

# Die Gletscher des Rofentales.

Von **Hans Heß** in Nürnberg.

## I. Vernagtferner.

Die letzten Mitteilungen über die Ergebnisse der Beobachtungen am Vernagtferner hat Ad. Blümcke im Bd. V dieser Zeitschrift S. 230f. gemacht. Sie erstrecken sich bis zum Jahre 1910. Von dem später angefallenen Beobachtungsmaterial konnte Blümcke noch das von 1911 und 1912 und einen Teil von 1913 auswerten.

Hier folgt nun eine Übersicht der Messungsergebnisse von 1911 bis 1916. Dabei ist zu bemerken, daß in den Kriegsjahren 1915 und 1916 die Beobachtungen z. T. sehr reduziert werden mußten, da Mangel an Hilfskräften und Schwierigkeiten der Verpflegung hindernd gewirkt haben. Insbesondere mußte 1915 und 1916 auf Begehung des unteren Firnggebietes zum Zweck der Einmessung der Firnstangen verzichtet werden. In den Jahren 1914 und 1915 hat außer dem seit einer Reihe von Jahren als Träger beteiligten H. Joh. Riml aus Oberried bei Lengenfeld mein Sohn Gustav bei den Vermessungsarbeiten mitgewirkt. 1916 mußte ich auf die Hilfe dieser beiden verzichten, da Riml im Winter verunglückt, mein Sohn zum Heer eingerückt war. Dafür fand ich in Herrn Eisenbahnsekretär Hs. Nagel aus Nürnberg einen Begleiter, der mich mit großem Eifer unterstützte; durch besonders ungünstige Umstände konnte er leider nur den kleineren Teil seines Diensturlobes den Vermessungsarbeiten widmen; deshalb sind diese auch 1916 nur auf das Wichtigste beschränkt worden.

**Bewegung.** Die Punkte der im Jahre 1908 im Steinlinienprofil gelegten roten Linie hatten folgende Koordinaten (vgl. Fig 1, wo das Koordinatennetz aufgetragen ist):

Tab. I. — Vernagtferner: Rote Linie von 1908.

		x	y	z		x	y	z			
Stein 1	{	1910	5694,0	7459,3	2809,4	Stein 2	{	1910	5661,3	7450,6	2797,8
		1911	5962,8	7460,5	2798,4			1911	5659,8	7453,2	2796,2
		1912	5692,4	7461,8	2793,6			1912	—	—	—
		1913	5690,7	7462,3	2793,4			1913	5657,0	7456,9	2791,4

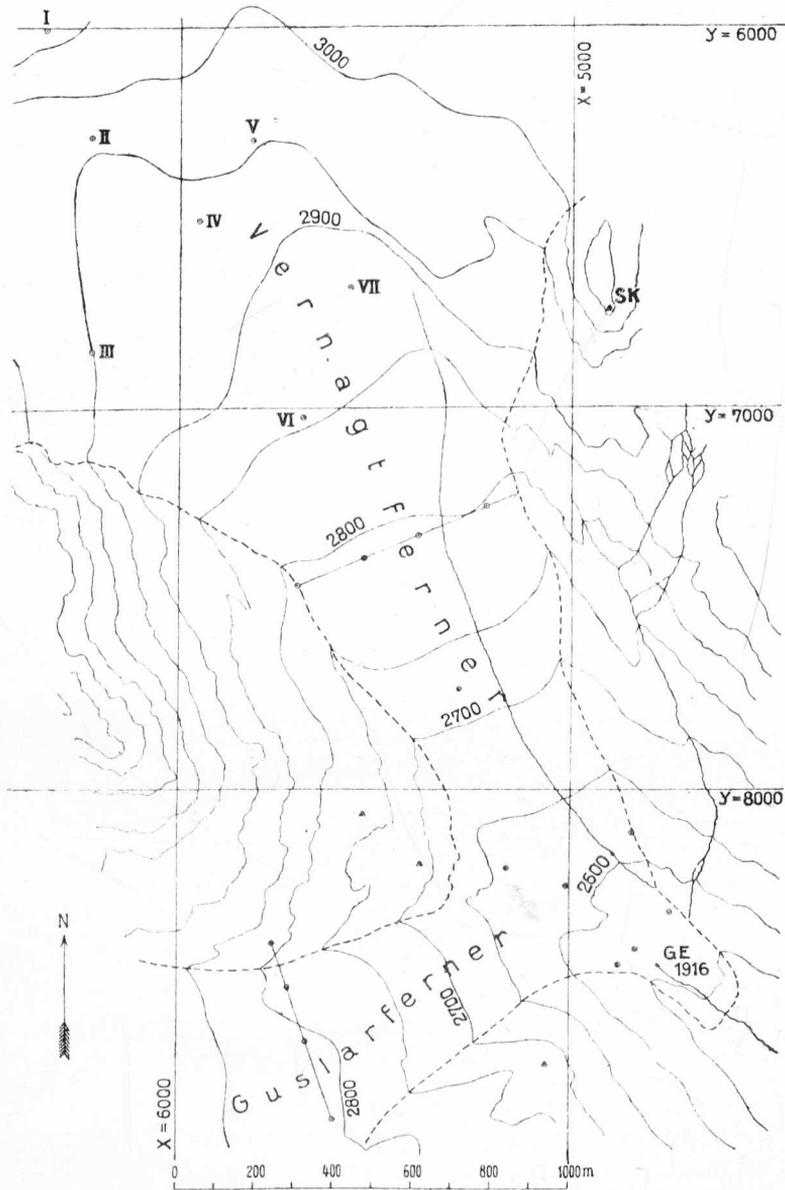


Fig 1. Die Lage der Bohrlöcher, Firnstangen und Steinprofile auf dem Vernagt- und dem Guslarferner. Maßstab: 1:20000.  
 Die Umrisse des Gletschers (gestrichelt) und die Isohypsen nach der Aufnahme von S. Finsterwalder im Jahre 1889. — Die Bohrlöcher sind durch kleine Kreise mit Punkt, die Firnstangen durch ebensolche mit einer römischen Zahl (I—VII) gekennzeichnet. SK = Schwarzkögele; GE 1916 = Gletscherende 1916, durch den Ursprung des Gletscherbaches markiert.

		x	y	z		x	y	z		
Stein 3	}	1910	5617,4	7436,6	2797,4	Stein 8 Bohrloch	1910	5389,7	7358,6	2794,0
		1911	5616,2	7441,0	2795,4		1911	5387,0	7369,7	2792,6
		1912	5613,7	7446,6	2791,3		1912	5383,6	7380,4	2788,4
		1913	5612,4	7451,2	2787,9		1913	5380,0	7389,7	2789,8
Stein 4	}	1910	5567,2	7423,0	2796,9	Stein 9	1910	5349,4	7343,1	2798,4
		1911	5565,3	7430,5	2795,3		1911	5346,6	7354,8	2795,3
		1912	5561,4	7438,2	2790,9		1912	—	—	—
		1913	5560,0	7444,7	2787,7		1913	5341,1	7370,2	2788,3
Stein 5 Bohrloch	}	1910	5523,3	7409,3	2795,6	Stein 10	1910	5309,9	7324,7	2802,6
		1911	5520,4	7417,9	2793,0		1911	5306,6	7335,1	2799,3
		1912	5518,2	7425,7	2789,2		1912	5305,8	7345,2	2794,9
		1913	5516,1	7432,3	2791,1		1913	5299,3	7353,5	2727,9
Stein 6	}	1910	5481,0	7394,1	2795,6	Stein 11 verloren.				
		1911	5477,5	7404,1	2793,0					
		1912	5474,9	7413,5	2788,8					
		1913	5470,1	7422,3	2790,0					
Stein 7	}	1910	5433,0	7376,0	2796,3	Stein 12 Bohrloch	1910	5216,2	7281,2	2800,6
		1911	5431,2	7388,3	2793,6		1911	5212,5	7288,3	2797,8
		1912	5428,1	7398,8	2789,4		1912	5208,3	7296,7	2792,6
		1913	5427,1	7409,3	2788,1					

Im Jahre 1913 wurde im Steinlinienprofil eine neue Steinreihe gelegt, für deren blaue Nummernsteine die folgenden Positionen ermittelt wurden.

Tab. 2. — Oberste blaue Linie von 1913.

		x	y	z	v <sup>13/16</sup>	
Punkt 1	}	1913	5689,9	7455,1	2791,5	13,19 m
		1916	5698,6	7460,4	2789,6	4,40 m/Jahr
Punkt 2	}	1913	5668,2	7446,1	2785,7	—
		1914	5664,4	7445,8	2790,0	13,94 m
		1916	5669,7	7452,3	2787,2	4,65 m/Jahr
Punkt 3	}	1913	5636,2	7432,7	2791,7	13,41 m
		1916	5636,7	7444,1	2786,2	4,47 m/Jahr
Punkt 4	}	1913	5605,4	7419,8	2792,4	17,53 m
		1916	5604,3	7437,3	2786,6	5,84 m/Jahr
Punkt 5	}	1913	5576,8	7407,8	2793,4	—
		1915	5570,6	7420,5	2788,4	21,98 m
		1916	5569,4	7428,5	2787,0	7,33 m/Jahr
Punkt 6	}	1913	5553,1	7397,9	2794,1	—
		1914	5546,3	7401,0	2790,8	24,34 m
		1916	5541,1	7418,4	2787,0	8,11 m/Jahr
Punkt 7	}	1913	5518,8	7383,5	2792,1	29,73 m
		1916	5504,2	7409,4	2782,9	9,91 m/Jahr
Punkt 8	}	1913	5485,8	7369,7	2793,5	—
		1914	5485,4	7378,9	2791,2	32,52 m
		1916	5470,9	7398,6	2782,9	10,84 m/Jahr

		x	y	z	v <sup>13/16</sup>
Punkt 9	{ 1913	5457,5	7357,9	2795,4	34,18 m
	{ 1916	5440,1	7387,2	2785,5	11,40 m/Jahr
Punkt 10	{ 1913	5407,2	7345,7	2791,1	—
Punkt 11	{ 1913	5380,1	7335,7	2791,5	24,65 m
	{ 1916	5373,7	7359,5	2784,3	8,22 m/Jahr
Punkt 12	{ 1913	5348,7	7322,4	2794,6	24,77 m
	{ 1916	5342,2	7346,3	2786,5	8,26 m/Jahr
Punkt 13	{ 1913	5316,1	7309,9	2797,8	23,30 m
	{ 1916	5308,4	7331,6	2789,7	7,77 m/Jahr
Punkt 14	{ 1913	5282,7	7294,2	2800,6	24,89 m
	{ 1916	5270,5	7315,9	2792,2	8,30 m/Jahr
Punkt 15	{ 1913	5253,5	7272,6	2802,3	—
	{ 1914	5253,0	7281,8	2802,4	31,2 m
	{ 1915	5245,5	7293,6	2797,0	10,4 m/Jahr
	{ 1916	5240,1	7300,6	2791,5	—

Aus diesen Lageveränderungen ergeben sich für den Zeitraum 1910—16 folgende Geschwindigkeiten:

1910—11	durchschnittlich	8,1 m.
1911—12	„	8,8 „
1912—13	„	7,6 „
1913—16	„	7,8 „

Die Einmessung der Bohrlöcher auf der blauen Linie lieferte für 1914 zwar einzelne Angaben der Geschwindigkeit; aber nicht für die ganze Linie, deren Nummersteine zur Zeit der Messung von Schnee bedeckt waren, konnten die Positionen bestimmt werden. 1915 waren nur die Stangen bei 5 und bei 15 zu finden. Erst 1916 war wieder die vollständige Einmessung möglich. In den einzelnen Jahren von 1913—16 ist ja die Geschwindigkeitsänderung nicht ganz gleichmäßig, aber die Unterschiede sind doch nicht von Bedeutung.

Die in der folgenden Figur 2 verzeichneten Maximalgeschwindigkeiten geben den Verlauf der Geschwindigkeit des Eises im Steinlinienprofil für den ganzen Beobachtungszeitraum 1889—1916 und damit ein recht deutliches Bild über den Gesamtverlauf des Vorstoßes von 1898—1902. Man bemerkt, wie stetig das Anwachsen der Geschwindigkeit erfolgte, während deren Abnahme anfänglich ganz rapid, späterhin ziemlich ungleichförmig war.

Über die Geschwindigkeitsänderungen an anderen Stellen der Gletscherzunge und an mehreren Punkten des unteren Firngebietes geben die folgenden Tabellen 3 und 4 Aufschluß. Es handelt sich dabei

um „Bohrlöcher“, welche außer der möglichst genauen Geschwindigkeitsbestimmung noch der Ermittlung des Abtrages bzw. des Auftrages gedient haben. Durch die Kriegsverhältnisse erlitt, wie auch an den übrigen Gletschern des Beobachtungsgebietes, von 1914 an die Anlage

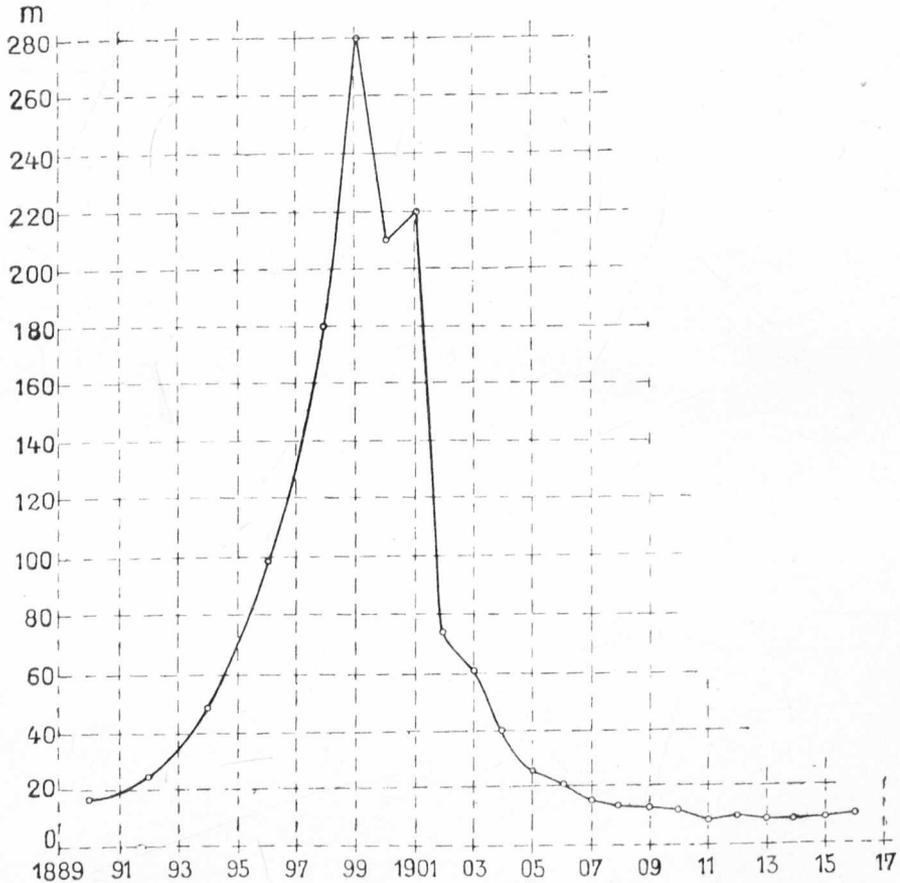


Fig. 2. Geschwindigkeitsänderung am Vernagtferner im Profil der Steinlinie. Die Geschwindigkeit ist in m pro Jahr ausgedrückt.

dieser Bohrlöcher eine Unterbrechung. Dies wird zwar für die Beurteilung der Bewegungsverhältnisse des Eises im Laufe der nächsten Zeit bei dem jetzt sehr ruhigen Gletscher keine Nachteile bringen; aber die Störung der Beobachtungsreihe über Abschmelzung auf der Zunge und Akkumulation im unteren Firnbecken ist recht bedauerlich.

Tab. 3. — Vernagtferner: Grüne Linie 1910—1914.

	x	y	z	v <sup>10/14</sup>	Ablation 1909 bis 1914		
Bohrloch zw. 2 & 3	1910	5166,7	8211,3	2648,4	—	336 cm	—
	1911	5164,8	8215,1	2644,7	13,46 m	466 "	—
	1912	5162,9	8218,6	2640,1	3,36 m/Jahr	272 "	3,02 m/Jahr
	1913	5161,3	8221,2	2637,8	—	280 "	—
	1914	5160,6	8223,3	2636,7	—	157 "	—
					1511 cm		
Bohrloch 4	1911	5006,6	8260,5	2624,5	—	376 cm	—
	1912	5006,9	8263,2	2619,4	10,68 m	563 "	—
	1913	5001,7	8267,0	2615,9	3,56 m/Jahr	296 "	3,15 m/Jahr
	1914	5000,5	8269,3	2615,0	—	289 "	—
						150 "	—
					1574 cm		
Bohrloch zw. 5 & 6	1910	4839,6	8122,1	2636,3	—	356 cm	—
	1911	4839,4	8123,4	2632,3	4,83 m	519 "	—
	1912	4836,4	8124,5	2626,4	1,21 m/Jahr	275 "	3,02 m/Jahr
	1913	4835,7	8124,7	2624,4	—	231 "	—
	1914	4835,6	8124,8	2622,7	—	129 "	—
					1510 cm		
<b>Rote Linie unten 1910—1914.</b>							
Bohrloch links	1910	4749,1	8330,6	2586,3	—	458 cm	—
	1911	4747,1	8331,8	2577,6	—	472 "	—
	1912 <sup>1)</sup>	4746,9	8332,2	2570,1	22,9 m	622 "	4,27 m/Jahr
	1913	4753,8	8339,3	2565,8	5,72 m/Jahr	395 "	—
	1914	4752,6	8343,1	2565,8	—	429 "	—
					188 "	—	
					2564 cm		
Bohrloch Mitte	1911	4833,5	8428,5	2575,8	—	251 cm	—
	1912	4835,1	8430,6	2569,1	11,31 m	409 "	—
	1913	4832,3	8432,0	2566,3	3,77 m/Jahr	387 "	3,24 m/Jahr
	1914	4829,3	8439,0	2559,0	—	248 "	—
						1295 cm	
Bohrloch rechts	1911	4874,6	8464,0	2573,8	—	470 cm	—
	1912	4876,4	8464,4	2568,3	3,72 m	513 "	—
	1913	4873,5	8465,3	2564,4	1,24 m/Jahr	753 "	4,30 m/Jahr
	1914	4877,6	8466,2	2558,0	—	286 "	—
						259 "	—
					297 "	—	
					2578 cm		
Einzel-Stange unter der obersten Linie	1911	5290,3	7727,6	2736,5	—	274 cm	—
	1912	5285,3	7738,3	2731,1	33,90 m	—	1,76 m/Jahr
	1913	5282,3	7746,6	2727,7	11,30 m/Jahr	155 "	—
	1914	5277,5	7758,8	2722,9	—	100 "	—
						529 cm	

1) 1912 wurde das Bohrloch neu angelegt und gegen das alte etwas verschoben.

Tab. 4. — Vernagtferner: Stangen im Firn<sup>1)</sup>.

		x	y	z	v <sup>11/14</sup>	Auftrag 12. 9. 11—7. 9. 13
I. <sup>2)</sup> :	1911	6338,1	6001,6	3032,2	—	— 59 cm
II.	1911	6220,0	6272,2	2945,3	—	—
	1912	6222,4	6276,4	2945,3	29,00 m	+ 131 cm
	1914	6227,0	6299,0	2946,5	9,67 m/Jahr	—
III.	1911	6216,2	6836,0	2950,3	—	—
	1912	6202,9	6834,5	2946,5	21,10 m	—
	1913	6197,9	6837,2	2945,4	7,03 m/Jahr	+ 38 cm
	1914	6196,5	6841,8	2948,3	—	—
IV. <sup>2)</sup>	1911	5941,3	6516,2	2908,5	—	—
	1912	5944,4	6526,5	2907,1	34,10 m	—
	1913	5937,0	6531,0	2908,3	11,67 m/Jahr	+ 22 cm
	1914	[5932,1	6548,4]	2910,2	—	—
V. <sup>2)</sup>	1911	5816,1	6298,4	2955,1	32,58 m	—
	1912	5814,4	6315,8	—	16,29 m/Jahr	—
	1913	5812,7	6330,8	2947,7	—	—
VI.	1911	5681,0	6998,2	2857,8	—	—
	1912	5676,8	7007,3	2856,5	32,26 m	—
	1913	5671,2	7014,0	2855,0	10,75 m/Jahr	— 58 cm
	1914	5674,5	7029,8	2859,7	—	—
VII.	1911	5569,8	6659,2	2871,7	—	—
	1912	5567,9	6668,4	2870,5	31,10 m	—
	1913	5567,5	6676,7	2870,5	10,67 m/Jahr	+ 9 cm
	1914	5566,7	6688,5	2872,2	—	—

Die jährlichen Verschiebungen der Stangen in den Bohrlöchern auf der Gletscherzunge sind nicht sehr regelmäßig. Ein Teil der Unregelmäßigkeit ist jedenfalls auf die Art der Punktbestimmung zu setzen. Es wird meist von einem pothenotisch sehr gut ermittelten Punkt aus die Lage der benachbarten Bohrlöcher tachymetrisch festgestellt. Dabei können in der Entfernungsbestimmung Ablesefehler um 1 m sehr leicht vorkommen; dieser fällt aber bei den sehr kleinen Verschiebungen stark ins Gewicht. Auffallend ist die geringe Bewegung des Bohrloches zwischen den Steinen 5 und 6 der grünen Linie. Gerade dieses Bohrloch ist aber in den letzten 3 Jahren 1912, 1913 und 1914 pothenotisch mit 4 bzw. 5 Richtungen fast fehlerfrei bestimmt. Hier ist also 1912—14 das Eis fast bewegungslos gewesen, was mit der geringen Entfernung des Loches vom Gletscherrand und -ende übereinstimmt.

<sup>1)</sup> Die Lage der Firnstangen, der Steinlinie und der Bohrlöcher ist auf der Kartenskizze Fig. 1 eingetragen.

<sup>2)</sup> Die Positionen von 1914 sind durch nicht aufgeklärte Ablesefehler oder andere Irrtümer unsicher; erst die nächste Einmessung kann die gewünschte Richtigstellung bringen.

Die Firnsignale ergeben auch für das untere Firngebiet nur kleine jährliche Geschwindigkeiten; die genauere Gegenüberstellung der Verschiebungen für die einzelnen Jahre läßt zwar eine Steigerung von 1913 auf 1914 gegenüber den Vorjahren erkennen; diese ist aber nicht so groß, daß aus ihr auf eine wesentliche Änderung der Gletscherbewegung im Laufe der nächsten Zeit geschlossen werden könnte. Es sei jedoch darauf hingewiesen, daß ein Zuwachs von ungefähr gleicher Größe wie ihn die Stangen VI und VII zeigen, auch bei Stange 15 der blauen Steinlinie von 1913 für das Jahr 1915/16 auftrat und daß hier die Zerklüftung stärker war als in den vorausgegangenen Jahren.

**Einsenkung.** Nur für das Steinlinienprofil läßt sich die Einsenkung der Gletscheroberfläche auf Grund der Messungen genauer angeben. Sie betrug:

1904/08 2,2 cm/Jahr, 1908/13 2,9 cm/Jahr, 1913/16 2,0 cm/Jahr;  
im Mittel von 1904—16 war sie 2,4 cm/Jahr.

Die Eisoberfläche lag 1916 hier auf der Strecke bis zum Stein 15 um durchschnittlich 1,7 m niedriger als bei der ersten Einmessung vom Jahre 1889.

Bei der Einzelstange unter der Steinlinie ist die Höhe der Eisoberfläche 1914 fast genau die von 1889; bei den Stangen der „grünen Linie“ und der „unteren roten Linie“ ist sie etwas geringer als 1889. Die Lage des Gletscherendes ist 1916 um fast genau 200 m höher als 1889; es liegt bei ungefähr  $x = 4770$ ,  $y = 8460$ . Die Längserstreckung des Gletschers ist 1916 fast ebenso groß, wie bei dem 1895 vermessenen Stand; es kann also bald der Minimalstand von 1897 erreicht sein, um so mehr, als noch keine Massenzunahme in den oberen Teilen der Zunge vorhanden ist, während 1895 bereits eine solche gegenüber dem Stand von 1889 zu erkennen war.

**Ablation und Akkumulation.** In den Tabellen 3 und 4 S. 149f. sind die Zahlen der Ablation und des Auftrages für einzelne Jahre oder für mehrere Jahre angegeben. Man bemerkt, daß für eine und dieselbe Höhenlage die Beträge der Abschmelzung durchaus nicht gleich groß sind; aber ein so regelmäßiges Bild, wie es seinerzeit die Ablationsmessungen auf der Hintereisfernerzunge lieferten, wonach die Abschmelzung am Gletscherrand durchweg größer war, als in der Mitte, ergibt sich hier nicht. Es haben übrigens auch die späteren Messungen auf dem Hintereisferner das für 1895/96 erhaltene Ergebnis weniger scharf heraustreten lassen.

Bildet man für die in annähernd gleicher Höhe liegenden Stangen auf dem Vernagtferner die Mittelwerte des jährlichen Abtrages, so erhält man für diesen Gletscher

bei ca.	2560 m	Höhe	—	382	cm/Jahr,
„	„	2620	„	„	— 306 „ „
„	„	2730	„	„	— 176 „ „
„	„	2780	„	„	— 230 „ „
„	„	2850	„	„	— 29 „ „
„	„	2940	„	„	+ 32 „ „

Für den Zeitraum 1911—14 ergeben diese Zahlen die Lage der Firngrenze auf dem Gletscher bei etwa 2890 m Höhe.

**Besondere Beobachtungen.** Im Jahre 1910 wurde bei der Firnstange II am Fuß einer Stelle stärkerer Neigung der Firnoberfläche das Auftreten aperen Felses beobachtet. Die eisfreie Fläche ist an dieser Stelle fast von unveränderter Größe geblieben. Ein zweites Felsenfenster trat 1912 neu auf am Fuße des großen Eisbruches beim Schwarzkögele. Fig. 3 gibt eine Abbildung der Stelle, wie sie 1916 aussah. Die freigewordene Felspartie ist seit 1912 nach oben hin größer geworden. Das Eis steht gewölbeartig über den Fels nach vorn; die von oben abstürzenden Eistrümmer bilden einen langgestreckten regenerierten Gletscher auf der Oberfläche der Vernagtzung. Über den geschliffenen Fels stürzt ein kleiner Schmelzwasserbach herab; es ist das wohl derselbe Wasserlauf, der als Oberflächenbach in Finsterwalders Vernagtkarte von 1889 von dem Eisbruch an bis zum Gletscherende eingezeichnet ist; er darf vielleicht als die wesentliche Ursache der Freilegung des Felses gerade an dieser Stelle angesehen werden; um ihn mußte sich unter dem Eis ein Kanal bilden, der allmählich vergrößert wurde und dessen Wölbung schließlich der Abschmelzung und den Schlägen der von oben kommenden Eisbrocken zum Opfer fiel. Das Auftreten dieser beiden Felsenfenster zeigt übrigens recht deutlich, daß der Nachschub von Eis aus der weiten Mulde zwischen Hochvernagtspitze und Brochkogl in letzter Zeit wesentlich geringer ist, als zu Beginn unserer Beobachtungsperiode.

Beim Felsenfenster am großen Eisbruch hat Blümcke eingehendere Studien gemacht. Das Ergebnis seiner Überlegungen findet sich in dem folgenden Abschnitt, der nach seiner Niederschrift hier abgedruckt ist.

„Eine sehr interessante Gelegenheit zur Beobachtung der Einwirkung des Gletschers auf den Untergrund bot sich dar an dem in der Nähe des Schwarzkögele gelegenen Eisbruche. Hier war in Folge

des Absturzes mächtiger Eismassen ein größeres Stück des ziemlich senkrecht verlaufenden Untergrundes zutage getreten. An der sichtbar gewordenen Felswand konnten deutlich die Spuren der splitternden und schleifenden Erosion gesehen werden. Man kann wohl annehmen, daß sämtliche Erscheinungen durch Druckwirkungen im Eise entstanden sind, da die fraglichen Felspartien in den letzten 24 Jahren

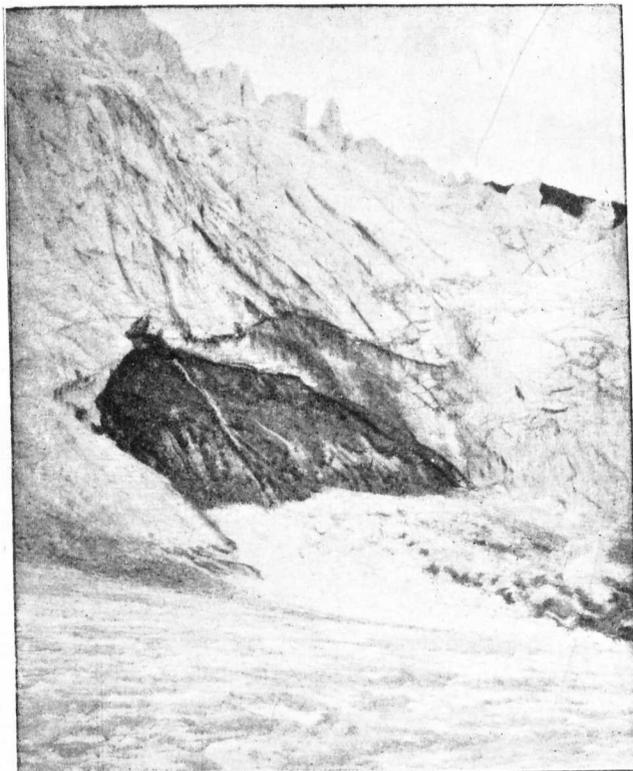


Fig. 3. Felsfenster am Fuß des großen Einbruches.

niemals sichtbar gewesen sind und eine Einwirkung äußerer Temperaturschwankungen kaum bis zu ihnen gelangen konnte, zum mindesten nicht in dem Maße, daß dadurch eine so starke Frostwirkung erklärt werden könnte.

Besonders in die Augen springend war dabei das Aussehen der dem Boden unmittelbar benachbarten Eisschichten; sie waren nämlich infolge einer starken Durchsetzung mit Verwitterungsprodukten des Bodenmaterials schwarz gefärbt; zu allermeist handelte es sich dabei

um staubförmige Teile, denen aber auch eine Anzahl größerer Steine beigesellt waren. Dieses Material war jedenfalls durch den Druck des darauf lastenden Eises eingeknetet worden und hatte dann an der Bewegung des Gletschereises teilgenommen. Bekanntlich sind solche Schmutzschichten nicht selten, und die Möglichkeit, daß derartige Schichten entstehen und die Bewegung des Eises mitmachen, ist bereits durch Versuch nachgewiesen worden. Daß in ihnen durch die bei der Bewegung auftretenden Druckschwankungen Verwitterungserscheinungen auftreten können, dürfte kaum von einem Sachverständigen angezweifelt werden; jedoch ist ein quantitativer Nachweis an Ort und Stelle nicht möglich, da man das Material nicht vor und nach einer Reihe von Druckwirkungen der Beobachtung zugänglich machen kann.

Daß aber Verwitterungserscheinungen an im Eise selbst eingeschlossenen Steinen auftreten können, gewinnt einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit, wenn es gelingt, vereinzelte Steine mit Verwitterungsprodukten nachzuweisen. Derartige Exemplare konnten nun mehrfach aufgefunden werden.

Zum besseren Verständnis sei kurz erwähnt, wie sich ein Versuchsexemplar verhält, welches der Frostwirkung durch Temperaturerniedrigung (ohne Druckschwankungen) ausgesetzt wird.

Betrachtet man einen Steinwürfel, welcher mit Wasser getränkt einer einmaligen Frostwirkung ausgesetzt wurde, so wird man (wenn es sich nicht um ein sehr leicht verwitterndes Material handelt) auf den ersten Blick gar nichts von einer Veränderung wahrnehmen; setzt man ihn aber auf eine blanke Unterlage oder bringt man ihn in ein Gefäß mit Wasser, so sieht man nach einiger Zeit kleine staubförmige Teilchen sich längs der Grundkanten des Stückes ansammeln, was bei einem nicht dem Froste ausgesetzten keineswegs der Fall ist.

Entfernt man etwa noch am Material anheftende Stäubchen, so ist an ihm eine Einwirkung immer noch nicht zu erkennen. Erst nach mehrfacher Wiederholung des Gefriervorganges nimmt man sichtbare Zeichen der Zersplitterung wahr, und zwar äußern sich diese als unregelmäßige Risse, welche in der Nähe der Kanten verlaufen. Je nach der Widerstandsfähigkeit des Gesteins zeigt sich die sichtbare Zerstörung nach einer manchmal sehr verschiedenen Anzahl von einzelnen Gefrierungen. Das Auftreten der staubförmigen Verwitterung läßt sich in der Natur nicht leicht beobachten, da die kleinen Teilchen an sich nicht leicht wahrzunehmen sind, dann aber auch durch Regen und Wind leicht fortgetragen werden. Dagegen sind die sichtbaren

Verwitterungserscheinungen bei einiger Aufmerksamkeit und Übung gut zu beobachten. Dabei verhalten sich einzelne Steine oft sehr verschieden; manchmal zerfällt ein größeres Stück in wenige kleinere, manchmal in eine außerordentlich große Anzahl von sehr kleinen Stückchen, die dann weiterhin in kurzer Zeit sich gänzlich in Staub und Sand auflösen. Offenbar spielt dabei die nicht gleichförmige innere Beschaffenheit des Materials eine große Rolle, ferner die nicht gleichartige Durchtränkung mit Wasser. Im Gebirge kann man natürlich solche Erscheinungen am leichtesten und häufigsten wahrnehmen; namentlich ist es hier möglich, Jahre hindurch das Schicksal eines Steines zu beobachten, wenn er sich an einer wenig begangenen Stelle befindet.

Aber auch in der Ebene findet sich nicht selten eine günstige Gelegenheit zu derartigen Beobachtungen; man braucht nur bei Wetterlagen, in welchen die Temperatur um den Gefrierpunkt schwankt, die an den Landstraßen befindlichen, zur Beschotterung dienenden Steinhäufen aufmerksam zu betrachten. Entgehen auch dem ungeübten Auge anfänglich die feinen staubförmigen Teilchen, so erkennt man sie nach einiger Schulung doch; namentlich findet man sie öfters in Eisschichten, die die Steine manchmal umgeben, besonders wenn ihre Befeuchtung durch das Auftauen leichter Schneedecken verursacht wurde. Das Vorkommen von total zersplitterten Steinen findet gar nicht selten statt.

Handelt es sich nun um die Verwitterung eines Steines im Eise, so sind die Feststellungen der Frostwirkungen, die durch solche Änderungen des Aggregatzustandes des in den Poren eingeschlossenen Wassers entstehen, welche durch Druckschwankungen verursacht werden, nicht wohl zu bewerkstelligen. Der Grund liegt natürlich darin, daß man im allgemeinen solche Steine erst beobachten kann, wenn sie zutage treten; und dann läßt sich der Einwand nicht abweisen, daß sie auch unter dem Einfluß von Temperaturschwankungen verwittert sein können. Wenn ein Gletscher zurückgeht, so geschieht dies doch nicht in der Weise, daß plötzlich der Untergrund frei wird, sondern es vergeht einige Zeit dazu. Und während dieser Zeit können sich Temperaturschwankungen sehr wohl eine nicht unbeträchtliche Strecke weit unter die Eisschichte erstrecken, besonders deshalb, weil der Gletscher nicht absolut dicht auf dem Boden aufliegt, sondern vielfach sehr merklich von ihm absteht. Ist eine aus dem Gletscher herausragende Felsinsel lange Jahre, wenn auch nur zum Teil sichtbar gewesen, so gilt das gleiche.

### Ausschmelzende Steine mit sichtbaren Anzeichen der Frostwirkung.

Sehr häufig sieht man auch Steine, besonders an Innenmoränen, aus dem Eise ausapern, welche mit Verwitterungsstaub manchmal mehrere Millimeter hoch bedeckt sind. Kein Sachverständiger wird hier in Abrede stellen, daß es sich um Verwitterungsstaub handelt; aber eine Zeitlang konnten auch durch die Eisdecke hindurch, ehe sie ganz verschwand, die äußeren Temperaturschwankungen gelangen, und es dürfte kaum möglich sein, genau zu entscheiden, wieviel der Verwitterung auf Kosten der Druckschwankungen im Eise zu setzen ist, wieviel von Temperaturänderungen her stammt.

Letztere ist natürlich nur dann nicht vorhanden, wenn das im Eise eingeschlossene Material plötzlich aus einer hinreichenden Tiefe zutage gefördert wird, und das ist der Fall gewesen, als die mehrere Meter dicken Eismassen an der oben erwähnten Stelle abstürzten und dadurch der Untergrund freigelegt wurde. In den heruntergestürzten Eisblöcken fanden sich mehrere Dezimeter unter der Oberfläche Stücke, welche von sehr feinem Verwitterungsstaub allseitig umgeben waren. Die Steine waren so eingelagert, daß sie nach außen hin gegen Temperaturschwankungen durch eine Eisschicht von mindestens 2 Meter Dicke zur Zeit des Absturzes geschützt waren; außerdem war der Absturz so kurze Zeit vor der Untersuchung passiert, daß eine andere Verwitterung als durch Druckschwankungen kaum vorgekommen sein dürfte. An einem der Stücke waren sichtbare Spuren der Verwitterung bemerkbar. Man könnte nun den Einwand erheben, daß der Verwitterungsstaub nicht erst im Laufe der Zeit entstanden, sondern daß er gleichzeitig mit dem Stein in das Eis eingepreßt worden sei; aber es ist doch schwer denkbar, wie er dann den letztern allseitig umgeben könnte.“

Soweit die Ausführungen von Blümcke.

## II. Guslarferner.

Auch der Guslarferner ist in stetigem Rückgang. Das zeigen die Ergebnisse der Geschwindigkeitsmessungen, welche in den folgenden Tabellen 5 und 6 enthalten sind (Lage der Steinlinien siehe nach den Koordinaten auf Fig. 1 S. 145).

Tab. 5. — **Guslarferner: Blaue Linie von 1910.**

Stein	x	y	z	v	Stein	x	y	z	v		
1	1910	5706,7	8494,0	2773,4	3,6	2	1910	5699,9	8516,3	2777,9	7,6
	1911	5705,3	8490,7	2773,3	3,4		1911	5697,6	8509,1	2778,4	4,4
	1912	5702,3	8489,0	2708,6	—		1912	5693,6	8507,3	2774,5	—

Stein	x	y	z	v	Stein	x	y	z	v		
3	1910	5692,9	8539,5	2782,3	8,2	9	1910	5638,4	8713,7	2803,2	16,6
	1911	5686,6	8534,3	2782,5	9,2		1911	5627,5	8701,2	2802,0	16,5
	1912	5678,9	8529,2	2778,5	—		1912	5611,0	8699,6	2797,6	—
4	1910	5683,7	8570,1	2785,7	11,0	10	1910	5632,7	8742,2	2805,6	19,1
	1911	5674,7	8563,7	2785,1	12,3		1911	5622,5	8726,1	2803,3	18,7
	1912	5664,8	8556,4	2782,1	—		1912	5603,9	8728,4	2798,2	—
5	1910	5675,1	8598,5	2786,6	12,3	11	1910	5620,6	8776,3	2804,1	14,0
	1911	5664,8	8591,7	2785,9	13,9		1911	5607,2	8772,2	2801,5	15,3
	1912	5653,2	8584,0	2780,0	—		1912	5593,6	8765,1	2796,2	—
6	1910	5667,5	8623,9	2790,6	13,4	12	1910	5611,8	8811,8	2801,3	14,5
	1911	5656,5	8616,3	2789,6	14,0		1911	5597,8	8808,0	2798,7	11,1
	1912	5643,8	8608,5	2786,3	—		1912	5587,8	8803,1	2793,8	—
7	1910	5659,2	8651,0	2795,3	15,0	13	1910	5599,6	8851,8	2798,8	9,7
	1911	5648,3	8640,9	2794,1	14,9		1911	5590,0	8850,2	2797,1	7,2
	1912	5635,0	8634,1	2790,5	—		1912	5584,7	8845,4	2793,6	—
8	1910	5651,2	8677,3	2800,2	—	14	1910	5589,7	8884,3	2797,2	13,2
	1911	5642,2	8659,5	2798,8	20,0		1911	5581,9	8873,6	2795,4	14,3
	1912	—	—	—	—		1912	5576,8	8887,0	2790,6	—

Mittelwert 1910—11 12,7 m/Jahr.

„ 1911—12 11,9 „

Durchschnittliche Einsenkung 2,75 m/Jahr.

Für die etwas weiter abwärts gelegene „Rote Linie“ ergeben sich die Geschwindigkeiten:

1908—09 10,3 m/Jahr.

1909—10 11,1 „

1910—11 11,3 „

1911—12 10,8 „

In den folgenden Jahren wurde diese Linie nicht mehr nachgemessen.

Tab. 7. — Guslarferner: Neue Linie von 1912.

Stein		x	y	z	v	
Stein 1	1912	5707,0	8493,2	2771,0	—	—
Stein 2	1912	5698,1	8522,4	2777,9	10,58 m	5,29 m/Jahr
	1914	5695,3	8512,2	2780,0	8,98 „	4,49 „
	1916	5690,2	8504,8	2774,9	—	—
Stein 3	1912	5689,9	8549,7	2783,0	29,72 m	7,43 m/Jahr
	1916	5672,1	8525,9	2779,7	—	—
Stein 4	1912	5680,0	8582,6	2784,8	37,43 m	9,48 m/Jahr
	1916	5650,6	8559,3	2783,2	—	—
Stein 5	1912	5670,7	8613,0	2787,5	—	—
Stein 6	1912	5662,6	8640,1	2792,5	60,30 m	15,10 m/Jahr
	1916	5605,2	8620,5	2787,7	—	—

		x	y	z	v	
Stein 7	1912	5654,3	8667,6	2797,4	27,20 m	13,60 m/Jahr
	1914	5628,7	8659,2	2796,9	32,00 "	16,00 "
	1916	5598,4	8648,9	2793,1	—	—
Stein 8	1912	5643,0	8703,4	2801,5	—	—
Stein 9	1912	5636,8	8725,5	2804,0	59,33 m	—
	1916	5580,4	8707,1	2792,9	—	14,83 m/Jahr
Stein 10	1912	5622,1	8772,3	2802,8	51,75 m	12,94 m/Jahr
	1916	5575,5	8749,8	2791,2	—	—
Stein 11	1912	5612,1	8806,0	2799,7	35,65 m	8,91 m/Jahr
	1916	5576,8	8802,7	2788,3	—	—
Stein 12	1912	5601,9	8838,8	2797,1	9,92 m	4,96 m/Jahr
	1914	5592,3	8840,4	2797,8	11,60 "	5,80 "
	1916	5581,7	8835,6	2788,7	—	—
Stein 13	1912	5592,1	8871,2	2795,7	7,20 m	1,80 m/Jahr
	1916	5584,8	8872,4	2785,1	—	—

Mittelwert für 1912/16 9,9 m/Jahr.

Durchschnittliche Einsenkung 1912/16 1,75 m/Jahr.

Auch die Breitenausdehnung der Zunge wird von Jahr zu Jahr kleiner. Das Gletscherende liegt jetzt bei ungefähr  $x = 5190$ ,  $y = 8440$ ; das ist um etwa 80 m höher als 1895.

An der rechten Seite des Gletschers bildet sich wieder eine Steilwand aus, wie ich sie 1897 von hier beschrieben habe.

### III. Hintereisferner.

Die Bewegungsverhältnisse des Hintereisferners im Zusammenhang mit den Ergebnissen der Tiefbohrungen sollen späterhin, wenn die Beobachtungsreihe noch länger fortgesetzt ist, eine zusammenfassende Besprechung erfahren. Hier sei nur bemerkt, was in Verbindung mit den Veränderungen anzuführen ist, welche sich in den letzten Jahren am Kesselwandferner vollzogen haben. Dieser Gletscher, welcher nahe am Ende des Hintereisgletschers sich mit ihm vereinigte, hat sich seit 1913 von seinem alten, mächtigeren Begleiter getrennt (vgl. die Kartenskizze Fig. 8 und die Photographien Fig. 4 bis 11). Schon die Vermessung von 1905 ergab eine beträchtliche Breitenabnahme der Kesselwandfernerzunge an der Einmündungsstelle gegenüber dem Zustand von 1894, der als erster genauer kartographiert wurde. Diese Verschmälerung wurde in den folgenden Jahren immer größer und in einigen der vorhergehenden Berichte haben Blümcke und ich bereits darauf hingewiesen, daß die Trennung der beiden Gletscher, wenn die Rückzugsperiode weiter anhielte, bald zu erwarten sei.

Die in den Figuren 4, 5, 6 und 7 wiedergegebenen photographischen Aufnahmen des Gletschers zeigen die Änderungen deutlich, welche sich seit 1909 hier vollzogen haben. Man bemerkt, daß auf der rechten Seite der Rand des Gletschers immer höher hinauf ging. Noch 1912 zeigte sich hier ein Rückgang; die über die Felsen abgestürzten Eisblöcke sind die Reste eines Lappens, der alljährlich kleiner und dünner wurde und schließlich über der Felskante abbrach. Gleichzeitig sank hinter dem Rücken der großen Mittelmoräne die Oberfläche des Kesselwandzuflusses auf der linken Seite immer tiefer ein<sup>1)</sup>. Im Jahr 1914 hatte sich die Trennung der beiden Gletscher vollzogen. Ein gut Stück des Talbodens, der seit langen, langen Jahren stets vom Gletscher bedeckt war, wurde eisfrei. Die nächste Umgebung des Eisrandes und das zwischen beiden Gletschern gelegene Gebiet wurden tachymetrisch eingemessen. Der Vergleich mit der kleinen Karte des Talbodens, die 1899<sup>2)</sup> auf Grund der Ablations- und Geschwindigkeitsmessungen veröffentlicht wurde, ergab für einige Punkte fast völlige Übereinstimmung der damals ermittelten Höhenlagen mit den 1914 durch die Vermessung erhaltenen; an anderen Stellen, die mehr auf der rechten Talseite des Kesselwandgletschers liegen, ergab sich der Talboden um 10—12 m tiefer, als er 1899 in der erwähnten Höhenschichtenkarte gezeichnet ist. Zwischen dem steil abfallenden, stark zerklüfteten Mittellappen des Kesselwandgletschers und dem linken Rand des Hintereisgletschers lag ein zusammengeschobener Schuttwall von 6—8 m Breite. Vier Tage nach der ersten Besichtigung erschien diese Breite durchweg geringer; der erste Eindruck, daß hier ein schwacher Vorstoß des Gletschers erfolgte, wurde damit bestärkt; die schmale Eiszunge, welche noch 1912 den linken Saum des Gletscherendes mit dem Hintereis verband, war ganz eingesunken und bot ein Bild der Vernichtung. Von dem Eislappen auf der rechten Seite des Kesselwandfernerendes stürzten beständig Eisbrocken über die Felswand ab, über welche das Eis weiter herabreichte als 1912. Es hat also gleichzeitig mit der Lostrennung vom Hintereis auch eine Umkehrung in der Bewegungstendenz des Gletscherendes stattgefunden, welche wahrscheinlich schon 1913 einsetzte. (Leider findet sich in Blümckes Notizen nichts darüber; ich selbst habe zwar 1913 das

<sup>1)</sup> Ich notierte 1912: „Der Kesselwandferner hängt mit dem Hintereis fast nicht mehr zusammen; es herrscht kein Druck mehr in den Endlappen des Gletschers, dessen Eis in dünner Schichte am linken Rand hohl aufliegt.“

<sup>2)</sup> Untersuchungen am Hintereisferner S. 63, Heft II der Wiss. Erg.-Hefte zur Zeitschr. d. Deutsch. und Österr. Alpenvereins.

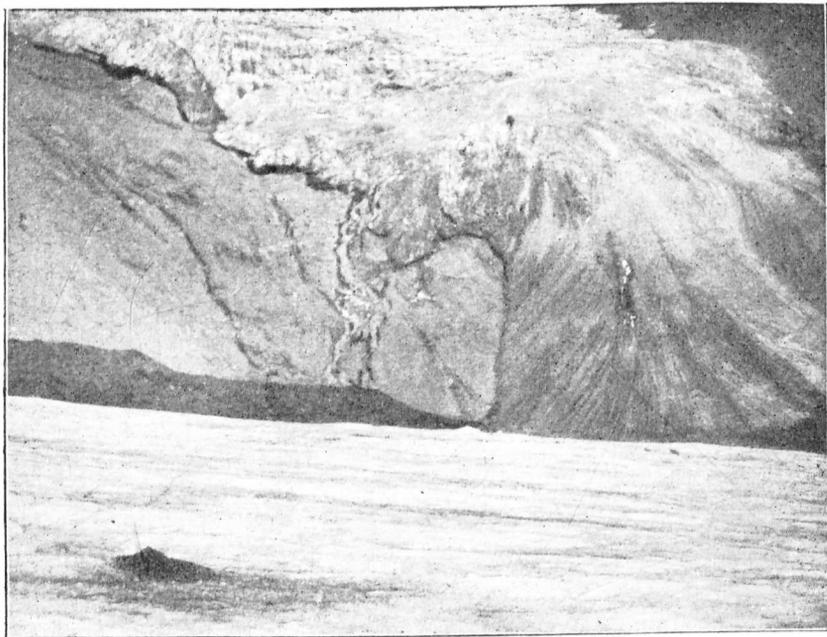


Fig. 4. Ende des Kesselwandferners 1909.

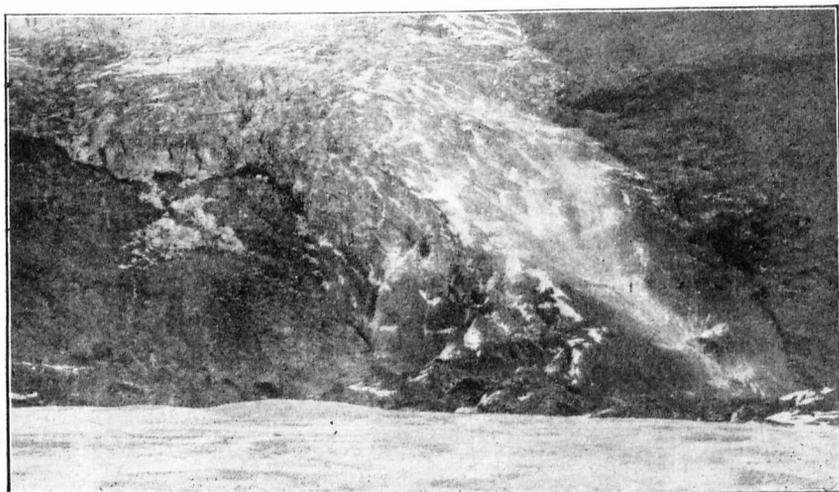


Fig. 5. Ende des Kesselwandferners 1912.

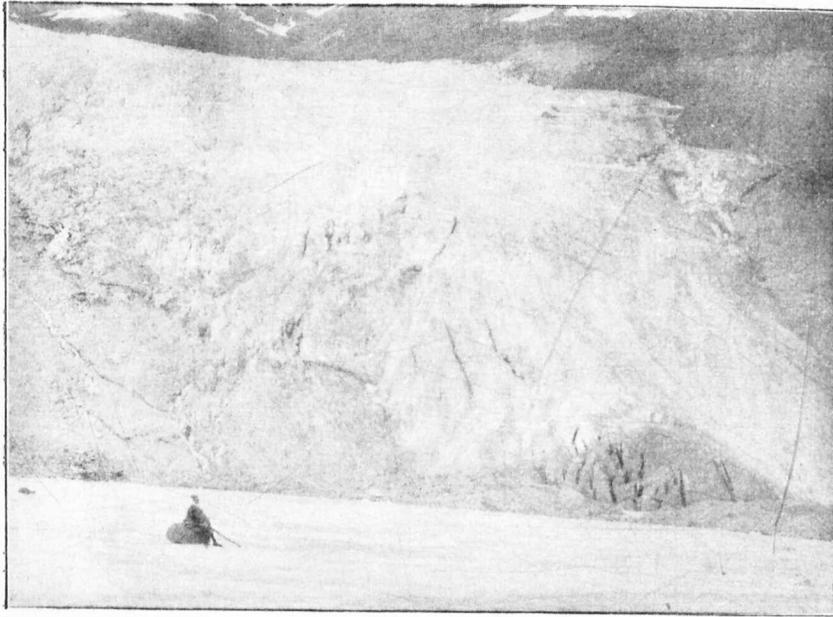


Fig. 5. Ende des Kesselwandfernens 1914.

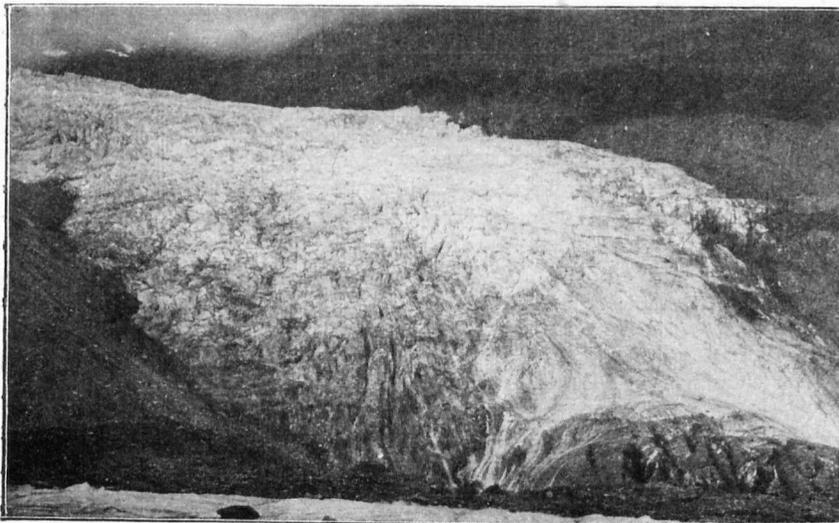


Fig. 6. Ende des Kesselwandfernens 1916.

Firnfeld des Kesselwandferners vermessen, kam aber nicht gegen das Ende des Gletschers herab.) Im Jahre 1915 zeigte der Zustand des Gletscherendes keine wesentliche Veränderung gegen das Vorjahr. Die Entfernung vom Hintereisrand betrug nurmehr etwa zwei Meter. Vor dem rechten Rand des Mittellappens lag ein kleiner Moränenwall,

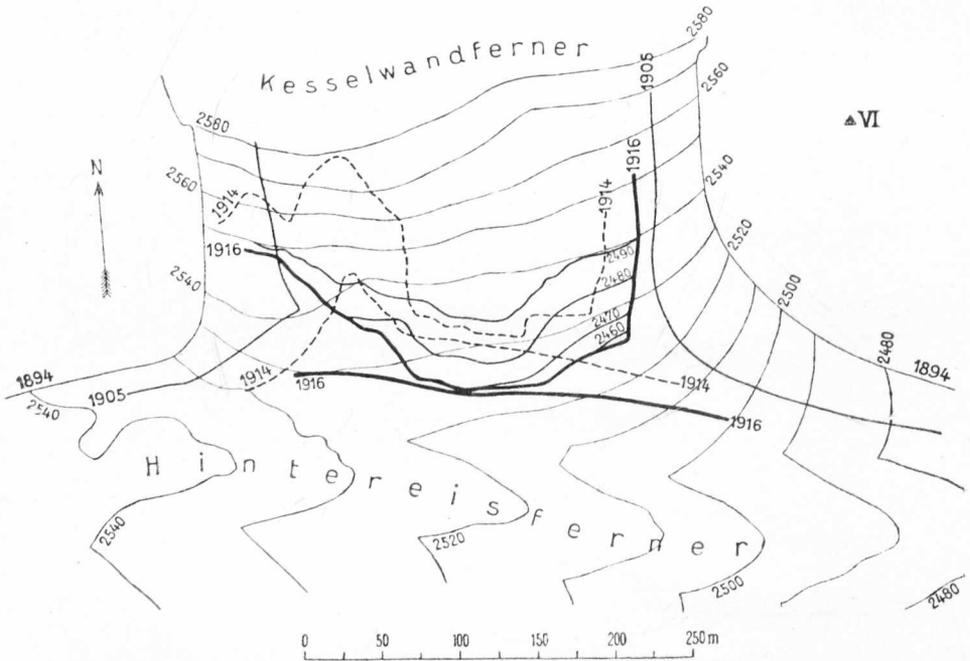


Fig. 8. Kartenskizze vom Zusammenfluß des Kesselwand- und Hintereisferners 1894, 1914 und 1916. Maßstab 1:5000.

Als Grundlage diente die Karte des Hintereisferners vom Jahre 1894, der die Gletscherumrisse von 1894 und die (dünn gezeichneten) Isohypsen der Gletscheroberfläche von 1894 entnommen wurden. Der Umriß der Eismassen des Hintereis- und des Kesselwandferners im Jahre 1914 ist gestrichelt, der Umriß der nunmehr sich nahezu berührenden Gletscher im Jahre 1916 durch starke Linien gegeben. Außerdem sind für 1916 auf dem Kesselwandferner die Isohypsen 2460, 2470, 2480 und 2490 als etwas stärkere Linien eingezeichnet.

der anzeigte, daß im Laufe des Sommers wegen der starken Abschmelzung das Eis etwas zurückgegangen war. Auf dem fast senkrecht abfallenden, mit feinem schwarzen Grundschutt stark durchsetzten Ende des Mittellappens war die Abschmelzung außerordentlich stark; wenn trotzdem der Abstand vom Hintereisrand geringer wurde, so mußte die Geschwindigkeit, mit der das Eis von oben nachgeschoben

wurde, beträchtlich gewesen sein. Die höher gelegenen Teile des rechten Gletscherrandes lagen wesentlich tiefer als 1914 und zeigten starke Anschwellung; der linke Gletscherrand ließ gegen 1914 keine auffällige Veränderung erkennen; nur an der Stelle, welche 1912 noch die Verbindung mit dem Hintereis trug, war eine tiefe Mulde.

Im Jahre 1916 war besonders die rechte Seite des Gletschers weit vorgerückt; bis in beträchtliche Höhe hat der Gletscher an Breite gewonnen. Die tachymetrische Aufnahme (vgl. Fig. 8) erweist, daß sogar der Stand von 1894 wieder erreicht zu sein scheint. Auf der

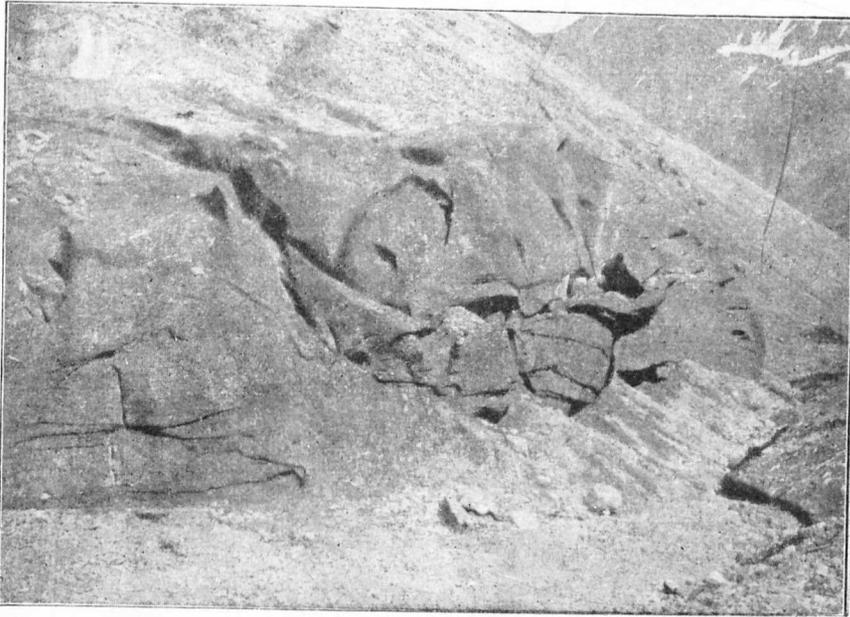


Fig. 9. Ende des vorschiebenden Mittellappens des Kesselwandfeners 1915.

linken Seite, in der Höhe des Signales VI, ist ein Lappen seitwärts kräftig vorgetrieben und auch am Gletscherende greift der linke Rand ein gutes Stück über den Minimalstand von 1914 hinaus. In dem Raum, der 1914 eisfrei zwischen beiden Gletschern lag, ist die Grundmoräne zusammengeschoben und da, wo sich die Eisränder einander nähern, sind die Steine hochkant gestellt; das zeigt den Ursprung der Naht mit aller Deutlichkeit an (Fig. 10 bei N ↑). — Im zusammengeschobenen Grundschutt, dessen Oberfläche um 6—8 m höher liegt, als der Talboden von 1914, taucht das vorderste Ende des stark zerklüfteten mittleren Gletscherteiles unter (Fig. 10). Daher sind die schuttführenden

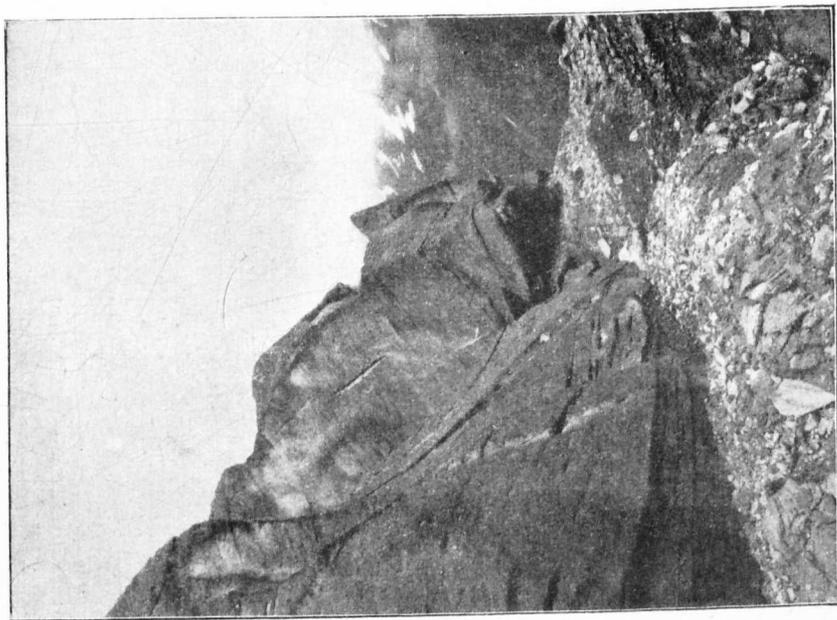


Fig. 10. Ende des vorschiebenden Mittellappens des Kesselwandferners 1916

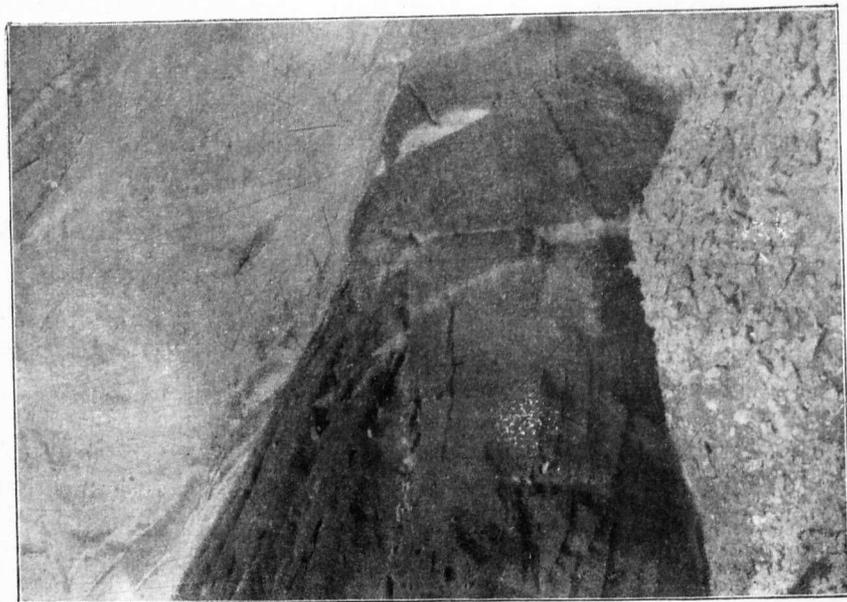


Fig. 11. Ende des vorschiebenden Mittellappens des Kesselwandferners 1915.

Grundschichten des Kesselwandferners nur noch teilweise sichtbar. Im Vorjahr (1915) waren diese recht schön zu beobachten; kopfgroße Steine sind damals in Menge aus den steilen Wandungen der Klüfte am Gletscherende ausgeschmolzen und machten die Passage in dessen Nähe gefährlich (Fig. 11). Auf den Abbildungen von 1915 (Fig. 9 u. 11) sieht man die im Eis eingebackenen Steine recht gut und an mehreren Stellen die Löcher, aus denen kurz vor der Aufnahme Steine ausgefallen sind. Das Bild 10 von 1916 zeigt solche Steine nicht mehr; wohl aber erkennt man auch auf diesem noch große und kleine annähernd horizontal verlaufende Ver-

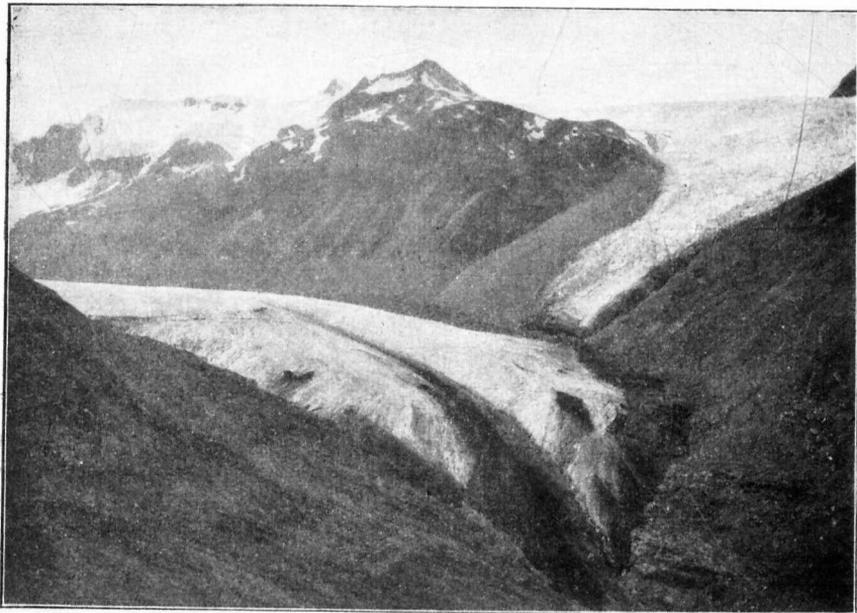


Fig. 12. Ende des Hintereisferners 1916.

schiebungsklüfte, längs welcher eine Menge feinkörnigen Gruses ausgeschmilzt. Dieser und die größeren Steine, welche meist gut gerundet und gekritz sind, entstammen der Untermoräne; sie wurden wahrscheinlich am Fuß der Steilabstürze aufgenommen, wo das Eis unter Bildung von Grundquerspalten fortbewegt wird.

Würde das Eis über diesen grusführenden Schichten langsam abschmelzen, so würde eine Reihe von Grushügeln am Gletscherende entstehen, wie am gegenwärtigen Ende des Vernagtgletschers.

Das Vorrücken des Kesselwandferners beträgt 1916 gegen 1914 rund 35 m für den mittleren Teil des Gletschers. Bei der starken

Zunahme der Eismasse, welche besonders auf der rechten Talseite herabgeschoben wird, ist für die nächste Zeit eine weitere Ausfüllung des Beckens am linken Rand des Hintereisferners zu erwarten. Da bei allen 1916 eingemessenen Steinlinien auf den unteren  $2\frac{1}{2}$  Kilometern der Hintereiszunge ein starkes Anwachsen der Geschwindigkeiten verzeichnet wurde — diese sind trotz wesentlich niedriger liegender Eisoberfläche fast durchweg größer, als die Geschwindigkeiten von 1894/95 und um rund 50% größer als 1913/14 —, so ist die Möglichkeit vorhanden, daß im Laufe des nächsten Jahres Hintereis und Kesselwandferner vereinigt vorstoßen. Ob über die Höhenlage von rund 2700 m bei der obersten, 1916 eingemessenen Steinreihe die Region des Geschwindigkeitszuwachses weit hinausgreift, läßt sich leider nicht sicher sagen; vermuten kann man es, da gerade hier das stärkste Anwachsen der Bewegung festgestellt wurde (von 33,6 m durchschnittlich auf 49,3 m im Mittel; dabei traten Einzelverschiebungen um fast 55 m/Jahr auf.) Hoffentlich bietet sich im Sommer 1917 die Gelegenheit zur Ausdehnung der Geschwindigkeitsmessungen auf das obere Zungengebiet und in den Firn.

Das Zungenende des Hintereisgletschers ging 1916 relativ steil (Fig. 12) aus; der Vergleich der 1916er Aufnahme vom Signal „Hospiz“ mit denen der vorhergehenden Jahre erweist das stärkere Vorrücken bereits nahe am Gletscherende. Dieses selbst ist aber gegen 1914 und 1915 noch um einige Meter zurückgegangen. Es liegt 1916 annähernd bei  $x = 5340$ ,  $y = 11580$ ,  $z = 2350$  m und dürfte damit vorläufig die höchste Lage seit einem langen Zeitraum haben. Der gesamte Längsrückgang seit dem Maximalstand (1856) beträgt nun 1080 m; davon treffen 180 m auf den Zeitraum 1894—1905 und 210 m auf den Zeitraum 1905—1916. Er kann für die ganze Rückzugsperiode auf annähernd 18 m pro Jahr angesetzt werden — wobei allerdings für einzelne Jahrgänge beträchtliche Abweichungen von diesem Mittelwert eingetreten sind.

#### IV. Hochjochferner.

Messungen wurden hier in den letzten Jahren nicht vorgenommen; doch zeigt das Aussehen des Gletscherendes, daß der jährliche Rückgang besonders in den letzten Jahren ein recht beträchtlicher war. Kein Vorkommnis deutet auf eine Änderung der Bewegungstendenz.