

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 24 (1933)

Heft: 25

Artikel: Aus der Praxis der Eislastbestimmungen

Autor: Wald, Emil

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059553>

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: 15.01.2026

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

Aus der Praxis der Eislastbestimmungen.

Von Emil Wald, Brünn.

621.315.056.5

Anschliessend an eine frühere Abhandlung¹⁾ wird die praktische Anwendung einer einfachen Eislastmessung nach den Erfahrungen der letzten Rauhreifperiode beschrieben. Die Auswertung der Messresultate hat erwiesen, dass die rechnerische Voraussetzung (quadratische Zeitabhängigkeit der Rauhreifbildung) praktisch genügend genau ist. Auf Grund theoretischer Ueberlegungen wird gezeigt, wie die Eislast an einer im Betriebe stehenden Leitung vorausbestimmt werden kann. Zum Schluss wird eine Anleitung zu einer einfachen, durch das Betriebspersonal ausführbaren Eislastmessung gegeben.

Besonderes Interesse bietet der Abschnitt über die auf Grund von Florakarten mögliche Vorausbestimmung von Gebieten, die durch Rauhreif gefährdet sind. Derartige Untersuchungen über den Zusammenhang von Rauhreifbildung an Leitungen und Flora fehlen für die Schweiz. Sie können hier vielleicht auch nicht mehr gleich grosse Dienste leisten wie in Ländern, die noch kein so dichtes Leitungsnetz aufweisen; immerhin dürfte es auch von Interesse sein, festzustellen, ob solche Zusammenhänge auch in der Schweiz vorliegen, und wir sind gerne bereit, Interessenten, die solche Untersuchungen vornehmen wollen, mit einem Botaniker in Verbindung zu bringen.
(Die Redaktion.)

1. Einleitung.

Im letzten Jahr wurde über eine einfache Eislastmessung berichtet, welche darin besteht, dass während einer natürlichen Eislastbildung die Eislast in zwei verschiedenen Stadien festgestellt wird. Aus diesen zwei Werten wird mit Hilfe der angenommenen Zeitabhängigkeit $Z = kt^2$ die spezifische Eislast Z_{24} , d. i. das theoretische Eislastgewicht für 24 Stunden, berechnet, wodurch die klimatischen Verhältnisse der Gegend in bezug auf Eislastbildung sehr einfach charakterisiert werden können.

Nun möchten wir einige Messresultate aus der vergangenen — in dem Gebiete der Westmährischen Elektrizitätswerke sehr ausgiebigen — Rauhreifperiode anführen und nach der neuen Methode auswerten.

Die im erwähnten Artikel angewendeten Bezeichnungen sind noch folgendermassen zu ergänzen:

- (t) Theoretische Dauer der Eislastbildung in h.
- τ Beobachtungszeit in h.
- T Wirkliche Zeit in h, während welcher ein Leiter der Eislastbildung ununterbrochen ausgesetzt wird.
- (Z) Theoretische Eislast, Gewicht der vollen Eiswalze in g/m.
- Z' Zuwachs der Zusatzlast in g/m.
- Z_0 Ersatzgewicht für den Anfangszustand der Messung in g/m.
- ζ Grundlast, d. i. die wirklich gebildete Eislast auf dem blanken Leiter in g/m.

2. Zwei Grundformeln für die Eislast.

Die quadratische Zeitabhängigkeit

$$Z = k t^2 \quad (2) \sup{1)}$$

¹⁾ «Kann die natürliche Eislastbildung mathematisch dargestellt werden?» Bull. SEV 1932, S. 683.

Se rapportant à un article précédent¹⁾, l'auteur décrit, en tenant compte des expériences de la dernière période de givre, l'application pratique d'une mesure simple de la charge de glace. Le dépouillement des résultats fait ressortir que la loi mathématique ayant servi de base (formation du givre-fonction du carré du temps) est suffisamment exacte en pratique. Partant de considérations théoriques, l'auteur montre ensuite comment on peut pré-déterminer la charge de glace qui se formera sur une ligne en service et termine en exposant une méthode simple permettant de faire mesurer la charge de glace par le personnel d'exploitation.

Un intérêt particulier offre le chapitre sur la pré-détermination des contrées exposées à la formation du givre, à l'aide de cartes de la flore. En Suisse, il n'a encore été effectué aucune recherche sur la corrélation entre la flore et la formation de givre sur les lignes. Ces recherches ne peuvent naturellement pas rendre les mêmes services éminents que dans des pays dont le réseau de lignes n'est pas si dense que chez nous. Cependant, cela pourrait offrir un certain intérêt de rechercher si de telles corrélations existent aussi en Suisse; nous sommes donc prêts à mettre en relations avec un botanicien toute personne qui voudra entreprendre des recherches dans ce sens. (La rédaction.)

wurde unter Voraussetzung einer gleichmässigen Eislastbildung um den Leiter herum abgeleitet. Die ausgeführten Messungen haben jedoch gezeigt, dass die Zusatzlast bei fahnenförmigen Querschnitten auch mit dieser quadratischen Formel berechnet werden kann. Die einseitigen Eislasten bestehen nämlich meist aus kristallinischen Gebilden, die offenbar nur in der Längsrichtung der Kristalle mit einer höheren als quadratischen Potenz wachsen, so dass die resultierende Eislast auch hier mit t^2 zunimmt.

Für eine bequeme Eislastberechnung ist es von Vorteil, die Querschnitte in mm^2 und die Gewichte in g/m auszudrücken. Wir erhalten dann die zweite einfache Beziehung

$$Z_{\text{g/m}} = \gamma_{\text{kg/dm}^3} \cdot S_{\text{mm}^2} \quad (5)$$

Der Wert γ bedeutet das Gewicht des scheinbaren Volumens der Eislast und kann durch Abwägen von 10 Litern konstatiert oder auch nur nach Erfahrung geschätzt werden. Der Durchmesser der anhaftenden Niederschläge kann leicht mit einem in der Photographie angewendeten Nachdistanzmesser sehr genau vom Boden aus gemessen werden. (Siehe auch «Fernmessung der Eislast», ETZ 1933, S. 893.)

Vom betriebstechnischen Standpunkt aus sei noch bemerkt, dass glücklicherweise jede Schätzung des anhaftenden Behanges zur Uebertreibung neigt. Es werden sowohl die Dimensionen als auch das spezifische Gewicht gewöhnlich zu hoch geschätzt, was schon viele Leitungen vor Beschädigung gerettet hat.

3. Praktische Ausführung der Messungen.

Die Eislastmessungen wurden teils an einer vorhandenen Leitung, teils mittels Probestäben (Fig. 1) ausgeführt. In Fig. 2 ist eine der schnell improvisierten

sierten Meßstationen im Rauhreifgebiete — etwa 30 km westlich von Brünn, Kote 510 — abgebildet. Die hölzernen Meßstangen²⁾ von 1 m Länge und

seits die Grundlast, anderseits aber auch einen Vergleichswert für die Ausgiebigkeit der Rauhreifbildung in einzelnen Zeitabschnitten erhielten.

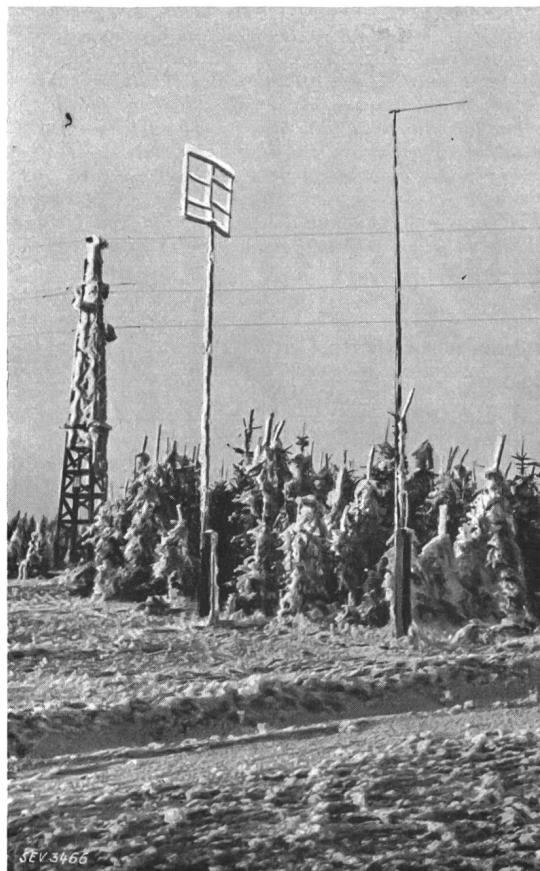


Fig. 1.
Probestab.

von verschiedenen Durchmessern (10, 30, 60 und 80 mm) wurden rechts in einem Rahmen herausnehmbar gelagert; auf dem linken Mast war eine gewöhnliche Wage mit einem Schutzdeckel und ein

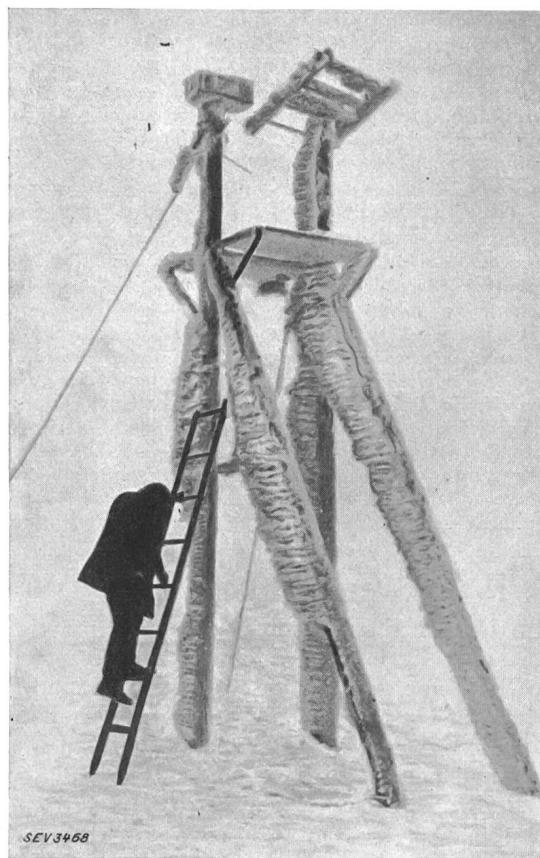
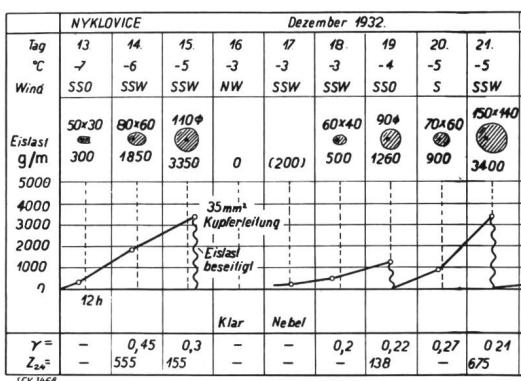


Fig. 2.
Meßstation.,

Auf der in der früheren Veröffentlichung erwähnten Kote 720 m wurde die Eislast direkt an den Leitern beobachtet und abgewogen. Dadurch wurden sehr brauchbare Durchschnittswerte erhalten.

Tabelle I.



Meßstab, der den Leiter ersetzt hat (Kupferrohr von 8/10 mm Durchmesser). Dieser Meßstab wurde nach jeder Messung gesäubert, wodurch wir einer-

Dezember 1932.							Jänner ... 3.	
27.	28.	29.	30.	31.	1.	2.	3.	
-6	-6	-6	-6	-6	-5	-6		
S	SSW	SSW	SSW	SSW	S	SSW		
80x70 1400	90 ⁺ 1150	90 ⁺ 2400		110 ⁺ 2600		100 ⁺ 2400		
35mm² Bronzeliegung								
0,3	-	0,33	-	0,28	-	0,31		
50	-	250	-	-	-	-		

Nebel

ten, die es ermöglichen, die ganze zweimonatige Periode in einer recht übersichtlichen Tabelle (Tabelle I) zusammenzufassen.

Die Eislastgewichte der Leitungen waren jedesmal etwas grösser als die der Meßstäbe, da sich die Leiter infolge ihres Zitterns in dem niederschlagsreichen Nebel bewegen und somit eine grössere

²⁾ Die Eislastbildung kann als praktisch unabhängig vom Material des Meßstabes betrachtet werden, eine Erfahrung, die auch Prof. Dr. C. Kassner in den «Mitteilungen der Vereinigung der Elektrizitätswerke» 1925, S. 2, anführt.

Eishölle erhalten als der unbewegliche Maßstab. Es wird nicht schwer sein, die hiefür erforderlichen Umrechnungsfaktoren in weiteren Messungen experimentell zu bestimmen.

Der Anfangsdurchmesser des Holzstabes wäre auf Grund der in den Sicherheitsvorschriften angegebenen grössten Eislast («Kontrollfall») unter Zugrundelegung von $\gamma = 0,9$ zu bestimmen³⁾. Nach den tschechoslowakischen Vorschriften (ESČ) ist die grösste Eislast nach der von Prof. V. List vorgeschlagenen Formel

$$Z_{\text{g/m}} = 2000 + 10 S_{\text{mm}^2}$$

zu bestimmen. Daraus ergibt sich für die Querschnitte von 16 bis 95 mm² der gefährliche Eislastdurchmesser von 55 bis 65 mm, so dass bei uns einheitlich mit einem Holzstab von 60 mm Durchmesser die Eislast gemessen werden könnte.

4. Auswertung der Messergebnisse.

Aus Gl. (2) folgen die weiteren Berechnungsformeln:

$$\text{theoretische Zeit } t_1 = \frac{\tau}{\sqrt{\frac{Z_2}{Z_1} - 1}} \quad (4)$$

$$\text{Zeitkonstante } k = \frac{Z_1}{t_1^2} \quad (6)$$

$$\text{spezifische Eislast } Z_{24} = \left(\frac{24}{t_1} \right)^2 \cdot Z_1 \quad (7)$$

Aus den äussersten Werten (Versuch 1 und 5) können die theoretische Zeit, die Zeitkonstante und die spezifische Eislast nach den Gleichungen 4, 6 und 7 berechnet werden.

$$t_1 = \frac{24}{\sqrt{\frac{6464}{3704} - 1}} = \underline{74,75 \text{ h}} \quad k = \frac{3704}{74,75^2} = \underline{0,6629}$$

$$Z_{24} = \left(\frac{24}{74,75} \right)^2 \cdot 3704 = \underline{391 \text{ g/m.}}$$

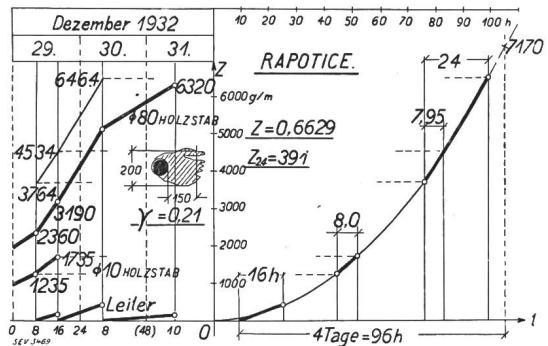


Fig. 3.

Wir wollen nun voraussetzen, dass die gemessenen Eislasten nach einem und demselben Gesetz gebildet wurden, nämlich nach der Gleichung

$$Z = 0,6629 t^2$$

und berechnen die zugehörigen Zeiten (Tab. III).

Tabelle II.

Versuch	Datum	h	Leiter $\varnothing 8/10$ ξ	Holzstab von						Beobachtungszeit τ h	
				10 mm \varnothing			80 mm \varnothing				
				Z'	Z ₀	Z	Z'	Z ₀	Z		
1 und 3	29. 12	8	0	1215			1235	2360		3704	
2 und 4	29. 12	16	160	1715	20		1735	3190	1344	4534	8
5	30. 12	8	410				5120		6464		16
6	31. 12	10	150				6320				

Wir können jetzt die Endresultate des Messprotokolles Rapotice (Fig. 3) nachrechnen. Die Grundlast vom 31. Dezember zeigt, dass die Rauhreibbildung an diesem Tage stark abgenommen hat. Wir wollen daher nur den Verlauf vom 29. Dezember 8 Uhr bis 30. Dezember 8 Uhr berücksichtigen.

In Tabelle II sind die Ausgangswerte der Berechnung zusammengestellt (Gewichte in g/m).

Für die Berechnung von ξ wurde die geometrische Form der Eislast vom 31.12. 10 Uhr (Fig. 3) angenommen und ergab:

Ersatzgewicht für

$$\text{Holzstab } 10 \text{ mm } \varnothing \quad \xi = 0,21 \cdot 10 \cdot 10 = 20 \text{ g/m}$$

$$\text{Holzstab } 80 \text{ mm } \varnothing \quad \xi = 0,21 \cdot 80 \cdot 80 = 1344 \text{ g/m.}$$

³⁾ Siehe Bull. SEV 1932, S. 685.

Versuch	Z g/m	t h	Beobachtungszeit berechnet h	Beobachtungszeit gemessen h
1	1235	43,16		
2	1735	51,16	8,00	8
3	3704	74,75		
4	4534	82,70	24,00	24 ¹⁾
5	6464	98,75		

¹⁾ Ausgangswert für die Berechnung siehe Tabelle II.

Die theoretische Zeitkurve ist aus Fig. 3 ersichtlich.

5. Vorausbestimmung der Eislast.

In der soeben beschriebenen Weise wurde eine Reihe von Messungen nachgerechnet, und es wurde überall eine sehr gute Uebereinstimmung mit der Wirklichkeit gefunden. Es scheint daher, dass man mit der einfachen quadratischen Zeitabhängigkeit für diese Zwecke auskommt.

Versuchen wir die Eislast auf Grund der erwähnten Berechnung vorauszubestimmen, und zwar für z. B. vier Tage ununterbrochener Rauhreifbildung. Es ist nötig, vorerst den theoretischen Anfang mit der Wirklichkeit zu vergleichen. Hiezu dienen die auf dem wirklichen Leiter gemessenen Werte ζ , die in Tabelle II angeführt sind. Vom 29.12. 16 h bis 30.12. 8 h, als in 16 Stunden, entstand auf dem blanken Leiter 410 g/m Rauhreif. Theoretisch entspricht dieser Wert einer Zeitdauer von 24,87 h (berechnet aus $Z = 0,6629 \cdot t^2$). Die theoretische Zeit der Eislastbildung ist daher um die Differenz

$$24,87 - 16 = 8,87 \text{ h}$$

grösser, und es ist allgemein für diesen Fall

$$t = T + 8,87.$$

der beschriebenen Zeitperiode — mit einem Messresultat vergleichen. Es wurde nämlich bei Nyklovice (Fortsetzung der Tabelle I) vom 31.10. 1932 bis 4.1. 1933, also in vier Tagen, ein Wert von 7100 g/m an einer Leitung von 35 mm² durch direktes Wägen festgestellt. Die spezifische Eislast der letzten 24 Stunden dieses Versuches betrug $Z_{24} = 311 \text{ g/m}$, was (mit Rücksicht auf die quadratische Abhängigkeit) nicht weit von unserem ($Z_{24} = 391$) nachgerechneten Falle liegt.

Bei diesen Vorausbestimmungen wird wahrscheinlich die Extrapolation der Zeitkurve mittels einer Tangente vorzunehmen sein, was erst die weiteren Messungen entscheiden werden.

6. Vorausbestimmung der Rauhreifgebiete.

Als Schlüssel hiefür wurde vom Verfasser die geobotanische Florakarte erkannt. Die Bodendecke (Vegetation) hängt unter anderem auch von der Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Bodenbeschaffenheit ab. Während der Jahrtausende wurden die Pflanzengesellschaften allen Ausschlägen der klimatischen Faktoren ausgesetzt und haben auf diese Art ganz bestimmte Florengebiete als Folge des

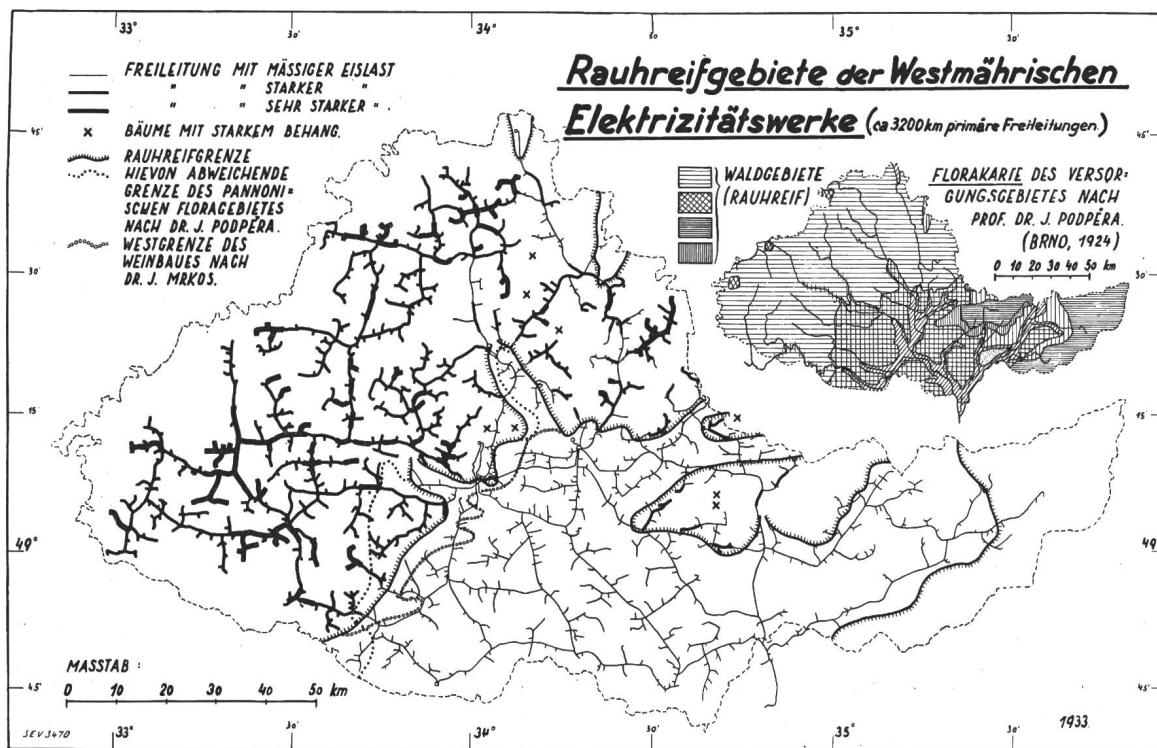


Fig. 4.

Die angenommenen vier Tage ergeben daher eine theoretische Zeit von

$$t_x = 4 \cdot 24 + 8,87 = 104,87 \text{ h}$$

und die daraus berechnete Eislast für vier Tage beträgt

$$Z_x = 7170 \text{ g/m}$$
 (siehe auch Fig. 3).

Diesen berechneten Wert können wir — dank der ungemein gleichmässigen Rauhreifbildung in

gegenseitigen Kampfes ums Leben gebildet. Diese Florengebiete zeigen am sichersten die Witterungsverhältnisse der Gegend und können daher auch zur Beurteilung der Rauhreifgebiete mit Erfolg in Betracht gezogen werden.

In dem Versorgungsgebiete der Westmährischen Elektrizitätswerke zeigt das mitteleuropäische Waldgebiet überall starke Eislastbildungen, wogegen das pannonische Florengebiet ganz minimale

Rauhreifbildung aufweist. Die Uebereinstimmung ist ganz überraschend, besonders dort, wo grössere relative Höhenunterschiede ganz ausgesprochene Grenzlinien der Pflanzengebiete verursachten. Entgegen der allgemein verbreiteten Meinung, dass die Höhe ü. M. allein für das Erscheinen von schwerem Rauhreif massgebend ist, haben unsere Studien gezeigt, dass einige Gebiete, in welchen sogenannte xerothermophilen (trocken, wärmeliebend) Pflanzengesellschaften vorkommen, also bei uns das pannonicische Gebiet, auch in der Höhe von 450 (Jeříčko) und 500 m (Zwittau) ü. M. liegen können.

Das Waldgebiet steigt dagegen mitunter auch bis zu einer Höhe von 190 m ü. M. herab (Karpathenhänge nördlich Bratislava, unser Nachbargebiet), wo tatsächlich starker Rauhreif konstatiert wurde.

Als eine allgemein gültige Regel für die Vor- ausbestimmung der Rauhreifgebiete kann gelten: *Gleiche Florengebiete weisen gleiche Eislastbildung auf.*

Die mit Hilfe einer geobotanischen Karte nach Prof. Dr. J. Podpera (Botanisches Institut der Masaryk-Universität Brünn) und auf Grund von mehrjährigen Eislastbeobachtungen festgestellten Rauhreifgebiete der Westmährischen Elektrizitätswerke zeigt die Linienkarte in Fig. 4.

Im südwestlichen Bereich wurde in die Karte auch die Westgrenze des Weinbaues nach Dr. J. Mrkos (Landwirtschaftliches Forschungsinstitut in Brünn, 1930) eingezeichnet. Die hier verwendete Florakarte vom Jahre 1924 entspricht in dem genannten Bereich nicht mehr ganz den neueren geobotanischen Forschungen, die derzeit aber noch nicht abgeschlossen sind (Dr. J. Susa). Die Rauhreifgrenze verfolgt hier die Weinbaugrenze, welche ebenfalls die Scheidelinie zwischen dem pannonicischen und dem Waldgebiet annähernd angibt.

7. Anwendung der neuen Messmethode in der Praxis.

In erster Linie müssen während einer Rauhreifperiode die *Witterungsverhältnisse* und *meteorologische Prognosen* dauernd verfolgt werden, damit wenigstens für den nächsten Tag der weitere Verlauf richtig vorausbestimmt werden könnte.

Die zweite Grundbedingung für die Wartung der bedrohten Leitungen ist die jeweilige Kenntnis der Dimensionen des *anhafenden Eislastgewichtes* und die Kenntnis der *Tragfähigkeit der Leitung* (bis zur Dauerfestigkeit des Materials).

Als dritte Unterlage wird die *Zeitkurve* durch direktes Messen festgestellt. Es werden gleichzeitig

ein Holzstab (Durchmesser 50 bis 100 mm)⁴⁾ und der Leiter (Kupferrohr vom Leiterdurchmesser) an geeigneten Stellen in der Höhe der Leiter dem Rauhreif ausgesetzt und nach etwa vier bis sechs Stunden abgewogen. Auf diese Art werden folgende Werte gemessen:

ζ die Grundlast,

Z' die Vergrösserung der Zusatzlast.

Aus dem Volumen wird dann das spezifische Gewicht γ und mit dessen Hilfe

Z_0 das Ersatzgewicht des Holzstabes berechnet.

Nun können aus Gl. (4) die theoretische Zeit t und aus Gl. (7) Z_{24} , die spezifische Eislast, berechnet werden, wodurch die Zeitkurve festgestellt wird. Der theoretische Anfang der Zeitkurve wird durch Einsetzen der Grundlast den wirklichen Verhältnissen, unter welchen sich die Eislast am Leiter bildet, angepasst.

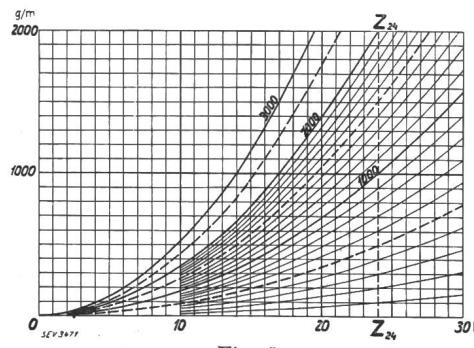


Fig. 5.

Dieses Verfahren kann durch Verwendung einer Kurvenschar nach Fig. 5 wesentlich vereinfacht werden, indem die theoretischen Eislastgewichte und die Beobachtungszeit im Maßstabe der Kurven auf ein Pauspapier aufgetragen werden und sodann durch blosses Auflegen die zugehörige Kurve ausgesucht wird.

Auf der so gefundenen Zeitkurve kann das zu erwartende Eigengewicht für beliebige Zeitschnitte direkt abgelesen werden.

Die so erhaltenen Resultate können als massgebend für den ganzen, einem und demselben Pflanzengebiete zugehörigen Bereich angenommen werden. Die Ausführung der hiezu notwendigen Messungen in der Natur ist so einfach, dass diese dem normalen Linienpersonal überlassen werden kann.

⁴⁾ Dass diese Vereinfachung zulässig ist, hat die Erfahrung gezeigt.