

	Schwed. Kronen.
N:r 16 Bd III, Lief. 6, Die Bacillariaceen-Vegetation des Sarekgebirges v. FR. HUSTEDT (Bremen).....	4.40
» 17 » » Lief. 7, Die Gefäßpflanzen des Sarekgebietes, v. T. Å. TENGWALL (Uppsala). — Die Hieracien des Sarekgebietes in Lule Lappmark, v. H. DAHLSTEDT (Stockholm). — Nachtrag zur Flechtenflora des Sarekgebietes, v. T. Å. TENGWALL (Uppsala)	2.50
» 18 » » Lief. 8, Die Vegetation des Sarekgebietes v. T. Å. TENGWALL (Pasoereon, Java), II. Abt.	3.00
» 3 Bd IV, Lief. 1, Die Wirbeltiere der arktischen und subarktischen Hochgebirgszone im nördlichsten Schweden v. S. EKMAN (Uppsala).....	5.00
» 5 » » Lief. 2, Über die Artselbständigkeit des <i>Lemmus lemmus</i> (Linné) gegenüber <i>Lemmus obensis</i> (Brants) v. S. EKMAN (Uppsala). — Die Mollusken der lappländischen Hochgebirge v. N. ODHNER (Stockholm). — Ostracoden aus den nordschwedischen Hochgebirgen v. S. EKMAN (Uppsala)	3.00
» 6 » » Lief. 3, Ichneumoniden aus dem Sarekgebirge v. A. ROMAN (Uppsala)	7.00
» 7 » » Lief. 4, Acariden aus dem Sarekgebirge v. IVAR TRÄGÅRDH (Uppsala)	8.50
» 9 » » Lief. 5, Hydracarinen der nordschwedischen Hochgebirge, erster u. zweiter Teil, v. C. WALTER (Basel). — Ostracoden aus den nordschwedischen Hochgebirgen, zweite Mitteilung, v. G. ALM (Uppsala)	3.10
» 10 » » Lief. 6, Dipteren aus dem Sarekgebiet, v. B. POPPIUS (Helsingfors), C. LUNDSTRÖM (†) u. R. FREY (Helsingfors). — Turbellarien der nordschwedischen Hochgebirge, v. N. VON HOFSTEN (Uppsala)	3.20
» 11 » » Lief. 7, Über die alpine und subalpine Collembolenfauna Schwedens, v. E. WAHLGREN (Malmö). — Lepidoptera aus dem Sarekgebirge, v. B. POPPIUS (†). — Wasserbewohnende Oligochaeten der nordschwedischen Hochgebirge, v. E. FIGUET (Neuchâtel)	5.00
» 14 » » Lief. 8, Limicole Mermithiden aus d. Sarekgebirge u. d. Torne Lappmark, v. G. STEINER (Washington). — Rotatorien der nordschwedischen Hochgebirge, v. N. V. HOFSTEN (Uppsala).	3.50
» 20 » » Lief. 9, Coleopteren aus dem Sarekgebiet, v. A. JANSSON (Örebro)	1.50
» 22 » » Lief. 10, Hemipteren aus dem Sarekgebiet, v. T. EKBLÖM (Stockholm). — Arachniden aus dem Sarekgebirge v. E. SCHENKEL (Basel).....	1.50
» 23 Bd V, Lief. 1, Das meteorologische Observatorium auf dem Pärtetjåkko v. A. HAMBERG (Djursholm). — Ermittlung des Einflusses des terrestrischen Horizontes auf die Sonnenscheindauer v. A. HAMBERG (Djursholm).....	5.50

Obenstehende Preise gelten nur bei der Subskription von ganzen Bänden und Abteilungen, für *einzelne Lieferungen* erhöhen sich die Preise um 50 %.

Die an den Lieferungen 1—9 angegebenen Preise in Reichsmark sind vom 1. Jan. 1917 nicht mehr gültig.

NATURWISSENSCHAFTLICHE UNTERSUCHUNGEN DES SAREKGEBIRGES IN SCHWEDISCH-LAPPLAND,

GELEITET VON

DR AXEL HAMBERG (DJURSHOLM),
PROFESSOR EMERITUS AN DER UNIVERSITÄT UPPSALA.

Bd V, ARBEITEN DES PÄRTEJTJÄKKO-OBSERVATORIUMS, UNTER BESONDERER
LEITUNG EINER K. KOMMISSION.

LIEF. I (S. 1—104).

Das meteorologische Observatorium

auf dem

Pärtetjåkko

VON

AXEL HAMBERG (DJURSHOLM)

Ermittlung des Einflusses des terrestrischen Horizontes

auf die

Sonnenscheindauer

VON

AXEL HAMBERG (DJURSHOLM)

✻

C. E. FRITZES
BOKFÖRLAGS-AKTIEBOLAG,
STOCKHOLM.

R. FRIEDLÄNDER & SOHN
CARLSTRASSE 11,
BERLIN, N W, 6.

Ermittlung des Einflusses des terrestrischen Horizontes auf die Sonnenscheindauer.

Von **Axel Hamberg** (Djursholm).

HIERZU TAF. 3.

Die Registrierungen mit dem Sonnenscheinautographen bezwecken Aufschluss zu geben sowohl über die Bewölkung eines Beobachtungsortes am Tage als auch über die Länge der Zeit, in der die Gegenstände auf dem Erdboden direktes Licht und Wärme von der Sonne empfangen. Bei wolkenlosem Himmel und wenn der terrestrische Horizont mit dem astronomischen zusammenfällt, schwankt die tägliche Sonnenscheindauer mit den Jahreszeiten. Diese tägliche Schwankung hat an den Erdpolen und am Äquator ihre Minima, an den Polarkreisen ihre Maxima.

Wenn der terrestrische Horizont nicht mit dem astronomischen zusammenfällt, was ja fast immer der Fall ist, wird die maximale Sonnenscheindauer dadurch mehr oder weniger beeinflusst. Dieser Einfluss ist bei sonst gleichen Umständen um so grösser, je flacher und niedriger die Sonnenbahn ist. Am Äquator steigt und senkt sich die Sonne fast stets nahezu senkrecht zum astronomischen Horizont, und Gegenstände, wie Häuser und Gebirge, gleiten verhältnismässig schnell vorüber, da die Sonne in der Nähe des Horizontes in einer Stunde eine Höhenveränderung von 15° ausführt. In den Polarländern dagegen, bei hohen Breiten, bildet die Sonnenbahn vorzugsweise im Frühjahr und Herbst flache Bogen, die selbst von niedrigen Bergen lange Zeit, vielleicht mehrere Stunden, verhüllt werden können. Am Polarkreis selbst sind die Bogen der Sonnenbahn in der Nähe der Wintersonnenwende sowie diejenigen der unteren Kulmination unweit der Sommersonnenwende flach und niedrig. Hierzu kommt, dass die Azimute der Sonne beim Aufgang und Untergang vom Polarkreis ab bis zu höheren Breiten im Lauf des Jahres zwischen 0° und 180° wechseln, während am Äquator dieser Unterschied nur etwa 47° beträgt.

Wir finden hieraus, dass besonders auf höheren Breiten die Kenntnis von dem Verlauf des terrestrischen Horizontes im Verhältnis zu dem astronomischen wichtig ist, wenn es gilt, die Zeitlänge der maximalen Sonnenscheindauer zu bestimmen. Dies dürfte erklären, warum keine allgemein angenom-

menen Methoden zur Ermittlung dieser Zeitlänge ausgearbeitet sind. Man scheint sich im allgemeinen auf Photographien von den Teilen des Horizontes, die von der aufsteigenden oder untergehenden Sonne geschnitten werden, beschränkt zu haben, zumal da eine genaue Bestimmung des fraglichen Einflusses besondere Messungsoperationen und mühsame Berechnungen erfordert.

Der erste mir bekannte ernstliche Versuch, eine rationelle Lösung des Problems zu finden, ist der von Dr. BRUNO ROLF¹ am meteorologischen Observatorium in Abisko ausgeführt.

Er fertigte eine zylindrische Abbildung des terrestrischen Horizontes auf Millimeterpapier von 360 cm Länge an, worauf die Horizontlinie nach Photographien und Höhenbestimmungen mit Theodolit sowie die berechnete scheinbare Bahn der Sonne eingetragen waren.

Etwas später veröffentlichte W. MOLSCH² — ohne die Arbeit von ROLF zu kennen — eine Methode, die sich von der ROLF'schen hauptsächlich dadurch unterscheidet, dass sie keine Photographien, sondern mit Theodolit gemessene Höhenwinkel für jeden fünften Grad im Azimut benutzte.

Gegen letztere Methode kann bemerkt werden, dass die Intervalle 5° zwischen den Messungen allzu gross sind, wenn der terrestrische Horizont eine komplizierte Linie darstellt. Um der Genauigkeit des Sonnenscheinautographen zu entsprechen, hätten die Intervalle auf 1/2° begrenzt werden sollen, aber dies würde eine bedeutende Messungs- und Rechnungsarbeit erfordert haben.

Gegen die Methode von ROLF kann bemerkt werden, dass es sehr schwierig sein dürfte, eine zylindrische Abbildung des Horizontes mittels Photographien zu konstruieren, die auf ebenen Platten aufgenommen worden sind, weil der Massstab der Abbildung sich vom Austritt der optischen Achse nach allen Richtungen hin vergrössert. Die Kurve des terrestrischen Horizontes ist ausserordentlich kompliziert und daher sehr mühsam auf einen uniformen Massstab zu reduzieren.

Dahingegen ist die Bahn der scheinbaren Sonne, die sowieso berechnet werden muss, eine sehr einfache Kurve, und von derselben hat man eigentlich für eine gewisse Sonnendeklination nur zwei Punkte nötig, die unweit des Schnittpunktes mit dem terrestrischen Horizont liegen. Es ist also einfacher, dieses Teilstück der Sonnenbahn auf den Photographien einzutragen als den terrestrischen Horizont auf einem zylindrisch gebogenen Millimeterpapier zu konstruieren. Es ist aber unbedingt nötig, dass die photographischen Negative auf genau vertikalen Platten aufgenommen worden sind, und dass sowohl die Trace der Horizontalebene als auch der Schnittpunkt mit der optischen Achse angegeben werden können.

¹ Observations météorologiques à Abisko en 1913. Uppsala 1920.

² Die örtlich mögliche Sonnenscheindauer. — Das Wetter 1923. Siehe auch B. ROLF, Bemerkungen zu dem Aufsatz von W. MOLSCH usw. Ebenda.

Wenn die erste Bedingung erfüllt ist, dürften die zweiten mit Hilfe von Theodolitmessungen erhalten werden können. Einfacher ist es indessen, mit einer photogrammetrischen Kamera zu arbeiten, die genau horizontiert werden kann, und in der Marken für die Horizontalebene und die Hauptvertikale angebracht sind.

Die Notwendigkeit einer Ermittlung des terrestrischen Horizontes zur Ausnutzung der Sonnenautographregistrierungen trat schon beim Beginn der Arbeiten auf dem Pärtetjåkkobservatorium hervor, und zu diesem Zweck liess ich bei meinem letzten Besuch im Sommer 1914 daselbst einen guten Theodoliten zurück. In der Korrespondenz mit Observator JÖNSSON warf ich indessen den Gedanken auf, für die Messungen ein äquatorialartiges einfaches Instrument bauen zu lassen, um Messungen zu erhalten, die die Stundenwinkel der Sonne am Kontakt mit dem Horizont nach gewissen Refraktionskorrekturen geben würden. Das Instrument wurde aber aus ökonomischen und anderen Gründen nicht gebaut, und irgendwelche anwendbare Messungen mit dem Theodoliten wurden auch nicht gemacht. Es blieb ohnehin für die beiden Meteorologen genug zu tun.

Neue Versuche, den Verlauf des terrestrischen Horizontes zu bestimmen, wurden danach zuerst vom Observator HOFLING im August und September 1917 ausgeführt. Dies geschah mit Hilfe einer ihm gehörigen photographischen Kamera vom Plattenformat 9×12 cm sowie durch Messungen mit einem kleinen Theodoliten von MORIN in Paris. Da die Kamera keine Vorrichtungen zum genauen Horizontieren der optischen Achse oder zur Markierung der horizontalen Ebene hatte, mussten die Photographien mit Hilfe der Theodolitmessungen orientiert und ausgenutzt werden. Leider fehlten Theodolitmessungen für die grössten Teile des Horizontes, als Observator HOFLING am 25. Sept. in einem furchtbaren Schneesturm sein Leben einbüsste. Mit Hilfe der Höhenbestimmungen auf den vorhandenen topographischen Karten, sowie eigener Messungen hätten die Aufnahmen HOFLINGS wahrscheinlich zu einer approximativen Ermittlung des Verlaufes des terrestrischen Horizontes benutzt werden können, obgleich das Plattenformat ziemlich klein war.

Immerhin war das HOFLING'sche Material eine gute Reserve für den Fall, dass auf dem schwer zugänglichen Observatorium keine besseren Aufnahmen zu dem gedachten Zweck gemacht werden konnten. Ich selbst lag zu dieser Zeit krank darnieder, aber meine Gesundheit besserte sich später, und im Frühjahr 1923 beschloss ich, selber eine Aufnahme des Horizontes mit meiner grossen photogrammetrischen Kamera auf dem Observatoriumsplateau zu machen.

Ich traf, begleitet von meiner Frau und meinem Sohn sowie drei Trägern, in Päre (705 m) am 2. Juli ein. Der Sommer war dieses Jahr nicht weit gekommen, um die kleinen Hütten herum lag noch viel Schnee und der Pärtetjåkk war noch vollkommen in Schnee gehüllt. Eine Besteigung des Berges wäre bei diesen Schneemassen und meinem Alter ziemlich anstrengend gewesen. Wir

mussten deshalb eine vorgeschrittenere Schneeschmelze abwarten und in Päreken bleiben, wo ich übrigens reichliche Verwendung für die Wartezeit hatte. Infolge guten Wetters mit vielem Sonnenschein machte aber die Schneeschmelze (Fig. 35 der vorigen Abhandlung) an der Südseite des Berges gute Fortschritte.

Am 12. Juli beschlossen wir nach der Pärtetjåkkohütte hinaufzuziehen. Leider trat in der Nacht ein Schneesturm ein, der bis zum Morgen des 15. andauerte und alle geodätischen Arbeiten im Freien unmöglich machte. Aber an diesem Tage brach die Sonne durch und der Horizont klärte sich auf. Ich machte mich alsbald zur Aufnahme des langersehnten photographischen Panoramas bereit.

Zu diesem Zweck wurde der Messtisch auf den Steinpfeiler des Sonnenautographen gelegt, horizontalisiert und in der Weise orientiert, dass die Richtung 1 approximativ gegen Sarektjåkko h. P. gerichtet war. Da der Messtisch auf dem Steinpfeiler sich nur mit Schwierigkeit drehen liess, konnte eine genaue Einstellung auf das fragliche Objekt nicht stattfinden, aber die Abweichung von der Hauptvertikalen war später auf den Photographien leicht zu bestimmen. Da der Bildwinkel der Kamera etwa 64° betrug, waren für ein vollständiges Panorama sechs Bilder erforderlich. Die sechs Richtungen, die miteinander 60° bildeten, waren auf dem Messtisch aufgezeichnet. Die Kamera konnte mit Hilfe von justierten senkbaren Nadeln auf jede dieser Richtungen eingestellt werden und mit Hilfe von zwei Röhrenlibellen so horizontalisiert werden, dass die optische Achse und die Verbindungslinie der Horizontalmarken horizontal und die photographischen Platten vertikal eingestellt wurden.

Die Platten wurden in der Reihenfolge aufgenommen, die sich je nach der wechselnden Beleuchtung und der Deutlichkeit des terrestrischen Horizontes darbot. Observator HOFLING hatte sich darüber beklagt, dass der Horizont im Süden und Osten fast nie klar war. In diesen Richtungen hat man nämlich eine sehr ausgedehnte Aussicht über das nordschwedische Flachland, und die Details der Berührungslinie zwischen Himmel und Erde liegen daher sehr fern. Ich hatte aber das Glück, ziemlich klare Bilder vom Horizont in allen Richtungen zu erhalten, wenigstens tritt die betreffende Begrenzungslinie selbst im Süden und Osten auf den Platten ziemlich sicher hervor, während in anderen Richtungen, wo die Landschaft aus Kulissenartig vor einander hinaufragenden Gipfeln besteht, diese sich auch auf den Papierkopien sehr deutlich abzeichnen.

Von bemerkenswerteren entfernten Bergen, die man auf den Photographien, die sämtlich auf der Tafel 3 reproduziert sind, erkennen kann, sind vor anderen der Kebnekåise (in etwa 100 km Distanz, auf Photographie 1774 etwa 53 mm rechts von der Hauptvertikale), ferner der Álmojalos und der Sulitelma (in etwa 55 km Distanz, auf Photographie 1776 etwa 101 bzw. 73 mm rechts von der Hauptvertikale) zu nennen.

Unter Berücksichtigung des in der vorhergehenden Abhandlung berechneten Azimutes des Sarektjåkko und des Umstandes, dass die Hauptvertikale der Platte 1774 1 mm oder $18'36''$ östlich vom Sarektjåkko liegt, findet man folgende Werte für die Azimute der Normalen der sämtlichen sechs Platten:

Richtung	Platte N:o	Azimet
1	1774	— $171^\circ 50' 26''$
2	1773	— $111 50 26$
3	1771	— $51 50 26$
4	1772	+ $8 9 34$
5	1776	+ $68 9 34$
6	1775	+ $128 9 34$

Die Minuswerte beziehen sich auf Richtungen, die östlich vom Südende des Meridians liegen, die positiven Richtungen liegen im Westen davon. Sämtliche Platten hatten das Format 18×24 cm, aber bei der Reproduktion (Taf. 3) sind nur 5 cm oberhalb und 4 cm unterhalb der horizontalen Linie mitgenommen, nachdem auf den Papierbildern alle nötigen Konstruktionen ausgeführt worden waren. Diese sind auf den betreffenden Platten Nord- und Südende des Meridians, West- und Ostlinien sowie auf allen Platten die Hauptvertikale und die Horizontallinie wie auch Fragmente des Ganges der scheinbaren Sonne für verschiedene Deklinationen. Letztere Kurven bilden den Hauptgegenstand dieser Abhandlung.

Um die Bahn der scheinbaren Sonne auf den Photographien einzutragen, sind für verschiedene Deklinationen und erforderliche scheinbare Höhen die Azimute durch folgende Gleichung berechnet worden:

$$\sin \frac{1}{2} a = \sqrt{\frac{\cos s \cdot \cos (s - p)}{\cos \varphi \cdot \cos h}}$$

worin $s = \frac{p + \varphi + h}{2}$, p = der Polabstand und h = die wahre Höhe der Sonne sind. φ ist die geographische Breite des Ortes ($= 67^\circ 9' 23''$ nach der vorhergehenden Abhandlung) und a = der Azimet.

Zunächst galt es, aus der scheinbaren Höhe H die wahre Höhe h zu berechnen. Dies kann ausgeführt werden, wenn man die sogenannte astronomische Refraktion der Atmosphäre kennt. Die Refraktionskorrektion ist besonders bei geringen Höhen gross, wovon hier hauptsächlich die Rede ist. Für den Horizont ist sie bei 0° Lufttemperatur und 760 mm Barometerdruck nahezu $35'$, wird aber durch Schwankungen der Temperatur und des Barometerstandes stark beeinflusst. Für das Pärtetjåkkoobservatorium war besonders der niedrige Luftdruck, der im Mittel nur etwa 600 m beträgt, bedeutsam. Indessen war es weder nötig noch möglich, die aktuellen Schwankungen der Temperatur und des Barometerstandes jedes Tages zu berücksich-

tigen, sondern ich beschränkte mich auf die Mittelwerte gewisser Perioden. Wie auf allen Bergstationen hat der Luftdruck auf dem Pärtetjåkko eine ausgeprägte jährliche Periode, und die Lufttemperatur hat selbstredend auch eine solche Periode, wenn auch nicht so gross wie im Tal.

Im Mittel für alle Beobachtungsjahre sind folgende Monatsmittel des Luftdruckes und der Lufttemperatur gefunden worden:

Monat	Luftdruck mm	Lufttemperatur	Monat	Luftdruck mm	Lufttemperatur
Jan.	592,5	- 18,0°	Juli	607,8	+ 4,6°
Febr.	595,3	- 14,1	Aug.	605,8	+ 1,8
März	597,6	- 14,4	Sept.	600,5	- 4,5
April	599,2	- 11,0	Okt.	602,6	- 7,0
Mai	603,4	- 7,5	Nov.	595,3	- 10,9
Juni	604,6	- 1,1	Dez.	594,9	- 16,0

Um die Berechnungen einigermaßen zu vereinfachen, habe ich nicht diese Monatsmittel, sondern abgerundete Mittel für folgende Perioden, die auch gewissen Intervallen der Sonnendeklination entsprechen, benutzt.

Zeitperiode	Intervalle der Sonnendeklination	Angenommenes Mittel	
		des Luftdruckes mm	der Lufttemperatur
12. Mai—31. Juli	+ 23°27' — + 18°	605	+ 5°
12. April—11. Mai und 1.—31. Aug.	+ 18 — + 9	600	0
12. März—11. April und 1.—30. Sept.	+ 9 — — 3	600	- 5
1. Okt.—11. März	- 3 — — 23 27'	595	- 10

Nachdem mein verehrter Kollege Professor der Astronomie in Uppsala Ö. BERGSTRAND mir das Tafelwerk von R. RADAU¹ empfohlen, das die Berechnung der Refraktionskorrekturen bis zur Zenitdistanz 91° unter Berücksichtigung von Temperatur- und Luftdruckschwankungen gestattet, habe ich mit Hilfe der Tabellen RADAUS folgende Tafel der für Pärtetjåkko gültigen Refraktionskorrekturen berechnet, deren Genauigkeit für den fraglichen Zweck jedenfalls genügt.

¹ Essai sur les Réfractions astronomiques. — Annales de l'observatoire de Paris. Mém. T. XIX. Paris 1889.

Tabelle 1. Refraktionskorrekturen.

Deklination \ Zenitdistanz	+ 23°27' — + 18°	+ 18° — + 9°	+ 9° — — 3°	- 3° — — 23°27'
83°	+ 5'59,5''	—	—	—
84	—	+ 6'56,35''	—	—
85	7 58,9	—	—	—
86	9 30,2	9 37,9	+ 9'50,8''	—
87	11 38,3	11 48,7	12 5,0	—
88	14 45,5	15 0,6	15 20,5	—
89	19 38,8	20 0,1	20 32,3	—
89 50'	—	—	—	+ 27'58,7''
90	27 39	28 15,9	29 9,4	29 49,2
90 10	—	—	—	31 40,3
90 45	37 18,15	38 16,6	39 40,9	40 43,6
90 50	—	—	—	42 16,9

Wenn man mit Höhenwinkeln anstatt mit Zenitdistanzen rechnet, wird die Refraktionskorrektur selbstredend negativ. Mit diesen negativen Korrekturen und der auf Seite 93, angegebenen Gleichung wurden nun eine Menge Azimute für die scheinbare Höhe der Sonne = 0° und alle Deklinationen, die ganze Zahlen sind, berechnet. Ausserdem wurden ähnliche Berechnungen für scheinbare Höhen über und unter 0° ausgeführt, um den scheinbaren Gang der Sonne in der Nähe des terrestrischen Horizontes bestimmen zu können.

Diese scheinbaren Sonnenbahnen sind danach auf den Photographien eingetragen worden. Zu diesem Zweck habe ich die Tabelle 2 berechnet, die mir für die Fokaldistanz der Papierbilder = 184,8 mm den Abstand der Grade, von der optischen Achse gerechnet, auf der horizontalen Linie in mm gibt.

Der Rand der Platten lag bei etwa 32° von der optischen Achse, aber da bei der Konstruktion der erwähnten Kurven bisweilen Hilfspunkte in grösserer Entfernung nötig waren, sind die Berechnungen bis 41° fortgeführt. Ausser der Tabelle benutzte ich auch Skalen, die mit Hilfe eines CORADI'schen Koordinatographen auf Zelluloid geritzt und die in 1/6° geteilt wurden. 1' konnte einigermaßen gut geschätzt werden.

Die Azimutdifferenz zwischen der optischen Achse und einem berechneten Azimut der Sonne konnte also mit Hilfe entweder der Tabelle 2 oder der Zelluloidskala in mm umgewandelt und der Ort der Sonne danach auf der Photographie eingetragen werden, wenn die scheinbare Höhe H = 0° war und der Punkt also auf der horizontalen Linie lag. War dies nicht der Fall, so war es nötig, die Tangente des Höhenwinkels oder ihre Werte in mm zu kennen. Zu diesem Zweck wurde die Tabelle 3 berechnet. Mit Hilfe derselben konnten nun auch die Punkte, die über oder unter der horizontalen Linie lagen, in richtiger Lage zu den topographischen Details auf den Photographien eingetragen werden. Durch Verbindung mehrerer Punkte derselben Deklination sind die auf der Tafel 3 wiedergegebenen Kurven entstanden, die eine gute

Tabelle 2. Werte der Winkel in mm von der optischen Achse, wenn die Fokaldistanz 184,8 mm ist.

Zahl der Grade von der opt. Achse	Mm auf der Photographie	Diff. mm	i' in mm	Zahl der Grade von der opt. Achse	Mm auf der Photographie	Diff. mm	i' in mm
1°	3,23		0,0537	21°	70,96	3,72	0,0620
2	6,455	3,225	0,0538	22	74,68	3,78	0,0630
3	9,69	3,235	0,0539	23	78,46	3,84	0,0640
4	12,925	3,245	0,0541	24	82,30	3,89	0,0648
5	16,17	3,26	0,0543	25	86,19	3,96	0,0660
6	19,43	3,27	0,0545	26	90,15	4,03	0,0672
7	22,695	3,285	0,0547	27	94,18	4,10	0,0683
8	25,98	3,50	0,0550	28	98,28	4,18	0,0697
9	29,28	3,31	0,0552	29	102,46	4,26	0,0710
10	32,59	3,34	0,0557	30	106,72	4,34	0,0723
11	35,93	3,36	0,0560	31	111,06	4,44	0,0740
12	39,29	3,38	0,0563	32	115,50	4,54	0,0757
13	42,67	3,42	0,0570	33	120,04	4,64	0,0773
14	46,09	3,44	0,0573	34	124,68	4,75	0,0792
15	49,53	3,47	0,0578	35	129,43	4,87	0,0812
16	53,00	3,51	0,0585	36	134,30	4,99	0,0832
17	56,51	3,55	0,0592	37	139,29	5,12	0,0853
18	60,06	3,59	0,0598	38	144,41	5,27	0,0878
19	63,65	3,63	0,0605	39	149,68	5,42	0,0903
20	67,28	3,68	0,0613	40	155,10	5,58	0,0930
21	70,96			41	160,68		

Vorstellung von dem scheinbaren Gang der Sonne zu verschiedenen Jahreszeiten auf dem Observatoriumsplateau geben.

Um nun aus den Photographien zahlenmässige Angaben über den vom terrestrischen Horizont bedingten Einfluss auf die Sonnenscheindauer zu erhalten, müssten die Azimute (a) und die scheinbare Höhe (H) der Schnittpunkte zwischen den auf den Photographien ausgezogenen Kurven der Sonnenbahn bei verschiedenen Deklinationen und dem Rande des terrestrischen Horizontes bestimmt werden. Um den Azimut zu erhalten, wird zunächst

Tabelle 3. Wert der Höhenwinkel in mm für verschiedene Entfernungen von der Hauptvertikale.

Höhenwinkel Abstand von der Hauptvertikale mm	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
0	3,23	6,45	9,69	12,92	16,17	19,43	22,70	25,98	29,28
10	3,23	6,46	9,70	12,94	16,19	19,46	22,73	26,02	29,32
20	3,25	6,49	9,74	13,00	16,26	19,54	22,83	26,13	29,45
30	3,27	6,54	9,81	13,09	16,38	19,68	22,99	26,32	29,66
40	3,30	6,60	9,91	13,22	16,55	19,88	23,22	26,58	29,95
50	3,34	6,69	10,03	13,39	16,75	20,13	23,51	26,91	30,33
60	3,40	6,79	10,17	13,59	17,00	20,43	23,86	27,31	30,78
70	3,45	6,90	10,36	13,82	17,29	20,77	24,27	27,77	31,30
80	3,52	7,03	10,55	14,08	17,62	21,17	24,73	28,31	31,90
90	3,59	7,18	10,77	14,38	17,99	21,61	25,24	28,89	32,56
100	3,67	7,34	11,01	14,70	18,39	22,09	25,80	29,54	33,28
110	3,75	7,51	11,27	15,04	18,82	22,61	26,47	30,23	34,07
120	3,85	7,70							
130	3,94	7,89							
140	4,05	8,10							

der Winkel zwischen der optischen Achse und dem Perpendikel des fraglichen Schnittpunktes auf der horizontalen Linie bestimmt. Dies kann entweder durch die obenerwähnte bis auf 10' geteilte Zelluloidskala oder durch eine besondere, hier nicht reproduzierte Tafel geschehen, wodurch Abstände in mm von der optischen Achse in Winkelmass verwandelt werden. Für die Höhenwinkel (H) könnte auch eine Tabelle eingerichtet werden, durch die man den in mm gemessenen senkrechten Abstand von der horizontalen Linie, unter Berücksichtigung des Abstandes von der Hauptvertikale, in Winkelmass umwandeln würde. Anstatt eine solche Tabelle zu berechnen, habe ich mit Hilfe des CORADI'schen Koordinatographen auf eine Zelluloidplatte die in der Tabelle 3 angegebenen Punkte eingetragen und dann die zu jedem Höhenwinkel, 1°, 2°, 3° usw., gehörigen Punkte mittels einer Kurve verbunden. Solche Kurven wurden für zwei neben einander liegende Quadranten der Photographien konstruiert. Durch Drehen der Platte um 180° konnte ich sie für alle Quadranten benutzen.

Durch Schätzung von Zehnteln der ganzen Grade konnten die Höhenwinkel bis auf 6' abgelesen werden, aber durch Einschieben einer feineren Teilung, die Sechstel der Grade angab, konnte die Ablesung auf einzelne Minuten stattfinden. Weil nicht die Höhenkurven im ganzen mit der Maschine konstruiert werden konnten, sondern nur Punkte in je 10 mm Entfernung voneinander, will ich nicht behaupten, dass die Höhenkurven an und für sich eine Genauigkeit von 1' haben. Kleine Fehler in den Höhenwinkeln üben aber keinen allzu grossen Einfluss auf die Berechnung der Stundenwinkel aus, weil die Höhenwinkel zumeist klein und mit dem Cosinus in die Gleichung einbezogen sind.

Um die wahre Sonnenhöhe h aus der auf den Photographien gemessenen H zu erhalten, wurde der Refraktionskoeffizient entweder besonders berechnet oder der Wert aus Kurven, die mit Hilfe der Tabelle 1, Seite 95, konstruiert wurden, entnommen.

Wenn nun für eine gewisse Deklination δ der Azimut eines der fraglichen Schnittpunkte $=a$ und seine wahre astronomische Höhe $=h$ gefunden worden sind, lässt sich der Stundenwinkel t nach folgender Gleichung berechnen:

$$\sin t = \frac{\cos h \cdot \sin a}{\cos \delta}$$

Durch diese Gleichung habe ich also den Stundenwinkel der Sonne beim Aufgang und Untergang durch den terrestrischen Horizont erhalten. Ich nenne diesen Wert St_1 bzw. St_2 , je nachdem es sich um den negativen Stundenwinkel vor der Kulmination oder um den positiven nach derselben handelt. Um den Einfluss des terrestrischen Horizontes zu erhalten muss man aber auch den entsprechenden Winkel für den Durchgang der scheinbaren Sonne durch den astronomischen Horizont kennen. Diesen Winkel Sa erhält man durch die bekannte Gleichung

$$\sin^2 \frac{1}{2} t = \frac{\cos s \cdot \sin (s-h)}{\cos \varphi \cdot \sin p}$$

worin die Buchstabenbezeichnungen dieselben sind wie auf Seite 93 angegeben ist.

Meistens pflegt man die Werte St_1 und St_2 zu addieren und mit $2 Sa$ zu vergleichen und so die Sonnenscheindauer für den ganzen Tag anzugeben. Aber da es von meteorologischem Interesse sein dürfte, Vormittag und Nachmittag getrennt zu halten, führe ich in der Tabelle 4 in getrennten Kolonnen die fraglichen Werte auf, die für alle Deklinationen in ganzen Graden sowie für diejenigen der Sommer- und Wintersonnenwende berechnet worden sind.

Die Tabelle 4 muss zusammen mit der Tafel 3 studiert werden, wo das Panorama und die Kurven reproduziert worden sind, auf welche die berechneten Werte von St_1 und St_2 basiert sind.

Wie man sieht, ist die Bahn der scheinbaren Sonne besonders im Nordwesten durch verschiedene emporragende Gegenstände, Berge und Apparate, unterbrochen. In der Tabelle kommt dies dadurch zum Ausdruck, dass die Stundenwinkel aller dieser Schnittpunkte mit solchen Vorzeichen angegeben sind, dass die Summe die örtlich mögliche Sonnenscheindauer angibt. Für die Deklination $+23^\circ 27'$, also die höchste vorkommende, gestalten sich die Stundenwinkel aller dieser Schnittpunkte wie folgt:

Tabelle 4. Auf dem Pärtetjåkko örtlich mögliche Sonnenscheindauer bei verschiedenen Sonnendeklinationen.

Deklination	Stundenwinkel der scheinbaren Sonne im astronomischen Horizont Sa	Örtlich mögliche Sonnenscheindauer vormittags (vor der Kulmination) St_1	$St_1 - Sa$	Örtlich mögliche Sonnenscheindauer nachmittags (= nach der Kulmination) St_2	$St_2 - Sa$
$+23^\circ 27'$	12,00h	11,63h	- 0,37h	9,59h — 9,84 + 10,09 — 10,27 + 10,47 = 10,04	- 1,96h
23	12,00	11,61	- 0,39	9,57 — 9,85 + 10,10 — 10,27 + 10,40 = 9,95	- 2,05
22	11,26	11,26	0,00	9,57 — 9,87 + 10,11 = 9,81	- 1,45
21	10,60	10,74	+ 0,14	9,57	- 1,03
20	10,16	10,25	+ 0,09	9,56	- 0,60
19	9,81	9,99	+ 0,18	7,83 — 8,19 + 8,98 = 8,62	- 1,19
18	9,50	9,53	+ 0,03	7,71 — 8,68 + 8,93 = 7,96	- 1,54
17	9,22	9,12	- 0,10	7,64	- 1,58
16	8,98	8,89 — 8,93 + 9,04 = 9,00	+ 0,02	7,56	- 1,42
15	8,74	8,71	- 0,03	7,48	- 1,26
14	8,52	8,41	- 0,11	7,41	- 1,11
13	8,32	8,29	- 0,03	7,32	- 1,00
12	8,12	8,16	+ 0,04	7,22	- 0,90
11	7,93	7,91	- 0,02	7,16	- 0,77
10	7,74	7,79	+ 0,05	7,10	- 0,64
9	7,56	7,73	+ 0,17	7,04	- 0,52
8	7,39	7,58	+ 0,19	6,98	- 0,41
7	7,22	7,42	+ 0,20	6,90	- 0,32
6	7,05	7,29	+ 0,24	6,83	- 0,22
5	6,88	7,07	+ 0,19	6,75	- 0,13
4	6,72	6,97	+ 0,25	6,67	- 0,05
3	6,56	6,78	+ 0,22	6,61	+ 0,05
2	6,40	6,64	+ 0,24	6,43	+ 0,03
+ 1	6,24	6,49	+ 0,25	6,33	+ 0,09
0	6,08	6,34	+ 0,26	6,20	+ 0,12
- 1	5,93	6,17	+ 0,24	5,32 — 5,70 + 6,03 = 5,65	- 0,28
- 2	5,77	5,94	+ 0,17	5,28 — 5,82 + 5,86 = 5,32	- 0,45
- 3	5,61	5,84	+ 0,23	5,23	- 0,38
- 4	5,45	5,65	+ 0,20	5,19	- 0,26
- 5	5,29	5,51	+ 0,22	5,18	- 0,11
- 6	5,13	5,21	+ 0,08	5,20	+ 0,07
- 7	4,96	5,05	+ 0,09	5,12	+ 0,16
- 8	4,79	4,89	+ 0,10	4,94	+ 0,15
- 9	4,62	4,82	+ 0,20	4,79	+ 0,17
- 10	4,45	4,64	+ 0,19	4,54	+ 0,09
- 11	4,27	4,53	+ 0,26	4,39	+ 0,12
- 12	4,08	4,34	+ 0,26	4,25	+ 0,17
- 13	3,89	4,08	+ 0,19	3,99	+ 0,10
- 14	3,69	3,89	+ 0,20	3,76	+ 0,07
- 15	3,48	3,73	+ 0,25	3,60	+ 0,12
- 16	3,26	3,58	+ 0,32	3,42	+ 0,16
- 17	3,03	3,34	+ 0,31	3,08	+ 0,05
- 18	2,77	3,11	+ 0,34	2,92	+ 0,15
- 19	2,50	2,87	+ 0,37	2,71	+ 0,21
- 20	2,19	2,62	+ 0,43	2,48	+ 0,29
- 21	1,83	2,23	+ 0,40	2,22	+ 0,39
- 22	1,38	1,94	+ 0,56	1,81	+ 0,43
- 23	0,70	1,53	+ 0,83	1,38	+ 0,68
$-23^\circ 27'$	0,00	1,29	+ 1,29	1,12	+ 1,12

Südwestrand des Meteorographen	+	9,59 ^h
Nordostrand »	—	9,84
Südwestrand » Niederschlagsmessers	+	10,09
Nordostrand »	—	10,27
Südwestrand » Pärtetjåkko	+	10,47
Summe		10,04

Die nachmittags örtlich mögliche Sonnenscheindauer, vom Südeinde des Meridians gerechnet, ist also bei der Sommersonnenwende 10,04 Stunden.

Bei der Deklination $+22^{\circ} 23' 6''$ tangiert die Sonne um Mitternacht eben den astronomischen Horizont, und sie würde sich also zwischen dem 4. Juni und dem 9. Juli nicht unter den Horizont gesenkt haben. Leider hat man am Observatorium von dieser Tatsache wenig Freude gehabt, denn eben im Norden erhebt sich der höchste naheliegende Berg der Palkattjåkko (2020 m) mit seinem langen, nach Osten gerichteten Vorsprung. Dies bewirkt, dass die Mitternachtssonne zwischen etwa $\frac{1}{2}11$ nachmittags und $\frac{1}{2}1$ vormittags wahre Zeit nicht sichtbar ist.

Verhältnismässig günstiger gestaltet sich die Sache im Winter, weil im Süden der terrestrische Horizont sich auf etwa einen ganzen Grad unterhalb des astronomischen senkt. Bereits bei der Deklination $-23^{\circ} 20' 35''$ tangiert die Sonne den astronomischen Horizont von unten und bleibt etwa zwischen dem 17. und dem 27. Dez. unterhalb desselben. Trotzdem bleibt sie bei klarem Wetter um Mittag sichtbar und zwar bei der Wintersonnenwende etwa $2\frac{1}{2}$ Stunden.

Was im übrigen die in der Tabelle auf S. 99 angegebenen Werte von Sz_1 und Sz_2 anbelangt, so ist zu bemerken, dass einige Gegenstände, die bei gewissen Deklinationen die Sonnenscheindauer beeinträchtigen, während der Observationszeit aufgeführt wurden. Dies ist der Fall mit der Assmannhütte und der Netzhütte, die im Herbst 1916 aufgeführt wurden. Der Holzstoss zwischen dem Meteorographen und dem Niederschlagsmesser wurde erst im Frühjahr 1918 aufgestapelt. Bei den Berechnungen, die in erster Linie für die ersten Observationsjahre gültig sein sollen, sind diese Gegenstände nicht berücksichtigt. Ferner lassen sich für mehrere Gegenstände, wie Stativbeine und den Windturm, keine Korrekturen anbringen, weil sie allzu unsicher und sehr unbedeutend sein würden.

Für den gedachten Zweck, nämlich als Vergleichswerte mit der tatsächlich beobachteten Sonnenscheindauer, dürfte die Genauigkeit der oben mit Hilfe meiner Photographien gefundenen Werte vollkommen genügen, weil die Ablesungen auf dem Registrierapparat kaum sicherer als auf 2 Zeitminuten = 30 Bogenminuten sein dürften. Bereits der bedeutende Durchmesser der Sonne ($=32'$) bedingt eine grosse Unsicherheit in den Berechnungen, die hier durchweg auf den Mittelpunkt der Sonne bezogen worden sind, denn

es ist wohl möglich, dass bei klarer Luft ein Drittel oder weniger von der Sonnenscheibe Brennpuren im Registrierapparat verursacht, während unter anderen Umständen, z. B. bei niedrigem Stande, keine merkbare Einwirkung von der ganzen Sonnenscheibe entsteht.

Tatsächlich hätte sich die Arbeit gewiss etwas vereinfachen lassen. So scheint es möglich gewesen zu sein, die Werte von Sz_1 und Sz_2 durch graphische Messung des Kurvenstückes, das zwischen dem terrestrischen und dem astronomischen Horizont eingeschlossen liegt, in der Weise zu erhalten, dass das Kurvenstück Kz_1 bzw. Kz_2 , in Zeit angegeben, von dem Wert Sz subtrahiert bzw. zu demselben addiert wurde. Für die Deklination 0° sind die auf den Photographien ausgezogenen Kurven ein Stück von dem Himmelsäquator, an dem die Zeit gerechnet werden kann. Mit den anderen Deklinationen ist dies nicht mehr der Fall, aber weil es von Interesse sein konnte zu erfahren, wie weit hin seitlich vom Äquator man die Methode ausdehnen könnte, ohne unzulässige Fehler zu erhalten, stelle ich in der Tabelle 5 auf Seite 102 einen Vergleich zwischen den hauptsächlich durch Rechnung erhaltenen Werten von $Sz_1 - Sz$, bzw. $Sz_2 - Sz$, und den graphisch erhaltenen Kz_1 , bzw. Kz_2 zusammen. Die Werte von Sz_1 , die aus mehreren Intervallen bestehen, sind nicht mitgenommen.

Wie man sieht, ist die Übereinstimmung sehr gut. Nur wenn die Kurvenstücke verhältnismässig lang und fern vom Äquator liegen, treten grössere Differenzen hervor, aber in den meisten Fällen hätte die rein graphische Methode vollkommen genügen können.

Was die in dieser Abhandlung erörterte Verfahrungsweise im übrigen anbelangt, so ist es sehr bedauerlich, dass das Resultat meiner auf den Photographien vorgenommenen Konstruktionen nicht auf dem Observatorium mit der Uhr in der Hand hat kontrolliert werden können. Aber leider ist es wegen meiner damaligen Krankheit nicht möglich gewesen, die nötigen Messungen früher auszuführen.

Die Bestimmungen der Breite und des Azimutes, die mit einem ganz guten Instrument ausgeführt wurden, können aber nicht mit wesentlichen Fehlern behaftet sein, wenn der vom Generalstab angegebene Azimut der Linie Sarektjåkko—Stuor Nijak innerhalb der für den Zweck erforderlichen Grenzen richtig ist, was als sicher anzunehmen ist. Im Verhältnis zu diesen Messungen sind die Orientierung der Kamera, ihre Drehung in verschiedenen Richtungen, die Bestimmung der Brennweite sowie die Konstruktion der Kurven und Messungen auf den Papierbildern grobe Manipulationen.

Das vorliegende Material gestattet indessen in mehreren Beziehungen eine Kontrolle. So sind z. B. die Schnittpunkte der Kurven für $23^{\circ} 27'$ und 23°

Tabelle 5. Vergleich zwischen dem berechneten und dem graphisch bestimmten Einfluss des terrestrischen Horizontes auf die Sonnenscheindauer bei verschiedenen Deklinationen.

Deklination	$St_1 - Sa$	Kt_1	$St_2 - Sa$	Kt_2
+ 17°	— 0,10h	— 0,10h	— 1,58h	— 1,54h
16	—	—	— 1,42	— 1,37
15	— 0,03	— 0,03	— 1,26	— 1,23
14	— 0,11	— 0,11	— 1,11	— 1,07
13	— 0,03	— 0,03	— 1,00	— 0,96
12	+ 0,04	+ 0,04	— 0,90	— 0,88
11	— 0,02	— 0,02	— 0,77	— 0,76
10	+ 0,05	+ 0,05	— 0,64	— 0,63
9	+ 0,17	+ 0,16	— 0,52	— 0,48
8	+ 0,19	+ 0,18	— 0,41	— 0,40
7	+ 0,20	+ 0,19	— 0,32	— 0,31
6	+ 0,24	+ 0,24	— 0,22	— 0,21
5	+ 0,19	+ 0,18	— 0,14	— 0,14
4	+ 0,25	+ 0,23	— 0,05	— 0,04
3	+ 0,22	+ 0,22	+ 0,05	+ 0,05
2	+ 0,24	+ 0,23	+ 0,03	+ 0,03
+ 1	+ 0,25	+ 0,23	+ 0,09	+ 0,09
0	+ 0,26	+ 0,24	+ 0,12	+ 0,12
— 1	+ 0,24	+ 0,22	—	—
— 2	+ 0,17	+ 0,22	—	—
— 3	+ 0,23	+ 0,22	— 0,38	— 0,36
— 4	+ 0,20	+ 0,21	— 0,26	— 0,26
— 5	+ 0,22	+ 0,22	— 0,11	— 0,11
— 6	+ 0,08	+ 0,08	+ 0,07	+ 0,07
— 7	+ 0,09	+ 0,08	+ 0,16	—
— 8	+ 0,10	+ 0,10	+ 0,15	+ 0,15
— 9	+ 0,20	+ 0,20	+ 0,17	+ 0,16
— 10	+ 0,19	+ 0,19	+ 0,09	+ 0,09
— 11	+ 0,26	+ 0,26	+ 0,12	+ 0,12
— 12	+ 0,26	+ 0,25	+ 0,17	+ 0,16
— 13	+ 0,19	+ 0,19	+ 0,10	+ 0,10
— 14	+ 0,20	+ 0,19	+ 0,07	+ 0,07
— 15	+ 0,25	+ 0,24	+ 0,12	+ 0,12
— 16	+ 0,32	+ 0,31	+ 0,16	+ 0,15
— 17	+ 0,31	+ 0,29	+ 0,05	+ 0,05
— 18	+ 0,34	+ 0,32	+ 0,15	+ 0,14
— 19	+ 0,37	+ 0,35	+ 0,21	—
— 20	+ 0,43	+ 0,40	+ 0,29	—
— 21	+ 0,40	+ 0,39	+ 0,39	—
— 22	+ 0,56	+ 0,47	+ 0,43	—

Deklination mit dem Südwestabhang des Palkattjåkko auf den beiden Photographien 1774 und 1775 vorhanden. Die gefundenen Werte waren:

Deklination	Stundenwinkel der Schnittpunkte	
	Phot. 1774	Phot. 1775
+ 23° 27'	10,48 ^h	10,47 ^h
+ 23°	10,40	10,40

Die Übereinstimmung ist also eine nahezu vollkommene. Ferner habe ich versucht, mit den von mir auf Zelluloid geritzten Winkelskalen die Höhenwinkel von Sarektjåkko, Äpartjåkko und Kätoktjåkko auf den Photographien zu bestimmen. Ich fand folgende, die mit den durch das Universalinstrument erhaltenen verglichen werden.

	Photogrammetrische Höhenwinkel	Genau gemessene Höhenwinkel
Sarektjåkko	20'	20,74'
Äpartjåkko.....	7	7,25
Kätoktjåkko	17	15,14

Im letzteren Falle war der betreffende Punkt auf der Photographie nicht leicht zu identifizieren, was vielleicht die Abweichung erklärt. Im übrigen stimmen die Höhenwinkel befriedigend. Dagegen ist es wahrscheinlich, dass die entfernten und tief liegenden Teile des Horizontes, die etwa einen ganzen Grad unterhalb der Horizontalebene liegen, nicht scharf genug auf den Photographien hervortreten, um genaue Messungen zu gestatten. In diesen Fällen sind gewiss auch die Registrierungen sehr schwach und undeutlich, sie fehlen aber doch nicht ganz.

Bei der Kontrollrechnung der meisten Tabellen dieser Abhandlung ist mir Fähnrich G. ÅKERLUND behilflich gewesen.