

Zur Frage der Vorhersage des nächtlichen Temperatur- minimums.

Von H. Liedemann.

Über die Vorhersage des nächtlichen Temperaturminimums ist schon seit Ende des vorigen Jahrhunderts eine Reihe von Arbeiten geschrieben worden. Den älteren Untersuchungen liegen hauptsächlich die bekannte Taupunktregel und die sog. Kammermannsche Methode zu Grunde. Dieselben ermöglichen es nach dem Taupunkt bzw. nach der Angabe des feuchten Thermometers um 13^h oder 21^h die tiefste Temperatur der kommenden Nacht vorherzubestimmen. In der neueren Zeit ist das Problem von A. Ångström¹ für Upsala und E. Less² für Berlin eingehender untersucht worden. In letzteren Arbeiten werden bei den Prognosen des Temperaturminimums ausser der Luftfeuchtigkeit noch andere meteorologische Elemente und die allgemeine Wetterlage in Betracht gezogen.

In nachstehender Untersuchung ist der Versuch gemacht worden für Tartu nach den Angaben des Psychrometers, der Bewölkung, der Windrichtung und der Windgeschwindigkeit um 21^h, sowie unter Berücksichtigung der Wetterkarte das Temperaturminimum der folgenden Nacht zu bestimmen. Das genannte Problem ist für die Monate April bis Oktober, also für die Zeit der Vegetation der Jahre 1925—1929 untersucht worden.

Zunächst sind die Mittelwerte der in Betracht kommenden Witterungsfaktoren berechnet worden. In Fig. 1. ist die mittlere Temperaturabnahme von 21^h bis zum Minimum der folgenden Nacht und gleichfalls einige andere diese Abnahme beeinflussende meteorologische Elemente für die einzelnen Monate dargestellt. Wie aus Fig. 1 ersichtlich, ändert sich die Kurve der nächtlichen Tempe-

¹ „Studien über das Frostproblem“. Met. Zeitschrift 1921, S. 119.

² „Über die Vorausbestimmung des nächtlichen Temperaturminimums“. Met. Zeitschrift 1930, S. 127.

Est. A

Tartu Ülikeeli
Raamatukogu

raturabnahme annähernd in derselben Richtung, wie diejenige der Temperatur um 21^h und entgegengesetzt den Kurven der relativen Feuchtigkeit, der Bewölkung und der Windgeschwindigkeit, beobachtet um 21^h.

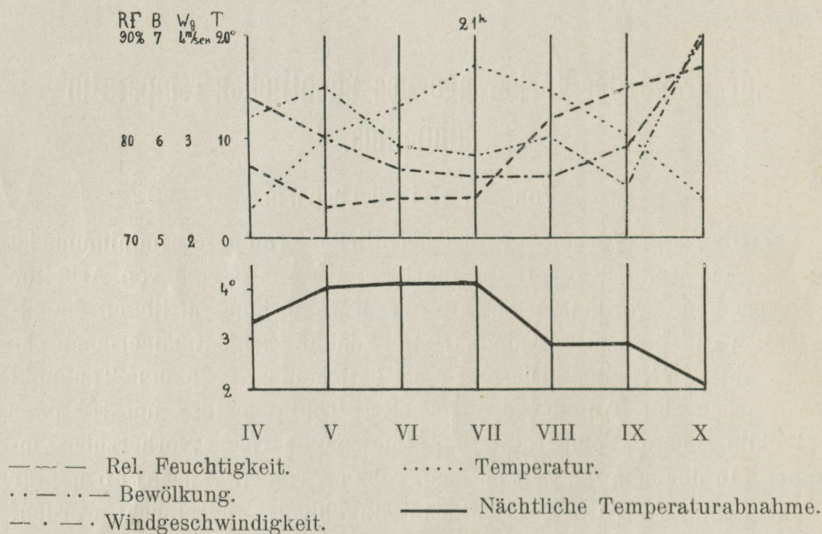


Fig. 1.

Um den Einfluss der Bewölkung deutlicher zum Ausdruck zu bringen ist in Fig. 2 die mittlere Temperaturabnahme in der Nacht bei verschiedenen Bewölkungsgraden dargestellt. Die erwähnte Temperaturabnahme ist am geringsten bei starker Bewölkung, d. h. wenn mehr als 8 Zehntel des Himmelsgewölbes mit Wolken bedeckt sind. Bei den mittleren Bewölkungsgraden (2—8 Zehntel) ist die Temperaturabnahme in der Nacht um 1.2° und bei schwacher Bewölkung (kleiner als 2 Zehntel) um 1.0° grösser als bei der Bewölkung über 8 Zehntel.

Aus Fig. 3, in welcher die nächtliche Temperaturabnahme bei kleinen (0.0—2.0 m/sec), mittleren (2.1—4.0 m/sec) und grossen (über 4.0 m/sec) Windgeschwindigkeiten graphisch dargestellt ist, ersehen wir die Abhängigkeit der Temperaturabnahme von der Windgeschwindigkeit. Durchschnittlich nimmt die in der Nacht stattfindende Abkühlung mit Zunahme der Windgeschwindigkeit um ein Weniges ab.

Fig. 4 gibt ein Bild der Abhängigkeit der Temperaturabnahme von der Windrichtung. Die grösste Temperaturabnahme

findet durchschnittlich bei N—ENE -Winden statt, eine schwächere bei W—NNW -Winden und eine noch geringere bei den übrigen Windrichtungen.

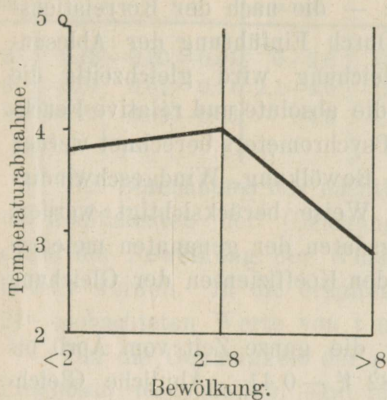


Fig. 2.

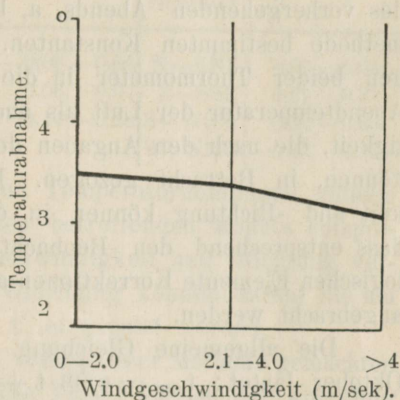


Fig. 3.

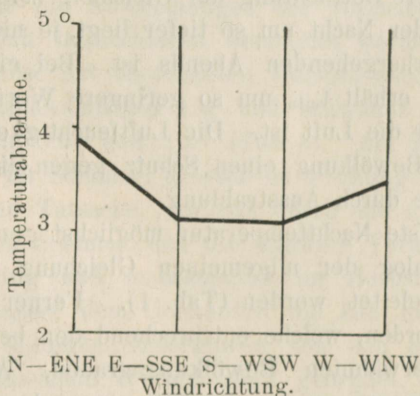


Fig. 4.

Die Abhängigkeit der Temperaturabnahme in der Nacht von den erwähnten meteorologischen Elementen ermöglicht es uns, nach den Ergebnissen der Abendbeobachtungen mit einer gewissen Genauigkeit die tiefste Temperatur der bevorstehenden Nacht zu bestimmen. Um den Zusammenhang der meteorologischen Elemente durch eine mathematische Formel zum Ausdruck zu bringen, ist von der Korrelationsmethode Gebrauch gemacht worden. Es sind zunächst die Korrelationskoeffizienten zwischen dem Temperaturminimum der Nacht und den Angaben des trockenen und feuchten Thermometers berechnet und ferner die sog. Regressionsgleichung

von der Form $t_{\min} = at + bt' + c$ zusammengestellt worden. Hier bedeuten: t_{\min} — das nächtliche Temperaturminimum, t — die Angabe des trockenen und t' — die des feuchten Thermometers um 21^h des vorhergehenden Abends, a , b , c — die nach der Korrelationsmethode bestimmten Konstanten. Durch Einführung der Ablesungen beider Thermometer in die Gleichung wird gleichzeitig die Abendtemperatur der Luft als auch die absolute und relative Feuchtigkeit, die nach den Angaben des Psychrometers berechnet werden können, in Betracht gezogen. Die Bewölkung, Windgeschwindigkeit und -Richtung können in der Weise berücksichtigt werden, dass entsprechend den Beobachtungsdaten der genannten meteorologischen Elemente Korrekturen an den Koeffizienten der Gleichung angebracht werden.

Die allgemeine Gleichung für die ganze Zeit vom April bis Oktober lautet: $t_{\min} = 0.03 t + 0.82 t' - 0.41$. Ähnliche Gleichungen hat A. Ångström für Upsala gefunden¹.

Eine genauere Betrachtung der Gleichung zeigt, dass das Temperaturminimum der Nacht um so tiefer liegt, je niedriger die Temperatur t des vorhergehenden Abends ist. Bei ein und derselben Abendtemperatur erhält t_{\min} um so geringere Werte, je kleiner t' , d. h. je trockener die Luft ist. Die Luftfeuchtigkeit bildet ähnlich wie auch starke Bewölkung einen Schutz gegen die nächtliche Abkühlung der Erde durch Ausstrahlung.

Um die tiefste Nachttemperatur möglichst genau berechnen zu können, sind analog der allgemeinen Gleichung auch solche für jeden Monat abgeleitet worden (Tab. 1). Ferner sind Korrekturen bestimmt worden, welche entsprechend den bei Erklärung der Fig. 2, 3, 4 erwähnten Bewölkungsgraden, Windgeschwindigkeiten und -Richtungen an den Koeffizienten a , b und c der Gleichungen angebracht werden müssen (Tab. 2).

Tabelle 1.

April	$t_{\min} = -0.72 t + 1.56 t' - 0.65$
Mai	$t_{\min} = 0.00 t + 0.80 t' - 0.33$
Juni	$t_{\min} = 0.19 t + 0.61 t' + 0.08$
Juli	$t_{\min} = 0.09 t + 0.78 t' - 0.03$
August	$t_{\min} = 0.35 t + 0.49 t' - 0.03$
September	$t_{\min} = 0.18 t + 0.59 t' - 0.11$
Oktober	$t_{\min} = -0.40 t + 1.21 t' - 0.50$

¹ „Studien über das Frostproblem“. Met. Zeitschrift 1921, S. 119.

Tabelle 2.

Bewölkung	a	b	c	Windgeschwindigkeit, m/sek	a	b	c	Windrichtung	a	b	c
	< 2	0.18	-0.20	-0.01	0—2.0	0.08	-0.08	-0.01	N—ENE	0.05	-0.04
2—8	-0.01	0.02	0.11	2.1—4.0	-0.06	0.06	0.07	E—SSE	0.21	-0.22	0.17
> 8	-0.27	0.32	-0.03	>4.0	-0.13	0.14	-0.08	S—WSW W—NNW	0.02 -0.33	-0.03 0.34	0.19 -0.08

Bei Berechnung des nächtlichen Temperaturminimums müssen die Koeffizienten der Gleichung des betreffenden Monats entsprechend der Bewölkung, der Windgeschwindigkeit und -Richtung verbessert werden. In die erhaltene Gleichung können darauf die um 21^h beobachteten Werte von t und t' eingesetzt werden.

Um die Genauigkeit der nach vorliegender Methode gemachten Prognosen festzustellen, sind für alle Tage, die bei der Ableitung der Gleichungen in Betracht gezogen wurden, die nächtlichen Temperaturminima sowie die Abweichungen der vorausbestimmten Werte von den tatsächlich beobachteten berechnet worden. Der mittlere Fehler der auf diese Art berechneten tiefsten nächtlichen Temperaturen beträgt durchschnittlich 1.0° und schwankt in den einzelnen Monaten zwischen 0.9° und 1.4° (Tab 3). Am kleinsten ist der erwähnte Fehler im Sommer, grösser im Frühling und am grössten im Herbst — eine Tatsache, die sich durch die grössere Stabilität der Wetterlage im Sommer und die stärkere Veränderlichkeit derselben im Frühling und insbesondere im Herbst erklären lässt. Tab. 3 enthält ausser dem Genannten die Zahl der Abweichungen der berechneten Minimumtemperaturen von den beobachteten in 4 Gruppen ihren absoluten Werten nach geordnet. Die Zahlen der Abweichungen sind in Prozenten der Zahl aller zur entsprechenden Gruppe gehörigen Tage ausgedrückt.

Tabelle 3.

1925—1929	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Mittel
Mittlerer Fehler	1.2	1.1	1.1	0.9	1.1	1.3	1.4	1.0
Zahl der Fehler (%)								
Absol. Wert $\leq 1^{\circ}$	47	59	52	64	57	53	50	55
" " $\leq 2^{\circ}$	86	86	86	92	86	83	77	85
" " $\leq 3^{\circ}$	96	98	94	100	96	95	90	96
" " $> 3^{\circ}$	4	2	6	—	4	5	10	4

Nimmt man als Grenze des Fehlers 2° , so beträgt die Trefferzahl der Prognosen durchschnittlich 85% . Bei 15% aller Prognosen ist der Fehler grösser als 2° und bei 4% derselben übersteigt er 3° .

Auch für das Jahr 1930, das bei der Ableitung der Gleichungen nicht berücksichtigt wurde, sind in derselben Weise die nächtlichen Temperaturminima berechnet worden. Der mittlere Fehler, sowie die Zahl der erhaltenen Abweichungen der berechneten Werte von den beobachteten (Tab. 4) sind in diesem Fall ungefähr dieselben, wie diejenigen für die Jahre 1925—1929. Dieses bestätigt die Brauchbarkeit der erhaltenen Gleichungen für Prognosezwecke mit der genannten Genauigkeit.

Tabelle 4.

1930	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Mittel
Mittlerer Fehler	1.2	1.0	0.9	0.8	1.2	1.4	1.2	1.1
Zahl der Fehler ($\%$)								
Absol. Wert $\leq 1^{\circ}$	63	65	63	68	42	47	42	56
" " $\leq 2^{\circ}$	77	81	90	100	87	77	81	85
" " $\leq 3^{\circ}$	93	100	100	100	97	93	97	97
" " $> 3^{\circ}$	7	—	—	—	3	7	3	3

Um die Ursachen des Entstehens grösserer Fehler der Prognosen zu finden, sind die Wetterkarten der ganzen Zeitspanne und insbesondere die der Tage mit den Abweichungen über 2° genauer untersucht worden.

Bei der Berechnung der Temperaturminima aller 1070 der Untersuchung zu Grunde gelegten Tage entstanden in 156 Fällen Fehler über 2° . An 71 Tagen war dabei das vorhergesagte Minimum im Verhältnis zum beobachteten zu gross, d. h. es fand im Vergleich zur normalen eine zu starke Temperaturabnahme statt; in 85 Fällen dagegen war das Minimum zu klein, mit anderen Worten war die Temperaturabnahme sehr schwach.

Die Betrachtung der Wetterkarten hat gezeigt, dass eine starke Abnahme der Temperatur in den Nachtstunden, erstens, durch eine kräftige Bewegung kalter Luftmassen aus den Polargegenden in unsere Breiten hervorgerufen wird; zweitens, kann die intensive Abkühlung durch starke Ausstrahlung erzeugt werden.

Die typischen Wetterlagen, bei denen bedeutende Abkühlungen der bodennahen Luftschichten in der Nacht stattgefunden haben, sind nach dem untersuchten Material folgende:

1. In E- oder NE-Europa befindet sich ein Luftdruckminimum, während sich ein Gebiet hohen Druckes aus dem Westen vorschiebt. Eesti liegt auf der Rückseite der Zyklone. In den Polargegenden ist der Luftdruck verhältnismässig hoch, und es entwickelt sich eine kräftige nördliche Luftströmung.

2. Nördlich von Eesti ist der Luftdruck im allgemeinen höher, südlich tiefer. Die Isobaren verlaufen annähernd einander parallel von W nach E oder bilden mehr oder weniger ausgeprägte Antizyklogen im Norden und Zyklonen im Süden. Die Luftmassen bewegen sich im allgemeinen aus dem Norden nach dem Süden.

3. Das Gebiet von Eesti liegt auf der Vorderseite einer Antizyklone, die bis in die nördlichen Gegenden hineinreicht. Durch die ausströmende Bewegung werden Luftmassen aus verhältnismässig kalten Gegenden in unsere Breiten transportiert.

4. In SE-Europa liegt ein Hochdruckgebiet mit verhältnismässig niedrigen Temperaturen. Bei SE-Winden findet daher eine starke Abkühlung statt.

5. Über Eesti befindet sich ein Hochdruckgebiet. Der Wind ist schwach, der Himmel klar. Man kann annehmen, dass die Abkühlung ein Produkt der Ausstrahlung ist.

Es tritt im Verhältnis zur normalen eine zu schwache Abkühlung ein, wenn die Luftmassen aus dem wärmeren Süden nach dem kälteren Norden transportiert werden. Die aus den warmen Gebieten stammende Luft verhindert das stärkere Sinken der Temperatur während der Nacht und vermag sogar dieselbe zu erhöhen. Die Wetterlagen bei schwachen Temperaturabnahmen in der Nacht sind folgende:

6. In SE- oder E-Europa befindet sich eine Antizyklone. Die warme ausströmende Luft gelangt in unsere Breiten.

7. Südlich von Eesti ist der Luftdruck im allgemeinen hoch, nördlich tief, wobei die Isobaren entweder annähernd parallel von W nach E verlaufen oder mehr oder weniger ausgeprägte Zyklonen im Norden und Antizyklogen im Süden bilden. Es entsteht im allgemeinen eine Bewegung der Luftmassen vom Süden nach dem Norden.

8. Eesti liegt auf der Vorderseite einer Zyklone, wobei durch einströmende Bewegung Luftmassen aus südlichen Gegenden in den Norden hineingezogen werden.

9. Nordwestlich von Eesti befindet sich eine Antizyklone, die aus wärmeren Gegenden stammt. Bei warmen NW-Winden findet in Eesti eine schwache nächtliche Temperaturabnahme statt.

10. Eesti befindet sich auf der Rückseite einer Zyklone. Im hohen Norden ist der Luftdruck verhältnismässig schwach, so dass der Zutritt kalter Luftmassen aus dem Norden, wie bei der Wetterlage 1., nicht möglich ist. Es entsteht eine Luftströmung aus den wärmeren Gebieten des Westens.

In Tab. 5 findet man die Häufigkeitszahlen der aufgezählten typischen Wetterlagen bei sehr starken oder sehr schwachen nächtlichen Temperaturabnahmen. In den einzelnen Fällen ist die Wetterlage nicht immer scharf ausgeprägt, lässt sich jedoch annähernd in eine der Kategorien einreihen. Nur in einigen Fällen war die allgemeine Wetterlage zu verwickelt, um in eine der genannten Gruppen hineinzupassen. Die Tage mit solchen Wetterlagen sind in die Tabelle unter 11 hineingenommen worden.

Tabelle 5.

Zahl der Tage	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Σ
Starke nächtliche Temperaturabnahmen	46	18	3	1	2						1	71
Schwache nächtliche Temperaturabnahmen						21	49	5	3	3	4	58

Wie aus der Tabelle zu ersehen, sind 46 Fälle starker Temperaturabnahmen, d. h. 65 % aller ähnlichen Fälle, auf die Wetterlage 1. zurückzuführen. E. Less kommt in seiner Untersuchung „Über die Vorausbestimmung des nächtlichen Temperaturminimums“¹ zu dem Ergebnis, dass auch in Berlin über die Hälfte der intensiven nächtlichen Abkühlungen stattfand, wenn Norddeutschland aus einem Gebiete tiefen in ein Gebiet hohen Luftdruckes gelangte.

In Fig. 5 ist als Beispiel für die am öftesten beobachtete Wetterlage, die zu bedeutenden nächtlichen Temperaturabnahmen führt, die Wetterkarte vom 20. IV. 1929. gegeben.

¹ Met. Zeitschrift 1930, S. 127.

Bei zu schwachen Abkühlungen während der Nacht ist die Wetterlage 7. die häufigste.

Zum Schluss sei gesagt, dass bei Anwendung der in vorliegender Arbeit genannten Methode zur Vorhersage des nächtlichen Temperaturminimums nach örtlichen Beobachtungen um 21^h bei einer Genauigkeit bis 2^o die Trefferzahl der Prognosen, wie schon erwähnt,

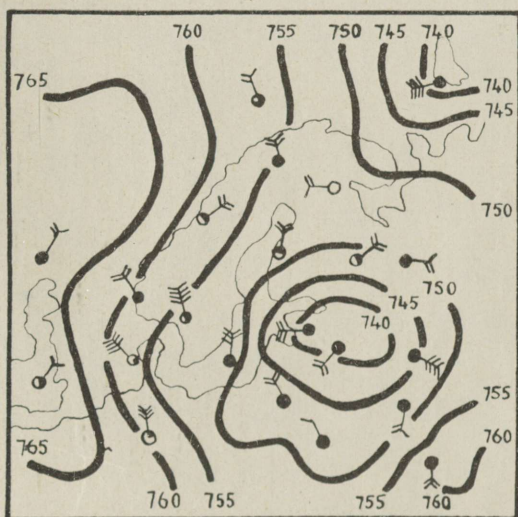


Fig. 5.

85 % beträgt. Unter Berücksichtigung der Wetterkarte lässt sich ein Teil grober Fehler (über 2^o) vermeiden, falls sich die allgemeine Wetterlage einem der genannten Typen annähernd anschliesst oder dieses während der Nacht voraussichtlich eintreten könnte. In solchen Fällen kann man das nach einer entsprechenden Gleichung berechnete Temperaturminimum je nach der Wetterlage um 2^o erhöhen oder erniedrigen. Diese Verbesserung der errechneten Resultate würde die Trefferprocente der Prognosen des nächtlichen Temperaturminimums noch um ein Weniges erhöhen.

ESTICA

A-12689

35069

