

Berichte des Deutschen Wetterdienstes

119

**Geländeklimatisierung eines Meßtischblattbereichs dargestellt
am Beispiel der Frostgefährdung des Bereiches Ahrensburg**

von
Ernst Franken

Zitationsvorschlag:

Franken, Ernst: Geländeklimatisierung eines Meßtischblattbereichs dargestellt am Beispiel der Frostgefährdung des Bereiches Ahrensburg. - Offenbach am Main: Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, 1970.

(Berichte des Deutschen Wetterdienstes ; 119)

ISSN der Onlineausgabe: 2194-5969

ISSN der Druckausgabe: 0072-4130

Nutzungsbedingungen

Dieses Dokument steht unter folgender Creative Commons-Lizenz



Sie dürfen das Werk bzw. den Inhalt unter folgenden Bedingungen vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen: Sie müssen den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen. Dieses Werk bzw. dieser Inhalt darf nicht für kommerzielle Zwecke verwendet werden und es darf nicht bearbeitet, abgewandelt oder in anderer Weise verändert werden.

Mit der Verwendung dieses Dokumentes erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Herausgeber und Verlag: :

Deutscher Wetterdienst
Frankfurter Straße 135
D- 63067 Offenbach am Main

Internet: www.dwd.de
Mail: bibliothek@dwd.de

Inhalt	Seite
Zusammenfassung	5
Abstract	5
1. Einleitung	6
2. Über die Größe des Meeresinflusses auf die nächtlichen Tiefsttemperaturen des Landes und die Breite des vom Meer beeinflussten Küstenraumes	7
2.1. Vorbemerkung und Verfahren	7
2.2. Die durch Seennähe und lokale Besonderheiten bedingten Auswirkungen der Windrichtungen auf die Tiefsttemperaturen	8
2.2.1. Die Abhängigkeit der über alle 20 Stationen des Untersuchungsraumes gemittelten Temperaturminima von der jeweils herrschenden Wind- richtung	8
2.2.2. Die Abweichungen der mittleren täglichen Temperaturminima der ein- zelnen Stationen vom mittleren Temperaturminimum aller Stationen ohne Beachtung der Windrichtungen	8
2.2.3. Die Abweichungen bei Strahlungswetterlagen	9
3. Charakterisierung der Frostgefährdung des Untersuchungsraumes durch sta- tistische Erfassung der letzten Kältevorstöße im Frühjahr und der ersten im Herbst	11
3.1. Vorbemerkung und Schilderung des Verfahrens	11
3.2. Die Statistik des letzten und ersten Unterschreitens von Schwellenwer- ten der Temperatur bei den in der Nähe des Meßtischblattes liegenden Klimastationen Hamburg-Bergedorf und Hamburg-Fuhlsbüttel	12
3.3. Die Statistik des letzten und ersten Unterschreitens von Schwellenwer- ten der Temperatur bei den Klimastationen kürzerer Laufzeit Schma- lenbeck und Wulfsdorf des Meßtischblattes Ahrensburg	14
3.4. Der Grad der Frostgefährdung (Meßhöhe 50 cm) in Normallagen des Meßtischblattes Ahrensburg	15
3.5. Die beim letzten Unterschreiten von Schwellenwerten der Temperatur im Frühjahr und beim ersten Unterschreiten im Herbst festgestellten Windrichtungen	16
3.6. Über die Abhängigkeit der zwischen verschiedenen Geländelagen fest- gestellten Temperaturdifferenzen von meteorologischen Bedingungen	16
3.6.1. Vorbemerkung	16
3.6.2. Die zu Vergleichen herangezogenen Geländeklimastationen des Meß- tischblattes Ahrensburg	18
3.6.3. Die mittleren täglichen Minima der Temperatur in verschiedenen Ge- ländelagen	18
3.6.4. Über den Unterschied zwischen den mittleren täglichen Tiefsttempera- turen und den Tiefsttemperaturen in Strahlungsnächten	19
3.6.5. Die Häufigkeit und Stärke des Auftretens von nächtlichen Temperatur- unterschieden zwischen verschiedenen Geländelagen	19
3.6.6. Die Auswirkung von Bewölkungs- und Windverhältnissen auf die Tem- peraturverteilung im Gelände	20
3.7. Über die zwischen einer Hügel- und einer Talstation in Strahlungs- nächten auftretenden Unterschiede der relativen Luftfeuchtigkeit	25
3.8. Über die Ursachen der Ausbildung nächtlicher Temperaturunterschiede im Untersuchungsraum	26
4. Weitere Untersuchungen zur Erfassung der geländebedingten Temperatur- unterschiede in Strahlungsnächten	26
4.1. Vorbemerkung	26

4.2.	Über die von Fall zu Fall auf kleinem Raum variierenden Unterschiede der Tiefsttemperaturen	26
4.3.	Ansichten und Erfahrungen der im Bereich des Meßtischblattes Ahrensburg ansässigen Bauern zum Problem des Frostrisikos	29
4.4.	Zur Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit von der Geländeform.....	29
4.5.	Durch Meßfahrten mit dem Meteorographen oder dem Widerstandsthermometer sowie durch freiwillige Beobachter gewonnene Ergebnisse	30
5.	Versuch der Kartierung der Frostgefährdung	31
5.1.	Das zur Festlegung der Normallagen im Bereich des Meßtischblattes Ahrensburg eingeschlagene Verfahren.....	31
5.2.	Festlegung des Abstandes der Linien gleicher Temperaturen in Strahlungsnächten	35
5.3.	Die Wertung der Linien gleicher Temperaturen in Strahlungsnächten zur Ermöglichung einer Vergleichbarkeit mit den Verhältnissen in anderen Klimagebieten	36

Anschrift des Verfassers:

Ernst Franken, 2 Hamburg 4, Bernhard-Nocht-Straße 76,
Agrarmeteorologische Forschungsstelle.

Zusammenfassung

Auch im küstennahen Norddeutschland mit seinem windreicheren Klima und seiner geringen Reliefenergie kann die größere Frostgefährdung bestimmter Lagen die Wirtschaftlichkeit des Pflanzenanbaus in Frage stellen. Um zu einer Vorstellung von der Häufigkeit des Vorkommens von Temperaturunterschieden zwischen bestimmten Geländelagen zu kommen und um bestimmte Zusammenhänge bzw. die Ursachen der Unterschiede aufzudecken, sind Temperatur und teilweise auch die relative Luftfeuchte verschiedener Lagen über die Dauer von 10 Jahren registriert worden. Registrierungen der Windrichtung und Windgeschwindigkeit sowie stündliche Angaben der Himmelsbedeckung eines Bezugspunktes standen zur Verfügung. Aus diesem Material lassen sich die in Strahlungsnächten gewonnenen stündlichen Temperaturdifferenzen verschiedener Lagen in Beziehung zur gleichzeitig herrschenden Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Bewölkung bringen. Praktische Bedeutung gewinnen diese Unterschiede zu Beginn und Ende der Vegetationszeit. Sie ergeben sich vor allem bei nördlichen und südöstlichen Winden. Die mit nördlichen Winden auftretenden wirken sich am stärksten aus. Mit diesen Winden strömen im niederelbischen Raum ohnehin meist kältere Luftkörper heran, die zusätzlich noch zu Windschwäche, Wolken- und Wasserdampfarmut neigen und damit ein Ausbilden von Temperaturunterschieden im Gelände begünstigen. In Anlehnung an lange Beobachtungsreihen benachbarter Klimastationen ist eine Bewertung der Lagen vorgenommen worden. Sie läßt erkennen, in wieviel Prozent der Jahre die letzten und die ersten Fröste noch nach Stichtagen im Frühjahr und vor solchen im Herbst auftreten.

Abstract

In spite of the flat landscape and the nearby North Sea frosts are often occurring at certain sites of North Germany. Trying to get an idea of the problem and to find out the causes for the differences between different parts of a district we have registered the temperature and the relative humidity of certain sites during a period of ten years. Evaluating the differences between the stations during nights of radiation and by setting them in relation to the direction and velocity of the wind and to the cloudiness observed at a nearby point, some connections were found out. Primarily the differences are of practical importance in spring and autumn. It is shown that they are mostly bound to northerly winds which are colder than wind from other directions. Furthermore the airmasses coming into the region of Hamburg with cold northerly winds are generally connected with a lower amount of clouds, low vapour pressure and northerly winds additionally tend to abate at night. These are the conditions for obtaining great differences of the temperature of different sites and for frost in unfavourable regions. Based on longterm observations of nearby climatic stations, we evaluated the sites in order to demonstrate the probability of the occurrence of frost after fixed days of spring and before corresponding days of autumn.

1. Einleitung

Das Problem der Frostgefährdung in ihrer Abhängigkeit von geographischer Lage und örtlichen Bedingungen nimmt einen großen Raum in der agrarmeteorologischen und geländeklimatologischen Literatur ein. Dieser Sachverhalt läßt sich vor allem auf die große Bedeutung der die Vegetationszeit begrenzenden letzten Fröste im Frühjahr und ersten im Herbst zurückführen, sowie auf die Abhängigkeit der Häufigkeit und Stärke dieser Fröste von der Geländeform und Beschaffenheit des Standortes oder dessen näherer Umgebung. Fielen die Fröste von Jahr zu Jahr auf die gleichen Termine, so hätte der Praktiker bezüglich der Frostgefährdung kaum Fragen an die erwähnten wissenschaftlichen Zweige. Die Probleme entstehen zur Hauptsache durch den ständigen Wechsel der meteorologischen Bedingungen. Ferner müssen die Anbauer empfindlicher Pflanzen meist ein gewisses Frostrisiko eingehen. Daraus ergeben sich Rentabilitätsbetrachtungen. In Deutschland bietet kein Standort sicheren Schutz vor Schadfrösten zu Beginn und Ende der Vegetationszeit. Manche Geländepartien werden aber seltener und weniger stark als andere getroffen. Diese gilt es zu finden und jene unter Umständen für den Anbau frostempfindlicher Pflanzen zu meiden.

Das Problem beschränkt sich nicht auf die Betrachtung des unmittelbar an 0° angrenzenden negativen Temperaturbereichs. Manche Pflanzen kommen schon bei positiven Temperaturen zu Schaden, andere vertragen in bestimmten Stadien erhebliche Kältegrade. Unter den in Deutschland herrschenden Bedingungen überragen die Verhältnisse im Temperaturbereich um 0° an Bedeutung die der übrigen Bereiche.

Im Norddeutschen Flachland spielt der Anbau wärmeliebender Pflanzen eine geringere Rolle als im sonnigen Süddeutschland, und das schwach geprägte Relief

mit seinen geringen Höhenunterschieden birgt weniger Probleme klimatischer Art. Zu „Kaltluftseen“ führende windschwache Nächte treten in Norddeutschland seltener als im Süden auf. So erklärt sich die relativ geringe Zahl der einschlägigen Veröffentlichungen. Es seien hier genannt: BENDER (1), BENDER und GILCHER (2), VAN EIMERN (5), VAN EIMERN und KAPS (6), VAN EIMERN, FRANKEN und HARRIES (7), FRANKEN (10) (11), KAPS (19). Trotz des Sachverhaltes dürfte eine eingehende Untersuchung manche Zusammenhänge klären. Die so gewonnenen Erkenntnisse werden eher zu einer überregionalen Anwendung kommen als die in südlichen Bezirken gefundenen.

Als Untersuchungsgebiet diene die durch das Meßtischblatt Ahrensburg (Nr. 2327) erfaßte Fläche. Politisch gehört der Raum größtenteils zum Kreis Stormarn des Landes Schleswig-Holstein, zum kleineren Teil zur Freien und Hansestadt Hamburg. Langgestreckte, während der Eiszeit entstandene Täler, Hügelgelände und ebene Flächen wechseln miteinander ab.

Zunächst ist zu untersuchen, ob etwa der Meßtischblattbereich noch eine besondere Note durch die Nähe der Nord- und Ostsee erhält, ob er also noch bezüglich der nächtlichen Tiefsttemperaturen zum Küstenbereich gehört.

In Anlehnung an benachbarte langjährige Klimastationen gilt es dann, den Grad der Frostgefährdung in Normallagen des Meßtischblattes festzustellen. Nach der Klärung dieses Problems soll die Auswirkung von Windrichtung und Stärke sowie der Bewölkung auf die Entstehung von Temperaturunterschieden im Gelände untersucht werden, sowie der Jahresgang dieser Beziehungen. Eine vorläufige Kartierung der Frostgefährdung wird die Untersuchung beschließen.

2. Über die Größe des Meereseinflusses auf die nächtlichen Tiefsttemperaturen des Landes und die Breite des vom Meer beeinflussten Küstenraumes

2.1. Vorbemerkung und Verfahren

Trotz geringer Anzahl von Klimastationen, trotz gewisser Abweichungen der Windrichtungen und -geschwindigkeiten zwischen verschiedenen Stationen der Küste und des Binnenlandes und trotz oft unterschiedlicher Bewölkungsverhältnisse wollen wir zu einer Aussage über die Reichweite des Meereseinflusses auf die nächtlichen Tiefsttemperaturen kommen.

Wir wählten ein Gebiet aus, dessen Umgrenzung sich durch Verbinden der Orte: Heide - Kiel - Travemünde - Lüchow - Bremerhaven - Cuxhaven - Heide ergibt. Innerhalb dieses Raumes liegen 20 Klimastationen mit 10 gemeinsamen Beobachtungsjahren des Zeitraumes 1949 bis 1958 (Abb. 1). Bei einem Vergrößern des Gebietes müßten zu viele Tage aus obengenannten Gründen ausgeschaltet werden. Engere Grenzen würden wegen Verringerung der Stationszahl das Herausarbeiten von Gesetzmäßigkeiten erschweren. Bei Wahl eines kürzeren Zeitraumes ergäben sich zu wenig Fälle für die Untersuchung der Verhältnisse bei den selteneren Windrichtungen. Wahl eines längeren Zeitraumes schränkt die Zahl der verfügbaren Stationen ein.

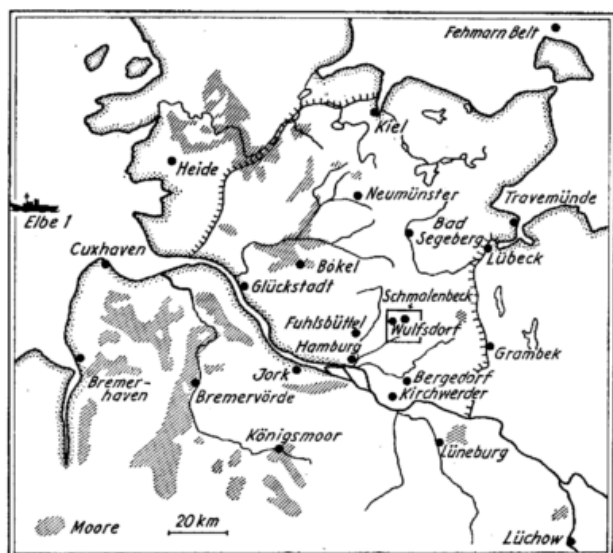


Abb. 1
Die Klimastationen des Untersuchungsraumes. Fläche des Meßtischblattes Ahrensburg als Quadrat eingezeichnet.

Das Festlegen einer für alle Stationen hinreichend übereinstimmenden Windrichtung geschah an Hand der täglichen Wetterkarte des Zentralamtes des Deutschen Wetterdienstes (Termin 07.00 Uhr MEZ), und zwar nach den Einheiten der 32teiligen Skala (02, 04, 06 usw.) und

unter Beachtung des Isobarenverlaufs, um so etwas freier von den manchmal aufstellungsbedingten Zufälligkeiten der Richtungsangaben der Windmesser zu werden. Infolge der einheitlich festgelegten Richtung ist bei einzelnen Stationen mit Abweichungen von ± 2 Strich, in Ausnahmefällen auch von ± 4 Strich zu rechnen. Aus schon erwähnten Gründen mußten 266 der insgesamt 3652 Fälle bzw. Nächte von den speziellen Untersuchungen ausgeschlossen werden. Die Mittel über alle Windrichtungen schließen aber die genannten Fälle ein.

In etwa 10% der Tage fällt die vom Klimadienst festgestellte Tiefsttemperatur auf den Zeitpunkt der Ableseung und Neueinstellung der Minimumthermometer (21 Uhr mittlere Ortszeit (van BÜRK) (3). Auch diesen Fällen wurde die Windrichtung des 07 Uhr Termins zugeordnet. Es bestand keine Möglichkeit den Zeitpunkt des Eintritts der Tiefsttemperatur für alle Stationen festzulegen.

Während der für das spezielle Problem der Frostgefährdung wichtigen Zeitabschnitte zu Beginn und Ende der Vegetationszeit strömten die kälteren Luftmassen aus nördlichen Richtungen, also über See heran. Wird ein Einfluß der Wassermassen auf die Lufttemperaturen angenommen, so dürfte der jährliche Temperaturgang des Wassers bedeutsam für die unumgängliche Einteilung des Jahres in kleinere Zeitabschnitte sein. Für eine monatsweise Betrachtung der Verhältnisse reicht das Material nicht aus. Es müssen mindestens 3 Monate zusammengefaßt werden, um zu genügend gesicherten Mittelwerten zu kommen. Entsprechend der größeren thermischen Trägheit (Tab. 1) der Wassermassen sind für die Untersuchungen zur Erfassung des Meereseinflusses jeweils die Monate Januar-Februar-März, April-Mai-Juni, usw. gruppenweise vereinigt worden. Für spätere Betrachtungen anderer Art wurde dagegen die übliche Einteilung der Jahreszeit gewählt.

Die untere Zeile der Tab. 1 bringt die Temperaturdifferenzen, die man erhält, wenn man die Mittel der täglichen Minima der Lufttemperatur aller 20 Stationen von der entsprechenden Wassertemperatur beim Feuerschiff Elbe 1 abzieht. Der Unterschied erreicht sein Minimum im Mai, sein Maximum im Oktober und November.

Mit Aufgliederung des Materials schrumpft die Zahl der für jede Windrichtung verfügbaren Fälle zusammen. Um zu brauchbaren Mittelwerten zu kommen, müssen außer der vierteljährlichen Zusammenfassung mehrere Windrichtungen zu einer Gruppe vereinigt werden. Zu Gruppen werden folgende Windrichtungen vereinigt: 30-32-02, 06-08-10, 14-16-18 und 22-24-26. Von einer übergreifenden Zwischenzählung etwa der Gruppen 02-04-06, 10-12-14 usw. nehmen wir Abstand. Tab. 2 vermittelt eine Vorstellung von der Häufigkeit der gruppenweise und vierteljährlich aufgeteilten Windrichtungen.

Tab. 1

Monatsmittel der Wassertemperatur ($^{\circ}\text{C}$) bei den Feuerschiffen Elbe 1 und Fehmarn Belt. Zeitraum 1949-1958.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr
Elbe 1	3.7	2.5	3.1	5.8	9.5	13.1	16.1	17.2	16.2	13.6	9.9	6.8	9.8
Fehmarn Belt	2.6	1.4	1.8	5.0	9.4	12.9	16.8	17.1	15.8	12.1	8.4	5.1	9.0
Diff. Wassertemp. Elbe 1 minus mittl. Min. d. Lufttemp.													
aller 20 Stationen	5.3	5.2	3.6	3.0	2.5	2.8	3.6	5.0	6.5	7.4	7.4	6.3	4.9

Tab. 2

Häufigkeit der Hauptwindrichtungen während der Vierteljahresspannen
- Summen des zehnjährigen Zeitraumes -
(Die Zwischenrichtungen 04, 08, 12, 28 sind nicht aufgenommen)

Windrichtungen	30-32-02	06-08-10	14-16-18	22-24-26	C	ohne Richtungs- angabe
Jan.-März	46	216	129	259	32	57
April-Juni	88	184	97	268	40	63
Juli-Sept.	31	134	145	280	71	81
Okt.-Dez.	38	160	177	258	39	65
Jahr	203	694	548	1065	182	266

Wir gehen bei unserer Untersuchung in bestimmter Reihenfolge vor. Zunächst betrachten wir die mittleren täglichen Minima der einzelnen Stationen und Jahreszeiten in ihrer Abhängigkeit vom Mittelwert über alle 20 Stationen und führen außerdem einen nur auf die Binnenlandstationen beschränkten Vergleich durch. Die weitere Bearbeitung bringt die Aufschlüsselung der Verhältnisse getrennt nach den Windrichtungen.

2.2. Die durch Seennähe und lokale Besonderheiten bedingten Auswirkungen der Windrichtungen auf die Tiefsttemperaturen

2.2.1. Die Abhängigkeit der über alle 20 Stationen des Untersuchungsraumes gemittelten Temperaturminima von der jeweils herrschenden Windrichtung

In den folgenden Abschnitten wird es in der Hauptsache um die Abweichungen der Temperaturminima

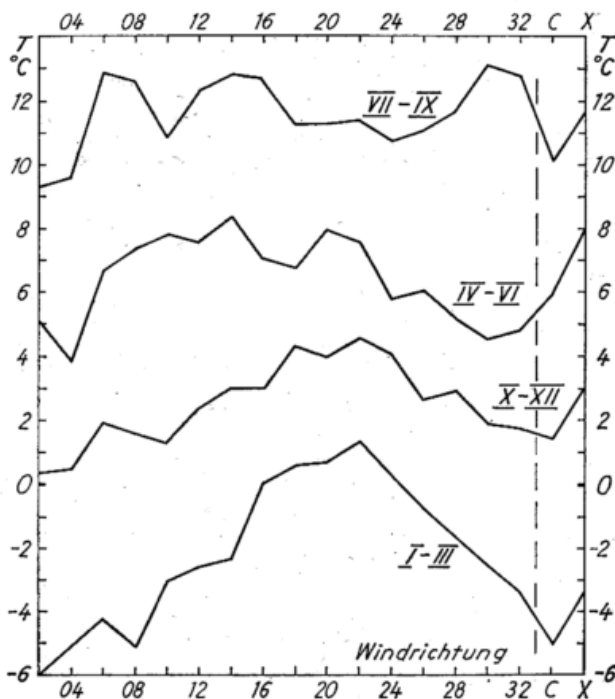


Abb. 2

Mittlere tägliche Tiefsttemperaturen der 20 Stationen des Untersuchungsraumes für jeweils 3 Monate (I-III = Januar bis März usw.) in Abhängigkeit von der Windrichtung. Zeitraum 1949-1958 (X = keine einheitliche Richtung). Im ersten Jahresviertel (I-III) zeigen die täglichen Tiefsttemperaturen eine ausgeprägte Abhängigkeit von der Windrichtung. Bei Südwestwinden liegen die Minima etwa 7° höher als bei Nordwinden.

einzelner Stationen von einem für alle Stationen errechneten Mittelwert gehen. Eine Betrachtung dieser Mittelwerte stellen wir voran und vermitteln damit gleich einen Begriff des Zusammenhanges zwischen der Windrichtung und der nächtlichen Tiefsttemperatur. Stetige Kurvenzüge lassen sich nicht erwarten, da die Windrichtungen sehr unterschiedlich beteiligt sind und sich außerdem nicht gleichmäßig über die Jahreszeit verteilen. Abb. 2 zeigt vor allem für die Monate Januar bis März eine ausgesprochene Abhängigkeit der nächtlichen Tiefsttemperatur von der Windrichtung und eine noch sehr klare für die Monate Oktober bis Dezember. Im Mittel wärmere Nächte treten bei südlichen bis westlichen, kältere bei nördlichen und östlichen Winden auf. Während der Monate April bis Juni bringen nordwestliche bis nordöstliche Winde relativ kühle Nächte. Der windrichtungs- und damit zur Hauptsache luftmassenbedingte Temperaturunterschied erreicht im ersten Vierteljahr etwa 7°, im zweiten und letzten etwa 4°. Weitere Feststellungen wollen wir unterlassen. Für spätere Erörterungen gilt zu beachten: Zeichnet sich eine Station bei nordwestlichen bis nordöstlichen Winden durch große negative Abweichungen vom entsprechenden Mittelwert über alle Stationen aus, so läßt sich daraus auf eine besonders große Frostgefährdung der Stationslage schließen.

2.2.2. Die Abweichungen der mittleren täglichen Temperaturminima der einzelnen Stationen vom mittleren Temperaturminimum aller Stationen ohne Beachtung der Windrichtungen

Der nächste Schritt führt zu den Abweichungen der mittleren Minima der einzelnen Stationen vom Mittel über alle 20 Stationen (Abb. 3). Der Küstensaum und die Großstadt Hamburg fallen in allen Jahreszeiten durch hohe Minima heraus, vor allem aber während der Monate Juli bis September. Die Abweichungen zwischen den küstennahen und den Binnenlandstationen sind keineswegs so groß, wie man das vielleicht vermuten könnte, sie sind aber sicher nicht zufallsbedingt. Cuxhaven und Bremerhaven gelten als Strandstationen. Sie zeigen die größten positiven Abweichungen vom Gesamtmittelwert. Kiel, Travemünde und Lübeck liegen an mehr oder weniger ausgedehnten Buchten, Glückstadt an der hier etwa 3 km breiten Niederelbe. Von Glückstadt abgesehen weisen diese Stationen einen geringeren Abstand von der Küste auf als alle übrigen Stationen. Ihre Entfernung zum nächsten Strand oder zur nächsten großen Meeresbucht beträgt zwischen 0 und 15 km, bis zur offenen See 0 bis 40 km. Für die übrigen Stationen lauten die entsprechenden Angaben 23 bis 140 km, bei einem kaum noch ins Gewicht fallenden Entfernungszuschlag zur offenen See. Von der am stärksten den Seewinden ausgesetzten Station Cuxhaven bis zur

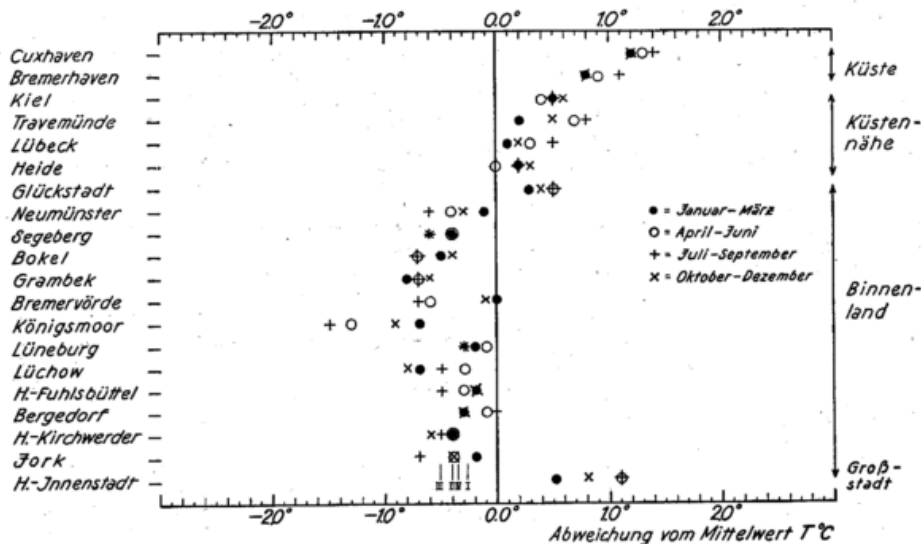


Abb. 3
Abweichung der mittleren täglichen Temperaturminima der einzelnen Stationen des Untersuchungsraumes vom Mittelwert über alle Stationen und vom Mittelwert der Binnenlandstationen Glückstadt — Jork. (Für letztere ist der Abszissenwert 0° durch Marken gekennzeichnet)
● I = Januar — März, ○ II = April — Juni,
+ III = Juli — September, x IV = Oktober — Dezember
Im tieferen Binnenland überdecken örtliche Einflüsse auf die Tiefsttemperaturen den Meereseinfluß. Im Sommer sind die Abweichungen zur positiven und zur negativen Seite größer als im Winter.

10 km landeinwärts liegenden Station Heide vermindert sich der Unterschied der Stationsminima zum Mittel über alle Stationen von etwa 1.2 bis 1.4° auf 0.3 bis 0.6°. Mit weiter zunehmender Entfernung von der See gibt sich keine systematische Abnahme der Minima zu erkennen. Örtlich bedingte Effekte anderer Art überdecken den See-Einfluß. So werden die hohen Minima Lüneburgs auf die Stadtlage der Station, die Bergedorfs auf die Geestrandlage mit leichten Abflußmöglichkeiten der durch nächtliche Abkühlung entstehenden bodennahen Luftschichten zurückzuführen sein. Die Moorlage Königsmoors findet ihren Niederschlag in niedrigen Tiefsttemperaturen.

Aus den im Winter meist geringeren Differenzen zum Mittelwert (Punkte) und den im Sommer meist größeren (Kreuze) läßt sich die Andeutung eines Jahresganges der Differenzen ableiten. Im Sommer sind die positiven Abweichungen vom Gesamtmittel bei den Küstenstationen einschließlich Glückstadts im Mittel um 0.33° größer als im Winter. Umgekehrt weisen die Binnenlandstationen mit der Ausnahme der Innenstadt Hamburgs im Sommer größere negative Differenzen auf als im Winter. Die Differenz beträgt hier 0.18°.

Werden die küstennahen Stationen Cuxhaven bis Heide und die Großstadtstation Hamburg von der Betrachtung ausgeschaltet, so sinkt das Temperaturniveau im 1. Vierteljahr um 0.28°, im dritten um 0.5°. Die Beträge dieser Verschiebungen und auch die der übrigen Jahreszeiten finden sich in Abb. 3 unten eingezeichnet. Daraus wird erkennbar, in welchem Maße die Minima der Binnenlandstationen von dem für sie errechneten Mittelwert abweichen.

Für die Innenstadt Hamburgs finden wir ähnliche Verhältnisse wie bei den reinen Küstenstationen Cuxhaven und Bremerhaven.

2.2.3. Die Abweichungen bei Strahlungswetterlagen

Es sind die Abweichungen der Tiefsttemperaturen der einzelnen Stationen vom Mittelwert aller Stationen in Abhängigkeit von den jeweils herrschenden Windrich-

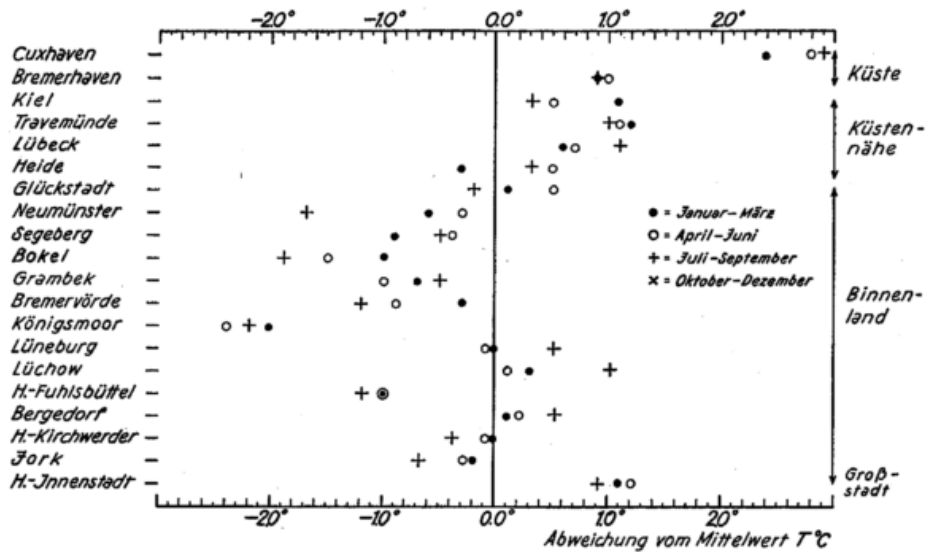
tungen gebildet worden, und zwar zunächst für alle Wetterlagen. Die hier nicht im einzelnen gebrachten Ergebnisse zeigen positive Abweichungen vom Gesamtmittel für die unmittelbaren Küstenstationen und die Großstadtstation Hamburg (0.6 bis 1.2°), und zwar bei allen Windrichtungen, vor allem aber bei nördlichen Winden. Umgekehrt weichen gerade dann die Stationen der moorigen Lagen (Königsmoor, Bokel) besonders stark zur negativen Seite ab. Das gilt für alle Jahreszeiten. Bei südlichen Winden zeigt Bremerhaven größere positive Abweichungen als Cuxhaven, eine Folge des dann in Bremerhaven über die Wesermündung herankommenden Windes bei gleichzeitigem Landwind in Cuxhaven.

Für das Problem der geländebedingten unterschiedlichen Frostgefährdung gewinnen die Verhältnisse bei Strahlungswetter erhöhte Bedeutung. Die Abb. 4 bis 6 sollen eine Vorstellung des Sachverhaltes verschaffen. Cuxhaven liegt mit seinen Tiefsttemperaturen bei nördlichen Winden etwa 2½ Grad über dem Mittel aller Stationen, bei Südwinden nur um etwa 1 Grad. Bei Binnenlandstationen werden negative Abweichungen bis zu 2 Grad erreicht. Die Abweichungen bei windstillem Strahlungswetter zeigen große Ähnlichkeit mit den für nördliche Winde gefundenen.

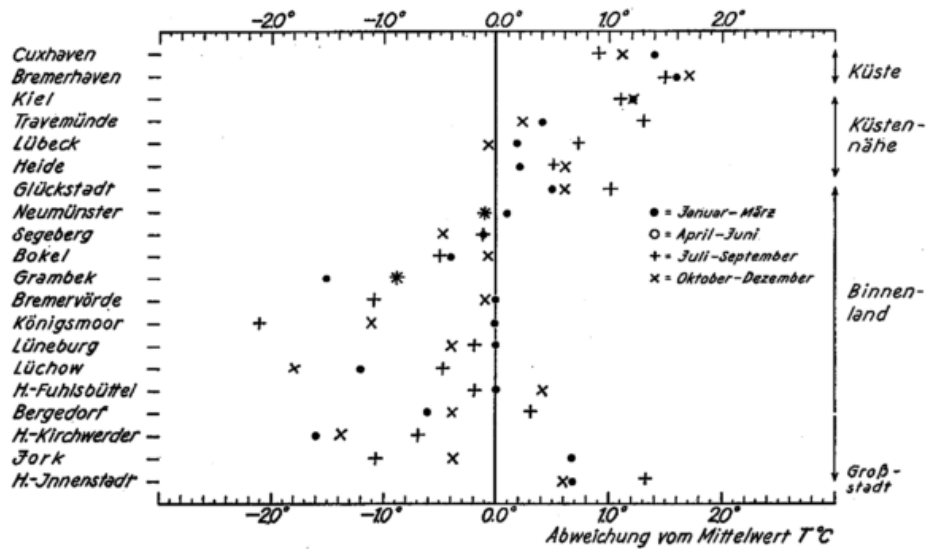
In Einzelfällen können die Tiefsttemperaturen Cuxhavens um mehr als 5 Grad über dem Mittelwert aller Stationen liegen und umgekehrt die der Moorstation Königsmoor um mehr als 5 Grad unter dem Mittelwert. Auch hier wollen wir auf Wiedergabe von Einzelheiten verzichten.

Nach den Darstellungen und nach hier nicht gebrachten weiteren Untersuchungsergebnissen kann der Küstenstreifen mit den deutlich vom tieferen Binnenland abweichenden Verhältnissen im besten Fall eine Breite von etwa 20 km besitzen.

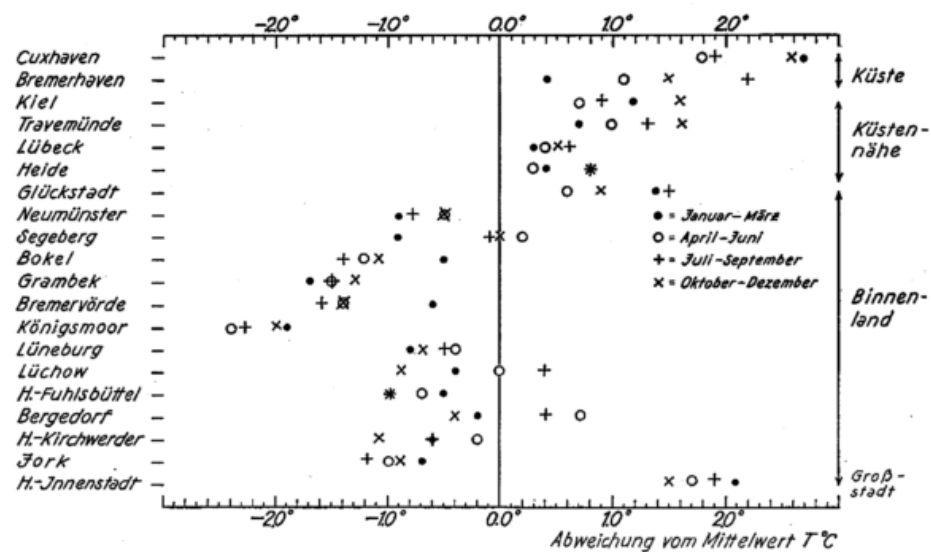
Um das Bild abzurunden, wollen wir auch die übrigen Grenzen umreißen, innerhalb derer die auf dem Meßtischblatt Ahrensburg gewonnenen Erkenntnisse Gültigkeit haben dürften. Im Osten wird erst das Gebiet der



Abweichungen der bei Strahlungswetter mit nördlichen Windrichtungen (28-30-32-02) gefundenen und gemittelten Temperaturminima vom entsprechenden Mittelwert der Temperaturminima aller Stationen.



Abweichungen der bei Strahlungswetter mit südlichen Windrichtungen (14-16-18) gefundenen und gemittelten Temperaturminima vom entsprechenden Mittelwert der Temperaturminima aller Stationen.



Abweichungen der bei windstillem Strahlungswetter gefundenen und gemittelten Temperaturminima vom entsprechenden Mittelwert der Temperaturminima aller Stationen.

mecklenburgischen Seen (Ratzeburger See, Schaalsee) wesentlich andere Bedingungen bringen. Im Süden und Westen begrenzt der Geesthang des Urstromtals der Elbe den Gültigkeitsbereich. Die nächtlichen Temperaturverhältnisse in der Elbeniederung weisen besondere Züge auf. Dies möge an einem früher bearbeitetem Beispiel nachgewiesen werden (FRANKEN (14)). Für einen 12jährigen Zeitraum (1949 bis 1960) stellen wir fest, in

wieviel Nachtstunden es an der Elbeniederungsstation Kirchwerder (Höhe 3 m NN) um mindestens 1.5° kälter als bei der Geesthangstation Bergedorf (35 m NN) gewesen ist. Die gefundenen Stunden teilen wir der gleichzeitig herrschenden Windrichtung zu. Nach Abb. 7 zeichnet sich Kirchwerder vor allem bei Ost- und Südostwinden durch relative Kälte aus. Die Ursachen dafür sind in der Höhendifferenz zu Bergedorf (Inversions-

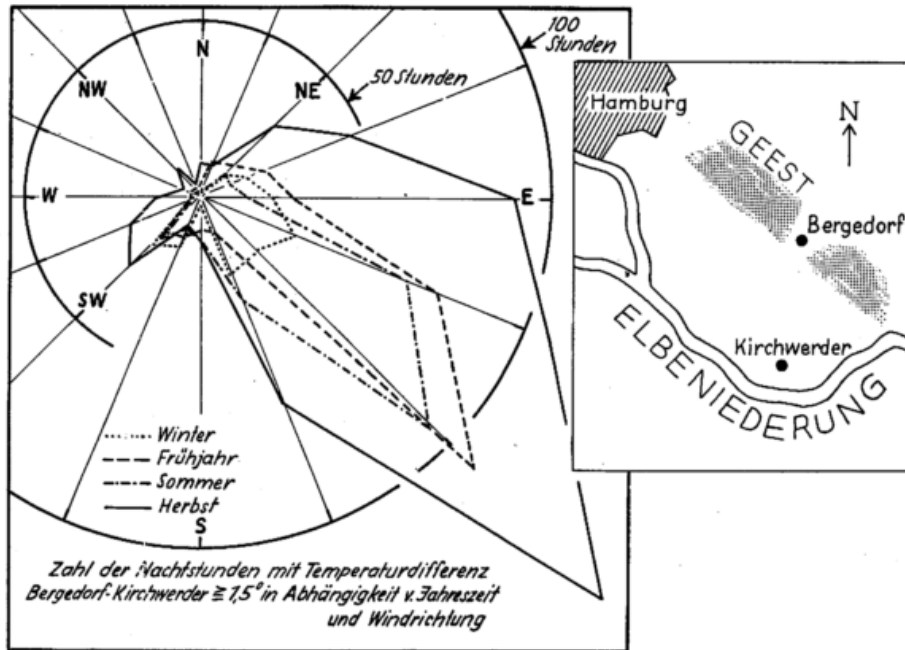


Abb. 7

Abhängigkeit nächtlicher Temperaturunterschiede zweier Stationen unterschiedlicher Höhenlage Bergedorf 35 m NN, Kirchwerder 3 m NN) von der jeweils herrschenden Windrichtung. Nachtstunden des Zeitraumes 1949–1960
Bei Ost- bis Südostwinden ist die Elbmarschstation Kirchwerder oft kälter als die Geesthangstation Bergedorf. Die über den Wieseniederungen des Elbtales entstehende Kaltluft erreicht die Station Kirchwerder. Außerdem sind Südostwindwetterlagen oft mit Inversionen verbunden, bei denen die Temperatur mit der Höhe zunimmt.

wirkung) und in dem Herantreiben kalter Luftmassen der oberen Elbeniederung in Richtung Kirchwerder zu suchen. Derartig eindeutige Beziehungen fehlen im Bereich des Meßtischblattes Ahrensburg, so daß die angeführte Grenzziehung berechtigt erscheint. Wie das Beispiel Königsmoor zeigt, wirken sich jenseits der Elbe große Hoch- und Niederungsmoore auf die Nachttemperaturen der Umgebung aus. Für Fragen der Frostgefährdung wären in diesen Gebieten besondere Untersuchungen anzustellen. Im Bereich des Meßtischblattes Ahrensburg fehlen entsprechende Moorgebiete.

3. Charakterisierung der Frostgefährdung des Untersuchungsraumes durch statistische Erfassung der letzten Kältevorstöße im Frühjahr und der ersten im Herbst

3.1. Vorbemerkung und Schilderung des Verfahrens

Die im Bereich des Meßtischblattes Ahrensburg herrschenden Verhältnisse lassen sich nur dann mit denen anderer Klimagebiete vergleichen, wenn sie sich auf die in einer Meßhöhe von 2 Metern gewonnenen täglichen Temperaturwerte einer Klimastation mit langjähriger Laufzeit stützen können. Die Richtlinien zur Kartierung der Frostgefährdung (24) fordern ebenfalls ein Anlehnen an eine derartige Station. Wir stellen daher die entsprechenden Betrachtungen voran.

Im Untersuchungsraum fällt der letzte Frost in 2 m Höhe während einzelner Jahre etwa auf die Zeit um den

25. 3., in andern etwa auf den 30. 5. Meist stellt er sich zwischen dem 20. 4. und dem 5. 5. ein. Der Anbauer frostempfindlicher Pflanzen wird den Zeitpunkt der Aussaat bzw. des Auspflanzens so legen, daß Frostverluste zu den Ausnahmen gehören. Trifft der Frost zu oft die Obstblüte, so weicht der Anbauer auf andere Früchte aus. Die Wahl der Erntetermine hat ebenfalls ihre Bedeutung. Im Untersuchungsraum gilt das in erster Linie für den Silomais, der manchmal um die Zeit der ersten Nachtfroste noch nicht die gewünschte Teigreife erreicht hat.

Der gegenwärtige Stand der Langfristwettervorhersage erlaubt keinen Rückschluß aus dem Witterungsverlauf des zeitigen Frühjahrs oder des frühen Herbstes auf die mehr oder weniger große Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Spät- bzw. Frühfrösten während der folgenden Wochen des betreffenden Jahres. Ein frühes Erwärmen in den Monaten Februar und März mit entsprechenden Fortschritten der Vegetation kann schon im April sein Ende finden.

Da langjährige phänologische Beobachtungsreihen im Bereich des Meßtischblattes und in der Umgebung fehlen, muß der Nachweis einer Unabhängigkeit des letzten Frosttermines vom vorangegangenen Witterungscharakter und damit vom Entwicklungsstand der Vegetation auf einem andern Weg versucht werden. Für den Termin des Blühbeginns sind die Temperaturverhältnisse der Monate März und April entscheidend. Hohe Temperaturen führen zu frühem Blühbeginn. Ein Vergleich der Mitteltemperaturen der genannten Monate und dem Termin

des letzten Frostes, durchgeführt für 30 Beobachtungsjahre der Station Hamburg-Fuhlsbüttel (1938 bis 1967), läßt keine Abhängigkeit des Frosttermines von den Temperaturverhältnissen der vorangegangenen Zeit erkennen. Wir fühlen uns demnach dazu berechtigt, die für den Beginn der Süßkirschen- bzw. Apfelblüte gefundenen mittleren Termine zu der nach diesen Daten gefundenen Frosthäufigkeit in Beziehung zu bringen.

Das nunmehr eingehaltene Bestimmungsverfahren schildert FRANKEN (9) an anderer Stelle. Als Unterlage dienen die langjährigen Beobachtungsreihen von Klimastationen. Jahr für Jahr wird festgelegt, an welchem Datum zum letztenmal im Frühjahr und zum erstenmal im Herbst Schwellenwerte der Temperatur $-8, -6, -4, -2, 0, 2, 4, 6, 8^{\circ}\text{C}$ unterschritten worden sind. Im allgemeinen genügt es, wenn zur fraglichen Zeit ein Frost bestimmter Stärke einmal auftritt. Ein zweiter Frost gleicher Stärke etwa während der folgenden Nacht bringt nur geringe Vermehrung des Schadens. Die Hinzunahme der höheren und niedrigeren Schwellenwerte wird für ein späteres Beurteilen der Verhältnisse in Kältelöchern und auf weniger frostgefährdeten Hügeln wichtig. Außerdem erleichtert das Verfahren ein Erkennen von Gesetzmäßigkeiten.

Anschließend läßt sich auszählen und ausrechnen, in wieviel Prozent der Jahre bestimmte Schwellenwerte noch nach bestimmten Stichtagen im Frühjahr und vor solchen Tagen im Herbst unterschritten worden sind. Für die praktische Anwendung der Ergebnisse nehmen wir an, daß die Zukunft keine bedeutende Veränderung des Großklimas bringt. Mit Hilfe der Prozentwerte lassen sich Kurvenzüge zeichnen, die bei ausreichender Zahl von Beobachtungsjahren kaum der Glättung bedürfen. Sie ermöglichen eine Beurteilung des Standortes bezüglich der Frostgefährdung und einen Vergleich mit

den Verhältnissen anderer Klimagebiete. An Hand der Kurvenzüge lassen sich die Prozentwerte für jedes Datum feststellen, z. B. auch für das des Blühbeginns der Süßkirsche oder des Apfels. Diese Termine sind gemäß den Richtlinien zur Kartierung der Frostgefährdung als Bezugswerte festgelegt worden. Die Richtlinien machen allerdings noch die Zuordnung der Termine zu den Verhältnissen in einem niedrigeren Niveau (50 bzw. 70 cm) notwendig. Die Gewinnung der für das Problem ebenfalls wichtigen Daten für das Unterschreiten einer Mitteltemperatur von 8° im Herbst soll später beschrieben werden.

Zu bemerken ist, daß die erwähnten Kälterückfälle oder -vorstöße oft Temperaturunterschiede zwischen extremen Geländelagen bringen. Von insgesamt 72 Kälterückfällen der hier definierten Art sind in 52 Fällen (Wulfsdorf) bzw. 49 Fällen (Schmalenbeck) gleichzeitig erhebliche Temperaturunterschiede ($\geq 2.5^{\circ}$) zwischen extremen Geländelagen des Untersuchungsraumes, einer Hügel- und einer Talbodenstation, aufgetreten. Das gleiche Verhältnis ergibt sich für die Kältevorstöße im Herbst. Die Nächte mit Kälterückfällen oder Kältevorstößen sind in frostgefährdeten Geländelagen besonders kalt, relativ noch kälter als in Normallagen.

3.2. Die Statistik des letzten und ersten Unterschreitens von Schwellenwerten der Temperatur bei den in der Nähe des Meßtischblattes liegenden Klimastationen Hamburg-Bergedorf und Hamburg-Fuhlsbüttel

Die älteste Klimastation der Nachbarschaft ist Hamburg-Stadt. Die besonderen Ausstrahlungsverhältnisse bzw. die Gegenstrahlung des Dunstschirmes der Stadt wirken sich aber stark auf die Höhe der Tiefsttemperaturen aus (FRANKEN (10)). Von sehr wenigen Ausnahmen abgesehen, bleiben die nächtlichen Tiefsttempera-

Tab. 3a Eine Tiefsttemperatur von										
Frühjahr		-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8°C
wird in der Meßhöhe 2 m unterschritten in 5 % der Jahre noch nach dem:										
	Höhe m NN									
Hbg.-Bergedorf	33	19. 3.	26. 3.	13. 4.	1. 5.	14. 5.	26. 5.	17. 6.	4. 7.	20. 7.
Hbg.-Fuhlsbüttel	14	23. 3.	7. 4.	1. 5.	12. 5.	23. 5.	8. 6.	27. 6.	13. 7.	.
Wulfsdorf	46	23. 3.	7. 4.	1. 5.	12. 5.	23. 5.	8. 6.	27. 6.	13. 7.	.
Karlsruhe	125	9. 3.	18. 3.	5. 4.	17. 4.	6. 5.	17. 5.	29. 5.	20. 6.	.
in 10 % der Jahre noch nach dem:										
Hbg.-Bergedorf	33	13. 3.	22. 3.	10. 4.	28. 4.	11. 5.	20. 5.	13. 6.	28. 6.	14. 7.
Hbg.-Fuhlsbüttel	14	19. 3.	29. 3.	19. 4.	3. 5.	16. 5.	4. 6.	22. 6.	8. 7.	.
Wulfsdorf	46	19. 3.	29. 3.	19. 4.	3. 5.	16. 5.	4. 6.	22. 6.	8. 7.	.
Karlsruhe	125	1. 3.	11. 3.	30. 3.	10. 4.	1. 5.	14. 5.	25. 5.	16. 6.	.
in 30 % der Jahre noch nach dem:										
Hbg.-Bergedorf	33	27. 2.	11. 3.	23. 3.	12. 4.	28. 4.	16. 5.	2. 6.	18. 6.	4. 7.
Hbg.-Fuhlsbüttel	14	6. 3.	18. 3.	1. 4.	19. 4.	4. 5.	24. 5.	11. 6.	25. 6.	24. 7.
Wulfsdorf	46	6. 3.	18. 3.	1. 4.	19. 4.	4. 5.	24. 5.	11. 6.	25. 6.	24. 7.
Karlsruhe	125	8. 2.	25. 2.	11. 3.	29. 3.	20. 4.	7. 5.	19. 5.	3. 6.	.
in 50 % der Jahre noch nach dem:										
Hbg.-Bergedorf	33	12. 2.	1. 3.	13. 3.	2. 4.	18. 4.	11. 5.	24. 5.	11. 6.	29. 6.
Hbg.-Fuhlsbüttel	14	23. 2.	7. 3.	20. 3.	11. 4.	28. 4.	18. 5.	2. 6.	16. 6.	13. 7.
Wulfsdorf	46	23. 2.	7. 3.	20. 3.	11. 4.	28. 4.	18. 5.	2. 6.	16. 6.	13. 7.
Karlsruhe	125	18. 1.	12. 2.	24. 2.	19. 3.	11. 4.	1. 5.	11. 5.	25. 5.	.
in 80 % der Jahre noch nach dem:										
Hbg.-Bergedorf	33	11. 1.	6. 2.	21. 2.	15. 3.	7. 4.	28. 4.	14. 5.	30. 5.	19. 6.
Hbg.-Fuhlsbüttel	14	30. 1.	13. 2.	5. 3.	26. 3.	16. 4.	3. 5.	21. 5.	1. 6.	27. 6.
Wulfsdorf	46	30. 1.	13. 2.	5. 3.	26. 3.	16. 4.	3. 5.	21. 5.	1. 6.	27. 6.
Karlsruhe	125	11. 12.	15. 1.	11. 2.	28. 2.	27. 3.	19. 4.	1. 5.	16. 5.	.

Tab. 3b
Eine Tiefsttemperatur von
wird in der Meßhöhe 2 m unterschritten
in 5 % der Jahre schon vor dem:

Herbst		-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8°C
	Höhe m NN									
Hbg.-Bergedorf	33	28. 11.	13. 11.	24. 10.	15. 10.	30. 9.	21. 9.	11. 9.	16. 8.	1. 8.
Hbg.-Fuhlsbüttel	14	26. 11.	5. 11.	21. 10.	6. 10.	24. 9.	8. 9.	25. 8.	13. 8.	1. 8.
Wulfsdorf	46	26. 11.	5. 11.	21. 10.	6. 10.	24. 9.	8. 9.	25. 8.	13. 8.	1. 8.
Karlsruhe	125	2. 12.	17. 11.	4. 11.	18. 10.	8. 10.	29. 9.	16. 9.	3. 9.	.

in 10 % der Jahre schon vor dem:

Hbg.-Bergedorf	33	3. 12.	22. 11.	30. 10.	21. 10.	6. 10.	27. 9.	15. 9.	24. 8.	8. 8.
Hbg.-Fuhlsbüttel	14	4. 12.	15. 11.	27. 10.	12. 10.	29. 9.	14. 9.	30. 8.	16. 8.	4. 8.
Wulfsdorf	46	4. 12.	15. 11.	27. 10.	12. 10.	29. 9.	14. 9.	30. 8.	16. 8.	4. 8.
Karlsruhe	125	7. 12.	23. 11.	12. 11.	24. 10.	13. 10.	4. 10.	20. 9.	6. 9.	.

in 30 % der Jahre schon vor dem:

Hbg.-Bergedorf	33	21. 12.	11. 12.	14. 11.	4. 11.	21. 10.	4. 10.	25. 9.	7. 9.	23. 8.
Hbg.-Fuhlsbüttel	14	26. 12.	6. 12.	11. 11.	24. 10.	10. 10.	27. 9.	11. 9.	26. 8.	10. 8.
Wulfsdorf	46	26. 12.	6. 12.	11. 11.	24. 10.	10. 10.	27. 9.	11. 9.	16. 8.	10. 8.
Karlsruhe	125	21. 12.	5. 12.	23. 11.	8. 11.	22. 10.	13. 10.	2. 10.	14. 9.	.

in 50 % der Jahre schon vor dem:

Hbg.-Bergedorf	33	3. 1.	21. 12.	26. 11.	11. 11.	28. 10.	12. 10.	3. 10.	13. 9.	2. 9.
Hbg.-Fuhlsbüttel	14	5. 1.	16. 12.	22. 11.	1. 11.	17. 10.	6. 10.	21. 9.	1. 9.	14. 8.
Wulfsdorf	46	5. 1.	16. 12.	22. 11.	1. 11.	17. 10.	6. 10.	21. 9.	1. 9.	14. 8.
Karlsruhe	125	1. 1.	17. 12.	29. 11.	18. 11.	29. 10.	19. 10.	10. 10.	21. 9.	.

in 80 % der Jahre schon vor dem:

Hbg.-Bergedorf	33	31. 1.	13. 1.	13. 12.	22. 11.	11. 11.	24. 10.	12. 10.	23. 9.	10. 9.
Hbg.-Fuhlsbüttel	14	26. 1.	6. 1.	9. 12.	17. 11.	1. 11.	21. 10.	6. 10.	13. 9.	25. 8.
Wulfsdorf	46	26. 1.	6. 1.	9. 12.	17. 11.	1. 11.	21. 10.	6. 10.	13. 9.	25. 8.
Karlsruhe	125	29. 1.	1. 1.	16. 12.	2. 12.	12. 11.	27. 10.	18. 10.	30. 9.	.

türen der frei gelegenen Flughafenstation Hamburg-Fuhlsbüttel unter denen der Hamburger Innenstadt, oft um mehr als 4°. Vor allem im Oktober gibt sich eine Abhängigkeit der Differenzen von der allgemeinen Temperaturhöhe zu erkennen. Eine niedrige Temperaturlage bringt größere Unterschiede zugunsten der Innenstadt als eine höhere. Die Größe der Unterschiede und die ebenfalls große Streuung der Differenzen verbietet es, sich mit den im Bereich des Meßtischblattes Ahrensburg und in unmittelbarer Nähe während kürzerer Zeiträume gefundenen Temperaturverteilungen auf die langjährigen der Hamburger Innenstadt abzustützen.

Abb. 8 bringt den Vergleich zwischen den Tagestiefsttemperaturen von Fuhlsbüttel und Bergedorf. Die geringen Abweichungen erlauben ein Anlehnen der kürzeren Beobachtungszeiten Fuhlsbüttels an die längere Bergedorfs und daran anschließend einen Vergleich mit den Verhältnissen anderer Klimagebiete. Aus Bergedorf liegt eine 50jährige Beobachtungsreihe (1911 bis 1960), aus Fuhlsbüttel eine kürzere von 1931 bis 1967 vor. Aus dem Bereich des Meßtischblattes Ahrensburg selbst stehen die Beobachtungen der Jahre 1959 bis 1967 der Stationen Schmalenbeck und Wulfsdorf zur Verfügung (Stationslage s. Abb. 1). Es gilt zu prüfen, ob sich für die letztgenannten Stationen andere Verhältnisse als für

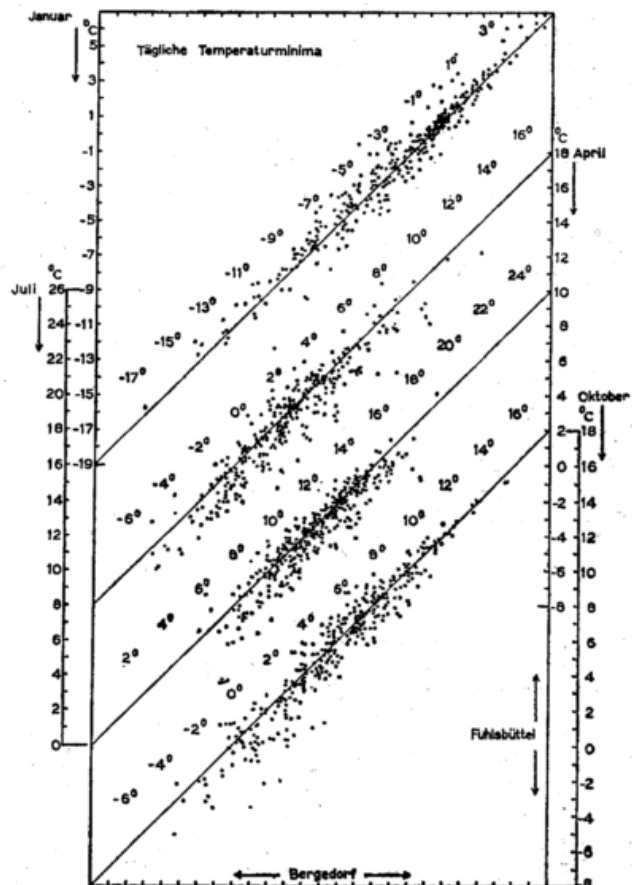


Abb. 8

Tägliche Tiefstwerte der Lufttemperatur (2 m Höhe, T° C) der Monate, Januar, April, Juli, und Oktober der 10 Jahre von 1949 bis 1958, Hamburg-Bergedorf (waagerecht), Hamburg-Fuhlsbüttel (senkrecht).

Die beiden Stadtrandstationen zeigen ein ähnliches Verhalten. Im allgemeinen streuen die Punkte um die 45°-Linien. In den Monaten April, Juli und Oktober ist Bergedorf bei tiefen Temperaturen etwas bevorzugt. Bei Übertragung der in einem kürzeren Zeitraum (1931—1967) in Fuhlsbüttel gefundenen Verteilung der Tagestiefsttemperaturen erscheint eine Anlehnung an Bergedorf (1911—1960) erlaubt.

Bergedorf ergeben. Gegebenenfalls sind bestimmte Korrekturen bzw. Reduktionen vorzunehmen.

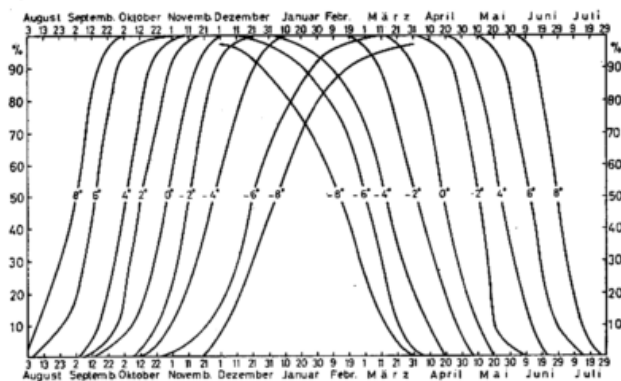


Abb. 9

Häufigkeit (%) des Unterschreitens von Schwellenwerten der Temperatur (-8 bis $+8^\circ$) nach Stichtagen im Frühjahr (rechts) und schon vor Stichtagen im Herbst (links) für Hamburg-Bergedorf, Zeitraum 1911 bis 1960.

Ich wähle auf der waagerechten Achse einen Stichtag (z. B. 10. Mai). Von diesem Punkt gehe ich senkrecht hoch bis zum Schnittpunkt mit einer der Kurven. Z. B. wird nach dem 10. Mai die Temperatur 0° noch unterschritten in 11%, die Temperatur $+2^\circ$ in 57% der Jahre.

Die Kurvenscharen der Abb. 9 sind für Bergedorf gefunden worden. Die rechte Schar steht für Verhältnisse des Frühjahres, die linke für die des Herbstes. In seltenen Fällen sinkt die Temperatur während des Winters nicht unter den Schwellenwert -8° ab. In allen Jahren wird der Schwellenwert 0° noch nach dem 11. 3. unterschritten, in 90 % der Jahre noch nach dem 31. 3., in 74 % nach dem 10. 4., in 25 % nach dem 30. 4. und in 10 % nach dem 10. 5.. Die Prozentangaben für die übrigen Schwellenwerte der Temperatur und für Zwischentage lassen sich ebenso der Abb. entnehmen. Zum Vergleich werden in Tab. 3 die Daten der Schwellenwerte Bergedorf u. a. denen des Oberrheintales (Karlsruhe) gegenüber gestellt.

Der nächste Schritt bringt den Vergleich zwischen Bergedorf und Fuhlsbüttel. Die beiden Stationen verfügen über die gemeinsame Beobachtungszeitspanne von 1931 bis 1960. Wir müssen prüfen, ob der Zeitraum von 1931 bis 1960 in Bergedorf wesentlich andere Pro-

zentwerte für das Unterschreiten von Schwellenwerten der Temperatur an bestimmten Stichtagen ergibt als der Zeitraum von 1911 bis 1960. Diese Prüfung ist vorgenommen worden. Sie hat nur geringe Verschiebungen von überzufälligem Ausmaß ergeben, und zwar bei den Kurvenzügen -2° (Frühjahr) und $-8, -6, -4, 8^\circ$ (Herbst). Die so entstandenen Kurvenscharen dienen als Unterlage für die entsprechenden Darstellungen der Verhältnisse in den Normallagen des Meßtischblattes.

3.3. Die Statistik des letzten und ersten Unterschreitens von Schwellenwerten der Temperatur bei den Klimastationen kürzerer Laufzeit Schmalenbeck und Wulfsdorf des Meßtischblattes Ahrensburg

Zum Schluß müssen wir untersuchen ob die Verhältnisse bei den Stationen des Meßtischblattes erheblich von denen Fuhlsbüttels abweichen. Dieser Vergleich kann sich nicht auf Kurvenscharen der bisher erörterten Art stützen, da dafür die Zahl der Beobachtungsjahre (9) nicht ausreicht. Es wird daher für jedes der 9 Jahre festgestellt, um wieviel Tage früher oder später das Unterschreiten eines Schwellenwertes in Wulfsdorf bzw. Schmalenbeck anfiel als in Fuhlsbüttel. In einer Vielzahl von Fällen (44 % im Frühjahr, 57 % im Herbst) wurden die Schwellenwerte bei den Vergleichsstationen zu den gleichen Tagen unterschritten. In weiteren 20 bzw. 22 % erreichte die zeitliche Differenz im Höchstfall 3 Tage. In etwa 7 % der Fälle liegt die Differenz bei 31 oder mehr Tagen. Diese großen Unterschiede entstehen, wenn ein Kälterückfall bzw. -vorstoß nur bei einer Station zu einem Unterschreiten des Schwellenwertes führt, bei der andern aber erst viel später mit dem nächsten Kältevorstoß.

Übertragen auf langjährige Verhältnisse werden im Frühjahr die Schwellenwerte in Schmalenbeck um 1 bis 2 Tage später als in Fuhlsbüttel unterschritten und im Herbst entsprechend früher. In die Richtung einer Benachteiligung Schmalenbecks deutet auch ein Vergleich des Jahresganges der mittleren täglichen Minima der beiden Stationen (Tab. 4). Schmalenbeck weist durchweg etwas niedrigere Minima als Fuhlsbüttel auf. Die Unterschiede zwischen Fuhlsbüttel und Wulfsdorf lassen sich dagegen vernachlässigen, oder es läßt sich wegen etwas größerer Streuung der Einzelwerte kein systematischer

Tab. 4

Tagestiefsttemperaturen von Hamburg-Fuhlsbüttel, Schmalenbeck und Wulfsdorf für 200 cm und 5 cm Höhe in $^\circ\text{C}$ sowie Differenzen zwischen den Stationen und Meßhöhen, Zeitraum 1959 bis 1967.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
200 cm Fuhlsbüttel	-2.7	-1.9	0.3	3.6	7.0	10.1	11.6	11.4	9.1	6.1	1.8	-1.4
5 cm Fuhlsbüttel	-3.5	-3.2	-1.3	1.9	4.5	7.2	9.1	9.2	6.6	4.3	1.0	-2.0
200 cm Schmalenbeck	-3.0	-2.5	-0.0	3.2	6.6	9.7	11.2	11.0	8.8	5.7	1.7	-2.0
5 cm Schmalenbeck	-3.8	-3.3	-1.6	2.2	4.9	8.0	9.9	9.4	7.1	4.1	0.7	-2.3
200 cm Wulfsdorf	-2.9	-2.3	0.1	3.4	6.9	10.0	11.5	11.4	9.3	6.0	1.8	-1.7
5 cm Wulfsdorf	-4.3	-3.7	-1.4	1.8	5.2	8.4	10.2	10.0	7.5	4.4	0.7	-3.1
200 cm												
Fuhlsbüttel - Schmalenbeck	0.3	0.6	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.1	0.6
Fuhlsbüttel - Wulfsdorf	0.2	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	-0.2	0.1	0.0	0.3
Schmalenbeck - Wulfsdorf	-0.1	-0.2	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.5	-0.3	-0.1	-0.3
5 cm												
Fuhlsbüttel - Schmalenbeck	0.3	0.1	0.3	-0.3	-0.4	-0.8	-0.8	-0.2	-0.5	0.2	0.3	0.3
Fuhlsbüttel - Wulfsdorf	0.8	0.5	0.1	0.1	-0.7	-1.2	-1.1	-0.8	-0.9	-0.1	0.3	1.1
Schmalenbeck - Wulfsdorf	0.5	0.4	-0.2	0.4	-0.3	-0.4	-0.3	-0.6	-0.4	-0.3	0.0	0.8
5 cm - 200 cm Fuhlsbüttel	-0.8	-1.3	-1.0	-1.7	-2.5	-2.9	-2.5	-2.2	-2.5	-1.8	-0.8	-0.6
5 cm - 200 cm Schmalenbeck	-0.8	-0.8	-0.6	-1.0	-1.7	-1.7	-1.3	-1.6	-1.7	-1.6	-1.0	-0.3
5 cm - 200 cm Wulfsdorf	-1.4	-1.4	-1.5	-1.6	-1.7	-1.6	-1.3	-1.4	-1.8	-1.6	-1.1	-1.4

Unterschied nachweisen bzw. vermuten. Der Tatbestand einer etwas größeren Frostgefährdung in Schmalenbeck steht im Einklang mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen (FRANKEN (16)). Im Gegensatz zu den sehr freien Aufstellungen der Stationen Fuhlsbüttel und Wulfsdorf liegt die Station Schmalenbeck sehr geschützt innerhalb eines parkartigen Geländes und damit etwas frostgefährdeter.

Die „Richtlinien“ schließen eine Betrachtung der nächtlichen Tiefsttemperaturen im Meßniveau 5 cm aus, da hier die Auswirkung der Bodenoberfläche in ihrer Beschaffenheit, ihren Feuchteverhältnissen und

ihrem Bewuchs eine Vergleichbarkeit verschiedener Standorte zu sehr erschwert. Da aber die normalen Klimastationen Beobachtungen in dem niedrigen Niveau vornehmen, soll hier wenigstens eine Vorstellung der Zusammenhänge gewonnen werden. Von der Station Fuhlsbüttel liegen neben den täglichen Tiefstwerten aus 2 m Höhe auch die aus 5 cm Höhe vor, und zwar für den Zeitraum von 1938 bis 1967 (30 Jahre). Für das niedrige Niveau läßt sich demnach feststellen, um wieviel Tage die Schwellenwerte -8 bis $+8^{\circ}$ im Frühjahr später und im Herbst früher als in 2 m Höhe unterschritten werden. Tab. 5 gibt die gefundenen Zeitspannen an. Die geringen Differenzen des Herbstes werden zu einem Teil auf

Tab. 5

Differenzen in Tagen zwischen dem Unterschreiten von Schwellenwerten der Tiefsttemperaturen in 2 m und 5 cm Höhe Hamburg-Fuhlsbüttel 1938–1967

Schwellenwert	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8°C
Im Frühjahr in 5 cm Höhe später als in 2 m Höhe unterschritten um Tage:	27	31	28	35	34	38	38	38	12
Im Herbst früher unterschritten um Tage:	28	29	22	22	24	28	29	33	12

noch relativ warmen Boden zurückzuführen sein. Ferner wirkt sich die größere Gegenstrahlung wärmerer Luftschichten des Herbstes aus.

Für die Stationen Schmalenbeck und Wulfsdorf liegen nur 9 Vergleichsjahre vor. Sie bringen erheblich geringere Zeitdifferenzen von 15–25 Tagen im Frühjahr und 10–20 Tagen im Herbst. Dieser Befund unterstreicht die Berechtigung der gegen das Meßniveau 5 cm angeführten Argumente.

3.4. Der Grad der Frostgefährdung (Meßhöhe 50 cm) in Normallagen des Meßtischblattes Ahrensburg

Die im Jahr 1963 festgelegten Richtlinien für Untersuchungen der Frostgefährdung empfehlen bei einschlägigen Meßreihen die Instrumentenhöhe 70 cm. Diese Höhe macht bereits weitgehend unabhängig von den speziellen Aufstellungsbedingungen, z. B. von der Höhe benachbarter Gras- oder Getreideflächen. Sie genügt aber noch zur Erfassung des Geländeeinflusses. Ein großer Teil der Untersuchungen auf dem Meßtischblatt Ahrensburg hatte bereits früher begonnen, und zwar mit der vor 1963 für ausreichend erachteten Meßhöhe von 50 cm. An dieser Höhe mußte bis zum Abschluß der Meßreihen festgehalten werden. Außerdem wird die größere Windhäufigkeit küstennaher Gebiete zu beachten sein. Sie spräche trotz der unter 2.2 festgestellten geringen Reichweite des Meereseinflusses eher für eine etwas niedrigere Aufstellungshöhe als in Süddeutschland. Bei späteren Untersuchungen wird allerdings die Höhe 70 cm zu wählen sein. Das Thermometer befand sich unter einem halbkreisförmigen Strahlungsschutz von 10 cm Durchmesser.

Unter 3.3 ist der Grad der Frostgefährdung einer Normallage (Wulfsdorf) des Meßtischblattes Ahrensburg für die Meßhöhe 2 m festgelegt worden. Nach dem gleichen Verfahren — durch Bestimmen des zeitlichen Unterschiedes zwischen dem Unterschreiten von Schwellenwerten der Temperatur in den beiden Meßhöhen — schließen wir nunmehr auf den Grad der Frostgefährdung bzw. auf die Termine des letzten und ersten Unterschreitens von Schwellenwerten der Temperatur in 50 cm Höhe. Diese Betrachtungen erlangen bei späterer Erörterungen der Frostgefährdung verschiedener Geländelagen Bedeutung.

Um zu einem besseren Urteil zu kommen, ist das Datum des Unterschreitens von Grad zu Grad für den Bereich von -8 bis $+8^{\circ}$ in beiden Meßhöhen tabellarisch erfaßt und anschließend die zeitliche Differenz berechnet worden. Von insgesamt 34 Fällen brachte die Mittelbildung über alle Jahre für 3 Schwellenwerte eine Differenz von über 30 Tagen, in weiteren 3 Fällen eine Differenz von 20 bis 29 Tagen, in 11 Fällen von 10 bis 19 Tagen. Bei sehr niedrigen Schwellenwerten (-8 bis -5°) und hohen ($+7$ bis 8°) ergeben sich nur geringe zeitliche Differenzen zwischen den Meßhöhen. Große zeitliche Differenzen erklären sich aus dem wechselhaften Witterungscharakter Norddeutschlands.

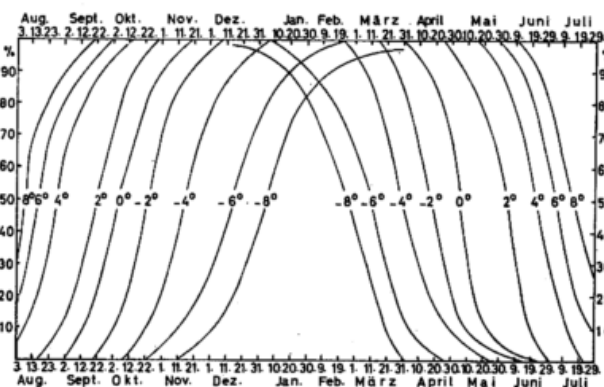


Abb. 10

Häufigkeit (%) des Unterschreitens von Schwellenwerten der Temperatur (-8 bis $+8^{\circ}$) nach Stichtagen im Frühjahr (rechts) und vor Stichtagen im Herbst (links) Normallagen Meßtischblatt Ahrensburg, Meßhöhe 50 cm. Erklärungen siehe Abb. 9.

Abb. 10 lehnt sich an Abb. 9 an. Zur Berücksichtigung der Verhältnisse im Niveau 50 cm (Thermometer unter Strahlungsschutz) sind die Differenzwerte der Meßhöhen 2 m und 50 cm beachtet worden. Für das Unterschreiten des Schwellenwertes 0° ergeben sich demnach für die Normallagen des Meßtischblattes folgende Beziehungen: Noch Unterschreiten in 10 % der Jahre nach dem 23. Mai, in 30 % nach dem 11. Mai, in 50 % nach dem 5. Mai, in 80 % nach dem 24. April und in allen Jahren nach dem 31. März.

3.5. Die beim letzten Unterschreiten von Schwellenwerten der Temperatur im Frühjahr und beim ersten Unterschreiten im Herbst festgestellten Windrichtungen

Unter 2.2 ist ein Einfluß der Windrichtung auf die Höhe der täglichen Tiefsttemperaturen nachgewiesen worden. Dabei stand der Unterschied der einzelnen Stationen im Vordergrund der Betrachtungen. Es folgte eine Statistik über den zeitlichen Eintritt des letzten und des ersten Unterschreitens von Schwellenwerten der Temperatur im Frühjahr bzw. Herbst. Nunmehr untersuchen wir, bei welchen Windrichtungen dieses letzte und erste Unterschreiten bevorzugt erfolgt. Eine Klärung der Zusammenhänge mag, von späteren Betrachtungen abgesehen, auch für die Vorhersage von Nachtfrosten während der Übergangsjahreszeiten Bedeutung haben.

Von der Station Hamburg-Fuhlsbüttel (s. Abb. 1) liegen die täglichen Temperaturminima der Zeitspanne von 1931 bis 1967 vor und die Windrichtungsbeobachtungen der 3 Klimahaupttermine von 1935 bis 1967. Die fehlenden 4 Jahre von 1931 bis 1934 können wegen der großräumigen Übereinstimmung der Windrichtungen der Station Hamburg-Stadt entnommen werden. Für jede Nacht, in der die Temperatur zum letzten- bzw. erstenmal einen Schwellenwert ($-8, -6, -4, -2, 0, 2, 4, 6, 8^{\circ}\text{C}$) unterschreitet, wird die Windrichtung des vorangegangenen Abends (Termins 21 Uhr) der Klimatabelle entnommen. Nach Umstellen auf prozentualen Anteil der einzelnen Windrichtungen an der Gesamtzahl der Fälle ergeben sich die in Abb. 11 dargestellten Zusammenhänge. Beim letzten Unterschreiten des Schwellenwertes -8° im Frühjahr herrscht z. B. in 3% der Fälle

die Windrichtung 32 (Nord), in 5% die Richtung 02 usw., in 15% Windstille. Niedrige Schwellenwerte treten bevorzugt bei östlichen und nördlichen Richtungen auf, höhere setzen im allgemeinen nordwestliche Winde voraus. So herrscht beim Unterschreiten des Wertes 8° in 35% aller Fälle die Windrichtung 26, in 25% die Richtung 28. Der Sachverhalt läßt sich mit den jahreszeitlich bedingten Eigenarten der anströmenden Luftmassen begründen. Die niedrigen Schwellenwerte werden schon im Januar bis März zum letztenmal unterschritten. In dieser Jahreszeit greift noch die kontinentale Kälte auf den Untersuchungsraum über. Höhere Schwellenwerte unterschreitet die Temperatur zum letztenmal in den Monaten Mai bis Juli, wenn kühle Luftmassen aus Nordwesten heranströmen. Das in einem Teil der Fälle auch andere Windrichtungen beteiligt sind, steht nicht im Widerspruch zu diesen Feststellungen. So können kalte Luftmassen nach Süden vorgestoßen sein und am Abend wieder zurückfluten. Lokale Windrichtungsabweichungen von der allgemeinen Strömung können ebenfalls die Klarheit der Zusammenhänge verwischen.

Für den Herbst wird ein ähnliches Verhalten des Anteils der Windrichtungen an den Unterschreitungen von Temperaturschwellenwerten festgestellt (Abb. 11). Die gleichen Verteilungen sind an anderer Stelle (FRANKEN (15)) für die Station Bremen gefunden worden. Es dürfte demnach für größere Gebiete des norddeutschen Flachlandes typisch sein.

Der gefundene Zusammenhang läßt sich nicht darauf zurückführen, daß etwa die festgestellten Windrichtungen zu den fraglichen Zeiten viel häufiger als die übrigen Richtungen vorkommen. Wäre nur die Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen entscheidend, so müßten die Windrichtungen 20 bis 24 erheblich mehr vertreten sein. Nach REIDAT (23) weht z. B. der Wind zum Abendtermin der Frühjahrsmonate in 23% der Fälle aus den Richtungen 26 bis 30. Die Schwellenwerte 2, 4, 6, 8° werden aber je in 57, 48, 66, 82% aller Fälle bei diesen Windrichtungen unterschritten, also 2- bis 4mal so häufig. Im Herbst sind Winde aus den Richtungen 02 bis 08 mit 13% an allen Windrichtungen beteiligt. Dem ersten Unterschreiten der Schwellenwerte -8 bis -2° gehen aber die genannten Windrichtungen in 52, 42, 34, 33% der Fälle voraus. Die Windrichtungen 26 bis 30 kommen im Herbst zum Abendtermin in 17% der Fälle vor. Am Unterschreiten der Schwellenwerte 4, 6, 8° sind sie aber zu 46, 49, 34% beteiligt.

3.6. Über die Abhängigkeit der zwischen verschiedenen Geländelagen festgestellten Temperaturdifferenzen von meteorologischen Bedingungen

3.6.1. Vorbemerkung

Die Untersuchung will nur einen Beitrag zur Frage der unterschiedlichen Frostgefährdung der verschiedenen Lagen eines Meßtischblattbereiches bringen. Es wird in absehbarer Zukunft nicht möglich sein, die auf einem Meßtischblatt (Maßstab 1:25 000) dargestellte Fläche (120 km^2) gleichzeitig mit einem dichten Netz von Minimumthermometern zu besetzen und dieses Netz zu betreuen, um auf diesem Weg die Frostgefährdung der Lagen zu bestimmen, und zwar im Sinne der Richtlinien zur Kartierung der Frostgefährdung, SCHNELLE (24). Aufstellung der Instrumente im Verband von etwa 100 mal 100 m (in ebenem Gelände weitmaschiger, in welligerem zum Teil enger) ergäbe insgesamt einen Bedarf von 12 000 Meßstellen. Man könnte also nur abschnittsweise vorgehen. Ein Beobachter kann bestenfalls 100 Meßstellen pro Tag bzw. für eine Meßperiode bedienen. Unter norddeutschen Verhältnissen ist nur mit 2 Meßperioden im Jahr zu rechnen, in denen eine ausreichende Zahl von Strahlungs-

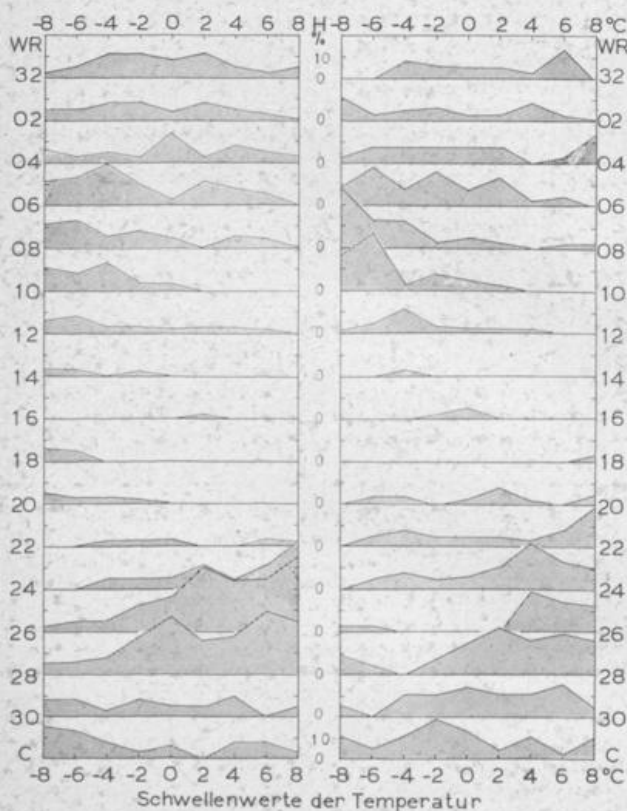


Abb. 11

Häufigkeitsverteilungen der am Vorabend des letzten Unterschreitens von Schwellenwerten der Temperatur (-8 bis $+8^{\circ}$) im Frühjahr (links) und des ersten Unterschreitens im Herbst (rechts) herrschenden Windrichtung, Hamburg-Fuhlsbüttel 1935-1967.

Für jede Windrichtung von 32 (Nord) über 16 bis 30 und für Windstille ist ein eigenes Koordinatenkreuz gelegt worden. Im Frühjahr (links) werden niedrige Schwellenwerte meist bei nordöstlichen bis östlichen Richtungen unterschritten, hohe Werte bei Nordwestwinden. Für das erste Unterschreiten im Herbst gelten ähnliche Zusammenhänge.

nächten mit größeren Unterschieden zwischen den verschiedenen Geländelagen anfällt. Außerdem bringt das zeitliche Nacheinander der Beobachtungsserien auch bei einem Vorgehen nach den „Richtlinien“ gewisse Schwierigkeiten in der Deutung der Ergebnisse.

Wir wollen daher auf einem andern Weg versuchen, die Frostgefährdung verschiedener Geländeteile wenigstens in Annäherung darzustellen. Mit Hilfe einer Daueraufstellung einiger Kleinklimastationen an besonderen Geländepunkten wollen wir einige Gesetzmäßigkeiten bezüglich der im Gelände vorkommenden nächtlichen Temperaturunterschiede aufdecken. Dazu werden weitere Beobachtungsreihen an netzartig aufgestellten Minimumthermometern gewonnen. Wir legen am Schluß der Untersuchung keine Frostgefährdungskarte im Sinne der „Richtlinien“ vor, sondern stützen uns bei Zeichnung der Karte auf gewisse, bei langfristigen Untersuchungen gewonnene Vorstellungen.

Gehen wir den Ursachen der Ausbildung von nächtlichen Temperaturunterschieden auf statistischem Weg nach, so müssen wir verschiedene Punkte beachten. Zunächst müssen für das Entstehen von Temperaturunterschieden zwischen verschiedenen Geländepunkten folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

1. Möglichst geringe Bewölkung und damit geringe Gegenstrahlung des Nachthimmels,
2. Möglichst schwacher Wind und damit ungestörtes

Anwachsen der vom Boden her erkaltenden Luftschicht.

Die in unterschiedlichen Häufigkeitsverteilungen aus den verschiedenen Windrichtungen anströmenden Luftmassen erfüllen die genannten Voraussetzungen teils besser, teils schlechter. Träte z. B. geringe Bewölkung relativ sehr häufig bei Nordwinden auf und hätten die aus dieser Richtung anströmenden Luftmassen hinsichtlich der Geschwindigkeit die gleiche Häufigkeitsverteilung wie die übrigen Richtungen, so wäre bei Nordwind mit häufiger auftretenden Temperaturunterschieden zwischen bestimmten Geländepunkten zu rechnen. Stimmen dagegen die Bewölkungsverhältnisse bei allen Windrichtungen überein, so wird die Verteilung der Windgeschwindigkeit entscheidend. Die in Wirklichkeit auftretenden Kombinationsmöglichkeiten erschweren die Feststellung von Gesetzmäßigkeiten. Dazu kann es vielleicht von Bedeutung werden, ob der Wind in der Talrichtung weht oder senkrecht dazu, ob der Himmel ganz klar oder dunstig ist und ob die Luftmassen stabil oder labil geschichtet sind. Im Einzelfall wird sich die Mitbeteiligung der ein oder andern Ursache an der Entstehung der Unterschiede kaum festlegen lassen. So werden wir uns zum Teil mit der Erarbeitung von Anhaltspunkten zufrieden geben müssen. Eines Tages dürften Strömungsuntersuchungen mit Hilfe eines umfangreichen Instrumentariums die Zusammenhänge besser klären.

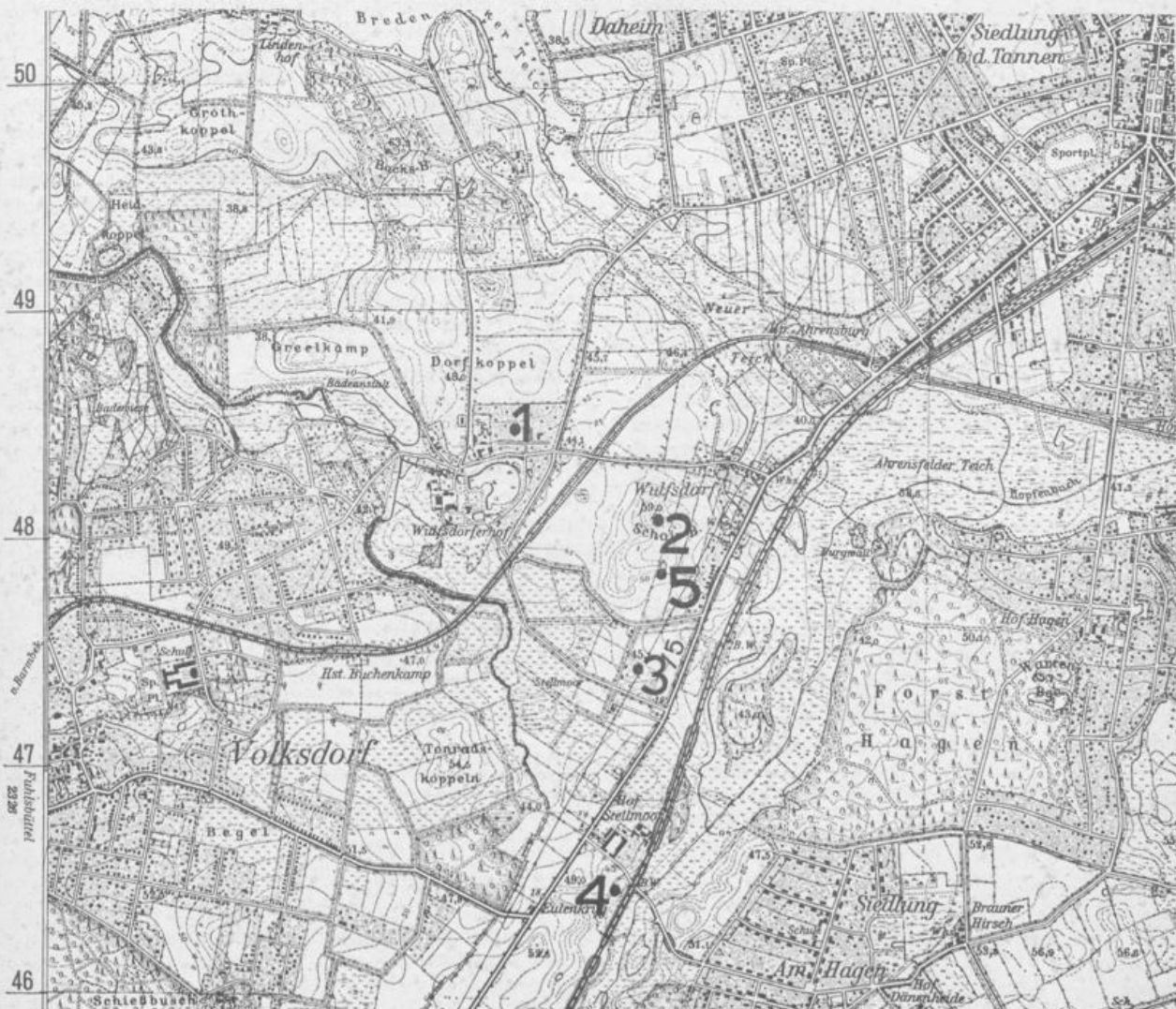


Abb. 12

Lage der Klimastation des Versuchsfeldes Wulfsdorf der AMF Hamburg (1) (46 m NN) und einiger Kleinklimastationen (Meßhöhe 50 cm) 2 = Scharfberg (59 m NN) 3 = Versuchsfeld des Instituts für Angewandte Botanik der Universität Hamburg (45 m NN) 4 = Stelmoor (42 m NN) 5 = Scharfberg, Kuhle (50 m NN)

3.6.2. Die zu Vergleichen herangezogenen Geländeklimastationen des Meßtischblattbereiches Ahrensburg

Für eine auf längere Zeit zu betreuende Anzahl von Stationen ist an die Bedienungs- und Auswertungsschwierigkeiten zu denken. Dazu gehören das wöchentliche Wechseln der Registrierstreifen und ein wöchentlich möglichst zweimaliges Aufsuchen der Stationen zur Vornahme von Vergleichsmessungen mit dem Psychrometer. Der Aufwand für die Auswertung der Registrierungen ist erheblich und muß sich auf die Nächte bzw. Nachtstunden beschränken, in denen deutliche Temperaturunterschiede zwischen den verschiedenen Lagen auftreten. Derartige Abweichungen können bei geringen Höhenunterschieden der Stationen leicht durch ein Durchleuchten aufeinander gelegter Registrierstreifen festgestellt werden. Dazu eignen sich allerdings nur nichtkaschierte Registrierstreifen.



Abb. 13
Der Schairberg (59 m NN)

Die Untersuchung begann mit dem Vergleich zweier Stationen der Meßhöhe 50 cm, von denen die Registrierungen der Temperatur und der relativen Luftfeuchte für 10 Jahre (November 1956 bis Oktober 1966) gewonnen werden konnten. Die Station Schairberg liegt auf einem Hügel der Höhe 59 m (Abb. 12 und 13), die Station Stellmoor in einem von Südsüdwest nach Nordnordost verlaufenden Wiesental (Abb. 12 und 14), Höhe 42 m NN. Ab 1. 6. 1957 kam eine weitere Station in einem geschützten Normalgelände (Versuchsfeld des Instituts für Angewandte Botanik) (Abb. 12), Höhe 45 m NN und eine Station im offenen Normalgelände (Versuchsfeld Wulfsdorf, der Agrarmeteorologischen Forschungsstelle Hamburg, Meßhöhe 200 cm, Höhe 46 m NN, Abb. 12) hinzu.

Dazu kamen weitere Temperaturregistrierungen in einer von Westnordwest nach Ostsüdost verlaufenden Tal-senke bei Bünnigstedt (1. 12. 1961 bis 1. 8. 1966), in einer

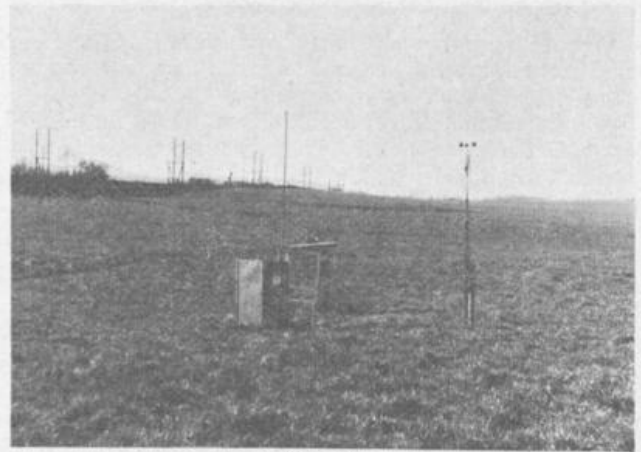


Abb. 14
Geländeklimastation Stellmoor (42 m NN)

Kiesgrube (1. 10. 1960 bis 30. 11. 1964, Abb. 12) und kürzeren Meßreihen an andern Standorten. Im Abschnitt 4 werden die zusätzlich mit Hilfe von Minimumthermometern gewonnenen Ergebnisse besprochen.

3.6.3. Die mittleren täglichen Minima der Temperatur in verschiedenen Geländelagen

Nach Tab. 6 nehmen die mittleren täglichen Temperaturminima ähnlich wie in den unteren Höhenlagen Süddeutschlands mit zunehmender Höhe zu. Das erklärt sich aus der starken Temperaturschichtung in Strahlungsnächten und nicht etwa aus Nacht für Nacht auftretenden schwachen Inversionen. Die wärmere Jahreszeit weist in Norddeutschland mehr Strahlungsnächte auf als der Winter. Das führt zu den größeren sommerlichen Temperaturunterschieden zwischen dem höchsten Standort (Schairberg 59 m NN) und dem niedrigsten (Stellmoor 42 m NN). Nach Tab. 6 werden im Sommer Unterschiede von 1.4 bis 1.6° erreicht, im Winter nur 0.6 bis 0.9°. Das sekundäre Maximum der Differenzen im Monat September folgt aus den dann häufig auftretenden Strahlungswetterlagen. Bei einem Höhenunterschied von nur 3 m übersteigen die Differenzen zwischen der Talstation Stellmoor und der Normallage (Versuchsfeld Bot. Institut) erheblich die Unterschiede zwischen der Hügelstation und der Normallage, obgleich hier der Höhenunterschied 14 m beträgt. Offensichtlich kommt der Kalt-

Tab. 6
Mittlere tägliche Tiefsttemperaturen (°C)
Gebiet Wulfsdorf
1957 — 1966 (10 Jahre)

		Höhe m NN	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Wulfsdorf- Versuchsfeld	200 cm	46	-2.6	-2.0	-0.2	3.2	6.7	10.1	11.7	11.5	9.4	6.2	2.1	-1.2
	50 cm	46	-2.7	-2.1	-0.3	3.0	6.5	9.7	11.2	11.2	9.1	6.1	2.1	-1.2
	5 cm	46	-3.8	-3.4	-1.7	1.4	5.0	8.6	10.2	10.1	7.5	4.5	0.6	-2.7
Schairberg Botanisches Institut	50 cm	59	-2.4	-1.7	0.2	3.6	7.0	10.3	11.8	11.6	9.7	6.6	2.4	-0.9
Versuchsfeld	50 cm	45	-2.8	-2.1	-0.1	3.3	6.6	9.8	11.3	11.2	9.1	6.1	2.1	-1.2
Stellmoor	50 cm	42	-3.0	-2.6	-0.8	2.6	5.6	8.7	10.5	10.5	8.2	5.3	1.7	-1.6
Differenz Stellmoor Schairberg			-0.6	-0.9	-1.0	-1.0	-1.4	-1.6	-1.3	-1.1	-1.5	-1.3	-0.7	-0.7

luftansammlung in Talsenken in vielen Fällen eine größere Bedeutung zu als der allgemeinen nächtlichen Temperaturzunahme mit der Höhe. Wie unter Mittelgebirgsverhältnissen entscheidet die relative Höhe eines Standortes zur näheren Umgebung über die Temperaturhöhe in Strahlungsnächten und nicht die absolute Höhe, sofern die Höhenunterschiede höchstens etwa 200 m betragen.

3.6.4. Über den Unterschied zwischen den mittleren täglichen Tiefsttemperaturen und den Tiefsttemperaturen in Strahlungsnächten

Die Auswirkung der nächtlichen Ausstrahlungsverhältnisse auf das allgemeine Temperaturniveau und auf den Unterschied der Tiefsttemperaturen verschiedener Meßhöhen kommt in Abb. 15 zum Ausdruck. Sie zeigt oben den Kurvenzug der aus einem neunjährigen Zeitraum gemittelten Tiefsttemperaturen von Wulfsdorf, gemessen in 200 cm Höhe. Die übrigen Kurvenzüge liegen sämtlich tiefer. Demnach bringen Strahlungsnächte

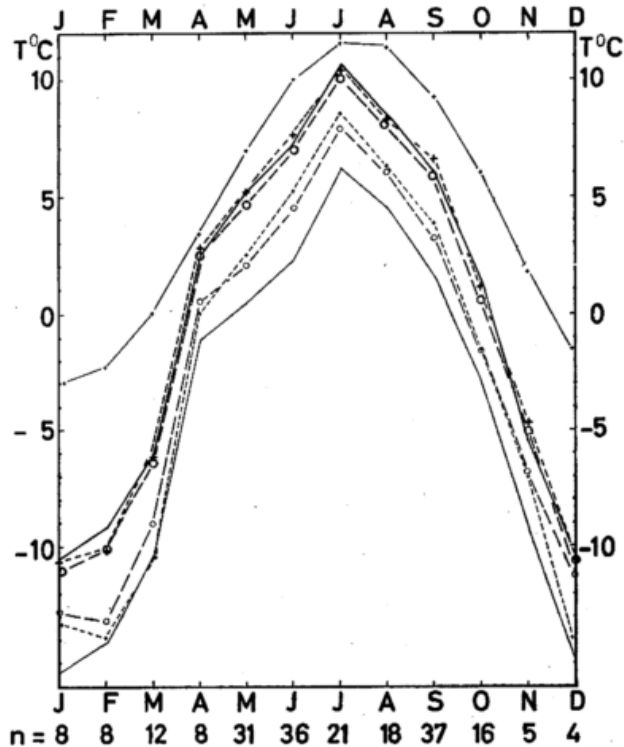


Abb. 15

In Strahlungsnächten gewonnene mittlere Temperaturminima der Meßhöhen 200 und 5 cm. Zeitraum 1959-1967.

200 cm 5 cm
 0 — 0 0 — 0
 + — + + — +
 n = Zahl der Fälle

Auch in Strahlungsnächten sind die Unterschiede der Temperaturminima in 200 cm Höhe gering. In 5 cm Höhe weist dagegen die Flughafenstation Fuhlsbüttel auffallend niedrige Werte auf, eine Folge der großen Grasflächen der unmittelbaren Umgebung.

im allgemeinen niedrigere Temperaturen, und zwar besonders während der Wintermonate. Der Unterschied gegenüber mittleren Witterungsverhältnissen steigt dann auf 7 bis 9° an. Im Juli geht er auf 0.9° zurück. Allerdings treten Strahlungsnächte im Winter wesentlich seltener als während der wärmeren Jahreszeit auf (s. Zeile n, Abb. 15).

Die Unterschiede zwischen den Stationen bleiben auch bei Strahlungswetter in der Meßhöhe 200 cm gering. Sie erreichen im Höchstfall (Abb. 15) 1.1°. Dagegen fällt Fuhlsbüttel im 5-cm-Niveau durch sehr niedrige Werte auf. Der Unterschied der beiden Meßhöhen beträgt in Wulfsdorf und Schmalenbeck 0.7 bis 4.3°, überschreitet die Differenz 3° aber nur in 3 Monaten. In Fuhlsbüttel beträgt die Differenz 3.5 bis 5.1°, wobei die Differenz 4° nur in 2 Monaten nicht erreicht wird. Die besonderen Verhältnisse Fuhlsbüttel haben ihren Ursprung in den ausgedehnten Rasenflächen des Flughafens. Im 50-cm-Niveau würden sich die Rasenflächen bereits weniger auswirken.

3.6.5. Die Häufigkeit und Stärke des Auftretens von nächtlichen Temperaturunterschieden zwischen verschiedenen Geländelagen

Bei den folgenden Betrachtungen geht es um die Abhängigkeit der zwischen den beiden Stationen in extremen Lagen (Hügelstation Schairberg, 59 m NN und Talstation Stellmoor, 42 m NN) festgestellten nächtlichen Temperaturunterschiede von Jahreszeit, Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Bewölkungsverhältnissen. Als Nachstunden sollen auch kurze Zeitspannen vor Sonnenuntergang und nach Sonnenaufgang mit einbezogen werden, während derer die Ausstrahlung schon oder noch stark gegenüber der Einstrahlung überwiegt. So stehen einer Auszählung mehr Stunden zur Verfügung, die besonders bei einer Aufspaltung des Beobachtungsmaterials nach verschiedenen Gesichtspunkten willkommen sind. Für die Monate November bis Januar ergab sich eine Nachtlänge von 18 Stunden, für Februar und Oktober von 16, für März und September von 14 und für die restlichen Monate von 12 Stunden.

Nach Tab. 7 bringt ein Wintermonat nur 4 bis 5 Nächte, in denen mindestens eine Stunde lang ein Unterschied von mindestens 1.5° zwischen der Hügel- und der Talstation bestand. Diese Stunde braucht nicht auf die Eintrittszeit der Tiefsttemperatur zu fallen. Im Vorsommer können es 12 solcher Nächte sein. Ein sekundäres Minimum der Häufigkeit fällt auf die Monate Juli und August.

Die Mittelwerte der Tab. 7 bilden sich aus sehr unterschiedlichen Einzelwerten. In manchen Jahren bringt ein Wintermonat nur 1 bis 3 Nächte mit einem Temperaturunterschied zwischen den beiden Lagen, in anderen Jahren dagegen 7 bis 12 Nächte. Im Frühjahr stehen 3 bis 9 Nächte gegen 13 bis 18.

Abb. 16 gibt den Jahresgang der Nachtstunden (nicht nur Nächte) mit Temperaturdifferenzen von mindestens 1.5 (oben) bzw. 3.6° (unten) zwischen der Hügelstation Schairberg und der Talstation Stellmoor wieder. So erklären sich die höheren Werte der Abszisse. Auch hier

Tab. 7

Mittlere Zahl (n) der Nächte pro Monat, in denen mindestens 1 Stunde mit einer Temperaturdifferenz von mindestens 1,5° C zwischen der wärmeren Hügelstation Schairberg (59 m NN) und der kälteren Talstation Stellmoor (42 m NN) vorkommt

Monate	Zeitraum 1957 bis 1966 (10 Jahre)											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
n	5.1	5.5	6.2	8.9	12.2	12.1	11.8	10.9	12.6	9.8	4.1	4.0

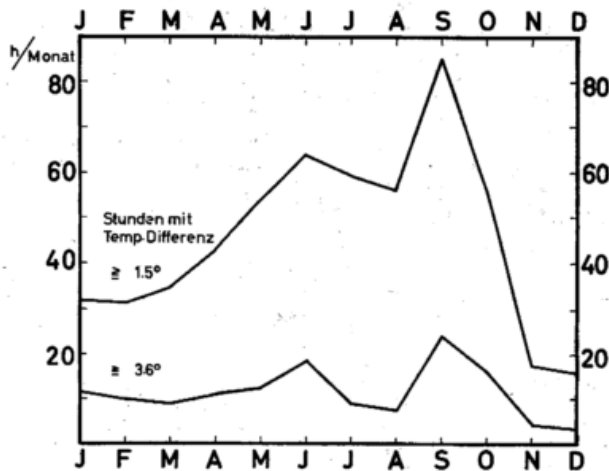


Abb. 16

Mittlere Zahl der Nachtstunden / Monat mit Temperaturdifferenzen von mindestens 1.5° (oben) und mindestens 3.6° (unten) zwischen der Hügelsstation Scharberg (59 m NN) und der Talstation Stellmoor (42 m NN), Meßhöhe 50 cm. Die Monate Juni und September bringen relativ viele Stunden mit Temperaturdifferenzen, die Wintermonate dagegen nur wenige.

treten 2 Maxima und ein sekundäres Minimum auf. Die hohe Zahl der Stunden im September leitet sich aus den für diesen Monat typischen ruhigen Wetterlagen und den bereits längeren Nächten ab. Tab. 8 bringt eine weitere Aufschlüsselung nach der Größe der Temperaturdifferenz.

Tab. 8

Mittlere Zahl der Nachtstunden pro Monat mit Temperaturdifferenzen bestimmter Größenordnung zwischen der wärmeren Hügelsstation Scharberg (59 m NN) und der kälteren Talstation Stellmoor (42 m NN).

	Zeitraum 1957 — 1966 (10 Jahre)					
	Temperaturdifferenzen (°C)					
	—1.5 bis —2.5	—2.6 bis —3.5	—3.6 bis —4.5	—4.6 bis —5.5	—5.6 bis —6.5	≥ —6.6
Januar	11.6	9.0	4.5	2.5	2.7	1.6
Februar	16.7	5.3	3.1	2.7	1.6	2.1
März	16.2	9.6	4.0	2.2	2.0	0.9
April	22.8	8.7	5.0	4.2	1.7	0.2
Mai	28.9	12.3	6.8	3.2	1.7	0.9
Juni	29.1	16.3	8.8	5.2	2.3	2.5
Juli	31.6	19.0	5.6	1.5	1.3	0.7
August	31.8	16.6	5.2	1.5	0.6	0.3
September	36.4	24.6	14.4	7.1	1.8	1.4
Oktober	28.1	11.5	8.4	5.3	2.1	0.7
November	9.5	4.2	2.0	1.6	0.5	0.3
Dezember	9.4	3.1	1.8	1.2	0.3	0.2
Dez.-Febr.	37.7	17.4	9.4	6.4	4.6	3.9
März-Mai	67.9	30.6	15.8	9.6	5.4	2.0
Juni-Aug.	92.5	51.9	19.6	8.2	4.2	3.5
Sep.-Nov.	74.0	40.3	24.8	14.0	4.4	2.4

3.6.6. Die Auswirkung von Bewölkungs- und Windverhältnissen auf die Temperaturverteilung im Gelände

Die folgenden Abschnitte zeigen zunächst, in welchem Maße die zwischen 2 Geländepunkten extremer Lage (Hügelsstation Scharberg — Höhe 59 m NN und Talstation Stellmoor — Höhe 42 m NN) festgestellten nächtlichen Temperaturunterschiede von der Bewölkung, der Windrichtung und der Windgeschwindigkeit abhängen. Sie gehen dann auf die enge Kopplung der 3 Witterungs-

faktoren über und wenden sich schließlich den Verhältnissen weiterer Geländelagen zu.

Bei starker Bewölkung macht die ihr zu verdankende Gegenstrahlung einen großen Teil der durch nächtliche Ausstrahlung der Erdoberfläche entstehenden Wärmeverluste wieder wett. Es kommt nicht oder kaum zur Ausbildung von Temperaturunterschieden im Gelände. Der Bewölkungsgrad (bzw. auch die Stärke der Lufttrübung) muß demnach als primäre Ursache der nächtlichen Temperaturverteilung an erster Stelle behandelt werden. Von der Windgeschwindigkeit hängt es dann in erster Linie ab, ob das durch die Eigenart eines Standortes bedingte „Klima“ auch diesem Standort erhalten bleibt (Windstille oder schwacher Wind), oder ob es zu einem allgemeinen Temperatúrausgleich kommt (lebhafter Wind).

Anstelle der Registrierungen eines Strahlungsbilanzmessers mußten die halbstündlichen Wolkenbeobachtungen des Landebahnbeobachters des Flughafens Hamburg-Fuhlsbüttel herangezogen werden. Die Entfernung des Untersuchungsraumes zum Flughafen beträgt etwa 12 km. In der weitaus größten Zahl der Nachtstunden dürfte der Bewölkungsgrad der beiden Stellen übereinstimmen. In Einzelfällen kann es gebietsweise Nebel geben. Häufiger bringt ein Wolkenaufzug in Fuhlsbüttel schon eher bedeckten Himmel als in Ahrensburg. Diese Umstände sind bei Erörterung der Tab. 9 zu beachten.

Für einen Zeitraum von 10 Jahren (1957 — 1966) und nach Jahreszeiten getrennt gibt sie an, welche Bedeckung bei Nachtstunden mit Temperaturunterschieden von 2.0 bis 3.9, 4.0 bis 5.9° usw. zwischen der Hügelsstation Scharberg und der Talstation Stellmoor geherrscht hat. Wolkenlosigkeit bringt demnach in allen Stufen die meisten Stunden. Ein Bewölkungsgrad von mehr als 2/8 läßt kaum noch Unterschiede von mehr als 6.0° zu. Wäre die Bewölkung im Untersuchungsraum selbst gewonnen worden, so würde die in der Tabelle unter stärkerer Bedeckung zu findende Zahl der Fälle stark schrumpfen. Auf zeichnerische Darstellung verzichten wir, da die Stundenzahl mit geringen Unterschieden in einem zu ungünstigen Verhältnis zu den großen Zahlen bei geringer Bewölkung steht.

Bei Umrechnung der in der Tab. 9 angegebenen Zahl der Fälle in Prozentwerten der jeweiligen Differenzstufe gibt sich die Bedeutung geringer Bewölkung für höhere Temperaturdifferenzen zwischen den beiden Stationen noch besser zu erkennen. Bei Temperaturdifferenzen von 2.0 bis 3.9° herrscht in 54% der Fälle während des Winters wolkenloses Wetter, bei Differenzen 4.0 bis 5.9° in 58% und bei Differenzen 6.0 bis 7.9° in 70%. Im Frühjahr sind die entsprechenden Prozentwerte 38, 52, 76, im Sommer 31, 44, 42 und im Herbst 46, 69, 76%.

Nach Abschnitt 2 wirken sich die Windrichtung bzw. an bestimmte Windrichtungen gebundene Eigenschaften der anströmenden Luftmassen auf die Temperaturverteilung im Küstenraum aus, und zwar vor allem in Strahlungsnächten. Ferner spielt die Windrichtung nach Abschnitt 3.5 beim letzten bzw. ersten Unterschreiten von Schwellenwerten der Temperatur im Frühjahr bzw. Herbst eine Rolle. Es gilt nunmehr zu untersuchen, ob auch die nächtlichen Temperaturunterschiede zwischen einer Hügels- und einer Talstation eine Abhängigkeit von der jeweils herrschenden Windrichtung bzw. von der Eigenart der bei bestimmten Windrichtungen überwiegend anströmenden Luftmassen zeigen. Jeder Nachtstunde mit einer Temperaturdifferenz von mindestens 1.5° zwischen den beiden Standorten ordnen wir die in 10 m Höhe auf dem Versuchsfeld Wulfsdorf (Höhe 46 m NN) festgestellte Windrichtung und Windgeschwindigkeit zu.

Tab. 9

Himmelsbedeckung während der Nachtstunden mit Temperaturdifferenzen zwischen einer Hügellage (Schairberg, 59 m NN) und einer Tallage (Stellmoor, 42 m NN).

Meßhöhe der Temperatur = 50 cm

Zahl der Stunden in einer Zeitspanne von 10 Jahren (1957 — 1966)

Temp.-Diff. (°C)

Himmelsbedeckung in Achteln (x = nicht angebar)

Dezember — Februar	0	1	2	3	4	5	6	7	8	x
—2.0 bis —3.9	232	67	23	20	12	10	15	21	19	8
—4.0 bis —5.9	82	14	8	9	7	1	3	4	8	5
—6.0 bis —7.9	45	6	1	2	.	1	2	1	.	5
—8.0 bis —9.9	7	2	.	.	.	.	.	1	.	1
—10.0 bis —11.9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Summe	366	89	32	31	19	12	20	27	27	19
März — Mai										
—2.0 bis —3.9	301	130	88	72	47	35	39	49	35	3
—4.0 bis —5.9	123	44	26	22	6	8	4	2	.	4
—6.0 bis —7.9	50	8	6	1	.	.	.	1	.	.
—8.0 bis —9.9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
—10.0 bis —11.9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Summe	474	182	120	95	53	43	43	52	35	7
Juni — August										
—2.0 bis —3.9	348	280	128	102	62	55	58	64	24	2
—4.0 bis —5.9	102	68	27	7	8	6	4	4	2	2
—6.0 bis —7.9	27	24	6	3	.	3	.	.	.	.
—8.0 bis —9.9	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.
—10.0 bis —11.9	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Summe	484	372	161	112	70	64	62	68	26	4
September — November										
—2.0 bis —3.9	430	164	60	56	36	41	50	64	23	11
—4.0 bis —5.9	274	49	20	8	11	12	5	12	1	5
—6.0 bis —7.9	41	11	1	1	.	.	.	.	.	.
—8.0 bis —9.9	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.
—10.0 bis —11.9	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Summe	749	224	81	65	47	53	55	76	24	16

Soll die Bedeutung der Windrichtung zum Ausdruck kommen, so muß eine Betrachtung der Häufigkeit des Auftretens der Windrichtungen in sämtlichen Nachtstunden des 10jährigen Zeitraumes vorangehen. In allen Jahreszeiten weht der Nachtwind häufig (32—42 % der Fälle) aus den Richtungen 20—22—24—26. Bei gleichmäßig auf die Richtungen verteiltem Wind ergäbe sich der Häufigkeitswert 24%. Im Frühjahr kommt der Wind häufig aus Nordosten (04—06), im Herbst aus Südosten (10—14). Der Anteil der windstillen Stunden liegt bei 2.5 bis 4 % der Nachtstunden.

Wir können nun die Prozentwerte feststellen, mit denen die auf jede Windrichtung entfallenden Stunden mit deutlichen Temperaturunterschieden zwischen Tal- und Hügellagen an der Gesamtzahl der Nachtstunden mit entsprechenden Temperaturdifferenzen beteiligt waren. Es zeigt sich, daß nördliche und südliche Winde häufiger mit Temperaturunterschieden zwischen den Lagen auftreten als es der Häufigkeit des Vorkommens von Winden aus diesen Richtungen entspricht. Windstille bringt sogar 6- bis 8mal mehr derartige Fälle.

Abb. 17 bringt die Beziehungen noch besser zum Ausdruck. Nach Jahreszeiten getrennt zählen wir die Zahl der Nachtstunden bestimmter Windrichtungen aus. Dann läßt sich die Zahl der bei jeder Windrichtung auftretenden Stunden mit Temperaturunterschieden von mindestens 1.5° zwischen Schairberg und Stellmoor als Prozentwert der Gesamtzahl der Stunden entsprechender Windrichtungen errechnen. Demnach treten Unter-

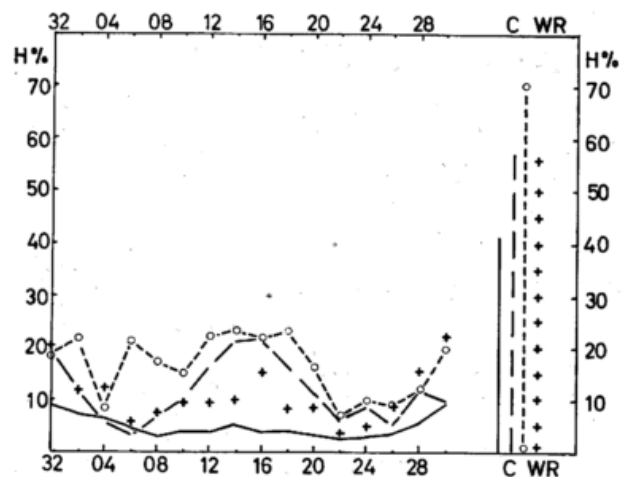


Abb. 17
Prozentualer Anteil (%) der bei den einzelnen Windrichtungen festgestellten Nachtstunden mit Temperaturdifferenzen von mindestens 1.5° zwischen der Hügellage Schairberg (59 m NN) und der Talstation Stellmoor (42 m NN) an der Gesamtzahl der Nachtstunden entsprechender Windrichtungen.
Zeitraum 1957—1966.

Beisp.: Nachtstunden mit Windrichtung 16 kommen im September bis November 108.9mal vor (Mittel aus 10 Jahren). Davon weisen 16.8 St. = 15.4% einen Temperaturunterschied von mindestens 1.5° zwischen den beiden Lagen auf.
Bei südlichen und nördlichen Winden ist der Anteil der Stunden mit Temperaturdifferenzen erheblich größer als bei westlichen und nordöstlichen Winden. Besonders häufig treten Unterschiede bei Windstillen auf.

schiede vor allem bei Winden aus den Richtungen 12 bis 20 und 30 bis 32 auf (etwa 20 % der Fälle). Bei Winden aus den Richtungen 22 bis 26 und 04 bis 06 sinkt der Prozentwert auf unter 10 und sogar 5 % ab. Bei windstillen Lagen bringt über die Hälfte der Stunden eine Temperaturdifferenz von mindestens 1.5°. Es wird noch zu klären sein, ob sich die unterschiedliche Auswirkung der Windrichtung auf Unterschiede der Windgeschwindigkeit oder der Bewölkung zurückführen läßt, oder ob vielleicht die Richtung des Stellmoortales eine Rolle spielen könnte.

Die Rolle der Windgeschwindigkeit bei der Ausbildung von Temperaturunterschieden zwischen extremen Lagen wollen wir mit Hilfe der Tab. 10 klären. Für Differenzstufen der Temperatur von 1 zu 1° und für größere Differenzen gibt sie das Verhältnis der an den jeweiligen Differenzen beteiligten Stunden mit schwachem Wind (0.0 bis 1.9 m/sec) und stärkerem Wind (≥ 2 m/sec) an, und zwar getrennt nach Jahreszeiten. Von Sommermonaten abgesehen, steigt der Verhältniswert mit zu-

Tab. 10

Verhältnis der Zahl der Nachtstunden mit geringer Windgeschwindigkeit (0.0 — 1.9 m/sec) während des Auftretens von Temperaturunterschieden verschiedener Größe zwischen der Hügelstation Schairberg (59 m NN) und der Talstation Stellmoor (42 m NN) zur Zahl der Nachtstunden mit größerer Windgeschwindigkeit (≥ 2.0 m/sec) zur Zeit des Auftretens von Temperaturunterschieden, Aufstellung des Windmessers in freiem Gelände von 46 m Höhe, Windmasthöhe 10 m. Bei größeren Temperaturunterschieden tritt die Zahl der Fälle mit größerer Geschwindigkeit zurück.

Temp.-Diff.	—1.5	—2.6	—3.6	≤ -4.6
Stellmoor —	bis	bis	bis	
Schairberg, °C	—2.5	—3.5	—4.5	
Dez. — Febr.	1.6	2.7	3.2	9.6
März — Mai	1.4	2.2	2.5	5.4
Juni — Aug.	3.0	4.4	4.9	3.2
Sept. — Nov.	2.4	4.0	7.6	11.9

nehmender Temperaturdifferenz an. Im Frühjahr gibt es bei geringer Differenz (—1.5 bis 2.5°) 1.4mal mehr schwachwindige als stärker windige Stunden, bei großer Differenz dagegen 5.4mal mehr.

Nach Abb. 17 neigen neben den Wetterlagen mit Nordwinden vor allem auch Lagen mit südlichen bis südöstlichen Winden zur Ausbildung von Temperaturunterschieden zwischen Hügel und Tal. Allerdings verschiebt sich der Anteil der Stunden mit größeren Differenzen ($\geq 3.6^\circ$) an der Gesamtzahl der Stunden mit Differenzen über 1.5°. Bei nördlichen Winden ist der Anteil deutlich höher als bei Südost- bis Südwinden. Der spätere Abschnitt 3.7 weist nach Betrachtung der Unterschiede der relativen Luftfeuchte extremer Lagen den Weg zur Deutung des Sachverhalts.

Wir haben eine Bindung der sich in bestimmten Nächten zwischen Kuppenlagen und Tälern entwickelnden Temperaturunterschiede an Bewölkungsverhältnisse, Wind, Windrichtung und Windstärke festgestellt. Daher empfiehlt sich eine Untersuchung der zur Zeit des Eintritts der Tiefsttemperatur zwischen diesen Witterungselementen bestehenden Zusammenhänge. Kenntnis des Sachverhalts wird vor Fehlschlüssen über die Ursachen der geländebedingten Temperaturunterschiede schützen. GEIGER (17) stellt bereits die Bedeutung der Luftkörper für die Ausbildung mehr oder weniger ausgeprägter Inversionen heraus. Es geht ihm also nicht etwa nur um die Erfassung der Wirkung der Windverhältnisse oder der Strahlungsbedingungen auf die Entstehung der In-

versionen, sondern auch um das Zusammenspiel der Faktoren.

Wir stützten uns bei den Vergleichen auf die Beobachtungen bzw. Registrierungen der etwa 12 km vom Untersuchungsraum entfernten Flugwetterwarte Hamburg-Fuhlsbüttel bzw. des ebenfalls in Fuhlsbüttel arbeitenden Meteorologischen Observatoriums. Es lagen vor: Stündliche Auswertungen der Lufttemperatur (2 m Höhe), der Windrichtung und Windgeschwindigkeit (10 m Höhe) und halbstündliche Angaben der Himmelsbedeckung (in Achteln) für den Zeitraum 1957 bis 1968. Die Stundenwerte der Temperatur erlaubten den Zeitpunkt festzustellen, an dem die Temperatur den Tiefstwert erreichte, und zwar innerhalb der Zeitspanne von 21 Uhr Ortszeit des Vortages bis 21 Uhr des Ablesetages. An dieser Zeitspanne wurde festgehalten, da die so gewonnenen Tagestiefsttemperaturen Vergleiche mit anderen Klimastationen ermöglichen. Fiel ein Tiefstwert auf die Zeit zwischen 12 und 21 Uhr, so wurde er nicht in die Statistik aufgenommen. In solchen Fällen erklärt sich der Zeitpunkt des Eintritts der Tiefsttemperatur nicht aus den Ein- und Ausstrahlungsbedingungen, sondern aus einem Luftkörperwechsel. Um weitere Zufälligkeiten auszuschalten, wurden Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Himmelsbedeckung für einen dreistündigen Zeitraum gemittelt. Fiel die Tiefsttemperatur z. B. auf die Zeit zwischen 04 und 05 Uhr, so wurde für die genannten Elemente der dreistündige Mittelwert der Zeit 03 bis 06 Uhr gebildet. Die Bewölkung der 3 Stunden wurde nach den gemeldeten Schlüsselzahlen 0 (wolkenlos) bis 8 (bedeckt) gemittelt, und zwar für die Windgeschwindigkeitsgruppen 0.0 bis 0.9, 1.0 bis 1.9 m/sec usw.

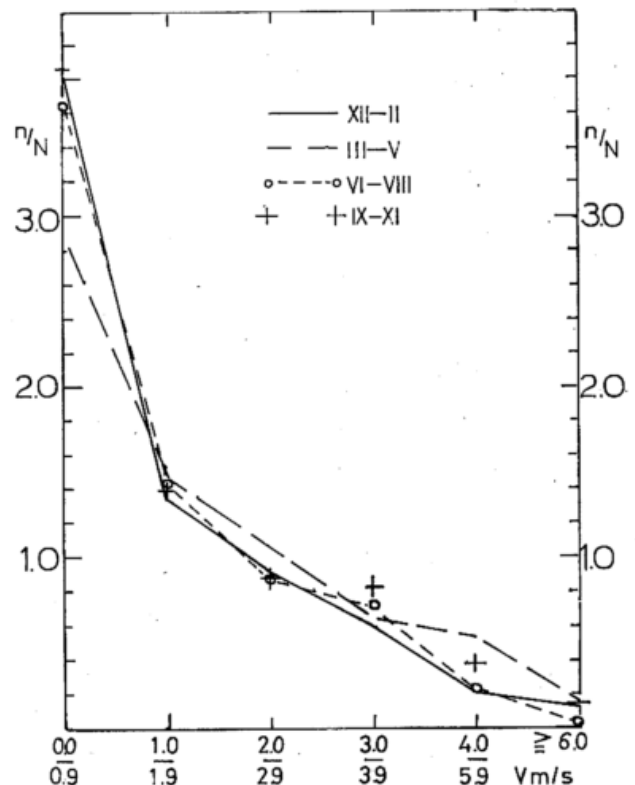


Abb. 18
Verhältnis der Fälle mit geringer Bewölkung (0.0—1.9) zur Zahl der Fälle mit starker Bewölkung (6.0—8.0) zur Zeit des Eintritts der Tagestiefsttemperatur in Abhängigkeit von der herrschenden Windgeschwindigkeit, Hamburg-Fuhlsbüttel, 1957—1968. Mit zunehmender Windgeschwindigkeit nimmt auch die Bewölkung zu.

Zunächst ließ sich das Verhältnis der wolkenarmen Fälle (0.0 bis 1.9) zu den wolkenreichen (6.0 bis 8.0) bei schwachem Wind und bei stärkerem Wind bilden (Abb. 18). Bei schwachem Wind (0.0 bis 0.9 m/sec) gibt es drei-

mal soviel Fälle mit geringer als mit starker Bewölkung. Bei kräftigem Wind (mindestens 6 m/sec) gibt es dagegen mehr als fünfmal soviel Fälle mit starker Bewölkung. Die Beziehungen sind in allen Jahreszeiten sehr ähnlich und sehr eng.

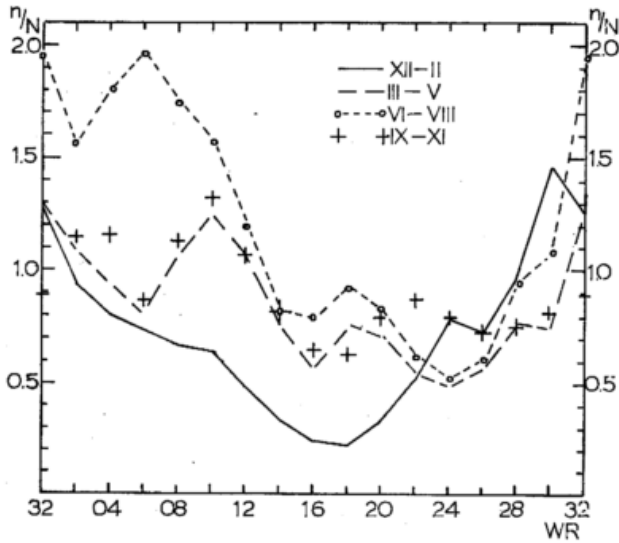


Abb. 19

Verhältnis der Fälle mit geringer Bewölkung (0.0—1.9) zur Zahl der Fälle mit starker Bewölkung (6.0—8.0) zur Zeit des Eintritts der Tiefsttemperatur in Abhängigkeit von der dann herrschenden Windrichtung, Hamburg-Fuhlsbüttel, 1957—1968. Nördliche Winde sind meist wolkenärmer als Winde aus andern Richtungen.

Das Verhältnis der zur Zeit des Eintritts der Tiefsttemperatur Fälle wolkenarmer Witterung (0.0 — 1.9) zu wolkenreicher (6.0 — 8.0) zeigt ebenfalls eine Abhängigkeit von der gleichzeitig herrschenden Windrichtung (Abb. 19). Nördliche, zum Teil auch nordöstliche Winde treten viel häufiger mit wolkenarmer Witterung auf als südliche bis westliche Winde.

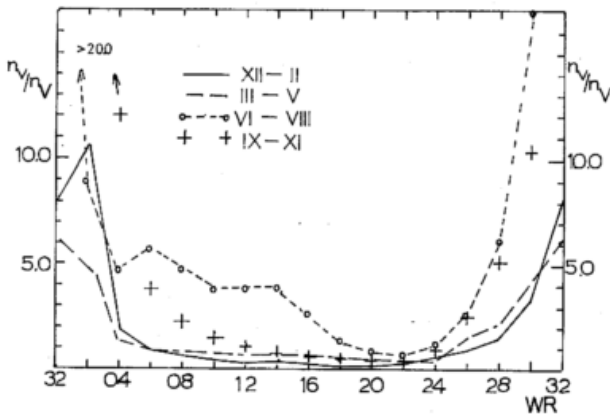


Abb. 20

Verhältnis der Fälle mit geringer Windgeschwindigkeit (0.1—1.9 m/sec) zur Zahl der Fälle mit hoher Windgeschwindigkeit (≥ 4.0 m/sec) zur Zeit des Eintritts der Tiefsttemperatur in Abhängigkeit von der dann herrschenden Windrichtung, Hamburg-Fuhlsbüttel, 1957—1968 (Ausgeschlossen sind die Fälle, in denen die Tiefsttemperatur in die Zeit von 12.00—21.00 Uhr fiel). Bei nördlichen Winden herrscht zur Zeit des Eintritts der Tiefsttemperatur viel häufiger windschwaches Wetter als bei Winden aus anderen Richtungen.

Abb. 20 vermittelt nun einen Begriff über die zwischen Windrichtung und Windgeschwindigkeit bestehenden Zusammenhänge. Bei nördlichen Winden ist das Verhältnis der windstärkeren Fälle (0.1 bis 1.9 m/sec) zu den windstärkeren (≥ 4.0 m/sec) erheblich größer als bei den übrigen Richtungen.

Nach diesen Ergebnissen läßt sich der relativ große Anteil der nördlichen Winde bei dem Vorkommen große-

rer Temperaturunterschiede im Gelände auf die mit diesem Winde gekoppelte Wolkenarmut und Windchwäche zurückführen.

Die Richtung eines Tales, auch wenn der Höhenunterschied zwischen der Talsohle und der Normallage nur wenige Meter beträgt, könnte für die Temperaturverhältnisse in Strahlungsnächten von Einfluß sein. FLEMING (8) stellte derartige Auswirkungen der Geländegestaltung fest, allerdings in ausgesprochenen Mittelgebirgstälern. Die zu vergleichenden Täler sollten sich möglichst nur in ihrer Richtung unterscheiden, nicht aber in der Breite, der Form des Querschnitts und der Pflanzendecke. Da diese Forderungen kaum gleichzeitig erfüllbar sind, müßte man unter den Bedingungen Norddeutschlands eine größere Zahl von Stationen in mehreren Tälern einrichten und Jahre hindurch betreuen. Dann wäre eine Antwort auf die Fragestellung zu erwarten.

Das Arbeitsprogramm einer kleinen Dienststelle verbietet eine so starke Belastung. Der Vergleich muß sich auf 2 Stationen stützen. Das Tal der Stellmoorstation (42 m NN) erstreckt sich von SSW nach NNE, das Auetal der 6 km entfernt liegenden Station Bünningstedt (32 m NN) etwa senkrecht dazu von NW nach SE. Der Höhenunterschied zwischen der Talsohle und den begrenzenden Normallagen beträgt in beiden Tälern etwa 8 m.

Registrierungen liegen nur aus dem Stellmoortal lückenlos vor. Immerhin ermöglichen die während der Jahre 1960 bis 1966 im Auetal gewonnenen Registrierungen eine vergleichende Betrachtung mit den Verhältnissen des Stellmoortales. Tab. 11 gibt die Zahl der Nachtstunden mit Temperaturunterschieden von mindestens 1.5° zwischen beiden Stationen an. Demnach ist es

Tab. 11

Nächtliche Temperaturunterschiede zwischen den Stationen Stellmoor (42 m NN) und Bünningstedt (32 m NN) in Abhängigkeit von der Windrichtung. Zeitraum Sept. 1960 bis August 1966 (mit Lücken).

Zahl der Stunden Bünningstedt ≥ 1.5 wärmer als Stellmoor					Zahl der Stunden Bünningstedt ≥ 1.5 kälter als Stellmoor				
	XII- II	III- V	VI- VIII	IX- XI	Jahres- zeit	XII- II	III- V	VI- VIII	IX- XI
WR									
32	8	13	7	.		3	4	6	.
02	4	5	2	.		6	.	9	.
04	5	1	.	.		4	1	1	2
06	4	1	.	.		12	7	.	7
08	4	1	.	1		3	5	.	6
10	1	3	.	4		5	9	4	19
12	3	1	1	5		1	7	3	20
14	26	22	12	31		1	3	1	.
16	9	44	25	50		.	.	.	5
18	16	17	28	4		3	.	1	.
20	8	17	22	6		2	.	.	.
22	7	7	3	.		2	.	3	.
24	.	14	.	4		1	4	1	2
26	3	8	5	2		7	8	2	.
28	3	9	3	3		.	4	.	4
30	1	6	2	.		.	.	1	.
C	15	.	6	.		1	.	.	.
	117	169	116	110		51	52	32	65

Anteil der Stunden (%) mit südlichen (oben) und mit östlichen (unten) Windrichtungen an den Stunden mit Temperaturunterschieden.

			14—16—18—20				
50	59	76	83	12	6	6	8
			06—08—10—12				
10	4	1	9	41	54	22	80

an der Station des Auetales vor allem bei südlichen bis südwestlichen Winden häufiger wärmer als im Stellmoortal, bei östlichen bis südöstlichen Winden dagegen häufiger kälter. Dies geht am besten aus den beiden unteren Zeilen der Tab. 11 hervor. Sie geben den Anteil der bei den Richtungen 14 bis 20 bzw. 06 bis 12 anfallenden Stunden mit Temperaturunterschieden an der Gesamtzahl der Stunden mit Unterschieden wieder.

Trotz des klaren Tatbestandes fällt eine Erklärung zum Teil deswegen schwer, weil der Wiesenanteil im Auetal erheblich geringer als im Stellmoortal ist. Die bei südlichen Winden im Stellmoortal festzustellende Kälte könnte auf eine laminare Strömung zurückzuführen sein, die dann im Stellmoortal herrscht, während die Strömung gleicher Richtung beim Überqueren des Auetales in Unruhe gerät und etwas wärmere Luftkörper zum Boden durchläßt. Sie könnte auch auf das Überströmen der Wiesen des Stellmoortales zurückgeführt werden. Im Auetal kommt der Wind über Ackergelände und muß noch dazu einen Straßendamm überqueren. Umgekehrt liegen die Verhältnisse bei Ost- bis Südostwind. Eine gewisse temperaturherabsetzende Wirkung wird man bei einer parallel zum Tal laufenden Strömung annehmen dürfen. Vielleicht wird eines Tages eine Untersuchung mit größerem Geräteeinsatz und Erfassung der Strömungsverhältnisse eine überzeugende Aufklärung bringen. Solange Feststellungen dieser Art fehlen, wird die Hauptursache für Unterschiede der beschriebenen Art in den Eigenschaften der Luftkörper zu suchen sein, die im allgemeinen bei bestimmten Windrichtungen heranströmen. Eingeeigte Standorte und die Täler der norddeutschen Hügellandschaften werden deswegen bei nördlichen und auch bei nordöstlichen Winden relativ kalt sein, weil sich die bei diesen Richtungen zuströmenden Luftkörper durch Wolkenarmut und Windschwäche auszeichnen und damit die Voraussetzungen für das Entstehen von Temperaturunterschieden im Gelände bringen.

Im Gegensatz zu der in sehr offenem Gelände eingerichteten Station Wulfsdorf liegt Schmalenbeck sehr geschützt in einer parkartigen Umgebung und auch in der Nähe von Häusern. Wir haben geklärt, wie weit sich diese Unterschiede der unmittelbaren Umgebung der Stationen in den Nachttemperaturen widerspiegeln. Treten überhaupt Differenzen auf, dann ist Schmalenbeck etwas kälter. Bei Beachtung der unterschiedlichen Beteiligung der Windrichtungen an der Gesamtheit der Nachtstunden kann auf eine größere Neigung zur Ausbildung von Temperaturdifferenzen bei den Windrichtungen 26 bis 12 geschlossen werden, zur Hauptsache wohl auf die Schwachwindigkeit dieser Richtungen (Abb. 20) zurückzuführen. Im Abschnitt 4.2 untersuchen wir gesondert die Auswirkung der Windgeschwindigkeit auf die nächtlichen Temperaturverhältnisse freier und eingeeigter Lagen.

Für die Dauer von 4 Jahren konnte eine Station in einer verlassenen Kiesgrube des Schairberges eingerichtet werden (Abb. 21). Die Kuhle hat ihre ebene Einfahrt von Süden her. Der Durchmesser beträgt etwa 15 m, der Höhenunterschied zwischen oberem Rand und der Sohle etwa 5 m. Die hier gewonnenen Nachttemperaturen entsprechen meist denen des Stellmoortales. In einer Anzahl von Fällen liegen sie aber wesentlich darunter. In einem Wintermonat (XII — II) ergeben sich im Durchschnitt 31 Stunden, in einem Frühjahrsmonat 58, im Sommermonat 56 und im Herbstmonat 53 derartige Stunden. Nach Abb. 21 gilt das vor allem auch für relativ stärkeren Wind von mindestens 2 m/sec. Geschwindigkeit. Bei Windrichtungen 20 und 22 kommt es dann noch zwei bis dreimal häufiger zu Unterschieden als bei schwachem Wind, der ohnehin im Stellmoortal und in der Kiesgrube niedrigere Temperaturen bringt. Auffal-

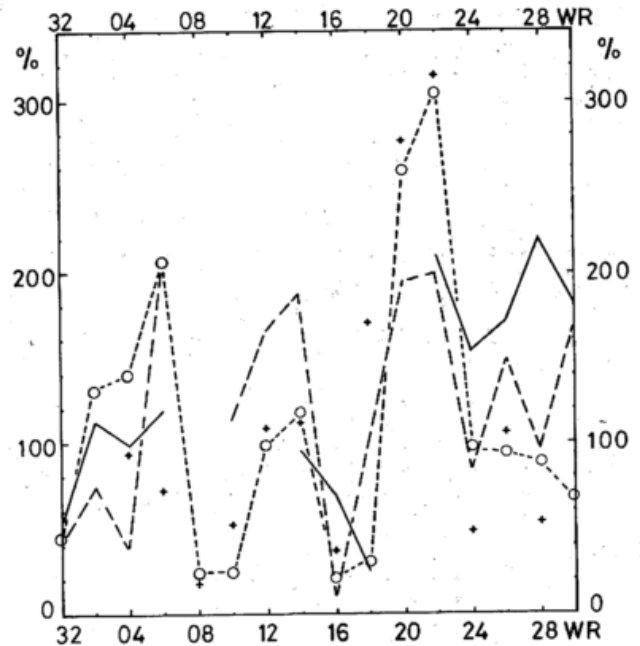


Abb. 21
Auswirkung von Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Jahreszeit auf das Verhältnis (%) der Zahl der Nachtstunden mit Temperaturdifferenzen $\geq 1.5^\circ$

zwischen Stellmotor (H = 42 m NN) und Schairberg Kuhle (H = 54 m NN) bei Windgeschwindigkeiten ≥ 2.0 m/sec zu den entsprechenden Nachtstunden bei Windgeschwindigkeiten ≤ 1.9 m/sec.

Zeitraum Sept. 1960 bis Nov. 1964 Meßhöhe 50 cm
— — — — — = XII — II Lücken erklären sich aus Mangel an Einzel-
— — — — — = III — V fällen.
— — — — — = VI — VIII
+ + + + + = IX — XI

Auffallend ist das niedrige Verhältnis bei Winden aus den Windrichtungen 16 und 18. Aus diesen Richtungen kann der Wind leicht durch den ebenen Zugang in die Kieskuhle eindringen. Vor allem bei den Richtungen 20 und 22 bringt dagegen die Kuhle infolge der darin herrschenden Luftruhe sehr häufig noch bei Windgeschwindigkeiten ≥ 2.0 m/sec niedrigere Nachttemperaturen als das Stellmoortal.

lend gering erscheint dagegen der Anteil der Richtungen 16 bis 18 bei kräftigerem Wind. Dies dürfte auf leichte Zugängigkeit der Kiesgrube von Süden her zurückzuführen sein.

Nach Abb. 17 treten nächtliche Temperaturdifferenzen zwischen einer Hügel- und einer Tallage bei einigen Windrichtungen relativ häufiger als bei andern auf. Wir haben untersucht, ob die Differenzen zwischen ebener Lage und Hügel bzw. ebener Lage und Tal die gleichen Gesetzmäßigkeiten bezüglich der Abhängigkeit von der Windrichtung zeigen. Es ergaben sich nur leichte Verschiebungen der Häufigkeitsverteilungen. Ein Vergleich der Nachtstunden mit Temperaturdifferenzen zwischen dem Versuchsfeld der Agrarmeteorologischen Forschungsstelle (46 m NN) und dem Versuchsfeld des Botanischen Institutes (45 m NN), Meßhöhe 50 cm, brachte nur wenige Fälle. Dabei ist es beim Botanischen Institut häufiger (29 Stunden im Jahr) kälter und seltener wärmer (20 Stunden) als beim Versuchsfeld der Forschungsstelle. Dieser Tatbestand läßt sich auf die etwas eingeeigte Lage der Station des Botanischen Institutes zurückführen.

Die Auszählung der Nachtstunden mit Temperaturdifferenzen erfaßte alle Fälle, unabhängig davon, ob eine Nacht zwei oder drei oder gegebenenfalls 18 Stunden (Winter) gebracht hat. Eine besondere Statistik schloß dagegen nur die Nächte ein, in denen ein Temperaturunterschied von mindestens 1.5° zwischen Hügel- und Talstation wenigstens 6 Stunden lang geherrscht hat, wobei eine Differenz von 3.6° oder mehr mindestens einmal auftrat. Diese Bedingungen werden nur in guten Strahlungsnächten erfüllt. Die hier nicht in allen Einzel-

heiten gebrachte Verteilung deutet eine relativ etwas stärkere Beteiligung der Windrichtungen 28 bis 02 an. Das deckt sich mit der bereits erörterten relativ starken Beteiligung der nördlichen Windrichtungen an der Gesamtheit der Stunden mit Temperaturdifferenzen.

Die in einer etwa von Südosten nach Nordwesten verlaufenden Talsenke (Ostteil des Meßtischblattes) zeitweise betreute Station Siek-Tal (Höhe 62 m NN) liegt sehr geschützt. Das Tal begleitende Hügel erreichen Höhen von 70 bis 75 m. Die Parallelstation Siek-Berg liegt frei und 300 m ostwärts der Talstation in einer Höhe von 71 m.

Beide Stationen konnten nur über kürzere Zeitabschnitte zwischen September 1960 und August 1961 unterhalten werden. Für eine eingehende statistische Bearbeitung reicht das Material nicht aus. In den meisten Fällen stimmen die Nachttemperaturen der Tallagen Siek und Stellmoor überein, und auch die Hügelstation Siek und Schairberg zeigen nur selten Unterschiede. Treten überhaupt Differenzen zwischen den Tallagen

auf, so ist in der überwiegenden Zahl der Fälle das Tal bei Siek kälter. Eine Abhängigkeit von der Windrichtung gibt sich nicht zu erkennen. Wohl aber deutet sich eine Auswirkung der Windgeschwindigkeit an. Bei Geschwindigkeiten von 1.8 bis 2.3 m/sec. kann es im Sieker Tal 1.5 bis 3.0° kälter als im Stellmoortal sein. Dies ließe sich auf die größere Luftruhe des sehr geschützt liegenden kälteren Tales zurückführen. Würde diese größere Windruhe nicht die wichtige Rolle spielen, so müßte es sogar wegen des geringeren Anteils der Grasflächen an der Umgebung der Station im Sieker Tal wärmer als im Stellmoortal sein.

Im Raum Hamburg werden keine Radiosondenaufstiege vorgenommen. Außerdem besitzen die dem Boden aufliegenden Luftkörper von Fall zu Fall eine verschiedene Mächtigkeit. Über einem Luftkörper polarer Herkunft lagern sehr häufig Luftkörper tropischen Ursprungs. Es kann entweder ein Absinken vorherrschen oder auch eine Labilität. Unter diesen Umständen soll hier auf eine Einteilung nach Jahreszeiten und auf ins

Tab. 12

Luftkörper in Strahlungsnächten mit größeren Temperaturunterschieden zwischen Schairberg (59 m NN) und Stellmoor (42 m NN). Zeitraum 1. XI. 1956 bis 31. X. 1966.

		Zahl der Fälle	
		Luftkörper hoch- reichend	in der Höhe Luftkörper tropischen Ursprungs
maritime arktische Polarluft	(mP _A)	25	20
maritime Polarluft	(mP)	63	126
kontinentale arktische Polarluft	(cP _A)	5	9
kontinentale Polarluft	(cP)	.	17
maritime Polarluft, auf südlichem Umweg gekommen	(mP _T)	9	.
maritime Tropikluft	(mT)	50	.
kontinentale Tropikluft	(cT _S)	3	.
indifferente Luft	(I)	.	48
über See gealterte Luftkörper	(mI)	.	34
über Festland gealterte Luftkörper	(cI)	10	47

einzelne gehende Gewinnung von Häufigkeitsverteilungen verzichtet werden. Tab. 12 enthält neben der Aufstellung der Luftkörper auch die Häufigkeit ihres Auftretens während der erwählten Nächte der Zeitspanne von 1. XI. 1956 bis 31. X. 1966. Die erste Spalte enthält die Fälle, in denen es sich um sehr hochreichende Luftkörper gehandelt hat. Bei den häufiger auftretenden Fällen der zweiten Spalte lagern in der Höhe Luftkörper tropischen Ursprungs. Offensichtlich treten größere Temperaturunterschiede zu den Hügel- und Tallagen vor allem mit maritimen Polarluftmassen auf, also bei Wetterlagen, die während der Übergangszeiten ohnehin niedrige Temperaturen bringen. Die bei maritimer Tropikluft auftretenden Differenzen führen während des Anlaufens des Wachstums auch in den Tälern nicht zu gefährlichen Frösten.

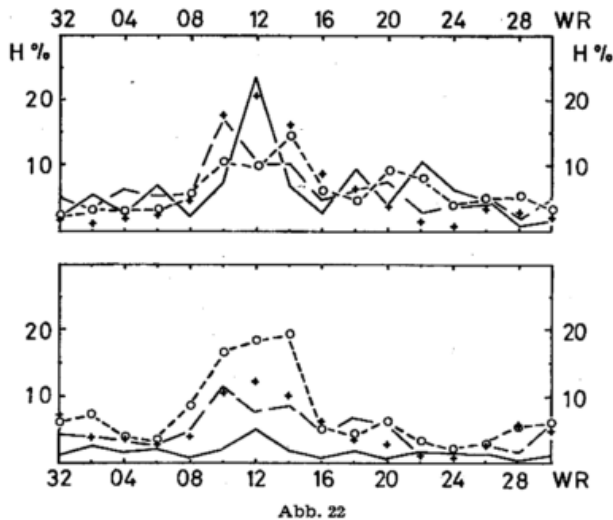
3.7. Über die zwischen einer Hügelstation und einer Talstation in Strahlungsnächten auftretenden Unterschiede der relativen Luftfeuchtigkeit

Gleichzeitig mit den Temperaturregistrierungen sind an der Hügelstation Schairberg (59 m NN) und der Talstation Stellmoor (42 m NN) Registrierungen der relativen Luftfeuchtigkeit vorgenommen worden. Aus mehreren Gründen bleibt die Auswertegenauigkeit des Hygrographen hinter der des Thermographen zurück. Die Auswertung mußte sich daher auf die Erfassung der Nachtstunden mit mindestens 5 % Feuchteunterschied zwischen den beiden Stationen beschränken, wobei die

höhere Feuchte ausnahmslos bei der Talstation auftrat. Abb. 22 gibt oben an, in welchem Maße sich die Stunden mit Feuchtedifferenzen auf die Windrichtungen verteilen. Deutlich zeichnet sich ein Maximum bei den Richtungen 10 bis 14 in allen Jahreszeiten ab. Das gleiche gilt für das Verhältnis der Stunden mit einer Feuchtedifferenz bei einer bestimmten Windrichtung zur Gesamtzahl der Stunden dieser Windrichtung (Abb. 22 unten). Die bei Temperaturdifferenzen gefundene Bevorzugung der nördlichen Windrichtungen fehlt. Demnach dürften die Feuchteunterschiede vor allem dann auftreten, wenn die Wetterlage großräumigere Inversionen aufweist. Kräftiges Absinken der Luft erfaßt noch die Kuppenlagen, greift aber nicht mehr in die Täler hinein.

Der Temperaturunterschied verschiedener Lagen läßt sich bei nördlichen Winden zur Hauptsache auf die starke Auskühlung der bodennahen Luftschicht und deren bei schwachem Wind ungestörten Verbleib in den Talsenken und eingeeengten Lagen zurückführen. Die relative Luftfeuchte erreicht dagegen bereits am frühen Abend in allen Lagen hohe Werte. Die normalen Hygrographen können unter diesen Umständen etwa vorhandene Unterschiede kaum erfassen. Die Feuchteunterschiede bei südlichen bis südöstlichen Winden setzen natürlich auch wolkenarmes Wetter voraus. Die Bedingungen müssen aber weniger straff erfüllt sein, da ein Teil des Unterschiedes auf die Erwärmung der höheren Lage infolge des großräumigen Absinkens der Luft zu-

rückzuführen sein dürfte. Dafür spricht jedenfalls die bei diesen Winden größere Lufttrockenheit der Station höherer Lage.



oben:
Prozentualer Anteil der in Nachtstunden mit Feuchtedifferenzen $\geq 5\%$ zwischen

Schairberg (59 m NN)
und
Stellmoor (42 m NN)
herrschenden Windrichtungen an der Gesamtstundenzahl mit Feuchtedifferenzen (ohne Windstillen).

unten:
Prozentualer Anteil der auf eine bestimmte Windrichtung fallenden Stunden mit Feuchtedifferenzen ($\geq 5\%$) an der Gesamtzahl der Nachtstunden mit entsprechender Windrichtung

	Zahl der Stunden in 10 Jahren (ohne C)	C
— = XII — II	260	17
— = III — V	526	43
— = VI — VIII	640	52
+ = IX — XI	759	81

Die Winde aus den Richtungen 10 bis 14 bringen relativ häufig Feuchteunterschiede. Hier handelt es sich um die Folgen großräumiger Inversionswetterlagen.

3.8. Über die Ursachen der Ausbildung nächtlicher Temperaturunterschiede im Untersuchungsraum

GEIGER (17) macht folgende Faktoren für die Temperaturen von Muldenlagen verantwortlich:

1. den Kaltluftfluß (Herabsetzung der Temperatur)
2. durch Muldenform bedingte Herabsetzung des turbulenten Austausches (Herabsetzung der Temperatur)
3. die Verkürzung der Tageslänge durch verspäteten Sonnenaufgang und verfrühten Sonnenuntergang (Herabsetzung der Temperatur)
4. je größer die Horizontabschirmung durch Hänge, um so größer die Gegenstrahlung, um so geringer also die Frostgefahr
5. je größer die Wärmezufuhr aus dem Boden bei tiefen und engen Mulden, um so höher die Temperaturen der Mulde.

Nach unsern Beobachtungen dürfte unter norddeutschen Verhältnissen die Herabsetzung des turbulenten Austausches in erster Linie zu den niedrigen Temperaturen der Täler und der eingegengten Lagen führen. Diese Annahme stützt sich auf die große Bedeutung windschwacher Verhältnisse speziell auch bei den niedrigen Temperaturen zwar ebener, aber eingegengten Lagen. Auch in einem Kiesbruch mit sehr steilen Hängen herrschen niedrige Temperaturen. Die Wärmezufuhr aus dem Boden kann den von der Windruhe erzeugten Effekt nicht merklich verringern.

Daß die Frage der Frostgefährdung auch unter norddeutschen Verhältnissen praktische Bedeutung besitzt, hat bestimmte Gründe:

1. Kälterückfälle zu Beginn der Vegetationszeit (März, April, Mai) treten vor allem bei nördlichen Winden auf. Nördliche Winde sind während der Nacht im Mittel um mehrere Grad kälter als Winde aus andern Richtungen (2.2.1.).
2. Bei nördlichen Winden ist der Nachthimmel meist weniger bewölkt als bei Winden aus andern Richtungen (Abb. 19). Daraus ergeben sich gute Voraussetzungen für eine Auskühlung der bodennahen Luftschicht.
3. Nördliche Winde sind nachts meist auffallend schwach. Daher können leichter geländebedingte Temperaturunterschiede entstehen als bei andern Windrichtungen.

Ohnehin kalte Winde bringen demnach Tälern und eingegengten Lagen besonders niedrige Temperaturen. Nach DUENSING (4) kann sich außerdem die Aufrauung einer Landschaft und die damit verbundene Windbremsung temperaturerniedrigend auswirken. Tritt ein solcher Wind von der Elbe her auf das Südufer über, so kann er auch bei gefährlicher Spätfrostlage im späten Mai noch Lufttemperaturen von 2 bis 3 Grad über Null bringen. Weiter südlich — nach Überfließen der Obstanlagen — kann dann die Temperatur in 70 cm Höhe bereits auf -4° und weniger abgesunken sein. Die Folgen für die Obstblüte liegen auf der Hand.

Nach Abb. 17 bringen auch wolkenarme Süd- und Südostwindwetterlagen unterschiedliche Temperaturverteilungen im Gelände. Die anströmenden Luftmassen sind dann aber zu Beginn und Ende der Vegetationszeit schon oder noch wärmer als Luftmassen polaren Ursprungs. Außerdem darf ein Teil des Temperaturunterschiedes der Erwärmung der Kuppenlagen durch großräumiges Absinken der Luft zugeschrieben werden.

4. Weitere Untersuchungen zur Erfassung der geländebedingten Temperaturunterschiede in Strahlungsnächten

4.1. Vorbemerkung

Im Sinne des bisher geschilderten Verfahrens sind weitere Untersuchungen mit dem Ziel angestellt worden, den Gesetzmäßigkeiten der Temperaturverteilung in Strahlungsnächten näherzukommen und auf diesem Wege schließlich zu einer kartenmäßigen Darstellung. Wie bereits bemerkt (3.6.1.), war an die Aufstellung einer nach Tausenden zählenden Anzahl von Minimumthermometern über einen langen Zeitraum hinweg nicht zu denken. Diese Bemerkung deutet an, daß mit Hilfe der gefundenen Zusammenhänge auch die Gebietsteile in die Betrachtung einbezogen werden sollen, in denen keine Messungen vorgenommen werden konnten.

Vor der angestrebten Kartierung gilt es nun, zunächst ein Bild von der Streuung der Temperaturunterschiede zwischen verschiedenen Lagen zu gewinnen und darüber hinaus eine Vorstellung der Verhältnisse in eingegengten und in freieren Lagen.

4.2. Über die von Fall zu Fall auf kleinem Raum variierenden Unterschiede der Tiefsttemperaturen

Im Spätwinter und Frühjahr 1962 wurden 6 Minimumthermometer auf der etwa 50 m breiten und 300 m langen Talwiese der Station Stellmoor aufgestellt, sämtlich in der Höhe von 42 m, Aufstellungshöhe 50 cm. Zur Auswertung kamen die nach 22 Strahlungsnächten abgelesenen Temperaturminima. In 10 der Nächte konnte

noch die Tiefsttemperatur in einem aus der Böschung der längst durch das Tal gehenden Eisenbahn und der quer durchs Tal gehenden Straße (beide Böschungen 1 m über Talgrund) gebildeten Winkel gewonnen werden. Tab. 13 gibt in der ersten Zeile die Mittelwerte der 22 Nächte, in der zweiten die der 10 Nächte wieder. Die Thermometer 1 und 2 weisen eine Wiesenrandlage auf, die Thermometer 3 bis 6 liegen mehr in der Wiesenmitte. Für die Randlage gibt sich eine leichte Bevorzugung gegenüber der Mittellage zu erkennen, und eine sehr große gegenüber der Winkellage. Eine statistische Prüfung ergab gesicherte Unterschiede zwischen der Rand- und der Mittellage, sowie zwischen der Winkellage und den übrigen.

Tab. 13

Mittlere Tiefsttemperaturen aus 22 (bzw.) 10 Strahlungsnächten von 7 Meßpunkten einer Talwiese von 50 m Breite und 300 m Länge. Stellmoortal Frühjahr 1962.

	Punkt Nr.						
	1	2	3	4	5	6	7
22	-5.13	-5.29	-6.04	-5.88	-5.83	-5.71	T° C
10	-7.63	-7.62	-8.47	-8.19	-8.23	-8.24	-9.30 T° C

Eine Kartierung der nächtlichen Temperaturverhältnisse würden sich wesentlich vereinfachen, wenn die Unterschiede der einzelnen Meßpunkte bzw. Geländestellen in Strahlungsnächten stets von gleicher Größe und von gleicher Richtung wären. Zwar bringt eine Kuppenstation unseres Gebietes in Strahlungsnächten ausnahmslos höhere Temperaturminima als eine Station in einem knickdurchsetzten Tal, und der Betrag der Temperaturdifferenz richtet sich nach Ausstrahlungs- und Windverhältnissen. Zwischen ebenen Lagen, in unteren und mittleren Hanglagen treten jedoch häufig Umkehrungen der Temperaturdifferenzen auf. Von den gesamten Stationen eines Netzes von Minimumthermometern kann eine manchmal den zweit- oder dritthöchsten Wert bringen, manchmal aber auch erst den sechst- oder siebthöchsten. Werden die Temperaturdifferenzen der einzelnen Meßpunkte zu einem geeignet erscheinenden Punkt gebildet und ihrer Größe nach geordnet, so ergeben sich Häufigkeitsverteilungen. Die Abb. 23 und 24 sollen einen Begriff vom Sachverhalt vermitteln. Abb. 23 gibt an, wie häufig in insgesamt 22 Strahlungsnächten ein bestimmter Meßpunkt nach dem stets wärmsten Punkt des Schairberges (59 m NN) die zweithöchste, dritthöchste usw. Tiefsttemperatur gebracht hat. Hatten 2 Punkte den gleichen Wert, so wurden ihnen an zwei aufeinander folgenden Stellen der Rangordnung jeweils 1/2 Punkt zugeschrieben, entsprechend wurde bei 3 Werten gleicher Höhe gedrittelt. Aus Abb. 23 läßt sich ableiten, daß die Punkte 2, 3, 5, 9, und 18 ziemlich häufig die zweit- bis sechsthöchste Temperatur registrieren, nur selten die 7.- bis 13.-höchste und nie die niedrigsten Temperaturen. Bei den Punkten 6 und 10 ist eine Verschiebung der Häufigkeitsverteilungen zum kälteren hin zu erkennen, die sich dann bei den weiteren Punkten fortsetzt.

Die Punkte 16 und 17 nehmen meist abwechselnd die letzten beiden Plätze der Ordnung ein und nur selten

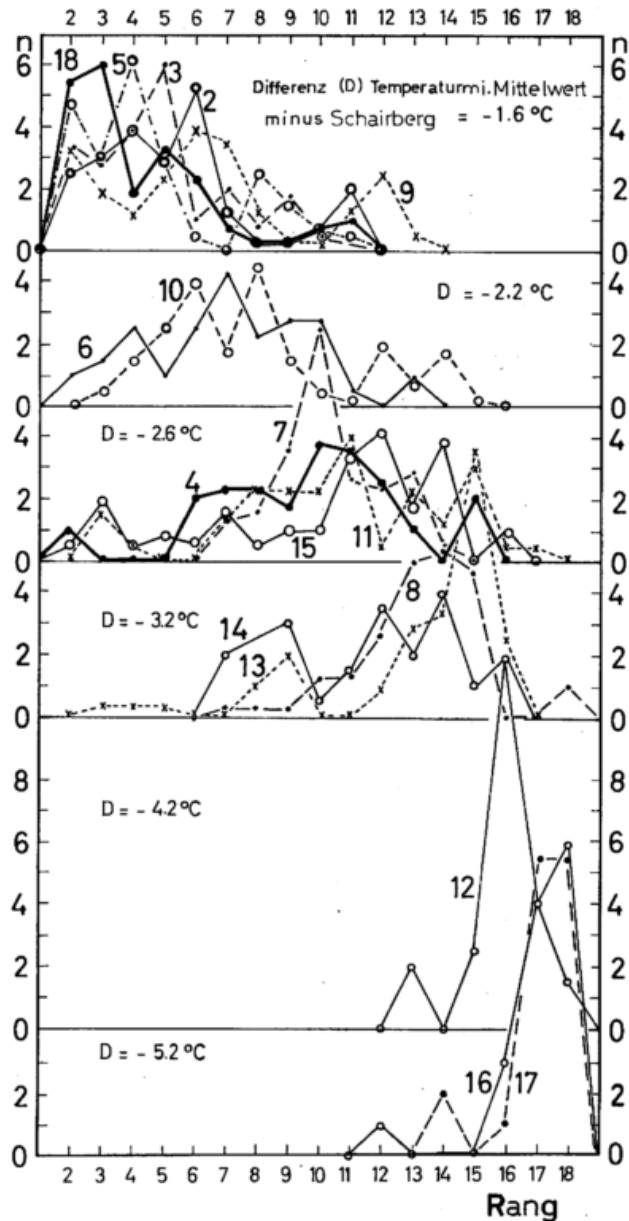


Abb. 23

Häufigkeitsverteilungen der Rangordnung der Tiefsttemperaturwerte.

Für jede von 22 Strahlungsnächten wird festgestellt, welcher Meßpunkt den zweithöchsten, dritthöchsten usw. Wert aller Meßpunkte brachte. So ergeben sich die Häufigkeitsverteilungen. Die Bezugsstation Schairberg hatte immer den höchsten Wert.

Aus der Streuung wird ersichtlich, daß erst eine ausreichende Zahl von Messungen eine Einstufung der Meßpunkte ermöglicht.

die nächsthöheren. Die stets wärmste Lage auf dem Schairberg wäre als senkrechte Säule auf der linken Seite zu denken. Wir erkennen: Der wärmste Punkt auf dem Schairberg und die kältesten in den Tälern (12, 16, 17) zeigen ganz ausgeprägte Spitzen der Häufigkeitsverteilungen. Eine Zuordnung zu sehr warmen Lagen (Schairberg) und sehr kalten (12, 16, 17) bringt keine Schwierigkeiten, auch nicht für eine einzelne Strahlungsnacht. Bei den übrigen Stationen streuen die Kurvenzüge erheblich stärker. Im Einzelfall wird sich nicht behaupten lassen, daß ein bestimmter Punkt z. B. eine höhere Temperatur gehabt haben muß als ein anderer Vergleichspunkt. In der Sicht des Klimatologen und auch des Anbauers bestimmter frostempfindlicher Nutzpflanzen werden sich aber trotzdem z. B. die Punkte der oberen Verteilungen als weniger frostgefährdet als die der drittobersten Verteilungen bezeichnen lassen. Die Differenzen der arithmetischen Mittelwerte der

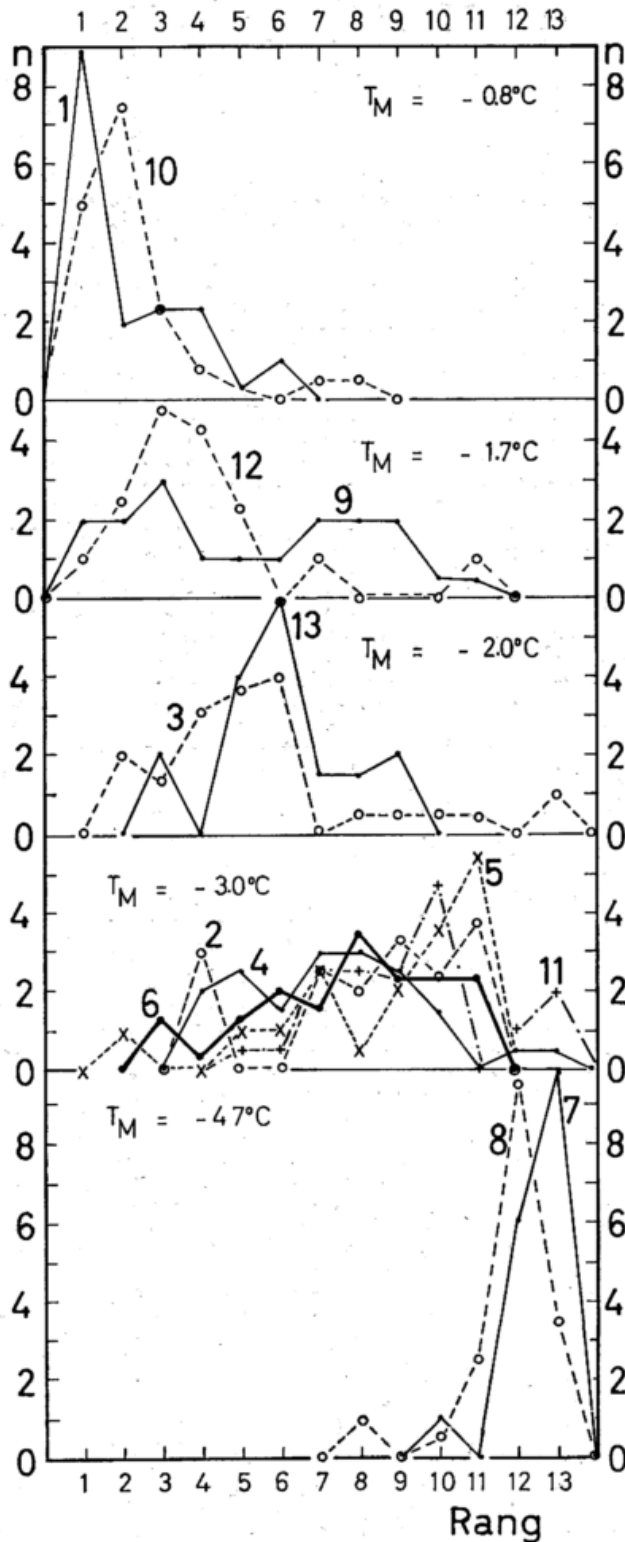


Abb. 24
Häufigkeitsverteilungen der Rangordnung der Tiefsttemperaturwerte verschiedener Lagen.
Verfahren wie Abb. 23.

Minima einer Gruppe zum mittleren Minimum der Kuppenstation Scharberg sind in den einzelnen Gruppen angegeben. So beträgt die Differenz der ersten, also wärmeren Gruppe zum Scharberg -1.6° , der zweiten Gruppe -2.2° usw. Die kältesten Lagen sind im Mittel der Strahlungsnächte um 5.2° kälter als der Scharberg. Abb. 24 mit den zusätzlichen Erläuterungen bringt für weitere Stationen ähnliche Verteilungen wie Abb. 23.

Die Abb. 23 und 24 lassen die Berechtigung erkennen, mit der die „Richtlinien“ eine statistische Prüfung dar-

über fordern, ob den in einer Anzahl von Strahlungsnächten gefundenen Differenzen zwischen den mittleren Temperaturminima zweier Standorte überhaupt eine praktische Bedeutung zukommt. Es ist eine Anzahl solcher Prüfungen vorgenommen worden. Einen Teil der Ergebnisse faßt Tab. 14 zusammen.

Tab. 14

Streuung der zwischen jeweils 2 Meßpunkten gefundenen Differenzen der Temperaturminima in 22 Strahlungsnächten des Zeitraumes 22. 4. 1956 bis 15. 4. 1957

Statistisch gesicherte Differenzen sind halbfett gesetzt:

Differenzbildung zwischen den Meßpunkten	Größe der Differenz $^\circ\text{C}$	Streuung σ_M	$3\sigma_M$
18-1	-1.12	0.21	0.63
13-14	-0.47	0.12	0.36
8-7	-0.72	0.13	0.39
17-16	-0.35	0.16	0.48
10-9	-0.30	0.12	0.36
11-10	-0.54	0.13	0.39
14-15	-0.26	0.16	0.48
2-3	-0.18	0.16	0.48
6-9	-0.15	0.16	0.48

Die Streuung der Differenzen ist ausnahmslos kleiner als 0.25. Für diesen Fall erlauben die „Richtlinien“ das Zeichnen von Linien gleicher Temperaturdifferenz im Abstand von 0.5 zu 0.5 Grad. Wie schon bemerkt, begnügen wir uns mit einem Abstand von 1 zu 1 Grad.

Der größeren Luftruhe schreiben wir auch das etwas extremere Klima eingengter Lagen zu, was später bei Benutzung der Karte zu beachten ist. GEIGER (17) schreibt: „Erst wenn der Lochschlag sich zur Lichtung ausweitet, kann der Wind von oben her wieder hereingreifen und die Frostgefahr verringern. Im Übergang von einem engen Lochschlag zu einer weiten Lichtung ist daher zu erwarten, daß bei einer bestimmten Größe das Standortklima besonders extrem wird.“ SCHUBERT (25) weist bereits auf die größere Tagesschwankung der Temperatur auf Waldlichtungen hin.

In die gleiche Richtung zielt die Frage der Auswirkung von Bauten, Baum- oder Strauchreihen, Bahndämmen usw. Das Problem erfordert eine besondere Untersuchung der Verhältnisse in einem ebenen Gelände, da sonst kaum die richtige Größenordnung des Einflusses zu erfassen ist. Eine solche Untersuchung wurde durch einen Vergleich der täglichen Tiefsttemperaturen der sehr freien Lage Wulfsdorfs und der sehr eingengten Schmalenbecks vorgenommen. Einzelheiten bringt FRANKEN (16). Die dieser Untersuchung entnommene Abb. 25 zeigt, daß die eingengte Lage in windschwachen Strahlungsnächten sehr häufig mit ihren Tiefsttemperaturen um 0.5 bis 0.8° unter denen der freien Lage liegt (Meßhöhe 2 Meter). Im Niveau 50 cm wird oft mit einem Unterschied von 1.3 bis 1.6° zu rechnen sein. Wegen der Eingriffe durch den Menschen, der z. B. von Zeit zu Zeit die Strauchhecken (Knicks) abholzt, Waldstücke anlegt und wieder abschlägt, haben wir bei der späteren Kartierung auf Darstellung der Augenblicksverhältnisse verzichtet. Die von uns vorgenommene Kartierung bezieht sich auf die Verhältnisse freier Lagen. Eingengte Lagen erfordern entsprechende Korrekturen, bzw. die Wahl der nächstkälteren Temperaturlinie.

Soll ein Anhalt für den Einzelfall gewonnen werden, so gilt es neben dem Wind auch die Bewölkung zu beachten. Allerdings besteht hier eine sehr enge Beziehung. Windschwache Nächte sind in der Mehrzahl der Fälle wolkenarm, windstarke dagegen wolkenreich (16).

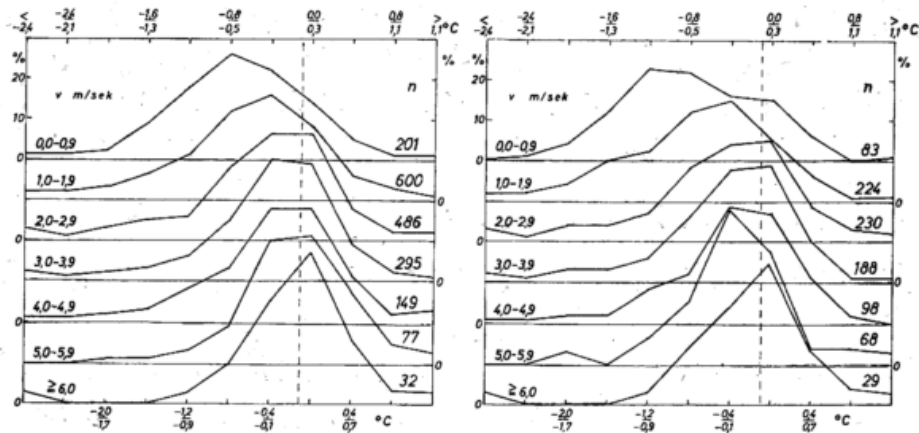


Abb. 25
Prozentuale Häufigkeitsverteilung der Differenzen zwischen den täglichen Tiefsttemperaturen von Schmalenbeck (eingeeengte Lage, H = 45 m NN) und Wulsdorf (freie Lage H = 46 m NN) in Abhängigkeit von der zur Zeit des Eintritts der Tiefsttemperatur herrschenden Windgeschwindigkeit, links März bis August, rechts März bis Mai 1959 bis 1968.
n = Zahl der Fälle.

Mit Windzunahme verringern sich die Differenzen.

4.3. Ansichten und Erfahrungen der im Bereich des Meßtischblattes Ahrensburg ansässigen Bauern zum Problem des Frostrisikos

Insgesamt sind 31 Bauern des Meßtischblattbereiches zum Problem des Frostrisikos befragt worden. 20 von diesen Bauern wissen um die größere Frostgefährdung der Niederungen und Täler. Sie meiden den Anbau von Frühkartoffeln in diesen Lagen. Zwingt der Fruchtwechsel doch einmal zum Anbau in einer Niederungslage, so wählen 10 Bauern bewußt einen späten Auspflanztermin. 6 weitere betonen, es sei weniger die Frostgefährdung als der oft nasse Boden der niederen Lagen, der zu späten Bestellungsterminen zwingt. Drei Bauern weisen auf die größere Frostgefährdung unmittelbar an einem auf Stock gesetzten Knick hin. Beim Pflügen wird der Boden hier oft zur Feldmitte hin verlagert. Es entsteht eine langgestreckte seichte Senke. Bei hohen Knicks überwiegt die Gegenstrahlung der Sträucher und Bäume, so daß sich in der erwähnten Senke kaum Kaltluft ansammelt. Letzteres ist dann nur bei hangparallelen Knicks der Fall, die die vom Hang absickernde nächtliche Kaltluft anstauen. Verglichen mit süddeutschen Verhältnissen bleibt der Kaltluftfluß allerdings außerordentlich schwach.

Zwei Bauern schreiben Kuppenlagen eine deutlich geringere Gefährdung als den ebenen Lagen zu. Über das Ausmaß des in Strahlungsnächten erreichten Temperaturunterschiedes zwischen höheren Lagen und Talsenken ist nichts bekannt. Daß unsere Messungen Unterschiede von 4 bis 6° ergeben haben, wird aber als Bestätigung der landläufigen Ansichten angesehen.

Gegen den Rat der Ansässigen rodeten nach dem Krieg (1947) 2 aus Ostdeutschland stammende Bauern kleine Parzellen auf etwas höheren und daher trockenen Stellen der von Westen nach Osten verlaufenden Talsenke südlich von Ahrensburg (Ahrensfelder Teich). Sie bauten Kartoffeln an, gaben die Versuche jedoch bereits nach wenigen Jahren auf, weil der Frost noch Ende Juni die Kartoffeln traf.

Eine klare Abhängigkeit der Frostschäden von den Standortbedingungen ergab sich im Frühjahr 1968, und zwar vor allem bei der Süßkirschen- aber auch bei der Apfelblüte. Es gibt im Meßtischblattbereich einige Obstanlagen gewerblichen Charakters. Von einer Ausnahme abgesehen gehören sie Hamburger Kaufleuten, die ihren Betrieb durch Verwalter führen lassen. Ein rein bäuerlicher Betrieb liegt in einem normalen Gelände der Nordwestecke des Blattes (Bünningstedt), eine Sauer-

kirschenplantage bei Ahrensburg, 3 Apfelanlagen liegen bei Groß Hansdorf, eine davon teilweise in eine Niederung absinkend. Schaden trat in allen Lagen auf, der stärkste aber in der Tallage. Besonders viele erfrorene Blüten konnten in einem allseitig gegen den Zugriff des Windes geschützten und in einer Mulde gelegenen Hausgarten bei Wulsdorf festgestellt werden. Eine Kartierung der Frostschäden kann unter den Verhältnissen des Meßtischblattes kaum gelingen. Man baut zur Hauptsache frostunempfindliches Getreide und Rüben an, Wiesen und Weiden nehmen den größten Teil der Niederungen ein. Es fehlen also meist Vergleichsmöglichkeiten, wie sie sich in Anbaugebieten mit Monokulturen anbieten. Als beste Frostanzeiger gelten Kartoffeln, die aber auch durch unterschiedliche Auspflanztermine und damit unterschiedliche Pflanzengröße während des Spätfrostes keine Kartierung ermöglichen. Sehr kleine Kartoffelpflanzen leiden weniger Schaden als große.

Wir wiederholen: Die Erfahrung der Generationen hat bereits zu einer starken Beachtung des großen Frostrisikos der Tallagen geführt. Wer diese Erfahrungen unbeachtet läßt, muß sich mit entsprechenden Rückschlägen abfinden.

4.4. Zur Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit von der Geländeform

Die bereits beschriebenen Untersuchungsergebnisse haben eine Abhängigkeit der in Strahlungsnächten zwischen verschiedenen Geländepunkten auftretenden Temperaturunterschiede von Windgeschwindigkeit und Windrichtung aufgezeigt, wobei sicher die besonderen Eigenschaften der zur Hauptsache bei bestimmten Windrichtungen zuströmenden Luftkörper eine Rolle spielen. Es erschien aber zusätzlich angebracht, eine Vorstellung der Windbeeinflussung durch die Geländeform zu gewinnen. Das kann im Untersuchungsraum allerdings nur unter Vorbehalt gelingen, weil die zahlreichen Windschutzhecken (Knick) nirgends ideale Freilandverhältnisse aufkommen lassen. Es standen leider nur wenige Kontaktanemometer zur Verfügung, deren Betreuung mit täglichem Streifenwechsel nur über einen kurzen Zeitraum aufrechterhalten werden konnte (1. 10. 1956 – 30. 4. 1957).

Die Höhe der Schalenkreuze betrug 2 Meter. Ein Gerät stand auf der Kuppe des 59 m hohen Schairbergs, 90 m ostwärts eines von Südwest nach Nordnordost verlaufenden Knicks, ein zweites in ebenem Gelände am Bergfuß (Höhe 47 m). Ein Wind-

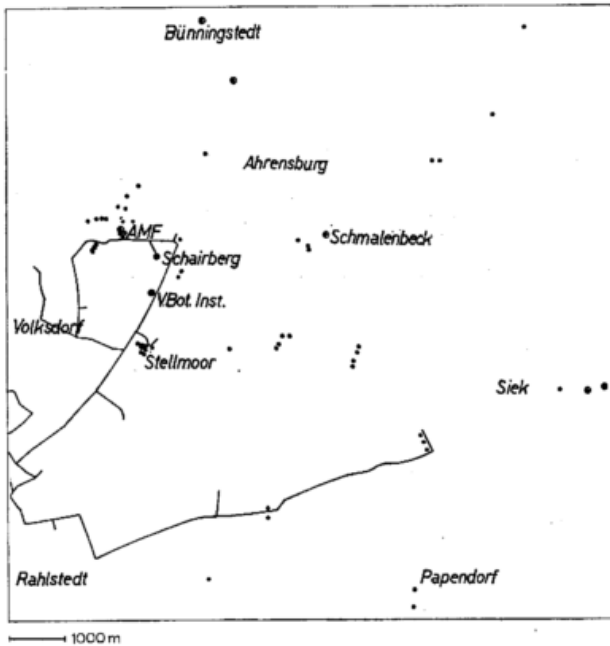


Abb. 26

Lage der Kleinklimastationen (○), der Minimumthermometer (•), der Windgeschwindigkeitsmesser und des Windrichtungsreguliergerätes (AMF), — — — — — Meßstrecken mit Meteorographen. Meßstrecke Ahrensburg. Die Karte soll nur eine Vorstellung der eingesetzten Instrumente vermitteln. Auf besondere Numerierung wird verzichtet.

messer stand bei der Talstation Stellmoor (Höhe 43 m NN) und einer auf freiem Feld in der Nähe des Versuchsfeldes der Agrarmeteorologischen Forschungsstelle (Höhe 47 m NN). Das gesammelte Material wurde stündlich ausgewertet und nach den auf einem 10-m-Mast festgestellten Windrichtungen aufgegliedert, getrennt nach Tag- und Nachtstunden. Die Windgeschwindigkeiten der 3 Stationen niedrigerer Lage wurden in Prozent der bei der Scharbergstation gefundenen Geschwindigkeiten ausgedrückt, wobei nach windschwachen (Windgeschwindigkeit ≤ 3.0 m/sec) und windstärkeren (> 3 m/sec) unterschieden wurde. In der Abb. 27 sind Richtungen nur dann berücksichtigt worden, wenn zur Mittelbildung mindestens 5 Einzelstunden verfügbar waren.

Alle 3 Kurvenzüge zeigen ein Maximum bei den Richtungen NE (04) bis E (08). Dies erklärt sich zur Hauptsache aus den Verhältnissen auf dem Scharberg, der dann in den Einflußbereich des im Osten vorgelagerten Knicks gerät.

Von Ausnahmen abgesehen herrschen im Stellmoortal die windschwächsten Verhältnisse. Das trifft besonders für die Windrichtungen SE (12) bis SSE (14) in windschwachen Nachtstunden zu und läßt sich zum Teil auf die stabile Schichtung der mit Südostwind zuströmenden Luftkörper zurückführen. Eine relative Windschwäche deutet sich bei der Stellmoorstation auch bei Nordwestwind an, vielleicht weil dann der Wind senkrecht zum Tal weht.

Weitere Vergleiche verbieten sich durch das dafür nicht ausreichende Beobachtungsmaterial. Der Sachverhalt findet seine Bestätigung in der relativen Häufigkeit des Auftretens von Temperaturunterschieden zwischen Hügel- und Tallage, oder steht wenigstens nicht im Widerspruch dazu. Wie bereits bemerkt, dürfte allerdings die Hauptursache für die in Strahlungsnächten bei den verschiedenen Windrichtungen gefundenen Temperaturunterschiede der Geländelagen eher auf die Eigenschaften der bei diesen Richtungen einströmenden Luftkörper zurückzuführen sein.

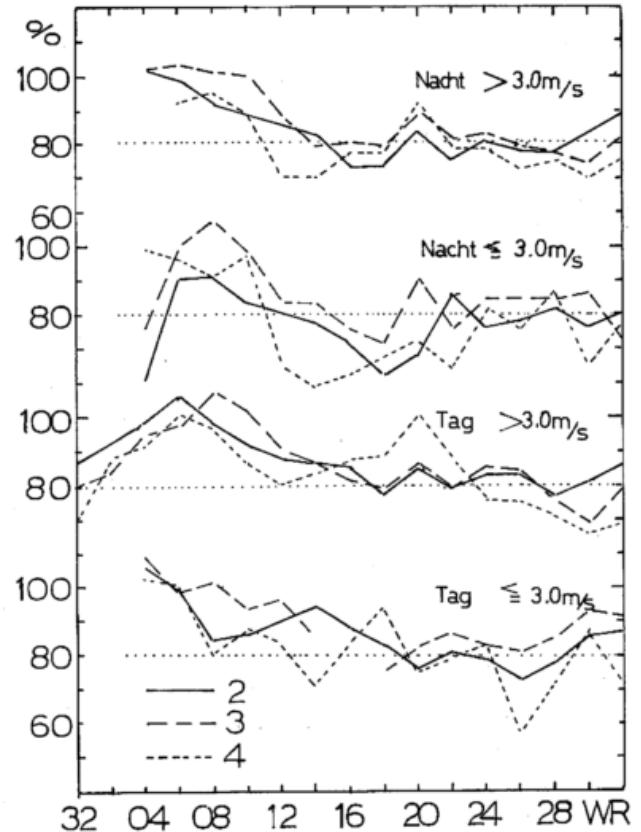


Abb. 27

Relative Windgeschwindigkeit (Meßhöhe 2 m) von Geländepunkten (Abb. 26) in Prozent der bei der Hügelsstation Scharberg (59 m NN) gemessenen Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Windrichtung. Winter 1956/57
2 = Scharberg, unten (47 m NN)
3 = Freies Feld (47 m NN)
4 = Stellmoortal (43 m NN)

4.5. Durch Meßfahrten mit dem Meteorographen oder dem Widerstandsthermometer sowie durch freiwillige Beobachter gewonnenen Ergebnisse

Zu früher durch Meßfahrten gewonnenen Ergebnissen (FRANKEN (11)) kamen weitere. In Abb. 26 finden sich beide Meßrouten eingetragen, die bereits früher beschrieben auf der linken (westlichen Seite) der Kartenskizze. Die in späteren Jahren mit einem transportablen Widerstandsthermometer befahrene Strecke verläuft etwa von Westen nach Osten. Da das Meßverfahren bereits früher beschrieben worden ist, beschränken wir uns hier auf einige Bemerkungen. Die Meßhöhe lag bei etwa 50 cm.

Die Ergebnisse der Fahrten bestätigen das Ausmaß der Temperaturunterschiede zwischen höheren, frei dem Zugriff des Windes ausgesetzten Lagen und den Niederungen und auch die Streuung der Einzelabweichungen um ihren mittleren Wert.

Von freiwilligen Beobachtern an jeweils 2 Meßpunkten (einer in höherer, einer in Niederungslage) in Strahlungsnächten der Frühjahrsmonate 1956 und 1957 gewonnenen Tiefsttemperaturwerte zeigen das gleiche Ausmaß der Auswirkung der relativen Höhenlage auf die Temperaturunterschiede, wie es sich bei den zehnjährigen Registrierungen ergeben hatte (3.6.5.). Vor allem ergab sich der Einfluß einer dem Wind weniger zugänglichen Lage auf die Tiefsttemperatur in Strahlungsnächten. So brachte das Mittel aus 16 Strahlungsnächten des Frühjahres 1957 folgendes Verteilungsbild (Tab. 15). Von den Meßpunkten höherer Lagen befand sich nur einer auf einer Hügelkuppe (Wulfsdorf). Durch besonders niedrige Werte fällt Groß-Hansdorf heraus. Beide Meß-

stellen wurden in besonders windgeschützter Lage eingerichtet.

Tab. 15

Mittlere Tiefsttemperatur aus 16 Strahlungsnächten (Frühjahr 1957) für jeweils je 2 benachbarte Geländepunkte verschiedener Höhe.

Stationspaar	Höhe der Meßpunkte in mm		Mittlere Tiefsttemperatur	
	obere	untere	oben	unten
Papendorf	60	51	-2.4	-5.7 °C
Groß-Hansdorf	45	37	-4.8	-7.8
Braakerkrug	55	50	-2.8	-5.8
Volksdorf	44	41	-2.8	-5.6
Bünningstedt	33	30	-3.6	-5.6
Wulfsdorf	59	43	-0.8	-6.4

5. Versuch der Kartierung der Frostgefährdung

5.1. Das zur Festlegung der Normallagen im Bereich des Meßtischblattes Ahrensburg eingeschlagene Verfahren

Die Verfahren zur Kartierung der Frostgefährdung bewegen sich zwischen 2 extremen Möglichkeiten. In einem Fall werden gleichzeitige Temperaturbeobachtungen an einer ausreichenden Zahl von Meßpunkten während einer ausreichenden Zahl von Strahlungsnächten vorgenommen. Nur eine so entstandene Karte genügt den strengen Anforderungen der „Richtlinien zur Kartierung der Frostgefährdung“. Das andere Extrem nutzt die durch einschlägige Untersuchungen gefundenen Gesetzmäßigkeiten bezüglich der Auswirkungen der verschiedenen Geländeformen auf die Temperaturverhältnisse aus. Auf Messungen wird verzichtet, und mancher Einfluß kann nur abgeschätzt werden (SCHÜEPP (26), UHLIG (28)). Dieses Verfahren wird immer dann von Nutzen sein, wenn vom Geländeklimatologen Auskünfte verlangt werden und keine Möglichkeit zur Messung besteht. Schätzfehler bleiben unvermeidlich, eine Vergleichbarkeit mit den Verhältnissen anderer Klimazonen scheidet aus.

Die übrigen Verfahren stützen sich zum Teil auf Meßergebnisse, interpolieren aber in stärkerem Maße zwischen den Meßpunktwerten, ziehen Frostschadensbeobachtungen und die Ergebnisse von Meßfahrten mit Temperaturregistriergeräten heran. Mit der Größe des zur Untersuchung anstehenden Gebietes wächst der Zwang zur Vornahme von Interpolationen unter Beachtung gewisser Gesetzmäßigkeiten. Es kann daher eine so entstandene Karte nicht den Anforderungen einer Frostgefährdungskarte im Sinne der „Richtlinien“ genügen. Letzteres gilt für die von uns gezeichnete Karte, die sich zum Teil auf gewisse Annahmen stützt und die außerdem noch die an einer Anzahl von Punkten gewonnenen Erfahrungen auf Punkte ähnlicher Lage überträgt. Immerhin vermittelt sie dem Praktiker und dem Botaniker eine Vorstellung von der unterschiedlichen Frostgefährdung einer norddeutschen Landschaft.

Für die von uns angestrebte Karte müssen wir zunächst die sogenannte Normallage definieren oder uns wenigstens eine Vorstellung davon verschaffen. Im welligen Hügelland Holsteins kann eine Kuppenlage ebensowenig als Normallage bezeichnet werden wie der Boden eines langgestreckten Tales. Als normal bzw. am häufigsten auftretend dürften die Lagen der sehr sanften Hänge gelten, gebietsweise vielleicht auch die Zentren ebener Lagen. Mit solchen Feststellungen läßt sich aber bei Kartierungen wenig anfangen. Wir müssen uns zu einer exakteren Definition zwingen, wenn wir die Verhältnisse im Meßtischblattbereich Ahrensburg mit denen anderer deutscher Landschaften vergleichen wollen.

Nach den Ergebnissen vieler Untersuchungen im Raum Mitteleuropa spielt die relative Höhe eines Standortes im Vergleich zur unmittelbaren Umgebung eine entscheidende Rolle (SCHNELLE (24)). Gleichen Bewuchs vorausgesetzt, wird eine ausgedehnte Ebene einer Meereshöhe von 30 oder 40 m die gleichen nächtlichen Tiefsttemperaturen aufweisen wie eine ebenfalls ausgedehnte Ebene von 50 oder 60 m Höhe. Geringfügig niedrigere Temperaturen dürften in der unteren Ebene nur bei großräumigen Inversionen auftreten, bei denen sich z. B. eine wärmere Luftmasse über eine kältere schiebt, bzw. wo ein großräumiges Absinken der Luft nicht ganz bis zum Boden durchgreift. Die in der Literatur immer wieder beschriebenen Kaltluftseen füllen hingegen nur die deutlich als Täler anzusprechenden Lagen aus. Wir legen diesen Sachverhalt zugrunde und versuchen zunächst zu einer Definition der Höhenlage eines Punktes relativ zu seiner Umgebung zu kommen. Entscheidend für den Temperaturgang eines Punktes in Strahlungsnächten wird das Verhältnis der Standorthöhe des Punktes zur mittleren Höhe der Umgebung anzusehen sein. Hat ein bestimmter Punkt eine niedrigere Höhe als seine Umgebung, so wird er eher in Kaltluftansammlungen geraten, im umgekehrten Fall sich durch relativ hohe Nachttemperaturen auszeichnen. Die Frage geht nun nach der Größe der umgebenden Fläche, für die eine mittlere Höhe festzulegen ist.

Die Errechnung der mittleren Höhe des gesamten Meßtischblattes unter der Annahme, daß Geländepunkte geringerer Höhe als kalt und größerer als warm zu bezeichnen seien, erscheint nicht sinnvoll. Am Ostrand unseres Blattes steigen die Höhen auf über 75 m an und senken sich die Talböden auf etwa 60 m. In diesen beiden Lagen wurden die gleichen Temperaturen und Unterschiede der gleichen Größenordnung gefunden wie bei bzw. zwischen dem 59 m hohen Schairberg und der 44 m hohen Stationslage im Stellmoortal am Westrand des Blattes. Die Täler bei Siek am Ostrand des Meßtischblattes stimmen in der Höhenlage mit dem Schairberg überein, nicht aber in den Temperaturverhältnissen. Würden wir die relative Höhe eines Standortes über einer Umgebung von nur 100 mal 100 m Ausdehnung als Anhalt wählen, so ergäbe sich zwar in wenigen Einzelfällen die Möglichkeit zwischen höheren und damit wärmeren Punkten der Fläche und niedrigen und damit kalten zu unterscheiden. In der Mehrzahl der Fälle fiel aber die Fläche ganz in eine Talniederung oder in eine ebene Lage und würde so zu einer falschen Beurteilung verleiten. Wir wählen zweckmäßig eine Flächengröße, die Täler und Hügellagen umschließt, innerhalb derer aber der allgemeine Anstieg der Höhe (z. B. vom West zum Ostrand des Meßtischblattes) noch keine Rolle spielt. Nach einer Betrachtung des Meßtischblattes Ahrensburg dürfte eine Flächengröße von 1000 mal 1000 m die Forderung am besten erfüllen. Ein Punkt, der über die so errechnete mittlere Höhe seiner Umgebung hinausragt, kann unter den Verhältnissen des Meßtischblattes als temperaturmäßig übernormal, im umgekehrten Fall als unternormal angesehen werden. Als Normallage könnte die gelten, bei der mittlere Höhe des umgebenden Quadratkilometers und wirkliche Höhe des Standortes übereinstimmen.

Die mittlere Höhe eines Quadratkilometers bestimmt sich aus insgesamt 16 Einzelhöhenwerten, die für Quadrate der Größe 250 mal 250 m aus der Karte entnommen werden. Wir verfahren dabei gleitend. Nach der Bestimmung der mittleren Höhe eines Quadratkilometers wird eine Verschiebung des Quadrates um 250 m z. B. in Richtung Osten vorgenommen und dann eine neue Höhe bestimmt. Dies geschieht nach allen 4 Himmelsrichtungen und unter Beachtung der Randwerte benachbarter Meßtischblätter. Die errechneten Mittelwerte werden in der Mitte der einzelnen Quadrate eingetragen und anschlie-

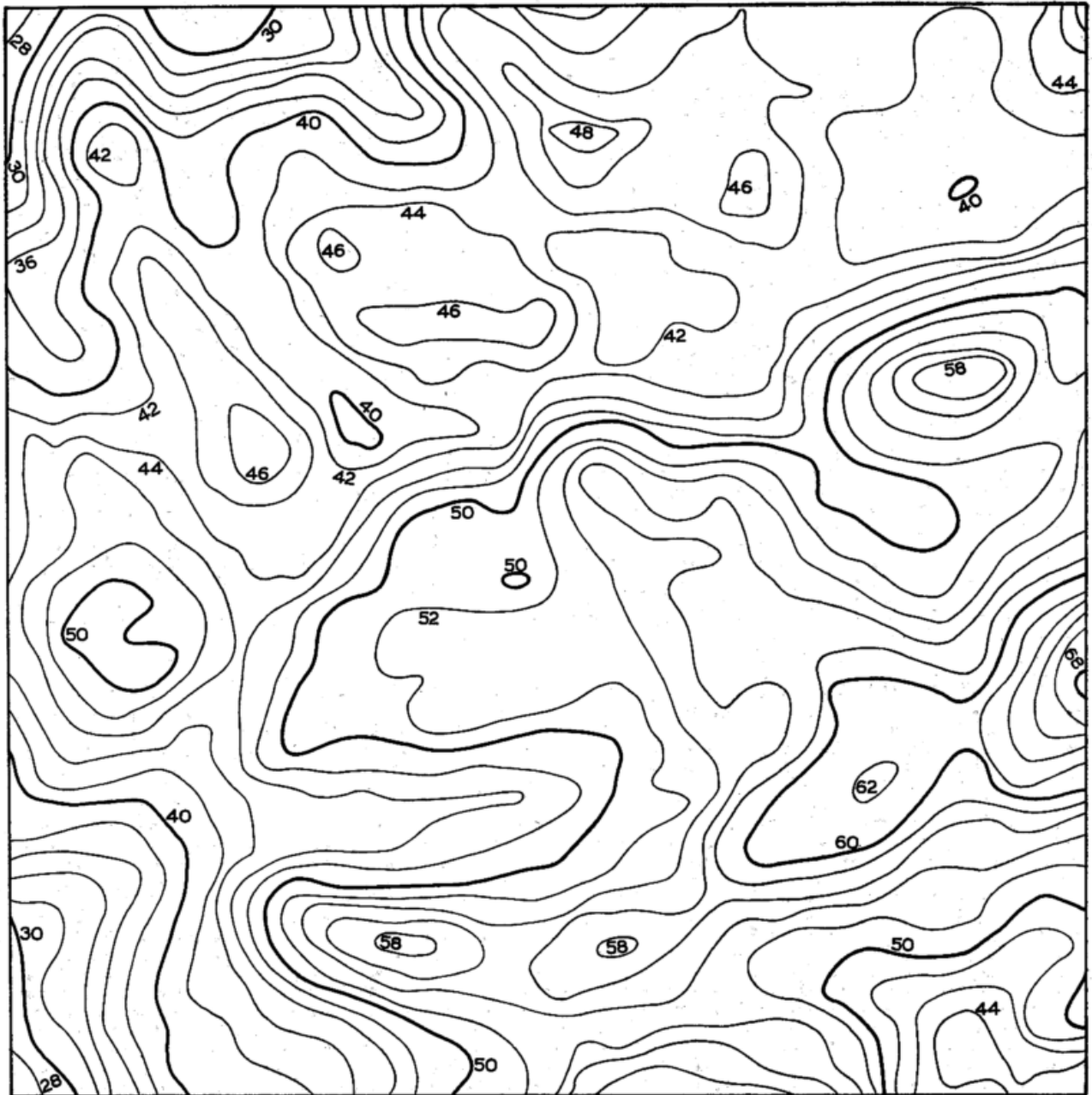


Abb. 28
Linien der mittleren Höhe des umgebenden Quadratkilometers.
Meßtischblatt Ahrensburg.
Höhen in m NN.

Aus den Höhen von jeweils 16 in quadratischer Anordnung (Abstand 250 m) über einen Quadratkilometer verteilten Geländepunkten wird die mittlere Höhe berechnet und dem Mittelpunkt des Quadratkilometers zugeordnet. Es wird dann übergreifend ein neues Mittel für ein um 250 m verschobenes Quadrat berechnet usw. Die angrenzenden Gebietsstreifen der Nachbarmeißtischblätter werden beachtet.

Send entsprechende Höhenlinien gezeichnet. Für das Blatt Ahrensburg entsteht die Karte der Abb. 28. Wir finden in der Nordwest- und Südwestecke des Blattes mittlere Höhenlagen von 28 bis 30 m. Am Ostrand steigt die mittlere Höhenlage auf 68 m an. Die Höhenlagen über 50 m nehmen etwa das südöstlich der Südwest-Nordost-diagonalen gelegene Gebiet des Meßtischblattes ein. Klarer als auf dem Meßtischblatt selbst treten die sich lang hinziehenden Täler heraus.

Wir gehen nun von der Vorstellung aus, daß die relative Höhe eines Standortes über bzw. unter der mittleren Höhe des umgebenden Quadratkilometers von ausschlaggebender Bedeutung für die Temperaturverhältnisse in Strahlungsnächten ist. Sie dürfte zumindest als Anhalt für die klimatische Bewertung des Standortes dienen.

Durch Auflegen der Karte Abb. 28 auf das mit den normalen Höhenschichtlinien versehene Meßtischblatt läßt sich zunächst feststellen, wo die wirkliche Höhe eines Kartenpunktes mit der mittleren Höhe des umgebenden Quadratkilometers übereinstimmt. Aus diesen Punkten entstehen Linien, die sich mit der allgemeinen Geländehöhe heben und senken. Wir nennen sie Normallinien. Sie trennen die Gebiete, deren Höhe unter der mittleren Höhe der Umgebung bleibt, von denen, die darüber hinausragen (Abb. 29). Die Linien dürfen nicht mit Höhenlinien verwechselt werden. Sie liegen etwa in der Mitte der Normalfläche, die unter den Bedingungen des Meßtischblattes Ahrensburg den größten Teil des Gesamtgebietes einnimmt.

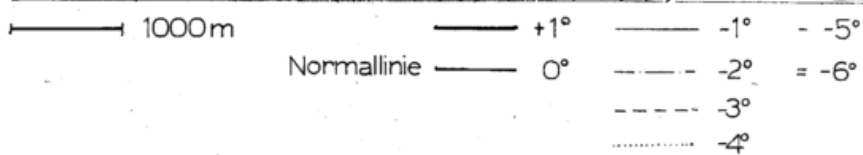
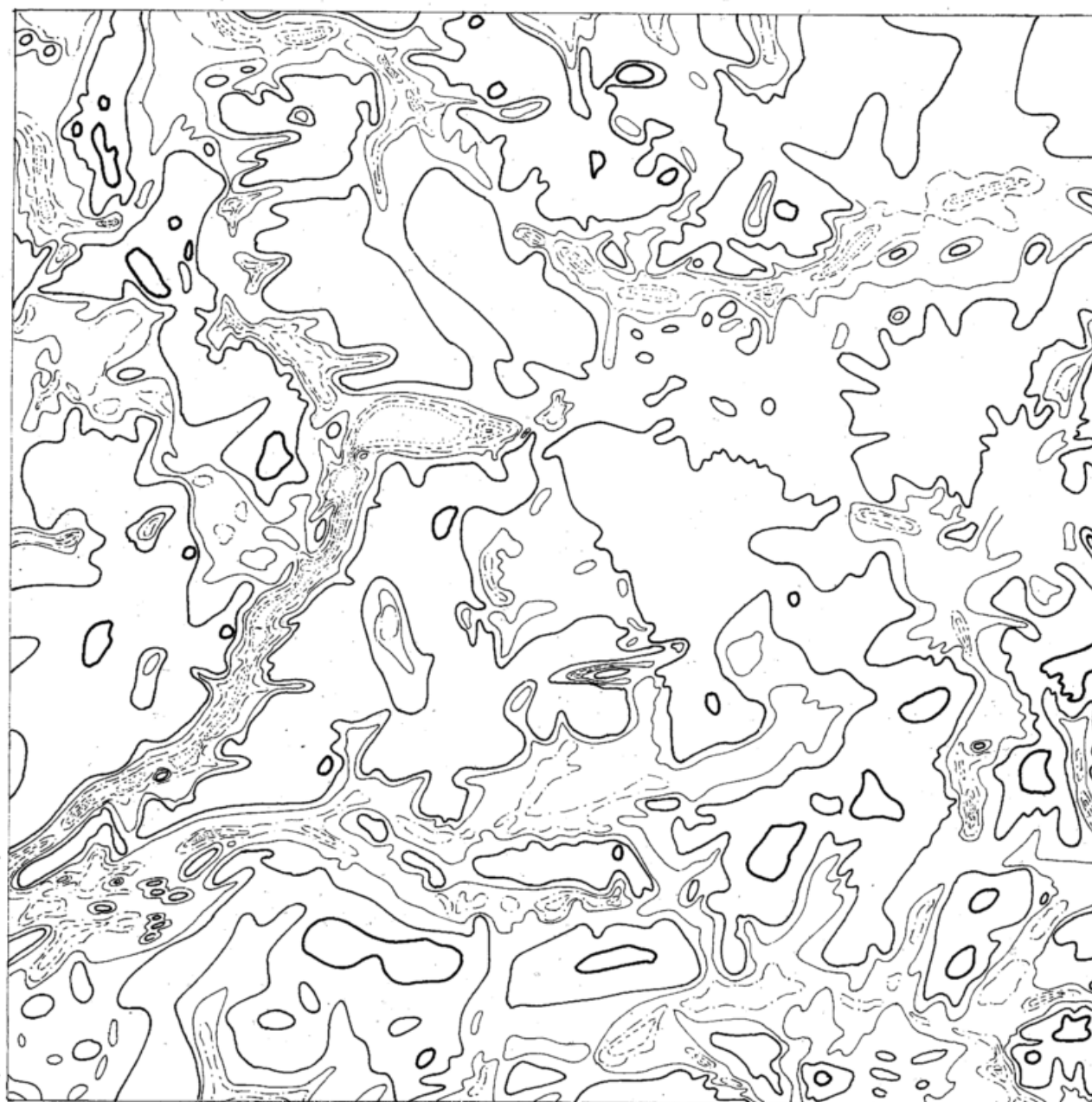


Abb. 29

Für Strahlungsnächte geltende Linien gleicher Temperaturdifferenz zur Normallinie (0°), Meßtischblatt Ahrensburg.

Beachtung örtlicher Verhältnisse beim Gebrauch der Karte

Bemerkung: Die Karte ist für freieres Gelände entworfen worden und in einem Maßstab, der die Einzeichnung der besonderen Verhältnisse auf sehr kleinen Geländestücken verbietet. Der Benutzer muß demnach selbst entsprechende Zu- oder Abschläge bei der Interpretation der Karte vornehmen, wobei er am besten nach den folgenden Empfehlungen vorgeht. Die Beilage eines Blattes des Maßstabs 1:25 000 war leider nicht möglich.

Im ebenen Gelände

Im unmittelbar an eine dichte Strauchreihe (Knick) angrenzenden Landstreifen von einer Strauchhöhenbreite wird eine um 1° höhere Tiefsttemperatur angesetzt. Dieser Wert entspricht den von VAN EIMERN, FRANKEN, HARRIES (7) gefundenen Verhältnissen.

Von diesem knicknahen Streifen abgesehen wird für eingeengte Lagen eine um 1° niedrigere Temperatur angesetzt. Unter eingeengte Lagen werden solche Flächen verstanden, deren Längen- und Breitenausdehnung weniger als das zehnfache der Höhe der umgebenden Hindernisse (Knicks, Parkränder) beträgt. Durch Eisenbahn, Straßen- oder Autobahndämme eingeengte Lagen erhalten eine bis zu 2° niedrigere Temperatur. Das gleiche gilt für moorige Flächen. An einigen markanten Stellen finden sich die Zeichen - und = für besonders große Frostgefährdung. Hier wird keine Korrektur für eingeengte Lage erforderlich. Für aufgelockerte Siedlungen mit Obstbäumen und Gartenhäusern wird eine um 1° höhere Temperatur angesetzt.

Im Hügelgelände

Bei senkrecht zum Gefälle laufenden Strauchhecken (Knicks) wird für den oberhalb angrenzenden Geländestreifen von 2 Strauchhöhenbreiten eine um 1° niedrigere Tiefsttemperatur angesetzt. Für den unterhalb angrenzenden Streifen gilt der Wert von $+1^{\circ}$.

Dem Talgrund unterhalb von Geländeabsätzen (Stufen) wird eine um 1° niedrigere Tiefsttemperatur zugeschrieben.

Bei Veränderungen des Geländes

Im Bereich des Meßtischblattes sind während der letzten Jahre neue Siedlungen entstanden. An manchen Stellen sind sumpfige Talstellen, Kiesgruben und andere tiefe Stellen ausgefüllt worden und werden weiter ausgefüllt. Derartige Veränderungen sind zu beachten, und zwar meist durch eine Anhebung des Temperaturwertes von 1 bis 2 Grad.

Die Karte ist auf konstruktivem Weg entstanden. Sie beruht auf einer Fiktion, nämlich der, daß bei Übereinstimmung von wahrer Höhe eines Punktes und mittlerer des umgebenden Quadratkilometers in Strahlungsnächten etwa die Temperaturen sogenannter Normallagen anzutreffen sind. Soweit unsere Meßergebnisse erkennen lassen, trifft diese Annahme im Untersuchungsraum den Sachverhalt. Ausnahmen können dann auftreten, wenn z. B. auf einer Hügelkuppe eine Kiesgrube ausgehoben worden ist. Der Boden der Kiesgrube kann höher liegen als die mittlere Höhe der Umgebung. Er weist aber sehr niedrige Temperaturen auf. In Gebietsteilen, in denen der Mensch die natürliche Geländeform erheblich verändert hat, wäre demnach statt der Fläche von 1 km² eine kleinere zu wählen. Doch verlören wir uns mit derartigen Verfahren zu sehr in Spekulationen.

Es sei ausdrücklich bemerkt, daß das Verfahren bzw. die Größenordnung der gewählten Fläche für Gebiete mit geringen Höhenunterschieden gedacht ist, in denen die im Mittelgebirge zu beachtende Temperaturänderung mit zunehmender Höhe keine Rolle spielt. Der geringe Höhenunterschied löst hier außerdem keine Kaltluftströmung wie etwa in den Mittelgebirgstälern aus. In der Längsrichtung der größeren Täler beträgt das Gefälle etwa 10 m auf 4 bis 5 km. Die Talhänge haben nur eine Ausdehnung bzw. eine Länge der Falllinie von 100 bis 200 m, bei einer Höhendifferenz von 5 bis 10 m zwischen Talsohle und höchster Hanglage. Die Kaltluftansammlungen in den Tälern sind in erster Linie auf die hier herrschende größere Luftruhe zurückzuführen. In Strahlungsnächten greift der Wind nicht oder nur schwach in die Täler hinein. Dies könnte mit hoher Wahrscheinlichkeit durch spezielle Messungen mit sehr empfindlichen Windmessern belegt werden.

Zur Nachprüfung der Brauchbarkeit des Verfahrens führen wir einen Vergleich mit einer Karte aus, die VAN EIMERN (5) für die Gemarkung Quickborn veröffentlicht hat. Unter Ausnutzung bereits früher gewonnener Erfahrungen wählte er einen Abstand von 1° zwischen den auf Grund von Meßfahrten gezeichneten Linien gleicher Tiefsttemperaturen in Strahlungsnächten. Es ergab sich ein Bereich zwischen etwa 5.5 und

10.5°. Abb. 30 bringt die 7° Isotherme, und zwar als ausgezogene Linie. Die Pinnauniederung, die einen beträchtlichen Teil der Karte ausfüllt, ist erheblich breiter als die Täler des Meßtischblattes Ahrensburg. Viele Quadratkilometer des dargestellten Geländes erfüllen daher nicht die oben gestellte Bedingung, wonach eine solche Fläche höhere und niedrige Geländeteile erfassen sollte. Außerdem weist die Niederung sehr sanfte Hänge auf. Daraus ergibt sich eine größere Schwankungsbreite für die Isothermen. Da die Karte aber von einem andern Verfasser stammt, kann der Vergleich als aufschlußreich bezeichnet werden. Die gestrichelte Linie der Abb. 30 stellen die nach oben erwähnten Verfahren gewonnene Normallinie dar. Es gibt sich weitgehende Übereinstimmung zu erkennen. Wirkliche Abweichungen ergeben sich für ein Moorgebiet im NW des Blattes, das aber auch auf der Originalkarte VAN EIMERN nicht zur kältesten Zone zählt und für 2 kleinere Gebiete auf der Ostseite des Blattes. Letztere liegen bereits im höheren Teil des Raumes, erreichen aber nicht ganz die Höhe der Umgebung.

5.2. Festlegung des Abstandes der Linien gleicher Temperaturen in Strahlungsnächten

Wir wenden uns nun wieder der in Abschnitt 5.1 erwähnten Normallinie zu. Sie darf nur als Anhalt für die weitere Einstufung bzw. Bewertung von Geländeteilen gelten. So nimmt sie z. B. keine Rücksicht auf die unterschiedliche Aufrauung der Landschaft durch die Knicks oder durch Waldstücke, obgleich derartige Einflüsse bedeutsam sind, wie der Vergleich zwischen Schmalenbeck und Wulfsdorf nachweisen konnte. Ebenfalls läßt sie die Auswirkung größerer Wiesenflächen auf die Temperatur in Strahlungsnächten außer acht. Allerdings wäre eine Berücksichtigung all dieser Einflüsse auf einer für einen langen Zeitraum gedachten Karte kaum sinnvoll. So werden z. B. im Zuge der Flurbereinigung viele Knicks gerodet, und auch die Wiesenflächen liegen nicht ein für allemal fest. Beispielsweise wird der Talabschnitt, in dem die Station Stellmoor 10 Jahre lang betreut worden ist, ab 1968 mit einer etwa 3 m hohen Erdschicht zugeschüttet. So bleibt also nur der Weg, eine Karte mit bestimmten Bemerkungen zu versehen, die dem Benutzer eine genaue Beurteilung eines ganz bestimmten Standortes ermöglichen. Das würde z. B. auch für die bereits erwähnten Bedingungen in künstlichen Gruben oder dergleichen gelten.

In den Wäldern herrschen andere Bedingungen als im Freiland. Waldgebiete sind daher bei den Untersuchungen ausgespart bzw. nur mit Normallinien versehen worden. Auch die dicht besiedelten Wohngebiete konnten nicht einbezogen werden. Hier wechseln die Bedingungen in 50 cm Höhe von Garten zu Garten und außerdem von Jahr zu Jahr. Obgleich Schmalenbeck in das nicht kartierte Gebiet fällt, soll geprüft werden, ob die konstruierte Normallinie den Sachverhalt richtig erfaßt. Schmalenbeck müßte auf der kälteren Seite der Normallinie liegen. Das ist auch der Fall, und zwar in einem Maße, wie es etwa einer frei liegenden Station entspräche. Daß in Wirklichkeit die Verhältnisse noch etwas ungünstiger liegen, kann auf die eingetragene Stationslage zurückgeführt werden (FRANKEN (16)).

Ferner ist zu entscheiden, von welcher Art die Linien gleicher Temperaturhöhe der in Strahlungsnächten festgestellten Tiefsttemperaturen sein sollen. Es wäre eine Karte mit Datumlinien denkbar. Sie könnten z. B. jeweils das Datum angeben, nach dem noch in 20 Prozent der Jahre Frost auftritt. Eine andere Karte könnte für ein bestimmtes Datum angeben, in wieviel Prozent der Jahre nach diesem Datum noch Frost auftritt. In beiden Fällen wird eine Beschränkung der Fragestellung sicht-



— 1 km
— 7° van Eimern
- - - Normallinie

Abb. 30

Vergleich der von VAN EIMERN im Bereich des Meßtischblattes Quickborn gefundenen Linie einer Normaltemperatur in Strahlungsnächten und der nach 5.1. konstruierten Normallinie.

bar. Das erste Verfahren gibt keine Auskunft über die Verhältnisse in 10, 30 oder mehr Prozent der Jahre. Das zweite bringt nur den Sachverhalt für ein bestimmtes Datum. Beide sagen nichts über die Fröste größerer Stärke aus. Es dürfte sich eher empfehlen, eine Karte mit den Linien gleicher Temperaturdifferenzen zu einer Normallage zu zeichnen, und zwar nach den Meßergebnissen der in Strahlungsnächten gewonnenen Tiefsttemperaturen. Das Verfahren schreiben auch die „Richtlinien“ vor. Wir halten uns daran, obgleich wegen der Größe des Meßtischblattbereiches eine wichtige Vorbedingung nicht erfüllt werden kann: Die Zahl der zugrundeliegenden Stationen ist viel zu gering, als daß sie eine Auszeichnung von Isolinien auf Grund der Meßergebnisse eines Stationsnetzes erlauben könnte. Ferner können die Linien nur im Abstand von 1 zu 1° gezogen werden. Eine kleinere Differenz von nur 0.5° würde statt des gewählten Maßstabs von 1 : 25 000 einen solchen von höchstens 1 : 10 000 erfordern. Damit würde aber auch eine in Wahrheit nicht vorhandene Genauigkeit der Kartierung vorgetäuscht. Die Linien können später entweder mit Prozentwerten der Häufigkeit des Unterschreitens gewisser Schwellenwerte der Temperatur z. B. nach Beginn der Süßkirschenblüte versehen werden. Sie können auch das jeweilige Datum angeben, nach dem z. B. in 10, 20 oder mehr Prozent der Jahre noch Frost in 50 cm Höhe auftritt.

Wie bereits bemerkt, wird man als Normallage einen Gebietsstreifen zu bezeichnen haben, der die von uns konstruierte Normallinie zu beiden Seiten begleitet. Als Obergrenze der Normallage wäre die Linie anzusehen, an der die Temperatur in Strahlungsnächten 1.0° über der an der Normallinie gewonnenen Temperatur liegt. Die Untergrenze würde entsprechend um 1° niedrigere Temperaturen aufweisen (SCHNELLE (24)). Eine Vorstellung über die zu erwartende Zahl der im Abstand von 1 zu 1° gezogenen Linien gleichen Temperaturunterschiedes ergibt sich aus 3.6.4. In Strahlungsnächten herrscht zwischen Schairberg (59 m NN) und Stellmoor (42 m NN) eine Differenz von 5°. Wie wir noch sehen werden, kommen in durch Knicks oder Wald eingegengten Tallagen aber noch tiefere Temperaturen vor. Insgesamt hätten wir also mit 8 Linien zu rechnen. Für die Praxis ist es aber zweckmäßiger, die besonders kalten Lagen nicht in die Karte einzuzichnen. Vielmehr muß in der Kartenerklärung bemerkt werden, daß den eingegengten und dazu noch Tallagen ein Temperaturabschlag bis zu 1½ Grad zuzubilligen ist. In ebenem Gelände ist mit etwa 1° zu rechnen (Wulfsdorf - Schmalenbeck). Ohne dieses Auslegungsverfahren wird die Karte zu unkenntlich.

Die Zeichnung der Linien gleicher Tiefsttemperaturen in Strahlungsnächten kann sich nur in einigen Gebieten

des Meßtischblattes nach den mit Minimumthermometern oder durch Meßfahrten gewonnenen Ergebnissen richten. Im weitaus größten Teil des Meßtischblattes muß bei der Auszeichnung der Linien auf die festgestellten Gesetzmäßigkeiten geachtet werden, wobei an der Lage der „Normallinie“ festgehalten wird.

Die Linien sind in das Meßtischblatt Ahrensburg eingetragen und dann auf durchsichtiges Papier übertragen worden, das sich seinerseits für die praktische Anwendung wieder auf eine Karte auflegen läßt. Bei der gewählten Darstellungsart erübrigt sich eine Beschriftung der Isolinien. Die mitgegebene Wertung der einzelnen Linien gleichen Temperaturunterschieds zur Normallinie verschafft ausreichend Klarheit des Sachverhalts. Der Maßstab des Meßtischblattes verbietet die Kennzeichnung extrem kalter, örtlich sehr begrenzter Lagen durch Isolinien. Es wurden vielmehr die Zeichen - für einen gegenüber der Normallage um 5 Grad und = für einen um 6 Grad kälteren Standort eingeführt. Alle übrigen Linien stehen für die in der Erklärung wiedergegebenen Abweichungen gegenüber der Normallinie (Abb. 29).

5.3. Die Wertung der Linien gleicher Temperaturen in Strahlungsnächten zur Ermöglichung einer Vergleichbarkeit mit den Verhältnissen in andern Klimagebieten

Die Linien der Karte Abb. 29 vermitteln zwar einen Begriff von den geländeabhängigen Temperaturunterschieden in Strahlungsnächten. Sie ermöglichen aber noch keinen Vergleich mit den Verhältnissen in andern Klimagebieten und auch noch keinen Rückschluß auf die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Frösten z. B. noch nach bestimmten Aussaat- oder Ausspflanzterminen. Solen diese Ziele erreicht werden, so muß den Linien noch eine entsprechende Bewertung zugeteilt werden. Lediglich für die an die Normallinie angrenzenden Gebieteile liegen die Wertungen bereits vor (Abb. 10).

Um zu einer Wertungsmöglichkeit zu kommen ist festgestellt worden, welche Temperaturdifferenzen in solchen Nächten zwischen der hochgelegenen Station Schairberg und der Talstation Stellmoor geherrscht haben, in denen die Tiefsttemperatur in Hamburg-Fuhlsbüttel zum letztenmal einen Schwellenwert der Temperatur unterschritten hat. In 72 % der Fälle treten in den erwähnten Nächten auch Temperaturunterschiede von mindestens 2.5° zwischen den beiden Stationen auf. Neben einer zeitlichen Verlagerung der Kurven der Abb. 10 ergibt sich demnach bei Anwendung auf die Verhältnisse in den Tälern noch ein dichteres Zusammenrücken der Kurvenzüge, und zwar etwa auf die Hälfte des Abstandes. Der Sachverhalt darf auf das Kürzerwerden der Nächte mit fortschreitender Jahreszeit, vor allem aber

Tab. 16

Die Temperatur 0° (Meßhöhe 50 cm) wird an den Linien +1,0, -1, -2, -3, -4° und den kältesten Geländestellen (-, =) des Meßtischblattes Ahrensburg unterschritten

nach bestimmten Stichtagen im Frühjahr (linke Spalte) in % der Jahre									vor bestimmten Stichtagen im Herbst (linke Spalte) in % der Jahre								
	=	-	-4	-3	-2	-1	0	+1°C		=	-	-4	-3	-2	-1	0	+1°C
31.3.								92	21.11.								96
10.4.							95	85	11.11.						96		91
20.4.						95	93	70	1.11.						92	90	83
x 30.4.			96	93	87	82	70	47	22.10.					88	84	80	63
10.5.			88	83	65	63	33	75	12.10.			87	81	75	67	61	42
20.5.		85	78	70	45	28	13	8	2.10.		80	71	65	57	47	40	21
30.5.	92	78	63	47	22	12	6	4	22. 9.	71	65	55	45	35	26	20	9
9.6.	60	50	34	24	8	5	3	2	12. 9.	58	47	27	23	18	13	8	1

x = Mittlerer Beginn der Süßkirschenblüte
(schwarze Knorpelkirsche im Raum Ahrensburg)

- entspricht -5° Linie
= entspricht -6° Linie

Tab. 17

In 10, 30, 50 und 80 % der Jahre wird die Temperatur 0°C (Meßhöhe 50 cm) an den Linien +1, 0, -2, -3, -4° und den kältesten Geländestellen (-, =) des Meßtischblattes Ahrenburg unterschritten

%	im Frühjahr noch nach dem								im Herbst schon vor dem							
	=	-	-4	-3	-2	-1	0	+1°C	=	-	-4	-3	-2	-1	0	+1°C
10			26.6.	19.6.	5.6.	1.6.	23.5.	17.5.			30.8.	1.9.	5.9.	9.9.	14.9.	24.9.
30	20.6.	16.6.	12.6.	6.6.	26.5.	18.5.	12.5.	4.5.	1.9.	7.9.	12.9.	15.9.	19.9.	24.9.	27.9.	7.10.
50	14.6.	9.6.	4.6.	28.5.	17.5.	11.5.	5.5.	28.4.	10.9.	15.9.	20.9.	26.9.	29.9.	3.10.	6.10.	15.10.
80	27.5.	25.5.	18.5.	13.5.	6.5.	2.5.	24.4.	15.4.	29.9.	2.10.	7.10.	11.10.	15.10.	18.10.	22.10.	30.10.

- entspricht -5°C Linie
= entspricht -6°C Linie

Wir haben nun zu untersuchen, in welchem Ausmaß diese Richtwerte von denen abweichen, die sich aus den mit Sicherheit zu kurzen (10 Jahre) Beobachtungsreihen unserer Stationen ergeben. Es entsteht folgende Tabelle:

Prozent der Jahre, in denen der Schwellenwert 0° nach Stichtagen noch unterschritten wird	Datum des Stichtages laut Tabelle		Datum nach 10jähriger Reihe	Diff. Stellmoor in Tagen
	Normallage	Stellmoor	Stellmoor	
%				
10	23.5.	26.6.	15.6.	11
30	12.5.	12.6.	5.6.	7
50	5.5.	4.6.	30.6.	5
80	24.4.	18.5.	15.5.	3

auch auf den allgemeinen Temperaturanstieg zurückgeführt werden. Nach Abb. 16 steigt zwar die Neigung zur Ausbildung von Temperaturunterschieden im Gelände noch an. Es werden aber oft keine Schwellenwerte der Temperatur zum letztenmal unterschritten. Das ist vielmehr schon früher geschehen.

Werden die Werte von 1, 2, 3 usw. Grad in der beschriebenen Art durch Halbierung der Abstände zwischen den Kurven der Abb. 10 gewonnen, so ergeben sich die Zeit- bzw. Prozentwerte der Tab. 16 und 17. Im Stellmoortal (- 4° - Linie) würde nach dem 30. April die Temperatur in 50 cm Höhe noch in 96 % der Jahre unter 0° absinken, auf dem Schairberg nur noch in 47 %. In 30 % der Jahre sinkt die Temperatur im Tal noch nach dem 12. 6. unter 0° ab, auf dem Hügel nach dem 4. Mai.

Mit diesen Angaben wollen wir uns begnügen. Sie lassen den mit der Karte und den Tabellen eingegangenen Fehlerbereich erkennen. Eine bessere Bewertung

setzt erheblich längere Beobachtungsreihen in den verschiedenen Lagen des Meßtischblattes voraus.

Die Untersuchung wurde zu einem großen Teil durch einen finanziellen Zuschuß des Bundesverkehrsministeriums ermöglicht, dem dafür gedankt wird. Bedienung der Stationen und Betreuung der Geräte lag zur Hauptsache in den Händen von Angehörigen der Agrarmeteorologischen Forschungsstelle Hamburg des Deutschen Wetterdienstes, und zwar den Herren E. VAN BÜRK und H. GEORGE. Zeitweilig waren die Herren I. Reis und R. Schneider verantwortlich. Die Arbeit erforderte besondere Sorgfalt und Zuverlässigkeit bei oft sehr ungünstigen Witterungsbedingungen. Ohne die bereitwillige Hilfe des Instrumentenamtes Hamburg des Deutschen Wetterdienstes bei Eichungen und Reparaturen wäre eine erfolgreiche Durchführung des Unternehmens kaum denkbar gewesen. Für die Vornahme von Beobachtungen ist vor allem zu danken den Herren: HINTZE (Papendorf), WAGNER (Groß-Hansdorf), STEENBOCK (Braak), WILKE (Bünningstedt), NIELSEN (Ahrenburg).

Literatur

- (1) BENDER, K.: Die Frühjahrsfröste an der Niederelbe und ihre Bekämpfung. Hamburg (1933/1934).
- (2) BENDER, K.; GILCHER, J.: Die Frühjahrsfröste an der Niederelbe. Hamburg (1939).
- (3) BÜRK VAN, E.: Wann tritt die im Klimadienst jeweils um 21 Uhr mittlerer Ortszeit am Minimumthermometer abgelesene Tiefsttemperatur der letzten 24 Stunden ein? Wetterk. d. Seewetteramtes Nr. 48, 219 (1969).
- (4) DUENSING, G.: Die Frostnächte zur Blüte im Mai 1969. Mitteilungen des Obstbauversuchsrings des Alten Landes. 24 (1969) Nr. 9.
- (5) EIMERN VAN, J.: Kleinklimatische Geländeaufnahme in Quickborn, Holstein. Ann. Meteor. 4 (1951).
- (6) EIMERN VAN, J.; KAPS, E.: Lokalklimatische Untersuchungen im Raum der Harburger Berge und der benachbarten Elbeniederung. In: „Landwirtschaft – Angewandte Wissenschaft“. Hiltrup 1954.
- (7) EIMERN VAN, J.; FRANKEN, E.; HARRIES, H.: Ergebnisse von Windschutzuntersuchungen in Hamburg-Garstedt 1952. Hiltrup 1954.
- (8) FLEMMING, G.: Das Verhalten der Temperatur am Talgrund bei Luftströmung parallel und quer zum Tal. Z. Meteor. 18 (1966).
- (9) FRANKEN, E.: Statistik des ersten und letzten Auftretens von Frösten bestimmter Stärkestufen in Münster/Westfalen. Meteor. Rdsch. 6 (1953).
- (10) FRANKEN, E.: Zum Problem des Frostrisikos im Frühjahr und Herbst. „Die Gartenbauwissenschaft“ 1 (1955).
- (11) FRANKEN, E.: Unterschiedliche Frostgefährdung im Norden Hamburgs. Ann. Meteor. 7 (1955/56).
- (12) FRANKEN, E.: Über eine Abhängigkeit der Temperaturverteilung in Strahlungsnächten von Geländeform und Windrichtung. Meteor. Rdsch. 12 (1959).
- (13) FRANKEN, E.: Strahlungsfröste während der Nächte um die Sonnenwende. Wetterk. d. Seewetteramtes Nr. 184 (1959).
- (14) FRANKEN, E.: Warmer Geestrand – kalte Elbeniederung. Wetterk. d. Seewetteramtes Nr. 73 (1961).
- (15) FRANKEN, E.: Bei welchen Windrichtungen treten die letzten Kälterückfälle des Frühjahrs und die ersten -vorstöße des Herbstes auf? Wetterk. d. Seewetteramtes Nr. 47 (1968).
- (16) FRANKEN, E.: Über den Einfluß der unmittelbaren Umgebung einer Klimastation auf die Extremtemperaturen. Meteor. Rdsch. 22 (1969).
- (17) GEIGER, R.: Das Klima der bodennahen Luftschicht. Braunschweig 1960.
- (18) HARTMANN, F. K.; SCHNELLE, F.: Vergleichende Untersuchung der klimabedingten Standortverhältnisse natürlicher Waldstufen und ihrer Waldgesellschaften in verschiedenen deutschen Mittelgebirgen. Stuttgart 1969.
- (19) KAPS, E.: Die Frostgefährdung im Bendestorfer Tal. Ber. Dt. Wetterd., U.S.-Zone Nr. 42 (1954).
- (20) KLIMAKUNDE DES DEUTSCHEN REICHES. Berlin 1939.
- (21) Medizin-meteorologischer Bericht. Meteor. Obs. Hamburg (1956/1966).
- (22) PFAFFEN, K.: Die täglichen Temperaturschwankungen als geographisches Klimakriterium. Erdkunde 20 (1966) H. 4.
- (23) REIDAT, R.: Klimadaten für Bauwesen und Technik. Ber. d. Dt. Wetterd. Nr. 64 (1960).
- (24) SCHNELLE, F.: Richtlinien zur Kartierung der Frostgefährdung. In: „Frostschutz im Pflanzenbau“. München 1963.
- (25) SCHUBERT, J.: Der jährliche Gang der Luft- und Bodentemperatur im Freien und in Waldungen. Berlin 1900.
- (26) SCHÜEPP, W.: Frostverteilung und Kartoffelanbau in den Alpen auf Grund von Untersuchungen in der Landschaft Davos. Schweiz. Landw. Monatshefte 1948.
- (27) THRAN, P.: Der Einfluß des Windes auf das Klima der Küstenlandschaften. Wetterk. d. Seewetteramtes Nr. 233 (1965). Hamburg 1965.
- (28) UHLIG, S.: Beispiel einer kleinklimatologischen Geländeuntersuchung. Z. Meteor. 8 (1954).

