

Zeitschrift:	Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes Rübel in Zürich
Herausgeber:	Geobotanisches Institut Rübel (Zürich)
Band:	3 (1925)
Artikel:	Alpine und arktische Flora und Vegetation : die Ergebnisse von Verdunstungsmessungen im Lauterbrunnental und in Bern in den Jahren 1917 bis 1920
Autor:	Lüdi, Werner
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-306770

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: 11.02.2026

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

du pays où ils opèrent, en ce qui concerne la végétation; les mieux préparés par leurs connaissances générales n'y arrivent que par une étude très attentive de la nature.

De tout temps, les grands courants secs, créateurs de déserts, ont dispersé les êtres vivants; l'homme qui fait tant de déserts a le pouvoir de maîtriser le désert, de le rendre à la vie bienfaisante et féconde. Il convient qu'à cette œuvre il donne son cœur et sa science.

IX.

Die Ergebnisse von Verdunstungsmessungen im Lauterbrunnental und in Bern in den Jahren 1917 bis 1920

Von WERNER LÜDI, Bern

Mit acht graphischen Darstellungen

Eingegangen am 5. März 1925

Die Ursache für die Transpiration der Pflanzen liegt in der Verdunstungskraft der Luft, das heisst in der Kraft der Atmosphäre, von einer flüssigen oder festen Oberfläche Wasserdampf wegzuschaffen. Viele Pflanzen haben die Fähigkeit, den Umfang der Wasserabgabe in weitgehendem Masse zu regulieren; aber im grossen ganzen ändert sich der Transpirationsbetrag direkt wie die Verdunstungskraft der Luft. Diese letztere ist die Aeusserung einer Gesamtheit von klimatischen Faktoren, nämlich des Luftdruckes, der Temperatur, der Luftfeuchtigkeit, der Luftbewegung und der Insolation. Amerikanische Oekologen haben wahrscheinlich gemacht, dass die Verdunstungskraft der Luft eine ziemlich befriedigende Summation aller atmosphärischen Faktoren darstellt, die das Wachstum der Pflanzen bestimmen und begrenzen.

Daraus ergibt sich für den Oekologen als wichtige Aufgabe, die Verdunstungskraft der Luft kennen zu lernen in ihren Werten für die verschiedenen Jahreszeiten, Höhenlagen, Ex-

positionen, sie zu benutzen zum Vergleich der einzelnen Pflanzengesellschaften und Standorte sowie zum Studium der Lebensverhältnisse innerhalb bestimmter Pflanzengesellschaften. In der Schweiz sind die ersten von ökologischen Gesichtspunkten ausgehenden Verdunstungsmessungen durch E. RÜBEL¹ im Jahre 1905 u. 1906 auf Bernina-Hospiz ausgeführt worden, spätere von K. AMBERG² im Sommer 1913 am Pilatus, von E. WETTER³ im gleichen Sommer am Gotthard und 1920 von E. MÜLLER⁴ am Sigriswilerrothorn.

Mit meinen Untersuchungen wollte ich in erster Linie wie AMBERG die Veränderung der Verdunstungsgrösse nach Jahreszeit und Höhenlage verfolgen. Herr Professor SCHRÖTER, auf dessen Anregung hin auch die früheren Forscher ihre Verdunstungsmessungen angestellt hatten, half mir mit der nötigen Literatur aus, und das bernische botanische Institut, wo die Herren Professoren FISCHER und RYTZ diesen Untersuchungen grosses Interesse entgegenbrachten, kam in zuvorkommender Weise für die Kosten der anzuschaffenden Apparate auf. Ich möchte diesen Herren für ihre wertvolle Unterstützung auch hiermit meinen besten Dank aussprechen.

Nach eingehenden Vorversuchen wurden Mitte Juni 1917 die Messungen mit drei Stationen (Lauterbrunnen 800 m Meereshöhe, Wengen 1270 m, Mürren 1640 m) begonnen und bis anfangs Oktober fortgesetzt. Im Jahre 1918 wurde anfangs Juni angefangen und eine weitere Station in Bern eingerichtet (530 m). In den Jahren 1919 und 1920 wurden die Messungen Mitte Mai begonnen, die Station Wengen fallen gelassen und statt ihrer eine Station in Eigergletscher (2330 m) erstellt.

¹ RÜBEL E., Pflanzengeographische Monographie des Berninagebietes. Englers Botan. Jahrbücher 47, 1912.

² AMBERG K., Der Pilatus in seinen pflanzengeographischen und wirtschaftlichen Verhältnissen. Mitt. Nat. Ges., Luzern 7, 1917.

³ WETTER E., Oekologie der Felsflora kalkarmer Gesteine. Jahrb. St. Gall. Naturwiss. Ges. 1918.

⁴ MÜLLER H., Oekologische Untersuchungen in den Karrenfeldern des Sigriswilergrates. Ber. Schweiz. Bot. Ges. 33 (1924).

Als Apparat gelangte das von LIVINGSTON¹ erdachte Atmometer zur Verwendung, bei dem ein senkrecht gestellter, weißer, poröser, oben halbkugelig geschlossener, zylindrischer Tonbecher als verdunstende Oberfläche wirkt. Destilliertes Wasser, aus einer unterhalb des Tonbechers angebrachten, mit dieser durch Glasröhren verbundenen, ca. einen Liter fassenden Glasflasche (Reservoir) diente als Verdunstungsmittel. Die Tonbecher wurden von dem Wüstenlaboratorium in Tucson (Arizona) geliefert, die Apparate hergestellt von der Firma STETTLER-HOTZ in Bern und zwar in der von SHIVE erdachten, nicht absorbierenden Montierung, die technisch vollkommen und stabil ist. Insbesondere bietet sie gegenüber der gewöhnlichen Montierung, wie sie von AMBERG verwendet wurde, den Vorteil, dass ein Rückströmen des Wassers in das Reservoir während Regenfall oder Taubildung unmöglich ist. Die Apparate wurden in kleinen Holzkistchen, ca. 70 cm über dem Boden, alle in möglichst gleichartiger, freier, sonniger Lage aufgestellt, die Flaschen durch einen Schutzmantel aus schwarzem, dichtem Wachstuch verdunkelt. In Bern befand sich der Apparat auf einem Rasenplatz des botanischen Gartens, Exp. flach S.; in Lauterbrunnen 1917 in einem Erdbeerbeet nahe der Kirche, Exp. flach SE, 1918 in einer Wiese in der Ey, Exp. W, 1919 und 1920 in einem Erdbeerbeet am westlichen Talhang, Exp. flach E; in Wengen 1917 und 1918 in einem rasigen Vorgarten, etwas von Gebüsch beschattet; in Mürren 1917 in einer Wiese bei der Post, Exp. SE, 1918—1920 im Gärtchen südlich des Schulhauses, Exp. SE. Die Ablesungen wurden in der Regel alle Abende zwischen 18 und 20 Uhr vorgenommen, gelegentlich für 2—3 Tage zusammen. In Bern wurden sie besorgt von Herrn A. SCHENK, dem Sohne des Obergärtners, in Lauterbrunnen 1917 von Herrn Sekundar-Lehrer GAMMETER, die folgenden Jahre von

¹ Vergl. LIVINGSTON B. E., Atmomentry and the porous cup Atmometer. The Plant World 18, 1915. Hier finden sich eingehende, kritische Darstellungen der verschiedenen Verdunstungsmesser, insbesondere des Apparates von LIVINGSTONE in seinen verschiedenen Formen, mit Abbildungen. Vergl. ferner AMBERG l. cit., und vor allem ED. RÜBEL: Geobotanische Untersuchungsmethoden (p. 70—83). Berlin (Gebr. BORNTRÄGER) 1922. Neuerdings werden vorzugsweise kugelige Tonbecher verwendet, da bei den Zylindern die Lage der Achse zur Sonne von Bedeutung sein kann.

Herrn Lehrer SCHMOCKER, in Wengen von Frau Dr. OETIKER, in Mürren 1917 von Herrn Posthalter von ALLMEN, die folgenden Jahre von Herrn Lehrer MEYER. In Eigergletscher ermöglichte Herr LIECHTI, Betriebschef der Jungfraubahn, in liebenswürdiger Weise die Einrichtung einer Station, die aber beide Jahre vom Missgeschick verfolgt wurde, so dass Messungen nur für zwei Wochen des Sommers 1919 vorliegen. Ausserdem ereignete sich eine grössere Störung in Wengen im Sommer 1918 und eine kleinere in Mürren vom 27. Mai bis 4. Juni 1919, Welch letztere in den nachfolgenden Ergebnissen durch Interpolation auszugleichen versucht wurde. Die Beobachtungen wurden sehr gewissenhaft ausgeführt, und da die Messungen mit Leichtigkeit bis auf einen halben cm^3 genau ausgeführt werden können, so sind grössere Fehlbeobachtungen nicht wahrscheinlich. Allen den Beobachtern gebührt hoher Dank für ihre uneigen-nützige Arbeit.

Das Wasser hielt sich in den Apparaten den ganzen Sommer durch klar und musste nur ein einziges Mal in einer Flasche ersetzt werden, da es Pilzfäden aufwies. Die Tonzellen wurden von Zeit zu Zeit mit einer Zahnbürste und destilliertem Wasser abgewaschen. Einzelne von ihnen bekamen vorübergehend auf der SW-Seite einen dunklen Anstrich. Der mikroskopische Befund zeigte einzellige Grünalgen, wahrscheinlich *Chlorococcum humicolum*. Im Sommer 1920 besass der Tonbecher in Lauterbrunnen diesen Anflug auch auf der Innenseite: also eine Art endolithischer Algenvegetation, die wohl durch die poröse Becherwand das nötige Licht erhielt. Mehrfache Nachprüfung stellte fest, dass durch den Algenbelag die Verdunstung der Tonzelle nicht verändert wurde. Auch sonst zeigten sich bei den Kontrollprüfungen die Veränderungen des Verdunstungskoeffizienten minim und innerhalb der Fehlergrenze liegend. So wurden die Kontrollprüfungen an Ort und Stelle nur im ersten Sommer durchgeführt und in den folgenden Jahren die Nachprüfungen erst im Herbst im Laboratorium vorgenommen. Die Reaktion der Tonzelle ist so fein, dass im geschlossenen Zimmer schon eine ganz geringe Annäherung an Ofen, Fenster oder Türe genügte, um eine sehr merkliche Aenderung

hervorzurufen, und von drei nebeneinander in 30 bis 40 cm Entfernung aufgestellten Apparaten der mittlere wesentlich weniger verdunstete. So war in Ermangelung eines rotierenden Rades, auf dem die Apparate in gleicher Entfernung vom Zentrum befestigt werden können, eine genaue Nachprüfung nur möglich durch mehrmaligen gegenseitigen Wechsel in der Aufstellung der Apparate. Die 10 von Tucson gelieferten Tonbecher besassen alle den Reduktionskoeffizienten 0,76. Dieser wies im Laufe der Untersuchungen folgende Veränderungen auf: 3 Tonbecher unverändert, 1 = 0,75, 3 = 0,755, 1 = 0,766, 1 = 0,77, 1 = 0,78, welch letzterer künstlich geschwärzt worden war (vergl. p. 202).

Tab. 1
Monatliche Gesamtsummen
und die täglichen Mittelwerte aus ihnen
(in cm^3 verdunsteten Wassers)

Ort und Jahr	Mai		Juni		Juli		August		Septemb.		Oktober	
	Gesamt- summe	tägl. Mittel	S.	M.	S.	M.	S.	M.	S.	M.	S.	M.
Bern (530 m)												
1918			415,6	13,8	564,3	18,2	489,2	15,8	242,4	8,1	59,7 ⁴	6,0
1919	327,3 ¹	19,2	576,8	19,2	363,1	11,7	633,4	20,4	327,8	10,9	42,9 ⁴	4,3
1920	222,7 ¹	13,1	368,1	12,3	490,7	15,8	386,5	12,5	201,6	6,7	47,2 ⁴	4,7
Lauterbrunnen (800 m)												
1917			189,5 ²	13,5	329,6	10,6	298,9	9,6	260,4	8,7	35,5 ³	7,1
1918			401,2	13,4	463,6	14,9	378,8	12,2	187,8	6,3	45,4 ⁴	4,5
1919	255,2 ¹	15,0	332,2	11,1	216,7	7,0	347,3	11,2	275,6	9,2	35,5 ⁴	3,6
1920	187,2 ¹	11,0	243,9	8,1	244,6	7,9	175,9	5,7	106,4	3,5	33,2 ⁴	3,3
Wengen (1270 m)												
1917			160,7 ²	11,5	254,2	8,2	278,8	8,9	391,0	13,0	53,6 ³	10,7
1918			—	—			375,2	12,1	280,9	9,4	16,6 ³	3,3
Mürren (1640 m)												
1917			258,8 ²	18,4	355,4	11,4	262,7	8,5	577,1	19,2	75,5 ³	15,1
1918			312,7	10,4	551,7	17,8	515,3	16,6	451,8	15,1	33,9 ⁴	3,4
1919	350,2 ¹ ⁵	20,6	483,3 ⁵	16,1	301,1	9,7	699,6	22,6	519,4	17,3	85,5 ⁴	8,6
1920	274,1 ¹	16,1	295,9	9,7	515,6	16,6	324,4	10,5	307,9	10,3	151,1 ⁴	15,0

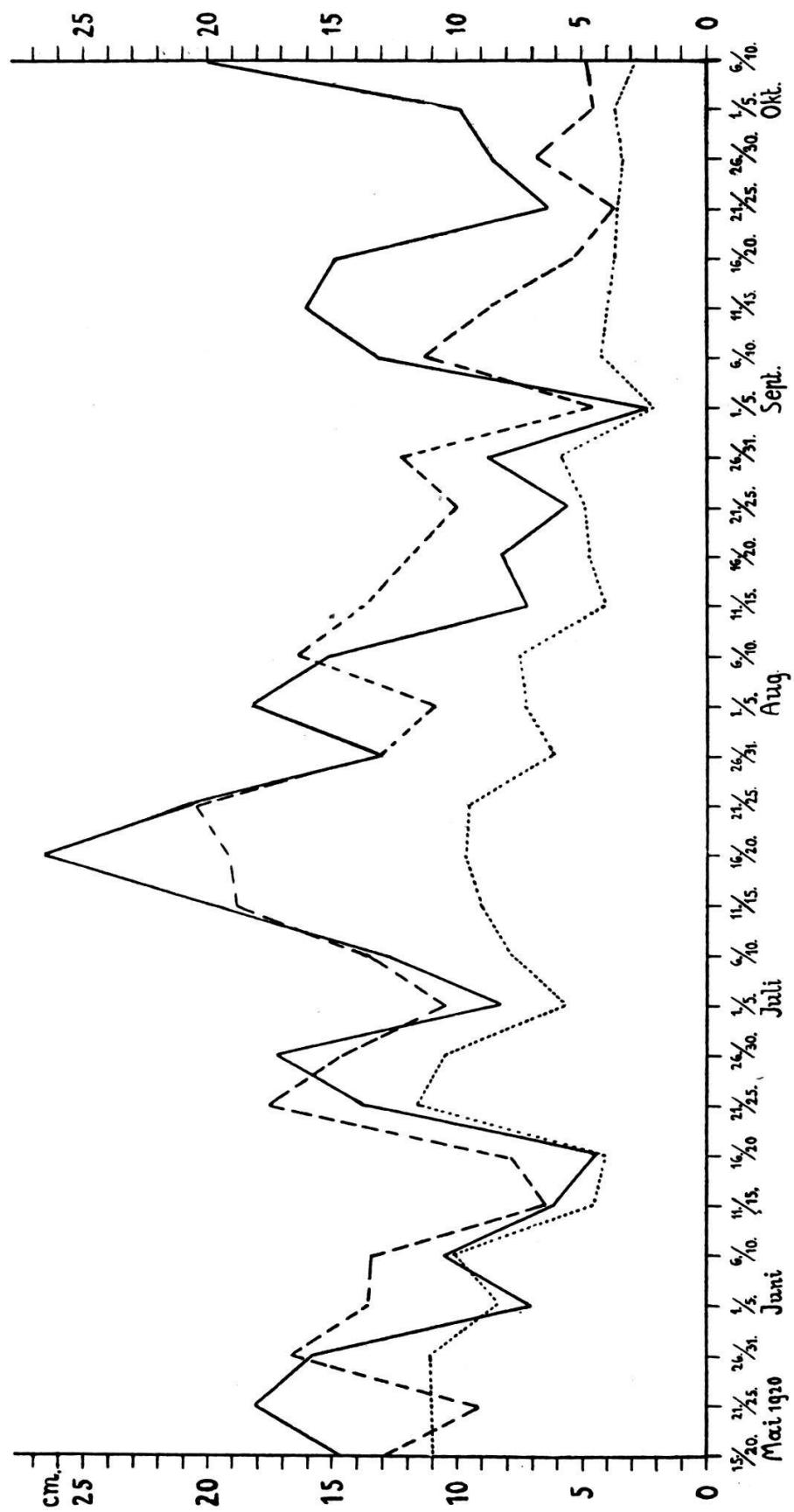
¹ = 15.—31. V. (17 Tage), ² = 16.—30. VI. (15 Tage), ³ = 1.—5. X.,
⁴ = 1.—10. X., ⁵ = je eine Periode von 5 Tagen interpoliert.

Tab. 2 Tägliche Mittelwerte aus den fünfjährigen Perioden (in cm^3 verdunsteten Wassers)

Zeitperiode	Bern (530 m)				Lauterbrunnen (800 m)				Wengen (1270 m)				Mürren (1640 m)			
	1918	1919	1920	1917	1918	1919	1920	1917	1918	1919	1920	1917	1918	1919	1920	
Mai . . . 15.-20.	17,4	12,8	12,8	17,5	14,2	11,0	11,0	13,7	11,0	11,0	11,0	17,7	24,9	14,7	14,7	
	24,1	9,2	16,6	22,3	11,5	11,1	11,0	17,5	11,0	11,0	11,0	(20,0) ¹	(18,0) ¹	15,9	18,2	
21.-25.	17,1	13,7	13,5	19,6	14,2	8,3	8,3	14,2	10,0	10,0	10,0	15,5	22,1	7,1	7,1	
26.-31.	21,9	18,0	19,9	10,9	22,1	6,5	10,8	11,6	4,5	4,1	4,1	16,9	10,2	19,4	10,6	
Juni . . . 1.-5.	19,4	19,9	13,5	14,7	23,3	7,9	17,5	14,3	6,0	8,6	11,5	10,1	23,3	3,1	20,5	
	10,9	22,1	6,5	17,5	9,6	9,2	9,2	12,3	6,4	10,4	8,1	14,3	5,7	9,6	4,4	
6.-10.	2,6	17,8	7,9	14,7	14,3	14,5	9,6	14,5	4,1	17,5	10,1	18,8	8,7	11,1	13,7	
11.-15.	10,9	22,1	6,5	13,6	14,3	14,5	10,5	6,4	12,3	8,3	5,6	6,2	7,2	8,7	7,1	
16.-20.	14,7	23,3	17,5	14,3	14,4	10,5	6,4	12,3	6,4	10,4	4,0	17,8	9,4	17,3	17,3	
21.-25.	14,7	23,3	17,5	14,3	14,5	9,6	9,6	12,3	6,4	10,4	5,6	14,3	11,1	7,1	6,2	
26.-30.	13,6	14,3	14,5	13,6	14,3	14,4	10,5	6,4	12,3	8,3	5,6	4,6	7,2	8,7	4,4	
Juli . . . 1.-5.	14,6	14,4	10,5	14,6	12,1	13,7	6,2	14,5	7,9	7,9	7,9	17,9	15,4	7,4	8,2	
	14,8	12,1	13,7	18,8	16,6	12,9	16,6	12,9	7,3	9,1	14,9	17,9	15,4	19,4	12,7	
6.-10.	15,9	7,2	18,8	19,1	19,1	10,8	19,6	19,6	7,1	9,7	8,0	11,9	34,0	12,4	26,7	
11.-15.	21,7	12,6	19,1	20,5	13,1	17,4	3,6	9,5	9,5	9,5	10,6	12,3	18,5	4,1	20,6	
16.-20.	23,4	9,0	14,5	13,0	10,7	13,4	7,7	6,0	7,0	7,0	7,2	13,0	13,3	11,6	13,0	
21.-25.	18,6	20,5	10,8	8,5	22,1	16,4	8,8	8,5	9,5	7,3	3,8	2,8	14,3	16,0	18,4	
26.-31.	14,5	13,0	10,7	10,8	5,7	8,8	9,5	9,8	7,4	7,4	7,1	6,0	1,5	9,0	24,5	
August . . . 1.-5.	8,5	20,5	10,8	10,6	22,1	16,4	8,8	8,5	9,8	9,8	10,6	12,8	6,2	17,8	4,1	
	10,6	20,5	10,8	10,6	13,6	10,8	13,6	13,0	4,1	4,1	10,9	17,8	17,1	23,7	20,6	
6.-10.	15,9	22,7	11,8	11,3	11,3	17,9	12,4	4,7	4,7	4,7	10,9	17,8	17,1	22,8	8,2	
11.-15.	23,1	20,4	20,5	10,0	11,2	11,2	11,9	13,4	4,8	4,8	11,0	16,2	16,6	24,3	21,6	
16.-20.	20,8	17,2	12,3	10,0	10,0	12,7	9,4	5,8	5,8	5,8	10,1	11,6	6,9	11,7	5,6	
21.-25.	15,7	13,0	4,5	11,3	8,9	4,9	11,5	4,9	4,9	4,9	2,1	10,3	10,0	15,2	17,9	
26.-31.	16,6	5,6	12,8	15,2	8,7	5,4	8,6	12,5	4,1	4,1	6,0	11,0	6,3	13,4	14,1	
September 1.-5.	8,8	15,2	6,4	6,4	5,3	11,5	6,2	7,6	3,8	3,8	23,6	13,9	40,0	24,2	8,8	
	16,6	6,2	3,7	3,7	8,4	3,5	5,9	3,6	14,7	14,7	7,7	21,2	8,9	10,2	2,3	
6.-10.	5,6	5,4	6,8	7,8	5,5	7,9	3,5	12,5	7,1	7,1	16,4	12,3	13,0	8,6	6,4	
11.-15.	8,8	2,5	4,6	7,1	5,1	1,7	3,8	10,7	3,8	3,8	5,4	1,3	1,3	6,2	10,0	
16.-20.	6,2	6,1	4,8	4,8	5,4	2,4	2,4	2,8	2,8	2,8	2,8	11,0	5,5	11,0	20,3	
21.-25.	3,7	5,4	6,8	7,8	5,5	7,9	3,5	12,5	7,1	7,1	16,4	12,3	13,0	8,6	10,0	
26.-30.	7,5	2,5	4,6	7,1	5,1	1,7	3,8	10,7	3,8	3,8	5,4	1,3	1,3	6,2	20,3	
Okttober 1.-5.	7,7	4,2	6,1	4,8	5,4	2,9	2,9	2,8	2,8	2,8	2,8	11,0	5,5	11,0	20,3	
	6.-10.	6,1	4,2	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	11,0	5,5	11,0	20,3	
11.-15.	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0

¹ interpoliert

Fig. 1
Verdunstung während des Sommers 1920, dargestellt in Mitteln der 5tägigen Perioden
— Mürren - - - Bern Lauterbrunnen



Die Ergebnisse der Messungen sind in den folgenden Tabellen zusammengestellt und zwar nicht die täglichen Werte, sondern die 5tägigen und monatlichen Gesamtsummen und Mittelwerte in cm^3 verdunsteten Wassers, alle reduziert auf den Wert des Standardbechers. Mehrmals musste zur Bildung der 5tägigen Gruppen der Betrag einer 2- oder 3tägigen

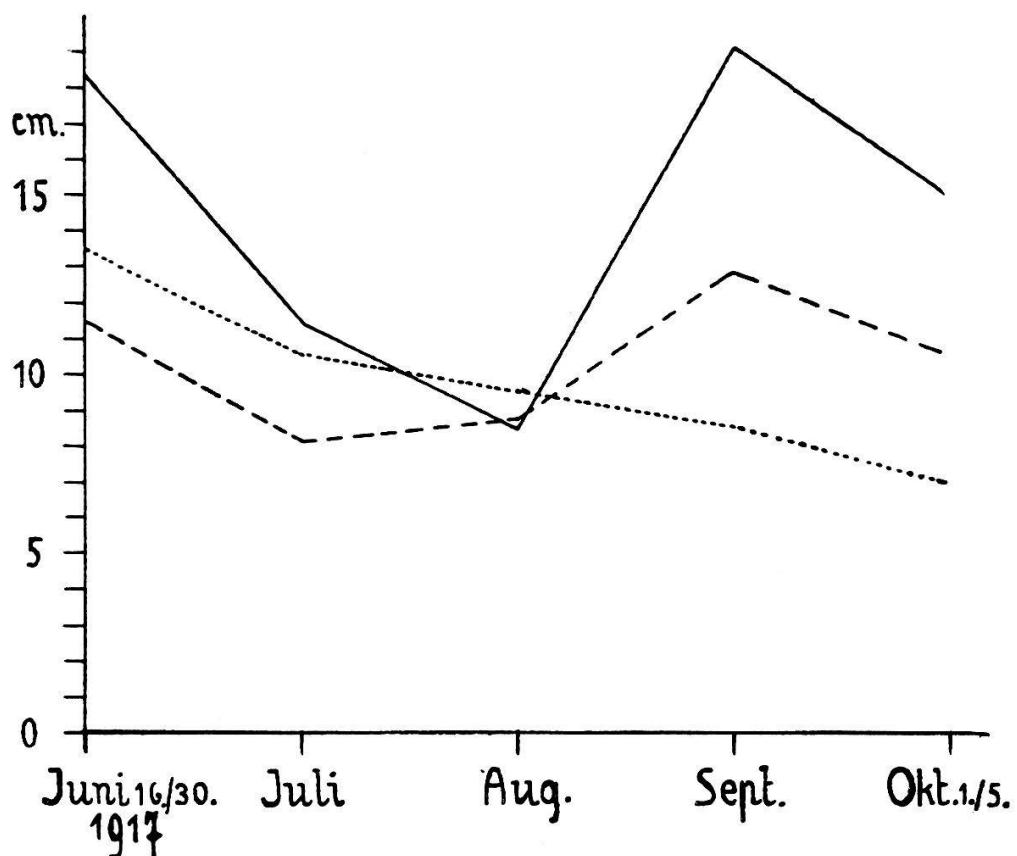


Fig. 2

Verdunstung im Sommer 1917. Tägliche Mittelwerte der monatlichen Perioden
 — Mürren - - - Wengen Lauterbrunnen

Ablesung verteilt werden; doch sind die Fehler, die sich durch diesen Umstand eingeschlichen haben können, sehr unbedeutend. Die Ergebnisse der Jahre 1917 und 1918 sind schon als vorläufige Mitteilung veröffentlicht worden.¹ Um eine rasche Uebersicht zu ermöglichen, sind die monatlichen Mittel, sowie die 5tägigen Mittelwerte eines Sommers auch durch Kurven dargestellt worden.

¹ Mitt. Nat. Ges. Bern 1918, 1919, Sitzungsber. p. XI—XV; ibid. 1919, 1920, Sitzungsber. Bern. Bot. Ges. p. LIV—LV.

Es ergibt sich, dass die Maxima und Minima der verschiedenen Stationen im allgemeinen, entsprechend den Schönwetter- und Schlechtwetterperioden übereinstimmen (Fig. 1). Die grössten Extreme weist die höchstgelegene Station (Mürren) auf, deren Verdunstungsgrösse bei schönem, trockenem Wetter stark ansteigt, um bei schlechtem Wetter, das in dieser Höhenlage im

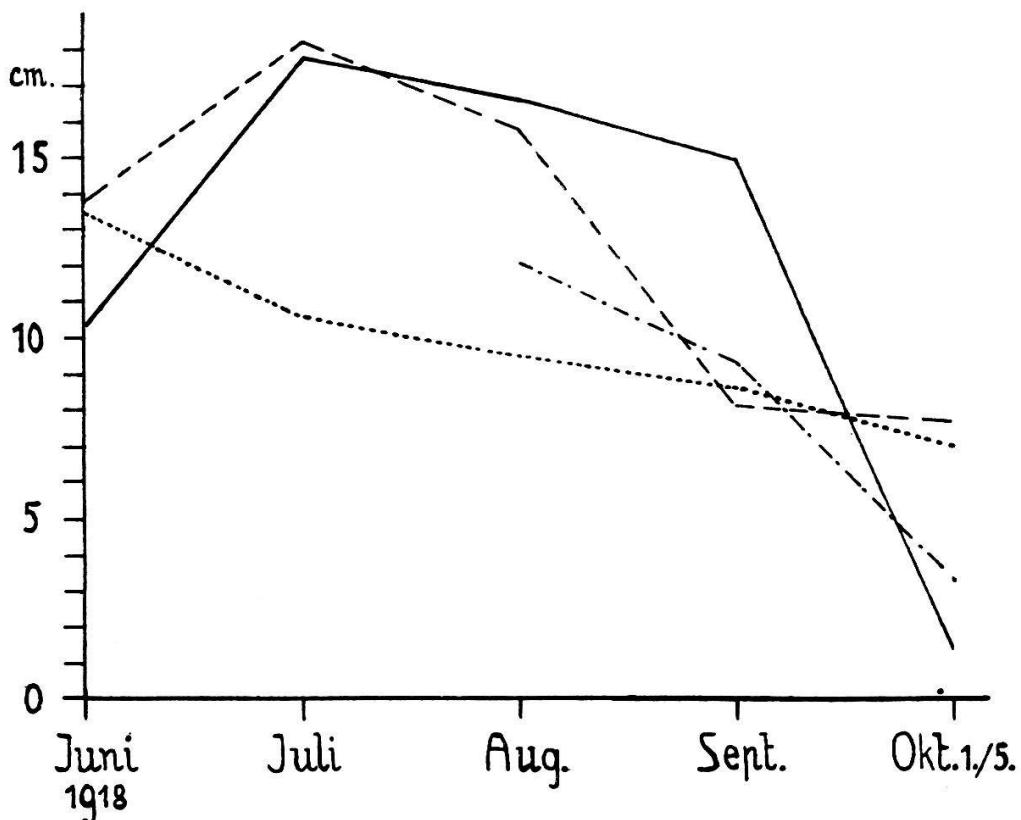


Fig. 3

Verdunstung im Sommer 1918. Tägliche Mittelwerte der monatlichen Perioden
 — Mürren - - - Wengen - - - - Bern Lauterbrunnen

Sommer stets niedrige Temperatur und andauernde Nebelbildung mit sich führt, sehr tief zu sinken. Aber auch in Bern kann der Verdunstungsbetrag bei Regenwetter für ganze Tage auf den 0-Wert sinken. Die geschützte, sonnenarme Talstation Lauterbrunnen zeigt die kleinsten Schwankungen.

Die Gesamtsumme der Verdunstung ergibt für die Monate Juni bis September der Jahre 1918 bis 1920 folgende Werte:

Mürren	5278,7 cm ³	= 100 %
Bern	5059,5 cm ³	= 95,8 %
Lauterbrunnen	3374,0 cm ³	= 62,9 %

Vergleichen wir noch die Summen der Station Eigergletscher mit denen der übrigen Stationen. Es verdunsteten in der Zeit vom 28. VII bis 8. VIII 1919:

Eigergletscher	Mürren	Bern	Lauterbrunnen
278 cm ³	187 cm ³	226 cm ³	103 cm ³

Leider kann ich die Werte für Eigergletscher nur mit Vorbehalt geben, da der Verdunstungsmesser vom 8. August an

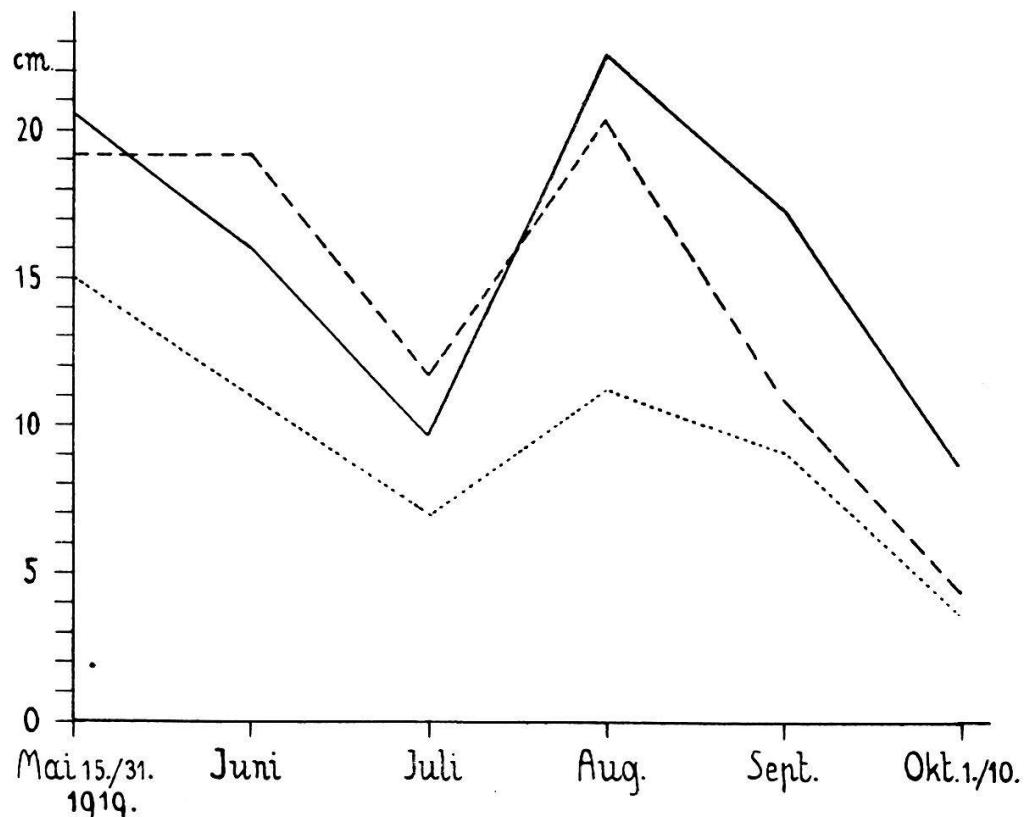


Fig. 4
Verdunstung im Sommer 1919. Tägliche Mittelwerte der monatlichen Perioden
— Mürren - - - Bern . . . Lauterbrunnen

nicht mehr funktionierte und möglicherweise schon vorher Spuren des Defektes eine zu hohe Verdunstung bewirkten. Auch abgesehen von Eigergletscher ergibt sich im Lauterbrunnental eine beträchtliche Steigerung der Verdunstungsgrösse mit der Höhe. Die Station im Vorland bleibt um weniges hinter der Höhenstation des Gebirges zurück.

Beträchtlich sind die Unterschiede in der jahreszeitlichen Verteilung der Verdunstung für die verschiedenen Stationen (Fig. 2—5). Dass diese gesetzmässiger Art sind und nicht etwa

bedingt durch die zufällige Verteilung der Schönwetter- und Schlechtwetterperioden, zeigt die Fig. 6, welche die mittlere Verdunstungsmenge für die drei Sommer 1918 bis 1920 nach monatlichen Mittelwerten darstellt. Der Mai konnte nicht berücksichtigt werden, weil er nur die zweite Monatshälfte der Jahre 1919 und 1920 umfasst und diese in Perioden mit hoher Verdunstung fallen. Das Jahr 1919 brachte einen sehr kalten

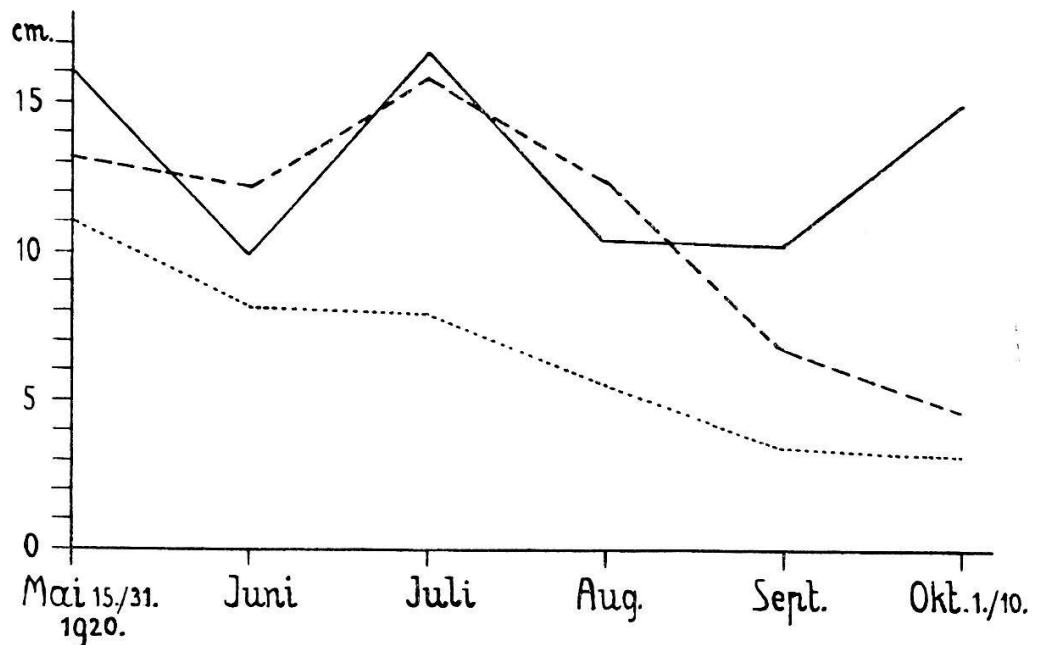


Fig. 5
Verdunstung im Sommer 1920. Tägliche Mittelwerte der monatlichen Perioden
— Mürren - - - Bern Lauterbrunnen

und nassen Juli; sonst würde wahrscheinlich die Kurve für Bern das Maximum im Juli erreichen. Möglicherweise auch für Lauterbrunnen; doch sind dort die Verhältnisse in eigenartiger und einschneidender Weise durch die Lage im tiefen Talgrund bestimmt. Diese bringt eine kurze Sonnenscheindauer mit sich, die vom längsten Tag, wo sie ca. 10 Stunden beträgt, gegen den Herbst hin rasch abnimmt (Aequinoctium ca. 5 Stunden).¹ Die veränderte Aufstellung des Apparates hat in Lauterbrunnen im Gegensatz zu Mürren die Ergebnisse merklich beeinflusst, indem am Standort des Jahres 1918 der leichte Windzug, der gewöhnlich der Lütschine nachstreicht, die Verdunstung beförderte und

¹ Vergl. LÜDI W., Die Pflanzengesellschaften des Lauterbrunnentales. Beiträge zur geobotan. Landesaufnahme 9, 1921 (p. 51).

ebenso 1917 die grössere Entfernung von der Talwand im Vergleich zu 1919 und 1920, vielleicht auch die Spalierwirkung des nördlich vom Apparat stehenden Hauses. Im übrigen haben die Beobachter in Lauterbrunnen stets hervorgehoben, dass vom Juli an auch schönes, trockenes Wetter die Verdunstungsquote nicht beträchtlich zu heben vermöge und dass die tägliche Verdunstung schon früh im Nachmittag als beendigt anzusehen sei,

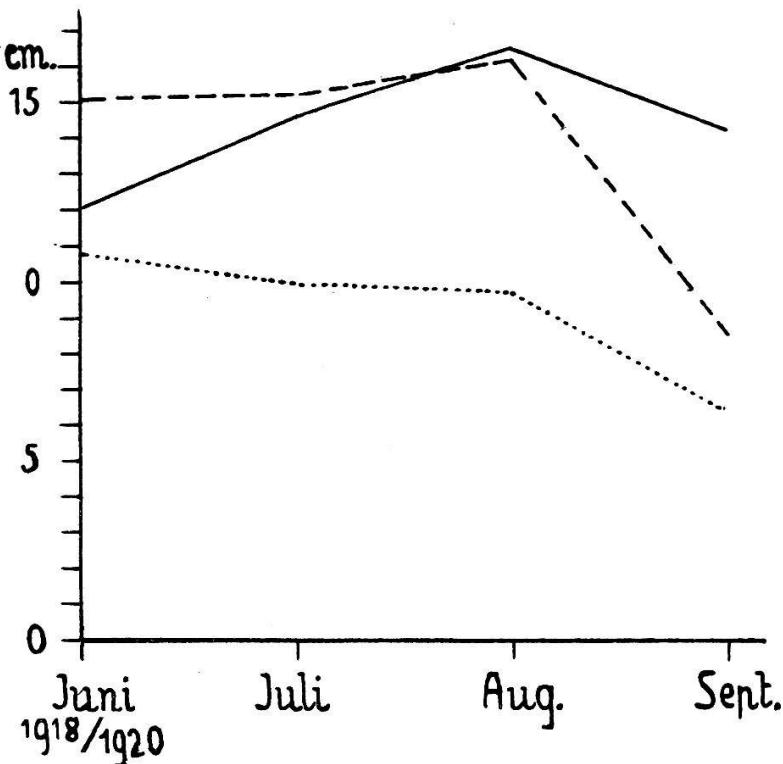


Fig. 6

Mittlere Verdunstung in den Sommern 1918—1920. Tägliche Mittelwerte der monatlichen Perioden (nur für die ganzen Monate Juni-Sept.)

— Mürren - - - Bern Lauterbrunnen

dies vor allem in den beiden letzten Jahren, wo der Apparat mehr der Morgensonne ausgesetzt war. Herr GAMMETER teilte mir schon 1917 mit, die Verdunstung vollziehe sich in der Hauptsache zwischen 9 und 14 Uhr. Die relativ niedrigen Werte und geringen Schwankungen der Station Wengen erklären sich durch ihre geschützte Lage.

In der Höhenstation wird die Verdunstung im Hochsommer und Herbst durch die regelmässig abnehmende Bewölkung erhöht. Ferner müssen wir eine warme, trockene Windströmung aus westlichen Strichen hervorheben, die in dieser Jahreszeit

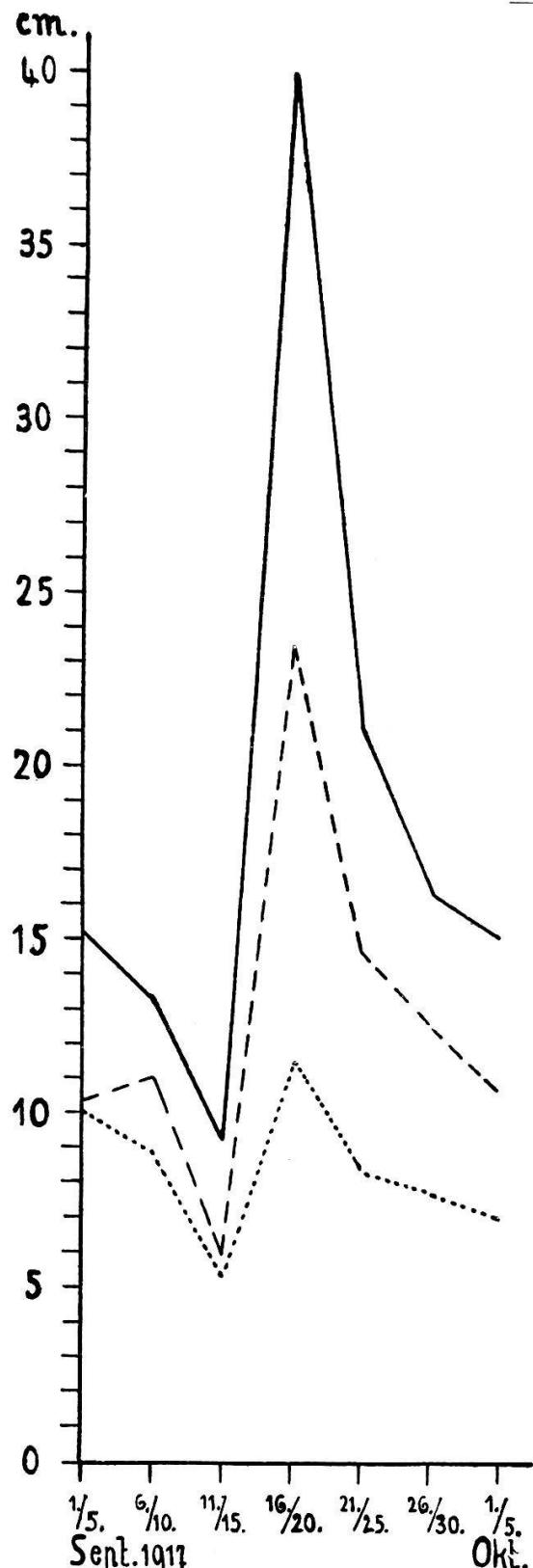


Fig. 7. Verdunstung während einer Föhnströmungsperiode im September 1917. 5 tägige Mittelwerte

— Mürren - - - Wengen Lauterbrunnen

auf den Höhen oft tagelang weht. Diese Windströmung, ich habe sie Föhnströmung genannt,¹ erinnert durch die trockene Luft und die aufhellende Wirkung an den Föhn, macht sich aber oft nicht als Wind fühlbar und reicht in der Regel nicht in den Talgrund hinunter. In Mürren können Föhn und Föhnströmung noch im Oktober sommerliche Verdunstungswerte hervorrufen (vergl. Fig. 1).

Die Wirkung einer solchen Föhnströmungsperiode, vom 17. bis 20. IX 1917 für die Stationen des Lauterbrunnentales ist in Fig. 7 veranschaulicht. Am 19. IX wurde in Mürren eine Verdunstungsmenge von 61 cm^3 innerhalb 24 Stunden gemessen, wo von $24,5 \text{ cm}^3$ auf die Nachtstunden entfallen, während derer gewöhnlich die Verdunstung beinahe aussetzt. Das Barometer stand in diesen Tagen sehr hoch; die Temperatur der Luft überschritt in Mürren tagsüber 20° nicht, bei sehr warmen Nächten; der Wind machte sich nur in vereinzelten Stößen fühlbar und wurde erst oberhalb 2000 m kräftig. Die grosse Lufttrockenheit in gewissen Höhenlagen (und Gegenden) ergibt sich aus den Aufzeichnungen der meteorologischen Station Rigi (1787 m),

¹ 1918 loc. cit.

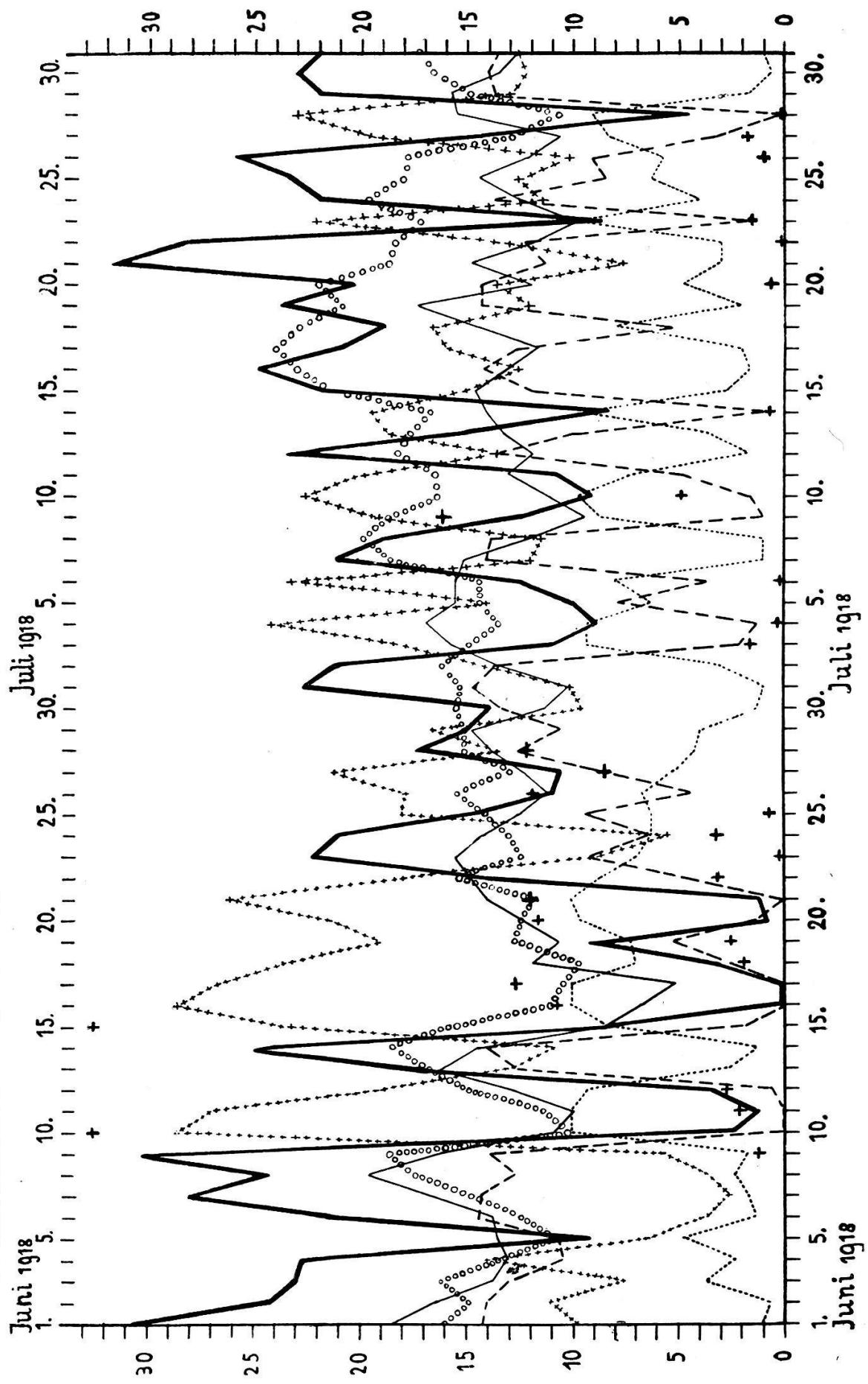
die für die Tage vom 17.—20. IX 1917 eine mittlere Luftfeuchtigkeit von 14 % verzeichnet. In den tiefer gelegenen Stationen der Alpen und des Vorlandes findet sich diese Lufttrockenheit nur angedeutet: Bern (572 m) im Mittel dieser Tage 84 %, Altdorf (456 m) 75 %, ebenso bei höher gelegenen Stationen: St. Gotthard (2102 m) 66 %, Säntis (2500 m) 82 %.

Die geringe Entfernung (ca. 500 m) des tellurischen Observatoriums Bern von der Meßstation (doch liegt das Observatorium höher, 572 m, und freier) legte einen Vergleich der meteorologischen Daten dieser Station mit den Ergebnissen der Verdunstungsmessungen nahe (s. Fig. 8). Es ergibt sich ohne weiteres, dass der Verdunstungswert keinem der übrigen meteorologischen Werte völlig folgt. Die grösste Uebereinstimmung herrscht zwischen Verdunstung und relativer Luftfeuchtigkeit, was sehr leicht verständlich erscheint: je trockener die Luft, desto leichter wird sie Wasserdampf aufnehmen. Nun ist die relative Luftfeuchtigkeit kein primärer Witterungsfaktor, sondern wird durch Luftdruck, Temperatur, Sonnenscheindauer, Niederschlag und Winde bestimmt. Von diesen Faktoren weist die Sonnenscheindauer eine sehr schöne Parallelität mit der Verdunstung auf, ebenso in den Hauptzügen der Gang der Temperatur, deren Höhe jedenfalls für die absolute Grösse der Verdunstung von ausschlaggebender Bedeutung ist.¹ Nach physikalischen Gesetzen sollte einem kleinern Luftdruck eine grössere Verdunstungskraft der Luft entsprechen, was in den Kurven nur sehr bedingt zum Ausdruck kommt, da andere Faktoren oft mit stärkerer Kraft einwirken. Der Luftdruck äussert sich aber bei grossen Luftdruckdifferenzen, etwa im Vergleich von Tiefen- und Höhenstationen: die grössere Verdunstung der letzteren trotz niedrigerer Temperatur ist vornehmlich dem geringen Luftdruck zuzuschreiben. Die Niederschläge verringern die Verdunstung; doch herrscht keine absolute Uebereinstimmung zwischen den beiden Werten, da die Dauer der Nie-

¹ *Anmerkung:* Nach Untersuchungen, die neuestens von B. HUBER (Ber. Deutsch. Bot. Ges. 42, 1924, p. 19—26) ausgebaut worden sind, geht der Verdunstungskraft der Luft die Psychrometerdifferenz so genau parallel, dass sich ein Reduktionskoeffizient finden lässt zur Umrechnung der Psychrometerdifferenz in Millimeter der verdunsteten Wasserhöhe.

Fig. 8. Vergleich der täglichen Werte der meteorologischen Beobachtungen des tellurischen Observatoriums in Bern mit den Verdunstungsmessungen in Bern für die Monate Juni und Juli 1918

- Verdunstungsmenge in cm^3
- mittlerer Luftdruck in mm (0 = 700 mm, jeder Teilstrich höher = 1 mm)
- mittlere Lufttemperatur (1 Teilstrich = 1°)
- ++ mittlere relative Luftfeuchtigkeit (0 = 40%, jeder Teilstrich höher = 2%)
- Sonnenscheindauer (1 Teilstrich = 1 Stunde)
- mittlere Bewölkung (ganz klar = 0; bedeckt = 10)
- + Niederschläge (1 Teilstrich = 1 mm)



derschläge (resp. die Luftfeuchtigkeit) viel wichtiger ist als ihre Menge, und ein kurzer aber heftiger Niederschlag die Verdunstung vorher und nachher nicht hemmt (vergl. z. B. die Werte vom 28. VI mit denen vom 23. und 28. VII und vom 5. VI). Zwischen Windstärke und Verdunstung herrscht für Bern keine Parallelität. Die Windstärken sind in den beiden zur Darstellung gelangten Monaten sehr gering, meist 0 oder 1, und das Mittel erreicht oder überschreitet die Windstärke 1 nur an den folgenden Tagen: 22. VI (1, 2, 1), 23. VI (1, 3, 0), 1. VII (1, 2, 1), 21. VII (2, 2, 0), 27. VII (1, 2, 0). An diesen Tagen steht allerdings auch die Verdunstung hoch, aber in Uebereinstimmung mit andern verdunstungsfördernden Faktoren. Am stärksten zeigt sich wohl die Windwirkung in der Verdunstungsmenge des 21. VII; doch wurde gerade dieser Wert aus der Gesamtsumme vom 21./22. interpoliert und könnte somit auch etwas kleiner sein. Die infolge der Besonnung entstehenden aufsteigenden Luftströmungen sind offenbar stark genug, um die Verdunstungsprodukte rasch zu entfernen, so dass keine Uebersättigung der an die verdunstende Oberfläche angrenzenden Luftschicht eintritt und ein schwächerer Wind die Verdunstung nicht merklich steigern kann. Anders wahrscheinlich bei bedecktem Wetter und stärkerem Wind. Wichtig ist der Einfluss der Windrichtung; doch tritt dieser nicht rein in Erscheinung, sondern durch Beeinflussung der Luftfeuchtigkeit und der Bewölkung.

Z u s a m m e n f a s s u n g d e r E r g e b n i s s e. 1. Im Lauterbrunnentale nimmt die Verdunstungskraft der Luft vom Tal gegen die Höhen hin zu. Die Station Bern im Mittelland bleibt in der Verdunstungsgrösse nur wenig hinter der Höhenstation Mürren zurück.

2. Die Höhenstation weist die stärksten Schwankungen in der Verdunstungsgrösse auf, die Talstation die geringsten.

3. In den Tal- und Vorlandstationen wird das Maximum der Verdunstung im Juni oder Juli erreicht, in den Höhenstationen später, manchmal erst im September, und noch die ersten Oktobertage können hier hohe Verdunstungswerte bringen.

4. Die Verdunstungskurve läuft am besten parallel dem reziproken Wert der Kurve der relativen Luftfeuchtigkeit. Ausser-

dem läuft sie der Sonnenscheindauer-Kurve und der Temperatur-Kurve annähernd gleich. In höheren Lagen wird sie vom Wind stark beeinflusst, und die Wirkung eines trockenen Windes kann den Temperaturausfall mehr als ausgleichen. Vorübergehende, wenn auch heftige Regen (Gewitter) setzen die Verdunstungsmenge für den ganzen Tag nicht stark hinunter.

Diese Ergebnisse schliessen sich an die von AMBERG am Pilatus erzielten an. Doch fehlte Amberg eine Station im Vorlande (er hatte deren fünf aufgestellt, vom Ufer des Vierwaldstättersees bis auf den Gipfel), sowie die ausgleichende Wirkung mehrjähriger Untersuchungen. Ferner sind seine Summen wesentlich kleiner, wahrscheinlich weil er die absorbierende Montierung verwendet hat. Auch in RÜBELS Untersuchung auf der Bernina-Passhöhe (2309 m) zeigt sich im zweiten Beobachtungsjahr (1906) die höchste Verdunstungskraft im Spätsommer (August, September). Doch lassen sich zentralalpine Stationen und insbesondere Paßstationen nicht ohne weiteres mit nordalpinen Stationen vergleichen. Auch stellte RÜBEL seinen Verdunstungsmesser im Schatten auf und benutzte das WILDSche Evaporimeter, also eine verdunstende, freie Wasserfläche, deren Werte nicht auf das LIVINGSTONSche Attrometer bezogen werden können. Die von AMBERG angegebenen Umrechnungswerte $1 \text{ cm}^3 \text{ LIVINGSTON} = 0,054 \text{ mm WILD}$ scheinen mir nicht zu stimmen. Die ebenfalls mit dem WILDSchen Verdunstungsmesser ausgeführten mehrjährigen Messungen in Wien (cit. nach RÜBEL) ergeben eine eingipflige Kurve mit Maximum im Juli, ganz entsprechend der Temperaturkurve, schliessen also an die Ergebnisse der Station Bern an. Die Summen stehen für Wien höher als für Bernina, vielleicht mit Ausnahme des Monats August.

Es war beabsichtigt, auch vergleichende Untersuchungen über die Verdunstungskraft der Luft in den einzelnen Pflanzengesellschaften auszuführen, mit besonderen Apparaten, hergestellt von der Firma STREIT-PFISTER in Bern. Die Tonbecher wurden durch einen Gummischlauch mit einer Bürette verbunden und beide in paralleler, aufrechter Stellung auf einem Brettchen montiert, das durch einen Eisenstiel in senkrechter oder schiefer Lage auf dem Boden befestigt werden konnte.

Ferner wurde versucht, Tonbecher zu schwärzen, da der geschwärzte Zylinder sich durch die Besonnung erwärmt und grössere Werte gibt, also, neben den gewöhnlichen Zylinder gestellt, ein Mittel zur Integration der Insolation liefert (Radioatmometer). Als taugliches Mittel zur Schwärzung erwies sich nach mehreren Fehlversuchen eine alkoholische Nigrosinlösung. Sie verringerte die Verdunstungsfähigkeit nur unbedeutend (Erhöhung des Reduktions-Koeffizienten von 0,76 auf 0,78) und war dauerhaft. Die Bürettenapparate sind kompendiös, leicht im Rucksack mitzuführen und auch sehr empfindlich. Doch erwärmt sich bei Besonnung das Wasser leicht in der kleinen Bürette, die als Reservoir dient, wodurch eine zu grosse Verdunstung entsteht. Diese Fehlerquelle müsste gründlich durchgeprüft werden.

Um allgemein vergleichbare Ergebnisse über die Verdunstungsverhältnisse einzelner Pflanzengesellschaften oder Lokalklimate zu erhalten, sind räumlich und zeitlich ausgedehnte Untersuchungen notwendig. Meine eigenen Versuche sind vorläufig nicht weit gediehen. Sie zeigen aber, wie auch die Untersuchungen MÜLLERS mit der Bürettenmontierung in den Spalten und an der Felsoberfläche eines Karrenfeldes, und wie die wenigen Untersuchungen WETTERS über den Einfluss der Exposition, ausgeführt mit der AMBERGSchen Montierung, dass sich solche Studien schon lohnen würden. Nachfolgend noch einige Ergebnisse aus dem Jahre 1917.

1. Eidg. Münzstätte, Bern.

a. 11./12. V, Verdunstung innerhalb 24 Stunden:

Garten, auf einem Rasenplatz (kurzgeschoren)	21,3 cm ³
Dachterrasse, 10 m üb. d. Boden, Kies	39,0 cm ³
ebenda, der geschwärzte Tonbecher	49,7 cm ³

b. 23./24. V, Verdunstung innerhalb 24 Stunden:

Garten, auf einem Rasenplatz	20,6 cm ³
ebenda, 50 cm über dem Boden	22,2 cm ³
Garten, a. e. Kiesplatz, 50 cm über dem Boden	25,4 cm ³

Diese Messungen erfolgten bei schönem Wetter; bei ungünstiger Witterung zeigten sich bei kleineren Summen die gleichen Verhältnisse. Der geschwärzte Tonbecher verdunstete im Freien auch bei bedecktem Himmel stets mehr, als die unter gleichen Bedingungen aufgestellten weissen Becher. Bemerkenswert ist die Zunahme der Verdunstung bei erhöhter Lage.

2. Wengernalp, 1860 m, 27. VII, im *Nardetum*, Himmel klar, Apparate sonnent, Dauer des Versuches 8 Stunden (8 $\frac{3}{4}$ —16 $\frac{3}{4}$):

gewöhnliches Atmomter, pro Stunde im Mittel	1,47 cm ³
Radioatmomter, pro Stunde im Mittel	2,12 cm ³

3. Wengernalp, 1970 m, 28. VII, Felsnische, SW-Exp., Apparate sonnent, Dauer des Versuchs 2 $\frac{1}{2}$ Stunden (15.05—17.35):

gewöhnliches Atmomter, pro Stunde im Mittel	1,84 cm ³
Radioatmomter, pro Stunde im Mittel	2,86 cm ³

4. Wengernalp, 1860 m, 28. VII, Sonne, morgens Tau, Lufttemperatur um 14 Uhr = 17,8°, zeitweise etwas Wind, Dauer des Versuchs 5 $\frac{1}{2}$ Std. (8 $\frac{3}{4}$ —14 $\frac{1}{4}$):

<i>Nardetum</i> - Trockenwiese, flach ESE-Exp., pro Stunde im Mittel	2,59 cm ³
<i>Sphagnum</i> - Moor, flach gelegen, pro Stunde im Mittel	1,28 cm ³
Fichtenwald, flach S-Exp., etwas licht, pro Stunde im Mittel	1,14 cm ³

5. Wie 3.

Felsennische, windgeschützt, pro Stunde im Mittel	1,84 cm ³
<i>Loiseleurietum</i> , flach N-Exp., etwas Wind, pro Stunde im Mittel	1,64 cm ³

6. Känelegg bei Mürren, 1800 m, 16. IX, Dauer 8 Std. (11 $\frac{1}{4}$ —19 $\frac{1}{4}$), Himmel klar, Lufttemperatur zu Beginn 15,7°, am Ende 9°:

<i>Nardetum</i> , S-Exp. (Sonnentemp. zu Beginn 27°), im Mittel pro Stunde	1,56 cm ³
Unt. Grünerlen, N-Exp. (Sonnentemp. zu Beginn 14,8°), im Mittel pro Stunde	0,56 cm ³

Hier wird im Grünerlenbestand die Verdunstung durch die fehlende Besonnung und den Mangel an Luftbewegung verringert.

7. Brünli bei Mürren, 2115 m, 17. IX, Dauer 7 Std. (9 $\frac{1}{4}$ —16 $\frac{1}{4}$). Bewölkt, heiss und trocken, W-Wind, Lufttemperatur zu Beginn 15°:

<i>Nardetum</i> - Trockenwiese, 2135 m, steil S-Exp. pro Stunde im Mittel	2,82 cm ³
Schiefer - Schutthalde, 2105 m, steil S-Exp. pro Stunde im Mittel	2,17 cm ³
Frischwiese, 2120 m, steil NW-Exp. (ab 12 Uhr Sonne), pro Stunde im Mittel	1,95 cm ³

8. Engetal bei Mürren, 2440—2450 m, 18. IX. Bewölkt, warm und trocken, W-Wind, zeitweise heftig, Lufttemperatur 10.50 = 13,8°, 14 Uhr = 19°. Alle Bodentemperaturen sind mit dem Schwarzkugelthermometer gemessen, in 4 cm Tiefe.

a. *Curvuletum* - Trockenrasen auf flachem Rücken:

10.50—11.50 = 2,96 cm ³	13.50—14.50 = 3,34 cm ³
11.50—12.50 = 3,26 cm ³	14.50—15.50 = 4,40 cm ³
12.50—13.50 = 3,65 cm ³	Mittel = 3,52 cm ³
14.50 Bodentemperatur = 13°.	

b. *Salix herbacea* - Schneetälchen, flach N-Exp., sonnent, Boden feucht:
 $10.50 - 11.50 = 2,43 \text{ cm}^3$ $11.50 - 12.50 = 2,73 \text{ cm}^3$
 12.50 Bodentemperatur = $11,5^\circ$.

c. *Elynetum* - Trockenrasen, flach S-Exp., Windecke:
 $11 - 12 = 3,11 \text{ cm}^3$ $12 - 13 = 3,11 \text{ cm}^3$
 12.15 Bodentemperatur = $18,2^\circ$,
Sonnentemperatur = $29,5^\circ$ (Schwarzkugelthermometer = $43,5^\circ$).

d. *Polytrichum* - Schneetälchen, flach (Boden der Mulde), sonnent, windgeschützt:
 $12.50 - 13.50 = 2,66 \text{ cm}^3$ $14.50 - 15.50 = 3,42 \text{ cm}^3$
 $13.50 - 14.50 = 2,73 \text{ cm}^3$
 12.15 Bodentemperatur = 12° .

e. *Seslerieto - Semperviretum* - Trockenrasen auf Kalkfelsbändern, steil S-Exp., teilweiser Windschutz:
 $13 - 14 = 3,11 \text{ cm}^3$ $14 - 15 = 3,19 \text{ cm}^3$
 15 Uhr Bodentemperatur = $13,5^\circ$.

f. Schutthalde, steil S-Exp., meist Feinschutt und Feinerde, oberflächlich trocken:
 $15.10 - 16.10 = 4,03 \text{ cm}^3$
 16.10 Bodentemperatur = $21,5^\circ$.

In Beispiel 7. und 8. sind die Verschiedenheiten der einzelnen Lokalklima durch die grosse Lufttrockenheit der Föhnströmung in hohem Masse ausgeglichen (vergl. p. 196/97).

X.

Studien über die Bakterienflora alpiner Böden

Von M. DÜGELI, Zürich

Eingegangen 7. März 1925

Die an verschiedenen Orten und in wechselnden Jahreszeiten ausgeführten Untersuchungen zahlreicher Forscher haben ergeben, dass die land- und forstwirtschaftlich benutzten Böden des Tief- und Flachlandes eine eigentliche Brutstätte für zahlreiche Mikroorganismen sind. Dem in seinen mannigfaltigen Erscheinungen und Formen bewunderungswürdigen Leben auf dem Boden entspricht ein ebenso reiches Leben im Bodeninnern. Während aber das Leben auf dem Boden vorwiegend aufbauende Prozesse vollzieht, betätigen sich die Lebewesen im Boden vorherrschend mit Abbauvorgängen, indem sie jene