

DER QUARTÄRE KLIMAWANDEL -  
SYSTEM ODER GESCHICHTLICHES EREIGNIS?  
Überlegungen zur geographischen Methode am Beispiel von Eiszeittheorien

Mit 3 Abbildungen und 3 Photos

MATTHIAS KUHLE und SABINE KUHLE

*Summary:* Quarternary Climatic Change – System or Historical Event? Reflections on the geographical method with recourse to Ice Age Theories

Taking the Pleistocene Ice Age as a paradigm for the explanation of historical climatic changes, there are two methodical options: they can be taken a) as a "climatic system", the immanent structure of which creates a regularly repeated glacial-/interglacial-cycle within time; or b) as a "historical event" where every time slice is characterized by new, discordant junctions of structural elements and their successive functional change. Consequently, the characteristics of the Ice Age are polyhistoric and cannot be attributed to a simple "causal machinery". Option a) proposes an identity of the system parallel to the time-axis, while b) regards this as irrational, thus joining the evolutionary methodical concept of Biology and Human History.

*Zusammenfassung:* Bei der Aufklärung der pleistozänen Klimadynamik als Paradigma des Klimawandels überhaupt, stehen zwei methodische Optionen offen: die Klimadynamik kann betrachtet werden a) als einheitliches „Klimasystem“, aus dessen immanenter Gesetzmäßigkeit sich ein regelhaft wiederholender Glazial-/Interglazial-Zyklus in der Zeit ergibt, oder b) als „historische Entwicklung“, bei der jede Zeitscheibe durch neue, diskordante Konjunktionen der Strukturelemente und damit einhergehendem Funktionswandel charakterisiert wird, die Systemeigenschaften daher polyhistorisch sind und keinem gemeinsamen Ursachenkontext zugerechnet werden können. In a) wird eine Systemintegration entlang der Zeitachse vorgenommen, b) lehnt dies als irrational ab und schließt damit an das entwicklungsgeschichtliche Methodenkonzept der Evolutionsbiologie und Kulturwissenschaft an.

### 1 Einleitung: System und Geschichte

Kann eine historische Ereignisfolge als System behandelt werden? In Disziplinen, die traditionell mit Entwicklungsphänomenen befaßt sind, wie Evolutionsbiologie und Humangeschichte, bezeichnet diese Frage bis heute ein zentrales Problem methodischer Auseinandersetzung, mit der immer wieder Positionsveränderungen verbunden waren. In der Physischen Geographie hat eine solche Diskussion bisher kaum Spuren hinterlassen. Die hier vertretene Position ist im Grunde eine auf CHARLES LYELL (1872) zurückgehende 120jährige Konstante: Geo- und Ökosysteme unterliegen zwar einer Entwicklung, aber die Abläufe bleiben immer im Rahmen der natürlichen Gesetzmäßigkeiten. Die Frage, nach welchem Index „natürliche Gesetze“ innerhalb einer Entwicklung von geschichtlicher Konfiguration zu unterscheiden und von ihr zu trennen seien, gilt womöglich als konstruiertes Scheinproblem – die wirklichen Probleme der Geographie werden nicht in ihrer Methode, sondern in ihrem Gegenstand selbst, in der Labilität und Komplexität der systemischen Interaktion und der damit verbundenen Schwierigkeit der eindeutigen Datenerhebung und -interpretation gesehen. Mit der enormen Erweiterung der

Datenbasis für das Quartär ergab sich die Notwendigkeit, von der mono- zur polykausalen Ursachenforschung überzugehen, bei der atmosphärische Zirkulation, Ozeane und Kontinente als interaktive Einheit gesehen werden. Nach diesem Konzept entsteht erst aus der Vernetzung der Subsysteme eben jene sich entlang der Zeitachse entfaltende Dynamik, die u. a. durch den charakteristischen Wechsel von Eiszeiten und Interglazialen gekennzeichnet ist. Es verknüpfen sich damit zwei Fragestellungen: Zum einen die nach den beteiligten prozessualen Gesetzmäßigkeiten (z. B. Massenhaushalt von Gletschern, Gasaustausch zwischen Atmosphäre und Ozean, thermischer Einfluß von Strahlungsbilanzänderungen), zum anderen die nach den kontingenten Randbedingungen, d. h. nach der Konstellation, in der jene Gesetzmäßigkeiten zusammengekoppelt sind und zu der für das Quartär bekannten Klimadynamik führen. Dieses Schema, das bereits dem Aktualitätsprinzip (v. HOFF 1822–1841) zugrunde liegt, entspricht dem von HEMPEL und OPPENHEIM (1948) für die empirischen Naturwissenschaften als grundlegend erkannten deduktiv-nomologischen Erklärungsmodell: aus der Kombination von kontingenten Antezedenzbedingungen (= Randbedingungen) und Gesetzmäßigkeiten (als Prämissen bilden beide zusammen

das Explanans), muß das Ereignis (= Explanandum) logisch ableitbar sein.

Das HEMPEL-OPPENHEIM-Schema erfährt jedoch dann eine entscheidende Modifikation, wenn die Systemeigenschaften und damit verknüpfte Gesetzmäßigkeiten des Explanandums auf einem Komplex von Antezedenz-Bedingungen gründet, der *nicht* in einem gemeinsamen Zeithorizont liegt, sondern aus einer Kette zufälliger Konstellationsbrücken parallel zur Zeitachse besteht, mit der sich erst die Strukturelemente schrittweise bilden, die im rezenten System in einer Zeitebene interdependent kombiniert *erscheinen*.

Die Aufklärung solcher polyhistorischer Systemeigenschaften ist für die Naturwissenschaften von der Evolutionstheorie paradigmatisch herausgearbeitet worden. Es ergeben sich zwei antinomische Argumentationsebenen, die an einem Beispiel demonstriert werden sollen: 1) Die des *rezenten Funktionszusammenhanges*, der nach dem HEMPEL-OPPENHEIM-Schema zu erklären ist. Der Begriff des zeitindifferenten Systems ist hier grundlegender Bestandteil, da sonst die logisch zwingende Verbindung zwischen Prämissen und Explanandum nicht herzustellen wäre. Die drei Gehörknöchelchen des Mittelohrs (Malleus, Incus, Stapes) der Säuger dienen der Schallübertragung vom Trommelfell auf das ovale Fenster des Innenohrs. Durch die Vibration des Stapes (Steigbügel) entsteht eine Druckdifferenz in der Perilymphe des Labyrinths, die in eine neuronale Erregung übersetzt wird. Aus den interdependenten Strukturmerkmalen und daraus resultierendem Ineinandergreifen physikalisch-chemischer Gesetzmäßigkeiten können die Systemeigenschaften der Schallwahrnehmung bei Säugern, dem HEMPEL-OPPENHEIM-Schema entsprechend als geklärt gelten. Dennoch verhalten sich Systemmerkmale und ihre Funktion inkommensurabel zueinander – Vögel verfügen über gleiche Hörleistungen (= identische Funktion), jedoch fehlen ihnen die Gehörknöchel des Mittelohrs (= nicht identische Struktur). Damit wird 2) die Argumentationsebene auf die *Entwicklungsgeschichte*, d. h. von der rezenten auf die historische Dimension verlegt: Bei den Cynodontiern (Unterordnung der Therapsiden = reptilien-ähnliche Stammlinienvertreter der Säuger) fand im Zuge der Ausbildung eines sekundären Kiefergelenks die funktionale Abkoppelung u. a. der primären Gelenkelemente (Quadratum = Incus und Articulare = Malleus) statt. Die aus der Gefügelockerung der postdentären Knochenelemente folgende Vibrationsanfälligkeit führte dazu, daß der ganze Komplex für den Funktionskreis der Schallwahrnehmung sensibel und in diesem

neuen Kontext selektiv umdefiniert wurde (vgl. CARROLL 1993, 404–407). System-immanent, d. h. als deterministischer oder auch nur wahrscheinlicher Optimierungsprozeß des primären Kiefergelenks ist diese Entwicklung nicht zu verstehen, da es bei den übrigen Amniota funktional erhalten blieb. Um den Prozeß zu erklären, muß vielmehr die historisch-singuläre Entscheidungskette der zufälligen Stammgruppen-Sezession und ihre zufällige Milieuposition als ursächlich für die funktionsfremde Verschleppung von Strukturelementen in einen neuen Interpretationskontext herangezogen werden. Im Gegensatz zur ersten Erklärungsebene quer zur Zeitachse, d. h. innerhalb einer Zeitscheibe, verläuft die zweite parallel dazu – sie tritt dort auf, wo Systeme das Ergebnis zeitlicher Entwicklungsreihen bzw. einer nur in der Geschichte nachvollziehbaren Entstehungsabfolge sind. Unter dieser Fragestellung aber wird nun der Systembegriff zum Problem, denn ein System definiert sich über die Interdependenz seiner Teilelemente. Die konstituierende Struktureigenschaft des rezenten Systems konvertiert hier jedoch entlang der Zeitachse zum zufälligen Randeffekt eines gänzlich fremden vorangegangenen Kontextes, dem sie als das Produkt gänzlich anderer funktionaler Eigenschaftscharakteristik ursächlich anhängt. Entwicklungsphänomene zeichnen sich aus durch die funktionsunabhängige Verschleppung von Strukturen, deren „Eigenschaften“ durch den jeweiligen systemischen Kontext definiert werden. *Zeitparallele* Ereignisse sind somit keiner Erklärung im Sinne des HEMPEL-OPPENHEIM-Schemas zugänglich, da sie nicht als System aufgefaßt werden können, sondern nur rekonstruierbar sind im Sinne einer historischen Ereignisfolge. Prämissen und Gesetzmäßigkeiten, die das jeweilige Stadium eines historischen Merkmalskomplexes erklären, gehören verschiedenen Zeitebenen mit unterschiedlichen Funktionskontexten an, die zwar stringent aufeinander aufbauen, aber nicht logisch aufeinander folgen. Wir lehnen daher auch den Begriff der „Selbstorganisation“ ab, da ein „Selbst“, das sich in der Zeit organisiert, entweder nur eigenschaftslos-relativistisch und damit sinnlos oder aber als lediglich fiktiver „harter Kern“ des Systems, also mystische Entität, definierbar wäre.

Den Systembegriff als Erklärungsansatz auf ein historisches Ereignis anzuwenden heißt, zeitlich disparate Prämissen in einen gemeinsamen Horizont zu projizieren, so daß das funktional Inkommensurable zur immanenten Systemeigenschaft homogenisiert wird, so, als ob Quadratum und Angulare gleichzeitig Kiefergelenk- und Mittelohrknochen sein könnten. Der erkenntnistheoretische Ausweg aus die-

ser Antinomie ist lange darin gesucht worden, die heute zu einem System gefügten Eigenschaften als zeitresistente Typusmerkmale zu erklären, die, von allem Anfang bestehend, sich in der Geschichte aus rudimentären, unvollkommenen Anfängen zu ihrer eigentlichen, optimalen Form entwickelten. In der Biologie als Vitalismus und auch Kreationismus bekannt, ist dieser Ansatz seit DARWIN (1859) schrittweise methodisch aufgeklärt und eliminiert worden.

Das gleiche Problem, d. h. die Vermittlung von historischem Ereignis und wissenschaftlich tragfähigen Ordnungsparametern, stellt sich für die humanen Geschichtswissenschaften, hier jedoch belastet von den Prämissen menschlicher Intelligenz, Willensfreiheit und Intentionalität. Der „Historismus“ versuchte die Lösung dadurch zu gewinnen, daß er eine fundamentale Differenz zwischen „Erklären“ und „Verstehen“ und damit die bis heute nachwirkende Trennung von „natur-“ resp. „geisteswissenschaftlicher Methode“ postulierte (JAEGER u. RÜSEN 1992, 62 ff). Über die Kategorie des „Verstehens“ sollte der Historiker die geschichtliche Totalität (DROYSEN), die als „Lebenszusammenhang“ (DILTHEY) nicht kausal herleitbar ist, erfassen und deuten können. Die entscheidende Dünnstelle ist hier, wie im Vitalismus/Kreationismus, die Geschlossenheit des hermeneutischen Zirkels (SCHNÄDELBACH 1987, 137 ff), der davon ausgeht, daß logische Deutungsmuster und historische Konfiguration im System zu ihrer „wahren“ Einheit finden. Die Überwindung des Historismus ist entsprechend dadurch charakterisiert, daß die Möglichkeit dieser Einheit grundsätzlich negiert, der Hiatus zwischen Methode und Gegenstand offengelegt und geradezu zur Voraussetzung und zum Ausgangspunkt wissenschaftlicher Arbeit wird (WEBER). In den modernen Ansätzen wird daher Geschichte „nicht mehr vornehmlich auf der Ebene intentional gesteuerter Interaktionen angesiedelt, sondern auf der tieferen Ebene struktureller Handlungsbedingungen und -voraussetzungen“ (JAEGER u. RÜSEN 1992, 183). Dies bedeutet aber, daß – wie in der Evolutionsbiologie – die Begrifflichkeit des funktionalen Systemzusammenhangs aufgelöst und als das Ergebnis historischer Ereignisfolgen „in die Sphäre der sozialen Wirklichkeit rückübersetzt“ (ASSMANN 1992, 204) werden muß. Es geht um die Rekonstruktion der jeweils historischen Zugehörigkeitsstrukturen, d. h. extern und intern verankerte Identitätsdefinitionen und Institutionalisierung von sozialen Einheiten sowie um die wechselnden Medien ihrer Traditionsfixierung (rituelle, architektonische oder textuelle Kanonbildung; vgl. ASSMANN 1992), deren Gründungspara-

meter nicht aus intendierten, sondern kontingenten Konstellationen entstehen (MEIER 1995, 12–24). Die analytische Rekonstruktion des Historikers richtet sich daher, in gleicher Weise wie die des Evolutionsbiologen, auf die Individualität und die zeitgeschichtlichen Bedingungen ihrer polymorphen Eigenschaften: „[...] die Kausalfrage ist, wo es sich um die Individualität einer Erscheinung handelt, nicht eine Frage nach Gesetzen, sondern die Frage, welcher individuellen Konstellation sie als Ergebnis zuzurechnen ist: sie ist *Zurechnungsfrage*“ (WEBER 1904, 58).

Das Verhältnis der Physischen Geographie zu der Geschichtlichkeit ihres Gegenstandsbereiches bildet quasi das andere Extrem zu dem der Humanhistoriker, weil das Problem individueller Entwicklung für den Bereich anorganischer Materie von vornherein ausgeschlossen schien. Für die Auseinandersetzung mit der Erkenntnismethode historischer Ereignisse schien daher keine Notwendigkeit, resp. gar keine Möglichkeit zu bestehen. LYELL stellte 1872 fest, daß des Naturwissenschaftlers Vertrauen „in die unwandelbare Konstanz der Naturgesetze und in sein Vermögen, von der Gegenwart auf die Vergangenheit zu schließen, was die Veränderungen des terrestrischen Systems in der organischen wie anorganischen Welt betrifft, nicht erschüttert zu sein braucht, vorausgesetzt, er leugnet zumindest in der organischen Welt nicht die Möglichkeit eines Gesetzes der Evolution und des Fortschritts“ (LYELL 1872, I, 171). Erdgeschichte ist also nicht eigentlich „Geschichte“, sondern resultiert bloß aus der Variation von Antezedenz-Bedingungen bei völlig konstanten Grundbedingungen (Gesetzen). Neuerdings bieten sich auch von mathematisch-physikalischer Seite mit der Komplexitäts- und Chaosforschung ahistorische theoretische Ansätze, die speziell für die Erklärung hochstrukturierter Geosysteme, wie sie z. B. der quartären Klimadynamik zugrunde liegen, relevant erscheinen und schon vielfach aufgegriffen wurden. Zum Forschungskonzept gehört hier das vernetzte Klimasystem mit schlagartigen Zustandsänderungen beim Erreichen kritischer Punkte (z. B. NICOLIS u. PRIGOGINE 1987; FLOHN 1988; BROECKER u. DENTON 1990), dessen analytische Aufklärung letztlich zu einem Bündel (Set) elementarer Begriffe und Gesetzmäßigkeiten führen soll. Nicht von ungefähr ist allerdings der „einheitlichen Theorie hochstrukturierter Systeme“ in den eigenen Reihen „eine gewisse Tendenz zu Obskurantismus und Mystifikation“ (GELLMANN zit. nach HORGAN 1995, 64) zugesprochen worden, denn die methodische Struktur könnte genau derjenigen entsprechen, die sich im Falle von Vitalis-



*Photo 1:* Granit-Dom (Glocken-Berg) in NW-Schweden westlich der Wasserscheide im oberen Gjerdalen aus 500 m ü.M. gegen E gesehen ( $67^{\circ}42' N / 16^{\circ}15' E$ ). Die geomorphologische Ausstattung dieses skandinavien Gebirgsraumes scheint dem Typ einer klassischen glazial-erosiven Landschaft, ausgewiesen durch geglättete Felsoberflächen und Rundhöckerfluren (s. Photo 2) sowie von lateralem Flankenschliff konvex gestalteten Hängen, zu entsprechen. Tatsächlich aber ist die Formenentwicklung hier primär von der Gesteinsstruktur abhängig und durch Entlastungsklüfte gesteuert

*Photo:* S. KUHLE, 21. 7. 1995

Granite-dome in NW-Sweden, W of the water divide in the upper Gjerdalen; seen from 500 m asl towards the E ( $67^{\circ}42' N / 16^{\circ}15' E$ ). The geomorphological shaping of this Scandinavian mountain area seems to reveal the classic glacial erosion landscape, showing U-shaped valley flanks, polished rock surfaces and whale back forms (see Photo 2). However, the morphological structure has to be attributed mainly to the weathering properties of the rock material following the relief fissures

mus und Historismus als erkenntnistheoretisch kontraproduktiv erwiesen hatte: indem Entwicklungsgeschichte und Systemeigenschaften durch zirkuläre Definition kurzgeschlossen werden.

Soll in der Geographie der hermeneutische Zirkel vermieden werden, so muß sich der für Evolutionsbiologie und Humangeschichte grundlegende Hiatus zwischen *zeit-invarianter*, funktionaler Analyse von

Systemeigenschaften und *zeit-parallelem* Aufsuchen der zugehörigen Referenzkonstellationen in *zwei* entsprechend *getrennten Argumentationsebenen* widerspiegeln.

## 2 Systemeigenschaften

Die Expansion und Regression von Gletschern und die damit verbundene Klimadynamik bilden den primären Definitionsrahmen des Quartären Eiszeitalters. Die rezente Vergletscherung ist hierzu der Hintergrund, an dem der Kanon interdependenter Systemmerkmale und ein Maßstab der klimatischen Veränderung entwickelt werden kann. Die Existenzbedingungen von Gletschern werden charakterisiert durch Schneeniederschlag und Umkristallisation, das Fließverhalten von Eis, Akkumulation und Ablation, und sind letztlich eine Frage der systemischen Massenbilanz in Abhängigkeit von spezifischen Milieubedingungen (Gang der Jahrestemperatur, Niederschlagsmenge u. -verteilung u.s.f.). Alle diese glaziologisch relevanten Daten sind für den Vorzeitgletscher grundsätzlich nicht verfügbar. Das Problem besteht überhaupt zunächst darin, die Existenz und Ausdehnung einer solchen ehemaligen Vereisung nachzuweisen. Die Kriterien hierfür sind wiederum von rezenten Gletschern abgeleitet, von den Randeffekten ihrer Fließdynamik – von Erosions- und Akkumulationsformen. Die spezifischen Systemeigenschaften rezenter Gletscher werden somit übersetzt in ihren Negativabdruck, ein glazialmorphologisches Formeninventar, dessen Merkmale über ihre – die räumliche Dynamik glazialer Fließprozesse widerspiegelnde interdependente Lagestruktur kausale, nämlich glazialgenetische Eindeutigkeit erhalten. Der Nachweis einer vorzeitlichen Vergletscherung wird daher nicht über das Einzelmerkmal, sondern über dessen konsequente Einfügung in das glazialtypische Indikatorsystem geführt (KUHLE 1990, 1991b). Der Grund hierfür ist derselbe wie in der Biologie, d. h. nur über die Lagestruktur eines Merkmals kann seine Homologie gegen analoge Strukturen abgegrenzt, resp. umgekehrt trotz Unähnlichkeit die genetische Identität nachgewiesen werden. Das als charakteristisch geltende Phänomen der glaziär konkav ausgeschürften und geglätteten, U-förmigen Trogflanken ist beispielsweise in seiner Ausprägung wesentlich von petrographischen Bedingungen präjudiziert. Die grobbankige, plattige und von Entlastungsklüften gesteuerte Verwitterungsstruktur von Granitdomen (Photo 1) erzeugt mancherorts sogar vollständig klima-unabhängige, scheinbar glazial-

typische Formen (Photo 2), wohingegen ganztalige glaziale Tröge in Sedimentgesteinen und Phylliten durch syn- und postglaziale Detorsion resp. Erosion aussplittern und durch die Anlage von Treppungen und Gesimsen längs von Unstetigkeitsflächen völlig unkenntlich gemacht werden können (Photo 3). Eine weitere Schwierigkeit entsteht dadurch, daß vorzeitliche Vergletscherungen durch ihre bedeutend gesteigerten Dimensionen, z. B. als Piedmontvergletscherung, Phänomene erzeugen, die sich an rezenten Gletschern nirgends realisiert finden – beispielsweise die über Dekakilometer verbreiteten Waschbrettmoränen in Kanada und im Altai (RUDOY et al. 1993, 58f) sowie an semiariden Vorlandvergletscherungen auftretende Bortensander in Zagros, Anden, Tianshan, Alaska-Ränge und Tibet (KUHLE 1989b). In allen diesen Fällen kann die Genese über die Korrelation mit dem System interdependenter glazialgenetischer Merkmale nachgewiesen werden.

Es ist jedoch wesentlich, daß trotz der deterministischen Eindeutigkeit, mit der die Typusmerkmale auf ihre genetische Ursache schließen lassen, sie dennoch nur *mittelbar*, d. h. kontingent mit dieser verknüpft sind. Allgemeiner gesagt ist die *Regelhaftigkeit*, mit der eine *kontingente* Verknüpfung auftritt, die eigentliche Basis für ihren Indikatorwert. Dies bedeutet aber, daß Typusmerkmale primär auf das Faktum systemischer (prozessualer) Identität, nicht aber dessen Kausalität gerichtet sind. So hat z. B. die Mineralogie eines erratischen Blocks, seine Form und Lage, primär nichts mit Gletschern zu tun – erst die Tatsache, daß er im großräumigen geologischen Kontext hier fremd ist und kein alternatives Agens bekannt ist, das seinen Transport von mehreren hundert Metern über ein Gegengefälle hinweg erklären könnte – somit die Kontingenz seiner Lokalisierung, die im Kontext glazialer Dynamik jedoch zur Regelhaftigkeit gehört –, bildet die Grundlage des Beweises (Photo 3). Gleichzeitig gibt es jedoch keine Möglichkeit, von der Existenz erratischer Blöcke und der damit nachweisbaren Existenz einer Vereisung wiederum auf deren Ursachen zu schließen (d. h. es handelt sich um eine nur eindeutige oder wahrscheinliche Beziehung, aber keine umkehrbar eindeutige). In der phylogenetischen Systematik ist dieses erkenntnistheoretisch unbequeme Phänomen seit langem bekannt und Gegenstand einer elaborierten Methodik. So kann z. B. der Ursprung der Abstammungsgemeinschaft der Säugetiere (Mammalia) auf die Amniotenradiation im frühen Oberkarbon datiert werden. Kennzeichen (= Autapomorphie) ist hier die Ausbildung von temporalen Schläfenöffnungen des Schädels, durch die die Synapsiden (heutige Säuger) und Diapsiden



*Photo 2:* Detailansicht der orographisch rechten gegenüberliegenden Talflanke zu Photo 1 aus 580 m ü.M. gegen N. Die zunächst an Rundhöcker erinnernden Stromlinienformen erweisen sich als kluftabhängige Schwellen, die sich *quer* zur Fließrichtung einer potentiellen Vergletscherung in die Talflanke hinauf fortsetzen. Die Zurundung der Kanten kann auch durch kluftgesteuerte in situ Verwitterung erklärt werden. Der Nachweis einer ehemaligen Vergletscherung kann hier nicht lokal, sondern nur über den großräumigen Kontext der Lagebeziehungen zu glazigenen Ablagerungen und eindeutigen Schliffformen in geeignetem Gestein, sowie zugehörigen ELA-Absenkungen geführt werden

*Photo:* M. KUHLE, 21. 7. 1995

Detail of the corresponding, orographic right-hand valley flank (see Photo 1). View from 580 m asl towards the N. The stream lined forms, initially looking like glaciated knobs, turn out to be thresholds which are bounded to the clefts. They continue into the valley flank at right angles to the flow direction of a hypothetical valley glaciation. The rounding of their edges can be explained by in situ weathering, bounded to the clefts. The evidence of a former glaciation cannot be provided here on a local basis, but only within a broader context of the spatial arrangement of glacial deposits, erosional forms and the pertinent lowering of the equilibrium line

(heutige Eidechsen, Schlangen, Krokodile, Vögel) von den primitiven Anapsiden (heutige Schildkröten) unterschieden werden. Die weiteren rund 60 konstitutiven Säugermerkmale treten jedoch erst während

der folgenden 150 Millionen Jahre auf (Ax 1988, 150f), d. h. die Entwicklung der Typuseigenschaften – synapside Schläfenöffnung, sekundäres Kiefergelenk, Gebißstruktur, Mittelohrknochen etc. – lie-

gen auf einer weitgedehnten Zeitskala und haben untereinander keine kausallogische Verbindung, bilden jedoch als kontingenter Merkmalskomplex eindeutige Abgrenzungskriterien gegenüber der Schwesterngruppe „Sauropsida“. Sie sind Kennzeichen einer historischen Identität, nicht aber ihrer Ursachen (vgl. Ax 1988, 33). Daraus folgt auch, daß sie zu wesentlichen Systemmerkmalen moderner Säuger – Endothermie, Fell-Isolation, Milchdrüsen – in gar keinem (Schlafenöffnungen) oder nur indirekt schließendem (Gebißstruktur) Verhältnis stehen (CARROLL 1993, 418 f).

Der gleiche Hiatus tritt zwischen den glazialmorphologischen Typusmerkmalen vorzeitlicher Vergletscherungen und den glazialgeomorphologischen Systemeigenschaften rezenter Gletscher auf und ist auch hier nur partiell zu überbrücken. Ein wesentliches Ziel der Quartärforschung besteht beispielsweise darin, aktuelle und rekonstruierte Gletscherschwankungen mit entsprechenden Klimadaten zu korrelieren und damit einen Maßstab für die Prämissen der Veränderung zu entwickeln. In der Glaziologie hat sich hier das Konzept der Gleichgewichtslinie (= equilibrium line altitude = ELA; auch „Schneegrenze“) durchgesetzt, die als Null-Linie der Jahresmassenbilanz definiert ist und das Nähr- vom Zehrgebiet trennt, so daß aufgrund ihrer direkten Klimaabhängigkeit Gletscher unterschiedlicher absoluter Größenordnung auf einen Nenner gebracht werden. Für vorzeitliche Vergletscherungen, bei denen eine unmittelbare Beobachtung der Massenbilanz nicht möglich ist, kann die Ermittlung der ELA nur indirekt über geomorphologische Indikatoren, d. h. über den Umweg der absoluten Größe einer Vereisung erfolgen. Daraus ergibt sich aber das Problem, daß die Gletschergröße und ihre Variation nicht linear mit der Höhenlage und Variation der ELA zu korrelieren sind, sondern eine diskontinuierliche Funktion klimatischer Parameter in Abhängigkeit von zufälligen topographischen Konfigurationen mit denen sie verknüpft sind, darstellen. Gleiche Absenkungsbeträge der ELA resultieren in unterschiedlichen Zuwachsraten der Gletscherfläche, wobei sich geometrisch zwangsläufig der relative Flächenzuwachs umgekehrt proportional zur Hangneigung des Reliefs verhält (Abb. 2). Über ein an rezenten Gletschern geeichtes Berechnungsverfahren, das diesen Einfluß der Topographie berücksichtigt (KUHLE 1988b), kann die ELA für vorzeitliche Gletscherstände ermittelt und können damit die absoluten Beträge von Klimaschwankungen rekonstruiert werden (100 m ELA-Absenkung =  $-0.5^{\circ}\text{C}$ ). Wie am Beispiel der Säuger-Evolution, muß jedoch betont wer-

den, daß es sich hierbei ausschließlich um die *Feststellung einer Veränderung* handelt, deren klimatische Implikationen zwar indirekt erschlossen, deren *ursächlicher Kontext* damit aber keineswegs berührt ist, denn die Argumentation erfolgt rein immanent allein aus der Logik des rezenten Systemzusammenhanges. Diese zunächst glazialgeomorphologisch für das Quartär erschlossenen, mehrfachen Variationen der globalen Vereisungsflächen und entsprechende Temperaturschwankungen, konnten später über das  $16\text{ O}/18\text{ O}$  Isotopenverhältnis in Meeressedimenten und im grönländischen Inlandeis bestätigt und mit einer absoluten Chronologie versehen werden (HAYS et al. 1976; SHACKLETON et al. 1988; STAUFER 1993). Damit wurde die von CROLL (1875) geäußerte und von MILANKOVIC (1941) präzisierte Vermutung, die Veränderungen der Erdbahnparameter und daraus resultierende Schwankungen der Insolation seien ursächlich für die Glazial/Interglazialwechsel, erstmals überprüfbar. Gleichzeitig hatte die Analyse der antarktischen Eisbohrkerne eine signifikante Verknüpfung von niedrigem  $\text{CO}_2$ -Gehalt (180 ppm) mit Eiszeiten und um fast  $\frac{2}{3}$  höherem (280 ppm) mit Interglazialen ergeben (LORIUS et al. 1988), womit sich eine Verbindung zur Ozeanzirkulation (=  $\text{CO}_2$ -Pumpe) vermuten ließ. Sowohl die Verknüpfung mit den periodischen Schwankungen der Erdbahnelemente als auch mit denen des atmosphärischen  $\text{CO}_2$ -Gehaltes bezieht sich auf eine ganz andere „historische“ Dimension nämlich auf die Koinzidenz ihrer immanenten Systemfunktionen mit der quartärzeitlichen Variation der Gletscherflächen. Es muß nun untersucht werden, ob diese zeit-parallele Verknüpfung entweder als Begleit- oder Folgeerscheinung oder aber als ursächlich begründende Prämisse der eiszeitlichen Klimadynamik zu interpretieren ist. Damit verändert sich jedoch die Fragestellung von der nach dem *Faktum* einer zeitlichen Veränderung – für die das rezente System als Vergleichskanon dienen konnte – zu der nach der Ursache dieser Entwicklung.

### 3 Historische Rekonstruktion

Wie die Fremdlingsgesteine der Nordwestdeutschen Tiefebene, die sich als Resultate der glazialen Systemdynamik erklären ließen, könnte sich auch der zunächst zufällig erscheinende Glazial/Interglazial-Wechsel des Quartärs als regelhafte Konsequenz aus einer Systemintegration auf höherer Ebene ableiten lassen. Der erste Erklärungsansatz, der von den periodischen Schwankungen der Erdbahnelemente



*Photo 3:* Erratisches Geschiebe 1000 m über der Haupttal tiefenlinie des Karcha- oder Suru-Tales im Nun Kun-Massiv (W-Himalaya,  $34^{\circ}03'50''\text{N} / 75^{\circ}58'20''\text{E}$ ). Der aus Granit bestehende Block liegt in 4200 m ü. M. anstehenden „dünnblättrigen“ Phylliten auf, welche keinerlei glazigene Bearbeitung mehr erkennen lassen. Trotzdem ist über die Position des Erratikums eine über 1000 m mächtige Vergletscherung des Haupttales und eine weitgehende Relief-Auffüllung mit Eis zu erschließen. Auf dem Talboden befinden sich zwei stromlinienförmig glazigen herausgeschliffene Rundhöcker (OO), die mit flachen Stoß-Hängen rechts talaufwärts und steilen Lee-Hängen links talabwärts weisen

*Photo:* M. KUHLE, 1. 8. 1993

Erratic block located 1000 m above the main valley talweg of the Karcha- or Suru-valley in the Nun Kun-massif (W-Himalaya,  $34^{\circ}03'50''\text{N} / 75^{\circ}58'20''\text{E}$ ). Consisting of granite the block is situated at 4200 m asl, lying on thinly laminated bedrock phyllites, which no longer show traces of any kind of glacial scouring. Nevertheless, the position of the erratic gives proof of an at least 1000 m thick main valley glaciation and a corresponding ice-filling of the adjacent relief. On the valley floor there are two glaciated knobs (OO) with typical gentle slopes up- and steep leeward slopes down-valley

ausgang, versucht, die für die eiszeitliche Vergrößerung der Gletscherflächen nötige Temperaturdepression aus der phasenweise reduzierten Sonneneinstrahlung auf der Nordhemisphäre herzuleiten und

erhält damit gleichzeitig Anbindung an die gesuchte Figur des rhythmischen Wechsels. Der Synchronismus von Schwankungen des globalen Eisvolumens und der Orbitalbewegungen konnte zwar nachgewie-

sen werden, jedoch nur als modifizierende Begleiterscheinung, nicht aber als allein ursächlicher Faktor. Präzession und Ekliptik, mit einer Periode von 20 000 resp. 40 000 Jahren, sind verantwortlich für die *relativen* Schwankungen der Strahlungsbilanz auf beiden Erdhemisphären, wohingegen die Exzentrizität mit einer Periode von 100 000 Jahren eine *absolute* globale Temperaturveränderung, jedoch nur von wenigen Zehntelgrad, ergibt. Die Kurve der eiszeitlichen Gletscherschwankungen zeigt aber die deutliche Dominanz eines 100 000-Jahres-Rhythmus (HAYS et al. 1976; SHACKLETON et al. 1988), der mit einer globalen Temperaturreduktion von  $-5$  bis  $-6$  °C einherging. Zwei weitere Schwierigkeiten sind mit der MILANKOVIC-Kurve verknüpft: 1) das System ist wesentlich älter als das Phänomen, das es erklären soll; 2) die Strahlungsanomalien der Präzession und Ekliptik betreffen nur die Verteilung, nicht aber die Gesamtinsolation, so daß sie jeweils für die beiden Erdhemisphären gegenläufige Effekte hervorrufen – die eiszeitliche Temperaturdepression ist jedoch ein global-gleichzeitiges Ereignis. Es kam daher der Gedanke auf, die Orbitalparameter mit spezifischen terrestrischen Dispositionen in Resonanz zu bringen, so daß in Anlehnung an die Theorie komplexer Systeme die Eiszeiten als Resultat einer selbstorganisierten Interaktion aufzufassen wären, bei der „das von Atmosphäre, Meeren, Kontinenten und Eisdecken gebildete Klimasystem eine natürliche oder bevorzugte Oszillationsfrequenz mit einer Periode von rund 100 000 Jahren besitzt“ (COVEY 1984, 92). Speziell der Ozeanzirkulation – die seit der Entstehung der Landbrücke bei Panama vor rund 3.5 Ma, also in zeitlicher Koinzidenz mit beginnender nordhemisphärischer Vereisungsdisposition unter gleichen geologischen Rahmenbedingungen abläuft – wird hier eine wesentliche Rolle zugemessen. Die nordhemisphärische Reduktion der Sonneneinstrahlung in Abhängigkeit von Ekliptik und Präzession soll die Verdunstung des nordatlantischen Oberflächenwassers und damit seine Dichte verringert haben, so daß der vertikale Wassertransport und infolgedessen die gesamte nordatlantische und globale Strömungszirkulation unterbrochen wurde (BROECKER u. DENTON 1990, 92 ff). Als Konsequenz des fehlenden ozeanischen Wärmetransports nach Norden sowie des reduzierten Treibhauseffektes (aufgrund geringerer Durchmischung von tiefen- mit oberflächennahem Wasser soll die „biologische Pumpe“ aktiviert und der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre reduziert worden sein), ergab sich die weltweite kontinentale Vereisung. Umgekehrt wird eine interglaziale Warmphase durch die nordhemisphärische Erhöhung der

Sonneneinstrahlung und damit wieder einsetzender nordatlantischer Zirkulation veranlaßt. Empirische Daten bestätigen sowohl ein eiszeitlich verändertes Strömungssystem der Ozeane sowie eine Reduktion des CO<sub>2</sub>-Gehalts in der Lufthülle, und es scheint auch die hohe Liquidität, mit der das Ozean-Atmosphäre-Verbundsystem auf Temperatur- resp. Strahlungsschwankungen reagiert, gut zu den kurzfristigen (wenige hundert Jahre), für das glaziale und interglaziale Klima belegten Temperaturwechseln (STAUFFER 1993, 17) zu passen. Gleichzeitig liegt hierin jedoch auch der *schwerste Einwand* gegen das Konzept, denn die Vereisungszyklen müßten unmittelbar die 20 000- resp. 40 000jährige Periodizität nachvollziehen<sup>1)</sup> – wir stoßen daher „auf das gleiche Problem wie andere Theoretiker: Warum ist der astronomische Zyklus von 100 000 Jahren der ausschlaggebende, wo er doch der schwächste der drei Zyklen ist?“ (BROECKER u. DENTON 1990, 98). Zudem bleibt fraglich, wie die globale eiszeitliche Temperaturdepression von mindestens  $-5$  °C entsteht, denn Präzession und Ekliptik bedingen keinen absoluten Strahlungsverlust, sondern nur eine Verschiebung, und die durch CO<sub>2</sub>-Reduktion verursachte Abkühlung kann nur maximal 2 °C betragen haben<sup>2)</sup>. Auch die Einkopplung von Verzögerungseffekten, wie das isostatische Absinken der vereisten Nordkontinente (COVEY 1984, 92 f) oder Verstärkung durch Staub sowie geringerer Methangehalt der Luft reichen nicht aus, den Rhythmus

<sup>1)</sup> Nach BROECKER (1996) werden sogar die extrem kurzfristigen Klimawechsel – bis zu zehn Celsiusgrade in einem Jahrzehnt bei jeweils mindestens 1000jähriger Dauer –, die nach den Ergebnissen der grönländischen Eisbohrungen (GRIP) der eiszeitlichen Temperaturkurve überlagert sind, durch abrupte Systemsprünge der Ozeanzirkulation erklärt.

<sup>2)</sup> VERBITSKY und OGLESBY (1992) kommen mit Modellrechnungen ebenfalls zu dem Ergebnis, daß die nachgewiesenen CO<sub>2</sub>-Schwankungen einen zwar wichtigen, aber nicht dominierenden Faktor für die Erklärung der Eiszeit darstellen.

<sup>3)</sup> Nach BROECKER und DENTON (1990, 94) wird der Klimasprung vom glazialen zum interglazialen Systemzustand durch das Anlaufen der tiefreichenden Ozeankonvektion aufgrund verstärkter nordhemisphärischer Insolation (MILANKOVIC-Zyklus) verursacht. Das daraus folgende Abtauen der polaren Eisschilde und der damit einhergehende Süßwasserüberschuß verhindert jedoch nach BROECKER (1996, 89) das Absinken salzreicher Wasserschichten vor Grönland, unterbricht die Zirkulation und leitet eine Kaltphase ein. In dieser antagonistischen Kombination kann sich ein Klimawechsel *nur trotz, aber nicht aufgrund* der Ozean-Atmosphäre-Kopplung vollziehen.

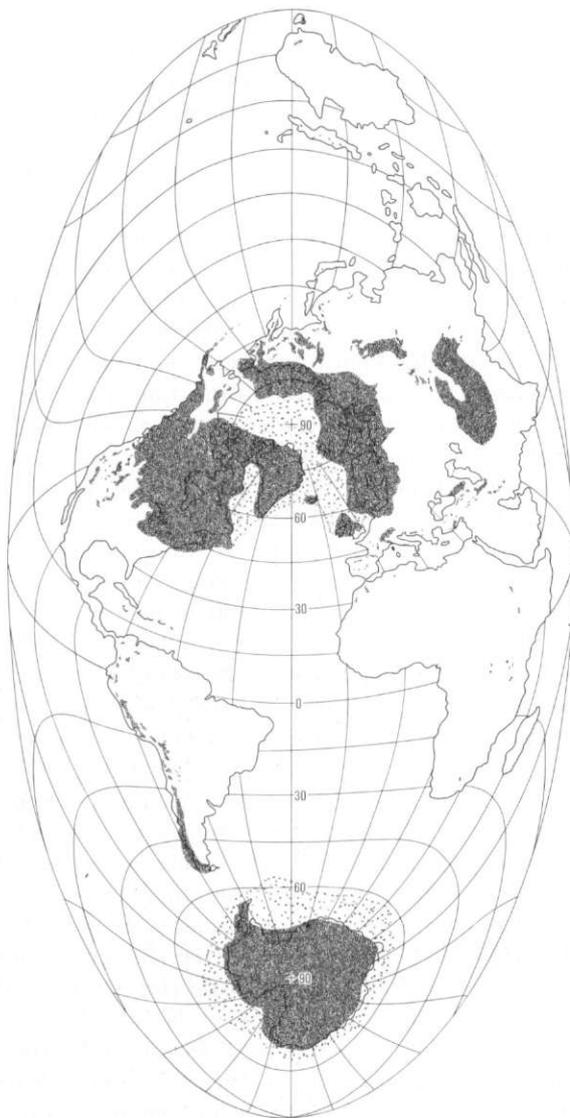
und „die Temperaturunterschiede zwischen den Eiszeiten und Interglazialen zu erklären“ (BROECKER u. DENTON 1990, 97). Dennoch fühlen sich die Autoren in ihren „Grundvorstellungen bestätigt: Übergänge zwischen eiszeitlichen und interglazialen Bedingungen stellen Sprünge zwischen zwei in sich stabilen, jedoch völlig unterschiedlichen Zuständen des gekoppelten Systems Ozean-Atmosphäre dar“ (BROECKER u. DENTON 1990, 98) und knüpfen damit unmittelbar an die Vorstellungen der Komplexitäts-Forscher NICOLIS und PRIGOGINE (1987, 300ff) an<sup>3)</sup>. Dies bedeutet aber, daß allein aus der *Prämisse*, die quartäre Klimadynamik habe *System-Charakter*, sich die Behauptung legitimiert fühlt, daß die Komplexität der Selbstorganisation aus den empirisch als unzureichend und widersprüchlich erwiesenen Parametern trotzdem die gewünschte Figur legalistisch entstehen lassen könne. Die Argumentation ist also analog zu der des biologischen Vitalismus und des anthropologischen Historismus, d. h. es liegt eine „metabasis eis allo genos“ vor, indem funktional ahistorisch definierte Systemeigenschaften durch ihre Projektion auf einen historischen Entwicklungsvorgang unbemerkt zur Ursache ihrer selbst werden.

Für die Methode der historischen Rekonstruktion von fundamentaler Bedeutung ist, daß zwischen Definitionskontext von Systemeigenschaften und ihrer Entwicklung ein *logischer Hiatus* besteht, dessen explizite Herausarbeitung das eigentliche Ziel des Erkenntnisprozesses und dessen Mißachtung die subkutane Einführung eines Irrationalismus bedeutet. Als DARWIN die „vorteilhafte Modifikation“ als Ansatzpunkt der Selektion definierte, unterlief ihm unbemerkt dieser Fehler – die Beziehung lief in dieser Form auf eine Tautologie hinaus. Die Konsequenz war, daß DARWIN das einzige anerkannte Charakteristikum „guter Arten“, die Unfruchtbarkeitsbarriere (= reproduktive Isolation), nicht erklären konnte, weil sie im Sinne der natürlichen Auslese ein negatives Kriterium darstellt (DARWIN 1872, 403, 425ff). Der entscheidende Hinweis kam von dem Geographen MORITZ WAGNER (1868), der erkannt hatte, daß die Definition der „positiven Eigenschaft“ nicht funktional aus dem bestehenden System, sondern dialektisch zwischen Population und Milieu erfolgt, so daß die *zufällige Sezession von Gruppen* und daraus entstehende unabhängige Konstellationskomplexe (= Migration) der eigentliche Ursprung der „vorteilhaften Modifikation“ sind. Reproduktive Isolation kann dann eine „positive Eigenschaft“ für die Selektion werden, wenn die auf der Basis solcher historischen Spaltungen entstandenen, kontext-spezifischen Anpassungsleistungen reinerbigen Nachkommen grö-

ßere Überlebenschancen bieten als unspezifischen Hybriden. Da bezüglich der Selektion sich Milieu und Population in reflexivem, jedoch kontingentem (und dadurch *nicht-tautologischem*) Definitionsverhältnis befinden, kann eine „Entwicklung“ auf zwei verschiedenen historischen Relativbewegungen beruhen: entweder bleibt eine Population geschlossen und wird anderen Milieubedingungen exponiert (z. B. Klimaveränderung) – man spricht dann von „vertikaler Evolution“ –, oder Populationen spalten sich und unterliegen damit getrennten Selektionskontexten. Dies ist der eigentliche Vorgang der Speziesbildung und wird als „horizontale Evolution“ bezeichnet (MAYR 1984, 329f).

Dieses Schema einer geschichtlichen Entwicklung durch relative Kontextverschiebung kann nun unmittelbar auf das Gebiet der Glaziologie übertragen werden. Größe und Dynamik von Vereisungen resultieren aus der zufallsabhängigen Interferenz von spezifischen Klimabedingungen und topographischer Konfiguration. Bezüglich der rezenten Systeme ist der klimatische Parameter die einzige Variable, auf die Veränderungen zurückgeführt werden können. Bezüglich einer geologischen Zeitskala kann eine äquivalente Variation von Vereisungsflächen jedoch auch durch eine polwärts gerichtete Kontinentaldrift (Permo-Karbonische Vereisung, Antarktisches Inlandeis) oder durch orogene Hebung, Gebirgsbildung (tibetisches Plateau) erfolgen, ohne daß sich die globalen klimatischen Randbedingungen geändert hätten. In beiden Fällen – der klimatisch oder geologisch induzierten Gletscherschwankung – ist das phänotypische Ergebnis jedoch gleich: eine Verschiebung der Gleichgewichtslinie (ELA) und damit der Eisrandlagen relativ zum Relief. Eine weitere kontext-abhängige variable Eigenschaft von Gletscherflächen, die für rezente Systeme keine Bedeutung hat, ist die Albedo. Gletscherflächen reflektieren 85%, teilweise sogar bis über 90% (Messungen in 6500–6650 m ü. M. auf der Mt. Everest-N-Abdachung nach KUHLE 1987 u. 1989 a) der einfallenden Strahlungsenergie, während Schuttflächen 80–85% dieser Globalstrahlung in langwellige Wärmestrahlung umwandeln, mit der die Atmosphäre aufgeheizt wird. Der absolute Betrag, mit dem eine gegebene Eisoberfläche in die Wärmebilanz der Erde eingreift, ist daher um so größer, je näher sie am Äquator und je größer ihre Höhenlage über dem Meer ist. Bei einer Einstrahlung von 1000–1300 Watt/m<sup>2</sup> (im Mittel 1180 W/m<sup>2</sup>) in 6000 m ü. M. und 30°N (Mt. Everest-N-Abdachung) ist der negative Effekt für die Wärmebilanz mindestens viermal größer als bei einer Vereisung um 60°N in Meeresspiegellhöhe (KUHLE

1989 a). Die von rezenten glazialen Systemen abgeleitete deterministische Eindeutigkeit, mit der das Faktum einer weltweiten Depression der Schneegrenze (ELA) um 1000 bis 1200 m ursächlich mit einer Temperaturabsenkung von  $-5$  bis  $-6^{\circ}\text{C}$  in Verbindung gebracht wird, muß folglich relativiert werden: Das Entstehen und Anwachsen einer Vereisung kann rein tektonisch induziert sein – der zwangsläufig resultierende negative Einfluß auf die Strahlungsbilanz der Erde richtet sich dann nach den unabhängigen Variablen der Fläche, die in den Bereich der ELA gelangt, nach der geographischen Breitenlage und Höhe über dem Meer. Es muß also überprüft werden, ob der Beginn des quartären Eiszeitalters mit einer tektonischen bzw. paläogeographischen Veränderung koinzidiert, die einen solchen Effekt gehabt haben könnte.



Zwei wesentliche Ereignisse fallen in diesen Zeitraum: 1. die Schließung des Isthmus von Panama vor rund 3.5 Ma (s. o.) und 2. „die Hebung des riesigen zentral-asiatischen Gebirgssystems, das mit dem Namen Tibet nur unzureichend beschrieben wird“ (FLOHN 1988, 181f), vor 5.5 bis 2.5 Ma. Folgt man den in über 20jähriger glazialgeomorphologischer Feldforschung gewonnenen Ergebnissen des Autors (KUHLE 1982–1994), so ist für dieses durchschnittlich in 4500 m ü.M. gelegene Plateau mit seinen Randgebirgen während der letzten Eiszeit ein mindestens 2.4 Mio. km<sup>2</sup> großes Inlandeis nachweisbar, das zwischen 27° und 40° nördlicher Breite (d. h. auf derjenigen von N-Sahara und Mittelmeer; vgl. Abb. 1) mit seiner Oberfläche Höhen von 5000 bis 7000 m ü.M. erreichte. Von dem für die weltweite Gesamtfläche der letzteiszeitlichen Gletscher berechneten albedo-bedingten Energieverlust der Erdatmosphäre von mindestens 10% der Globalstrahlung, entfallen allein 32% (d. h. 1/3 des Gesamtverlustes) auf den durch orogene Hebung induzierten des Tibetischen Inlandeises (BIELEFELD 1993, 99ff).

Gemäß der diskontinuierlichen Beziehung zwischen Einsenkung der ELA und resultierender Vereisungsfläche besitzt jede Topographie einen charakteristischen Graphen ihres Vergletscherungspotentials (Abb. 2 u. 3). Für das tibetische Plateau und seine Randgebirge (Himalaya, Karakorum, Hindukusch, Pamir, Kuen-Lun) ergibt sich hier ein *exponentieller Kurvenverlauf*, bei dem durch eine ELA-Einsenkung in das bestehende, über die Flächen aufragende Hochgebirgsrelief von 1400 m – wie sie heute vorhan-

Abb. 1: Maximale Ausdehnung der Vereisungsflächen während des letzten glazialen Maximums (LGM) auf der Basis einer flächentreuen Projektion. Kontinentale Gletscher sind durch dichte, Meereis durch dünne Signatur gekennzeichnet. Deutlich wird hier die im Vergleich zu den pol-nahen Inlandeisen einzigartige, extrem strahlungsbegünstigte, subtropische Lage des über 2.4 Mio. km<sup>2</sup> großen tibetischen Inlandeises, das zudem mit seiner Eisoberfläche durchschnittlich über 6000 m ü.M. Höhe erreichte

Quelle: Grundkarte nach BROECKER u. DENTON 1990, verändert nach KUHLE 1982–1994

Extension of the glaciation area during the Last-Glacial-Maximum (LGM) based on an equal-area projection. Continental ice is indicated by a dense, marine ice by a sparse signature. In comparison to the circumpolar inland glaciations the unique position of the more than 2.4 Mio. km<sup>2</sup> extended Tibetan inland ice, regarding the extremely high insolation values at subtropical latitudes with an ice surface at approximately 6000 m asl, becomes evident

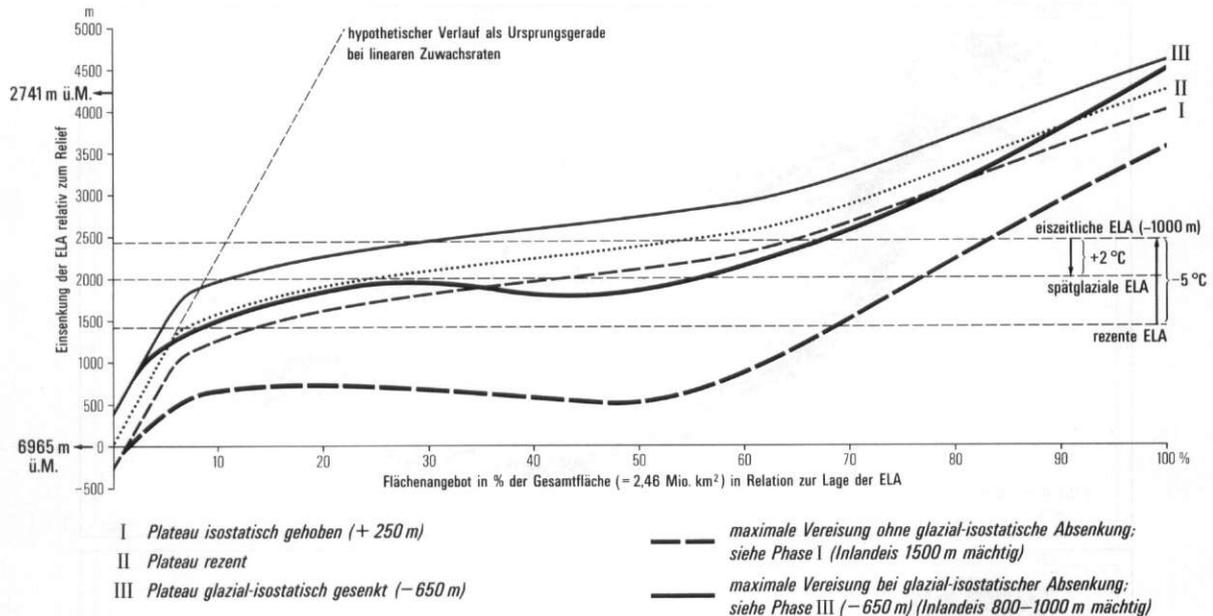


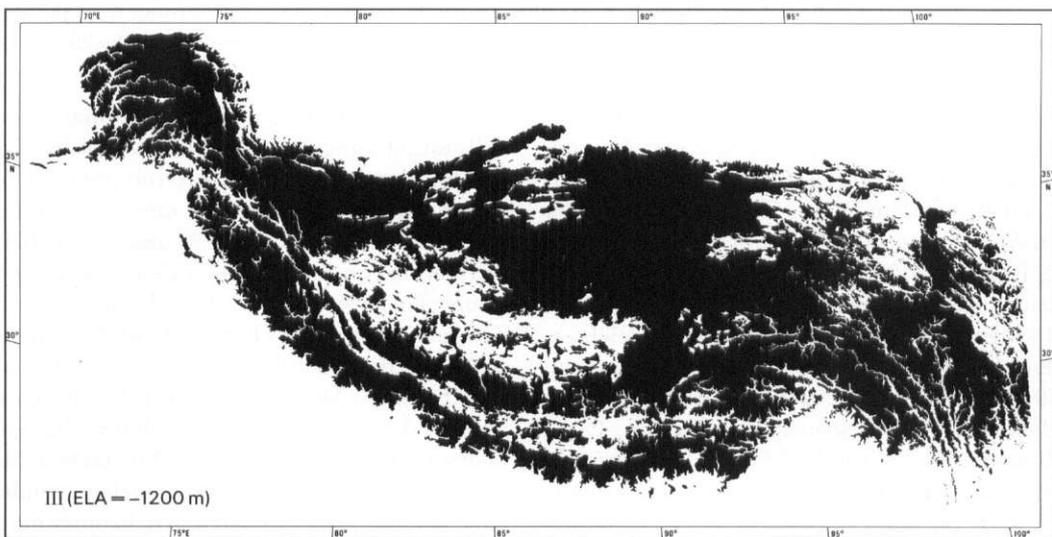
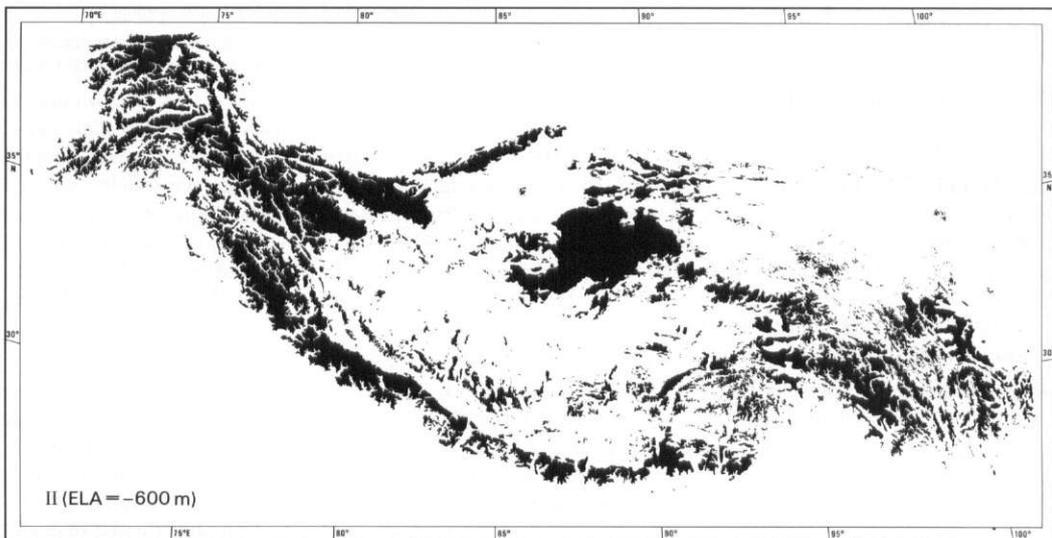
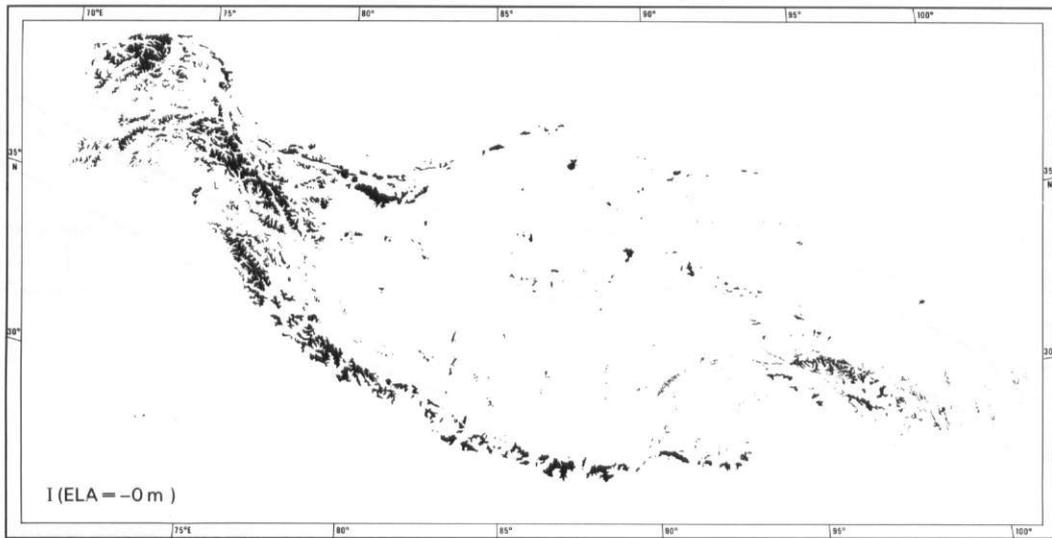
Abb. 2: Topographie-gesteuerte Flächenzuwachsrate der Gletschereinzugsbereiche, berechnet in Abhängigkeit vom relativen Einsenkungsbetrag der Schneegrenze (ELA) I: bei orogen/glazial-isostatisch gehobenem Plateau (+250 m); II: bei rezenter Lage der Plateaufläche, vgl. Abb. 3; III: bei glazial-isostatisch abgesenkter Plateaufläche (-650 m). Für Phase I und II werden die zugehörigen Oberflächen der hochglazialen Plateauvereisung dargestellt. An den Schnittstellen mit dem jeweiligen ELA-Niveau ist abzulesen, wieviele Prozent der Eisoberfläche im Akkumulationsbereich liegen. Bei 65–70% ist von Stabilität, darunter von Rezession, darüber von Zuwachs auszugehen. Die Berechnungsgrundlage für Kurve II (rezent) umfaßt eine Gesamtfläche von 2.464 121 km<sup>2</sup>, die auf 29 Areale unterteilt wurde. Die Eckpunkte von Kurve II ergeben sich aus der durchschnittlichen maximalen Gipfelhöhe (6965 m ü.M.) resp. minimalen Höhe (2741 m ü.M.) der 29 Flächen.

Quelle: Entwurf M. u. S. KUHLE; Berechnung: R. STASCHEL; Kartographie: A. FLEMNITZ

Calculation of the topography-dependent increase of the glacier-accumulation area in relation to the relative position of the ELA. I: for a orogenetically/glacio-isostatically up-lifted plateau surface (+250 m); II: for the actual position of the plateau, cf. Fig. 3; III: for the glacio-isostatically lowered plateau surface (-650 m). The surfaces of the LGM-glaciations corresponding to phase I (bold pierced line) and phase III (bold line) are indicated. At the intersections with the respective ELA-level is readable, how many percent of the ice surface belong to the accumulation area. A rate of 65–70% indicates stability, below recession, above growth. The calculation basis of graph II (actual plateau surface) refers to a total area of 2.464 121 km<sup>2</sup>, subdivided into 29 sections. The vertices of graph II result from the average of the maximal summit altitude (6965 m asl) and the minimal altitude (2741 m asl), respectively, of the 29 sections

den ist – nur eine Einzugsbereichsfläche von 6% erschlossen wird, während eine *zusätzliche Absenkung* der ELA von nur 200–300 m (250 m) den Flächenzuwachs auf 13%, d. h. mit dem Faktor 5.8 steigert. Bei einer weiteren Absenkung um 300 m sind bereits 24% und bei einer ELA von -1000 m gegenüber heute (entsprechend einer Temperaturdepression von ca. -5°C) sind 54% der Gesamtfläche als Einzugsbereich erschlossen. Angenommen, das Plateau wird um weitere 250 m (isostatisch, s. u.) gehoben (bei einem rezent belegten Hebungsbetrag von 1 cm/a, CHEN 1991, könnte dies in rund 25 000 Jahren erreicht sein), so wären, gleiche Klimaverhältnisse wie heute vorausgesetzt, primär 7% zusätzliche Fläche klimatisch als Gletschereinzugsbereich erschlossen, d. h.

bei einem dann erfolgenden Vereisungsvorstoß und Selbstaufhöhung der Gletscheroberfläche um mehrere hundert Meter – hier wird mit minimalen 200 m gerechnet – entspricht dies einer realen Einzugsbereichsgröße von rund 22% und damit, bei einem Verhältnis von 2:1 Nähr- zu Zehrgebiet, einer Vereisungsfläche von 33%, d. h. 1/3 der Gesamtfläche Tibets wäre von Gletschern bedeckt. Der hohe, durch subtropische Einstrahlungswerte bei großer Meereshöhe bedingte Albedoeffekt würde bereits dann einen *absoluten* Verlust von 1% der globalen Energiebilanz bedeuten und damit auch eine Verstärkung der nordischen Vereisungsprozesse erreichen können. Bei einer so in Gang gesetzten Rückkopplungsschleife muß nun von einer klimatisch induzierten weiteren



Einsenkung der ELA in die Topographie, exponentiellem Zuwachs an Flächen und albedo-bedingten Energieverlusten ausgegangen werden (Abb. 2 Kurve I; Abb. 3), d. h. die tibetische Vereisung kann über ihre albedo-wirksame Lage wesentlicher Auslöser einer weltweiten Kaltphase gewesen sein. Nach der bisherigen, auf das glazialmorphologische Formeninventar gestützten Rekonstruktion des Autors (KUHLE 1987, 1989 a, 1994) ist für das tibetische Plateau und seine Randgebirge während des letzten Glazials von einer flächendeckenden Vereisung in Form einer Inlandvereisung mit randlichen Eisstromnetzen und einer Mächtigkeit von 1500 m, die in zentralen Plateaugebieten und Senken auf über 2000 m anwachsen konnte, auszugehen. In Analogie zur Fennoskandischen Vereisungsfläche, bestätigt auch durch geomorphologische Indikatoren und gestützt durch den Befund einer extremen rezenten Hebungsrates von 1 cm/a (CHEN 1991), wird für das Gebiet der tibetischen Vereisung eine glazialisostatische Absenkung von 600–700 m für wahrscheinlich gehalten (KUHLE 1989 a, 276; 1993, 146)<sup>4)</sup>. Es ergeben sich folgende Konsequenzen: mit einer isostatischen Reaktion ist erst verzögert, unter dem Druck maximaler Eisauflast, zu rechnen. Eine Absenkung um durchschnittlich 650 m (Abb. 2 Kurve III), entsprechend einer relativen Temperaturerhöhung von rund +3 °C, führte zwar zu einer Reduktion der Vereisung, jedoch blieb – unter eiszeitlichen Klimaverhältnissen von absolut min. –5 °C – bei einer Einzugsbereichsgröße von 68% die Gesamtfläche vergletschert und der absolute Strahlungsverlust erhalten. Eine, wenn auch nur lokale, zusätzliche Klimaerwärmung um +2 °C (d. h. 400 m ELA-Anhebung, z. B. durch einen MILANCOVIC-Zyklus), konnte nun aber im Gegensatz zu Phase I eine Destabilisierung und damit das Auseinanderbrechen der Inlandvereisung in authochthone Gebirgsvergletscherungen – d. h. eine Beseitigung der sekundären Aufhöhung –, eine Rückführung der Vereisung auf die reale topographische

Situation und dadurch eine schlagartige Enteisung herbeiführen, die das tibetische Plateau wieder zur wichtigsten Heizfläche der Erdatmosphäre werden ließ. Rechnet man hier, wie in den Initialstadien (s. o.), mit einer Eismächtigkeit von mindestens 200 m in Schneegrenzhöhe, so entspräche dies bei den verbleibenden postglazialen –3 °C einer Einzugsbereichsfläche von nur mehr 12%, resp. unter rezenten klimatischen Verhältnissen (–0 °C) von 5%, d. h. die Vereisung wäre geringer als heute, wo schätzungsweise knapp  $\frac{2}{3}$  der isostatischen Absenkung bereits rückgängig gemacht wurden (Abb. 2 Kurve II, III).

Der Auf- und Abbau der tibetischen Vereisung erweist sich aus vierfacher historischer Wurzel (zeitlich / geologisch / topographisch / geographische Lokalität) als diskontinuierlich hinsichtlich seines absoluten Einflusses auf die globale Energiebilanz. Damit wird zugleich erklärbar, warum die MILANCOVIC-Parameter nur modifizierend, aber nicht primär taktgebend für die quartäre Klimadynamik wirksam werden konnten: solange Tibet nicht selbsttätig (orogen) vereist, kann eine weltweite absolute Temperaturdepression nicht bewirkt werden; ist Tibet vereist, aber noch nicht isostatisch abgesenkt, könnte auch eine Erwärmung um +4 °C zwar bedeutende Flächenverluste, aber keine Enteisung hervorrufen, so daß die Kühlwirkung in ihrer maximalen Intensität bestehen bleibt. Erst eine isostatisch abgesenkte Plateauvereisung kann durch eine hinreichend starke Warmphase beseitigt werden und damit bis zur er-

<sup>4)</sup> Nach neueren Erkenntnissen zum Aufbau des Erdmantels beträgt das Gewicht des flüssigen Mantelmaterials ca. 2.2 g/cm<sup>3</sup> (freundl. mdl. Mitt. von Prof. HIKEDI SHIMAMURA, Lab. F. Ocean Bottom Seismology, Hokkaido Univ., Sapporo am 13. 1. 1996), so daß sich ein Verhältnis von  $\Delta g = 1:2.4$  gegenüber  $\Delta g = 1:3.7$ , mit dem der Autor bei früheren Veröffentlichungen gerechnet hatte (1989, 1993), ergibt.

**Abb. 3:** Topographie-gesteuerter Flächenzuwachs der Gletschereinzugsbereiche in Zentral-Tibet südlich des Tsaidam-Beckens (2.46 Mio. km<sup>2</sup> ohne die Gletscherflächen NE-Tibets und des Tien Shan), berechnet in Abhängigkeit von der relativen Einsenkung der Schneegrenze (ELA): I unter rezenten Bedingungen (vgl. Abb. 2, II); II bei 600 m resp. III bei 1200 m tieferer Schneegrenzlage. Der Flächenzuwachs der Einzugsbereiche berücksichtigt nicht die Aufhöhung der Gletschermächtigkeit, d. h. er stellt eine Minimalkalkulation dar. Die resultierende absolute Vereisungsfläche (= Akkumulations- plus Ablationsbereiche) muß um jeweils mindestens  $\frac{1}{3}$  über derjenigen der kalkulierten Einzugsbereiche gelegen haben.

*Quelle:* Entwurf M. KUHLE; Berechnung: R. STASCHEL; Kartographie: A. FLEMNITZ

Calculation of the topography-dependent increase of the glacier-accumulation area in relation to the lowering of the ELA for Central Tibet south of the Tsaidam-basin (2.46 Mio. km<sup>2</sup> without the glaciations of NE-Tibet and Tien Shan). I: at today's conditions (cf. Fig. 2, II); II: at 600 m ELA-lowering; III: at 1200 m ELA-lowering. The calculation does not consider the increase of glacier thickness, i.e. it is a minimum calculation. The resulting total glaciation area (= accumulation- plus ablation area) must have surpassed that of the accumulation areas by about  $\frac{1}{3}$

neuten Hebung Tibets in Vereisungshöhe (Phase I) interglaziale Klimabedingungen durchsetzen.

Modellrechnungen von MARSIAI (1994) liefern in diesem Zusammenhang eine indirekte Bestätigung. Der Eisauf- und -abbau der N-Halbkugel wird hier rein theoretisch in direkter Abhängigkeit von den Strahlungsanomalien des MILANCOVIC-Zyklus für die letzten 120 000 Jahre simuliert. Das Ergebnis ist eine deutliche Überhöhung der Eisvolumenschwankungen (MARSIAI 1994, Fig. 7a), die nicht im Einklang steht mit den empirischen Daten (HAYS et al. 1976; SHACKLETON et al. 1988; STAUFFER 1993), welche, invers zu der abnehmenden Stärke der Strahlungsanomalien (MARSIAI 1994, Fig. 6), einen über 60–80 000 Jahre diskontinuierlich langsam ansteigenden, im glazialen Maximum vor 20 000 Jahren kulminierenden Trend nachweisen. Diese empirischen Daten entsprechen jedoch genau unserer Vorstellung einer langfristigen Rückkopplungsschleife zwischen tibetischer und nordischen Vereisungen (KUHLE 1987, 1989a), bei der erst nach mehreren 10 000 Jahren maximale Eismächtigkeiten erreicht werden, und nur die anschließende isostatische Absenkung den Weg zur völligen Enteisung frei macht. Nach Modellrechnungen von VERBIZSKY und OGLESBY (1992) sowie MARSIAI (1994) etabliert sich eine flächendeckende Vereisung des tibetischen Plateaus vor allen anderen – was die Vorreiterrolle Tibets für eine aufkommende Eiszeit (KUHLE 1982, 1986, 1987) bestätigt –, wohingegen das zentrale Laurentidische Eis überhaupt nicht, das Fennoskandische spät und nur reduziert zur Ausbildung kommt (MARSIAI 1994, Fig. 8). Am Ende des Eiszeitzyklus bleibt nach MARSIAI (1994, Fig. 10) jedoch das tibetische Inlandeis irreversibel mit bis zu 2000 m Mächtigkeit in voller Flächenausdehnung erhalten! Die direkte Übersetzung der Strahlungsanomalien in terrestrische Eisvolumen erweist sich damit auch in diesem Punkt als unrealistisch, denn das tibetische Inlandeis ist vollständig abgetaut. Auch hier läßt die Diskrepanz zwischen Modellrechnung und Empirie auf die Notwendigkeit einer langfristigen Rückkopplungsschleife zwischen subtropischer Plateauvereisung und pol-nahen Flachlandeis schließen, die eine von den MILANCOVIC-Zyklen deutlich abweichende Konfiguration durchsetzt.

Nach der klassischen Auffassung chinesischer Geologen (CHEN 1991; FANG 1991) erfolgte die Hebung des tibetischen Plateaus in drei Phasen, wobei erst mit der letzten, seit 300 000 Jahren andauernden, die heutige Höhe erreicht wird. Dieses Szenarium beruht jedoch nicht auf entsprechenden empirischen Befunden über die damalige Höhenlage, sondern resultiert

aus der linearen Rückextrapolation der heutigen Hebungsrates von 1 cm/a, ohne daß diese als glazialisostatisch erkannt worden ist. Mit dem Nachweis einer mehrmaligen quartären Inlandvereisung kann Tibet bereits vor 2.5 Ma die heutige Höhe erreicht, dazwischen jedoch isostatisch abgesenkt worden sein (KUHLE 1993). Eine unabhängige Bestätigung für unsere Auffassung liefert auch das Einsetzen des Monsuns vor mindestens 2 Ma, der in seiner Existenz von der hochgelegenen Heizfläche des tibetischen Plateaus abhängig ist (FLOHN 1988, 182).

Der 100 000-Jahre-Zyklus der Glazialphase ist nach vorliegender Interpretation keine system-immanente Schwingungskurve, sondern Produkt einer historischen Konstellationsreihe, bei der aus Flächentopographie, orogener Hebung und glazialisostatischer Absenkung zufällig eine so dichte Grenzwertlagerung erzeugt wird, daß die Zustände der totalen Vereisung und Enteisung in geologisch kurzen Zeiträumen verbunden sind, wobei die geographische Lage dieser Labilitätszone eine Übersetzung in die globale Energiebilanz mit sich bringt. Bei einer Kompensation der isostatischen durch orogene Vektoren könnte jedoch leicht eine Verlängerung oder dauerhafte Etablierung der Glazialphase, bei einem Nachlassen der orogenen Vektoren eine Permanenz der Warmphase auftreten, d. h. der Glazial/Interglazial-Zyklus ist nicht systembedingt regelhaft, sondern bleibt kontingent-geschichtlich.

#### Konsequenzen

Es gibt für die quartärzeitliche Entwicklung kein einheitliches „Klimasystem“ mit einem festen Set von Prämissen, die seit ca. 2.5 Ma in gesetzmäßig sich wiederholenden Zyklen ablaufen. Vielmehr handelt es sich um eine geschichtliche Ereigniskette, in deren Verlauf sich durch die Kontingenz der Prämissen immer neue individuelle Kontexte herstellen.

„Sprünge zwischen zwei in sich stabilen Zuständen des Klimasystems“ sind nur scheinbar identische Wiederholungen – Wechsel und Verlauf von Kalt- und Warmphasen sind durchaus unterschiedlich (z. B. Eem und Holozän; Riß und Würm). Diese Unterschiede sollten nicht als Zufallsschwankungen des Systems abgetan werden, sondern beruhen auf individuellen Konstellationen, die immer die Möglichkeit zu massiv diskontinuierlichen Neuentwicklungen enthalten.

Die geschichtliche Diskontinuität von Systemintegrationen beruht auf dem Funktionswandel ihrer Strukturelemente. Die hochgelegene Heizfläche Tibets

und die monsunale Zirkulation bilden aufgrund ihrer funktionalen Interdependenz die Basis eines „Klimasystems“, das sich immerhin über 170 Längengrade erstreckt (FLOHN 1988, 182). Durch weitere Hebung erfährt das Systemelement „tibetisches Plateau“ jedoch einen Funktionswandel, bei dem der bisherige Kontext von einem gänzlich anderen abgelöst wird, und daher auch ganz neue Eigenschaften auftreten als bisher (Vereisung entsprechend der topographischen Konfiguration, Albedowirkung, Isostasie).

Das Resultat ist eine historische Ereignisfolge, die eine Systemintegration nur rechtwinklig zur Zeitachse, nicht parallel dazu erlaubt. Die Identität und Homogenität von Gradienten (z. B. Temperatur), die zwangsläufig funktional über rezente Systeme definiert sind, muß daher in Frage gestellt und ihre ursächliche Zerlegbarkeit in historisch bedingt diskordante Bezugskontexte untersucht werden. So sind z. B. langfristige 100 000jährige Temperaturschwankungen anders (nämlich orogen) verursacht als die überlagerten 20 000- oder 40 000jährigen (Orbitalschwankungen). Ebenso verhält es sich mit den sehr schnellen lokalen Temperatursprüngen von wenigen 10 oder 100 Jahren Dauer, die für Kalt- und Warmzeiten belegt sind. Auch brauchen langfristige Schwankungen durchaus nicht in sich eine homogene Ursache zu haben.

Das Phänomen der quartären Klimadynamik ist eine geschichtliche Ereignisfolge, äquivalent zu solchen biologischer, anthropologischer oder kultureller Entwicklungsvorgänge und darum methodisch analog zu behandeln. Das System-Konzept auf eine geschichtliche Entwicklung anzuwenden, bedeutet zwangsläufig die Einführung eines Irrationalismus, indem die aus geschichtlich-kontingenten Konstellationen entstandenen polyhistorischen Struktureigenschaften dem System introjeziert und damit zu ahistorischen umgedeutet werden.

Historische Methode bedeutet die explizite Trennung von definierten Systemeigenschaften (innerhalb einer Zeitscheibe) und der Rekonstruktion ihrer ursächlichen Entwicklung (parallel zur Zeitachse). Da von der Kontingenz einer Entwicklung ausgegangen werden muß, bildet notwendigerweise die rezente Systemintegration den Fokus jeder Geschichte und den Maßstab für Art und Weise der aufgetretenen Veränderungen. Diese dürfen jedoch trotzdem nicht als system-immanente Entwicklung aufgefaßt, sondern müssen auf die jeweils historisch-zugehörigen, ursächlichen Kontexte und den sich daraus ergebenden partiellen Funktionswandel ihrer Strukturelemente zurückgeführt werden. Diese zeitparallele Abfolge systemischer Diskordanzen, für die es keine

kompakt-algorithmische Formulierung gibt, ist das eigentliche Ergebnis historischer Forschung.

#### Literatur

- ASSMANN, J. (1992): Das kulturelle Gedächtnis: Schrift, Erinnerung und politische Identität in frühen Hochkulturen. München.
- AX, P. (1988): Systematik in der Biologie. Stuttgart.
- BIELEFELD, B. (1993): Untersuchungen zum albedobedingten Energieverlust der letzten Eiszeit. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Geogr. Inst. d. Univ. Göttingen.
- BROECKER, W. S. (1996): Plötzliche Klimawechsel. In: Spektrum d. Wissenschaft 1, 86–92.
- BROECKER, W. S. u. DENTON, G. H. (1990): Ursachen der Vereisungszyklen. In: Spektrum d. Wissenschaft 3, 88–98.
- CARROLL, R. L. (1993): Paläontologie und Evolution der Wirbeltiere. Stuttgart.
- CHEN, X. (1991): The low velocity upper mantle and the thick-bedded lower crust as an important indicator of deep material state in the Tibetan Plateau. In: Bulletin INQUA, N.C. 14, 85.
- COVEY, C. (1984): Erdbahn und Eiszeiten. In: Spektrum d. Wissenschaft 4, 84–93.
- CROLL, J. (1875): Climate and Time in their Geological Relations: A Theory of Secular Changes of the Earth's Climate. London.
- DARWIN, CH. (1859): The Origin of Species. In: The works of Charles Darwin 15, 1988. London.
- (1876): The Origin of Species. In: The works of Charles Darwin 16, 1988. London.
- FANG, Q. (1991): The age of Hipparion guizhongensis and the upheaval of Qinghai-Xisang plateau. In: Bulletin INQUA, N.C. 14, 87.
- FLOHN, H. (1988): Das Problem der Klimaänderungen in Vergangenheit und Zukunft. Darmstadt.
- HAYS, J. D.; IMBRIE, J. a. SHACKLETON, N. J. (1976): Variations in the earth's orbit: Pacemaker of the Ice Ages. In: Science 194, 1121–1132.
- HEMPEL, C. G. a. OPPENHEIM, P. (1984): Studies in the logic of explanations. In: Philos. Sci. 15, 135.
- HOFF, K. E. A. v. (1822–41): Geschichte der durch Überlieferung nachgewiesenen natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche. Gotha.
- HORGAN, J. (1995): Komplexität in der Krise. In: Spektrum d. Wissenschaften 9, 58–64.
- JAEGER, F. u. RÜSEN, J. (1992): Geschichte des Historismus. München.
- KUHLE, M. (1982): Was spricht für eine pleistozäne Inlandvereisung Hochtibets? In: Sitz. Ber. d. Braunschweig. Wiss. Ges. 6, 68–77.
- (1986): Die Vergletscherung Tibets und die Entstehung von Eiszeiten. In: Spektrum d. Wissenschaft 9, 42–54.
- (1987): Subtropical Mountain- and Highland-Glaciation as Ice Age Triggers and the Waning of the Glacial Periods in the Pleistocene. In: GeoJournal 14, 393–421.

- (1988 a): Geomorphological Findings on the Build-up of Pleistocene Glaciation in Southern Tibet, and on the Problem of Inland Ice. In: *GeoJournal* 17, 457-511.
- (1988 b): Topography as a Fundamental Element of Glacial Systems. In: *GeoJournal* 17, 545-568.
- (1989 a): Die Inlandvereisung Tibets als Basis einer in der Globalstrahlungsgeometrie fußenden, reliefspezifischen Eiszeittheorie. In: *Peterm. Geogr. Mitt.* 133, 265-285.
- (1989 b): Ice Marginal Ramps: An Indicator of Semi-Arid Piedmont Glaciations. In: *GeoJournal* 18, 223-238.
- (1990): The Probability of Proof in Geomorphology: An Example of the Application of Information Theory to a New Kind of Glacigenic Morphological Type, the Ice Marginal Ramp (Bortensander). In: *GeoJournal* 21, 195-222.
- (1991 a): Observations Supporting the Pleistocene Inland Glaciation of High Asia. In: *GeoJournal* 25, 133-231.
- (1991 b): Glazialgeomorphologie. Darmstadt.
- (1993): Eine Autozyklentheorie zur Entstehung und Abfolge der quartären Kalt- und Warmzeiten auf der Grundlage epirogener und glazialisostatischer Bewegungsinterferenzen im Bereich des tibetischen Hochlandes. In: *Peterm. Geogr. Mitt.* 137, 133-152.
- (1994): Present and Pleistocene Glaciation on the North-Western Margin of Tibet between the Karakorum Main Ridge and the Tarim Basin Supporting the Evidence of a Pleistocene Inland Glaciation in Tibet. In: *GeoJournal* 33, 133-272.
- LORIUS, C.; BARKOV, N. I.; JOUSEL, J.; KOROTKEVICH, Y. S.; KOTLYAKOV, V. M. a. RAYNAUD, D. (1988): Antarctic ice core: CO<sub>2</sub> and climate change over the last climate cycle. In: *EOS Trans. AGU* 69, 680-684.
- LYELL, C. (1872): *Principles of Geology or the Modern Changes of the Earth and its Inhabitants Considered as Illustrative of Geology.* New York.
- MARSIAT, I. (1994): Simulation of the Northern Hemisphere Continental Ice Sheets over the Last Glacial-Interglacial Cycle: Experiments with a Latitude-Longitude Vertically Integrated Ice Sheet Model Coupled to a Zonally Averaged Climate Model. In: *Palaeoclimates* 1, 59-98.
- MAYR, E. (1984): *Entwicklung der biologischen Gedankenwelt.* Berlin.
- MEIER, CHR. (1995): *Die Entstehung des Politischen bei den Griechen.* Frankfurt a. M.
- MILANKOVIC, M. (1941): *Kanon der Erdbestrahlung.* Belgrad.
- NICOLIS, G. u. PRIGOGINE, I. (1987): *Die Erforschung des Komplexen.* München.
- RUDOY, A. N. a. BAKER, V. R. (1993): Sedimentary effects of cataclysmic late Pleistocene glacial outburst flooding, Altay Mountains, Siberia. In: *Sedimentary Geology* 85, 53-62.
- SCHNÄDELBACH, H. (1987): „Etwas Verstehen heißt Verstehen, wie es geworden ist“ - Variationen über eine hermeneutische Maxime. In: SCHNÄDELBACH, H.: *Vernunft und Geschichte.* Frankfurt a. M., 125-151.
- SHACKLETON, N. J.; IMBRIE, J. a. PISIAS, N. (1988): The evolution of oceanic oxygen-isotope variability in the North Atlantic over the past three million years. In: *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, B 318, 679-688.
- STAUFFER, B. (1993): Ist ein über mehrere Jahrtausende stabiles Klima die Ausnahme? In: *Spektrum d. Wissenschaft* 11, 16-18.
- VERBITSKY, M. YA. a. OGLESBY, R. J. (1992): The Effect of Atmospheric Carbon Dioxide Concentration on Continental Glaciation of the Northern Hemisphere. In: *Journ. of Geophys. Res.* 97, D 5, 5895-5909.
- WAGNER, M. (1868): *Die Darwinsche Theorie und das Migrationsgesetz der Organismen.* In: WAGNER, M. (1889): *Die Entstehung der Arten durch räumliche Sondernung.* Basel.
- WEBER, M. (1904): *Die „Objektivität“ sozialwissenschaftlicher und sozialpolitischer Erkenntnis.* In: WEBER, M. (1991): *Schriften zur Wissenschaftslehre.* Stuttgart.