

Die Eisbilanzkurve und die Gliederung der Eiszeit

Von W. W u n d t, Freiburg i. Br.

Mit 1 Ausschlagtafel

Die Eisbilanzkurve ist eine Fortbildung der Strahlungskurve von Milankovitch¹⁾, eine gewisse Verwandtschaft hat sie mit der Vereisungskurve von Soergel²⁾. Auf der Quartärtagung in Hannover 1948³⁾ ist erstmals über sie vorgetragen worden, ferner findet sich eine kurze Notiz darüber in der Erd- und Landschaftsgeschichte von G. Wagner⁴⁾. Die Kurven sind in unserer Abbildung einander gegenübergestellt.

Die Strahlungskurve verfolgt bekanntlich auf Grund der Schwankungen der Erdbahnelemente die Perioden verminderter Zustrahlung im Sommer und setzt sie wegen der verminderten Abschmelzung den Eisvorstößen gleich; in weiteren Kurven hat Milankovitch den Effekt der verstärkten Rückstrahlung (der vergrößerten Albedo) mit einbezogen und für Polarkalotten bis zu einer bestimmten Breite (z. B. bis 45°) berechnet. Was infolge Mangels an Grundlagen bis jetzt rechnerisch nicht erfaßt wurde, sind die sog. Verspätungserscheinungen: wie die im Winter aufgehäuften Schneemassen sich bis tief in den Sommer hinein halten, so müssen sich auch Inlandeismassen in die Zeiten der Strahlungsanstiege hinein konservieren und sie teilweise überdauern. Perioden wärmerer Sommer, die an und für sich Interglaziale hervorrufen, können dadurch zu Interstadialen herabgedrückt werden, während schwächere Anstiege, die kurz hintereinander folgen, sich zu Interglazialen auswachsen. In diesem Sachverhalt liegt die Möglichkeit, die Wechsel der Strahlung, die im allgemeinen zahlreicher sind als die wirklichen Eisvorstöße, zu Gruppen zusammenzufassen und die Berechnung mit der Erfahrung in Einklang zu bringen.

Soergel hat diese Gedankengänge auf die „Vereisungskurve“ angewandt. Er hat eine Anzahl Fixpunkte, die sich im norddeutschen Glazial aus der Lage der Endmoränen ergeben, den markanten Senkungen der Strahlungskurve zugeordnet und eine verbindende Kurve dazwischengelegt. Eine genauere Begründung der Einzelheiten hat Soergel einer späteren Arbeit vorbehalten, an deren Ausführung er durch den Tod verhindert wurde. Aus persönlichen Gesprächen ist mir aber bekannt, daß sich die Vereisungskurve in der vorliegenden Form nicht auf Rechnung, sondern auf allgemeine Überlegungen gründet, also im wesentlichen empirischer Art ist.

Es legt sich der Gedanke nahe, ob es nicht gelingt, eine Kurve aufzustellen, bei der die Umbildung der Strahlungskurve durch das Weiterwirken der Effekte auf rechnerischem Wege erfolgt: einen Versuch in dieser Richtung stellt die Eisbilanzkurve dar. — Wir können aus der Strahlungsmenge der Sommer seit 600 000 v. Chr. die laufende Summe bilden, die vom Nullwert bis zur Gegenwart ständig ansteigt. Verbindet man

den Anfangs- und den Schlußwert durch eine schräg ansteigende Gerade, so stellt diese den mittleren Anstieg dar, aus dem sich die Perioden erhöhter Strahlung als Buckel, die verminderter Strahlung als Depressionen abheben. Die Abweichung des einzelnen Sommers nach oben oder unten hängt aber nicht bloß von seiner eigenen Strahlung, sondern zugleich von der aller vorhergehenden ab, summiert also die früheren Effekte.

Man könnte erwarten, daß bei dieser Summation die von P e n c k gefundenen und seither immer wieder bestätigten 4 Eiszeiten schärfer herauskommen als bei der Strahlungskurve selbst. Das ist aber, wie unsere Abbildung B zeigt, zunächst nicht der Fall. In den Zeitlagen der beiden älteren großen Vorstöße (Günz und Mindel) bleibt die Summenkurve im allgemeinen oberhalb des durchschnittlichen Anstiegs von 600 000 bis 0, während sie in der zweiten Hälfte (Riß und Würm) wesentlich darunter liegt. Es müßten also nach der mechanischen Summation die älteren Komplexe sehr viel schwächer sein als die jüngeren, was bekanntlich mit der Erfahrung nicht übereinstimmt.

Es gelingt aber, durch Änderung der Voraussetzungen eine Summenkurve herzustellen, die diese Unwahrscheinlichkeiten beseitigt und eine bessere Übereinstimmung mit den fossilen Befunden herstellt als die Strahlungskurve selbst. Die zuerst beschriebene Summenkurve geht davon aus, daß die Erdoberfläche in Zeiten verminderter und erhöhter Zustrahlung immer gleichmäßig speichert. Aber diese Voraussetzung trifft nicht zu. Die Erde hat in der Vorzeit langdauernde Warmzeiten und verhältnismäßig kurze Kaltzeiten — letztere noch häufig unterbrochen — durchlebt (W u n d t 3b). In den Warmzeiten lagen die durch die Erdbahnelemente bedingten Schwankungen unter der Schwelle der klimatischen Wirksamkeit — haben sich doch in den Kohlenlagern am Niederrhein Perioden von 500 000 Jahren feststellen lassen, die ohne nennenswerte klimatische Änderungen verliefen! Ganz anders in den Kaltzeiten, die im Gefolge der Orogene durch Reliefänderungen in den Meeren und auf dem Festlande hervorgerufen werden. Dazu kommen die sekundären Einflüsse der vergrößerten Albedo, die sich erst beim Unterschreiten der Frostgrenze und der Bildung größerer Schneeflächen zeigen und ihrerseits durch Meeresspiegelsenkungen verstärkt werden. Umgekehrt treten am Schluß der Eisvorstöße Transgressionen des Meeres und schmutzige Verfärbungen der Eismassen ein, die der erhöhten Reflexion ein Ende machen und die Erdoberfläche in den Zustand der Unempfindlichkeit zurückführen, den sie in den Warmzeiten dauernd aufweist. Eine Summation erkältender Einflüsse findet also nur bei bestimmten Reliefbedingungen und in den Tiefpunkten der Strahlung statt; sie muß sich also von den Höhepunkten, d. h. den Interglazialen aus jeweils erst neu entwickeln. Andererseits muß auch die Summation bei der Rechnung in dem Maße abgebaut werden, als man sich den stärkeren Strahlungswerten wieder nähert.

Von diesen Grundsätzen aus ist die Kurve C unserer Abbildung, die ich Eisbilanzkurve nenne, entworfen worden. Die Strahlungskurve A wird also in ihren höher liegenden Teilen gewissermaßen vertikal zusammengedrückt, in ihren Tiefpunkten gedehnt. Nimmt man dann die Summierung vor, so ergibt sich eine stark veränderte

Lage der Höhepunkte. Die innerhalb der Günzzeit liegenden Anstiege werden von den Senkungen ganz überbrückt; dagegen entsteht um 485 000 v. Chr. ein neuer Höhepunkt, der die Summierung vorläufig abschließt. Auch die Hebungen der Kurve innerhalb der Mindelzeit verschwinden, dagegen treten zwischen 400 000 und 200 000 in verhältnismäßig kurzen Abständen größere Strahlungsanstiege auf, die zum „Großen Interglazial“ zusammengefaßt werden können. Die starken Anstiege der Strahlung innerhalb der Riß- und Würmphasen schrumpfen wieder zu Interstadialen zusammen, während das Fehlen einer stärkeren Senkung um 150 000 eine Summierung zu einem Riß-Würminterglazial gestattet.— Statt der bei Milankovitch gewählten „kanonischen“ Strahlungseinheit in der Ordinatenrichtung sind in Abb. A und C Schneegrenzensenkungen in Metern gesetzt, die auch von Milankovitch verwendet werden (1 kanonische Einheit entspricht ungefähr 1 m Schneegrenzänderung).

Im Sinne einer Selbstkritik muß ich darauf hinweisen, daß die neue Eisbilanzkurve kein reines Rechnungsergebnis ist. Das Maß des Zusammenpressens der höheren Teile, der Dehnung der tieferen Teile der Strahlungskurve muß empirisch ermittelt werden. Auch kann Kurve C aus Kurve B nicht dadurch hergestellt werden, daß man systematisch eine Ordinatenänderung vornimmt, weil die Lage der Hochpunkte und damit der Beginn einer Neusummation schon selbst von der Summierung abhängt. Als Grundforderung ist zu beachten, daß die Summierung der Effekte in der betrachteten Zeit wieder zum Ausgangswert hinführen muß; dies wurde erst in einer Reihe von Versuchen durch Änderung der empirischen Konstanten erreicht. Auch hier wurde noch eine kleine Konzession gemacht, indem die Eisbilanzkurve in einem etwas tieferen Punkt endigt, als sie um 600 000 v. Chr. beginnt: dies geschah mit Rücksicht darauf, daß die Enteisung damals wahrscheinlich viel weiter fortgeschritten war, als heute, wo von einer 15 000 Jahre zurückliegenden Eiszeit immerhin noch ansehnliche Reste vorhanden sind. Doch hat diese Abweichung nur geringen Einfluß auf den Gesamtverlauf der Kurve.

So gehen bei der Eisbilanzkurve Rechnung und Anpassung an die Wirklichkeit zwangsläufig ineinander über. Es soll kein Zweifel gelassen werden, daß neben den Bedingtheiten der Strahlung auch andere Einflüsse, vor allem Reliefänderungen, eine wichtige Rolle spielen. Aber andererseits soll man bei Untersuchung eines Einflusses, in diesem Fall der schwankenden Strahlung, alles herauszuholen suchen, was zur Erklärung des Vorgangs dienen kann. Beschreibungen zahlreicher Glazialprofile aus verschiedenen Teilen der Erde sind sicher verdienstlich, aber sie geben auch in einer Gegenüberstellung keine Synthese. Die Versuche einer Vollgliederung der Eiszeit auf Grund der Strahlungskurve haben allerdings noch zu keinem endgültigen Ergebnis geführt; es bleiben eine Reihe von Widersprüchen zwischen den einzelnen Forschungen. Aber die Zusammenfassung der Vorstöße zu größeren Gruppen, für die uns Penck das Gerüst gegeben hat und die Überbrückung kleinerer Strahlungsanstiege durch Summierungseffekte ist ein Weg, der uns weiterführen kann. Tatsächlich ist die Strahlungskurve von Milankovitch die einzige Theorie, die imstande ist, exakte Grundlagen für die Aufteilung der Eiszeit in Perioden zu liefern.

Im folgenden wird gezeigt, wie sich die fossilen Befunde aus verschiedenen Ländern am besten in die Eisbilanzkurve einreihen lassen. Auf Vollständigkeit macht die Aufzählung selbstverständlich keinerlei Anspruch; sie zieht die Fundorte heran, wo sich der Zusammenhang mit der Kurve besonders augenfällig ergibt. Die älteren Eiszeiten (Mindel und Günz) sind hier nicht untergegliedert. Auf weiter zurückliegende Eisvorstöße (Donau eiszeiten usw.) wird hier nicht eingegangen, ohne daß damit ihre Existenz bestritten werden soll: es wird nur eine wachsende Unempfindlichkeit der Erdoberfläche und damit ein Abebben der Eisvorstöße gegen das Pliozän hin angenommen. Auch in der Postglazialzeit könnte eine viel weiter gehende Gliederung vorgenommen werden. Aber neben dem nacheiszeitlichen Wärmemaximum, das ja in der Strahlungskurve und in der Eisbilanzkurve klar ausgeprägt ist, finden sich eine Reihe kleinerer Schwankungen, die nicht auf die Erdbahnelemente zurückgehen, sondern sich dem millenaren Gang der Strahlung erst auflagern, wie die jährlichen Singularitäten der Witterung dem regelmäßigen Gang des Sonnenstandes. Infolgedessen hat es auch Halte im Rückzug der Gletscher (Daun-, Gschnitzstadium) und Frühenteisungen (Alleröd stadium) gegeben, die sich in den allgemeinen Rückgang der Gletscher nach der Eiszeit einschalten (Wundt 3c). — Besondere Aufmerksamkeit wurde der Frage einer Zweiteilung des letzten (R-W)-Interglazials und der Parallelisierung mit den nordamerikanischen Funden gewidmet. Die Warthe eiszeit wird der Phase Würm I gleichgesetzt, worauf ein starkes Interstadial auftritt. Von sämtlichen Würmstadien wird angenommen, daß die zugehörigen Gletscher das Kattegat nicht mehr überquerten, sondern — den beobachteten Schrammenrichtungen und Geschiebelagerungen entsprechend — Jütland von Osten her über die Ostsee erreichten. Zur Gliederung von Würm I und Würm II sei erwähnt, daß sich zwischen den Strahlungsanstiegen um 130 000 und 80 000 nach den Kurven für die mittleren Breiten (hier nicht wiedergegeben) ein dritter Strahlungsanstieg einschleibt, der bei Soergel in dem Profil der Grube Marga bei Senftenberg in der Lausitz wiedererkannt werden kann (2b).

Zur Einordnung ist noch zu beachten: Würm II und Würm III sind, zumal da das Interstadial WII-WIII schwach ist, meist durch Oberflächenumwandlung (Kultureinflüsse!) vermischt und daher schwer zu trennen. — In Nordamerika war W III als Endphase wegen der südlicheren Breite wohl nur mehr schwach entwickelt, weshalb die charakteristischen Spuren erst bei W II rückwärts beginnen. — Die Spuren älterer Vorstöße werden manchmal von späteren verwischt (Riß I von Riß II in Norddeutschland), ältere Interglazialablagerungen mit neueren vermischt (R-W mit WI-WII bei Berlin).

Parallelisierung der Glaziale und Interglaziale auf Grund der Eisbilanzkurve.

Es bedeuten: a) Alpen, b) Norddeutschland, c) Dänemark, d) Osteuropa, e) England, f) Nordamerika, g) Mittelmeer. — In der Grundeinteilung entsprechen einander: Würm = Weichsel + Warthe, Riß = Saale, Mindel = Elster, Günz = Baltische Eiszeit.

- a) Würm III, b) Endphase Weichsel, obere Grundmoräne Berlin, d) 1. Lößstufe, e) Huxton Boulder Clay, f) Late Wisconsin, Cary Valdres, Mankato, g) Terrassen 3 bis 7 m.

Interstadial: a) Gwattschwankung, b) Masurisches Interstadial.

- a) Würm II, c) Obere Grundmoräne Ristinge Klint (Laaland), d) Noch 1. Lößstufe, e) Little Eastern Glaciation, f) Early Wisconsin, Tazewell, Longisland-Moränen.

Starkes Interstadial: a) Spiezer Schwankung, b) „Waw“- Interglazial, Interglazial von Rixdorf, Flandrische Transgression, c) Sandschicht Laaland, obere warme Schicht der Skärühedeseerie, d) 1. begrabener Boden, e) Obere Schicht des Interglazials von Hoxne, f) Scarboro-Schicht Toronto.

- a) Würm I, b) Warthe, Flämingmoräne, c) Untere Grundmoräne Laaland, d) 2. Lößstufe, e) Yorkmoräne, f) Peorianlöß, Iowan, Kettlemoräne.

R—W Interglazial: a) Wildkirchli, Höttingen, Drachenloch, b) „Saw“-Interglazial, Interglazial von Phöben, Eemtransgression, untere warme Schicht der Skärühedeseerie, d) 2. begrabener Boden (Schwarzerde), e) Untere Schicht des Interglazials von Hoxne, f) Sangamon, Donschicht Toronto, g) Transgression, Monastirien, Tyrrhenische Stufe II.

- a) Riß (mehrere Stadien), b) Grundmoräne der Saalevereisung, d) Grundmoräne der Rißvereisung, 3. Lößstufe, e) Great Chalky Boulder Clay, Great Eastern Glaciation, Untere Coombe-Rocks, f) Loveland Löß, Illinoian.

Großes Interglazial: b) Holsteintransgression, Interglazial mit Paludinen, Berlin, d) 3. begrabener Boden (Paludinenschicht), e) Paludinenfunde Hoxne, Lacustrine Bed, f) Yarmouth-Interglazial, g) Transgression, Tyrrhenische Stufe I (Terrassen 30 bis 35 m), Paludinenlager Schwarzes Meer.

- a) Mindel (mehrere Stadien), b) Grundmoräne der Elstervereisung, d) 4. Lößstufe, e) Upper und Lower Till Cromer, North Sea Glaciation, Kimmeridgian Boulder Clay, Untere Schotter Svanscombe, f) Kansan.

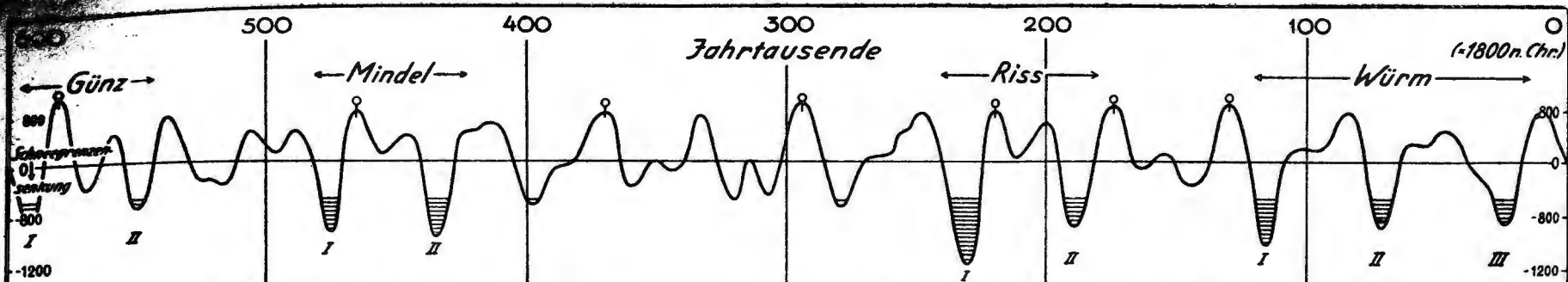
G—M-Interglazial: b) Tegelenstufe, d) 4. begrabener Boden, e) Forest Bed, f) Aftonian, g) Milazzian, Sizil. Stufen (Terrassen 100 und 60 m).

- a) Günz (mehrere Stadien), Villafranchiano, d) 5. Lößstufe, e) Weyburn Crag, f) Nebraska, g) Calabrian.

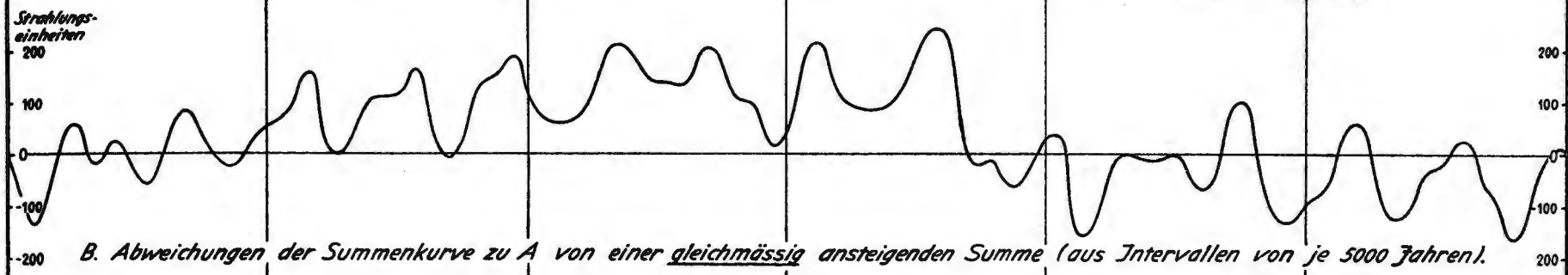
Wichtiges Schrifttum

1. Milankovitch: a) Astronomische Mittel zur Erforschung der erdgeschichtlichen Klimate, 1938. b) Kanon der Erdbestrahlung, 1941.
2. Soergel: a) Die Vereisungskurve, 1937. b) Das diluviale System, 1939.
3. Wundt: a) s. Berichte der deutschen Quartärvereinigung von der Tagung Hannover 1948, erscheinen 1951. b) Eiszeiten und Warmzeiten in der Erdgeschichte, Verl. d. Amtes für Landeskunde in Landshut/Bayern, 1950. c) s. Meteorolog. Zeitschrift, 1935, S. 273.

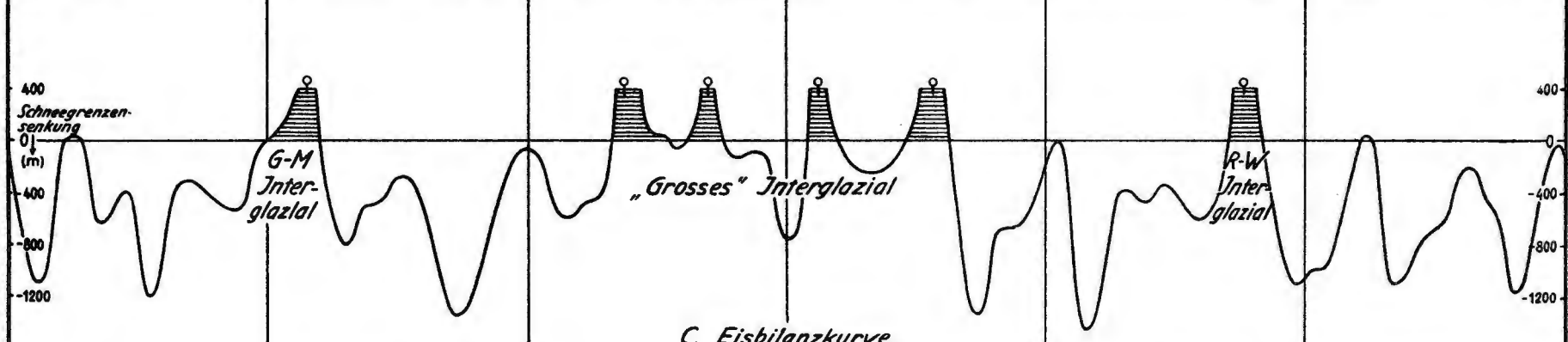
4. Wagner: Erd- und Landschaftsgeschichte, 2. Aufl., 1950.
5. Movius: s. The Journal of Geology, 57 (1949).
6. Antevs: s. University of Utah, Bull. 38, Nr. 20 (1948).
7. Zeuner: s. Geolog. Rundschau, 30 (1939), Heft 6.
8. Richter: Die Eiszeit in Norddeutschland, 1937.
9. Schwarzbach: Das Klima der Vorzeit, 1950.
10. Wright: The Quaternary Ice Age, 1937.
11. Pfannenstiel: s. Geolog. Rundschau (Klimaheft) 34 (1944).
12. Venzo: s. Atti d. Società Italiana d. Science Naturali, 89 (1950).
13. Woldstedt: Das Eiszeitalter, 2. Aufl. 1950.



A. Sommerstrahlung 45° - 90°N nach Milankovitch einschl. Reflexionswirkung, sogenannte „Strahlungskurve“.

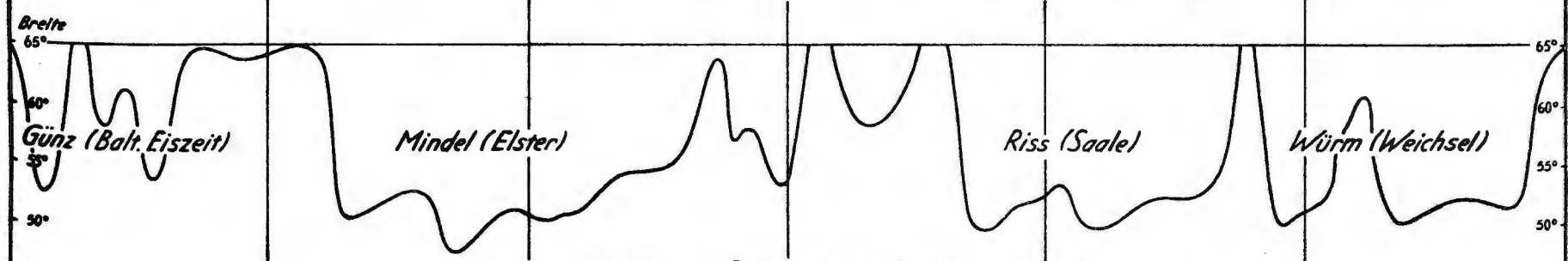


B. Abweichungen der Summenkurve zu A von einer gleichmässig ansteigenden Summe (aus Intervallen von je 5000 Jahren).



C. Eisbilanzkurve,

d.h. Summenkurve von A, bei der den höher liegenden Teilen eine Minderung der Summierungsfähigkeit bis auf Null zugeschrieben wird, so dass von den hierbei entstehenden Hochpunkten \varnothing aus die Summation neu beginnt.



D. Verelsungskurve für Ostdeutschland nach Soergel.