliegen kommen: West- und Nord-Europa könnte seine "Fernwärmeheizung" einbüßen [21,22]. Dann dürften deutlich kältere und unwirtliche Lebensbedingungen drohen als zu den schlechtesten Phasen der Nacheiszeit – mehr als nur eine "Kleine Eiszeit".

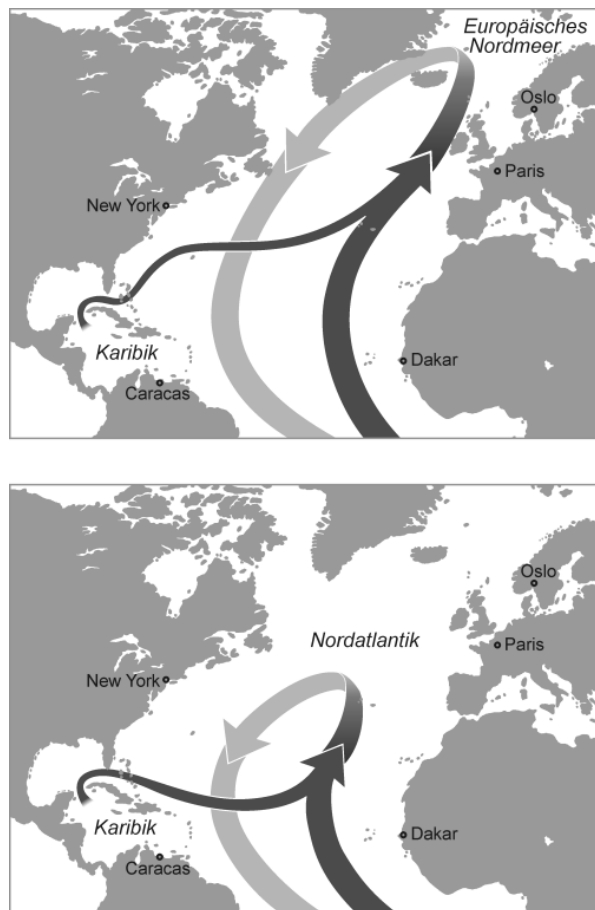


Abb. 27: Der Golfstrom heute (links) und in einer Kaltzeit (rechts): Er ist Teil eines weltumspannenden Konvektionsstromsystems ("global conveyor belt") und sorgt gegenwärtig bis in hohe Breiten für ein relativ mildes Klima. Während der Kaltzeiten endete der Golfstrom wesentlich weiter südlich.

Zur Zeit untersucht die Stuttgarter Doktorandin Silke Sander im Rahmen eines DFG-Projekts, ob die in West-Spitzbergen bereits sichtbaren geomorphodynamischen Veränderungen - verstärkte Massenbewegungen an Hängen, Thermoerosion durch Degradierung des Permafrostes u.a. - als signifikante Indikatoren für "Global Warming" in diesem Teil der Arktis zu bewerten sind. Noch fraglich ist, ob die natürliche Erwärmung durch die anthropogenen Einflüsse tatsächlich einen Verstärkungsimpuls erhält oder ob die beobachtbaren Phänomene noch im Rahmen der klimatischen Variabilität liegen.

### **Keine Rückkehr in die Goldene Zeit**

In historischen und prähistorischen Zeiten geringer Bevölkerungsdichte waren wärmere Klimaperioden stets auch Gunstzeiten für die Bevölkerung. Großräumige Veränderungen an der Naturlandschaft (Rodung, Flächenverbrauch, Versiegelung

usw.), wie sie vor allem mit der Bevölkerungsexplosion seit Beginn der Industrialisierung in Gang gekommen sind, bringen jedoch für menschliche Lebensräume zwangsläufig eine verstärkte Anfälligkeit gegenüber Naturgefahren mit sich. Mit dem zusätzlichen anthropogenem Dreh an der Klimaschraube greift der Mensch in ein System ein, dessen

Wirkungsweisen und Synergien er noch nicht ausreichend kennt. Was er damit ergänzend bewirkt, ist noch umstritten und spekulativ. Zunächst muss sich jedoch die Menschheit sicherheitshalber auf einen verstärkten Gegensatz zwischen polarer Kaltluft und (noch) wärmerer Mittelbreiten- und Tropikluft einstellen. Das bedeutet für Europa heftigere Stürme, häufigere Starkregen und Überflutungen, zunehmende Massenbewegungen an Tal- und Berghängen u.a.m.. Die Goldenen Zeiten des Atlantikums kommen nicht wieder: In einer überbevölkerten Welt kehrt sich zusätzliche Erwärmung in

erhöhtes Risiko. Es leben heute zu viele Menschen in gefährdeten Regionen wie in Tiefländern, an eingedämmten Flussläufen, an Küsten, in versiegelten Ballungsgebieten, in engen Gebirgsräumen, großflächig entwaldeten Flachlandschaften usw. – die Betroffenheit gegenüber klimatischen Extremen wächst exponentiell. Es gilt, eine Klimafolgenforschung schneller zu entwickeln und verstärkt geowissenschaftliche Risikoanalyse zu betreiben, um im Verbund mit Ingenieur- wie Wirtschafts- und Sozialwissenschaften zu wirkungsvollen Vorsorgekonzepten zu finden.

#### **Literatur:**

- / 1 / J. Imbrie & K. Palmer: Die Eiszeiten. Naturgewalten verändern unsere Welt. – Econ Verlag, Düsseldorf 1981
- / 2 / E. Steitz: Die Evolution des Menschen: Schweitzerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 1993
- / 3 / W. D. Blümel (Hrsg.): Geowissenschaftliche Spitzbergen-Expedition 1990 und 1991 „Stofftransporte Land – Meer in polaren Geosystemen“. – Stuttgarter Geographische Studien, Bd. 117, Stuttgart 1992
- / 4 / W. D. Blümel (Hrsg.): Geowissenschaftliche Spitzbergen-Expedition 1990 – 1992 (SPE 90 – 92) – Liefde-, Wood- und Bockfjord / NW-Spitzbergen. – Zeitschr. F. Geomorphologie N. F., Suppl.-Bd. 97, Stuttgart 1994
- / 5 / DER SPIEGEL 1999
- / 6 / T. C. Whitmore: Tropische Regenwälder – Eine Einführung. – Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 1993
- / 7 / B. Eitel, W. D. Blümel & K. Hüser: Environmental transition between 22 ka and 8 ka in monsoonally influenced Namibia – A preliminary chronology. – Z. Geomorphologie N.F., Suppl.-Bd. 126, Berlin/Stuttgart 2002
- / 8 / S. Kröpelin: Zur Rekonstruktion der spätquartären Umwelt am Unteren Wadi Howar (Südöstliche Sahara / NW-Sudan). – Berliner Geographische Abhandlungen, H. 54, Berlin 1993
- / 9 / H.-J. Pachur: Vergessene Flüsse und Seen in der Ostsahara. – In: Geowissenschaften. Jg. 5, H. 2, 1987, S. 55-64
- /10/ H. Müller-Beck (Hrsg.): Urgeschichte in Baden-Württemberg. – Theiss-Verlag, Stuttgart 1983
- /11/ R. Krause: Die bandkeramischen Siedlungen bei Vaihingen an der Enz, Kreis Ludwigsburg (Baden-Württemberg), Verlag P. v. Zabern, Mainz 1998
- /12/ S. Hönscheidt: Holozäne Bodenbildung, Bodenabtrag und Akkumulation am Beispiel bandkeramischer Siedlungsreste bei Vaihingen / Enz (nordwestlich von Stuttgart) – Stuttgarter Geographische Studien, Heft 132, Stuttgart 2002

- /13/ U. Maier & R. Vogt: Siedlungsarchäologie im Alpenvorland VI. Botanische und pedologische Untersuchungen zur Ufersiedlung Hornstaad-Hörnle IA. – K. Theiss Verlag, Stuttgart 2001
- /14/ U. Dolecek: Völkerwanderungen – Folge klimatischer Veränderungen?. (unveröff. Staatsexamensarbeit, Stuttgart 1999)
- /15/ H. H. Lamb: H. H. Lamb: Klima und Kulturgeschichte. Rowohlt Verlag, Reinbeck b. Hamburg, 1989
- /16/ H-R. Bork, H. Bork, C. Dalchow, B. Faust, H.-P. Piorr, T. Schatz: Landschaftsentwicklung in Mitteleuropa. – Klett-Perthes Verlag, Gotha / Stuttgart 1998
- /17/ B. Hummler: Zusammenhänge zwischen Witterung und Kulturgeschichte am Beispiel Bietigheim im Zeitraum 1550 bis 1900 – Eine historisch-geographische Untersuchung. – Unveröffentl. Diplomarbeit, Institut für Geographie, Universität Stuttgart, 1994
- /18/ W. D. Blümel, K. Hüser & B. Eitel: Landschaftsveränderungen in der Namib.- Geographische Rundschau 52, Westermann Verlag, Braunschweig 2000
- /19/ J. C. Vogel & U. Rust: Ein in der Kleinen Eiszeit (Little Ice Age) begrabener Wald in der nördlichen Namib. – Berliner Geogr. Studien 30, Berlin 1990
- /20/ R. Glaser: Klimageschichte Mitteleuropas – 1000 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen. – Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt, 2001
- /21/ Geoskop: Rhythmische Klimaschwankung. – Geo, Heft 6, 2002
- /22/ Rahmstorf, S.: The Thermohaline Ocean Circulation: A System with Dangerous Thresholds. – In: Climatic Change 46, 2000, S. 247 - 256

Erschienen in: Wechselwirkungen – Jahrbuch aus Lehre und Forschung der Universität Stuttgart, 2002

© Prof. Dr. Wolf Dieter Blümel, Institut für Geographie der Universität Stuttgart, Azenbergstr. 12, 70174 Stuttgart, email: [bluemel@geographie.uni-stuttgart.de](mailto:bluemel@geographie.uni-stuttgart.de)