

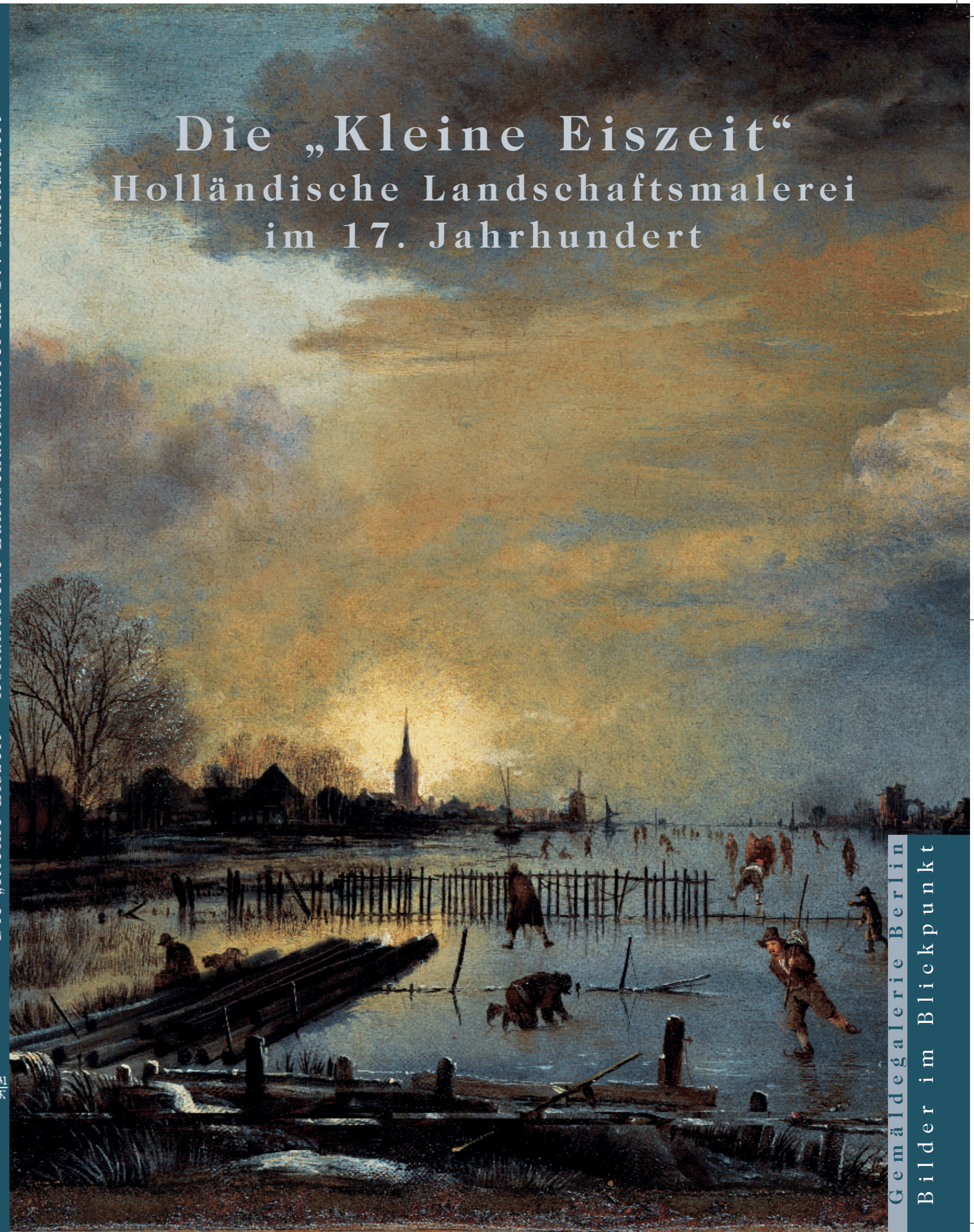


S | M
P | K

Die „Kleine Eiszeit“ · Holländische Landschaftsmalerei im 17. Jahrhundert

17 | 18

Die „Kleine Eiszeit“ Holländische Landschaftsmalerei im 17. Jahrhundert



Gemäldegalerie Berlin
Bilder im Blickpunkt

Die „Kleine Eiszeit“ und ihre Abbildung im Klimaarchiv Binnensee

Jörg F. W. Negendank, Cathrin Brüchmann und Ulrike Kiemel

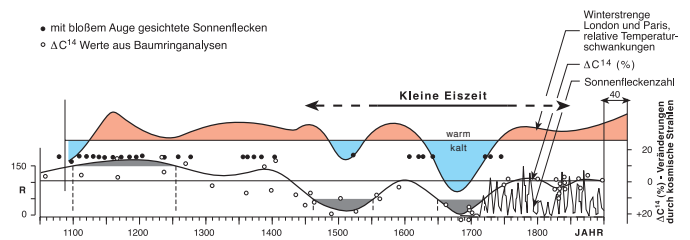
Der auch St. Antonius-Deich genannte Muiderdeich brach während einer Sturmflut in der Nacht vom 4./5. März 1651. Dieser Deichbruch und die folgenden Wiederaufbauarbeiten wurden von Jan Asselijn in mindestens drei Gemälden dargestellt, von denen sich zwei in Berlin, eines in Schwerin befinden (Abb. 26, 27). Dieses Sturmflut-Ereignis muss, auch wegen der damit verbundenen teilweisen Überschwemmung Amsterdams, beträchtliche Aufmerksamkeit erregt haben. Dafür sprechen auch die in Gottschalk (1977, Pl. 5–6) wiedergegebenen Zeichnungen des Zeitgenossen W. Schellinckx'. In der Tat ist das Besondere daran, dass der Muiderdeich ein Binnendeich ist, der Amsterdams Ostseite vor der Zuiderzee schützen sollte. Infolge einer Springflut war die Zuiderzee hoch gefüllt. Die Sturmflut vom März 1651 mit nordwestlichen Windrichtungen muss den nördlich von Amsterdam gelegenen IJ und die Zuiderzee so stark aufgepeitscht haben, dass das östlich von Amsterdam gelegene Deichbauwerk bei ablandigem Wind brach.

Übereinstimmend berichten Gottschalk (1977, p.161–176) und Glaser (2001, 152–154) davon, dass 1650/51 eine sehr regenreiche Periode war, die in Europa weitverbreitet zu Flussüberschwemmungen geführt hat. Zusammen mit dem hohen Niederschlag, der zu einer Aufweichung des Deiches geführt haben kann und der Belastung des Dammes durch die Sturmflut wäre hier ein mögliches Erklärungsmuster für den Deichbruch gefunden, das sich mit der Wetterverschlechterung gut deckt, die mit Einsetzen der so genannten „Kleinen Eiszeit“ etwa hundert Jahre vorher begann.

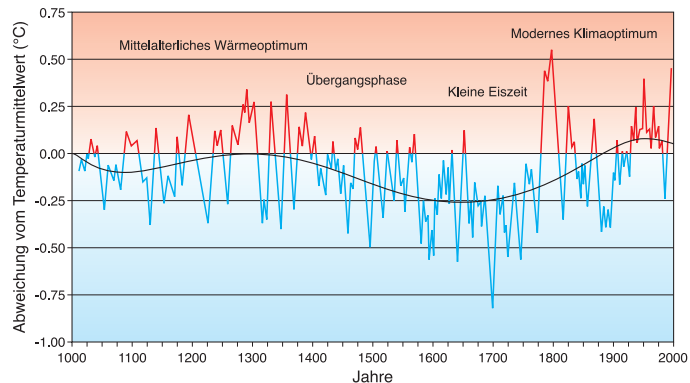
Was verstehen wir unter „Kleiner Eiszeit“?

Unter „Kleiner Eiszeit“ wird in der Umgangssprache eine Periode kälterer Temperaturen, vor allem in den Wintermonaten, etwa zwischen 1550 und etwa 1800 verstanden. Dabei ist der Sprachgebrauch deutlich unterschiedlich und umfasst z. T. auch frühere und spätere Zeiträume, wie die Pfeile in Abb. 51 andeuten. In diesem Aufsatz wird mit „Kleine Eiszeit“ die Zeitperiode zwischen 1500 und 1800 bezeichnet, wie Abb. 51 unter Hinzuziehung der beiden solaren Strahlungs-Minima Spörer- und Maunder-Minimum darstellt. (Abb. 52, nach Glaser 2001) zeigt den detaillierten Temperaturverlauf dieser Periode, der ab ca. 1800 das moderne Klimaoptimum folgt, in dem wir leben. Aus dem geglätteten Temperaturverlauf lässt sich ableiten, dass sich der Terminus „Kleine Eiszeit“ auf die Temperaturdepression zwischen Mittelalterlichem Wärmeoptimum und Übergangsphase sowie Modernem Klimaoptimum bezieht. Die nachweisbaren Temperaturänderungen bewegen sich dabei in der Größenordnung von nicht ganz 1,5 °C.

Zum Vergleich sei an dieser Stelle die Temperaturänderung aufgeführt, die im Rahmen der anthropogen beeinflussten Klimaentwicklung diskutiert wird: Man geht heute unter der Annahme einer Verdoppelung des CO₂-Gehaltes der Atmosphäre von einer globalen Temperaturerhöhung von 1,5 bis 2,5 °C aus. Diese als globale Mittel prognostizierten Werte werden in ihrer regionalen Ausprägung jeweils sehr unterschiedlich ausfallen. Sie können daher nicht mehr als ein grober Orientierungswert sein. Die Temperaturentwicklung der letzten 1000 Jahre entspricht interessanterweise in etwa diesem Wertebereich, d. h. zumindest für die verhaltenen Schätzungen von 1,5 °C liegen wir heute im Bereich natürlicher Schwankungen in Mitteleuropa (Glaser 2001).



51 Der Klimaverlauf der letzten 1000 Jahre nach Beobachtungen der Winterstrenge in Paris und London. Man erkennt das Mittelalterliche Klimaoptimum, die „Kleine Eiszeit“, eine mögliche Korrelation mit den durch kosmische Strahlung verursachten $\Delta^{14}\text{C}$ -Werten, die in Baumringen dokumentiert wurden, und die derzeitige Erwärmung. Zusätzlich sind die Sonnenfleckenaktivitätsmuster eingetragen (nach National Research Council, 1994).



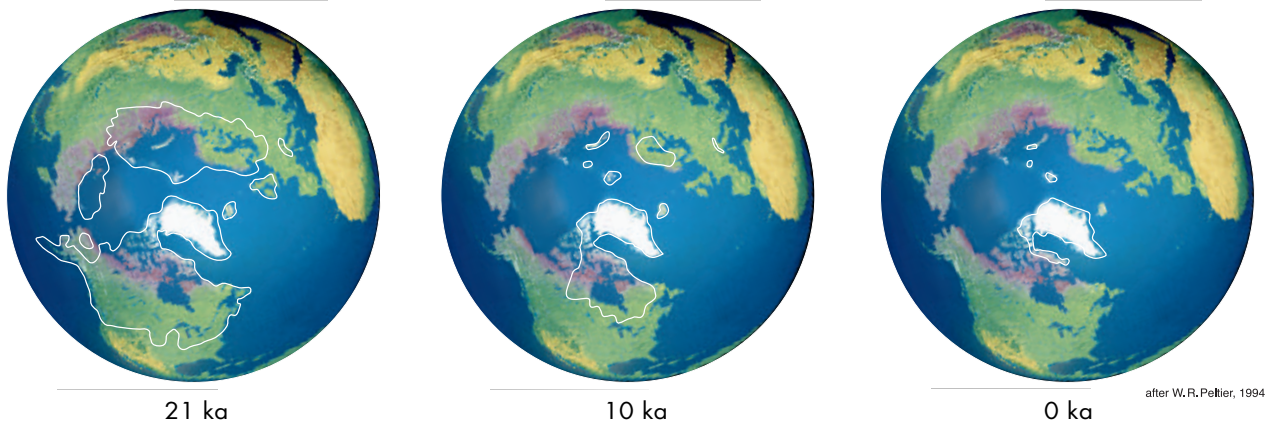
52 Jahresgang der Temperatur in Mitteleuropa für die letzten 1000 Jahre (Glaser, 2001), mittelfristiger Verlauf aus jährlichen Angaben (31 Jahre-Filter), schwarz: Gleitender Mittelwert (Gaußscher Tiefpaßfilter)

Die Einbettung der „Kleinen Eiszeit“ in die erdgeschichtliche Klimaentwicklung

Der Terminus „Eiszeit“ wird im geologischen Sinn für die Phasen der Bildung polarer Eiskappen generell verwandt, wie sie in Abb. 53 für die Entwicklung der nordhemisphärischen Vereisung seit 21.000 Jahren dargestellt ist. Damit leben wir heute, geologisch gesehen, in einer Eiszeit. Der Ausdruck „Kleine Eiszeit“ darf also nicht mit einer Eiszeit verwechselt werden, er ist nur für normale Temperatureinbrüche innerhalb einer Warmzeit zulässig. Der Wechsel Treibhaus – Eishaus (Warmphase – Kaltphase) bedeutet Pole ohne und Pole mit Eiskappen. Warm- und Kaltzeiten treten innerhalb einer Kaltphase (Eiszeit) auf, indem in der Warmzeit nur die unmittelbaren Polregionen vereist sind, während sich in Kaltzeiten auf der Nordhalbkugel die Inlandgletscher z. B. in Mitteleuropa bis 50° N nach Süden ausbreiten.

schaffler Milancovič aus seinen Berechnungen als Bereiche besonderer solarer Strahlungsdefizite identifiziert. Moderne Untersuchungen in verschiedensten geologischen Archiven und astronomische Berechnungen haben die Vermutung bestätigt, dass sich die Sonneneinstrahlung periodisch durch die Veränderung der Exzentrizität der Erdbahn (100.000 Jahre Periode), der Neigung der Erdachse (41.000 Jahre Periode) und der Präzessionsbewegung der Erde (Kegel) (19.000 bis 21.000 Jahre Periode) ändert, was bei Einstrahlungsminima zu Gletscherbildungen und somit zu Kaltzeiten führt. Bei Strahlungsgunst – wie wir das heute in unserer Zeit erleben – entsteht eine sogenannte Warmzeit.

Seit ca. 11.660 Jahren leben wir in einer solchen Warmzeit, in der die Temperatur- und somit Klimaschwankungen bei weitem nicht so gravierend sind, wie im Übergang zwischen der Warm- und der Kaltzeit. Während der Kaltzeit lag die mitt-



53 Die Eisverbreitung auf der Nordhemisphäre seit 21.000 Jahren (ka = eintausend Jahre)

Mit der seit 2,7 Millionen Jahren währenden Vereisung beider Polkappen befindet sich unsere Erde in ihrer Geschichte in einer besonderen Situation. Zuvor war nur der Südpol vereist, eine Folge der Isolation des antarktischen Kontinents von dem Wärmeaustauscher Ozean.

Die Vereisung der Polkappen stellt jedoch kein einmaliges Ereignis während der Erdgeschichte dar, hat die Erde doch seit 600 Millionen Jahren vier Warm- und vier Kaltphasen (Treibhaus, Eishaus) durchlaufen. In der letzteren leben wir; diese als 4. Eiszeit bezeichnete Phase begann vor etwa 55 Millionen Jahren. Klimageschichtlich interessant ist, dass in der Erdgeschichte Kontinentalverschiebungen (Plattentektonik und Ozeanbodenspaltung), Gebirgsbildungen, Vereisungen der Pole und Hochgebirge sowie Meeresspiegelschwankungen miteinander gekoppelt waren und sind.

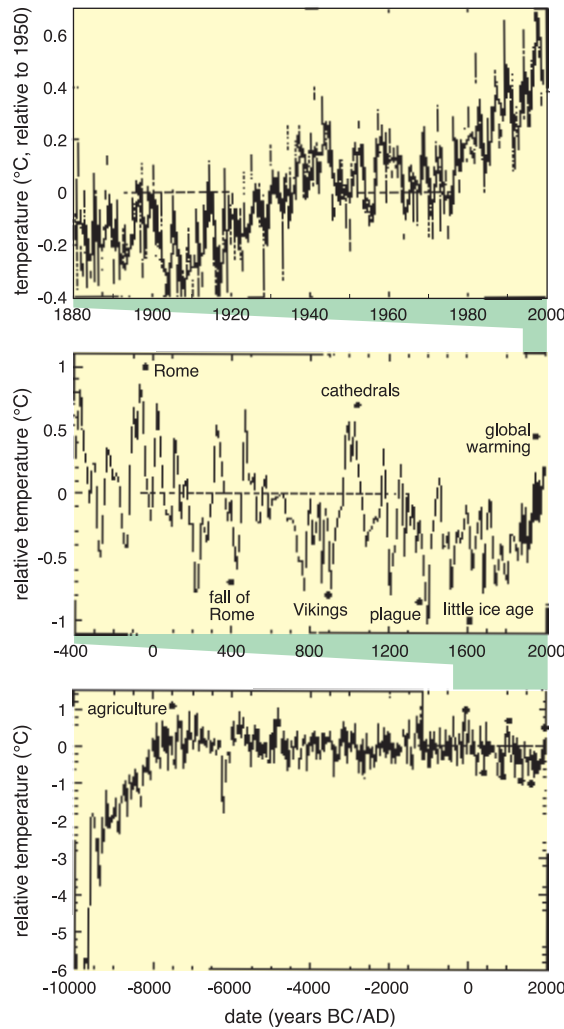
Innerhalb der letzten circa 900.000 Jahre lässt sich ein fast regelmäßiger Klimawechsel in geologischen Archiven beobachten (8 Warm- und 8 Kaltzeiten), und zwar mit einer Periode von ca. 110.000 Jahren – in der Weise, dass auf eine Warmzeit von 15.000 bis 20.000 Jahren eine Kaltzeit von ca. 80.000 Jahren folgte. In dieser Zeit haben sich auf der Nordhalbkugel bei 65° N immer wieder Gletscher gebildet. Diese Zeitabschnitte hatte der jugoslawische Geowissen-

lere Jahrestemperatur in Europa um etwa 7 °C niedriger als heute.

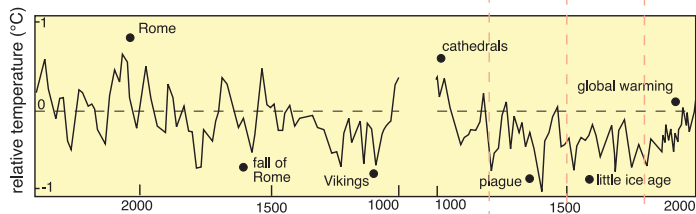
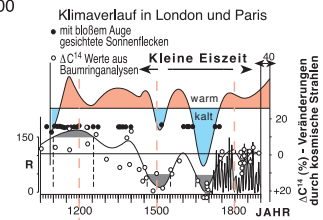
Jedoch gab es auch in der Warmzeit Variationen und Sprünge. So ist z. B. nachgewiesen, dass vor 8.200 Jahren ein deutlicher Temperatureinbruch stattfand. Betrachtet man die aus dem Eis Grönlands ermittelte relative Temperaturverlaufskurve der letzten 2.400 Jahre, so sind auffällige Schwankungen zu erkennen (Abb. 54). Zu römischer Zeit war es deutlich wärmer als heute, wie sich das auch aus den Gletschervorstößen in den Alpen ableiten lässt (Abb. 55). Weitere Klimaschwankungen werden als Mittelalterliches Klimaoptimum und „Kleine Eiszeit“ bezeichnet, die sich deutlich im Gesamtverlauf der relativen Temperaturkurve abbilden. Seit römischer Zeit fällt die Temperaturkurve bis in die Zeit der Kleinen Eiszeit (der absoluten Minimumzeit) ab, um danach im 19. und 20. Jahrhundert bis zum heutigen Wert anzusteigen. Dabei hat der heutige Wert noch nicht die Temperaturen der römischen Zeit erreicht.

Mit Beginn der „Kleinen Eiszeit“, soviel kann hier festgehalten werden, wurden die Winter im Durchschnitt länger und kälter; in den Gemälden der holländischen Maler spiegelt sich das in Winterlandschaften und Eisflächendarstellungen wider (vgl. Abb. 69ff).

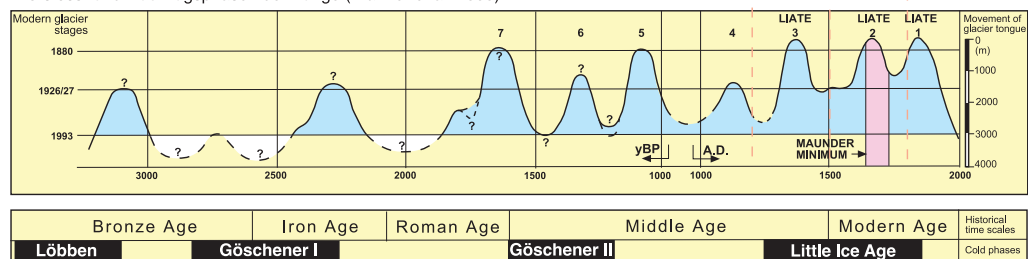
54 Der Temperaturverlauf aus Eiskernen Grönlands (nach Muller & McDonald, 2000), (BC: Before Christ, AD: Anno Domini)



55 Vorstoß- und Rückzugsphasen der Zunge des Großen Aletschgletschers während der letzten 3200 Jahre (Wanner et al., 2000) im Vergleich zum Temperaturverlauf der letzten 1000 Jahre (Abb. 51 und 54), (LIATE = Little Ice Age Type Events). yBP: years Before Present (Jahre vor heute, d. h. vor 1950) AD: Anno Domini



Great Aletsch Glacier (Switzerland) Vorstoß- und Rückzugsphasen der Zunge (Wanner et al. 2000)



Kurzfristige Klimaschwankungen

Im Vergleich zu den langperiodischen Klimazyklen der großen Eiszeiten sind Klimaschwankungen wie das Römische oder das Mittelalterliche Klimaoptimum und auch die „Kleine Eiszeit“ sehr kurzfristige Klimafluktuationen. Hier stellt sich also die Frage: Was verursacht solche kurzfristigen Klimaschwankungen?

Eine weitere Frage drängt sich auf: Ist der heute apostrophierte Temperaturanstieg, speziell seit 1970, durch den Menschen verursacht? Hierzu kann man verschiedene Überlegungen anstellen.

In geowissenschaftlichen Archiven sind neben den oben benannten langfristigen Milancovič-Zyklen (100.000 Jahre, 41.000 Jahre, 19.000 bis 23.000 Jahre) auch kürzerfristige, so genannte Sub-Milancovič-Periodizitäten erkennbar, denen wahrscheinlich andere Ursachen als die Erdachsenneigung, Exzentrizität und Präzession der Erdbahn zugrunde liegen. Diese Periodizitäten scheinen wegen ihrer kurzen Frequenzen auf solare Strahlungsfluktuationen zu verweisen.

Vergleicht man den Verlauf der Klimakurve mit der Sonnenfleckensaktivitätskurve, dann fällt das Minimum der „Kleinen Eiszeit“ mit dem sog. Maunder-Minimum, der minimalen Sonnenfleckensaktivitätszeit, zusammen (vgl. Abb. 51). Ähnliche Übereinstimmungen ergeben sich für Spörer- und Dalton-Minimum. Ist dieser Beleg auch nur statistischer Natur, so verweisen die Muster der kosmogenen Isotope ^{14}C und ^{10}Be auf eine klare Beziehung zur Aktivität des Solarwindes (Abb. 56).

Ein weiterer Hinweis wird nun in unseren kontinentalen geologischen Archiven über die Reaktion der Flora auf die Schwankungen der Sonnenstrahlung gegeben. Speziell in Binnenseen ist eine deutliche Saisonalität der Planktonentwicklung mit ausgeprägten Algenblüten zu beobachten. Die Überreste dieser Diatomeen genannten Kieselalgen sinken nach der Blüte zum Seeboden und bilden zusammen mit anderem organischen und nichtorganischen Material eine Jahreslage (= Warve, Abb. 57), die aus mehreren Lagen, z. T. Jahreszeitenlagen besteht (Negendank et al. 1997). Anhand der Dicken dieser Jahresdiatomeenlagen erkennt man periodische Wechsel, die mit Hilfe komplexer, nichtlinearer mathematischer Zeitreihenanalysen Periodizitäten von 11, 22, 88, 210 und 550 Jahren ergeben – Werte, die das Aktivitätsmuster der Sonnenfleckensaktivität nachzeichnen, ein statistischer Hinweis auf Beziehungen, deren physikalischer Mechanismus bisher unbekannt ist (Vos et al., 1997; Negendank et al. 1997).

Damit sind solche Algen sensible Organismen, die auf Gesamtstrahlungsänderungen reagieren und deshalb als Klima-Indikatoren dienen können.

Die Variabilität des Klimas an einem Ort ist aber durch die Faktoren der internen Variabilität des Klimasystems, den natürlichen und anthropogenen Treibhausgasen und den oben erwähnten Antriebsmechanismen und ihrer Interferenz bestimmt. Verschiedenste Modellsimulationen für die letzten zweitausend Jahre kommen zu dem Ergebnis, dass bis etwa

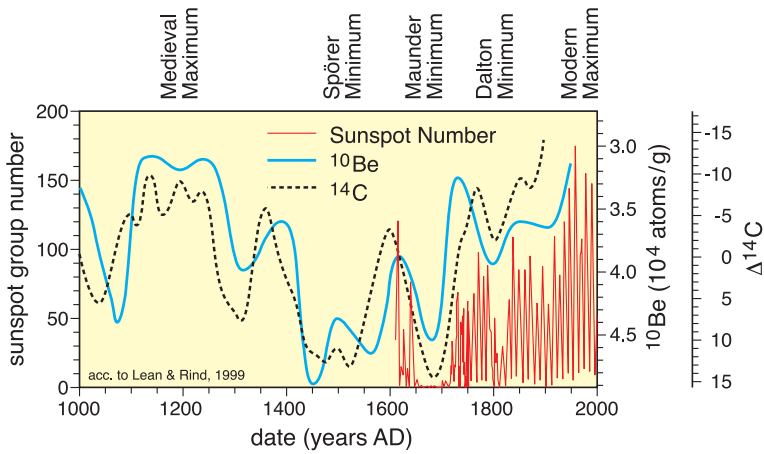
1800 das Klima vor allem solar bestimmt wurde, von 1800 bis etwa 1880 solar und vulkanogen, ab 1880 solar und anthropogen.

Klimaarchiv Binnensee

Zu den wichtigsten Arbeitsgebieten der Klimaforschung des GeoForschungsZentrums Potsdam (GFZ) gehört die Untersuchung jahreszeitlich geschichteter Sedimente aus Maarseen in verschiedensten Vulkangebieten der Erde (Deutschland, Italien, Frankreich, Israel, China etc.). Die heute wassergefüllten Vulkankrater (Maarseen) sind durch spezielle magmatische Eruptionen, nämlich Wasserdampfexplosionen, vor etwa 70.000 bis 40.000 Jahren entstanden (Büchel, 1993). Durch die besondere Morphologie der Krater sind die Seen im Verhältnis zu ihrer Oberfläche sehr tief. Material, das vom Land eingetragen wird und im See entstandenes Material, z. B. organische Produktion von höheren und niederen Wasserpflanzen (Algen) und Tieren (Wasserflöhe, Mücken etc.), kommen nahezu störungsfrei zur Ablagerung am Seegrund. Dort herrscht aufgrund der Wassertiefe Sauerstoffarmut, die eine Besiedlung durch Bodenbewohner unmöglich macht. Die sedimentierten Lagen werden also nicht zerstört. Ereignisse wie die Frühjahrsblüte der Kieselalgen (Diatomeen), der Kalkfällung im Sommer, die Diatomeenherbstblüte und die winterlichen Ablagerungen von sehr feinkörnigem Material sind in ihrer Abfolge mikroskopisch und makroskopisch sichtbar und werden als die Ablagerung eines Jahres (Warve) zusammengefasst. Durch Zählen dieser Warven ist die Datierung der Sedimente möglich, d. h. der genaue Zeitpunkt der Entstehung einer Warve kann rekonstruiert werden (vgl. Abb. 57).

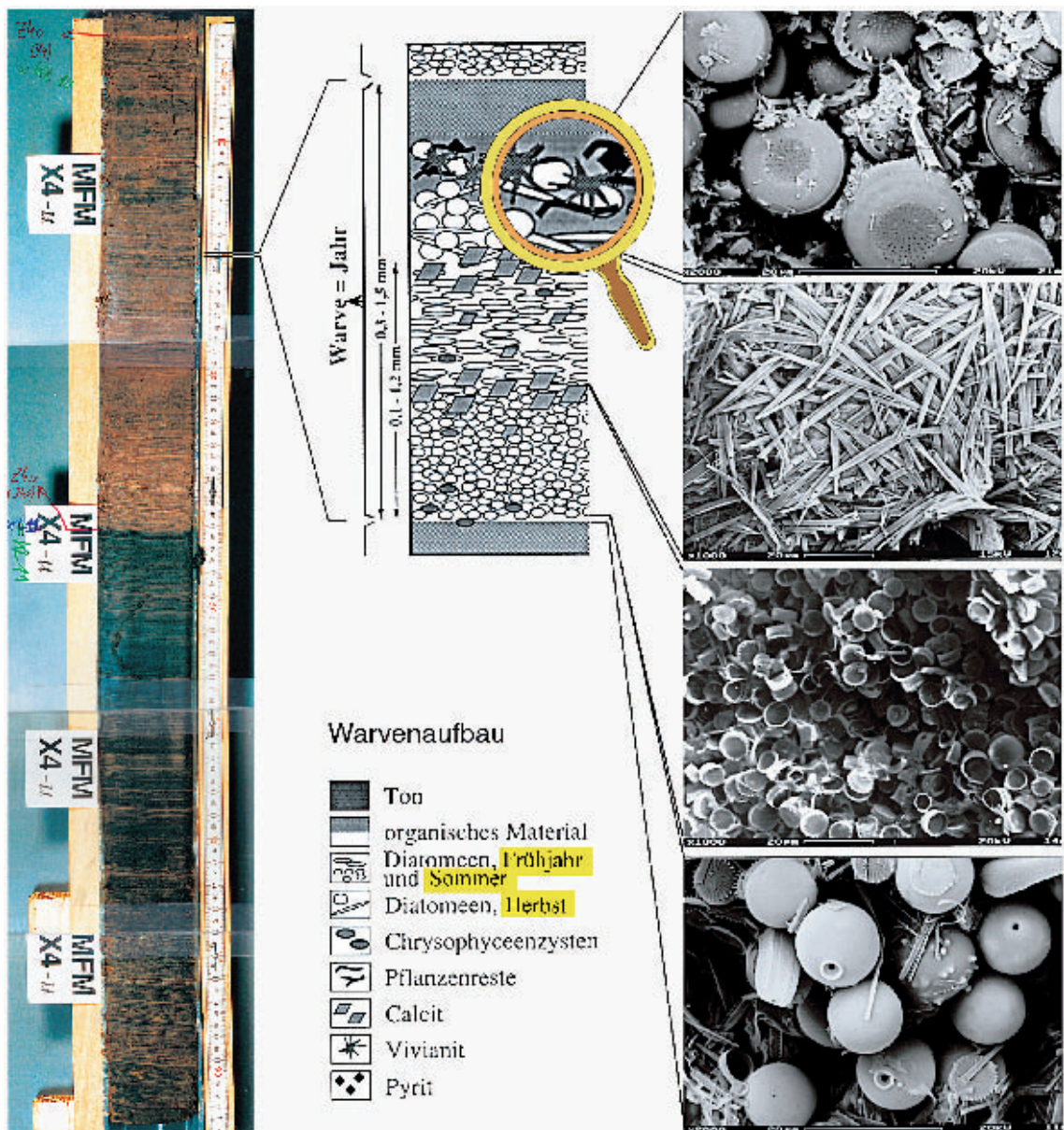
Durch Herausstechen einer Säule aus diesem Sediment entweder mit einem Hohlrohr oder einem Stechschwert gewinnt man einen Sediment-Bohrkern, aus dessen Untersuchung die Ablagerungen zeitlich qualitativ und quantitativ bestimmt werden können. Ein solcher Sediment-Kern, der 1999 nahe dem Zentrum des Holzmaars (HZM 41/42 in Abb. 58) erbohrt wurde, umfasst beispielsweise Ablagerungen der letzten 1000 Jahre. Die zeitliche Einordnung erfolgt durch Zählen der Warven unter dem Mikroskop. Diese Lagen sind im obersten (= jüngsten) Bereich im Schnitt 2 bis 3 mm dick. Mit zunehmender Sedimenttiefe, also zunehmendem Alter, nimmt deren Mächtigkeit infolge des Zusammendrückens durch die Auflast ab (Abb. 59, 60).

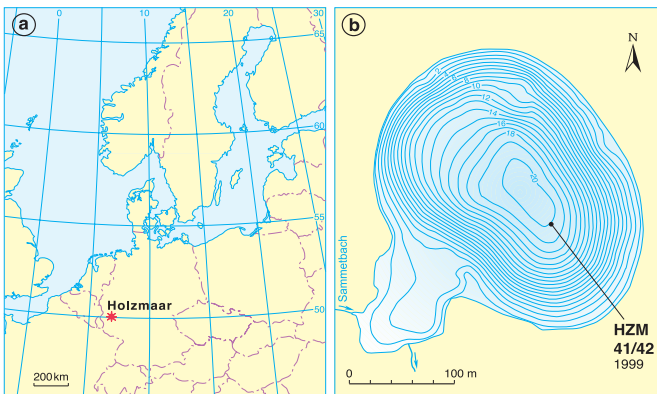
Die einzelnen Jahreslagen bestehen hauptsächlich aus Diatomeen. Für die Bestimmung und Zählung der Diatomeen wurden aus dem Bohrkernmaterial Proben entnommen, die jeweils vertikal 0,5 cm des Sediments umfassen. Nach der spezifischen Aufbereitung für die Analyse konnten die Diatomeen unter dem Lichtmikroskop bei 1000-facher Vergrößerung bestimmt werden. Zählungen von mindestens 500 Algenschalen (sog. Valven) pro Probe ermöglichten die Einschätzung der prozentualen Zusammensetzung der Diatomeenvergesellschaftung. Diese ist summarisch in Abb. 61 für jede Probe, bezogen auf deren Alter, dargestellt.



56 Solarstrahlung und ^{14}C - und ^{10}Be -Isotopenverlauf (nach Lean & Rind, 1999)

57 Jahreszeitlich geschichtete (= warvierte) Sedimente im Meerfelder Maar (Eifel), Dickenvariation der Warven, Dünnstliffaufnahme, Aufbau im Raster-elektronenmikroskop: in den feinen Streifen sind Veränderungen von Jahr zu Jahr und sogar der Wechsel der 5 Jahreszeiten dokumentiert. Unter dem Mikroskop zeigen sich feingeschichtete Lagen von Algenblüten.





58 Lokation Holzmaar;
a) Lage des Holzmaares; b) Tiefenlinien und Bohrlokation



59 Bohrkampagne im Maarsee Lago Grande di Monticchio (Monte Vulture, Süditalien)



60 Foto einer Schlammsäule, die aus einem Maarsee gezogen wurde. Zur zerstörungsfreien Bergung einer solchen geschichteten Probe wird das Material beim Stechen im Seeboden tiefgefroren.

Algenspezies und „Kleine Eiszeit“

Die besonderen klimatischen Bedingungen der nordhemisphärischen Abkühlung schafften die Voraussetzungen für das vermehrte Erscheinen einer speziellen Algenart. Untersuchungen im Holzmaar/Eifel zeigten, dass nur in der Zeit von 1285 (Ende des Großen Maximums des Mittelalterlichen Klimaoptimums) bis 1850 die Diatomeenart *Aulacoseira subarctica* auftrat. Hinsichtlich ihrer ökologischen Ansprüche wird sie in der Bestimmungsliteratur (Krammer & Lange-Bertalot, 1991) wie folgt beschrieben:

Die Kieselalge *Aulacoseira subarctica* ist eine häufige Diatomeenart nordisch-alpiner Teiche, Seen und langsam strömender Flüsse. Sie hat geringe bis mäßige Ansprüche an den Nährstoffgehalt des Gewässers. Mehrere Untersuchungen an dieser Art in verschiedenen Seen ergaben weitere Charakteristika:

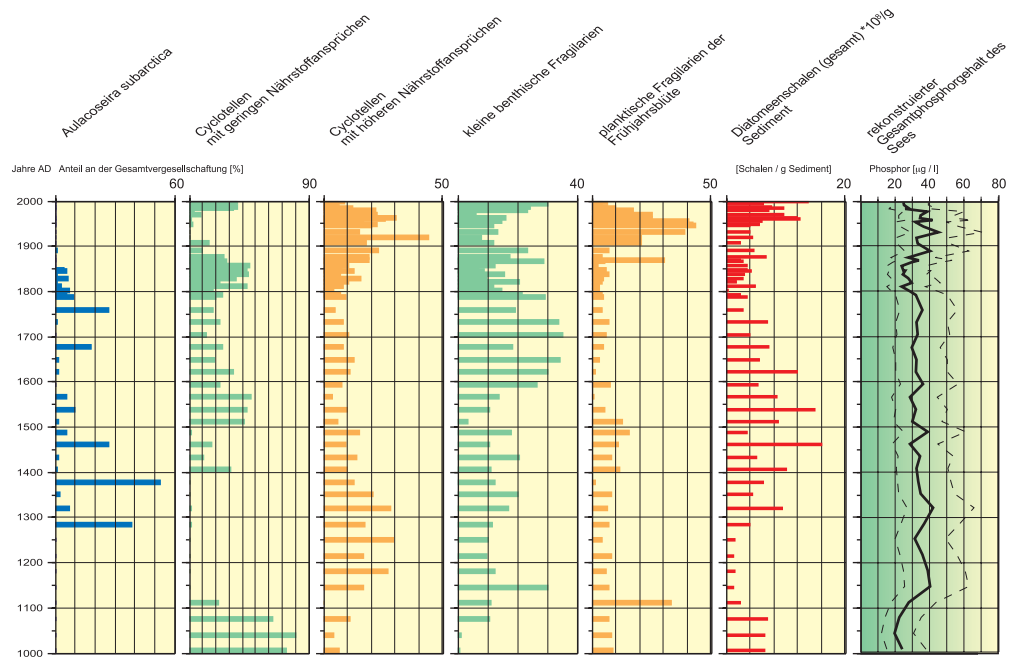
Aulacoseira subarctica ist an eingeschränkte Lichtverhältnisse angepasst. Erste Zellneubildungen sind deshalb bereits früh im Jahr, bzw. noch unter der tauenden winterlichen Eisbedeckung möglich. Als Spätwinter-Blüher gibt daher diese Algenart über ihr Wachstum Auskunft über die Umweltbedingungen insbesondere zu Winterende/Frühjahrsanfang.

Zur Photosynthese ist es nötig, dass die Algen nahe der Oberfläche im Wasser schweben. Die Zellen von *Aulacoseira subarctica* leben über Verbindungsdornen aneinandergeheftet in Ketten (Abb. 62). Dadurch ist das Oberfläche/Masse-Verhältnis, und damit der Auftrieb, vergrößert und das Schweben in der Wassersäule besser möglich. Unterstützend wirken leichte Turbulenzen im Wasser. Diese können insbesondere durch den Einfluss zunehmender Windstärke, wie sie z. B. bei Frühjahrsstürmen auftreten, erzeugt werden.

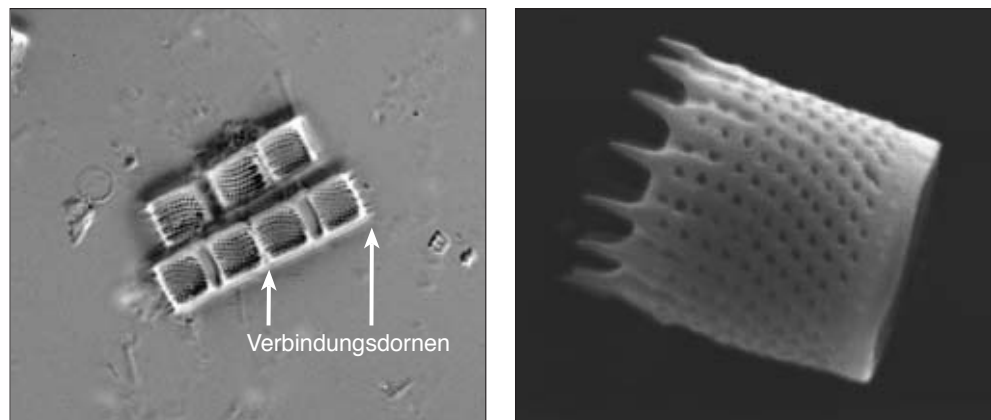
Eine Recherche zum heutigen Vorkommen der Art ergab die in Abb. 63 dargestellten Nachweise, die, bezogen auf die Nordhalbkugel, entweder nördlich 50° N, in alpinen Seen oberhalb 800 m ü. NN oder im Winterplankton von Seen gemäßiger Breiten liegen.

Aus den Untersuchungen der Sedimentabfolge im Holzmaar haben sich folgende Indizien ergeben, die als Reaktionen auf phasenhaft kühlere Bedingungen in Verbindung mit der „Kleinen Eiszeit“ gewertet werden:

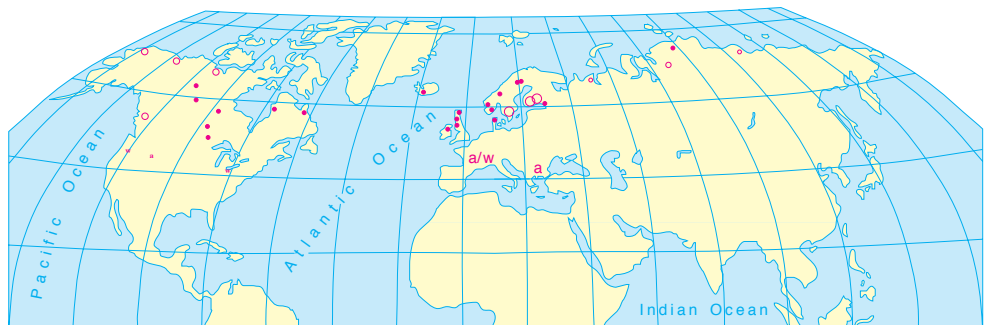
- zum Teil massenhaftes Vorkommen der nordisch-alpinen, an eingeschränkte Lichtzufuhr angepasste Diatomee *Aulacoseira subarctica*,
- sprunghafte Veränderungen in der Menge der insgesamt im Sediment gefundenen Diatomeenvalven,
- sprunghafte Veränderungen der Häufigkeiten der dominierenden Diatomeenarten.



61 Entwicklung der Diatomeenflora und der Nährstoffverfügbarkeit während der letzten 1000 Jahre im Holzmaar (Eifel), rekonstruiert aus Sedimentkernen



62 Algenart *Aulacoseira subarctica* (O. Müller) Haworth 1988. Die Zellen leben über Verbindungssternen an den Gehäusen (Frusteln) aneinandergeheftet in Form von Ketten.



Seen in denen heute *Aulacoseira subarctica* nachgewiesen ist:

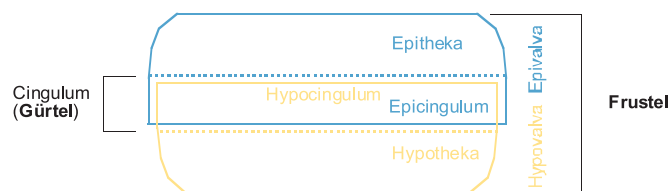
- Seen nördlich 50° N
- Seengebiete nördlich 50° N
- a alpine Seen oberhalb 800 m ü. NN
- w Seen gemäßigter Breiten, in denen *Aulacoseira subarctica* nur im Winterplankton auftritt

63 Häufige Verbreitung von *Aulacoseira subarctica* in Seen der Nordhalbkugel

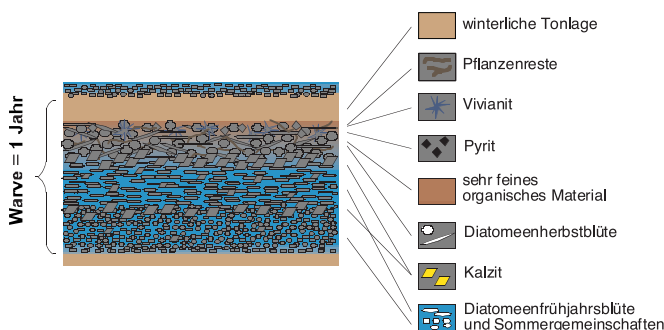
Windrichtung und Klima

Das Auftreten der Kieselalge *Aulacoseira subarctica* gibt uns, wie oben dargestellt, einen Hinweis auf niedrige Temperaturen, eingeschränkte Sonnenstrahlung und erhöhte Windgeschwindigkeiten. Auch in den Gemälden der holländischen Meister findet sich das Klimaelement Wind wieder. Holland liegt im Westwindgürtel unseres Planeten. Besonders in Küstennähe und in windexponierten Lagen sind häufig Bäume und Sträucher zu beobachten, die sich – dem ständig wehenden Wind folgend – verformt haben. Diese so genannten „Windflüchter“ sind auf dem Gemälde „Holländische Landschaft mit Raubzug“ von Salomon van Ruysdael (Abb. 66) markant dargestellt. Der Klimaparameter „Wind“ hat hier der Landschaft deutlich seinen Stempel aufgesetzt, die Bäume und Sträucher sind nach rechts gekippt, der Hauptwindrichtung entsprechend.

Interessant ist weiterhin der Baum im Vordergrund, dessen nach links oben weisender Stamm abgebrochen ist – offensichtlich Windbruch. Ikonographisch werden solche Bäume, die u.a. auch bei Ruysdael und Hobbema auftauchen, als Vanitassymbol interpretiert. Windbruch als Zeichen für Vergänglichkeit eines Symbols der Stärke, i.e. eines Baumes lässt sich leicht erklären mit der Zunahme von Starkwinden und Stürmen im Gefolge der „Kleinen Eiszeit“.



64 Schematischer Aufbau der Diatomeenschale oder Frustel



65 Schematischer Aufbau einer Warve im Sediment des Holzmaars (nach Rein, 1996)

Glossar

Diatomeen: Diatomeen sind einzellige Algen im Größenbereich von wenigen μm bis 2 mm, deren Zellwand im wesentlichen aus Siliziumdioxid besteht. Diese Diatomeenschalen nennt man Frusteln (Abb. 64). Sie bestehen aus zwei unterschiedlich großen Teilen, die schachtelförmig oder wie Deckel und Boden einer Petrischale aufeinandergesetzt erscheinen. Der Deckel (der größere, obere Teil) wird als Epitheka, der Boden (der kleinere, untere Teil) als Hypotheka bezeichnet. Die in Aufsicht erkennbaren Flächen nennt man Valven. In Seitenansicht sieht man den Gürtel (das Gürtelband), der nach dem Absterben der Zelle meist in einzelne Segmente zerfällt. Im Sediment sind deshalb meist nur die Valven zu finden.

Diatomeen haben ihr Hauptverbreitungsgebiet in den Weltmeeren, wo sie in großer Artenvielfalt planktonisch (schwebend in der Wassersäule) leben. An den Meeresküsten und im Süßwasser der Flüsse und Seen kommen auch am Boden lebende (benthische) und am Substrat angeheftete Arten vor. Diese Differenzierung ist in erster Linie auf die autotrophe, an das Licht gebundene, Ernährung der Diatomeen zurückzuführen. Neben dem Licht benötigen die Diatomeen auch Nährstoffe, von denen Phosphor, Stickstoff und Silizium die wichtigsten sind. Die verschiedenen Arten haben unterschiedlich hohe Nährstoffansprüche.

Nach dem prinzipiellen Bauplan der Diatomeen unterscheidet man die Centrales mit kreisförmigem Grundriss und radialer Symmetrie, zu denen u. a. die Cyclotellen gehören und die Pennales mit langgestreckter Form, zu denen z. B. die Fragilarien zählen.

Warve: Der Begriff Warve stammt vom schwedischen "Varv" (=Schicht), der zu Beginn des 19. Jahrhunderts von De Geer (1912) für jährliche Seebagerungen aus Schmelzwässern benutzt wurde. Die Grunddefinition bezieht sich also auf Warven, die aus Sand-Ton bestehen, somit klastische Warven genannt werden. Sie sind typisch für kalte Klimagebiete, so z. B. in proglazialen Seen, d. h. Seen vor dem Inlandeisgletscher. Die Warven jedoch, die in der heutigen Warmzeit in humiden und auch ariden Gebieten entstehen, sind als organogene und evaporitische Warven bzw. Mischformen ausgebildet. So sind z. B. die Warven des Holzmaars im wesentlichen durch die Ablagerung der Diatomeenblüten bestimmt mit zusätzlichem klastischen Eintrag im Winter und z. T. chemische Fällungen wie die Kalzitkristalle im Sommer (Abb. 65). In ariden Gebieten beherrschen dagegen chemische Fällungsprozesse die Warvenbildung (Heim et al., 1997, Ben Avraham et al., 1999).

Zirkulation: In der Limnologie versteht man unter Zirkulation die großräumige Umwälzung der Wassermasse eines Sees von der Oberfläche zur Tiefe bei Temperaturgleichheit durch den Wind als Antriebsenergie.



66 Salomon Jacobsz van Ruysdael
1600/03 Naarden – 1670 Haarlem
Holländische Landschaft mit Raubzug
1656

Lw., 107,5 x 150,2 cm
Bez. unten in der Mitte: S VRUYSDAEL 1656 (VR verbunden)
Erworben 1870
Berlin, Gemädegalerie, Kat.Nr. 901B