Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae
Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft
Band: 30 (1937)
Heft: 2

Artikel: Studien über das Quartärklima im Lichte astronomischer Berechnungen
Autor: Beck, Paul
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-159722

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 17.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Studien über das Quartärklima im Lichte astronomischer Berechnungen

Von **Paul Beck**, Thun.

Mit 3 Textfiguren.

I. Teil.

Können die von M. Milankovitch berechneten Schwankungen der Sonnenwärme in den Schweizeralpen direkt Eiszeiten erzeugen?

Meine Studien der jüngern alpinen Glazialablagerungen ergaben so viele Parallelen mit den Kältewellen der Sommerhalbjahre, wie sie von M. Milankovitch (13) berechnet und zuletzt 1930 unter dem Titel „Mathematische Klimalehre und astronomische Theorie der Klimaschwankungen" veröffentlicht worden waren, dass ich versuchte, die Wirkungen und Gegenwirkungen nicht wie üblich für einen bestimmten Breitengrad als Kurve, sondern für die ganze Zone zwischen dem 25. und 75. Breitengrad als eine Art Karte darzustellen. Dadurch wurde es möglich, neben den Verhältnissen einer bestimmten Breite auch die oft anders gearteten Einflüsse der südlich und nördlich benachbarten Zonen zu erkennen. Die Arbeit liess sich so aussichtsreich an, dass ich die Darstellung auch auf die Winterhalbjahre ausdehnte. So wies ich an der 3. Quartärkonferenz in Wien im September 1936 eine neue Darstellung der Berechnungen Milankovitchs vor, musste aber in der kurzen Erläuterung beifügen, dass eben diese Darstellung und eine anschliessende Anwendung auf die schweizerischen Verhältnisse mir die Überzeugung beibrachten, dass die Kältewellen Milankovitchs ohne andere Ursachen nicht imstande gewesen seien, die Schweizer Alpen im geologisch festgestellten Umfange zu vergletschern (5). Nachfolgend soll die damals in Aussicht gestellte Beweisführung dargelegt werden.

Köppen (11) ging bei seiner Datierung von der Ansicht aus, dass die Erniedrigung der Sommertemperaturen höherer Breiten im Stande sei, Eiszeiten auszulösen, wenn aus anderer Ursache (Polverlagerung, Wanderung der Kontinente usw.) eine allgemeine

Abkühlung der Ortstemperaturen stattgefunden habe. Er verwendete somit die Milankovitchzahlen nicht zur Erklärung der Eiszeiten, sondern zu ihrer Datierung. Im Nachstehenden soll nun nicht in erster Linie diese Frage geprüft werden, sondern die Möglichkeit, ob die Temperaturschwankungen aus sich heraus im Stande seien, in den Alpen Eisvorstösse zu erzeugen. Zu diesem Zwecke konnten weder die Sommer-, noch die Winter-, noch die Jahreskurven dienen, sondern nur die Beeinflussung der jährlichen Frostdauer durch die Wärmeschwankungen. Eine Vermehrung der Zahl der Monate mit einem Temperaturmittel unter 0°, also der „Frostmonate", wie ich sie kurzweg nennen will, musste das Vorrücken des Eises fördern, eine Verminderung dagegen hemmen. Diese Änderungen können leider nicht allgemein erfasst werden, sondern sie hangen von den örtlichen Temperaturverhältnissen ab. Es gilt also zu prüfen, wie sich die Wärmeschwankungen für einige charakteristische Orte der Alpen auswirken, d. h. wie sie deren Monatsmittel verändern. Selbstverständlich sollen dabei nicht allein die Zeiten kühler Sommer und milder Winter (wie Köppen), sondern auch die Perioden heisser Sommer und kalter Winter geprüft werden. Wir können die erstern als „ausgleichende", die letztern als „verschärfende" Temperatureinflüsse bezeichnen. Sie gleichen den heutigen örtlichen Temperaturgang einerseits dem sog. „ozeanischen", andererseits dem „kontinentalen" Klima an.

Beschaffen wir uns nun zuerst zahlenmässige Grundlagen zur Anwendung des Prinzips der Frostmonate.

A. Tabellen.

1. Maximale und minimale Wärmemengen auf dem 45. Breitengrad.

Der Tabelle 15 der oben genannten Arbeit „Der säkulare Gang der Erdbestrahlung. Änderungen der während der kalorischen Halbjahre zugestrahlten Wärmemengen (Kalorische Einheiten)" entnehmen wir die Zahlen, welche von verschiedenen Forschern (Köppen-Wegener u. a.), zuletzt mit geologischer Begründung von B. Eberl (8) und vom Verfasser (3), mit den verschiedenen Eiszeiten in Zusammenhang gebracht wurden.

Alle Zahlen beziehen sich auf 45° nördliche Breite. Die Schweizeralpen beginnen etwas S von 46° und reichen in der Ostschweiz über 47° hinaus. Diese Abweichung von 45° ist so gering, dass der Effekt derselben ganz unwesentlich ist.

Die von Milankovitch berechneten Jahreszahlen, denen bis heute noch 137 Jahre zuzuzählen sind, um das wirkliche Alter zu bezeichnen, benennen wir nachstehend als **Milankovitchjahre = MJ.**

Tabelle 1.

nach EBERL	Jahre vor 1800n.Chr. = MJ	Sommer Kalorische Einheiten	Temperaturgrade	Winter Kalorische Einheiten	Temperaturgrade
Würm III	22 100	– 237	– 1,7	+ 229	+ 1,6
„ II	71 900	– 361	– 2,5	+ 353	+ 2,45
„ I	116 100	– 480	– 3,35	+ 472	+ 3,3
Riss II	187 500	– 511	– 3,6	+ 505	+ 3,5
„ I	232 400	– 479	– 3,35	+ 469	+ 3,3
Mindel II	435 000	– 315	– 2,2	+ 306	+ 2,1
„ I	477 000	– 473	– 3,3	+ 466	+ 3,2
Günz II	548 600	– 372	– 2,6	+ 369	+ 2,6
Alpine Kältewelle*) . .	569 400	– 442	– 3,1	+ 442	+ 3,1
Günz I	590 300	– 421	– 2,95	+ 416	+ 2,9
Heissester Sommer u. Kältester Winter . . .	579 000	+ 977	+ 6,8	– 973	– 6,8

2. Ungefähre Temperaturänderung der einzelnen Monate (45° n. Br.).

Da die kalorischen Einheiten die Gesamtsumme der halbjährlichen Änderungen der Strahlungsmenge darstellen, so bedeuten die Temperaturen Mittelwerte der Halbjahre. Das An- und Abschwellen der Strahlung nimmt einen sinoidalen Verlauf. Der Einfachheit halber wurden aber den nachstehenden Berechnungen gerade Linien zu Grunde gelegt. Die daherige Abweichung spielt für die vorliegenden Fragen keine Rolle.

Tabelle 2.

MJ	Eiszeiten nach EBERL	Sommermonate			Wintermonate		
		4 9	5 8	6 7	1 12	2 11	3 10
22 100	W III	– 0,6	– 1,8	– 2,8	+ 2,8	+ 1,8	+ 0,6
71 900	W II	– 1,0	– 2,6	– 4,2	+ 2,1	+ 1,4	+ 1,0
116 100	W I	– 1,2	– 3,4	– 5,6	+ 5,6	+ 3,4	+ 1,4
187 500	R II	– 1,4	– 3,6	– 6,0	+ 5,8	+ 3,6	+ 1,4
232 400	R I	– 1,2	– 3,4	– 5,6	+ 5,6	+ 3,4	+ 1,4
435 000	M II	– 1,0	– 2,2	– 3,6	+ 3,6	+ 2,2	+ 0,8
477 000	M I	– 1,2	– 3,6	– 5,4	+ 5,4	+ 3,2	+ 1,4
548 600	G II	– 0,8	– 2,8	– 4,4	+ 4,4	+ 2,8	+ 0,8
569 400	X (Nur alpin)	– 1,2	– 3,2	– 5,2	+ 5,2	+ 3,2	+ 1,2
590 300	G I	– 1,2	– 3,0	– 4,8	+ 5,0	+ 3,2	+ 1,2
579 000	Heissester Sommer u. kältester Winter . . .	+ 2,1	+ 6,0	+ 10,0	– 10,0	– 6,0	– 2,1

[1]) Diese Wärmedepression macht sich in Nordeuropa nicht geltend, da sie die niedern Breiten trifft.

3. Angaben über einige meteorologische Stationen der Schweiz.

Im Nachstehenden sollen die wirklichen Monatsmittel einiger Schweizerorte mitgeteilt werden. Die Auswahl wurde so getroffen, dass sie charakteristisch für das Vorrücken der Gletscher und verschiedene Schneegrenzen sind: Alpenrandorte, innerste Talstationen, Passtäler und Gipfel.

Tabelle 3.

Orte[1])	Meeres-höhe	Fluss-gebiet	Entfernung vom Hauptgletscherende		Lage	Heutige Schnee-grenze	Höhendiff. Ort-Schneegr.
			heute	z. Würm I-Zeit			
Alpenrandorte			km	km			
1. Lugano . .	275	Ticino	100	20	Innerhalb des Alpensüdrandes	2900	2625
2. Montreux. .	380	Rhône	160	130	Tal, Südexposit.	2600	2220
3. Luzern . . .	451	Reuss	80	35	Tal	2550	2100
4. Altstätten .	471	Rhein	130	95	Tal, Föhnlage	2500	2030
5. Thun . . .	565	Aare	75	35	Tal, Föhnlage + Nordwesten	2600	2035
Innerste Talstat.							
6. Guttannen .	1058	Aare	15	95	Quertal	2700	1640
7. Airolo . . .	1141	Ticino	15	135	Tal, Südseite d.A.	2800	1660
8. Reckingen .	1332	Rhone	15	275	Längstal	2850	1520
9. Andermatt .	1445	Reuss	15	100	Talkreuzung	2800	1355
10. Splügen-Dorf	1469	Rhein	20	195	Längstal	2800	1330
11. Zermatt . .	1610	Rhone	4	245	Quertalabschluss	3000	1390
Pässe.				Seite N S			
12. S. Bernardino	2073	Rhein / Ticino		210 110	N-S-Passtal	2800	730
13. St. Gotthard	2096	Reuss / Ticino		105 140	„	2800	705
14. Grosser St. Bernhard	2476	Rhône / Dora		190 80	„	2950	475
Gipfelstationen							
15. Chaumont .	1127	Aare			Innenrandd. Jura	[2])	
16. Gäbris . . .	1250	Rhein			Alpenrand SE	2500	1370
17. Mte. Generoso	1610	Ticino			„ S	2900	1290
18. Rigi	1787	Reuss			„ N	2550	760
19. Pilatus . . .	2068	„			„ N	2550	480
20. Säntis . . .	2500	Rhein			„ NE	2500	0

[1]) Die Lage dieser Orte ist aus der beigegebenen Karte Fig. 1 ersichtlich.
[2]) Am Chaumont lag die Würm I-Schneegrenze in 1200 m Höhe.

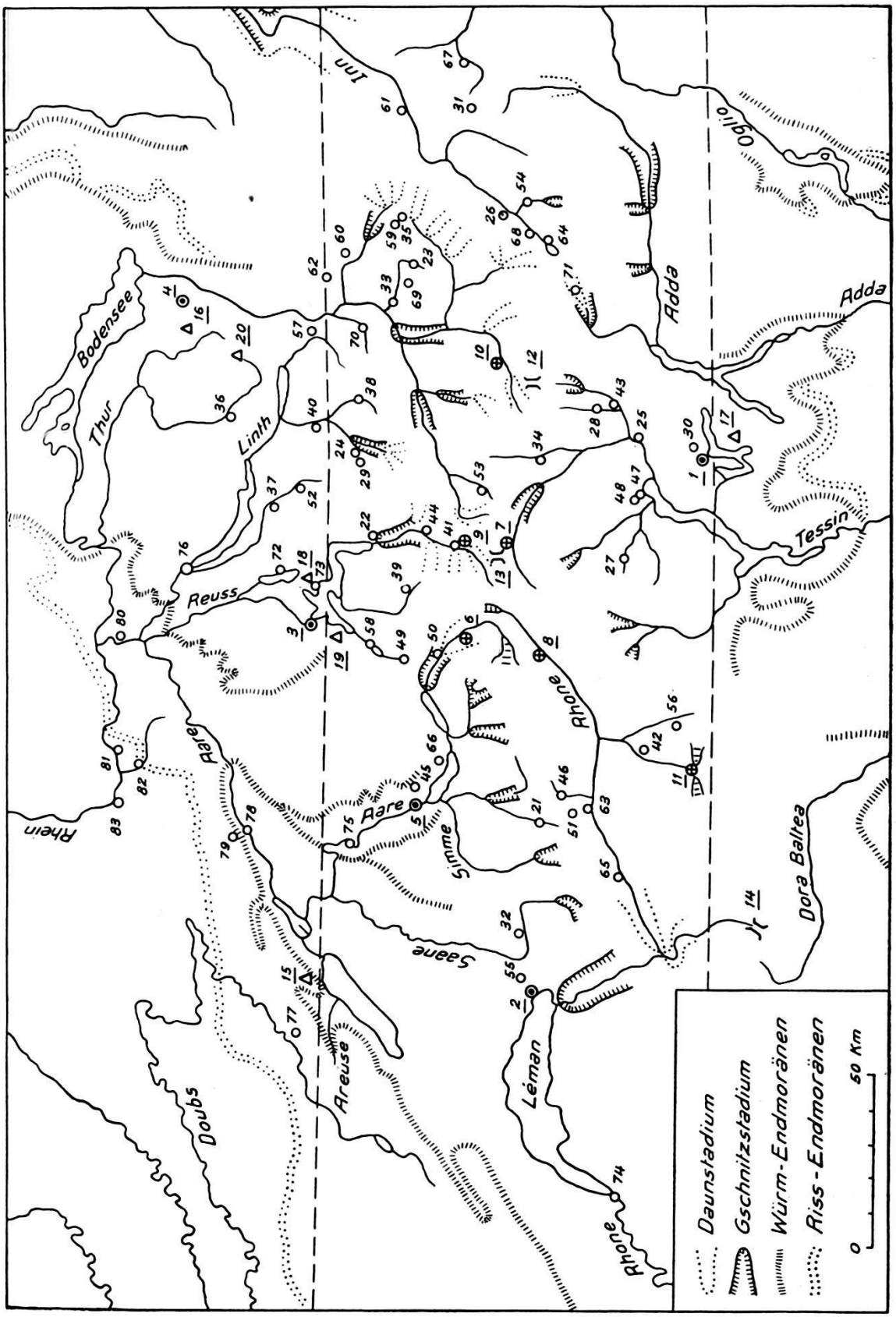


Fig. 1. *Unterschied zwischen der wirklichen Ausdehnung der Riss- und Würmgletscher einerseits und der durch die solaren sommerlichen Kältewellen möglichen Vorstösse von Gschnitz- und Daungrösse andererseits.*

Tabelle 4.

Monatsmittel der Temperaturen von 1864—1900 (12).

Ort	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahresmittel
1. Lugano . . .	1,3	3,5	6,9	*11,4*	*15,1*	*19,1*	*21,5*	*20,5*	*17,2*	11,5	6,2	2,3	11,4
2. Montreux . .	0,9	2,8	5,3	*9,7*	*13,7*	*17,3*	*19,5*	*18,5*	*15,4*	10,2	5,6	2,0	10,1
3. Luzern . . .	–1,3	0,7	3,7	*8,6*	*12,7*	*16,4*	*18,3*	*17,1*	*14,1*	8,4	3,7	–0,4	8,5
4. Altstetten . .	–1,7	0,8	4,0	*9,0*	*12,9*	*16,3*	*18,2*	*17,3*	*14,5*	8,9	3,8	–0,9	8,6
5. Thun	–2,2	0,2	3,4	*8,3*	*12,3*	*16,0*	*18,0*	*16,8*	*13,9*	8,0	3,3	–1,2	8,1
6. Guttannen .	–2,7	–1,2	1,5	*5,6*	*9,7*	*12,8*	*14,8*	*14,0*	*11,6*	6,5	1,8	–1,9	6,0
7. Airolo	–3,0	–1,3	0,8	*5,1*	*9,1*	*13,5*	*15,8*	*14,8*	*11,7*	6,0	1,2	–2,7	5,9
8. Reckingen . .	–6,6	–4,4	–1,9	*2,8*	*7,5*	*11,4*	*13,7*	*12,6*	*9,5*	4,2	–0,8	–5,6	3,5
9. Andermatt. .	–6,7	–4,7	–2,2	*2,0*	*6,1*	*9,7*	*11,8*	*11,0*	*8,5*	3,6	–1,2	–5,7	2,7
10. Splügen . . .	–7,1	–4,9	–2,1	*2,6*	*6,9*	*10,6*	*13,0*	*12,2*	*9,2*	4,0	–1,1	–6,0	3,1
11. Zermatt . . .	–6,3	–4,5	–2,3	*2,5*	*6,9*	*10,4*	*12,5*	*11,4*	*8,7*	3,5	–1,4	–5,6	3,0
12. S. Bernardino	–6,9	–6,1	–4,9	*–0,6*	*3,1*	*6,6*	*9,3*	*8,6*	*6,1*	0,9	–3,2	–6,2	0,6
13. St. Gotthard .	–7,7	–7,1	–6,2	*–2,4*	*1,3*	*4,9*	*7,9*	*7,6*	*5,2*	0,2	–4,1	–7,1	–0,6
14. Gr.St.Bernhard	–8,7	–7,9	–7,2	*–3,5*	*0,3*	*3,8*	*6,6*	*6,3*	*4,1*	–1,1	–4,9	–7,9	–1,7
15. Chaumont . .	–2,3	–1,0	0,4	*4,9*	*8,5*	*12,1*	*14,4*	*13,7*	*11,3*	5,7	1,5	–1,7	5,6
16. Gäbris . . .	–1,9	–1,1	–0,1	*3,8*	*7,6*	*11,2*	*13,4*	*12,9*	*10,5*	5,6	1,4	–1,9	5,1
17. Mte Generoso	–2,5	–1,5	–0,7	*3,0*	*6,8*	*10,8*	*13,6*	*12,7*	*10,0*	5,0	0,8	–2,2	4,6
18. Rigi	–4,5	–4,0	–3,4	*0,2*	*3,9*	*7,5*	*9,9*	*9,4*	*7,5*	2,7	–0,8	–3,9	2,0
19. Pilatus . . .	–6,2	–5,7	–5,5	*–2,0*	*1,7*	*5,3*	*8,1*	*7,9*	*6,3*	1,3	–2,3	–5,4	0,3
20. Säntis . . .	–8,8	–8,7	–8,4	*–4,7*	*–0,8*	*2,5*	*5,0*	*4,7*	*2,9*	–1,7	–5,1	–8,1	–2,6

a. ———— Heutige Grenze der Monatsmittel unter 0°
b. ····· Grenze im MJ 22100 (sog. W III)
c. — — — — „ „ MJ 187500 (sog. R II)
d. ····· „ „ MJ 579000 (Extrem der heissen Sommer u. kalten Winter).

Die Grenzen b—d wurden gefunden, indem die oben stehenden Monatsmittel um die in der Tabelle 2 ermittelten Beträge verändert wurden. Die Verschiebung der Frostgrenze entspricht dem Einfluss der Wärmeschwankungen auf die Vergletscherung.

5. Durch die solaren Wärmeschwankungen hervorgerufene Veränderungen der Monatsmittel der 20 Stationen.

Aus Tabelle 4 lesen wir die nachstehenden Verschiebungen der 0°-Grenze heraus:

Tabelle 5.

Ort	Zuwachs und Abgang an Monatsmitteln über oder unter 0° *)				Zahl der Monatsmittel unter 0°				
	MJ 22100 W III	116 100 W I	187 500 R II	579 000 Gleichsinnige Extreme	Heute	22 100 W III	116 000 W I	187 500 R II	579 000 Gleichsinnige Extreme
1. Lugano	—	—	—	3 –	0	0	0	0	3
2. Montreux . . .	—	—	—	4 –	0	0	0	0	4
3. Luzern	2 +	2 +	2 +	2 –	2	0	0	0	4
4. Altstätten . . .	2 +	2 +	2 +	2 –	2	0	0	0	4
5. Thun	2 +	2 +	2 +	2 –	2	0	0	0	4
6. Guttannen. . .	3 +	3 +	3 +	2 –	3	0	0	0	5
7. Airolo	2 +	3 +	3 +	—	3	1	0	0	5
8. Reckingen . . .	1 –	1½ [1]	1½	—	5	4	4	4	5
9. Andermatt . .	1 +	1 +	2 +	—	5	4	4	3	5
10. Splügen	1 +	1 +	1 +	—	5	4	4	4	5
11. Zermatt	1 +	1 +	1 +	—	5	4	4	4	5
12. S. Bernardino .	—	—	—	—	6	6	6	6	6
13. St. Gotthard .	1 –	2 –	2 –	1 –	6	7	8	8	7
14. Gr. St. Bernhard	1 –	—	—	—	7	8	9	9	7
15. Chaumont . . .	3 +	3 +	3 +	2 –	3	0	0	0	5
16. Gäbris	4 +	4 +	4 +	1 –	4	0	0	0	5
17. Mte. Generoso .	3 +	4 +	4 +	1 –	4	2	1	1	5
18. Rigi	—	—	—	—	5	5	3	3	5
19. Pilatus	1 –	—	—	—	6	7	6	6	6
20. Säntis.	1 –	2 –	2 –	1 +	8	9	10	10	7

*) + bedeutet die Vermehrung derjenigen über 0°, – derjenigen unter 0°.
····· Schneegrenze.

6. Die Höhenlage der Stationen mit gleicher Zahl der Frostmonate für das MJ 187500.

Das Jahr 187500 brachte den Alpen die kühlsten Sommer der von MILANKOVITCH berechneten Periode. Um rasch einen bessern Einblick auf breiterer Basis zu gewinnen, zog ich ausser den obigen 20 Stationen auch die Monatsmittel des Jahres 1935 (1) der folgenden

meteorologischen Beobachtungsstellen in Betracht: 21. Adelboden, 22. Altdorf, 23. Arosa, 24. Linthal, 25. Bellinzona, 26. Bevers, 27. Bosco, 28. Braggio, 29. Braunwald, 30. Mte. Brè, 31. Buffalora (Ofenpass), 32. Château-d'Oex, 33. Chur, 34. Comprovasco, 35. Davos, 36. Ebnat, 37. Einsiedeln, 38. Elm, 39. Engelberg, 40. Glarus, 41. Göschenen, 42. Grächen, 43. Grono, 44. Gurtnellen, 45. Heiligenschwendi, 46. Leukerbad, 47. Muralto, 48. Locarno (Monti), 49. Lungern, 50. Meiringen, 51. Montana, 52. Oberiberg, 53. Platta (Medels), 54. Pontresina, 55. Rochers de Naye, 56. Saas-Fee, 57. Sargans, 58. Sarnen, 59. Schatzalp, 60. Schiers, 61. Schuls, 62. Seewis, 63. Siders, 64. Sils-Maria, 65. Sitten, 66. Beatenberg, 67. Sta. Maria, 68. St. Moritz, 69. Tschiertschen, 70. Vättis, 71. Vicosoprano, 72. Walchwil und 73. Weggis. Die Ergebnisse zeigten keine Spur von Abweichung gegenüber denjenigen der 20 Hauptstationen, so dass auf die Berechnung der Monatsmittel für längere Perioden verzichtet wurde. Leider war es nicht möglich, die Zahl der Stationen über 2000 m Meereshöhe zu vermehren, was die meiste Förderung gebracht hätte.

Tabelle 6.

Zahl der Frostmonate	Nordalpen	Innere Alpen	Zahl der Stationen
	Höhenlage der Stationen		
0	bis 1345 m Adelboden	bis 1453 m Montana	36
1	von 959 m Elm bis 1152 m Gäbris	von 1378 m Platta bis 1629 m Grächen	9
2	keine	keine	—
3	keine	von 1332 m Reckingen bis 1610 m Zermatt	
4	1986 m Rochers de Naye	von 1236 m Schuls bis 1561 m Davos	3
5	keine	von 1500 m Splügen bis 1865 m Arosa	5
6	von 1962 m Grimsel bis 2068 m Pilatus	von 1813 m Sils bis 2073 m Bernhardin	6
7	keine	keine	—
8	keine	2096 m St. Gotthard	1
9	keine	2476 m Grosser St. Bernhard	1
10	2500 m Säntis	keine	1

Auf der Südseite der Alpen reichen die Stationen, die keinen Frostmonat haben, bis auf 1486 m (Bosco).

7. Die Höhenlage der Stationen mit gleicher Zahl der Frostmonate für das MJ 579000.

Die nachfolgenden Zahlen zeigen den Einfluss des extremsten bekannten Solarklimas auf unsere Gegend. Um den Einwirkungen auf das Mittelland und nichtvergletscherte Gebiete zu erkennen, vermehrte ich die Zahl der berücksichtigten Stationen um 10 Orte, nämlich 74. Genf, 75. Bern, 76. Zürich, 77. La Chaux-de-Fonds, 78. Solothurn, 79. Weissenstein, 80. Beznau, 81. Rheinfelden, 82. Liestal und 83. Basel.

Tabelle 7.

3 Frostmonate:	239 m Locarno—548 m Sion	Total 8 sehr milde, geschützte Stationen
4 „	318 m Basel—742 m Gurtnellen	18 Stationen im Mittelland oder Föhngebiet d. Alpen
5 „	479 m Glarus—1813 m Sils	43 Stationen
6 „	1787 m Rigi—2073 m Bernhardin	4 „
7 „	1962 m Grimsel—2476 m Gr. St. Bernhard	4 „
8 „	2500 m Säntis	1 „
		Total 78 Stationen.

8. Vermehrung der Zahl der Frostmonate für das MJ 579000 und Höhenlage der entsprechenden Stationen.

Gegenüber heute veränderte sich im extremen MJ 579000 die Zahl der Frostmonate wie folgt:

+3 Frostmonate:	von 239 m Locarno	bis 1147 m Airolo	13	Stat.
+2 „	„ 412 m Montreux	„ 1453 m Montana	28	„
+1 „	„ 548 m Sitten	„ 1986 m Rochers de Naye	17	„
Unverändert:	„ 1561 m Davos	„ 2500 m Säntis	11	„
Verminderung um 1 Frostmonat	1813 m Sils	und 2476 m Gr. St. Bernhard	2	„

B. Auswertung der Tabellen.

1. Die direkten Ergebnisse der Tabellen.

Tabelle 1 enthält die Milankovitch'schen Grundlagen für die Kontrolle der von Köppen (11) aufgestellten Hypothese, dass sich der Rhythmus der Eiszeitenfolge durch die kühlen Sommer, wie sie infolge der wechselnden Wärmezustrahlung der Sonne eintreten müssen, zeitlich bestimmen lasse.

Tabelle 2 verteilt die Mittelwerte der stärksten sommerlichen Abkühlungen auf die einzelnen Monate und fügt auch den winter-

lichen, wärmeren Temperaturgang bei, so dass der Einfluss der Änderung der Strahlungsintensität für das ganze Jahr den wirklich beobachteten Monatsmitteln schweizerischer meteorologischer Stationen zugefügt oder abgezählt werden kann.

TABELLE 3 gibt zunächst die notwendigen Hinweise auf die Eigenart der 20 wichtigsten Stationen. Die beigefügte Lage der heutigen Schneegrenze wurde der Publikation „Eine Karte der letzten Vergletscherung der Schweizeralpen" (2) entnommen. Von grundlegender Wichtigkeit für die Auswertung der oben stehenden Tabellen ist die Tatsache, dass die Station Säntis heute an der Schneegrenze ist und dadurch angibt, wieviele Frostmonate ihr entsprechen.

TABELLE 4 meldet die wirklichen Monatsmittel. Die Angaben über den Säntis zeigen, dass zur Schneegrenze 8 Frostmonate gehören. Diese Zahl stimmt sowohl mit dem grossen St. Bernhard wie auch mit dem St. Gotthard, die weniger Frostmonate aufweisen, aber auch entsprechend unter der Schneegrenze liegen, gut überein. Wir werden diese wichtige Zahl später verwenden, trotzdem ich weiss, dass, je nach dem Relief und der Niederschlagsmenge, geringe Verschiebungen nicht ausgeschlossen sind.

Die Tabelle wird ausserdem benützt, um die Verschiebung der Grenze der Frostmonate und derjenigen über 0^0, wie sie durch die Einwirkungen der solaren Strahlungsveränderungen nach den Tabellen 1 und 2 zu erwarten sind, einzutragen.

TABELLE 5 ist aus Darstellung 4 abgeleitet und zeigt zuerst die Veränderungen, dann aber auch die Gesamtzahl der Frostmonate für die MJ 22100, 116100, 187500, für heute und das gegenüber heute gleichsinnig verschärfte M J 579000.

Die Veränderung der Zahl der Frostmonate beweist klar, dass die von KÖPPEN usw. für die grossen Eisvorstösse verantwortlich gemachten Jahre nur in Höhen über 2000 m eine Vermehrung der Frostmonate bewirkten, unterhalb dieser Höhe dagegen eine beträchtliche Verminderung derselben erzeugten.

Die Übersicht über die Gesamtzahl der Frostmonate ergibt, dass die Schneegrenze im MJ 22100 den grossen St. Bernhard, im MJ 176500 aber auch den St. Gotthard erreichte. Sie sank im ersten Fall auf 2450 (rund), im zweiten auf 2100 m. Aus Tabelle 3 und 5 lesen wir ab, dass die Vermehrung der Frostmonate um einen einzigen, die Schneegrenze um ca. 350 m herabdrückt (St. Gotthard: 2800—2100 = 700 : 2 = 350), was eine wertvolle Beziehung ist.

Orientieren wir uns auf der „Karte der letzten Vergletscherung der Schweizeralpen" (2) über die Bedeutung dieser Senkung der Schneegrenze im oben festgestellten Umfange, so erkennen

wir, dass es sich ungefähr um die Gletscherausdehnungen wie zur Zeit der Daun- und Gschnitzstadien handelt, deren Depressionen mit ungefähr 300 und 600 m berechnet wurden. Die beigegebene Kartenskizze Fig. 1 bringt die mutmassliche Gletscherausdehnung zum Ausdruck.

Die Tabelle 5 enthält aber auch Angaben über den Einfluss des heissesten Sommers, der mit dem kältesten Winter des MJ 579000 gepaart ist. Die meisten Stationen erhalten einen Zuwachs an Frostmonaten, namentlich in den Tälern, einige bleiben gleich (in inneralpinen Talschlüssen) und einzig der Säntis verliert einen Frostmonat.

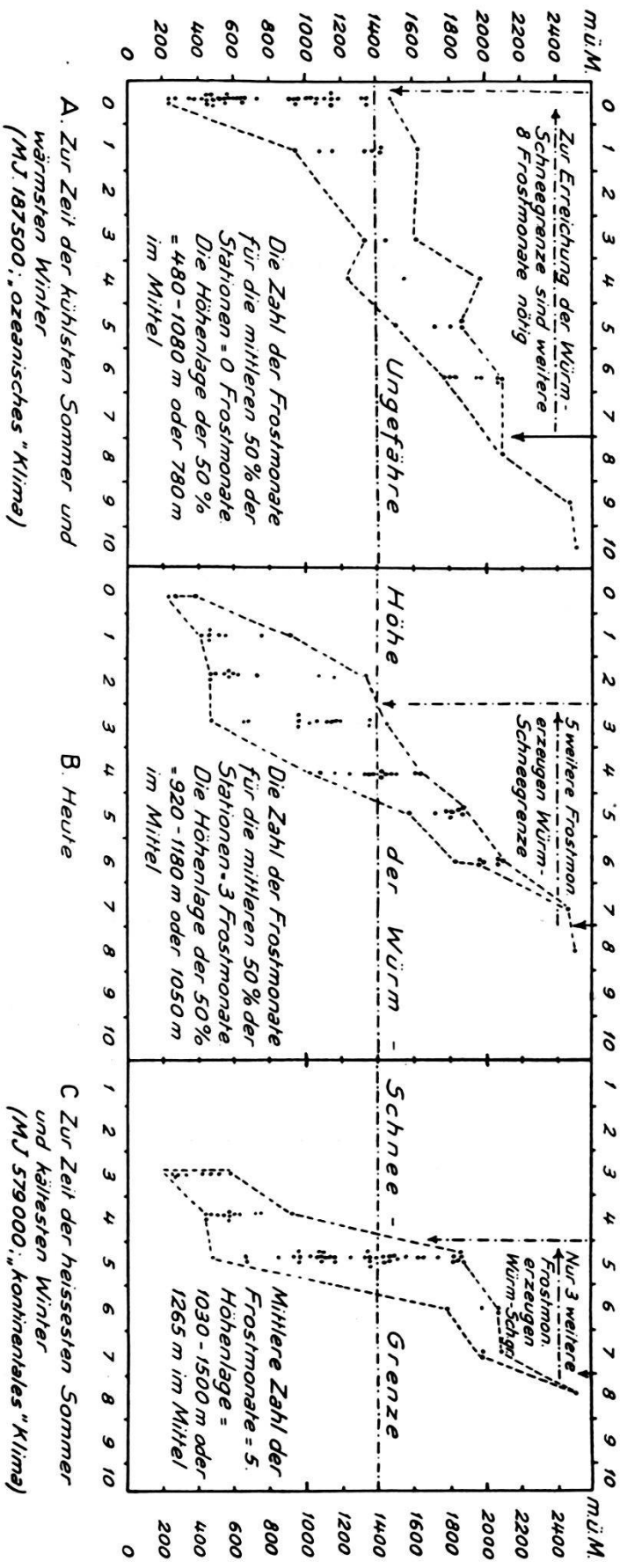
Das Ergebnis ist wohl das Folgende: Der heisseste Sommer und der kälteste Winter erzeugen unterhalb 2500 m eine mit der Tiefe zunehmende Vermehrung der Frostmonate, über dieser Höhe dagegen zunächst eine Reduktion. Diese Extreme vermögen für sich allein scheinbar keine Vermehrung der dauernden Eisdecke gegenüber heute zu bewirken, sondern eher ein Zurückweichen um ca. 350 m Schneegrenzenhöhe, da die Frostmonate auf das kalte Halbjahr beschränkt werden.

Tabelle 6 gibt die Höhenlage der Stationen, geordnet nach der Zahl der Frostmonate des kühlsten Sommers 187500 an. Um einen bessern Einblick zu bekommen, zog ich noch die Zahlen des Jahres 1935 für alle schweizerischen alpinen Stationen in Betracht, total 71 Angaben. Trotzdem sich die Stationen sehr gleichmässig über alle Höhenstufen verteilen, gibt es 2 Sprünge im Zuwachs an Frostmonaten, indem keine Station die Zahlen 2 oder 7 aufweist. Die grössere Zahl der Stationen gleicht auch die sehr einflussreiche örtliche Lage der Beobachtungsstellen aus. Überraschend ist die grosse Zahl der Orte ohne Frostmonate und die grosse Höhe, in die sie hinaufreichen.

Tabellen 7 und 8 befassen sich mit der Gesamtzahl der Monatsmittel unter 0° und mit deren Veränderung, wie sie sich für das MJ 579000 ergeben. Trotzdem oben dargelegt wurde, dass sie gegenüber heute eher geringere Vereisungen erzeugen, können sie eine Grossvereisung, die aus andern Ursachen entstand, viel stärker fördern als die kühlen Sommer, da die Vermehrung der Frostmonate vertikal und flächenmässig eine sehr ausgedehnte ist.

Fig. 2. Da es sehr schwierig ist, die vielen Zahlen der Stationen und ihre Abänderungen durch die solaren Strahlungsschwankungen sinngemäss zu erfassen, so versuchte ich eine graphische Auswertung derselben.

Die Darstellung befasst sich A. mit den kühlen Sommern und warmen Wintern im MJ 187500, B. den heutigen Frostmonaten und C. den heissesten Sommern und kältesten Wintern im MJ 579000, indem die Stationen als Punkte in ein Koordinatensystem eingetragen



A. Zur Zeit der kühlsten Sommer und wärmsten Winter (MJ. 187500; „ozeanisches" Klima)

B. Heute

C. Zur Zeit der heissesten Sommer und kältesten Winter (MJ. 579000; „kontinentales" Klima)

Fig. 2. *Darstellung der Einflüsse der extremsten solaren Wärmeschwankungen auf die Zahl der Frostmonate der alpinen meteorologischen Stationen der Schweiz.*

sind, deren Abszissen die Zahl der Frostmonate und deren Ordinaten die Meereshöhe des betreffenden Ortes bedeuten. Sofort unterscheiden sich die Gruppierungen wesentlich von einander. Um die Verschiedenheiten in Zahlen ausdrücken zu können, zählte ich für jeden Schwarm von Punkten auf der Abszisse den 50%igen Kern aus und bestimmte dessen Mitte. Der erste Schwarm wird durch 0, der zweite durch 3 und der dritte durch 5 Frostmonate gekennzeichnet. In gleicher Weise ermittelte ich die mittlere Höhenlage, die sich wie folgt abstuft: A 780, B 1050 und C 1265 m.

So deutlich diese Zahlen sind, geben sie uns doch noch keinen Hinweis auf ihre Bedeutung für die Vereisungsfrage. Die Beziehung zu den beobachteten Eiszeiten kann durch das Einfügen der eiszeitlichen Schneegrenzen geschaffen werden. Für die Würmeiszeit betrug diese am Alpenrand bei Thun ca. 1400, bei Luzern ca. 1350 und am Säntis ca. 1300 m. Am Jura war sie niedriger, in den Alpen höher. Setzen wir als Mittelwert 1400 m ein, so werden wir keinen grossen Fehler machen. (Die Schneegrenze der Risseiszeit ist ca. 100 m tiefer.) Wir schieben nun die Schneegrenze, gekennzeichnet durch 8 Frostmonate, so weit vor, dass alle über 1400 m liegenden Stationen eingeschlossen werden und damit mindestens an die Grenze gelangen. Damit die kühlen Sommer und warmen Winter eine Eiszeit vom Ausmass der Würmeiszeit erzeugen können, müssen sie die Zahl der Frostmonate gegenüber heute um 8 erhöhen. Die heutigen Verhältnisse würden in würmzeitliche verwandelt, wenn 5 weitere Monate Temperaturmittel unter 0° aufweisen würden. Das Jahr der grössten Extreme benötigt dagegen nur 3 weitere Frostmonate.

Diese deutlichen Zahlen widerlegen vorläufig die bisherige Auffassung, dass es die kühlen Sommer der MILANKOVITCH-Tabelle waren, die Eiszeiten erzeugten. Das Gegenteil ist aber auch nicht der Fall, indem im extremsten Fall immer höchstens 6 Frostmonate 6 andern gegenüberstehen würden. Kommen aber noch weitere Vereisungsursachen dazu, dann leisten die extremen Halbjahre einer dauernden Vergletscherung gewaltigen Vorschub.

II. Teil.

Frostkurven der letzten 600 000 Jahre und ihre Bedeutung für das Verständnis klimatisch bedingter Verhältnisse der Quartärzeit.

A. Konstruktion und Auswertung der Frostkurven.

1. Einleitung.

Die vorstehenden Ausführungen zeigten deutlich, dass es schwer hält, den wirklichen Effekt der Wärmeschwankungen zu erfassen. Dazu genügen weder die Linien der Sommerstrahlung, noch ihre Ergänzung durch den winterlichen Wärmeverlauf. Keine der beiden Darstellungen erläutert die genaueren Bedingungen der Gletscherschwankungen, weil diese hauptsächlich durch das Verhalten der Zwischenmonate, in denen die Umkehr der Linien vom Sommerextrem ins Wintermaximum stattfindet, abhangen. Diese Zwischenmonate sind bezüglich ihrer Stellung zur Frostgrenze viel empfindlicher als die wärmsten und kältesten, wie unsere Tabellen zeigen. Die Beeinflussung derselben hängt aber von den wirklichen örtlichen Verhältnissen und nicht von theoretischen Bedingungen ab. Deshalb können die Frostkurven sich nur auf eine ganz bestimmte meteorologische Station stützen und diese kennzeichnen. Es gelingt uns aber an Hand der bisherigen Darstellungen solche Stationen zu wählen, die für gewisse Probleme typisch sind.

2. Konstruktion der Frostkurven.

Die Konstruktion der Frostkurven gestaltet sich wie folgt: Man bestimmt aus den Änderungen der sommerlichen und winterlichen Strahlung, wie sie in der Tabelle 15 von MILANKOVITCH dargestellt sind, deren Einfluss auf die einzelnen Monate des Jahres und zwar für die verschiedenen Intensitätsgrade der vorkommenden Schwankungen. Werden diese monatlichen Veränderungen mit den wirklichen Monatsmitteln eines Ortes kombiniert, so erkennt man leicht die dadurch entstandene Vermehrung oder Verminderung der Zahl der Frostmonate für die verschiedenen Strahlungsschwankungen. Ersetzt man in der eben erwähnten Tabelle 15 von MILANKOVITCH die ca. 170 Angaben über die Beträge des Strahlungswechsels für einen bestimmten Breitengrad durch die Veränderung der Zahl der Frostmonate, so lässt sich für die letzten 600 000 Jahre eine Kurve konstruieren, die nicht wie üblich die Wärmeschwankungen darstellt, sondern den Wechsel der Frostmonate eines Ortes, der ja für die Vereisung von ausschlaggebender Bedeutung ist. Der Wechsel von ausgeglichenen und extremen Wärmeperioden, der für ein Klima ebenfalls von grösster Wichtigkeit ist, lässt sich überdies durch die Art der Strichführung andeuten. Somit lässt uns die Frostkurve

neben der Zahl der Frostmonate auch den Wechsel ausgeglichen oder extrem wirkender Perioden erkennen.

3. Auswertung der Frostkurven.

Fig. 3 stellt 4 solcher Kurven dar: A. diejenige der heutigen Schneegrenze am Säntis, B. diejenige der würmzeitlichen Schneegrenze in ca. 1400 m Höhe, dargestellt durch Andermatt, 1444 m, diejenige einer Talstation am Alpenrand, welche reiche Beziehungen zu den geologischen Verhältnissen aufweist, Thun, 560 m, und endlich eine Station ausserhalb des vereisten Gebietes, zugleich am Übergang des risszeitlichen alpinen Inlandeises zur oberrheinischen Tiefebene, nämlich Basel-Binningen in 318 m Meereshöhe.

Fig. 3 zeigt in überraschender Weise, dass einunddieselbe Veränderung der Wärmestrahlung sich ganz verschieden auswirkt, je nach der Höhenlage und den allgemeinen klimatischen Verhältnissen eines Ortes. Die Ergebnisse der Kurve lassen sich in folgender Übersicht zusammenfassen:

Tabelle 8.

Ort	Wärmer als heute	Kälter als heute	Gleich wie heute	Grösse der Kältespitzen
A. HeutigeSchneegrenze = Säntis, 2500 m	405000 J.	125000 J.	70000 J.	bis 2 Frostmonate
B. Würm-Schneegrenze = Andermatt, 1440 m	140000 „	0 „	460000 „	„ 0 „
C. Alpenrand = Thun, 560 m	127500 „	392500 „	80000 „	„ 2 „
D. Eisfreies Gebiet = Basel, 318 m	127500 „	392500 „	80000 „	„ 3 „

Frostkurve A. Die wechselnde Sonnenstrahlung erzeugte an der Schneegrenze in 67% der Zeit eine Verminderung und nur in 21% eine Vermehrung der Zahl der Frostmonate. Die letztern genügen aber, um beim heutigen Relief und den gegenwärtigen Wind- und Niederschlagsverhältnissen 8 Eisvorstösse von Dauncharakter und 6 von Gschnitzausdehnung zu erzeugen. Da wir in der Alpenrandzone die tiefste Talbildung nicht nur vor Würm und Riss, sondern auch noch vor Glütsch und Kander setzen müssen, Ablagerungen, deren Alter von Penck und Brückner (16) unabhängig von astronomischen Begründungen auf mehr als 200000 Jahre geschätzt wurden, so mögen diese Feststellungen für den ersten Drittel der Kurve zutreffen. Die glazialen Ablagerungen aber, die im Aaretal vom Thuner-

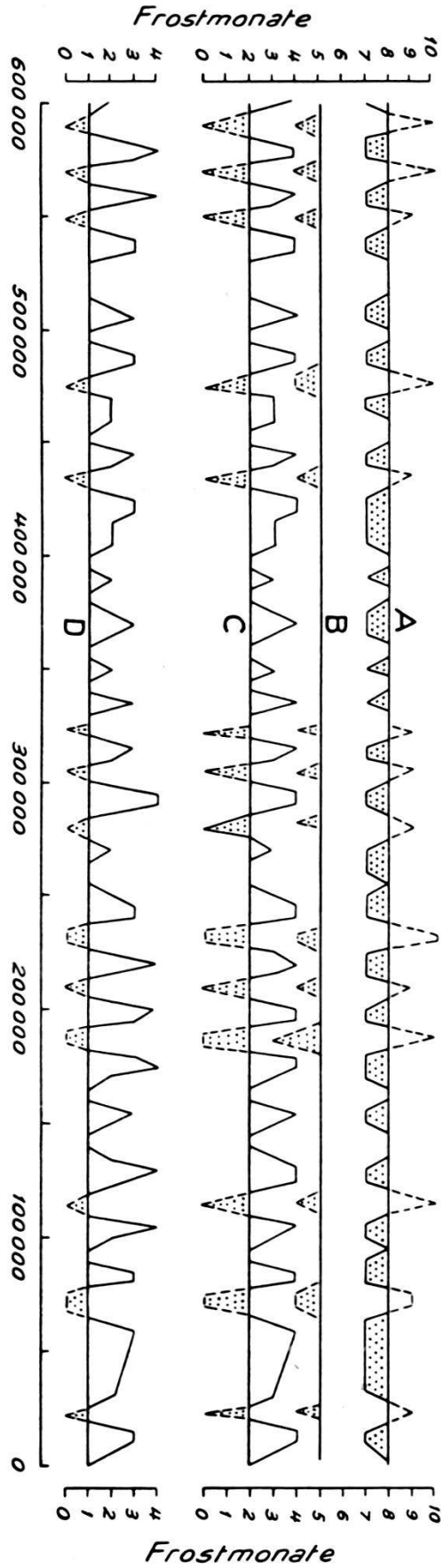


Fig. 3. *Einfluss der solaren Strahlungsänderungen auf die Zahl der Frostmonate wichtiger meteorologischer Stationen der Schweiz.*

Die Kurven bezeichnen:

A Säntis: Heutige Schneegrenze
B Andermatt: Würmzeitliche Schneegrenze
C Thun: Alpenrandstation
D Basel: Eisfreie Station

see bis Bern eine Gliederung in Würm, Riss, Glütsch und Kander verlangen, setzen erst ausserhalb der Endmoränen des Gschnitzstadiums ein und dürfen daher erst dann mit den Kältespitzen parallelisiert werden, wenn die nächsttiefere Höhenstufe, die Kurve der Würm-Schneegrenze, eine wesentliche Ergänzung und Verstärkung der Vereisungsbedingungen ergibt.

Frostkurve B scheint fast ganz eine Aneinanderreihung von Wendepunkten der Temperaturwechsel zu sein, welche in den Kurven A einerseits und C und D andererseits zum Ausdruck kommen. Abgesehen von kleinen, in der Darstellung vernachlässigten Wärmeschwankungen, besitzen 76% der Zeit die heutige Zahl der Frostmonate. Die übrigen 24%, die zeitlich mit den Kältevorstössen der Kurve A zusammenfallen, verstärken diese nicht, sondern erzeugen eine Verminderung der Frostzeit. Die Gletschervorstösse, die sich aus A ergeben, scheinen gleichsam durch eine Wärmezone isoliert.

Die Frostkurven C und D bilden zu A einen völligen Gegensatz. Den 67% Wärmezeit in A stehen hier 65% Kältezeit gegenüber und den 21% Kältespitzen 21% Wärmevermehrung. Die Kurven C und D unterscheiden sich nur durch die Stärke der Abweichungen, indem die Ausschläge bei C 2 Monate, bei D dagegen ihrer 3 betragen. Da Basel heute nur einen Frostmonat aufweist, so kann sich die Verminderung nur unvollständig auswirken.

Diese Ergebnisse erscheinen recht widerspruchsvoll mit den Vorstellungen, die man sich meist vom eiszeitlichen Klima macht. Doch dürfen wir nie vergessen, dass die astronomischen Berechnungen Milankovitchs sich auf zuverlässigere Elemente stützen, als sie in den niemals selbständig datierbaren, oft kümmerlichen Resten der Eiszeiten, die unserer geologischen Beurteilung zugänglich sind, zur Verfügung stehen. Wenn uns die Milankovitchzahlen auch nicht so mühelos die Gletschervorstösse datieren, wie viele zuerst glaubten, so bilden sie doch eine Realität, einen Rahmen, in den wir unsere Terrainbeobachtungen und palaeontologischen Ergebnisse einordnen können. Dies wurde bis jetzt übersehen und nicht ausgewertet.

B. Geologische Anhaltspunkte für eine Übereinstimmung der geologischen und palaeontologischen Beobachtungen mit dem astronomisch ermittelten Klima.

Wenn wir die Auswertung der astronomischen Klimabestimmung fortsetzen, so nehmen wir an, dass irgendwelche Ursachen die Vereisungen ermöglichten und dass sie sich nicht auf die sommerlichen Kältespitzen beschränkten, sondern auch in die Zeiten mit Kontinentalklima hineinreichten, eine Frage, die in einer spätern Arbeit erörtert werden soll.

1. Gletscherende und gleichzeitige Flora. Bisher suchten Botaniker, Geologen und Geographen aus Pflanzenfunden innerhalb oder nahe ausserhalb der vergletscherten Gebiete auf das eiszeitliche Klima zu schliessen. Je nach dem vorliegenden Material gelangten sie dabei zu entgegengesetzten Schlüssen. Ähnlich wie im Norden (15), konstatierte man auch im Gebiet der Schweizer Gletscher die typischen Vertreter der sog. Dryasflora (14), einer kümmerlichen Tundrenvegetation. Andererseits vertrat BROCKMANN-JEROSCH (6, 7) die Auffassung: „Die diluvialen (Schweizer) Gletscher waren von Eichenwäldern umsäumt." Unsere Klimakurve zeigt deutlich, dass ein Gletschervorstoss, der während einer extremen Klimaperiode aus den Alpen hervordrang, sehr wahrscheinlich keine Eichenwälder mit Stechpalm und Epheu antraf, sondern vielmehr ein steppenartiges Land, das infolge einer gegenüber heute grösseren Zahl von Frostmonaten einen rauhen Charakter aufwies (z. B. Gondiswil). Andererseits lehrt uns die Untersuchung der Bändertone am Südrand der Alpen (Paradiso–Noranco, Valtravaglia, Rè, Varese, Pianico–Sellere u. a.), dass sich die Gletscher und die Wälder zeitlich sehr nahe kamen, wenn auch die Vorstellung BROCKMANNS von den Eisdämmen aus geologischen Gründen entschieden abgelehnt werden muss (3, 10). Drangen die Eiszungen während einer Klimaperiode mit einem ausgeglichenen, ozeanischen Charakter (Zeiten der Möglichkeit alpiner Vorstösse) an den Alpensüdrand, so war es nicht ausgeschlossen, dass sie dort Wälder antrafen, die durch die wärmeren Winter (Tab. 6, S. 000) gegen den Einfluss der vordringenden Gletscher geschützt waren. Handelt es sich dabei vielleicht auch nicht um eine Gleichzeitigkeit, so ist es doch sicher, dass die Wälder nur knapp vor den Gletschern flohen und diesen beim Rückzug auf dem Fusse folgten und die glazialen und vegetabilischen Ablagerungen sich unter der Mitwirkung von fliessendem Wasser und Schlipfen in den Deltas vermischen konnten.

Die Verallgemeinerung des einen oder andern Befundes erscheint unter solchen Verhältnissen nicht ratsam.

2. Fluvioglaziale Schotter und Löss. Nach vielen verschiedenen Deutungen stellt sich heute die überwiegende Mehrzahl der Quartärforscher auf den Standpunkt, der Löss sei während den Eiszeiten durch das Ausblasen grosser Schotterflächen entstanden. Diese Auffassung findet ihre Stützung durch die in Diskussion stehende Klimabestimmung. Für den Aufnahmegeologen bildet die grosse Ausdehnung und Mächtigkeit der diluvialen Schotter eine Tatsache, die weit über die heutigen Verhältnisse der Aufschotterung durch Gletscherabflüsse hinausgeht. Stellen wir uns aber die Einwirkungen der kontinentalen Klimaperioden mit ihren bis zu 10^0 heisseren wärmsten Monaten und den die Winterniederschläge konservierenden kalten Wintern vor, so erkennen wir ein Wasserregime, das bezüglich Hoch-

und Tiefständen der Gewässer die heutigen Verhältnisse extrem übertrifft und infolgedessen die Bedingungen zur Schaffung grosser, nackter Schotterfluren besitzt. Die Temperaturunterschiede der Halbjahre fördern überdies den Steppencharakter der Vegetation im allgemeinen und die spärliche Besiedlung der Schotterfluren im Besondern, so dass auch bezüglich der Pflanzendecke alle Vorbedingungen für das Ausblasen und die Lössbildung gegeben sind.

3. Quartärklima und Entwicklung der Säuger. Während die Geologen und Geographen heute kaum an der Mehrzahl der Eiszeiten zweifeln, findet der mehrfache Wechsel zwischen Eis- und Interglazialzeiten bei den Säugetierpalaeontologen noch entschiedene Gegner und vielleicht keinen einzigen voll überzeugten Verteidiger. Diese Forscher finden in der Entwicklung der Säuger während des Quartärs keinen einzigen sichern Beweis für einen Wechsel kalter und warmer Faunen, sondern eher ein allmähliches Südwärtsdrängen sog. nordischer Tierformen, d. h. solcher Tiere, die heute im Norden leben. Hier sei nur auf 2 neuere Publikationen verwiesen: H. G. Stehlins Werk über die Grotte de Cotencher (17), das sich mit den Alpen, Süd- und Westeuropa befasst, und V. Gromows „Ergebnisse der Forschung der quartären Säugetiere und des Menschen im Gebiete der UdSSR" (9). Beide müssen den wiederholten Wechsel von grossen Eiszeiten und warmen Zwischeneiszeiten ablehnen, da sie dafür in der Tierwelt keine Belege finden.

Stehlin erkennt zwar aus geologischen Gründen eine Zwischeneiszeit zwischen der grössten und der letzten Vergletscherung an — für ältere findet auch er keine Anzeichen — aber er weist nach, dass die Fauna weder im Riss, noch im Würm die stärksten Kälteeinwirkungen erkennen lasse, sondern erst im tardi- oder postglazialen Magdalénien. Damals drangen die Saïgaantilope und das Rentier bis zum Nordfuss der Pyrenäen vor und der Halsbandlemming bis in die Dordogne.

Gromow betont, dass die südlichste Verbreitung der arktischen Fauna, das Vordringen von Rentier, Polarfuchs, Schneehuhn usw. bis in die Krim, ins Aurignacien falle. Er schliesst daraus, dass damals die grösste Vereisung geherrscht habe, und dass im Solutréen eine leichte Schwankung das „magdalénienzeitliche" Würm vom „aurignacienzeitlichen" Riss abtrenne, beides Schlüsse, denen wir, gestützt auf die alpinen Verhältnisse, nicht zu folgen vermögen. Für Gromow gibt es 2 deutliche Diskontinuitäten in der jüngsten Entwicklung der Fauna: 1. Das Aussterben der pliozänen Arten im Prämindel und Mindel und zwar sehr wahrscheinlich, d. h. soweit die ökologische Analyse der Fauna ein Urteil darüber gestattet, lediglich durch eine Zunahme der Kontinentalität. 2. Die Vernichtung der mittel- und altquartären Arten durch die grosse Riss-Würmvereisung Eurasiens. In beiden Fällen handelt es sich um „eine jähe, sprunghafte Klima-

verschlechterung, wobei die relativ wärmeliebenden Tiere der vorangehenden Zeit zusammen mit denjenigen, die sich nicht rasch den neuen rauheren Daseinsverhältnissen anzupassen vermochten, vernichtet wurden."

Wir wählen zur Beurteilung der damit aufgeworfenen Fragen die Baslerkurve D, da sie für ein weit ausgedehntes Gebiet charakteristisch ist. Da sie nur 600000 Jahre zurückreicht und das Ende des Pliozäns in die Zeit von 600000—1 Million Jahren zurückverlegt wird, so fehlt uns der vollständige Umfang der Kurve. Die Spitzen der MJ 580000 und 560000 brachten eine Vermehrung der Frostmonate um 3 und eine Steigerung der extremen Monatsmittel um ca. 10°, beides Einflüsse, die im Stande waren, wärmeliebende Arten auszuschalten. Noch strenger und unvermittelter wirkte die Spitze des MJ 295000, die während 5000 Jahren ununterbrochen die eben gesagten Verhältnisse aufwies. Da wir später keine so langfristigen extremen Wechsel mehr finden, so könnte diese Spitze den Beginn der Riss-Würmeiszeitengruppe, inklusive Kander und Glütsch, bedeuten. Interessanterweise erreicht die Südwanderung der Nordtiere im kontinentalen Osteuropa die äussersten Punkte früher als in Frankreich; denn die ausgeglichen gearteten Zwischenklimate wurden im E durch das allgemeinherrschende Kontinentalklima rauher gestaltet als in Westeuropa. Sehr schön zeigt die Kurve die Bedingungen, die zum Magdalénienvorstoss führten. Zwischen den MJ 60000 und 30000 herrschten ununterbrochen extreme Verhältnisse. Vermehrten sich die Frostmonate auch nur um 2 und betrug die Verschärfung der extremen Monatsmittel auch nur ± 6°, so wirkte die 30000-jährige Dauer um so intensiver. Die Steppenvegetation hatte genügend Zeit gegen den atlantischen Ozean vorzudringen und den Steppen- und Tundratieren den Weg zu bereiten.

Stehlin verzichtet in Anbetracht auf die gut bekannten glaziogeologischen Verhältnisse der Schweiz darauf, den südlichsten Vorstoss kälteliebender Tiere zeitlich einer Vereisung gleichzusetzen wie dies Gromow tut. Unsere neuen Kurven lehren uns, auch in dieser Beziehung vorsichtig sein; denn den wirklich Gletschervorstösse auslösenden sommerlichen Kältespitzen im Bereich der heutigen Schneegrenze entsprechen stets wärmere Lebensbedingungen der tiefern Lagen und umgekehrt. Es ist daher klimatisch möglich, dass sich im Gebirge, resp. in höhern geographischen Breiten, Vereisungen bildeten und gleichzeitig die Tierwelt der tiefern Gegenden, resp. südlicheren Breiten, durch vermehrte Winterwärme vollkommen geschützt blieb. Umgekehrt konnte die im MJ 65000 beginnende und erst 25000 endende Extremzeit die Tierwelt nachhaltig beeinflussen, ohne in den Gebirgen oder im Norden Gletscher zu erzeugen, da diese Gegenden keine wesentliche Vermehrung der Frostmonate gegenüber heute aufwiesen.

Auf alle Fälle öffnen uns die neuen Untersuchungen allerlei Einblicke in die Lebensbedingungen der quartären Floren und Faunen, die den palaeontologischen Ergebnissen besser entsprechen als die bisherigen allzu einfachen Vorstellungen.

4. Alpines Palaeolithikum. Die Entdeckung des bis über 2400 m Meereshöhe hinaufreichenden alpinen Palaeolithikums durch E. BÄCHLER richtete das Interesse vieler Forscher auf die damals bestehenden klimatischen Bedingungen. Das Inventar der in diesen Kreis gehörenden Höhlen: Drachenloch bei Vättis, 2445 m, hoch über dem Taminatal gelegen, Wildenmannlisloch, 1628 m, hoch über dem Thurtal (Toggenburg), Wildkirchli, 1447 m, in der Säntisgruppe, Steigelfadbalm (960 m), über Vitznau am Vierwaldstättersee, Ranggiloch, 1845 m, und Schnurrenloch, 1220 m, beide über dem Tal der Simme im Berner Oberland, und endlich Cotencher, 652 m, im Ausgang des jurassischen Areusetales zum Neuenburgersee, liefert dazu wenig Anhaltspunkte. Die Palaeontologen beurteilen die aufgefundene Fauna als nicht wesentlich von der heutigen verschieden, da sie mit Ausnahme weniger Arten (z. B. Polarfuchs) heute ebenso gut dort leben könnte. Drachenloch entspricht der Säntiskurve, die für diese Meereshöhe zwischen den vereinzelten Kältespitzen auf ein Klima hindeutet, das einen Frostmonat weniger aufweist als das heutige. Die Mehrzahl der Höhlen erhält ihre Charakteristik des Temperaturverlaufs durch die Frostkurve B, was die Beurteilung der Palaeontologen voll und ganz bestätigt. Da zudem die Sommer heisser und die Winter kälter waren als heute, dürfte der Wald weniger zusammenhängend gewesen sein, was ebenfalls der aufgefundenen Fauna entspricht. Einzig Cotencher scheint etwas ungünstigere Verhältnisse als heute aufzuweisen, auch dies in Übereinstimmung mit der Fauna.

Zusammenfassend sei darauf hingewiesen, dass das astronomisch berechnete Klima der Quartärzeit imstande ist, uns Vorstellungen über diese Periode zu vermitteln, die mit den geologischen und palaeontologischen Ergebnissen ebensogut oder noch besser übereinstimmen als der bisher angenommene einfache Wechsel von warmen und kalten Zeiten.

In einem demnächst erscheinenden III. Teil der vorliegenden Quartärklimastudien auf astronomischer Basis sollen die Vereisungsbedingungen und der Ablauf der letzten Vereisungen für die Schweizeralpen nachgewiesen und mit den stratigraphischen Befunden verglichen werden.

Literaturverzeichnis.

1. Annalen der Schweiz. Meteorologischen Zentral-Anstalt, 1935, Zürich.
2. Beck, P., Eine Karte der letzten Vergletscherung der Schweizeralpen. 1. Mitt. naturw. Ges. Thun (Kümmerly u. Frey), Bern, 1936.
3. Beck, P., Über das schweizerische und europäische Pliozän und Pleistozän Eclogae geol. Helv., Vol. 26, No. 2. 1933.
4. Beck, P., Vorläufige Mitteilung über eine Revision des alpinen Quartärs. Eclogae geol. Helv., Vol. 30, No. 1, 1937.
5. Beck, P., Zur Revision der Quartärchronologie der Alpen. Bericht über 3. internationale Quartärkonferenz in Wien, September 1936 (im Druck).
6. Brockmann-Jerosch, H., Die fossilen Pflanzenreste des glazialen Deltas bei Kaltbrunn und deren Bedeutung für die Auffassung des Wesens der Eiszeit. Jahrb. d. St. Gallischen naturw. Ges. f. d. Jahr 1909.
7. Brockmann-Jerosch, H., Die Vegetation des Diluviums der Schweiz. Actes de la Soc. Helv. des Sc. Nat., Neuchâtel 1920.
8. Eberl, B., Die Eiszeitenfolge im nördlichen Alpenvorlande, ihr Ablauf, ihre Chronologie auf Grund der Aufnahmen im Bereich des Iller-Lechgletschers. Augsburg 1930.
9. Gromow, W., Ergebnisse der Forschung der quartären Säugetiere und des Menschen im Gebiete der UdSSR. Leningrad u. Moskau 1936.
10. Jeannet, A., Les charbons feuilletés de la vallée de la Linth entre les lacs de Zurich et de Walenstadt.. in: Die diluvialen Schieferkohlen der Schweiz. Beitr. z. geol. Karte d. Schweiz, Geotechn. Serie, VIII, 1923.
11. Köppen & Wegener, Die Klimate der geologischen Vorzeit. Berlin 1924.
12. Maurer, J., Billwiller, R. & Hess, Cl., Das Klima der Schweiz. Frauenfeld 1909.
13. Milankovitch, M., Mathematische Klimalehre und astronomische Theorie der Klimaschwankungen. In: Handbuch der Klimatologie, Berlin 1930.
14. Nathorst, A. G., Über neue Funde von fossilen Glazialpflanzen. Engler's bot. Jahrb. Bd. 1, Heft 5, Leipzig 1881.
15. Nathorst, A. G., Neuere Erfahrungen von dem Vorkommen fossiler Glazialpflanzen und einige darauf für Mitteleuropa basierte Schlussfolgerungen. Geol. Fören. i. Stockholm. Förh., 36, 1914.
16. Penck, A. & Brückner, Ed., Die Alpen im Eiszeitalter. Leipzig 1901—1909.
17. Stehlin, H. G. et Dubois, A., La grotte de Cotencher, station moustérienne. Mémoires de la Soc. Pal. Suisse, Vol. LII—LIII, 1933.

Manuskript eingegangen den 19. Mai 1937.